مصادر الطاقة المتجددة
و
التخفيف من آثار تغير المناخ

ملخص لصانعي السياسات وملخص فني

التقرير الخاص للهيئة الحكومية
الدولية المعنية بتغير المناخ

ipcc

WMO UNEP

التقرير الخاص بشأن مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير المناخ

ملخص لصانعي السياسات

تقرير الفريق العامل الثالث التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

و

ملخص فني

تقرير قبله الفريق العامل الثالث للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

غير أنه لم يعتمده بتفاصيله

حرره

Ottmar Edenhofer
الرئيس المشارك للفريق العامل الثالث
معهد Potsdam لبحوث تأثير المناخ

Ramón Pichs-Madruga
الرئيس المشارك للفريق العامل الثالث
مركز بحوث الاقتصاد العالمي

Youba Sokona
الرئيس المشارك للفريق العامل الثالث
المركز الأفريقي لسياسة المناخ
لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأفريقيا

Kristin Seyboth **Patrick Matschoss** **Susanne Kadner** **Timm Zwickel**

Patrick Eickemeier **Gerrit Hansen** **Steffen Schlömer** **Christoph von Stechow**

وحدة الدعم الفني للفريق العامل الثالث
معهد Potsdam لبحوث تأثير المناخ

نُشر للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

© 2011، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
ISBN 978-92-9169-631-4
صورة الغلاف: مرايا مقعّرة في محطة حرارية شمسصية تستعمل لتسخين الزيت
© Michael Melford/National Geographic Stock

المحتويات

القسم الأول

تصدير vii

تقديم ix

القسم الثاني

ملخص لصانعي السياسات 3

ملخص فني 27

المرفقات

المرفق الأول مسرد المصطلحات، والمختصرات، والرموز الكيميائية، والوحدات القياسية الدولية 161

المرفق الثاني المنهجية 181

المرفق الثالث البارامترات الأخيرة لتكاليف وأداء الطاقة المتجددة 209

القسم الأول
تصدير وتقديم

تصدير

يقدم التقرير الخاص الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) بشأن مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير المناخ (SRREN) استعراضاً شاملاً فيما يخص مصادر الطاقة والتكنولوجيا المستخدمة والتكاليف المتعلقة بها وفوائدها ودورها المحتمل ضمن مجموعة خيارات التخفيف من آثار تغير المناخ.

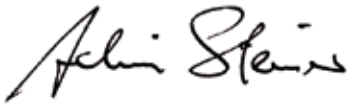
ولأول مرة، يؤكد حساب شامل للتكاليف ولانبعاثات غازات الدفيئة عبر مختلف التكنولوجيات والسيناريوهات الدور الرئيسي الذي تلعبه المصادر المتجددة، بغض النظر عن أي اتفاق ملموس بشأن التخفيف من آثار تغير المناخ.

وقد نجحت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، باعتبارها هيئة حكومية دولية أنشأتها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) في عام 1988، في تزويد مقرري السياسات على مدار الفترات التي أعقبت إنشاءها بأفضل التقييمات العلمية والفنية الموثوقة والموضوعية ، والتي لم تزعم قط أنها تفرض سياسات، رغم اتصالها الواضح بالسياسات. وعلاوة على ذلك، ينبغي اعتبار هذا التقرير الخاص ذا أهمية بالغة في وقت ترجح فيه الحكومات الدور الذي يمكن أن تلعبه موارد الطاقة المتجددة في سياق جهودها المبذولة للتخفيف من آثار تغير المناخ.

وقد تسنى إصدار التقرير الخاص (SRREN) بفضل التزام وتفاني مئات الخبراء من مختلف المناطق والتخصصات. ونود أن نعرب عن خالص امتناننا للبروفيسور Ottmar Edenhofer والدكتور Ramon Pichs-Madruga والدكتور Youba Sokona على قيادتهم المتفانية طوال عملية إعداد التقرير الخاص (SRREN)، وكذلك لجميع المؤلفين الرئيسيين المنسقين، والمؤلفين الرئيسيين، والمؤلفين المساهمين، والمحررين المستعرضين، والمستعرضين، ولموظفي وحدة الدعم الفني التابعة للفريق العامل الثالث.

ونحن نقدر أيما تقدير سخاء ألمانيا في تقديم الدعم والتفاني للتقرير الخاص (SRREN) حسبما تجلى بوجه خاص في استضافتها لوحدة الدعم الفني التابعة للفريق العامل الثالث. وعلاوة على ذلك، نود أن نعرب عن تقديرنا للإمارات العربية المتحدة لاستضافتها الجلسة العامة التي اعتمدت التقرير، وكذلك للبرازيل والنرويج والمملكة المتحدة والمكسيك التي استضافت الاجتماعات التالية للمؤلفين الرئيسيين، ولجميع الجهات الراعية التي ساهمت في أنشطة الهيئة (IPCC) من خلال دعمها المالي واللوجيستي، وأخيراً لرئيس الهيئة (IPCC) الدكتور R. K. Pachauri على حسن قيادته طوال فترة عملية إعداد التقرير الخاص (SRREN).

م. جارو
الأمين العام
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية



A. Steiner
المدير التنفيذي
برنامج الأمم المتحدة للبيئة

تقديم

يقدم التقرير الخاص بشأن مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير المناخ (SRREN) الصادر عن الفريق العامل الثالث التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) تقييماً وتحليلاً شاملاً لتكنولوجيات الطاقة المتجددة ودورها الحالي والمحتمل في التخفيف من آثار انبعاثات غازات الدفيئة. وتقوم النتائج المقدمة في هذا التقرير على أساس تقييم واسع النطاق للكتابات العلمية، بما فيها خصائص فرادى الدراسات، وكذلك على أساس تحليل دراسات شاملة مجمعة من أجل الحصول على استنتاجات أشمل. ويضم التقرير معلومات عن دراسات خاصة بالتكنولوجيات محددة إلى جانب نتائج نماذج متكاملة واسعة النطاق، ويقدم معلومات تتصل بالسياسات (وليست معلومات تفرض سياسات) لصانعي القرارات بشأن خصائص الإمكانات الفنية للموارد المختلفة؛ والتطور التاريخي للتكنولوجيات؛ والتحديات التي تواجه استخدام هذه التكنولوجيات؛ والتأثيرات الاجتماعية والبيئية الناتجة عن استخدامها؛ وكذلك مقارنة بين تكاليف الحصول على الطاقة المتجددة باستخدام التكنولوجيات المتاحة تجارياً طوال فترة استخدام هذه الطاقة، والتكاليف الحالية للطاقة غير المتجددة. وإضافة إلى ذلك، فإن دور مصادر الطاقة المتجددة في العمل على تحقيق استقرار مستويات تركيزات غازات الدفيئة والذي تناوله هذا التقرير، وعرض وتحليل السياسات المتاحة للمساعدة على تطوير ونشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة في مجال التخفيف من آثار تغير المناخ و/ أو لأهداف أخرى، يجيبان عن أسئلة هامة ترد تفصيلاً في المسائل الرئيسية المحددة للتقرير.

عملية إعداد التقرير

أُعد هذا التقرير وفقاً للقواعد والإجراءات التي وضعتها الهيئة (IPCC) والمستخدمة في تقارير التقييم السابقة. وعقب اجتماع تمهيدي عُقد في ليبيك، ألمانيا في الفترة من 20 إلى 25 كانون الثاني/ يناير 2008، أقر الإطار العام للتقرير في الجلسة العامة الثامنة والعشرين للهيئة (IPCC) التي عُقدت في بودابست، هنغاريا، في يومي 9 و10 نيسان/ أبريل 2008. وسريعاً بعد ذلك شُكل فريق مؤلفين من 122 مؤلفاً رئيسياً (33 من البلدان النامية، و4 من البلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية، و85 من البلدان الصناعية) و25 محرراً مستعرضاً، و132 مؤلفاً منسقاً.

واتبعت إجراءات الاستعراض الخاصة بالهيئة (IPCC) على التقرير، والتي خضعت بموجبها المسودات التي قدمها المؤلفون لاستعراضين، وتمت معالجة 24 766 تعليقاً وردت من أكثر من 350 خبيراً مستعرضاً وحكومة ومنظمة دولية. وككل المحررون المستعرضون لكل فصل من فصول التقرير أن جميع التعليقات الجوهرية الواردة من الحكومات والخبراء المستعرضين قد بحثت على النحو الملائم.

واعتُمد الملخص المعد لواضعي السياسات سطراً سطراً وقُبلت المسودة النهائية للتقرير في الدورة الحادية عشرة للفريق العامل الثالث التي عُقدت في أبو ظبي، الإمارات العربية المتحدة، في الفترة من 5 إلى 8 أيار/ مايو 2011. وقُبل التقرير الخاص بأكمله في الجلسة العامة الثالثة والثلاثين للهيئة (IPCC) التي عُقدت أيضاً في أبو ظبي في الفترة من 10 إلى 13 أيار/ مايو 2011.

هيكل التقرير الخاص

يتألف التقرير الخاص (SRREN) من ثلاث فئات من الفصول: فصل تقديمي واحد، وستة فصول خاصة بالتكنولوجيا (الفصول 2–7)، وأربعة فصول تغطي المسائل المتعلقة باستخدام التكنولوجيات المختلفة (الفصول 8–11).

الفصل 1 هو الفصل التقديمي المقصود به وضع تكنولوجيات الطاقة المتجددة في إطار أوسع ضمن خيارات التخفيف من آثار تغير المناخ، وتحديد الخصائص المشتركة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة.

ويقدم كل فصل من فصول التكنولوجيا (2–7) معلومات بشأن قدرات الموارد المتاحة، وحالة التطور التكنولوجي والسوقي، والتأثيرات البيئية والاجتماعية لكل مصدر من مصادر الطاقة المتجددة، بما في ذلك الطاقة الحيوية والطاقة الشمسية المباشرة والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة المائية وطاقة المحيطات وطاقة الرياح. وإضافة إلى ذلك، تتناول الفصول آفاق الابتكارات التكنولوجية وخفض التكاليف في المستقبل. وتُختتم الفصول بمناقشة بشأن مدى إمكانية نشر هذه التكنولوجيات في المستقبل.

والفصل 8 هو أول فصل من فصول استخدام التكنولوجيا ويناقش كيفية إدماج تكنولوجيات الطاقة المتجددة في الوقت الراهن في نظم توزيع الطاقة، وكيف يمكن دمجها في المستقبل. كما يناقش مسارات التنمية من أجل الاستخدام الإستراتيجي لتكنولوجيات الطاقة المتجددة في قطاعات النقل والبناء والصناعة والزراعة.

ويغطي الفصل 9 الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة، وهذا يشمل الآثار الاجتماعية والبيئية والاقتصادية لمصادر الطاقة المتجددة، بما في ذلك مدى إمكانية تحسين فرص الحصول على الطاقة وتأمين الإمداد بالطاقة. كما يغطي هذا الفصل المعوقات التي تواجه تكنولوجيات الطاقة المتجددة.

وعلى إثر استعراض أكثر من 160 سيناريو، يبحث الفصل 10 كيف يمكن لتكنولوجيات الطاقة المتجددة أن تساهم في بلورة سيناريوهات متنوعة لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة، بدءاً من سيناريوهات الإجراءات المعتادة ووصولاً إلى السيناريوهات التي تجسد المستويات الطموحة لتحقيق استقرار تركيزات غازات الدفيئة.

أما الفصل الأخير من التقرير، وهو الفصل 11، فهو يعرض الاتجاهات الحالية لسياسات دعم الطاقة المتجددة، وكذلك اتجاهات تمويل تكنولوجيات الطاقة المتجددة والاستثمار فيها. ويستعرض الفصل 11 الخبرات الحالية في مجال سياسات الطاقة المتجددة، بما فيها تدابير الكفاءة والفعالية، ويناقش مدى تأثير البيئة المواتية على نجاح هذه السياسات.

ولئن كان مؤلفو التقرير قد أدرجوا أحدث الكتابات المتاحة في وقت نشر التقرير، فينبغي للقراء أن يدركوا أن المواضيع التي يغطيها هذا التقرير الخاص قد يشهد تطويراً سريعاً. ويتضمن ذلك حالة تطوير بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة، وكذلك حالة المعارف المتعلقة بتحديات استخدام التكنولوجيات، وتكاليف التخفيف من الآثار، والفوائد المشتركة والآثار البيئية والاجتماعية، ونُهُج السياسات، وخيارات التمويل، والحدود والأسماء الواردة في هذا التقرير وكذلك التسميات المستخدمة في أي خريطة جغرافية لا تعني تأييداً أو قبولاً رسمياً من جانب الأمم المتحدة. وفي الخريطة الجغرافية التي أعدت للتقرير الخاص (SRREN)، يمثل الخط المنقط في جامو وكشمير تقريباً خط المراقبة المتفق عليه بين الهند وباكستان. ولم يتفق الطرفان بعد على الوضع النهائي لجامو وكشمير.

شكر وتقدير

إن إعداد هذا التقرير الخاص لهو مشروع كبير اشترك فيه عدد كبير من الأشخاص من كافة أنحاء العالم، وقدموا مساهمات متنوعة واسعة النطاق. ونود أن نتقدم بالشكر للمساهمات السخية التي تقدمت بها الحكومات والمؤسسات، والتي مكنت المؤلفين والمحررين المستعرضين والحكومات والخبراء المستعرضين من المشاركة في عملية إعداد هذا التقرير.

ونحن ممتنون بشكل خاص للمساهمات والدعم الذي قدمته حكومة ألمانيا، ولاسيما الوزارة الفدرالية للتعليم والبحوث Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)، لتمويلها وحدة الدعم الفني (TSU) التابعة للفريق العامل الثالث. ونسق عملية التمويل، Gregor Laumann وChristiane Textor من المركز الألماني للفضاء الجوي Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) وكانوا مستعدين على الدوام لتخصيص وقتهما وطاقاتهما لتلبية احتياجات الفريق. كما نود أن نعرب عن امتناننا للوزارة الفدرالية للبيئة والمحافظة على الطبيعة والأمان النووي Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)). وإضافة إلى ذلك، فقد تفضل معهد Potsdam لبحوث تأثير المناخ (PIK) باستضافة وإيواء مكاتب وحدة الدعم الفني (TSU).

كما نحرص كل الحرص على أن نتقدم بالشكر الجزيل لحكومات البرازيل والنرويج والمملكة المتحدة والمكسيك التي تفضلت، بالتعاون مع المؤسسات المحلية، باستضافة الاجتماعات الهامة للمؤلفين الرئيسيين في São José dos Campos (كانون الثاني/ يناير 2009)، وأوسلو (أيلول/ سبتمبر 2009)، وأكسفورد (آذار/ مارس 2010)، ومكسيكو سيتي (أيلول/ سبتمبر 2010). وإضافة إلى ذلك، نود أن نشكر حكومة الولايات المتحدة والمعهد Institute for Sustainability، إلى جانب المشروع Founder Society Technologies for Carbon Management لاستضافة اجتماع الخبراء المستعرضين للتقرير الخاص (SRREN) في واشنطن العاصمة (شباط/ فبراير 2010). وأخيراً، نود أن نعرب عن تقديرنا لمعهد Potsdam لبحوث تأثير المناخ (PIK) على ترحيبه باستضافة الاجتماع الختامي للمؤلفين الرئيسيين المنسقين (كانون الثاني/ يناير 2011).

ولم يكن هذا التقرير الخاص ليصدر إلا بفضل خبرة المؤلفين الرئيسيين المنسقين والمؤلفين الرئيسيين وعملهم الجادٍ والتزامهم بالامتياز الذي أبدوه طوال عملية إعداد التقرير، وذلك بمساعدة هامة من العديد من المؤلفين المساهمين. ونود أيضاً أن نعرب عن تقديرنا للمستعرضين الحكوميين والخبراء المستعرضين لما بذلوه من وقت وجهد لتقديم تعليقات بناءة ومفيدة في مختلف المسودات. كما أدى محررونا المستعرضون دوراً حاسم الأهمية في عملية إعداد التقرير الخاص (SRREN) لدعمهم فريق المؤلفين من خلال معالجة التعليقات وضمان إجراء مناقشة موضوعية بشأن المسائل ذات الصلة.

ويسرنا أن نتقدم بالشكر والتقدير لموظفي وحدة الدعم الفني التابعة للفريق العامل الثالث لما بذلوه من عمل مضن، وهم Patrick Matschoss و Susanne Kadner و Kristin Seyboth و Timm Zwickel و Patrick Eickemeier و Gerrit Ha Anna Adler و Annegret Kuhnigk و Benjamin Kriemann و Christoph von Stechow و Steffen Schloemer و seh و Nina □ الذين ساعدهم Marilyn Anderson و Lelani Arris و Andrew Ayres و Marlen Goerner و Da iel Mahringer و Ashley Renders. كما قدمت Brigitte Knopf بانتظام مدخلات وتوجيهات قيمة، في إطار عملها كمستشارة كبيرة في وحدة الدعم الفني. كما نقدر أيما تقدير الدعم البياني الذي قدمه Kay Schröder وفريقه في Daily Interactive Digitale Kommunikation، وكذلك أعمال التصميمات التي قامت بها Valarie Morris وشركتها Arroyo Writing، LLC.

وقدم مكتب الفريق العامل الثالث – الذي يتألف من Antonina Ivanova Boncheva (المكسيك) و Carlo Carraro (إيطاليا) و Suzana Kahn Ribeiro (البرازيل) و Jim Skea (المملكة المتحدة) و Francis Yamba (زامبيا) و Taha Zatari (المملكة العربية السعودية) و Ismail A.R. Elgizouli (السودان) قبل أن يترقى إلى منصب نائب رئيس الهيئة (IPCC) – دعماً متواصلاً وبناءً للرؤساء المشاركين للفريق العامل الثالث طوال عملية إعداد التقرير الخاص (SRREN).

ونود أن نتقدم بالشكر إلى Renate Christ أمين الهيئة (IPCC) ولموظفي أمانة الهيئة Gaetano Leone و Mary Jean Burer و Sophie Schlingemann و Judith Ewa و Jesbin Baidya و Joelle Fernandez و Annie Courtin و Laura Biagioni و Amy Smith Aasdam و Rockaya Aidara الذين قدموا الدعم اللوجيستي من أجل الاتصال بالخدمات وسفر الخبراء من البلدان النامية والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية.

ونعرب عن امتناننا الخاص للدكتور Rajendra Pachauri، رئيس الهيئة (IPCC)، لما قدمه من مساهمات ودعم أثناء إعداد هذا التقرير الخاص.

Youba Sokona
الرئيس المشاركة للفريق العامل الثالث
التابع للهيئة IPCC

Ramon Pichs-Madruga
الرئيس المشاركة للفريق العامل الثالث
التابع للهيئة IPCC

Ottmar Edenhofer
الرئيس المشاركة للفريق العامل الثالث
التابع للهيئة IPCC

Kristin Seyboth
كبير العلميين في الفريق العامل الثالث
التابع للهيئة IPCC
مدير التقرير الخاص (SRREN)

Patrick Matshoss
رئيس وحدة الدعم الفني (TSU)
التابعة للفريق العامل الثالث
التابع للهيئة IPCC

نهدي هذا التقرير إلى

Wolfram Krewitt ، ألمانيا
المؤلف الرئيسي المنسق للفصل 8

توفي Wolfram Krewitt فجأة في يوم 8 تشرين الأول / أكتوبر 2009 . وكان Wolfram يعمل في المركز الألماني للفضاء الجوي Deutsches Zentrum für Luft– und Raumfahrt (DLR) في مدينة Stuttgart، ألمانيا .

Raymond Wright ، جامايكا
المؤلف الرئيسي المنسق للفصل 10

توفي Raymond Wright في السابع من تموز / يوليو 2011 . وكان يعمل في شركة النفط في كينغستون، جامايكا .

لقد ساهم Wolfram Krewitt مساهمة كبيرة في هذا التقرير الخاص، ولاتزال رؤيته تتجسد في النص الوارد في الفصل 8 (إدماج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة الحالية والمستقبلية)، الذي نعرب له عن امتناننا من أجله . وكان Raymond Wright عضواً هاماً في فريق التحرير للفصل 10 (إمكانيات التخفيف وتكاليفه) إذ كان يقدم أفكاراً نيّرة ودقيقة للتقرير الخاص ضامناً بذلك التوازن والمصداقية . وكان المؤلفان معاً موهوبين وذكيين ومتفانيين في فريق المؤلفين – وتمثل وفاتهما خسارة كبيرة للأوساط العملية الدولية التي تعمل في مسائل المناخ والطاقة . ومافتئ زملاؤهما المؤلفون يترحمون على روح الفقيدين .

ثانياً الملخصات

ملخص
لصانعي
السياسات

ملخص
لصانعي السياسات

المؤلفون الرئيسيون المنسقون:
Youba Sokona (كوبا)، Ramon Pichs–Madruga (ألمانيا)، Ottmar Edenhofer
(إثيوبيا/مالي)، Kristin Seyboth (ألمانيا/الولايات المتحدة الأمريكية)

المؤلفون الرئيسيون:
John Christensen (ألمانيا)، Thomas Bruckner (الولايات المتحدة الأمريكية)، Dan Arvizu
(الدانمرك)، Helena Chum (الولايات المتحدة الأمريكية/البرازيل)، Jean–Michel Devernay (فرنسا)،
Andre Faaij (هولندا)، Manfred Fischedick (ألمانيا)، Barry Goldstein (أستراليا)، Gerrit Hansen
(ألمانيا)، John Huckerby (نيوزيلندا)، Arnulf Jäger–Waldau (إيطاليا/ألمانيا)، Susanne Kadner
(ألمانيا)، Daniel Kammen (الولايات المتحدة الأمريكية)، Volker Krey (أستراليا/ألمانيا)، Arun K –
mar (الهند)، Anthony Lewis (أيرلندا)، Oswaldo Lucon (البرازيل)، Patrick Matschoss (ألمانيا)،
William (المملكة المتحدة)، Catherine Mitchell (الولايات المتحدة الأمريكية)، Lourdes Maurice
Moomaw (الولايات المتحدة الأمريكية)، José Moreira (البرازيل)، Alain Nadai (فرنسا)، Lars J.
Nilsson (السويد)، John Nyboer (كندا)، John Nyboer (بنغلاديش)، Jayant Sathaye (الولايات
المتحدة الأمريكية)، Janet Sawin (الولايات المتحدة الأمريكية)، Roberto Schaeffer (البرازيل)، Tormod
Schei (النرويج)، Steffen Schlömer (ألمانيا)، Ralph Sims (نيوزيلندا)، Christoph von Stechow
(ألمانيا)، Aviel Verbruggen (بلجيكا)، Kevin Urama (كينيا/نيجيريا)، Ryan Wiser (الولايات
المتحدة الأمريكية)، Francis Yamba (زامبيا)، Timm Zwickel (ألمانيا)

المستشار الخاص:
Jeffrey Logan (الولايات المتحدة الأمريكية)

ينبغي الإشارة إلى هذا الفصل على النحو التالي:

IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs–Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

المحتويات

1 – مقدمة 6

2 – الطاقة المتجددة وتغير المناخ 7

3 – تكنولوجيات الطاقة المتجددة وأسواقها 7

4 – الإدماج في نظم الطاقة في الحاضر والمستقبل 15

5 – الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة 18

6 – إمكانيات التخفيف وتكاليفه 20

7 – السياسة والتنفيذ والتمويل 24

8 – تقدم المعارف بشأن الطاقة المتجددة 26

1 - مقدمة

يقدم التقرير الخاص الذي أعده الفريق العامل الثالث بشأن مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير المناخ (SRREN) تقييماً للدراسات المعنية بالجوانب العلمية والتكنولوجية والبيئية والاقتصادية والاجتماعية لإسهامات ستة مصادر للطاقة المتجددة في التخفيف من آثار تغير المناخ. ويهدف التقرير إلى تقديم معلومات ذات صلة بالسياسة للحكومات وللعمليات الحكومية الدولية ولأطراف معنية أخرى. ويقدم هذا الملخص لصانعي السياسات نظرة عامة للتقرير الخاص (SRREN)، لخصت فيها النتائج الأساسية.

ويتكون التقرير الخاص (SRREN) من أحد عشر فصلاً. ويحدد الفصل الأول سياق الطاقة المتجددة وتغير المناخ؛ وتقدم الفصول من الثاني حتى السابع معلومات بشأن تكنولوجيات ستة للطاقة المتجددة، أما الفصول من الثامن حتى الحادي عشر فإنها تعالج القضايا التكاملية (انظر الشكل 1 ملخص لصانعي السياسات).

تقرير خاص بشأن مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من حدة تغير المناخ

1 - الطاقة المتجددة وتغير المناخ	فصل تمهيدي
2 - الطاقة الحيوية 3 - الطاقة الشمسية المباشرة 4 - الطاقة الحرارية الأرضية 5 - الطاقة المائية 6 - الطاقة البحرية 7 - طاقة الرياح	فصول التكنولوجيا
8 - إدماج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة في الحاضر والمستقبل 9 - الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة 10 - إمكانيات التخفيف وتكاليفه 11 - السياسة والتمويل والتنفيذ	فصول تكاملية

الشكل 1 ملخص لصانعي السياسات: هيكل التقرير الخاص (SRREN) [الشكل 1.1، 1.1.2]

والإشارات إلى الفصول والأقسام موضحة مع أرقام الفصول والأقسام المناظرة في أقواس معقوفة. كما يوجد شرح للمصطلحات والمختصرات والرموز الكيميائية الواردة بهذا الملخص في مسرد المصطلحات الخاص بالتقرير الخاص (SRREN) (المرفق الأول). وتجد في المرفقين الثاني والثالث الأعراف والمنهجيات المستخدمة لتحديد التكلفة والطاقة الأولية وموضوعات التحليل الأخرى. ويتناول هذا التقرير أوجه عدم اليقين عند الاقتضاء.[1]

1 يتناول هذا التقرير أوجه عدم اليقين، من خلال كشف نتائج تحليل الحساسية، مثلاً، من خلال تقديم كميات التفاوتات في أرقام التكلفة وكذلك التفاوتات في نتائج السيناريو. ولا يطبق هذا التقرير مصطلحات عدم اليقين الرسمية الخاصة بالهيئة (IPCC)، لأن دليل عدم اليقين الخاص بالهيئة كان قيد المراجعة وقت اعتماد هذا التقرير.

2 - الطاقة المتجددة وتغير المناخ

يتزايد الطلب على الطاقة والخدمات المرتبطة بها لمواكبة التنمية الاجتماعية والاقتصادية وتحسين رفاهية الناس وصحتهم. وتحتاج كل المجتمعات لخدمات الطاقة لتلبية الاحتياجات الإنسانية الأساسية (على سبيل المثال؛ الإضاءة والطهي، وتحقيق الراحة في الأماكن، والتنقل، والاتصال) ولخدمة العمليات الإنتاجية. [1.1.1، 9.3.2] ومنذ 1850 تقريباً، تزايد الاستخدام العالمي للوقود الأحفوري (الفحم، والنفط، والغاز) ليسيطر على المعروض من الطاقة مسفراً عن نمو سريع لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. [الشكل 1.6]

انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن توفير خدمات الطاقة أسهمت إسهاماً ملحوظاً في الزيادة البالغة لتركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وأفاد تقرير التقييم الرابع للهيئة (IPCC) أن «معظم الزيادة الملحوظة في متوسط درجة الحرارة عالمياً منذ منتصف القرن العشرين من المرجح[2] جداً أنها ترجع إلى الزيادة الملحوظة في تركيزات غازا الدفيئة الناتجة عن النشاط البشري».

وتؤكد البيانات الحديثة أن استهلاك الوقود الأحفوري يمثل غالبية انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن النشاط البشري عالمياً[3]. تتواصل الانبعاثات في الزيادة وزادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون لما يزيد على 390 جزء في المليون، أو بنسبة 39 ٪ عن المستويات قبل الصناعية، بنهاية 2010. [1.1.1، 1.1.3]

وهناك خيارات عديدة لخفض انعاثات غازات الدفيئة من نظام الطاقة مع الاستمرار في تلبية الطلب العالمي على خدمات الطاقة. [1.1.3، 10.1] وقُيِّمت بعض هذه الخيارات في تقرير التقييم الرابع مثل كفاءة الطاقة والحفاظ عليها، وتحويل الوقود الأحفوري، والطاقة المتجددة، والطاقة النووية، وامتصاص الكربون وتخزينه. والتقييم الشامل لأي حافظة لخيارات التخفيف من حدة آثار الانبعاثات سوف تتضمن تقييماً لإمكانيات التخفيف الخاصة بها وكل التكاليف والمخاطر المتعلقة بها، فضلاً عن إسهامها في التنمية المستدامة. [1.1.6] وسيركز هذا التقرير على الدور الذي يمكن أن يلعبه نشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة في إطار حافظة خيارات التخفيف هذه.

وفضلاً عن امتلاكها لإمكانيات ضخمة للتخفيف من حدة آثار تغير المناخ، تستطيع الطاقة المتجددة أن تقدم منافع أوسع. قد تسهم الطاقة المتجددة، إذا ما نُفذت بشكل ملائم، في التنمية الاجتماعية والاقتصادية، والحصول على الطاقة، وتوفير إمداد آمن من الطاقة، وتخفيض الآثار السلبية على البيئة والصحة. [9.2، 9.3]

وفي معظم الظروف، ستتطلب زيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة سياسات لحفز التغييرات في نظام الطاقة. وقد زاد نشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة سريعاً في السنوات الأخيرة، ويتوقع أن تزيد حصتها زيادة جوهرية في ضوء أكثر سيناريوهات التخفيف طموحاً. [1.1.5، 10.2] وسيُطلب من السياسات الإضافية جذب جوانب الزيادة الضرورية في الاستثمار في التكنولوجيات والبنية الأساسية [11.4.3، 11.5، 11.6.1، 11.7.5].

3 - تكنولوجيات الطاقة المتجددة وأسواقها

وتتضمن الطاقة المتجددة طائفة غير متجانسة من التكنولوجيات (الإطار 1 ملخص لصانعي السياسات). تستطيع أنواع متعددة من الطاقة المتجددة توفير الكهرباء، والطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية، وكذلك إنتاج وقود قادر على الوفاء باحتياجات خدمات الطاقة المتعددة [1.2]. ويمكن نشر بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة عند نقطة الاستخدام (لامركزية) في البيئات الريفية والحضرية، بينما هناك نقاط أخرى منتشرة أساساً في إطار شبكات الطاقة الكبيرة (مركزية) [1.2، 8.2، 8.3، 9.3.2]. بالرغم من أن هناك عدد متنام من تكنولوجيات الطاقة المتجددة المكتملة فنياً وتُنشر بمعدل ملحوظ، هناك تكنولوجيات في مراحل أولى من النضج التكنولوجي والانتشار التجاري أو تشغل حيزاً متخصصاً في الأسواق [1.2]. ومخرج

2 طبقاً للغة عدم اليقين الرسمية المستخدمة في تقرير التقييم الرابع، فإن مصطلح «مرجح جداً» يشير إلى >90 ٪ الاحتمال المقدر للحدوث.

3 وكانت إسهامات انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن النشاط البشري بشكل فردي إلى إجمالي الانبعاثات في 2004، حسبما ورد في تقرير التقييم الرابع، معبراً عنها كمكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO_2eq) كالتالي: ثاني أكسيد الكربون من الوقود الأحفوري (56.6 ٪)، ثاني أكسيد الكربون من إزالة الغابات واضمحلال الكتلة الأحيائية إلخ (17.3 ٪)، ثاني أكسيد الكربون من مصادر أخرى (2.8 ٪)، ميثان (14.3 ٪)، وأكسيد النيتروز (7.9 ٪)، والغازات المعالجة بالفلور (1.1 ٪)، [الشكل 1.1b، تقرير التقييم الرابع، الفريق العامل الثالث، الفصل الأول. لمزيد من المعلومات بشأن الانبعاثات القطاعية، بما في ذلك الغابات، انظر أيضاً الشكل 1.3b والحواشي المتصلة بها.]

الطاقة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة من الممكن أن يكون 'i' متغيراً و – إلى حد ما – لا يمكن التنبؤ بها على آماد زمنية مختلفة (من دقائق حتى سنوات)، 'ii' متغيراً لكن يمكن التنبؤ به، 'iii' ثابت، أو 'iv' يمكن التحكم بها [8.2, 8.3].

إطار 1 ملخص لصانعي السياسات: مصادر الطاقة المتجددة وتكنولوجياتها التي بحثها هذا التقرير.

الطاقة الحيوية يمكن إنتاجها من تشكيلة من المواد الخام بالكتلة الأحيائية، بما في ذلك الغابات، والمخلفات الزراعية ومخلفات الحيوانات؛ وزراعة الغابات ذات الدورة القصيرة؛ ومحاصيل الطاقة؛ والمكون العضوي للنفايات الحضرية الصلبة؛ وغيرها من المكونات الصلبة العضوية. ومن خلال تشكيلة من العمليات يمكن استخدام المواد الخام هذه مباشرة في الكهرباء أو الحرارة أو استخدامها لإنتاج وقود غازي أو سائل أو صلب. ويتسم نطاق تكنولوجيات الطاقة الحيوية بالاتساع ويتنوع نضجها الفني بشكل كبير. وتشمل بعض الأمثلة للتكنولوجيات المتاحة تجارياً الغلايات الصغيرة والصخمة ونظم التدفئة المنزلية ذات الأساس الكري، وإنتاج الإيثانول من السكر والنشاء. وتعد محطات الطاقة المتقدمة المتكاملة لإنتاج الغاز من الكتلة الأحيائية وإنتاج وقود المواصلات من الليجنوسلوز من أمثلة تكنولوجيات لمرحلة ما قبل العرض تجارياً، أما إنتاج الوقود السائل الأحيائي من الطحالب وبعض نهج التحويل البيولوجية الأخرى فإنها لاتزال في مرحلة البحوث والتطوير. وتحظى تطبيقات تكنولوجيات الطاقة الحيوية بإعدادات مركزية ولامركزية، في ظل الاستخدام التقليدي للكتلة الأحيائية في البلدان النامية الذي يعد التطبيق الأكثر انتشاراً.[4] وتقدم الطاقة الحيوية بشكل تقليدي منتوجاً مستمراً ويمكن التحكم به. وتستهدف مشروعات الطاقة الحيوية عادة الاعتماد على توافر إمداد الوقود محلياً وإقليمياً، لكن التطورات الأخيرة تكشف أن الكتلة الأحيائية الصلبة والوقود الأحيائي السائل يشهدان متاجرة دولية متزايدة. [1.2، 2.1، 2.3، 2.6، 8.2، 8.3]

وتُسخّر تكنولوجيات **الطاقة الشمسية المباشرة** طاقة الإشعاع الشمسي لإنتاج الكهرباء باستخدام أشباه الموصلات الضوئية (PV) ومركزات الطاقة الشمسية (CSP)، لإنتاج الطاقة الحرارية (التدفئة أو التبريد، إما من خلال وسائل سالبة أو نشطة)، للوفاء باحتياجات الإضاءة المباشرة، ومن الممكن، إنتاج الوقود الذي قد يستخدم في النقل وفي أغراض أخرى. ويتراوح النضج التكنولوجي للتطبيقات الشمسية من البحوث والتطوير (على سبيل المثال الوقود المنتج من الطاقة الشمسية) مروراً بتلك الناضجة نسبيا (على سبيل المثال مركزات الطاقة الشمسية) إلى تلك الناضجة (على سبيل المثال التدفئة الشمسية السالبة والنشطة، وأشباه الموصلات الضوئية ذات شرائح السليكون). والكثير وليس كل التكنولوجيات ذات طبيعة معيارية بما يسمح باستخدامها في نظم الطاقة المركزية واللامركزية. والطاقة الشمسية متغيرة، وإلى حد ما، لا يمكن التنبؤ بها، بالرغم من أن الهيكل الزمني لناتج الطاقة الشمسية في بعض الظروف يترابط نسبياً بشكل جيد مع احتياجات الطاقة. ويقدم تخزين الطاقة الحرارية الخيار لتحسين التحكم في الناتج لبعض التكنولوجيات مثل مركزات الطاقة الشمسية والتدفئة الشمسية المباشرة. [1.2، 3.1، 3.3، 3.5، 3.7، 8.2، 8.3]

تستخدم **الطاقة الحرارية الأرضية** الطاقة الحرارية التي يمكن الوصول إليها في جوف الأرض. وتُستخرَج الحرارة من مستودعات حرارية أرضية من خلال الآبار أو وسائل أخرى. ويُطلَق على المستودعات الساخنة والتي تسمح بالنفاذ إليها على نحو كاف وبشكل طبيعي اسم المستودعات الهيدروحرارية، أما المستودعات الساخنة على نحو كاف بينما جرى تحسينها بمحفز هيدرولي فيُطلَق عليها النظم الحرارية الأرضية المعززة (EGS). وبمجرد خروجها إلى السطح، يمكن استخدام السوائل ذات درجات الحرارة المتنوعة في توليد الكهرباء أو يمكن استخدامها بشكل مباشر أكثر في التطبيقات التي تتطلب الطاقة الحرارية، بما في ذلك تدفئة المدن أو استخدام التدفئة منخفض الحرارة من الآبار الضحلة لمضخات التدفئة الحرارية الأرضية المستخدمة في تطبيقات التدفئة والتبريد. وتعد محطات الطاقة الحرارية الكهرمائية والتطبيقات الحرارية للطاقة الحرارية الأرضية تكنولوجيات ناضجة، أما مشاريع النظم الحرارية الأرضية المعززة فهي في مرحلة التجربة والريادة وتمر أيضاً بمرحلة البحوث والتطوير. وعند استخدام محطات الطاقة الحرارية الأرضية لتوليد الكهرباء، فإنها توفر عادة ناتجاً ثابتاً. [1.2، 4.1، 4.3، 8.2، 8.3]

تُسخّر **الطاقة الكهرمائية** طاقة المياه المتحركة من أماكن عالية إلى منخفضة لتوليد الكهرباء أساساً. وتشمل مشاريع الطاقة الكهرمائية مشاريع السدود مع الخزانات، ومشاريع التدفق الطبيعي للأنهار، والانسياب الداخلي، وتغطي طائفة عريضة من المشاريع متفاوتة الحجم. وهذا التنوع يمنح الطاقة الكهرمائية القدرة على الوفاء بالاحتياجات الحضرية المركزية الضخمة فضلاً عن الاحتياجات الريفية غير المركزة. وتكنولوجيات الطاقة الكهرمائية ناضجة. فمشاريع الطاقة الكهرمائية تستغل مصدراً يتغير بمرور الوقت. ورغم هذا، فإن الناتج القابل للتحكم الذي توفره مرافق الطاقة الكهرمائية المتمتعة بمستودعات يمكنه الوفاء بالاحتياجات المتزايدة بشدة للكهرباء والمساعدة في موازنة أنظمة الكهرباء التي لديها كميات ضخمة من توليد الطاقة المتجددة المتغيرة. وتشغيل مستودعات الطاقة الكهرمائية يعكس غالباً استخداماتها المتعددة، على سبيل المثال، مياه الشرب، الري، التحكم في الفيضان والجفاف، والملاحة فضلاً عن الإمداد بالطاقة. [1.2، 5.1، 5.3، 5.5، 5.10، 8.2]

4 تقدم وكالة الطاقة الدولية تعريفاً للكتلة الحيوية التقليدية بوصفها استهلاك الكتلة الأحيائية في القطاع السكني في البلدان النامية وتشير إلى الاستخدام غير المستدام المتكرر للخشب، والفحم، والنفايات الزراعية، وروث الحيوانات للطهي والتدفئة. وتُعرّف كل استخدامات الكتلة الأحيائية الأخرى كاستخدامات حديثة [المرفق الأول].

تُسخّر **الطاقة البحرية** طاقة ماء البحر الكامنة والحركية والحرارية والكيميائية التي يمكن تحويلها لتوفير الكهرباء والطاقة الحرارية أو مياه شرب. وهناك طائفة عريضة من التكنولوجيات الممكنة، مثل خزانات لموجة المد، وتوربينات تحت الماء لتيارات المحيط والمد، ومحولات الحرارة لتحويل الطاقة الحرارية بالمحيطات، وتشكيلة من الأجهزة لتسخير طاقة الأمواج ومعدل تدرج الملوحة. وتكنولوجيا المحيطات، باستثناء خزانات المد، مازالت في مرحلة مشاريع التجريب والريادة والكثير منها بحاجة للبحوث والتطوير. وبعض التكنولوجيات لها هياكل نواتج طاقة متغيرة بمستويات مختلفة من التنبؤ (على سبيل المثال الموجة، ومدى المد، والتيار) في حين أن التكنولوجيات الأخرى قد تكون قادرة على الاقتراب من حد الثبات أو حتى التشغيل قابل للتحكم (على سبيل المثال حرارة المحيطات، ومعدل تدرج الملوحة). [1.2، 6.1، 6.2، 6.3، 6.4، 6.6، 8.2]

تسخر **طاقة الرياح** الطاقة الحركية للهواء المتحرك. والتطبيق الأساسي ذو الصلة بالتخفيف من حدة تغير المناخ يتمثل في إنتاج الكهرباء من توربينات الرياح الضخمة الموجودة على الأرض (على اليابسة) أو في البحر أو مسطحات المياه العذبة (البحرية). ويجري تصنيع تكنولوجيات طاقة الرياح على اليابسة بالفعل ونشرها على نطاق واسع. ولتكنولوجيات طاقة الرياح البحرية إمكانيات أعظم للتقدم الفني المستمر. وكهرباء الرياح متغيرة ولا يمكن التنبؤ بها، إلى حد ما، على حد سواء، لكن التجربة والدراسات التفصيلية من مناطق عديدة كشفت أن تكامل طاقة الرياح لا تضع عموماً عواقب فنية لا تذلل. [1.2، 7.1، 7.3، 7.5، 7.7، 8.2]

وعلى أساس عالمي، يقدر إسهام الطاقة المتجددة بـ 12.9 ٪ من إجمالي 492 إكسغل (EJ)[5] من معروض الطاقة الأولية في 2008 (إطار 2 ملخص لصانعي السياسات والشكل 2 ملخص لصانعي السياسات) كانت الكتلة الأحيائية أكبر مساهم في الطاقة المتجددة (10.2 ٪) وأغلبها (حوالي 60 ٪) من الكتلة الأحيائية التقليدية مستخدمة في الطهي والتدفئة في البلدان النامية ولكن أيضاً في ظل استخدام متزايد في التطبيقات الحديثة.[6] ومثلت الطاقة الكهرمائية 2.3 ٪، بينما مثلت مصادر الطاقة المتجددة الأخرى 0.4 ٪. [1.1.5] وفي 2008، أسهمت الطاقة المتجددة تقريباً بما قدره 19 ٪ من معروض الطاقة العالمي (16 ٪ قوى هيدرولوجية، 3 ٪ طاقة متجددة أخرى) وأسهم الوقود الأحيائي بنسبة 2 ٪ من الإمداد العالمي لوقود النقل على الطرق. وتم تأمين ما نسبته 27 ٪ من الوقود اللازم للتدفئة عالمياً من كل من الكتلة الأحيائية التقليدية (17 ٪)، والكتلة الأحيائية الحديثة (8 ٪)، والطاقة الحرارية الشمسية والحرارية الأرضية (2 ٪). وتباين بشكل كبير إسهام الطاقة المتجددة في معروض الطاقة الأولية حسب البلد والإقليم. [1.1.5، 1.3.1، 8.1]

لايزال نشر الطاقة المتجددة يشهد زيادة سريعة في السنوات الأخيرة (الشكل 3 ملخص لصانعي السياسات). وشجعت أنواع مختلفة من السياسات الحكومية والتكلفة المتناقصة للعديد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة والتغيرات في أسعار الوقود الأحفوري وزيادة الطلب على الطاقة وغيرها من العوامل استمرارية الزيادة في استخدام الطاقة المتجددة. [1.1.5، 9.3، 10.5، 11.2، 11.3] وبالرغم من التحديات المالية العالمية، تواصلت قدرة الطاقة المتجددة في النمو السريع في 2009، مقارنة بالقدرة المتراكمة المجمعة من السنة السابقة، بما في ذلك قوة الرياح (32 ٪ زيادة، 38 جيجاواط مضافة)، الطاقة الكهرمائية (3 ٪، 31 جيجاواط مضافة) فوتوفلطائية، (53 ٪، 7.5 جيجاواط مضافة) القوى الحرارية الأرضية (4 ٪، 0.4 جيجاواط مضافة) الماء الساخن/التدفئة الشمسية (21 ٪، 31 جيجاواط مضافة). ويسهم الوقود الأحيائي بما نسبته 2 ٪ من الطلب على وقود النقل بالطرق عالمياً في 2008 وقريباً من 3 ٪ في 2009. وزاد الإنتاج السنوي من الإيثانول إلى 1.6 إكسغل (76 مليار لتر) بنهاية 2009، وبلغ الديزل الحيوي 6.0 إكسغل (17 مليار لتر). [1.1.5، 2.4، 3.4، 4.4، 5.4، 7.4]

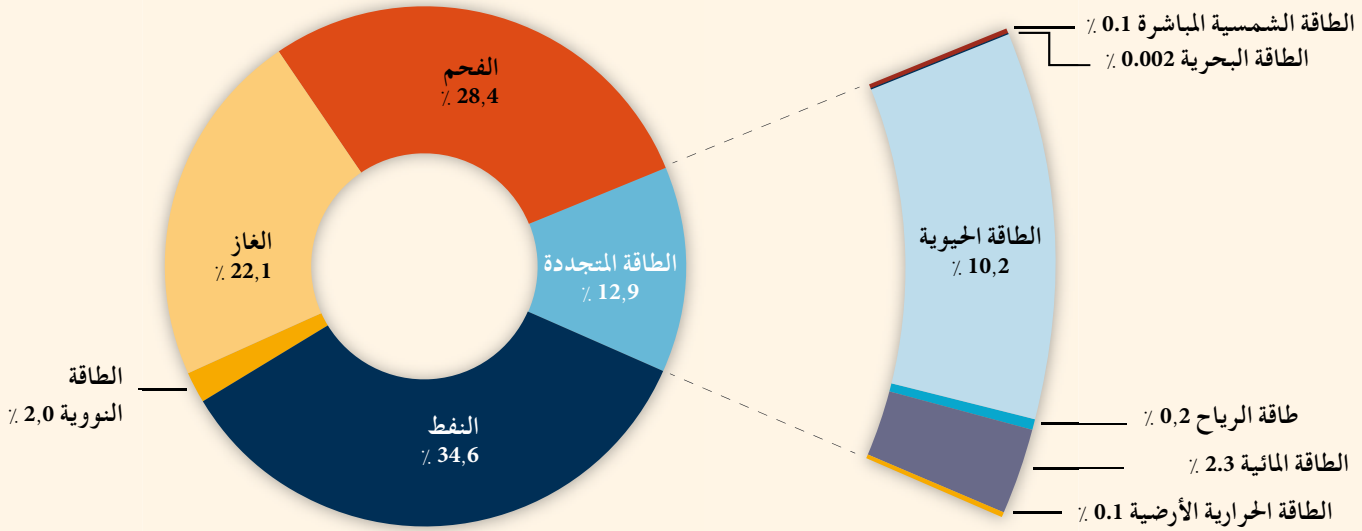
وأضافت الطاقة المتجددة 140 جيجاواط من قرابة 300 جيجاواط من القدرة الكهربائية المولدة الجديدة المضافة عالمياً على مدى العامين من 2008 إلى 2009. وإجمالاً، تستضيف البلدان النامية 53 ٪ من قدرة التوليد الكهربائي من الطاقة المتجددة عالمياً. [1.1.5]. وفي نهاية 2009، شمل استخدام الطاقة المتجددة في أسواق التدفئة/الماء الساخن الكتلة الأحيائية الحديثة (270 جيجاواط)، الشمسية (180 جيجاواط)، والحرارية الأرضية (60 جيجاواط). وزاد أيضاً استخدام الطاقة المتجددة غير المركزية (باستبعاد الكتلة الأحيائية التقليدية) في الوفاء باحتياجات الطاقة في الريف على مستوى الأسر أو القرى، بما في ذلك محطات الطاقة الكهرمائية، وخيارات متنوعة للكتلة الحيوية الحديثة، والألياف الضوئية، والرياح أو النظم الهجينة التي تجمع بين تكنولوجيات متعددة. [1.1.5، 2.4، 3.4، 4.4، 5.4]

5 1 إكسغل = 10^{18} غل (وحدة قياس الطاقة) = 23.88 مليون طن من معادل النفط.

6 وبالإضافة لهذا النصيب الذي يمثل 60 ٪ من الكتلة الأحيائية التقليدية، هناك استخدام للكتلة الأحيائية يُقدر بحجم يتراوح بين 20 ٪ إلى 40 ٪ غير مدرج في قواعد بيانات الطاقة الأساسية الرسمية، مثل الروث، وإنتاج غير محسوب من الفحم وقطع الأشجار غير القانوني، وجمع الحطب، واستخدام المخلفات الزراعية. [2.1، 2.5]

إطار 2 ملخص لصانعي السياسات: نظام المحاسبة للطاقة الأولية في التقرير الخاص (SRREN)

ليس ثمة طريقة محاسبية واحدة وواضحة لحساب الطاقة الأولية من مصادر الطاقة غير القابلة للاحتراق مثل مصادر الطاقة المتجددة غير القابلة للاحتراق والطاقة النووية. ويعتمد التقرير الخاص (SRREN) طريقة «المكافئ المباشر» لنظام المحاسبة لعروض الطاقة الأساسي. وفي هذه الطريقة، يُحسب الوقود الأحفوري والطاقة الحيوية على أساس قيمتهما الاحترارية بينما تحسب مصادر الطاقة غير القابلة للاحتراق، بما في ذلك الطاقة النووية وكل مصادر الطاقة المتجددة غير القابلة للاحتراق، على أساس طاقتها الثانوية التي تنتجها. وربما يسفر هذا عن تقديرات دونية لإسهام مصادر الطاقة المتجددة غير القابلة للاحتراق والطاقة النووية مقارنة بالطاقة الحيوية والوقود الأحفوري بمعامل يتراوح تقريباً من 1.2 إلى 3. ويترك اختيار القيمة المحاسبية أثره أيضاً على الحصة النسبية لمصادر الطاقة المختلفة منفردة. وتنعكس طريقة المحاسبة هذه في المقارنات في البيانات والأرقام المطروحة في التقرير الخاص (SRREN) بين الوقود الأحفوري والطاقة الحيوية من جانب، ومصادر الطاقة المتجددة غير القابلة للاحتراق والطاقة النووية من جانب آخر. [1.1.9، المرفق II.4]

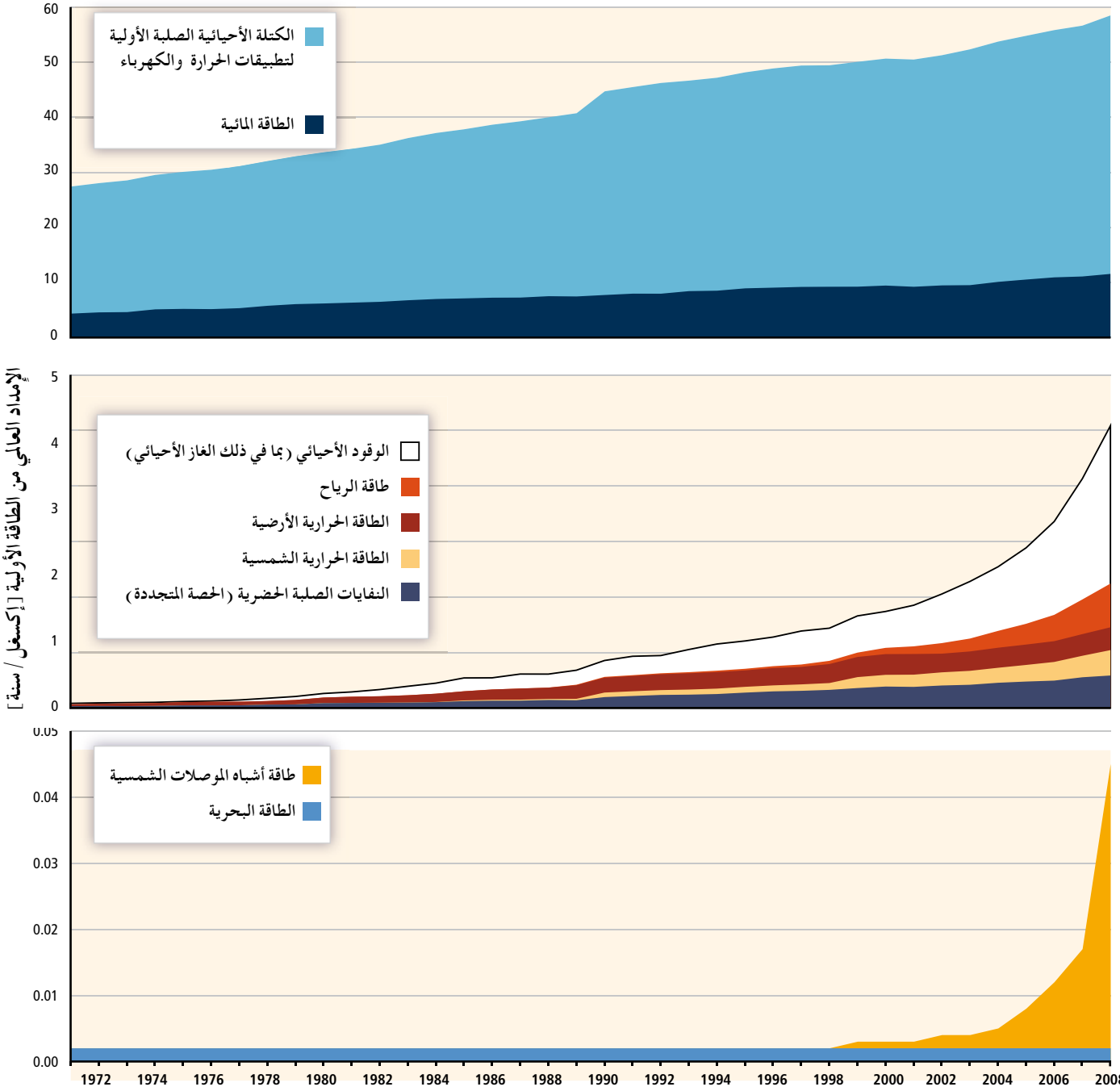


الشكل 2 ملخص لصانعي السياسات: حصص مصادر الطاقة من إجمالي الإمداد بالطاقة الأولية العالمي في 2008 (492 إكسغل) وتسهم الكتلة الأحيائية الحديثة بنسبة 38 ٪ من إجمالي حصة الكتلة الأحيائية [الشكل 1.10، 1.1.5]

ملاحظات: حُولت البيانات الأساسية للأرقام لطريقة "المكافئ المباشر" للمحاسبة لإمداد الطاقة الأولية. [الإطار 2 ملخص لصانعي السياسات 1.1.9، المرفق II.4]

لن تحد الإمكانات الفنية العالمية[7] لمصادر الطاقة المتجددة النمو المتواصل في استخدام الطاقة المتجددة. ثمة طائفة عريضة من التقديرات متاحة في الأدبيات، بيد أن الدراسات كشفت باتساق عن أن إجمالي الإمكانية الفنية العالمية للطاقة المتجددة هي أعلى بشكل هائل عن الطلب العالمي للطاقة (الشكل 4 ملخص لصانعي السياسات) [1.2.2، 10.3، المرفق الثاني] وتعد الإمكانية الفنية للطاقة الشمسية الأعلى بين مصادر الطاقة المتجددة، لكن الإمكانية الفنية الهائلة تتواجد في مصادر الطاقة المتجددة الستة. حتى في الأقاليم ذات المستويات المنخفضة نسبياً من الإمكانية الفنية لأي من مصادر الطاقة المتجددة منفردة،

7 تتباين تعريفات الإمكانية الفنية غالباً حسب الدراسة. تستخدم «الإمكانية الفنية» في التقرير الخاص (SRREN) بوصفها كمية من ناتج الطاقة المتجددة من التنفيذ الكامل للتكنولوجيات أو الممارسات التي جرى تجريبها. ولا توجد إشارة واضحة للتكاليف، أو العوائق أو السياسات. ومع ذلك فإن الإمكانيات الفنية الواردة في الأدبيات والمقيّمة في التقرير الخاص (SRREN) ربما وضعت في الحسبان العقبات العملية وعندما تُذكر صراحة فإنه يُشار إليها عموماً في التقرير الأساسي. [المرفق الأول]

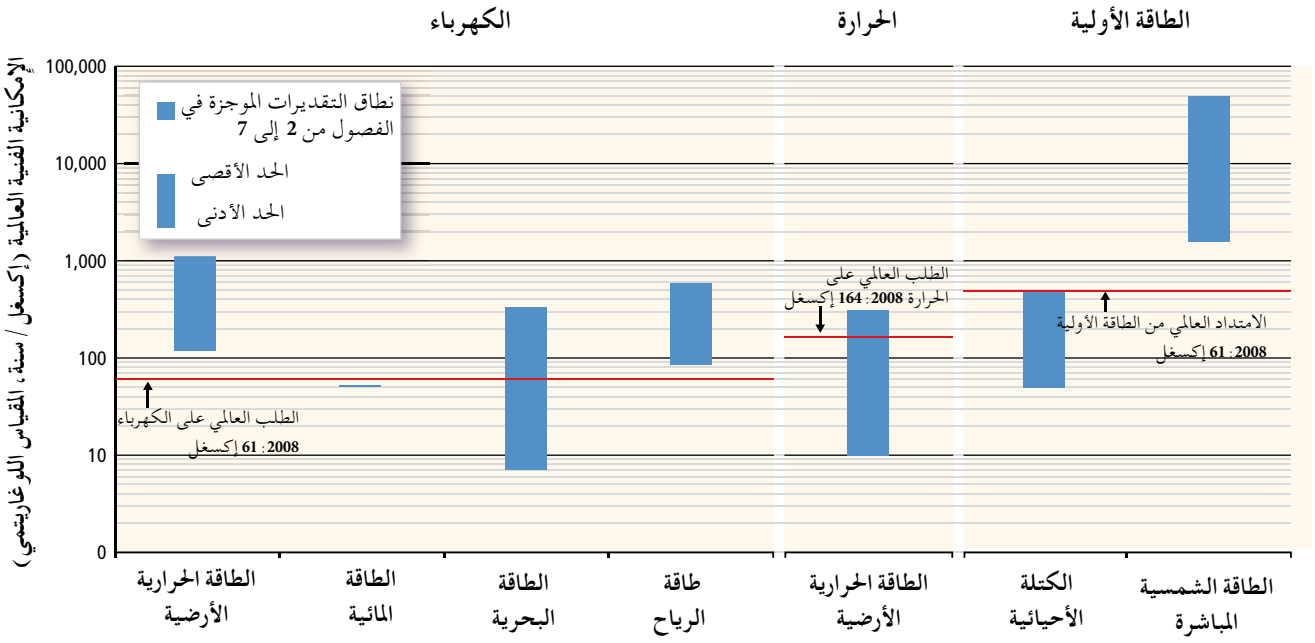


الشكل 3 ملخص لصانعي السياسات: التطور التاريخي للإمداد بالطاقة الأولية عالمياً من الطاقة المتجددة من 1971 إلى 2008 [الشكل 1.12، 1.1.5]

ملاحظات: جرت الإشارة إلى التكنولوجيات بوحدات رأسية مستقلة لأغراض التوضيح فحسب. وحولت البيانات الأساسية للشكل إلى أسلوب "المكافئ المباشر" لحساب الإمداد بالطاقة الأولية [الإطار 2 ملخص لصانعي السياسات، 1.1.9، المرفق II.4]، فيما عدا أنه تم الإبلاغ عن محتوى الطاقة من الوقود الحيوي من حيث الإمداد بالطاقة الثانوية (الكتلة الأحيائية الأولية المستخدمة لإنتاج الوقود الحيوي ستكون أعلى نتيجة نظراً للخسارة الناجمة عن عملية التحويل [2.3، 2.4]).

فهناك عادة فرص معتبرة للانتشار المتزايد مقارنة بالمستويات الحالية. [1.2.2، 2.2، 2.8، 3.2، 4.2، 5.2، 6.2، 6.4، 7.2، 8.2، 8.3، 10.3] وعلى المدى البعيد ومع مستويات الانتشار الأعلى، تشير الإمكانيات الفنية، رغم هذا، إلى قيد على إسهام بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة منفردة. فعوامل من قبيل شواغل الاستدامة [9.3]، وقبول الجمهور [9.5]، وإدماج النظام وعوائق البنية الأساسية [8.2]، أو العوامل الاقتصادية [10.3] ربما تحد أيضاً من نشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة.

وسيكون لتغير المناخ آثاره على الحجم والتوزيع الجغرافي للإمكانية التكنولوجية لمصادر الطاقة المتجددة، لكن البحوث في مدى هذه الآثار الممكنة مازالت في بدايتها. ولأن مصادر الطاقة المتجددة في حالات عديدة تعتمد على المناخ، فإن تغير المناخ العالمي سيترك أثره على أساس مصادر الطاقة المتجددة، بالرغم من أن الطبيعة الدقيقة وحجم هذه الآثار غير مؤكدة. ومن الممكن أن تتأثر الإمكانية الفنية المستقبلية للطاقة الحيوية بتغير المناخ من خلال الآثار الواقعة على إنتاج الكتلة الأحيائية مثل الظروف المتغيرة للتربة، والتهطال، وإنتاجية المحاصيل وغيرها من العوامل. ويُتوقع أن يكون الأثر الإجمالي على الإمكانية الفنية للطاقة الحيوية صغيراً نسبياً على أساس عالمي في ظل تغير ما على مستوى العالم في متوسط درجة الحرارة بأقل من 2 درجة مئوية. ورغم هذا، يمكن توقع الاختلافات الإقليمية المعتبرة، وظروف عدم اليقين أضخم وأكثر صعوبة في تقييمها مقارنة بخيارات الطاقة المتجددة الأخرى من جراء العدد الضخم من آليات الإفادة بالنتائج المتضمنة. [2.2، 2.6] وبالنسبة للطاقة الشمسية، يُتوقع أن يكون أثر هذه التغيرات على الإمكانية الفنية الكلية صغيراً، بالرغم من أنه من المتوقع أن يترك تغير المناخ أثره على توزيع وتقلبية غطاء السحب. [3.2] وبالنسبة للطاقة الكهرمائية، يُتوقع أن تكون الآثار الإجمالية على الإمكانية الفنية العالمية إيجابية بشكل طفيف. ومع هذا تشير النتائج أيضاً إلى إمكانية تنوعات مستدامة عبر الأقاليم وحتى داخل البلدان. [5.2] وتشير البحوث حتى تاريخه إلى أن ليس من المتوقع أن يترك تغير المناخ أثراً كبيراً على الإمكانية التقنية العالمية لتطور طاقة الرياح، لكن ربما يُتوقع تغيرات في التوزيع الإقليمي لمصادر طاقة الرياح. [7.2] ومن غير المتوقع أن تترك التغيرات المناخية آثار ملحوظة على الحجم والتوزيع الجغرافي لمصادر الطاقة الحرارية الأرضية أو الطاقة البحرية. [4.2، 6.2]



نطاق التقديرات للإمكانيات الفنية العالمية

	الطاقة الحرارية الأرضية	الطاقة المائية	الطاقة البحرية	طاقة الرياح	الطاقة الحرارية الأرضية	الكتلة الأحيائية	الطاقة الشمسية المباشرة
الحد الأقصى (بالإكسغل / سنة)	1109	52	331	580	312	500	49837
الحد الأدنى (بالإكسغل / سنة)	118	50	7	85	10	50	1575

الشكل 4 ملخص لصانعي السياسات: نطاقات الإمكانيات الفنية العالمية لموارد الطاقة المتجددة المستخلصة من الدراسات المقدمة في الفصول من 2 إلى 7. وتعرض طاقة الكتلة الأحيائية والطاقة الشمسية على أنهما طاقة أولية لاستخداماتهما المتعددة؛ لاحظ أن الأرقام مقدمة على المقياس اللوغاريتمي لاتساع مدى البيانات التي جرى تقييمها [الشكل 1.17، 1.2.3].

ملاحظات: تمثل الإمكانيات الفنية الواردة هنا إجمالي الإمكانيات على المستوى العالمي للإمداد السنوي من الطاقة المتجددة ولا تستقطع أي إمكانية جرى استخدامها. لاحظ أن مصادر الكهرباء من الطاقة المتجددة يمكن أيضاً أن تُستخدم في تطبيقات التدفئة، بينما وردت مصادر الكتلة الأحيائية والطاقة الشمسية فقط في إطار الطاقة الأولية مع أنه يمكن استخدامها لتلبية الاحتياجات المتنوعة المتصلة بخدمات الطاقة. وتستند النطاقات إلى طرق متنوعة كما تطبق على سنوات مختلفة في المستقبل؛ وبالتالي فإن النطاقات التي تنجم عنها لا يمكن المقارنة بينها بشكل صارم بالنسبة لمختلف التكنولوجيات. وللاطلاع على البيانات التي يستند إليها الشكل 4، والملاحظات الإضافية ذات الصلة، انظر الفصل 1 المرفق، الجدول A.1.1 (فضلاً عن الفصول الأساسية).

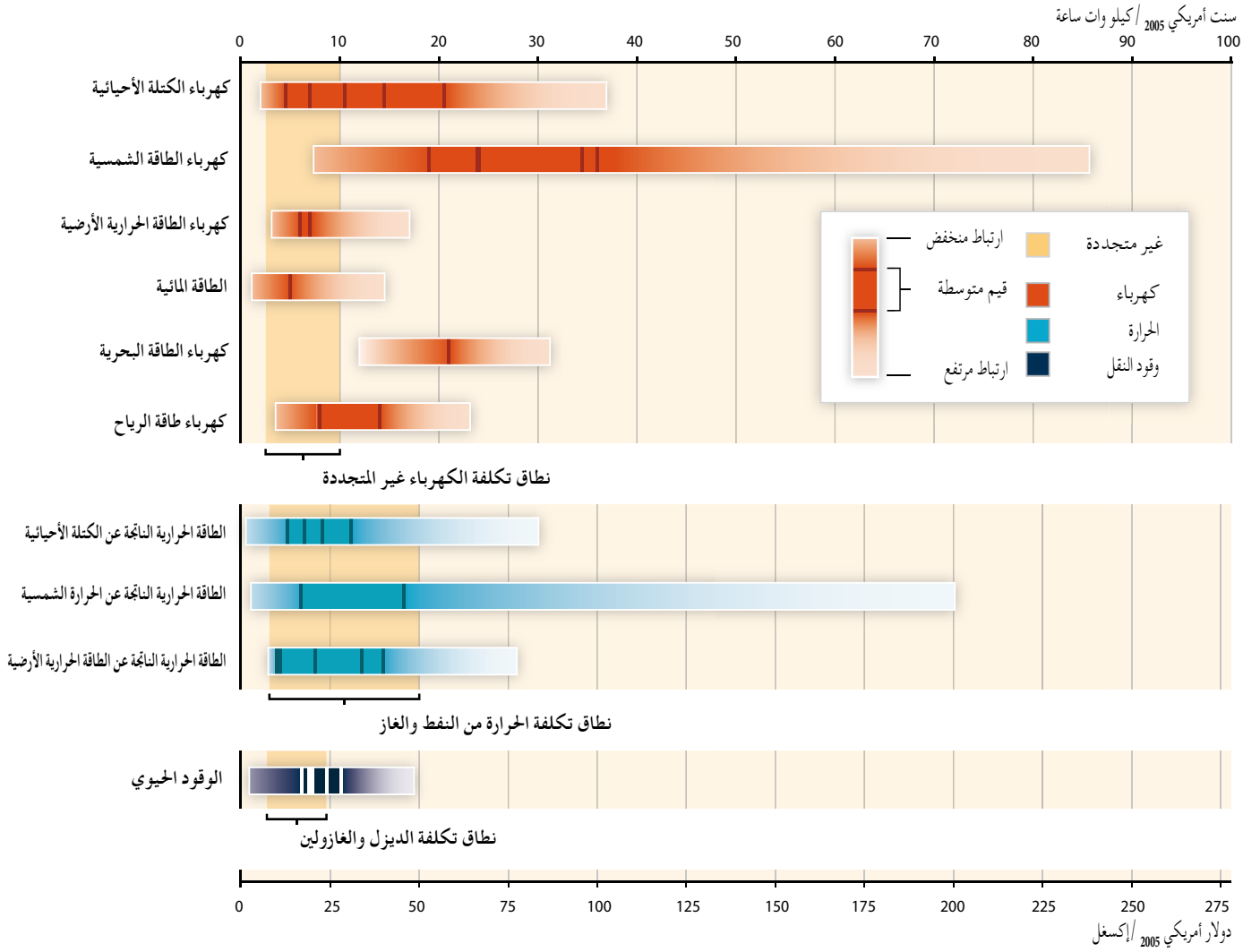
التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة[8] للعديد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة أعلى حالياً من الأسعار القائمة للطاقة، بالرغم من أن الطاقة المتجددة في إعدادات مختلفة هي في وضع تنافسي بالفعل من الناحية الاقتصادية. وتتسم نطاقات تكاليف الطاقة الإجمالية المقومة مؤخراً لتكنولوجيات منتقاة من الطاقة المتجددة المتاحة تجارياً بقاعدها الواسعة، اعتماداً على عدد من العوامل التي تشمل، على سبيل المثال لا الحصر، خصائص التكنولوجيا، التباين الإقليمي في التكلفة والأداء، ومعدلات الخصم المختلفة (الشكل 5 ملخص لصانعي السياسات) [1.3.2، 2.3، 2.7، 3.8، 4.8، 5.8، 6.7، 7.8، 10.5، المرفق الثالث]. وتنافس بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة على نطاق واسع أسعار الطاقة بالأسواق الحالية. ويستطيع العديد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى توفير خدمات طاقة تنافسية في ظروف معينة، على سبيل المثال، في الأقاليم التي بها ظروف مواتية للمصادر، أو تلك التي تفتقر للبنية الأساسية الخاصة بإمدادات الطاقة الأخرى منخفضة التكلفة. وفي معظم أقاليم العالم، مازالت تدابير السياسة مطلوبة لضمان النشر السريع للعديد من مصادر الطاقة المتجددة. [2.3، 2.7، 3.8، 4.7، 5.8، 6.7، 7.8، 10.5]

وتحويل التكاليف الخارجية للطاقة إلى أموال سوف يحسن من التنافسية النسبية للطاقة المتجددة. وينطبق الأمر نفسه في حالة زيادة أسعار السوق لأسباب أخرى. (الشكل 5 ملخص لصانعي السياسات) [10.6]. وإجمالي التكلفة المقومة للطاقة الخاصة بتكنولوجيا ما ليس هو المحدد الوحيد لقيمتها أو تنافسيتها الاقتصادية. وتعتمد جاذبية خيار معروض طاقة بعينه أيضاً على أبعاد اقتصادية أوسع وكذلك الأبعاد البيئية والاجتماعية، وعلى الإسهام الذي تقدمه التكنولوجيا للوفاء بخدمات طاقة محددة (مثلاً طلبات الذروة على الكهرباء)، أو ما تفرضه التكنولوجيا في شكل تكاليف إضافية على نظام الطاقة (تكاليف الإدماج مثلاً). [8.2، 9.3، 10.6]

شهدت تكلفة معظم تكنولوجيات الطاقة المتجددة انخفاضاً وسوف يسفر مزيد من أوجه التقدم التقني المتوقعة عن مزيد من خفض التكاليف. وقد اتضحت أوجه التقدم الملحوظ في تكنولوجيات الطاقة المتجددة وما صاحبها من تخفيضات في التكلفة بعيدة المدى خلال العقود الأخيرة، بالرغم من ظهور بعض فترات ارتفاع الأسعار (من جراء، على سبيل المثال، زيادة الطلب على الطاقة المتجددة فضلاً عن المعروض منها) (الشكل 6 ملخص لصانعي السياسات). وإسهام الدوافع المختلفة (مثل، البحوث والتطوير، ووفورات الحجم، التعلم الموجه نحو النشر، والمنافسة السوقية المتزايدة بين موردي الطاقة المتجددة) ليس دائماً مفهوماً بالتفصيل. [2.7، 3.8، 7.8، 10.5] ويُتوقع أن تخفض التكلفة أكثر، مما سيسفر عن انتشار ممكن أكبر، وبالتالي التخفيف من حدة تغير المناخ. وتشمل أمثلة المجالات المهمة لجوانب التقدم التكنولوجي الممكن: نظم إمداد وإنتاج مواد أولية جديدة ومحسنة، الوقود الأحيائي المنتج من خلال عمليات جديدة (يطلق عليها أيضاً الجيل الجديد أو الوقود الأحيائي المتقدم، مثل الليجنوسيليلوز) والتكرير الحيوي المتقدم [2.6] والتكنولوجيات المتقدمة لأشباه الموصلات الضوئية (PV) ومركزات الطاقة الشمسية (CSP)، وعمليات التصنيع [3.7]؛ ونظم الطاقة الحرارية الأرضية المعززة (EGS) [4.6] والتكنولوجيات الناشئة المتعددة للطاقة البحرية [6.6] إنشاء وتصميم محركات بحرية لطاقة الرياح البحرية [7.7] ويتوقع أن تخفض تكلفة الطاقة الكهرمائية لتكون أقل بشكل محلوظ من تكلفة بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى، وتوجد فرص البحوث والتطوير لتحقيق الجدوى الفنية لمشاريع الطاقة الكهرمائية في نطاق أوسع من المواقع ولتحسين الأداء الفني للمشاريع القائمة والجديدة [5.3، 5.7، 5.8].

وربما هناك حاجة لتناول تشكيلة من التحديات الخاصة بالتكنولوجيا (بالإضافة للتكلفة) لتمكين الطاقة المتجددة من تطوير إسهامها تطويراً ملحوظاً لتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة. وبسبب الاستخدام المتزايد والمتواصل للطاقة الحيوية، فإنه بوسع التصميم والتنفيذ الجيدين ومراقبة أطر الاستدامة تقليل الآثار السلبية وتعظيم المنافع فيما يخص القضايا الاجتماعية والاقتصادية والبيئية [ملخص لصانعي السياسات، 5، 2.2، 2.5، 2.8]. وبالنسبة للطاقة الشمسية، يمكن للعوائق التنظيمية والمؤسسية أن تعطل الانتشار، وكذا الأمر بالنسبة للادماج والنقل. [3.9] وفيما يخص الطاقة الحرارية الأرضية، سيكون إثبات أن من الممكن نشر نظم الطاقة الحرارية الأرضية المعززة اقتصادياً وبشكل مستدام وعلى نطاق واسع تحدياً مهماً. [4.5، 4.6، 4.7، 4.8] وبوسع مشاريع الطاقة الكهرمائية الجديدة أن يكون لها آثار ايكولوجية واجتماعية خاصة بمواقعها، وربما تتطلب زيادة الانتشار أدوات محسنة لتقييم الاستدامة، وتعاوناً إقليمياً ومتعدد الأطراف لتناول احتياجات الطاقة والماء. [5.6، 5.9، 5.10] ويمكن لنشر الطاقة البحرية أن يستفيد من كل من مراكز الاختبار للمشاريع التجريبية، ومن اللوائح والسياسات المخصصة التي تشجع الانتشار المبكر. [6.4] وبالنسبة لطاقة الرياح، ربما تكون الحلول الفنية والمؤسسية المتصلة بقيود النقل وشواغل الإدماج التشغيلي وعوائق ذات أهمية خاصة، وكذا الأمر بالنسبة لقضايا قبول الرأي العام ولاسيما تلك التي لها علاقة بالأثر على المناظر العامة. [7.5، 7.6، 7.9]

8 تمثل التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة تكلفة نظام توليد الطاقة على مدى عمر المشروع، وتحسب كسعر الوحدة الذي يجب أن تولّد الطاقة من مصدر معين على مدى عمره حتى ينتهي دونما خسائر أرباح أو خسائر. وهي تتضمن عادة التكاليف الخاصة التي تتراكم عند المنبع في سلسلة القيمة، لكن لا تتضمن التكلفة النهائية للتوصيل للمستهلك النهائي؛ أو تكلفة الإدماج؛ أو التكاليف البيئية الخارجية، أو غير ذلك. وليست الإعانات والإعفاءات الضريبية مدرجة أيضاً.

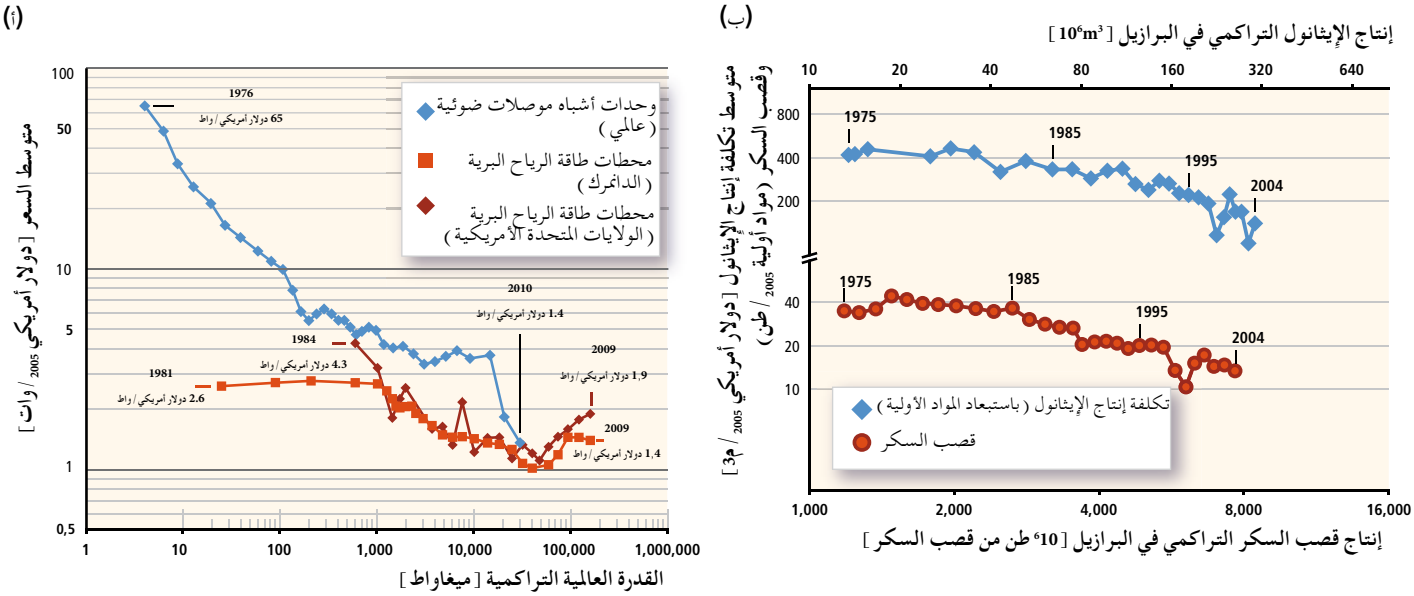


ملاحظات: عرضت القيم المتوسطة للفئات الفرعية التالية التي صنفت حسب الترتيب كما تظهر في النطاقات الخاصة بها (من اليمين إلى اليسار):

الكهرباء	الطاقة الحرارية	وقود النقل
الكتلة الأحيائية: **1** – الاحتراق المشترك **2** – على نطاق ضيق المزج بين بين الكهرباء والتدفئة (محرك الاحتراق الداخلي للغاز المحول) **3** – وقاد مخصص مباشر ومحرك الاحتراق (**CHP**) **4** – آلة احتراق صغيرة (توربين بخار) **5** – آلة احتراق صغيرة (دورة رانكين العضوية) **كهرباء الطاقة الشمسية:** **1** – التركيز على الطاقة الشمسية **2** – الألياف الضوئية في نطاق الاستخدام (محور واحد وفقرة ثابتة) **3** – ألياف ضوئية تجارية توضع أعلى السطح **4** – ألياف ضوئية منزلية توضع أعلى السطح **كهرباء الطاقة الحرارية الأرضية:** **1** – جهاز تكثيف الضوء **2** – جهاز الدورة الثنائية **الطاقة المائية:** **1** – كل الأنواع **كهرباء الطاقة البحرية:** **1** – المد والجزر **كهرباء طاقة الرياح:** **1** – على اليابسة **2** – في البحر	**الطاقة الحرارية من الكتلة الأحيائية:** **1** – التدفئة والكهرباء من النفايات الحضرية الصلبة **2** – مزيج بين التدفئة والكهرباء بالهضم اللاهوائي **3** – مزيج بين التدفئة والكهرباء بتوربين البخار **4** – نظام التدفئة المنزلية ذات الأسام **الطاقة الحرارية الناتجة عن الحرارة الشمسية:** **1** – نظم المياه الساخنة المنزلية في الصين **2** – تسخين الماء وتدفئة الأمكاكن **كهرباء الطاقة الحرارية:** **1** – الدفيئات **2** – البرك المائية غير المغطاة **3** – تدفئة المدن **4** – مضخات التدفئة بالطاقة الحرارية الأرضية **5** – تدفئة المباني بالطاقة الحرارية الأرضية	**الوقود الحيوي:** **1** – إيثانول الذرة **2** – ديزل الصويا الحيوي **3** – إيثانول القمح **4** – إيثانول قصب السكر **5** – ديزل زيت النخيل الحيوي

يستند النطاق المخفض للتكلفة الإجمالية المقومة للطاقة عن كل تكنولوجيا طاقة متجددة إلى توليفة من قيم الإدخال الأكثر مواتاة، حيث يستند النطاق العلوي على توليفة من قيم الإدخال الأقل مواتاة. ونطاقات المرجع في خلفية الشكل لخيارات كهرباء الطاقة غير المتجددة ذات دلالة بشأن التكلفة الإجمالية المقومة للتوليد المركزي للكهرباء من مصادر غير متجددة. ونطاقات المرجع للطاقة الحرارية ذات دلالة للتكاليف الأخيرة لخيارات المعروض من الطاقة الحرارية القائمة على الغاز والنفط. ونطاقات المرجع لوقود النقل تستند على أسعار النفط الخام الأخيرة بما قيمته **40** دولار أمريكي للبرميل وأسعار الغاز والديزل المناظرة، باستبعاد الضرائب.

الشكل 5 ملخص لصانعي السياسات: نطاق التكلفة الإجمالية المقومة الحديثة العهد للطاقة لبعض التكنولوجيات الخاصة بالطاقة المتجددة المتاحة تجارياً مقارنة بالتكاليف الحديثة للطاقة غير المتجددة. وجرى تجميع الفئات الفرعية للتكنولوجيا ومعدلات الخصم في هذا الشكل. وللاطلاع على أشكال ذات صلة بمجموعات أقل أو بدونها، انظر [1.3.2، 10.5، المرفق الثالث].



الشكل 6 ملخص لصانعي السياسات: منحنيات خبرة مختارة على المقياس اللوغاريتمي لـ(أ) سعر وحدات أشباه موصلات ضوئية من السيليكون ومحطات كهرباء الرياح البرية بالوحدة من القدرة؛ و(ب) تكلفة إنتاج الإيثانول من قصب السكر [البيانات من الشكل 3.17، 3.8.3، الشكل 7.20، 7.8.2، الشكل2.21، 2.7.2]

ملاحظات: اعتماداً على السياق، قد تحدث تخفيضات في التكلفة على مستويات جغرافية مختلفة. والأمثلة المقدمة على مستوى البلدان هنا مأخوذة من الأدبيات المنشورة. ولا توجد مجموعة بيانات عالمية عن تكاليف أو أسعار محطة الطاقة المستمدة من الرياح. وتعطي التخفيضات في تكاليف أو أسعار التكنولوجيا لوحدة القدرة تقديرات دونية لتخفيضات التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة الخاصة بالتكنولوجيا عندما تحدث تحسينات في الأداء [7.8.4، 10.5].

4 - إدماج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة في الحاضر والمستقبل

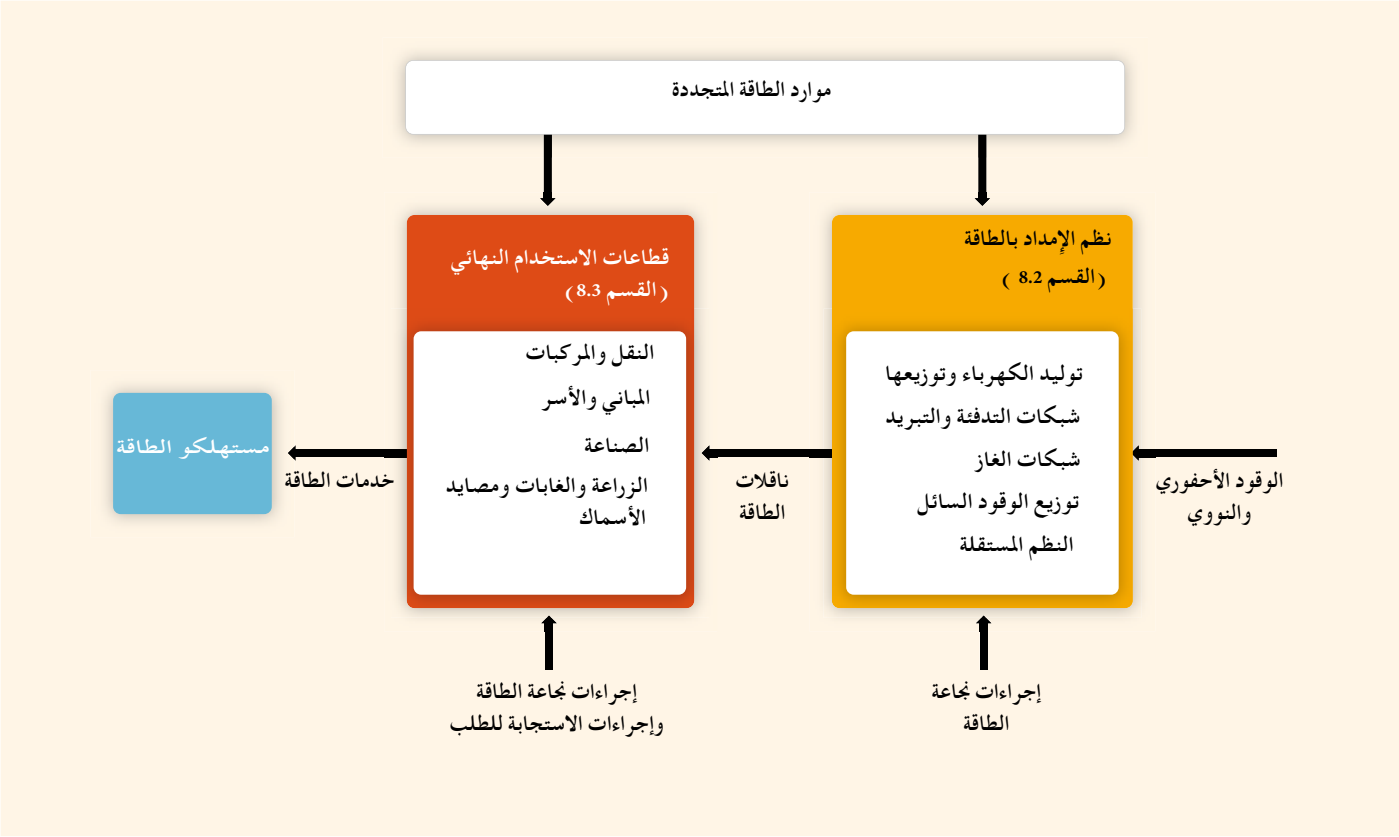
أدمجت مصادر متنوعة للطاقة المتجددة فعلياً وبنجاح في نظم الإمداد بالطاقة [8.2] وقطاعات المستخدم النهائي [8.3] (الشكل 7 ملخص لصانعي السياسات).

يمكن لخصائص مصادر الطاقة المتجددة المختلفة أن تؤثر على نطاق تحدي الإدماج. وبعض مصادر الطاقة المتجددة موزعة جغرافياً على نطاق واسع. والبعض الآخر، مثل مصادر الطاقة الكهرمائية واسعة النطاق، من الممكن أن تكون مركزة أكثر، لكن خيارات الإدماج المتصلة بها يعوقها الموقع الجغرافي. وبعض مصادر الطاقة المتجددة متغيرة ولا يمكن التنبؤ بها إلا بشكل محدود. وبعضها له كثافة طاقة مادية منخفضة ومواصفات فنية مختلفة عن الوقود الأحفوري. ومثل هذه الخصائص من الممكن أن تعيق سهولة الإدماج وأن تتسبب في زيادة تكاليف النظام خاصة عندما تصل حصص الطاقة المتجددة إلى أعلى مستوياتها. [8.2]

إدماج الطاقة المتجددة في معظم نظم إمدادات الطاقة الحالية وقطاعات الاستخدام النهائي بمعدل متسارع – لتصل إلى حصص أعلى من الطاقة المتجددة – مسألة ممكنة من الناحية التكنولوجية، بالرغم من أن هذا سينطوي على عدد من التحديات الإضافية. ويُتوقع زيادة حصص الطاقة المتجددة في الحافظة الإجمالية للتكنولوجيات المنخفضة الانبعاثات من غازات الدفيئة. [10.3، الجداول 10.4–10.6] وتحديات إدماج الطاقة المتجددة مرتبطة بسياقها، وخاصة بالموقع وتتضمن تعديل النظم الحالية للإمداد بالطاقة، سواء كانت للكهرباء، أو للطاقة الحرارية، أو الوقود الغازي، أو الوقود السائل بما في ذلك الإدماج مباشرة في قطاعات الاستخدام النهائي [8.2، 8.3].

تعتمد تكاليف وتحديات إدماج الحصص المتزايدة من الطاقة المتجددة في نظم الإمداد بالطاقة الحالية على حصة الطاقة المتجددة حالياً، وتوافر مصادرها وخصائصها، وخصائص النظام، وكيف سيرتقي النظام ويتطور مستقبلاً.

- يمكن إدماج الطاقة المتجددة في كل أنواع نظم الطاقة الكهربائية، من الشبكات الكبيرة والمترابطة عبر القارات [8.2.1]، إلى النظم الصغيرة القائمة بمفردها والمباني المنفردة [8.2.5]. وتتضمن خصائص النظام ذات الصلة التوليد المختلط ومرونته، والبنية الأساسية للشبكة، وتصميمات سوق الطاقة والقواعد المؤسسية، ومواقع الطلب، وسمات الطلب، والقدرة على التحكم والاتصال. ويمكن أن تكون طاقة الرياح وطاقة أشباه الموصلات الضوئية الشمسية ومركزات الطاقة الشمسية



الشكل 7 ملخص لصانعي السياسات: مسارات تكامل الطاقة المتجددة للتزويد بخدمات الطاقة إما ضمن نظم الإمداد بالطاقة أو في الموقع للاستعمال من قبل القطاعات المستعملة النهائية. [الشكل 8.1].

(CSP) بدون تخزين أكثر صعوبة في دمجها مقارنة بالطاقة الكهرمائية، والطاقة الحيوية، ومركزات الطاقة الشمسية (CSP) ذات التخزين، والطاقة الحرارية الأرضية القابلة للتوزيع[9].

- ومع زيادة تغلغل مصادر مختلفة من الطاقة المتجددة، قد تصبح مسألة موثوقية النظام المستمرة فيها مزيد من التحدي وقد تكلف أكثر. وتعتبر حافظة التكنولوجيات التكميلية للطاقة المتجددة أحد الحلول لخفض المخاطر وتكاليف إدماج الطاقة المتجددة. وتتضمن الحلول الأخرى وضع مشاريع توليد مرنة تكميلية وتشغيل أكثر مرونة للمشاريع القائمة؛ والتنبؤ المحسن قصير الأجل؛ وأدوات تشغيل النظام والتخطيط له؛ والطلب على الكهرباء الذي يستطاع بفضله الاستجابة فيما يخص توافر المعروض؛ وتكنولوجيات تخزين الطاقة (بما في ذلك الطاقة الكهرمائية القائمة على التخزين)؛ وترتيبات مؤسسية معدلة. وربما تحتاج شبكة نقل الكهرباء (بما في ذلك التوصيلات المتبادلة بين النظم) و/أو البنية الأساسية للتوزيع إلى تعزيزها وتوسيع نطاقها، ويرجع ذلك جزئياً إلى التوزيع الجغرافي والمواقع الثابتة البعيدة للعديد من مصادر الطاقة المتجددة. [8.2.1]

- ويمكن لنظم تدفئة المدن أن تستخدم مدخلات طاقة متجددة حرارية منخفضة الحرارة مثل الطاقة الحرارية من المصادر الشمسية ومن الطاقة الحرارية الأرضية، أو الكتلة الأحيائية، بما في ذلك المصادر ذات الاستخدامات التنافسية القليلة مثل الوقود المستخرج من النفايات. وبوسع تبريد المدن أن يستفيد من مجاري المياه الطبيعية الباردة. وتستطيع القدرة التخزينية الحرارية والتوليد المشترك المرن التغلب على التحديات الخاصة بتقلبية العرض والطلب، فضلاً عن توفير الاستجابة للطلب على نظم الكهرباء. [8.2.2]

9 تُصنف محطات الكهرباء التي تستطيع جدولة توليد الطاقة حسب وعند الطلب بوصفها قابلة للتوزيع [8.2.1.1، المرفق الأول] وتكنولوجيات الطاقة المتجددة المتغيرة قابلة للتوزيع جزئياً (وبمعنى آخر، فقط عندما تكون مصادر الطاقة المتجددة متاحة). وتُصنف محطات المركزات (CSP) بوصفها قابلة للتوزيع عندما تُخزن الطاقة الحرارية للاستخدام ليلاً أو عندما تكون أشعة الشمس ضعيفة.

- وفي شبكات توزيع الغاز، يمكن إنجاز حقن الميثان الحيوي، أو في المستقبل، الهيدروجين المشتق من الطاقة المتجددة أو الغاز الطبيعي الاصطناعي للعديد من التطبيقات غير أن الإدماج الناجح يتطلب الوفاء بمعايير جودة مناسبة للغاز وتحديث خطوط الأنابيب حسب الاقتضاء [8.2.3].

- وتستطيع نظم الوقود السائل إدماج الوقود الحيوي لاستخدامات النقل أو استخدامات الطهي والتدفئة. الوقود الحيوي الخالص (100 ٪)، أو في الكثير من الأحوال الوقود المختلطة بالوقود المشتق من البترول، يحتاج عادة للوفاء بالمعايير الفنية المتسقة مع مواصفات وقود محرك المركبات. [8.2.4، 8.3.1]

هناك مسارات عديدة لزيادة حصص الطاقة المتجددة في كل قطاعات الاستخدام النهائي. وترتبط سهولة الإدماج بالإقليم، والمواصفات الخاصة بالقطاع والتكنولوجيا.

- بالنسبة للنقل، من المتوقع أن يبقى الوقود الأحيائي السائل والغازي كما هو حالياً مدمجاً في نظم الإمداد بالوقود في عدد متنام من البلدان. وربما تتضمن خيارات الإدماج تحقيق الإنتاج اللامركزي في الموقع أو الانتاج المركزي لهيدروجين الطاقة المتجددة لمركبات خلية الوقود وكهرباء الطاقة المتجددة للمركبات الكهربائية والمركبات التي تتحرك على خطوط حديدية [8.2.1، 8.2.3] اعتماداً على عمليات تطوير تكنولوجيا المركبات والبنية الأساسية [8.3.1]. ومن الممكن أيضاً للطلب المستقبلي على المركبات الكهربائية أن يعزز نظم توليد الكهرباء المرنة [8.2.1، 8.3.1].

- وفي قطاع البناء، يمكن دمج تكنولوجيات الطاقة المتجددة في كل من الهياكل الجديدة والقائمة لإنتاج الكهرباء، والتدفئة، والتبريد. وربما يكون من الممكن عرض الفائض من المعروض، وخاصة لتصميمات المباني الناجعة من حيث استهلاك الطاقة [8.3.2]. وفي البلدان النامية، يعد دمج نظم الإمداد بالطاقة المتجددة ذي جدوى حتى بالنسبة للمساكن المتواضعة [8.3.2، 9.3.2].

- وغالباً ما تستخدم الزراعة، وكذلك صناعات الأغذية والألياف الكتلة الأحيائية للوفاء بالطلب على الطاقة الحرارية، والكهربائية المباشرة في الموقع. ويمكن أن تكون مصدراً صافياً لفائض الوقود والطاقة الحرارية والكهربائية لنظم الإمداد المجاورة [8.3.3، 8.3.4]. وزيادة إدماج الطاقة المتجددة لاستخدامات الصناعة هو خيار للعديد من القطاعات الفرعية، على سبيل المثال من خلال التكنولوجيات الحرارية الكهربائية، وعلى المدى البعيد، من خلال استخدام هيدروجين الطاقة المتجددة [8.3.3].

والتكاليف المرتبطة بإدماج الطاقة المتجددة، سواء بالنسبة للكهرباء أو للتدفئة أو للتبريد أو للوقود الغازي أو السائل هي مرتبطة بالسياق، ومرتبطة بخصوصية الموقع ومن الصعب عموماً تحديدها. وربما تتضمن هذه التكاليف تكاليف إضافية لاستثمارات البنية الأساسية للشبكة، وتشغيل النظام وخسائره، والتعديلات الأخرى لنظم الإمداد بالطاقة القائمة عند الحاجة. والدراسات المتاحة بشأن تكاليف الإدماج نادرة، وغالبا ما تنعدم التقديرات أو تتفاوت على نطاق واسع.

ولإدماج حصص الطاقة المتجددة، ستحتاج نظم الطاقة لأن تتطور وأن تتكيف [8.2، 8.3]. قد تشمل جهود الإدماج طويلة المدى استثمارات في إعداد البنية الأساسية؛ وتعديلات في أطر الحوكمة والأطر المؤسسية؛ ومراعاة الجوانب الاجتماعية والأسواق والتخطيط؛ وبناء القدرات في مجال استشراف نمو الطاقة المتجددة [8.2، 8.3]. علاوة على ذلك، ستكون الاستثمارات المتواصلة في البحوث والتطوير والتجريب، وبناء القدرات وغيرها من تدابير الدعم من المتطلبات لدمج التكنولوجيات الأقل نضجاً، التي تشمل الوقود الحيوي المنتج من عمليات جديدة (يُطلق عليه أيضاً الوقود الأحيائي المتقدم أو الجيل القادم من الوقود الأحيائي)، والوقود المستخلص من الطاقة الشمسية، والتبريد بالطاقة الشمسية، وتكنولوجيات الطاقة البحرية، وخلايا الوقود والمركبات الكهربائية [2.6، 3.7، 11.5، 11.6، 11.7].

وبوسع الطاقة المتجددة أن تشكل مستقبل الإمداد بالطاقة ونظم الاستخدام النهائي، وخاصة بالنسبة للكهرباء، التي يُتوقع أن تصل إلى حصص أعلى من الطاقة المتجددة قبل أي من قطاع الطاقة الحرارية أو قطاع وقود النقل على المستوى العالمي [10.3]. ويمكن ترافق هذا التوجه تطورات موازية في المركبات الكهربائية [8.3.1]، وزيادة التبريد والتدفئة التي تستخدم الكهرباء (بما في ذلك مضخات التدفئة) [8.2.2، 8.3.2، 8.3.3]، وخدمات الاستجابة المرنة للطلب (بما في ذلك استخدام العدادات الذكية) [8.2.1]، وكذا تخزين الطاقة وغيرها من التكنولوجيات.

ومع تطور نظم الطاقة والبنية الأساسية، وبالرغم من التعقيدات، ليس هناك إلا قليل من الحدود على التكنولوجيا الأساسية، إن كانت موجودة بالفعل، لدمج مجموعة من تكنولوجيات الطاقة المتجددة للوفاء بغالبية حصة إجمالي

الطلب على الطاقة في المواقع التي تتواجد فيها مصادر مناسبة للطاقة المتجددة أو يمكن أن توفر بها. ومع ذلك، فإن المعدل الفعلي للإدماج والحصص الناتجة للطاقة المتجددة سوف تتأثر بعوامل مثل التكاليف، والسياسات، والقضايا البيئية، والجوانب الاجتماعية. [8.2، 8.3، 9.3، 9.4، 10.2، 10.5]

5 - الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة

من الناحية التاريخية، ارتبطت التنمية الاقتصادية ارتباطاً وثيقاً بالاستخدام المتزايد للطاقة وتنامي انبعاثات غازات الدفيئة، وتستطيع الطاقة المتجددة المساعدة في فك هذا الارتباط والمساهمة في التنمية المستدامة. وبالرغم من أن الإسهام الدقيق للطاقة المتجددة في التنمية المستدامة بحاجة للتقييم في السياق القطري، تتيح الطاقة المتجددة الفرصة للإسهام في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، والحصول على الطاقة، وتأمين الإمداد بالطاقة، والتخفيف من تغير المناخ، والتقليل من الآثار السلبية على الصحة والبيئة. [9.2] وسيدعم توفير الحصول على خدمات الطاقة الحديثة تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية. [9.2.2، 9.3.2]

- **وتستطيع الطاقة المتجددة أن تسهم في التنمية الاجتماعية والاقتصادية.** وفي ظل الظروف المواتية، هناك فرصة لتوفير التكاليف مقارنة باستخدام الطاقة غير المتجددة، ولاسيما في المناطق البعيدة والمناطق الريفية الفقيرة التي تفتقر فيها الامدادات المركزية بالطاقة. [9.3.1، 9.3.2.] ويمكن غالباً خفض التكاليف المرتبطة باستيراد الطاقة من خلال نشر التكنولوجيات المحلية للطاقة المتجددة والتي تبثت قدرتها التنافسية [9.3.3]. ومن الممكن أن يكون للطاقة المتجددة أثر إيجابي على استحداث الوظائف بالرغم من أن الدراسات المتاحة تتباين فيما يخص حجم العمالة الصافية. [9.3.1].

- **ويمكن للطاقة المتجددة أن تساعد في تسريع وتيرة، الحصول على الطاقة، ولاسيما للناس البالغ عددهم 1.4 مليار نسمة الذين يعيشون بدون لكهرباء، بالإضافة إلى 1.3 مليار نسمة يستخدمون الكتلة الأحيائية التقليدية.** ويمكن أن يوفر الحصول على خدمات الطاقة الحديثة في مستوياتها الأساسية منافع مهمة للمجتمع أو للأسر. وفي العديد من البلدان النامية، وسّعت الشبكات اللامركزية المعتمدة على الطاقة المتجددة وإدماج الطاقة المتجددة في شبكات الطاقة المركزية من قاعدة الحصول على الطاقة وحسنتها. وعلاوة على ذلك، توفر أيضاً تكنولوجيات الطاقة المتجددة غير الكهربائية فرصاً لتحديث خدمات الطاقة، على سبيل المثال، استخدام الطاقة الشمسية لتسخين الماء وتجفيف المحاصيل، والوقود الأحيائي للنقل، والغاز الأحيائي والكتلة الأحيائية الحديثة للتدفئة والتبريد والطهي والإضاءة، وطاقة الرياح لضخ المياه. [9.3.2، 8.1] ويتوقع أن يبقى عدد الناس الذين يعيشون بدون الاستفادة من خدمات الطاقة الحديثة من دون تغيير ما لم تنفذ السياسات المحلية ذات الصلة، التي يمكن أن تُدعم أو تُستكمل بالمساعدة الدولية، عند الاقتضاء. [9.3.2، 9.4.2]

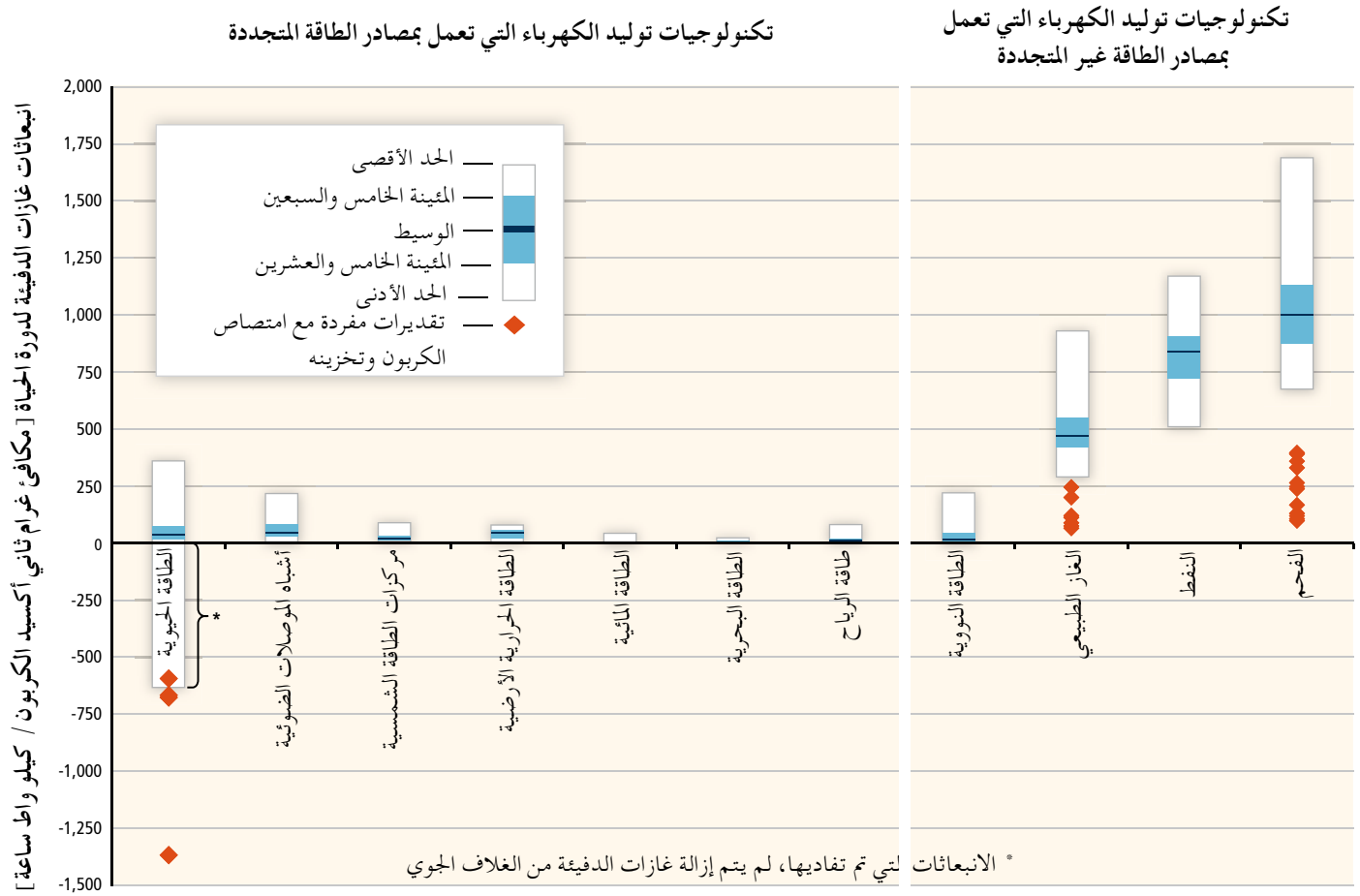
- **ويمكن أن تساهم خيارات الطاقة المتجددة في تحقيق إمداد بالطاقة أكثر أمناً، بالرغم من أنه يجب مراعاة تحديات معينة تتصل بمسألة الإدماج.** ويمكن أن يقلل نشر الطاقة المتجددة من إمكانية التعرض لانقطاع الإمداد وتطاير الأسواق، إذا ما زادت المنافسة وتنوعت مصادر الطاقة. [9.3.3، 9.4.3] وتشير دراسات السيناريوهات إلى أن الانشغالات المتعلقة بإمداد الطاقة الآمن قد تستمر في المستقبل ما لم تطرأ تحسينات تكنولوجية في قطاع النقل [2.8، 9.4.1.1، 9.4.3.1، 10.3]. وتستلزم سمات المخرجات المتغيرة لبعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة في غالب الأحيان تدابير فنية ومؤسسية تناسب الظروف المحلية لضمان موثوقية الإمداد بالطاقة. [8.2، 9.3.3].

- **وعلاوة على تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة، تستطيع تكنولوجيات الطاقة المتجددة توفير منافع بيئية مهمة أخرى. ويرتبط تعظيم هذه المنافع بالتكنولوجيا الخاصة، والإدارة، وخصائص الموقع المرتبطة بكل مشروع من مشاريع للطاقة المتجددة.**

- **وتشير عمليات تقييم دورة العمر لتوليد الكهرباء إلى أن انبعاثات غازات الدفيئة من تكنولوجيات الطاقة المتجددة أقل عموماً بشكل ملحوظ عن تلك المتصلة بخيارات الوقود الأحفوري، وفي نطاق مجموعة من الظروف، أقل من الوقود الأحفوري الذي يستخدم امتصاص الكربون وتخزينه.** وتتراوح قيم الوسطى لمجموع الطاقة المتجددة بين 4 و 46 جرام مكافئ ثاني أكسيد الكربون/كيلو وات ساعة، بينما تتراوح القيم بالنسبة للوقود الأحفوري بين 469 و 1,001 جرام مكافئ ثاني أكسيد الكربون/كيلو وات ساعة (باستثناء الانبعاثات الناجمة عن تغير استخدام الأرض) (الشكل 8 ملخص لصانعي السياسات).

- **معظم نظم الطاقة الحيوية الحالية، بما في ذلك الوقود الأحيائي السائل، تؤدي إلى خفض انبعاثات غازات الدفيئة، ومعظم الوقود الأحيائي الذي ينتج من العمليات الجديدة (يُطلق عليه أيضاً الوقود الأحيائي المتقدم**

أو الجيل القادم من الوقود الأحيائي) يمكن أن يوفر تخفيفاً أعلى من غازات الدفيئة. ويمكن أن يتأثر ميزان انبعاثات غازات الدفيئة بالتغيرات في استخدام الأرض والانبعاثات والإزالات المناظرة لها. ويمكن أن تسفر الطاقة الحيوية عن تجنب انبعاثات غازات الدفيئة من المخلفات والنفايات في فضلات المصارف والنواتج المختلطة؛ وربما يوفر التوليف بين الطاقة الحيوية وامتصاص الكربون وتخزينه مزيداً من خفض الانبعاثات. (انظر الشكل 8 ملخص لصانعي السياسات). ولتطبيقات غازات الدفيئة المتصلة بتغيرات إدارة الأرض واستخدام الأرض في مخزونات الكربون جوانب عدم كثيرة من عدم اليقين. [2.2، 2.5، 9.3.4.1]



	الطاقة الحيوية	أشباه الموصلات الضوئية	مركزات الطاقة الشمسية	الطاقة الحرارية الأرضية	الطاقة المائية	الطاقة البحرية	طاقة الرياح	الطاقة النووية	الغاز الطبيعي	النفط	الفحم
عدد التقديرات	169(+12)	24	83(+7)	125	126	10	28	8	42	124	222(+4)
عدد المراجع	50(+10)	10	36(+4)	32	49	5	11	6	13	26	52(+0)

الشكل 8 ملخص لصانعي السياسات: تقديرات انبعاثات غازات الدفيئة لدورة الحياة (مكافئ غرام ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة) للفئات العريضة من تكنولوجيات توليد الكهرباء، بالإضافة لبعض التكنولوجيات التي جرى إدماجها بتكنولوجيا امتصاص الكربون وتخزينه (CCS). واستبعدت التغيرات الصافية في مخزونات الكربون المتصلة باستخدام الأراضي (وتنطبق أساساً على الطاقة الحيوية والطاقة الكهرمائية من المستودعات) والآثار الناجمة عن إدارة الأراضي؛ وتستند التقديرات السلبية[10] للطاقة الحيوية إلى افتراضات حول الانبعاثات التي تم تفاديها من المخلفات والنفايات في فضلات المصارف والنواتج المختلطة. وترد مراجع الاستعراض وطرقه في المرفق الثاني. وعدد التقديرات أكبر من عدد المراجع لأن الكثير من الدراسات بحثت سيناريوهات متعددة. أما الأرقام الواردة بين الأقواس فتشير إلى مراجع وتقديرات إضافية قيّمت تكنولوجيات امتصاص الكربون وتخزينه. وتتصل المعلومات التوزيعية بالتقديرات المتاحة حالياً في الدراسات المتعلقة بتقديرات دورة العمر، ولا ترتبط بالضرورة بالقيم الحدية النظرية أو العملية التي تستند إليها، أو الاتجاه المركزي الفعلي عند مراعاة كل ظروف الانتشار. [9.8، 9.3.4.1]

10 مصطلح «تقديرات سلبية» في إطار مصطلحات تقييمات دورة الحياة المقدمة في التقرير الخاص (SRREN) يشير الانبعاثات المتجنبة. وعلى خلاف حالة الطاقة الحيوية مع امتصاص الكربون وتخزينه، لا تزيل الانبعاثات المتجنبة من الهواء انبعاثات غازات الدفيئة.

- **وتتأثر استدامة الطاقة الحيوية، ولاسيما فيما يخص انبعاثات غازات الدفيئة دورة العمر، بممارسات إدارة الأرض ومصادر الكتلة الأحيائية. وحسب عدد كبير من الدراسات**. فإن التغيرات في إدارة و استخدام الغابات والأرض، التي يمكن أن ينتج بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن إنتاج الكتلة الأحيائية للاستخدام كوقود أو طاقة كهربائية أو حرارية يمكنها أن تقلل أو تزيد أو من مخزونات الكربون في الأرض. وتشير الدراسات نفسها أيضاً إلى أن التغيرات غير المباشرة في مخزونات الكربون في الأرض لها جوانب عدم يقين كثيرة، ولا يمكن رصدها مباشرة، كما تعتبرنمذجتها معقدة، ومن الصعب أن تعزى لسبب واحد. وتعد الحوكمة المناسبة لاستخدام الأرض، وتخطيط استخدام الأرض للبناء، واختيار نظم إنتاج الكتلة الأحيائية اعتبارات محورية لصانعي السياسة. [2.4.5، 2.5.1، 9.3.4، 9.4.4] ووضعت سياسات هدفها ضمان تحقيق المنافع من الطاقة الحيوية مثل التنمية الريفية، وتحسين الإدارة الزراعية، والإسهام في التخفيف من تغير المناخ؛ غير أن فاعلية هذه السياسات لم تُقيّم. [2.2، 2.5، 2.8]

- **تستطيع تكنولوجيات الطاقة المتجددة، خاصة الخيارات التي لا تستند إلى الاحتراق، أن توفر منافع فيما يخص تلوث الهواء والإنشغالات المتعلقة بالصحة**. [9.3.4.3، 9.4.4.1] ويمكن لتحسين استخدام الكتلة الأحيائية التقليدية أن يخفض تخفيضاً ملحوظاً تلوث الهواء محلياً وداخل المنازل (إضافة إلى انبعاثات غازات الدفيئة، إزالة الغابات وتدهورها) وأن يقلل من الآثار على الصحة المتصلة بها، ولاسيما على النساء والأطفال في البلدان النامية [2.5.4، 9.3.4.4].

- **وقد يؤثر توافر الماء على اختيار تكنولوجيا الطاقة المتجددة**. ويمكن أن تكون محطات الطاقة الحرارية التقليدية المبردة بالماء عرضة بشكل خاص لظروف ندرة المياه وتغير المناخ. وفي المناطق التي تمثل ندرة المياه بها انشغالاً بالفعل، تستطيع تكنولوجيات الطاقة المتجددة غير الحرارية أو الحرارية التي تستخدم التبريد الجاف أن تقدم خدمات الطاقة دونما إجهاد إضافي لمصادر الماء. وتعتمد الطاقة الكهرمائية وبعض نظم الطاقة الحيوية على توافر الماء، وبوسعها إما أن تزيد المنافسة على مصادر الماء أو تخفف من ندرة المياه. ويمكن تخفيف العديد من الآثار بمراعاة الاعتبارات المتصلة بالمواقع والتخطيط المتكامل. [2.5.5.1، 5.10، 9.3.4.4]

- **وستحدد الظروف الخاصة بالمواقع إلى أي درجة ستؤثر تكنولجيات الطاقة الجديدة على التنوع الأحيائي**. وربما تكون الآثار الخاصة بالطاقة المتجددة على التنوع الأحيائي إيجابية أو سلبية. [2.5، 3.6، 4.5، 5.6، 6.5، 9.3.4.6]

- **ولتكنولوجيات الطاقة المتجددة معدل وفيات منخفض**. ولايمكن أن يستهان بمخاطر الحوادث المتصلة بتكنولوجيات الطاقة المتجددة، لكن بنيتها اللامركزية تضع حداً قوياً على إمكانية حدوث العواقب الوخيمة المتصلة بالوفيات. بيد أن السدود المتصلة ببعض مشاريع الطاقة الكهرمائية قد تنطوي عن بعض المخاطر الخاصة وفقاً للعوامل الخاصة بالموقع. [9.3.4.7]

6 - إمكانيات التخفيف وتكاليفه

وفي غالبية السيناريوهات التي تبلغ 164 التي تم استعراضها في هذا التقرير الخاص[11]، ثمة إشارة إلى زيادة هامة في نشر الطاقة المتجددة بحلول 2030، و2050 وما بعدها. وفي 2008، بلغ إجمالي إنتاج الطاقة المتجددة تقريباً 64 إكسغل/سنة (12.9 ٪ من إجمالي الإمدادات من الطاقة الأولية) وكان نصيب الكتلة الأحيائية التقليدية منها أكثر من 30 إكسغل/سنة. وتتوقع أكثر من 50 ٪ من السيناريوهات مستويات لنشر الطاقة المتجددة في 2050 تنتج أكثر من 173 إكسغل/سنة، ويصل إلى أكثر من 400 إكسغل/سنة في بعض الحالات (الشكل 9 ملخص لصانعي السياسات). وبما أن استخدام الكتلة الأحيائية التقليدية يتناقص في معظم السيناريوهات، يتوقع أن تكون هناك زيادة مناظرة في مستوى إنتاج الطاقة المتجددة (باستبعاد الكتلة الأحيائية التقليدية) تتراوح بين ثلاثة أضعاف تقريباً و أكثر من عشرة أضعاف. وحصة الطاقة الأولية من الإمداد العالمي بالطاقة الأولية تختلف اختلافاً جوهرياً فيما بين السيناريوهات. ويكشف أكثر من نصف السيناريوهات أن إسهام الطاقة المتجددة يتجاوز 17 ٪ من الإمدادات من الطاقة الأولية في 2030، ليرتفع إلى أكثر من 27 ٪ في 2050. والسيناريوهات ذات الحصص الأعلى للطاقة المتجددة تصل تقريباً إلى 43 ٪ في 2030، و77 ٪ في 2050. [10.2، 10.3]

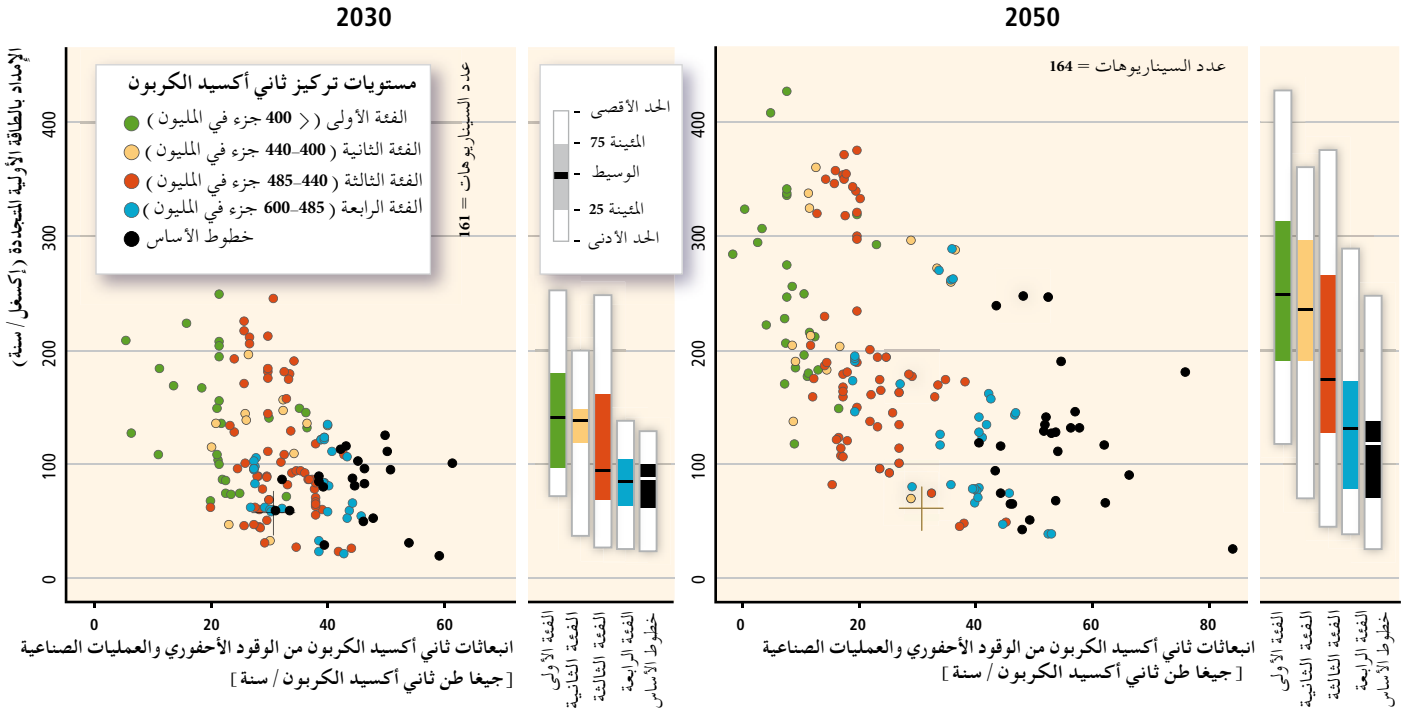
يمكن توقع إتساع نطاق الطاقة المتجددة حتى في ظل سيناريوهات خط الأساس. وتكشف معظم سيناريوهات خط الأساس عمليات انتشار ترتفع ارتفاعاً ملحوظا عن مستوى 2008 من 64 إكسغل/سنة، وحتى 120 إكسغل/سنة، بحلول 2030. وبحلول 2050، يصل الكثير من سيناريوهات خط الأساس بمستويات انتشار الطاقة المتجددة إلى أكثر من 100 إكسغل/سنة،

11 لهذا الغرض أجري استعراض لـ 164 سيناريو عالمياً من 16 نموذجاً مختلفاً من النماذج المتكاملة على نطاق واسع. وبالرغم من أن مجموعة السيناريوهات تسمح بتقييم منطقي لأوجه عدم اليقين، ولا تقدم السيناريوهات المستعرضة البالغ عددها 164 سيناريو، عينة عشوائية كاملة مناسبة لتحليل إحصائي دقيق، ولا تمثل دائماً حافظة كاملة للطاقة الجديدة (مثلاً، حتى الآن لم تُبحث الطاقة البحرية إلا في سيناريوهات قليلة) [10.2.2] ولتحليل أكثر تحديداً، استُخدمت مجموعة فرعية من 4 سيناريوهات إيضاحية من المجموعة البالغة 164 سيناريو. وهي تقدم امتداداً من سيناريو خط الأساس بدون أهداف تخفيف محددة إلى ثلاثة سيناريوهات تمثل مستويات تثبيت مختلفة لثاني أكسيد الكربون.

وفي بعض الحالات يصل إلى حوالي 250 إكسغل/سنة (الشكل 9 ملخص لصانعي السياسات). ومستويات انتشار خط الأساس هذه تنتج عن تشكيلة من الافتراضات، بما في ذلك، على سبيل المثال، نمو الطلب المتواصل على خدمات الطاقة خلال القرن، قدرة الطاقة المتجددة على الإسهام في زيادة الحصول على الطاقة والتوافر المحدود للمصادر الأحفورية على الأمد الطويل. وتصف الافتراضات الأخرى (مثل، الأداء والتكاليف المحسنة لتكنولوجيا الطاقة المتجددة) تكنولوجيا الطاقة المتجددة لها قدرة تنافسية اقتصاديا متزايدة في كثير من التطبيقات حتى في ظل غياب السياسة المناخية. [10.2]

ويزداد انتشار الطاقة المتجددة ازدياداً ملحوظاً في السيناريوهات ذات تركيزات تثبيت منخفضة لانبعاثات غازات الدفيئة. وتسجل سيناريوهات التثبيت المنخفضة لانبعاثات غازات الدفيئة في المتوسط معدلاً أعلى من انتشار الطاقة المتجددة مقارنة بخط الأساس. بيد أنه بالنسبة لأى هدف من الأهداف الطويلة المدى المتصلة بتركيز بغازات الدفيئة، تعرض السيناريوهات طائفة عريضة من مستويات انتشار الطاقة المتجددة (الشكل 9 ملخص لصانعي السياسات). وفي السيناريوهات التي تثبت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند مستوى أقل من 440 جزء في المليون، فإن مستوى النشر الوسيط للطاقة المتجددة في 2050 سيكون 248 إكسغل/سنة (139 في 2030)، مع وصول أعلى المستويات إلى 428 إكسغل/سنة بحلول 2050 (252 في 2030). [10.2].

ويمكن أن تسهم العديد من خيارات الإمداد بالطاقة منخفضة الكربون وتحسينات نجاعة الطاقة مجتمعة في تحقيق مستويات منخفضة لتركيز غازات الدفيئة، على أن تصبح الطاقة المتجددة الخيار السائد للإمداد بالطاقة منخفض الكربون بحلول 2050 في غالبية السيناريوهات. ومرد هذه الطائفة العريضة من النتائج هو فرضيات بشأن عوامل من قبيل التطور في تكنولوجيات الطاقة

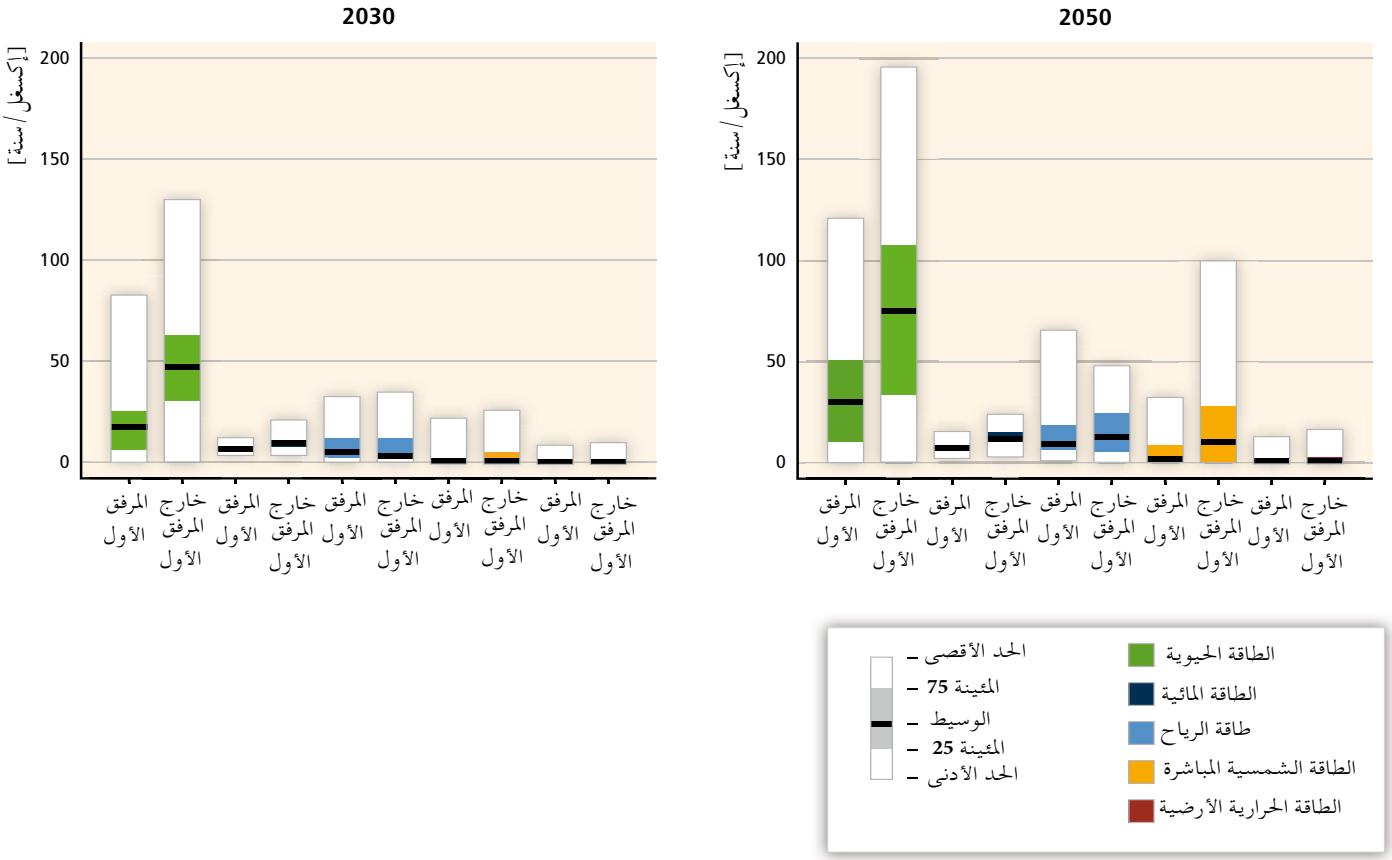


الشكل 9 ملخص لصانعي السياسات: الإمداد العالمي بالطاقة الأولية المتجددة (المكافئ المباشر) من 164 سيناريو طويل المدى مقابل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصناعية والأحفورية في 2030 و2050. ويستند الترميز بالألوان إلى فئات من مستويات تثبيت تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي التي جرى تحديدها باتساق مع تلك الواردة في تقرير التقييم الرابع. والألواح على يمين النقاط المتناثرة توضح مستويات انتشار الطاقة المتجددة في كل فئة من فئات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ويرمز الخط الاسود الثخين إلى الوسيط، أما الإطار الملون فيرمز إلى المدى ما بين الأرباع (المئينة الخامس والعشرين إلى الخامس والسبعين) وتشير النهايات البيضاء للقضبان المحيطة لإجمالي المدى عبر كل السيناريوهات المستعرضة. وتوضح الخطوط العرضية الرمادية العلاقة في 2007. [الشكل 10.2، 10.2.2.2]

ملاحظات: لأسباب تتعلق بوضع البيانات لم يدرج سوى 161 سيناريو في نتائج 2030 المعروضة هنا، في مقابل المجموعة الكاملة للسيناريوهات البالغ عددها 164. ومستويات انتشار الطاقة المتجددة الواقعة دون مستويات اليوم فهي نتيجة لمخرج النموذج والاختلافات في وضع التقارير بشأن الكتلة الأحيائية التقليدية. لمزيد من التفاصيل بشأن استخدام طريقة "المكافئ المباشر" للمحاسبة للإمداد بالطاقة الأولية والرعاية الضمنية المطلوبة في تفسير نتائج السيناريو، انظر الإطار 2 ملخص لصانعي السياسات. ولاحظ أن الفئات "الخامسة" وما فوقها لم تُتضمن هنا، وأن الفئة "الرابعة" تم تمديدها لتصل إلى 600 جزء في المليون انطلاقاً من 570 جزء في المليون، لأن كل سيناريوهات التثبيت تقع دون 600 جزء في المليون لثاني أكسيد الكربون في 2100، ولأن سيناريوهات خطوط الأساس الأكثر انخفاضاً تصل بمستويات تركيز تزيد قليلا عن 600 جزء في المليون بحلول 2100.

المتجددة (بما في ذلك الطاقة الحيوية ذات امتصاص الكربون وتخزينه) وتكاليفها وقواعد مصادرها؛ والجاذبية النسبية لخيارات التخفيف الأخرى (على سبيل المثال، نجاعة الطاقة عند الاستخدام النهائي، والطاقة النووية، الطاقة الأحفورية مع امتصاص الكربون وتخزينه)؛ وأنماط الاستهلاك والإنتاج؛ والدوافع الأساسية للطلب على خدمات الطاقة (بما في ذلك النمو الديموغرافي والاقتصادي مستقبلاً)؛ القدرة على دمج المصادر المختلفة للطاقة المتجددة في شبكات الطاقة؛ ومصادر الوقود الأحفوري؛ ومقاربات سياسية محددة للتخفيف؛ ومسارات الانبعاث نحو مستويات التركيز طويلة المدى . [10.2]

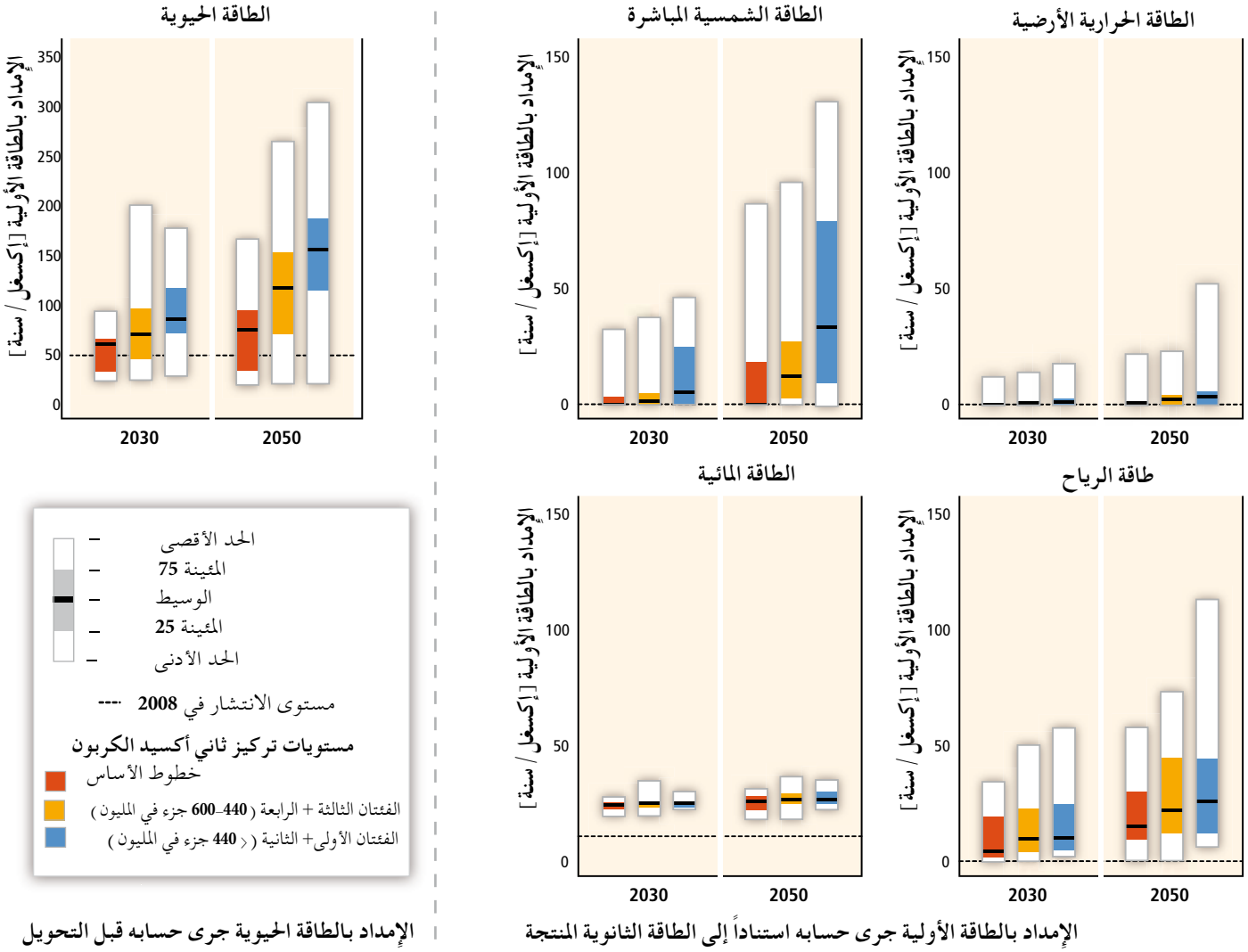
ويشير استعراض السيناريو في هذا التقرير الخاص إلى أن الطاقة المتجددة تحظى بإمكانية واسعة النطاق للتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة. وتشير أربعة سيناريوهات توضيحية إلى نطاقاً من الوفورات العالمية التراكمية لثاني أكسد الكربون بين 2010 و 2050، من حوالي 220 إلى 560 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون مقارنة بحوالي 1,530 جيجا طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمي الأحفوري والصناعي في World Energy Outlook 2009 Reference Scenario الوكالة الدولية للطاقة خلال الفترة ذاتها. والعزو الدقيق لإمكانيات التخفيف إلى الطاقة المتجددة يعتمد على الدور الذي تعزيه السيناريوهات لتكنولوجيات التخفيف المحددة، وعلى سلوك النظم المعقدة، وبخاصة، وعلى مصادر الطاقة التي تحل الطاقة المتجددة محلها. ولذلك، فإن العزو الدقيق لإمكانيات التخفيف إلى الطاقة المتجددة يجب أن يراعى فيه الحذر المناسب . [10.2، 10.3، 10.4]



الشكل 10 ملخص لصانعي السياسات: الإمداد العالمي بالطاقة الأولية من الطاقة المتجددة (المكافئ المباشر) حسب المصدر في مجموعة المرفق الأول والمجموعة خارج المرفق الأول في السيناريوهات طويلة المدى البالغ عددها 164 بحلول 2030 و2050. ويرمز الخط الاسود الثخين إلى الوسيط؛ أما الإطار الملون فيرمز إلى المدى ما بين الأرباع (المئينة 25 إلى 75) وتشير النهايات البيضاء للقضبان المحيطة لإجمالي المدى عبر كل السيناريوهات المستعرضة. [الشكل 10.8، 10.2.2.5]

ملاحظات: لمزيد من التفاصيل بشأن استخدام طريقة "المكافئ المباشر" للمحاسبة للإمداد بالطاقة الأولية والرعاية الضمنية المطلوبة في تفسير نتائج السيناريو، انظر الإطار 2 ملخص لصانعي السياسات. وعلى نحو أكثر تحديداً، فإن نطاقات الطاقة الثانوية المستمدة من الطاقة الحيوية، وطاقة الرياح، والطاقة الشمسية المباشرة يمكن أن تعتبر ذات حجم مشابه في سيناريوهات تغلغلها الأعلى في 2050. ولم تُطرح الطاقة البحرية هنا، إذ لم يتناول هذه التكنولوجيا من الطاقة المتجددة إلا قليلاً من السيناريوهات.

وتشير السيناريوهات عامة إلى أن النمو في الطاقة المتجددة سوف ينتشر في العالم. بالرغم من أن التوزيع الدقيق لنشر الطاقة المتجددة بين الأقاليم يتنوع تنوعا كبيراً حسب السيناريوهات، وتتسق السيناريوهات اتساقاً كبيراً في الإشارة إلى النمو الواسع في نشر الطاقة المتجددة حول العالم. وبالإضافة إلى ذلك، سيكون إجمالي انتشار الطاقة المتجددة أعلى في الأمد الطويل في مجموعة البلدان[12] غير الواردة في المرفق الأول أكثر من مجموعة البلدان الواردة في المرفق الأول في معظم السيناريوهات (الشكل 10 ملخص لصانعي السياسات) . [10.2، 10.3]



الإمداد بالطاقة الأولية جرى حسابه استناداً إلى الطاقة الثانوية المنتجة

الإمداد بالطاقة الحيوية جرى حسابه قبل التحويل

الشكل 11 ملخص لصانعي السياسات: الإمداد العالمي بالطاقة الأولية (معادل مباشر) من الطاقة الحيوية، وطاقة الرياح، والطاقة الشمسية المباشرة، والطاقة الكهرمائية، والطاقة الحرارية الأرضية في السيناريوهات طويلة المدى البالغ عددها 164 في 2030 و 2050، وجمعتها فئات مختلفة من مستوى تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والمحددة باتساق مع تلك الواردة في تقرير التقييم الرابع. ويرمز الخط الاسود الثخين إلى الوسيط؛ أما الإطار الملون فيرمز إلى المدى ما بين الأرباع (المئينة 25 إلى 75) وتشير النهايات البيضاء للقضبان المحيطة لإجمالي المدى عبر كل السيناريوهات المستعرضة. [ماعدا الشكل 10.9، 10.2.2.5]

ملاحظات: لمزيد من التفاصيل بشأن استخدام طريقة "المكافئ المباشر" للمحاسبة للإمداد بالطاقة الأولية والرعاية الضمنية المطلوبة في تفسير نتائج السيناريو، انظر الإطار 2 ملخص لصانعي السياسات. وعلى نحو أكثر تحديداً، فإن نطاقات الطاقة الثانوية المقدمة من الطاقة الحيوية، وطاقة الرياح، والطاقة الشمسية المباشرة يمكن أن تعتبر ذات حجم مشابه في سيناريوهات تغلغلها الأعلى في 2050. ولم تُطرح الطاقة البحرية هنا، إذ لم يتناول هذه التكنولوجيا من الطاقة المتجددة إلا قليلاً من السيناريوهات. ولاحظ أن الفئات "الخامسة" وما فوقها لم تتضمن هنا، وأن الفئة "الرابعة" تم تمديدها لتصل إلى 600 جزء في المليون انطلاقا من 570 جزء في المليون، لأن كل سيناريوهات التثبيت تقع دون 600 جزء في المليون لثاني أكسيد الكربون في 2100، ولأن سيناريوهات خطوط الأساس الأكثر انخفاضاً تصل بمستويات تركيز تزيد قليلاً عن 600 جزء في المليون بحلول 2100.

12 المصطلحان « الواردة في المرفق الأول » و« غير الواردة في المرفق الأول » هما فئتان من البلدان التي وردت في اتفاقية الأمم المتحدة بشأن تغير المناخ (UNFCCC)

ولا تشير السيناريوهات إلى تكنولوجيا وحيدة مهيمنة بشكل واضح من تكنولوجيات الطاقة المتجددة على المستوى العالمي؛ وعلاوة على ذلك، لا تعيق الإمكانيات العالمية الفنية الكلية الإسهام المستقبلي للطاقة المتجددة. وبالرغم من أن إسهام تكنولوجيات الطاقة المتجددة يختلف باختلاف السيناريوهات، فإن طاقة الكتلة الأحيائية الحديثة، وطاقة الرياح والطاقة الشمسية المباشرة تمثل عموماً الإسهامات الأكبر من تكنولوجيات الطاقة المتجددة في نظام الطاقة بحلول 2050 (الشكل 11 ملخص لصانعي السياسات). وتؤكد كل السيناريوهات التي جرى تقييمها أن الإمكانيات التقنية لن تكون العوامل المقيدة لتوسع نطاق الطاقة المتجددة على النطاق العالمي. وبالرغم من الاختلافات الإقليمية والتكنولوجية البارزة، يُستخدم أقل من 2.5 ٪ من إمكانية الطاقة المتجددة التقنية العالمية المتاحة في السيناريوهات الأربعة التوضيحية. [10.2، 10.3]

وتشير الدراسات الفردية إلى أنه في حالة ما إذا كان انتشار الطاقة المتجددة محدوداً، فإن تكاليف التخفيف تزداد وربما لايتحقق تثبيت تركيزات غازات الدفيئة المنخفضة. وقد راعت عدد من الدراسات حساسيات السيناريو التي تفترض وجود قيود على نشر خيارات التخفيف الفردية، بما في ذلك الطاقة المتجددة وكذلك النووية والوقود الأحفوري المزود بتقنية امتصاص الكربون وتخزينه. وهناك القليل من الاتفاق حيال الحجم الدقيق لزيادة التكلفة. [10.2]

وسيتضمن التحول إلى اقتصاد ذي انبعاث منخفض لغازات الدفيئة بحصص أعلى من الطاقة المتجددة استثمارات متزايدة في التكنولوجيات والبنية الأساسية. وتقدر السيناريوهات الأربعة التوضيحية الوارد تحليلها بالتفصيل في التقرير الخاص الاستثمارات التراكمية العالمية للطاقة المتجددة (في قطاع توليد الطاقة فقط) بدءا من 1,360 بدولارات الولايات المتحدة في 2005، إلى 5,100 مليار للعقد ما بين 2011 و2020، ومن 1,490 بدولارات الولايات المتحدة في 2005، إلى 7,180 مليار للعقد ما بين 2021 و2030. وتشير أقل القيم إلى السيناريو المرجعي 2009 لتوقعات الطاقة العالمية الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة وتشير أعلى القيم إلى السيناريو الذي يسعى لتثبيت تركيزات ثاني أكسيد الكربون (فقط) عند 450 جزء في مليون. والمتوسطات السنوية للاستثمارات اللازمة هذه كلها أقل من 1 ٪ من الناتج المحلي الإجمالي العالمي. وعلاوة عن الاختلافات في تصميم النماذج المستخدمة لاستكشاف هذه السيناريوهات، يمكن شرح النطاق أساساً باختلافات في تركيزات غازات الدفيئة التي تم تقييمها والقيود المفروضة على مجموعة تكنولوجيات التخفيف المقبولة. وستقلل زيادة القدرات المركبة لمحطات الطاقة المتجددة من حجم الوقود النووي والأحفوري، الذي لولا هذا سيُستخدَم في الوفاء بالطلب القائم على الكهرباء. وبالإضافة إلى الاستثمار، فإن التشغيل والصيانة وتكاليف المواد الأولية (عند الاقتضاء) ذات الصلة بمحطات الطاقة المتجددة، وأي تقييم للعبء الاقتصادي الكلي المرتبط بتطبيقاتها عليه أن يراعي الوقود المتجنب وتكاليف الاستثمار التي جرى استبدالها كذلك. وحتى إن لم تأخذ التكاليف المتجنبة في الحسبان، فإن النطاق المنخفض لاستثمارات الطاقة المتجددة محل النقاش أعلاه أقل من التكاليف التي سجلت لعام 2009. وتمثل القيم الأعلى للمتوسط السنوي من الاستثمارات في قطاع كهرباء الطاقة المتجددة تقريباً زيادة بخمسة أضعاف عن الاستثمارات العالمية الحالية في هذا المجال. [10.5، 11.2.2]

7 - السياسة والتمويل والتنفيذ

زيادة عدد السياسات الخاصة بالطاقة المتجددة وتنوعها – التي حفزتها العديد من العوامل – أفضت إلى نمو مطرد لتكنولوجيات الطاقة المتجددة في السنوات الأخيرة. [1.4، 11.2، 11.5، 11.6] وتلعب السياسات الحكومية دوراً حاسماً في التسريع بنشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة. وكان الحصول على الطاقة وتحقيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية هي الدوافع الأساسية في البلدان النامية، بينما كان تأمين الإمداد بالطاقة والشواغل البيئية هي الأكثر أهمية في البلدان المتقدمة [9.3، 11.3] وبدأ نطاق هذه السياسات يتسع لتتحول من التركيز أساساً على الكهرباء المستمدة من الطاقة المتجددة وتشمل التدفئة والتبريد والنقل [11.2، 11.5].

وتساعد السياسة الخاصة بالطاقة المتجددة للبحوث والتطوير والتجريب والنشر في التمهيد للطاقة المتجددة. وتتضمن السياسات وضع اللوائح من قبيل تعريفة الإمداد بالطاقة، والحصص، وألوية النفاذ إلى الشبكة، والولايات، ومتطلبات خلط الوقود الأحيائي، ومعايير استدامة الطاقة الحيوية. [2.4.5.2، 2. ES، TS. 2.8.1] وهناك فئات سياسة أخرى عبارة عن محفزات جبائية مثل سياسات الضرائب والمدفوعات الحكومية المباشرة مثل الحسومات والمنح؛ وآليات التمويل العامة مثل القروض والضمانات. وربما تدعم الطاقة المتجددة بفضل السياسات الأوسع نطاقا والرامية إلى تقليل انبعاثات غازات الدفيئة، مثل آليات تسعير الكربون.

ويمكن أن تكون السياسات خاصة بقطاع بعينه، وتنفذ على المستوى المحلي أو مستوى الولاية/المقاطعة، أوالمستوى الوطني وفي بعض الحالات على المستوى الإقليمي، كما يمكن استكمالها بالتعاون الثنائي والإقليمي والدولي. [11.5]

وعززت السياسات زيادة تركيبات قدرة الطاقة المتجددة بالمساعدة في التغلب على العوائق المتنوعة. [1.4، 11.1، 11.4، 11.5، 11.6]. وتشمل العوائق أمام انتشار الطاقة المتجددة ما يلي:

- العوائق السياسة والمؤسسية ذات الصلة بالصناعة القائمة، والبنية الأساسية وتقنين نظم الطاقة؛
- وإخفاقات السوق، بما في ذلك التكاليف الصحية والبيئية غير المدمجة، عند الاقتضاء؛
- انعدام المعلومات العامة والبيانات ذات الصلة بنشر الطاقة المتجددة، وانعدام القدرة الفنية والمعرفية ؛
- العوائق ذات الصلة بالقيم المجتمعية والشخصية والتي تؤثر على النظرة إلى تكنولوجيا الطاقة المتجددة وقبولها. [1.4، 9.5.1، 9.5.2.1]

تكون الاستثمارات العامة مجال البحوث والتطوير في تكنولوجيات الطاقة المتجددة أكثر فعالية عندما تكملها أدوات سياسية أخرى، ولاسيما سياسات النشر التي تعزز بشكل متزامن الطلب على التكنولوجيات الجديدة. سياسات البحوث والتطوير والنشر مشتركة تفضي إلى استحداث دورة إيجابية، وتحفز الاستثمارات من القطاع الخاص. وإذا سنت سياسات النشر مبكراً أثناء تطوير تكنولوجيا ما، يمكن أن يسرع ذلك وثيرة التعلم من خلال تحفيز البحوث والتطوير من القطاع الخاص، الذي يقلل بدوره من التكاليف ويوفر محفزات إضافية لاستخدام التكنولوجيا. [11.5.2]

واتضح أن بعض السياسات تتسم بالفعالية والنجاعة في تسريع وثيرة نشر الطاقة المتجددة. ومع ذلك، ليس هناك قالب يليق بكل الظروف. وبينت التجربة أن سياسة ما أو مجموعة من السياسات المختلفة بوسعها أن تكون أكثر فعالية ونجاعة اعتماداً على عوامل من قبيل مستوى نضج التكنولوجيا، رأس المال المتاح، سهولة الدمج في النظم القائمة، وقاعدة مصارد الطاقة المتجددة المحلية والوطنية. [11.5]

- خلصت العديد من الدراسات إلى أن بعض تعريفات الإمداد بالطاقة كانت فعالة وناجعة في النهوض بكهرباء الطاقة المتجددة، ويرجع ذلك أساساً إلى توليفة من الأسعار الثابتة على أمد طويل أو المدفوعات في شكل أقساط، وتوصيلات الشبكة، وضمان شراء كهرباء الطاقة المتجددة التي يتم توليدها. ويمكن لسياسات الحصص أن تكون فعالة وناجعة لو صممت لتقليل المخاطر؛ على سبيل المثال؛ بفضل العقود طويلة الأمد. [11.5.4]

- ويتبنى عدد متزايد من الحكومات محفزات جبائية للتبريد والتدفئة بالطاقة المتجددة. ولاتزال عمليات الإلزام باستخدام الطاقة الحرارية الناتجة عن الطاقة المتجددة تسترعي الانتباه بسبب ما لها من إمكانيات على النمو من دون الحاجة إلى الدعم المالي العام. [11.5.5]

- وفي قطاع النقل، ولايات الوقود من الطالقة المتجددة أو متطلبات الخلط تعد دوافع رئيسية في تطوير معظم صناعات الوقود الأحيائي الحديث. وتتضمن السياسات الأخرى المدفوعات الحكومية المباشرة أو تخفيضات الضرائب. وقد أثرت السياسات في وضع تجارة دولية خاصة بالوقود الأحيائي. [11.5.6]

وتعتبر مرونة التكيف مع التكنولوجيا والأسواق والعوامل الأخرى وهي تتطور أمراً مهماً. وكما تعتبر تفاصيل التصميم والتنفيذ أموراً حاسمة في تحديد فعالية ونجاعة السياسة. [11.5] وبوسع أطر السياسة التي تتسم بالشفافية والاستدامة أن تقلل من المخاطر على الاستثمار وتسهل نشر الطاقة المتجددة وتطور التطبيقات منخفضة التكاليف. [11.5، 11.6]

وتدعم السياسات "التمكينية" تطوير الطاقة المتجددة ونشرها. ويمكن استحداث البيئة المواتية أو المشجعة للطاقة المتجددة بمراعاة التفاعلات المحتملة لسياسة ما مع سياسات الطاقة المتجددة الأخرى وكذلك السياسات المتعلقة بالطاقة أو تلك التي لا تتعلق بها (مثلاً، تلك التي تستهدف الزراعة، أوالنقل، أو إدارة المياه والتخطيط العمراني)؛ من خلال مساعدة المقاولين المعنيين بتطوير الطاقة المتجددة على الحصول على التمويل واختيار موقع المشروع بنجاح؛ وبإزالة العقبات في الوصول إلى الشبكات والأسواق لمرافق الطاقة المتجددة ونواتجها؛ وبمزيد من التعليم وإذكاء الوعي من خلال مبادرات الحوار وحملات التواصل الخاصة بهذا الغرض؛ بنقل التكنولوجيا. ويمكن للبيئة "التمكينية" بدورها أن تزيد من فعالية ونجاعة السياسات للتشجيع على الطاقة المتجددة. [9.5.1.1، 11.6]

وتستحدث حالتان منفصلتان من حالات إخفاق السوق الأساس المنطقي لدعم إضافي لتكنولوجيات الطاقة المتجددة المبتكرة التي تنطوي على إمكانيات التطوير التكنولوجي العالية، حتى لو وُجدت سوق للانبعاثات (أو سياسة تسعير غازات الدفيئة عموماً). ويشير أول إخفاق للسوق إلى التكلفة الخارجية لانبعاثات غازات الدفيئة. أما ثاني حالة فتقع في مجال الابتكار: لو أن الشركات قللت من شأن المنافع المستقبلية للاستثمارات في تعلم تكنولوجيات الطاقة المتجددة، أو إذا لم تستطع تملك هذه المنافع، فسوف تستثمر أقل مما هو مرغوب من وجهة نظر الاقتصاد الكلي. وبالإضافة إلى سياسات تسعير غازات الدفيئة، ربما تكون السياسات الخاصة بالطاقة المتجددة مناسبة من وجهة النظر الاقتصادية لو تمت معالجة فرص التطوير التكنولوجي ذات الصلة (أو مراعاة الأهداف الأخرى التي تتجاوز التخفيف من تأثر المناخ). ويجب مراعاة النتائج العكسية المحتملة مثل التقييد، وتسرب الكربون، وأثر الارتداد عند تصميم حافظة السياسات. [11.1.1، 11.5.7.3]

وتشير الدراسات إلى أن الأهداف طويلة الأمد للطاقة المتجددة ومرونة التعلم من التجربة ستكون من الأمور الحاسمة لتحقيق التكلفة الفعالة والتغلغل المرتفع للطاقة المتجددة. وسيتطلب هذا تطوير منهجي لأطر السياسات التي تقلل من المخاطر وتضمن العوائد الجذابة التي توفر الاستقرار على مدى إطار زمني ذي صلة بالاستثمار. ومن الأمور الأكثر أهمية وجود مزيج مناسب ويمكن أن يعول عليه من الأدوات السياسة، بما في ذلك سياسات نجاعة الطاقة، حيثما كانت البنية الأساسية للطاقة آخذة في التطور وحيثما كان من المنتظر أن تكون هناك زيادة الطلب على الطاقة في المستقبل. [11.5، 11.6، 11.7]

8 - تقدم المعارف بشأن الطاقة المتجددة

يجب أن تسفر المعارف العلمية والهندسية المعززة عن تحسينات في الأداء وتخفيضات في التكلفة في تكنولوجيات الطاقة المتجددة. ولاتزال الحاجة ماسة لمعرفة إضافية متصلة بالطاقة المتجددة ودورها في تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة في عدد من المجالات الواسعة النطاق بما في ذلك ما يلي [لمزيد من التفاصيل، انظر الجدول 1.1]:

- التكلفة المستقبلية لنشر الطاقة المتجددة والتخطيط الزمني له؛
- الإمكانية الفنية القابلة للتحقيق الخاصة بالطاقة المتجددة على كل المستويات الجغرافية؛
- التحديات الفنية والمؤسسية وتكاليف دمج التكنولوجيات المتنوعة للطاقة المتجددة في نظم الطاقة وأسواقها؛
- التقييمات الشاملة للجوانب الاجتماعية والاقتصادية والبيئية للطاقة المتجددة ولتكنولوجيات الطاقة الأخرى؛
- فرص الوفاء باحتياجات البلدان النامية من الخدمات المستدامة للطاقة المتجددة؛
- الآليات السياسية والمؤسسية والمالية لتيسير النشر الفعال من حيث التكلفة للطاقة المتجددة في تشكيلة واسعة النطاق من الظروف.

لايزال التقدم يحرز في المعارف المتصلة بالطاقة المتجددة والإمكانيات التي تنطوي عليها للتخفيف من تغير المناخ. وتعتبر المعارف العلمية الحالية هامة وبوسعها أن تيسير عملية اتخاذ القرار [1.1.8].

الملخص الفني

الملخص الفني

المحررون الرئيسيون:

Dan Arvizu (الولايات المتحدة الأمريكية)، Thomas Bruckner (ألمانيا)، Helena Chum (الولايات المتحدة الأمريكية / البرازيل)، Ottmar Edenhofer (ألمانيا)، Segen Estefen (البرازيل، Andre Faaij (هولندا)، Manfred Fischedick (ألمانيا)، Gerrit Hansen (ألمانيا)، Gerardo Hiriart (المكسيك)، Olav Hohmeyer (ألمانيا)، K. G. Terry Hollands (كندا)، John Huckerby (نيوزيلندا)، Susanne Kadner (ألمانيا)، Åsund Killingtveit (النرويج)، Arun Kumar (الهند)، Anthony Lewis (أيرلندا)، Oswaldo Lucon (البرازيل)، Patrick Matschoss (ألمانيا)، Lourdes Maurice (الولايات المتحدة الأمريكية)، Monirul Mirza (كندا / بنغلاديش)، Catherine Mitchell (المملكة المتحدة)، William Moomaw (الولايات المتحدة الأمريكية)، José Moreira (البرازيل)، Lars J. Nilsson (السويد)، John Nyboer (كندا)، Ramon Pichs-Madruga (كوبا)، Jayant Sathaye (الولايات المتحدة الأمريكية)، Janet L. Sawin (الولايات المتحدة الأمريكية)، Roberto Schaeffer (البرازيل)، Tormod A. Schei (النرويج)، Steffen Schlömer (ألمانيا)، Kristin Seyboth (ألمانيا / الولايات المتحدة الأمريكية)، Ralph Sims (نيوزيلندا)، Graham Sinden (المملكة المتحدة / أستراليا)، Youba Sokona (إثيوبيا / مالي)، Christoph von Stechow (ألمانيا)، Jan Steckel (ألمانيا)، Aviel Verbruggen (بلجيكا)، Ryan Wiser (الولايات المتحدة الأمريكية)، Francis Yamba (زامبيا)، Timm Zwickel (ألمانيا)

المحرران المستعرضان:

Leonidas O. Girardin (الأرجنتين)، Mattia Romani المملكة المتحدة / إيطاليا)

المستشار الخاص:

Jeffrey Logan (USA)

ينبغي الإشارة إلى هذا الملخص الفني على النحو التالي:

Arvizu, D., T. Bruckner, H. Chum, O. Edenhofer, S. Estefen, A. Faaij, M. Fischedick, G. Hansen, G. Hiriart, O. Hohmeyer, K. G. T. Hollands, J. Huckerby, S. Kadner, Å. Killingtveit, A. Kumar, A. Lewis, O. Lucon, P. Matschoss, L. Maurice, M. Mirza, C. Mitchell, W. Moomaw, J. Moreira, L. J. Nilsson, J. Nyboer, R. Pichs-Madruga, J. Sathaye, J. Sawin, R. Schaeffer, T. Schei, S. Schlömer, K. Seyboth, R. Sims, G. Sinden, Y. Sokona, C. von Stechow, J. Steckel, A. Verbruggen, R. Wiser, F. Yamba, T. Zwickel, 2011: Technical Summary. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

المحتويات

1 – نظرة عامة على تغير المناخ والطاقة المتجددة 33

1.1 خلفية أساسية 33

1.2 موجز بموارد وإمكانات الطاقة المتجددة 38

1.3 تلبية احتياجات خدمة الطاقة والوضع الحالي 40

1.4 الفرص والحواجز والقضايا 40

1.5 دور السياسة، والبحوث والتطوير، وإستراتيجيات النشر والتنفيذ 44

2 – الطاقة الحيوية 45

2.1 مقدمة للكتلة الأحيائية والطاقة الحيوية 45

2.2 إمكانيات موارد الطاقة الحيوية 46

2.3 تكنولوجيا الطاقة الحيوية وتطبيقاتها 48

2.4 الوضع العالمي والإقليمي بشأن انتشار الأسواق والصناعة 48

2.5 الآثار البيئية والاجتماعية 50

2.6 آفاق تحسين التكنولوجيا وآفاق التكامل 53

2.7 التكاليف والاتجاهات الحالية 53

2.8 مستويات النشر الممكنة 55

3 – الطاقة الشمسية المباشرة 60

3.1 مقدمة 60

3.2 إمكانية الموارد 60

3.3 التكنولوجيا والتطبيقات 60

3.4 الوضع العالمي والإقليمي للنشر السوقي والصناعي 63

3.5 الإندماج في النظام العام للطاقة 65

3.6 الآثار البيئية والاجتماعية 65

3.7 آفاق تطوير التكنولوجيا والابتكار 66

3.8 اتجاهات التكلفة 68

3.9 إمكانيات النشر 71

4 – الطاقة الحرارية الأرضية 71

4.1 مقدمة 71

4.2 إمكانيات الموارد 72

4.3 التكنولوجيا والتطبيقات 73

4.4 حالة الأسواق والتنمية الصناعية عالمياً وإقليمياً 74

4.5 الآثار البيئية والاجتماعية 76

4.6 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار والتكامل 77

4.7 اتجاهات التكلفة 77

4.8 إمكانيات النشر 78

5 – الطاقة المائية 80

5.1 مقدمة 80

5.2 إمكانيات الموارد 80

5.3 التكنولوجيا والتطبيقات 80

5.4 حالة الأسواق والتنمية الصناعية عالمياً وإقليمياً 82

5.5 الإدماج في نظم أوسع للطاقة 83

5.6 الآثار البيئية والاجتماعية 83

5.7 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار 84

5.8 اتجاهات التكلفة 84

5.9 إمكانيات النشر 86

5.10 الإدماج في نظم إدارة المياه 87

6 – الطاقة البحرية 87

6.1 مقدمة 87
6.2 الموارد الممكنة 87
6.3 التكنولوجيا والتطبيقات 89
6.4 حالة الأسواق عالمياً وإقليمياً وتطور الصناعة 90
6.5 الآثار البيئية والاجتماعية 92
6.6 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار والتكامل 93
6.7 اتجاهات التكلفة 93
6.8 إمكانيات النشر 94

7 – طاقة الرياح 95
7.1 مقدمة 95
7.2 إمكانيات الموارد 95
7.3 التكنولوجيا والتطبيقات 96
7.4 حالة الأسواق عالمياً وإقليمياً والتطوير الصناعي 97
7.5 القضايا المتعلقة بتكامل الشبكة في الأجل القريب 98
7.6 الآثار البيئية والاجتماعية 99
7.7 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار 100
7.8 اتجاهات التكلفة 101
7.9 إمكانيات النشر 103

8 – إدماج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة في الحاضر والمستقبل 103
8.1 مقدمة 103
8.2 دمج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة الكهربائية 107
8.3 دمج الطاقة المتجددة في شبكات التدفئة والتبريد 110

8.4 دمج الطاقة المتجددة في شبكات الغاز 111
8.5 دمج الطاقة المتجددة في الوقود السائل 112
8.6 دمج الطاقة المتجددة في النظم المستقلة 113
8.7 قطاعات المستخدم النهائي: العناصر الإستراتيجية لمسارات الانتقال 113

9 - الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة 119
9.1 مقدمة 119
9.2 أوجه التفاعل بين التنمية المستدامة والطاقة المتجددة 119
9.3 الآثار الاجتماعية والبيئية والاقتصادية: التقييم العالمي والإقليمي 120
9.4 تأثير مسارات التنمية المستدامة على الطاقة المتجددة 125
9.5 حواجز وفرص استخدام الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة 129
9.6 الموجز التجميعي وفجوات المعرفة واحتياجات البحوث المستقبلية 130

10 - إمكانيات التخفيف وتكاليفه 130
10.1 مقدمة 130
10.2 الموجز التجميعي لسيناريوهات التخفيف لإستراتيجيات مختلفة في مجال الطاقة المتجددة 131
10.3 تقييم سيناريوهات التخفيف النموذجية لمختلف إستراتيجيات الطاقة المتجددة 133
10.4 منحنيات التكلفة الإقليمية للتخفيف بمصادر الطاقة المتجددة 137
10.5 تكاليف تسويق الطاقة المتجددة ونشرها 138
10.6 التكاليف والمنافع الاجتماعية والبيئية 144

11 - السياسة والتمويل والتنفيذ 147
11.1 مقدمة 147
11.2 الاتجاهات الحالية: السياسات والتمويل والاستثمار 148

11.3 الدوافع الرئيسية والفرص والمنافع 148
11.4 العقبات أمام صنع سياسات الطاقة المتجددة وتنفيذها وتمويلها 150
11.5 الخبرات المتعلقة بخيارات السياسات وتقييمها 150
11.6 البيئة الممكنة والقضايا الإقليمية 155
11.7 التحول الهيكلي 158

1 نظرة عامة على تغير المناخ والطاقة المتجددة

1.1 خلفية أساسية

تحتاج جميع المجتمعات إلى خدمات الطاقة لتلبية الاحتياجات الإنسانية الأساسية (مثل الإنارة، والطهي، وتوفير الراحة في الأماكن، وسهولة التنقل، والاتصال) ولخدمة العمليات الإنتاجية. ومن أجل استدامة عملية التنمية، ينبغي أن يكون توصيل خدمات الطاقة آمناً وآثارها البيئية منخفضة. وتقتضي التنمية الاجتماعية والاقتصادية المستدامة كفالة سبل الوصول بأسعار معقولة إلى موارد الطاقة الضرورية لتوفير خدمات طاقة أساسية ومستدامة. وقد يعني هذا تطبيق إستراتيجيات مختلفة في مراحل مختلفة للتنمية الاقتصادية. ولكي تكون خدمات الطاقة سليمة بيئياً، ينبغي أن تكون آثارها البيئية منخفضة وانبعاثاتها من غازات الدفيئة متدنية. وبالرغم من ذلك، فقد أفاد تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أن الوقود الأحفوري قد أسهم بنسبة 85 في المائة[1] من إجمالي الطاقة الأولية في عام 2004، وهي القيمة نفسها التي أسهم بها في عام 2008. وفضلاً عن ذلك، يمثل احتراق الوقود الأحفوري 56.6 في المائة من كافة انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن النشاط البشري (ثاني أكسيد الكربون المكافئ)[2] في 2004. [1.1.1، 9.2.1، 9.3.2، 9.6، 11.3]

وتضطلع مصادر الطاقة المتجددة بدور في إتاحة خدمات الطاقة على نحو مستدام، ولاسيما في التخفيف من آثار تغير المناخ. ويستكشف هذا التقرير الخاص بشأن مصادر الطاقة المتجددة والحد من آثار تغير المناخ الإسهام الراهن وإمكانية مصادر الطاقة المتجددة في إتاحة خدمات طاقة من أجل اتباع مسار تنمية اجتماعية واقتصادية مستدامة. ويشمل التقرير تقييمات لمصادر الطاقة المتجددة وتكنولوجياتها المتاحة، ولتكاليفها والمنافع المرافقة والعوائق التي تواجه متطلبات توسيع نطاق استخدامها وإدماجها والسيناريوهات المستقبلية لها وخيارات السياسات المتعلقة بها. وهو يوفر، على نحو خاص، معلومات لصانعي السياسات والقطاع الخاص والمجتمع المدني بشأن:

- تحديد مصادر الطاقة المتجددة وتكنولوجياتها المتاحة وآثار تغير المناخ على هذه المصادر [الفصول 2 – 7]؛
- التكنولوجيا ووضع السوق، والتطورات المستقبلية، ومعدلات الانتشار المتوقعة [الفصول 2 – 7، 10]؛
- خيارات وقيود الاندماج في منظومة إمدادات الطاقة وغيرها من الأسواق، بما في ذلك تخزين الطاقة، وطرق نقلها، وإدماجها في النظم القائمة وغير ذلك من الخيارات [الفصل 8]؛
- الصلات بين نمو الطاقة المتجددة، والفرص والتنمية المستدامة [الفصل 9]؛
- الآثار على الإمدادات الآمنة للطاقة [الفصل 9]؛
- التكاليف والمنافع والمخاطر والآثار الاقتصادية والبيئية لنشرها [الفصلان 9، 10]؛
- إمكانية موارد الطاقة المتجددة في التخفيف من آثار تغير المناخ [الفصل 10]؛
- السيناريوهات التي توضح سبل الإسراع بوتيرة نشر استخدامها على نحو مستدام [الفصل 10]؛
- بناء القدرات ونقل التكنولوجيا والتمويل [الفصل 11]؛
- خيارات السياسات المتاحة، والمحصلات، والظروف المواتية لتحقيق الفعالية [الفصل 11].

يضم هذا التقرير بين دفتيه 11 فصلاً. الفصل الأول يمهد لتناول الطاقة المتجددة وتغير المناخ؛ والفصول 2 – 7 تقدم معلومات بشأن ستة أنواع من تكنولوجيات الطاقة المتجددة، في حين تتناول الفصول من 8 إلى 11 القضايا التكاملية (انظر الشكل 1.1 الملخص الفني). ويتناول التقرير أوجه عدم اليقين حيثما كانت ذات صلة[3]. ويقدم هذا الملخص الفني نظرة عامة عن التقرير، حيث يعرض بإيجاز النتائج الأساسية.

رغم أن الملخص الفني يحذو بصفة عامة حذو التقرير الكامل، فإن الإشارات إلى الفصول والأجزاء الملائمة المختلفة مبينة بأرقام الفصول والأجزاء المناظرة الواردة في أقواس مربعة. ويمكن الاطلاع على شرح للمصطلحات والاختصارات والرموز الكيميائية المستخدمة في الملخص الفني في المرفق الأول. كما يمكن الاطلاع على الأساليب والمنهجيات المستخدمة لتحديد التكاليف والطاقة الأولية وموضوعات التحليل الأخرى في المرفق الثاني. كذلك يمكن الاطلاع على معلومات بشأن التكاليف المقومة للطاقة المتجددة في المرفق الثالث.

وتمثل انبعاثات غازات الدفيئة المرتبطة بتوفير خدمات الطاقة سبباً رئيسياً لتغير المناخ. وقد خلص تقرير التقييم الرابع إلى أن «معظم الزيادة الملحوظة في متوسط درجات الحرارة العالمية منذ منتصف القرن العشرين من المرجح جداً أنها ترجع إلى الزيادة الملحوظة في تركيزات غازات الدفيئة الناتجة عن النشاط البشري». إذ واصلت التركيزات النمو منذ إجراء تقرير التقييم الرابع لتصل إلى أكثر من 390 جزء من المليون من ثاني أكسيد الكربون أو 39 في المائة أعلى من مستويات ما قبل الثورة الصناعية بحلول نهاية عام 2010. ومنذ 1850 تقريباً، زاد الاستخدام العالمي للوقود الأحفوري (الفحم والنفط والغاز) ليهيمن على إمدادات الطاقة، مما أدى إلى نمو سريع في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون [الشكل 1.6] ويمكن لكميات الكربون الموجودة في احتياطيات الوقود الأحفوري وموارده [الشكل 1.7] أن تضيف كميات من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي – إذا أُحرقت في خلال العقود المقبلة – قد تتجاوز مدى أي سيناريو تضمنه تقرير التقييم الرابع [الشكل 1.5] أو في الفصل 10 من هذا التقرير. [1.1.3، 1.1.4].

رغم عمليات إزالة الكربون الجوهرية، فإن الغالبية الساحقة لإسقاطات الانبعاثات دون عمليات تدخل تظهر انبعاثات مرتفعة ارتفاعاً كبيراً في عام 2100 مقارنة بنظيرتها في عام 2000، مما يشير ضمناً إلى حدوث زيادة في تركيزات غازات الدفيئة، ومن ثم حدوث زيادة في متوسط درجة الحرارة العالمية. ولتجنب هذه الآثار لتغير المناخ على موارد المياه، والنظم الإيكولوجية، والأمن الغذائي وصحة البشر، والمستوطنات الساحلية مع إمكانية حدوث تغيرات مفاجئة غير قابلة للتصحيح في نظام المناخ، دعت اتفاقات كانكن للحد من زيادات متوسط درجات الحرارة لئلا تزيد عن أكثر من درجتين مئويتين عن قيمها قبل الثورة الصناعية، واتفقت على النظر في تقليل هذه الزيادة إلى 1.5 درجة مئوية.

1 الرقم المستقى من تقرير التقييم الرابع هو 80 في المائة وجرى تحويله من أسلوب المحتوى الفيزيائي لحساب الطاقة إلى أسلوب المكافئ المباشر المستخدم في هذا التقرير. يرجى الرجوع إلى القسم 1.1.9 والمرفق الثاني (القسم A.II.4) لمزيد من التفاصيل المنهجية.

2 الإسهامات من مصادر و/أو غازات أخرى تأتي من: ثاني أكسيد الكربون الناتج عن إزالة الغابات، اضمحلال الكتلة الإحيائية، إلخ (17.3 ٪)، ثاني أكسيد الكربون من مصادر أخرى (2.8 ٪)، ميثان (14.3 ٪)، وأكسيد النيتروز (7.9 ٪)، والغازات المعالجة بالفلور (1.1 ٪)

3 يتناول هذا التقرير أوجه عدم اليقين، على سبيل المثال بعرض تحاليل الحساسية، وكمياً بالتعبير عن الآماد بأرقام التكاليف وكذلك بالتعبير عن الآماد في نتائج السيناريوهات. ولا يطبق هذا التقرير المصطلحات الرسمية للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن عدم اليقين لأنه إبان اعتماد هذا التقرير كان الدليل الإرشادي للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ قيد المراجعة.

الشكل 1.1 الملخص الفني: هيكل التقرير. [الشكل 1.1]

وللتيقن من تحقيق زيادة متوازنة في درجة الحرارة تتراوح بين درجتين و2.4 درجة مئوية فحسب، سيتعين تثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي في مدى يتراوح بين 445 و 490 جزءاً في المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ويشير هذا بدوره إلى ضرورة خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عالمياً بنسبة 50 إلى 85 في المائة أدنى من معدلات ما قبل عام 2000 بحلول عام 2050 وأن نشرع في خفضها (بدلاً من أن تواصل زيادتها الراهنة) في موعد أقصاه عام 2015 . [1.1.3]

ولوضع إستراتيجيات للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة، يمكن الاستعانة بمتطابقة كايا لتصنيف انبعاثات ثاني اكسيد الكربون المتصلة بالطاقة وفق أربعة عوامل: 1) السكان 2) نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي 3) كثافة الطاقة (أي إجمالي الإمداد بالطاقة الأولية بالنسبة للناتج المحلي الإجمالي 4) كثافة الكربون (أي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالنسبة لإجمالي الإمداد بالطاقة الأولية) . [1.1.4]

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون = عدد السكان x (الناتج المحلي الإجمالي / السكان) x (إجمالي الإمداد بالطاقة الأولية / الناتج المحلي الإجمالي) x (ثاني أكسيد الكربون x إجمالي الإمداد بالطاقة الأولية)

ويوضح الشكل 1.2 الملخص الفني [1.1.4] التغير السنوي في هذه العوامل الأربعة.

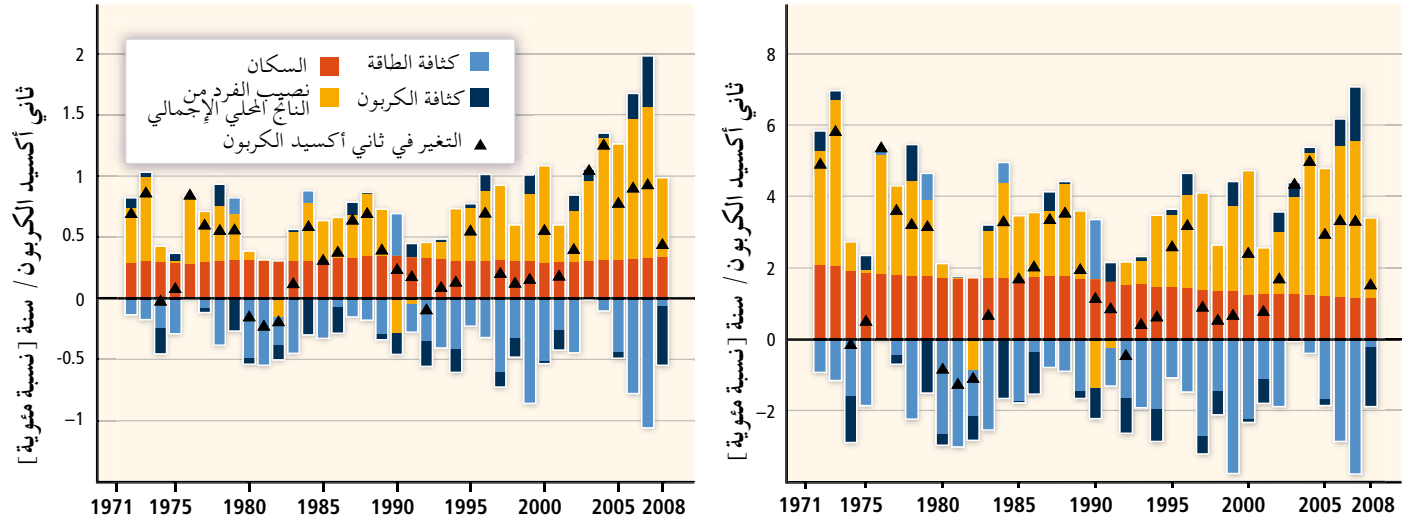
رغم أن نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ونمو السكان كان لهما الأثر الأكبر على نمو الانبعاثات في عقود مبكرة، فقد أدى تدني كثافة الطاقة إلى الإبطاء بشدة من وتيرة نمو الانبعاثات في من 1971 إلى 2008 . وفي الماضي، انخفضت كثافة الكربون نتيجة التحسينات في كفاءة الطاقة والتحول من الفحم إلى الغاز الطبيعي والتوسع في استخدام الطاقة النووية في سبعينيات وثمانينات القرن العشرين، وهو ما قادته على نحو خاص البلدان المدرجة في المرفق الأول[4] . وفي غضون السنوات الأخيرة (2000 إلى 2007) أدى التوسع في استخدام الفحم بصورة أساسية في البلدان المتقدمة والنامية إلى زيادة كثافة الكربون على الرغم من انخفاض استخدام الفحم والنفط انخفاضاً طفيفاً منذ عام 2007 . وفي عام 2008، توقف هذا التوجه نتيجة للأزمة المالية العالمية . ومنذ السنوات الأولى للألفية الثالثة، أصبح الإمداد بالطاقة أكثر كثافة لاستخدام الكربون، مما أدى إلى تضخيم الزيادة نتيجة لنمو نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي . [1.1.4].

وتشير التقديرات، على أساس عالمي، إلى أن الطاقة المتجددة أسهمت بنسبة 12.9 في المائة من 492 اكسغل من إجمالي الإمداد بالطاقة الأولية في عام 2008، وجاء الإسهام الأكبر في الطاقة المتجددة من الكتلة الأحيائية (10.2 في المائة)، حيث استخدم معظم وقود الكتلة الأحيائية (نحو 60 في المائة) في عمليات الطهي والتسخين التقليدية في البلدان النامية لكن مع حدوث ازدياد مطرد في استخدام الكتلة الأحيائية الحديثة أيضاً.[5] وأسهمت الطاقة الكهرمائية بنسبة 2.3 في المائة، في حين أسهمت المصادر الأخرى للطاقة المتجددة بنسبة 0.4 في المائة (الشكل 1.3 الملخص الفني) . وفي عام 2008، أسهمت الطاقة المتجددة بما يناهز 19 في المائة من الإمداد بالكهرباء في العالم (16 في المائة من الطاقة الكهرمائية، و3 في المائة من المصادر الأخرى للطاقة المتجددة) . [1.1.5]

وزاد انتشار الطاقة المتجددة بوتيرة مطردة في غضون السنوات الأخيرة . وفي معظم الأحوال، فإن زيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة سيقتضي

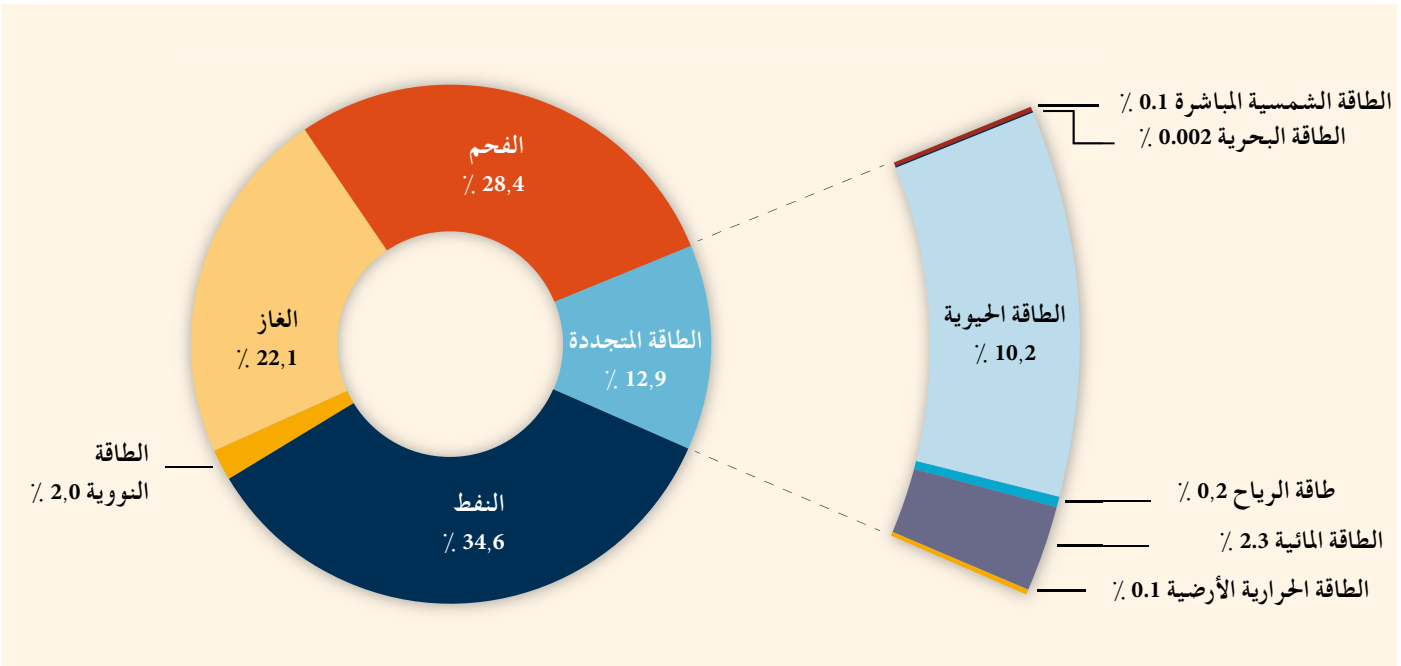
4 انظر المسرد (المرفق الأول) للاطلاع على تعريف البلدان المدرجة في المرفق الأول .

5 لم يشر هنا أو في قواعد البيانات الرسمية إلى ما يقدر بين 20 إلى 40 في المائة من وقود الكتلة الأحيائية التقليدي المستخدم في القطاعات غير المنظمة [2.1] .

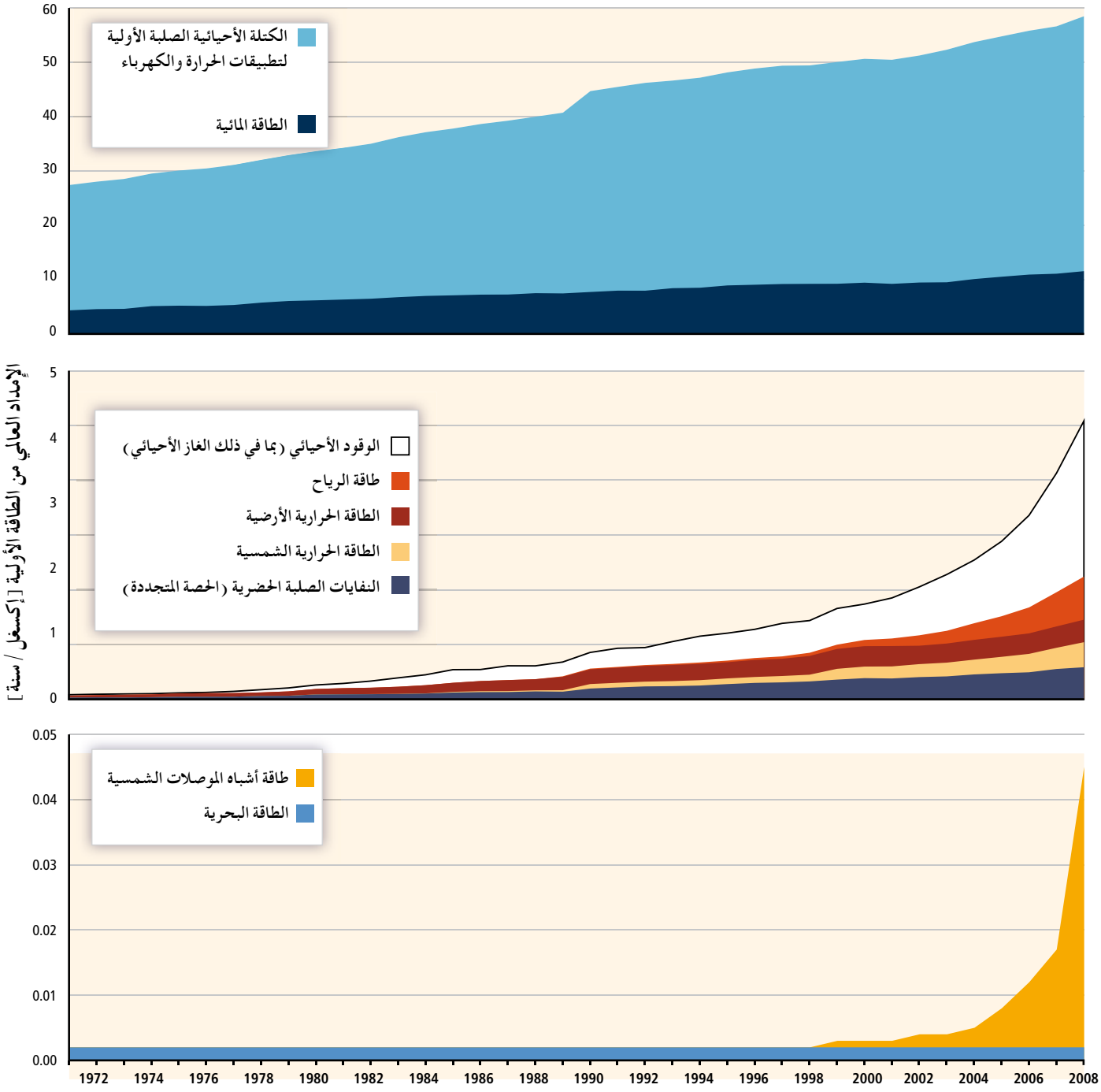


الشكل 1.2 الملخص الفني: تحليل (اليسار) التغير السنوي المطلق، (اليمين) معدل النمو السنوي في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة عالمياً حسب العوامل الواردة في "متطابقة كايا"؛ السكان (الأحمر) نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي (البرتقالي)، كثافة الطاقة (الأزرق الفاتح) وكثافة الكربون (الأزرق الداكن) من 1971 إلى 2008. وتظهر الألوان التغيرات التي ستحدث من جراء كل عامل على حدة، مع الحفاظ على كل من العوامل الأخرى ثابتاً. ويوضح المثلث الأسود التغيرات السنوية الإجمالية. [الشكل 1.8]

اتباع سياسات لإحداث تغييرات في منظومة الطاقة. ودعمت السياسات الحكومية، وانخفاض تكلفة كثير من تكنولوجيات الطاقة البديلة، والتغيرات في أسعار الوقود الأحفوري، وغير ذلك من العوامل، استمرار الزيادة في استخدام الطاقة المتجددة. ورغم أن حصة الطاقة المتجددة مازالت صغيرة نسبياً، فقد تسارع نموها في الأعوام الأخيرة مثلما هو مبين في الشكل 1.4 الملخص الفني. وفي عام 2009، وبالرغم من التحديات المالية العالمية، فقد واصلت قدرات الطاقة المتجددة نموها باطراد، بما في ذلك طاقة الرياح (32 في المائة، أضافت 38 جيجاواط)، الطاقة المائية (3 في المائة، أضافت 31 جيجاواط)، الفوتوفلطائية المرتبطة بالشبكة (53 في المائة، أضافت 7.5 جيجاواط)، الطاقة الحرارية الأرضية (4 في المائة، أضافت 0.4 جيجاواط)، ومياه ساخنة/تسخين بالطاقة الحرارية الشمسية (21 في المائة، أضافت 31 جيجاواط حراري). وأسهم الوقود الأحيائي بنسبة 2 في المائة من الطلب العالمي على وقود النقل على الطرقات في 2008 وبزهاء 3 في المائة في 2009. وزاد الإنتاج السنوي من الإيثانول إلى 1.6 إكسغل (76 مليار لتر) بحلول



الشكل 1.3 الملخص الفني: حصص مصادر الطاقة في إجمالي الإمداد بالطاقة الأولية عالمياً في عام 2008 (492 إكسغل). تسهم الكتلة الأحيائية الحديثة بنسبة 38 في المائة من الحصة الإجمالية للكتلة الأحيائية. [الشكل 1.10]



الشكل 1.4 الملخص الفني: التطور التاريخي للإمداد بالطاقة الأولية عالمياً من الطاقة المتجددة من 1971 إلى 2008. [الشكل 1.12]

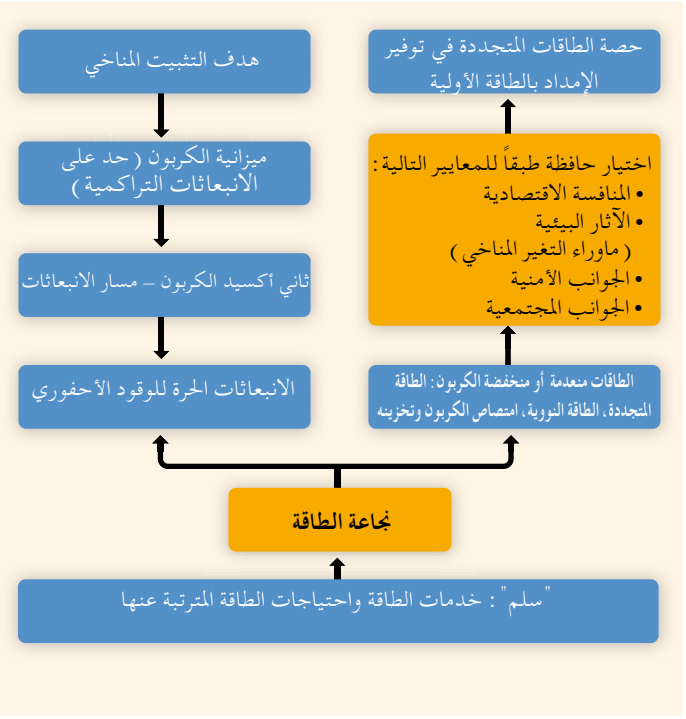
ملاحظة: جرت الإشارة إلى التكنولوجيات بوحدات رأسية مستقلة لأغراض التوضيح فحسب. وحولت البيانات الأساسية للشكل إلى أسلوب «المكافئ المباشر» لحساب الإمداد بالطاقة الأولية [1.1.9، المرفق الثاني – 4]، فيما عدا أنه تم الإبلاغ عن محتوى الطاقة من الوقود الحيوي من حيث الإمداد بالطاقة الثانوية (الكتلة الأحيائية الأولية المستخدمة لإنتاج الوقود الحيوي ستكون أعلى نتيجة نظراً للخسارة الناجمة عن عملية التحويل [3.2، 4.2]).

2009، وزاد إنتاج الديزل الأحيائي إلى 0.6 إكسغل (17 مليار لتر). ومن بين نحو 300 جيجاواط أضيفت من القدرات الجديدة لتوليد الكهرباء عالمياً من 2008 إلى 2009، فإن ما يناهز 140 جيجاواط تم توليدها بفضل إضافات الطاقة المتجددة. ولدى البلدان النامية، بصورة جماعية، 53 في المائة من قدرات توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة (ويشمل ذلك كافة أحجام الطاقة المائية)، وقامت الصين بإضافة قدرات توليد كهرباء من الطاقة المتجددة أكثر من أي بلد آخر في عام 2009. وأسهمت الولايات المتحدة و البرازيل، على التوالي، بنسبة 54 و35 في المائة من إنتاج الإيثانول الأحيائي في عام 2009، في حين كانت الصين هي صاحبة الريادة في استخدام تسخين المياه بالطاقة الشمسية. وفي نهاية عام 2009، شمل استخدام الطاقة المتجددة في أسواق

المياه الساخنة / التسخين: الكتلة الأحيائية الحديثة (270 جيجاواط)، والطاقة الشمسية (180 جيجاواط، والطاقة الحرارية الأرضية (60 جيجاواط)، كما زاد استخدام الطاقة المتجددة (باستبعاد الكتلة الأحيائية التقليدية)، للوفاء بالاحتياجات الريفية من الطاقة، بما في ذلك محطات الطاقة الكهرمائية صغيرة الحجم، وخيارات الكتلة الأحيائية الحديثة المختلفة، والطاقة الكهربائية الضوئية في المنازل أو القرى، ونظم طاقة الرياح أو النظم الهجينة التي تجمع بين تكنولوجيات متعددة [1.1.5] .

ثمة وسائل متعددة لتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة من منظومة الطاقة مع توفير خدمات الطاقة المطلوبة في الوقت نفسه. وحدد تقرير التقييم الرابع عددا من السبل لتخفيض انبعاثات الاحتباس الحراري من مصادر الطاقة مع توفير خدمات الطاقة في الوقت نفسه [1.1.6].

- تحسين نجاعة جانب العرض من تحويل الطاقة ونقلها وتوزيعها بما ذلك الجمع بين الحرارة والطاقة.
- تحسين نجاعة جانب الطلب في القطاعات والتطبيقات ذات الصلة (مثل المباني والعمليات الصناعية والزراعية والنقل والتسخين والتبريد والإضاءة).
- التحول من ناقلات الطاقة مرتفعة غازات الدفيئة مثل الفحم والنفط إلى ناقلات الطاقة منخفضة غازات الدفيئة مثل الغاز الطبيعي والوقود النووي ومصادر الطاقة المتجددة.
- استخدام امتصاص ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لمنع ثاني أكسيد الكربون الناجم عن الاحتراق أو العمليات الصناعية من دخول الغلاف الجوي. ولعملية امتصاص ثاني أكسيد الكربون وتخزينه القدرة على إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي عند معالجة الكتلة الأحيائية، مثلاً من خلال الاحتراق أو التخمير.
- تغيير السلوك لتحسين إدارة استخدام الطاقة أو لاستخدام أقل لسلع وخدمات كثيفة الكربون الطاقة.



الشكل 1.5 الملخص الفني: دور الطاقة المتجددة في حافظة خيارات التخفيف منعدمة أو منخفضة الكربون (وصف نوعي) [1.14]

ستعتمد الحصة المستقبلية لتطبيقات الطاقة المتجددة اعتماداً كبيراً على أهداف تخفيف آثار تغير المناخ ومستوى خدمات الطاقة المطلوبة والاحتياجات من الطاقة الناجمة عن ذلك، فضلاً عن ميزتها النسبية في حافظة التكنولوجيات منعدمة أو منخفضة الكربون (الشكل 1.5 الملخص الفني). وسينطوي أي تقييم شامل لأي حافظة لخيارات تخفيف آثار تغير المناخ، على إجراء تقييم لقدرات التخفيف الخاصة بكل منها فضلاً عما يرتبط بذلك من مخاطر وتكاليف وإسهامها في التنمية المستدامة. [1.1.6]

وتحديد هدف لحماية المناخ فيما يتعلق بالتغير المقبول في متوسط درجات الحرارة العالمية يحدد بشكل عام للتركيز المناظر لغازات الدفيئة، مع ما يرتبط بذلك من ميزانية لثاني أكسيد الكربون ومسار لاحق للانبعاثات معتمد على الزمن، يحدد بدوره الكمية المقبولة من الانبعاثات الحرة للوقود الأحفوري. ويتأثر الإسهام التكميلي للطاقة منعدمة أو منخفضة الكربون في الإمداد بالطاقة الأولية «بنطاق» خدمات الطاقة المطلوبة. [1.1.6]

ونظراً لأن كثيراً من الخيارات منخفضة التكلفة لتحسين النجاعة الكلية للطاقة تشكل بالفعل جزءاً من سيناريوهات عدم التدخل، فإن الفرص الإضافية السانحة لخفض كثافة الطاقة من أجل تخفيف آثار تغير المناخ، محدودة. ولتحقيق الأهداف الطموحة لحماية المناخ، فإن عمليات تحسين نجاعة الطاقة لا تكفي وحدها، مما يتطلب استخدام تكنولوجيات إضافية منعدمة أو منخفضة الكربون. ويعتمد الإسهام الذي ستقدمه الطاقة المتجددة في حافظة هذه التكنولوجيات منخفضة الكربون اعتماداً كبيراً على المنافسة الاقتصادية بين هذين النوعين من التكنولوجيا، وعلى عقد مقارنة بين العبء البيئي المرتبط بكل منهما (بخلاف تغير المناخ)، فضلاً عن الجانبين الأمني والمجتمعي لهما (الشكل 1.5 الملخص الفني). [1.1.6]

تتمتع مجموعة المعارف العلمية بشأن الطاقة المتجددة والإسهام المحتمل للطاقة المتجددة نحو الوفاء بأهداف تخفيف غازات الدفيئة، وفقاً لما جرى تجميعه وتقييمه في هذا التقرير، بأهمية جوهرية. ومع ذلك، فنظراً لطبيعة الطاقة المتجددة، جزئياً، المرتبطة بالموقع، ولتنوع تكنولوجيات الطاقة المتجددة، وللاحتياجات المتعددة من خدمات الطاقة للاستخدام النهائي التي تلبيها تلك التكنولوجيات، ولنطاق الأسواق والقواعد التنظيمية التي تحكم الإدماج، ولتعقيد تحولات منظومة الطاقة، فإن المعرفة بشأن الطاقة المتجددة وإمكانيات تخفيف آثار تغير المناخ مازالت تواصل تقدمها ومازلنا نحتاج اكتساب مزيد من المعرفة في عدد من المجالات الواسعة المتعلقة بالطاقة المتجددة وبدورها المحتمل في عمليات الحد من انبعاثات غازات الدفيئة: [1.1.8]

- التكلفة المستقبلية لنشر استخدام الطاقة المتجددة وتوقيتها؛
- الإمكانيات الفنية القابلة للتحقيق للطاقة المتجددة على جميع المستويات الجغرافية؛
- التحديات الفنية والمؤسسية وتكاليف إدماج تكنولوجيات مختلفة للطاقة المتجددة في نظم الطاقة وأسواقها؛
- التقييم الشامل للجوانب الاجتماعية – الاقتصادية والبيئية لتكنولوجيات الطاقة المتجددة وتكنولوجيات الطاقة الأخرى؛
- فرص تلبية احتياجات البلدان النامية من خدمات الطاقة المتجددة المستدامة؛
- السياسات والآليات المؤسسية والمالية للنشر الطاقة المتجددة في طائفة واسعة من السياقات بتكلفة فعالة.

على الرغم من معرفة الكثير بالفعل في كل من هذه المجالات وفقاً لما جرى تجميعه في هذا التقرير، فإن إجراء مزيد من البحوث والتجارب سيساعد

بدرجة أكبر على الحد من أوجه عدم اليقين ومن ثم سييسر عمليات صنع القرار المتعلقة باستخدام الطاقة المتجددة فى تخفيف آثار تغير المناخ. [1.1.6]

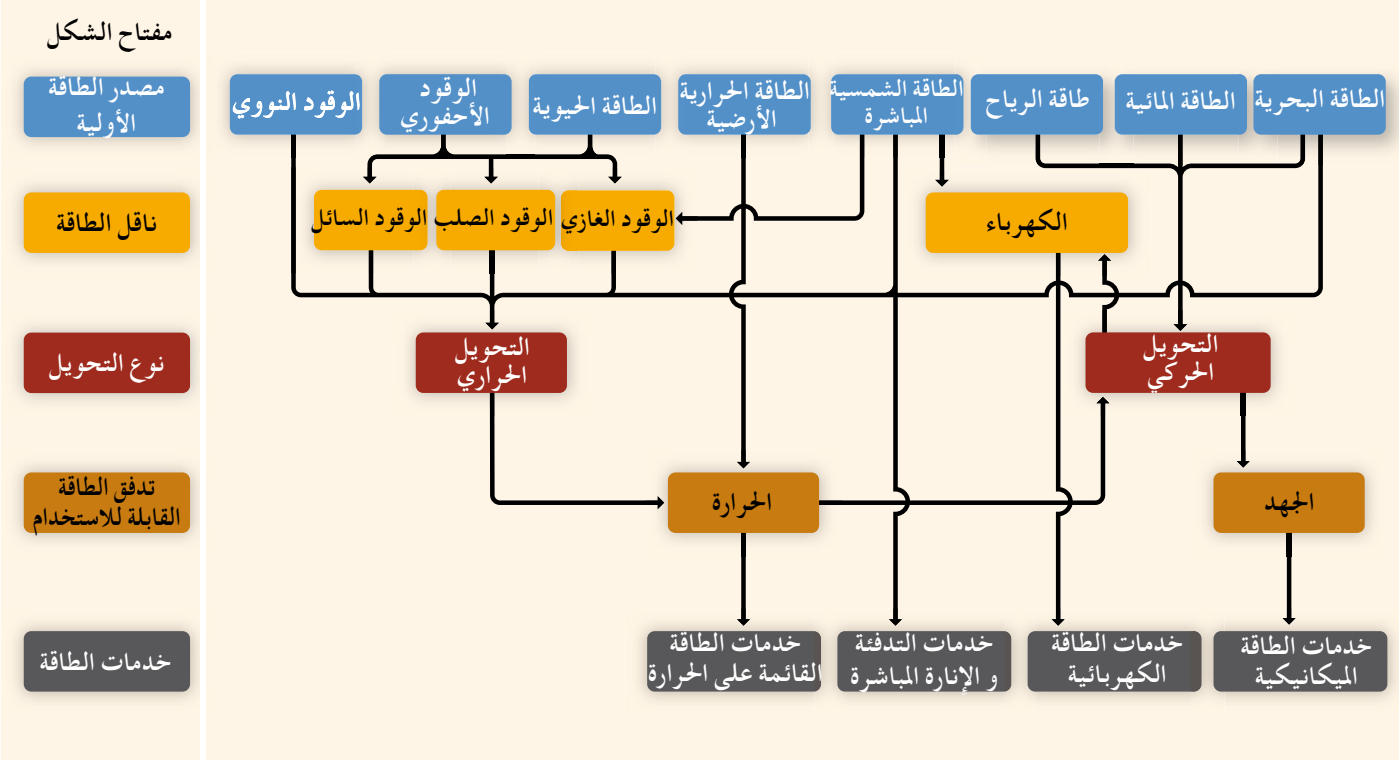
1.2 موجز بموارد وإمكانات الطاقة المتجددة

الطاقة المتجددة هي أي شكل من أشكال مصادر الطاقة الشمسية أو الجيوفيزيائية أو البيولوجية التي تعيد العمليات الطبيعية تزويدها مجددا بمعدل يساوي أو يفوق معدل استخدامها. وتُتحصل الطاقة المتجددة من التدفقات المستمرة أو المتكررة للطاقة التي تحدث في البيئة الطبيعية وتشمل موارداً مثل الكتلة الأحيائية، والطاقة الشمسية، والطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الكهرمائية، وموجات المد والجزر، والطاقة الحرارية البحرية وطاقة الرياح. ومع ذلك، يمكن استخدام الكتلة الأحيائية بمعدل أكبر مما يمكن أن تنمو به أو استخلاص الحرارة من حقل طاقةٍ حرارية أرضية بمعدل أسرع مما يمكن لتدفقات الحرارة أن تزودها به مجدداً. من ناحية أخرى، ليس لمعدل استخدام الطاقة الشمسية المباشرة أي تأثير على المعدل الذي تصل به إلى الأرض. ولا يندرج الوقود الأحفوري (الفحم والنفط والغاز الطبيعي) تحت هذا التعريف، حيث لا تتزود مجددا في غضون فترة زمنية قصيرة نسبياً بالنسبة إلى معدل الاستخدام. [1.2.1]

هناك عملية متعددة الخطوات يتم بموجبها تحويل الطاقة الأولية إلى ناقل للطاقة، ومن ثم إلى خدمة الطاقة. تتنوع تكنولوجيات الطاقة المتجددة ويمكن أن تخدم جميع احتياجات خدمات الطاقة. ويمكن لأنواع مختلفة من الطاقة المتجددة الإمدادَ بالكهرباء، والطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية، فضلا عن إنتاج وقود قادر على تلبية الاحتياجات المتعددة لخدمات الطاقة. ويوضح الشكل 1.6 الملخص الفني، عمليات التحويل متعددة الخطوات. [1.2.1]

وحيث يحتاج الناس إلى خدمات الطاقة وليس إلى الطاقة، ينبغي أن تُدار هذه العملية بطريقة فعالة تتطلب استهلاكاً أقل للطاقة الأولية مع تكنولوجيات منخفضة الكربون التي تقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتعاني عمليات التحويل الحراري لإنتاج الطاقة الكهربائية (بما في ذلك الكتلة الأحيائية والطاقة الحرارية الأرضية) من خسائر تتراوح تقريبا بين 40 إلى 90 ٪، وخسائر تبلغ نحو 80 ٪ تحدث عند تزويد الطاقة الميكانيكية اللازمة للنقل القائم على محركات الاحتراق الداخلي. وترفع خسائر التحويل هذه حصةَ الطاقة الأولية من الوقود الأحفوري، والطاقة الأولية اللازمة من الوقود الأحفوري لإنتاج الكهرباء والطاقة الميكانيكية من الحرارة. ولا تعاني تحويلات الطاقة الشمسية المباشرة من طاقة أشباه الموصلات الضوئية الشمسية والطاقة المائية، والطاقة البحرية التي تنتج الكهرباء من خسائر دورة الطاقة الحرارية (الحرارة في العمل) بالرغم من أنها تواجه قصوراً في تحويل استخراج الطاقة من تدفقات الطاقة الطبيعية التي يمكن أيضاً أن تكون كبيرة نسبياً وغير قابلة للخفض (الفصول 2–7). [1.2.1]

يمكن نشر بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة لجهة الاستعمال (اللامركزي) في البيئات الريفية والحضرية، في حين تُنْشر أخرى في المقام الأول ضمن شبكات كبيرة (مركزية) للطاقة. وبالرغم من أن العديد من تكنولوجيات



الشكل 1.6 الملخص الفني: مسارات توضيحية للطاقة من المصدر إلى الخدمة. تشير جميع خطوط التوصيل إلى مسارات ممكنة للطاقة. ويمكن توفير خدمات الطاقة التي تُوصَّل للمستخدمين بكميات متفاوتة من الاستخدام النهائي للطاقة. وتبعاً لذلك يمكن توفيرها بكثير أو قليل مع الطاقة الأولية من مصادر مختلفة، وبمختلف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وغيرها من الآثار البيئية. [الشكل 1.16]

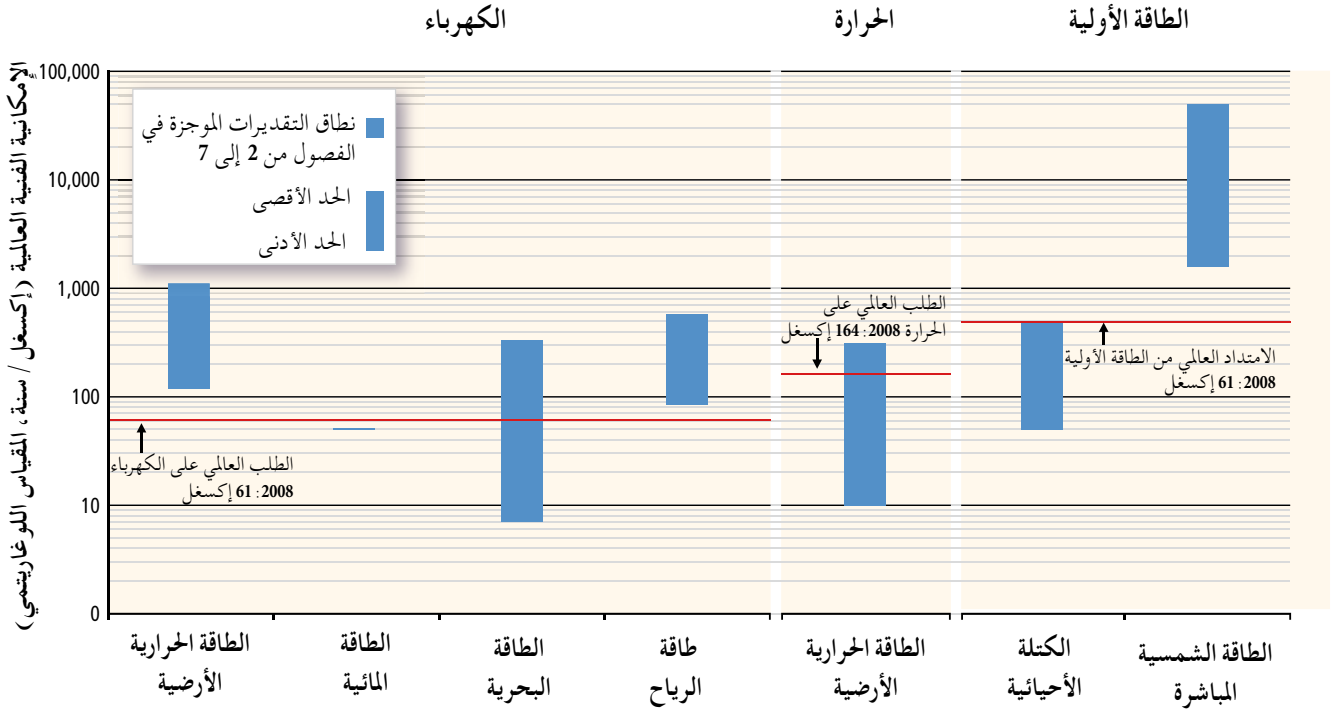
الطاقة المتجددة ناضجة فنياً ويجري نشرها على نطاق كبير، لايزال بعضها الآخر في مرحلة مبكرة من النضج الفني والنشر التجاري. [1.2.1]

وتتجاوز الإمكانات النظرية للطاقة المتجددة الطلب العالمي الحالي والمتوقع على الطاقة إلى حد بعيد، لكن يكمن التحدي في اغتنام حصة كبيرة من تلك الإمكانات والاستفادة منها في توفير خدمات الطاقة المطلوبة بطريقة فعالة من حيث التكلفة وسليمة بيئياً. [1.2.2]

ولن تُحد الإمكانات الفنية العالمية لمصادر الطاقة المتجددة من استمرار نمو السوق. وهناك مجموعة واسعة من التقديرات في هذا المجال لكن الدراسات توصلت دائما إلى أن إجمالي الإمكانات الفنية العالمية لمصادر الطاقة المتجددة أعلى بكثير من الطلب العالمي على الطاقة الحالي منه والمتوقع مستقبلاً؛ ذلك أن الإمكانات الفنية للطاقة الشمسية هي الأعلى بين مصادر الطاقة المتجددة، لكن توجد إمكانات فنية كبيرة لجميع أشكال الطاقة المتجددة. فمن غير المرجح أن يُحدّ الحجم المطلق للإمكانات الفنية العالمية للطاقة المتجددة من انتشار الطاقة المتجددة. [1.2.3]

الشكل 1.7 الملخص الفني، يبين أن الإمكانات الفنية[6] تتجاوز بهامش كبير الطلب العالمي على الكهرباء والتدفئة، وكذلك الإمداد العالمي من الطاقة الأولية في عام 2008. وفي حين يقدم الشكل منظورا للقارئ لفهم الأحجام النسبية لموارد الطاقة المتجددة في سياق العرض والطلب الحالي على الطاقة، لاحظ أن الإمكانيات الفنية ليست مؤكدة إلى حد كبير. يتضمن الجدول A.1.1 في مرفق الفصل 1 ملاحظات وتفسيرات أكثر تفصيلاً. [1.2.3]

يمكن إدماج الطاقة المتجددة في كل أنواع نظم الطاقة الكهربائية، بدءاً من الشبكات المترابطة عبر القارات، ونزولاً إلى النظم الصغيرة القائمة بمفردها والمباني المنفردة. وسواء أكان ذلك للكهرباء أو للتدفئة أو للتبريد أو لوقود غازي أو لوقود سائل، فإن إدماج الطاقة المتجددة هو وليد السياق، ومرتبط بخصوصية الموقع ومعقد. ومن الممكن أن تكون طاقة الرياح والطاقة الشمسية القابلة للتوزيع جزئياً أكثر صعوبة في دمجها من الطاقة الكهرمائية والطاقة الحيوية والطاقة الحرارية الأرضية. ومع زيادة تغلغل الطاقة المتجددة القابلة للتوزيع جزئياً، ربما يصبح الحفاظ على الاعتماد على النظام أكثر تحدياً وكلفة. وامتلاك حافظة من الحلول لخفض مخاطر إدماج الطاقة المتجددة وتكاليفها يمكن أن يتضمن وضع مشاريع توليد مرنة تكميلية، وتقوية وتمديد البنية الأساسية والترابط المتبادل بين النظم، والطلب على الكهرباء الذي يستطيع الاستجابة فيما يخص توافر المعروض، وتكنولوجيات تخزين الطاقة (بما في ذلك الطاقة الكهرمائية القائمة على



نطاق التقديرات للإمكانيات الفنية العالمية

	الطاقة الحرارية الأرضية	الطاقة المائية	الطاقة البحرية	طاقة الرياح	الطاقة الحرارية الأرضية	الكتلة الأحيائية	الطاقة الشمسية المباشرة
الحد الأقصى (بالإكسغل / سنة)	1109	52	331	580	312	500	49837
الحد الأدنى (بالإكسغل / سنة)	118	50	7	85	10	50	1575

الشكل 1.7 الملخص الفني: طاقات الإمكانات الفنية العالمية لموارد الطاقة المتجددة المستخلصة من الدراسات المقدمة في الفصول من 2 حتى 7. وتعرض طاقة الكتلة الأحيائية والطاقة الشمسية كطاقة أولية لاستخداماتهما المتعددة؛ لاحظ أن الأرقام مقدمة على المقياس اللوغاريتمي لاتساع مدى البيانات المقيّمة. [الشكل 1.17]

ملاحظات: تمثل الإمكانيات الفنية الواردة إجمالي الإمكانيات على المستوى العالمي للإمداد السنوي من الطاقة المتجددة ولا تستقطع أي إمكانية تستخدم بالفعل. لاحظ أن مصادر الكهرباء من الطاقة المتجددة يمكن أيضاً أن تُستخدم في تطبيقات التدفئة، بينما وردت مصادر الطاقة الشمسية ومصادر الكتلة الأحيائية فقط في حدود الطاقة الأولية لكن يمكن استخدامها للوفاء باحتياجات خدمات الطاقة المتنوعة. وتستند النطاقات إلى طرق متنوعة وتطبقها على سنوات قادمة مختلفة؛ وبالتالي فإن النطاقات الناجمة ليست متشابهة بصرامة على امتداد التكنولوجيات. وللاطلاع على البيانات الخاصة بالشكل 4، والملاحظات الإضافية ذات الصلة، انظر الجدول A.1.1 (فضلاً عن الفصول الأساسية).

6 انظر المرفق الأول للوقوف على التعريف الكامل للإمكانية الفنية.

التخزين)؛ وترتيبات مؤسسية معدلة، منها آليات تنظيمية وتسويقية. ومع زيادة تغلغل مستوى زيادات الطاقة المتجددة، تبرز الحاجة إلى مزج نظم وتكنولوجيات التواصل الرخيصة والفعالة، وكذلك الأمتار الذكية [1.2.4]

خدمات الطاقة هي المهام التي يتم أداؤها باستخدام الطاقة. وحيث يمكن تقديم خدمة محددة في مجال الطاقة بطرق كثيرة و بالتالي قد تتسم بالنجاعة العالية أو المنخفضة، ما يعني انبعاث كميات أصغر أو أكبر نسبياً من ثاني أكسيد الكربون (في إطار مزيج معين من الطاقة). وخفض احتياجات الطاقة في مرحلة توصيل خدمات الطاقة من خلال نجاعة استخدام الطاقة هي وسيلة مهمة للحد من الطلب على الطاقة الأولية. وهذا مهم بشكل خاص بالنسبة إلى مصادر الطاقة المتجددة لأنها عادة ما تكون لها كثافات طاقة أقل مقارنة بالوقود الأحفوري أو الطاقة النووية. وغالباً ما تكون تدابير النجاعة الخيار الأقل كلفة للحد من الطلب على الاستخدام النهائي للطاقة. ويقدم هذا التقرير بعض التعاريف المحددة لأبعاد مختلفة من النجاعة. [1.2.5]

لا تتحقق وفورات الطاقة الناتجة عن تدابير النجاعة دائماً وعلى نحو كامل في الممارسة العملية. قد يكون هناك تأثير الارتداد الذي يعوض جزءاً من التدبير بسبب انخفاض التكلفة الإجمالية للطاقة (نظراً لاستخدام كميات أقل من الطاقة) لأداء خدمة محددة في مجال الطاقة قد يؤدي إلى مزيد من استعمال خدمات الطاقة. ومن المقدر على الأرجح أن يكون تأثير الارتداد مُقيَّداً بآثار التشبع ما بين 10 و 30 ٪ للتدفئة المنزلية واستخدام المركبات في بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD)، وصغيراً جداً بالنسبة للأجهزة الأكثر نجاعة وتسخين المياه. ومع ذلك، فإن تدبيراً ناجعاً وناجحاً في خفض الطلب على الطاقة التي يعتمد عليها الاقتصاد اعتماداً واسعاً يُقلل أسعار الطاقة كذلك، مما يؤدي بدوره إلى انخفاض في تكاليف الطاقة التي يعتمد عليها الاقتصاد اعتماداً واسعاً ووفورات إضافية في التكلفة (انخفاض أسعار الطاقة واستخدام أقل للطاقة). ومن المتوقع أن يكون أثر الارتداد أكبر في البلدان النامية وبين فقراء المستهلكين. فبسبب تغير المناخ، فإن مصدر القلق الرئيسي مع أي أثر ارتداد هو تأثيره على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. [1.2.5]

وقد يقلل تسرب الكربون أيضاً من فعالية سياسات الحد من الكربون. فإذا لم تطبق سياسات الحد من الكربون بشكل مُوحَّد في جميع القطاعات والاختصاصات السياسية، فقد تنتقل أنشطة انبعاث الكربون إلى قطاع أو بلد لا يخضع لهذه السياسات. إلا أن أبحاثاً حديثة تشير إلى أن تقديرات تسرب الكربون مرتفعة جداً. [1.2.5]

1.3 تلبية احتياجات خدمة الطاقة والوضع الحالي

تتدفق الطاقة المتجددة في العالم من الطاقة الأولية عن طريق الناقلات إلى الاستخدامات النهائية وتظهر خسائر عام 2008 في الشكل 1.8 الملخص الفني. [1.3.1]

على الصعيد العالمي في عام 2008، اسْتُخدمَ حوالي 56 ٪ من الطاقة المتجددة لتزويد التدفئة في المنازل وكذلك في القطَاع العام وقطاع الخدمات. ويشير هذا بالأساس إلى الخشب والفحم النباتي، المستخدم على نطاق واسع في البلدان النامية لأغراض الطهي. من ناحية أخرى، تُستخدم كمية صغيرة من الطاقة المتجددة في قطاع النقل. وتصل نسبة إنتاج الكهرباء إلى 2¼ ٪ من استهلاك الاستخدام النهائي. وقد ساهم الوقود الحيوي بنسبة 2 ٪ من إمدادات الوقود العالمية لأغراض النقل على الطرقات في عام 2008، أما الكتلة الأحيائية التقليدية (17 ٪)، والكتلة الأحيائية الحديثة (8 ٪) والطاقة الشمسية الحرارية والطاقة الحرارية الأرضية (2 ٪) فقد ساهمت معاً بنسبة 27 ٪ من إجمالي الطلب العالمي على التدفئة في عام 2008. [1.3.1]

وإذا كان من البديهي أن تعتبر الموارد كبيرة من الناحية النظرية ويمكن أن تلبي جميع احتياجات الطاقة في المستقبل البعيد، فإن التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة للعديد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة أعلى حالياً من الأسعار الموجودة للطاقة، بالرغم من أن الطاقة المتجددة في سياقات مختلفة هي في وضع تنافسي بالفعل من الناحية الاقتصادية. وتتسع نطاقات تكاليف الطاقة الإجمالية المقومة مؤخراً لتكنولوجيات منتقاة للطاقة المتجددة المتاحة تجارياً، اعتماداً على عدد العوامل المتضمنة، على سبيل المثال لا الحصر، خصائص التكنولوجيا وحجمها، والتنوع الإقليمي في التكلفة والأداء، ومعدلات الخصم المختلفة (الشكل 1.9 الملخص الفني). [1.3.2، 2.3، 2.7، 3.8، 4.8، 5.8، 6.7، 7.8، 10.5، المرفق الثالث]

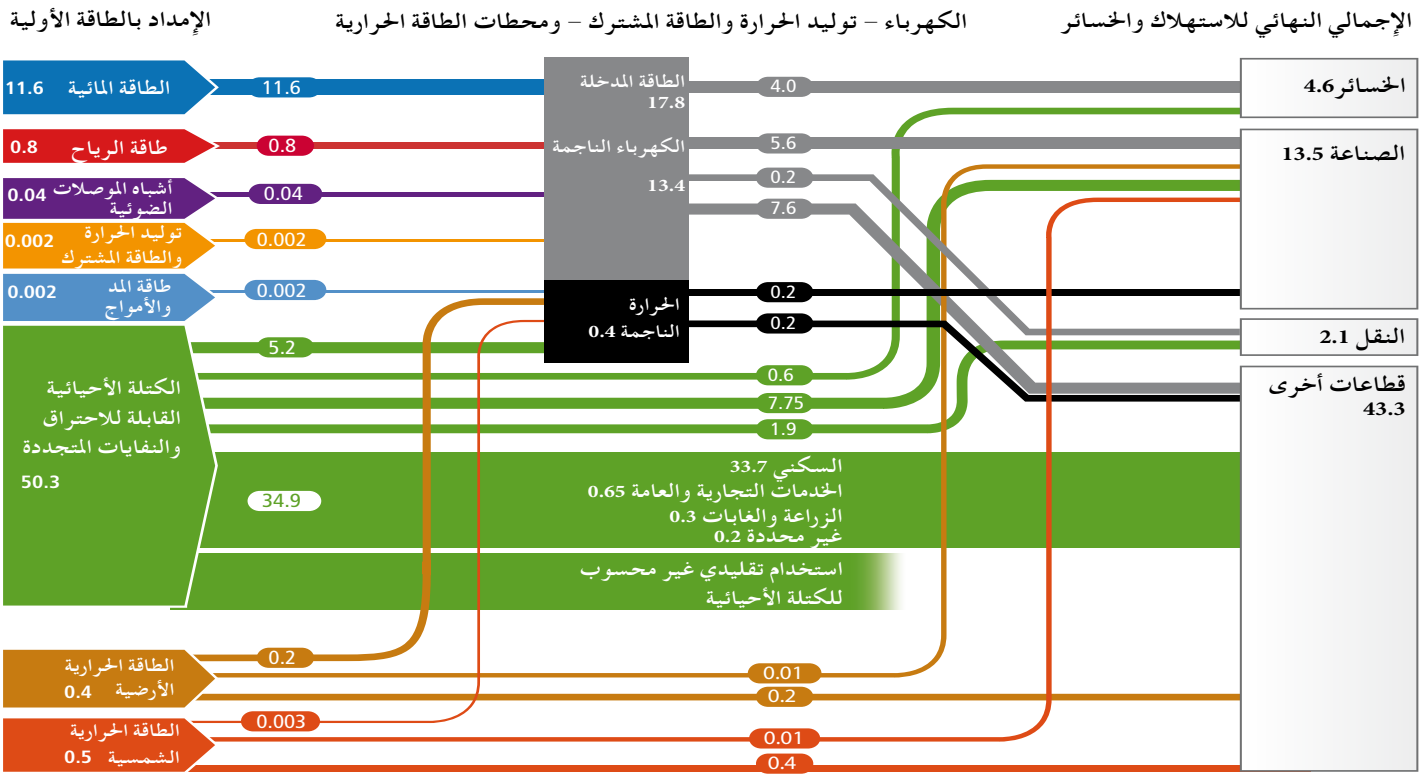
شهدت تكلفة معظم تكنولوجيات الطاقة المتجددة انخفاضاً وسوف يسفر مزيد من أوجه التقدم الفني المتوقعة عن مزيد من خفض التكاليف. ومثل هذه التخفيضات في التكاليف، فضلاً عن التكلفة الخارجية بقيمتها النقدية لإمدادات الطاقة ستحسن القدرة التنافسية النسبية للطاقة المتجددة. وينطبق الشيء نفسه إذا زادت أسعار السوق لأسباب أخرى. [1.3.2، 2.6، 2.7، 3.7، 3.8، 4.6، 4.7، 5.3، 5.7، 5.8، 6.6، 6.7، 7.7، 7.8، 10.5]

يتباين إسهام الطاقة المتجددة تبايناً كبيراً في معروض الطاقة الأولي حسب البلد والإقليم. ويتنوع التوزيع الجغرافي لصناعة الطاقة المتجددة وكذلك الاستخدام والتصدير من العالم المتقدم إلى المناطق النامية الأخرى، لاسيما آسيا بما فيها الصين. فمن حيث القدرة المركبة للطاقة المتجددة، تقود الصين العالم الآن تليها الولايات المتحدة وألمانيا وإسبانيا والهند. وتتوزع الطاقة المتجددة بالتساوي أكثر من الوقود الأحفوري، وهناك دول أو مناطق غنية بموارد معينة من الطاقة المتجددة. [1.3.3]

1.4 الفرص والحواجز والقضايا

تتمثل تحديات الطاقة العالمية الرئيسية في تأمين إمدادات الطاقة لتلبية الطلب المتزايد، وتمكين كل فرد من الحصول على خدمات الطاقة والحد من مساهمة الطاقة في تغير المناخ. فبالنسبة للبلدان النامية، خاصة الدول الأكثر فقراً، هناك حاجة إلى الطاقة لتحفيز الإنتاج، وتوليد الدخل والتنمية الاجتماعية، والحد من المشكلات الصحية الخطيرة الناجمة عن استخدام حطب الوقود، والفحم النباتي، والروث والمخلفات الزراعية. وبالنسبة للبلدان الصناعية، تشمل الأسباب الرئيسية لتشجيع الطاقة المتجددة خفضَ الانبعاثات للتخفيف من تغير المناخ، وتأمين شواغل إمدادات الطاقة واستحداث فرص عمل. ويمكن للطاقة المتجددة فتحَ فرص لمعالجة هذه الأبعاد التنموية البيئية والاجتماعية والاقتصادية المختلفة، بما في ذلك التكيف مع تغير المناخ. [1.4، 1.4.1]

بعض أشكال الموارد المتجددة متاحة في كل مكان في العالم، على سبيل المثال، الإشعاع الشمسي والرياح والمياه المتساقطة والأمواج والمد والجزر والحرارة المختزنة في المحيطات أو الحرارة من الأرض. وعلاوة على ذلك، توجد التكنولوجيات التي يمكن أن تسخر هذه الأشكال من الطاقة. وفي حين تبدو الفرص [1.4.1] كبيرة، هناك عوائق [1.4.2] وقضايا [1.4.3] تبطئ إدخال الطاقة المتجددة في الاقتصادات الحديثة. [1.4]



الشكل 1.8 الملخص الفني: تتدفق الطاقة العالمية (إكسغل في عام 2008) من الطاقة المتجددة الأولية عن طريق الناقلات إلى الاستخدامات النهائية والخسائر (استناداً إلى بيانات وكالة الطاقة الدولية IEA). وتشمل «القطاعات الأخرى» الزراعة، والمباني التجارية والسكنية، والخدمات العامة والقطاعات الأخرى غير المحددة. ويشمل «قطاع النقل» النقل البري، والطيران الدولي والنقل البحري الدولي. [الشكل 1.18]

ويمكن تعريف الفرص بأنها ظروف للعمل مع سمة تحمل طابع الفرصة. وفي سياق السياسة يمكن أن تكمن الفرص في توقع الفوائد الإضافية التي قد ترافق نشر الطاقة المتجددة لكنها ليست مستهدفة عمداً. وتشمل هذه مجالات أربعة رئيسية للفرص، هي: التنمية الاجتماعية والاقتصادية؛ والحصول على الطاقة، وأمن الطاقة، وتخفيف آثار تغير المناخ والحد من الآثار البيئية والصحية. [1.4.1، 9.2–9.4]

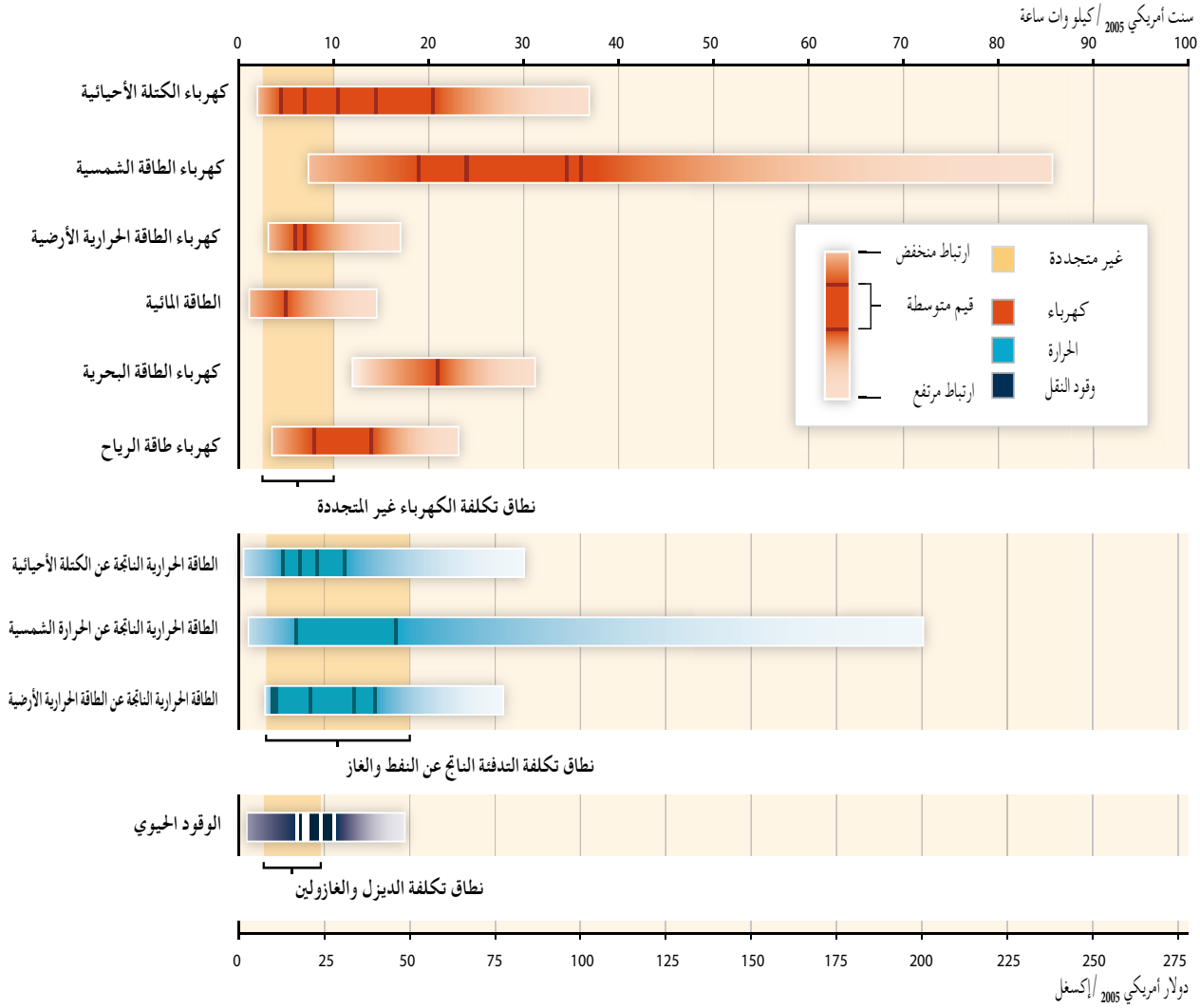
على الصعيد العالمي، يرتبط نصيب الفرد من الدخل فضلاً عن المؤشرات الأوسع مثل مؤشر التنمية البشرية بشكل إيجابي مع باستخدام الفرد للطاقة، ويمكن تعريف النمو الاقتصادي باعتباره العامل الأكثر أهمية وراء زيادة استهلاك الطاقة في العقود الماضية. فلاتزال التنمية الاقتصادية ترتبط بالتحول من الاحتراق المباشر للوقود إلى الكهرباء عالية الجودة. [1.4.1، 9.3.1]

والارتباط بين التنمية الاجتماعية والاقتصادية، لاسيما بالنسبة للبلدان النامية، والحاجة إلى خدمات الطاقة الحديثة واضح. فالحصول على الطاقة النظيفة والموثوقة يشكل شرطاً مسبقاً مهماً للمحددات الأساسية للتنمية البشرية، ويساهم – ضمن جملة أمور – في النشاط الاقتصادي، وتوليد الدخل، وتخفيف حدة الفقر، والصحة، والتعليم، والمساواة بين الجنسين. ويمكن أن تلعب تكنولوجيات الطاقة المتجددة، نظراً لطبيعتها اللامركزية، دوراً مهماً في تعزيز التنمية الريفية؛ حيث يُنظر إلى استحداث فرص العمل (الجديدة) كأثر إيجابي طويل الأمد للطاقة المتجددة في كل من البلدان المتقدمة والبلدان النامية على حد السواء. [1.4.1، 9.3.1.4، 11.3.4]

يمكن تعزيز فرص الحصول على خدمات الطاقة الحديثة المتجددة. ففي عام 2008، 1.4 مليار شخص في جميع أنحاء العالم كانوا يفتقرون إلى الكهرباء، حوالي 85 ٪ منهم في المناطق الريفية، ويُقدر عدد الناس الذين يعتمدون على استخدام الكتلة الأحيائية التقليدية في الطهي بـ 2.7 مليار نسمة. وعلى وجه خاص فإن الاعتماد على الطاقة المتجددة في التطبيقات الريفية، واستخدام الطاقة الحيوية المنتجة محلياً لإنتاج الكهرباء، والحصول على مرافق طهي نظيفة سوف تسهم في تحقيق حصول الجميع على خدمات الطاقة الحديثة. ويشار إلى الانتقال إلى الحصول على الطاقة الحديثة على أنه ارتقاء في سلم الطاقة ويعني ذلك التحول من الوقود/الأجهزة التقليدية إلى مزيد من الأجهزة الحديثة التي هي أكثر لطفاً بالبيئة ولها تأثيرات سلبية أقل على الصحة. ويتأثر هذا الانتقال بمستوى الدخل. [1.4.1، 9.3.2]

كما يمكن أيضاً تخفيف الشواغل بشأن أمن الطاقة الذي يمكن أن يوصف بأنه توفر الموارد وتوزيعها، فضلاً عن تنوع إمدادات الطاقة وموثوقيتها، عن طريق نشر الطاقة المتجددة. وإذ تساعد تكنولوجيات الطاقة المتجددة على تنويع حافظة مصادر الطاقة والحد من تعرض الاقتصاد لتقلبات الأسعار وإعادة توجيه تدفقات العملات الأجنبية بعيداً عن واردات الطاقة، فإنها كذلك تقلل من الفوارق الاجتماعية في إمدادات الطاقة. ويهيمن على إمدادات الطاقة الحالية الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي)، الذي ظلت ولاتزال أسعاره تتقلب مع انعكاسات كبيرة على الاستدامة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية في العقود الماضية، لاسيما بالنسبة للبلدان النامية والبلدان التي تستورد حصصاً كبيرة من من الوقود. [1.4.1، 9.2.2، 9.3.3، 9.4.3]

ويعتبر التخفيف من تغير المناخ أحد القوى الرئيسية الدافعة وراء الطلب المتزايد على تكنولوجيات الطاقة المتجددة. فبالإضافة إلى الحد من انبعاثات غازات الدفيئة، يمكن لتكنولوجيات الطاقة المتجددة أن تقدم أيضاً مزايا



ملاحظات: عرضت القيم المتوسطة للفئات الفرعية التالية التي صنفت حسب الترتيب كما تظهر في النطاقات الخاصة بها (من اليمين إلى اليسار):

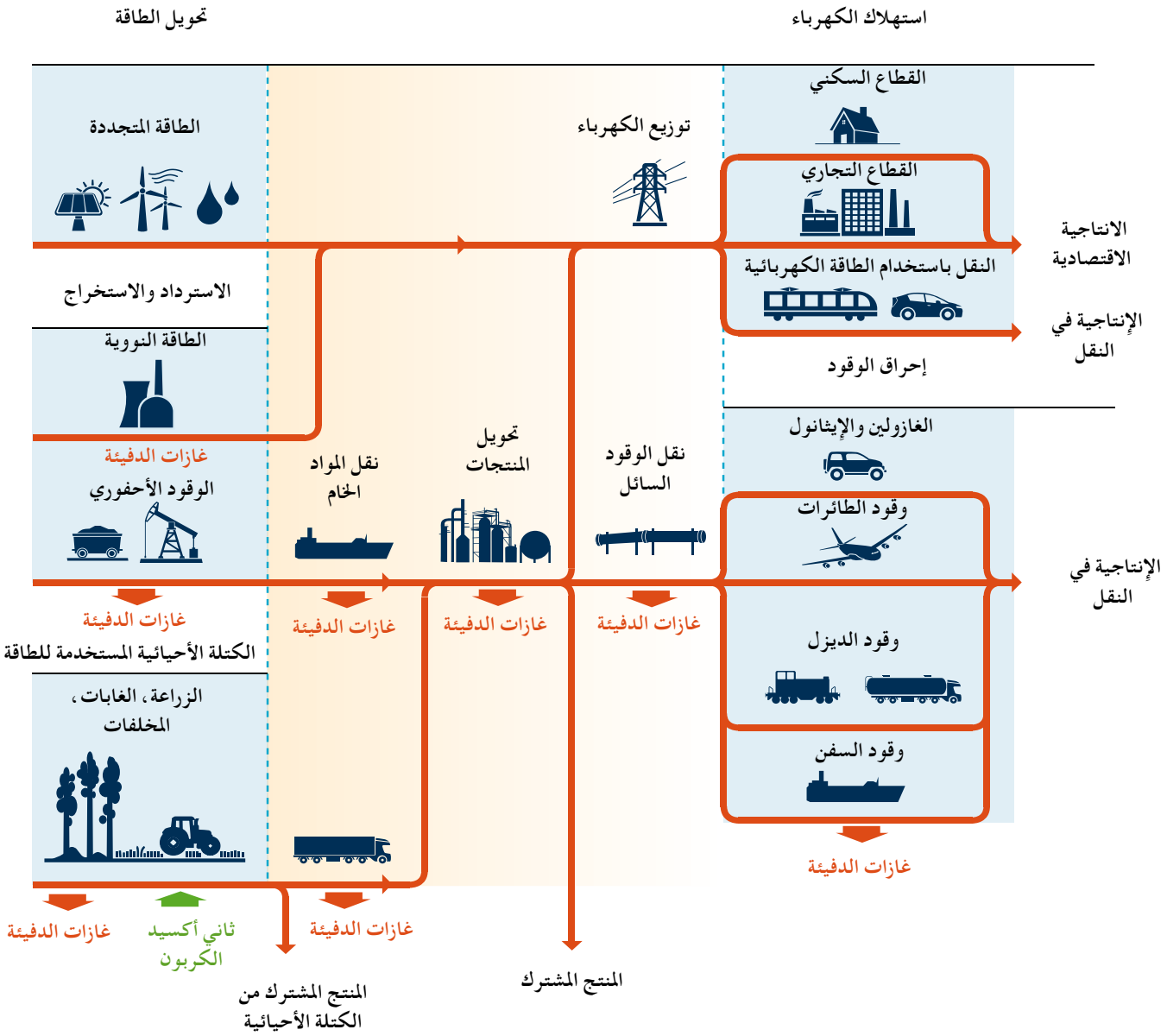
الكهرباء	الطاقة الحرارية	وقود النقل
الكتلة الأحيائية: 1 – الاحتراق المشترك 2 – على نطاق ضيق المزج بين بين الكهرباء والتدفئة (محرك الاحتراق الداخلي للغاز المحول) 3 – وقاد مخصص مباشر ومحرك الاحتراق (CHP) 4 – آلة احتراق صغيرة (توربين بخار) 5 – آلة احتراق صغيرة (دورة رانكين العضوية) **كهرباء الطاقة الشمسية:** 1 –التركيز على الطاقة الشمسية 2 – الألياف الضوئية في نطاق الاستخدام (محور واحد وفقرة ثابتة) 3 – ألياف ضوئية تجارية توضع أعلى السطح 4 – ألياف ضوئية منزلية توضع أعلى السطح **كهرباء الطاقة الحرارية الأرضية:** 1 – جهاز تكثيف الضوء 2 – جهاز الدورة الثنائية **الطاقة المائية:** 1 – كل الأنواع **كهرباء الطاقة البحرية:** 1 – المد والجزر **كهرباء طاقة الرياح:** 1 – على اليابسة 2 – في البحر	**الطاقة الحرارية من الكتلة الأحيائية:** 1 – التدفئة والكهرباء من النفايات الحضرية الصلبة 2 – مزيج بين التدفئة والكهرباء بالهضم اللاهوائي 3 – مزيج بين التدفئة والكهرباء بتوربين البخار 4 – نظام التدفئة المنزلية ذات الأساس **الطاقة الحرارية الناتجة عن الحرارة الشمسية:** 1 –نظم المياه الساخنة المنزلية في الصين 2 – تسخين الماء وتدفئة الأمكاكن **كهرباء الطاقة الحرارية:** 1 – الدفيئات 2 – البرك المائية غير المغطاة 3 – تدفئة المدن 4 –مضخات التدفئة بالطاقة الحرارية الأرضية 5 –تدفئة المباني بالطاقة الحرارية الأرضية	**الوقود الحيوي:** 1 – إيثانول الذرة 2 – ديزل الصويا الحيوي 3 – إيثانول القمح 4 – إيثانول قصب السكر 5 –ديزل زيت النخيل الحيوي

يستند النطاق المخفض للتكلفة الإجمالية المقومة للطاقة عن كل تكنولوجيا طاقة متجددة إلى توليفة من قيم الإدخال الأكثر مواتاة، حيث يستند النطاق العلوي على توليفة من قيم الإدخال الأقل مواتاة. ونطاقات المرجع في خلفية الشكل لخيارات كهرباء الطاقة غير المتجددة ذات دلالة بشأن التكلفة الإجمالية المقومة للتوليد المركزي للكهرباء من مصادر غير متجددة. ونطاقات المرجع للطاقة الحرارية ذات دلالة للتكاليف الأخيرة لخيارات المعروض من الطاقة الحرارية القائمة على الغاز والنفط. ونطاقات المرجع لوقود النقل تستند على أسعار النفط الخام الأخيرة بما قيمته **40** دولار أمريكي للبرميل وأسعار الغاز والديزل المناظرة، باستبعاد الضرائب.

الشكل 1.9 الملخص الفني: نطاق التكلفة الإجمالية المقومة الحديثة العهد للطاقة لبعض التكنولوجيات الخاصة بالطاقة المتجددة المتاحة تجارياً مقارنة بالتكاليف الحديثة للطاقة غير المتجددة. وجرى تجميع الفئات الفرعية للتكنولوجيا ومعدلات الخصم في هذا الشكل. وللاطلاع على أشكال ذات صلة بمجموعات أقل أو بدونها، انظر [1.3.2، 10.5، المرفق الثالث]. كما وردت معلومات إضافية بشأن تكلفة خيارات الإمداد بالطاقة غير المتجددة في [10.5]. [الشكل 10.28]

فيما يتعلق بتلوث الهواء والصحة بالمقارنة مع الوقود الأحفوري. ومع ذلك، يجب الأخذ في الاعتبار تقييم العبء الإجمالي من نظام الطاقة على البيئة والمجتمع، والتعرف على إمكانات المبادلات والتآزرات، والتأثيرات البيئية بصرف النظر عن انبعاثات وفئات غازات الدفيئة. ويمكن أن يتأثر المورد أيضاً بتغير المناخ. وتسهل تقييمات دورة الحياة مقارنة كمية الانبعاثات من «المهد إلى اللحد» عبر تقنيات الطاقة المختلفة. ويوضح الشكل 1.10 الملخص الفني هيكل دورة حياة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ويشير إلى نوعية الآثار النسبية لغازات الدفيئة للطاقة المتجددة والطاقة النووية والوقود الأحفوري. [1.4.1، 9.2.2، 9.3.4، 11.3.1]

واستخدام الكتلة الأحيائية التقليدية ينتج عنه آثار صحية من التركيزات العالية من الجسيمات العالقة وأول أكسيد الكربون، ضمن غيرها من الملوثات. وفي هذا السياق، فإن تكنولوجيات توليد الطاقة المتجددة التي لا تقوم على الإحتراق لديها القدرة على خفض تلوث الهواء خفضاً كبيراً محلياً وإقليمياً وتقليل الآثار الصحية المرتبطة به مقارنة مع الآثار المرتبطة بتوليد الطاقة من الوقود الأحفوري. ويمكن لتحسين استخدام ستخدام الكتلة الأحيائية التقليدية تخفيض الآثار السلبية على التنمية المستدامة، بما في ذلك تلوث الهواء محلياً وداخل المنازل، وانبعاثات غازات الدفيئة، وإزالة الغابات وتدهورها. [1.4.1، 2.5.4، 9.3.4، 9.3.4، 9.4.2]



الشكل 1.10 الملخص الفني: نظام توضيحي لإنتاج الطاقة واستخدامها يوضح دور الطاقة المتجددة جنباً إلى جنب مع خيارات الإنتاج الأخرى. وثمة حاجة إلى اتباع نهج متسق لإجراء تقييمات دورة الحياة. [الشكل 1.22]

تعتمد الآثار على الموارد المائية من أنظمة الطاقة بشدة على اختيار التكنولوجيا والظروف المحلية. فإنتاج الكهرباء من الرياح وطاقة أشباه الموصلات الضوئية الشمسية، على سبيل المثال، يتطلب القليل من الماء للغاية بالمقارنة مع تكنولوجيات التحويل الحراري، وليس له آثار على نوعية المياه أو الهواء. وتقلل محدودية توافر المياه لتبريد محطات الطاقة الحرارية من كفاءتها، التي يمكن أن تؤثر على المحطات التي تعمل بالفحم والكتلة الأحيائية والغاز والطاقة النووية والطاقة الشمسية المركزة. وكان هناك تراجع كبير للطاقة من المحطات النووية ومحطات الفحم خلال ظروف الجفاف في الولايات المتحدة وفرنسا في السنوات الأخيرة. ويسفر فحم المناجم السطحية على وجه الخصوص عن تغيرات هامة في الأراضي؛ فمناجم الفحم يمكن أن تستحدث صرفاً لمنجم حمضي ويمكن لتخزين رماد الفحم أن يلوث المياه السطحية والجوفية. وقد أدى إنتاج النفط ونقله إلى تسربات أرضية ومائية. وتنتج معظم تقنيات الطاقة المتجددة ملوثات هواء وماء تقليدية أقل من الوقود الأحفوري، لكن قد تتطلب كميات كبيرة من الأراضي – على سبيل المثال – الطاقة الكهرمائية القائمة على التخزين، وطاقة الرياح والوقود الحيوي. وبما أن تغير المناخ بمستوى معين أصبح أمراً لا مفر منه، فإن التكيف مع تغير المناخ هو أيضاً عنصر أساسي من عناصر التنمية المستدامة. [1.4.1، 9.3.4]

وتعرف الحواجز في تقرير التقييم الرابع (AR4) بأنها «أية عقبة في طريق التوصل إلى هدف، أوإمكانات التكيف أو التخفيف التي يمكن التغلب عليها أو التخفيف منها بواسطة برنامج أو إجراء سياسي». ويمكن تصنيف الحواجز المختلفة لاستخدام الطاقة المتجددة بأنها إخفاقات السوق و الحواجز الاقتصادية، و حواجز المعلومات والتوعية، و الحواجز الاجتماعية والثقافية والعوائق المؤسسية والسياسية. وجرى تقييم السياسات وآليات التمويل للتغلب على تلك الحواجز على نطاق واسع في الفصل 11. وعندما يكون الحاجز وثيق الصلة بتقنية محددة، يُفْحَص في فصول «التكنولوجيا» المناسبة في هذا التقرير [الفصول 2–7]. وهناك ملخص بالحواجز وأدوات السياسة الممكنة للتغلب على هذه الحواجز في الجدول 1.5 من الفصل 1. وغالباً ما تكون إخفاقات السوق ناتجة عن التأثيرات الخارجية. وهي تنشأ عن نشاط بشري، حينما لا يأخذ الوكلاء المسؤولون عن النشاط في اعتبارهم تأثير النشاط على الآخرين. هناك إخفاق آخر للسوق يتمثل في امتلاك الإيجار من قبل كيانات احتكارية. وفي حالة نشر الطاقة المتجددة، قد تظهر إخفاقات السوق هذه على شكل قلة استثمار في الاختراع والابتكار في مجال تكنولوجيات الطاقة المتجددة، والتأثيرات البيئية غير المسعرة والمخاطر البيئية لاستخدام الطاقة، فضلاً عن وقوع قوى احتكار البيع (بائع واحد) أو احتكار الشراء (مشتر واحد) في أسواق الطاقة. وتشمل الحواجز الاقتصادية الأخرى تكلفة الاستثمار المفتوح والمخاطر المالية، و يرجع هذا الأخير أحياناً إلى عدم نضج التكنولوجيا. [1.4.2، 1.5، 11.4]

وتشمل حواجز المعلومات والتوعية البيانات الناقصة حول الموارد الطبيعية، وغالباً ما يرجع إلى خصوصية الموقع (مثل أنظمة الرياح المحلية)، ونقص الموارد البشرية الماهرة (القدرات) لاسيما في المناطق الريفية من البلدان النامية، فضلاً عن غياب الوعي العام والمؤسسي. وترتبط الحواجز الاجتماعية والثقافية ارتباطاً وثيقاً بالقيم والقواعد الاجتماعية والشخصية التي تؤثر على إدراك الطاقة المتجددة وقبولها، وقد تكون بطيئة في التغيير. وتشمل الحواجز المؤسسية والسياسية الصناعة والبنية التحتية وتنظيم سوق الطاقة. وبالرغم من تحرير أسواق الطاقة في العديد من البلدان في التسعينيات من القرن العشرين، لاتزال الهياكل الصناعية الحالية مركزة للغاية ولاتزال الأنظمة التي تحكم شركات الطاقة في دول عديدة مصممة حول المحتكرين أو أشباه المحتكرين من موفري الطاقة. وقد تطورت الأنظمة والمعايير الفنية في ظل افتراض أن نظم الطاقة كبيرة ومركزية، وذات كثافة و/أو جهد (voltage) عال. وربما تشكل حقوق الملكية الفكرية والتعريفات الجمركية في التجارة الدولية وعدم تخصيص الدعم المالي الحكومي حواجز أخرى. [1.4.2]

القضايا لا تتأثر بسهولة بالسياسات والبرامج. فالقضية هي أن مورداً ما قد يكون من الصغر بحيث لا يكون مفيداً في مكان معين أو لغرض معين. بعض الموارد المتجددة مثل الرياح والطاقة الشمسية متغيرة وربما لا تكون متوفرة دائماً لنقلها عند الحاجة. وعلاوة على ذلك، فإن كثافة الطاقة من المصادر المتجددة الكثيرة منخفضة نسبياً، بحيث أن مستويات قوتها قد تكون غير كافية بمفردها لبعض الأغراض، مثل المنشآت الصناعية الكبيرة. [1.4.3]

1.5 دور السياسة، والبحوث والتطوير، وإستراتيجيات النشر والتنفيذ

أدى العدد المتزايد من سياسات الطاقة المتجددة وتنوعها – متأثراً بمجموعة متنوعة من العوامل – إلى زيادة النمو في تقنيات الطاقة المتجددة في السنوات الأخيرة. فأضحى على واضعي السياسات الراغبين في دعم تطوير تقنيات الطاقة المتجددة ونشرها تحقيقاً لأهداف التخفيف من أثر التغير المناخي، أن ينظروا في ما يمكن أن تجنيه الطاقة المتجددة من تخفيض الانبعاثات على أساس دورة الحياة، وذلك حسبما جاء في كل فصل تناول الجوانب الفنية في هذا التقرير. فقد وضعت سياسات عديدة للتعامل مع كل مرحلة من مراحل التطور بما في ذلك البحوث والتطوير، والاختبار، والانتشار، والترويج التجاري، وإعداد الأسواق، واختراق الأسواق، والصيانة والرقابة، فضلاً عن دمجها في النظام القائم. [1.4.1، 1.4.2، 9.3.4، 11.1.1، 11.2، 11.4، 11.5]

ومن الطبيعي أن يتناول التقرير وجهين من أوجه الإخفاق في السوق وهما: 1) التكلفة الخارجية لانبعاثات غازات الدفيئة لا تُسعّر بأسعار ملائمة؛ 2) ونشر تقنيات ينتج عن استخدامها انخفاض معدلات الكربون مثل الطاقة المتجددة يؤدي إلى ثمار يجنيها المجتمع أكثر مما يجنيه مبتكرها، مما يؤدي إلى انخفاض الاستثمار في تلك الجهود. [1.4، 1.5، 11.1، 11.4]

يتعامل صانعو السياسات ومتخذو القرارات مع السوق بطرق متنوعة. ولا توجد قائمة متفق عليها عالمياً تتضمن خيارات من سياسات معينة أو مجموعات منها. فإذا أردنا التبسيط، يمكننا أن نقول إن التطوير والبحوث وسياسات النشر قد صنفت حسب الفئات التالية في هذا التقرير: [1.5.1، 11.5]

- **الحافز الجبائي**: تمنح الأطراف الفاعلة (الأفراد والأسر والشركات) تخفيضات في مساهماتهم في الخزينة العامة باستخدام ضريبة الدخل أو غيرها من الضرائب؛
- **تمويل عام**: الدعم العام الذي يتوقع أن يجني عائداً مالياً (القروض أو الأسهم) يؤدي إلى تحمل التزام مالي (ضمان)؛
- **اللوائح**: القواعد التي يسترشد بها أو تضبط سلوكيات أولئك الذين تنطبق عليهم.

تؤدي البحوث والتطوير والابتكار ونشر التقنيات التي ينتج عن استخدامها معدلات منخفضة من الكربون إلى نتائج إيجابية يجنيها المجتمع تزيد عما يجنيه المستثمر، مما يؤدي إلى انخفاض الاستثمار في تلك الجهود. ومن ثم

يمكن أن تؤدي عمليات البحوث والتطوير التي تضطلع بها الحكومات دورا هاما في الارتقاء بتقنيات الطاقة المتجددة. فالاستثمار العام في البحوث والتطوير يكون في أعلى درجات الفعالية عندما تكمله سياسات أخرى ولاسيما سياسات نشر الطاقة المتجددة التي تؤدي في الوقت ذاته إلى زيادة الطلب على تقنيات الطاقة المتجددة الجديدة. [1.5.1، 11.5.2]

بدت بعض عناصر السياسة أكثر فعالية ونجاعة في تسريع وثيرة نشر الطاقة المتجددة ، ولكن لا توجد سياسة واحدة تصلح للجميع. فالتجارب تظهر أن اتباع سياسات مختلفة أو مجموعات مختلفة من السياسات يمكن أن يكون أكثر فعالية ونجاعة اعتمادا على عوامل منها مستوى النضج الفني وتوفر رؤوس الأموال وسهولة الدمج في النظام القائم وتوفر قاعدة موارد الطاقة المتجددة على المستويين المحلي والوطني.

- خلص العديد من الدراسات إلى فعالية تعريفات الإمداد بالطاقة ونجاعتها في زيادة الكهرباء المولدة من موارد الطاقة المتجددة، ويرجع ذلك بشكل رئيسي إلى مزيج من الأسعار الثابتة على المدى الطويل أو نظام الدفع على أقساط وربط الشبكات وضمان شراء جميع الطاقة المتجددة المولدة. ويمكن أن تكون سياسات الحصص فعالة وناجعة إذا صُممت من أجل تقليل المخاطر، مع إبرام عقود طويلة الأجل على سبيل المثال.

- هناك عدد متزايد من الحكومات تنتهج نهج الحوافز الجبائية لاعتماد أنظمة التدفئة والتبريد التي تعمل بالطاقة المتجددة. وبدأت الالتزامات باستخدام الحرارة المستمدة من الطاقة المتجددة تسترعي الانتباه لما لها من إمكانية لتشجيع النمو الذي لا يحتاج إلى الدعم المالي العام.

- في قطاع النقل، تعتبر التكليفات الصادرة بخصوص استخدام الوقود المتولد من الطاقة المتجددة أو اشتراطات المزج بين نوعي الطاقة دوافع رئيسية في تطوير معظم صناعات الوقود الحيوي الحديثة. وهناك سياسات أخرى منها المبالغ التي تدفعها الحكومات مباشرة أو التخفيضات الضريبية التي تمنحها. فقد أثرت السياسات على تطوير تجارة الوقود الحيوي والحبيبات على المستوى الدولي.

وهناك تحد هام يتمثل في إيجاد طريقة لتفاعل سياسات الطاقة المتجددة وتسعير الكربون حتى تستفيد من نقاط القوة بدل مكامن الضعف. فعلى المدى البعيد يمكن أن يساعد دعم التعليم الفني في مجال الطاقة المتجددة على خفض تكاليف التخفيف من آثار تغير المناخ وتحديد سعر للكربون وزيادة تنافسية الطاقة المتجددة. [1.5.1، 11.1، 11.4، 11.5.7]

يمكن أن تؤدي تقنيات الطاقة المتجددة دوراً أكبر إذا نفذت جنباً إلى جنب مع السياسات "التمكينية". ويمكن استحداث بيئة مواتية أو "تمكينية" للطاقة المتجددة عن طريق دراسة التفاعلات المحتملة لإحدى السياسات على سبيل المثال مع سياسات الطاقة المتجددة الأخرى فضلاً عن السياسات المتعلقة بالطاقة الأخرى غير المتجددة ويمكن أن يؤدي وجود بيئة "تمكينية" إلى زيادة نجاعة فعالية السياسات الرامية إلى تعزيز الطاقة المتجددة. فطالما أن جميع أشكال استخلاص الطاقة المتجددة وإنتاجها يحظيان باهتمام خاص، يلزم أن تضع السياسات في اعتبارها استخدامات الأراضي والتوظيف والنقل والزراعة والمياه والأمن الغذائي والاعتبارات التجارية والبنية الأساسية القائمة والتفاصيل الأخرى الخاصة بمختلف القطاعات. فالسياسات الحكومية التي يكمل بعضها بعضاً تكون على الأرجح سياسات ناجحة. [1.5.2، 11.6]

وتطوير تقنيات الطاقة المتجددة في قطاع الطاقة الكهربائية، على سبيل المثال، سيتطلب وضع سياسات لدراسة إدماجها في أنظمة النقل والتوزيع على المستويين الفني (الفصل 8) والمؤسسي (الفصل 11). فينبغي أن تكون الشبكة قادرة على التعامل مع كل من التيار التقليدي، الذي غالباً ما يكون مركزياً، وأيضاً الحديث المتولد من الطاقة المتجددة، الذي غالباً ما يكون متغيراً وموزعاً. [1.5.2، 11.6.5]

وفي قطاع النقل، ينبغي دراسة احتياجات البنية الأساسية اللازمة للوقود الحيوي والهيدروجين المستخدم في إعادة الشحن والبطاريات ووسائل نقل الكهرباء المختلطة التي "تتغذى" على الشبكة الكهربائية أو على الإنتاج الكهربائي المتجدد من خارج الشبكة.

إذا عزم صانعو القرار على زيادة نصيب الطاقة المتجددة وفي الوقت ذاته تحقيق الأهداف الطموحة المتعلقة بتخفيف آثار تغير المناخ، فيتحتم عليهم أن يقطعوا على أنفسهم تعهدات طويلة الأجل وأن يتحلوا بالمرونة في التعلم من التجارب. فتحقيق المستويات الدولية لاستقرار تركيز غازات الدفيئة التي تتضمن استخدام كميات كبيرة من الطاقة المتجددة، وهو تغيير هيكلي في أنظمة الطاقة حالياً، سيكون أمراً ضرورياً خلال العقود القليلة القادمة. فالوقت المتوفر لا يتعدى عدة عقود ويجب أن تتطور الطاقة المتجددة وأن تندمج في نظام ينشأ في ضمن هيكل الطاقة القائم الذي يختلف عما يمكن أن يتطلبه مستقبل الطاقة المتجددة التي ستكون أكثر اختراقاً لأنظمة الطاقة حينئذ. [1.5.3، 11.7]

فالتغيير الهيكلي نحو إيجاد نظام عالمي للطاقة يقوم على الطاقة المتجددة بصورة رئيسية قد يبدأ بأداء دور بارز لتحقيق نجاعة الطاقة ممزوجة بالطاقة المتجددة. وهناك حاجة إلى مزيد من السياسات التي تتخطى مجرد البحوث والتطوير لدعم التطور الفني واستحداث بيئة تمكينية تشمل التعليم والتوعية والتطوير المنهجي للسياسات التكاملية مع قطاعات أوسع منها الزراعة والنقل وإدارة المياه والتخطيط العمراني. بل إن إيجاد مزيد من الأدوات المناسبة الذي يمكن الاعتماد عليها يعتبر أهم حين تكون بنية الطاقة الأساسية لم تصل بعد إلى التطور وحين يتوقع زيادة الطلب على الطاقة زيادة كبيرة في المستقبل. [1.2.5، 1.5.3، 11.7، 11.6، 11.7]

2 – الطاقة الحيوية

2.1 مقدمة للكتلة الأحيائية والطاقة الحيوية

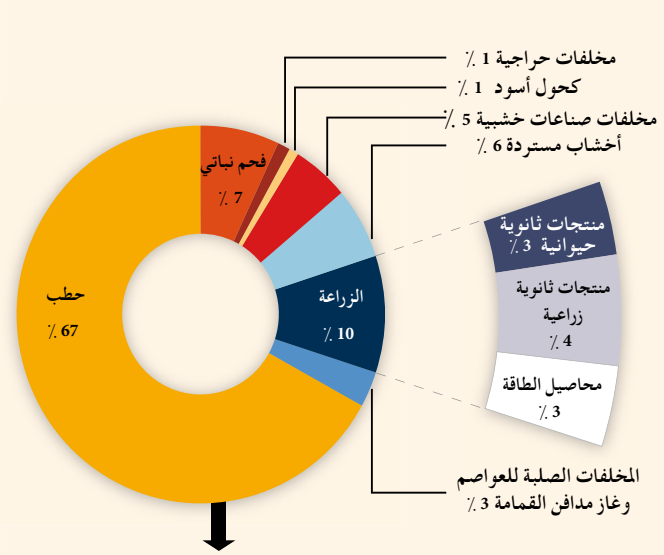
تكمن الطاقة الحيوية بصور معقدة في نظم الكتلة الأحيائية العالمية لإنتاج الغذاء والعلف والألياف وللمنتجات الحراجية، وكذلك في إدارة المخلفات والنفايات. ولعل الأهم هو أن الطاقة الحيوية تضطلع بدور وثيق وحاسم في سبل العيش اليومية لمليارات من البشر في البلدان النامية. ويبين الشكل 2.1 بالملخص الفني أنواع الكتلة الأحيائية المستخدمة للطاقة الحيوية في البلدان النامية والمتقدمة. وسيقتضي توسيع نطاق إنتاج الطاقة الحيوية توسيعاً كبيراً إدارة متقدمة لاستخدام الأراضي والمياه؛ وتحقيق زيادات في إنتاجية المواد الأولية للغذاء والعلف والألياف والمواد الحراجية والطاقة، وإدخال تحسينات جوهرية على تكنولوجيا تحويل الطاقة؛ والوصول لفهم أرقى للتفاعلات المعقدة بين المجتمع والطاقة والبيئة والمرتبطة بإنتاج الطاقة الحيوية واستخدامها.

في عام 2008 وفرت الطاقة الحيوية زهاء 10 في المائة (50.3 إكسغل/سنوياً) من إمدادات الطاقة الأولية العالمية (انظر الجدول 2.1 بالملخص الفني). وتندرج الاستخدامات الرئيسية للكتلة الأحيائية ضمن فئتين واسعتين:

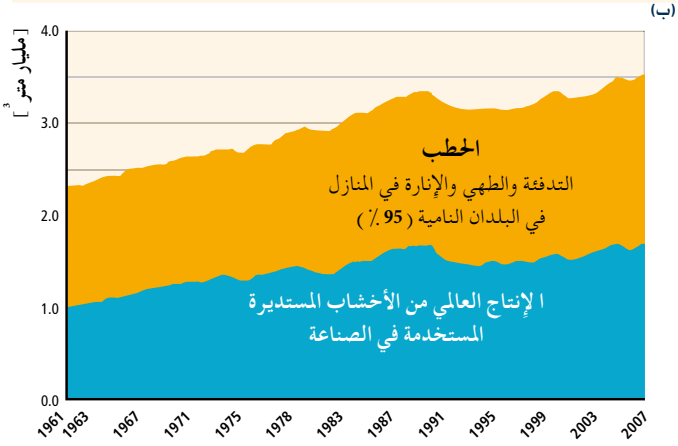
- الكتلة الأحيائية[7] التقليدية منخفضة النجاعة مثل الخشب والقش والروث وغير ذلك من أنواع السماد الطبيعي (الزبل) للطهي والإنارة

7 تعرف الكتلة الأحيائية التقليدية باعتبارها تمثل استهلاك الكتلة الأحيائية في قطاع الإسكان في البلدان النامية، وتشير إلى الاستخدام غير المستدام في أغلب الأحيان للأخشاب والفحم النباتي والمخلفات الزراعية وروث الماشية في أغراض الطهي والتدفئة. وتعرف كافة الاستخدامات الأخرى للكتلة الأحيائية باعتبارها الكتلة الأحيائية الحديثة؛ ويميز هذا التقرير بدرجة أكبر بين الطاقة الأحيائية عالية النجاعة والتطبيقات الصناعية للطاقة الأحيائية بدرجات متباينة النجاعة. [المرفق الأول] ويورد القسمان 2.5.4 و 2.5.5، على التوالي، نقاشات أساسية للاستخدامات المتجددة والمستديمة للكتلة الأحيائية [انظر أيضا القسم 1.2.1 والمرفق الأول].

(أ)



(ب)



الشكل 2.1 الملخص الفني: (أ) حصص المصادر العالمية للكتلة الأحيائية الأولية للطاقة؛ (ب) الحطب المستخدم للوقود في البلدان النامية يوازي المعدلات العالمية لإنتاج الأخشاب المستديرة[1] المستخدمة في الصناعة [الشكل 2.1].

ملاحظة: 1 – تتمثل منتجات الأخشاب المستديرة في ألواح النجارة وألواح التكسية المستخدمة في صناعة منتجات الحراجة ونشارة الخشب التي تدخل في صناعة لباب الورق العادي وأوراق طباعة الصحف وأوراق التغليف. وفي عام 2009 تجلى الهبوط الذي شهده الاقتصاد، فقد حدث انخفاض بلغ 3.25 (إجمالاً) و 1.25 (صناعياً) مليار متر3.

وتدفئة الأماكن، ويستخدمها غالباً السكان الأكثر فقراً في البلدان النامية. وغالباً ما يجري حرق هذا النوع من الكتلة الأحيائية، مما يؤدي إلى آثار سلبية خطيرة على الصحة والظروف المعيشية. وما فتئ الفحم النباتي يغدو ناقلاً للطاقة الثانوية باطراد في المناطق الريفية وتلوح في الأفق فرص لاستحداث سلاسل إنتاجية. يوضح الشكل 2.1 (ب) بالملخص الفني، باعتباره مؤشراً لحجم استخدامات الكتلة الأحيائية التقليدية، أن الإمدادات العالمية من الطاقة الأولية من الكتلة الأحيائية التقليدية توازي الإنتاج العالمي من الأخشاب لأغراض صناعية [2.5.4، 2.3، 2.3.2.2، 2.4.2، 2.5.7].

- تستخدم الطاقة الحيوية الحديثة عالية النجاعة مواد صلبة وسائلة وغازية كناقلات للطاقة الثانوية لتوليد الحرارة والكهرباء ولتوليد الحرارة والطاقة المشترك، ولوقود النقل لقطاعات متنوعة. وتشمل أنواع الوقود الحيوي السائل: الإيثانول والديزل الأحيائي للنقل العالمي على الطرقات وبعض الاستخدامات الصناعية. وتستخدم الغازات المشتقة من الكتلة الأحيائية، لاسيما الميثان الناتج عن المعالجة اللاهوائية للمخلفات الزراعية و معالجة النفايات الحضرية الصلبة لتوليد الكهرباء أو الطاقة الحرارية أو كلتيهما. ويستند الإسهام الأهم لخدمات الطاقة هذه على المواد الصلبة، مثل نشارة الخشب الحبيبات والخشب المستخلص الذي سبق استخدامه وغير ذلك. ويشمل توليد الحرارة تدفئة الأماكن والتدفئة بالمياه الساخنة، مثلما يحدث في نظم تدفئة المدن. وتشير التقديرات إلى أن إجمالي الإمدادات المقدمة من الكتلة الأحيائية الأولية للطاقة الحيوية الحديثة يبلغ 11.3 إكسغل/سنوياً، وتناهز الطاقة الثانوية المقدمة للاستخدام النهائي للمستهلكين زهاء 6.6 إكسغل/سنوياً [2.3.2، 2.4، 2.4.6، 2.6.2].

وعلاوة على ذلك فإن قطاع الصناعة، مثل صناعات لباب الأخشاب والورق والحراجة والأغذية تستهلك نحو 7.7 إكسغل من الكتلة الأحيائية سنوياً، تستخدم أساساً مصدراً لبخار العمليات الصناعية. [2.7.2، 8.3.4]

2.2 إمكانيات موارد الطاقة الحيوية

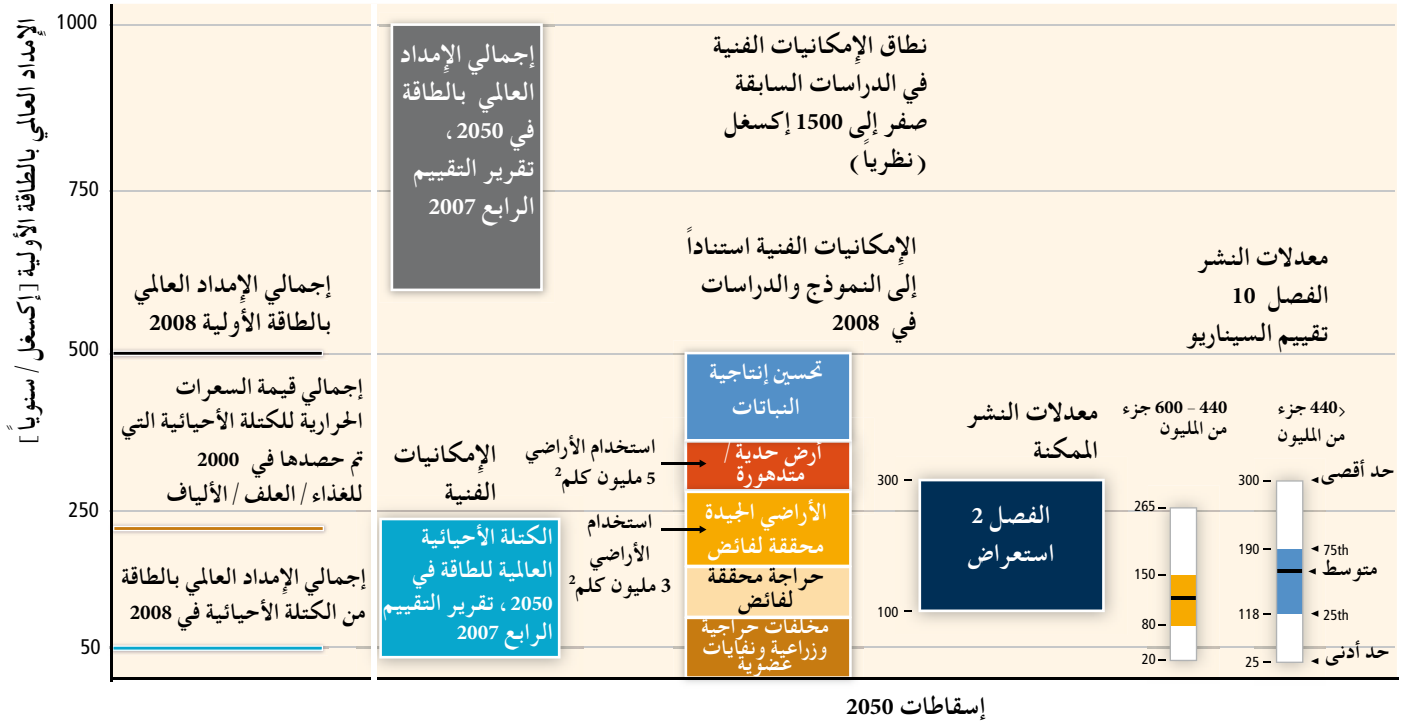
يؤدي التعقيد الذي يكمن في موارد الكتلة الأحيائية إلى جعل تقييم إمكانياتها الفنية الشتركة مثيرة للجدل وصعبة التحديد. وتشير التقديرات الواردة في الدراسات إلى أنها تتراوح بين إمكانيات فنية معدومة (لاتوجد كتلة أحيائية متاحة لإنتاج الطاقة) وإمكانية نظرية تقدر بنحو 1500 إكسغل من الجهود العالمية لوضع النماذج. ويقدم الشكل 2.2 بالملخص الفني ملخصاً للإمكانيات الفنية التي أوردتها الدراسات الرئيسية، بما في ذلك بيانات مستقاة من تحليل سيناريو الفصل 10. ولوضع الإمكانيات الفنية للكتلة الأحيائية للطاقة في منظورها الصحيح، فإن الكتلة الأحيائية المستخدمة للطاقة في الوقت الراهن تبلغ ما يناهز 50 إكسغل/سنوياً وتشتمل كافة أنواع الكتلة الأحيائية المجمعة المستخدمة للغذاء والعلف والألياف، إذا ما جرى التعبير عنها بمكافئها من السعرات الحرارية، على زهاء 219 إكسغل/سنوياً (بيانات 2000)؛ وينبغي استعمال محصول الكتلة الأحيائية العالمي برمته تقريباً في الوقت الراهن لتحقيق مستوى انتشار للطاقة الأحيائية يبلغ 150 إكسغل/سنوياً بحلول عام 2050. [2.2.1]

وخلص تقييم للإمكانيات الفنية استنادا إلى تحليل للدراسات المتاحة في عام 2007 ولدراسات نمذجة إضافية إلى نتيجة مفادها أن الحد الأعلى للإمكانيات الفنية في عام 2050 قد يرقى إلى نحو 500 إكسغل، مثلما هو مبين في العمود المتراص الشكل 2.2 بالملخص الفني. وتفترض الدراسة

الجدول 2.1 الملخص الفني: نماذج لتدفقات طاقة الكتلة الأحيائية التقليدية والحديثة المنتقاة في 2008؛ انظر الجدول 2.1 للإيضاحات بشأن تدفقات معينة وتحديات محاسبية. [الجدول 2.1]

النوع	الطاقة الأولية التقريبية (إكسغل / سنويا)	متوسط النجاعة التقريبي (٪)	الطاقة الثانوية التقريبية (إكسغل / سنويا)
الكتلة الأحيائية التقليدية			
موضحة في إحصاءات ميزانية الطاقة الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة	30.7	20-10	6-3
المقدرة للقطاعات غير المنظمة (مثل الفحم النباتي) [2.1]	12-6		2.4-0.6
إجمالي الكتلة الأحيائية الحديثة	43-37		8.4-3.6
الطاقة الأحيائية الحديثة			
الكهرباء وتوليد الحرارة والطاقة المشترك من الكتلة الأحيائية والمخلفات الحضرية الصلبة والغاز الحيوي	4.0	32	1.3
توليد الحرارة في المباني السكنية العامة/التجارية من الكتلة الأحيائية الصلبة والغاز الحيوي	4.2	80	3.4
وقود النقل على الطرقات (إيثانول وديزل حيوي)	3.1	60	1.9
إجمالي الطاقة الأحيائية الحديثة	11.3	58	6.6

أطر عمل لسياسات تكفل الحكامة الجيدة لاستخدام الأراضي وإدخال تحسينات رئيسية في الإدارة الزراعية وتراعي القيود المائية وحماية التنوع الأحيائي وتدهو التربة والتنافس على الغذاء. وتشير التقديرات إلى أن المخلفات الناتجة عن الحراجة والزراعة والنفايات العضوية (بما في ذلك الجزء



الشكل 2.2 الملخص الفني: موجز للإسقاطات الرئيسية لعام 2050 للإمكانيات الفنية العالمية للكتلة الأحيائية الأرضية للطاقة ومعدلات الانتشار المحتملة لها مقارنة بإجمالي الإمداد العالمي بالطاقة الأولية والكتلة الأحيائية لعام 2008 وكذلك بالطاقة المكافئة لإجمالي الحصاد العالمي للكتلة الأحيائية [الشكل 2.25]

العضوي الصغير من النفايات الحضرية الصلبة والروث ومخلفات عمليات المعالجة، وما إلى ذلك) تبلغ ما بين 40 و170 إكسغل/سنوياً، بمتوسط للتقديرات يناهز 100 إكسغل/سنوياً. وهذا الجزء من الإمكانيات الفنية مؤكد نسبياً، ولكن التطبيقات المتنافسة قد تدفع صافي توافر تطبيقات الطاقة إلى الحد الأدنى للنطاق. ولدى فائض منتجات الحراجة غير تلك الناجمة عن مخلفات الحراجة قدرة فنية إضافية تناهز 60 إلى 100 إكسغل/سنوياً. ويبلغ تقدير أدنى لإنتاج محاصيل الطاقة الناجم عن الفائض المحتمل وأراضي الزراعة والرعي الجيدة 120 إكسغل/سنوياً. أما الإسهام المحتمل للأراضي شحيحة المياه، والحدية، والمتدهورة فقد يبلغ إسهاماً إضافياً قد يصل إلى 70 إكسغل/سنوياً. وقد يشمل هذا مساحة واسعة يفرض شح المياه فيها قيوداً ويغدو تدهور التربة فيها أشد. ومن شأن اكتساب تعلم قوي في مجال التكنولوجيا الزراعية لإدخال تحسينات على إدارة الزراعة والمواشي أن يضيف 140 إكسغل/سنوياً وإذا تظافرت الفئات الثلاث فقد يؤدي ذلك إلى إمكانية فنية تصل وفقاً لهذا التحليل إلى زهاء 500 إكسغل/سنوياً (الشكل 2.2 بالملخص الفني).

وسيتطلب تنمية هذه الإمكانية الفنية جهوداً رئيسية في مجال السياسات، ومن ثم فإن نشرها فعلياً من المرجح أن يكون أدنى، وستُقيد قاعدة موارد الكتلة الأحيائية بدرجة كبيرة لتقتصر على حصة من مخلفات الكتلة الأحيائية والنفايات العضوية، وزراعة بعض محاصيل الطاقة الأحيائية على أراضٍ حدية ومتدهورة، وبعض المناطق التي تعد الكتلة الأحيائية فيها خياراً أرخص للإمداد بالطاقة مقارنة بالخيارات المرجعية الرئيسية (مثل إنتاج الإيثانول القائم على قصب السكر) [2.2.2، 2.2.5، 2.8.3].

وتتمثل خلاصات استعراض الخبراء استناداً إلى الدراسات العلمية المتاحة في: [2.2.2–2.2.4]

- وجود عوامل مهمة تشمل (1) التنمية السكانية والاقتصادية/التكنولوجية، والطلب على الغذاء والعلف والألياف (بما في ذلك النظم الغذائية)، وعمليات التنمية في الزراعة والحراجة؛ (2) آثار تغير المناخ على استخدام الأراضي مستقبلاً، بما في ذلك قدرتها على التكيف؛ (3) مدى تدهور الأراضي وشح المياه والتنوع الأحيائي ومتطلبات بصون الطبيعة.

- يعتبر تدفق المخلفات في الزراعة والحراجة والأراضي الزراعية غير المستخدمة (أو المستخدمة بكثافة ومن ثم أصبحت حدية/متدهورة) مصادر مهمة للتوسع في إنتاج الكتلة الأحيائية للطاقة، في الأمدين القريب والبعيد على حد سواء. وتضع القيود الناجمة عن التنوع الأحيائي والحاجة إلى ضمان صون النظم الإيكولوجية الصحية وتجنب تدهور التربة، حدوداً على استخلاص المخلفات في مجالي الزراعة والحراجة.

- ويمكن لزراعة النباتات الملائمة (مثل المحاصيل المعمرة أو الأنواع الموفرة للأخشاب) أن تسمح بتوافر إمكانيات فنية أكثر بتيسير إنتاج الطاقة الأحيائية على أراض أقل ملائمة لزراعة المحاصيل الغذائية التقليدية – علماً بأن زراعة محاصيل تقليدية على هذه الأراضي قد يؤدي إلى انبعاثات للكربون الموجود في التربة.

- يمكن لنظم استخدام الأرض متعددة الوظائف من خلال إدماج إنتاج الطاقة الأحيائية في نظم الزراعة والحراجة أن تسهم في صون التنوع الأحيائي وأن تساعد على استعادة/صون إنتاجية التربة والنظم الإيكولوجية الصحية.

- قد يكون للمناطق التي تعاني شحاً في المياه لها إنتاجاً محدوداً. وينبغي إمعان النظر في احتمال أن يؤدي تحويل الأراضي إلى مزارع للكتلة الأحيائية إلى الحد من إتاحة المياه المهدرة في المجاري المائية. ويمكن لاستخدام محاصيل طاقة ملائمة تتحمل الجفاف أن تساعد على التكيف في أوضاع ندرة المياه. وينبغي لعمليات تقييم إمكانيات موارد الكتلة الأحيائية أن تمعن النظر بشكل أكثر دقة في القيود والفرص فيما يتعلق بإتاحة المياه والاستخدامات المتنافسة.

وقد خلص استعراض الخبراء، على ضوء القيود الموضحة أعلاه، إلى أن المستويات الممكنة لنشر الكتلة الأحيائية لتوليد الطاقة يمكن أن تتراوح نطاقها بين 100 و300 إكسغل. ومع ذلك، فثمة أوجه كثيرة لعدم اليقين تشوب هذه الإمكانية، مثل ظروف السوق والسياسات، وثمة ارتباط قوي بمعدل التحسينات المدخلة في قطاع الزراعة من أجل إنتاج الغذاء والعلف والألياف والمنتجات الحراجية. ويشير مثال مستقى من الدراسات إلى أن الطاقة الحيوية يمكن أن تتسع من 100 إكسغل/سنوياً في عام 2020 إلى 130 إكسغل/سنوياً في عام 2030، ويمكن أن تصل إلى 184 إكسغل/سنوياً في عام 2050. [2.2.1، 2.2.2، 2.2.5]

وللوصول إلى النطاق الأعلى لمستوى الانتشار الوارد في استعراض الخبراء البالغ 300 إكسغل/سنوياً (مثلما هو وارد في الشكل 2.2 بالملخص الفني) سيقتضي الأمر بذل مجهود كبير في مجال السياسات، لاسيما استهداف إدخال التحسينات وزيادة النجاعة في قطاع الزراعة والحوكمة الجيدة لاستخدام الأراضي، مثل تخطيط المناطق.

2.3 تكنولوجيا الطاقة الحيوية وتطبيقاتها

تشمل تطبيقات تكنولوجيا الطاقة الحيوية التجارية توليد الحرارة بمستويات تتراوح ما بين الطهي المنزلي والنظم الضخمة لتدفئة المدن؛ وتوليد الطاقة من الكتلة الأحيائية من خلال الاحتراق، وتوليد الحرارة والطاقة المشترك، أو الحرق المشترك للكتلة الأحيائية والوقود الأحفوري؛ والوقود الأحيائي السائل من الجيل الأول من المحاصيل الزيتية (الديزل الأحيائي) ومحاصيل السكر والنشاء (الإيثانول) مثلما تبين الخطوط السوداء في الشكل 2.3 بالملخص الفني. كما يوضح الشكل تنامي المواد الأولية (مثل الكتلة الأحيائية المائية)، ومسارات تحويلها ومنتجاتها.[8] [2.3، 2.6، 2.7، 2.8]

القسم 2.3 يتناول قضايا رئيسية تتعلق بإنتاج الكتلة الأحيائية وبعمليات الدعم اللوجيستي لإمداد المستخدمين بالمواد الخام الأولية (الأفراد للكتلة الأحيائية التقليدية والحديثة، أو الشركات التي تستخدم وتصنع منتجات الطاقة الثانوية، أو – بشكل متزايد – القطاع غير المنظم لإنتاج الفحم النباتي وتوزيعه). وتستخدم تكنولوجيات التحويل التي تعيد تشكيل الكتلة الأحيائية إلى ناقلات طاقة ثانوية ملائمة، عمليات معالجة كيميائية حرارية أو كيميائية أو كيميائية – أحيائية، ويرد عرض موجز لها في الأقسام من 2.3.1 إلى 2.3.3 و2.6.1 إلى 2.6.3. ويتناول الفصل 8 إدماج منتجات الطاقة في نظم الطاقة القائمة والمتنامية. [2.3.1–2.3.3، 2.6.1–2.6.3]

2.4 الوضع العالمي والإقليمي بشأن انتشار الأسواق والصناعة

يكشف استعراض لأسواق الكتلة الأحيائية وسياساتها أن الطاقة الحيوية شهدت تطورات سريعة في الأعوام الأخيرة مثل استخدام الكتلة الأحيائية

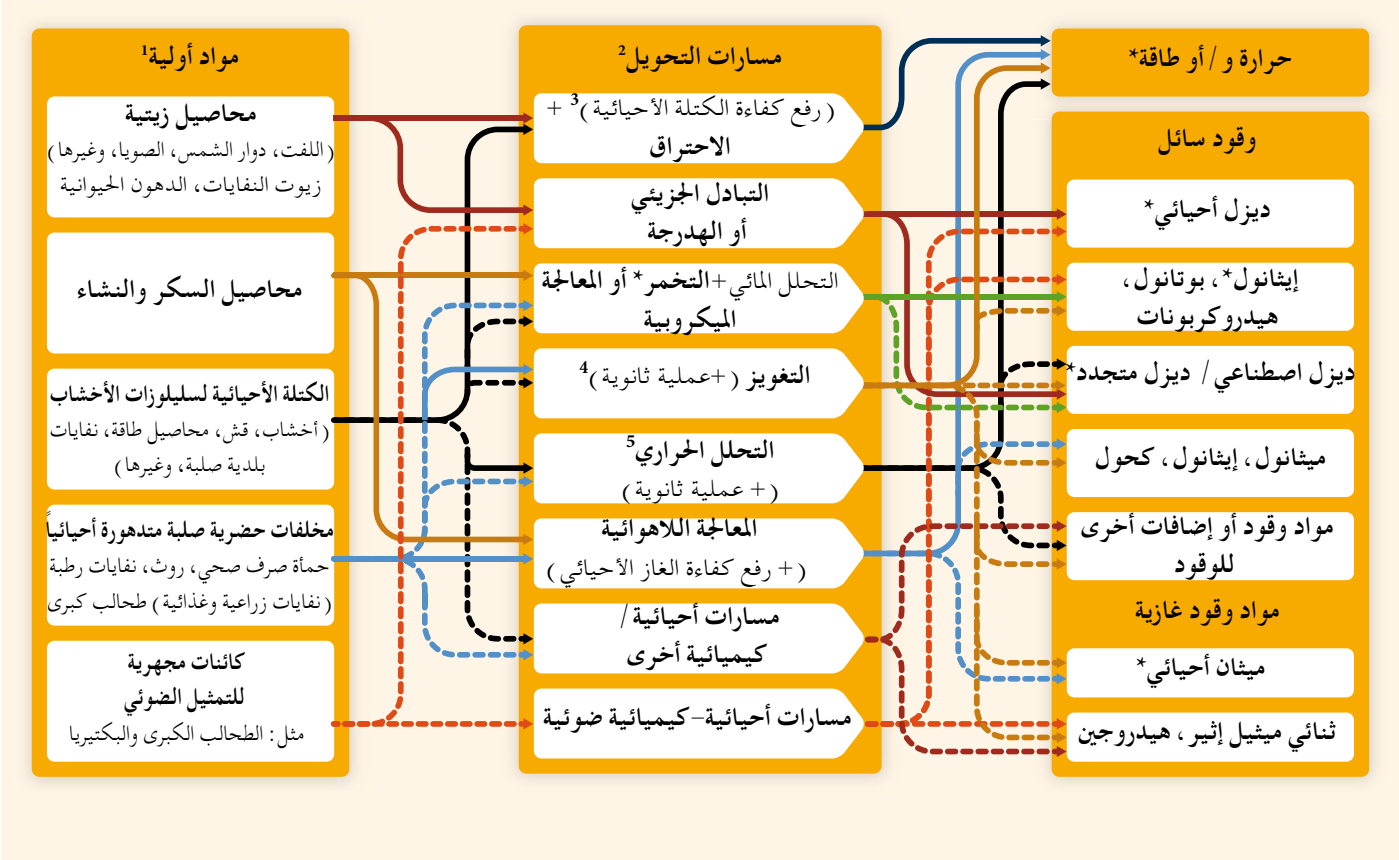
8 يطلق أيضاً على الوقود الأحيائي المنتج من خلال عمليات معالجة جديدة، الوقود الأحيائي المتطور أو من الجيل التالي، مثل الوقود الأحيائي لسليلوزات الأخشاب.

الحديثة لناقلات الطاقة السائلة والغازية (بلغت الزيادة 37 في المائة من عام 2006 إلى 2009). وتعول إسقاطات وكالة الطاقة الدولية، من بين جهات أخرى، على الكتلة الأحيائية لتحقيق زيادة جوهرية في حصة الطاقة المتجددة، مدفوعة في بعض الحالات بالأهداف الوطنية. كما أصبحت التجارة الدولية في الكتلة الأحيائية والوقود أكبر أهمية بكثير خلال الأعوام الأخيرة، إذ يجري تداول 6 في المائة (لتصل لمستويات تبلغ 9 في المائة في عام 2008)، من الوقود الأحيائي (الإيثانول والديزل الأحيائي فحسب) دولياً، وثلث الإنتاج الكامل للأقراص (الكريات) الطينية لاستخدامات الطاقة في 2009. ويسّر العنصر الأخير زيادة استعمال الكتلة الأحيائية في المناطق التي تعاني قيوداً على الإمدادات فضلاً عن زيادة تعبئة الموارد من المناطق التي تفتقر إلى الطلب. وعلى الرغم من ذلك، فقد ظل كثير من العقبات يعترض تطوير التبادل السلعي الفعال للكتلة الأحيائية والوقود الأحيائي، التي تلبي في الوقت نفسه معايير الاستدامة. [2.4.1، 2.4.4]

وفي كثير من البلدان، تغير سياق السياسات المتعلقة بالطاقة الحيوية، وبصفة خاصة الوقود الأحيائي بوتيرة سريعة وبشكل مثير في الأعوام الأخيرة. وأدى الجدل الدائر بشأن الكتلة الأحيائية في قطاع الغذاء في مقابل التنافس على الوقود، والانشغالات المتنامية بشأن الصراعات الأخرى، إلى إعطاء دفعة قوية لوضع وتنفيذ معايير وأطر للاستدامة، فضلاً عن إحداث تغييرات في المستويات والجداول الزمنية المستهدفة للطاقة الحيوية والوقود الأحيائي. وبالإضافة إلى ذلك، يؤدي الدعم المقدم لخيارات عمليات التكرير الأحيائية المتطورة والوقود الأحيائي للجيل التالي[9] إلى دفع الطاقة الأحيائية لتغدو أكثر استدامة. [2.4.5]

واضطلع دعم السياسات المستمر والمستقر بدور رئيسي في بناء القدرات الإنتاجية للكتلة الأحيائية وأسواقها، مما يتطلب بنية أساسية وقدرات تحويل تغدو أكثر تنافسية بمرور الوقت. وأدت هذه الظروف إلى نجاح البرنامج البرازيلي، لدرجة أصبحت تكاليف إنتاج الإيثانول الآن أقل من نظيرتها الخاصة بالبنزين. ويولد لباب ألياف قصب السكر الطاقة الحرارية والكهرباء، ضمن توليفة حافظة طاقة تستند بشكل أساسي إلى الطاقة المتجددة وتقلل لأدنى حد من واردات النفط

9 يطلق أيضاً على الوقود الأحيائي المنتج بعمليات جديدة (مثلاً من الكتلة الأحيائية لسليلوزات الأخشاب) الوقود الأحيائي المتطور.



الشكل 2.3 الملخص الفني: مخطط يوضح تنوع مسارات الطاقة الأحيائية التجارية (الخطوط المتصلة) والمتنامية (الخطوط المتقطعة) بدءاً من المواد الخام الأولية للكتلة الأحيائية إلى مسارات تحويلها الكيميائية الحرارية، والكيميائية، والكيميائية الأحيائية، والأحيائية، إلى حرارة، وطاقة، وتوليد الحرارة والطاقة المشترك، ووقود سائل أو غازي. وجرى تمييز المنتجات التجارية بنجمة صغيرة. [الشكل 2.2، 2.1.1]

ملاحظات: (1) يمكن استخدام أجزاء من كل مادة خام أولية في مسارات أخرى. (2) كما يمكن لكل مسار أن يستحدث منتجات مشتركة. (3) رفع نجاعة الكتلة الأحيائية يشمل عمليات التكثيف (مثل التكوير (تصنيع الأقراص الطينية))، التحلل الحراري، التحميص الحراري، وما إلى ذلك). (4) عمليات المعالجة اللاهوائية لغازات متنوعة يمكن رفع نجاعتها إلى الميثان الأحيائي، فالميثان في الأساس هو المكون الرئيسي للغاز الطبيعي. (5) يمكن اتباع مسارات معالجة حرارية أخرى مثل المعالجة الحرارية المائية والإسالة وغير ذلك. وتشمل المسارات الأخرى للمعالجة الكيميائية رفع العدد الأوكتاني في المرحلة المائية ثنائي ميثيل إثير.

من الخارج. كما سجلت السويد وفنلندا نمواً كبيراً في توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة وفي إدارة الموارد المتكاملة، التي أسفرت بشكل تدريجي عن ابتكارات مثل التكافل الصناعي للأنشطة الصناعية المرتبطة ببعضها. وتمكنت الولايات المتحدة من تعزيز الإنتاج بوتيرة سريعة بمواءمة السياسات الوطنية ودون الوطنية من أجل الطاقة في ثمانينيات وحتى تسعينات القرن العشرين، ومن أجل الوقود الأحفوري في تسعينيات القرن العشرين وحتى وقتنا الراهن؛ في الوقت التي زادت أسعار النفط وأجواء عدم الاستقرار في البلدان الرئيسية المنتجة له، ومن أجل تعزيز التنمية الريفية وضمان إمدادات الطاقة. [2.4.5]

وتتباين البلدان في أولوياتها ونهجها وخياراتها التكنولوجية وخطط دعمها لمزيد من عمليات تنمية الطاقة الحيوية. وتظهر تعقيدات الأسواق والسياسات حينما تسعى البلدان لموازنة أولوياتها الخاصة في الزراعة واستخدام الأراضي وسياسات الطاقة وأمانها، والتنمية الريفية والحماية البيئية، مع مراعاة مستوى التنمية الخاص بها وسبل الوصول الجغرافية للموارد، ومدى توافر الموارد وتكاليفها. [2.4.5، 2.4.7]

وإذا كان إحدى التوجهات تتمثل في كون السياسات التي تدور في فلك الطاقة الحيوية والوقود الأحيائي تغدو أكثر شمولية، فإن الاستدامة تصبح معياراً أقوى عند نقطة البداية. ويصدق هذا الأمر بالنسبة للاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة والصين، بل وكذلك لكثير من البلدان النامية مثل موزامبيق وتنزانيا. ويعد هذا تطوراً إيجابياً، ولكنه ليس مستقراً بأي شكل من الأشكال. ويمكن للمبادرات السبعين المسجلة في شتى أنحاء العالم حتى عام 2009 الرامية إلى وضع وتنفيذ أطر للاستدامة ونظم لاعتماد الطاقة الحيوية والوقود الأحيائي، وكذلك للزراعة والحراجة، أن تؤدي إلى تشتيت الجهود. وتزداد على نطاق واسع أهمية الحاجة إلى تنسيق الجهود وتعزيز المساعي الدولية متعددة الأطراف للتعاون والحوار [2.4.6، 2.4.7]

2.5 الآثار البيئية والاجتماعية

لإنتاج الطاقة الحيوية آثار معقدة تتداخل مع النظم الاجتماعية والبيئية الأخرى. وتتباين بواعث القلق – التي تتراوح ما بين الصحة والفقر والتنوع الأحيائي وندرة المياه ونوعيتها – وفقاً لكثير من العوامل، تشمل الظروف المحلية وخيارات التكنولوجيا والمواد الأولية، وتصميم معايير الاستدامة، وتصميم وتنفيذ مشروعات معينة. ولعل الأهم هو الإدارة العامة والحكامة الشاملة لاستخدام الأراضي حينما تنتج الكتلة الأحيائية لأغراض الطاقة مفضلة في ذلك على تلبية الاحتياجات الغذائية وغيرها من متطلبات الزراعة وإنتاج المواشي والألياف. [2.5]

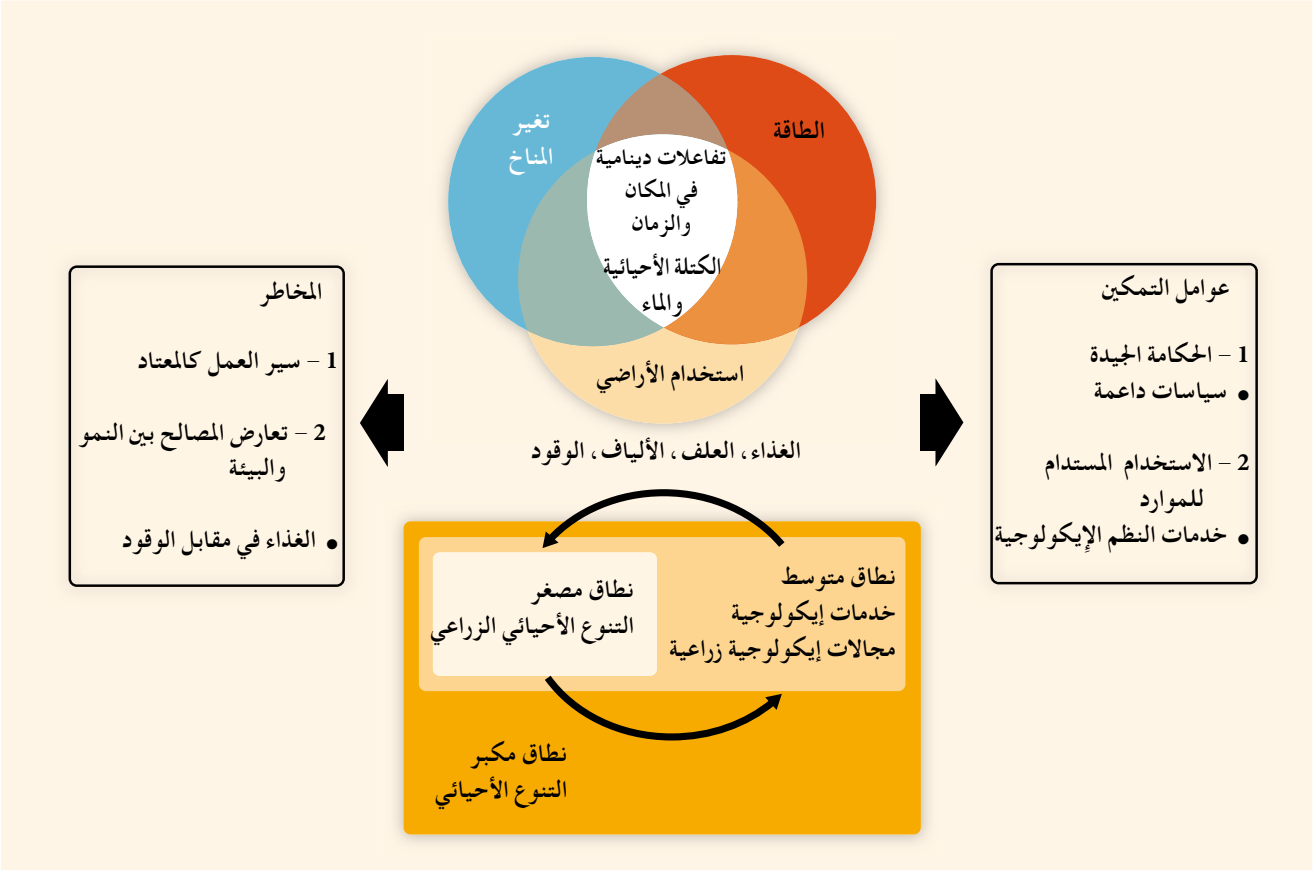
ويحدث تغير مباشر في استخدام الأراضي حينما يغير إنتاج المواد الأولية لأغراض الطاقة الحيوية من استخدامات الأراضي الحالية، مما يسفر عن تغيير في مخزونات الكربون فوق الأرض وتحتها. ويحدث تغيير غير مباشر في استخدام الأراضي حينما يطرأ تغيير في مستوى إنتاج مادة زراعية (مثل الحد من إنتاج الأغذية أو العلف نتيجة لتحويل استخدام الأراضي الزراعية لإنتاج مواد أولية للطاقة الحيوية) يفضي إلى تحول تحركه قوى السوق في أنشطة إدارة الأراضي (مثل تغير استخدام الأراضي المباشر) خارج منطقة توسع في الإنتاج الأولي. ولا يكون التغير في الاستخدامات غير المباشرة للأراضي ملحوظاً، إذ يتسم بتعقيد يحول دون نمذجته وبصعوبة عزوه إلى سبب بمفرده، حيث تتداخل قوى فاعلة متعددة وأنشطة صناعية وبلدان وسياسات وأسواق تداخلاً دينامياً في هذا الصدد. [2.5.3، 9.3.4.1]

في الحالات التي تكون فيها الزيادات في استخدام الأراضي نتيجة لإنتاج الكتلة الأحيائية مصحوبة بحدوث تحسينات في الإدارة الزراعية (مثل تكثيف إنتاج المحاصيل المعمرة وإنتاج المواشي في الأراضي المتدهورة)، يمكن تجنب الآثار غير المرغوبة للتغيير غير المباشر في استخدام الأراضي. ويمكن أن تنشب بعض الصراعات، إذا لم تراع. ومن ثم، فإن الأداء العام لنظم إنتاج الطاقة الحيوية يرتبط على نحو وثيق بإدارة استخدام الأراضي وموارد المياه. وينبغي الموازنة بين تلك الأبعاد وإدارتها بوضع إستراتيجيات وعمليات صنع قرار ملائمة. (الشكل 2.4 بالملخص الفني). [2.5.8]

ويمكن لمعظم نظم الطاقة الحيوية أن يسهم في التخفيف من آثار تغير المناخ إذا حلت محل الاستخدام التقليدي للوقود الأحفوري، وإذا جرى الحفاظ على مستويات الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الطاقة الحيوية منخفضة. ويمكن للانبعاثات المرتفعة لأكسيد النيتروز الناجمة عن إنتاج المواد الأولية واستخدام الوقود الأحفوري (ولاسيما الفحم) في عملية تحويل الكتلة الأحيائية، أن تؤثر تأثيراً شديداً على وفورات غازات الدفيئة. وتشمل خيارات تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة: الممارسات الفضلى في إدارة الأسمدة، وعملية الإدماج لتقليل الخسائر لأدنى حد، واستخدام فائض الحرارة، واستخدام الكتلة الأحيائية أو غير ذلك من مصادر الطاقة منخفضة الكربون كوقود عمليات. وعلى الرغم من ذلك، يمكن لكفاءة الإزاحة (انبعاثات غازات الدفيئة بالنسبة إلى الكربون الموجود في الكتلة الأحيائية) أن تكون منخفضة حينما تستخدم مواد أولية إضافية للكتلة الأحيائية كوقود عمليات في عملية التحويل، ما لم يجرى توليد الطاقة المزاحة من الفحم. وإذا أمكن للمواد الأولية للكتلة الأحيائية إنتاج كل من الوقود السائل والكهرباء، فيمكن أن تكون كفاءة الإزاحة مرتفعة. [2.5.1–2.5.3]

وهناك أساليب مختلفة لتقييم انبعاثات غازات الدفيئة من خيارات الجيل الأول والثاني الرئيسية للوقود الأحيائي. ويمكن لمشروعات الطاقة الحيوية ذات الإدارة الجيدة خفض انبعاثات غازات الدفيئة إلى حد كبير مقارنة بالبدائل الأحفورية، وخاصة بالنسبة للكتلة الأحيائية الليجنوسيليلوزية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية والحرارية، وعندما تكون تلك المواد الأولية متوافرة تجارياً. ويمكن تحقيق مزايا من خلال الاستفادة من المخلفات الزراعية المناسبة والنفايات العضوية، والمخلفات الحيوانية أساساً. ولدى معظم النظم الحالية لإنتاج الوقود الأحيائي انخفاضات كبيرة في انبعاثات غازات الدفيئة بالنسبة لأنواع الوقود الأحفوري المزاح، إذا لم يُؤخذ في الاعتبار أي آثار لتغير استخدام الأراضي غير المباشر. ويعطى الشكل 2.5 في الملخص الفني صورة عن نطاقات انبعاثات غازات الدفيئة لدورة الحياة المرتبطة بتقنيات توليد الطاقة من الكتلة الأحيائية الحديثة مقارنة مع الأنظمة الأحفورية المرجعية المماثلة التي تستخدم عادة في هذه القطاعات. وتظهر السلاسل التجارية، مثل طاقة الكتلة الأحيائية المباشرة، وطاقة غاز الهضم الحيوي اللاهوائي، وتكنولوجيات التدفئة الحديثة الفعالة جداً، على الجانب الأيمن وتوفر وفورات كبيرة من انبعاثات غازات الدفيئة مقارنة مع الوقود الأحفوري. ويتوافر مزيد من التفاصيل عن الدراسة الوصفية لتحليل غازات الدفيئة التي تقارن تكنولوجيات توليد الكهرباء المتعددة من الكتلة الأحيائية في الشكل 2.11، مما يدل على أن الغالبية العظمى من تقديرات دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة تتكتل بين نحو 16 و 74 جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / كيلووات ساعة.

ووجرى تناول قطاع النقل و لتكنولوجيا اليوم والغد. وبالنسبة لتطبيقات المركبات الخفيفة، يمكن لقصب السكر اليوم والمواد الليجنوسيليلوزية الأولية في المدى المتوسط أن توفر وفورات كبيرة من الانبعاثات المتصلة بالبنزين. وفي حالة وقود الديزل، يعتمد نطاق انبعاثات غازات الاحتباس الحراري على انبعاثات بصمة كربون المواد الأولية. ويوفر الميثان الحيوي المشتق من الغاز الحيوي أيضاً تخفيضاً في الانبعاثات (مقارنة بالغاز الطبيعي) في قطاع النقل. [2.5.2، 9.3.4.1]



الشكل 2.4 الملخص الفني: التفاعلات الدينامية المعقدة بين المجتمع والطاقة والبيئة المرتبطة بالطاقة الأحيائية. تمثل نهج عمليات الإنتاج غير المنسقة للغذاء والوقود التي تظهر في إطار ضعف حكامة استخدام الأراضي، نماذج لممارسات العمل كالمعتاد. [الشكل 2.15]

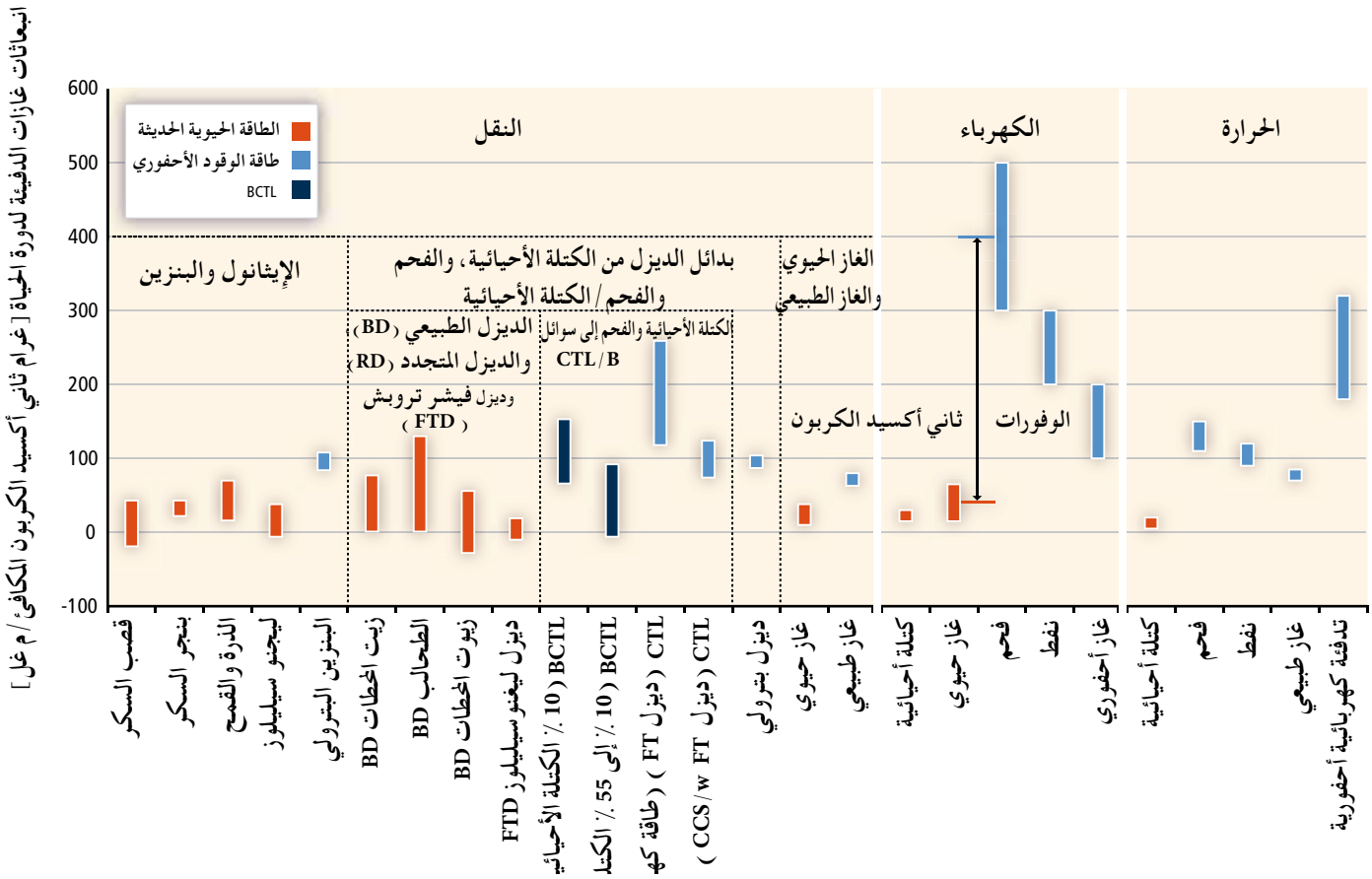
عندما يتم تحويل الأرض عالية الكربون (خصوصاً الغابات لاسيما الغابات ذات التربة الخث المستنزفة) لأغراض إنتاج الطاقة الحيوية، فقد تتسبب الانبعاثات الأولى في فارق زمني ليتراوح بين عقود وقرون قبل تحقيق وفورات في الانبعاثات الصافية. في المقابل، يمكن أن تؤدي إقامة مزارع للطاقة الحيوية في التربة الحدية والمتدهورة إلى امتصاص ثاني أكسيد الكربون وتحويلها إلى تربة وكتلة أحيائية فوق الأرض، وعندما تحصد لإنتاج الطاقة ستحل محل استخدام الوقود الأحفوري. فالحكامة المناسبة لاستخدام الأرض (مثل التقسيم المناسب للمناطق) واختيار نظم إنتاج الكتلة الأحيائية ذات أهمية حاسمة لتحقيق أداء جيد. ولا يسبب استخدام النفايات العضوية بعد الاستهلاك والمنتجات الثانوية الناتجة عن الصناعات الزراعية والحراجية تغيراً في استخدام الأرض إذا لم تستخدم مصادر الكتلة الأحيائية هذه لأغراض بديلة. [2.5.3]

وبوسع المواد الأولية الليجنوسيليلوزية للطاقة الحيوية خفض الضغط على الأراضي الزراعية الرئيسية. ويقلل تحفيز الزيادة في الإنتاجية جميع أشكال استخدام الأراضي من ضغط تغير استخدام الأرض. [2.2.4.2، 2.5.2]

يشير تقييم أدبيات استخدام الأرض غير المباشر إلى أن النماذج الأولية كانت تنقصها الدقة الجغرافية مما أدى إلى ارتفاع نسب تخصيصات استخدام الأراضي لإزالة الغابات. ففي حين ادعت دراسة أجريت عام 2008 أن عامل تغير استخدام الأرض غير المباشر كان بنسبة 0.8 (فقدان 0.8 هكتار من الأراضي الحرجية لكل هكتار من الأراضي المستخدمة في الطاقة الحيوية) تحدثت الدراسات اللاحقة (2010) التي أقرنت الاقتصاد الكلي بالنماذج البيوفيزيائية عن نسبة 0.15 إلى 0.3. وتتجلى العوامل الرئيسية في نسبة التحسن في الإدارة الزراعية والثروة الحيوانية ومعدل انتشار إنتاج الطاقة الحيوية. وتشير نتائج تطور النموذج المتزايد والبيانات المحسنة بشأن الديناميات الفعلية لتوزيع الأراضي في البلدان الرئيسية المنتجة للوقود الحيوي إلى انخفاض إجمالي تأثيرات تغير استخدام الأرض، لكن لاتزال هناك العديد من جوانب عدم اليقين. وتعترف جميع الدراسات بأن إدارة استخدام الأرض بشكل عام هو المفتاح. ويمكن للبحوث الرامية إلى تحسين أساليب تقييم تغير استخدام الأرض وزيادة توافر وتحسين نوعية المعلومات بشأن استخدام الأراضي الحالي والمنتجات المستمدة من الطاقة الحيوية وغيرها من الدوافع المحتملة الأخرى لتغير استخدام الأرض أن تسهل التقييم وتوفر الأدوات اللازمة لتخفيف الخطر الناجم عن تغير استخدام الأرض الناتج عن الطاقة الحيوية. [2.5.3، 9.3.4.1]

ترتبط تأثيرات تلوث الهواء من الطاقة الحيوية على كل من بتكنولوجيا الطاقة الحيوية (بما في ذلك تكنولوجيات مكافحة التلوث) وتكنولوجيا الطاقة المزاحة. ويمكن لمواقد الطبخ المحسنة من الكتلة الأحيائية أن تتيح تخفيفا كبيراً وفعالا من حيث التكلفة لانبعاثات غازات الدفيئة مع منافع مشتركة تفيد 2.7 مليار نسمة يعتمدون على الطاقة الحيوية التقليدية لأغراض الطهي والتدفئة، من حيث الصحة ونوعية الحياة. [2.5.4، 2.5.5]

وإذا انعدمت الإدارة السليمة، فإن زيادة إنتاج الكتلة الأحيائية من شأنه أن يزيد المنافسة على المياه في المناطق الحرجة، وهو أمر غير مرغوب فيه للغاية.



الشكل 2.5 الملخص الفني: نطاقات ناتج انبعاثات غازات الدفيئة لكل وحدة ناتج الطاقة (ميجاغل) من كبرى سلاسل الطاقة الحيوية الحديثة مقارنة مع نظم طاقة الوقود الأحفوري المتقدمة الحالية والمختارة (صافي تغيرات استخدام الأرض في مخزونات الكربون وتأثيرات إدارة الأراضي مستبعدة). تم توضيح النظم التجارية والمتقدمة (مثل الوقود الحيوي من الطحالب، وفيشر تروبش Fischer–Tropsch) لتكنولوجيات الكتلة الأحيائية والوقود الأحفوري. عندما يتم تطوير تقنيات امتصاص الكربون وتخزينه، فإن احتجاز واحتباس انبعاثات الكربون من الكتلة الأحيائية يمكن أن يعوض عن انبعاثات إنتاج الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري. [الشكل 2.10]

فالماء قضية حاسمة تحتاج إلى تحليل أفضل على الصعيد الإقليمي لفهم التأثير الكامل للتغيرات في الغطاء النباتي وفي إدارة استخدام الأراضي. وتشير الدراسات الحديثة إلى إمكانية إدخال تحسينات كبيرة في نجاعة استخدام المياه في الزراعة التقليدية، ومحاصيل الطاقة الحيوية والنظم المحصولية الدائمة – اعتمادا على الموقع والمناخ – من خلال تحسين الاحتفاظ بالماء وخفض تبخر المياه المباشر من التربة. [2.5.5، 2.5.5.1]

ويمكن الإشارة لملاحظات مماثلة فيما يتعلق بالتنوع الأحيائي، على الرغم من وجود عدم يقين علمي بسبب المناقشات الجارية حول أساليب تقييم الأثر على التنوع الأحيائي. بصراحة، يعتبر تطوير الزراعة الأحادية على نطاق واسع على حساب المناطق الطبيعية ضارا بالتنوع الأحيائي، كما كما جرى تأكيد ذلك في اتفاقية 2007 بشأن التنوع الأحيائي. ومع ذلك، فإن دمج الحشائش المعمرة ومختلف المحاصيل الزراعية الخشبية في السهول الطبيعية يمكن أن تزيد كربون التربة والإنتاجية، وتحد من الانهيارات الأرضية الضحلة و"الفياضانات الطارئة" المحلية وتوفر ممرات إيكولوجية وتحد من تعرية الرياح والمياه وتقلل الرواسب والعناصر الغذائية المنقولة في النظم النهرية. ويمكن لحصاد الكتلة الأحيائية الحراجية تحسينَ الظروف لإعادة زراعتها، وتحسين إنتاجية ونمو المتبقي والحد من مخاطر حرائق الغابات. [2.5.5.3]

تعتبر الآثار الاجتماعية المرتبطة بالتوسع الكبير في إنتاج الطاقة الحيوية معقدة جداً ويصعب قياسها كمياً. ويمثل الطلب على الوقود الأحيائي أحد دوافع نمو الطلب في قطاعي الزراعة والغابات، ويسهم بالتالي في زيادة أسعار المواد الغذائية العالمية. وحتى بالنظر إلى ما يمكن للمزارعين الفقراء أن يجنوه من زيادة الأسعار، فإن ارتفاع أسعار المواد الغذائية يؤثر سلبا على مستويات الفقر، والأمن الغذائي، وسوء التغذية للأطفال. ومن ناحية أخرى، يمكن أن يوفر الوقود الأحيائي أيضا فرصاً للبلدان النامية لتحقيق تقدم في مجال التنمية الريفية والنمو الزراعي، وخصوصاً عندما يكون هذا النمو مستداماً من الناحية الاقتصادية. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تخفيض النفقات الناجمة عن استيراد الوقود الأحفوري. ومع ذلك، فسواء انتهت هذه الفوائد في نهاية المطاف لصالح المزارعين في المناطق الريفية، فهي تعتمد إلى حد كبير على الطريقة التي تُنظم بها سلاسل الإنتاج وكيفية تنظيم استخدام الأراضي. [2.5.7.4–2.5.7.6، 9.3.4]

يمكن لوضع أطر الاستدامة ومعاييرها أن يحد من التأثيرات السلبية المحتملة المرتبطة بإنتاج الطاقة الحيوية، وتؤدي إلى زيادة النجاعة أكثر مقارنة بالنظم الحالية. ويمكن أن تساهم الطاقة الحيوية في التخفيف من آثار تغير المناخ، وتوفير إمدادات طاقة آمنة ومتنوعة، وفي التنمية الاقتصادية في البلدان المتقدمة والنامية على السواء، لكن آثار الطاقة الحيوية على الاستدامة البيئية قد يكون إيجابياً أو سلبياً حسب الظروف المحلية، وكيفية تحديد المعايير، وكيفية تصميم المشاريع وتنفيذها، من بين عوامل أخرى كثيرة. [2.4.5.2، 2.8.3، 2.5.8، 2.2.5، 9.3.4]

2.6 آفاق تحسين التكنولوجيا و آفاق التكامل

إن المزيد من التحسينات في إنتاج المواد الأولية للكتلة الأحيائية وتكنولوجيات التحويل أمر ممكن جداً وضروري لكي تساهم الطاقة الحيوية في إمدادات الطاقة العالمية إلى الدرجة الواردة في الطرف الأعلى من مستويات النشر المبينة في الشكل 2.2 بالملخص الفني. فزيادة إنتاجية الأرض، سواء لأغراض الطاقة أو المواد الغذائية، هو شرط حاسم لتحقيق نشر واسع النطاق في المستقبل للحصول على الطاقة من الكتلة الأحيائية، لأنها ستتيح المزيد من الأراضي لنمو الكتلة الأحيائية والحد من الطلب المرتبط بها على الأراضي. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لنظم استخدام الأراضي والمياه متعددة الوظائف أن تتطور بإدماج الطاقة الحيوية والمصافي البيولوجية مع النظم الزراعية والحرجية، لتساهم بذلك في الحفاظ على التنوع الأحيائي والمساعدة على استعادة/وصيانة إنتاجية التربة والنظم البيئية السليمة. [2.6.1]

وتبشر المواد الأولية من الليجنوسيليلوز بخير كبير لأنها 1) لا تتنافس مباشرة مع إنتاج الأغذية، 2) يمكن أن تنتج على وجه التحديد لأغراض إنتاج الطاقة، متيحة بذلك إنتاجية أكبر لكل وحدة من وحدات الأرض ومستحدثة سوقاً شاسعاً لمنتجات الطاقة 3) يمكن حصادها كمخلفات من الإنتاج المحصولي وغيرها من النظم التي تزيد من فعالية استخدام الأراضي، و 4) تسمح بتكامل عمليات إدارة النفايات مع مجموعة متنوعة من الصناعات الأخرى مما يوفر آفاقا للاندماج الصناعي على المستوى المحلي. وتشير أدبيات واتجاهات الاستثمار في تكنولوجيات التحويل إلى أن هذه الصناعة تستعد لزيادة تنويع المنتجات، كما حدث في صناعة النفط، مع تزايد الاهتمام بوقود الطاقة ذي الكثافة العالية في النقل الجوي، وهو التطبيق الذي لم تحدد له أنواع أخرى من الوقود غير الكربوني. [2.6.4]

ويمكن لجيل جديد من المواد الأولية المائية التي تنتج الدهون الطحلبية لوقود الديزل ووقود الطائرات النفاثة، أو منتجات ذات قيمة أعلى من ثاني أكسيد الكربون والماء مع ضوء الشمس توفير إستراتيجيات لخفض آثار استخدام الأراضي، حيث يمكن أن تنمو الطحالب في الماء الأخضم والأراضي غير الملائمة للزراعة، ومياه النفايات الصناعية. ويمكن للكائنات الطحلبية العمل في الظلام واستقلاب السكريات للوقود والمواد الكيميائية. كما يمكن أن تصبح كثير من الميكروبات مصانع مجهرية لإنتاج منتجات محددة والوقود والمواد التي تقلل من اعتماد المجتمع على مصادر الطاقة الأحفورية. [2.6.1.2، 2.7.3]

وبالرغم مما أحرز من تقدم فني كبير، فإن المزيد من المعالجة الأكثر تعقيدا الذي تتطلبه الكتلة الأحيائية الليجنوسيليلوزية الصلبة وكذلك دمجَ عدد من الخطوات الجديدة يستغرق وقتاً ودعماً لتحقيق التطوير عبر «وادي الموت» في محطات التجارب، والمحطات الأولى من نوعها والتسويق في مراحله الأولى. وتعتبر التكاليف المتوقعة للوقود الأحيائي من طائفة واسعة من المصادر ومتغيرات المعالجة مسألة ترتبط بشكل حساس للغاية بتكلفة المواد الأولية وتتراوح ما بين 10 إلى 30 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل. وتتوقع الأكاديميات القومية الأمريكية تخفيضاً مقداره 40 ٪ في تكاليف التشغيل لمسارات الكيمياء الحيوية بحلول عام 2035 ليتراوح بين 12 و 15 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل. [2.6.3، 2.6.4]

ويوفر تغويز الكتلة الأحيائية حالياً حوالي 1.4 جيجا وات حراري في التطبيقات الصناعية، والتطبيقات الحرارية والاحتراق المشترك (co–firing). و مع مرور الوقت ما فتئت تتحسن من حيث النجاعة و النظم صغيرة الحجم التي تتراوح بين مواقد الطبخ ونظم المعالجة اللاهوائية والمغوِّزات الصغيرة. وكان لدى العديد من أصحاب المصالح اهتمام خاص بمحطات توليد الطاقة بنظام الدورة المركبة المتكاملة للتغويز التي تستخدم الطاقة الحيوية كمادة أولية. ومن المتوقع أن تكون هذه المحطات أكثر نجاعة من نظم التوربينات البخارية التقليدية لكنها لم تصل بعد إلى الاستغلال التجاري الكامل. ومع ذلك، فإن لديها القدرة أيضا على أن تكون متكاملة مع نظم امتصاص ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على نحو أكثر فعالية. وبالإضافة إلى توفير الغاز المركب من مصانع التعويز للطاقة ، يمكن استخدامه لإنتاج مجموعة كبيرة من أنواع الوقود (الميثانول والإيثانول والبوتانول والديزل المركب) أو يمكن استخدامه في نظام طاقة ووقود المشترك. وقد حالت التحديات الفنية والهندسية حتى الآن دون تسريع وتيرة نشر هذا الخيار التكنولوجي. فتحويل الكتلة الأحيائية إلى سوائل يستخدم تكنولوجيا تجارية تم تطويرها للوقود الأحفوري. ويوضح الشكل 2.5 بالملخص الفني الانبعاثات المتوقعة من الفحم إلى الوقود السائل والانبعاثات الموازنة التي يمكن أن توفرها الكتلة الأحيائية لإزالة غازات الدفيئة من الغلاف الجوي عندما تُقرن بتكنولوجيا نظم احتجاز (ثاني أكسيد الكربون) وتخزينه. وتعتبر تكاليف إنتاج المنتجات الغازية (الهيدروجين والميثان والغاز الطبيعي الاصطناعي) منخفضة وهي في مرحلة مبكرة من مراحل التسويق التجاري. [2.6.3، 2.6.4]

تعتبر زيوت الانحلال الحراري والزيوت المائية الحرارية زيوتاً منخفضة التكاليف وقابلة للنقل، وتستخدم في تطبيقات الحرارة أو توليد الحرارة والطاقة المشترك، ويمكن أن تصبح مادة أولية لتحسين المرافق القائمة بذاتها أوالمرفقة بمصفاة للبتروكيماويات. [2.3.4، 2.6.3، 2.6.4، 2.7.1]

ومافتئ إنتاج الغاز الحيوي من مجموعة متنوعة من مجاري النفايات وترقيته إلى الميثان الحيوي يخترق أسواقاً صغيرة لتطبيقات متعددة، بما في ذلك النقل في شبكات صغيرة في السويد والحرارة والطاقة في بلدان شمال أوروبا والبلدان الأوروبية. ويتجلى العامل الأساسي في مزج مجاري النفايات، بما في ذلك مخلفات الزراعة. ومن الضروري أيضاً الترقية المحسنة وخفض التكاليف. [2.6.3، 2.6.4]

وتتيح الكثير من مسارات الطاقة الحيوية/الوقود الحيوي امتصاص ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مع فرص كبيرة لخفض الانبعاثات وعزلها. وهناك مزيد من التطوير لتكنولوجيات امتصاص الكربون وتخزينه والتحقق منها، فإن اقران التخمير بتيارات ثاني أكسيد الكربون المركزة أو الدورة المركبة المتكاملة للتغويز يوفر فرصاً لتحقيق وقود متعادل من حيث الكربون، وفي بعض الحالات انبعاثات سلبية صافية. وسييسر تحقيق هذا الهدف بفضل أنظمة جيدة التصميم تشمل اختيار الكتلة الأحيائية، ونظام الإمداد بالمواد الأولية، والتحول إلى ناقل الطاقة الثانوية وإدماج هذا الناقل في نظم الطاقة القائمة والمستقبلية. [2.6.3، 2.6.4، 9.3.4]

2.7 التكاليف والاتجاهات الحالية

يساهم إنتاج الكتلة الأحيائية، ولوجستيات الإمداد، وعمليات التحويل في تكلفة المنتجات النهائية. [2.3، 2.6، 2.7]

وتختلف اقتصاديات وعوائد المواد الأولية على نطاق واسع عبر مناطق العالم وأنواع المواد الأولية بتكاليف تتراوح ما بين 0.9 إلى 16 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل (البيانات من 2005 إلى 2007). وينافس إنتاج المواد الأولية للطاقة الحيوية قطاعي الغابات والأغذية، ولكن النظم المتكاملة للإنتاج مثل الحراجة الزراعية أو المحاصيل المختلطة قد تتكامل مع الخدمات البيئية الإضافية. وقد تساهم أعمال مناولة ونقل الكتلة الأحيائية من مواقع الإنتاج إلى محطات التحويل بنسبة تتراوح بين 20 إلى 50 ٪ من التكاليف الإجمالية لإنتاج الطاقة الحيوية. وتزيد عوامل مثل زيادة

حجم والابتكارات التكنولوجية المنافسةَ وتساهم في انخفاض التكاليف الاقتصادية للطاقة في سلاسل الإمداد بأكثر من 50 ٪. ويتطلب الأمر التكثيف عن طريق التحبيب أو القولبة للنقل على مسافات تزيد عن 50 كم. [2.3.2، 2.6.2]

ويمكن نشر عدة أنظمة مهمة من الطاقة الحيوية اليوم، أبرزها الإيثانول المستخلص من قصب السكر وتوليد الطاقة والحرارة من مخلفات ونفايات الكتلة الأحيائية بطريقة تنافسية. [الجداول 2.6، 2.7]

واستناداً إلى منهجية موحدة مبينة في الملحق الثاني، وتكلفة وبيانات الأداء الملخصة في الملحق الثالث، يرد موجز بتكاليف الإنتاج المقدرة لنظم الطاقة الحيوية التجارية بمستويات مختلفة مع بعض الاعتبارات للمناطق الجغرافية في الشكل 2.6. بالملخص الفني وتشمل القيم الإنتاج، ولوجستيات الإمداد وتكاليف التحويل. [1.3.2، 2.7.2، 10.5.1، المرفق الثاني، المرفق الثالث]

وتختلف التكاليف باختلاف مناطق العالم، وأنواع المواد الأولية، وتكاليف توريد المواد الخام، وحجم إنتاج الطاقة الحيوية، ووقت الإنتاج خلال العام، الذي غالباً ما يكون موسمياً. تتراوح أمثلة من التكلفة التقديرية للطاقة الحيوية المقومة تجارياً[10] بين 2 و 48 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل للوقود الحيوي السائل والغازي: تقريباً 3.5 إلى 25 سنتاً 2005 / كيلووات ساعة (10 إلى 50 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل) لنظم توليد الكهرباء أو توليد الحرارة والطاقة المشترك أكثر من حوالي 2 ميجاواط (مع تكلفة 3 دولارات دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل للمواد الأولية وقيمة الحرارة 5 دولارات أمريكية بدولارات 2005 للجيجاغل للبخار أو 12 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل للماء الساخن)، وحوالي 2 إلى 77 دولار أمريكي بدولارات 2005 للجيجاغل لأنظمة التدفئة المنزلية أو الحضرية مع تكاليف المواد الأولية في نطاق 0–02 دولار أمريكي للجيجاغل (من النفايات الصلبة إلى مكعبات الخشب). وتشير هذه الحسابات إلى بيانات عام 2005 إلى عام 2008 والتعبير عنها بالدولار الأمريكي بدولارات 2005 وبمعدل خصم 7 ٪. وتغطي نطاقات تكلفة للوقود الأحيائي في الشكل 2.6 بالملخص الفني الأمريكتين والهند والصين والدول الأوروبية. أما بالنسبة لأنظمة التدفئة، تكون التكاليفُ أوروبية في المقام الأول، وتكاليف الكهرباء وتوليد الحرارة والطاقة المشترك فتأتي أساسا من البلدان كبيرة الاستهلاك. [2.3.1–2.3.3، 2.7.2، المرفق الثالث]

وعلى المدى المتوسط، لايزال في الإمكان تحسين أداء تكنولوجيات الطاقة الحيوية الموجودة حاليا بشكل كبير، في حين توفر التكنولوجيا الجديدة إمكانية نشر أكثر نجاعة وتنافسية للكتلة الأحيائية لأغراض الطاقة (والمواد). وتسجل نظم الطاقة الحيوية، تحديداً من أجل إنتاج الإيثانول وطاقة الكهرباء الحيوية تعلماً تكنولوجياً وخفضاً في التكاليف المرتبطة بمعدلات تعلم مماثلة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى. وينطبق هذا على النظم المحصولية (بعد التقدم الملحوظ في الإدارة الزراعية لقصب السكر والذرة)، ونظم الإمداد والخدمات اللوجستية (كما لوحظ في البلدان الاسكندنافية والخدمات اللوجستية الدولية) وعلى التحويل (إنتاج الإيثانول، وتوليد الكهرباء والغاز الحيوي) كما هو موضح في الجدول 2.2. بالملخص الفني.

10 كما هو الحال في إنتاج الكهرباء في نظم توليد الحرارة والطاقة المشترك الذي تفترض فيه الحسابات قيمة للحرارة المنتجة بالاشتراك، لأنظمة الوقود الأحيائي، هناك حالات يتم الحصول فيها على منتجيْن؛ على سبيل المثال، قصب السكر إلى السكر، والإيثانول والكهرباء. ويمكن لعائد منتج السكر المشترك أن يصل لنحو 2.6 دولار 2005/GJ وتزاح تكلفة الإيثانول بمقدار هذا المبلغ.

وعلى الرغم من أنه لم يتم التحقق بالتفصيل من كل الخيارات الحيوية التي نوقشت في الفصل 2 فيما يتعلق بتعلم التكنولوجيا، فإن عدة أنظمة للطاقة الحيوية الهامة قد خفضت تكلفتها وحسنت أداءها البيئي. غير أنها لاتزال بحاجة إلى الدعم الحكومي المقدم للتنمية الاقتصادية (على سبيل المثال، الحد من الفقر وتأمين إمدادات الطاقة) وغيرها من الأسباب الخاصة بكل بلد. وبالنسبة للكتلة الأحيائية التقليدية، فإن الفحم النباتي المصنوع من الكتلة الأحيائية هو وقود رئيسي في البلدان النامية، وينبغي أن يستفيد من اعتماد أفران أكثر نجاعة. [2.3، 2.6.1، 2.6.2، 2.6.3، 2.7.2، 10.4، 10.5]

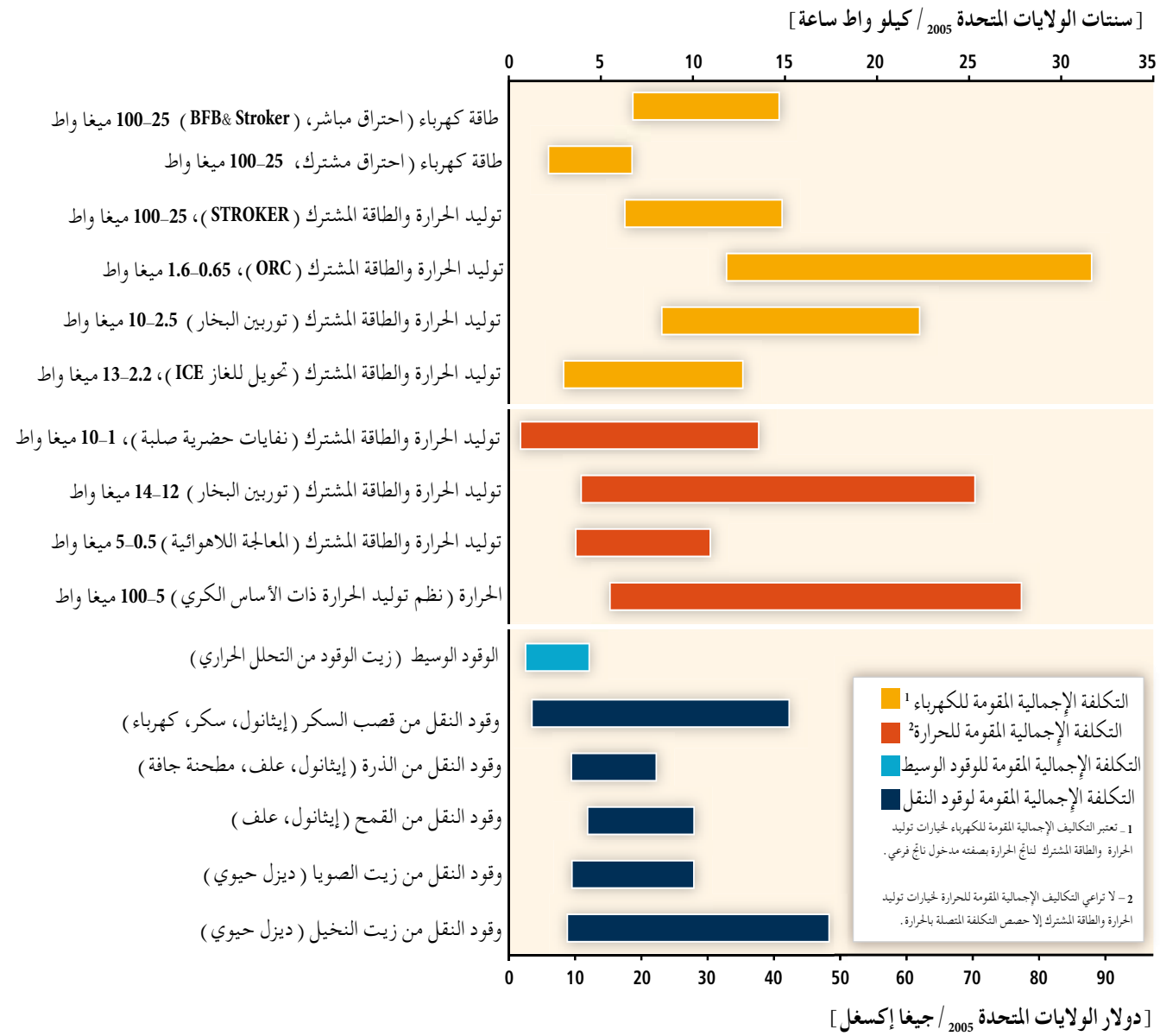
يعتمد الإنتاج التنافسي للكهرباء الحيوية (عن طريق الميثان أو الوقود الأحيائي) على التكامل مع أنظمة الاستخدام النهائي، وأداء البدائل مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وتطوير تكنولوجيات امتصاص الكربون وتخزينه مقروناً بتحويل الفحم والطاقة النووية. ويمكن أن تؤدي الآثار المترتبة على نجاح نشر آليات امتصاص الكربون وتخزينه بالاشتراك مع تحويل الكتلة الأحيائية إلى إزالة غازات الدفيئة من الغلاف الجوي وبمستويات تكاليف جذابة للتخفيف من آثار تغير المناخ لكن لم تلق حتى الآن سوى اهتماماً محدوداً. [2.6.3.3، 8.2.1، 8.2.3، 8.2.4، 8.3، 9.3.4]

ويوضح الجدول 2.3 – الملخص الفني – أن تكاليف بعض تكنولوجيا الطاقة الحيوية الرئيسية التي يتوقع أن تنخفض على مدى القريب والمدى المتوسط. وفيما يتعلق بالوقود الأحيائي الليجنوسيليلوزي، فقد بينت التحليلات التي أجريت مؤخراً أن احتمالات التحسن كبيرة بما يكفي للمنافسة مع أسعار النفط عند سعر 60 إلى 80 دولاراً 2005 / للبرميل (0.38 إلى 0.44 دولاراً 2005 / لتراً). وتشير تحليلات السيناريوهات المتوفرة حالياً إلى أنه إذا كان البحث والتطوير ودعم السوق على المدى القصير قوياً، فيمكن للتقدم التكنولوجي أن يسمح بتسويقها في حوالي عام 2020 (حسب أسعار النفط والكربون). تشير بعض السيناريوهات أيضاً إلى أن هذا سيعني تحولاً كبيراً في نشر الكتلة الأحيائية للطاقة، حيث سيفصل الإنتاج التنافسي عملية نشر التكنولوجيا عن أهداف السياسة العامة (التفويضات) وسيبتعد الطلب على الكتلة الأحيائية عن المحاصيل الغذائية إلى مخلفات الكتلة الأحيائية، والكتلة الأحيائية الحرجية ونظم المحاصيل المعمرة. وحتى الآن لم تُدْرس الآثار المترتبة على مثل هذا التحول (السريع) دراسة كافية. [2.8.4، 2.4.3، 2.4.5]

مازالت عمليات التطوير والتجربة المتصلة بالإيثانول الليجنوسيليلوزي مستمرة في العديد من البلدان. وتعتبر المعالجة المسبقة خطوة رئيسية في مجال التطوير في ذلك هي للتغلب على مقاومة جدار الخلية في المخلفات الخشبية والعشبية أو الزراعية لجعل البوليمرات الكربوهيدراتية قابلة للانحلال المائي (مثلاً، عن طريق الإنزيمات) وتخمر السكريات إلى إيثانول (أو بيوتانول) واللجنين لحرارة أو كهرباء العمليات. وبدلاً من ذلك، يمكن الجمع بين خطوات متعددة وإشراكها في عملية بيولوجية مع كائنات حية متعددة في وقت واحد. ويوحي استعراض التقدم المحرز في مجال الأنزيمات بإمكانية توقع انخفاض بنسبة 40 ٪ من التكلفة بحلول عام 2030 بفضل تحسين العمليات، التي من شأنها خفض التكلفة المقدرة للإنتاج من 18 إلى 22 دولاراً 2005 / GJ (بيانات رائدة) إلى 12 إلى 15 دولاراً 2005 / GJ، وهو نطاق تنافسي. [2.6.3]

كما تتطور مسارات الانحلال الحراري للكتلة الأحيائية والمفاهيم الحرارية المائية بالارتباط مع صناعة النفط وقد أظهرت من الناحية الفنية أن تطوير الزيوت إلى أخلاط من الجازولين أو الديزل وحتى المنتجات الجيدة من وقود الطائرات أمر ممكن. [2.6.3]

الكائنات الجُرثومية ضوئية التمثيل مثل الطحالب تنتج بيولوجيا (باستخدام ثاني أكسيد الكربون والمياه وضوء الشمس) مجموعة متنوعة



الشكل 2.6 الملخص الفني: التكلفة الإجمالية المقومة النموذجية الحديثة العهد لخدمات الطاقة من أنظمة الطاقة الحيوية المتوفرة تجاريا بنسبة خصم 7 ٪، محسوبة على مدى سنة من تكاليف المواد الخام، والتي تختلف بين التكنولوجيات. ولا تشمل هذه التكاليف الفوائد والضرائب والإهلاك واستهلاك الدَيْن. [الشكل 2.18] التكاليف الإجمالية المقومة للكهرباء (LCOE)، والتكاليف الإجمالية المقومة للحرارة (LCOH)، والتكاليف الإجمالية المقومة للوقود (LCOF)، والتكاليف الإجمالية المقومة للوقود الوسيط (LCOIF)، والطبقة الفقاعية المميعة (BFB): ودورة رانكين العضوية (ORC): ومحرك الاحتراق الداخلي. وبالنسبة للوقود الحيوي، تمثل التكاليف الإجمالية المقومة للوقود (LOCF) الإنتاج في مجموعة واسعة من البلدان في حين تُعْطى التكاليف الإجمالية المقومة للكهرباء (LCOE) والتكاليف الإجمالية المقومة للحرارة (LOCH) فقط لأسواق المستخدمين الرئيسيين للتكنولوجيات المتوفر لها بيانات. وتستند الحسابات على القيمة العالية للتدفئة.

من المواد الكربوهيدراتية والشحوم التي يمكن استخدامها مباشرة أو للوقود الأحيائي. وهذه التطورات يتوقع أن تفيد على المدى البعيد وذلك لأن نجاعة التمثيل الضوئي للطحالب أكبر بكثير من كفاءة المحاصيل الزيتية. غير أن نواتج الطاقة الحيوية المحتملة من النباتات يشوبها قدر كبير من الشكوك، ولكن نظرا إلى أن تطورها يمكن أن يستخدم الماء الأخضم والتربة كثيرة الملوحة، فيعتبر استخدامها إحدى إستراتيجيات تخفيض آثار تغير استخدام الأراضي. [2.6.2، 3.3.5، 3.7.6]

تعتبر البيانات محدودة فيما يتصل بإنتاج المواد الحيوية، بينما تعتبر التقديرات بشأن تكلفة إنتاج الكيماويات من الكتلة الأحيائية نادرة في الكتابات التي راجعها النظراء وتزداد تلك الندرة في التوقعات المستقبلية ومعدلات التعلم. وترتبط تلك الحالة جزئياً بدخول المنتجات القائمة على أسس حيوية السوق بنجاح إما بوصفها مكونات جزئية من المنتجات القائمة على أسس أحفورية أو بوصفها مركبات اصطناعية جديدة مثل البوليلاكتيدات القائمة على الحامض اللبني المشتق من عملية تخمير السكر. وبالإضافة إلى إنتاج المواد الحيوية لتحل محل الوقود الإحفوري، تشير التحليلات إلى أن الاستخدام المكثف للمواد الحيوية وما يليه من استخدامات لمخلفات إنتاج الطاقة يمكن أن يكون أكثر فاعلية وأوسع أثرا في تخفيف آثار تغير المناخ في كل هكتار أو طن من الكتلة الأحيائية المستخدمة. [2.6.3.5]

2.8 مستويات النشر الممكنة

زاد استخدام الطاقة الحيوية بين عامي 1990 و2008، بمعدل نمو سنوي بلغ متوسطه 1.5 ٪ فيما يتعلق بالكتلة الأحيائية الصلبة، بينما زاد الاستخدام

الجدول 2.2 الملخص الفني: تأخذ الخبرة منحنى للمكونات الرئيسية لنظم الطاقة الحيوية وناقلات الطاقة النهائية الموضحة بخفض (٪) في التكاليف (أو السعر) لكل مضاعفة في الإنتاج التراكمي، ومعدل التعلم؛ N: عدد الأضعاف في الإنتاج التراكمي؛ و R2 هي معامل الارتباط للبيانات الإحصائية؛ وO&M: هي التشغيل والصيانة. [الجدول 2.17]

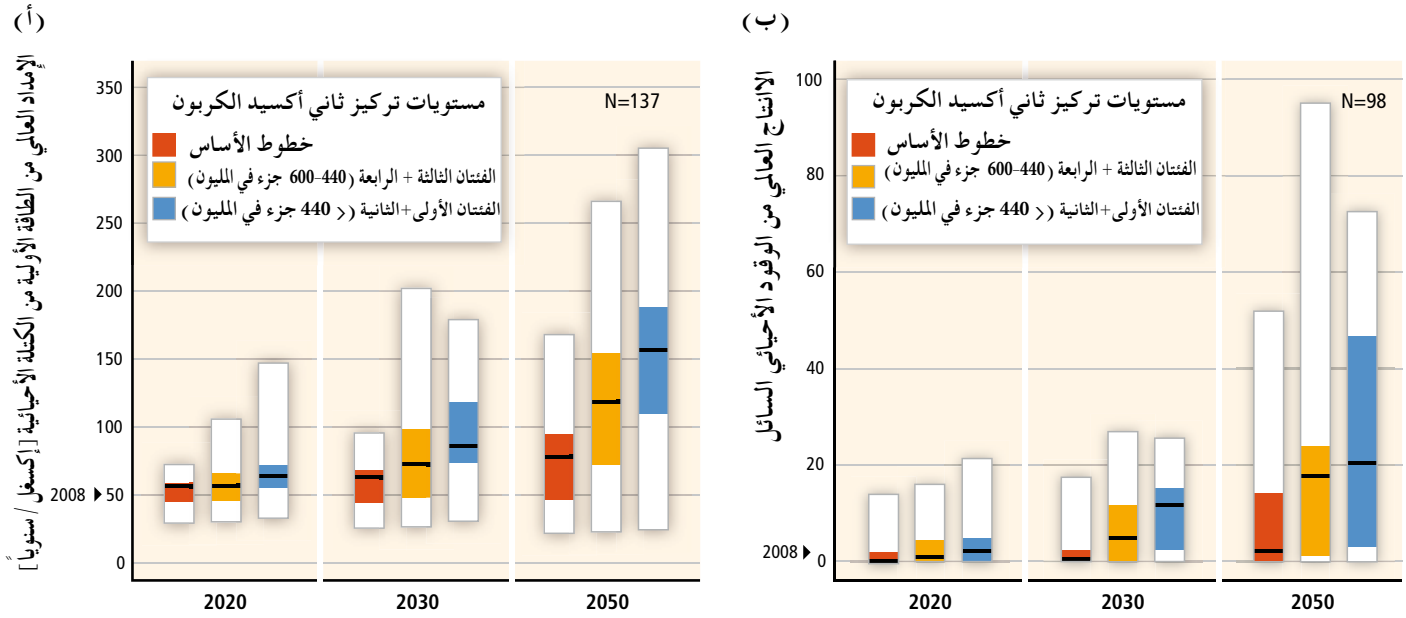
نظام التعليم	معدل التعلم (٪)	الإطار الزمني	المنطقة	عدد الأضعاف	معامل الارتباط R^2
إنتاج المواد الأولية					
قصب السكر (طن قصب السكر)	32±1	2005-1975	البرازيل	2.9	0.81
الذرة (طن الذرة)	45±1.6	2005-1975	الولايات المتحدة	1.6	0.87
سلاسل لوجستية					
رقائق خشب حرجية (السويد)	15-12	2003-1975	السويد / فنلندا	9	0.93-0.87
الاستثمار وتكاليف التشغيل والصيانة					
محطات توليد الحرارة ولطاقة المشترك	19-25	2002-1983	السويد	2.3	0.18-0.17
محطات الغاز الحيوي	12	1998-1984		6	0.69
إنتاج الإيثانول من قصب السكر	19±0.5	2003-1975	البرازيل	4.6	0.80
إنتاج الإيثانول من الذرة (تكاليف التشغيل والصيانة فقط)	13±0.15	2005-1983	الولايات المتحدة	6.4	0.88
ناقلات الطاقة النهائية					
الإيثانول من قصب السكر	7	1985-1970	البرازيل		
الإيثانول من قصب السكر	29	2002-1985		~6.1	N/A
الإيثانول من الذرة	20±0.5	2003-1975	البرازيل	4.6	0.84
الكهرباء من الكتلة الأحيائية لتوليد الحرارة والطاقة المشترك	18±0.2	2005-1983	الولايات المتحدة	6.4	0.96
الكهرباء من الكتلة الأحيائية	9-8	2002-1990	السويد	~9	0.88-0.85
الغاز الحيوي	15	غير معروف	منظمة التعاون والتنمية	لا ينطبق	لا ينطبق
	0-15	2001-1984	الدانمرك	~10	0.97

الجدول 2.3 الملخص الفني: نطاق تكلفة الإنتاج المتوقعة للتقنيات النامية (الجدول 2.18)

تقنيات الطاقة الحيوية المختارة	قطاع الطاقة (كهرباء، حراري، نقل)[6]	2020 - 2030 تكاليف الإنتاج المتوقعة (دولار الولايات المتحدة 2005 / جيجاإكسغل)
دورة التغويز المشترك المدمجة [1]	الكهرباء أو النقل أو كلاهما	12.8 – 19.1 (4.6 – 6.9 سنتات / كيلوواط ساعة)
الديزل ووقود الطائرات الزيتي النباتي المتجدد	النقل والكهرباء	30-15
أنواع الوقود الحيوي ذات القاعدة السكرية الليجنوسيليولوزية [2]	النقل	30-6
أنواع الوقود الحيوي ذات قاعدة الغازات المخلقة اللجنوسيليولوزية [3]		25-12
أنواع الوقود الحيوي المنحلة حرارياً الليجنوسيليولوزية [4]		24–14 (مكونات مخلوطة من الوقود)
أنواع الوقود الحيوي الغازية [5]	حراري ونقل	12-6
أنواع وقود مائية نباتية الاشتقاق، كيماويات	نقل	140-30

ملاحظات: 1 تكلفة التغذية بالدولار الأمريكي 2005، 3.1 / إكسغل، دورة التغويز المدمجة (في المستقبل) 30 إلى 300 ميجاوات، خلال 20 سنة، بمعدل تخفيض 10٪؛ 2 إيثانول، أنواع البوتانول، أنواع الكربون المائي الميكروبي وأنواع الكربون المائي الميكروبي المستخرجة من محاصيل السكر أو النشا أو أنواع سكر الليجنوسيليلوز؛ 3 الديزيل المخلق والميثانول والجازولين إلخ؛ طرق تخمير الوقود المخلق ليصبح إيثانول؛ 4 الانحلال الحراري للكتلة الأحيائية ورفع المستوى التحفيزي ليصبح خليطا من الجازولين والديزل أو ليصبح وقودا للطائرات؛ 5 تحويل الوقود المخلق إلى غاز طبيعي مخلق وميثان وثنائي ميثيل الإثير والهيدروجين من خلال التصنيف الحراري الكيماوي واللاهوائي للكتلة الأحيائية (بكميات كبيرة). 6 يمكن استخدام زوج من مختلف التطبيقات مع طريقة امتصاص الكربون وتخزينه عندما تصل تلك التقنيات، بما في ذلك امتصاص الكربون وتخزينه، إلى مستوى النضج وبالتالي يمكن إزالة غاز الدفيئة من الغلاف الجوي.

الأكثر حداثة للكتلة الأحيائية للوسائط الثانوية مثل السوائل بمعدل 12.1 والغازات بمعدل 15.4 ٪. ونتيجة لذلك بلغ نصيب الوقود الأحيائي في صناعة النقل على الطرق عالمياً 2 ٪ في عام 2008. وزاد إنتاج الإيثانول بمقدار 10 ٪ والديزل الأحيائي بمقدار 9 ٪ في عام 2009 أي 90 مليار لتر،



الشكل 2.7 الملخص الفني (أ): الإمداد العالمي من الطاقة الأولية المستخلصة من الكتلة الأحيائية في سيناريوهات المدى البعيد للكهرباء والتدفئة والوقود الحيوي، بصفتها طاقة أولية؛ و (ب) إنتاج الوقود الحيوي عالميا في سيناريوهات المدى البعيد وقد جاءت المعلومات بشأنه باعتباره طاقة ثانوية. على سبيل المقارنة، المستويات التاريخية في عام 2008 موضحة في الأسهم الصغيرة السوداء على المحور الأيسر. [الشكل 2.23]

وبذلك تكون مساهمة الوقود الأحيائي 3 ٪ تقريباً في قطاع النقل على الطرقات في 2009، حيث انخفض الطلب على النفط لأول مرة منذ 1980. وأدت السياسات الحكومية في عدة بلدان إلى زيادة بمقدار خمسة أضعاف في إنتاج الوقود الأحيائي عالميا من عام 2000 حتى عام 2008. وبلغت القوة المولدة من الكتلة الأحيائية والمخلفات المتجددة 259 طن وات في الساعة (0.93 إكسغل) في عام 2007 و267 طن وات في الساعة (0.96 إكسغل) في عام 2008 بما يمثل 1 ٪ من إنتاج العالم من الكهرباء وهو ضعف ما أنتج منذ عام 1990 (من 131 طن وات في الساعة (0.47 إكسغل)). [2.4]

وتتباين التوقعات المتصلة باستمرار نشر الكتلة الأحيائية لإنتاج الطاقة في الفترة من عام 2020 حتى عام 2050 بشكل كبير وفقاً للدراسات. ولكن هناك رسالة أساسية يمكن استخلاصها من استعراض الأفكار المختلفة وتتمثل في أن انتشار الكتلة الأحيائية يعتمد اعتماداً قوياً على التنمية المستدامة لقاعدة الموارد، والإدارة الرشيدة لاستخدامات الأراضي وتطوير البنية الأساسية وخفض تكاليف التقنيات الرئيسية، منها على سبيل المثال الاستخدام الناجع والشامل للكتلة الأحيائية الأولوية لتوليد الطاقة من الجيل الأول للمواد الأولية الواعدة وإلى الكتلة الأحيائية اللينينسيلولوزية من الجيل الجديد. [2.4.3، 2.8]

جرى استخلاص نتائج السيناريوهات التي تم تلخيصها في الشكل 2.7 بالملخص الفني من مجموعة متنوعة من النماذج وعدد واسع النطاق من الفرضيات تشمل نمو الطلب على الطاقة، وتكلفة وتوفر التقنيات المنافسة منخفضة الكربون وتكلفة وتوفر تقنيات الطاقة المتجددة. ويتوقع أن ينخفض الاستخدام التقليدي للكتلة الأحيائية في معظم السيناريوهات في حين هناك توجه للزيادة بالنسبة للوقود الأحيائي السائل و الغاز الحيوي والكهرباء والهيدروجين من الكتلة الأحيائية. وجرى تقديم النتائج الخاصة بنشر الكتلة الأحيائية لتوليد الطاقة في ضوء هذه السيناريوهات للأعوام 2020 و2030 و2050 لثلاثة نطاقات لتثبيت غازات الدفيئة على أساس تقرير التقييم الرابع: الفئتان 3 و4 (440–600 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون)، والفئتان 1 و2 (<440 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون) بخطوط أساس (< 600 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون)، جميعها في موعد 2100. [10.1 إلى 10.3]

ويتوقع أن يزيد نشر الكتلة الأحيائية لتوليد الطاقة على المستوى العالمي مع تحقيق مزيد من المستويات الطموحة لاستقرار غازات الدفيئة وتثبيتها، بما يدل على دورها طويل الأمد في خفض انبعاثات غازات الدفيئة على المستوى العالمي. وتتراوح المستويات المتوسطة بين 75 و85 إكسغل في عام 2030 ومن 120 إلى 155 إكسغل في عام 2050 في هذين السيناريوهين المتصلين بالتخفيف، وهو ما يمثل قرابة ضعفي أو ثلاثة أضعاف مستوى النشر لعام 2008 الذي بلغ 50 إكسغل. وتشبه مستويات النشر هذه مستويات النطاق المتوسط التي حددها الخبراء لعام 2050 ويعتبر إنتاج الوقود الأحيائي كما ورد في الشكل 2.7 (ب) في الملخص الفني لعامي 2020 و2030 في مستوياته المنخفضة إلى حد ما، غير أن معظم النماذج تفتقر إلى وصف مفصل لمختلف مسارات التحويل وما يتصل بها من من إمكانية التعلم [2.7.3]. ففيما يخص سيناريو التخفيف < 440 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون، يحقق إنتاج الوقود الأحيائي ستة أضعاف (2030) وعشرة أضعاف (2050) من القيمة التي سجلها عام 2008 وهي 2 إكسغل [2.2.5، 2.8.2، 2.5.8، 2.8.3].

يتضح اختراق الطاقة الحيوية على مستوى القطاعات بشكل أفضل باستخدام نموذج واحد بمثال مفصل من قطاع النقل مثل تقرير توقعات الطاقة في العالم الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة الذي يتضمن أيضاً نماذج تقليدية وحديثة في آن واحد لتطبيقات الكتلة الأحيائية ويضع في اعتباره الاستثمارات والأهداف الصناعية والحكومية المتوقعة. ويتوقع هذا النموذج حدوث زيادات كبيرة في الطاقة الحيوية الحديثة وحدوث انخفاض في الاستخدام التقليدي للكتلة الأحيائية. وتتفق هذه الإسقاطات نوعياً مع نتائج الفصل 10. ففي عام 2030، ووفقاً لسيناريو التخفيف ذي الـ450 جزء في المليون الذي جاء به تقرير توقعات الطاقة، تتوقع الوكالة الدولية للطاقة أن 11 ٪ من وقود النقل في العالم سيكون وقوداً أحيائياً من الجيل الثاني مساهماً بنسبة 60 ٪ من المتوقع وقدره 12 إكسغل ويتوقع أن يتم الإمداد بنصف هذا القدر بسبب مواصلة تنفيذ السياسات الحالية. فستساهم الكتلة الأحيائية والمخلفات المتجددة بنسبة 5 ٪ من الطاقة الكهربائية المولدة عالميا أو 1.380 طن وات في الساعة/سنوياً (5 إكسغل/سنوياً) منها 555 طن وات في الساعة/سنوياً (2 إكسغل/سنوياً) نتيجة لإستراتيجية تخفيض آثار تغير المناخ الصارمة.

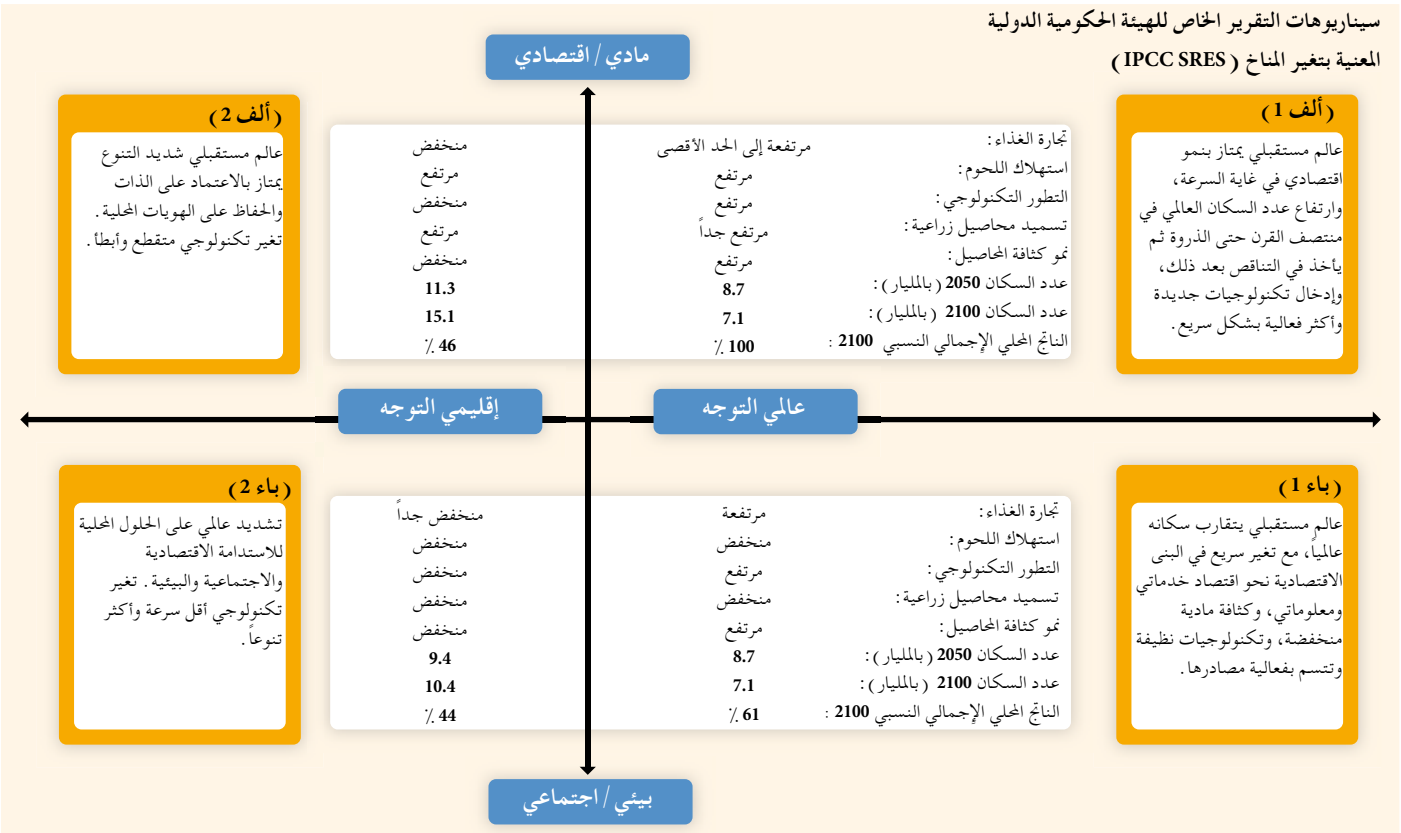
- وستتضاعف تطبيقات التدفئة الصناعية المعتمدة على الكتلة الأحيائية التي تستخدم في توليد البخار لأغراض صناعية ولتدفئة الأماكن وتسخين الماء في المباني (3.3 إكسغل في 2008) بالمقارنة بمستويات 2008 . غير أنه يتوقع أن ينخفض إجمالي الطلب على التدفئة بسبب الانخفاض المفترض في الكتلة الأحيائية التقليدية . فالتدفئة ينظر إليها باعتبارها مجالاً رئيسياً لتحقيق النمو المتواصل في الطاقة الحيوية الحديثة . ويتوقع أن تخفض أنواع الوقود الأحيائي من الانبعاثات الناجمة عن النقل على الطرقات بنسبة 17 ٪ و بنسبة 3 ٪ من الانبعاثات الناجمة عن النقل الجوي بحلول 2030 . [2.8.3]

2.8.1 نتائج بخصوص الانتشار: رسائل رئيسية بشأن الطاقة الحيوية

تظهر سيناريوهات الأمد الطويل المستعرضة في الفصل 10 زيادات في إمداد الطاقة الحيوية مع مستويات طموحة بصورة متزايدة لتثبيت تركيزات غازات الدفيئة، مبينة أن الطاقة الحيوية يمكن أن تلعب دوراً مهماً على المدى الطويل في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة العالمية . [2.8.3]

تعتبر الطاقة الحيوية في الوقت الراهن أكبر مصدر للطاقة المتجددة وسوف تظل على الأرجح واحداً من أكبر مصادر الطاقة المتجددة في النصف الأول من هذا القرن . ثمة وجود لإمكانية نمو هائل، لكنه يتطلب تطويراً فعالاً . [2.8.3]

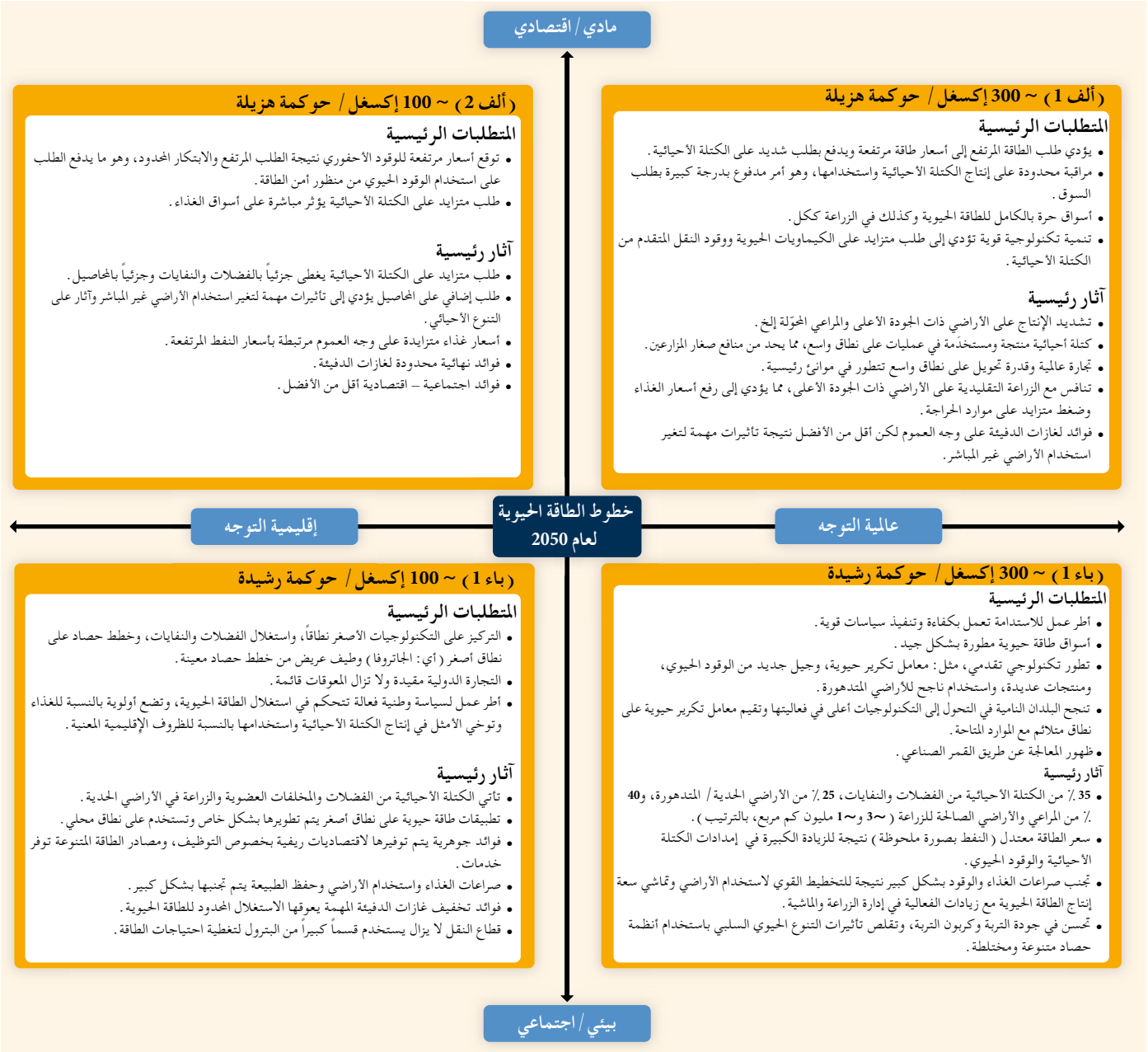
- وتبين عمليات التقييم في الأدبيات حديثة العهد أن الإمكانية الفنية للكتلة الحيوية للطاقة يمكنها أن تصل إلى 500 إكسغل / السنة بحلول عام 2050 . ومع ذلك فهناك أوجه عدم يقين كبيرة بشأن عوامل مهمة مثل السوق وظروف السياسة التي تؤثر على هذه الإمكانية . [2.8.3]
- يشير تقييم الخبرة في الفصل 2 إلى مستويات نشر ممكنة بحلول عام 2050 في نطاق يتراوح بين 100 و 300 إكسغل / السنة . ويمثل تحقيق هذه الإمكانية تحدياً رئيسياً لكن من شأنه أن يقدم إسهاماً جوهرياً للطلب على الطاقة الأولية في العالم في 2050 – ويعادل، على وجه التقريب، محتوى الحرارة المكافئة المستخلصة حالياً من الكتلة الأحيائية على مستوى العالم في الزراعة والحراجة . [2.8.3]
- للطاقة الحيوية إمكانية مهمة للتخفيف من حدة غازات الدفيئة إذا ما تم تطوير الموارد بشكل مستدام واستخدمت تقنيات فعالة . يمكن لبعض الأنظمة القائمة حالياً، وبعض الخيارات الأساسية في المستقبل، بما في ذلك المحاصيل المعمرة، ومنتجات الغابة وبقايا الكتلة الأحيائية ومخلفاتها، وتقنيات التحويل المتقدمة أن تفضي إلى تخفيف ملحوظ من غازات الدفيئة – يتراوح بين 80 ٪ إلى 90 ٪ مقارنةً بخط الأساس بالنسبة للطاقة الأحفوري . ومع ذلك، فإن تحويل الأرض وإدارة الحراجة التي تفضي إلى خسارة كبيرة في مخزون الكربون وتأثيرات تغير استخدام الأراضي غير المباشر يمكن أن تقلل، وفي بعض الحالات أن تؤثر سلباً على المفعول الإيجابي لتخفيف غازات الدفيئة . [2.8.3]
- ومن أجل تحقيق أعلى مستويات نشر لإمكانية الكتلة الأحيائية لاستخراج الطاقة فإن الزيادات في طلب الأغذية والألياف يجب أن تكون معتدلة، وينبغي أن يتم إدارة الأراضي بصورة ملائمة، ويجب أن يزيد الناتج الزراعي وناتج الحراجة بصورة فعلية . إن التوسع في الطاقة الحيوية في ظل غياب المراقبة والحكامة الرشيدة لاستخدام الأرض يحمل معه خطر الصراعات الجسيمة فيما يتعلق بإمدادات الأغذية



الشكل 2.8 الملخص الفني: معالم المتغيرات الرئيسية لسيناريوهات التقرير الخاص المستخدمة لنمذجة الكتلة الأحيائية والطاقة الحيوية، الأساس لمسودات 2050 التي تمت تهيئتها لهذا التقرير واستخدمت لاستخلاص الشريط المكدّس الذي يبين الإمكانية الفنية للكتلة الحيوية في الشكل 2.2 بالملخص الفني . [الشكل 2.26]

وموارد المياه والتنوع الأحيائي، وكذلك خطر المنافع الضئيلة بالنسبة لغازات الدفيئة. وعلى عكس ذلك، فإن التنفيذ الذي يحترم أطر الاستدامة الفعالة يمكن أن يخفف من مثل هذه الصراعات ويسمح بتحقيق نتائج إيجابية، على سبيل المثال، في التنمية الريفية وتجويد الأراضي وتخفيف آثار تغير المناخ، بما في ذلك استحداث فرص للعمل على تكامل إجراءات التكيف. [2.8.3]

- إن تأثيرات وأداء إنتاج الكتلة الأحيائية واستخدامها محددة تقترن بالاقليم والموقع. لذلك، تحتاج سياسات الطاقة الحيوية، في إطار الحكامة الرشيدة لاستخدام الأرض والتنمية الريفية، إلى النظر في الظروف والأولويات الإقليمية إلى جانب القطاعات الزراعية (المحاصيل والماشية) والحراجة. وتتأثر إمكانات موارد الكتلة الأحيائية وتتفاعل مع تأثيرات تغير المناخ لكن التأثيرات المحددة لاتزال غير مفهومة بصورة جيدة؛ لهذا من المتوقع أن تكون هناك اختلافات إقليمية قوية في هذا الخصوص. كما تتيح الطاقة الحيوية و نظم المحاصيل (المعمرة) الجديدة فرصاً لدمج اجراءات التكيف (أي حماية التربة، وحفظ المياه، وتحديث الزراعة) مع إنتاج موارد الكتلة الأحيائية. [2.8.3]
- إن العديد من خيارات الطاقة الحيوية المهمة (مثل إنتاج الإيثانول من قصب السكر في البرازيل، والأنظمة المنتقاة لتحويل المخلفات إلى طاقة، ومواقد



الشكل 2,9 الملخص الفني: أشكال المستقبل المحتملة لانتشار الكتلة الأحيائية لإنتاج الطاقة في 2050: أربع مسودات إيضاحية متقابلة تصف المتطلبات الرئيسة والآثار تبعاً للظروف العالمية المطابقة لخطوط التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن سيناريوهات الانبعاثات الملخصة في الشكل 2.8 بالملخص الفني [الشكل 2.27].

الكتلة الأحيائية الفعالة، توليد الحرارة والطاقة المشترك من الكتلة الأحيائية) لها قدرة تنافسية في الوقت الراهن ويمكن أن تتكامل بشكل هام مع خيارات طويلة الأمد . الوقود الحيوي المستخلص من سليلوزات الخشب بدل البنزين والديزل ووقود الطائرات، وخيارات الكهرباء الحيوية المتقدمة، ومفاهيم التكرير الحيوي ، يمكن أن توفر إمكانيات النشر بقدرات تنافسية استغلالاً تنافسياً للطاقة الحيوية في الإطار الزمني من 2020 إلى 2030 . يثير الجمع بين تحول الكتلة الأحيائية وامتصاص ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إمكانية تحقيق إزالة لغازات الدفيئة من الغلاف الجوي على المدى الطويل – وهي مسألة ضرورية للتخفيض بشكل جوهري من انبعاثات غازات الدفيئة . كما تعتبر المواد الحيوية المتقدمة واعدة أيضا بالنسبة لاقتصاديات إنتاج الطاقة الحيوية والتخفيف من آثار تغير المناخي، بالرغم من أن الإمكانية المتصلة بها لم تفهم بما فيها الكفاية مقارنة بإمكانية الكتلة الأحيائية المائية (الطحالب)، وهو أمر يتسم بدرجة عالية من عدم اليقين . [2.8.3]

- إن سياقات السياسة المتغيرة بسرعة والنشاطات الحديثة القائمة على السوق، والدعم المتزايد لمعامل التكرير الحيوية المتقدمة، وخيارات الوقود الحيوي المستخلص من سليلوزات الخشب، وعلى وجه الخصوص تنمية معايير الاستدامة وأطر عملها، تتمتع جميعها بالإمكانيات لدفع نظم الطاقة الحيوية ونشرها في الاتجاهات المستدامة . وسوف يتطلب تحقيق هذا الهدف استثمارات مدعومة تقلل من تكاليف التكنولوجيات الرئيسة، وتحسين إنتاج الكتلة الأحيائية و البنية الأساسية للإمداد، وإستراتيجيات التنفيذ التي يمكن أن تحصل على قبول شعبي وسياسي . [2.8.3]

وختاماً، ومن أجل شرح العلاقات المتبادلة بين متغيرات السيناريو (انظر الشكل 2.8 بالملخص الفني)، والشروط الأولية الرئيسية اللازمة لتطوير سعة إنتاج الطاقة الحيوية في والتأثيرات التي يمكن أن تنجم عنها، يقدم الشكل 2.8 بالملخص الفني أربعة طروحات مختلفة لنشر الكتلة الأحيائية للحصول لأغراض الطاقة على نطاق عالمي بحلول 2050 . ويحدد النطاق من 100 إلى 300 إكسغل، الناتج عن استعراض إمكانية المورد الحد الأدنى والحد الأعلى للنشر. وتتبع الخطوط المفترضة تقريباً تعريفات «التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن سيناريوهات الانبعاثات» المطبقة على الطاقة الحيوية والملخصة في الشكل 2.9 بالملخص الفني، والتي استخدمت كذلك لاستخلاص الإمكانية الفنية المبينة على الشريط المكدس للشكل 2.2 بالملخص الفني . [2.8.3]

ويمكن تطوير الكتلة الأحيائية ومنتجات الطاقة المتعددة الناتجة عنها بجانب منتجات الأغذية والعلف والألياف والحراجة بطرق مستدامة وأخرى غير مستدامة . وكما يبدو في خطوط وطروحات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ يمكن الوصول إلى مستويات اختراق عالية ومنخفضة بمراعاة مسارات التنمية المستدامة والتخفيف من آثار تغير المناخ أو دون مراعاتها . ويمكن استشراف التطورات المتصلة بتكنولوجيا الطاقة الحيوية والأنظمة المتكاملة من هذه الخطوط . [2.8.3]

3 الطاقة الشمسية المباشرة

3.1 مقدمة

تمتاز تكنولوجيات الطاقة الشمسية المباشرة بأنها متنوعة في الطبيعة . وباستجابتها للطرق العديدة التي يستخدم بها البشر الطاقة – مثل التدفئة، الكهرباء، والوقود – تشكل هذه التكنولوجيات عائلة واحدة . يركز هذا الملخص على أربعة أنواع رئيسة: 1) الطاقة الشمسية الحرارية، وتتضمن كلاً من تدفئة فاعلة أو سلبية للمباني، وتسخين بالطاقة الشمسية للاستخدامات المنزلية والتجارية، وتدفئة أحواض السباحة، ومعالجة الحرارة للصناعة؛ 2) توليد كهرباء باستخدام أشباه الموصلات الضوئية عبر تحويل مباشر لضوء الشمس إلى كهرباء باستخدام خلايا أشباه الموصلات الضوئية؛ 3) توليد كهرباء الطاقة الشمسية المركزة بواسطة التركيز الضوئي للطاقة الشمسية للحصول على سوائل عالية الحرارة أو مواد لتشغيل المحركات الحرارية والمولدات الكهربائية؛ 4) طرق إنتاج الوقود الشمسي، الذي يستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج أنواع وقود مفيدة . [3.1]

يشير مصطلح الطاقة الشمسية «المباشرة» إلى قاعدة الطاقة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة التي تستفيد من طاقة الشمس بصورة مباشرة . تستخدم تكنولوجيات متجددة معينة، مثل الرياح والطاقة الحرارية البحرية، الطاقة الشمسية بعد امتصاصها في كوكب الأرض وتحولها إلى أشكال أخرى . (في بقية هذا الجزء، يستغنى غالباً عن صفة «مباشر» المستخدمة مع الطاقة الشمسية لكونها مفهومة ضمنياً .) [3.1]

3.2 إمكانية الموارد

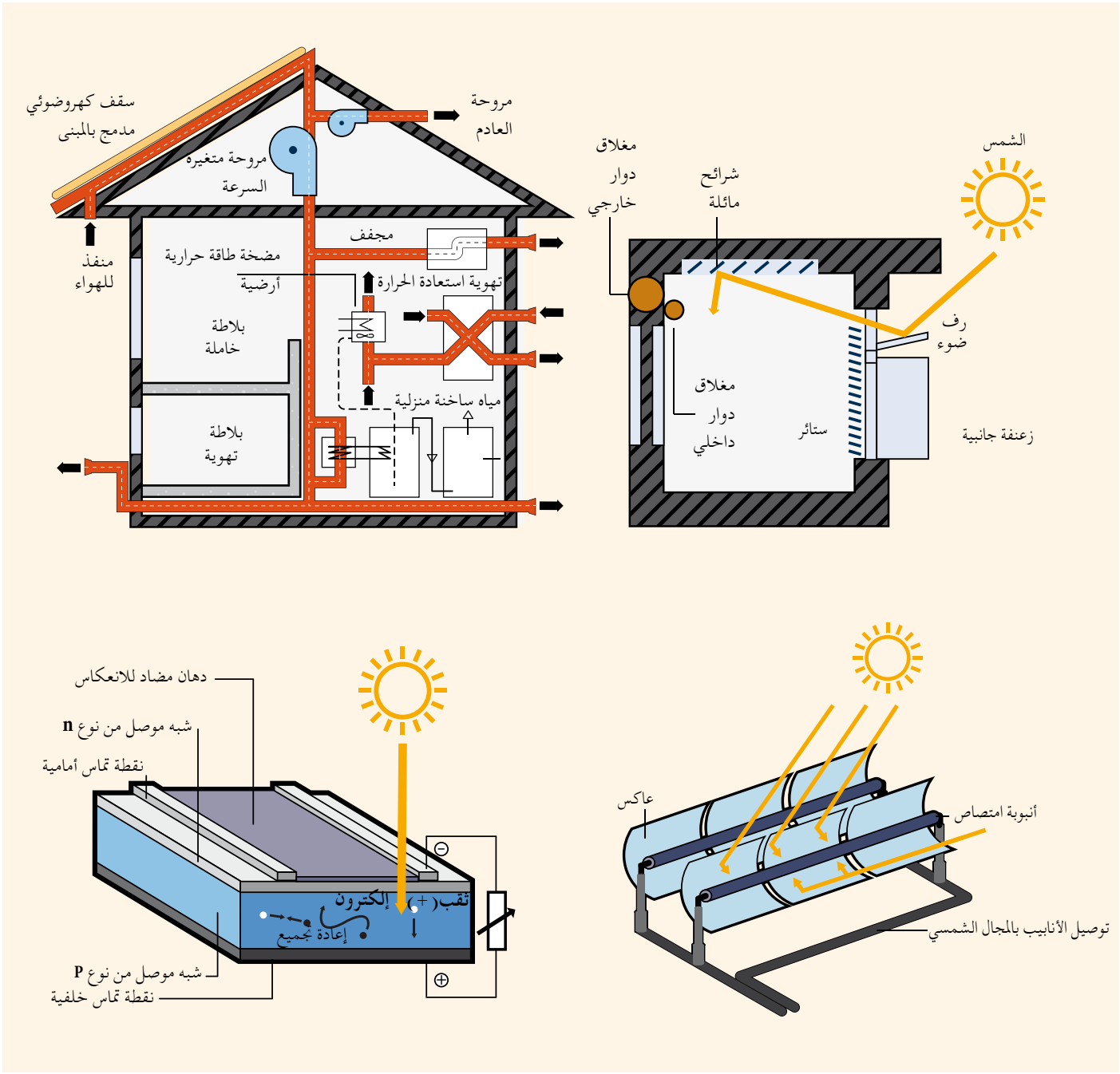
تتألف الطاقة الشمسية من الإشعاع الحراري المنبعث من الطبقة الخارجية للشمس . ولهذه الطاقة الإشعاعية، المسماة الإشعاع الشمسي، على مقربة من خارج الغلاف الجوي للأرض، ضخامة يبلغ متوسطها 1367 وات/م^2 لسطح متعامد مع أشعة الشمس . وعلى مستوى الأرض (وهو محدد بوجه عام على أنه مستوى البحر مع وجود الشمس فوق الرأس مباشرة)، يُخفف هذا الإشعاع عن طريق الغلاف الجوي إلى حوالي 1000 و/م^2 إذا كانت السماء صافية خلال ساعات قليلة قرب الظهيرة – وهي حالة تسمى «الشمس التامة» . وخارج الغلاف الجوي، تحمل طاقة الشمس في أمواج كهرومغناطيسية يتراوح طولها بين 0.25 إلى 3 ميكرو متر . وجزء من الإشعاع الشمسي تساهم به إشعاعات تصل مباشرة من الشمس دون أن تتبدد في الغلاف الجوي . هذا الإشعاع «الحُزْمي»، الذي يمكن أن يخضع للتركيز بواسطة مرايا وعدسات، متاح بأكبر قدر في مناطق غطاء السحب المنخفض . والإشعاع المتبقى يسمى الإشعاع المبدَّد . أما مجموع الحُزمة والإشعاع المبدّد فيسمى الإشعاع الشمسي الكوني . [3.2]

لقد قُدّرت إمكانية الطاقة الشمسية النظرية، التي توضح قدر الإشعاع على سطح كوكب الأرض (اليابسة والمحيطات) المتاحة نظرياً لأغراض الطاقة، بـ 3.9×10^6 إكسغل/السنة . هذا الرقم، كما هو واضح لم يقصد به إلا أغراض التوضيح فحسب، من شأنه أن يتطلب الاستخدام الكامل لكل مساحة اليابسة والمحيطات المتاحة بنسبة 100 ٪ من فاعلية التحويل . والإمكانية الفنية تعد مقياساً أكثر فائدة؛ ويتطلب هذا تقييم جزء من اليابسة له استخدام عملي بالنسبة لأدوات التحويل باستخدام فاعلية تحويل أكثر واقعية . وتتراوح تقديرات الإمكانية التقنية للطاقة الشمسية بين 1575 إلى 49837 إكسغل/السنة، أي تقريباً من 3 إلى 100 ضعف من استهلاك الطاقة الأساسي للعالم في 2008 . [3.2، 3.2.2]

3.3 التكنولوجيا والتطبيقات

يوضح الشكل 3.1 بالملخص الفني أنواع التكنولوجيات الشمسية السلبية والفاعلة المستخدمة في الوقت الحاضر لامتصاص طاقة الشمس لتوفير كل من خدمات الطاقة السكنية والكهرباء المباشرة . وفي هذا الملخص، لم يُعالج بعمق إلا تكنولوجيات التدفئة الفاعلة والكهرباء . [3.3.1–3.3.4]

الطاقة الشمسية الحرارية: العنصر الرئيسي في الأنظمة الحرارية الشمسية الفاعلة هو المُجمِّع الشمسي . يتكون المجمع الشمسي اللوحي المسطح من لوح أسود بقنوات ملحقة، ومن خلاله يمر سائل كي يتم تسخينه . ويمكن تصنيف مجمعات الألواح المسطحة كما يلي: غير مطلية، وهي التي تناسب إنتاج حرارة بدرجات أعلى قليلاً من درجات الحرارة المحيطة؛ والمطلية، وهي التي لها صفحة من زجاج أو مادة شفافة أخرى توضع موازية



الشكل 3.1 الملخص الفني: نماذج مختارة من (أعلى الشكل) الطاقة الحرارية الشمسية، إذ أدمج كل من السلبي والفاعل في مبنى؛ (أسفل يسار الشكل) مخطط جهاز أشباه الموصلات الضوئية للتحويل المباشر من الطاقة الشمسية إلى كهرباء؛ و(أسفل يمين الشكل) نوع مشترك واحد لتكنولوجيا تركيز الطاقة الشمسية، وعاء مُجمِّع. [مأخوذ من الأشكال 3.2، 3.5، 3.7]

للوح وتكون فوقه على بعد سنتيمترات معدودة بحيث تجعل من المناسب إنتاج حرارة بدرجات تتراوح بين 30 و 60 درجة مئوية؛ أو مفرغة، وهي التي تشبه المطلية غير أن المساحة بين اللوح والزجاج يتم تفريغها ليكون بإمكان هذا النوع من المجمعات أن ينتج حرارة بدرجات تتراوح بين 50 و 120 درجة. لكي تقاوم الفراغ عادة ما توضع ألواح المجمع المفرغ داخل أنابيب زجاجية وهي الأنابيب التي تشكل كلاً من الطبقة المطلية للمجمع وحاويته. في النوع المفرغ يوضع دهان أسود خاص يسمى «سطح انتقائي» على اللوح ليساعد على منع إعادة انبعاث الحرارة الممتصة؛ مثل هذه الدهانات غالباً ما تستخدم على النوع المطلي غير المفرغ كذلك. وتتراوح الكفاءات النموذجية للمجمعات الشمسية المستخدمة في نطاق حرارتها الملائم بين 40 ٪ و 70 ٪ في حالة الشمس التامة. [3.3.2.1]

تستخدم المجمعات ذات الألواح المسطحة بشكل شائع لتسخين الماء للأغراض المنزلية والتجارية، لكنها يمكن أن تستخدم كذلك في التدفئة الشمسية

الفاعلة لتوفير التدفئة لرفاهية المباني. ويمكن الحصول على التبريد الشمسي باستخدام مجمعات شمسية لتوفير حرارة لتشغيل دائرة تبريد امتصاصية. ومن التطبيقات الأخرى للحرارة المستمدة من الشمس العمليات الحرارية الصناعية، والتطبيقات الزراعية مثل تجفيف المحاصيل، والطهي. وتعد خزانات المياه العنصر الأكثر شيوعاً في الاستخدام لتخزين الحرارة أثناء فترة النهار / الليل أو الفترات القصيرة للطقس الغائم. وتوفر هذه الأنظمة، التي تكملها مصادر طاقة أخرى، بشكل نموذجي من 40 ٪ إلى 80 ٪ من الحاجة إلى طاقة الحرارة للتطبيق المستهدف. [3.3.2.2–3.3.2.4]

بالنسبة للتدفئة الشمسية السلبية، فإن المبنى نفسه – خاصة نوافذه – يعمل كمجمع شمسي، وتستخدم الطرق الطبيعية لتوزيع الحرارة وتخزينها. العناصر الأساسية للبناء الحراري السلبي هي نوافذ مواجهة لخط الاستواء تكون عالية الفاعلية وكتلة حرارية داخلية ضخمة. كذلك يجب أن يكون المبنى معزولاً تماماً ويدمج وسائل مثل أدوات الظل لمنعه من التدفئة الزائدة. وهناك سمة أخرى للتسخين الشمسي السلبي وهي «ضوء النهار»، الذي يدمج استراتيجيات خاصة لتعظيم استخدام الضوء (الشمسي) الطبيعي في المباني. أظهرت الدراسات أنه بفضل التكنولوجيا الحالية، وباستخدام هذه الاستراتيجيات في المباني الجديدة في شمال أوروبا أو أمريكا الشمالية، يمكن تقليل احتياجات المبنى من الحرارة بنسبة تبلغ 40 ٪. وبالنسبة للمباني القائمة، وغير المباني الجديدة، التي يتم إدخال مفاهيم التدفئة السلبية إليها يصل تقليل الاحتياجات إلى 20 ٪. [3.3.1]

توليد الكهرباء الفوتوفلطائي: يوجد الوصف التفصيلي لكيفية عمل تحويل الخاصة بأشباه الموصلات الضوئية في العديد من الكتب الدراسية. في أبسط تعريفاتها، يوضع لوح رفيع من مادة شبه موصلة مثل السيليكون مقابل الشمس. يتكون هذا اللوح، المعروف بالخلية، من طبقتين متمايزتين يتشكلان بواسطة شوائب مدخلة في السيليكون فتؤدي إلى وجود طبقة من نوع n وأخرى من نوع p تشكل نقطة اتصال على الواجهة. الفوتونات الشمسية التي تضرب الخلية تولد أزواج من ثغرات الكترونية يفصل بينها مكانياً مجال كهربائي داخلي عند نقطة الاتصال. وينتج عن هذا شحنات سالبة على جانب واحد من الواجهة وشحنات موجبة على الجانب الآخر. كما يستحدث هذا الفصل الناتج بين الشحنات جهداً كهربياً. عندما يوصّل جانبا الخلية المُنارة بشحنة، يتدفق التيار من جانب الجهاز عبر الشحنة إلى الجانب الآخر من الخلية مولداً بذلك الكهرباء. [3.3.3]

وقد تطورت تكنولوجيات فوتوفلطائية متنوعة بشكل متزامن. وتتضمن التكنولوجيات الفوتوفلطائية المتاحة تجارياً كهرباء ضوئية سيليكونية بلورية قائمة على رقائق، وكذلك تكنولوجيات الفيلم الرقيق لـ (ثنائي) سيلينيد / ثنائي سلفيد إنديوم/غاليوم النحاس CIGS، تيلوريد كادميوم (CdTe)، سيليكون فيلم رقيق (سيليكون لابلوري وبلوري مكروي)، وخلايا شمسية صبغية. بالإضافة إلى ذلك، هناك مفاهيم فوتوفلطائية مركزة متاحة تجارياً، توضع فيها خلايا ذات فعالية عالية (مثل أرسينيد جاليوم مواد قائمة على (أرسينيد جاليوم) في بؤرة مرايا التركيز أو المجمعات الأخرى مثل عدسات فرنزل. وتتمثل التكنولوجيات السائدة في المجال الفوتوفلطائي من رقائق السيليكون البللورية (أحياناً تسمى البللورية المتعددة) الأحادية والمتعددة (بما في ذلك التكنولوجيات الشريطية) في سوق الفوتوفلطائية، بنصيب من سوق عام 2009 بلغ حوالي 80 ٪. وتتضمن ذروة الفعالية التي تحققها أنواع الخلايا المتنوعة أكثر من 40 ٪ لخلايا المجمعات القائمة على أرسينيد جاليوم، وحوالي 25 ٪ للبلورية الأحادية، و20 ٪ للبلورية المتعددة و(ثنائي) سيلينيد / ثنائي سلفيد إنديوم/غاليوم النحاس (CIGS)، و 17 ٪ لتيلوريد كادميوم (CdTe)، وحوالي 10 ٪ للسيليكون اللابلوري. وتنظم مجموعات الخلايا جنباً إلى جنب بصورة نموذجية تحت ورقة شفافة (في العادة من زجاج) وموصلة على شكل متتالي لتشكل «وحدة» بأبعاد تصل إلى 1م مضروباً في 1م. من جهة الفعالية، من المهم أن نميز بين فعالية الخلية (الوارد أعلاه) وفعالية الوحدة؛ إذ تمثل الأخيرة عادة 50 ٪ مقارنة بـ 80 ٪ للأولى. يستمر المصنّعون في تحسين الأداء وتقليل التكاليف بفضل الأتمتة، والمعالجة سريعة للخلايا، وتصنيع منخفض الكلفة وعالي الإنتاجية. وعادة ما يضمن المصنعون أداء الوحدات لمدة 20 إلى 30 سنة. [3.3.3.1، 3.3.3.2]

ويشمل تطبيق أشباه الموصلات الضوئية للطاقة المفيدة أكثر من مجرد خلايا ووحدات؛ فنظام أشباه الموصلات الضوئية، على سبيل المثال، سوف يتضمن في كثير من الأحيان عاكساً لتحويل التيار المستمر من الخلايا إلى تيار متردد ليتوافق مع الشبكات والأجهزة المشتركة. أما بالنسبة للتطبيقات غير المتصلة بالشبكة، فقد يشمل النظامُ أجهزة تخزين، مثل البطاريات. والعمل جار لكي تصبح هذه الأجهزة أكثر جديرة بأن يعول عليها أكثر، ولتخفض تكلفتها، ويطول عمر استخدامها ليوازي عمر استخدام الوحدات. [3.3.3.4]

تنقسم نظم طاقة أشباه الموصلات الضوئية إلى نوعين رئيسيين: غير متصل بالشبكة، ومتصل بالشبكة. كما تنقسم النظم المتصلة بالشبكة نفسها إلى نوعين: موزعة ومركزية. يتكون النظام الموزع من عدد كبير من محطات توليد الكهرباء المحلية الصغيرة، وبعضها يمد الكهرباء أساساً إلى الزبائي في الموقع، وتقوم الكهرباء المتبقية بتغذية الشبكة. من ناحية أخرى، يعمل النظام المركزي بصفته محطة كهرباء كبيرة. وعادة ما تخصص النظم غير المتصلة بالشبكة لمجموعة واحدة أو مجموعة صغيرة من الزبائن، كما تتطلب عموماً عنصرَ تخزين الطاقة الكهربائية أو الطاقة الكهربائية الاحتياطية. وتنطوي هذه الأنظمة على إمكانات كبيرة في المناطق غير المزودة بالكهرباء. [3.3.3.5]

توليد الكهرباء من تركيز الطاقة الشمسية: تنتج تكنولوجيات مركزات الطاقة الشمسية الكهرباءَ عن طريق تركيز أشعة الشمس لتسخين وسيط يُستخدم بعد ذلك (أكان ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر) في تشغيل المحرك الحراري (مثلاً، التوربين البخاري) لتحريك مولد كهربائي. وتستخدم مركزات الطاقة الشمسية فقط مكونَ الشعاع من أشعة الشمس، وهكذا تقتصر الاستفادة في أقصى صورها على نطاق جغرافي محدود. ويُجمِّعُ المكثفُ أشعةَ الشمس في نقطة (نقطة التركيز) عند استخدامها في أنظمة المُستقبِل المركزي أو الأطباق وتجمَّع كذلك في خط (خط التركيز) عند استخدامها في أنظمة الحوض أو أنظمة فريسنل الخطية. (ويمكن استخدام هذه النظم نفسها أيضاً لحفز العمليات الكيميائية الحرارية لإنتاج الوقود، كما هو موضح أدناه). وفي المُركِّزات الحوضية، تقوم صفوف طويلة من العاكسات القطعية المكافئة التي تتبع حركة الشمس بتركيز الإشعاع الشمسي تقريباً من 70 إلى 100 مرة على عنصر جمع الحرارة المثبت على طول خط العاكسات. ويضم عنصر جمع الحرارة أنبوباً داخلياً مُسوداً (مع سطح انتقائي) وأنبوباً خارجياً زجاجياً، مع وجود مساحة خالية بين الاثنين. وفي التصاميم التجارية الحالية، يجري زيت نقل الحرارة عبر أنابيب الصلب حيث يُسخن (حتى نحو 400 درجة مئوية)، لكن بدأت تظهر حالياً أنظمة أخرى تستخدم مواد نقل حرارة مختلفة مثل جريان الملح المصهور أو البخار المباشر. [3.3.4]

النوع الثاني من نظام خط التركيز، وهو نظام فريسنل الخطي، يستخدم شرائط من المرايا المتوازية الطولية كمُركِّز، مرة أخرى مع مُستقبِل خطي ثابت. ويستخدم أحد نظامي نقطة التركيز، وهو المستقبِل المركزي (ويُسمى أيضاً «برج الطاقة»)، مصفوفة من المرايا على الأرض، كل منها يتتبع الشمس على محورين وذلك لتركيز أشعة الشمس في نقطة على قمة برج طويل. وتوجَّه نقطة التركيز إلى مُستقبِل يضم تجويفَ تحويل مثبت و/ أو أنابيب يجري فيها سائل نقل الحرارة. ويَمكن أن تصل إلى درجات حرارة

(حتى 1000 درجة مئوية) أعلى من أنواع خط التركيز، ما يسمح للمحرك الحراري (على الأقل نظريا) بتحويل مزيد من الحرارة التي تم جمعها إلى طاقة كهربائية. وفي النوع الثاني من نظام نقطة التركيز، يُستخدم طبق التركيز، وهو عاكس قطعي مكافئ وحيد (في مقابل مصفوفة من العاكسات) يتتبع الشمس على محورين، في عملية التركيز. ويركز الطبق الأشعة الشمسية على مُستقبِل غير ثابت، لكن يتحرك مع الطبق، حيث يبعد بمقدار قطر طبق واحد فقط. ويمكن أن تصل درجات الحرارة في محرك المُستقبِل حتى 900 درجة مئوية. وفي أحد مظاهر الإنجاز الشعبية لهذا المفهوم، يتم تركيب محرك ستيرلينج الذي يشغل مولداً كهربائياً على المركز. ووحدات طبق ستيرلينج صغيرة نسبياً، وتنتج عادة ما بين 10 إلى 25 كيلوواط، لكن يمكن تجميعها في حقل تهيئة لتحقيق ناتج كهربائي أكبر فيما يشبه محطة مركزية. [3.3.4]

تتسم الأنواع الأربعة المختلفة من مركزات الطاقة الشمسية بمزايا وعيوب نسبية. [3.3.4] فقد بُنيتْ وجربت الأنواع الأربعة جميعاً. ويتمثل أحد مزايا تكنولوجيات مركزات الطاقة الشمسية (باستثناء الأطباق) هو قدرتها على تخزين الطاقة الحرارية بعد جمعها في المُستقبِل وقبل إرسالها إلى محرك الحرارة. وتشمل وسائط التخزين المعتبرة الملحَ المصهور، والهواءَ المضغوط أو مراكمات البخار (للتخزين على المدى القصير فقط)، وجسيمات السيراميك الصلبة، ودرجة الحرارة المرتفعة، ومواد التغيير المرحلي، والجرافيت، والخرسانة ذات درجة الحرارة العالية. وتُبْنى محطات لمركزات الطاقة الشمسية تجارياً بقدرات تخزين حرارية تصل إلى 15 ساعة، بما يسمح لمركزات الطاقة الشمسية بتوفير طاقة كهربائية قابلة للتوزيع. [3.3.4]

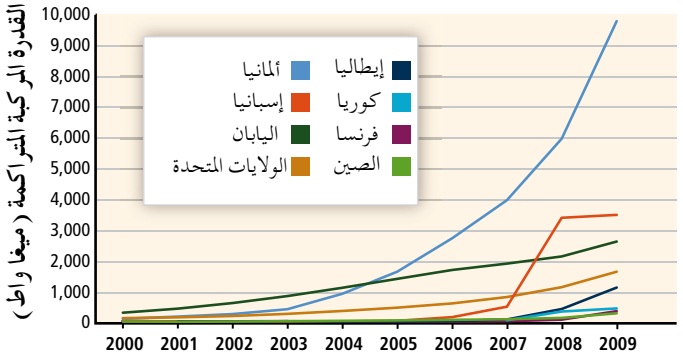
إنتاج وقود شمسي: تحول تكنولوجياتُ الوقود الشمسي الطاقةَ الشمسية إلى وقود كيميائي مثل غاز الهيدروجين، والغازات والسوائل الاصطناعية مثل الميثانول والديزل. والمسارات الثلاثة الأساسية لوقود الطاقة الشمسية، التي يمكن أن تعمل وحدها أو مجتمعة، هي: (1) المسار الكهروكيميائي، (2) المسار الكيميائي الضوئي/البيولوجي الضوئي، و (3) المسار الحراري الكيميائي. في المسار الأول، يُنْتَجُ الهيدروجين بواسطة عملية التحليل الكهربائي مُحفّزاً بطاقة كهربائية مستمدة من الطاقة الشمسية التي يولدها نظام كهروضوئي أو نظام مركزات الطاقة الشمسية. والتحليل الكهربائي للماء هو عبارة عن تقنية قديمة ومفهومة جيداً، وتحقق كفاءة تحويل من الكهرباء إلى الهدروجين تصل عادة إلى 70 ٪. وفي المسار الثاني، تُستخدم الفوتونات الشمسية لحفز التفاعلات الكيميائية الضوئية أو البيولوجية الضوئية، والمنتجات التي تنتج عنها هي وقود: أي أنها تحاكي ما تفعله النباتات والكائنات الحية. وبالمثل، يمكن استخدام مواد كهروضوئية، مثل أنود امتصاص الضوء الشمسي في خلايا كيميائية كهروضوئية، التي تولد الهيدروجين أيضاً عن طريق تحلل المياه. وفي المسار الثالث، تستخدم الحرارة المستمدة من الطاقة الشمسية المأخوذة من درجة الحرارة العالية (مثل تلك يتم الحصول عليها في مُستقبِل محطة استقبال مركزات الطاقة الشمسية) لحفز تفاعل كيميائي مَاص للحرارة، وهو الذي يُنتج الوقود. هنا، يمكن أن تشمل المتفاعلاتُ تركيبات من الماء، وثاني أكسيد الكربون، والفحم، والكتلة الأحيائية والغاز الطبيعي. ويمكن للمنتجات، التي تشكل وقود الطاقة الشمسية، أن تكون أياً مما يلي (أو تركيبات): الهيدروجين، والغازات المركبة، والميثانول، ثنائي ميثيل الأثير والزيت الاصطناعي. وعندما يُستخدم الوقود الأحفوري كمتفاعل، ستفوق القيمُ الحرارية الإجمالية للمنتجات تلك الخاصة بالمواد المتفاعلة، بحيث يحتاج إلى حرق أقل من الوقود الأحفوري لإطلاق الطاقة نفسها. كما يمكن أيضاً اصطناع الطاقة الشمسية من الهيدروجين الشمسي ومن ثاني أكسيد الكربون لإنتاج هيدروكربونات متوافقة مع البنية الأساسية الحالية للطاقة. [3.3.5]

3.4 الوضع العالمي والإقليمي للنشر السوقي والصناعي

3.4.1 القدرة المركبة والطاقة المولدة

الطاقة الحرارية الشمسية: تمثل التكنولوجيات النشطة للتدفئة الشمسية والتبريد للمباني السكنية والتجارية سوقاً ناضجة. نمت هذه السوق، التي تتوزع على درجات مختلفة في معظم دول العالم، بنسبة 34.9 ٪ من عام 2007 إلى 2009 وتستمر في النمو بمعدل يصل إلى نحو 16 ٪ سنويا. في نهاية عام 2009، كانت القدرة العالمية المركبة من الطاقة الحرارية من هذه الأجهزة تقدر بـ 180 جيجا واط حراري. ووصلت مبيعات نظم الطاقة الحرارية الشمسية النشطة في السوق العالمية بنحو يقدر بـ 29.1 جيجا واط حراري في عام 2008 و 31 جيجا واط حراري في عام 2009. وتشكل المجمِّعات المطلية أغلبية في السوق العالمية. واستحوذت الصين على نسبة 79 ٪ في تركيب المجمِّعات المطلية في عام 2008، والاتحاد الأوروبي على نحو 14.5 ٪. وفي الولايات المتحدة الأمريكية وكندا، لاتزال تدفئة حمامات السباحة هي التطبيق المهيمن، بقدرة تركيبية تصل إلى 12.9 جيجا واط حراري من المجمِّعات البلاستيكية غير المطلية. وفي عام 2008 خاصة، قادت الصين العالمَ من حيث تركيب مجمِّعات الأطباق المسطحة ومجمِّعات الأنابيب المفرغة بقدرة 88.7 جيجا واط حراري. وكان لأوروبا 20.9 جيجا واط حراري واليابان 4.4 جيجا واط حراري. وفي أوروبا، تضاعف حجم السوق بأكثر من ثلاثة أضعاف بين عامي 2002 و2008. وعلى الرغم من هذه المكاسب، لا تزال الطاقة الحرارية الشمسية تمثل جزءاً صغيراً نسبياً من الطلب على المياه الساخنة في أوروبا. على سبيل المثال، في ألمانيا، التي تعد أكبر الأسواق، هناك حوالي 5 ٪ من المنازل التي تقطن فيها أسرة واحدة أو أسرتين تستخدم الطاقة الحرارية الشمسية. أحد مقاييس اختراق السوق هو الاستخدام السنوي للفرد من الطاقة الشمسية. وتعد قبرص هي البلد الرائد في هذا الصدد، حيث تبلغ هذه النسبة 527 كيلو واط حراري لكل 1000 شخص؛ علماً بأنه ليست هناك معلومات متوفرة عن الطاقة الشمسية السلبية فيما يتعلق بوضع السوق هناك وانتشارها في المجال الصناعي. ولا تشير الأرقام السابقة بالتالي إلا إلى الطاقة الشمسية النشطة فحسب. [3.4.1]

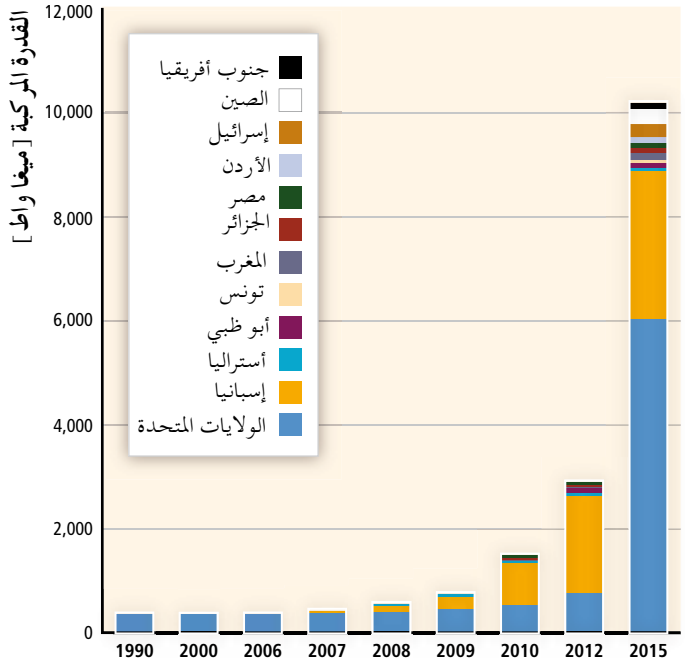
توليد الكهرباء الفوتوفلطائي: في عام 2009، تم تركيب حوالي 7.5 جيجاواط من النظم الفوتوفلطائية. وقد رفع هذا القدرة التراكمية للطاقة الفوتوفلطائية



الشكل 3.2 الملخص الفني: قدرة الطاقة الفوتوفلطائية المركبة على مدار السنوات من 2000 إلى 2009 في ثمانية أسواق. [الشكل 3.9]

المركبة في جميع أنحاء العالم في عام 2009 إلى حوالي 22 جيجاواط – وهي قدرة قادرة على توليد ما يصل إلى 26 تيراواط في الساعة (93600 تيرا غل) سنوياً. وتم تركيب أكثر من 90 ٪ من هذه القدرة في ثلاثة أسواق رائدة: الاتحاد الأوروبي بنسبة 73 ٪ من المجموع، واليابان بنسبة 12 ٪ والولايات المتحدة الأمريكية بنسبة 8 ٪. ويتصل ما يقرب 95 ٪ من قدرة الكهرباء الفوتوفلطائية المركبة في دول منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بشبكة، والباقي من خارج الشبكة. ويوضح الشكل 3.2 بالملخص الفني النمو في أكبر الأسواق الثمانية في الطاقة الفوتوفلطائية لعام 2009. وتستحوذ إسبانيا وألمانيا، حتى الآن، على أكبر قدر من الطاقة الشمسية المركبة في السنوات الأخيرة. [3.4.1]

مركزات الطاقة الشمسية: وصلت مركزات الطاقة الشمسية إلى قدرة متراكمة مركبة بلغت حوالي 0.7 جيجا واط، وهناك قدرة أخرى قيد الإنشاء تصل إلى 1.5 جيجا واط. ومن المتوقع أن تتراوح عوامل القدرة لعدد من محطات مركزات الطاقة الشمسية هذه بين 25 ٪ و 75 ٪؛ وهذه يمكن أن تكون أعلى بالنسبة للتوليد الفوتوفلطائي لأن محطات مركزات الطاقة الشمسية لديها الفرصة لإضافة وحدات تخزين حرارية حيث هناك حاجة متناسبة لزيادة مباني حقل المجمِّعات لشحن وحدة التخزين الحراري. والحد الأدنى لنطاق عامل القدرة ليس له تخزين حراري بينما الحد الأقصى يصل حتى 15 ساعة من التخزين الحراري. [3.8.4] وكانت أولى محطات مركزات الطاقة الشمسية التجارية هي نظم توليد الطاقة الكهربائية الشمسية في ولاية كاليفورنيا التي كانت تولد قدرة على إنتاج 354 ميجا واط من الطاقة الكهربائية؛ تم تشييدها بين عامي 1985 و1991، ولاتزال تعمل حتى اليوم. وكانت الفترة من عام 1991 إلى أوائل عقد الألفية بطيئة بالنسبة لمركزات الطاقة الشمسية، لكن منذ حوالي عام 2004، أصبح هناك نمو قوي في التوليد المخطط له. ويتكون الجزء الأكبر من الجيل الحالي من مركزات الطاقة الشمسية من تكنولوجيا الوعاء، لكن تكنولوجيا المستقبل المركزي تضم حصة متزايدة، وهناك نشاط تجاري قوي مقترح في أطباق ستيرلينج (dish–Stirling). وفي أوائل 2010، كانت أكثر القدرة المخططة لها عالمياً في الولايات المتحدة وأسبانيا، لكن أعلنت بلدان أخرى مؤخراً عن خطط تجارية في هذا الصدد. ويبين الشكل 3.3 بالملخص الفني النشر الحالي والمخطط له لقدرة مركزات الطاقة الشمسية حتى عام 2015. [3.3.4، 3.4.1]



الشكل 3.3 الملخص الفني: محطات مركزات الطاقة الشمسية المركبة والمخطط لها حسب البلد. [الشكل 3.10]

إنتاج وقود الطاقة الشمسية: في الوقت الحالي، يعتبر إنتاج وقود الطاقة الشمسية في المرحلة التجريبية. وقد بُنيت محطات تجريبية في نطاق قدرة تتراوح بين 300 و500 كيلو واط من أجل الحد من الفحم الحراري لأكسيد الزنك، وإصلاح بخار الميثان، وتغويز بخار الـ«بتكوك». وهناك مفاعل بقدرة 250 كيلو واط في استراليا يعمل بطريقة إصلاح البخار. [3.3.4، 3.4.1]

3.4.2 قدرة الصناعة وسلسلة الإمداد

الطاقة الحرارية الشمسية: في عام 2008، أنتج المصنعون حوالي 41.5 مليون م^2 من المجمِّعات الشمسية، وهو مستوى كبير بما يكفي للإنتاج الضخم، على الرغم من انتشار الإنتاج بين عدد كبير من الشركات في جميع أنحاء العالم. وفي الواقع، تحققت مستويات إنتاج صناعي واسعة النطاق في معظم أجزاء الصناعة. وفي عملية التصنيع، يتم تطبيق وتجميع عدد من المواد المتاحة بسهولة – بما في ذلك النحاس والألمونيوم والفولاذ المقاوم للصدأ، والعزل الحراري – من خلال الجمع بين التكنولوجيات المختلفة من أجل إنتاج لوحة الامتصاص. ويعلو هذا الإطار زجاج الغلاف، الذي غالباً ما يكون زجاجاً منخفض الحديد، وهو الآن متاح بسهولة. ويتركز معظم الإنتاج في الصين، حيث يستهدف الإنتاج الاستهلاك الداخلي. وقد بدأت المجمِّعات المفرَّغة، التي تناسب تقنيات الإنتاج الضخم، تهيمن على هذه السوق. وتتركز مواقع الإنتاج المهمة الأخرى في أوروبا وتركيا والبرازيل والهند. ويضم قسم كبير من سوق التصدير مجموعة أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية بدلاً من مجمِّعات الطاقة الشمسية في حد ذاتها. وأكبر الدول المصدرة لأنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية هي استراليا واليونان والولايات المتحدة وفرنسا. وتمثل الصادرات الاسترالية حوالي 50 ٪ من إنتاجها. [3.4.2]

أما بالنسبة للتدفئة الشمسية السالبة، يكمن جزء من قدرة الصناعة وسلسلة الإمداد في الناس: تحديداً المهندسين والمعماريين الذين يتعين عليهم التعاون بشكل منهجي لتشييد أبنية سالبة التدفئة. وغالباً ما افتُقِدَ التعاون الوثيق بين هذين التخصصين في الماضي، لكن نشر طرق تصميم منهجية صادرة عن مختلف البلدان قد حسنت من قدرات التصميم. وتعتبر النوافذ والتزجيج جزءاً مهماً من المباني المدفئة تدفئة سلبية، وتوافر جيل جديد من النوافذ عالية الكفاءة (منخفضة الانبعاث، وممتلئة الأرجون) له تأثير كبير على مساهمة الطاقة الشمسية في متطلبات التدفئة في قطاع المباني. وتشكل هذه النوافذ الآن الجزء الأكبر من النوافذ الجديدة التي يجري تركيبها في معظم البلدان التي تقع على خطوط العرض الشمالية. ولا يبدو أن هناك أية قضايا عن القدرة الصناعية أو سلاسل الإمداد التي تعرقل استخدام نوافذ أفضل. وهناك سمة أخرى من سمات التصميم السالب وهو إضافة كتلة داخلية لهيكل المبنى. والخرسانة والطوب – وهي مواد التخزين الأكثر استخداما – متاحان بالفعل؛ ولا يُتوقع لمواد التغيير المرحلية (على سبيل المثال، البارافين)، التي تعتبر مواد التخزين المستقبلية، أن تعاني من أية مشاكل من حيث سلاسل الإمداد. [3.4.2]

توليد الكهرباء الفوتوفلطائي: تجاوز معدل النمو السنوي المركب في الإنتاج التحويلي الفوتوفلطائي خلال الفترة 2003–2009 نسبة 50 ٪. وفي عام 2009، بلغ إنتاج الخلايا الشمسية نحو 11.5 جيجا واط سنوياً (المعدل محسوب وفق ذروة القدرة) موزعة بين اقتصادات عدة: الصين لديها حوالي 51 ٪ من الإنتاج العالمي (14 ٪ من مقاطعة تايوان الصينية)، وأوروبا حوالي 18 ٪ واليابان حول 14 ٪، والولايات المتحدة حوالي 5 ٪. وفي جميع أنحاء العالم، هناك أكثر من 300 مصنعاً تنتج الخلايا والوحدات الشمسية. وفي عام 2009، كانت الخلايا والوحدات الشمسية القائمة على السيليكون تمثل نحو 80 ٪ من السوق العالمية. أما الـ20 ٪ المتبقية فكانت تتكون في معظمها من كادميوم التلوريد، والسليكون غير المتبلور، والنحاس ثنائي سيلينيد الإنديوم الغاليوم. ومن المتوقع أن يشهد إجمالي السوق زيادة كبيرة خلال السنوات القليلة المقبلة، حيث سيكسب إنتاجُ الوحدات ذات الأغشية الرقيقة حصةً في السوق. ويتجه المصنعون نحو

التصميم الأصلي من وحدات التصنيع كما يعملون كذلك على تقريب عناصرَ من إنتاج الوحدات إلى السوق النهائية. وبين عامي 2004 وأوائل عام 2008، فاق الطلب على السليكون البلوري (أو البولي سيليكون) العرض، ما أدى إلى ارتفاع الأسعار. ومع السعر الجديد، أصبحت الإمدادات الوفيرة متاحة؛ ويقود سوق الإنتاج الفوتوفلطائي الآن إمداداته من البولي سيليكون. [3.4.2]

مركزات الطاقة الشمسية: في السنوات القليلة الماضية، شهدت صناعة مركزات الطاقة الشمسية انتعاشاً بعد فترة من الركود، حيث وصل إلى أكثر من 2 جيجا واط إما قيد التكليف وإما قيد الإنشاء. وهناك الآن أكثر من 10 شركات مختلفة تنشط في بناء المحطات أو تجهيزها على نطاق تجاري. وهي تتراوح بين مجموعة من الشركات المبتدئة و المؤسسات الكبيرة، بما في ذلك المؤسسات ذات المنفعة العامة، مع خبرات عالمية في إدارة التشييد. ولا تتقيد أي من سلاسل الإمداد لبناء المحطات بتوافر المواد الخام؛ حيث يمكن إدخال القدرات الموسعة مع مهلة تصل إلى حوالي 18 شهراً تقريباً. [3.4.2]

إنتاج وقود الطاقة الشمسية: ما تزال تكنولوجيا وقود الطاقة الشمسية في مرحلة ناشئة، وليس هناك حيز في سلسلة الإمداد في الوقت الحاضر للتطبيقات التجارية. وسيشمل وقود الطاقة الشمسية الكثيرَ من تكنولوجيا حقل الطاقة الشمسية، حيث يتم نشره لأنظمة مركزات الطاقة الشمسية في درجة حرارة عالية، بالإضافة إلى تقنيات توزيع مماثلة لتلك التي في صناعة البتر وكيماويات. [3.4.2]

3.4.3 تأثير السياسات

تواجه تكنولوجيات الطاقة الشمسية المباشرة مجموعة من العوائق المحتملة لتحقيق انتشار واسع النطاق. وتختلف تكنولوجيات الطاقة الشمسية في مستويات النضج، وعلى الرغم من أن بعض التطبيقات بالفعل قادرة على المنافسة في الأسواق المحلية، إلا أنها تواجه حاجزاً واحداً مشتركاً: الحاجة إلى خفض التكاليف. وتواجه أنظمة مركزات الطاقة الشمسية والأنظمة الفوتوفلطائية على مستوى الاستفادة حواجزَ مختلفة أكثر من تكنولوجيات الفوتوفلطائيات والطاقة الشمسية للتدفئة والتبريد. وتشمل أهم الحواجز ما يلي: تحديد المواقع، والترخيص، وتمويل التحديات لتطوير الأرض بالموارد الشمسية المواتية لمشروعات وفقاً لنطاق الاستفادة؛ انعدام الحصول على خطوط النقل للمشاريع الكبيرة بعيداً عن مراكز الحمل الكهربائية؛ وقوانين النفاذ، وإجراءات الترخيص معقدة، وكذا الرسوم للمشاريع الصغرى؛ انعدام معايير متسقة للتوصيل البيني وهياكل معدل استفادة من تفاوت الوقت يمكنها أن تحفظ بقيمة توزيع الكهرباء المولدة؛ والمعايير المتناسقة والشهادات وإنفاذ هذه القضايا؛ وعدم وجود هياكل تنظيمية يمكنها أن تستفيد من المنافع البيئية وفوائد تخفيف المخاطر عبر التكنولوجيات. ومن خلال تصاميم السياسات الملائمة، أظهرت الحكومات أن بإمكانها دعم تكنولوجيات الطاقة الشمسية عن طريق تمويل البحوث والتنمية ومن خلال توفير حوافز للتغلب على الحواجز الاقتصادية. وكانت أطر الحوافز التي يحركها السعر، على سبيل المثال، شعبية بعد أن عززت ضريبة الدخل الفيدرالية مستويات نشر المولدات الفوتوفلطائية في ألمانيا وإسبانيا. وتنتشر الأطر القائمة على الحصص مثل معايير المحفظة المتجددة والعطاءات الحكومية في الولايات المتحدة والصين، على التوالي. وبالإضافة إلى هذه الأطر التنظيمية، وغالباً ما يتم توظيف السياسات الجبائية وآليات التمويل (مثل الإعفاءات الضريبية، والقروض الميسرة والمنح) لدعم صناعة السلع من الطاقة الشمسية وزيادة طلب المستهلكين. ومعظم سياسات الطاقة الشمسية الأكثر نجاحاً مصممة لتناسب الحواجز التي تفرضها تطبيقات محددة، والسياسات الأكثر نجاحاً هي تلك التي ترسل إشارات واضحة وطويلة الأمد ومتسقة إلى السوق. [3.4.3]

3.5 الإندماج في النظام العام للطاقة

تتسم تقنيات استخدام الطاقة الشمسية بعدد من السمات التي تسمح بإندماجها المفيد في النظام العام للطاقة. وفي هذا القسم، تُلخص ميزات التكامل فقط التي تناسب تكنولوجيات الطاقة الشمسية. وتشمل الطلب على الطاقة ذات القدرة المنخفضة، وتدفئة المدن وغيرها من الأحمال الحرارية، وخصائص التوليد الفوتوفلطائي والتأثيرات السلسلة، وخصائص توليد مركزات الطاقة الشمسية واستقرار الشبكة. [3.5.1–3.5.4]

وبالنسبة للتطبيقات ذات الاستهلاك المنخفض للطاقة، مثل الإضاءة أو الماء المسخن بالطاقة الشمسية، تتسم تقنيات استخدام الطاقة الشمسية في بعض الأحيان بميزة نسبية بالنسبة لتكنولوجيات الوقود غير المتجددة. وبالإضافة إلى ذلك، تسمح تكنولوجيات الطاقة الشمسية بتطبيقات لامركزية صغيرة وكذلك بالتطبيقات المركزية الكبيرة منها. وفي بعض المناطق من العالم، أثبت تكامل الطاقة الشمسية في تدفئة المدن وفي غيرها من الأحمال الحرارية أنها إستراتيجية فعالة، لاسيما أن المباني المعزولة للغاية يمكن أن يتم تدفئتها بفعالية عن طريق ناقلات طاقة ذات درجة حرارة منخفضة نسبيًا. وفي بعض المواقع، يمكن لنظام تبريد المدن وتدفئتها توفيرَ مزايا إضافية مقارنة بالتبريد المركزي، بما في ذلك مزايا التكلفة بالنسبة للاقتصاديات ذات الحجم الكبير، وتنوع الطلب على التبريد في مختلف المباني، والحد من الضوضاء والحمل الهيكلي، ووفورات مساحة المعدات. كذلك، يمكن تحسين الأوضاع من خلال الجمع بين الكتلة الأحيائية والطاقة الحرارية المأخوذة من الطاقة الشمسية ذات درجة الحرارة المنخفضة، وعامل قدرة النظام، والانبعاثات. [3.5.1، 3.5.2]

أما بالنسبة لتوليد الطاقة الفوتوفلطائية في موقع معين، تتباين الكهرباء بانتظام خلال اليوم والسنة، لكن أيضاً بشكل عشوائي وفقاً لظروف الطقس. ويمكن لهذا الاختلاف، في بعض الحالات، أن يكون له تأثير كبير على الجهد وتدفق الطاقة في نظام النقل والتوزيع المحلي في مرحلة التغلغل المبكر، والتوازن بين العرض والطلب في إجمالي عملية نظام الطاقة في مرحلة الاختراق العالية. ويمكن لهذا التأثير أن يحد من تكامل النظام الفوتوفلطائي. ومع ذلك، تشير النمذجة ومحاكاة النظام إلى أن العديد من الأنظمة الفوتوفلطائية في منطقة واسعة يجب أن يكون لديها اختلافات أقل عشوائية وأبطأ، وهي التي يشار إليها أحياناً باسم «التأثير السلس». ولاتزال الدراسات جارية لتقييم وتحديد التأثيرات السلسلة على نطاق واسع (1000 موقع على مسافات تتراوح بين 2 إلى 200 كلم) وعلى فترات زمنية تتراوح بين دقيقة واحدة أو أقل. [3.5.3]

وفي محطة مركزات الطاقة الشمسية، حتى دون تخزينها، تميل الكتلة الحرارية الكامنة في نظام المجمع وكتلة الغزل في التوربينات إلى الحد بشكل كبير من أثر التَمَوُّرات العابرة للطاقة الشمسية السريعة على إنتاج الكهرباء، وبالتالي يؤدي إلى تخفيض الأثر على الشبكة. ومن خلال تكامل نظم التخزين الحراري، يمكن تحقيق عوامل قدرة نموذجية من عملية الحمل الأساسي في المستقبل. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لدمج محطات مركزات الطاقة الشمسية مع مولدات الوقود الأحفوري، خاصة مع نظم الدورة المجمَّعة للطاقة الشمسية المتكاملة مع حرق الغاز (مع التخزين)، أن يقدم أفضل كفاءة للوقود وساعات عمل طويلة، ويمكن في نهاية المطاف أن يكون أكثر فعالية من حيث التكلفة أكثر منه من محطات مركزات الطاقة الشمسية و/أو محطات الدورة المجمَّعة. [3.5.4]

3.6 الآثار البيئية والاجتماعية

3.6.1 الآثار البيئية

بصرف النظر عن فوائدها في مجال الحد من انبعاثات غازات الدفيئة، يمكن لاستخدام الطاقة الشمسية الحدَ من انبعاث الملوثات – مثل الجسيمات والغازات الضارة – من محطات الوقود الأحفوري القديمة التي تحل محلها.

ولا تولد الطاقة الشمسية الحرارية والتكنولوجيات الفوتوفلطائية أيَّ نوع من المشتقات الصلبة أو السائلة أو الغازية عند إنتاج الكهرباء. ويمكن لأسرة تكنولوجيات الطاقة الشمسية أن يكون لها أنواع أخرى من الآثار على الهواء والماء والأرض والنظام الإيكولوجي، اعتماداً على الطريقة التي تدار بها. وتستخدم صناعة المولدات الفوتوفلطائية بعضَ الغازات السامة والمتفجرة وكذلك السوائل المسببة للتآكل في خطوط إنتاجها. ويرتبط وجود هذه المواد وكمياتها كثيراً بنوع الخلايا. ومع ذلك، فإن الاحتياجات الجوهرية للعملية الإنتاجية لصناعة المولدات الفوتوفلطائية تُجبر على استخدام وسائل مراقبة صارمة جداً من شأنها أن تقلل من انبعاثَ عناصر خطرة أثناء عملية إنتاج الوحدات. أما بالنسبة لتكنولوجيات الطاقة الشمسية الأخرى، من المتوقع عموماً أن تكون ملوثات الهواء والمياه طفيفة نسبياً. وعلاوة على ذلك، قد تتطلب بعض تكنولوجيات الطاقة الشمسية في مناطق معينة استخدامَ المياه للتنظيف للحفاظ على الأداء. [3.6.1]

ويوضح الشكل 3.4 بالملخص الفني دورة حياة تقديرات تقييم غازات الدفيئة المرتبطة بمختلف أنواع من الوحدات الفوتوفلطائية وتكنولوجيات مركزات الطاقة الشمسية. وتتراوح غالبية التقديرات الخاصة بوحدات فوتوفلطائية ما بين 30 و 80 جراماً من ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلو واط ساعة. وقد قُدِّرتْ مؤخراً دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة لتوليد الكهرباء من مركزات الطاقة الشمسية بما يتراوح بحوالي 14 و32 جراماً من ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلو واط ساعة. وتعتبر هذه المستويات من الانبعاثات أقل من حيث الحجم من تلك التي تنبعث من المصانع التي تعمل بالغاز الطبيعي. [3.6.1، 9.3.4]

استخدام الأراضي هو شكل آخر من الأثر البيئي. فبالنسبة لنظم الطاقة الشمسية الحرارية المركبة على أسطح المنازل والنظم الفوتوفلطائية، لا تُعتبر هذه قضية، لكن يمكن أن تكون قضية مركزية للمولدات الفوتوفلطائية فضلاً عن مركزات الطاقة الشمسية. وقد تشكل الأراضي الحساسة بيئياً تحدياً خاصاً فيما يتصل بالترخيص لمركزات الطاقة الشمسية. فأحد الفوارق بالنسبة لمركزات الطاقة الشمسية بالمقارنة بالمولدات الفوتوفلطائية هو أنها تحتاج إلى طريقة لتبريد السائل العامل، وغالباً ما ينطوي مثل هذا التبريد على استخدام المياه النادرة. وقد يكون استخدام الهواء المحلي مُبرِّداً (تبريد جاف) خياراً حيوياً، لكن هذا يمكن أن يقلل من كفاءة المحطة بنسبة تتراوح بين 2 إلى 10 ٪. [3.6.1]

3.6.2 الآثار الاجتماعية

توفر الفوائد الإيجابية للطاقة الشمسية في العالم النامي الحججَ للتوسع في استخدامها. فهناك حوالي 1.4 مليار شخص لا يزودون بالكهرباء. ويمكن لنظم الطاقة الشمسية المنزلية والشبكات المحلية التي تعمل بالطاقة الفوتوفلطائية أن توفر الكهرباء للعديد من المناطق التي تزداد فيها تكلفة الاتصال بالشبكة الرئيسية زيادة باهظة. ويظهر تأثير الكهرباء وتكنولوجيات الطاقة الشمسية على السكان المحليين من خلال قائمة طويلة من المزايا المهمة، مثل: استبدال مصابيح الكيروسين الملوِّثة في الأماكن المغلقة ومواقد الطبخ غير الفعالة؛ وتزايد القراءة في الأماكن المغلقة؛ وخفض وقت جمع الحطب لطهي الطعام (ما يسمح للنساء والأطفال، الذين عادة ما يقومون بجمعه، بالتركيز على أولويات أخرى)؛ وإنارة الشوارع من أجل الأمان؛ وتحسين الصحة من خلال توفير تبريد لحفظ اللقاحات والمنتجات الغذائية؛ وأخيراً، أجهزة الاتصالات (على سبيل المثال، أجهزة التلفزيون والراديو). كل هذه توفر عدداً لا يحصى من الفوائد التي من شأنها تحسين حياة الناس. [3.6.2]

ويُعتبر استحداث فرص العمل أحد الاعتبارات الاجتماعية المهمة المرتبطة بتكنولوجيا الطاقة الشمسية. ويشير التحليل إلى أن الطاقة الفوتوفلطائية الشمسية هي الأعلى بين أسرة تكنولوجيات الطاقة الشمسية من حيث إمكانية استحداث الوظائف؛ حيث يتم استحداث ما يقرب من 0.87 وظيفة في السنة لكل جيجا واط في الساعة من خلال الطاقة الشمسية الفوتوفلطائية، تليها مركزات الطاقة الشمسية حيث تستحدث حوالي 0.23 وظيفة في السنة لكل جيجا واط. وعندما تطرح بشكل صحيح، يمكن لهذه الحجج المتعلقة بالوظائف أن تساعد على تسريع القبول الاجتماعي وزيادة استعداد الجمهور لتقبل ما يُنظر إليه على أنه عيوب الطاقة الشمسية، مثل الأثر من ناحية المنظر. [3.6.2]

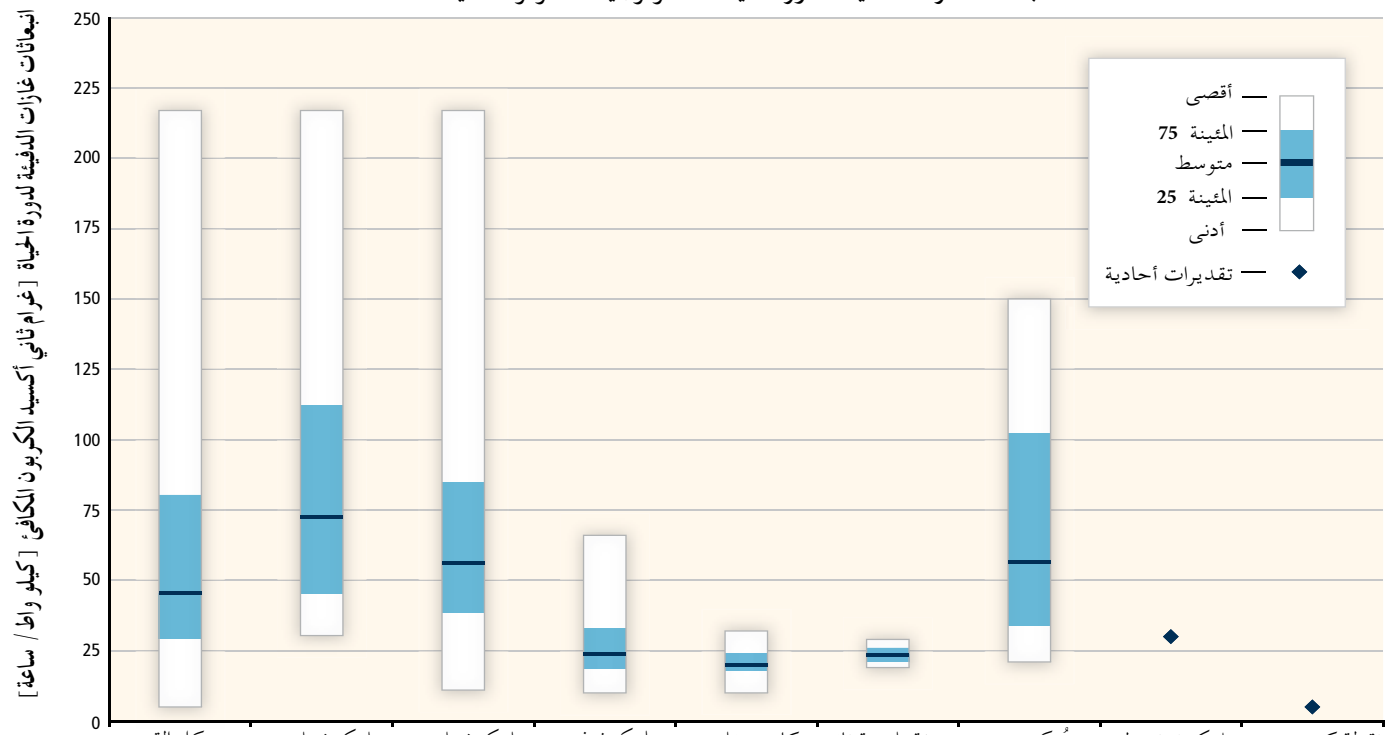
3.7 آفاق تطوير التكنولوجيا والابتكار

الطاقة الشمسية الحرارية: يمكن لمباني المستقبل أن تزود بألواح الطاقة الشمسية، إذا أدمجت في مراحل التخطيط المبكرة – بما في ذلك الألواح الفوتوفلطائية، والمجمِّع الحراري، و(هجين) الجمع الألواح الفوتوفلطائية والحرارية – ما سيشكل تقريباً جميع مكونات السقف والواجهات. ويمكن تشييد مثل هذه المباني ليس فقط من خلال الرغبات الشخصية للبنائين/الملاك، لكن أيضاً نتيجة لتفويضات السياسة العامة، على الأقل في بعض المناطق. على سبيل المثال، تقوم رؤية «برنامج تكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية الأوروبي» على بناء «المبنى الشمسي النشط» كمعيار للمباني الجديدة بحلول عام 2030، حيث يغطى المبنى الشمسي النشط، في المتوسط، كل طلبه على الطاقة لتسخين المياه وتكييف المساحات. [3.7.2]

ولتسليط الضوء على التقدم الحاصل في مجال الطاقة الشمسية السالبة، يمكن التمييز بين مناخين: الذي يسيطر عليها الطلب لأغراض التدفئة، والذي يسيطر عليها الطلب لأغراض التبريد. فبالنسبة للأول، يُتوقع أن يتم الاعتماد على نطاق أوسع على العناصر التالية: التزجيج المخلخل (في مقابل المُحكم)، والعزل الديناميكي الخارجي أثناء الليل، وأنظمة الزجاج الشفاف التي يمكن أن تغير تلقائياً نفاذية الشمس/الرؤية كما يمكنها أيضاً أن توفر قيم عزل مُحسَّنة. أما بالنسبة للآخر، هناك توقعات بزيادة استخدام أسطح باردة (أي سقوف ذات ألوان فاتحة تعكس الطاقة الشمسية)؛ وتقنيات تبديد الحرارة مثل استخدام الأرض والمياه أحواضاً للتسخين؛ والأساليب التي من شأنها تحسين المناخ المحلي حول المباني؛ وأجهزة التحكم في الطاقة الشمسية التي تسمح بتغلغل مكون الإضاءة، وليس الحرارة، من الطاقة الشمسية. ولكلا المناخيْن، من المتوقع تحسين التخزين الحراري ليكون جزءاً من مواد البناء. ومن المتوقع أيضاً ظهور طرق محسنة لتوزيع الحرارة الشمسية الممتصة حول المبنى و/أو إلى الهواء الخارجي، وذلك ربما باستخدام أساليب نشطة مثل المراوح. وأخيراً، من المتوقع أن تقوم أدوات التصميم المحسنة بتسهيل هذه الأساليب المختلفة المحسنة. [3.7.1]

توليد الكهرباء الفوتوفلطائي: على الرغم من أنها تعتبر الآن تكنولوجيا ناضجة نسبياً، لا يزال التوليد الفوتوفلطائية يشهد تحسينات سريعة في الأداء والتكلفة، ومن المتوقع استمرار هذا التقدم المطرد. وتبذل الجهود اللازمة حتى في إطار من التعاون الحكومي الدولي، مع استكمال خرائط الطريق. وبالنسبة للتكنولوجيات الفوتوفلطائية المختلفة، تم التعرف على أربع فئات تكنولوجية واسعة – تتطلب كل منها مناهج بحث وتطوير محددة – على النحو التالي: 1) كفاءة الخلية واستقرارها وعمرها؛ 2) إنتاجية الوحدة وتصنيعها؛ 3) الاستدامة البيئية؛ و 4) والقابلية للتطبيق، وكلها تشمل توحيداً للمعايير والتنسيق. وبالتطلع إلى المستقبل، يمكن تصنيف التكنولوجيات الفوتوفلطائية في ثلاث فئات رئيسية هي: الحالية؛ والناشئة، التي تمثل مخاطر متوسطة مع خط منتصف المدة الزمنية (من 10 إلى 20 عاماً)؛ وتكنولوجيات عالية المخاطر في عام 2030 وما بعدها، التي لها إمكانيات غير عادية، لكنها تتطلب اختراقات فنية. والأمثلة على الخلايا الناشئة تشمل الأفلام الرقيقة متعددة الوصلات وبلورية كريستالات السليكون في نطاق سمك فرعي 100

انبعاثات غازات الدفيئة لدورة الحياة للتكنولوجيات الفوتوفلطائية



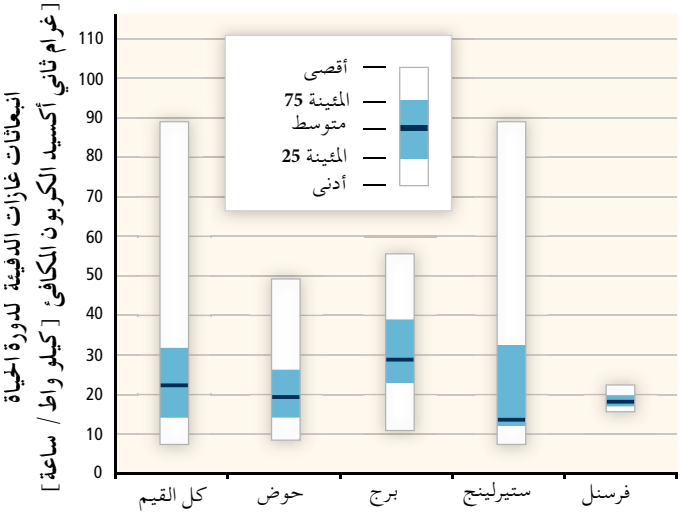
التقديرات	124	30	56	12	13	4	6	2*	1
المراجع	26	9	15	3	3	1	2	2	1

* نفس القيمة

ميكرون. وأمثلة على الخلايا عالية المخاطر تشمل الخلايا الشمسية العضوية، وأجهزة البيوميمتيك وتصاميم الكم النقطية التي لديها القدرة على زيادة الحد الأقصى من الكفاءة زيادة كبيرة. أخيراً، هناك عمل مهم ينبغي القيام به على توازن النظم، الذي يضم العواكس، والتخزين، ووحدات التحكم في الشحن، وهياكل النظام وشبكة الطاقة. [3.7.3]

توليد الكهرباء من مركزات الطاقة الشمسية: على الرغم من أن مركزات الطاقة الشمسية قد أثبتت جدواها بصفتها تكنولوجيا نافعة، ماتزال تشهد تقدماً في التكنولوجيا. وحيث تُبنى المصانع، يؤدي الإنتاج الكمي ووفورات الحجم إلى خفض التكاليف. وهناك مجال لاستمرار التحسن في كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء، وذلك بشكل جزئي من خلال مجمِّعات درجات الحرارة المرتفعة. ولزيادة درجة الحرارة والكفاءة، يتم تطوير بدائل لاستخدام النفط وسوائل نقل حرارة – مثل المياه (التي تغلي في المستقبل) أو الأملاح المنصهرة – ما يسمح بارتفاع درجة حرارة التشغيل. أما بالنسبة لأنظمة الاستقبال المركزية، يمكن أن تكون الكفاءة الشاملة أعلى بسبب أن درجات حرارة التشغيل مرتفعة، ويُتوقع المزيد من التحسينات لتحقيق الكفاءة القصوى (من تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء) بمقدار مرتين تقريباً أكبر من تلك النظم القائمة، ما يصل إلى 35 ٪. وسوف تستفيد تكنولوجيا الحوض من التطور المستمر في سطوح الطاقة الشمسية الانتقائية، وكما ستستفيد المستقبلات المركزية والأطباق من تحسن تصاميم الاستقبال / الامتصاص التي توفر مستويات عالية من الإشعاع الشمسي على التركيز.

انبعاثات غازات الدفيئة لدورة الحياة وفقاً للتكنولوجيا



التقديرات	42	20	14	4	4
المراجع	13	7	5	3	1

الشكل 3.4 الملخص الفني: انبعاثات غازات الدفيئة من دورات الحياة للوحدات الفوتوفلطائية (أعلى) وتكنولوجيات مركزات الطاقة الشمسية (أسفل). انظر التفاصيل في المرفق الثاني للبحث والاقتباس من المؤلفات التي تسهم في التقديرات المعروضة. [الشكلان 3.14، 3.15]

ومن المتوقع خفض التكاليف الرأسمالية الناجمة عن مزايا الإنتاج الكمي، مع وجود وفورات حجم والتعلم من التجربة السابقة. [3.7.4]

إنتاج وقود الطاقة الشمسية: التحليل الكهربائي للطاقة الشمسية باستخدام التوليد الفوتوفلطائي أو مركزات الطاقة الشمسية متوفر لتطبيقات متخصصة، لكنه لايزال مكلفاً. ويجري تنفيذ العديد من الطرق لتطوير تكنولوجيا تقلل من تكلفة الوقود الشمسي. وتشمل هذه خلايا التحليل الكهربائي للأكسيد الصلب، والخلية الكيميائية الكهربائية الضوئية (التي تجمع بين كافة الخطوات في التحليل الكهربائي للطاقة الشمسية في وحدة واحدة)، والعمليات الحرارية والكيميائية المتقدمة، وعمليات التحليل الكيميائي الضوئي والبيولوجي الضوئي – أحياناً في مجموعات يتكامل فيها الاصطناعي الضوئي مع نظم بيوميمتيك إنسانية وإنتاج الهيدروجين البيولوجي الضوئي. [3.7.5]

التطبيقات الممكنة الأخرى في المستقبل: هناك وسائل أخرى قيد الدراسة لإنتاج الكهرباء باستخدام تكنولوجيات الطاقة الشمسية الحرارية من دون وسيط وتشمل الوسائل الكهربائية الحرارية، والأيونية الحرارية، والهيدروديناميكية المغناطيسية وطرق المعادن القلوية. كما اقتُرِحَتْ كذلك الطاقة الشمسية الفضائية، التي تبث فيها أن الطاقة الشمسية في الفضاء يتم جمعها عن طريق الموجات الصغرى إلى هوائيات الاستقبال على الأرض. [3.7.6]

3.8 اتجاهات التكلفة

على الرغم من أن تكلفة الطاقة الشمسية تتباين تبايناً واسعاً حسب التكنولوجيات والتطبيقات والموقع وغير ذلك من العوامل، فقد جرى الحد بدرجة كبيرة من هذه التكاليف في الأعوام الثلاثين المنصرمة، وما برحت التطورات الفنية والسياسات العامة الداعمة تتواصل لتتيح الإمكانيات المطلوبة لإجراء تخفيضات إضافية في التكاليف. وسيكون للدرجة التي يصل إليها الابتكار والتطوير آثر كبير في مستوى انتشار الطاقة الشمسية. [3.7.2–3.7.5، 3.8.2–3.8.5]

الطاقة الشمسية الحرارية: تعتمد اقتصاديات تطبيقات توليد الحرارة بالطاقة الشمسية على التصميم الملائم للنظام فيما يتعلق باحتياجات خدمات الطاقة، التي غالباً ما تنطوي على استخدام مصادر مساعدة للطاقة. ففي بعض المناطق، على سبيل المثال في أنحاء جنوب الصين، تتسم نظم تسخين المياه بالطاقة الشمسية بتكلفة تنافسية باستخدام الخيارات التقليدية. وتعد نظم تسخين المياه عموماً ذات قدرة تنافسية أكبر في المناطق المشمسة، ولكن هذه الصورة تتغير بالنسبة لتدفئة الأماكن استناداً إلى العبء الكلي الأعلى عادة للتسخين. ففي المناطق الأبرد مناخاً، يمكن للتكاليف الرأسمالية أن تتوزع على مدى موسم تدفئة أطول، ومن ثم يُمكن للطاقة الحرارية الشمسية أن تغدو ذات قدرة تنافسية أكبر. [3.8.2]

وتتباين التكاليف الاستثمارية لنظم التدفئة الحرارية الشمسية تبايناً واسعاً وفقاً لمدى تعقد التكنولوجيا المستخدمة، وكذلك وفقاً لأحوال السوق في بلد التشغيل. وتتباين تكاليف النظام المركب من حد منخفض يبلغ بالدولار الأمريكي لعام 2005، 83/متر^2 بالنسبة لنظم تسخين المياه بالطاقة الشمسية في الصين إلى ما يزيد بالدولار الأمريكي لعام 2005، على 1200/متر^2 بالنسبة لنظم معينة لتدفئة الأماكن. وتعكس التكلفة المقومة للتدفئة التباين الواسع في التكاليف الاستثمارية، وتتوقف على عدد من المتغيرات أكبر حتى من ذلك، يشمل النوع المحدد للنظم، والتكلفة الاستثمارية للنظام، وكثافة الإشعاع الشمسي المتاح في مكان معين، وكفاءة التحويل بالنظام، وتكاليف التشغيل، واستراتيجية الاستفادة من النظام وسعر الخصم الساري. واستناداً إلى منهجية مقننة وردت إجمالاً في المرفق الثاني وبيانات التكاليف والأداء الموجزة في المرفق الثالث، فقد كشفت الحسابات التي أجريت لتحديد التكلفة المقومة للتدفئة للنظم الحرارية الشمسية عبر مجموعة ونطاق واسعين لمعايير المدخلات أنها تتباين تبايناً واسعاً يتراوح بالدولار الأمريكي لعام 2005 ما بين 9 و200/جيجا غل، بيد أنه يمكن تقديرها في أوضاع أكثر تحديداً من خلال التحليل البارامتري. ويوضح الشكل 3.5 بالملخص الفني التكلفة المقومة لتوليد الحرارة عبر مجموعة أقل ونطاق أصغر نوعاً ما من محددات المدخلات. و يبين الشكل بصورة أكثر تحديداً، أنه بالنسبة لنظم تسخين المياه بالطاقة الشمسية التي تتراوح تكاليفها بالدولار الأمريكي لعام 2005 في نطاق بين 1100 و1200/كيلو واط حراري وتناهز كفاءة التحويل فيها 40 في المائة، فإن من المتوقع أن تتراوح التكلفة المقومة لتوليد الحرارة بين ما يزيد قليلاً بالدولار الأمريكي لعام 2005 على 30/جيجا جول و ما يقل قليلاً بالدولار الأمريكي لعام 2005 عن 50/جيغاجول في مناطق تقارن بأماكن في أوروبا الوسطى والشرقية، وإلى ما يناهز تقريباً بالدولار الأمريكي لعام 2005، 90/جيغاجول في أماكن ذات كثافة إشعاع شمسي أقل. ولا غرو أن التكلفة المقومة لتوليد الحرارة شديدة الحساسية لكافة المحددات الموضحة والشكل 3.5 من الملخص الفني، بما في ذلك التكاليف الاستثمارية ومعاملات القدرة 3.8.2، المرفق الثاني، والمرفق الثالث].

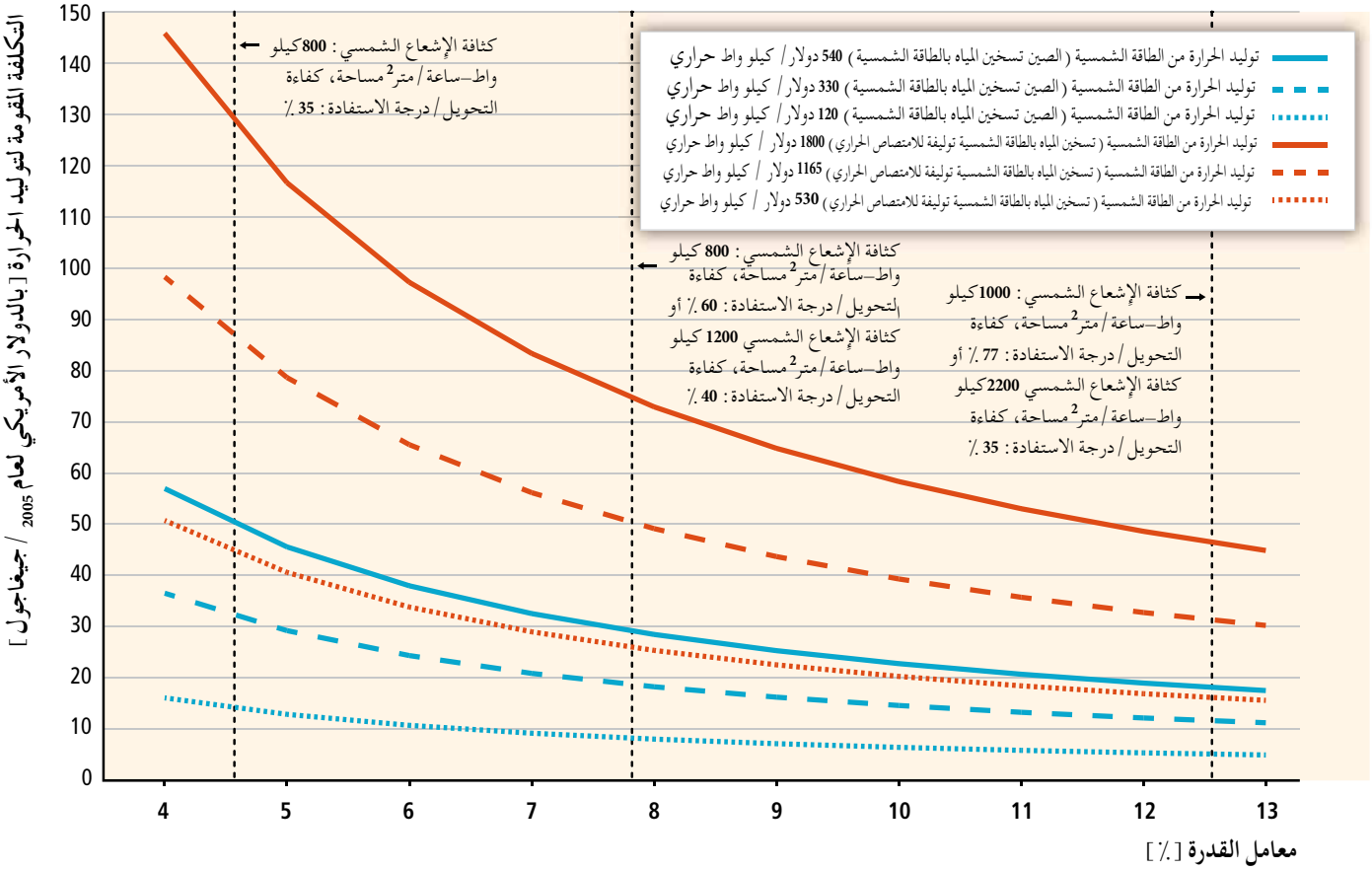
وخلال العقد الماضي، ومقابل كل زيادة تبلغ 50 في المائة في القدرات المركبة لسخانات المياه بالطاقة الشمسية، انخفضت التكاليف الاستثمارية بنسبة 20 في المائة في أوروبا. ووفقاً لوكالة الطاقة الدولية، ستحدث تخفيضات إضافية في التكلفة في بلدان منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي نتيجة استخدام مواد أرخص، وتحسين عمليات الصناعات التحويلية، والإنتاج بالجملة، والإدماج المباشر في مباني المجمِّعات باعتبارها مكونات متعددة الأغراض للمباني ونظم لوحدات نموذجية سهلة التركيب. وتتوقع وكالة الطاقة الدولية أن تنخفض تكاليف الطاقة المنقولة في بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في خاتمة المطاف بما يتراوح بين نحو 70 و75 في المائة [3.8.2]

توليد الكهرباء الفوتوفلطائي: انخفضت أسعار الطاقة الفوتوفلطائية بما يربو على معامل معلوم على مقياس من عشرة خلال الأعوام الثلاثين المنصرمة؛ ومع ذلك، فإن التكلفة المقومة حالياً للطاقة المولدة من الكهرباء الضوئية الشمسية مازالت بصفة عامة أعلى من أسعار الجملة السوقية للكهرباء. وفي بعض التطبيقات، تتمتع نظم الطاقة الفوتوفلطائية بالفعل بقدرات تنافسية مع غيرها من الخيارات المحلية (مثل الإمداد بالكهرباء في بعض المناطق الريفية في البلدان النامية). [3.8.3، 8.2.5، 9.3.2].

وتتوقف التكلفة المقومة لكهرباء الطاقة الفوتوفلطائية على تكلفة مكونات النظام فرادى، حيث تنشأ أعلى حصة للتكلفة من وحدة الكهرباء الضوئية. كما تشمل التكلفة المقومة للكهرباء: مكونات توازن النظم، وتكلفة عمالة التركيب، وتكلفة التشغيل والصيانة، ومعامل الموقع والقدرة، وسعر الخصم الساري. [3.8.3]

وقد انخفض سعر وحدات الطاقة الفوتوفلطائية مما يبلغ بالدولار الأمريكي (لعام 2005)، 22/واط في عام 1980 لأقل مما يبلغ بالدولار الأمريكي (لعام 2005)، 1.50/واط في عام 2010. ويتراوح معدل التعلم التاريخي المناظر ما بين 11و26 في المائة بمتوسط لمعدل التعلم يبلغ 20 في المائة. كما انخفض السعر مقوماً بحساب دولار/واط بالنسبة للنظام بأكمله، بما في ذلك الوحدة، وتوازن النظم، وتكاليف التشغيل، بوتيرة مطردة، ليصل إلى أرقام متدنية بلغت بالدولار الأمريكي لعام 2005، 2.72/واط لبعض تكنولوجيات الشرائح الفلمية الدقيقة بحلول عام 2009. [3.8.3]

ولا تتوقف التكلفة المقومة للكهرباء على الاستثمار الأولي فحسب؛ ولكنها تراعي أيضاً تكاليف التشغيل وعمر مكونات النظم، ومستويات كثافة الإشعاع الشمسي المحلية، وأداء النظام. واستناداً إلى منهجية مقننة موضحة إجمالاً في المرفق الثاني وبيانات تكاليف الأداء الموجزة في المرفق الثالث، جرى حساب التكلفة المقومة للأنواع المختلفة لنظم الطاقة الفوتوفلطائية. وهي تظهر

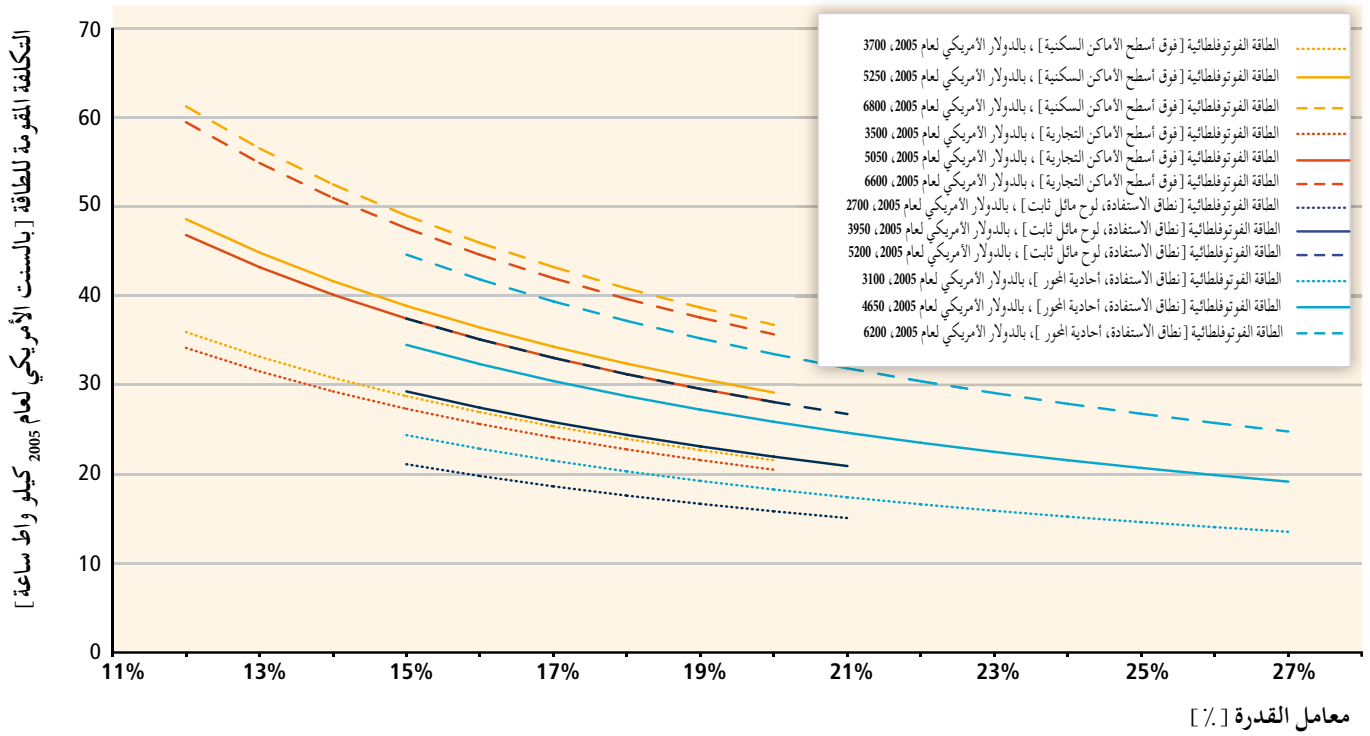


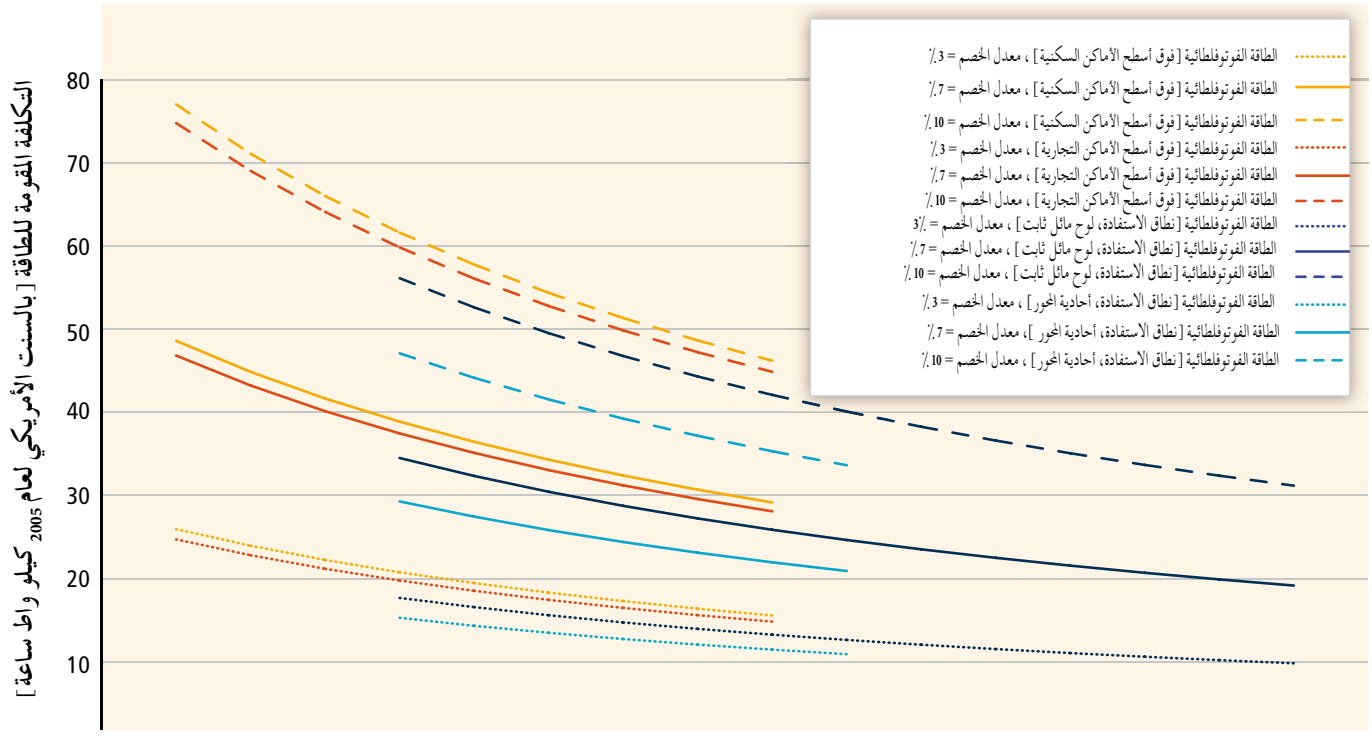
الشكل 3.5 الملخص الفني: حساسية التكلفة المقومة لتوليد الحرارة فيما يتعلق بالتكلفة الاستثمارية باعتبارها دالة لمعامل القدرة. (يفترض أن يكون سعر الخصم 7 في المائة، وتكاليف التشغيل والصيانة السنوية بالدولار الأمريكي لعام 2005، 5.6 و14/ كيلو واط، وفترة صلاحية (عُمر) التشغيل محددة بما يبلغ 12.5و20 سنة لنظم تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية في الصين ونظم الأنواع المختلفة في بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، على التوالي). [الشكل 3.16].

تبايناً واسعاً من مستوى أدنى بالدولار الأمريكي (لعام 2005)، 0.074/ كيلو واط ساعة إلى مستوى أعلى يبلغ بالدولار الأمريكي (لعام 2005)، 0.92/ كيلو واط ساعة، وفقاً لمجموعة ونطاق كبيرين لمحددات المدخلات. وبتضييق نطاق تباينات المحددات، جاءت التكلفة المقومة للكهرباء في عام 2009 بالنسبة لتوليد الطاقة الفوتوفلطائية على نطاق ملائم للاستفادة في مناطق كثافة إشعاع شمسي كبيرة في أوروبا والولايات المتحدة، في نطاق يناهز بالدولار الأمريكي (لعام 2005)، ما بين 0.15/ كيلو واط ساعة و0.4/ كيلو واط ساعة بمعدل خصم يبلغ7 في المائة، بيد أنها قد تكون أكثر أو أقل وفقاً للمصدر المتاح وغير ذلك من ظروف إطار العمل. ويظهر الشكل 3.6 بالملخص الفني تبايناً واسعاً للتكلفة المقومة للطاقة الفوتوفلطائية حسب نوع النظام، والتكلفة الاستثمارية، ومعدلات الخصم، ومعاملات القدرة. [1.3.2، 3.8.3، 10.5.1، المرفق الثاني، المرفق الثالث].

وتتوقع وكالة الطاقة الدولية أن تبلغ تكاليف توليد الكهرباء في عام 2020 بالسنت الأمريكي لعام 2005، ما بين 14.5/ كيلو واط ساعة و28.6/ كيلو واط ساعة لقطاع الأماكن السكنية، وما يبلغ بالسنت الأمريكي لعام 2005، ما بين 9.5/ كيلو واط ساعة و19/ كيلو واط ساعة لقطاع الخدمات، وفي ظل أحوال مواتية 2000 كيلو واط ساعة/ كيلو واط (يكافئ 22.8 في المائة من معامل القدرة) وفي ظل ظروف أقل مواتاة 1000 كيلو واط ساعة/ كيلو واط (ما يكافئ 11.4 في المائة من معامل القدرة)، على التوالي. ولدى وزارة شؤون الطاقة بالولايات المتحدة غاية أكثر طموحاً، حيث تهدف إلى تحقيق تكلفة مقومة للطاقة الكهربائية تبلغ بالسنت الأمريكي لعام 2005، ما بين 5/ كيلو واط ساعة و10/ كيلو واط ساعة، وفقاً للمستخدم النهائي، بحلول عام 2015. [3.8.3].

توليد الكهرباء بتركيز الطاقة الشمسية: تمثل نظم توليد الكهرباء بتركيز الطاقة الشمسية، تكنولوجياً معقدة تعمل في بيئة معقدة للموارد والتمويل؛ لذا فثمة كثير من العوامل التي تؤثر في التكلفة المقومة للطاقة الكهربائية. وغالباً ما يلتبس الأمر عند مقارنة التكاليف الاستثمارية المعممة لمحطات توليد الكهرباء بتركيز الطاقة الشمسية، بغيرها من مصادر الطاقة المتجددة، لأن المستويات المتباينة للتخزين المتكامل للطاقة الحرارية لا تزيد الاستثمارات فحسب، بل إنها تحسن الناتج السنوي ومعامل القدرة لمحطة توليد الطاقة. وبالنسبة لمحطات الأحواض الكبيرة الأحدث تكنولوجيا، تقدر التكاليف الاستثمارية الحالية بما يتراوح بالدولار الأمريكي لعام 2005، بين 3.82/ واط (بدون تخزين) و7.65/ واط (بالتخزين) وفقاً لتكاليف العمالة والأراضي، والتكنولوجيات المستخدمة، وحجم وتوزيع كثافة الإشعاع للحزم الضوئية، وعلاوة على ذلك لمدى التخزين وحجم مجال الطاقة الشمسية. ولكن بيانات الأداء المتعلقة بالمحطات الحديثة لتركيز الطاقة الشمسية محدودة، لاسيما للمحطات المزودة بإمكانيات لتخزين الطاقة الحرارية، لأن المحطات الجديدة لم تدخل حيز التشغيل إلا منذ عام 2007 فصاعداً. وبلغت معاملات القدرة للمحطات الأولى غير المزودة بقدرات تخزينية ما يناهز 28 في المائة. وبالنسبة للمحطات الحديثة غير المزودة بقدرات تخزينية، هناك تصور لأن تبلغ معاملات القدرة بها ما يتراوح تقريباً بين 20 و30 في المائة؛ وبالنسبة للمحطات المزودة بقدرات لتخزين الطاقة الحرارية، يمكن الوصول إلى معاملات قدرة تتراوح ما بين 30 و75 في المائة. واستناداً إلى المنهجية المقننة المبينة إجمالاً في المرفق الثاني وبيانات الأداء الموجزة في المرفق الثالث، جرى حساب





الشكل 3.6 الملخص الفني: التكلفة المقومة لتوليد الطاقة الفوتوفلطائية، 2008–2009: (أعلى) كدالة لمعامل القدرة والتكلفة الاستثمارية*، *** كدالة لمعامل القدرة ومعدل الخصم **،***. [الشكل 3.19]

ملاحظات: * معدل الخصم يفترض أن يساوي 7 في المائة. ** التكلفة الاستثمارية للنظم المركبة فوق أسطح الأماكن السكنية يفترض أن تبلغ بالدولار الأمريكي 5500 دولار أمريكي / كيلو واط، وللنظم المركبة فوق أسطح الأماكن التجارية تبلغ بالدولار الأمريكي 5150، وللمشروعات ذات الألواح المائلة الثابتة للاستفادة واسعة النطاق تبلغ بالدولار الأمريكي 3650 / كيلو واط، وللمشروعات أحادية المحور للاستفادة واسعة النطاق تبلغ بالدولار الأمريكي 4050 / كيلو واط. *** والتكلفة السنوية للتشغيل والصيانة يفترض أن تبلغ بالدولار الأمريكي ما بين 41 إلى 64 / كيلو واط، وعمر الصلاحية 25 عاماً.

التكلفة المقومة للكهرباء لمحطة توليد حوضية للطاقة الشمسية لها قدرة تخزين حرارية مدتها ست ساعات في عام 2009 عبر مجموعة ونطاق واسعين لمحددات المدخلات، بأنها تتراوح بالسنت الأمريكي لعام 2005 ما بين ما يربو قليلاً على 10 / كيلو واط ساعة وزهاء 30 / كيلو واط / ساعة. ويؤدى تقييد نطاق معدلات

الخصم في حدود 10 في المائة إلى نطاق أضيق قليلاً يناهز بالسنت الأمريكي لعام 2005، 20 / كيلو واط ساعة إلى 30 / كيلو واط ساعة، وهو ما يتسق تقريباً مع نطاق يتراوح بالسنت الأمريكي ما بين 18 إلى 27 / كيلو واط ساعة وفقاً لما ورد في الدراسات السابقة. وتؤثر المعايير المحددة للتكاليف والأداء، بما في ذلك سعر الخصم الساري ومعامل القدرة، على التقدير المعين للتكلفة المقومة للكهرباء، رغم أنه يتوقع ألا تتباين التكلفة المقومة للكهرباء للتهيئات المختلفة للنظم الشمسية للأحوال المماثلة الأخرى، إلا بصورة هامشية. [3.8.4].

وقدرت نسبة التعلم بالنسبة لتركيز الطاقة الشمسية، بنحو 10 ± 5 ٪ في المائة. وتبلغ الأهداف المحددة للتكلفة المقومة للكهرباء بالسنت الأمريكي لعام 2005، ما يتراوح بين 6 / كيلو واط ساعة و8 / كيلو واط ساعة بقدرة تخزين تبلغ 6 ساعات بحلول عام 2015، وما يتراوح بالسنت الأمريكي لعام 2005 بين 50 / كيلو واط ساعة و 60 / كيلو واط ساعة بقدرة تخزين تبلغ ما بين 12 و17ساعة بحلول عام 2020. ويحث الاتحاد الأوروبي الخطي لتحقيق أهداف مماثلة. [3.8.4]

3.9 إمكانيات الانتشار

3.9.1 تنبؤات الأمد القريب (2020)

يُوجز الجدول 3.1 بالملخص الفني النتائج التي توصلت إليها الدراسات المتاحة بشأن إمكانية نشر استخدام الطاقة الشمسية حتى عام 2020، وفقاً لما أوردته الدراسات السابقة. ونورد فيما يلي مصادر اعتمدت عليها البيانات الواردة بالجداول: المجلس الأوروبي للطاقة المتجددة – ومنظمة السلام الأخضر (سيناريوهات تطور (ثورة) الطاقة والتصورات المرجعية والمتقدمة لها)؛ووكالة الطاقة الدولية (خرائط طرق لتكنولوجيات تركيز الطاقة الشمسية والطاقة الفوتوفلطائية). وفيما يتعلق بالبنود الخاصة بالطاقة الحرارية الشمسية، يرجى ملاحظة أن الإسهامات السلبية للطاقة الشمسية لم تدرج ضمن هذه البيانات؛ وعلى الرغم من أن هذه التكنولوجيا تحد من الطلب على الطاقة، فإنها تمثل جزءاً لا يتجزأ من سلسلة الإمداد المدرجة ضمن إحصائيات الطاقة. [3.9]

3.9.2 انتشار الاستخدام طويل الأمد للطاقة الشمسية في إطار تخفيف انبعاثات الكربون

يعرض الشكل 3.7 بالملخص الفني نتائج ما يربو على 150 سيناريو طويل الأمد للنمذجة يرد بيانها في الفصل 10. وتتباين السيناريوهات المحتملة لنشر الاستخدام تبايناً واسعاً – من اضطلاع الطاقة الشمسية بدور هامشي في عام 2050 إلى أن تغدو إحدى المصادر الرئيسية للإمداد بالطاقة. وعلى الرغم من أن الطاقة الشمسية المباشرة لا تقدم اليوم سوى جزءاً ضئيلاً جداً من الإمدادات بالطاقة العالمية، فلا مراء أن هذا المصدر للطاقة لديه أحد أكبر الآفاق المستقبلية.

ويعد الحد من التكلفة قضية رئيسية لجعل الطاقة الشمسية المباشرة أكثر أهمية اقتصادياً، ولوضعها في مكانة ملائمة لحصد حصة أكبر من سوق الطاقة العالمية. ولا يمكن تحقيق هذا إلا إذا جرى الحد من تكاليف تكنولوجيات الطاقة الشمسية إبان تحركها عبر منحنيات التعلم الخاصة بها، وهو ما يعتمد في المقام الأول على حجم السوق. وفضلاً عن ذلك، ينبغي مواصلة بذل الجهود الحثيثة للبحث والتطوير لكي نكفل عدم تعرض منحدرات صعود منحنيات التعلم للاستواء بصورة مبكرة جداً. ومازالت التكاليف الحقيقية لنشر استخدام الطاقة الشمسية غير معلومة، لأن السيناريوهات الرئيسية القائمة اليوم لنشرها لا تنظر سوى إلى تكنولوجيا واحدة فحسب. ولا تراعي هذه السيناريوهات المزايا المشتركة للإمداد بالطاقة المتجددة من خلال نطاق لمصادر مختلفة للطاقة المتجددة ولتدابير كفاءة الطاقة.

وتعتمد إمكانيات نشر استخدامها على الموارد الفعلية وإتاحة التكنولوجيا المحددة الخاصة بها. ومع ذلك، فإن وضع إطار عمل تنظيمي وقانوني في موضعه الصحيح يمكن أن يعزز أو يعرقل تطبيقات الطاقة الشمسية المباشرة. ووضع معايير دنيا للبناء فيما يتعلق بالتهيئة والعزل يمكن أن يحد من الطلب على الطاقة للمباني بصورة كبيرة، ويمكن كذلك أن يزيد حصة الإمداد بالطاقة المتجددة دون زيادة الطلب الكلي. ويمكن باتباع تدابير شفافة ومبسطة لتركيب وتوصيل مصادر للطاقة الشمسية بالبنية الأساسية للشبكة الحالية أن تخفض بدرجة أكبر التكاليف المرتبطة بالطاقة الشمسية المباشرة.

4 الطاقة الحرارية الأرضية

4.1 مقدمة

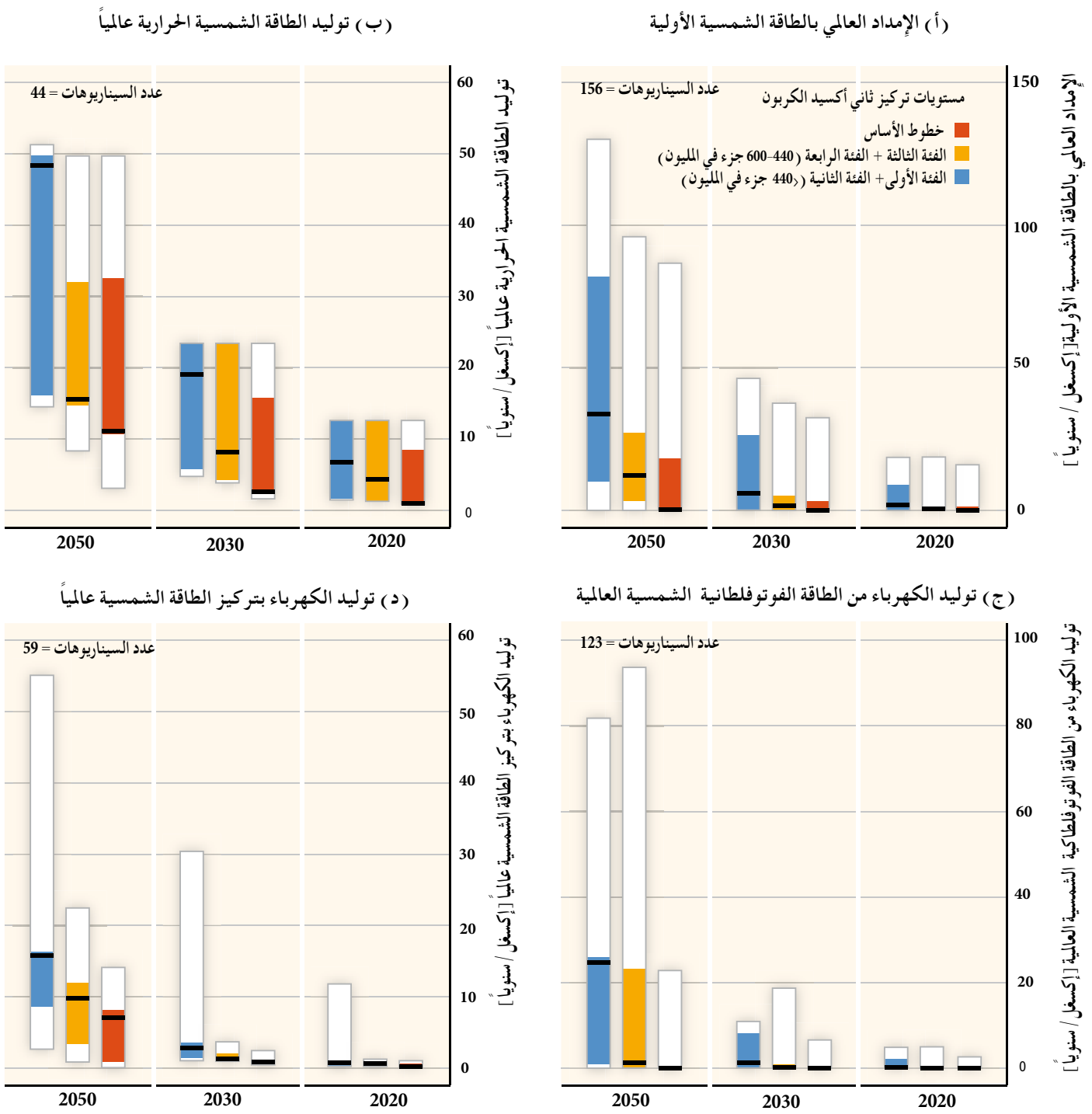
تتكون موارد الطاقة الحرارية الأرضية من الطاقة الحرارية المستمدة من باطن الأرض المخزونة في كل من الصخور والبخار المحتبس أو المياه السائلة، وتستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية في محطات الطاقة الحرارية أو في التطبيقات المنزلية والصناعية الزراعية الأخرى التي تتطلب الحرارة وكذلك في تطبيقات توليد الحرارة والطاقة المشترك. وليس لتغير المناخ أى تأثيرات تذكر على فعالية الطاقة الحرارية الأرضية. [4.1]

والطاقة الحرارية الأرضية مورد متجدد حيث إن الحرارة المحتبسة في خزان نشيط يتم استعادتها باستمرار عن طريق إنتاج الحرارة الطبيعية، والنقل

الجدول 3.1 الملخص الفني: التطور التراكمي لقدرات الطاقة الشمسية [3.7]

		الحرارة الشمسية بدرجة منخفضة (جيجاواط / حرارة)			الكهرباء المستمدة من الطاقة الفلطائية الشمسية (جيجاواط)			طاقة الشمس المركزة (جيجاواط)		
	السنة	2009	2015	2020	2009	2015	2020	2009	2015	2020
	القدرة المركبة المتراكمة الحالية	180			22			0.7		
أسم السيناريو	Greepeace – IREC (السيناريو المرجعي)		180	230		44	80		5	12
	Greepeace – IREC (السيناريو التطوري / الثوري)		715	1,875		98	335		25	105
	Greepeace – IREC (السيناريو المتقدم)		780	2,210		108	439		30	225
	خرائط الطريق للوكالة الدولية للطاقة		N/A			95[1]	210		N/A	148

ملاحظات: 1 بيانات جرى استكمالها استقرائياً من متوسط معدل النمو من 2010 إلى 2020

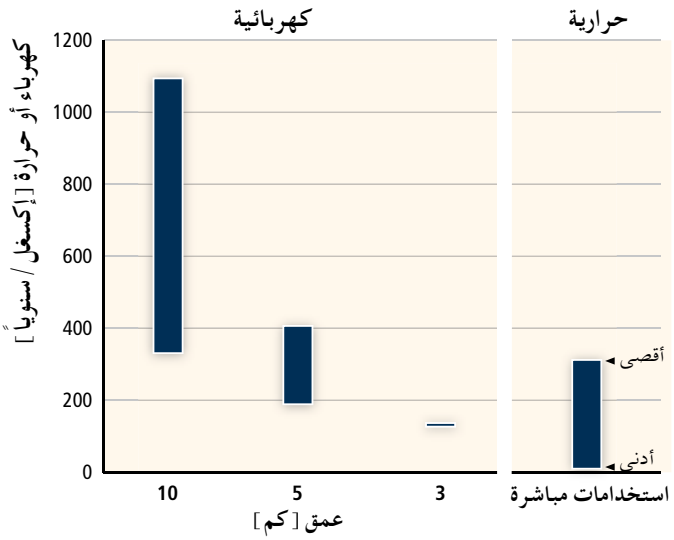


الشكل 3.7 الملخص الفني: الإمداد العالمي بالطاقة الشمسية وتوليدها في السيناريوهات طويلة الأمد (المتوسط، ونطاق المئينة من 25 إلى 75، والنطاق الكامل لنتائج السيناريوهات؛ والترميز اللوني يستند إلى فئات مستويات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام 2100؛ والعدد المحدد للسيناريوهات الأساسية للشكل، موضحة في الجانب العلوي الأيمن). (أ) الإمداد العالمي بالطاقة الشمسية الأساسية؛ (ب) توليد الطاقة الشمسية الحرارية عالمياً؛ (ج) توليد الكهرباء من الطاقة الفوتوفلطائية الشمسية العالمية؛ (د) توليد الكهرباء بتركيز الطاقة الشمسية عالمياً. [الشكل 3.22]

والحمل من المناطق المحيطة الأكثر سخونة، والسوائل الحرارية الأرضية تتجدد بإعادة الشحن الطبيعي وإعادة حقن السوائل المبردة. [4.1]

4.2 إمكانيات الموارد

يقدر أن الحرارة المخزونة التي يمكن الحصول عليها من الصخور الجافة الساخنة في الأرض تتراوح من 110 إلى 403 × 10^{6} إكسغل نزولاً إلى 10كم في العمق، ومن 56 إلى 140×10^{6} إكسغل إلى 5 كم في العمق، ونحو 34×10^{6} إكسغل نزولاً إلى 3 كم في العمق. وباستخدام تقديرات سابقة للموارد الحرارية المائية وحسابات للنظم الحرارية الأرضية المعززة (أو المصممة هندسياً) مستمدة من تقديرات الحرارة المخزونة في الأعماق، تتراوح الإمكانيات الفنية للطاقة الحرارية الأرضية التي يمكن استخدامها في توليد الكهرباء من 118 إلى 146 إكسغل/سنوياً (على عمق 3 كم) ومن 318 إلى 1109 إكسغل/سنوياً (على عمق 10كم) وتتراوح بالنسبة



الشكل 4.1 الملخص الفني: الإمكانيات الفنية للطاقة الحرارية الأرضية من أجل إنتاج الكهرباء والاستخدامات المباشرة (الحرارة). لا تتطلب الاستخدامات المباشرة عادة عمليات تطوير لأعماق تزيد على نحو ثلاثة كم. [الشكل 4.2]

للاستخدام المباشر من 10 إلى 312 إكسغل/سنوياً (الشكل 4.1 الملخص الفني) [4.2.1].

والإمكانيات الفنية معروضة على أساس إقليمي في الجدول 4.1 بالملخص الفني. ويستند التقسيم الإقليمي إلى المنهج الذي يستخدمه معهد بحوث الطاقة الكهربائية لتقدير الإمكانيات الحرارية الأرضية النظرية بالنسبة لكل بلد ثم للبلدان مجمعة إقليمياً. وهكذا، فإن التفصيل الحالي للإمكانيات الفنية العالمية يستند إلى عوامل تفسر التباينات الإقليمية في متوسط معدل الانحدار الحراري الأرضي ووجود إما عدم انتظام حراري أرضي متبدد أو إقليم مرتفع الحرارة منتسب مع عملية لتكوين البراكين أو حدود صفيحة أرضية. والفصل بين الإمكانيات الكهربائية والحرارية (الاستخدامات المباشرة) هو فصل تعسفي نوعاً ما حيث إن معظم موارد الحرارة الأعلى يمكن استخدامها لأي منهج، أو لكلاهما، في تطبيقات توليد الحرارة والطاقة المشترك حسب ظروف السوق المحلية. [4.2.2].

والحرارة المستخرجة لتحقيق الإمكانيات الفنية يمكن أن تجدد بصورة كاملة أو جزئية في المدى الطويل بتدفق الحرارة الأرضية القارية التي تبلغ 315 إكسغل/سنوياً بمتوسط دفق قدره 65 ملي واط للمتر المربع. [4.2.1]

4.3 التكنولوجيا والتطبيقات

يجرى استخراج الطاقة الحرارية الأرضية حالياً باستخدام آبار ووسائل أخرى تنتج سوائل ساخنة من: (أ) خزانات حرارية مائية لها نفاذية عالية بصورة طبيعية، أو (ب) النظم الحرارية الأرضية المعززة أو المصممة هندسياً بمسارات اصطناعية للسوائل (الشكل 4.2 بالملخص الفني). والتكنولوجيات المستخدمة في توليد الكهرباء من الخزانات الحرارية المائية ناضجة ويُعتمد عليها، وهي مستخدمة منذ نحو 100 سنة. كذلك فإن التكنولوجيات المستخدمة للتسخين المباشر باستخدام مضخات الحرارة الأرضية (مضخات الحرارة الأرضية) لتدفئة المدن وغير ذلك من التطبيقات، ناضجة هي الأخرى. والتكنولوجيات المستخدمة في النظم الحرارية الأرضية المصممة هندسياً في مرحلة الإثبات لجدواها. [4.3]

والطاقة الكهربائية المستخرجة من الطاقة الحرارية الأرضية ملائمة بصفة خاصة للإمداد بطاقة حمل الأساس، ولكن يمكن أيضاً نقلها واستخدامها للوفاء بالطلب في أوقات الذروة. ومن ثم، فإن الطاقة الكهربائية المستمدة من الحرارة الأرضية يمكن أن تكمل التوليد المتباين للكهرباء [4.3]

الجدول 4.1 الملخص الفني: الإمكانيات الفنية الحرارية الأرضية على القارات لأقاليم وكالة الطاقة الدولية

الإقليم[1]	الإمكانيات الفنية الكهربائية (إكسغل / سنة) على عمق:						الإمكانيات الفنية للاستخدامات المباشرة (إكسغل / سنة)	
	3 كم		5 كم		10 كم			
	أدنى	أعلى	أدنى	أعلى	أدنى	أعلى	أدنى	أعلى
منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، أمريكا الشمالية	25.6	31.8	38.0	91.9	69.3	241.9	2.1	68.1
أمريكا اللاتينية	15.5	19.3	23.0	55.7	42.0	146.5	1.3	41.3
منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، أوروبا	6.0	7.5	8.9	21.6	16.3	56.8	0.5	16.0
أفريقيا	16.8	20.8	24.8	60.0	45.3	158.0	1.4	44.5
الاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية	19.5	24.3	29.0	70.0	52.8	184.4	1.6	51.9
الشرق الأوسط	3.7	4.6	5.5	13.4	10.1	35.2	0.3	9.9
آسيا النامية	22.9	28.5	34.2	82.4	62.1	216.9	1.8	61.0
منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، المحيط الهادئ	7.3	9.1	10.8	26.2	19.7	68.9	0.6	19.4
الإجمالي	117.5	145.9	174.3	421.0	317.5	1,108.6	9.5	312.2

ملاحظة 1: للإطلاع على التعريفات الإقليمية والمجموعات القطرية انظر المرفق الثاني.

وحيث إن الموارد الحرارية الأرضية موجودة تحت الأرض، فقد تطورت أساليب استكشافها (بما في ذلك المسوحات الجيولوجية، والكيميائية الأرضية والجيوفيزيائية) لتحديد مواقعها وتقييمها. وتتمثل أهداف استكشاف الحرارة الأرضية في تحديد خزانات الحرارة الأرضية المتوقعة وتحديد مرتبتها قبل الحفر. وحالياً، يتم حفر الآبار الحرارية الأرضية لطائفة من الأعماق تصل إلى 5 كم باستخدام أساليب الحفر الدوّار التقليدية المماثلة لتلك التي تستخدم للوصول لخزانات النفط والغاز. وتتيح تكنولوجيات الحفر المتقدمة التشغيل في ظل درجات الحرارة العالية وتوفر قدرة على تحديد الاتجاهات. [4.3.1]

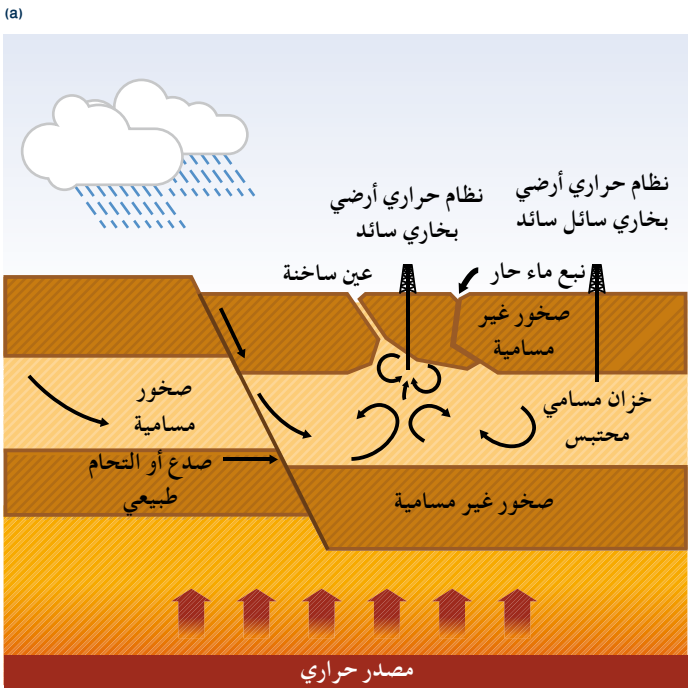
والأنواع الأساسية لمحطات الطاقة الحرارية الأرضية المستخدمة حالياً هي التوربينات التي تكثف البخار ووحدات الدورة الثنائية. ويمكن أن تكون محطات التكثيف من نوع البخار الوميضي أو الجاف (والأخير لا يتطلب فصل الماء المالح، وتنتج عليه بالتالي محطات أكثر بساطة وأقل تكلفة) وهي أكثر شيوعاً من الوحدات الثنائية. ويتم تركيبها في الموارد متوسطة وعالية درجات الحرارة (تفوق أو تساوي 150 درجة مئوية) بقدرات تتراوح عادة بين 20 و110 ميجا واط كهرباء. وفي محطات الدورة الثنائية، تمر السوائل الحرارية الأرضية من خلال مبادل حراري يقوم بتسخين سائل تشغيل آخر له نقطة غليان منخفضة، يتبخر ويحرك التوربين. وهي تسمح باستخدام الخزانات الحرارية المائية الأقل في درجة حرارتها وخزانات النظم الحرارية الأرضية المصممة هندسياً (عادة من 70 درجة مئوية إلى 170 درجة مئوية)، ويتم تشييدها عادة كوحدات معيارية مترابطة وتبلغ قدرتها عدداً قليلاً من الميجا واط. وتتضمن المحطات المشتركة أو الهجينة نوعين أو أكثر من الأنواع الأساسية السابقة لتحسين تعدد الاستعمالات، وزيادة الكفاءة الحرارية العامة، وتحسين إمكانية تتبع الحمل، وتغطى بكفاءة نطاقاً واسعاً من درجات حرارة الموارد. وأخيراً، فإن محطات التوليد المشترك، أو محطات توليد الحرارة والطاقة المشترك، تنتج الكهرباء والمياه الساخنة للاستخدام المباشر على حد سواء. [4.3.3].

وتتطلب خزانات النظم الحرارية الأرضية المصممة هندسياً محاكاة المناطق تحت السطحية حيث تكون درجات الحرارة مرتفعة بما يكفي لاستخدامها الفعال. ويتم إنشاء خزان يتكون من شبكة صدوع أو تعزيزه لتوفير مسارات للسوائل مترابطة جيداً بين آبار الحقن والإنتاج. ويتم استخراج الحرارة بتدوير المياه خلال الخزان في حلقة مغلقة ويمكن استخدامها لتوليد الطاقة وللتسخين الصناعي والسكني (انظر الشكل 4.2 بالملخص الفني). [4.3.4]

ويوفر الاستخدام المباشر تدفئة وتبريد المباني بما في ذلك تدفئة المدن، وبرك الأسماك، والدفيئات والحمامات، وأماكن العلاج الصحي، وحمامات السباحة، وتطهير المياه/وتحليتها، والحرارة الصناعية والحرارة اللازمة لتجهيز المنتجات الزراعية والتجفيف المعدني. ورغم أنه يمكن المجادلة بشأن ما إذا كان تطبيق المضخات الحرارية الأرضية تطبيقاً «حقيقياً» للطاقة الحرارية الأرضية أم لا، فإنه يمكن استخدامه في أي مكان في العالم تقريباً للتدفئة والتبريد، والاستفادة من حرارة الأرض أو المياه الجوفية الدائمة نسبياً في نطاق يمتد من 4 درجات مئوية إلى 30 درجة مئوية. [4.3.5]

4.4 حالة الأسواق والتنمية الصناعية عالمياً وإقليمياً

لنحو قرن تقريباً، استخدمت موارد الحرارة الأرضية لتوليد الكهرباء. وفي 2009، كانت سوق كهرباء الحرارة الأرضية، تضم نطاقاً واسعاً من المشتركين بـ 10.7 جيجا واط كهرباء من القدرة المركبة. وكان يتم توليد كهرباء تزيد على 67 تيرا واط ساعة كهرباء (0.24 إكسغل) في 2008 في 24 بلداً (الشكل 4.3 بالملخص الفني) وفرت أكثر من 10 ٪ من إجمالي الطلب



الشكل 4.2 أ الملخص الفني: مخططات تبين موارد (حرارية مائية) حملية [الشكل 4.1 أ]

على الكهرباء في 6 منها. وكان هناك أيضاً 50.6 جيجا واط حرارة من التطبيقات الحرارية الأرضية المباشرة العاملة في 78 بلداً، تولد 121.7 تيرا واط ساعة حرارة (0.44 إكسغل) من الحرارة في 2008. وأسهم توليد الحرارة من المضخات الحرارية الأرضية بنسبة 70 ٪ (35.2 جيجا واط حرارة) من هذه الطاقة المركبة للاستخدام المباشر. [4.4.1، 4.4.3]

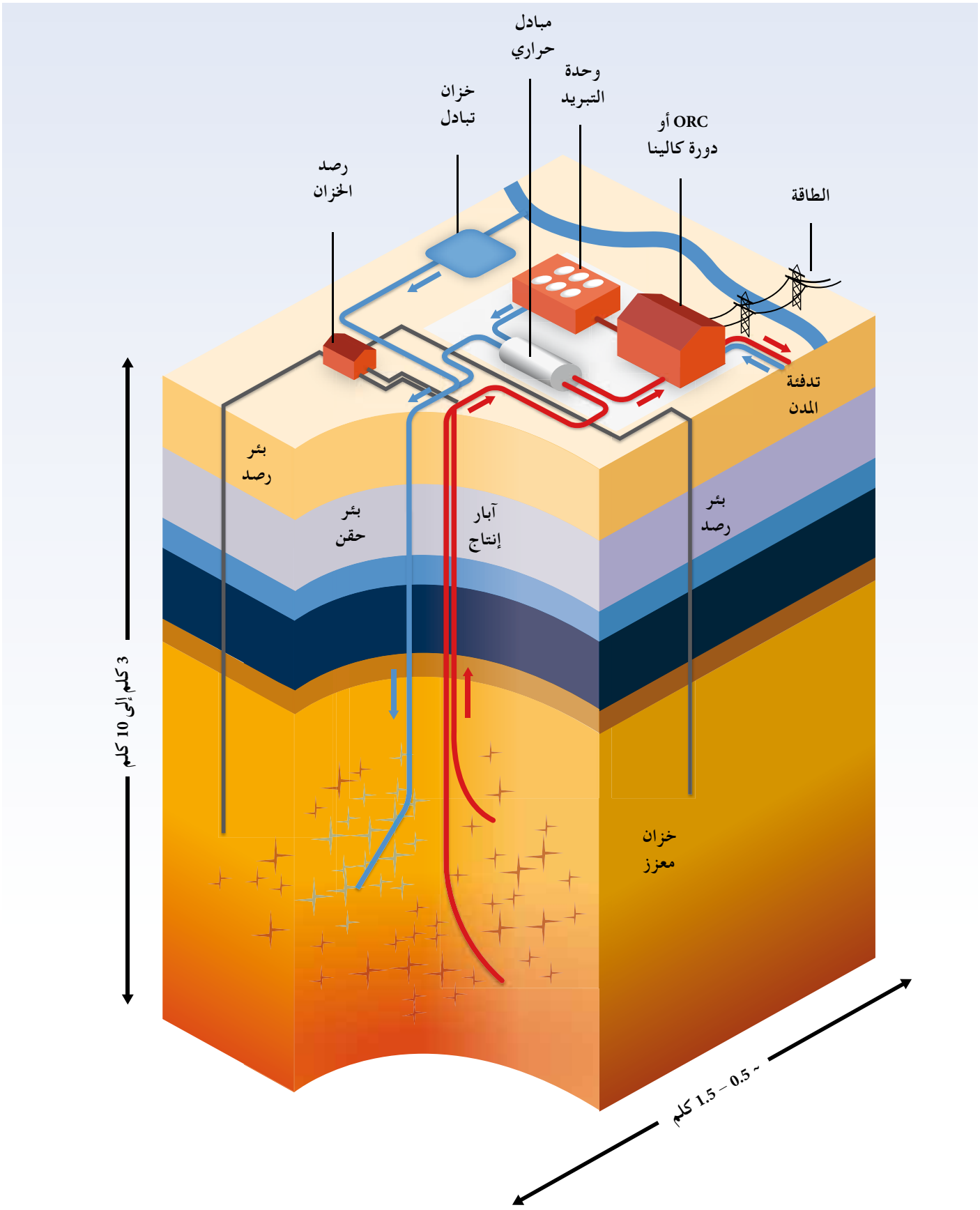
وبلغ المتوسط العالمي لمعدل النمو السنوي في القدرة المركبة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الحرارية الأرضية خلال السنوات الخمس الماضية (2005 – 2010) 3.7 ٪، وبلغ في الأربعين عاماً الماضية (1970 – 2010)، 7 ٪. وكانت المعدلات بالنسبة للاستخدامات المباشرة للطاقة الحرارية الأرضية 12.7 ٪ (2005 – 2010)، و 11 ٪ فيما بين 1975 و 2010 [4.4.1].

لاتزال أنظمة الحرارة الأرضية المصممة هندسيا في مرحلة الإثبات لجدواها بمحطة صغيرة واحدة قيد التشغيل في فرنسا ومشروع رائد في ألمانيا. وفي أستراليا أنفقت استثمارات كبيرة على استكشاف نظم الحرارة الأرضية المصممة هندسياً وتطويرها في السنوات الأخيرة، وقد زادت الولايات المتحدة مؤخراً الدعم المقدم للبحوث المتصلة بنظم الحرارة الأرضية المصممة هندسياً وتطويرها وإثباتها كجزء من برنامج وطني للحرارة الأرضية أعيد إحياؤه [4.4.2].

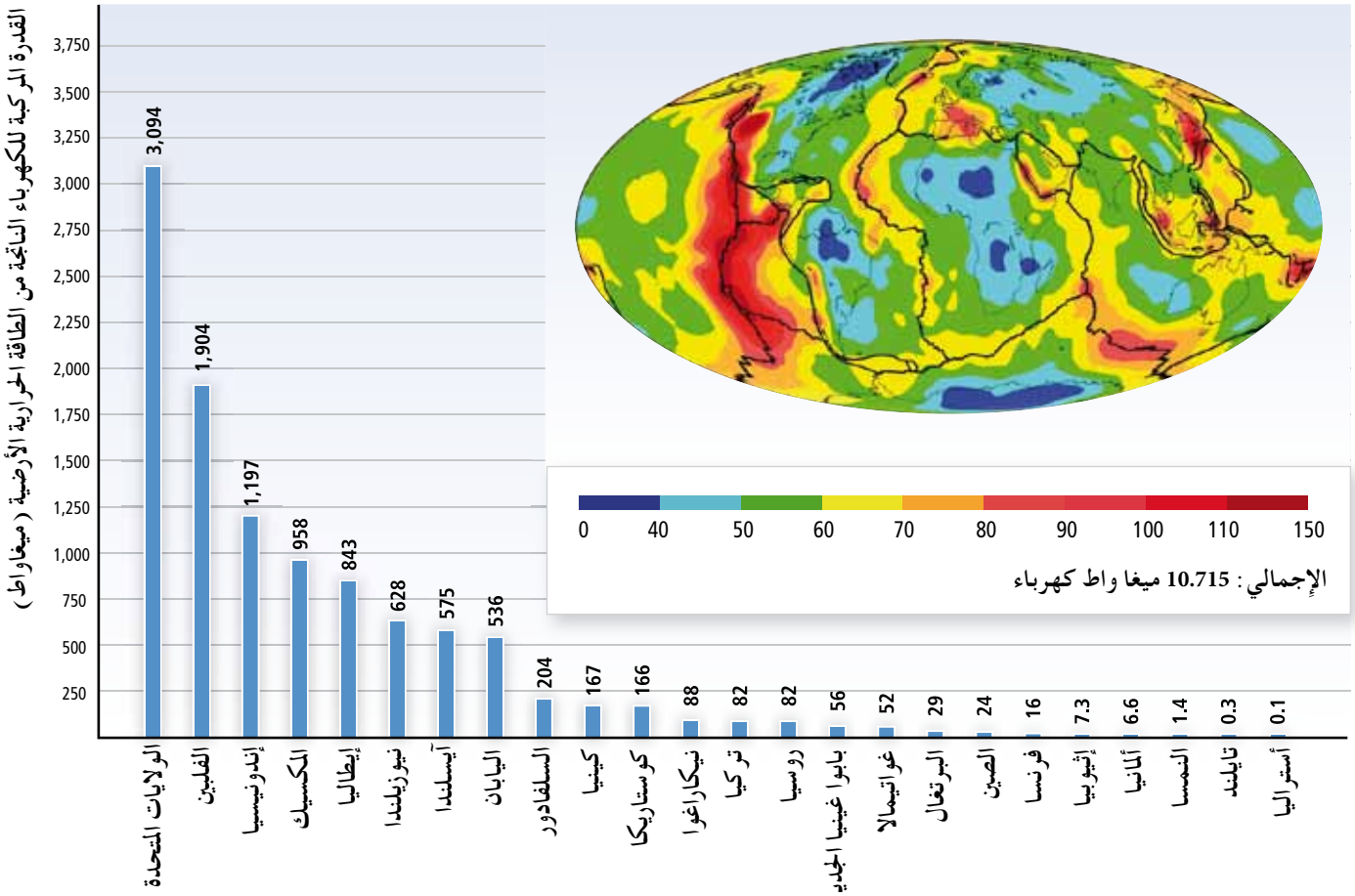
وفي 2009، كانت الأنواع الرئيسية (والنسب المئوية النسبية) لتطبيقات الحرارة الأرضية في الاستخدام السنوي للطاقة: تدفئة المباني (63 ٪) الاستحمام والاستجمام (25 ٪) زراعة البساتين (الدفيئات وتدفئة التربة) (5 ٪) حرارة التجهيز الصناعي والتجفيف الزراعي (3 ٪) تربية المائيات (مزارع الأسماك) (3 ٪) وإذابة الثلوج (1 ٪) [4.4.3].

ولكي تبلغ الحرارة الأرضية كامل قوتها في مجال تخفيف تغير المناخ، يستلزم الأمر التغلب على عقبات فنية وغير فنية. ويمكن لتدابير السياسة المختصة بالتكنولوجيا الحرارية الأرضية أن تساعد في التغلب على هذه العقبات [4.4.4].

(b)



الشكل 4.2b الملخص الفني: مخططات تبين موارد (النظم الحرارية الأرضية الموجهة) موصلة. [الشكل 4.1b]



الشكل 4.3 الملخص الفني: قدرة الكهرباء الحرارية الأرضية المركبة حسب البلدان في 2009. يبين الشكل متوسط تدفق الحرارة على النطاق العالمي بالميللي واط للمتر المربع وحدود الصفيحة التكتونية [الشكل 4.5]

4.5 الآثار البيئية والاجتماعية

هناك آثار بيئية واجتماعية متعلقة بالطاقة الحرارية الأرضية وهي على نحو نموذجي تترتبط بالموقع وبالتكنولوجيا. وهذه الآثار يمكن عادة تدبيرها، والآثار البيئية السلبية ضئيلة. وثاني أكسيد الكربون هو الانبعاث الرئيسي من الغازات المسببة للاحتباس الحراري (غازات الدفيئة) من جراء العمليات الحرارية الأرضية، رغم أنه لا ينتج عن الاحتراق، ولكنه ينبعث من مصادر تحدث بصورة طبيعية. وقد توصل مسح ميداني لمحطات الطاقة الحرارية الأرضية العاملة في 2001، إلى وجود انتشار واسع في معدلات ثاني أوكسيد الكربون، بقيم تتراوح من 4 إلى 740 جرام/كيلو واط ساعة كهرباء حسب تصميم التكنولوجيا ومكونات السائل الحراري الأرضي في الخزان الجوفي. والانبعاثات المباشرة من ثاني أوكسيد الكربون بالنسبة لتطبيقات الاستخدام المباشر ليس لها شأن يذكر، في حين يتم تصميم محطات قوى النظم الحرارية الأرضية هندسيا باعتبارها نظم للدوران في طور السيولة مغلقة الحلقة، تبلغ انبعاثاتها المباشرة صفراً. وتتوق تقييمات دورة الحياة أن تقل انبعاثات مكافئات ثاني أوكسيد الكربون عن 50 جرام/كيلو واط ساعة كهرباء بالنسبة لمحطات الطاقة الحرارية الأرضية، وأقل من 80 جرام/كيلو واط ساعة كهرباء بالنسبة للأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسيا المتوقعة، وما بين 14 و 202 جرام/كيلو واط ساعة كهرباء لنظم التسخين المباشر والمضخات الحرارية الأرضية والطاقة المشترك. [4.5، 4.5.1، 4.5.2]

وتقتضي الآثار البيئية المقترنة بمشاريع الطاقة الحرارية الأرضية النظر في طائفة من آثار استخدام الهواء والأرض والمياه محلياً خلال مرحلتي التشييد والتشغيل على حد سواء الشائعتين في معظم مشروعات الطاقة والتي ترتبط خصيصاً بالطاقة الحرارية الأرضية. وتنطوي الأنظمة الحرارية الأرضية على ظواهر طبيعية، وهي عادة ما تفرّغ غازات مختلطة مع بخار ناجمة عن صدوع سطحية، ومعادن ذائبة في المياه من الينابيع الساخنة، قد تكون بعض الغازات خطيرة، لكنها عادة تعالج أو يتم رصدها خلال الإنتاج. وفي الماضي، كان التخلص من المياه المعزولة على سطح الأرض أكثر شيوعاً، لكنه لا يحدث حالياً إلا في ظروف استثنائية. وعادة ما يتم حقن الماء الملحي الحراري الأرضي لإعادته للخزان أو لدعم ضغط الخزان وتفادي الآثار البيئية المعاكسة. ويمكن للتخلص منه على سطح الأرض، إذا تجاوز بقدر مفرط معدلات تدفق الينابيع الحارة الطبيعية، وإن لم يتم تخفيفه بقوة، أن يحدث آثاراً معاكسة على إيكولوجيا الأنهار أوالبحيرات أوالبيئات البحرية. [4.5.3.1]

وقد تتأثر المخاطر المحلية الناجمة عن ظواهر طبيعية، مثل الزلازل متناهية الصغر، وتفجر البخار الحراري المائي، وانخساف الأرض، بتشغيل الحقول الحرارية الأرضية. وخلال 100 سنة من التطوير، لم يحل دمار يذكر بأي من المباني أو الهياكل في نطاق عمليات استغلال الحرارة الأرضية أو بالمجتمع المحلي من جراء زلازل ضحلة مصدرها إنتاج الحرارة الأرضية أو أنشطة الحقن. وقد أثارت بعض مشروعات إثبات جدوى الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً، خاصة في الأماكن المأهولة في أوروبا، معارضة من المجتمع. وتولد عملية حقن المياه الباردة باستخدام الضغط العالي في الصخور الساخنة، وقائع زلزالية صغيرة. ولم تكن الوقائع الزلزالية المستحثة كبيرة بما تكفي لكي تؤدي لإصابات بشرية أو دمار كبير للعقارات، لكن الإدارة السليمة لهذه المسألة سيكون خطوة مهمة لتسهيل التوسع الكبير في مشروعات الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً في المستقبل. [4.5.3.2]

وتتراوح متطلبات استخدام الأرض من 160 إلى 290 متر مربع جيجا واط ساعة كهرباء/سنوياً، باستبعاد الآبار، وما يصل إلى 900 متر مربع جيجا واط ساعة كهرباء/سنوياً، بإدراج الآبار. وتشمل الآثار المميزة لاستخدام الحرارة الأرضية على استخدام الأرضي، تأثيرات على الخصائص الطبيعية القائمة مثل الينابيع، والينابيع الحارة، والمنافذ البركانية الصغيرة. ويمكن للقضايا المتعلقة باستخدام الأرض في مواقع كثيرة (مثل اليابان، والولايات المتحدة، ونيوزيلندا) أن تشكل عقبة كؤوداً أمام زيادة التوسع في التنمية الحرارية الأرضية. [4.5.3.3]

كما يمكن أن يكون للموارد الحرارية الأرضية مزايا بيئية كبيرة مقارنة باستخدام الطاقة الذي تحل محله بطريقة أخرى. [4.5.1]

4.6 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار والتكامل

يمكن تحقيق تكامل الموارد الحرارية الأرضية في كل أنواع أنظمة الإمداد بالطاقة الكهربائية، من الشبكات الكبيرة، المترابطة للنقل على المستوى القاري إلى الاستخدام في الموقع في القرى الصغيرة، المنعزلة أو المباني المستقلة. ونظراً لأن الطاقة الحرارية الأرضية توفر بصورة نموذجية توليد الكهرباء في نطاق الحمل الأساسي، فإن تحقيق تكامل محطات الطاقة الجديدة في أنظمة الطاقة القائمة لا يمثل تحدياً كبيراً. فبالنسبة للاستخدام المباشر للحرارة الأرضية، لم تلاحظ أي مشاكل متعلقة بتحقيق التكامل، وبالنسبة للتبريد والتدفئة، فإن الطاقة الحرارية الأرضية (بما في ذلك المضخات الحرارية الأرضية) منتشرة بالفعل على الأصعدة المحلية والمجتمعية والخاصة بالمدن. ويتناول القسم 8 من هذا الموجز قضايا التكامل بعمق أكبر. [4.6]

وهناك آفاق عدة لتحسين التكنولوجيا والابتكار يمكن أن تقلل تكلفة إنتاج الطاقة الحرارية الأرضية وتؤدي إلى استرداد أعلى للطاقة، وإطالة أجل الحقول والمحطات، وتحسين إمكانية الاعتماد عليها. وستساعد المسوحات الجيوفيزيائية المتقدمة، وإضفاء طابع مثالي على الحقن، وكبح جماح تكوّن القشور/والتحات، ونمذجة محاكاة الخزانات على نحو أفضل، في تقليل مخاطر الموارد عن طريق تحقيق التناسق الأفضل بين القدرة المركبة وقدرة التوليد المستدامة. [4.6]

وفي مجال الاستكشاف، فإن أعمال البحوث والتطوير مطلوبة لتحديد أماكن النظم الحرارية الأرضية المخبأة (أي تلك التي ليس لها مظاهر سطحية) وآفاق النظم الحرارية الأرضية المصممة هندسياً. ويمكن أن يجعل الصقل والاستخدام الواسع لأدوات الاستشعار السريع للحرارة الأرضية، مثل أجهزة الاستشعار المستندة إلى الساتل – والمحمولة جوّاً، التي تعمل بما فوق الطيف، والحرارة تحت الحمراء، والحساسة لكل الألوان عالية التحديد والعاملة بالرادار، جهود الاستكشاف أكثر فاعلية. [4.6.1]

ويتطلب الأمر إجراء بحوث خاصة في تكنولوجيا الحفر وتشييد الآبار لتحسين معدل التغلغل عند الحفر في صخور صلدة ولتطوير تكنولوجيات الفتحة النحيلة المتقدمة، لتحقيق الأهداف العامة الخاصة بتقليل التكلفة وزيادة عمر الاستفادة من مرافق إنتاج الحرارة الأرضية. [4.6.1]

ولايزال في الإمكان تحسين نجاعة مختلف مكونات نظم محطات الطاقة الحرارية الأرضية والاستخدامات المباشرة للحرارة الأرضية، ومن المهم تطوير نظم للتحويل تستخدم الطاقة بفعالية أكبر في السوائل الحرارية الأرضية التي يتم إنتاجها. وهناك إمكانية أخرى هي استخدام آبار النفط والغاز المناسبة والتي يحتمل أن تكون قادرة على الإمداد بالطاقة الحرارية الأرضية اللازمة لتوليد الطاقة. [4.6.2]

ومشروعات الأنظمة الحرارية الأرضية هي قيد إثبات جدواها وفي مرحلة التجريب حالياً. وتتطلب الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً أساليب مبتكرة لمحاكاة قدرة الخزان على الربط والتوصيل بين آبار الحقن والإنتاج لبلوغ معدلات إنتاج تجاري مستدامة مع تقليل مخاطر الزلزال، وتحسين أجهزة المحاكاة العددية وأساليب التقييم للتمكين من وضع تنبؤات يعوّل عليها للتفاعل الكيميائي بين السوائل الأرضية وصخور الخزانات الحرارية الأرضية. كذلك فإن إمكانية استخدام ثاني أوكسيد الكربون كسائل للتشغيل في الخزانات الحرارية الأرضية، خاصة في الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً، قيد الدراسة والتحقيق حيث إنه يمكن أن يوفر وسائل لتعزيز نشر الطاقة الحرارية الأرضية، وتقليل انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون فيما يجاوز مجرد توليد الكهرباء بمورد متجدد خال من الكربون. [4.6.3]

ولا توجد حالياً أي تكنولوجيات مستخدمة لاستخلاص الموارد الحرارية الأرضية الموجودة تحت البحر، لكن من الناحية النظرية، يمكن إنتاج الطاقة الكهربائية مباشرة من منفذ حراري مائي. [4.6.4]

4.7 اتجاهات التكلفة

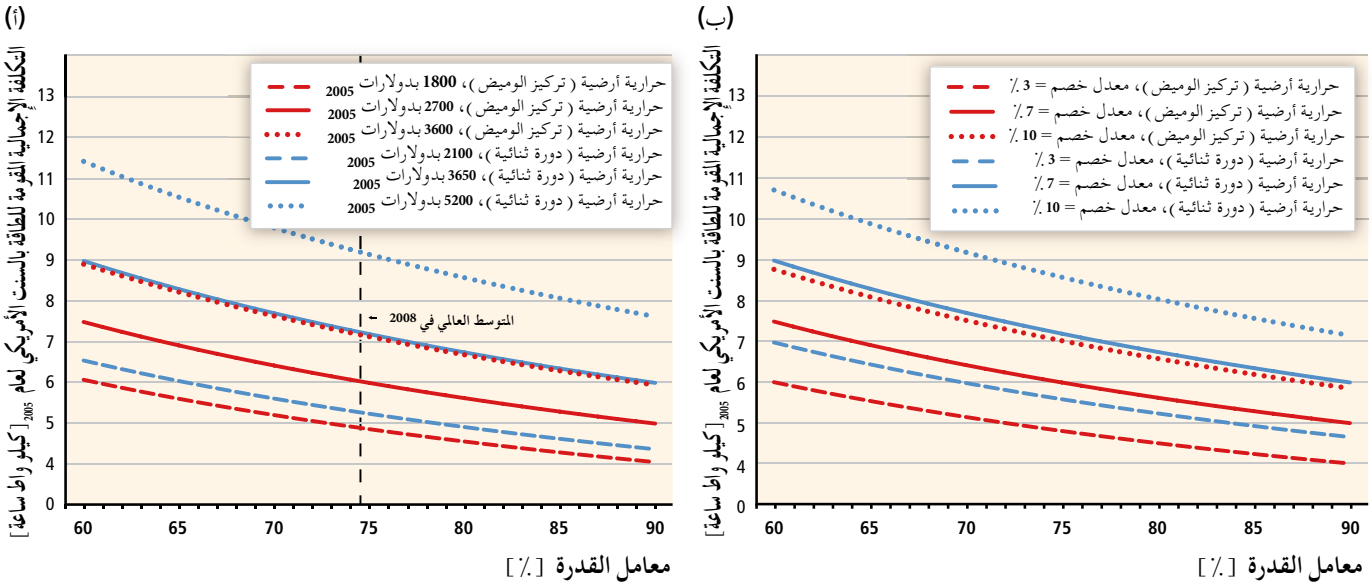
تتضمن مشروعات الحرارة الأرضية عادة تكاليف مسبقة عالية، بسبب الحاجة لحفر الآبار وتشييد محطات الطاقة، وتكاليف تشغيل منخفضة نسبياً. ورغم تباين التكاليف حسب المشروعات، فإن التكاليف الإجمالية المقومة للكهرباء من محطات الطاقة التي تستخدم موارد حرارية مائية تتسم عادة بالقدرة على المنافسة في أسواق الكهرباء الحالية، ويصدق الأمر نفسه على الاستخدامات المباشرة للحرارة الأرضية. ولاتزال الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسيا في مرحلة إثبات الجدوى، لكن تقديرات تكاليفها أعلى من تكاليف الخزانات الحرارية المائية. [4.7]

وتشمل التكاليف الاستثمارية لمشروع نموذجي لإنتاج الكهرباء من حرارة الأرض: (أ) الاستكشاف والتأكد من وجود المورد (من 10 إلى 15 ٪ من الإجمالي)، (ب) حفر آبار الإنتاج والحقن (من 20 إلى 35 ٪ من الإجمالي)، (جـ) المرافق والبنية الأساسية السطحية (من 10 إلى 20 ٪ من الإجمالي)، (د) محطة الطاقة (من 40 إلى 81 ٪ من الإجمالي). وتتراوح التكاليف الاستثمارية الحالية على النطاق العالمي بين 1800 و5200 دولار من دولارات 2005، للكيلو واط كهرباء. [4.7.1]

إن تكاليف تشغيل وصيانة معدات الكهرباء الحرارية الأرضية، بما في ذلك الآبار التكميلية (الآبار الجديدة المطلوبة لكي تحل محل الآبار الفاشلة واستعادة الإنتاج الضائع أو قدرة الحقن)، قدرت بمبلغ يتراوح من 152 إلى 187 من دولارات 2005 للكيلو واط كهرباء سنوياً، لكنها يمكن أن تكون أقل كثيراً في بعض البلدان (من 83 إلى 117 من دولارات 2005 للكيلو واط كهرباء سنوياً في نيوزيلندا). [4.7.2]

كما أن معامل طول عمر محطة الطاقة وقدرتها من المحددات الاقتصادية المهمة. وقد بلغ متوسط معامل القدرة على النطاق العالمي في 2008 بالنسبة لمحطات الطاقة الحرارية الأرضية القائمة 74.5 ٪، وبتركيبات جديدة أكثر من 90 ٪. [4.7.3]

واستناداً لمنهجية معيارية معروضة في المرفق الثاني وبيانات التكلفة والأداء الموجزة في المرفق الثالث، تم حساب التكاليف الإجمالية المقومة لكهرباء المشروعات الحرارية الأرضية الحرارية المائية عبر مجموعة كبيرة ونطاق شاسع من محددات المدخلات على أنها تتراوح من 3.1 سنت من سنتات 2005 للكيلو واسط ساعة إلى 17 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة، حسب النوع المعين للتكنولوجيا وظروف المشروع المحددة. ويبين الشكل 4.4 بالملخص الفني، باستعمال مجموعة ونطاق ضيقين من المحددات، أنه بمعدل خصم يبلغ 7 ٪، فإن المشروعات حرارية المائية الجديدة المركبة التي تشتغل بمعامل قدرة عالمي متوسط يبلغ 74.5 ٪ (وفي ظل شروط أخرى محددة في [4.7.4] تراوحت تكاليفها الإجمالية المقومة للكهرباء من 4.9 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة إلى 7.2 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة لمشروعات الوميض المكثف، ولمحطات الدورة الثنائية من 5.3 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة إلى 9.2 سنت من سنتات 2005 لليكلو واط ساعة. وقد تبين أن التكاليف الإجمالية المقومة للكهرباء تتباين تبايناً



الشكل 4.4 الملخص الفني: التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة الحرارية الأرضية، 2008: أ) كدالة لمعامل القدرة والتكلفة *،***؛ و (ب) كدالة لمعامل القدرة ومعدل الخصم **،***. [الشكل 4.8]

ملاحظات:
* يفترض أن يساوى معدل الخصم 7 ٪. ** يفترض أن تكلفة الاستثمار في محطات تكثيف الوميض المكثف تبلغ 2700 دولار أمريكي للكيلو واط ساعة ومحطات الدورة الثنائية 3650 دولار أمريكي للكيلو واط ساعة. *** يفترض أن تكاليف التشغيل والصيانة تبلغ 170 دولار للكيلو واسط ساعة ويبلغ العمر 27.5 سنة.

كبيراً مع معامل القدرة، وتكلفة الاستثمار وسعر الخصم. ولا توجد مثل هذه التكاليف الإجمالية المقومة للكهرباء بالنسبة للأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً، لكن أجريت إسقاطات لها باستخدام نماذج مختلفة لحالات عدة بدرجات حرارة وأعماق متنوعة فتراوحت مثلا من 10 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة إلى 17.5 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة لموارد أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً عالية الدرجة. [1.3.2، 4.7.4، 10.5.1، المرفق الثاني والمرفق الثالث]

ولا تعتمد تقديرات التخفيضات الممكنة في التكلفة من جراء إدخال تغييرات في التصميم والتقدم التكنولوجي سوى على معرفة الخبير بسلسلة القيمة في العملية الحرارية الأرضية، حيث إن دراسات منحنى التعلم المنشورة محدودة. والمتوقع أن يكون للتحسينات الهندسية في تصميم ومحاكاة الخزانات الحرارية الأرضية، والتحسينات في الموارد، والتشغيل والصيانة، أعظم التأثير على التكاليف الإجمالية المقومة للكهرباء في الأجل القريب مثلاً، مما يؤدي إلى معاملات قدرة أعلى وإسهام أقل لتكلفة الحفر في إجمالي تكاليف الاستثمار. وبالنسبة للمشروعات الجديدة في 2020، من المتوقع أن يتراوح المتوسط على النطاق العالمي للتكلفة الإجمالية المقومة للكهرباء من 4.5 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة إلى 6.6 سنت من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة بالنسبة لمحطات الوميض المكثف ومن 4.9 بمقاييس من سنتات 2005 للكيلو واط ساعة إلى 8.6 سنت بمقاييس 2005 للكيلو واط ساعة لمحطات الدورة الثنائية، في ضوء متوسط لمعامل القدرة على النطاق العالمي يبلغ 80 ٪، وعمر يبلغ 27.5 سنة، ومعدل خصم قدره 7 ٪. لذلك فإنه من المتوقع حدوث تخفيض في المتوسط العالمي للتكلفة الإجمالية المقومة للكهرباء يبلغ نحو 7 ٪ بالنسبة لمحطات الوميض المكثف والمحطات الثنائية، بحلول عام 2020. والمتوقع أن تنخفض تكاليف الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسيا في المستقبل لمستويات هي أدنى أيضاً. [4.7.5]

ويعتبر نطاق التكلفة الإجمالية المقومة للحرارة بالنسبة لمشروعات الاستخدامات المباشرة واسعاً، حسب الاستخدام المحدد، ودرجة الحرارة ومعدل التدفق المطلوبين، المقترن بتكاليف التشغيل والصيانة والعمالة وقدر المنتج الذي يتم إنتاجه. وإضافة لذلك، فإن تكاليف الإنشاءات الجديدة تقل عادة عن تكاليف تحديث الهياكل الأقدم عهداً. وتستند أرقام التكاليف المعروضة في الجدول 4.2 بالملخص الفني على المناخ المميز للنصف الشمالي من الولايات وأوروبا. ذلك أن أحمال التسخين ستكون أعلى بالنسبة للمناخ الأبعد شمالاً مثل أيسلندا واسكندنافيا وروسيا. وتستند معظم الأرقام إلى التكلفة في الولايات المتحدة، لكنها ستكون مماثلة في البلدان المتقدمة وأقل في البلدان النامية. [4.7.6]

ويعتبر تحديد التطبيقات الصناعية كمياً أكثر صعوبة، حيث إنها تتباين بصورة واسعة حسب متطلبات الطاقة والمنتج الذي يتعين إنتاجه. وتحتاج هذه المحطات عادة إلى درجات حرارة أعلى وتنافس في أغلب الأحيان استخدامات محطات الطاقة؛ بيد أن لها معامل حمل عال يتراوح من 0.4 إلى 0.7 مما يحسن اقتصادياتها. وتتباين التطبيقات الصناعية من المصانع الكبيرة لتجفيف الأغذية والأخشاب والمعادن (الولايات المتحدة ونيوزيلندا) إلى مصانع الورق ولب الورق (نيوزيلندا). [4.7.6]

4.8 إمكانيات النشر

يمكن للطاقة الحرارية الأرضية أن تسهم في تخفيض انبعاثات الكربون في الأجلين القريب والطويل. وفي 2008، لم يكن الاستخدام العالمي للطاقة الحرارية الأرضية يمثل سوى نحو 0.1 ٪ من عرض الطاقة الأولية العالمي. بيد أنه بحلول 2050، يمكن للحرارة الأرضية أن تفي بنحو 3 ٪ من الطلب العالمي على الكهرباء و 5 ٪ من الطلب العالمي على التسخين والتبريد [4.8]

وأخذاً في الاعتبار مشروعات الكهرباء الحرارية الأرضية قيد الإنشاء أو المعتزم إنشاؤها في العالم، يتوقع أن تصل القدرة الحرارية الأرضية المركبة إلى 18.5 جيجا واط كهرباء بحلول 2015. ومن الناحية العملية، فإن كل محطات الطاقة الجديدة المتوقع أن تكون عاملة بحلول 2015، ستكون محطات للوميض

الجدول 4.2 الملخص الفني: التكاليف الاستثمارية والتكلفة الإجمالية المقومة للحرارة المحسوبة لعدة تطبيقات حرارية أرضية مباشرة. [الجدول 4.8]

التطبيق الخاص بالحرارة	تكلفة الاستثمار (بدولارات 2005 للكيلو واط حرارة)	التكلفة الإجمالية المقومة للحرارة (بدولارات 2005 لجيجاغل) بمعدلات الخصم أدناه		
		٪ 3	٪ 7	٪ 10
تدفئة الأماكن (المباني)	3,940-1,600	50-20	65-24	77-28
تدفئة الأماكن (المدن)	1,570-570	24-12	31-14	38-15
الدفيئات	1,000-500	13- 7.7	14-8.6	16-9.3
برك تربية المائيات غير المغطاة	100-50	11-8.5	12-8.6	12-8.6
توليد للحرارة والطاقة المشترك (سكني وتجاري)	3,750-940	42-14	56-17	68-19

الجدول 4.3 الملخص الفني: القدرة الإقليمية المركبة الحالية والمقدرة للطاقة الحرارية الأرضية والاستخدامات المباشرة (الطاقة الحرارية) والتوليد المقدر للكهرباء والطاقة الحرارية بحلول 2015 [الجدول 4.9]

الإقليم[1]	القدرة الحالية (2010)		القدرة المتوقعة (2015)		التوليد المتوقع (2015)	
	مباشرة (جيجاواط)	كهرباء (جيجاواط)	مباشرة (جيجاواط)	كهرباء (جيجاواط)	مباشرة (جيجاواط)	كهرباء (جيجاواط)
منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي أمريكا الشمالية	13.9	4.1	27.5	6.5	72.3	43.1
أمريكا اللاتينية	0.8	0.5	1.1	1.1	2.9	7.2
منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي أوروبا	20.4	1.6	32.8	2.1	86.1	13.9
أفريقيا	0.1	0.2	2.2	0.6	5.8	3.8
الاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية	1.1	0.1	1.6	0.2	4.3	1.3
الشرق الأوسط	2.4	0	2.8	0	7.3	0
آسيا النامية	9.2	3.2	14.0	6.1	36.7	40.4
منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي المحيط الهادئ	2.8	1.2	3.3	1.8	8.7	11.9
الإجمالي	50.6	10.7	85.2	18.5	224.0	121.6

1 للاطلاع على التعريفات الإقليمية والمجموعات القطرية انظر المرفق الثاني.

ملاحظات: يبلغ متوسط معدل النمو السنوي المقدر للفترة من 2010 إلى 2015، 11.5 ٪ بالنسبة للكهرباء، و 11 ٪ بالنسبة للاستخدامات المباشرة. ويتوقع أن يبلغ متوسط معاملي القدرة على النطاق العالمي بحلول 2015، 75 ٪ (للكهرباء) و30 ٪ (للاستخدام المباشر).

الجدول 4.4 الملخص الفني: النشر المحتمل للحرارة الأرضية لأغراض الكهرباء والاستخدامات المباشرة في 2020 وحتى 2050. [الجدول 4.10]

السنة	الاستخدام	القدرة (جيجاواط)	التوليد (تيراواط / سنة)	التوليد (إكسغل / سنة)	الإجمالي (إكسغل / سنة)
2020	الكهرباء	25.9	181.8	0.65	2.01
	مباشر	143.6	377.5	1.36	
2030	الكهرباء	51.0	380.0	1.37	5.23
	مباشر	407.8	1,071.7	3.86	
2050	الكهرباء	150.0	1,182.8	4.26	11.83
	مباشر	800.0	2,102.3	7.57	

ملاحظات: جرى استقراء القدرات المركبة لعامي 2020 و2030 من تقديرات 2015 باستخدام معدل نمو سنوي للكهرباء يساوي 7 ٪، 11 ٪ للاستخدامات المباشرة، وهي بالنسبة لعام 2050 قيمة وسيطة بين الإسقاطات المذكورة في الفصل 4. وقُدِّر التوليد بمتوسط لمعاملات القدرة على النطاق العالمي بمعدلات 80 ٪ (2020)، 85 ٪ (2030) و90 ٪ (2050) بالنسبة للكهرباء و30 ٪ بالنسبة للاستخدامات المباشرة.

المكثف أو الدورة الثنائية التي تستخدم موارد حرارية مائية، بإسهام قليل من مشروعات الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسياً. والمتوقع أن تنمو الاستخدامات الحرارية الأرضية المباشرة (تطبيقات الحرارة بما في ذلك المضخات الحرارية الأرضية) بنفس المعدل السنوى التاريخى (11 ٪ بين 1975 و2010) لتصل إلى 85.2 جيجا واط حرارة. وبحلول عام 2015، قد يصل إجمالى توليد الكهرباء إلى 121.6 تيرا واط ساعة / سنوياً (0.44 إكسغل / سنة) في حين قد يصل التوليد المباشر للحرارة إلى 224 تيرا واط حرارة / سنوياً (0.8 إكسغل / سنوياً) بالتقسيم الإقليمى الوارد في الجدول 4.3 بالملخص الفني. [4.8.1]

إن نشر إمكانيات الطاقة الحرارية الأرضية طويلة الأجل استناداً إلى تقييم سيناريوهات عديدة مستندة لنماذج، مذكور في القسم 10 من هذا الموجز وتشمل نطاقاً عريضاً. إن متوسطات السيناريوهات بالنسبة إلى النطاقات الثلاثة لتثبيت تركيز غازات الدفيئة، استنادا إلى خطوط الأساس الواردة بتقرير التقييم الرابع (<600 جزء في المليون من ثاني أوكسيد الكربون)، يتراوح بين 440 و660 جزء في المليون (الفئتان الثالثة والرابعة) و<440 جزء في المليون (الفئتان الأولى والثانية) يتراوح من 0.39 إلى 0.71 إكسغل / عام بالنسبة لعام 2020، ومن 0.22 إلى 1.28 إكسغل / عام لعام 2030، ومن 1.16 إلى 3.85 إكسغل / عام للعام 2050.

والمرجح أن تكون سياسة الكربون من العوامل المحركة الرئيسية لتنمية الطاقة الحرارية الأرضية مستقبلاً، وفي ظل سياسة تثبيت تركيزات غازات الدفيئة المواتية (أقل من 440 جزء في المليون)، يمكن أن يكون نشر الحرارة الأرضية بحلول 2020 و 2030 و2050 أعلى كثيراً من القيم الوسيطة السالف بيانها. وبإسقاط متوسط معدلات النمو السنوى لمحطات الطاقة الحرارية الأرضية (7 ٪) والاستخدامات المباشرة (11 ٪) من تقديرات 2015، يمكن أن تكون القدرة الحرارية الأرضية المركبة في 2020 و2030 بالنسبة للكهرباء والاستخدامات المباشرة كما هى مبينة في الجدول 4.4 بالملخص الفني. وبحلول 2050، يمكن أن ترتفع القدرة الكهربائية – الحرارية الأرضية إلى 150 جيجا واط للكهرباء (ونصف ذلك مكون من محطات الأنظمة الحرارية الأرضية المصممة هندسيا)، وإلى ما يصل إلى 800 جيجا واط من الحرارة الإضافية من محطات الاستخدام المباشر (الجدول 4.4 بالملخص الفني). [4.8.2]

وحتى أعلى التقديرات لإسهام الطاقة الحرارية الأرضية طويل الأجل في إمداد الطاقة الأولية العالمية (52.5 إكسغل / سنة بحلول 2050) تندرج في النطاقات الفنية الممكنة (من 118 إلى 1109 إكسغل / سنة للكهرباء، ومن 10 إلى 312 إكسغل / سنة للاستخدامات المباشرة) بل وحتى في إطار النطاق الأعلى للموارد الحرارية المائية (من 28.4 إلى 56.8 إكسغل / سنة). ومن ثم، لا يرجح أن تكون الإمكانية الفنية عائقاً أمام الوصول إلى مستويات أكثر طموحاً من نشر الحرارة الأرضية (الكهرباء والاستخدامات المباشرة)، على أساس عالمي على الأقل. [4.8.2]

وتشير الأدلة إلى أن عرض الحرارة الأرضية يمكن أن يفي بالشريحة الأعلى للتقديرات المستمدة من استعراض نحو 120 سيناريو للطاقة وتخفيض غازات الدفيئة. والحرارة الأرضية بقدرتها الطبيعية على تخزين الحرارة الأرضية، ملائمة بشكل خاص لتوفير طاقة الحمل الأساسي. ويمكن للطاقة الحرارية الأرضية في ضوء إمكانياتها الفنية ونشرها المحتمل، أن تفي بنحو 3 ٪ من الطلب العالمي على الكهرباء بحلول 2050، وتتوافر أيضاً إمكانية أن توفر نحو 5 ٪ من الطلب العالمي على التدفئة والتبريد بحلول 2050. [4.8.3].

5 الطاقة المائية

5.1 مقدمة

تعتبر الطاقة المائية أحد مصادر الطاقة المتجددة، إذ تستمد القدرة من طاقة المياه المتحركة من المرتفعات العليا إلى الأراضي المنخفضة. وقد أثبتت هذه التكنولوجيا جدواها، كما تعتبر ناضجة، ويمكن التنبؤ بها، تكلفة تنافسية. والقدرة الميكانيكية للمياه المتساقطة أداة قديمة استخدمت لتحقيق منافع متنوعة منذ عهد الإغريق، قبل ما يربو على 2000 سنة خلت. وبدأ تشغيل أول محطة للطاقة المائية بقدرة 2.5 كيلو واط في 30 أيلول / سبتمبر 1882 على نهر فوكس، في المحطة الموجودة بشارع فولكان في أبلتون، في ويسكونسن، بالولايات المتحدة. وعلى الرغم من أن الدور الأساسي للطاقة المائية في منظومة الإمداد بالطاقة العالمية يتمثل في توليد الكهرباء المركزية، فإن محطات الطاقة المائية تعمل أيضاً بمعزل عن غيرها وضمن نظم الإمداد المستقلة، غالباً في المناطق الريفية والنائية في العالم. [5.1]

5.2 إمكانيات الموارد

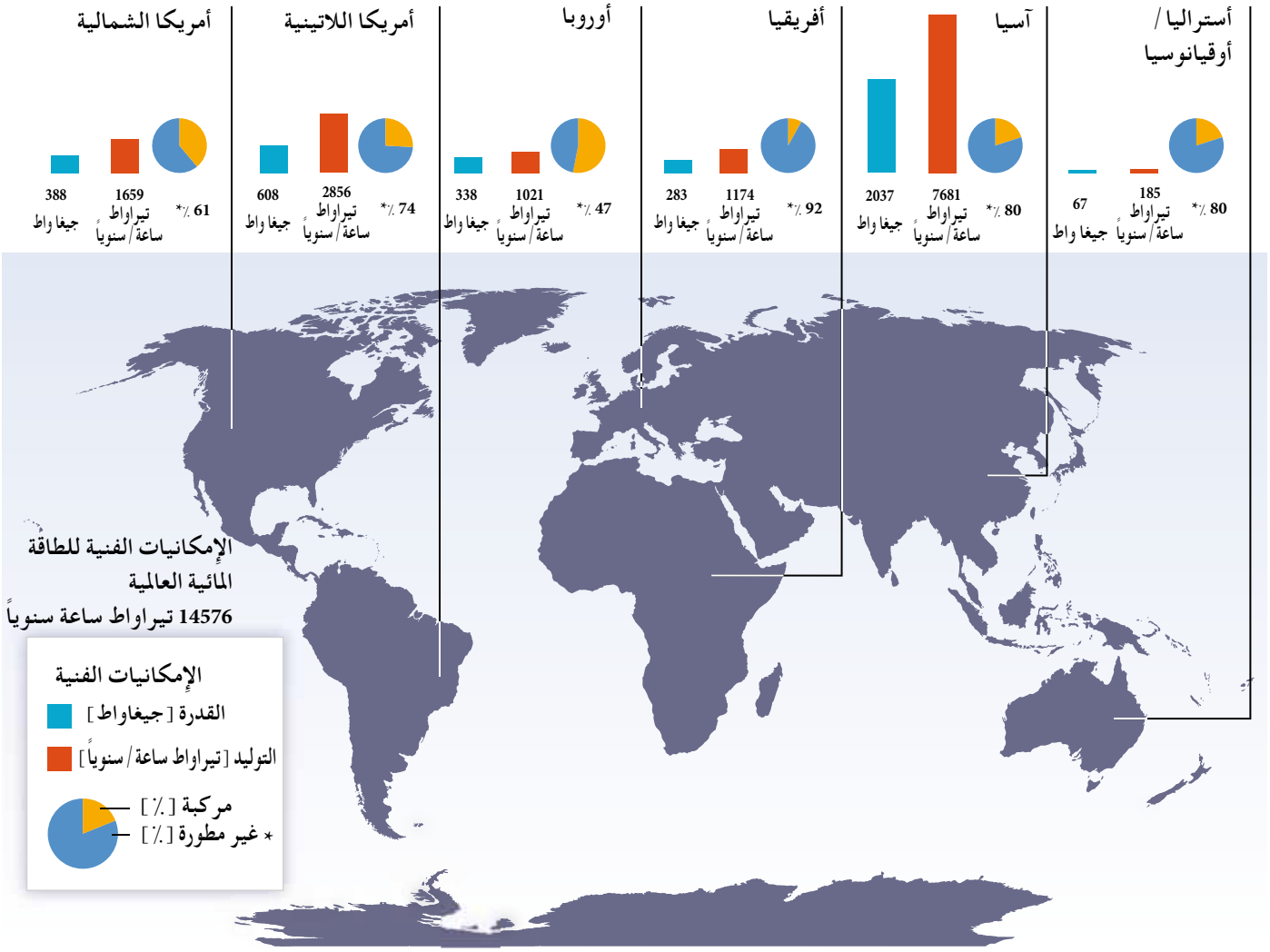
تبلغ الإمكانيات الفنية العالمية السنوية لتوليد الطاقة المائية 14576 تيراواط ساعة(52.47 إكسغل) مع إجمالي إمكانية قدرة مناظرة يقدر بنحو 3721 جيجاواط – أربعة أضعاف قدرة الطاقة المائية العالمية المركبة حالياً (الشكل 5.1 بالملخص الفني). وتتراوح القدرات غير المستغلة بين زهاء 47 في المائة في أوروبا و 92 في المائة في أفريقيا، مما يشير إلى وجود فرص كبيرة جيدة التوزيع لتنمية الطاقة المائية في شتى أنحاء العالم (انظر الجدول 5.1 بالملخص الفني). وتحظى آسيا وأمريكا اللاتينية بالإمكانيات الفنية والموارد غير المطورة الكبرى. وتحظى أفريقيا بالجزء الأكبر من إجمالي الإمكانيات التي لم تطور بعد. [5.2.1].

من الجدير بالذكر أن إجمالي قدرات الطاقة المائية المركبة في أمريكا الشمالية وأمريكا اللاتينية وأوروبا وآسيا لها نفس الترتيب من ناحية الحجم، بيد أنها في أفريقيا وأستراليا / أوقيانيا لها رتبة أقل من ناحية الحجم؛ ويعزى ذلك في أفريقيا إلى تخلف عجلة التنمية، أما في أستراليا / أوقيانيا فإلى حجم المساحة والمناخ والتضاريس الجغرافية. ويبلغ المتوسط العالمي لمعامل القدرة لمحطات الطاقة المائية44 في المائة. ويمكن لمعامل القدرة أن يكون مؤشراً على كيفية توظيف الطاقة المائية في مزيج الطاقة (مثل الوصول إلى حمل الذروة مقابل توليد الحمل الأساسي) أو توافر المياه، أو قد يمثل فرصة سانحة لزيادة قدرات التوليد من خلال عمليات تحديث المعدات والارتقاء بها إلى مستوى التشغيل الأمثل. [5.2.1]

ويمكن أن تتغير إمكانيات موارد الطاقة المائية من جراء تغير المناخ. واستناداً إلى عدد محدود من الدراسات التي أجريت حتى الآن، من المتوقع أن تكون آثار تغير المُناخ على النظم العالمية الحالية للطاقة الكهرمائية، إيجابية على نحو طفيف، على الرغم من أن البلدان والمناطق فرادى يمكن أن تشهد تغيرات إيجابية أو سلبية كبيرة في هطول الأمطار والجريان السطحي. ويمكن للقدرات السنوية لإنتاج الطاقة في عام 2050 أن تزيد بما يبلغ 2.7 تيراواط ساعة (9.72 بيتاجول) في آسيا وفقاً لسيناريو A1B لملخص التقرير الخاص، وأن تنقص بما يبلغ 0.8 تيراواط ساعة (2.88 بيتاجول) في أوروبا. وفي مناطق أخرى، وجد أن التغييرات قد تكون أصغر من ذلك. وعلى الصعيد العالمي، تشير التقديرات إلى أن التغييرات الناجمة عن تغير المناخ في المنظومة الراهنة لإنتاج الطاقة المائية قد تبلغ أقل من 0.1 في المائة، على الرغم من أن هنا كحاجة إلى إجراء مزيد من الدراسات لتقليل أوجه عدم اليقين لهذه الإسقاطات. [5.2.2]

5.3 التكنولوجيا والتطبيقات

تصمم الطاقة المائية عادة لتلائم احتياجات معينة وظروف موقع محددة، وتصنف وفقاً لنوع المشروع، أو الرأس (أي الارتفاع الرأسي لمنسوب الماء فوق التوربينات) أو الغرض (وحيدة الغرض أو متعددة الأغراض). وتستند فئات الحجم (القدرات المركبة) إلى تعريفات وطنية وتختلف في شتى أنحاء العالم نتيجة لتنوع السياسات. وليس ثمة صلة تلقائية مباشرة بين القدرات المركبة كمعيار للتصنيف والخصائص العامة الشائعة في كافة محطات توليد الطاقة المائية الأعلى من حد الميجاواط أو الأدنى منه. وخلاصة القول، فإن التصنيف وفقاً للحجم، وإن كان شائعاً وبسيطاً من الناحية الإدارية، يعتبر



الشكل 5.1 الملخص الفني: الإمكانيات الفنية المركبة للطاقة المائية الإقليمية من حيث قدرات التوليد السنوية والقدرات المركبة والنسبة المئوية للإمكانيات الفنية غير المستغلة في عام 2009. [الشكل 5.2].

الجدول 5.1 الملخص الفني: الإمكانيات الفنية للطاقة المائية الإقليمية فيما يتعلق بمعدل التوليد السنوي والقدرات المركبة (جيجاواط)؛ والمعدلات الحالية للتوليد والقدرات المركبة ومتوسط معاملات القدرة والإمكانيات غير المستغلة الناجمة عن ذلك في 2009 [الجدول 5.1].

الإقليم في العالم	الإمكانيات الفنية، التوليد السنوي تيراواط ساعة / سنوياً (إكسغل / سنوياً)	الإمكانيات الفنية، القدرات المركبة (جيجاواط)	2009 إجمالي توليد الطاقة تيراواط ساعة / سنوياً (إكسغل / سنوياً)	2009 القدرات المركبة (جيجاواط)	إمكانيات غير مستغلة (٪)	متوسط معامل القدرة الإقليمي (٪)
أمريكا الشمالية	1,659 (5.971)	388	628 (2.261)	153	61	47
أمريكا اللاتينية	2,856 (10.283)	608	732 (2.635)	156	74	54
أوروبا	1,021 (3.675)	338	542 (1.951)	179	47	35
أفريقيا	1,174 (4.226)	283	98 (0.351)	23	92	47
آسيا	7,681 (27.651)	2,037	1,514 (5.451)	402	80	43
أستراليا / أوقيانيا	185 (0.666)	67	37 (0.134)	13	80	32
العالم	14,576 (52.470)	3,721	3,551 (12.783)	926	75	44

اعتباطياً إلى حد ما: إذ لا تمثل المفاهيم العامة مثل طاقة كهرمائية «صغيرة» أو «كبيرة» مؤشرات دقيقة فنياً أو علمياً عن الآثار أو الاقتصاديات أو الخصائص. وقد يكون أجدى أن يقيم مشروع الطاقة المائية استناداً إلى استدامته أو أدائه الاقتصادي، ومن ثم توضع مؤشرات أكثر واقعية. ومازالت مجمل الآثار

البيئية والاجتماعية النسبية للعمليات الكبيرة لتنمية الطاقة المائية في مقابل العمليات الصغيرة، غير واضحة المعالم وتعتمد على السياق. [5.3.1]

وتندرج محطات الطاقة المائية ضمن ثلاثة أنواع رئيسية للمشروعات: توليد الطاقة من جريان الأنهار، والتخزين، والتخزين بالضخ. ولدى محطات توليد الطاقة المائية من جريان الأنهار أحواض امتصاص صغيرة بدون سعة تخزينية. ومن ثم فإن إنتاج الطاقة يتبع دورة الطاقة المائية لمستجمع المياه. وبالنسبة لمحطات توليد الطاقة المائية من جريان الأنهار، يتباين توليد الطاقة وفقاً للتغيرات في توافر المياه، ولذا يمكن تشغيلها باعتبارها متغيرة في الجداول الصغيرة للأنهار أو لمحطات لتوليد الحمل الأساسي للطاقة في الأنهار الكبيرة. وقد يكون لدى المحطات كبيرة الحجم لتوليد الطاقة المائية من جريان الأنهار قدرة محدودة على تنظيم تدفق المياه وإذا جرى تشغيلها في شلالات بصورة توافقيه مع تخزين الطاقة المائية في الأراضي الممتدة في منبع النهر، فقد تسهم في التنظيم العام وفي القدرة على تحقيق التوازن بين عدد كبير من محطات توليد الطاقة المائية. تتمثل الفئة الرابعة في تكنولوجيا توليد الطاقة من مجرى النهر (حركية النهر)، وهي أقل نضجاً وتعمل على غرار توليد الطاقة من جريان الأنهار دون أي تنظيم. [5.3.2]

وتوفر مشروعات توليد الطاقة المائية بخزانات (طاقة مائية بالتخزين) مجموعة واسعة النطاق من خدمات الطاقة مثل إتاحة الحمل الأساسي وحمل الذروة وتخزين الطاقة، وتعمل كمنظم لمصادر الطاقة الأخرى. وفضلاً عن ذلك، فإنها تتيح غالباً خدمات تتجاوز قطاع الطاقة، تشمل التحكم في الفيضانات، والإمداد بالمياه، والملاحة، والسياحة، والري. وتقوم محطات الضخ للتخزين بتجميع المياه كمصدر لتوليد الكهرباء. ويعكس اتجاه تدفق المياه لإنتاج الطاقة المائية حسب الطلب، بزمن استجابة سريع جداً. ويعد التخزين بالضخ الشكل الأكبر سعة المتاح حالياً لتخزين الطاقة بالشبكة. [5.3.2.2 – 5.3.2.3]

وينبغي فهم مشكلتي نقل الرواسب والترسب في خزانات التجميع لما لهما من الآثار السلبية على أداء محطات توليد الطاقة المائية: مثل تآكل القدرة التخزينية للخزانات بمرور الوقت؛ وزيادة اضمحلال التيار الهابط؛ وزيادة خطر الفيضان في منبع الخزانات؛ وحدوث أضرار بتوليد الطاقة من جراء انخفاض كفاءة التوربينات؛ وزيادة تواتر عمليات الإصلاح والصيانة؛ وانخفاض عمر (صلاحية) التوربينات وعدم الانتظام في توليد الطاقة. ويمكن التحكم في مشكلة الترسب من خلال سياسات استخدام الأراضي وحماية الغطاء النباتي. وتتمتع الطاقة المائية بأفضل كفاءة للتحويل بين كافة المصادر المعروفة للطاقة (زهاء 90 في المائة من الكفاءة، من الماء للكهرباء) ومعدل مرتفع جداً بالنسبة لعائد الطاقة. [5.3.3]

ويتراوح عمر محطة التوليد المائية عادة بين 40 و80 عاماً. إذ تبلى المكونات الكهربائية والميكانيكية ومعدات التحكم مبكراً مقارنة بالمنشآت المدنية، وعادة ما تحتاج إلى التجديد في غضون 30 إلى 40 عاماً. وتحديث/الارتقاء بمستوى محطات توليد الطاقة المائية يتطلب اتباع أسلوب منهجي، فثمة عدد من العوامل (الهيدروليكية والميكانيكية والالكترونية والاقتصادية) تضطلع بدور مهم في تحديد أسلوب العمل. ومن منظور تقني – اقتصادي، ينبغي إمعان النظر في عملية الارتقاء بالمستوى جنباً إلى جنب مع تدابير التجديد والتحديث. ويمكن إعادة تجهيز معدات توليد الطاقة المائية ذات الأداء المحسن، لتلائم طلبات السوق بمزيد من وسائل التشغيل المرنة لتوليد الأحمال القصوى. وسيحتاج معظم معدات الطاقة المائية بقدرة 926 جيجاواط العاملة اليوم (2010) إلى تحديثها بحلول الفترة 2030 إلى 2040. وتؤدي عملية إعادة تجهيز محطات الطاقة المائية الحالية غالباً إلى تحسين قدرات توليد الطاقة المائية، سواء حينما يجرى تحديد مستوى قدرة التوربينات أو الارتقاء بها أو حينما تعاد هيكلة المنشآت المدنية القائمة (القناطر و الهدارات والسدود والقنوات والترع وغير ذلك) لإضافة مرافق جديدة لتوليد للطاقة المائية. [5.3.4].

5.4 حالة الأسواق والتنمية الصناعية عالمياً وإقليمياً

تعتبر الطاقة المائية تكنولوجيا ناضجة، ويمكن التنبؤ بها وذات سعر تنافسي، إذ توفر في الوقت الراهن ما يناهز 16 في المائة من إجمالي إنتاج الكهرباء عالمياً و86 في المائة من كافة الطاقة المنتجة من مصادر متجددة. وعلى الرغم من أن الطاقة المائية تسهم إلى حد ما في توليد الطاقة في 159 بلداً، فإن خمسة بلدان فقط تستأثر بما يربو على نصف الإنتاج العالمي من الطاقة المائية، وهي: الصين، وكندا، والبرازيل، والولايات المتحدة، وروسيا. ومع ذلك، فإن أهمية الطاقة المائية في مصفوفة إنتاج الكهرباء بهذه البلدان تتباين تبايناً واسعاً. ففي حين أن البرازيل وكندا تعتمدان اعتماداً شديداً على الطاقة المائية لإنتاج 84 في المائة و59 في المائة من إجمالي توليد الطاقة، على التوالي، فإن روسيا والصين تنتجان 19 في المائة و16 في المائة فقط، على التوالي، من إجمالي الكهرباء المستمدة من الطاقة المائية. وعلى الرغم من النمو الكبير في إنتاج الطاقة المائية في شتى أنحاء العالم، فقد انخفضت حصة الطاقة المائية في خلال العقود الثلاثة الأخيرة (1973 إلى 2008) من 21 في المائة إلى 16 في المائة لأن توليد الأحمال الكهربائية وغيرها من المصادر الأخرى للتوليد قد نمت بوتيرة مطردة أكثر من الطاقة الكهرمائية. [5.4.1]

تعود ائتمانات الكربون على مشروعات الطاقة المائية بالفائدة، إذ تساعدها على ضمان التمويل والحد من المخاطر. ويعد التمويل الخطوة الحاسمة الأهم في عملية إنجاز المشروع برمتها. وتعتبر مشروعات الطاقة المائية أحد العوامل الكبرى التي تسهم في الآليات المرنة لبروتوكول كيوتو، ومن ثم في الأسواق الحالية ائتمانات الكربون. فمن بين 2062 مشروعاً مسجلاً لدى المجلس التنفيذي لآلية التنمية النظيفة حتى أول مارس 2010، 562 منها مشروعات للطاقة المائية. و غدت الطاقة المائية، بنسبة 27 في المائة من إجمالي عدد المشروعات، المائية مصدر الطاقة المتجددة الأكثر انتشاراً لآلية التنمية النظيفة. وتمثل الصين والهند والبرازيل والمكسيك زهاء 75 في المائة من المشروعات المقامة. [5.4.3.1]

ويواجه كثير من مشروعات الطاقة المائية الاقتصادية تحديات مالية. إذ تشكل التكاليف الأولية المرتفعة عائقاً رادعاً للاستثمارات. كذلك، غالباً ما تعاني الطاقة المائية مُهلاً زمنية متطاولة الأمد للتخطيط والترخيص والتشييد. فعند تقييم تكاليف دورة الحياة، فإن الطاقة المائية تتسم بأداء مرتفع جداً، حيث تمثل التكاليف السنوية للتشغيل والصيانة جزءاً ضئيلاً جداً من الاستثمارات الرأسمالية. فنظراً لأن الطاقة المائية وصناعتها يتسمان بالعراقة والنضج، فمن المتوقع أن تتمكن صناعة الطاقة المائية من الوفاء بالطلب الذي سينشأ نتيجة لمعدل الانتشار المتوقع في غضون السنوات القادمة. فعلى سبيل المثال، نجحت صناعة الطاقة المائية في عام 2008 في إنشاء أكثر من 41 جيجاواط من القدرات الجديدة في شتى أنحاء العالم. [5.4.3.2].

وتمثل عملية إيجاد نماذج تمويلية أكثر ملائمة تحدياً رئيساً أمام قطاع الطاقة المائية شأنه في ذلك شأن إيجاد الأدوار المثلى للقطاعين العام والخاص. وترتبط التحديات الرئيسة للطاقة المائية بتوفير أجواء من الثقة للقطاع الخاص والحد من المخاطر، لاسيما قبل استصدار تراخيص إقامة المشروع. ولا ريب أن الأسواق البيئية (الخضراء) والاستثمار في تجارة الحد من الانبعاثات ستوفر حوافز مشجعة. كذلك، ففي الأقاليم النامية، مثل أفريقيا، يؤدي التوصيل الفعال بين البلدان وتشكيل تجمعات للطاقة إلى بناء الثقة لدى المستثمرين في هذه الأسواق الناشئة. [5.4.3.2]

ويمكن لمفاهيم تصنيف محطات توليد الطاقة باعتبارها «صغيرة» أو«كبيرة»، مثلما تحددها القدرات المركبة (ميجاواط)، أن تمثل عائقاً أمام تنمية الطاقة الكهرمائية. فهذه التصنيفات، مثلاً، قد تؤثر في تمويل محطات الطاقة الكهرمائية، محددةً لكيفية معاملة الطاقة المائية في سياسات مواجهة تغير المناخ وتوليد الطاقة. وتستخدم حوافز مختلفة للطاقة المائية صغيرة النطاق (تخفيض الضرائب الفيدرالية على الدخل، إعطاء شهادات صديقة للبيئة (خضراء)، وتقديم مكافآت) وفقاً للبلد، بيد أنه لا توجد حوافز لمحطات توليد الطاقة

المائية كبيرة الحجم. ويضع توجيه الارتباط الذي أصدره الاتحاد الأوروبي، حداً لأرصدة انبعاثات الكربون المسموح بها الصادرة عن محطات توليد الطاقة المائية بما يبلغ 20 ميجاواط. والحد نفسه موجود في التوجيهات الإلزامية للطاقة المتجددة بالمملكة المتحدة، وهو آلية لإصدار شهادات بيئية (خضراء) تستند إلى الأسواق. وعلى غرار ذلك، ففي عدة بلدان لا تنطبق التخفيضات الفيدرالية على الدخل على الطاقة المائية فوق مستوى حجم معين على سبيل المثال: فرنسا 12 ميجاواط، ألمانيا 5 ميجاواط، الهند 5 و25 ميجاواط). [5.4.3.4].

وقرر المجلس التنفيذي لآلية التنمية النظيفة المنبثقة عن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ أنه ينبغي لمشروعات تخزين الطاقة المائية الالتزام بمؤشر كثافة الطاقة (مؤشر كثافة الطاقة: القدرة المركبة/مساحة الخزان بمقياس واط/م^2) حتى تغدو مؤهلة لائتمان آلية التنمية النظيفة. ويبدو أن الالتزام بهذا المؤشر يستبعد فوراً الطاقة المائية بالتخزين من التأهيل لائتمان آلية التنمية النظيفة (أو التنفيذ المشترك) وقد تؤدي إلى التنمية شبه المثلى لموارد الطاقة المائية حيث سيحظى خيار توليد الطاقة المائية من جريان الأنهار دون تخزين بالأفضلية.

5.5 الإدماج في نظم أوسع للطاقة

يساعد نطاق القدرة الكبير للطاقة المائية، ومرونتها، وقدرتها التخزينية (حينما تقترن بخزان تجميع) وقدرتها على العمل بمفردها بصورة مستقلة أو ضمن شبكات من كافة الأحجام، على تمكينها من توفير طائفة واسعة من الخدمات. [5.5].

يمكن نقل الطاقة المائية من خلال شبكة وطنية أو إقليمية، والشبكات الصغرى وكذلك بصورة مفردة مستقلة. وقد ازداد الإدراك في البلدان النامية بأن نظم الطاقة المائية صغيرة النطاق لديها دور مهم تضطلع به في التنمية الاجتماعية الاقتصادية للمناطق الريفية النائية، لاسيما ذات التلال المرتفعة، التي يمكنها توفير الطاقة للاستخدامات الصناعية والزراعية والمنزلية. وفي الصين، شكلت محطات توليد الطاقة المائية أحد النماذج الأنجح لكهربة الريف، حيث يستفيد 300 مليون نسمة سنوياً مما يربو على 45 000 محطة مائية صغيرة تولد قدرة تزيد إجمالاً على 55 000 ميجاواط وتنتج 160 تيراواط ساعة (576 بيتاجول). [5.5.2].

ونظراً للاتساع الكبير جداً لخزان محطة الطاقة المائية مقارنة بحجمها (أو التدفقات النهرية المتواصلة بشدة)، يمكن لمحطات الطاقة المائية أن تولد قدرة بمعدل شبه ثابت طوال العام (أي أن تعمل كمحطة لتوليد الأحمال الأساسية). وبدلاً من ذلك، ففي حال تخطت قدرة محطة الطاقة المائية بدرجة كبيرة حجم سعة تجميع الخزان، فإنه يشار إلى محطة الطاقة المائية أحياناً باعتبارها محدودة الطاقة. وتقوم محطة الطاقة المائية المحدودة باستنفاد «إمدادها من الوقود» من خلال عملها باستمرار بمعدل سعتها المحدد طوال العام. وفي هذه الحالة، يسمح استخدام إمكانيات تجميع الخزان بحدوث عمليات توليد الطاقة المائية في الأوقات الأجدى قيمة من منظور نظم الطاقة بدلاً من الأوقات التي تحددها تدفقات النهر وحدها. ونظراً لأن الطلب على الطاقة المائية يتباين خلال النهار والليل، وخلال أيام الأسبوع وعبر فصول السنة، فيمكن توقيت توليد الطاقة المائية بالتخزين لتتواكب مع الأوقات الأكثر احتياجاً لنظم الطاقة. وإلى حد ما تكون هذه الأوقات خلال فترات الذروة للطلب على الكهرباء. ويشار إلى تشغيل محطات الطاقة المائية بحيث تولد الطاقة خلال أوقات الطلب المرتفع، باعتبارها عمليات تشغيل وقت الذروة (في مقابل عمليات تشغيل الأحمال الأساسية). ومع ذلك، فحتى مع التخزين، فإن توليد الطاقة المائية سيظل محدوداً وفقاً للقدرة الكهربائية لمحطة الطاقة المائية، وقيود تدفق المياه في مجرى النهر من أجل الري، واستخدام تدفقات النهر المائية لأغراض ترفيهية أو بيئية. وقد يؤدي تشغيل محطات الطاقة المائية بالأحمال القصوى، إذا وجه المخرج إلى النهر، إلى تقلبات مطردة في تدفقات النهر، والمنطقة التي تغمرها المياه والعمق والسرعة. وقد يؤدي هذا بدوره، وفقاً للأحوال المحلية، إلى آثار سلبية على النهر ما لم يدار بطريقة سليمة. [5.5.3].

وبالإضافة إلى دعم الطاقة المائية لتكنولوجيات توليد الطاقة بالوقود الأحفوري والنووي، يمكنها أيضاً أن تساعد على الحد من التحديات التي تواجه إدماج المصادر المتجددة المتغيرة. ففي الدانمرك، مثلاً، يدار المستوى المرتفع لطاقة الرياح المتغيرة (أكبر من 20 في المائة من الطلب السنوي على الطاقة) جزئياً من خلال ربط شبكي مشترك قوى (1جيجاواط) مع النرويج، التي تتمتع بطاقة كهرمائية بالتخزين كبيرة. وإقامة مزيد من شبكات الربط المشترك مع أوروبا قد يدعم بشكل أكبر زيادة الحصة من طاقة الرياح في الدانمرك وألمانيا. كذلك، فإن زيادة توليد الطاقة المتغيرة ستزيد حجم الخدمات المحققة للتوازن، بما في ذلك تنظيم التدفق ومتابعة الأحمال، التي تتطلبها نظم الطاقة. وفي المناطق التي توجد بها مرافق قائمة وجديدة للطاقة المائية، فإن توفير هذه الخدمات من الطاقة المائية قد يغني عن الحاجة إلى الاعتماد على زيادة الأحمال الجزئية وتدوير المحطات الحرارية التقليدية لتوفير هذه الخدمات. [5.5.4].

وعلى الرغم من أن الطاقة المائية لديها الإمكانية المطلوبة لتوفير خدمات كبيرة لنظم الطاقة فضلاً عن الطاقة والقدرة، فإن الربط الشبكي البيني والاعتماد على استخدام محطات الطاقة المائية قد يتطلب أيضاً إحداث تغييرات في نظم الطاقة. ويتطلب الربط البيني المشترك للطاقة المائية بنظام الطاقة، قدرة نقل كافية من محطات الطاقة المائية إلى مراكز الطلب. وتطلبت إضافة محطات مائية جديدة في الماضي، ضخ استثمارات شبكية لتوسيع قدرات نقل الشبكة. وبدون قدرة نقل كافية، يمكن النظر إلى تشغيل محطات الطاقة المائية باعتبار أن الخدمات التي تقدمها المحطات أقل مما يمكنها تقديمه في نظام غير مقيد. [5.5.5].

5.6 الآثار البيئية والاجتماعية

على غرار كافة خيارات إدارة الطاقة والمياه، فإن مشروعات الطاقة المائية لها آثار بيئية واجتماعية سلبية وإيجابية. فعلى الصعيد البيئي، قد يكون للطاقة المائية بصمة بيئية كبيرة على الصعيدين المحلي والإقليمي، بيد أنها تتيح مزايا على الصعيد الإيكولوجي الكلي. وفيما يتعلق بالآثار البيئية، قد يترتب على مشروعات الطاقة المائية إعادة توطين مجتمعات تعيش داخل نطاق – أو بالقرب من – خزان التجميع أو مواقع التشييد، وتعويض المجتمعات التي تغمر أراضيها المياه، ومعالجة قضايا الصحة العامة وغيرها. ومع ذلك، فإن مشروع طاقة كهرمائية مصمم تصميماً سليماً، قد يمثل قوة دفع محركة للتنمية الاجتماعية الاقتصادية، رغم أنه يظل سؤال مهم مطروحاً بشأن كيفية تقاسم هذه المنافع. [5.6].

وتؤثر كافة المنشآت المائية على البيئة الأحيائية للنهر، أساساً بإحداث تغيير في الخصائص الهيدرولوجية وبقطع التسلسل الإيكولوجي المتواصل لنقل الرواسب وهجرة الأسماك من خلال بناء السدود والحواجز الصخرية والموانع. ومع ذلك، فإن تحديد مدى التغيرات التي تطرأ على خصائص النهر الطبيعية والكيميائية والأحيائية ونظامه البيئي، تعتمد إلى حد كبير على نوع محطات الطاقة المائية. وفي حين أن مشروعات توليد الطاقة المائية من جريان النهر لا تغير الطاقة الكهرمائية، فإن إنشاء خزان للطاقة المائية بالضخ للتخزين يفضي إلى تغيير بيئي كبير بتحويل نظام بيئي لنهر واسع الجريان إلى بحيرة اصطناعية راكدة. [5.6.1.1–5.6.1.6]

وعلى منوال الآثار الإيكولوجية لمشروع للطاقة الكهرمائية، يتباين مدى آثاره الاجتماعية على المجتمعات المحلية والإقليمية، وعلى استخدام الأراضي، والاقتصاد، والصحة والسلامة، أو التراث، وفقاً لنوع المشروع والأحوال المحددة الخاصة بالموقع. وعلى الرغم من أن مشروعات توليد الطاقة من التيار النهري تحدث تغييراً اجتماعياً طفيفاً، فإن إنشاء خزان تجميع في منطقة كثيفة السكان يؤدي إلى تحديات كبيرة تتعلق بإعادة التوطين وبالآثار الواقعة على سبل عيش السكان خلف الخزان. وإصلاح مستوى معيشة المجتمعات المتضررة وتحسينها مهمة شاقة طويلة الأمد أديرت بنجاح تحقق بنسب متباينة في الماضي. و يتوقف إلى حد بعيد ما إذا كانت محطات الطاقة المائية تستطيع

الإسهام في تعزيز التنمية الاجتماعية الاقتصادية، على كيفية تقاسم وتوزيع الخدمات والإيرادات العامة بين مختلف أصحاب المصلحة. كما يمكن لمحطات الطاقة المائية أن تحدث آثاراً إيجابية على الأحوال المعيشية للمجتمعات المحلية والاقتصاد الإقليمي، ليس فقط بتوليد الكهرباء، بل إنها أيضاً بتيسير إنشاء نظم تخزين للمياه العذبة تضاعف الأنشطة الأخرى المعتمدة على المياه، مثل الري والملاحة والسياحة ومصايد الأسماك أو إمداد الأحياء السكنية والصناعات بالمياه الكافية مع حمايتها في الوقت نفسه من الفيضانات ونوبات الجفاف. [5.6.1.7–5.6.1.11]

ويمثل تقييم وإدارة الآثار البيئية والاجتماعية المرتبطة، بصفة خاصة، بالمحطات الكبيرة للطاقة المائية، تحدياً رئيساً يواجه تنمية الطاقة المائية. ونظراً لأن نهج التشاور مع أصحاب المصلحة يؤكد عل الشفافية ويقوم على عملية منفتحة وتشاركية لصنع القرار، فإنه يدفع مشروعات الطاقة المائية الحالية والمستقبلية صوب إيجاد حلول صديقة للبيئة ومستدامة على نحو متزايد باطراد. وفي كثير من البلدان، جرى وضع إطار عمل قانوني وتنظيمي لتحديد سبل تنمية وتشغيل مشروعات الطاقة المائية، وفي الوقت نفسه قام العديد من هيئات التمويل متعددة الأطراف بوضع مبادئه التوجيهية ومتطلباته الخاصة لتقييم الأداء الاقتصادي والاجتماعي والبيئي لمشروعات الطاقة المائية. [5.6.2]

وإحدى المزايا الرئيسة للطاقة المائية هي أنها لا تحدث ملوثات للغلاف الجوي أو مخلفات ترتبط بحرق الوقود. ومع ذلك، فإن كافة نظم المياه العذبة، سواء كانت طبيعية أو صناعية، تصدر غازات دفيئة (مثل: ثاني أكسيد الكربون و الميثان) نتيجة لتفكيك المواد العضوية. وقد أظهرت تقييمات دورة الحياة لمشروعات الطاقة المائية حتى الآن صعوبة تعميم تقديرات دورة حياة غازات الدفيئة لمشروعات الطاقة المائية في كافة الأحوال المناخية، وفي أنواع غطاء الأراضي ما قبل تجميع المياه في الخزان، وفي الأوقات المختلفة، وفي تكنولوجيات الطاقة المائية وغير ذلك من الظروف المعينة للمشروعات. ويؤدي الطابع متعدد الأغراض لمعظم مشروعات الطاقة المائية إلى جعل وضع مخصصات للآثار الكلية لتعدد الأغراض تحدياً صعباً. إذ يعزو كثير من تقييمات دورة الحياة حتى وقتنا الراهن كافة آثار مشروعات الطاقة المائية إلى وظيفة توليد الكهرباء، التي قد تبالغ في بعض الأحيان في أهمية الانبعاثات التي تتحمل «مسؤوليتها». وتظهر تقييمات دورة الحياة (الشكل 5.2 بالملخص الفني) التي تقيس انبعاثات غازات الدفيئة الصادرة عن محطات الطاقة المائية خلال التشييد، والتشغيل والصيانة، والتفكيك، أن غالبية تقديرات انبعاثات غازات الدفيئة في دورة الحياة لمجموعة الطاقة المائية تتراوح بين 4 و14 جرام من ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلوواط ساعة، بيد أنه وفقاً لسيناريوهات معينة، ثمة إمكانية محتملة لانبعاث كميات أكبر كثيراً من غازات الدفيئة، مثلما توضحه التقييمات الخارجية. [5.6.3.1]

فعلى الرغم من أن بعض المسطحات المائية الطبيعية وخزانات المياه العذبة قد تمتص حتى انبعاثات غازات دفيئة أكبر مما تصدره، فثمة حاجة مؤكدة إلى إجراء تقييم سليم لصافي التغير في انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن إنشاء هذه الخزانات. وكافة تقييمات دورة الحياة المدرجة في عمليات التقييم هذه لم تقم سوى بقياس إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن هذه الخزانات، ولا يزال تحديد ما إذا كانت الخزانات مصادر صافية باعثة لغازات الدفيئة مجالاً لبحث نشيط، إذا أخذنا في الحسبان أن الانبعاثات كانت ستحدث بدون وجود هذه الخزانات. وعند النظر إلى صافي الانبعاثات بشرية المنشأ باعتباره يمثل الفارق في الدورة العامة للكربون بين حالات وجود الخزانات وحالات عدم وجودها، لا نجد في الوقت الراهن توافق في الآراء بشأن ما إذا كانت الخزانات مصادر باعثة صافية أو بالوعات احتجاز صافية. وثمة عمليتان دوليتان تقومان في الوقت الراهن بالتحقيق في هذه القضية: مشروع بحوث البرنامج الهيدرولوجي الدولي/منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة والمرفق الثاني عشر لاتفاق الطاقة المائية للوكالة الدولية للطاقة. [5.6.3.2]

5.7 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار

رغم أن الطاقة المائية تمثل تكنولوجيا ثابتة الجدوى ومتطورة جداً، فمازال هناك مجال لمزيد من التحسينات، مثلاً بالإدارة المثلى للعمليات، وتخفيف الآثار البيئية أو الحد منها، والتكيف مع المتطلبات الاجتماعية والبيئية الجديدة، وتنفيذ حلول تكنولوجية أكثر قوة ومردودية للتكاليف. وقد اقتربت التوربينات الكبيرة للطاقة المائية حالياً من الحد النظري للكفاءة، بنسبة تناهز 96 في المائة من الكفاءة لدى التشغيل عند المستوى الأفضل للكفاءة، بيد أن هذا ليس ممكناً دوماً، ومازالت هناك حاجة إلى مواصلة البحوث لتيسير إجراء مزيد من عمليات التشغيل الكفء على نطاق أوسع للتدفقات. ويمكن للتوربينات القديمة أن تتسم بانخفاض الكفاءة وفقاً للتصميم أو بكفاءة محدودة من جراء عوامل التحات والتكهف ولذا، فهناك إمكانية لزيادة إنتاج الطاقة بإعادة التجهيز بمعدات جديدة أعلى كفاءة، وعادة أيضاً بزيادة القدرة. وستحتاج معظم المعدات الإلكترونية و الميكانيكية العاملة اليوم إلى تحديثها إبان العقود الثلاثة المقبلة، مما يتيح تحسين الكفاءة وإنتاج قدرة وطاقة أعلى. وعلى المنوال نفسه، يمكن تحديث معدات التوليد أو إحلالها بمعدات إلكترونية ميكانيكية أخرى خلال فترة عمر المشروع، مما يسفر عن استخدام أكثر فعالية لتيار تدفق المياه نفسه. [5.7]

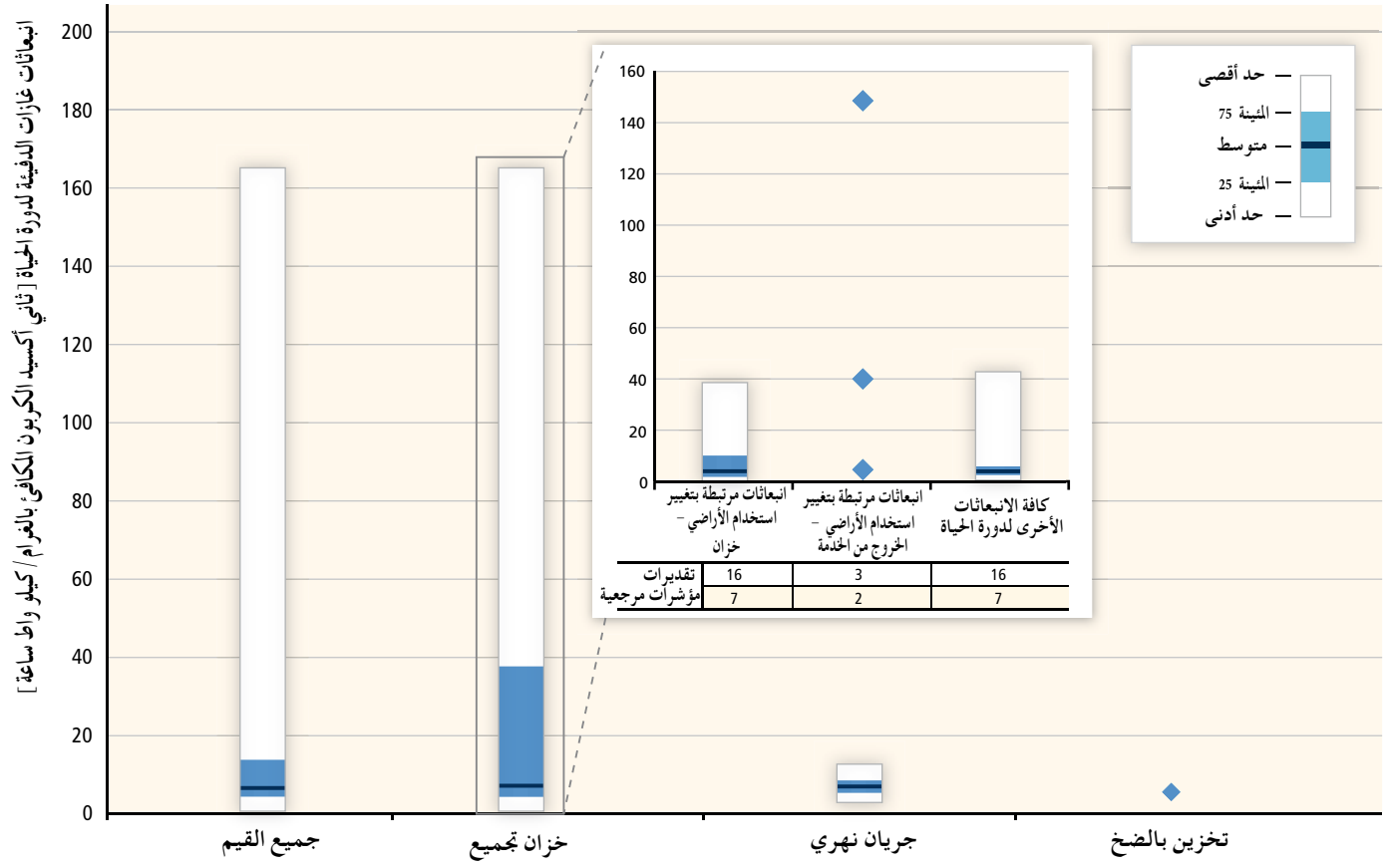
وثمة الكثير من العمليات الجارية للابتكار التكنولوجي وبحوث المواد تهدف إلى توسيع نطاق التشغيل فيما يتعلق بتعلية منسوب المياه ومستوى تصريفها وكذلك إلى تحسين الأداء البيئي والمصداقية والحد من التكاليف. وتتمثل بعض التكنولوجيات الواعدة قيد التطوير في: التكنولوجيا متغيرة السرعة، وتكنولوجيا المصفوفات، والتوربينات المدارة بحركية المياه، والتوربينات المقاومة للتآكل، والتكنولوجيا الجديدة للحفر وبناء السدود. وقد تفتح التكنولوجيات الجديدة الرامية إلى استغلال منسوب المياه المنخفض (<15 متراً) أو شديد الانخفاض (<5 أمتار)، كثير من المواقع أمام الطاقة المائية لم تكن في المنال باستخدام التكنولوجيا التقليدية. ونظراً لأن معظم البيانات المتاحة عن الإمكانيات المحتملة للطاقة المائية تستند إلى أعمال ميدانية جرت منذ عدة عقود، حينما لم تكن الطاقة المائية المولدة من منسوب مياه منخفض تمثل أولوية عليا، فإن البيانات المتاحة بشأن إمكانيات الطاقة المائية المولدة من منسوب مياه منخفض ربما لم تكن كاملة. وأخيراً، ثمة إمكانية كبيرة لتحسين عمليات تشغيل محطات الطاقة المائية باستخدام أساليب جديدة للارتقاء بتشغيل المحطات صوب الأداء الأمثل لها. [5.7.1–5.7.8]

5.8 اتجاهات التكلفة

غالباً ما تتمتع الطاقة المائية بقدرة اقتصادية تنافسية مع أسعار الطاقة السائدة في الأسواق، رغم أن تكلفة تنمية مشروعات الطاقة المائية الجديدة ونشرها وتشغيلها ستتباين من مشروع إلى آخر. ففي كثير من الأحيان تحتاج مشروعات الطاقة المائية إلى استثمارات أولية مرتفعة، بيد أنها تتمتع بميزة التكاليف المنخفضة بشدة للتشغيل والصيانة وبطول فترة عمرها. [5.8]

وتشمل التكاليف الاستثمارية للطاقة المائية: وتشييد المحطة؛ وخفض الآثار على الأسماك والحياة البرية والمواقع الترفيهية والتاريخية والأثرية؛ و مراقبة جودة المياه. وإجمالاً، ثمة فئتان رئيسيتان للتكاليف: تكاليف الإنشاءات الهندسية، التي تعد عادة التكاليف الكبرى لمشروع الطاقة الكهرمائية؛ وتكاليف المعدات الكهرميكانيكية. وتحذو تكاليف الإنشاءات الهندسية حذو اتجاهات الأسعار السائدة في البلاد التي ينفذ فيها المشروع. وفي حالة البلدان التي يمر اقتصادها بمرحلة انتقالية، من المرجح أن تكون التكاليف منخفضة نسبياً نتيجة استخدام العمالة المحلية والمواد المحلية. وتتبع تكاليف المعدات الكهرميكانيكية اتجاه الأسعار على الصعيد العالمي. [5.8.1]

واستناداً إلى منهجية مقننة موضحة إجمالاً في المرفق الثاني وإلى بيانات الأداء الموجزة في المرفق الثالث، فقد بينت الحسابات التكلفة المقومة لمشروعات الطاقة المائية عبر مجموعة ونطاق واسعين لمحددات المدخلات،



	جميع القيم	خزان تجميع	جريان نهري	تخزين بالضخ
تقديرات	27	18	8	1
مراجع	11	9	2	1

الشكل 5.2 الملخص الفني: انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن دورة حياة تكنولوجيات الطاقة المائية (قيم غير معدلة وردت في الدراسات السابقة، عقب تدقيق في النوعية). انظر المرفق الأول للاضطلاع على تفاصيل بشأن بحوث الدراسات السابقة واقتباسات من المؤلفات السابقة تسهم في التقديرات المبينة. ويشار إلى الانبعاثات السطحية من الخزانات بإجمالي انبعاثات غازات الدفيئة. [الشكل 5.15]

أنها تبلغ حداً منخفضاً يتراوح بالسنت الأمريكي لعام 2005، ما بين 1.1 / كيلوواط ساعة و 15 / كيلوواط ساعة، وفقاً للمحددات الخاصة بالموقع بالنسبة للتكاليف الاستثمارية لكل مشروع واستناداً إلى افتراضات تتعلق بمعدل الخصم، ومعامل القدرة، وفترة العمل، وتكاليف التشغيل والصيانة. [1.3.2، 5.8، 10.5.1، المرفق الثاني، المرفق الثالث]

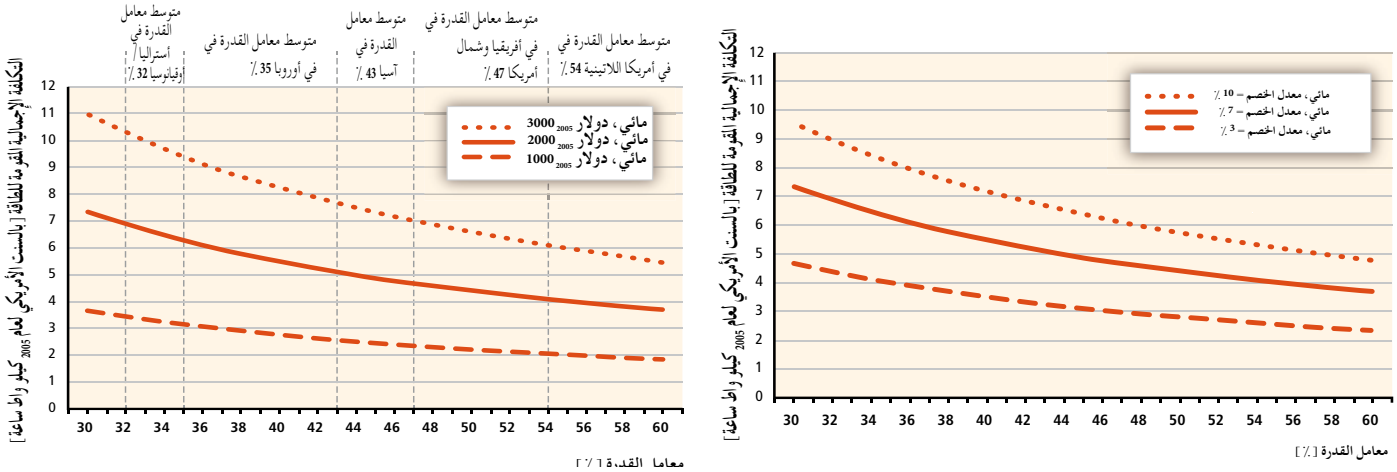
ويعرض الشكل 5.3 بالملخص الفني التكلفة المقومة للطاقة لمشروعات الطاقة المائية عبر مجموعة ونطاق مختلفين وأكثر نمطية نوعاً ما من المحددات المتسقة مع غالبية مشروعات الطاقة المائية، شأن دالة القدرة، في حين ينطبق عليها تكاليف استثمارية ومعدلات خصم مختلفة.

وتتحدد معاملات القدرة من خلال الأحوال الهيدرولوجية، والقدرة المركبة، وتصميم المحطة، وطريقة تشغيلها. فبالنسبة لتصميمات محطات القدرة المزمعة لإنتاج طاقة قصوى (أحمال أساسية) و / أو مع بعض الضبط والتنظيم، فغالباً ما تتراوح معاملات القدرة بين 30 و60 في المائة، مع متوسط معاملات قدرة لمناطق العالم المختلفة كما هو مبين في الشكل البياني. أما، بالنسبة لمحطات توليد الأحمال القصوى، فقد يكون معامل القدرة أقل حتى من هذا، في حين أن معاملات القدرة لنظم توليد الطاقة من الجريان النهري تتباين عبر نطاق واسع (20 إلى 95 في المائة) وفقاً للأحوال الجغرافية والمناخية، والتكنولوجيا المستخدمة، والخصائص التشغيلية. وبالنسبة لمتوسط معامل قدرة يبلغ 44 في المائة وتكاليف استثمارية تتراوح بين 1000 / كيلوواط و3000 / كيلوواط، بدولارات عام 2005، فإن التكلفة المقومة لتوليد الطاقة تتراوح بين 2.5 / كيلوواط ساعة و 7.5 / كيلوواط ساعة بالسنت الأمريكي لعام 2005.

ومن المتوقع أن تكون التكاليف الاستثمارية والتكلفة المقومة لتوليد الطاقة للمشروعات المنفذة في المستقبل القريب (حتى عام 2020) في هذا النطاق، رغم وجود إمكانية لتنفيذ مشروعات بتكاليف أقل أو أعلى. وفي ظل ظروف جيدة، يمكن أن تتراوح التكلفة المقومة لتوليد الطاقة من محطة طاقة مائية بين 3 / كيلوواط ساعة و5 / كيلوواط ساعة بالسنت الأمريكي لعام 2005. [5.8.3، 8.2.1.2، المرفق الثالث].

ثمة معلومات قليلة نسبياً عن الاتجاهات التاريخية لتكاليف الطاقة المائية في الدراسات السابقة. وأحد أسباب هذا بالإضافة إلى حقيقة أن تكاليف المشروع تتوقف بشدة على الموقع – قد تعزى إلى التركيبة المعقدة لتكاليف محطات الطاقة المائية، حيث قد يكون لبعض المكونات اتجاهات تكاليف متناقصة (مثل تكاليف حفر القنوات)، في حين أن بعضها الآخر له اتجاهات تكاليف متزايدة (مثل تكاليف تخفيف الآثار الاجتماعية البيئية). [5.8.4].

ويتمثل أحد العوامل المعقدة للحسابات عند إمعان النظر في تكاليف الطاقة المائية، بالنسبة للمستودعات متعددة الأغراض، في وجود حاجة إلى تقاسم أو



الشكل 5.3 الملخص الفني: التكلفة المقومة التقديرية الحديثة والقريبة الأمد للطاقة المائية (أ) باعتبارها دالة للقدرة و للتكاليف الاستثمارية *،***؛ و(ب) باعتبارها دالة لمعامل القدرة ومعدل الخصم **،***. [الشكل 5.20]

ملاحظات: *معدل الخصم يفترض أن يعادل 7 في المائة. ** التكاليف الاستثمارية يفترض أن تعادل بالدولار الأمريكي 2000/كيلوواط. *** التكاليف السنوية للتشغيل والصيانة يفترض أن تبلغ 2.5 في المائة/سنوياً من التكاليف الاستثمارية، أو فترة عمر المحطة يفترض أن تكون 60 عاماً.

تخصيص تكاليف تلبية احتياجات الاستخدامات الأخرى للمياه، مثل: الري والتحكم في الفيضانات والملاحة والطرق والإمداد بمياه الشرب والأسماك والترفيه. وثمة أساليب مختلفة لتخصيص التكاليف للأغراض المفردة، ولكل منها مزاياه ومثالبه. والقواعد الأساسية هي ألا تتجاوز التكاليف المخصصة لأي غرض منفعة هذا الغرض، وتحقيق كل غرض بتكلفته المستقلة. ويجري الحصول على التكلفة المستقلة لأي غرض بطرح تكلفة المشروع متعدد الأغراض – بدون هذا الغرض – من إجمالي تكلفة المشروع المشمولة بهذا الغرض. وغدا دمج العوامل الاقتصادية (أسعار بيع الطاقة و المياه) مع المنافع الاجتماعية (إمداد المزارعين بالمياه في حالة نقص المياه) وقيمة البيئة (الحفاظ على حد أدنى للتدفق البيئي) أداة لإمعان النظر في تقاسم التكاليف للمستودعات متعددة الأغراض. [5.8.5]

5.9 إمكانيات النشر

تتيح الطاقة المائية إمكانية كبيرة للحد من انبعاثات الكربون في الأمدين القريب والبعيد. وعلى الصعيد العالمي، من غير المرجح أن تؤدي موارد الطاقة المائية إلى المزيد من عمليات تقييد التنمية في الفترة بين الأمدين القريب والمتوسط، رغم أن بواعث القلق البيئية والاجتماعية قد تقيد فرص نشر استخدامها إذا لم تدر بعناية. [5.9]

وحتى وقتنا الراهن لم يستغل سوى 25 في المائة فحسب من إمكانيات الطاقة المائية في مختلف أنحاء العالم (أي 3551 تيراواط ساعة من بين 14575 تيراواط ساعة) (12.78 إكسغل من بين 52.47 إكسغل). وتقترح السيناريوهات طويلة الأمد مختلفة المنظور حدوث زيادة مستمرة خلال العقود المقبلة. وتتوقع عدة دراسات أن تستمر الزيادة التي حدثت في قدرة الطاقة المائية خلال السنوات العشر الأخيرة، في الفترة الممتدة بين الأمدين القريب والبعيد من 926 جيجاواط في عام 2009 إلى ما يتراوح بين 1047 و1119 جيجاواط بحلول 2015، وبإضافة سنوية تتراوح ما بين 14 إلى 25 جيجاواط. [5.9، 5.9.1]

وتظهر إسقاطات الحالات المرجعية الواردة في الفصل 10 (استناداً إلى 164 سيناريو طويل الأمد جرى تحليله) الدور الذي اضطلعت به الطاقة المائية في الإمداد بالطاقة في العالم وشمل نطاقاً واسعاً، بمتوسط يناهز 13 إكسغل (3600 تيراواط ساعة) في عام 2020، و16 إكسغل (4450 تيراواط ساعة) في عام 2030، و19 إكسغل (5300 تيراواط ساعة) في عام 2050. وقد بلغت بالفعل 12.78 إكسغل في عام 2009، ومن ثم فإن متوسط التقديرات البالغ 13 إكسغل لعام 2020 من المرجح أن يكون قد جرى تخطيه اليوم. كما تتيح نتائج بعض السيناريوهات قيماً أدنى من القدرة المركبة اليوم للأعوام 2020 و 2030 و2050، وهو ما ينافي الحدس المنطقي السليم، إذا نظرنا مثلاً إلى فترة العمر التشغيلي الطويلة لمحطات الطاقة المائية، وإمكانياتها السوقية الكبيرة وغير ذلك من الخدمات المهمة. وربما يمكن تفسير هذه النتائج من خلال أوجه ضعف النموذج/السيناريو (انظر المناقشات الواردة في القسم 10.2.1.2 من هذا التقرير). إذ من المتوقع أن يحدث نمو في الطاقة المائية حتى في غياب سياسات لتخفيف انبعاثات غازات الدفيئة، حتى مع انخفاض متوسط إسهام الطاقة المائية في الإمداد العالمي بالكهرباء مما يناهز 16 في المائة اليوم إلى أقل من 10 في المائة بحلول عام 2050. ونظراً لأنه من المفترض أن تغدو سياسات تخفيف انبعاثات غازات الدفيئة أشد صرامة في السيناريوهات البديلة، فسينمو إسهام الطاقة المائية: بحلول عام 2030، سيعادل الإسهام المتوسط للطاقة المائية زهاء 16.5 إكسغل (4600 تيراواط ساعة) في نطاقات التثبيت تتراوح بين 440 إلى 600 وأقل من 440 جزء من المليون من ثاني أكسيد الكربون المكافئ (مقارنة بمتوسط يبلغ 15 إكسغل في حالات خط الأساس)، بزيادة تصل إلى نحو 19 إكسغل بحلول عام 2050 (مقارنة بمتوسط يبلغ 18 إكسغل في حالات خط الأساس). [5.9.2]

وتظهر الإسقاطات الإقليمية لتوليد الطاقة المائية في عام 2035 زيادة قدرها 98 في المائة في منطقة آسيا والمحيط الهادي مقارنة بمستويات عام 2008، وبزيادة في أفريقيا تبلغ 104 في المائة. وتمثل البرازيل قوة الدفع الرئيسة وراء الزيادة المتوقعة بنسبة 46 ٪ في توليد الطاقة المائية في منطقة أمريكا الجنوبية والوسطى خلال الفترة الزمنية نفسها. وتتوقع أمريكا الشمالية وأوروبا/آسيا (الأوقيانوسيا) زيادة أكثر تواضعاً تبلغ على التوالي: 13 في المائة و27 في المائة، خلال الفترة ذاتها. [5.9.2]

وإجمالاً، تشير الدلائل إلى إمكان الوصول إلى مستويات مرتفعة نسبياً لانتشار الاستخدام في غضون الأعوام العشرين المقبلة. وحتى لو

تناقصت حصة الطاقة المائية من الإمداد بالكهرباء العالمية بحلول عام 2050، فستظل الطاقة المائية مصدراً مغرياً للطاقة المتجددة في سياق سيناريوهات تخفيف انبعاثات الكربون عالمياً. وعلاوة على ذلك، فقد تيسر زيادة تنمية الطاقة المائية للتخزين بالضخ، الاستثمار في البنية الأساسية لإدارة المياه، التي غدت ضرورية استجابة للمشكلات المتنامية المتعلقة بموارد المياه. [5.9.3]

5.10 الإدماج في نظم إدارة المياه

ترتبط المياه والطاقة وتغير المناخ ارتباطاً يصعب فصمه. فإتاحة المياه ضرورية بشدة لكثير من تكنولوجيات الطاقة، بما في ذلك الطاقة الكهرمائية، في حين أن الطاقة ضرورية لضمان إمداد الزراعة والصناعة والمنازل بالمياه، لاسيما في المناطق شحيحة المياه بالبلدان النامية. وهذه العلاقة الوثيقة أدت إلى إدراك أن الارتباط بين المياه والطاقة ينبغي معالجته بنهج شمولي، لاسيما فيما يتعلق بتغير المناخ والتنمية المستدامة. وقد يقتضي توفير الطاقة والمياه للتنمية المستدامة تحسين الحوكمة الإقليمية والعالمية للمياه. فنظراً لأن الطاقة المائية غالباً ما ترتبط بإنشاء مرافق تخزين للمياه، فإنها تقف في مفترق طرق أمام هذه القضايا، ويمكن أن تضطلع بدور مهم في تعزيز أمن الطاقة والمياه على حد سواء. [5.10]

واليوم يعيش زهاء 700 مليون نسمة في بلدان تعاني ضغوطاً على طلب المياه أو شحاً فيها. وبحلول عام 2035، من المتوقع أن يعيش ثلاثة مليارات نسمة في أحوال تتسم بضغوط مائية شديدة. ويعتمد كثير من البلدان التي تعاني محدودية المياه المتاحة على موارد مائية مشتركة، مما يزيد مخاطر نشوب الصراعات على هذه الموارد الشحيحة. ولذا، سيغدو التكيف مع آثار تغير المناخ مهماً أيما أهمية في إدارة المياه. [1.10.5]

وفي سياق يمكن للطاقة المائية متعددة الأغراض أن تصبح فيه أداة لتخفيف آثار تغير المناخ وشح المياه على حد سواء، فإن هذه المشروعات قد يكون لها دور تمكيني يتجاوز قطاع الكهرباء، كوسيلة لتمويل الخزانات، وللمساعدة على كفالة إتاحة المياه العذبة. ورغم ذلك، فإن الاستخدامات المتعددة قد تزيد إمكانية نشوب الصراعات وتحد من إنتاج الطاقة إبان أوقات انخفاض منسوب المياه. وعلى ضوء تقاسم مستجمعات المياه الرئيسة من عدة دول، فقد بات التعاون الإقليمي والدولي حتمياً. وتدعم الاتفاقات والمبادرات الحكومية الدولية المشتركة التي تطلقها المؤسسات الدولية بقوة هذه العمليات المهمة. [5.10.2، 5.10.3]

6 الطاقة البحرية

6.1 مقدمة

توفر الطاقة البحرية إمكانية خفض انبعاثات الكربون على المدى الطويل، لكن من غير المحتمل أن تقدم مساهمة كبيرة على المدى القصير قبل عام 2020، حيث أنها لا تزال في مرحلة وليدة من التطور. وتتجاوز الإمكانيات النظرية الكامنة في المحيطات التي تبلغ 7400 إكسغل/سنوياً بسهولة الاحتياجات البشرية الحالية من الطاقة. وتساهم السياسات الحكومية في تسريع نشر تكنولوجيات الطاقة البحرية، الأمر الذي يزيد التوقعات بإمكانية تسريع التقدم. وتوفر الفئات الست الرئيسية لتكنولوجيا الطاقة البحرية تنوعاً في مسارات التنمية المحتملة، وغالباً ما توفر آثاراً بيئية محتملة منخفضة كما هو مفهوم في الوقت الراهن. وهناك مؤشرات مشجعة على أن التكلفة الاستثمارية للتكنولوجيات الطاقة البحرية والتكلفة المقومة من الكهرباء المولدة سوف تنخفض عن مستوياتها الحالية غير المنافسة، باستمرار البحث والتطوير والتجارب، وتواصل النشر. ويعد التحقق مما إذا كان هذا التراجع في التكاليف كافياً لتمكين نشر واسع النطاق للطاقة البحرية من جوانب عدم اليقين الأكثر أهمية في تقييم الدور المستقبلي للطاقة البحرية في التخفيف من تغير المناخ. [6 ES, 6.1]

6.2 الموارد الممكنة

يمكن تعريف الطاقة البحرية على أنها الطاقة المستمدة من التكنولوجيات التي تستخدم مياه البحر كقوة دافعة لها أو تسخر إمكانية الماء الكيميائية أو الحرارية. ويستمد مصدر الطاقة المتجددة في المحيط من ستة مصادر مختلفة، كل منها له أصول مختلفة، ويتطلب تكنولوجيات مختلفة للتحويل. وهذه المصادر هي:

طاقة الأمواج المستمدة من نقل الطاقة الحركية للرياح إلى السطح العلوي للمحيط. ويبلغ إجمالي مورد طاقة الأمواج النظرية 32000 تيراواط ساعة/سنة (115 إكسغل/سنة)، لكن من المرجح أن تكون الإمكانيات الفنية أقل من ذلك بكثير، وسوف تعتمد على تطوير تكنولوجيات طاقة الأمواج. [6.2.1]

نطاق المد (ارتفاع المد وهبوطه) المستمد من قوى الجاذبية لنظام الأرض والشمس والقمر. وتتراوح الإمكانيات النظرية لتوليد الطاقة من المد والجزر في العالم في نطاق 1 إلى 3 تيراواط، وتقع في المياه الضحلة نسبياً. ومن المرجح، مرة أخرى، أن تكون الإمكانيات الفنية أقل بكثير من الإمكانيات النظرية. [6.2.2]

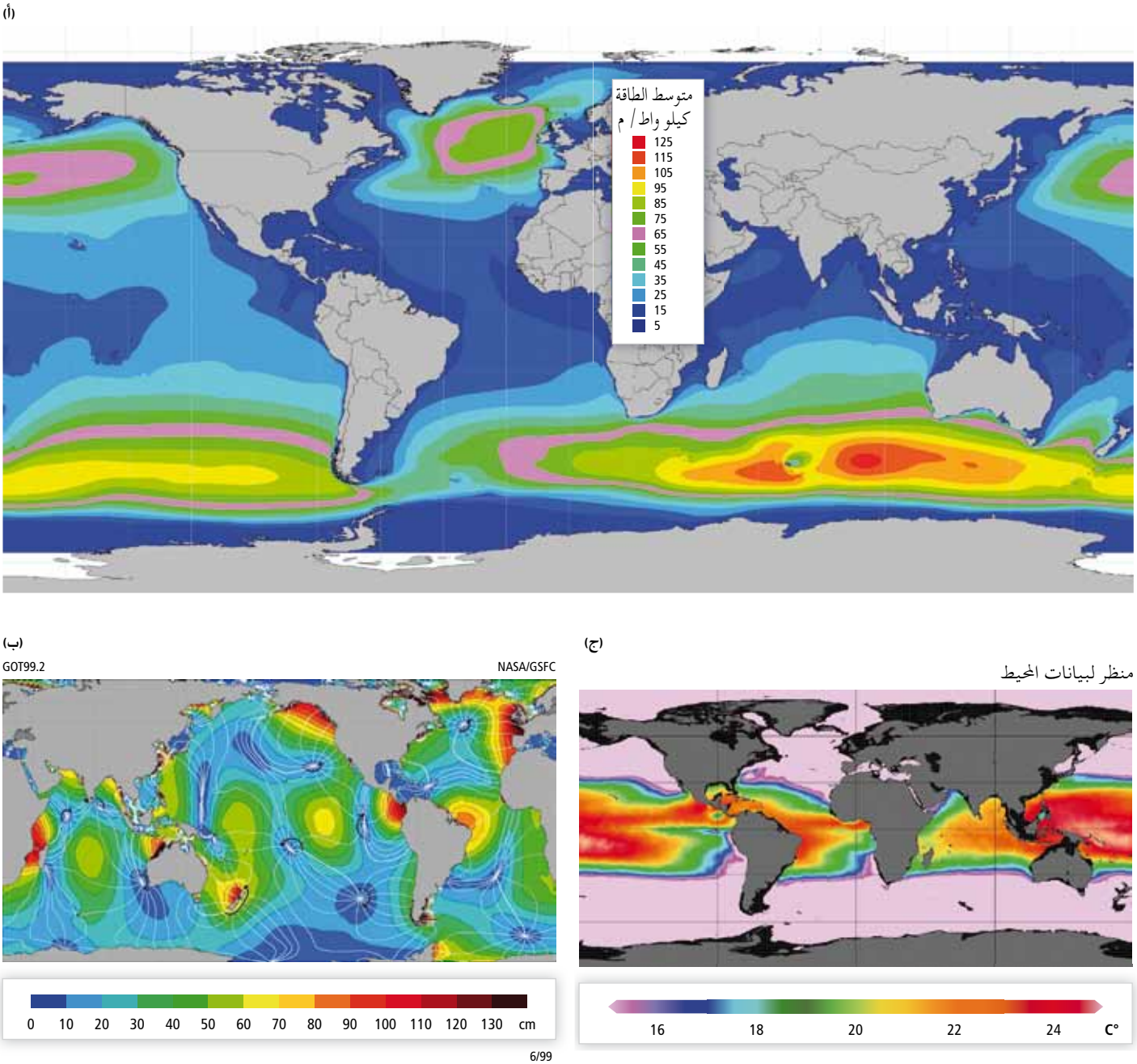
تيارات المد والجزر المستمدة من تدفق المياه التي تنتج عن عمليات ملء وإفراغ المناطق الساحلية الناجمة عن المد والجزر. وتشمل التقديرات الإقليمية الراهنة للإمكانيات الفنية الحالية للمد والجزر 48 تيراواط ساعة/سنوياً (0.17 إكسغل) لأوروبا و 30 تيراواط ساعة/سنوياً (0.11 إكسغل/سنوياً) بالنسبة للصين. كما تم تحديد مواقع جذابة تجارياً في جمهورية كوريا وكندا واليابان والفلبين ونيوزيلندا وأميركا الجنوبية. [6.2.3]

تيارات المحيط المستمدة من دوران المحيط المدفوع بالرياح وبالتباين الحراري والملحي. وأفضل نظام لتيارات المحيطات هو تيار جولف ستريم في أميركا الشمالية، حيث يتوافر لتيار فلوريدا إمكانيات فنية تبلغ 25 جيجاواط من قدرة توليد الكهرباء. وهناك مناطق أخرى بها إمكانيات واعدة لدوران المحيط تشمل تيارات اجولهاس/موزمبيق قبالة جنوب أفريقيا، وتيار كوروشيو (تيار اليابان البحري) قبالة شرق آسيا وتيار شرق استراليا. [6.2.4]

تحويل الطاقة الحرارية للبحار المستمدة من التباينات في درجات الحرارة الناجمة عن الطاقة الشمسية المخزنة كحرارة في طبقات البحر العليا ومياه البحر الأكثر برودة، وهي عموماً أقل من 1000 متر. على الرغم من أن كثافة الطاقة الخاصة بتحويل طاقة المحيط الحرارية منخفضة نسبياً، فإن إمكانية المورد عموماً هي أكبر بكثير من أشكال الطاقة البحرية الأخرى. وقد أشارت تقديرات إحدى الدراسات أجريت عام 2007 أنه بالإمكان الحصول على 44000 تيراواط ساعة/سنة (159 إكسغل/سنة) من الطاقة المنتظمة. [6.2.5]

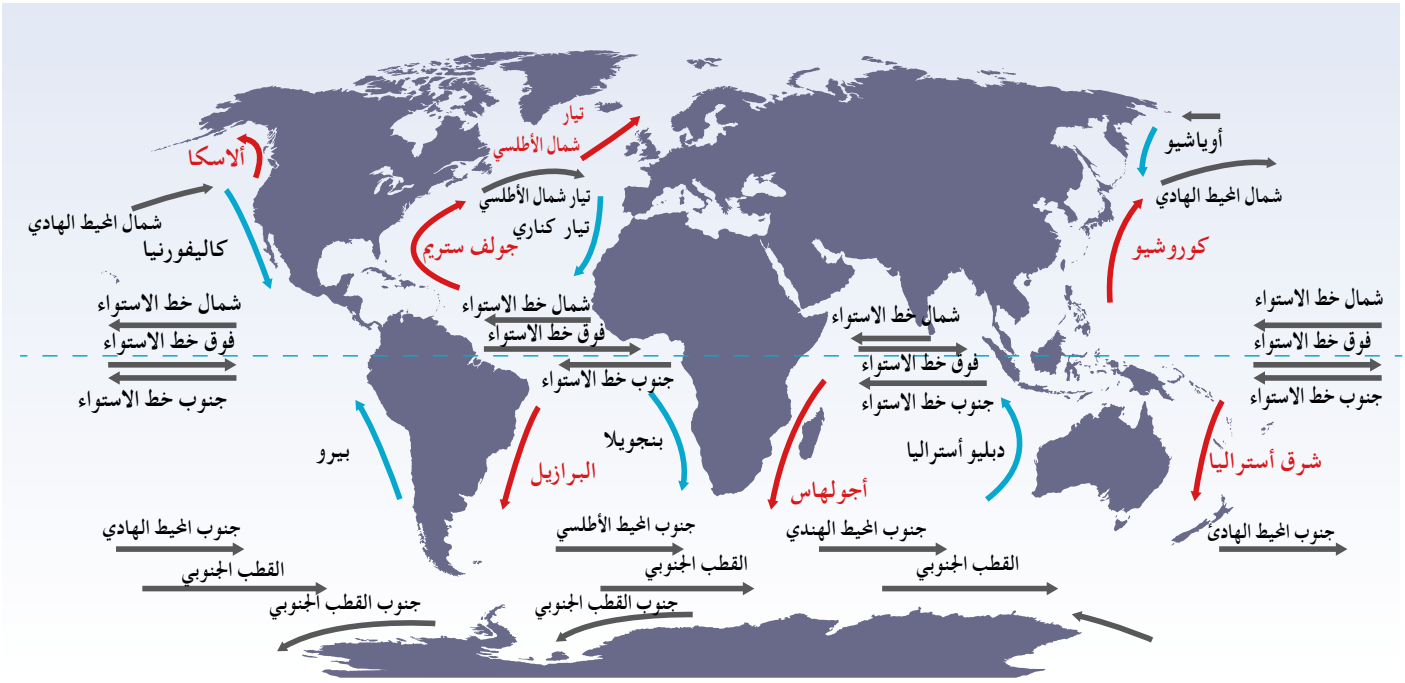
تدرجات الملوحة (الطاقة التناضحية) المشتقة من اختلافات ملوحة المياه العذبة والمحيطات عند مصبات الأنهار. وتقدر الإمكانيات النظرية لتدرجات الملوحة بـ 1650 تيراواط ساعة/سنة (6 إكسغل/سنة). [6.2.6]

ويقدم الشكل 6.1 بالملخص الفني أمثلة عن توزيع بعض مصادر طاقة المحيطات في جميع أنحاء العالم. ويتسم توزيع بعض موارد الطاقة البحرية بالطابع العالمي، مثل تيارات المحيط أو الطاقة المستمدة من تدرجات الملوحة. وتقع الطاقة الحرارية للمحيطات أساساً في المناطق المدارية حول خطوط العرض الاستوائية (خط عرض 0 إلى 35 درجة)، بينما يسجل أعلى قدر من طاقة الأمواج سنوياً بين خطي عرض 30 و60 درجة. وتخضع طاقة الأمواج في نصف الكرة الجنوبي لتقلبية موسمية أقل مما هي عليه في نصف الكرة الشمالي. وتعتبر تيارات المحيط، والطاقة الحرارية للبحار، وتدرجات الملوحة، وطاقة الأمواج، إلى حد ما، متسقة بما فيه الكفاية لتوليد طاقة الحمل الأساسية. وبما أن الدراسات المتوفرة لاتزال في مرحلة مبكرة، ونظراً للقدر الكبير من انعدام اليقين المتصل بالإمكانيات الفنية للطاقة البحرية، فإن التقديرات الفنية لإمكانيات الطاقة البحرية تتباين تبايناً كبيراً. [6.2.6–6.2.1]



الشكل 6.1a-c الملخص الفني: التوزيع العالمي لموارد الطاقة البحرية المختلفة: (أ) طاقة الموجة؛ (باء) نطاق المد والجزر؛ (ج) الطاقة الحرارية ابحرية. [الأشكال 6.1، 6.2، 6.4، 6.3]

(d)



الشكل 6.1d الملخص الفني: التوزيع العالمي لمختلف مصادر الطاقة البحرية: تيارات المحيط.

6.3 التكنولوجيا والتطبيقات

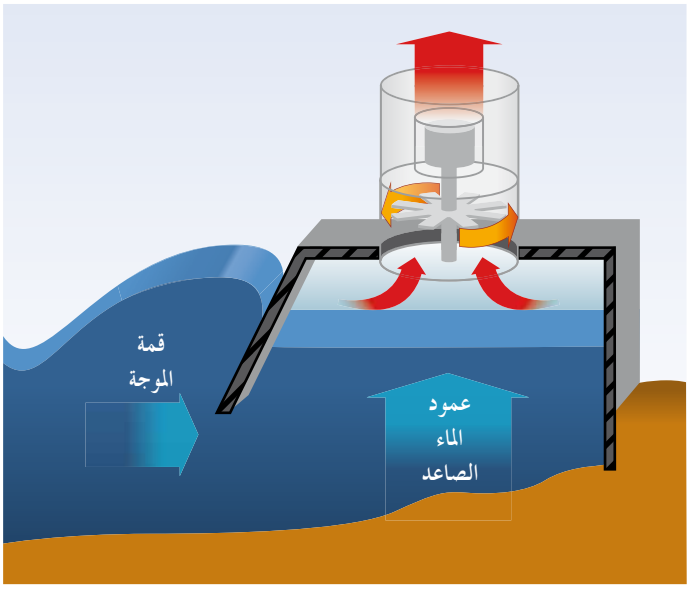
يتراوح الوضع الحالي لتطوير تكنولوجيات الطاقة البحرية بين مراحل تحديد المفاهيم والبحث والتطوير البحتة، ومراحلة تطوير النماذج الأولية والتجربة، في حين تعتبر تكنولوجيا نطاق المد والجزر لوحدها تكنولوجيا ناضجة. وفي الوقت الحاضر هناك الكثير من الخيارات التكنولوجية لكل مصدر من مصادر الطاقة البحرية، باستثناء مجموعة قناطر نطاق المد والجزر، كما لم يتحقق التقارب بين التكنولوجيات بعدُ. وعلى مدى العقود الأربعة الماضية، أحرزت الصناعات البحرية الأخرى (تحديداً عمليات النفط والغاز في أعالي البحار) تقدماً كبيراً في مجالات المواد، والتشييد، والتآكل، والكبلات البحرية والاتصالات. ومن المتوقع أن تستفيد الطاقة البحرية استفادة مباشرة من التقدم في هذه المجالات. [6.3.1]

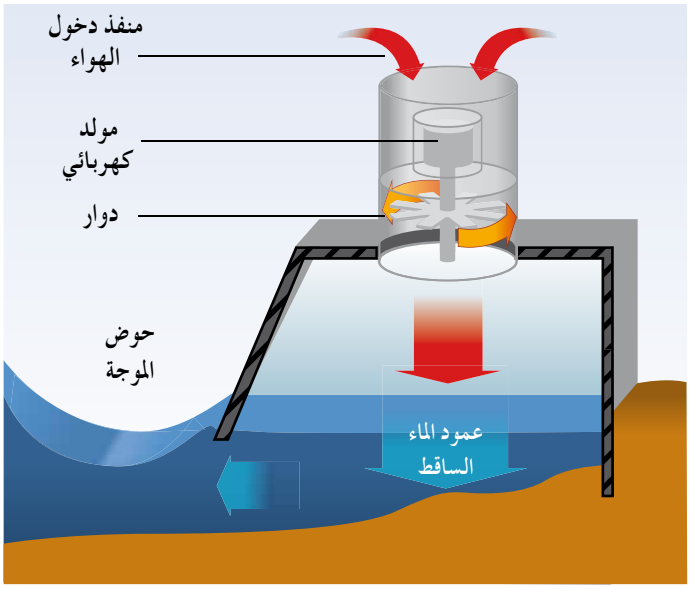
وقد جرى تصميم العديد من تكنولوجيات طاقة الأمواج تمثل مجموعة من المبادئ التشغيلية، كما جرى تجريبها في العديد من الحالات لتحويل الطاقة من الأمواج إلى شكل من أشكال الطاقة القابل للاستخدام. وتشمل المتغيرات الرئيسية طريقة تفاعل الأمواج مع الحركات الخاصة بها (الرفع، والدفق، والانحدار)، وكذلك عمق المياه (العميقة، والمتوسطة، والضحلة) والمسافة الفاصلة عن الشاطئ (خط الشاطئ، وقريبة من الشاطئ، وبعيدة عن الشاطئ). ويمكن تصنيف تكنولوجيات طاقة الأمواج إلى ثلاث مجموعات: أعمدة المياه المتذبذبة (أعمدة المياه المتذبذبة: ذات القاعدة الساحلية، العائمة)، والأجسام المتذبذبة (الطافية على السطح، والمغمورة)، والنبائط العُلوية (ذات القاعدة الساحلية، العائمة). [6.2.3] وترد مبادئ العملية في الشكل 6.2 بالملخص الفني.

ويمكن تسخير طاقة نطاق المد والجزر عن طريق تكييف مجموعة السدود النهرية الكهرمائية لاستحداث أوضاع تشبه مصبات الأنهار، حيث تطوق القنطرة مصب النهر. وبالتالي يمكن للقنطرة توليد الكهرباء أثناء الجزر والمد الفيضي وقد يكون لبعض القناطر مستقبلاً أحواض متعددة لضمان توليد الكهرباء بشكل يكاد يكون مستمرا. وأحدث المفاهيم الفنية هناك «بحيرات المد والجزر» المستقلة والبعيدة عن الشاطئ. [6.3.3]

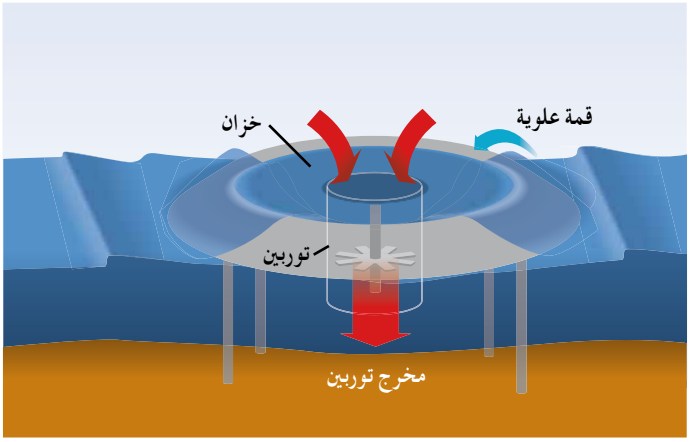
وتوجد التكنولوجيات اللازمة لتسخير الطاقة من تيارات المد والجزر وتيارات البحر أيضاً قيد التطوير، غير أن التقدم الأكبر قد أحرز في توربينات طاقة المد والجزر. وتشبه بعض تكنولوجيات الطاقة من تيارات المد والجزر/والبحار من حيث نضجها مولدات العاملة بالتوربينات الخاصة بالرياح، غير أنه ينبغي التوربينات الغاطسة أن تراعي عكس الدفق، والتجويف على حواف النصل والظروف البحرية القاسية تحت الماء. وتميل تيارات المد والجزر إلى أن تكون ثنائية الاتجاه، وتتفاوت وفقاً لدورة المد والجزر، وسريعة الجريان نسبياً، مقارنة بتيارات البحار، التي عادة ما تكون أحادية الاتجاه وبطيئة الحركة لكنها متواصلة. وتصنف المحولات من حيث طريقة عملها إلى توربينات دفق محوري، وتوربينات دفق متقاطع ونبائط ترددية كما هو موضح في الشكل 6.3 بالملخص الفني. [6.3.4]

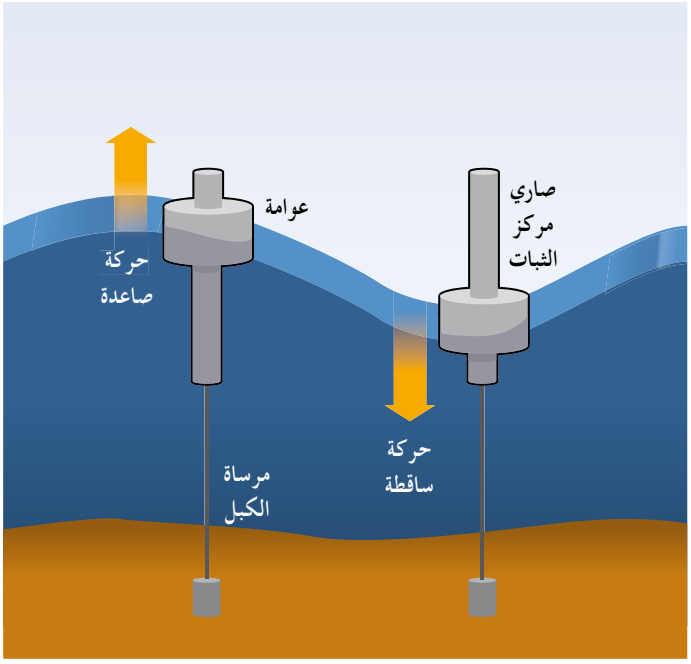
وتستخدم محطات تحويل الطاقة الحرارية البحرية التباينات في درجات الحرارة بين مياه البحر الدافئة من سطح البحر ومياه أعماق البحر الباردة (وغالباً ما يستخدم عمق 1000 م كمستوى مرجعي) لإنتاج الكهرباء. وتستخدم أنظمة تحويل الطاقة الحرارية البحرية ذات الدورة المفتوحة مياهَ البحر مباشرة كسائل دوار، في حين تستخدم الأنظمة مغلقة الدورة المبادلات الحرارية والسوائل الثانوية العاملة (الأمونيا أكثر شيوعاً) لتشغيل التوربينات. وتستخدم النظم الهجينة كلاً من العملية ذات الدورة المفتوحة والمغلقة. وبالرغم من التجارب المتصلة بتكنولوجيات تحويل الطاقة الحرارية البحرية، طرحت مشاكل تتعلق بقضايا صيانة الفراغات، والسخام الأحيائي للمبادل الحراري والتآكل. وتركز البحوث الحالية على التغلب على هذه المشاكل. [6.3.5]





الشكل 6.2a / b بالملخص الفني: فئة من محولات طاقة الأمواج وطريقة عملها: نبائط عمود الماء المتذبذب. [الشكل 6.6] (تصميم المختبر الوطني للطاقة المتجددة)



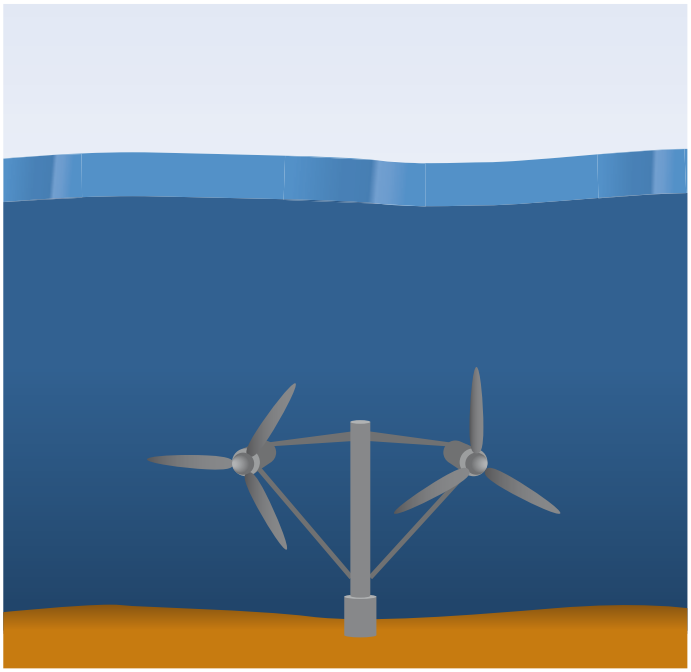


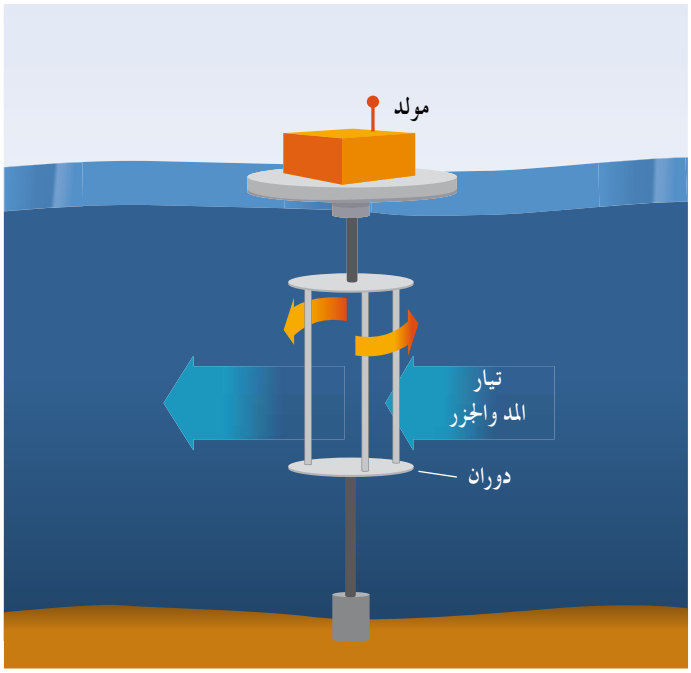
الشكل 6.2c / d بالملخص الفني: محولات طاقة الأمواج وطريقة عملها: نبائط عمود الماء المتذبذب؛ (اليسار) نبيطة الجسم المتذبذب، والنبيطة العُلوية (اليمين). [الشكل 6.6] من تصميم المعهد الوطني للطاقة المتجددة.

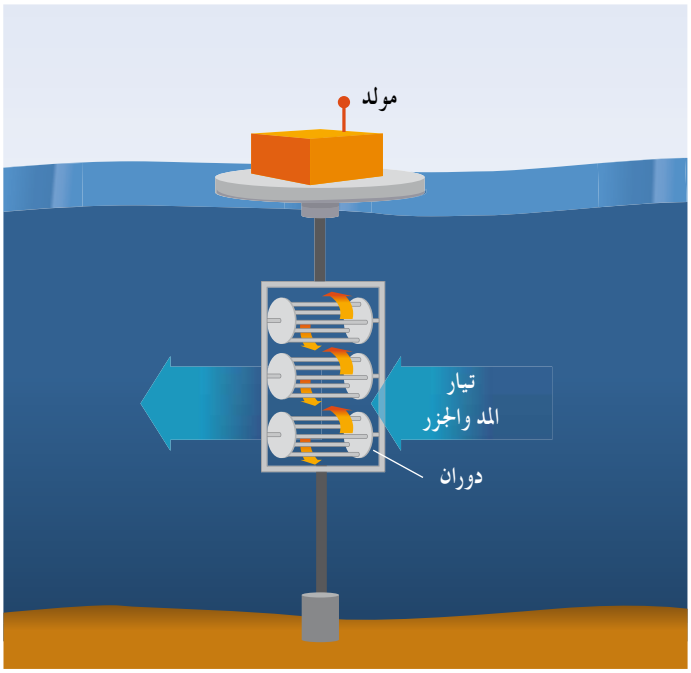
ويمكن استخدام الملوحة المتدرجة بين المياه العذبة من الأنهار ومياه البحر كمصدر للطاقة بمفهومين على الأقل قيد التطوير. فعملية الديلزة (الميز الغشائي) الكهربائية العكسية هي مفهوم يكون فيه الفرق في الإمكانية الكيميائية بين المحلولين هو القوة الدافعة (الشكل 6.4 بالملخص الفني). ويستخدم تناضح الضغط المثبَّط، أو عملية الطاقة التناضحية، مفهومَ التناضح الذي يحدث طبيعياً، وهي إمكانية الضغط الهيدروليكي، الذي يسببه ميل المياه العذبة للاختلاط بمياه البحر نظراً إلى التباين في تركيز الملوحة (الشكل 6.5). [6.3.6 الملخص الفني]

6.4 حالة الأسواق عالمياً وإقليمياً وتطور الصناعة

تكاثرت مشاريع البحث والتطوير الخاصة بتكنولوجيات الطاقة المستمدة من الأمواج وتيار المد والجزر في العقدين الماضيين، ووصل بعضها الآن إلى مرحلة النموذج ما قبل المرحلة التجارية على نطاق واسع. وفي الوقت الحاضر، تعتبر سدود المد والجزر تكنولوجيا الطاقة البحرية التي تشتغل بحجمها الكامل المتاحة حالياً، وأفضل مثال على ذلك هو سد لارانس في شمال غرب فرنسا الذي ينتج 240 ميجاواط، والذي استكمل تشييده عام 1966. ومن المقرر أن يبدأ تشغيل سد سيهوا بقدرة 254 ميجاواط في كوريا الجنوبية في عام 2011. ولا تزال التكنولوجيات اللازمة لتطوير مصادر الطاقة الأخرى بما في ذلك تحويل الطاقة البحرية الحرارية، وتدرجات الملوحة وتيارات المحيط، في مرحلة تحديد المفاهيم أو البحث والتطوير أو في مراحل وضع النماذج الأولى. وتوجد حالياً أكثر من 100 تكنولوجيا من تكنولوجيات الطاقة البحرية المختلفة قيد التطوير في أكثر من 30 بلداً. [6.4.1]







الشكل 6.3 الملخص الفني: محولات طاقة المد والجزر الحالية وطريقة عملها: (أعلى اليسار) نبيطة مزدوجة التوربينة أفقية المحور؛ (أسفل اليسار) نبيطة دفق متقاطعة، و (أعلى اليمين) نبيطة عمودية المحور. [الشكل 6.8]

والمستثمرون الرئيسيون في مجال البحث والتطوير الخاص بالطاقة البحرية ونشرها هم الحكومات الوطنية والفدرالية وحكومات المحافظات، تليها منشآت الطاقة الكبرى وشركات الاستثمار. وتعتبر الحكومات الوطنية والإقليمية داعمة للطاقة البحرية من خلال مجموعة من المبادرات المالية والتنظيمية والتشريعية اللازمة لدعم عمليات التطوير هذه. [6.4.7]

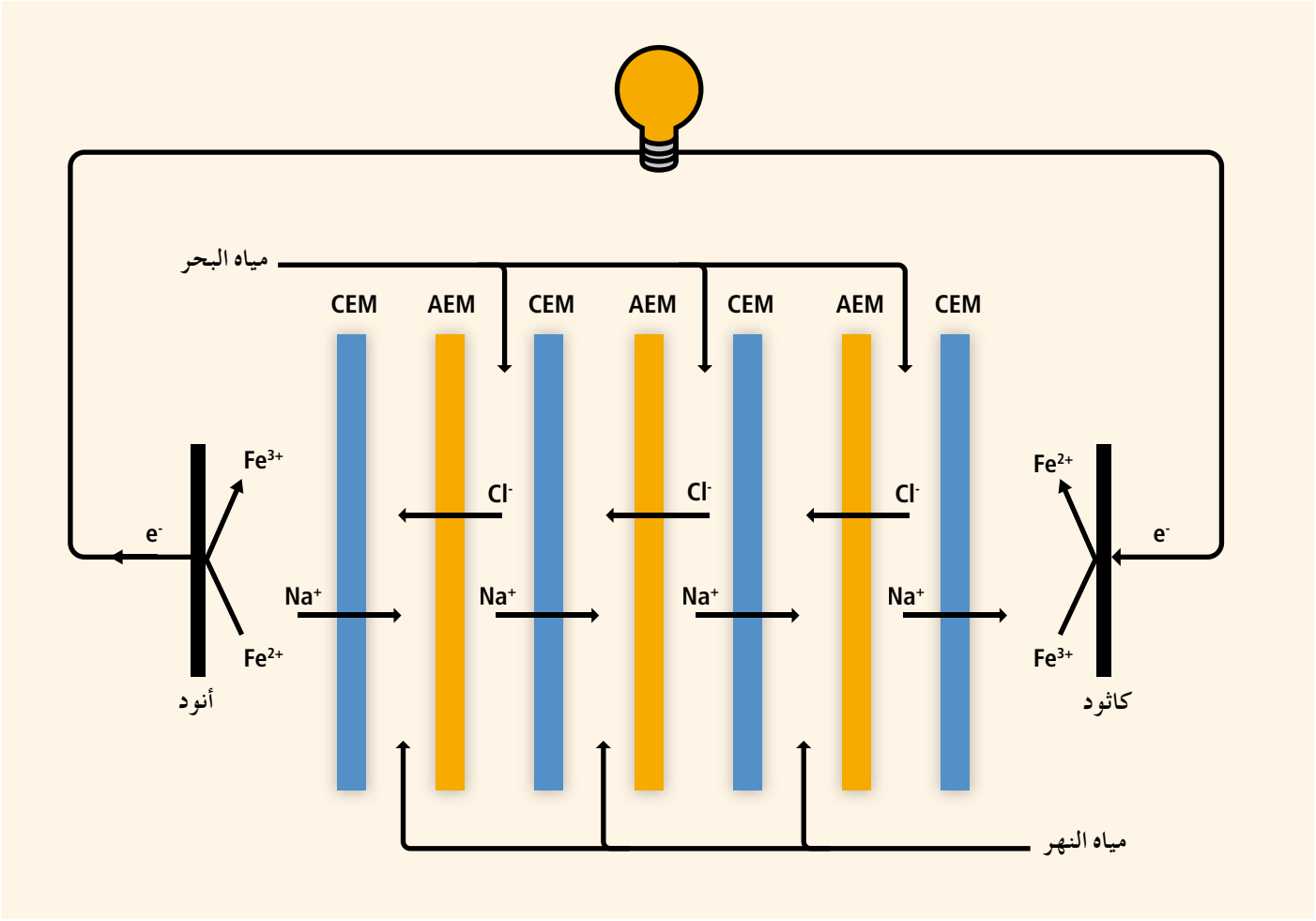
ويعتبر التطوير الصناعي في مجال الطاقة البحرية في مرحلته المبكرة للغاية، وليست هناك صناعة لهذه التكنولوجيات في الوقت الحاضر. وقد يؤدي تزايد الاهتمام إلى نقل المهارات والقدرات والإمكانيات من الصناعات المرتبطة بها، جنباً إلى جنب مع أبعاد ابتكارية خاصة جديدة. وتتجلى إحدى السمات المثيرة للاهتمام فيما يخص الطاقة البحرية في تطوير عدد من المراكز الوطنية لاختبار الطاقة البحرية، حيث أصبحت هذه بؤراً لاختبار الأجهزة، وإصدار الشهادات وإجراء أعمال البحث والتطوير المتقدمين. [6.4.1.2]

ويمكن تقييم حالة تطور الصناعة من خلال رصد نظم الطاقة البحرية القائمة أو التي نشرت أخيراً.

طاقة الأمواج: هناك عدد من نماذج طاقة الأمواج القائمة على الشاطئ التي تعمل في جميع أنحاء العالم. ويعمل جهازاً أعمدة مياه متذبذبة في البرتغال واسكتلندا منذ عقد من الزمن تقريباً، في حين تم اختبار جهازين آخرين من أجهزة أعمدة المياه المتذبذبة قبالة الشاطئ على نطاق النموذج الأولي في أستراليا وأيرلندا. ودخل آخر جهاز من أجهزة أعمدة المياه المتذبذبة قيد التشغيل قبالة الساحل الجنوبي من الهند بين عامي 1990 و2005. ويقوم عدد من الشركات في أستراليا والبرازيل والدانمرك وفنلندا وأيرلندا والنرويج والبرتغال وأسبانيا والسويد ونيوزيلندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية باختبار نماذج تجريبية أو ما قبل المرحلة التجارية في عرض البحر، وتبلغ طاقة أكبرها 750 كيلوواط. [6.4.2]

نطاق المد والجزر: تعمل محطة لارانس التي تنتج 240 ميجاواط في فرنسا منذ عام 1966. وقد تم تشغيل مشاريع أخرى أصغر حجماً منذ ذلك الحين في الصين وكندا وروسيا. وسيشتغل سد سيهوا التي ينتج 254 ميجاواط خلال عام 2011 في كوريا الجنوبية، وهناك العديد من المشاريع الكبيرة الأخرى قيد النظر. [6.4.3]

تيارات المد والجزر وتيارات البحر: هناك أكثر من 50 جهازاً تقريباً من أجهزة تيارات المد والجزر في مرحلة إثبات المفهوم أو مرحلة تطوير النموذج الأولي، لكن لم تتضح بعد تكاليف النشر على نطاق واسع. المثال الأبرز على ذلك هو توربين المد والجزر سينجين (SeaGen)، الذي تم إقامته بالقرب من أيرلندا الشمالية وزود بالكهرباء شبكة الكهرباء لأكثر من سنة.



الشكل 6.4 الملخص الفني: نظام الديلزة الكهربائية العكسية. [الشكل 6.9]

ملاحظات: CEM = غشاء تبادل الأيونات الموجبة؛ AEM = غشاء تبادل الأنيون، Na = صوديوم، Cl = كلور، Fe = حديد.

وقد اختبرت شركة أيرلندية توربيناً مفتوح الحلقة في اسكتلندا، ومؤخراً في كندا. وقد جربت شركتان أخريان توربينات أفقية المحور بكامل طاقتها في النرويج واسكتلندا، في حين جربت شركة أخرى توربيناً عمودي المحور في إيطاليا. وأخيراً، جرب جهاز ترددي في المملكة المتحدة في عام 2009. ولم تُنشر أي محطات رائدة أو تجريبية لتيارات المحيط حتى الآن، على الرغم من وضع تصور لمحطات أكبر بكثير إذا ما توفرت تكنولوجيات قادرة على التقاط تيارات أبطأ سرعةً. [6.4.4]

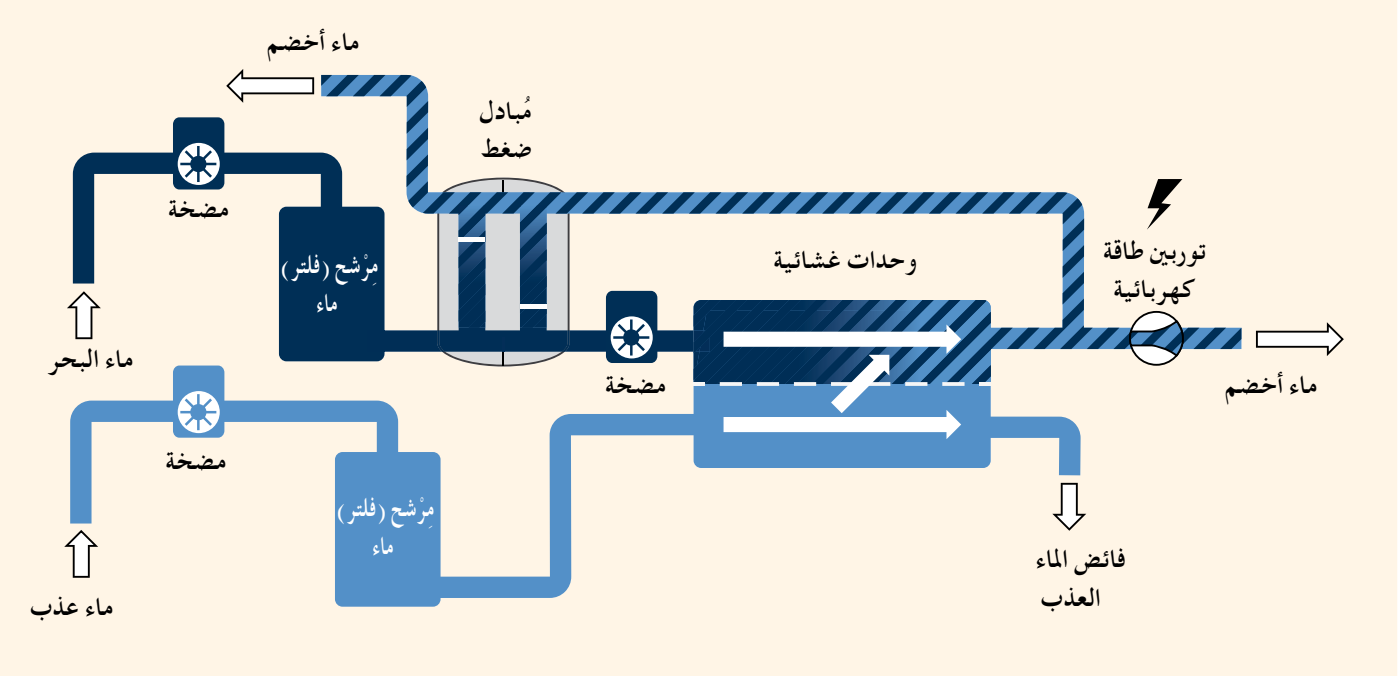
تحويل طاقة المحيط الحرارية: اختبرت اليابان والهند والولايات المتحدة وعدة بلدان أخرى مشاريع رائدة لتحويل طاقة المحيط الحرارية. وشهد العديد منها تحديات هندسية ذات صلة بالضخ، والاحتفاظ بالفراغ ونشر الأنابيب. ويمكن للتطورات الخاصة بتحويل طاقة المحيط الحرارية على نطاق أوسع أن تمكنها من دخول الأسواق الكبيرة في الدول المدارية البحرية، بما في ذلك جزر المحيط الهادئ وجزر الكاريبي ودول أمريكا الوسطى وأفريقيا إذا تطورت التكنولوجيا إلى نقطة يكون الحصول على إمدادات طاقة عندها خياراً فعالاً من حيث التكلفة. [6.4.5]

تدرجات الملوحة: تجري البحوث على الطاقة التناضحية في النرويج، مع وجود نموذج أصلي قيد التشغيل منذ عام 2009 كجزء من خطة لتسليم محطة تجارية للطاقة التناضحية. وفي الوقت نفسه، تم اقتراح تكنولوجيا الديلزة (الميز الغشائي) الكهربائية العكسية لإعادة تركيب سد أفسلوديجك (Afsluitdijk) البالغ عمره 75 عاماً في هولندا. [6.4.6]

6.5 الآثار البيئية والاجتماعية

الطاقة البحرية لا تبعث ثاني أكسيد الكربون مباشرة أثناء التشغيل؛ إلا أن انبعاثات غازات الدفيئة قد تنشأ عن جوانب مختلفة لدورة حياة نظم الطاقة البحرية، بما في ذلك استخراج المواد الخام وتصنيع المكونات، والبناء والصيانة وعمليات إيقاف التشغيل. وقد نُشر استعراض شامل لدراسات تقييم دورة الحياة منذ عام 1980 ويشير إلى أن انبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة من أنظمة طاقة الأمواج وطاقة المد والجزر أقل من 23 جراماً من ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلوواط ساعة، مع متوسط تقدير لانبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة بحوالي 8 جرام من ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلوواط ساعة لطاقة الأمواج. لكن الدراسات المتوفرة غير كافية لتقدير انبعاثات دورة الحياة من الفئات الأخرى من تكنولوجيا الطاقة البحرية. وبغض النظر عن ذلك، فبالمقارنة بتقنيات تكنولوجيات توليد الطاقة الأحفورية، تبدو انبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة من أجهزة الطاقة البحرية منخفضة. [6.5.1]

ويجري حالياً تقييم الآثار الاجتماعية المحلية والبيئية لمشاريع الطاقة البحرية حيث يتضاعف الانتشار الفعلي، لكن يمكن تقديرها استناداً إلى تجربة



الشكل 6.5 الملخص الفني: عملية تناضح ضغط مثبَّط. [الشكل 6.10]

الصناعات البحرية والواقعة في عرض البحار الأخرى. وتبدو المخاطر البيئية من تكنولوجيات الطاقة البحرية منخفضة نسبياً، لكن المرحلة المبكرة من نشر الطاقة البحرية تستحدث شكوكاً حول مدى تقييد الشواغل الاجتماعية والبيئية للتنمية في نهاية المطاف. [6 ES]

ولكل تكنولوجيا من تكنولوجيات الطاقة البحرية مجموعتها الخاصة بها من الآثار البيئية والاجتماعية. وقد تشمل الآثار الإيجابية المحتملة من الطاقة البحرية تجنُّبَ الآثار الضارة على الحياة البحرية بسبب الحد من الأنشطة البشرية الأخرى في المنطقة المحيطة بأجهزة المحيطات، وتعزيزَ إمدادات الطاقة والنموَ الاقتصادي الإقليمي، وإيجادَ فرص العمل والسياحة. وقد تشمل الآثار السلبية خفضاً في الراحة البصرية وفقدانَ إمكانية الوصول إلى الفضاء للمستخدمين المتنافسين، والضوضاءَ خلال البناء، والضجيجَ والاهتزاز أثناء التشغيل، والحقول الكهرومغناطيسية، وتعطلَ الكائنات الحية والموائل، وتغيرات نوعية المياه والتلوثَ المحتمل، على سبيل المثال، من المواد الكيميائية أو تسرب النفط، وغيرها من الآثار الخاصة على النظم الايكولوجية المحلية المحدودة. [6.5.2]

6.6 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار والتكامل

لدى أجهزة الطاقة البحرية القدرة على التقدم التكنولوجي الكبير على اعتبار أنها تكنولوجيات ناشئة. ولا يقف الأمر على أهمية النشر والبحوث والتطوير الخاصة بالأجهزة في تحقيق هذا التقدم، لكن التحسينات التكنولوجية والابتكار في مجال محولات الطاقة البحرية من المرجح أيضاً أن تتأثر بالتطورات في المجالات ذات الصلة. [6.6]

وسيكون تكامل الطاقة البحرية في شبكات أوسع بحاجة إلى الاعتراف بخصائص التوليد المتفاوتة على نطاق واسع والناشئة عن الموارد المختلفة. على سبيل المثال، يُظهر توليد الكهرباء من مصادر تيار المد والجزر تبايناً شديداً للغاية على مدى ساعة إلى أربع ساعات، وإن كانت ذات تفاوت محدود للغاية على مدى الآفاق الزمنية الشهرية أو الأطول من ذلك. [6.6]

6.7 اتجاهات التكلفة

لم تدفع الأسواق التجارية بعدُ بالتطورَ التكنولوجي للطاقة البحرية. وتعتبر البحوث والتنمية المدعومة حكومياً والحوافز السياسية الوطنية الدافعان الرئيسان. ولأن أياً من تكنولوجيات الطاقة البحرية ناضجة، ما عدا قناطر المد (أصبحت التجربة مع غيرها من التكنولوجيات الآن متاحة فقط للتأكد من صحة أجهزة إثبات الجدوى/النموذج الأولي)، فإنه يصعب إجراء تقييم دقيق للجدوى الاقتصادية لمعظم تكنولوجيات الطاقة البحرية. [6.7.1]

ويبين الجدول 6.1 بالملخص الفني أفضل البيانات المتاحة عن بعض عوامل التكلفة الأولية التي تؤثر على التكلفة المقومة للكهرباء لكل نوع من الأنواع الفرعية للطاقة البحرية. وفي معظم الحالات، تستند هذه البارامترات الخاصة بالتكلفة والأداء إلى معلومات متناثرة بسبب عدم وجود بيانات مرجعية وخبرات تشغيلية فعلية جرت مراجعتها مقابل بيانات وخبرات مناظرة، وبالتالي تعكس التكلفة المقدرة في حالات كثيرة افتراضات التكلفة والأداء القائم على المعرفة الهندسية. وقد عُثر على تكاليف الاستثمار في الوقت الحاضر في بعض الحالات القليلة لكنها تعتمد على عينة صغيرة من المشاريع والدراسات، التي قد لا تكون ممثلة لهذه الصناعة برمتها. [6.7.1]

وبناء على المنهج المعياري المبين في المرفق الثاني وبيانات التكلفة والأداء الملخصة في المرفق الثالث، وقد احتسبت التكلفة الإجمالية المقومة لقناطر المد والجزر (التي تعتبر في الوقت الراهن تكنولوجيا الطاقة البحرية الوحيدة المتاحة تجاريا) عبر مجموعة كبيرة ونطاق كبير من بارامترات الإدخال على أساس يتراوح بين 12 سنتاً أمريكياً 2005/كيلوواط ساعة إلى 32 سنتاً 2005/كيلوواط ساعة. لكن ينبغي اعتبار هذا النطاق مؤشراً توضيحياً

الجدول 6.1 الملخص الفني: ملخص التكاليف الأساسية المتاحة وبارامترات الأداء لجميع الأنواع الفرعية لتكنولوجيا الطاقة البحرية. [الجدول 6.3]

تكنولوجيا الطاقة البحرية	التكلفة الاستثمارية (دولار أمريكي 2005 / كيلوواط)	التكلفة الاستثمارية للتشغيل والصيانة (دولار أمريكي 2005 / كيلوواط)	عامل القدرة (٪)	حياة التصميم (سنوات)
الموجة	16,100-6,200	180	40-25	20
نطاق المد والجزر	5,000-4,500	100	28.5-22.5	40
تيار المد والجزر	14,300-5,400	140	40-26	20
تيار البحر	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	20
حرارة البحر	12,300-4,200[1]	لا ينطبق	لا ينطبق	20
تدرج الملوحة	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	20

ملاحظة: 1 – لم تحول أرقام التكلفة الخاصة بالطاقة البحرية الحرارية إلى قيمة الدولار الأمريكي لعام 2005.

نظراً للحالة الراهنة لتجربة النشر. [1.3.2، 6.7.1، 6.7.3، 10.5.1، المرفق الثاني، المرفق الثالث]

وبسبب هذه المرحلة المبكرة من التطور التكنولوجي، ينبغي النظر في تقديرات التكاليف المستقبلية للطاقة البحرية على أنها تكهنية. ومع ذلك، من المتوقع أن تنخفض تكلفة الطاقة البحرية بمرور الوقت وذلك مع المضي قدماً في البحوث والتطوير وإثبات الجدوى والنشر. [6.7.1–6.7.5]

6.8 إمكانيات النشر

حتى حوالي عام 2008، لم تُؤخذ الطاقة البحرية في الاعتبار في أي من الأنشطة المنمذجة لسيناريو الطاقة العالمية الكبرى، وبالتالي فإن تأثيرها المحتمل على مستقبل إمدادات الطاقة العالمية والتخفيف من تغير المناخ هو مجرد بداية قيد التحقيق الآن. وعلى هذا، فإن نتائج المؤلفات المنشورة عن هذه السيناريوهات من حيث صلتها بالطاقة البحرية تعتبر متفرقة وأولية، وتعكس مجموعة واسعة من النتائج المحتملة. وتحديداً، تعتبر سيناريوهات نشر الطاقة البحرية في ثلاثة مصادر رئيسة هنا هي: "ثورة الطاقة 2010" "Energy [R]evolution (E[R]) 2010" و"توقعات الطاقة العالمية الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة 2009" "IEA World Energy Ou – look (WEO) 2009" "وآفاق تكنولوجيا الطاقة" "Energy Techno – ogy Perspectives (ETP) 2010". واعتبرت سيناريوهات متعددة في كل من تقارير "E[R]" و"ETP" إضافة إلى سيناريو مرجعي وحيد تم توثيقه في تقرير "WEO". وثمة ملخص لكل سيناريو في الجدول 6.2 بالملخص الفني.

هذا العرض التمهيدي من السيناريوهات التي تصف مستويات بديلة من نشر الطاقة البحرية هو من بين المحاولات الأولى لإعادة النظر في دور محتمل للطاقة البحرية في السيناريوهات المتوسطة والطويلة الأمد مع نية إنشاء المساهمة الممكنة للطاقة البحرية في إمدادات الطاقة المستقبلية والتخفيف

الجدول 6.2 الملخص الفني: الخصائص الرئيسية للسيناريوهات المتوسطة إلى طويلة الأجل من الدراسات الرئيسية المنشورة، التي تشمل الطاقة البحرية. [الجدول 6.5]

	نشر تيراواط ساعة / سنة (PJ / سنة)				جيجاواط	
السيناريو	2010	2020	2030	2050	2050	ملاحظات
تطور [ثورة] الطاقة – المرجع	لا ينطبق	3 (10.8)	11 (36.6)	25 (90)	لا ينطبق	لا تغييرات في السياسة
تطور [ثورة] الطاة	لا ينطبق	53 (191)	128 (461)	678 (2,440)	303	تفترض 50 ٪ خفضاً في الكربون
تطور [ثورة] الطاقة – متقدم	لا ينطبق	119 (428)	420 (1,512)	1,943 (6,994)	748	تفترض 80 ٪ خفضاً في الكربون
WEO 2009	لا ينطبق	3 (10.8)	13 (46.8)	لا ينطبق	لا ينطبق	أساس لحالة مرجعية تطور [ثورة] الطاقة
ETP BLUE map 2050	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	133 (479)	لا ينطبق	قطاع الطاقة هو فعلياً منزوع الكربون
ETP BLUE map no CCS 2050	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	274 (986)	لا ينطبق	BLUE Map Variant وُجد أن احتجاز الكربون وتخزينه غير ممكن
ETP BLUE map hi NUC 2050	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	99 (356)	لا ينطبق	BLUE Map Variant زيادة الحصة النووية إلى 2000 جيجاواط
ETP BLUE Map hi REN 2050	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	552 (1,987)	لا ينطبق	BLUE Map Variant زيادة حصة الطاقة المتجددة 75 ٪
ETP BLUE map 3%	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	401 (1,444)	لا ينطبق	BLUE Map Variant معدلات الخصم 3 ٪ لمشروعات توليد الطاقة

من تغير المناخ. وكما هو مبين من قبل العدد المحدود من السيناريوهات الحالية، فإن الطاقة البحرية لديها القدرة على المساعدة في تخفيف تغير المناخ طويل الأجل من خلال موازنة انبعاثات غازات الدفيئة مع الانتشار المتوقع الذي يؤدي إلى إيصال طاقة تصل إلى 1943 تيراواط ساعة/سنة (~ 7 إكسغل/سنة) بحلول عام 2050. وقد وضعت سيناريوهات أخرى تشير إلى انتشار منخفض يصل إلى 25 تيراواط ساعة/سنة (0.9 إكسغل/سنة) من الطاقة البحرية. ويستند هذا النطاق الواسع في النتائج في جزء منه على عدم اليقين بشأن مدى التخفيف من تغير المناخ الذي سيحركه تحول قطاع الطاقة، لكن بالنسبة للطاقة البحرية، يستند هذا أيضاً على عدم يقين كامن حول متى وما إذا كانت تكنولوجيات الطاقة البحرية المتنوعة ستصبح متاحة تجارياً وبتكلفة جذابة. ولفهم أفضل للدور المحتمل للطاقة البحرية في التخفيف من آثار تغير المناخ، فلن يكون استمرار التقدم التقني ضرورياً فحسب، لكن عملية نمذجة السيناريوهات ستحتاج إلى مزيد من دمج نطاق الأنواع الفرعية من تكنولوجيا الطاقة البحرية الممكنة، مع بيانات أفضل عن الموارد الممكنة، وتكاليف الاستثمار في الحاضر والمستقبل، وتكاليف التشغيل والصيانة، وعوامل القدرة المتوقعة. وسيكون تحسين توافر البيانات في النطاقين العالمي والإقليمي عنصراً مهماً في تحسين تغطية الطاقة البحرية في الكتابات حول السيناريوهات. [6.8.4]

7 طاقة الرياح

7.1 مقدمة

استخدمت طاقة الرياح لآلاف السنين في طائفة واسعة من التطبيقات. بيد أن استخدام طاقة الرياح لتوليد الكهرباء على نطاق تجاري، لم يصبح خياراً مجدياً إلا في سبعينات القرن الماضي نتيجة للتقدم الفني والدعم الحكومي. ويتوافر عدد من تكنولوجيات طاقة الرياح المختلفة من خلال طائفة من التطبيقات، ويكمن الاستخدام الأولي لطاقة الرياح الذي له صلة بتخفيف المناخ في توليد الكهرباء من توربينات رياح كبيرة موصولة بالشبكة، يجري نشرها إما على اليابسة («برية») أو في البحر أو في مجاري المياه العذبة («بحرية»).[11] [7.1]

وتوفر طاقة الرياح إمكانيات كبيرة لتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة في الأجلين القريب (2020) والبعيد (2050). وقد كانت قدرة طاقة الرياح المركّبة بحلول نهاية 2009 قادرة على الوفاء بنحو 1.8 ٪ من الطلب العالمي على الكهرباء، ويمكن لهذا الإسهام أن ينمو ليتجاوز 20 ٪ بحلول 2050، إذا بذلت جهود طموحة لتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة والتصدي للعوائق الأخرى التي تعرقل زيادة انتشار استخدام طاقة الرياح. وتم بالفعل نشر طاقة الرياح على اليابسة بوتيرة سريعة في بلدان كثيرة، ولا توجد حواجز فنية يستعصي التغلب عليها تحول دون زيادة مستويات تغلغل طاقة الرياح في نظم الإمداد بالكهرباء. وإضافة لذلك، فإنه على الرغم من أن متوسط سرعة الرياح يتباين بصورة كبيرة حسب الموقع، هناك إمكانيات فنية وفيرة في معظم مناطق العالم تمكّن من نشر طاقة الرياح على نطاق كبير. وفي بعض المناطق التي تتوافر بها موارد جيدة للرياح، فإن تكاليف طاقة الرياح تنافس بالفعل الأسعار الراهنة في سوق الطاقة، حتى وإن لم تؤخذ الآثار البيئية النسبية في الاعتبار. ومع ذلك، فإن الحاجة لاتزال ماسة لإجراءات السياسة في معظم مناطق العالم لضمان النشر السريع. ومن المتوقع أن يستمر إحراز التقدم في تكنولوجيا طاقة الرياح على البر وفي البحر، مما سيزيد من تخفيض تكاليف طاقة الرياح وتحسين إمكانية تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة الناجم عن الطاقة الرياح. [7.9]

11 لم تناقش توربينات الرياح الأصغر حجماً، وكهرباء الرياح في المرتفعات العليا واستخدام الرياح في التطبيقات الميكانيكية وتطبيقات الدفع إلا بشكل موجز في الفصل 7.

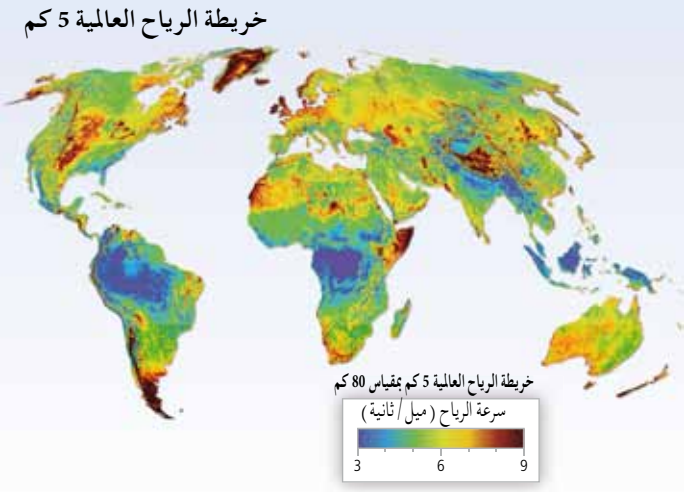
7.2 إمكانيات الموارد

الإمكانيات الفنية العالمية لطاقة الرياح ليست ثابتة، بل ترتبط بالأحرى بوضع التكنولوجيا والافتراضات المتصلة بقيود أخرى تتعلق بتطوير طاقة الرياح. ومع ذلك، فقد بيّن عدد متزايد من عمليات تقييم طاقة الرياح العالمية أن الإمكانيات الفنية العالمية تفوق الإنتاج العالمي الحالي من الكهرباء. [7.2]

ولم يتم استحداث نهج معياري لتقدير الإمكانيات الفنية العالمية من طاقة الرياح: فالتنوع في البيانات، والمناهج، والافتراضات، وحتى في تعريفات الإمكانيات الفنية تُعقّد إجراء المقارنات. وقد حدّد تقرير التقييم الرابع الإمكانيات الفنية لطاقة الرياح على اليابسة في 180 إكسغل/سنة (50000 تيرا واط ساعة/سنة). وتتراوح تقديرات أخرى للإمكانيات الفنية العالمية لطاقة الرياح نظرت في عدد أكبر نسبياً من قيود التطوير، بين 70 إكسغل/سنة (19400 تيرا واط ساعة/سنة (على اليابسة فقط) و 450 إكسغل/سنة (125000 تيرا واط ساعة/سنة) (اليابسة وقرب الشاطئ). ويمثل هذا النطاق تقريباً إنتاج الكهرباء العالمي في 2008، بقدر يتراوح بين ضعف وستة أضعاف، وربما يقلل من الإمكانيات الفنية لأن عدة دراسات اعتمدت على افتراضات متقادمة العهد، أواستبعد بعضها طاقة الرياح في البحر أو لم يدرجها إلا جزئياً، وبسبب الحدود المنهجية وتلك الخاصة بالحساب. وتتراوح تقديرات الإمكانيات الفنية لطاقة الرياح في البحر وحدها بين 15 إكسغل/سنة و 130 إكسغل/سنة (من 4000 إلى 37 000 تيرا واط) عندما لا تؤخذ في الاعتبار سوى التطبيقات في المياه الأكثر ضحالة نسبياً والقريبة من الشاطئ، وتتوافر إمكانيات فنية أكبر أيضاً إذا أخذنا في الحسبان التطبيقات في المياه الأكثر عمقا التي يمكن أن تعتمد على تصميمات توربينات الرياح العائمة. [7.2.1]

وبغض النظر عما إذا كانت التقديرات القائمة تقلل من الإمكانيات الفنية لطاقة الرياح أو تغالي فيها، وعلى الرغم أن الأمر يتطلب تحقيق مزيد من التقدم في أساليب تقييم موارد الرياح، فإنه من البديهي أن الإمكانيات الفنية للمورد نفسه لا يرجح أن تكون عاملاً مقيداً لنشر طاقة الرياح عالمياً. والأحرى أن القيود المؤسسية والتكاليف المقترنة بفرص النقل والتكامل في التشغيل، والقضايا المقترنة بقبول المجتمع والآثار البيئية، يرجح أن تحد من تحقيق النمو أكثر من أى قيد مطلق على الإمكانيات الفنية العالمية. [7.2.1]

وإضافة لذلك، توجد إمكانيات فنية واسعة النطاق في معظم المناطق في العالم تمكّن من نشر كبير لطاقة الرياح. بيد أن موارد الرياح ليست موزعة بصورة متساوية في العالم ولا تقع قرب مراكز السكان على نحو متماثل، ومن ثم فإن طاقة الرياح لن تسهم على نحو متساو في الوفاء بالاحتياجات في كل بلد. وقد تبين أن الإمكانيات الفنية لطاقة الرياح على اليابسة في بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادى وأمريكا الشمالية – وشرق أوروبا/أوراسيا ضخمة بصفة خاصة، في حين يبدو أن بعض المناطق غير بلدان آسيا المنتمية لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادى وأوروبا المنضوية لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادى، لا تضم سوى إمكانيات فنية محدودة بدرجة أكبر على اليابسة. كذلك يبين الشكل 7.1 بالملخص الفني، وهو خريطة لموارد الرياح العالمية، الإمكانيات الفنية المحدودة في مناطق معينة في أمريكا اللاتينية وأفريقيا، رغم أن مناطق أخرى من هاتين القارتين بها إمكانيات تقنية كبيرة. وقد توصلت التقييمات الإقليمية المفصلة الأخيرة بصفة عامة إلى أن حجم موارد الرياح أكبر مما قدر في التقييمات السابقة. [7.2.2]



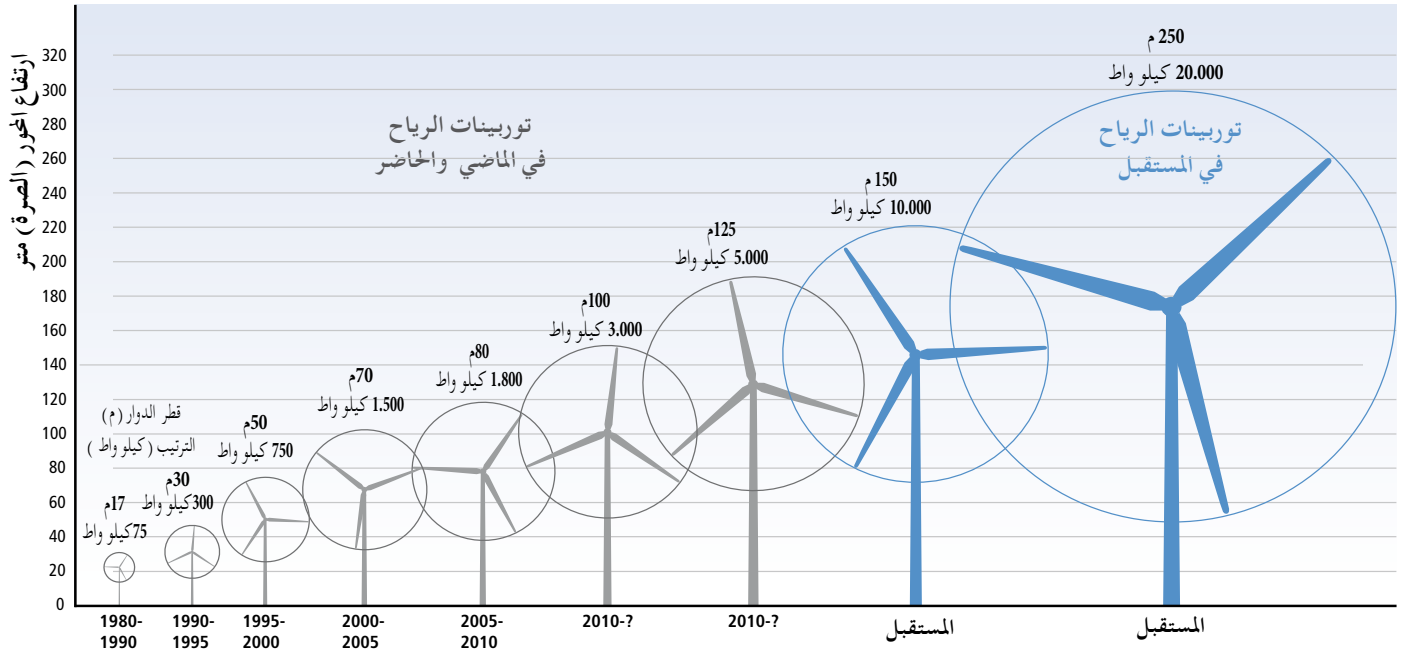
الشكل 7.1 الملخص الفني: مثال لخريطة مورد الرياح العالمية باستبانة 5 كم X 5 كم. [الشكل 7.1]

وقد يبدل تغير المناخ العالمي التوزيع الجغرافي و/أو التقلبية في مورد الرياح بين السنوات وفي السنة نفسها، و/أو نوعية مورد الرياح، و/أو انتشار ظواهر الطقس القاسي التي يمكن أن تؤثر على تصميم توربينات الرياح وتشغيلها. وتبين البحوث التي أجريت حتى الآن أنه من غير المرجح تغير المتوسط السنوي لسرعة الرياح المحسوب عبر عدة سنوات بأكثر أو أقل من 25 ٪ في معظم أوروبا وشمال أمريكا خلال القرن الحالي، في حين تشير البحوث التي تغطي شمال أوروبا إلى أن المتوسط السنوي المحسوب عبر عدة سنوات لكثافة طاقة الرياح يرجح أن يظل في إطارأكثر أو أقل من 50 ٪ من القيم الحالية. وقد أجريت دراسات أقل في أقاليم العالم الأخرى. ورغم أن البحوث في هذا المجال لاتزال في مرحلتها الأولى وأن الأمر يتطلب إجراء دراسات إضافية، فإن البحوث التي أجريت حتى الآن تبيّن أن تغير المناخ العالمي قد يغير التوزيع الجغرافي لموارد الرياح، ولكن ليس من المرجح أن تبلغ هذه الآثار حجما يؤثر كثيراً على الإمكانيات العالمية لنشر طاقة الرياح. [7.2.3]

7.3 التكنولوجيا والتطبيقات

تطورت توربينات الرياح الحديثة التجارية المرتبطة بالشبكة من آلات صغيرة بسيطة إلى معدات ضخمة متقنة بصورة بالغة. وقد دعمت الخبرة المتخصصة والتقدم في مجال العلم والهندسة، وكذلك تحسين الأدوات الحاسوبية، ومعايير التصميم، وأساليب التصنيع وإجراءات التشغيل والصيانة، جميعها تطورات التكنولوجيا هذه. [7.3]

ويتطلب توليد الكهرباء من الرياح تحويل الطاقة الحركية الناتجة عن تحرك الهواء إلى طاقة كهربائية، ويتمثل التحدي الهندسي الذي يواجه صناعة طاقة الرياح في تصميم توربينات رياح فعّالة التكاليف ومحطات للطاقة كفؤة لإجراء هذا التحويل. ورغم أنه تم بحث ودراسة تشكيلة من هيئات التوربينات وأشكالها، فإن التوربينات المتاحة على نطاق تجاري هي في المحل الأول آلات أفقية المحور لها ثلاث أرياش موضوعة على برج في الاتجاه الذي تأتي منه الرياح. وبغية تقليل التكلفة الإجمالية المقومة لطاقة الرياح، زادت أحجام توربينات الرياح النموذجية بصورة كبيرة (الشكل 7.2 بالملخص الفني)، مع معدل لقدرة القسم الأكبر من توربينات الرياح المركبة عالميا في عام 2009 على البر يتراوح بين 1.5 و 2.5 ميجا واط. وبحلول 2010، كانت توربينات الرياح المقامة على البرّ تعلو على نحو نموذجي أبراجاً ترتفع من 50 إلى 100 متر، مع دوّرات يبلغ قطرها عادة من 50 إلى 100 متر؛ ويتم تشغيل آلات تجارية بأقطار للدورات وارتفاعات للأبراج يتجاوز 125 متراً، بل إن آلات أكبر توجد قيد التطوير. إن تكنولوجيا طاقة



الشكل 7.2 الملخص الفني: النمو في حجم توربينات الرياح التجارية النموذجية. [الشكل 7.6]

الرياح على البرّ يتم بالفعل تصنيعها تجارياً ويجرى نشرها على نطاق واسع. [7.3.1]

وتكنولوجيات طاقة الرياح في البحر أقل نضجاً منها على البرّ، وتقتضي تكاليف استثمارية أكبر. كذلك كان التوافر الأقل لمحطات الطاقة وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة شائعين كلاهما بسبب الحالة الأقل نضجاً نسبياً للتكنولوجيا وبسبب التحديات اللوجستية المتأصلة في صيانة وخدمة التوربينات في البحر. ومع ذلك، هناك اهتمام كبير بطاقة الرياح في البحر في الاتحاد الأوروبي، وعلى نحو متزايد في مناطق أخرى. والدافع الأول لتطوير طاقة الرياح في البحر هو توفير فرصة الحصول على موارد رياح إضافية في مناطق تواجه فيها تنمية طاقة الرياح على البرّ قيوداً من جراء الإمكانيات الفنية المحدودة و/أو التنافس مع استخدامات أخرى للأرض عند التخطيط وتحديد المواقع. وتشمل الدوافع الأخرى النوعية الأعلى لموارد الرياح الواقعة في البحر؛ والقدرة على استخدام توربينات رياح أكبر وبذلك تتوافر إمكانية الحصول على وفورات الحجم الإضافية، والقدرة على بناء محطات طاقة أكبر منها على البرّ، واكتساب وفورات الحجم على مستوى المحطات، واحتمال تقليل الحاجة إلى بنية أساسية جديدة للنقل تمتد مسافات طويلة وتقوم على البرّ للوصول إلى طاقة الرياح البعيدة على البر. وحتى الآن، كانت تكنولوجيا توربينات الرياح على البحر مماثلة تماماً لتصميم نظيرتها على البر مع بعض التعديلات وبعض الأساسات الخاصة. ومع اكتساب الخبرة، يتوقع أن تزيد أعماق المياه وأن تستخدم مواقع مكشوفة بدرجة أكبر ورياحها شديدة. إن تكنولوجيا طاقة الرياح المصممة خصيصاً لتلائم التطبيقات في البحر ستصبح أكثر انتشاراً مع توسع نطاق سوق طاقة الرياح من البحر، ومن المتوقع أن تسيطر توربينات أكبر في نطاق يمتد من 5 إلى 10 ميجا واط على هذا المجال. [7.3.1.3]

وإلى جانب التطور في تصميم توربينات الرياح، تم توحيد أساليب التصميم والاختبار المحسنة في معايير اللجنة الدولية للتقنيات الكهربائية. وتعتمد وكالات إصدار الشهادات على هيئات معتمدة للتصميم والاختبار لتقديم وثائق يمكن تتبعها تبين مدى الالتزام بالمعايير بغية إصدار شهادات بأن التوربينات ومكونات محطات الرياح أو المحطات بأسرها تفي بالمبادئ التوجيهية المتعلقة بالسلامة، والموثوقية، والأداء والاختبار. [7.3.2]

ومن منظور الموثوقية بالشبكة الكهربائية، فإن جزءاً مهماً من توربين الرياح هو نظام للتحويل الكهربائي. وبالنسبة للتوربينات الحديثة، فإن آلات متباينة السرعات تسيطر على السوق حالياً، مما يتيح توفير طاقة تفاعلية حقيقية وكذلك توفير بعض القدرة على التراكب للتخلص من الأعطال، لكن بدون أى رد فعل جوهري للقصور الذاتي (أي أن التوربينات لا تزيد المنتج من الطاقة أو تقلله في تزامن مع اختلال توازن طاقة الشبكة)، وقد اعترف صناع التوربينات بهذا العيب الأخير ويطبقون تشكيلة من الحلول. [7.3.3]

7.4 حالة الأسواق عالمياً وإقليمياً والتطوير الصناعي

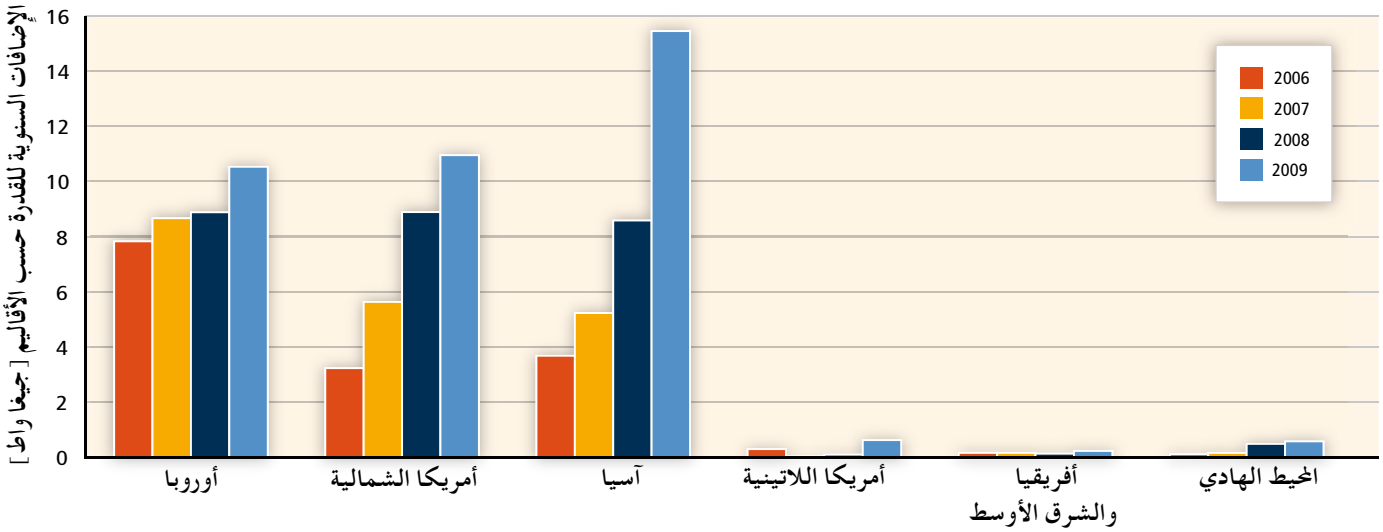
توسعت سوق طاقة الرياح بصورة ضخمة، مما أثبت جدوى التكنولوجيا والصناعة تجارياً واقتصادياً. بيد أن التوسع في طاقة الرياح تركز في عدد محدود من الأقاليم، والمرجح أن تتطلب زيادة التوسع، خاصة في الأقاليم التي يقل فيها انتشار طاقة الرياح حالياً وفي المواقع الموجودة في البحار، تدابير سياسية إضافية. [7.4]

لقد رسخت طاقة الرياح أقدامها سريعاً باعتبارها جزءاً من صناعة الكهرباء السائدة. فمن مجمع للقدرة يبلغ 14 جيجا واط في نهاية 1999، زادت القدرة العالمية المركبة اثنتى عشرة مرة في عشر سنوات لتصل لنحو 160 جيجا واط بحلول نهاية 2009. وقد تم تركيب غالبية القدرة على البرّ، مع تركيز التركيبات في البحر أساساً في أوروبا وبلغ مجموعها 2.1 جيجا واط. وكانت البلدان التي تضم أكبر قدرة مركبة بنهاية 2009 هي الولايات المتحدة (35 جيجا واط)، والصين (26 جيجا واط)، وألمانيا (26 جيجا واط)، وإسبانيا (19 جيجا واط)، والهند (11 جيجا واط). وبلغت تكاليف الاستثمار الإجمالية لمحطات طاقة الرياح الجديدة المركبة في 2009، 57 مليارا بدولارات 2005، في حين قدرت العمالة المباشرة في القطاع على النطاق العالمي في 2009 بنحو 500000. [7.4.1، 7.4.2]

وتمثل طاقة الرياح في كل من أوروبا وأمريكا مصدراً أساسياً جديدا للإضافات للقدرة الكهربائية. ففي 2009، جاء نحو 39 ٪ من جميع الإضافات للقدرة في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي من طاقة الرياح، وفي الصين جاء 16 ٪ من صافي الإضافات للقدرة في 2009 من طاقة الرياح. وعلى الصعيد العالمي، فمن 2000 إلى 2009، جاء نحو 11 في المائة من كل الإضافات الصافية الجديدة للقدرة الكهربائية المركبة مؤخراً من محطات جديدة للطاقة الرياح؛ وفي 2009 وحدها جاء أكثر من 20 في المائة منها. ونتيجة لذلك، بدأ عدد من البلدان يحقق مستويات مرتفعة نسبياً من التغلغل السنوي لكهرباء الرياح في شبكاتها الكهربائية الخاصة بها. وبحلول نهاية 2009، كانت القدرة على إنتاج طاقة الرياح تستطيع الإمداد بكهرباء تعادل نحو 20 في المائة من الطلب السنوي على الطاقة في الدانمرك، و 14 ٪ في البرتغال، و 14 ٪ في إسبانيا، 11 ٪ في أيرلندا، و 8 ٪ في ألمانيا. [7.4.2]

وبالرغم من هذه الاتجاهات، لاتزال طاقة الرياح تمثل قسماً صغيراً نسبياً من الإمداد بالكهرباء على النطاق العالمي. ذلك أن إجمالى قدرة إنتاج طاقة الرياح المركبة حتى نهاية 2009، لن تفي في سنة متوسطة، إلا بنحو 1.8 ٪ من الطلب العالمي على الكهرباء فحسب. وإضافة لذلك، فإن على الرغم من أن الاتجاه في صناعة طاقة الرياح يصبح على مرّ الزمن أقل اعتماداً على الأسواق الأوروبية، مع التوسع الأخير في الولايات المتحدة والصين، لاتزال السوق مركزة على نحو إقليمي: فقد ركبت أمريكا اللاتينية، وأفريقيا والشرق الأوسط، وأقاليم المحيط الهادئ قدرة لإنتاج طاقة الرياح قليلة نسبياً على الرغم من الإمكانيات الفنية الكبيرة لطاقة الرياح في كل إقليم (الشكل 7.3 الملخص الفني). [7.4.1، 7.4.2]

ويقتضي نشر طاقة الرياح التغلب على عدد من التحديات، منها: التكلفة النسبية لطاقة الرياح مقارنة بأسعار سوق الطاقة، على الأقل إن لم تدرج الآثار البيئية وتعطى لها قيمة نقدية، والمخاوف من تأثير تقلبية طاقة الرياح، وتحدي بناء خطوط نقل جديدة، والتخطيط الثقيل والبطئ، وإجراءات تحديد المواقع وإصدار التراخيص، والاحتياجات من التقدم العلمي والتكلفة الأعلى لتكنولوجيا طاقة الرياح في البحر؛ والافتقار للمعرفة المؤسسية والفنية في أقاليم لم تجرب بعد نشر طاقة الرياح على نطاق واسع. ونتيجة لذلك، يتأثر النمو بطائفة عريضة من السياسات الحكومية. [7.4.4]



الشكل 7.3 الملخص الفني: الإضافات السنوية لقدرة طاقة الرياح حسب الأقاليم. [الشكل 7.10]

ملحوظة: الأقاليم المبينة في الشكل حددتها الدراسة.

7.5 القضايا المتعلقة بتكامل الشبكة في الأجل القريب

مع تزايد انتشار طاقة الرياح، تزداد كذلك المخاوف بشأن تكامل تلك الطاقة في الشبكات الكهربائية. وستتوقف طبيعة التحدي المتعلق بالتكامل وحجمه على الخصائص المميزة للشبكة الكهربائية القائمة ومستوى تغلغل كهرباء الرياح. وإضافة لذلك، فإن تحديات التكامل كما يناقشه الفصل الثامن، ليست مقصورة على طاقة الرياح. ومع ذلك فإن خبرة التحليل والتشغيل المكتسبة في المحل الأول من بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، تشير إلى أن تكامل طاقة الرياح لا يطرح أى عوائق فنية لا يمكن التغلب عليها وأنه طيّع من الناحية الاقتصادية، عند المستويات من المنخفضة إلى المتوسطة من تغلغل طاقة الرياح (محددة هنا بما يصل إلى 20 ٪ من إجمالى متوسط الطلب السنوي على الطاقة الكهربائية).[12] وفي الوقت نفسه، فإنه حتى عند المستويات من المنخفضة إلى المتوسطة من تغلغل طاقة الرياح، يتعين التغلب على تحديات معينة فنية و/أو مؤسسية (وهى أحياناً تحديات تنفرد بها الشبكات). وستنمو المخاوف بشأن تكامل طاقة الرياح (وتكاليفها) مع انتشار طاقة الرياح، بل إن مستويات أعلى من التغلغل قد تعتمد على أو تستفيد من توافر خيارات تكنولوجية ومؤسسية إضافية لزيادة المرونة والحفاظ على التوازن بين العرض والطلب، كما نوقش ذلك باستفاضة في الفصل 8 (القسم 8.2). [7.5]

ولطاقة الرياح خصائص تمثل تحدياً للتكامل، وينبغي دراسة ذلك عند تخطيط الشبكات الكهربائية وتشغيلها لضمان تشغيل موثوق به واقتصادي لشبكة الطاقة الكهربائية. وتشمل هذه التحديات الطبيعية التمركز المكاني لموارد الرياح مع تداعيات محتملة بالنسبة لخطوط النقل الجديدة لكل من طاقة الرياح على البرّ وفي البحر؛ وتباين ناتج طاقة الرياح عبر مواقيت زمنية متعددة؛ والمستويات الدنيا للقابلية على التنبؤ بطاقة الرياح التي تقل عما هو شائع بالنسبة لأنواع أخرى كثيرة من محطات الطاقة. ويتوقف إجمالى التباين وعدم اليقين من ناتج طاقة الرياح جزئياً، على درجة الارتباط بين ناتج مختلف محطات طاقة الرياح المبعثرة جغرافيا: وبصفةٍ عامة، نواتج محطات طاقة الرياح المنعزلة عن بعضها البعض، أقل ارتباطاً ببعضها البعض، والتباين عبر الفترات الزمنية الأقصر (دقائق) أقل ارتباطاً من التباين عبر الفترات الزمنية الأطول (ساعات متعددة). كذلك، فإن التنبؤات بناتج طاقة الرياح، أكثر دقة عبر الفترات الزمنية الأقصر، عندما تدرس محطات متعددة معاً. [7.5.2]

وقد تم استخدام تخطيط مفصل للشبكات من أجل البنية الأساسية الجديدة للتوليد والنقل لضمان إمكانية تشغيل الشبكة بطريقة موثوق بها واقتصادية في المستقبل. ولتحقيق ذلك، يحتاج المخططون إلى نماذج للمحاكاة تستند إلى الكومبيوتر تحدد بدقة خصائص طاقة الرياح المميزة. وإضافة لذلك، فإنه مع تزايد قدرة طاقة الرياح، تزيد كذلك الحاجة إلى أن تصبح محطات طاقة الرياح مشاركا أكثر نشاطا في الحفاظ على القدرة على التشغيل و نوعية الطاقة في الشبكة الكهربائية، وقد طبقت المعايير الفنية لربط الشبكة للمساعدة في الحيلولة دون تأثير محطات طاقة الرياح بصورة سلبية على الشبكة الكهربائية خلال التشغيل العادى وحالات الطوارئ. وفي الوقت نفسه، يتعين على تقييمات كفاية شبكات النقل أن تراعى الاعتماد على موقع مورد الرياح، وأن تنظر في المفاضلات بين تكاليف التنوع في شبكة النقل للوصول إلى موارد للرياح أعلى نوعية مقارنة بتكاليف الوصول لموارد أقل نوعية تتطلب استثمارات أقل في النقل. وحتى عند المستويات من المنخفضة إلى المتوسطة من تغلغل كهرباء الرياح، فإن إضافة مقادير كبيرة من طاقة الرياح على البر وفي البحر في مناطق تكون فيها موارد الرياح أعلى نوعية، تتطلب إضافات جديدة كبيرة لشبكة النقل أو الارتقاء بها وتحسنها. ويمكن أن تكون التحديات المؤسسية للتوسع في شبكة النقل الضخمة، حسب الإطار القانونى والتنظيمى في أى إقليم بعينه. وأخيرا، يقتضى الأمر أن يراعي المخططون تباين ناتج طاقة الرياح عند تقييم إسهام طاقة الرياح في كفاية التوليد ومن ثم موثوقية الشبكة الكهربائية في الأجل الطويل. ورغم تباين الأساليب والأهداف

12 تم اختيار هذا المستوى من التغلغل للفصل بصورة فضفاضة بين احتياجات طاقة الرياح إلى التكامل في الأجل القريب نسبيا وبين المناقشة الأوسع، الأطول أجلاً وغير المتعلقة والخاصة بالتغيرات في شبكة الطاقة المعروضة في الفصل 8.

من إقليم لآخر، فإن إسهام طاقة الرياح في كفاية التوليد يتوقف عادة على ارتباط ناتج طاقة الرياح بالفترات الزمنية التي يشتد فيها خطر حدوث نقص في الإمداد، وهي نموذجيا فترات الطلب المرتفع على الكهرباء. ونموذجيا، ينخفض الإسهام الحدي لطاقة الرياح في كفاية التوليد مع زيادة تغلغل طاقة الرياح، لكن تجمع محطات طاقة الرياح عبر مناطق أكبر قد يبطئ من هذا الانخفاض إذا توافرت قدرة كافية للنقل. ويبين متوسط الإسهام إذا توافرت قدرة كافية للنقل. ويبين متوسط الإسهام المنخفض نسبياً لطاقة الرياح في كفاية التوليد (مقارنة بالوحدات الأحفورية) أن الشبكات الكهربائية التي بها مقادير كبيرة من طاقة الرياح ستنزع أيضاً إلى أن تضم طاقة توليد إجمالية إسمية للوفاء بنفس طلب الذروة على الكهرباء بكثير، مما يوجد لدى الشبكات الكهربائية التي ليس لديها مقادير كبيرة من طاقة الرياح. بيد أن بعض قدرة التوليد هذه سيعمل على نحو غير متواتر، ومن ثم سينزع مزيج التوليد الآخر (لأسباب اقتصادية) للتحول على نحو متزايد صوب موارد مرنة «لمواجهة طلب الذروة» ولمواجهة «الطلب المتوسط» ويبعد عن موارد «حمل الأساس». [7.5.2]

والخصائص الفريدة لطاقة الرياح لها أيضاً تداعيات مهمة على عمليات الشبكة الكهربائية. فنظرا لأن طاقة الرياح يتم توليدها بتكلفة تشغيل حدية منخفضة جداً، فإنها تستخدم بصورة نموذجية للوفاء بالطلب عندما تكون متاحة؛ وعندئذ يتم إرسال مولدات أخرى للوفاء بالطلب مطروحاً منه أي طاقة رياح متاحة (أي «الطلب الصافي»). ومع نمو تغلغل كهرباء الرياح، فإن تباين طاقة الرياح يسفر عن زيادة شاملة في ضخامة التغييرات في الطلب الصافي، وأيضاً عن نقص في الحد الأدنى للطلب الصافي. ونتيجة لهذه الاتجاهات، تنزع أسعار الكهرباء بالجملة إلى الانخفاض عندما يكون ناتج طاقة الرياح مرتفعا وتكون قدرة التوصيل بين خطوط النقل بأسواق الطاقة الأخرى مقيدة، وستتم الاستعانة بوحدات توليد أخرى لتعمل بطريقة أكثر مرونة مما يكون مطلوباً بدون وجود طاقة الرياح. وعلى المستويات من المنخفضة إلى المتوسطة من تغلغل طاقة الرياح، من المتوقع أن تكون الزيادة في التباين من دقيقة لأخرى صغيرة نسبياً. وتتعلق تحديات التشغيل الأكثر أهمية بالحاجة إلى إجراء تغيير في ناتج طاقة الرياح عبر فترة تمتد من ساعة إلى ست ساعات. ويمكن أن يقلل إدماج التنبؤات بطاقة الرياح في عمليات الشبكة الكهربائية الحاجة إلى المرونة التي توفرها مولدات أخرى، ولكن حتى في ظل التنبؤات عالية النوعية، فإن القائمين على تشغيل الشبكة سيحتاجون إلى طائفة عريضة من الاستراتيجيات ليبقوا بصورة نشيطة على التوازن بين العرض والطلب، بما في ذلك استخدام تكنولوجيا مرنة لتوليد الطاقة، وتقليص إنتاج طاقة الرياح، وزيادة التنسيق والربط بين الشبكات الكهربائية. إن التصدي لطلب السوق الجماعي الحاشد، وتكنولوجيات تخزين كميات كبيرة من الطاقة، والنشر واسع النطاق لوسائط نقل الكهرباء وإسهاماتها المصاحبة في مرونة الشبكة من خلال شحن البطاريات الموجه، وتحويل الفائض من طاقة الرياح لإنتاج الوقود والتدفئة والتسخين المحليين، والتنوع الجغرافي في تحديد أماكن محطات طاقة الرياح، كل ذلك سيغدو مفيدا على نحو متزايد مع تزايد تغلغل كهرباء الرياح. وعلى الرغم من التحديات فإن تجربة التشغيل الحالية في أنحاء مختلفة من العالم تبين أن الشبكات الكهربائية يمكن أن تعمل بشكل يعوّل عليه مع زيادة إسهامات طاقة الرياح؛ بالفعل استطاعت طاقة الرياح في أربعة بلدان (الدانمرك، البرتغال، أسبانيا، أيرلندا) أن توفر بالفعل ما بين 10 إلى نحو 20 ٪ في المائة من الطلب السنوي على الكهرباء في 2010. بيد أن الخبرة محدودة، خاصة فيما يتعلق بأعطال الشبكات عند مستويات تغلغل فورية عالية، ومع انتشار مزيد من طاقة الرياح في أقاليم وشبكات كهربائية مختلفة، سيتم اكتساب معرفة إضافية عن تكامل طاقة الرياح. [7.5.3]

وبالإضافة لخبرة التشغيل الفعلية، تم استكمال عدد من الدراسات عالية النوعية لموارد النقل والتوليد المتزايدة المطلوبة لمواءمة طاقة الرياح، تغطي في المحل الأول بلدان منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي. وتستخدم هذه الدراسات تشكيلة واسعة من المناهج وتتبنى أهدافا متباينة، لكن النتائج تبين أن تكلفة تحقيق تكامل ما يصل إلى 20 ٪ من طاقة الرياح في الشبكات الكهربائية، متواضعة في معظم الحالات، لكنها ليست ضئيلة. وبصفة خاصة فإنه عند المستويات من المنخفضة إلى المتوسطة من تغلغل كهرباء الرياح، تبين الدراسات المتوافرة (مرة أخرى، أساسا من مجموعة فرعية من بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي) أن التكاليف الإضافية لمواجهة التباين في الشبكة الكهربائية وعدم اليقين، وضمان كفاية التوليد، وإضافة خطوط نقل جديدة بما يلائم طاقة الرياح ستكون خاصة بكل شبكة بعينها ولكنها بصفة عامة تتراوح بين 0.7 من سنتات 2005 لكل كيلو واط ساعة و 3 سنتات من سنتات 2005 لكل كيلو واط ساعة. وقد تبين أن التحديات الفنية للتكامل وتكاليفه تزيدان مع تغلغل كهرباء الرياح. [7.5.4]

7.6 الآثار البيئية والاجتماعية

لطاقة الرياح قدرة كبيرة على تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة (وهي تقللها بالفعل). وإضافة لذلك، تبين محاولات قياس الآثار النسبية لشتى تكنولوجيات الإمداد بالكهرباء أن طاقة الرياح لها بصفة عامة بصمة صغيرة على البيئة [9.3.4، 10.6]. بيد أنه كما هو الحال مع الأنشطة الصناعية الأخرى، فإن لطاقة الرياح القدرة على إحداث بعض التأثيرات الضارة على البيئة وأنشطة البشر ورفاهيتهم، وقد حدد كثير من الحكومات المحلية والوطنية اشتراطات للتخطيط واختيار المواقع للتقليل من تلك الآثار. ومع زيادة انتشار طاقة الرياح والنظر في إقامة محطات أكبر لطاقة الرياح، قد تصبح المخاوف القائمة أكثر حدة وتنشأ مخاوف جديدة. [7.6]

وعلى الرغم من المنافع البيئية الأساسية لطاقة الرياح التي تنتج عن إحلالها محل الكهرباء المولدة من محطات الطاقة التي تعتمد على الوقود الأحفوري، فإن تقدير هذه المنافع تعقده لحد ما الخصائص المميزة لتشغيل الشبكة الكهربائية وقرارات الاستثمار التي تتخذ بشأن إقامة محطات طاقة جديدة. وفي الأجل القصير، فإن طاقة رياح متزايدة ستحل على نحو نموذجي محل عمليات المحطات التي تعمل بحرق الوقود الأحفوري. بيد أنه في الأجل الأطول، قد يتطلب الأمر إقامة محطات توليد جديدة، ويمكن أن يؤثر وجود طاقة الرياح على تحديد نوع محطات الطاقة التي يتم بناؤها. كما يتعين مراعاة الآثار الناجمة عن الصناعة التحويلية، والنقل وإقامة المنشآت وتشغيل توربينات الرياح ووقف تشغيلها، لكن استعراضاً شاملاً للدراسات المتاحة يبين أن الطاقة المستخدمة والغازات المسببة للاحتباس الحراري الناتجة خلال هذه الخطوات صغيرة بالمقارنة بالكهرباء التي يجري توليدها والانبعاثات التي يتم تجنبها عبر محطة طاقة الرياح. ويقدر أن كثافة انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري الناتجة عن طاقة الرياح تتراوح من 8 إلى 20 جرام من ثاني أوكسيد الكربون للكيلو واط ساعة في معظم الأحوال، في حين يتراوح زمن عائد الطاقة بين 3.4 و 8.5 شهراً. وإضافة لذلك، فإنه لم يتبين أن التغلب على تباين ناتج طاقة الرياح يقلل كثيرا من منافع طاقة الرياح بالنسبة لغازات الدفيئة. [7.6.1]

وقد بحثت دراسات أخرى الآثار الإيكولوجية المحلية لتنمية طاقة الرياح. إن تشييد محطات طاقة الرياح على البر وفي البحر على حد سواء، يؤثران على الحياة البرية من خلال ارتطام الطيور والخفافيش بها، ومن خلال التعديلات التي تطرأ على الموائل والنظم الأيكولوجية، مع تعلق طبيعة هذه الآثار وحجمها بمواقع معينة وبأنواع برية معينة. وبالنسبة لطاقة الرياح في البحر، يتعين مراعاة التداعيات على الموارد الموجودة في القاع، ومصائد الأسماك والحياة البحرية بصفة أعم. كما تجرى البحوث حول التأثير المحتمل لمحطات طاقة الرياح على المناخ المحلي. وأعداد الطيور والخفافيش التي تلقي حتفها من خلال الارتطام بتوربينات الرياح من بين المخاوف البيئية التي تحظى بصدى واسع في وسائل الإعلام. ورغم أن الكثير لايزال مجهولاً عن طبيعة هذه التأثيرات وتداعياتها على مستوى الأعداد، فإن معدل هلاك الطيور قدر بما بين 0.95 و 11.67 لكل ميجا واط سنوياً. وأثارت زيادة معدل هلاك الطيور الجارحة، وإن قل كثيراً عددها المطلق، مخاوف خاصة في بعض الحالات، ومع زيادة طاقة الرياح من البحر، زادت أيضاً المخاوف على الطيور البحرية. ولم يتم بحث معدل هلاك الخفافيش بمثل هذا التوسع، لكن معدلات الهلاك تتراوح بين 0.2 و53.3 لكل ميجا واط سنويا ؛ ويمثل تأثير محطات طاقة الرياح على أعداد الخفافيش التي تهلك مصدر قلق في الوقت الراهن. كما يمكن النظر إلى حجم معدلات الهلاك الناجمة عن ارتطام الطيور والخفافيش ونتائجها على مستوى الأعداد، في سياق معدلات الهلاك الأخرى الناجمة عن الأنشطة البشرية. ويبدو أن عدد الطيور الهالكة من جراء محطات طاقة الرياح القائمة أقل مما يعزى إلى الأسباب الأخرى لوفاة الطيور التي تنتج عن فعل الإنسان، وقد أشير إلى أن محطات طاقة الرياح على البرّ لا تسبب حاليا انخفاضا كبيرا في أعداد الطيور ، كما تؤثر الخيارات الأخرى للإمداد بالطاقة على الطيور والخفافيش بسبب الارتطام، والتعديلات في الموئل والإسهامات في تغير المناخ العالمي. ويقتضي الأمر اتباع أساليب محسنة لتقييم الآثار على مستوى الأعداد الخاص بأنواع بعينها وإمكان تخفيفها، وكذلك إجراء مقارنات دامغة بين آثار طاقة الرياح وآثار خيارات الإمداد بالكهرباء الأخرى. [7.6.2]

كما يمكن لمحطات طاقة الرياح أن تؤثر على الموائل والنظم الأيكولوجية من خلال التفادى أو الترحيل من منطقة ما، وتدمير الموائل وتقليل التكاثر. وإضافة لذلك، أصبحت آثار محطات طاقة الرياح على الحياة البحرية موضع تركيز مع زيادة تنمية المحطات البحرية. وتتباين آثار طاقة الرياح على الحياة البحرية فيما بين مراحل التركيب والتشغيل وإيقاف التشغيل، وتعتمد كثيرا على الظروف الخاصة بمواقع بعينها، وقد تكون إيجابية أو سلبية. وتشمل الآثار السلبية المحتملة أصوات المياه الجوفية. والاهتزازات، والحقول الكهرومعناطيسية، والاخلال الطبيعي واستيطان الأنواع الغازية. بيد أن الهياكل الطبيعية قد تستحدث مواقع أوموائل أنسال جديدة، أو تعمل كحواجز مرجانية اصطناعية أو وسائل لتجمع الأسماك. والأمر يستلزم إجراء بحوث إضافية بشأن هذه الآثار وعواقبها في الأجل الطويل وعلى مستوى الأعداد، لكنها لا تبدو كبيرة على نحو غير متناسب مقارنة بطاقة الرياح على البر. [7.6.2]

وقد توصلت عمليات الاستقصاء باستمرار إلى أن الرأي العام يرحب بطاقة الرياح على نطاق واسع. بيد أن تحويل هذا التأييد إلى المزيد من الانتشار، يتطلب عادة تأييد المجتمعات المحلية المضيفة و/أو صناع القرار. و لتحقيق هذه الغاية، يثار إضافة للمخاوف الأيكولوجية، عدد من المخاوف بشأن آثار محطات طاقة الرياح على المجتمعات المحلية. وربما كان الأمر الأهم، هو أن تكنولوجيا طاقة الرياح الحديثة إقامة هياكل ضخمة، ومن ثم فإن توربينات الرياح ستكون ماثلة لا محالة على مرأى الجميع. وتشمل الآثار الأخرى التي تثير القلق استعمال البر والبحر (بما في ذلك التداخل المحتمل مع الرادارات) وآثار القرب من الضوضاء والارتعاش، والتأثير على قيمة العقارات. وبغض النظر عن نوع الانشغالات الاجتماعية والبيئية ودرجتها، فإن معالجتها يعتبر جزءاً جوهرياً من أى عملية ناجحة للتخطيط لمحطات الرياح واختيار موقعها، وإشراك السكان المحليين يعد عادة جزءاً لا يتجزأ من تلك العملية. وعلى الرغم من أن بعض المخاوف يمكن تبديدها بسهولة، فإن البعض الآخر – مثل الآثار البصرية – يصعب علاجه. ويقتضي الأمر مواصلة الجهود للحصول على فهم أفضل لطبيعة الآثار القائمة وحجمها، مع بذل جهود للتقليل من تلك الآثار إلى أأدنى حد والتخفيف منها، بشكل متزامن مع الزيادة في نشر طاقة الرياح. وعلى المستوى العملي، فإن لوائح التخطيط واختيار المواقع تختلف بصورة كبيرة باختلاف السلطات الولائية، كانت عملية التخطيط واختيار المواقع عقبة أمام تطوير طاقة الرياح في بعض البلدان والسياقات. [7.6.3]

7.7 آفاق تحسين التكنولوجيا والابتكار

في العقود الثلاثة الماضية، أدى الابتكار في مجال تصميم توربينات الرياح إلى تخفيضات كبيرة في التكلفة. ولعبت برامج البحوث والتطوير العامة والخاصة دوراً رئيسياً في هذا التقدم الفني، مما أفضى إلى إحراز تحسن على مستوى النظم والمكونات، وفي تقييم الموارد، والمعايير الفنية، وتكامل الشبكات الكهربائية، والتنبؤ بطاقة الرياح وفي مجالات أخرى. ومن 1974 إلى 2006، بلغ إجمالي ميزانيات البحوث والتطوير الحكومية المكرسة لطاقة الرياح في البلدان المنتمية لوكالة الطاقة الدولية 3.8 مليار دولار بدولارات 2005، تمثل 1 ٪ من إجمالي الإنفاق على بحوث وتطوير الطاقة. وفي 2008، بلغ إجمالي تمويل منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي للبحوث المكرسة لطاقة الرياح 180 مليون من دولارات 2005. [7.7، 7.7.1]

وعلى الرغم من أن تكنولوجيا طاقة الرياح على البر يجرى تصنيعها تجارياً بالفعل ويتم نشرها على نطاق واسع، فإنه من المتوقع أن يثمر التقدم التدريجي المستمر إجراءات محسنة لتصميم التوربينات، واستخداماً أكثر فعالية للمواد، وموثوقية أكبر وإمكانيات أوسع لاحتجا الطاقة، وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة وعمراً أطول للمكونات. وعلاوة على ذلك، ونظراً لأن طاقة الرياح على البحر بدأت تكتسب اهتماماً متزايداً، فإن تحديات تكنولوجية جديدة بدأت تطرح، وتصبح الابتكارات التكنولوجية الأكثر جذرية أمرا ممكنا. تعتبر محطات وتوربينات طاقة الرياح نظما معقدة تقتضي أساليب تصميم متكاملة للاستفادة القصوى من التكاليف والأداء. وعلى مستوى المحطة، تشمل الاعتبارات اختيار توربين الرياح وفقاً لنظام مورد الرياح؛ وتحديد موقع توربين الرياح، وإجراءات المباعدة والتركيب، وأساليب الصيانة والتشغيل، وتكامل شبكة الكهرباء. وقد حددت الدراسات عددا من المجالات التي يمكن للتقدم التكنولوجى فيها أن يسفر عن تغييرات في تكلفة الاستثمار، والإنتاج السنوي من الطاقة، والموثوقية، وتكلفة التشغيل والصيانة وتكامل الشبكة الكهربائية لطاقة الرياح. [7.3.1، 7.7.1، 7.7.2]

وعلى مستوى المكون، تتوافر طائفة من الفرص تشمل: مفاهيم متقدمة عن الأبراج تقلل من الحاجة إلى روافع كبيرة وتقلل لأدنى حد المتطلبات من المواد؛ ودوارات وأرياش متقدمة يتم إنتاجها من خلال التصميم الأفضل، مقترنة بمواد أفضل وأساليب تصنيع متقدمة، وتقليل الخسارة من الطاقة، وتحسين توافرها من خلال تحكم متقدم في التوربينات وتحسين رصد أحوالها، وتروس تدوير مسننة ومولدات وإلكترونيات متقدمة للطاقة؛ وتحسين التعلم في مجال التصنيع. [7.7.3]

وعلاوة على ذلك، هناك مجالات كثيرة يمكن أن يحقق فيها تقدماً يتصل بطاقة الرياح في البحر، بما في ذلك إجراءات التشغيل والصيانة، وخطط التركيب والتجميع، وتصميم دعامات الهياكل، وتطوير توربينات أكبر، بما في ذلكمفاهيم جديدة للتوربينات. ويتيح الابتكار في مجال هيكل الأساس بصفة خاصة إمكانية الوصول إلى مستويات أعمق، وبذلك تزيد الإمكانيات الفنية لطاقة الرياح. وتاريخياً، تم تركيب التوربينات البحرية في المياه الضحلة نسبياً في المحل الأول، على أعماق تصل إلى 30 متراً، على هيكل من خازوق واحد يعد في الأساس امتداداً للبرج، لكن الهياكل بقاعدة الجاذبية أصبحت أكثر انتشارا. ويصف الشكل 7.4 بالملخص الفني هذه الأساليب، وكذلك المفاهيم الأخرى الملائمة للمياه الأكثر عمقاً، بما في ذلك المنصات العائمة. وإضافة لذلك، ليست هناك قيود على حجم التوربين البحري كما هو الحال بالنسبة لحجم توربين الرياح البري، والتكلفة الأعلى نسبياً للأسس البحرية توفر مبرراً لتشييد توربينات أكبر. [7.7.3]

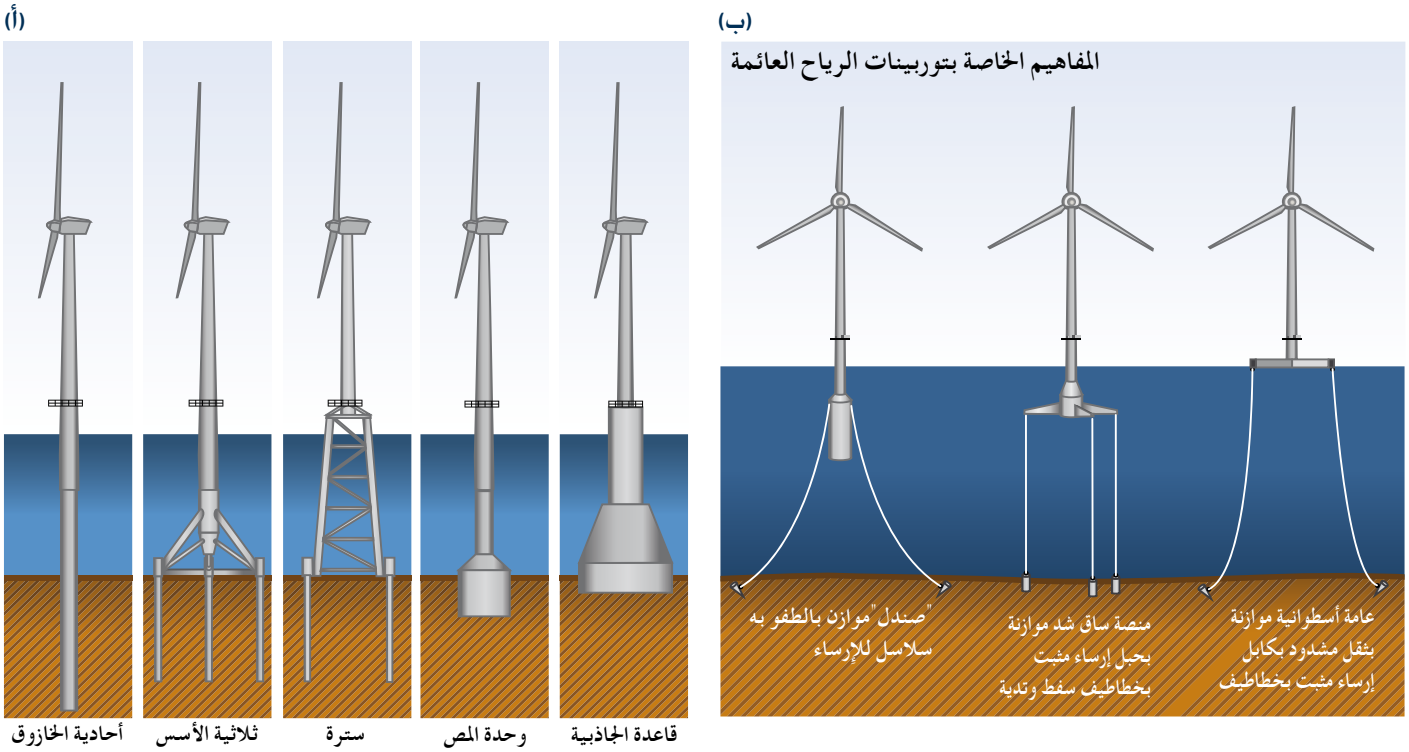
وتُصمّم توربينات الرياح لتصمد أمام طائفة واسعة من التحديات بحد أدنى من العناية. ومن ثم يتطلب الأمر جهداً كبيراً لتعزيز الفهم الأساسي لبيئة التشغيل الذي تعمل فيها التوربينات بغية تسهيل التوليد من توربينات رياح موثوق بها وآمنة وفعالة من حيث التكلفة، و لتخطيط محطات طاقة الرياح وتحديد مواقعها على النحو الأمثل. ويتوقع أن تؤدى البحوث في مجالات علم المرونة الأيروديناميكية، والديناميكا غير الثابتة، وصوتيات الهواء، ونظم التحكم المتقدمة، وعلوم الغلاف الجوي، على سبيل المثال، إلى تحسين أدوات التصميم، وبالتالي الزيادة في موثوقية التكنولوجيا وإلى التشجيع على المزيد من الابتكار في التصميم. وسيساعد هذا النوع من البحوث الأساسية التي لها هذا الطابع في تحسين تصميم توربينات الرياح، وتقييم أداء محطات طاقة الرياح، وتقييم موارد الرياح، والتنبؤ بطاقة الرياح في الأجل القصير، وتقييم تأثير نشر طاقة الرياح على نطاق واسع على المناخ المحلي، وكذلك تأثير عواقب تغير المناخ المحتمل على موارد الرياح [7.7.4].

7.8 اتجاهات التكلفة

وبالرغم من أن تكلفة طاقة الرياح قد انخفضت بصورة كبيرة منذ ثمانينات القرن الماضي، فإن الأمر يقتضي حالياً اتخاذ تدابير سياسية لضمان النشر السريع لها في معظم أقاليم العالم. وتنافس تكلفة طاقة الرياح أسعار سوق الطاقة الراهنة، في بعض المناطق التي تضم موارد جيدة للرياح، حتى دون النظر للآثار البيئية النسبية. وإضافة لذلك، يتوقع أن يتواصل التقدم التكنولوجي، مما سيزيد من تخفيض التكلفة. [7.8]

وتتأثر التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة المستمدة من محطات طاقة الرياح البرية والبحرية بخمسة عوامل أساسية: إنتاج الطاقة السنوي؛ تكاليف الاستثمار؛ تكاليف التشغيل والصيانة، تكاليف التمويل؛ والعمر الاقتصادي المفترض لمحطة الطاقة [13]. وقد انخفضت تكاليف الاستثمار في محطات طاقة الرياح البرية من الثمانينات في القرن الماضي إلى 2004

13 لا يغطي هذا القسم قدرة طاقة الرياح على المنافسة الاقتصادية مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى، والتي ينبغي أن تتضمن بالضرورة عوامل أخرى مثل الدعم والتأثيرات البيئية الخارجية.

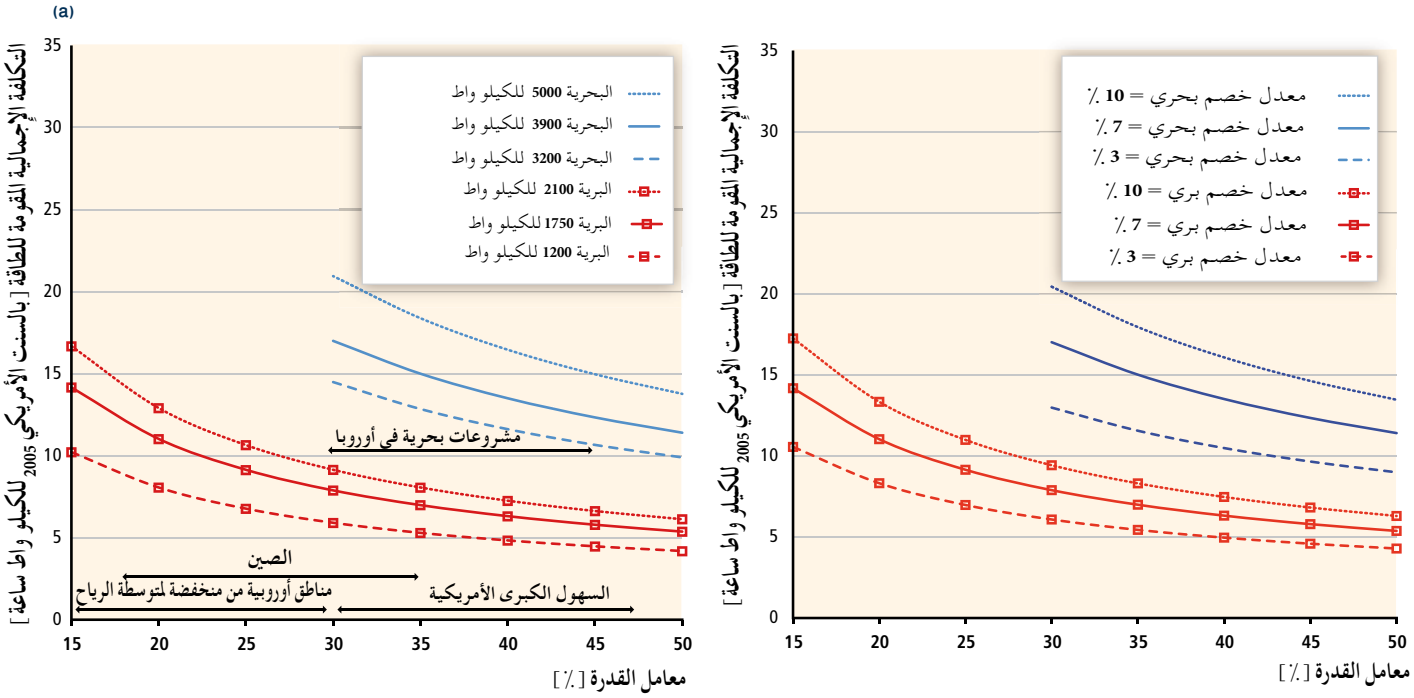


الشكل 7.4 الملخص الفني: تصميمات أسس توربينات الرياح البحرية: (أ) مفاهيم قريبة الأجل (ب) مفاهيم التوربينات البحرية العائمة. [الشكل 7.19]

تقريباً. بيد أنه من 2004 إلى 2009، زادت تكاليف الاستثمار، وكانت الدوافع الرئيسية لهذا النهج هي: تصاعد تكاليف اليد العاملة والمدخلات من المواد؛ وزيادة هوامش الربح بين صناع التوربينات وموردهم؛ والقوة النسبية للعملة الأوروبية، وزيادة حجم دوّرات التوربينات وارتفاعات الصرة. ففي 2009، بلغ متوسط تكاليف الاستثمار في محطات طاقة الرياح البرية المركبة على النطاق العالمي نحو 1750 من دولارات 2005 للكيلو واط ، وتوجد محطات كثيرة في نطاق يتراوح بين 1400 و 2100 من دولارات 2005 للكيلو واط ، وتراوحت تكلفة الاستثمار في الصين في 2008 و 2009 بين 1000 و 1350 من دولارات 2005 للكيلو واط. وهناك تجربة أقل بكثير بالنسبة لمحطات الرياح البحرية، وتكاليف الاستثمار في المحطات البحرية تتوقف على الموقع بدرجة كبيرة. ومع ذلك، فإن تكاليف الاستثمار في المحطات البحرية زادت بنسبة تتراوح بين 50 وأكثر من 100 ٪ مقارنة بتكاليف المحطات البرية، كما أن تكاليف التشغيل والصيانة أعلى بالنسبة للمحطات البحرية. كما تأثرت التكاليف البحرية ببعض من نفس العوامل التي تسببت في ارتفاع التكاليف البرية من 2004 حتى 2009، وكذلك بتأثير بعض العوامل الفريدة. وتتراوح تكاليف الاستثمار في المحطات البحرية التي ركبت أو أعلن عنها مؤخراً بين زهاء 3200 من دولارات 2005 للكيلو واط و 5000 من دولارات 2005 للكيلو واط. وبالرغم من الزيادة في أعماق المحطات البحرية بمرور الوقت ، فإن غالبية المحطات العاملة قد أقيمت في مياه ضحلة نسبياً. ويتوقف أداء محطات طاقة الرياح بدرجة عالية على الموقع، كما يقترن في المحل الأول باخصائص نظام الرياح المحلية، لكنه يتأثر أيضاً بجودة تصميم توربين الرياح، وأدائه وتوافره وفاعلية إجراءات التشغيل والصيانة. ومن ثم يتباين الأداء حسب الموقع، لكنه تحسن بصفة عامة مع مرور الوقت. إن محطات طاقة الرياح البحرية معرضة عادة لموارد رياح أفضل. [7.8.1–7.8.3]

واستناداً للمنهجية المعيارية المعروضة في المرفق الثاني وبيانات التكلفة والأداء الموجزة في المرفق الثالث، فإن التكلفة الإجمالية المقومة للكهرباء بالنسبة لمحطات طاقة الرياح البرية والبحرية لمجموعة ونطاق كبيرين لبارمترات المدخلات تم حسابها على أنها تتراوح بين 3.5 سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة و17 سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة و7.5 سنتات من دولارات 2005 و 23 سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة على التوالي. [1.3.2، 10.5.1، المرفق الثاني، المرفق الثالث]

ويعرض الشكل 7.5 بالملخص الفني التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة بالنسبة لطاقة الرياح البرية والبحرية لمجموعة ونطاق مختلفين نوعاً ما من البارامترات، ويبين أن التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة تتباين تبايناً كبيراً حسب تكاليف الاستثمار المفترضة، وإنتاج الطاقة ومعدلات الخصم. وبالنسبة لطاقة الرياح البرية، فإن التقديرات مقدمة بالنسبة للمحطات المشيدة في 2009؛ وبالنسبة لطاقة الرياح البحرية، فإن التقديرات مقدمة بالنسبة للمحطات المشيدة من 2008 إلى 2009 وكذلك بالنسبة للمحطات المخطط إتمامها في مطلع العقد الثاني من القرن 21. ويقدر أن تتراوح التكلفة الإجمالية المقومة للطاقة بالنسبة لطاقة الرياح البرية المستمدة من نظم موارد الرياح التي تتراوح بين الجيدة والممتازة في المتوسط بين 5 سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة و10 سنتات



الشكل 7.5 الملخص الفني: التكلفة الإجمالية المقومة المقدرة لطاقة الرياح البرية والبحرية، 2009: (أ) كدالة لعامل القدرة وتكلفة الاستثمار*، (ب) كدالة لعامل القدرة وسعر الخصم**. [الشكل 7.23]

ملاحظات: * يفترض أن سعر الخصم يساوي 7 ٪. ** تفترض أن تبلغ تكلفة الاستثمار البري 1,750 من دولارات 2005 للكيلو واط و3,900 للاستثمار البحري من دولارات 2005 للكيلو واط.

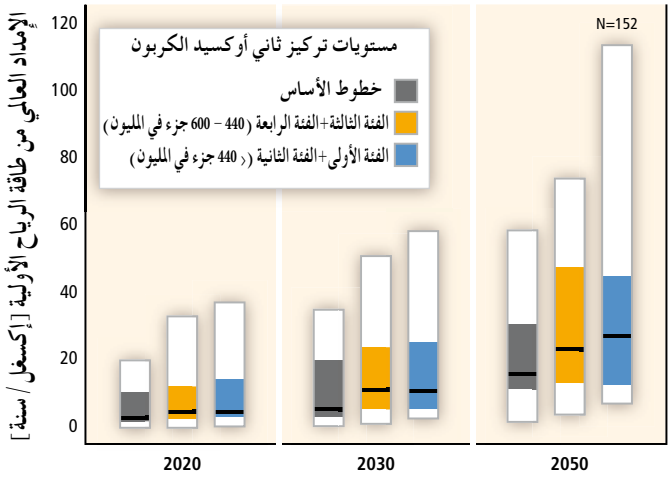
من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة، ويمكن أن تصل إلى ما يزيد على 15 سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة في المناطق ذات الموارد الأقل. وعلى الرغم من أن تقديرات التكاليف البحرية محاطة بشكوك أكبر، تقدر التكلفة الإجمالية المقومة النموذجية للطاقة بما يتراوح بين 10 سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة و أكثر من 20 من سنتات من دولارات 2005 للكيلو واط ساعة بالنسبة للمحطات المشيدة حديثاً أو المخطط لها والواقعة في مياه أضحل نسبياً. وحيثما تكون موارد الرياح البرية محدودة، فإن المحطات البحرية يمكن أن تنافس المحطات البرية أحياناً [7.8.3، المرفق الثاني، المرفق الثالث].

وقد استحدث عدد من الدراسات مسارات للتكلفة عن طريق التنبؤ بطاقة الرياح البرية والبحرية استناداً لتوليفات مختلفة من تقديرات منحنى التعلم، والنماذج الهندسية و/أو أحكام للخبراء. وتتباين، فيما بين هذه الدراسات، سنة بدء التنبؤات، والأساليب المنهجية، ومستويات نشر طاقة الرياح. ومع ذلك، فإن استعراض هذه الدراسات يدعم فكرة أن عمليات البحوث والتطوير المستمرة، والاختبار والتجارب يمكن أن يثمر تخفيضاً في التكلفة الإجمالية المقومة لطاقة الرياح البرية بنسبة تتراوح بين 10 و30 ٪ بحلول 2020. ومن المتوقع أن تشهد طاقة الرياح البحرية تخفيضاً أكبر نوعاً ما في التكلفة بنسبة تتراوح بين 10 و40 ٪ بحلول 2020، رغم أن بعض الدراسات حددت سيناريوهات تؤدى فيها عوامل السوق لزيادة التكلفة في الأجلين من القريب إلى المتوسط. [7.8.4].

7.9 إمكانيات النشر

في ضوء النضج التجارى لتكنولوجيا طاقة الرياح البرية وتكاليفها، تتيح زيادة استخدام طاقة الرياح إمكانية تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة تخفيضا جوهرياً في الأجل القريب: وهذه الإمكانية لا تتوقف على تحقيق اختراقات في مجال التكنولوجيا، ولا توجد حواجز يستحيل التغلب عليها تستبعد زيادة مستويات تغلغل طاقة الرياح في شبكات الإمداد بالكهرباء. ونتيجة لذلك، فإن دراسات كثيرة تتوقع استمرار الزيادة السريعة في قدرة طاقة الرياح في الأجلين من القريب إلى المتوسط، من 2000 إلى 2009. [7.9، 7.9.1]

وعلاوة على ذلك، قيم عدد من الدراسات إمكانية طاقة الرياح طويلة الأجل، عادة في سياق سيناريوهات تثبيت تركيزات غازات الدفيئة [10.2، 10.3]. واستناداً إلى استعراض لهذه الدراسات (تضم 164 سيناريو طويل الأجل من السيناريوهات المختلفة)، فإن طاقة الرياح كما يلخص الشكل 7.6 بالملخص الفني، يمكنها أن تلعب جوهرياً طويل الأجل في تخفيض الانبعاثات العالمية من غازات الدفيئة. وبحلول 2050، فإن متوسط إسهام طاقة الرياح بين سيناريوهات تقضي بتثبيت تركيز غازات الدفيئة في نطاقات تتراوح بين 440 و 600 جزء من المليون من ثاني أوكسيد الكربون و < 440 جزء من المليون من ثاني أوكسيد الكربون، سيبلغ من 23 إلى 27 إكسغل/سنة (من 6500 إلى 7600 تيرا واط ساعة/ سنة)، ويزيد إلى ما يتراوح بين 45 و 47 إكسغل/سنة بالنسبة إلى المئينة الخامسة والسبعين من السيناريوهات (من 12 400 إلى 12900 تيرا واط ساعة/سنة) وإلى أكثر من 100 إكسغل/سنة في أعلى دراسة (31500 تيرا واط ساعة). وسيتطلب تحقيق هذا الإسهام أن



الشكل 7.6 الملخص الفني: الإمداد العالمي من الطاقة الأولية المستمدة من طاقة الرياح في السيناريوهات طويلة الأجل (الوسيط، ونطاق المئينة الخامس والعشرين إلى الخامس والسبعين، وكامل نطاق نتائج السيناريوهات، ويستند تحديد الألوان إلى فئات مستوى تركز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي في 2100، والعدد المحدد من السيناريوهات التي يستند لها هذا الشكل مبين في الركن الأعلى الأيمن). [الشكل 7.24]

تقدم طاقة الرياح ما بين 13 و14 ٪ تقريباً من الإمداد العالمي بالكهرباء في السيناريو الوسيط بحلول 2050، ويزيد إلى ما يتراوح بين 21 و25 ٪ في المئينة 75 من السيناريوهات التي تم استعراضها. [7.9.2]

8 إدماج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة في الحاضر والمستقبل

8.1 مقدمة

تطورت نظم الإمداد بالطاقة في العديد من البلدان على مدى عقود، مما ساعد التوزيع الكفؤ والفعال التكلفة للكهرباء والغاز والحرارة وناقلات طاقة النقل على توفير خدمات طاقة مفيدة للمستخدم النهائي. ويتطلب الانتقال إلى مستقبل يتميز بانخفاض استهلاك الكربون واستخدام حصص مرتفعة من الطاقة المتجددة إجراء استثمارات كبيرة في التكنولوجيات الجديدة للطاقة المتجددة وبنيتها الأساسية، بما في ذلك إنشاء شبكات كهرباء أكثر مرونة، وتوسيع نطاق شبكات التدفئة والتبريد الحضرية، ونظم توزيع الغازات وأنواع الوقود السائل المشتقة من مصادر الطاقة المتجددة، ونظم تخزين الطاقة، وأساليب النقل الجديدة، ونظم التوزيع الابتكارية للطاقة ونظم التحكم في المباني. فمن شأن دمج الطاقة المتجددة المحسنة أن يؤدي إلى توفير طائفة كاملة من خدمات الطاقة للمجتمعات الكبيرة والصغيرة في البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء. وبغض النظر عن نظام الإمداد بالطاقة المطبق حالياً، سواء أكان في المجتمعات الغنية بالطاقة أم الفقيرة بها، على المدى البعيد، ومن خلال التخطيط والدمج المتوازن للنظم، فإن ثمة عدد قليل من القيود المفروضة على زيادة حصص الطاقة المتجددة على المستويات الوطنية والإقليمية والمحلية إضافة إلى المباني الإنفرادية، وذلك على الرغم من وجود عقبات أخرى ينبغي تذليلها. [8.1، 8.2]

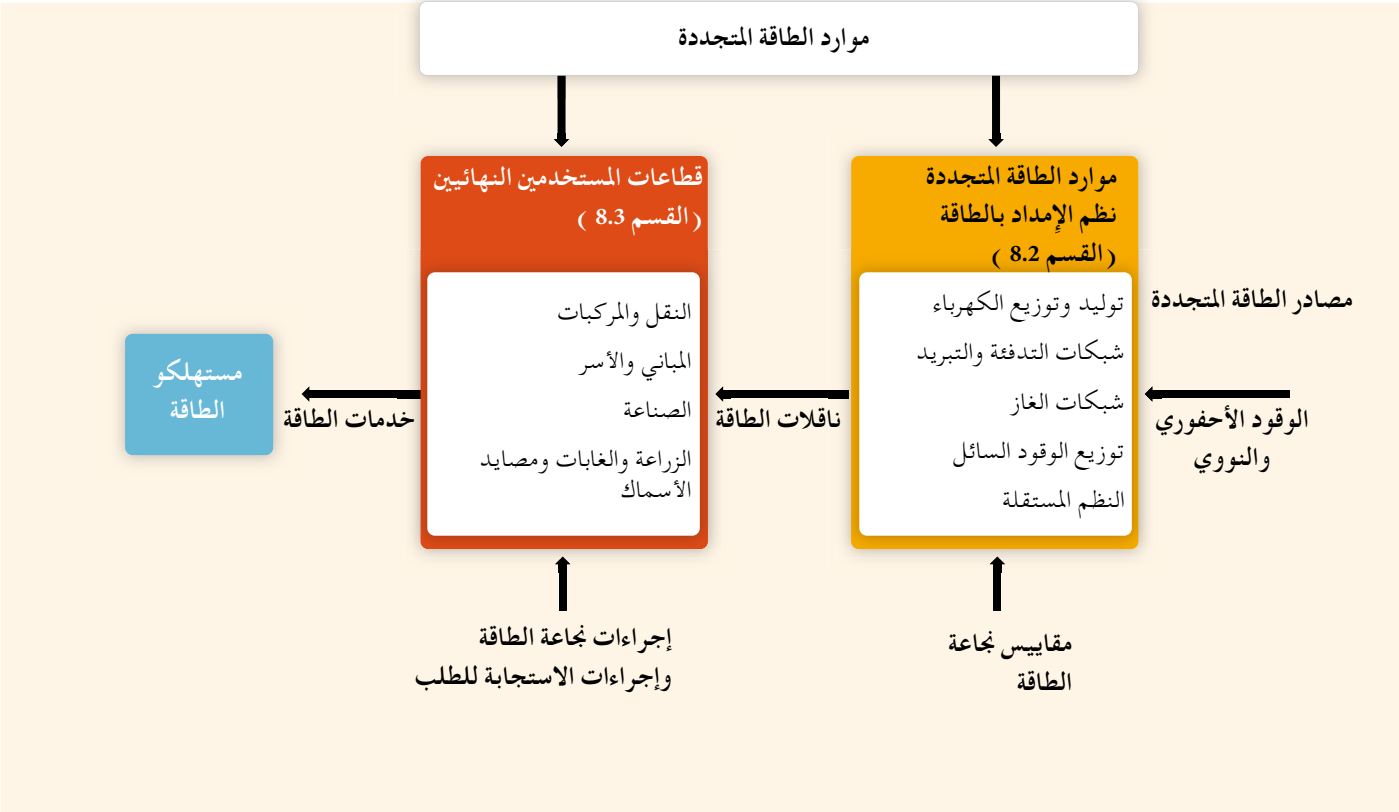
وتواصل نظم الإمداد بالطاقة تطورها بهدف زيادة كفاءة تكنولوجيات التحويل وتقليص الخسائر وخفض تكاليف توفير خدمات الطاقة للمستخدم النهائي. وقد يتطلب توفير حصة أكبر من التدفئة والتبريد ووقود النقل والكهرباء باستخدام الطاقة المتجددة إجراء تعديلات على السياسات والأسواق ونظم الإمداد بالطاقة الحالية بمرور الوقت بحيث يمكنها استيعاب ارتفاع معدلات النشر التي تؤدي إلى زيادة إمدادات الطاقة المتجددة [8.1].

وتتمتع جميع البلدان بالنفاذ إلى بعض موارد الطاقة المتجددة، التي تتوفر بكثرة في الكثير من أنحاء العالم. ولكثير من هذه الموارد سمات تميزها عن أنواع الوقود الأحفوري والنظم النووية. فتنتشر بعض الموارد على نطاق واسع، مثل الطاقة الشمسية والطاقة البحرية، في حين تخضع موارد أخرى، مثل الطاقة المائية كبيرة النطاق، لقيود مكانية ومن ثم تصبح خيارات الدمج أكثر مركزية. وتتسم بعض موارد الطاقة المتجددة بالتقلب وبإمكانية تنبؤ محدودة. وتتميز مصادر أخرى بانخفاض كثافات الطاقة فيها وتختلف مواصفاتها الفنية عن أنواع الوقود الأحفوري الصلبة والسائلة والغازية. ومن شأن هذه السمات الخاصة بموارد الطاقة المتجددة أن تفرض قيوداً على سهولة عملية الدمج وتستجلب المزيد من التكاليف النظم، ولا سيما عند الوصول إلى حصص أعلى من الطاقة المتجددة [8.1، 8.2].

ووفقاً للمخطط العام الهيكلي للفصل الثامن، يمكن استخدام موارد الطاقة المتجددة من خلال دمجها في شبكات الإمداد بالطاقة التي تعمل على توصيل الطاقة إلى المستهلكين باستخدام ناقلات للطاقة بحصص مختلفة من الطاقة المتجددة سواء بصورة متضمنة أو عن طريق الدمج المباشر في قطاعات النقل والمباني والصناعة والزراعة للمستخدم النهائي. (الشكل 8.1 بالملخص الفني). [8.2، 8.3]

وثمة فهم معقول للاحتياجات العامة والمحددة لتحسين دمج الطاقة المتجددة في نظم إمداد الطاقة. غير أنه نظراً لأن قضايا الدمج غالباً ما تخص كل موقع على حدة، فثمة نقص في تحليلات التكاليف الإضافية المعتادة لخيارات دمج الطاقة المتجددة، كما أنه يلزم إجراء بحوث في المستقبل لاستخدامها في وضع نماذج للسيناريوهات. فعلى سبيل المثال، من غير الواضح كيف يمكن أن يؤثر الاتجاه العام المحتمل نحو تطبيق نظم للإمداد بالطاقة تتسم بقدر أكبر من اللامركزية على التكاليف المستقبلية التي ينطوي عليها تطوير إمدادات للتدفئة والكهرباء أكثر مركزية وعلى إمكانية تجنب إنشاء بنية أساسية جديدة. [8.2]

وقد تطورت نظم الطاقة المركزية، القائمة أساساً على الوقود الأحفوري، بحيث أضحت تقدم خدمات طاقة للمستخدم النهائي تتميز بفعالية التكلفة على نحو معقول، باستخدام طائفة من ناقلات الطاقة بما في ذلك الوقود الصلب والسائل والغازي، والكهرباء، والحرارة. وتقتضي زيادة نشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة دمجها في هذه النظم القائمة عن طريق تذليل الحواجز الفنية والاقتصادية والبيئية والاجتماعية المتصلة بها. ويمكن أن



الشكل 8.1 الملخص الفني: مسارات دمج الطاقة المتجددة لتوفير خدمات الطاقة، سواء في نظم الإمداد بالطاقة أو في الموقع بغرض استخدامها من جانب قطاعات المستخدم النهائي [الشكل 8.1]

يتيح ظهور نظم الطاقة اللامركزية فرصاً جديدة لنشر هذه التكنولوجيات. [8.1، 8.2]

ويمكن أن تصبح نظم الكهرباء القائمة على الطاقة المتجددة هي النظم المهيمنة للطاقة في المستقبل، في بعض الأقاليم، وتحديداً إذا استخدمت الكهرباء في تلبية احتياجات التدفئة والنقل؛ وهو الأمر الذي يمكن أن يحركه تحقيق تطورات موازية في المحركات التي تعتمد على الطاقة الكهربائية، وكذا زيادة الاعتماد على الكهرباء في التدفئة والتبريد (بما في ذلك استخدام المضخات الحرارية)، ومرونة خدمات تلبية الطلب (بما في ذلك استخدام العدادات الذكية)، وغيرها من التكنولوجيات الابتكارية. [8.1، 8.2.1.2، 8.2.2، 8.3.1 – 8.3.3].

وتختلف نظم الطاقة المختلفة اختلافاً ملحوظاً بين البلدان والأقاليم حول العالم ويتسم كل منها بالتعقيد. ونتيجة لذلك، يلزم تصميم طائفة من النهج لتشجيع دمج الطاقة المتجددة، سواء كان بصورة مركزية أو غير مركزية. وقبل إدخال أي تغيير مؤثر على نظم الإمداد بالطاقة التي تتضمن زيادة دمج الطاقة المتجددة؛ ينبغي إجراء تقييم حذر لتوفر موارد الطاقة المتجددة؛ ومدى ملاءمة التكنولوجيات القائمة؛ والقيود المؤسسية والاقتصادية والاجتماعية؛ والمخاطر المحتملة؛ والحاجة لبناء القدرات ذات الصلة؛ وتنمية المهارات. [8.1، 8.2]

وتظهر أغلب السيناريوهات التي تعمل على تثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي حول 450 جزءاً في المليون من ثاني أكسيد الكربون المكافئ أن حصة الطاقة المتجددة ستتجاوز 50 ٪ من الطاقة الأولية منخفضة الكربون بحلول 2050. ويمكن توضيح هذا التحول بواسطة العديد من السيناريوهات، حيث يستند المثال الوحيد لزيادة حصص السوق كما هو مبين في الشكل 8.2 بالملخص الفني إلى تقرير آفاق الطاقة العالمية لعام 2010 الصادر عن وكالة الطاقة الدولية «450 سيناريو للسياسات». ولتحقيق هذه الزيادات في حصص الطاقة الأولية والاستهلاكية من الطاقة المتجددة بحلول 2035، سيتطلب الأمر تحقيق متوسط نمو تراكمي سنوي في الطاقة المتجددة الأولية يتجاوز ثلاثة أضعاف المستوى الحالي البالغ حوالي 4.0 إكسغل/السنة. [8.1، 8.2، 10.2.2.4]

ويتطلب نشر الطاقة المتجددة على نطاق أكبر في كل من قطاعات النقل والمباني والصناعة والزراعة أن تُفهم العناصر الاستراتيجية على نحو أفضل، كما هو الحال مع القضايا الاجتماعية. وإن مسارات الانتقال اللازمة لزيادة حصص كل تكنولوجيا من تكنولوجيات الطاقة المتجددة من خلال عملية الدمج، إنما تعتمد على القطاع والتكنولوجيا المستخدمة والإقليم. وينبغي أن تتمثل الأهداف الكبرى في تحقيق الدمج بقدر أكبر من السلاسة في أنظمة الإمداد بالطاقة وتوفير فوائد متعددة للطاقة والمستخدمين. [8.2، 8.3]

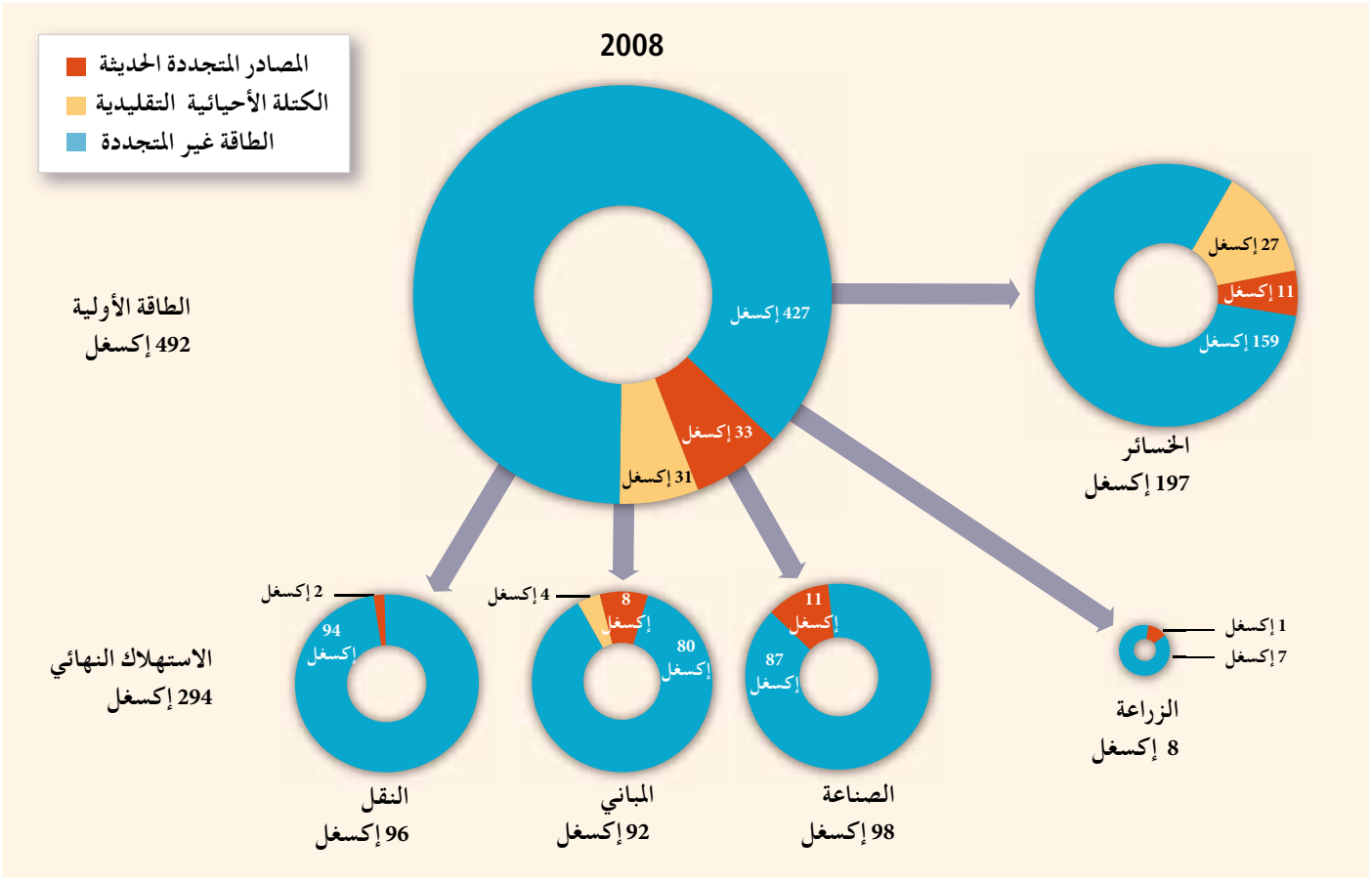
فقد نجح بالفعل دمج عدد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة الناضجة في طائفة واسعة من نظم الإمداد بالطاقة، بحصص منخفضة نسبياً في الغالب وإن ظلت ثمة أمثلة (منها نظم الطاقة المائية صغيرة النطاق وكبيرة النطاق، وطاقة الرياح، والحرارة والطاقة الحرارية الأرضية، والوقود الأحفوري من الجيل الأول، ونظم تسخين المياه بالطاقة الشمسية) تتجاوز نسبة 30 ٪. ويرجع السبب الأساسي في ذلك إلى تحسن تنافسية هذه الأنظمة من حيث التكلفة، وزيادة السياسات الداعمة وتنامي الدعم العام بسبب التهديدات المتمثلة في انعدام أمن الإمداد بالطاقة وتغير المناخ. وتتمثل بعض الأمثلة الاستثنائية في الطاقة المائية كبيرة النطاق في النرويج والطاقة المائية والحرارية الأرضية في أيسلندا التي تقارب 100 ٪ من الكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة، وهو ما تحقق أيضاً في عدد من الجزر الصغيرة والبلدات. [8.2.1.3، 8.2.5.5، 11.2، 11.5]

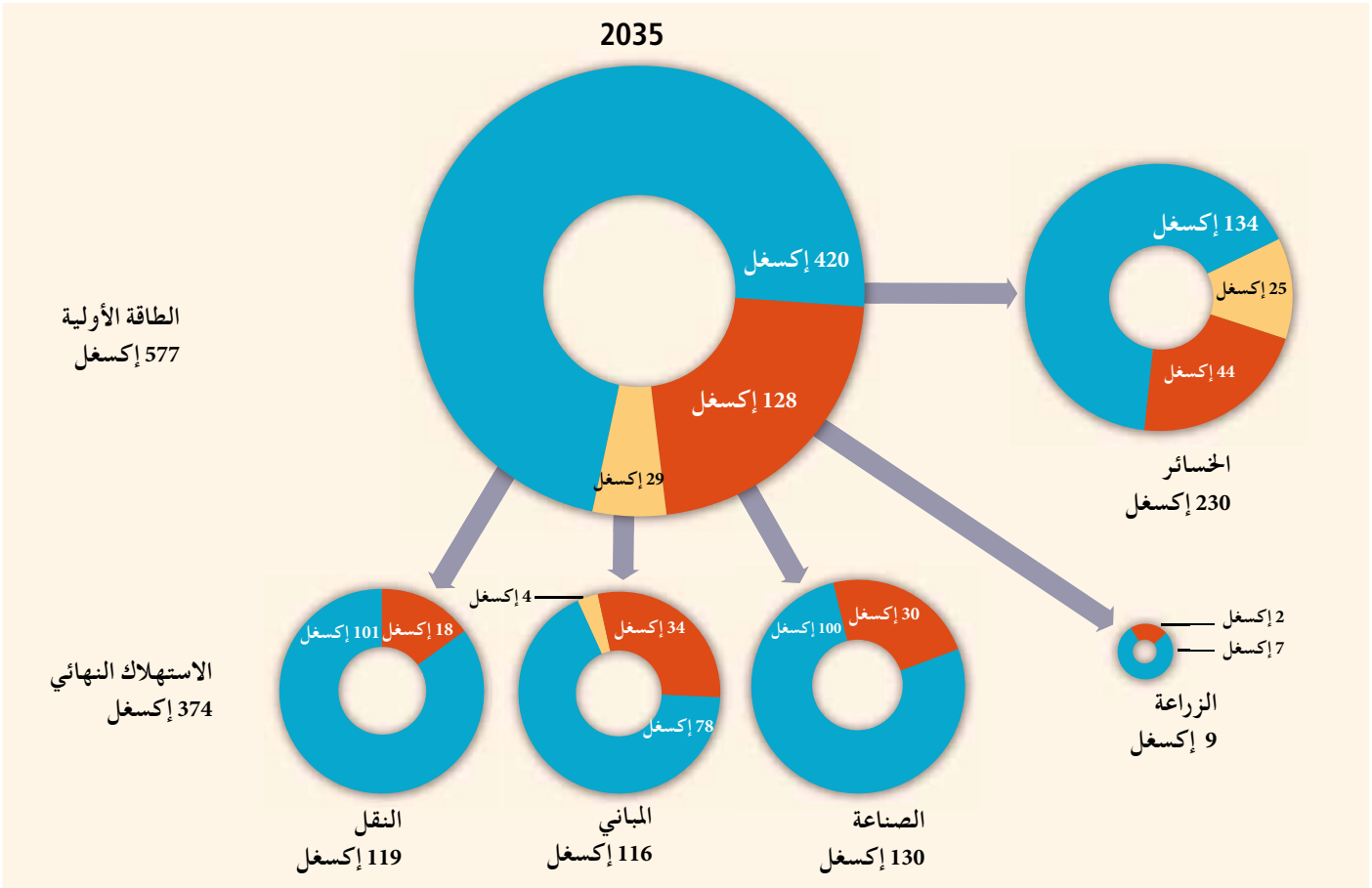
وتتطلب التكنولوجيات الأخرى الأقل نضجاً مواصلة الاستثمار في البحوث والتنمية والبيان العملي والبنية الأساسية، وبناء القدرات، وغيرها من التدابير الداعمة على المدى الأطول. وتتضمن هذه التكنولوجيات الوقود الأحفوري المتطور، وخلايا الوقود، والوقود الشمسي، ونظم التحكم في التوليد اللامركزي للكهرباء، والمركبات الكهربائية، ونظم التبريد بامتصاص الطاقة الشمسية، والنظم الحرارية الأرضية المحسنة. [11.5، 11.6]

ويتباين الوضع الحالي لاستخدام الطاقة المتجددة لكل قطاع من قطاعات المستخدم النهائي. وهناك أيضاً تباينات إقليمية كبرى في المسارات المستقبلية لتحسين الدمج عن طريق إزالة العوائق. فعلى سبيل المثال، يختلف دمج تكنولوجيات الطاقة المتجددة، في قطاع المباني، اختلافاً شاسعاً عن الشقق والمباني التجارية الشاهقة في المدن الكبرى مقارنة بالدمج في المساكن القروية الصغيرة المتواضعة في البلدان النامية التي لا تستفيد سوى استفادة محدودة من خدمات الطاقة. [8.3.2]

ويمكن أن تستوعب معظم نظم الإمداد بالطاقة حصة من الطاقة المتجددة أكبر من الحصة الحالية، ولاسيما إذا ما بلغت حصة الطاقة المتجددة مستويات منخفضة نسبياً (يفترض أن تكون عادة أقل من 20 ٪ للكهرباء أو التدفئة أو خليط غاز خطوط الأنابيب أو خليط الوقود الأحفوري). وسيكون من الضروري تطوير وتعديل معظم نظم الإمداد بالطاقة لاستيعاب ارتفاع حصص الطاقة المتجددة في المستقبل. وفي كل الأحوال، سيعتمد الحد الأقصى للحصة العملية للطاقة المتجددة على التكنولوجيات المتضمنة، والموارد المتاحة، ونوع نظام الطاقة الحالي وعمره. ومن شأن المبادرات المحلية والوطنية والإقليمية أن تعزز من عملية الدمج وتزيد من معدلات النشر. ويتمثل الهدف العام للفصل 8 في عرض المعرفة الحالية المتعلقة بفرص وتحديات دمج الطاقة المتجددة بالنسبة للحكومات الراغبة في تصميم إطار عمل متسق استعداداً لارتفاع مستويات تغلغل الطاقة المتجددة في المستقبل. ويمكن مواءمة جميع نظم الإمداد بالطاقة القائمة، وشبكات الغاز الطبيعي، وشبكات التدفئة/التبريد، وشبكات توزيع إمدادات وقود النقل القائم على النفط، بحيث تستوعب زيادة إمدادات الطاقة المتجددة على مستوى الاستيعاب الحالي. وتتراوح تكنولوجيات الطاقة المتجددة ما بين تكنولوجيات ناضجة وتكنولوجيات في المرحلة الأولى لبيان المفهوم. ويمكن أن تساعد التكنولوجيات الجديدة على زيادة امتصاص الطاقة المتجددة، وسيعتمد دمجها على تحسن الفعالية من حيث التكلفة، والقبول الاجتماعي، والموثوقية، والدعم السياسي على مستويي الحكومة الوطنية والمحلية بغية الحصول على حصص أكبر من الأسواق. [8.1.2، 11.5].

ويمكن أن يشكل اعتماد نهج شمولي إزاء نظام الطاقة ككل شرطاً مسبقاً لضمان دمج الطاقة المتجددة على نحو يتسم بالكفاءة والمرونة. ويمكن أن يشمل ذلك تحقيق دعم متبادل بين مختلف قطاعات الطاقة، وإعداد استراتيجية ذكية للتنبؤ والتحكم، وإعداد خطط متسقة طويلة الأجل. ومن شأن هذه العناصر مجتمعة أن تمكّن من تحقيق ترابط أوثق بين توفير الكهرباء والتدفئة والتبريد وسهولة التنقل. ويختلف المزج الأمثل للتكنولوجيات والآليات الاجتماعية لتمكين عملية دمج الطاقة المتجددة من تحقيق حصص مرتفعة باختلاف القيود المتعلقة بظروف الموقع المحددة، وخصائص موارد الطاقة المتجددة المتاحة، والطلب المحلي على الطاقة. وتعتمد كيفية مواءمة وتطوير نظم العرض والطلب الحالية الخاصة بالطاقة لاستيعاب ارتفاع حصص الطاقة المتجددة والتكاليف الإضافية المصاحبة لدمجها على الظروف المحددة، ومن ثم سيلزم إجراء مزيد من البحوث. وهذا هو الحال تحديداً مع قطاع الكهرباء نظراً للطائفة الواسعة من النظم


2008
المصادر المتجددة الحديثة
الكتلة الأحيائية التقليدية
الطاقة غير المتجددة
الطاقة الأولية
492 إكسغل
427 إكسغل
33 إكسغل
31 إكسغل
الخسائر
197 إكسغل
27 إكسغل
11 إكسغل
159 إكسغل
الاستهلاك النهائي
294 إكسغل
2 إكسغل
94 إكسغل
4 إكسغل
8 إكسغل
80 إكسغل
11 إكسغل
87 إكسغل
1 إكسغل
7 إكسغل
الزراعة
8 إكسغل
النقل
96 إكسغل
المباني
92 إكسغل
الصناعة
98 إكسغل


2035
الطاقة الأولية
577 إكسغل
420 إكسغل
128 إكسغل
29 إكسغل
الخسائر
230 إكسغل
134 إكسغل
25 إكسغل
44 إكسغل
الاستهلاك النهائي
374 إكسغل
101 إكسغل
18 إكسغل
4 إكسغل
34 إكسغل
78 إكسغل
100 إكسغل
30 إكسغل
2 إكسغل
7 إكسغل
الزراعة
9 إكسغل
النقل
119 إكسغل
المباني
116 إكسغل
الصناعة
130 إكسغل

الشكل 8.2 الملخص الفني: حصص الطاقة المتجددة (باللون الأحمر) لطاقة الاستهلاك الأولي والنهائي في قطاعات النقل والمباني (بما في ذلك الكتلة الأحيائية التقليدية)، والصناعة والزراعة في عام 2008، ومؤشر عن الإرتفاع المتوقع في حصص الطاقة المتجددة اللازمة بحلول عام 2035 بحيث تصبح متسقة مع مستوى ثبات ثاني أكسيد الكربون المكافئ البالغ 450 جزءاً في المليون. [الشكل 8.2]

ملاحظات: مساحة الدوائر مقاربة لمقياس الرسم. تحدث خسائر نظام الطاقة خلال عملية تحويل مصادر الطاقة الأولية وتكريرها وتوزيعها لإنتاج خدمات الطاقة لأغراض الاستهلاك النهائي. وتشمل الطاقة «غير المتجددة» (باللون الأزرق) كل من الفحم والنفط والغاز الطبيعي (سواء بامتصاص الكربون وتخزينه أو بدونه بحلول عام 2035) والطاقة النووية. ويقوم مثال السيناريو هذا على بيانات مستقاة من تقرير الطاقة العالمية لعام 2010 الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة ولكن تم تحويلها إلى مكافئات مباشرة [المرفق II.4]. وترد التحسينات المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة أعلى من خط الأساس في توقعات عام 2035. وتشمل الطاقة المتجددة المستخدمة في قطاع المباني وقود الكتلة الأحيائية الصلبة التقليدي (باللون الأصفر) لأغراض الطهي والتدفئة لما مجموعه 2.7 مليار شخص في البلدان النامية [2.2] إضافة إلى بعض الفحم. وبحلول عام 2035، جرت الاستعاضة جزئياً عن بعض الكتلة الأحيائية التقليدية بنظم تحويل الطاقة الأحيائية الحديثة. وباستبعاد الكتلة الأحيائية التقليدية، تظل الكفاءة الكلية لنظام الطاقة المتجددة (عند تحويلها من طاقة أولية إلى طاقة استهلاكية) بنحو 66 ٪.

القائمة لتوليد الطاقة والنطاقات التي تختلف باختلاف البلد والإقليم. [8.2.1، 8.2.2، 8.3]

8.2 دمج الطاقة المتجددة في نظم الطاقة الكهربائية

أخذت نظم الطاقة الكهربائية في التطور منذ نهاية القرن التاسع عشر. واليوم، تتباين نظم الطاقة الكهربائية من حيث نطاقها وتطورها التكنولوجي من شبكة التوصيل البيني المتزامن لشرق الولايات المتحدة إلى النظم المستقلة الإنفرادية الصغيرة القائمة على محركات الديزل، حيث تشهد بعض النظم، كما هو الحال في الصين، حالة من التوسع والتحول بوتيرة سريعة. غير أنه في إطار هذه الاختلافات يجري تشغيل نظم الطاقة الكهربائية وتخطيطها بغرض مشترك يتمثل في توفير الإمداد بالطاقة على أساس موثوق وفعال التكلفة. واستشرافاً للمستقبل، يتوقع أن يستمر تزايد أهمية نظم الطاقة الكهربائية نظراً لما تقوم به من الإمداد بالطاقة الحديثة، والتمكين من نقل الطاقة عبر المسافات الطويلة، وتوفير مسار محتمل لتوصيل الطاقة منخفضة الكربون. [8.2.1]

وتتسم نظم الطاقة الكهربائية بعدد من الخصائص المهمة التي تؤثر على تحديات دمج الطاقة المتجددة. إذ يعمل أغلب نظم الطاقة الكهربائية باستخدام تيار متردد يقوم بمزامنة أغلب عملية توليد الطاقة وتشغيلها عند تردد بشدة 50 أو 60 هرتز تقريباً، حسب الإقليم. ويتفاوت الطلب على الكهرباء على مدار اليوم والأسبوع والموسم، وفقاً لاحتياجات مستخدمي الكهرباء. ويقابل التغير الإجمالي في الطلب تغيراً في الجداول وتوجيهات التوزيع المتعلقة بالتوليد بهدف الحفاظ دوماً على توازن بين العرض والطلب. وتستخدم المولدات وغيرها من موجودات نظم الطاقة في توفير التحكم في القدرة الفعالة للإبقاء على تردد النظام والتحكم في القدرة التفاعلية للإبقاء على الفلطية في حدود معينة. وتدار التغيرات المتتالية دقيقة بدقيقة في العرض والطلب بواسطة التحكم الآلي في التوليد من خلال خدمات يطلق عليها التنظيم ومتابعة الحِمْل، بينما تدار التغيرات التي تطرأ عبر نطاقات زمنية أطول تتراوح ما بين ساعات وأيام بواسطة الإرسال ووضع جداول للتوليد (بما في ذلك تشغيل أو إيقاف التوليد، الذي يعرف باسم التزام الوحدة). وينبغي مواصلة عملية التوازن هذه بغض النظر عن الآلية المستخدمة لتحقيقها. وتختار بعض الأقاليم أسواق الكهرباء المنظمة لتحديد أي وحدات التوليد ينبغي الالتزام بها و/أو كيفية توزيعها. وحتى النظم المستقلة يتعين أن تستخدم أساليب للحفاظ على توازن بين توليد الطاقة والطلب عليها (عبر مولدات يمكن التحكم فيها، أو أحمال يمكن التحكم فيها، أوموارد تخزين مثل البطاريات). [8.2.1.1]

وبالإضافة إلى الحفاظ على التوازن بين العرض والطلب، يتعين أيضاً على نظم الطاقة الكهربائية نقل الكهرباء بين التوليد والطلب من خلال شبكات الإرسال والتوزيع التي تتمتع بقدرات محدودة. ويتطلب ضمان توفر قدرات التوليد والشبكات الكافية إعداد خطط على مدار سنوات متعددة. ويعمل تخطيط نظم الطاقة الكهربائية على دمج المعرفة القائلة بإخفاق المكونات الإنفرادية للنظام بصفة دورية، بما في ذلك مكوني التوليد والشبكات (حالة طوارئ). غير أنه من الممكن تحقيق الدرجة المستهدفة من الموثوقية عن طريق بناء الموارد الكافية. وهناك أحد القياسات المهمة المستخدمة لتحديد مساهمة عملية التوليد – سواء أكانت قائمة على الوقود الأحفوري أم الطاقة المتجددة – في تلبية الطلب بمستوى مستهدف من الموثوقية، ويطلق على هذا المقياس اسم رصيد القدرة. [8.2.1.1]

واستناداً إلى سمات نظم الطاقة الكهربائية، ثمة عدد من خصائص الطاقة المتجددة المهمة التي ينبغي دمجها في نظم الطاقة. فعلى وجه التحديد، تمثل تقلبية الطاقة المتجددة وإمكانية التنبؤ بها (أو عدم اليقين بشأنها) عنصرين مهمين نسبياً للجدولة والإرسال في نظام الطاقة الكهربائية، ويشكل موقع موارد الطاقة المتجددة مؤشراً مهماً نسبياً عن الأثر على احتياجات الشبكات الكهربائية، ويمثل كل من عامل القدرة، ورصيد القدرة، وخصائص محطات الطاقة مؤشرات مناسبة للمقارنة مع توليد الطاقة الحرارية على سبيل المثال. [8.2.1.2]

وتتسم بعض موارد الكهرباء القائمة على الطاقة المتجددة (لاسيما الطاقة البحرية، والطاقة الفوتوفلطائية، وطاقة الرياح) بتقلبيتها وقابليتها للإرسال جزئياً: إذ يمكن خفض توليد الطاقة من هذه الموارد متى اقتضى الأمر ذلك، إلا أن المستوى الأقصى لتوليد الطاقة يعتمد على توفر مورد الطاقة المتجددة (مثل التيارات الجزرية، والشمس، والرياح). ويمكن أن يكون رصيد القدرة منخفضاً إذا لم يكن ثمة ارتباط ملائم بين التوليد وأوقات ارتفاع الطلب. وفضلاً عن ذلك، تؤدي تقلبية بعض مصادر الطاقة المتجددة وقابلية التنبؤ به جزئياً إلى زيادة عبء التوليد القابل للتوزيع أو غيره من الموارد لضمان إقامة توازن بين العرض والطلب نظراً للانحرافات في الطاقة المتجددة. وفي العديد من الحالات، تخفف آثار التقلبية وإمكانية التنبؤ الجزئي عن طريق التنوع الجغرافي – فلن تحدث التغيرات وأخطاء التنبؤ في نفس الوقت والاتجاه دائماً. غير أن ثمة تحدٍ عام يواجه معظم مصادر الطاقة المتجددة يتمثل في أن المصادر المتجددة محددة مكانياً، ومن ثم قد تحتاج الكهرباء المولدة من المصادر المتجددة المركزة لنقلها عبر مسافات كبيرة، مما يستلزم توسيع نطاق الشبكات. وفي كثير من الأحيان، يمكن أن توفر المصادر المتجددة القابلة للتوزيع (مثل الطاقة المائية والأحيائية والحرارية الأرضية والطاقة الشمسية المركزة مع التخزين الحراري). [8.2.1.2]

[**الجدول 8.1 بالملخص الفني**: ملخص خصائص الدمج لمجموعة مختارة من تكنولوجيات الطاقة المتجددة. [الجدول 8.1

التكنولوجيا		مجال حجم المحطة (الموجة المتوسطة)	التقلبية: النطاقات الزمنية المميزة لتشغيل نظم الطاقة النطاق الزمني	قابلية التوزيع (انظر مفتاح الخريطة)	إمكانية التنوع الجغرافي (انظر مفتاح الخريطة)	قابلية التنبؤ (انظر مفتاح الخريطة)	نطاق عامل القدرة ٪	نطاق رصيد القدرة ٪	التحكم في تواتر الطاقة الفعالة (انظر مفتاح الخريطة)	التحكم في الطاقة التفاعلية، شدة الفلط (انظر الخريطة)
الطاقة الحيوية		100-0.1	مواسم (وفقاً لتوفر الكتلة الأحيائية)	+++	+	++	90-50	مماثل لتوليد الحرارة والطاقة المشترك	++	++
الطاقة الشمسية المباشرة	الخلايا الفوتوفلطائية	100–0.004 قابلة للتعديل	دقائق إلى سنوات	+	++	+	27-12	<75-25	+	+
	الطاقة الشمسية المركزة ذات القدرة على التخزين الحراري[1]	250-50	ساعات إلى سنوات	++	+[2]	++	42-35	90	++	++
الطاقة الحرارية الأرضية		100-2	سنوات	+++	لا ينطبق	++	90-60	مماثل للطاقة الحرارية	++	++
الطاقة المائية	جريان الأنهار	1.500-0,1	ساعات إلى سنوات	++	+	++	95-20	90-0	++	++
	الخزانات	20,000-1	إيام إلى سنوات	+++	+	++	60-30	مماثل للطاقة الحرارية	++	++
الطاقة البحرية	مجال المد والجزر	300-0.1	ساعات إلى أيام	+	+	++	28.5-22.5	<10%	++	++
	تيار المد والجزر	200-1	ساعات إلى أيام	+	+	++	60-19	20-10	+	++
	الموجة	200-1	دقائق إلى سنوات	+	++	+	31-22	16	+	+
طاقة الرياح		300-5	دقائق إلى سنوات	+	++	+	40–20 على الشاطئ 45 بعيداً عن الشاطئ	40-5	+	++

ملاحظات: 1 – بافتراض وجود نظام للطاقة الشمسية المركزة بسعة تخزين حرارية تبلغ ست ساعات جنوبي غرب الولايات المتحدة. 2 – في المناطق التي تصل الإشعاعية العادية المباشرة فيها إلى ≥2 000 كيلوواط في الساعة/م2/السنة (200 7/ميغاجول/م2/السنة).

حجم المحطة: مجال قدرة المحطة العادية

النطاقات الزمنية المميِّزة: النطاقات الزمنية التي تحدث فيها التقلبية المهمة لدمج نظم الطاقة.

قابلية التوزيع: درجة قابلية توزيع المحطة: + قابلية توزيع جزئي منخفضة، ++ قابلية توزيع جزئي، +++ قابل للتوزيع.

إمكانية التنوع الجغرافي: الدرجة التي يمكن عندها أن يسهم ضبط التكنولوجيا في تخفيف أثر التقلبية وتحسين إمكانية التنبؤ، دون وجود حاجة كبيرة لشبكة إضافية: +إمكانية معتدلة، ++ إمكانية تنوع مرتفعة.

إمكانية التنبؤ: دقة إمكانية التنبؤ بالقدرة المخرجة للمحطة في نطاقات زمنية ملائمة للمعاونة في تشغيل نظم القدرة: + دقة تنبؤ معتدلة (في العادة أقل من 10 ٪ من الخطأ في مربع متوسط التسارع للطاقة المستهلكة قبل يوم)، ++ دقة تنبؤ مرتفعة.

التحكم في القدرة الفعالة والتردد: إمكانيات التكنولوجيا التي تمكّن المحطة من المشاركة في التحكم في القدرة الفعالة واستجابة التردد في الأوضاع العادية (حالة ثابتة، حالة دينامية) وفي أوضاع خطأ الشبكة (على سبيل المثال دعم القدرة الفعالة خلال تجاوز الخطأ): + إمكانيات جيدة، ++ إمكانية التحكم الكامل.

التحكم في القدرة الفلطية والقدرة التفاعلية: إمكانيات تكنولوجية تمكن المحطة من المشاركة في التحكم في القدرة الفلطية والتفاعلية خلال الأوضاع العادية (حالة ثابتة، حالة دينامية) وخلال أوضاع خطأ الشبكة (على سبيل المثال دعم القدرة التفاعلية خلال معالجة الخطأ): + إمكانيات جيدة، ++ إمكانيات التحكم الكامل.

ويرد في الجدول 8.1. بالملخص الفني ملخصاً وجيزاً عن الخصائص المحددة لاختيار التكنولوجيات. [8.2.1.3]

ثمة خبرة كبيرة بالفعل في مجال تشغيل نظم الطاقة الكهربائية التي تتمتع بحصة كبيرة من الموارد المتجددة، ولاسيما الطاقة المائية والطاقة الحرارية الأرضية. ويساعد تخزين الطاقة المائية والتوصيلات البينية القوية على إدارة التذبذبات في تدفق الأنهار. وتتحقق تكاليف موازنة تقلب التوليد عند وجود اختلافات بين التوليد المجدول (وفقاً للتنبؤات) والإنتاج الفعلي. وتؤدي التقلبية وعدم اليقين إلى زيادة الاحتياجات لإقامة التوازن. وعموماً، يُتوقع أن تزداد صعوبة تحقيق التوازن مع زيادة تغلغل الطاقة المتجددة القابلة للتوزيع جزئياً. وتظهر الدراسات جلياً أن الجمع بين مختلف المصادر المتجددة القابلة للتقلب، وبين موارد من المناطق الجغرافية الأكبر، سيكون مفيداً في تهدئة التقلبية وخفض مستوى عدم اليقين العام الذي يحيط بنظم الطاقة. [8.2.1.3]

وتتمثل القضية الرئيسية في أهمية إنشاء بنية أساسية للشبكات، من أجل توصيل الطاقة من محطة التوليد إلى المستهلك وتمكين المناطق الأكبر من تحقيق التوازن. ومن شأن تعزيز التوصيلات داخل نظم الطاقة الكهربائية واستحداث توصيلات بينية إضافية للنظم الأخرى أن يسهم إسهاماً مباشراً في تخفيف أثر موارد الطاقة المتجددة المتغيرة وغير المؤكدة. ويمثل توسع الشبكات عنصراً ضرورياً لمعظم نظم الطاقة المتجددة، على الرغم من اعتماد المستوى على مورد الطاقة والموقع المتعلقين بالبنية الأساسية الشبكية القائمة. ومن بين التحديات الأخرى توسيع نطاق البنية الأساسية للشبكات في سياق المعارضة العامة لإنشاء بنية أساسية عامة للشبكات. وبوجه عام، سيلزم إجراء تغييرات كبرى في خليط محطات التوليد، والبنية الأساسية لنظم الطاقة الكهربائية، والإجراءات التشغيلية، للانتقال إلى زيادة توليد الطاقة المتجددة مع الإبقاء على فعالية التكلفة والفعالية البيئية. وسيتطلب إجراء هذه التغييرات إجراء استثمارات كبرى بما يكفي مسبقاً للحفاظ على موثوقية وأمن إمدادات كهرباء. [8.2.1.3]

وبالإضافة إلى تحسين البنية الأساسية للشبكات، جرى تحديد عدد من خيارات الدمج المهمة الأخرى من خلال خبرات التشغيل أو الدراسات ذات الصلة:

زيادة مرونة التوليد: تعني زيادة تغلغل المصادر المتجددة المتغيرة زيادة الحاجة لإدارة التقلبية وعدم اليقين. ويجب على خليط التوليد تحقيق قدر أكبر من المرونة. فيعزى للتوليد الجانب الأكبر من المرونة التي تتمتع بها نظم الطاقة حالياً من أجل التواكب مع التقلبية وعدم اليقين من خلال التكثير والتخفيض والتدوير حسبما تقتضي الحاجة. ويمكن أن تنطوي زيادة الحاجة للمرونة إما على الاستثمار في نظم توليد مرنة جديدة أو إدخال تحسينات على محطات الطاقة القائمة لتمكينها من العمل بطريقة أكثر مرونة. [8.2.1.3]

تدابير جانب الطلب: على الرغم من أن تدابير جانب الطلب لم يجر تنفيذها على مر التاريخ إلا بغرض خفض متوسط الطلب أو الطلب خلال فترات ذروة الحمل، فمن الممكن أن تسهم هذه التدابير في تلبية الاحتياجات الناشئة عن زيادة توليد الطاقة المتجددة المتغيرة. ويتيح تصميم تكنولوجيات اتصال متطورة، مزودة بعدادات كهربائية ذكية موصولة بمراكز التحكم، إمكانية النفاذ إلى مستويات مرونة أكبر بكثير من الطلب. ويمكن تقديم حوافز لمستخدمي الكهرباء بغية تعديل و/أو خفض استهلاكهم عن طريق تحديد أسعار مختلفة للكهرباء في أوقات مختلفة، ولا سيما مع ارتفاع الأسعار خلال فترات ارتفاع الطلب. ويمكن أن يسهم انخفاض الطلب هذا خلال فترات ارتفاع الطلب في تخفيف أثر انخفاض رصيد السعة لبعض أنواع التوليد المتقلب. وفضلاً عن ذلك، يمكن أن يؤدي خفض الطلب بسرعة دون إخطار خلال أي وقت من السنة إلى توفير الاحتياطيات بدلاً من توفير هذا الاحتياطي من موارد التوليد. ويمكن أن يشارك الطلب الذي يمكن وضع جدول لتلبيته في أي وقت من اليوم أو الذي يتعامل مع أسعار الكهرباء في الوقت الفعلي في تحقيق التوازن خلال اليوم ومن ثم تخفيف أثر التحديات التشغيلية المتوقع أن تتزايد صعوبتها مع تقلبية التوليد. [8.2.1.3]

تخزين الطاقة الكهربائية: يمكن خفض انقطاع الطاقة المتجددة ورفع كفاءة وحدات الحمل الأساسي على النظام عن طريق تخزين الطاقة الكهربائية عندما يكون ناتج الطاقة المتجددة مرتفعاً أو عندما يكون الطلب منخفضاً، وتوليد الطاقة عندما يكون ناتج الطاقة المتجددة منخفضاً والطلب مرتفعاً. ومن شأن التخزين أيضاً أن يحد من تكدس الإرسال وقد يؤدي إلى الحد من الحاجة إلى تحسين جودة الإرسال أو تأخيره. ومن الممكن نظرياً أن تُستخدم تكنولوجيات مثل البطاريات أو الحدافات التي تخزن كميات أقل من الطاقة (من دقائق إلى ساعات) في توفير الطاقة في نطاق ساعة من أجل تنظيم التوازن بين العرض والطلب. [8.2.1.3]

تحسن أساليب التشغيل/الأسواق وأساليب التخطيط: للمساعدة في مواجهة التقلبية وعدم اليقين المصاحبان لمصادر توليد الطاقة المتغيرة، يمكن الجمع بين التنبؤات الخاصة بناتجها مع أساليب التشغيل المحسنة لتحديد الاحتياطي اللازم للإبقاء على التوازن بين الطلب وتوليد الطاقة، والتحديد الأمثل لمواعيد للتوليد على حد سواء. وإن اتخاذ قرارات تحديد المواعيد بقرب الزمن الحقيقي (أي خفض زمن الإغلاق في الأسواق) وعلى نحو أكثر تواتراً، إنما يتيح معلومات أحدث وأدق يمكن استخدامها في توزيع وحدات التوليد. وكذلك فإن الانتقال إلى مناطق توازن أكبر، أو تقاسم التوازن بين المناطق، يعد أمراً مرغوباً مع ارتفاع كميات الطاقة المتغيرة، نظراً لتجميع فوائد الموارد المتجددة المتعددة والمبعثرة. [8.2.1.3]

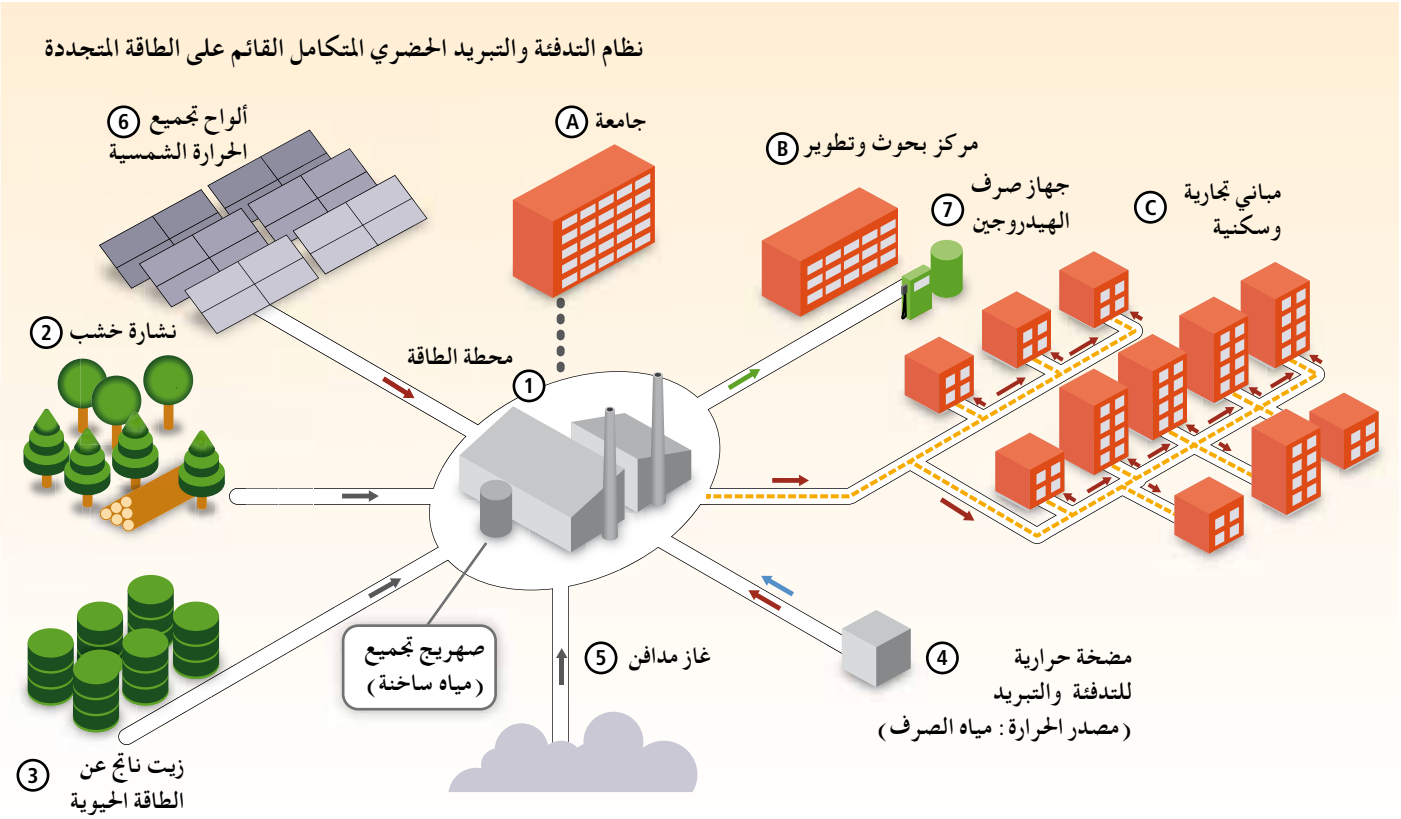
والخلاصة أنه يمكن دمج الطاقة المتجددة في جميع أنواع نظم الطاقة الكهربائية من النظم القارية المترابطة الكبيرة النطاق إلى النظم المستقلة الصغيرة. ويتحدد نطاق التحدي المتعلق بالدمج بناء على خصائص النظم بما في ذلك البنية الأساسية للشبكات ونمط الطلب والموقع الجغرافي وخليط التوليد وقدرات التحكم والاتصال إلى جانب الموقع الموارد المتجددة وبصمتها الجغرافية وتقلبيتها وإمكانية التنبؤ بها. ومع زيادة كميات موارد الطاقة المتجددة، فسيكون من الضروري بوجه عام إنشاء بنية أساسية إضافية للشبكات الكهربائية (إرسال و/أو توزيع). ويمكن أن تكون الموارد المتغيرة للطاقة المتجددة، مثل الرياح، أكثر صعوبة في دمجها من الموارد المتجددة القابلة للتوزيع، مثل الطاقة الأحيائية، وعندما تصبح زيادة المستويات التي تحافظ على الموثوقية أكثر صعوبة وكلفة. ويمكن الحد من هذه التحديات والتكاليف عن طريق نشر حافظة من الخيارات تشمل التوصيل البيني للشبكات الكهربائية، وتطوير نظم توليد مرنة تكميلية، وزيادة حجم مناطق التوازن، وتطوير الأسواق العاملة على أساس أقل من الساعة، واستجابة الطلب لتوفر العرض، وتكنولوجيات التخزين، وتحسين التنبؤ، وتشغيل النظم، وأدوات التخطيط.

8.3 دمج الطاقة المتجددة في شبكات التدفئة والتبريد

وتعمل شبكات التدفئة الحضرية أو شبكات التبريد الحضرية على إتاحة موارد متعددة للطاقة (الشكل 8.3 بالملخص الفني) لتوصيلها بالكثير من مستهلكي الطاقة عن طريق ضخ ناقلات الطاقة (المياه الساخنة أو الباردة وأحياناً البخار) من خلال خطوط الأنابيب المعزولة مركبة تحت الأرض. ويمكن أن يسهم إنتاج الحرارة المركزة في تيسير استخدام الحرارة المتجددة منخفضة التكلفة و/أو منخفضة الدرجة من مصادر حرارية أرضية أو شمسية أو احتراق الكتلة الأحيائية (بما في ذلك الوقود المشتق من المخلفات والمنتجات الثانوية للنفايات التي غالباً ما تناسب استخدام نظم التدفئة الإنفرادية) . ويمكن أيضاً استخدام فاقد الحرارة الناتج عن توليد الحرارة والطاقة المشترك والعمليات الصناعية. وتفضي هذه المرونة إلى التنافس بين مصادر الحرارة وأنواع الوقود والتكنولوجيات المختلفة. وكذلك فإن من شأن إنتاج الحرارة المركزة أن ييسر تطبيق تدابير فعالة التكلفة للحد من تلوث الهواء المحلي مقارنة بوجود عدد ضخم من فرادى الغلايات الصغيرة. ونظراً لما تتمتع به نظم التدفئة والتبريد الحضرية من مرونة في ما يتعلق بمصادر الحرارة أو البرودة المستخدمة، فإنها تسمح باستمرار امتصاص عدة أنواع من الطاقة المتجددة بحيث تصبح عملية الإحلال التدريجي أو السريع لأنواع متنافسة من الوقود الأحفوري أمراً مجدياً عادة. [8.2.2]

ويمكن لشاغلي المباني والصناعات الموصولة بإحدى الشبكات الاستفادة من نظام مركزي مدار باحتراف، ومن ثم تجنب الحاجة إلى تشغيل وصيانة معدات التدفئة والتبريد الإنفرادية. فقد حقق عدد من بلدان الواقعة على خطوط عرض مرتفعة معدل تغلغل في أسواق التدفئة الحضرية يتراوح من 30 إلى 50 ٪، حيث بلغ استخدام آيسلندا من مواردها الحرارية الأرضية 96 ٪. وقُدّر المعدل التوصيل السنوي العالمي للتدفئة الحضرية نحو 11 إكسغل وإن ظلت بيانات الحرارة غير مؤكدة. [8.2.21]

ومن شأن شبكات التدفئة الحضرية أن توفر الكهرباء من خلال تصميمات نظم إنتاج الكهرباء والطاقة المشتركة، وخيارات تلبية الطلب التي من شأنها أن تيسر تعزيز دمج الطاقة المتجددة، بما في ذلك عن طريق استخدام الكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة لأغراض المضخات الحرارية والغلايات الكهربائية. ويمكن أن تسد نظم التخزين الحرارية فجوة العرض/الطلب على الحرارة الناشئة عن نظم التدفئة المتغيرة أو غير المستمرة أو غير المتزامنة. وبالنسبة لتخزين الطاقة القصير الأجل (ساعات وأيام)، فيمكن استخدام القدرة الحرارية لشبكة التوزيع نفسها. وتعتمد نظم التخزين الحرارية التي تصل فترات التخزين بها إلى عدة شهور في درجات حرارة تصل إلى مئات الدرجات المئوية على استخدام مجموعة متنوعة من المواد وآليات التخزين المناظرة التي يمكن أن تبلغ قدرتها عدة تيراجوالات. ويعني الإنتاج المشترك للحرارة والبرودة والكهرباء (التوليد الثلاثي)، إلى جانب إمكانية التخزين النهاري أو الموسمي للحرارة والبرودة، أنه يمكن تحقيق مستوى مرتفع من كفاءة النظم وتحقيق حصص أعلى من الطاقة المتجددة من خلال زيادة الدمج. [8.2.2.2، 8.2.2.3]



الشكل 8.3 بالملخص الفني: محطة طاقة متكاملة قائمة على الطاقة المتجددة في مدينة ليلستروم، النرويج، توفر إمدادات الطاقة للجامعة ومركز البحوث والتطوير ومجموعة من المباني التجارية والسكنية باستخدام نظام للتدفئة والتبريد الحضري يعمل على دمج طائفة من مصادر حرارة الطاقة المتجددة، والتخزين الحراري، ونظام لإنتاج الهيدروجين وتوزيعه. (يبلغ إجمالي الاستثمار حوالي 25 مليون دولار أمريكي بدأ في 2005 ومن المقرر إنجازه في 2011.) 1) نظام طاقة مركزي مزود بصهريج تجميع لتخزين المياه الساخنة بسعة 1 200 م^3)، 2) نظام لحرق الوقود قدرته 20 ميغاواط حراري (مزود بإمكانية استعادة حرارة غازات المداخن)؛ (3) جهاز لحرق الزيت الأحيائي بقدرة 40 ميغاواط حراري؛ (4) مضخة حرارية بقدرة 4.5 ميغاواط حراري، (5) جهاز لحرق غازات المدافن بقدرة 1.5 ميغاواط حراري وخط أنابيب بطول 5 كلم؛ (6) نظام لتجميع الحرارة الشمسية سعته 000 10 م^2؛ (7) نظام قائم على الطاقة المتجددة لإنتاج الهيدروجين (باستخدام حل المياه وتحوير ميثان بخار الماء محسن الانتشاف لغازات المدافن) وصرفه للمركبات. [الشكل 8.3]

وقد تم دمج العديد من المحطات الحرارية الأرضية ذات الأغراض التجارية ومحطات حرارة الكتلة الأحيائية ومحطات الإنتاج المشترك للحرارة والكهرباء دمجاً ناجحاً في نظم التدفئة الحضرية بدون اللجوء للدعم الحكومي. وشيد كذلك عدد من النظم الحرارية الشمسية كبيرة النطاق المزودة بمساحات جمع تصل إلى نحو 000 10م2 (الشكل 8.3 بالملخص الفني) في كل من الدانمرك والنرويج وغيرهما. ويعتمد الخليط الأفضل للمصادر الحارة والباردة وتكنولوجيات نقل وتخزين الحرارة اعتماداً كبيراً على الأوضاع المحلية، بما في ذلك أنماط طلب المستهلكين. ونتيجة لذلك، يتفاوت خليط الإمداد بالطاقة تفاوتاً كبيراً بين النظم المختلفة. [3.5.3، 8.2.2]

وينطوي إنشاء شبكة للتدفئة الحضرية أو توسيع نطاقها على تكاليف رأسمالية مرتفعة تسدد مقدماً لأغراض شبكة الأنابيب. ويمكن أن تمثل تكاليف التوزيع وحدها قرابة نصف التكلفة الإجمالية غير أنها تخضع لتغيرات كبيرة وفقاً لكثافة الطلب على الحرارة والأوضاع المحلية لبناء شبكة الأنابيب المعزولة. ويسهم التوسع الحضري المتزايد في تيسير نظم التدفئة الحضرية حيث تنخفض التكاليف الرأسمالية للشبكات بالنسبة لمواقع الحقول الخضراء وتنخفض خسائر التوزيع للوحدة الحرارية في المناطق التي تتسم بارتفاع كثافات الطلب على الحرارة فيها. وعادة ما تتراوح خسائر توزيع الحرارة بين 5 ٪ و30 ٪ ولكن يعتمد المدى الذي إذا تم بلوغه اعتُبر ارتفاع الخسائر مشكلة على مصدر الحرارة وتكلفتها. [8.2.2.1، و8.2.2.3]

ومن شأن توسيع نطاق استخدام محطات الإنتاج المشترك للحرارة والكهرباء من المصادر الحرارية الأرضية العميقة ومن الكتلة الأحيائية في نظم التدفئة الحضرية أن ييسر زيادة حصة مصادر الطاقة المتجددة، غير أن ذلك يتطلب عادة أن يتضمن النظام العام حملاً حرارياً كبيراً ليكون ذا جدوى اقتصادية. وعليه تُقدم بعض الحكومات على دعم الاستثمارات في شبكات التدفئة الحضرية وتوفير حوافز إضافية لاستخدام الطاقة المتجددة في النظام. [8.2.2.4]

وغالباً ما تسهم تصميمات المباني الحديثة واستخداماتها إلى خفض طلبها على التدفئة الإضافية بينما يميل الطلب العالمي على التبريد إلى الارتفاع. وقد ارتفع الطلب على التبريد لأغراض الراحة في بعض الأقاليم الواقعة على خطوط العرض المنخفضة التي تشمل بلداناً أضحت أكثر ثراء، وفي بعض البلدان الواقعة على خطوط العرض المرتفعة التي ازداد الصيف فيها قيظاً. ويمكن خفض حمل التبريد باستخدام خيارات تصميم المباني القائمة على التبريد السلبي أو حلول الطاقة المتجددة الفعالة التي تشمل أجهزة التبريد العاملة بنظام امتصاص الطاقة الشمسية. وبالنسبة للتدفئة الحضرية، فمن شأن معدل استيعاب كفاءة استخدام الطاقة لخفض الطلب على التبريد، ونشر التكنولوجيات الجديدة، وهياكل الأسواق، أن تسهم في تحديد جدوى تصميم شبكة التدفئة الحضرية. وتعمل النظم الحديثة للتدفئة الحضرية، التي تتراوح بين 5 و300 ميغاواط حراري، بنجاح منذ سنوات عديدة باستخدام الآبار الطبيعية أو المجاري المائية أو البحار والبحيرات العميقة كمصادر للبرودة، وتصنف شكلاً من أشكال الطاقة المتجددة. [8.2.2.4]

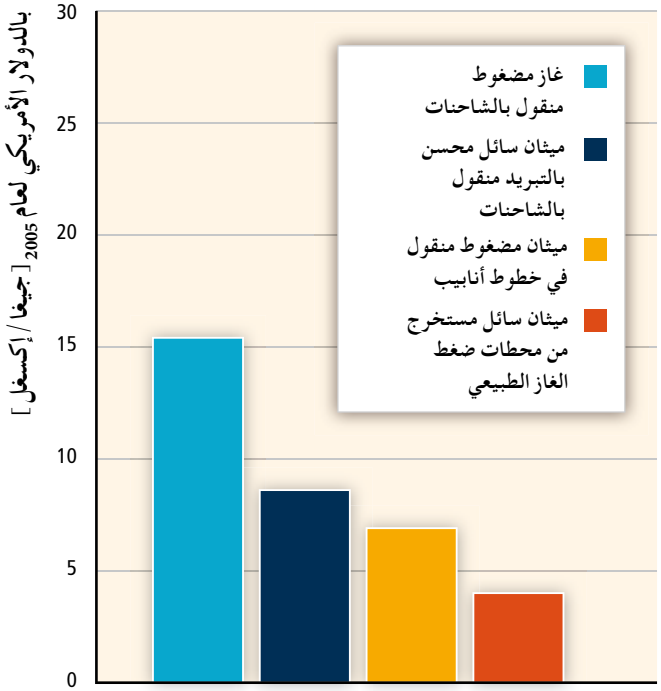
وجرت العادة على تصميم شبكات التدفئة والتبريد الحضري في السياقات التي تتوفر فيها قدرات تخطيط قوية، مثل الاقتصادات الموجهة، ومباني الجامعات الأمريكية، وبلدان أوروبا الغربية التي تتميز بمرافق متعددة، والمناطق الحضرية الخاضعة لسيطرة البلديات المحلية.

8.4 دمج الطاقة المتجددة في شبكات الغاز

على مدار السنوات الخمسين الماضية، صممت شبكات كبيرة للغاز الطبيعي في عدة أجزاء من العالم. وفي وقت أقرب، تزايد الاهتمام بجعلها "خضراء" عن طريق دمج الغازات القائمة على الطاقة المتجددة. وينشأ الوقود الغازي الناتج عن مصادر الطاقة المتجددة بدرجة كبيرة من الكتلة الأحيائية ويمكن إنتاجه إما عن طريق الامتصاص اللاهوائي لإنتاج الغاز الأحيائي (الميثان وثاني أكسيد الكربون بصورة أساسية)، أو عن طريق الكيمياء الحرارية لإنتاج الغاز التركيبي (أو المنتج) (الهيدروجين وأول أكسيد الكربون أساساً). ويمكن أن يحقن كل من الميثان الأحيائي والغاز التركيبي و– على المدى الأطول – الهيدروجين القائم على الطاقة المتجددة في خطوط أنابيب الغاز القائمة لتوزيعها على المستوى الوطني أو الإقليمي أو المحلي. ويمكن أن تؤدي الاختلافات في البنية الأساسية القائمة وجودة الغاز ومستويات الإنتاج والاستهلاك إلى صعوبة التخطيط لزيادة حصة الطاقة المتجددة من الغازات عن طريق دمجها في شبكة قائمة. [8.2.3، 8.2.3.1]

ويتزايد إنتاج الغاز الأحيائي بوتيرة سريعة وبدأ عدد من شركات الغاز الكبيرة في وضع خطط لتحسين جودة كميات كبيرة من الغاز لضخها بالجودة اللازمة في خطوط أنابيب غاز التوزيع على المستويين الوطني والإقليمي. ويوزع بالفعل معظم الميثان الأحيائي الذي يجري إنتاجه حالياً حول العالم في نظم خطوط أنابيب الغاز المحلية المخصصة أساساً لأغراض التدفئة. ويمكن أن يمثل ذلك خياراً أقل تكلفة لوحدة الطاقة المنتجة (الشكل 8.4 بالملخص الفني) من أن تنقل بالشاحنات (عادة ما تنقل إلى محطات تزويد الوقود للمركبات التي تعمل بمحركات غاز) بحسب المسافة والكمية والسنوية التي سيجري نقلها. [8.2.3.4]

ويمكن أن يكون استخدام الغاز عالي الكفاءة عند حرقه للحصول على الحرارة؛ أو عند استخدامه لتوليد الكهرباء عن طريق تزويد محركات أو غلايات أو تربينات الغاز بالوقود؛ أو استخدامه في المركبات سواء في شكل مضغوط أو بتحويله إلى مجموعة من أنواع الوقود السائل باستخدام عمليات مختلفة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتم حرق الغاز الأحيائي أو غاز المدافن في الموقع



الشكل 8.4 الملخص الفني: التكاليف النسبية لتوزيع وصرف الميثان الأحيائي (مضغوط أم مسيّل) على نطاق متوسط النقول بالشاحنات أو في خطوط الغاز في أوروبا. [الشكل 8.9]

لإنتاج الحرارة و/أو الكهرباء؛ أو تنقيته وتحسين جودته إلى ميثان أحيائي بجودة الغاز الطبيعي لضخه في شبكات الغاز؛ أو توزيعه، بعد ضغطه أو تسييله، على محطات تموين المركبات لاستخدامه في محركات مخصصة أو ثنائية المحرك تعمل بالغاز. [الأقسام 8.2.3.2 إلى 8.2.3.4]

وتتعلق التحديات الفنية بمصدر الغاز وتكوينه وجودته. فلا يمكن ضخ سوى الغاز الأحيائي والغاز التركيبي الذي يتميز بجودة محددة في شبكات الغاز القائمة بحيث تصبح عملية التنقية خطوة بالغة الأهمية لإزالة المياه، وثاني أكسيد الكربون (ومن ثم زيادة القيمة الحرارية)، وانبعاثات ثانوية إضافية ناتجة عن تيار الغاز. وتتفاوت تكلفة تحسين الجودة وفقاً لنطاق المرفق والعملية، وهو ما يمكن أن يستهلك نحو 3 إلى 6 ٪ من محتوى الطاقة في الغاز. ولا يرجح أن تتطلب نظم الغاز القائمة على الطاقة المتجددة سعة تخزين كبيرة لتتواكب مع تقلبية المعروض وموسميته. وسيعتمد حجم مرافق التخزين وشكلها وجودة الغاز المطلوبة على مصدر الطاقة الأساسي للإنتاج واستخدامه النهائي. [8.2.3]

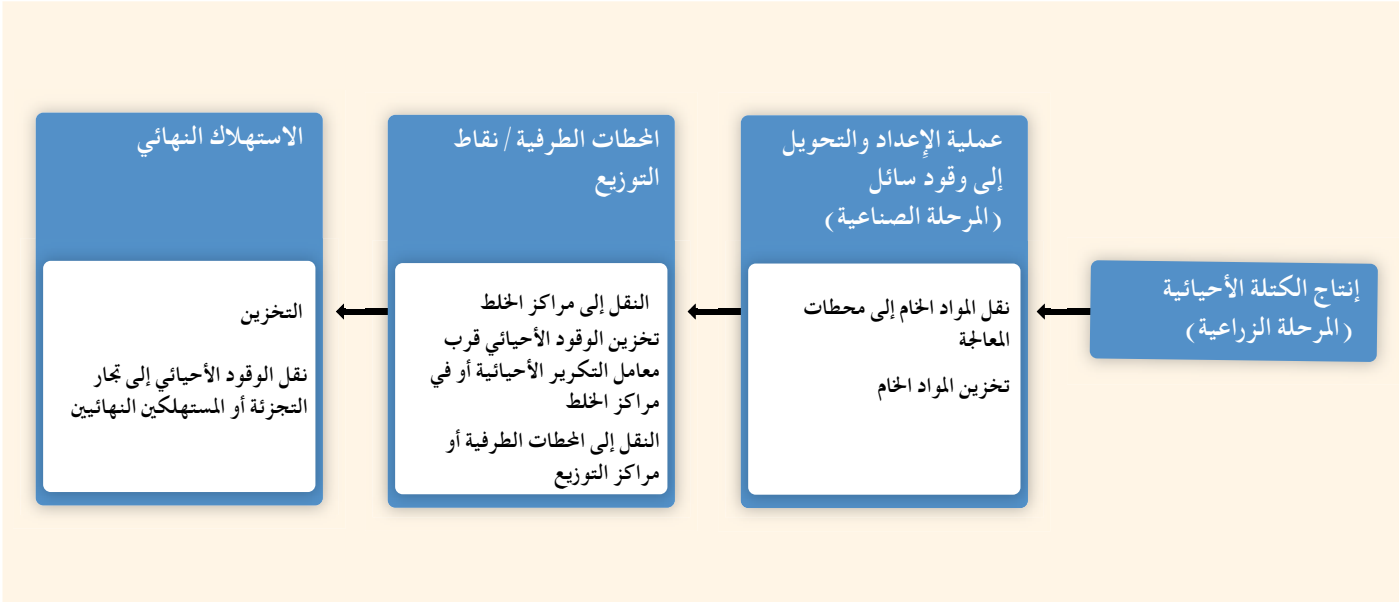
ويمكن إنتاج غاز الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة عبر عدة مسارات تشمل تغويز الكتلة الأحيائية، أو تحويل الميثان الأحيائي، أو التحليل الكهربائي للماء. وسيعتمد إنتاج الهيدروجين من المصادر المتغيرة للطاقة المتجددة في المستقبل، مثل طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية بواسطة التحليل الكهربائي للماء، اعتماداً كبيراً على التفاعل مع نظم الكهرباء القائمة ومستوى القدرة الفائضة. فعلى المدى القصير، يمكن أن يكون أحد الخيارات هو خلط الهيدروجين مع الغاز الطبيعي (بكتلة تصل حتى 20 ٪) ونقله إلى مسافات طويلة في شبكات الغاز القائمة. وعلى المدى الأطول، يمكن إنشاء خطوط أنابيب لحمل الهيدروجين النقي، على أن تبنى من صلب خاص لئلا تتعرض للتكسر. ومن المرجح أن تتمثل العوامل المقيدة لمعدل نشر الهيدروجين في رأس المال والوقت المستخدمان في إنشاء بنية أساسية جديدة للهيدروجين وأي تكلفة إضافية للتخزين بغية استيعاب المصادر المتغيرة للطاقة المتجددة. [8.2.3.2، 8.2.3.4]

ولخط الغاز المشتق من الطاقة المتجددة في شبكة الغاز، ينبغي أن يكون موقع مصدر الغاز بقرب النظام القائم لتجنب ارتفاع تكاليف تشييد خطوط أنابيب إضافية. وفي حالة وجود المحطات في أماكن نائية نظراً لتوفر الموارد فيها، فربما يكون من الأفضل أن يستخدم الغاز في الموقع متى كان ذلك ممكناً لتجنب الحاجة للإرسال وتحسين الجودة. [8.2.3.5]

8.5 دمج الطاقة المتجددة في الوقود السائل

يرتبط معظم الطلب المتوقع على الوقود الأحيائي السائل بأغراض النقل، على الرغم من احتمال ظهور طلب صناعي على مواد التشحيم الأحيائية والكيماويات الأحيائية مثل الميثانول. وفضلاً عن ذلك، من الممكن أن يستعاض في نهاية المطاف عن كميات كبيرة من الكتلة الأحيائية الصلبة التقليدية بأنواع وقود سائل أكثر ملاءمة وأماناً وصحة مثل الإثير ثنائي الميثيل المشتق من الطاقة المتجددة أو هلام الإيثانول. [8.2.4]

ويعد إنتاج الإيثانول الأحيائي ووقود الديزل الأحيائي من المحاصيل المختلفة أمراً مفهوماً فهماً جيداً (الشكل 8.5 بالملخص الفني). ويمكن للوقود الأحيائي المنتج أن يستفيد من مكونات البنية الأساسية القائمة المستخدمة بالفعل لأغراض الوقود النفطي بما في ذلك التخزين والخلط والتوزيع والصرف. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي تقاسم البنية الأساسية للمنتجات النفطية (صهاريج التخزين، وخطوط الأنابيب، والشاحنات) مع الإيثانول أو الخلائط إلى مشكلات ناشئة عن امتصاص الماء وتآكل المعدات، وبذلك قد يتطلب الاستثمار في مواد أو بطانات متخصصة لخطوط الأنابيب. ويمكن أن يؤثر الإنتاج اللامركزي للكتلة الأحيائية وصفة الموسمية والمواقع الزراعية النائية البعيدة عن محطات تكرير النفط القائمة أو مراكز توزيع الوقود على لوجستيات سلاسل الإمداد وتخزين الوقود الأحيائي. ولا تزال التكنولوجيات آخذة في التطور لإنتاج الوقود الأحيائي من المواد الوسيطة غير الغذائية وأنواع الوقود الأحيائي التي يتوافق بقدر أكبر مع أنواع الوقود



الشكل 8.5 الملخص الفني: يتسم نظام الإنتاج والخلط والتوزيع لطائفة من أنواع الوقود الأحيائي السائل بالتماثل بصرف النظر عن المواد الوسيطة في الكتلة الأحيائية [الشكل 8.11]

النفطي الحالية والبنية الأساسية القائمة. وينبغي تنفيذ إجراءات رقابة الجودة لضمان التزام هذه الأنواع من الوقود الأحيائي بجميع مواصفات المنتج السارية. [الأقسام 8.2.4.1، 8.2.4.3، 8.2.4.4]

ويتطلب استخدام خليط الوقود المنتج بإحلال الإيثانول محل نسبة من البنزين (عادة من 5 إلى 25 ٪ ولكن يمكن أن تصل نسبة الإحلال إلى 100 ٪)، أو الديزل الأحيائي محل الديزل، الاستثمار في البنية الأساسية بما في ذلك زيادة الصهاريج والمضخات في محطات خدمة السيارات. وعلى الرغم من أن تكلفة توصيل الوقود الأحيائي تمثل نسبة ضئيلة من التكلفة الإجمالية، فإن اللوجستيات والمتطلبات الرأسمالية اللازمة لتحقيق الدمج وتوسيع النطاق يمكن أن تطرح عقبات رئيسية، ما لم يخطط لها جيداً. ونظراً لأن كثافة الطاقة في الإيثانول لا تشكل سوى نحو ثلثي كثافة الطاقة (بالكتلة) في البنزين، يلزم إنشاء نظم تخزين أكبر حجماً، وبناء المزيد من القاطرات والحاويات، وإنشاء خطوط أنابيب ذات سعة أكبر لتخزين ونقل نفس الكمية من الطاقة. ويؤدي ذلك إلى زيادة تكاليف تخزين الوقود وتوصيله. وعلى الرغم من أن خطوط الأنابيب تمثل نظرياً أكثر أساليب التوصيل توفيراً، ومع نجاح توصيل شحنات الإيثانول عبر خطوط الأنابيب، فلا يزال ثمة عدد من التحديات الفنية واللوجستية قائماً. وعادة ما تكون كميات الإيثانول المنتجة حالياً في إحدى المناطق الزراعية لتلبية الطلب المحلي، أو لأغراض التصدير، شديدة الانخفاض بما لا يبرر التكاليف الاستثمارية والتحديات التشغيلية المصاحبة لتشييد خط أنابيب مخصص. [8.2.4.3]

8.6 دمج الطاقة المتجددة في النظم المستقلة

تتسم النظم المستقلة للإمداد بالطاقة في العادة بصغر حجمها وغالباً ما تقع في مناطق نائية خارج الشبكة، أو على جزر صغيرة، أو في مبان فردية حيث لا توفر الطاقة على أساس تجاري من خلال الشبكات. وهناك عدة أنواع من النظم المستقلة التي يمكنها استخدام إما ناقلات الطاقة الإنفرادية، مثل الكهرباء أو الحرارة أو الوقود السائل أو الغازي أو الصلب، أو مزيج من الناقلات. [8.2.5، 8.2.5.1]

ومن حيث المبدأ، تتشابه مسائل دمج الطاقة المتجددة للنظم المستقلة مع النظم المركزية، على سبيل المثال، من حيث الموازنة بين العرض والطلب فيما يتعلق بنظم الإمداد بالكهرباء، والوقوف على خيارات التدفئة والتبريد، وإنتاج غازات الطاقة المتجددة وإنتاج الوقود الأحيائي السائل للاستخدام المحلي. وعلى الرغم من ذلك، غالباً ما تتضمن النظم المستقلة الأصغر حجماً عدداً أقل من الخيارات المتاحة محلياً للإمداد بالطاقة المتجددة، وذلك على خلاف نظم الإمداد المركزية الأكبر حجماً. وفضلاً عن ذلك، تزداد صعوبة بعض الخيارات الفنية والمؤسسية المتعلقة بإدارة عملية الدمج في الشبكات الأكبر حجماً أو حتى تصبح غير مقبولة للنظم المستقلة الأصغر حجماً، مثل التنبؤ بإمدادات الطاقة المتجددة، والإجراءات الاحتمالية لالتزامات الوحدة، والمعايير الصارمة لجودة الوقود، والآثار المخفِّفة للتنوع الجغرافي والفني. [8.2.1 – 8.2.5]

وعادة ما يزداد تقييد حلول دمج الطاقة المتجددة كلما صغر حجم نظم الإمداد. ومن ثم، يتعين زيادة الاعتماد على تلك الحلول الجاهزة والمتاحة. ومن شأن تركيز النظم المستقلة على الموارد المتغيرة للطاقة المتجددة، نظراً للخيارات المحدودة لإجراءات التوصيل البيني والتشغيل والتخطيط، أن يكسبها بطبيعة الحال ميلاً نحو التركيز على خيارات تخزين الطاقة، والأنواع المختلفة من استجابة الطلب، وتوليد الوقود الأحفوري عالي المرونة للمساعدة في مواءمة العرض والطلب. ومن الممكن تفضيل خيارات إمدادات الطاقة المتجددة التي تتلاءم بصورة أفضل مع مخطط الحِمْل المحلي، أو القابلة للتوزيع، بدلاً من البدائل الأقل تكلفة التي لا تحقق تواؤماً قوياً مع أنماط الحِمْل أو التي تتسم بالتقلب. وستكون إدارة دمج الطاقة المتجددة في النظم المستقلة، مع تساوي جميع الأمور الأخرى، أكثر تكلفة منها في الشبكات المدمجة الأكبر حجماً بسبب المجموعة المقيدة من الخيارات، غير أنه في معظم الأحيان، مثلما هو الحال في الجزر أو المناطق الريفية النائية، لا يتوفر أمام مستخدمي الطاقة أي اختيار. ويتمثل أحد الآثار في احتمال أن يواجه مستخدمو ومصممو نظم الكهرباء المستقلة مبادلات صعبة ما بين الرغبة في تأمين إمدادات موثوقة ومتواصلة وبين الحد من تكاليف الإمداد الإجمالية. [8.2.5]

ويعتمد دمج تكنولوجيات التحويل إلى الطاقة المتجددة، وخيارات التوازن، وتكنولوجيات الاستخدام النهائي في نظم الطاقة المستقلة على توفر موارد الطاقة المتجددة في كل موقع على حدة وعلى الطلب المحلي على الطاقة. ويمكن أن يتفاوت ذلك حسب المناخ المحلي وأنماط الحياة. ويمثل التوازن بين التكلفة والموثوقية عنصراً بالغ الأهمية عند تصميم ونشر نظم الطاقة المستقلة، لا سيما للمناطق الريفية في الاقتصادات النامية نظراً لأن التكلفة الإضافية لتوفير إمداد متواصل وموثوق يمكن أن تزداد على النظم المستقلة الأصغر حجماً. [8.2.5.2]

8.7 قطاعات المستخدم النهائي: العناصر الاستراتيجية لمسارات الانتقال

لاتزال التطورات في تكنولوجيات الطاقة المتجددة مستمرة، وهو ما يؤدي إلى زيادة نشرها في قطاعات النقل والمباني والصناعة والزراعة والغابات ومصايد الأسماك. وتقتضي زيادة نشر الطاقة المتجددة في جميع القطاعات التصدي للقضايا الفنية وغير الفنية على حد سواء. وثمة تباينات إقليمية قائمة لكل قطاع بسبب الوضع الحالي لاستيعاب الطاقة المتجددة، والطائفة الواسعة من أنواع نظم الطاقة، والبنية الأساسية ذات الصلة القائمة حالياً، ومختلف المسارات التي يمكن انتهاجها لتعزيز دمج الطاقة المتجددة، وقضايا الانتقال التي لم يُتغلب عليها بعد، والاتجاهات المستقبلية التي تتاثر بالاختلافات في الطموحات والثقافات الوطنية والمحلية. [8.3، 8.3.1]

8.7.1 النقل

تظهر الاتجاهات والتوقعات الحديثة نمواً قوياً في الطلب على النقل، بما في ذلك الزيادة السريعة في أعداد المركبات في شتى أنحاء العالم. وستقتضي تلبية هذا الطلب اتخاذ مبادرات قوية على مستوى السياسات، وإحداث تغير تكنولوجي سريع، ووضع حوافز نقدية و/أو استعداد الزبائن لدفع تكاليف إضافية، مع تحقيق إمداد بالطاقة منخفض الكربون وآمن. [8.3.1]

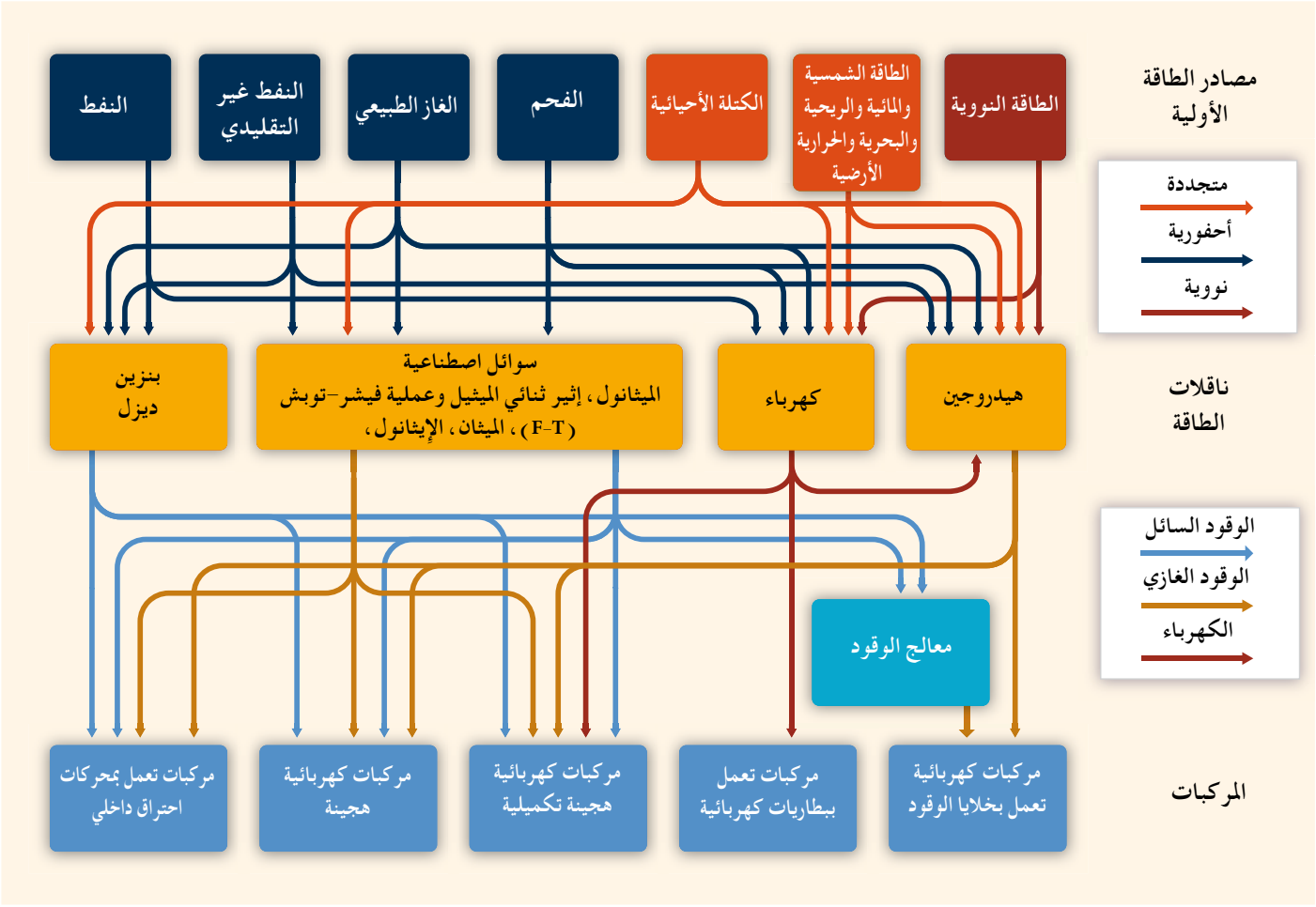
وفي عام 2008، شكل حرق الوقود الأحفوري لأغراض النقل 19 ٪ تقريباً من نسبة استخدام الطاقة الأولية على مستوى العالم، بما يعادل 30 ٪ من إجمالي طاقة المستهلك وهو ما ينتج نحو 22 ٪ من انبعاثات غازات الدفيئة، إضافة إلى إنتاج حصة كبيرة من الانبعاثات المحلية الملوثة للهواء. وبلغت نسبة استهلاك مركبات الحمولات الخفيفة من الوقود ما يزيد على نصف استهلاك وقود النقل حول العالم، حيث أسهمت مركبات الحمولة الثقيلة بما نسبته 24 ٪، والنقل الجوي 11 ٪، والملاحة البحرية 10 ٪، والسكك الحديدية 3 ٪. ويتسم الطلب على النقل بتسارع وتيرته مع توقع تضاعف عدد المركبات الآلية ثلاثة أضعاف بحلول عام 2050، مع حدوث نمو مماثل في النقل الجوي. ومن ثم يشكل الحفاظ على إمداد آمن من الطاقة شاغلاً خطيراً لقطاع النقل حيث يأتي 94 ٪ من وقود النقل حالياً من المنتجات النفطية التي يتم استيرادها في معظم البلدان. [8.3.1]

وثمة عدد من المسارات المحتملة للوقود/المركبات من تحويل مصدر الطاقة الأساسي إلى ناقل للطاقة (أو وقود) حتى مرحلة المستخدم النهائي، سواء كان ذلك في المركبات المزودة بمحركات الاحتراق الداخلي المتقدمة أو المركبات التي تعمل بالبطاريات الكهربائية، والمركبات الكهربائية الهجينة، والمركبات الكهربائية الهجينة التكميلية، أو المركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية (الشكل 8.6 الملخص الفني). [8.3.1.2]

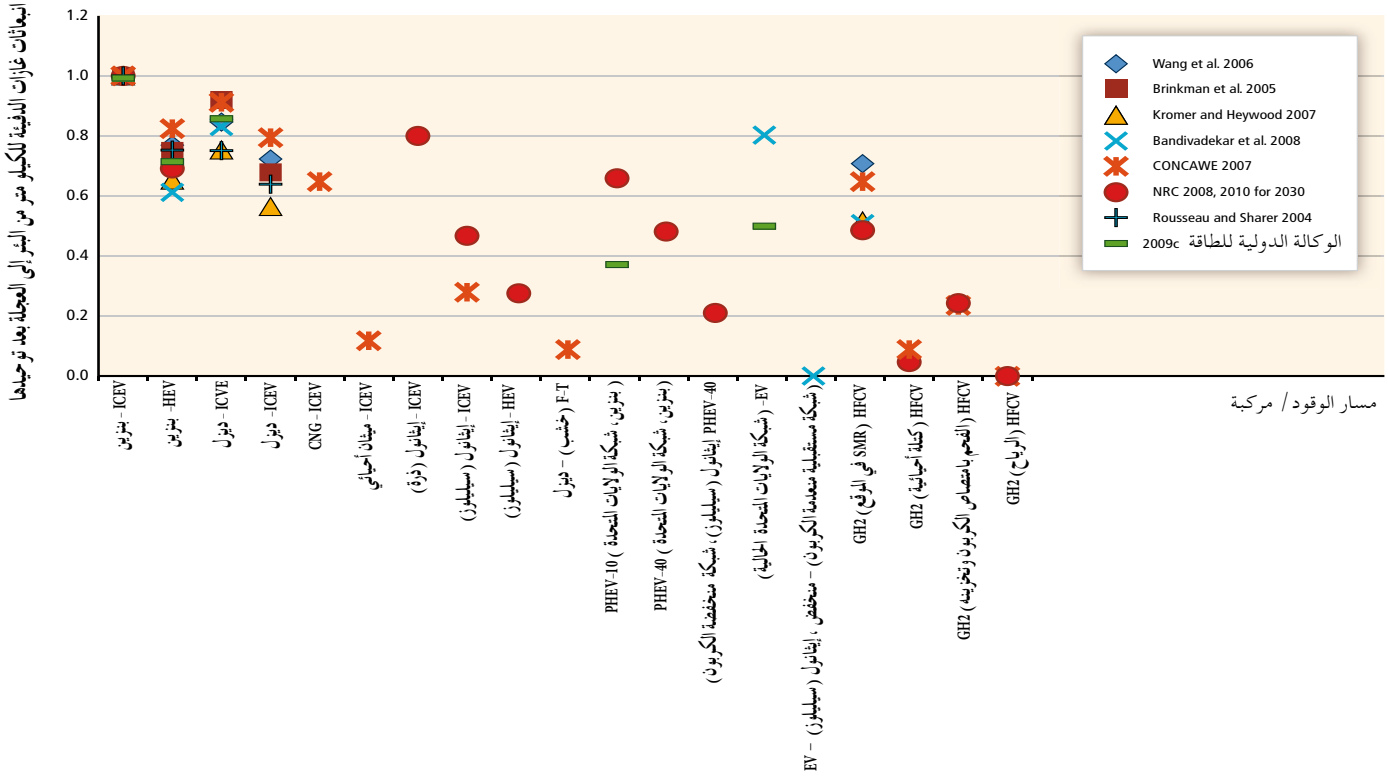
وتحدد تحسين كفاءة قطاع النقل وإزالة الكربون منه باعتبارهما أمرين بالغي الأهمية لخفض الانبعاثات العالمية من غازات الدفيئة على الأجل الطويل وبصورة عميقة. وتتضمن نُهُج خفض الانبعاثات المتصلة بالنقل خفض الطلب على السفر، وزيادة كفاءة المركبات، والتحول إلى أنماط نقل أكثر كفاءة، والاستعاضة عن الوقود النفطي بأنواع وقود بديلة منخفضة أو عديمة الكربون (بما في ذلك الوقود الأحيائي أو الكهرباء أو الهيدروجين المنتج من مصادر طاقة أولية منخفضة الكربون). وتشير دراسات السيناريو بوضوح إلى أنه سيكون من الضروري اعتماد مزيج من التكنولوجيات لتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 50 إلى 80 ٪ (مقارنة بالمعدلات الحالية) قبل 2050، مع تلبية الطلب المتزايد على طاقة النقل في الوقت ذاته (الشكل 8.7 الملخص الفني). [8.3.1.1]

ويشكل الاستخدام الحالي للطاقة المتجددة لأغراض النقل نسبة ضئيلة وحسب من إجمالي الطلب على الطاقة، وتحديداً من خلال القضبان الكهربائية وخليط الوقود الأحيائي السائل مع المنتجات النفطية. ويضم الأسطول العالمي ملايين المركبات ذات الحمولة الخفيفة القادرة على العمل باستخدام خلائط وقود أحيائي مرتفع، وتتسم تكنولوجيا الوقود الأحيائي بنضجها تجارياً، كما هو الحال مع استخدام الميثان الأحيائي المضغوط في المركبات التي تصلح للعمل بالغاز الطبيعي المضغوط. [8.2.3]

ومع ذلك، يمثل الانتقال إلى أنواع الوقود والمحركات الجديدة عملية معقدة تتضمن تطوير التكنولوجيا وحساب التكلفة وإنشاء البنية الأساسية وقبول المستهلك ومراعاة الأثر البيئي وأثر الموارد. وتتباين قضايا الانتقال بالنسبة للوقود الأحيائي والهيدروجين والمركبات الكهربائية (الجدول 8.2 بالملخص الفني) وإن لم يظهر أي خيار واحد باعتباره الأفضل مع احتياجها جميعاً لعدة عقود لكي تنشر على نطاق واسع. فالوقود الأحيائي أثبت نفسه جيداً، إذ ساهم بنحو 2 ٪ من وقود النقل في 2008، ولكنه تشوبه بعض القضايا المتعلقة بالاستدامة [2.5]. وعُرض العديد من المركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية، إلا أنه لا يرجح طرحها تجارياً حتى



الشكل 8.6 الملخص الفني: طائفة من مسارات وقود المحركات الخفيفة التي يمكن اتخاذها، من مصادر الطاقة الرئيسية (أعلى)، مروراً بناقلات الطاقة، إلى خيارات ناقل الحركة لسيارات المستخدم النهائي (أسفل) (مع تظليل موارد الطاقة المتجددة باللون الأخضر). [الشكل 8.13]



الشكل 8.7 الملخص الفني: انخفاض انبعاثات غازات الدفيئة من البئر إلى العجلات لكل كيلومتر مقطوع، حيث أخذت المجالات المبينة من مجموعة مختارة من دراسات المسارات البديلة لوقود الحمولة الخفيفة/المركبات، بعد تحييدها مع انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن البنزين، ومحركات الاحتراق الداخلي، والمركبات الخفيفة. [الشكل 8.17]

ملاحظات: لتيسير المقارنة بين الدراسات، تم تحديد انبعاثات غازات الدفيئة من البئر إلى المركبات لكل كيلومتر مع الانبعاثات الصادرة عن المركبات المزودة بمحركات تعمل بالاحتراق الداخلي للبنزين (بحيث تكون "مركبة تعمل بالاحتراق الداخلي للبنزين" = 1) المستمدة من كل دراسة والتي تتروح بين 170 و394 غرام ثاني أكسيد الكربون/كيلومتر. وبالنسبة لجميع مسارات الهيدروجين، يخزن الهيدروجين في المركبة في هيئة غاز مضغوط.

2015 إلى 2020 على الأقل بسبب العوائق المتعلقة بمتانة خلايا الوقود وتكلفتها وقضايا تخزين الهيدروجين في المركبات وتوفر البنية الأساسية للهيدروجين. وبالنسبة للمركبات الكهربائية والمركبات الكهربائية المهجنة التكميلية، فإن تكلفة تكنولوجيات البطاريات الحالية وقصر عمرها النسبي، والمجال المحدود للمركبات بين إعادة شحنها وزمن إعادة الشحن يمكن أن يمثلا عائقاً أمام قبولها لدى المستهلكين. وتشهد تصميمات المركبات الكهربائية والمركبات الكهربائية المهجنة التكميلية تطوراً سريعاً تدفعه مبادرات السياسات التي أطلقت حديثاً على مستوى العالم، وأعلن عدد من الشركات عن خطط لطرحها تجارياً. ويمكن أن تتمثل إحدى الاستراتيجيات في طرح المركبات الكهربائية المهجنة التكميلية طرحاً مبدئياً في الوقت الذي يجري فيه تصميم تكنولوجيات البطاريات وزيادة قدرتها. وبالنسبة للمركبات الهيدروجينية والكهربائية، فقد يستغرق الأمر عدة عقود لتنفيذ نظام عملي للنقل يناسب هذه التكنولوجيا عن طريق تطوير البنية الأساسية اللازمة على نطاق كبير.

وتتمثل إحدى مزايا الوقود الأحيائي في توافقه النسبي مع البنية الأساسية القائمة للوقود السائل. ويمكن خلطه مع المنتجات النفطية، ويمكن تشغيل معظم العربات المزودة بمحركات احتراق داخلي بوقود خليط، ويستخدم بعضها الوقود الأحيائي بنسبة 100 ٪. وهو يماثل البنزين أو الديزل في المركبات من حيث الأداء[14] وأوقات التزود بالوقود، وإن وضعت بعضها قيوداً على التركيزات التي يمكن خلطها ولا يمكن توزيعها بسهولة عادة باستخدام خطوط أنابيب الوقود القائمة دون تعديلات. وتمثل استدامة مورد الكتلة الأحيائية المتاح قضية خطيرة لبعض أنواع الوقود الأحيائي. [2.5، 8.2.4، 8.3.1.2]

ويتميز الهيدروجين بقدرته على استغلال الموارد الضخمة للطاقة الجديدة لتوفير النقل منعدم أو شبه منعدم الانبعاثات. ويجري حالياً تصميم تكنولوجيا للهيدروجين من تغويز الكتلة الأحيائية، بحيث يمكن أن تصبح تنافسية فيما بعد 2025. وثمة عوائق من حيث التكلفة تقف أمام استخدام الهيدروجين المشتق من مصادر الطاقة المتجددة بواسطة التحليل الكهربائي غير القضايا المتعلقة بالجدوى الفنية أو توفر الموارد. ومبدئياً، يرجح أن تستخدم تكنولوجيات الطاقة المتجددة والتكنولوجيات المنخفضة الكربون الأخرى في توليد الكهرباء، وهو ما يمثل تطوراً من شأنه أن يساعد على إنتاج الهيدروجين شبه منعدم الكربون بصورة مشتركة مع الكهرباء أو الحرارة في مجمعات الطاقة المستقبلية. غير أن الهيدروجين لا يجري توزيعه على نطاق واسع مقارنة بالكهرباء أو الغاز الطبيعي أو

14 يستبعد الأداء في هذه الحالة محتوى الطاقة. وعادة ما يقل محتوى الطاقة للوقود الأحيائي عن منتجه النفطي المكافئ.

الجدول 8.2 الملخص الفني: قضايا الانتقال المتعلقة باستخدام الوقود الأحيائي والهيدروجين والكهرباء كوقود نقل للمركبات الخفيفة. [ملخص من 8.3.1]

وضع التكنولوجيا	الوقود الأحيائي	الهيدروجين	الكهرباء
المصادر الأولية القائمة والمحتملة	السكر، والنشا، والمحاصيل الزيتية، والمحاصيل السيلولوزية، ومخلفات الغابات والنفايات الزراعية والصلبة: والطحالب وغيرها من الزيوت البيولوجية.	الوقود الأحفوري، والوقود النووي، وكل مصادر الطاقة المتجددة. تتميز الطاقة المتجددة المحتملة باتساع قاعدة مصادرها غير أنه من الممكن أن تصبح أوجه عدم الكفاءة والتكاليف المصاحبة للتحويل إلى الهيدروجين مسألة شائكة.	الوقود الأحفوري. الوقود الأحفوري النووي. وجميع مصادر الطاقة المتجددة. تتسم مصادر الطاقة المتجددة المحتملة باتساع قاعدتها.
إنتاج الوقود	التوليد الأول: توليد الإيثانول من السكر والمحاصيل النشوية، والميثان الأحيائي والديزل الأحيائي، والوقود الأحيائي من الجيل الثاني المتطور، مثل الوقود المشتق من الكتلة الأحيائية السيلولوزية، والمخلفات الأحيائية، والزيوت الأحيائية، والطحالب بعد عام 2015 على الأقل.	الهيدروجين الأحفوري المطروح تجارياً لأغراض التطبيقات الصناعية الكبيرة النطاق، وإن لم يتميز بالتنافسية مثل وقود النقل. ويتسم الهيدروجين المستمد من مصادر متجددة بارتفاع تكلفته بوجه عام.	القدرة التجارية متوفرة، فيمكن أن تكون الكهرباء المستمدة من مصادر الطاقة المتجددة أكثر تكلفة. ولكن تظل مفضلة لأغراض النقل نظراً لانخفاض انبعاثات غازات الدفيئة الصادرة عنها على أساس دورة الحياة.
المركبات	هناك ملايين المركبات ذات الاستهلاك المرن للوقود التي تستخدم حصصاً مرتفعة من الإثيثانول. وتقتصر مركبات الحرق الداخلي التقليدية على خلائط الإيثانول منخفضة التركيز (أقل من 25٪). فيمكن تشغيل بعض الجرارات والماكينات الزراعية التجارية باستخدام 100 ٪ من الديزل الأحيائي.	عرض المركبات المزودة بخلايا وقود هيدروجينية. لن تطرح تجارياً حتى 2015 إلى 2020.	لن تطرح المركبات الكهربائية الهجينة التكميلية حتى 2012 إلى 2015. وتستخدم المركبات الكهربائية على نطاق محدود حالياً. ولن تطرح المركبات الكهربائية على أساس تجاري حتى 2015 إلى 2020.
التكاليف [1] مقارنة بالمركبات التي تعمل بالاحتراق الداخلي للبنزين			
زيادة سعر المركبة مقارنة بالمركبات الكهربائية التي تعمل بالاحتراق الداخلي للبنزين المستقبلية (بالدولار الأمريكي في 2005)	سعر مماثل	زيادة السعر لتزايد الخبرة في صناعة المركبات المزودة بخلايا الوقود الهيدروجينية (أكثر من 5300 دولار أمريكي بحلول 2035)	زيادة السعر لتزايد الخبرة (بحلول 2035): المركبات الكهربائية الهجينة التكميلية أكثر من 5900 دولار أمريكي، سعر المركبات الكهربائية أكثر من 14 000 دولار أمريكي)
تكلفة الوقود (بالدولار الأمريكي في 2005 / كم)	تتفاوت تكلفة الوقود للكيلومتر حسب نوع الوقود الأحيائي ومستوى الدعم الزراعي. ويمكن أن يصبح الوقود الأحيائي تنافسياً إذا ما تساوى سعر وحدة الطاقة مع سعر البنزين/الديزل لكل وحدة طاقة. ويتميز الإيثانول في البرازيل بقدرته التنافسية بدون دعم.	هدف بلوغ تكلفة الوقود 3 إلى 4 دولارات أمريكية للكيلوغرام بالنسبة للبنية الأساسية للهيدروجين الناضج قد يثبت أنه هدف متفائل. وعندما يتم استخدام هذا الوقود في المركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية، فإنه يتنافس مع البنزين المستخدم في المركبات التي تعمل بالاحتراق الداخلي حيث تبلغ تكلفته 0.40 دولار أمريكي مقابل ويفترض أن تحقق 0.53 l/l المركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية وفراً في استهلاك البنزين بضعف ما توفره المركبات التي تعمل بالاحتراق الداخلي للبنزين. وتزيد تكلفة الهيدروجين المشتق من الطاقة المتجددة على المشتق من مصادر أخرى بنسبة 1.5 إلى 3 ٪.	تتنافس تكلفة الكهرباء للكيلومتر عند شرائها بقيمة 0.10 دولار أمريكي مقابل 0.30 / كيلوواط ساعة مع البنزين عندما يتم شراؤه بقيمة 0.3 دولار أمريكي بافتراض أن 1 l / مقابل 0.9 المركبة الكهربائية توفر الوقود بثلاثة أمثال مركبات الاحتراق الداخلي للبنزين.
التوافق مع البنية الأساسية القائمة	متوافق جزئياً مع النظام القائم لتوزيع النفط. وقد تظهر الحاجة لإنشاء بنية أساسية منفصلة لتوزيع وتخزين الإيثانول.	يلزم إنشاء بنية أساسية جديدة للهيدروجين إلى جانب المصادر المتجددة لإنتاج الهيدروجين. ويتعين تنسيق نشر البنية الأساسية مع نمو أسواق المركبات.	يوجد بنية أساسية كهربائية واسعة الانتشار. وثمة حاجة لإضافة تكاليف إعادة الشحن في المنزل والأماكن العامة. ومصادر توليد الطاقة المتجددة وتحسين جودة الإرسال والتوزيع (لاسيما بالنسبة لأجهزة الشحن السريع).
قبول المستهلكين	يعتمد على مقارنة تكاليف أنواع الوقود. فقد يكون للمركبات التي تعمل بالكحول مجالاً أقصر من البنزين وتؤثر التكلفة المحتملة على المحاصيل الغذائية. ويمكن أن تشكل قضايا استخدام الأراضي والمياه عوامل مهمة.	يعتمد على مقارنة تكاليف المركبات والوقود نظرة الجمهور العام للسلامة نقص محطات التزود بالوقود العمومية في الأسواق الأولية.	ارتفاع التكلفة الأولية للمركبات وارتفاع تكلفة شحن الكهرباء في فترات الذروة. مجال محدود إلا في حالة المركبات الكهربائية الهجينة التكميلية. زمن الشحن من متوسط إلى طويل. ولكن ثمة إمكانية للشحن المنزلي. هبوط الأداء بصورة كبيرة أثناء الشتاء القارس أو الصيف القائظ. نقص محطات التزود بالوقود العمومية في الأسواق الأولية.
انبعاثات غازات الدفيئة	تعتمد على المواد الوسيطة والمسارات واستخدام الأراضي[2] منخفضة بالنسبة للوقود المستمد من بقايا الكتلة الأحيائية بما في ذلك قصب السكر. وقد تكون مرتفعة بالنسبة للإيثانول المستمد من الذرة في الأجل القريب. ويرجح أن تكون الانبعاثات الناتجة عن الوقود الأحيائي المتطور من الجيل الثاني أكثر انخفاضاً.	تعتمد على خليط إنتاج الهيدروجين. ويمكن أن تزداد أو تنخفض انبعاثات غازات الدفيئة من البئر إلى العجلات بالنسبة للوقود المستمد من بقايا الكتلة الأحيائية بما في ذلك قصب السكر. وقد تكون مرتفعة بالنسبة للإيثانول المستمد من الذرة في الأجل القريب. ويرجح أن تكون الانبعاثات الناتجة عن الوقود الأحيائي المتطور من الجيل الثاني أكثر انخفاضاً.	تعتمد على خليط الشبكات. فباستخدام خليط شبكات يغلب عليه الفحم. فإن انبعاثات غازات الدفيئة من البئر إلى العجلات للمركبات الكهربائية والمركبات الكهربائية الهجينة التكميلية تماثل أو تزيد على تلك الناتجة عن المركبات الكهربائية الهجينة التي تستخدم البنزين. وتنخفض انبعاثات من البئر إلى العجلات مع ارتفاع نسبة الطاقة المتجددة والكهرباء منخفضة الكربون.
استهلاك النفط	منخفض بالنسبة للخلائط	شديد الانخفاض	شديد الانخفاض
القضايا البيئية وقضايا الاستدامة			
تلوث الهواء	مثل البنزين. ثمة مزيد من القضايا تواجه الإيثانول بسبب نفاذ المركبات العضوية المتطايرة عبر أقفال صهاريج الوقود. انبعاثات غاز الألدهيد	مركبة عديمة الانبعاثات	مركبة عديمة الانبعاثات
استخدام المياه	أكثر من البنزين وفقاً لاحتياجات ري المواد الوسيطة المحاصيل.	يحتمل أن يكون منخفضاً ولكن يعتمد على المسار مثلما يعتمد على التحليل الكهربائي للمياه وإعادة تشكيل البخار على المياه.	يحتمل أن تكون شديدة الانخفاض ولكنها تعتمد على المسار المستخدم في توليد الطاقة.
استخدام الأراضي	قد ينافس إنتاج الغذاء والنسيج في الأراضي الزراعية.	يعتمد على المسار	يعتمد على المسار
استخدام المواد		يستخدم البلاتينيوم في خلايا الوقود ويستخدم النيوديوم وغيره من العناصر الأرضية النادرة المستخدمة في المحركات الكهربائية. إعادة تدوير المواد.	يستخدم الليثيوم في البطاريات. والنيوديميوم وغيره من العناصر الأرضية النادرة في المحركات الكهربائية. إعادة تدوير المواد.

ملاحظات: 1 التكاليف المعروضة لا تشمل دوماً استرداد التكاليف المتزايدة الأولى للمركبة. 2 لم تدرج انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة المتعلقة باستخدام الأراضي والمتصلة بالوقود الأحيائي.

البنزين أو الديزل أو الوقود الأحيائي، ولكن قد يكون مفضلاً في المستقبل للمركبات الحمولة الثقيلة الكبيرة التي تتميز بمجال طويل وتحتاج إلى أوقات تزود بالوقود سريعة نسبياً. وسيتطلب توفير الهيدروجين لأعداد كبيرة من المركبات إقامة بنية أساسية جديدة للتزود بالوقود وهو ما يمكن أن يستغرق عدة عقود. وبدأ عدد من البلدان في اتخاذ الخطوات الأولى من أجل توفير الهيدروجين لاختبار الأساطيل وعرض تكنولوجيات التزود بالوقود في الشبكات الصغيرة. [2.6.3.2، 8.3.1، 8.3.1.2]

ولضمان إمداد أعداد كثيرة من المركبات الكهربائية والمركبات الكهربائية الهجينة التكميلية في الأسواق المستقبلية بالكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة، يجب أن تجرى عدة ابتكارات مثل تطوير البطاريات والإمداد بالكهرباء المنخفضة التكلفة وإتاحتها لإعادة شحن المركبات الكهربائية وقتما تحتاج إليها. وعند استخدام الوقت الليلي، أي إعادة الشحن في غير وقت الذروة، فمن الأقل ترجيحاً أن يتطلب الأمر قدرات جديدة، وفي بعض المواقع قد يكون ثمة توافق زمني مناسب مع موارد الطاقة الريحية أو المائية. وقد يكون ثمة حاجة أيضاً لمرونة الشبكات و/أو تخزين الطاقة من أجل موازنة الطلب على الكهرباء اللازمة لإعادة شحن المركبات مع توفر مصادر الطاقة المتجددة. [8.2.1]

وبخلاف مركبات الحمولة الخفيفة، من الممكن أن يتم استحداث خيارات للطاقة المتجددة وتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة في قطاعات النقل الأخرى، وفي: مركبات الحمولة الثقيلة، والنقل الجوي، والنقل البحري، والسكك الحديدية. ويعتبر استخدام الوقود الأحيائي عنصراً أساسياً لزيادة حصة الطاقة المتجددة في هذه القطاعات الفرعية ولكن قد يكون من الضروري تعديل التصميمات الحالية لمركبات الاحتراق الذاتي لتعمل بخلائط الوقود الأحيائي المرتفع (أعلى من 80 ٪). وقد تقل إمكانية تبديل الوقود في قطاع النقل الجوي عنها في القطاعات الفرعية الأخرى بسبب احتياجات السلامة وخفض وزن الوقود وحجمه. ومع ذلك، فقد أطلقت خطوط الطيران المختلفة وشركات تصنيع الطائرات رحلات اختبارية باستخدام خلائط الوقود الأحيائي المختلفة، ولكن الأمر يتطلب إجراء معالجة أكثر من تلك اللازمة لوقود الطرق وذلك لضمان الالتزام الصارم بمواصفات وقود الطيران، لاسيما في درجات الحرارة الباردة. وبالنسبة للنقل عبر السكك الحديدية، تمثل زيادة الكهربة وزيادة استخدام الديزل الأحيائي الخيارين الأساسيين لاستحداث الطاقة المتجددة، حيث يجري تشغيل 90 ٪ من الصناعة بوقود الديزل. [8.3.1.5]

وفي ظل أجواء عدم اليقين وهذه التحديات المتعلقة بخفض التكلفة، من المهم الإبقاء على نهج حافظة على مدى فترة زمنية طويلة يشمل التغيرات السلوكية (على سبيل المثال، لتقليل الكيلومترات التي تقطعها المركبات أو الطائرات سنوياً)، ومركبات تتميز بقدر أكبر من كفاءة استخدام الطاقة، ومجموعة متنوعة من الوقود منخفض الكربون. [8.3.1.5]

8.7.2 المباني والأسر

يعمل قطاع المباني على توفير المأوى ومجموعة متنوعة من خدمات الطاقة لدعم سبل عيش ورفاهية السكان الذين يقطنون في البلدان المتقدمة والنامية. وبلغت مساهمة هذه القطاع نحو 120 إكسجل (37 ٪ تقريباً) من إجمالي الاستخدام العالمي للطاقة النهائية (بما في ذلك ما بين 30 و45 إكسجل للطاقة الأولية من الكتلة الأحيائية التقليدية المستخدمة لأغراض الطهي والتدفئة). وعادة ما يلبي الوقود الأحفوري ارتفاع حصة الطلب الإجمالي على الطاقة المستخدمة في المباني لأغراض التدفئة والتبريد (محارق الزيت وسخانات الغاز) والكهرباء (المراوح ومكيفات الهواء). ويمكن الاستعاضة عن ذلك اقتصادياً في كثير من الأقاليم بشبكات للتدفئة والتبريد الحضري في المناطق أو الاستخدام المباشر لنظم الطاقة المتجددة في المباني، مثل أقراص الكتلة الأحيائية الحديثة، والمواقد المغلفة، والمضخات الحرارية (بما في ذلك المصدر الأرضي)، ونظام تسخين المياه والفراغ باستخدام الطاقة الشمسية، ونظام التبريد بامتصاص الطاقة الشمسية. [الأقسام 2.2، 8.2.2، 8.3.2]

وتتيح تكنولوجيات توليد الكهرباء القائمة على الطاقة المتجددة المدمجة في المباني (مثل اللوحات الشمسية المزودة بخلايا فولطائية ضوئية) الفرصة للمباني لتصبح جهات للإمداد بالطاقة وليس استهلاكها. ويمثل دمج الطاقة المتجددة في البيئات الحضرية القائمة، إلى جانب الأجهزة التي تتسم بكفاءة استخدام الطاقة وتصميمات "المباني غير الضارة بالبيئة"، عنصراً أساسياً في مواصلة نشر الطاقة المتجددة. وبالنسبة لقطاعي الأسر والمباني التجارية الفرعيين، تتفاوت ناقلات الطاقة وفقاً للخصائص المحلية وموارد الطاقة المتجددة للإقليم وثرواته ومتوسط عمر المباني والبنية الأساسية الحالية التي تؤثر على دوران المخزون. [8.3.2]

وتختلف سمات وظروف الطلب على الطاقة في أحد المباني القائمة أو الجديدة، وآفاق دمج الطاقة المتجددة، باختلاف المكان ومن تصميم إلى آخر. فتوصل معظم المباني بشبكات توزيع الكهرباء والمياه والصرف سواء في المستوطنات الحضرية أو الريفية في البلدان النامية. ومع انخفاض معدل دوران مخزون المباني البالغ 1 ٪ سنوياً في البلدان المتقدمة، سيلزم أن يضطلع التعديل التحديثي للمباني القائمة بدور مهم في المستقبل في دمج الطاقة المتجددة وإدخال تحسينات على كفاءة استخدام الطاقة. وتشمل الأمثلة تركيب سخانات مياه بالطاقة الشمسية ومضخات حرارية أرضية المصدر وتطوير أو توسيع نظم التدفئة والتبريد الحضريان التي تتيح الانتقال إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة بمرور الوقت، نظراً لما تتمتع به من مرونة فيما يتعلق بالتدفئة أو التبريد. ويمكن أن تنطوي هذه الأمور على تكاليف استثمارية مقدمة مرتفعة نسبياً وفترات سداد طويلة، إلا أنه يمكن تعويض هذه التكاليف بتعديل موافقات ولوائح التخطيط بحيث تصبح أكثر تمكيناً، وبتحسين التصميمات التي تتسم بكفاءة استخدام الطاقة، وتوفير الحوافز الاقتصادية والترتيبات المالية [8.2.2، 8.3.2.1]

وتتوفر إمدادات الكهرباء الشبكية في معظم المناطق الحضرية في البلدان النامية، وإن كان نظام الإمداد غالباً ما يتسم بنقص القدرات وعدم موثوقيته. ومن شأن زيادة دمج تكنولوجيات الطاقة المتجددة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة المحلية أن يساعد في تأمين الإمداد بالطاقة وتحسين النفاذ إلى الطاقة كذلك. وفي المستوطنات الحضرية والريفية في البلدان النامية، تشمل أنماط استهلاك الطاقة في كثير من الأحيان الاستخدام غير المستدام للكتلة الأحيائية والفحم. ويتمثل التحدي القائم في عكس مسار التزايد في أنماط استهلاك الكتلة الأحيائية التقليدية عن طريق تحسين الاستفادة من ناقلات الطاقة الحديثة وخدماتها وزيادة حصة الطاقة المتجددة من خلال اعتماد تدابير الدمج. وتعد الطبيعة غير المركزية للموارد الطاقة الشمسية وغيرها من موارد الطاقة المتجددة مفيدة لدمجها في المباني الجديدة والقائمة مهما كانت متواضعة، بما في ذلك المساكن القائمة في المناطق الريفية غير الموصولة بشبكات إمدادات الطاقة [8.2.2.2، 8.2.5]

8.7.3 الصناعة

تمثل الصناعات التحويلية نحو 30 ٪ من الاستخدام العالمي للطاقة النهائية، وإن تفاوتت هذه النسبة تفاوتاً ملحوظاً بين البلدان. ويتسم القطاع بتنوعه الشديد، وإن ساهمت الصناعات "الثقيلة" التي تزيد فيها كثافة استخدام الطاقة بنحو 85 ٪ من استخدام الطاقة للأغراض الصناعية، ومنها صناعة الحديد والصلب، والمعادن غير الحديدية، والكيماويات، والأسمدة، وصناعات تكرير البترول، والتعدين، واللباب والورق. [8.3.3.1]

ولا توجد قيود فنية صارمة على زيادة الاستخدام المباشر وغير المباشر للطاقة المتجددة في الصناعة في المستقبل. غير أن ثمة عوامل قد تؤدي إلى تقييد عملية الدمج في الأجل القريب، ومن أمثلتها قيود الأراضي والحيز المساحي أو مطالب زيادة الموثوقية وتواصل العمليات. وتشمل التدابير الرئيسية للحد من طلبات الطاقة الصناعية و/أو انبعاثات غازات الدفيئة تعزيز كفاءة استخدام الطاقة، وإعادة تدوير المواد، وامتصاص الكربون وتخزينه بالنسبة للصناعات المسببة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون مثل تصنيع

الأسمنت واستبدال المواد الوسيطة للوقود الأحفوري، وذلك بالإضافة إلى دمج حصص أكبر من الطاقة المتجددة. وفضلاً عن ذلك، يمكن أن توفر الصناعة مرافق الاستجابة للطلب التي من المرجح أن تكتسب مزيداً من الأهمية في نظم الكهرباء المستقبلية التي تتمتع بمستوى تغلغل أعلى للمصادر المتغيرة للطاقة المتجددة. [8.3.3.1]

وتتضمن الفرص الأساسية لدمج الطاقة المتجددة في الصناعة ما يلي:

- الاستخدام المباشر للوقود المشتق من الكتلة الأحيائية ومخلفات العملية الصناعية المتعلقة بالإنتاج في الموقع، واستخدام الوقود الأحيائي والتوليد المشترك للحرارة والكهرباء؛ [2.4.3]
- الاستخدام غير المباشر من خلال زيادة استخدام الكهرباء القائمة على الطاقة المتجددة، بما في ذلك العمليات الحرارية الكهربائية؛ [8.3.3]
- الاستخدام غير المباشر من خلال ناقلات الطاقة الأخرى المشتراه القائمة على الطاقة المتجددة بما في ذلك الحرارة والوقود السائل والغاز الأحيائي، وربما الهيدروجين بقدر أكبر في المستقبل؛ [الأقسام من 8.2.2–8.2.4]
- الاستخدام المباشر للطاقة الحرارية الشمسية لتلبية الطلبات على الحرارة والبخار اللازمين للعملية الصناعية برغم توفر أمثلة قليلة عنها حتى تاريخه؛ [3.3.2]
- الاستخدام المباشر للموارد الحرارية الأرضية لتلبية الطلبات على الحرارة والبخار للعملية الصناعية. [4.3.5]

ولا تمثل الصناعة جهة استخدام محتملة للطاقة المتجددة وحسب، بل وجهة إمداد محتملة للطاقة الأحيائية كمنتج فرعي. وأغلب الاستخدام المباشر الحالي للطاقة المتجددة في الصناعة يقوم على الكتلة الأحيائية التي يتم إنتاجها في صناعات اللباب والورق والسكر والإيثانول كمنتجات ثانوية ناشئة عن العملية الصناعية وتستخدم لأغراض التوليد المشترك للحرارة والكهرباء، وبصورة أساسية في الموقع لأغراض العملية الصناعية وإن بيعت أيضاً خارج الموقع. وتشكل الكتلة الأحيائية أيضاً وقوداً مهماً للمشروعات الصغيرة والمتوسطة مثل صناعة الطوب، وتحديداً في شكل فحم في البلدان النامية. [8.3.3.1]

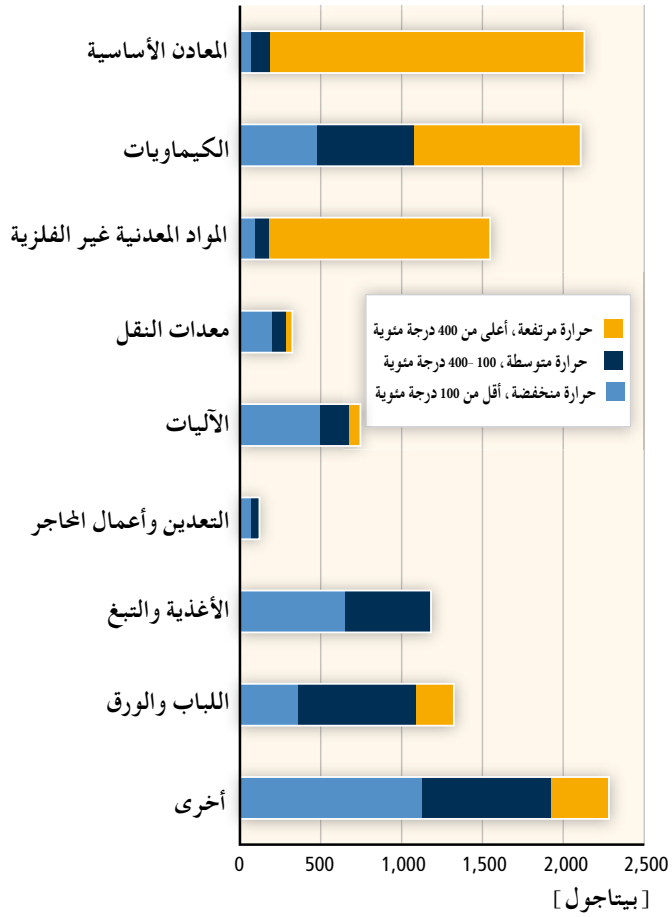
وتختلف المسارات المحتملة لزيادة استخدام الطاقة المتجددة في الصناعات الكثيفة الاستخدام للطاقة باختلاف القطاعات الفرعية الصناعية. فمن الناحية الفنية، يمكن أن تحل الكتلة الأحيائية، على سبيل المثال، محل الوقود الأحفوري في الغلايات والقمائن والأفران، أو أن تحل الكيماويات الأحيائية والمواد الأحيائية محل الكيماويات النفطية. ومع ذلك، فقد يشكل الوصول إلى كميات كافية من الكتلة الأحيائية المحلية قيداً بسبب نطاق العمليات الصناعية الكثيرة. ويمكن أن يتعرض استخدام التكنولوجيات الشمسية إلى التقييد في بعض المواقع التي تتسم بانخفاض عدد ساعات إشراق الشمس فيها سنوياً. ولا يعد الإمداد المباشر من الطاقة المائية لمصهرات الألومينيوم أمراً غريباً ولكن الخيار الرئيسي بالنسبة للعديد من العمليات الصناعية كثيفة الاستخدام للطاقة هو الدمج غير المباشر للطاقة المتجددة من خلال التحويل للكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة المنقولة من الشبكة أو التحويل إلى الهيدروجين في المستقبل. ويوحي الطيف الواسع من الخيارات المتعلقة بإنتاج الكهرباء المنخفضة الكربون، وتنوع استخدامها، بأن العمليات الحرارية الكهربائية يمكن أن تصبح أكثر أهمية في المستقبل لتحل محل الوقود الأحفوري في طائفة من العمليات الصناعية. [8.3.3.2]

أما الصناعات "الخفيفة" التي تتسم بانخفاض كثافة استخدام للطاقة، ومنها تجهيز الأغذية، والنسيج، وتصنيع الأجهزة والإلكترونيات الخفيفة، ومصانع تجميع السيارات، ونشر الأخشاب، فهي وإن كانت عديدة تسهم بحصة من إجمالي استخدام الطاقة أصغر من حصة الصناعات الثقيلة.

ويرجع جانب كبير من الطلب على الطاقة لهذه الصناعات الخفيفة إلى استخدام الطاقة في المباني التجارية لأغراض الإضاءة والتدفئة والتبريد والتهوية والمعدات المكتبية. وبوجه عام، تتميز الصناعات الخفيفة بقدر أكبر من المرونة وتتيح فرصاً أيسر لدمج الطاقة المتجددة مقارنة بالصناعات كثيفة استخدام الطاقة. [8.3.3.3]

ويصبح دمج الطاقة المتجددة بالنسبة للحرارة الخاصة بالعمليات الصناعية أمراً عملياً عند درجات حرارة أقل من 400 درجة مئوية تقريباً باستخدام نظام احتراق الكتلة الأحيائية (بما في ذلك الفحم) إلى جانب الطاقة الحرارية الشمسية أو الحرارية الأرضية المباشرة. وتعد موارد الطاقة المتجددة أقل ملاءمة لتلبية الطلب على حرارة العمليات الصناعية الأعلى من 400 درجة مئوية، باستثناء الطاقة الشمسية مرتفعة الحرارة. (الشكل 8.8 الملخص الفني) [8.3.3.3]

وثمة قصور في فهم إمكانيات وتكاليف زيادة استخدام الطاقة المتجددة في الصناعة بسبب تشعب الصناعة وتنوعها وبسبب الظروف الجغرافية والمناخية المختلفة. ومن الممكن أن تنشأ فرص في الأجل القريب لزيادة حصص الطاقة المتجددة من زيادة استغلال مخلفات العمليات الصناعية، والتوليد المشترك للحرارة والكهرباء في الصناعات القائمة على الكتلة



الشكل 8.8 الملخص الفني: الطلب الصناعي على نطاقات مختلفة من الجودة الحرارية مقسمة حسب القطاعات الفرعية للصناعات الثقيلة والصناعات التحويلية الخفيفة، استناداً إلى تقييم أجري في 32 بلداً أوروبياً. [الشكل 8.23]

الأحيائية، واستبدال الوقود الأحفوري المستخدم في التسخين. وتعد تكنولوجيا التسخين بالطاقة الشمسية بمواصلة تطوير مجمعات الطاقة، والتخزين الحراري، ونظم الدعم، ومواءمة العمليات الصناعية، وعملية الدمج الخاضعة للتقييم. وقد يؤثر دمج الطاقة المتجددة باستخدام الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة لأغراض التكنولوجيات الكهربائية أكبر الأثر سواء في الأجل القريب أو البعيد. [8.3.3.2، 8.3.3.3]

وواجه استخدام الطاقة المتجددة في الصناعة في الماضي صعوبات في التنافس في الكثير من الأقاليم بسبب الانخفاض النسبي لأسعار الوقود الأحفوري إلى جانب انخفاض، أو انعدام، الضرائب المفروضة على الطاقة والكربون. وغالباً ما يزيد تركيز سياسات دعم الطاقة المتجددة في البلدان المختلفة على قطاعي النقل والمباني أكثر من تركيزها على الصناعة، ومن ثم تبقى إمكانية دمج الطاقة المتجددة غير مؤكدة نسبياً. فإينما طبقت سياسات الدعم، كللت جهود نشر الطاقة المتجددة بالنجاح. [8.3.3.3]

8.7.4 الزراعة والحراجة وصيد الأسماك

يتميز القطاع الزراعي بالانخفاض النسبي لاستهلاك الطاقة فيه، إذ يستخدم ما لا يزيد على 3 ٪ تقريباً من الإجمالي العالمي للطاقة الاستهلاكية. ويشمل القطاع المزارع والغابات الكبيرة المملوكة للمؤسسات إلى جانب مزارعي الكفاف ومجتمع صيادي الأسماك في البلدان النامية. ويأتي الاستخدام غير المباشر المرتفع نسبياً للطاقة لأغراض تصنيع الأسمدة والآليات في قطاع الصناعة. وعادة ما يمثل ضخ المياه لأغراض الزراعة أعلى طلب على الطاقة في المزارع إلى جانب استخدام الديزل في الآليات والكهرباء في حلب الألبان والتبريد والمعدات الثابتة. [8.3.4.1]

ويمكن في العديد من الأقاليم استخدام الأراضي الجارية زراعتها بصورة متزامنة لأغراض إنتاج الطاقة المتجددة. ويشيع حالياً تعدد استخدام الأراضي لأغراض الزراعة وإنتاج الطاقة، مثل إنشاء التربينات الهوائية على أراضي الرعي؛ واستخدام نباتات الغاز الأحيائي لمعالجة روث الحيوانات الغني بمغذيات يعاد تدويرها إلى الأرض؛ واستخدام المجاري المائية لنظم الطاقة المائية الصغيرة والمتناهية الصغر؛ وجمع نفايات المحاصيل وحرقها لإنتاج الحرارة والكهرباء؛ وزراعة محاصيل الطاقة وإدارتها خصيصاً لتوفير المواد الوسيطة للكتلة الأحيائية اللازمة لإنتاج الوقود السائل وتوليد الحرارة والكهرباء (حيث يمكن استخدام المنتجات الثانوية للأعلاف والألياف). [2.6، 8.3.4.2، 8.3.4.3]

وحيث إن موارد الطاقة المتجددة، ومنها الطاقة الريحية والشمسية ونفايات المحاصيل والمخلفات الحيوانية، غالباً ما تتوفر بكثرة في المناطق الريفية، فمن شأن حجزها ودمجها أن يمكن أصحاب الأراضي أو مديري المزارع من استخدامها محلياً في العمليات الزراعية. ويمكنهم أيضاً تحقيق إيرادات إضافية عند تصدير ناقلات الطاقة مثل الكهرباء أو الغاز الأحيائي المولدة من الطاقة المتجددة خارج المزرعة. [8.3.4]

وبرغم العوائق القائمة أمام نشر تكنولوجيا الطاقة المتجددة بما في ذلك ارتفاع التكاليف الرأسمالية، ونقص التمويل المتاح والبعد المكاني عن طلب الطاقة، فمن المرجح أن يستخدم القطاع الزراعي العالمي الطاقة المتجددة بدرجة أكبر في المستقبل وذلك لتلبية الطلب على الطاقة لأغراض الإنتاج الأولي وعمليات ما بعد الحصاد على النطاقين الكبير والصغير على حد سواء. [من 8.3.4.1 إلى 8.3.4.2]

وسوف تعتمد استراتيجيات الدمج التي يمكن أن تزيد من انتشار الطاقة المتجددة في القطاع الأولي اعتماداً جزئياً على موارد الطاقة المتجددة المحلية والإقليمية، وعلى أنماط الطلب على الطاقة داخل المزرعة، وفرص تمويل المشاريع وأسواق الطاقة القائمة. [8.3.4.3]

9 الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة

9.1 مقدمة

تتصدى التنمية المستدامة للشواغل المتعلقة بالعلاقات بين المجتمع البشري والطبيعة. وجرت العادة على وضع التنمية المستدامة في إطار نموذج مؤلف من ثلاثة أركان، وهي الاقتصاد والبيئة والمجتمع، بما يسمح بتصنيف الأهداف الإنمائية تصنيفاً بيانياً، حيث تعتمد هذه الأركان الثلاثة على بعضها البعض وتدعم بعضها البعض. وفي إطار مفاهيمي آخر، يمكن توجيه التنمية المستدامة على طول سلسلة متواصلة تتروح بين نموذج ضعف الاستدامة ونموذج قوة الاستدامة. ويختلف النموذجان في افتراضاتهما بشأن استدامة رأس المال الطبيعي والبشري. ويمكن أن تسهم الطاقة المتجددة في تحقيق الأهداف الإنمائية للنموذج الثلاثي الأركان، كما يمكن أن تقيم من حيث قوة التنمية المستدامة أو ضعفها، حيث يعرّف استخدام الطاقة المتجددة على أنه الحفاظ على رأس المال الطبيعي طالما لم ينتقص استخدام المورد من إمكانية الحصاد المستقبلي. [9.1]

9.2 أوجه التفاعل بين التنمية المستدامة والطاقة المتجددة

يمكن النظر إلى العلاقة بين الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة في شكل ترتيب هرمي للأهداف والقيود التي تتضمن اعتبارات عالمية وإقليمية أو محلية على السواء. وعلى الرغم من أن تقييم المساهمة المحددة للطاقة المتجددة في التنمية المستدامة ينبغي أن يعتمد على كل سياق قطري على حدة، تتيح الطاقة المتجددة الفرصة للمساهمة في تحقيق عدد من الأهداف المهمة للتنمية المستدامة ومنها ما يلي: (1) التنمية الاجتماعية والاقتصادية؛ (2) الاستفادة من الطاقة؛ (3) أمن الطاقة؛ (4) تخفيف آثار تغير المناخ والحد من الآثار البيئية والصحية. ويعتبر تخفيف الآثار الخطيرة لتغير المناخ البشرية المنشأ باعتبارها إحدى القوى الدافعة القوية وراء زيادة استخدام الطاقة المتجددة في شتى أنحاء العالم. [9.2، 9.2.1]

ويمكن ربط هذه الأهداف بكل من النموذج ذي أركان الثلاثة ومفهومي التنمية المستدامة الضعيفة والقوية. وتوفر مفاهيم التنمية المستدامة أطر عمل مفيدة لصانعي السياسات من أجل تقييم مساهمة الطاقة المتجددة في التنمية المستدامة وصوغ تدابير اقتصادية واجتماعية وبيئية ملائمة. [9.2.1]

ومن شأن استخدام المؤشرات أن يساعد البلدان على رصد ما يحرز من تقدم في النظم الفرعية للطاقة بما يتفق مع مبادئ الاستدامة، وإن كان ثمة الكثير من الطرق المختلفة لتصنيف مؤشرات التنمية المستدامة. وتستند التقييمات المجراة لأغراض هذا التقرير وفصله التاسع إلى أدوات منهجية مختلفة، منها المؤشرات التصاعدية المشتقة من تقييمات دورة الحياة القائمة على عزو الأسباب أو إحصاءات الطاقة، والنهج الدينامية للنمذجة المتكاملة، والتحليلات النوعية. [9.2.2]

ويجري تحليل القياسات التقليدية للنمو الاقتصادي (إجمالي الناتج المحلي) ومؤشر التنمية البشرية الأوسع من الزاوية المفاهيمية بهدف تقييم مساهمة الطاقة المتجددة في التنمية الاجتماعية والاقتصادية. ويجري كذلك تناول فرص العمل المحتملة، التي تشكل حافزا لبعض البلدان لدعم نشر الطاقة المتجددة، إضافة إلى مسائل التمويل الحرجة للبلدان النامية. [9.2.2]

وترتبط الاستفادة من خدمات الطاقة الحديثة، سواء من الموارد المتجددة أم غير المتجددة، ارتباطا وثيقا بتدابير التنمية، لاسيما بالنسبة للبلدان

التي تمر بمراحل التنمية الأولى. وتمثل استفادة أشد أفراد المجتمع فقرا من الطاقة الحديثة أمرا بالغ الأهمية لتحقيق أي هدف من الأهداف الإنمائية الثمانية للألفية. وتشمل المؤشرات الملموسة المستخدمة استهلاك الفرد من الطاقة النهائية بالنسبة للدخل، إلى جانب تقسيم الاستفادة من الكهرباء إلى فئات (مقسمة إلى مناطق ريفية وحضرية) وأعداد لتلك الشرائح السكانية التي تستخدم الفحم أو الكتلة الأحيائية التقليدية في الطهي. [9.2.2]

وعلى الرغم من عدم وجود تعريف متفق عليه، يمكن فهم مصطلح «أمن الطاقة» على أنه الثبات أمام الانقطاعات (المفاجئة) في إمدادات الطاقة. ويمكن تحديد موضوعين واسعين لهما صلة بأمن الطاقة، سواء بالنسبة للنظم الحالية أو لتخطيط نظم الطاقة المتجددة في المستقبل، وهما: توفر الموارد وتوزيعها؛ وتقلبية الإمداد بالطاقة وموثوقيته. وتتمثل المؤشرات المستخدمة لتوفير معلومات عن معيار أمن الطاقة فيما يتعلق بالتنمية المستدامة في حجم الاحتياطيات، ونسبة الاحتياطيات إلى الإنتاج، ونسبة الواردات في إجمالي استهلاك الطاقة الأولية، وحصة واردات الطاقة في إجمالي الواردات، إضافة إلى حصة الموارد المتغيرة وغير المتوقعة للطاقة المتجددة. [9.2.2]

ويجب أن يُنظر في طائفة من الآثار والفئات لتقييم العبء الكلي الناشئ عن نظام الطاقة على البيئة ولتحديد المبادلات المحتملة. ويشمل ذلك الانبعاثات الضخمة في الهواء (لاسيما غازات الدفيئة) والمياه، واستخدام المياه والطاقة والأراضي لوحدة الطاقة المولدة، ويتعين تقييم هذه العوامل باستخدام تكنولوجيات مختلفة. ومع الإقرار بأن تقييمات دورة الحياة لا تعطي الإجابة المحتملة الوحيدة بشأن استدامة تكنولوجيا معينة، فهي منهجية بالغة الأهمية لتحديد الآثار الإجمالية للنظم على تكنولوجيا معينة، وهو ما يمكن أن يشكل أساسا للمقارنة. [9.2.2]

وتتيح تحليلات السيناريو رؤية متعمقة في مدى مراعاة النماذج المتكاملة لأهداف التنمية المستدامة الأربعة في مسارات نشر الطاقة المتجددة المختلفة. وتُفهم المسارات أساسا على أنها نتائج لسيناريوهات تحاول أن تتصدى للعلاقات المتداخلة المعقدة بين تكنولوجيات الطاقة المختلفة على نطاق عالمي. ومن ثم، يشير الفصل 9 بصورة أساسية إلى السيناريوهات العالمية المستمدة من النماذج المتكاملة التي تأتي أيضاً في صلب التحليل الوارد في الفصل 10. [9.2.2]

9.3 الآثار الاجتماعية والبيئية والاقتصادية: التقييم العالمي والإقليمي

تختلف دوافع البلدان لتعزيز الطاقة المتجددة حسب مستوى التنمية التي تمر بها هذه البلدان. فبالنسبة للبلدان النامية، تتمثل أكثر الأسباب رجاحة لاعتماد تكنولوجيات الطاقة المتجددة في الاستفادة من الطاقة، وإنشاء فرص العمل في الاقتصاد الرسمي (أي الخاضع للتنظيم القانوني وللضريبة)، وخفض تكاليف واردات الطاقة (أو مد عمر قاعدة الموارد الطبيعية، في حالة مصدّري الطاقة الأحفورية). وبالنسبة للبلدان الصناعية، تتضمن الأسباب الأساسية لتشجيع الطاقة المتجددة خفض انبعاثات الكربون بغية تخفيف أثر تغير المناخ، وتعزيز أمن الطاقة، وتعزيز التغيير الهيكلي في الاقتصاد تعزيزاً فعالاً، بحيث تسهم فرص العمل الجديدة المتصلة بالطاقة المتجددة في تخفيف خسائر الوظائف في قطاعات الصناعة التحويلية المتدهورة. [9.3]

9.3.1 التنمية الاجتماعية والاقتصادية

وعلى المستوى العالمي، يرتبط دخل الفرد ارتباطاً موجباً باستخدام الطاقة لكل فرد، ويمكن اعتبار النمو الاقتصادي أهم العوامل المسببة لزيادة استهلاك الطاقة في العقود الأخيرة. غير أنه ليس ثمة اتفاق على اتجاه العلاقة السببية بين استخدام الطاقة وزيادة الناتج الاقتصادي الكلي. [9.3.1.1]

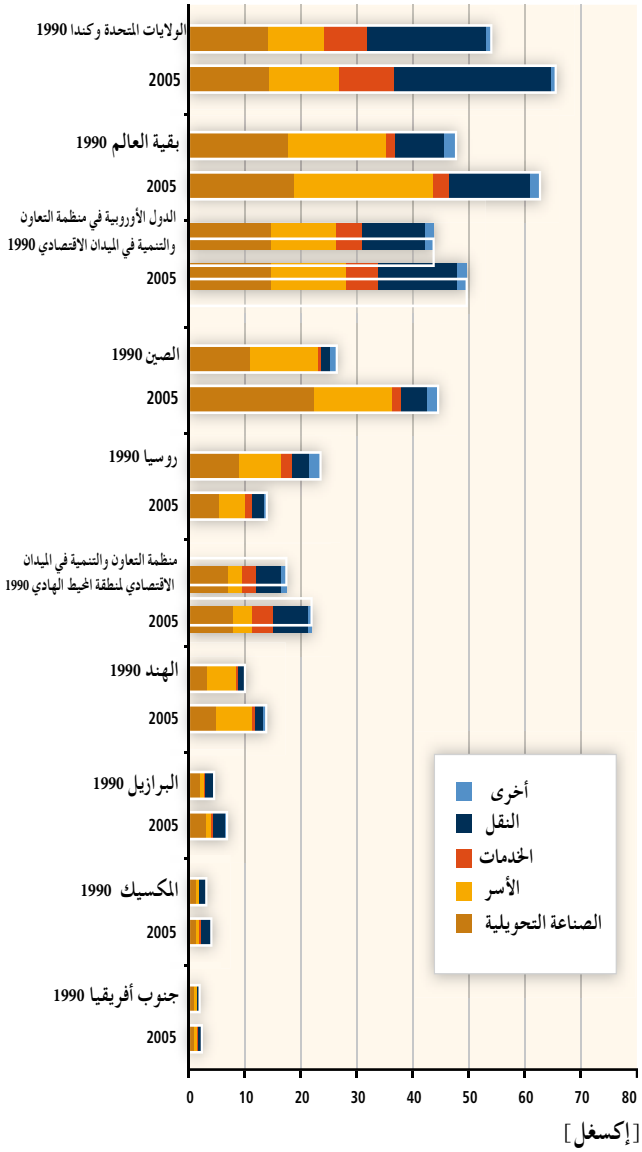
وينشأ الطلب على مصادر للطاقة الأكثر تطوراً ومرونة مع اتساع النشاط الاقتصادي وتنوعه: فمن منظور قطاعي، تستهلك البلدان التي تمر بمرحلة مبكرة من التنمية الجزء الأكبر من إجمالي الطاقة الأولية في القطاع السكني (والزراعي إلى حد أقل)؛ ويتمتع قطاع الصناعة التحويلية بدور مسيطر في الاقتصادات الناشئة، في حين يسهم قطاع الخدمات والنقل بنسب مطردة الزيادة في البلدان الصناعية الكاملة (انظر الشكل 9.1 من الملخص الفني). [9.3.1.1]

وعلى الرغم من الارتباط الوثيق بين إجمالي الناتج المحلي واستخدام الطاقة، تنتشر في شتى البلدان مجموعة واسعة من أنماط استخدام الطاقة: فحققت بعضها مستويات مرتفعة من دخل الفرد مع انخفاض استهلاك الطاقة انخفاضاً نسبياً. وتظل أخرى فقيرة إلى حد بعيد بالرغم من ارتفاع مستويات استخدام الطاقة فيها، لاسيما البلدان التي تنعم بموارد وفيرة من الوقود الأحفوري، التي غالبا ما تقوم بدعم الطاقة فيها. وتشير إحدى الفرضيات إلى أن النمو الاقتصادي يمكن فصله إلى حد بعيد عن استخدام الطاقة عن طريق خفض كثافة الطاقة على نحو مطرد. وفضلاً عن ذلك، كثيراً ما يتم التأكيد على أن الاقتصادات النامية والاقتصادات التي تمر بمرحلة تحول اقتصادي يمكن أن تحقق «طفرات»، بوضع حد لاستخدام الطاقة عن طريق اعتماد تكنولوجيات حديثة ذات نجاعة عالية في مجال الطاقة. [9.3.1.1، الإطار 9.5]

وتشكل الاستفادة من الطاقة النظيفة والموثوقة شرطاً مسبقاً مهما للمحددات الأساسية للتنمية البشرية، مثل الصحة والتعليم والمساواة بين الجنسين والسلامة البيئية. وباستخدام مؤشر التنمية البشرية كمؤشر بديل للتنمية، تستهلك البلدان التي حققت مستويات مرتفعة وفق مؤشر التنمية البشرية عموماً كميات كبيرة نسبياً من الطاقة للفرد ولم يسجل أي بلد مستوى مرتفع أو حتى متوسط وفق مؤشر التنمية البشرية من غير تحقيق نفاذ كبير إلى إمدادات الطاقة غير التقليدية. ويلزم توفر كمية دنيا محددة من الطاقة لضمان تحقيق مستوى معيشة مقبول (أي 42 غيغاجول للفرد)، وبعد هذه الزيادة لا يسفر استهلاك الطاقة إلا عن تحسينات هامشية في جودة الحياة. [9.3.1.2]

وتختلف التقديرات المتعلقة بآثار الطاقة المتجددة على فرص العمل الصافية الحالية بسبب الخلافات بشأن استخدام المنهجية الملائمة. وعلى الرغم من ذلك، لايزال ثمة اتفاق بشأن الآثار الإيجابية الطويلة الأجل للطاقة المتجددة باعتبارها تسهم إسهاماً مهماً في إنشاء الوظائف وهو الأمر الذي شددت عليه الكثير من إستراتيجيات النمو الأخضر الوطنية. [9.3.1.3]

وبوجه عام، تتجاوز التكاليف الاقتصادية الصرفة التي ينطوي عليها إنتاج الطاقة المتجددة تكاليف إنتاج الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري في أغلب الأحيان. فتشكل التكاليف المصاحبة عاملاً رئيسياً لتحديد مدى مرغوبية تلبية الطاقة المتجددة للطلب المتزايد على الطاقة، لاسيما بالنسبة للبلدان النامية، وأُعرب عن انشغالات من أن تزايد أسعار الطاقة قد يهدد آفاق التنمية في البلدان الصناعية. وعموماً، لا يمكن مناقشة اعتبارات التكلفة بمعزل عن نظام تقاسم الأعباء المعتمد، أي بدون تحديد من يتحمل



الشكل 9.1 الملخص الفني: استخدام الطاقة (بالإكسغل) حسب القطاع الاقتصادي. يلاحظ أن طريقة احتساب البيانات الأساسية تعتمد على استخدام أسلوب المحتوى المادي للوكالة الدولية للطاقة، وليس أسلوب المكافئ المباشر.[1]

ملاحظات: [الشكل 9.2] 1 – لم يتح من بيانات الطاقة التاريخية إلا المتعلق منها باستخدام الطاقة حسب القطاع الاقتصادي. وبالنسبة لتحويل البيانات باستخدام طريقة المكافئ المباشر، سيكون من الضروري معرفة ناقلات الطاقة المختلفة التي يستخدمها كل قطاع.

تكاليف المزايا التي يحققها انخفاض انبعاثات غازات الدفيئة، وهو ما يمكن وصفه بأنه سلعة عامة عالمية. [9.3.1.4]

9.3.2 الاستفادة من الطاقة

تفتقر شرائح كبيرة من سكان العالم في الوقت الحاضر إلى الاستفادة من خدمات الطاقة الحديثة والنظيفة، أو لا تستفيد منها سوى استفادة محدودة. فمن منظور التنمية المستدامة، يحتاج توسيع نطاق الطاقة المستدامة إلى زيادة توفير خدمات الطاقة للفئات التي تفتقر إليها أو التي لا تتمتع حالياً سوى باستفادة محدودة منها، وهم: الفقراء (وتقاس حسب الثروة أو الدخل أو مؤشرات أكثر تكاملاً)، وسكان المناطق الريفية، والسكان غير الموصولين بالشبكة. [9.3.2]

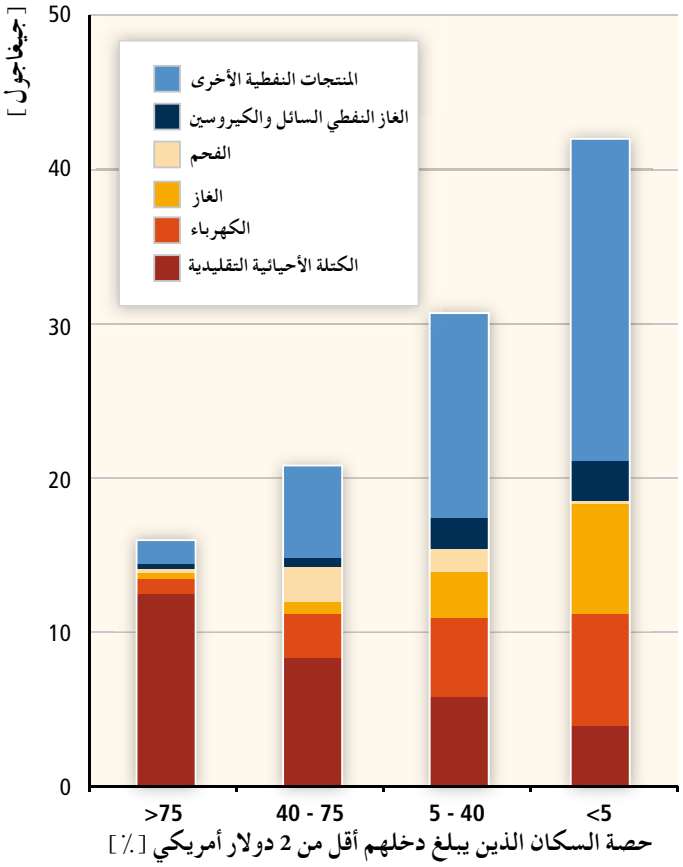
وتشير تقديرات عام 2009، التي تقر بوجود قيود بشأن توفر البيانات وجودتها، إلى أن عدد الأشخاص الذين لا يستفيدون من الكهرباء بلغ حوالي 1.4 مليار شخص. ويبلغ عدد الأشخاص الذين يعتمدون على الكتلة الأحيائية التقليدية للطهي نحو 2.7 مليار شخص، وهو ما يسبب مشكلات صحية خطيرة (لاسيما تلوث الهواء الداخلي) وغيرها من الأعباء الاجتماعية (مثل الوقت المنقضي في جمع الوقود) في العالم النامي. وفي ضوء الارتباط القوي بين دخل الأسرة واستخدام الوقود المنخفض الجودة (الشكل 9.2 من الملخص الفني)، يتمثل أحد التحديات الكبرى في عكس نمط استهلاك الكتلة الأحيائية الذي يتسم بعدم النجاعة عن طريق تغيير الاستخدام الحالي، وفي أغلب الأحيان غير المستدام، إلى بدائل أكثر استدامة ونجاعة. [9.3.2]

وتوضح العملية التراكمية لصعود سلم الطاقة عن طريق تعريف الاستفادة من الطاقة بأنها «الاستفادة من خدمات الطاقة النظيفة والموثوقة وميسورة التكلفة لأغراض الطهي والتسخين، والإضاءة، والاتصالات، والاستخدامات الإنتاجية»؛ كما أن أن تحقيق حتى المستويات الأساسية من الاستفادة من خدمات الطاقة الحديثة من شأنه أن يوفر مزايا كبيرة للمجتمعات أو الأسر. [9.3.2]

وفي البلدان النامية، جرى توسيع نطاق الشبكات اللامركزية القائمة على الطاقة المتجددة وساهمت في تحسين الاستفادة من الطاقة؛ وتتميز هذه الشبكات بقدر أكبر من التنافسية بوجه عام في المناطق الريفية التي تبعد عن الشبكة الوطنية بمسافات كبيرة، ويوفر انخفاض مستويات الكهربة الريفية فرصاً مهمة لإقامة نظم شبكات صغيرة تقوم على الطاقة المتجددة. وفضلاً عن ذلك، توفر تكنولوجيات الطاقة المتجددة غير الكهربائية فرصاً لتحديث خدمات الطاقة بشكل مباشر، على سبيل المثال، باستخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه وتجفيف المحاصيل، واستخدام الوقود الأحيائي لأغراض النقل، والغاز الأحيائي والكتلة الأحيائية الحديثة للتدفئة والتبريد والطهي والإضاءة، وطاقة الرياح لأغراض ضخ المياه. وفي حين أنه ليس ثمة فهم واضح للدور المحدد للطاقة المتجددة في تحقيق الاستفادة من الطاقة على نحو أكثر استدامة من مصادر الطاقة الأخرى، تتيح بعض هذه التكنولوجيات للمجتمعات المحلية زيادة اختياراتهم من الطاقة؛ وتسهم في حفز الاقتصادات، وتوفير الحوافز للجهود الريادية المحلية، وتلبية الاحتياجات والخدمات الأساسية ذات الصلة بالإضاءة والطهي، ومن ثم توفير مزايا صحية وتعليمية ثانوية. [9.3.2]

9.3.3 أمن الطاقة

يتيح استخدام الطاقة المتجددة الاستعاضة عن إمدادات الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري المتناقصة على نحو مطرد؛ فتشير التقديرات الحالية إلى أن نسبة الاحتياطيات المثبتة إلى الإنتاج الحالي تُظهر أن المنسوب العالمي من النفط والغاز الطبيعي سينفد في غضون أربعة وستة عقود على التوالي. [9.3.1.1]



الشكل 9.2 الملخص الفني: العلاقة بين استهلاك الطاقة النهائية للفرد ودخل الفرد في البلدان النامية. وتشير البيانات إلى آخر سنة متاحة خلال الفترة من 2000 إلى 2008. [الشكل 9.5]

ومع تركيز الكثير من المصادر المتجددة محلياً وعدم تداولها على المستوى الدولي، تسهم زيادة نسبة الطاقة المتجددة في حافظة الطاقة الخاصة بالبلد المعني في خفض اعتماده على واردات الوقود الأحفوري، التي تتميز بعدم تساوي توزيع احتياطياتها مكانياً وإنتاجها وصادراتها، وتركزها بشدة في عدد قليل من الأقاليم (الشكل 9.3 من الملخص الفني). ومادامت أسواق الطاقة المتجددة لا تتصف بهذا الإمداد المركز جغرافيا، فإن ذلك يساعد على تنويع حافظة مصادر الطاقة والحد من تعرض الاقتصاد لمخاطر تقلبية الأسعار. وبالنسبة للبلدان النامية المستوردة للنفط، يمكن أن تشكل زيادة استيعاب تكنولوجيات الطاقة المتجددة مجالاً لتغيير وجهة تدفقات النقد الأجنبي بعيداً عن واردات الطاقة ونحو واردات السلع التي يتعذر إنتاجها محلياً، مثل السلع الرأسمالية عالية التكنولوجيا. فعلى سبيل المثال، تنفق كينيا والسنغال أكثر من نصف إيرادات صادراتها على استيراد الطاقة، في حين يبلغ إنفاق الهند ما يزيد على 45 ٪. [9.3.3.1]

ومع ذلك، فمن الممكن أيضاً أن يجري الاعتماد على الواردات فيما يتعلق بالتكنولوجيات اللازمة لتنفيذ نظم الطاقة المتجددة، حيث إن الاستفادة الآمنة من المواد الخام المعدنية غير العضوية النادرة لقاء أسعار معقولة تشكل تحدياً محدقاً بجميع الصناعات. [9.3.3.1]

وتقتضي الملامح المتغيرة لمخرجات بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة في كثير من الأحيان اتخاذ تدابير فنية ومؤسسية تلائم الأوضاع المحلية لضمان إمداد ثابت وموثوق بالطاقة. وتمثل الاستفادة الموثوقة من الطاقة تحدياً خاصاً في البلدان النامية وتظهر المؤشرات المتعلقة بموثوقية خدمات البنية الأساسية أن 50 ٪ تقريباً من الشركات العاملة في أفريقيا جنوب الصحراء تقوم بصيانة معداتها الخاصة بتوليد الطاقة. ومن ثم، يعمد الكثير من البلدان النامية تحديداً إلى ربط قضية الاستفادة من الطاقة بقضايا الأمن عن طريق توسيع نطاق تعريف أمن الطاقة ليشمل ثبات المعروض المحلي وموثوقيته. [9.3.3.2]

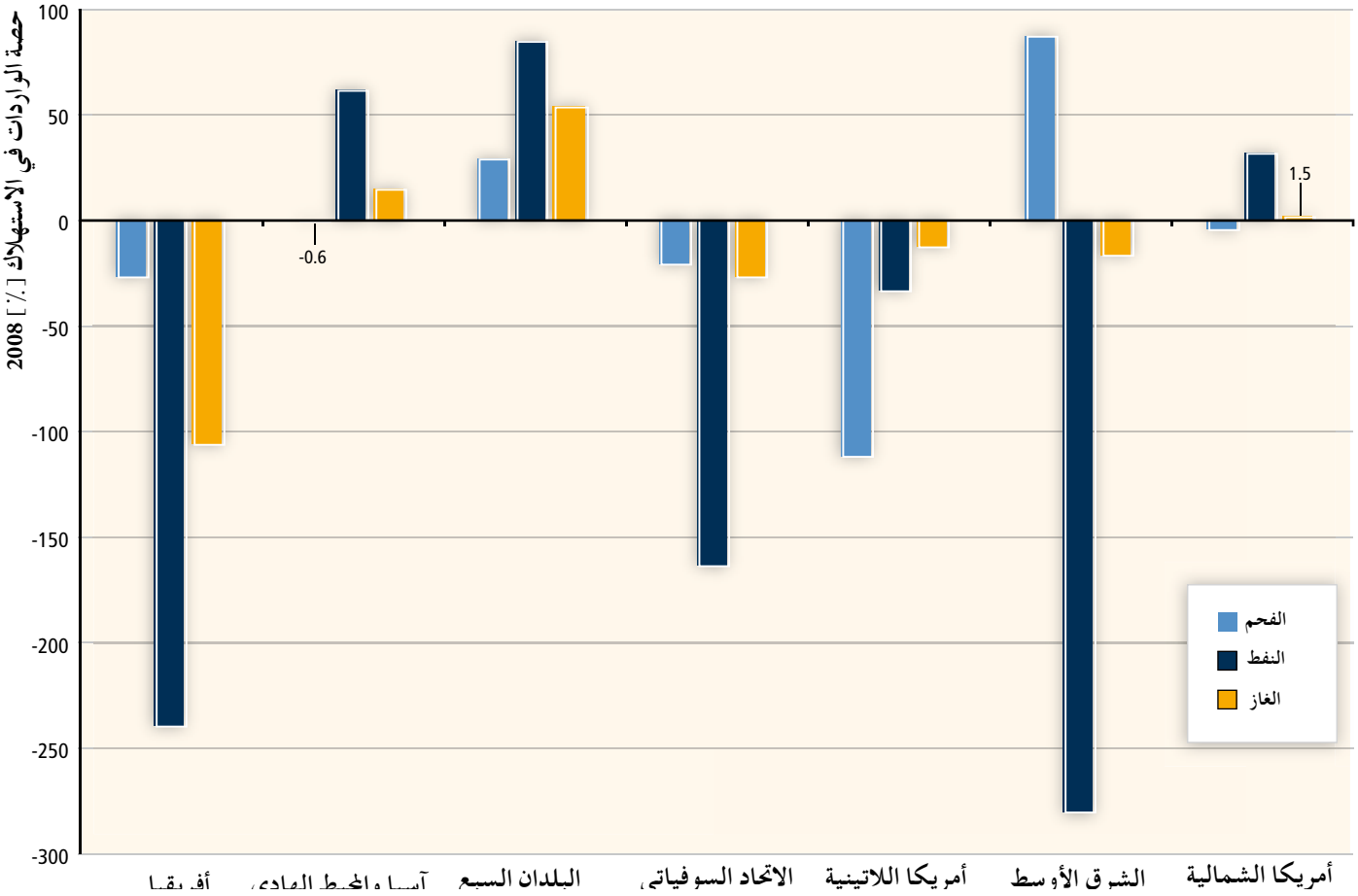
9.3.4 تخفيف أثر تغير المناخ والحد من الآثار البيئية والصحية

يتعين أن تكفل التنمية المستدامة الجودة البيئية وتحول دون حدوث ضرر بيئي غير ضروري. ولا يأتي نشر التكنولوجيات الكبيرة النطاق بدون مبادلات بيئية، ويوجد كم كبير من الدراسات التي تقيم الآثار البيئية المختلفة لطائفة واسعة من تكنولوجيات الطاقة (الطاقة المتجددة، والأحفورية، والنووية) من منظور تصاعدي. [9.3.4]

وتخضع الآثار على المناخ الناجمة عن انبعاثات غازات الدفيئة لتغطية مناسبة بوجه عام، وتيسر تقييمات دورة الحياة [الإطار 9.2] إجراء مقارنة كمية للانبعاثات «من المهد إلى اللحد» بين التكنولوجيات المختلفة. وفي حين يتناول عدد كبير من الدراسات الانبعاثات الملوثة للهواء والاستخدام التشغيلي للمياه، فلا توجد أدلة كافية على انبعاثات دورة الحياة بالنسبة للمياه واستخدام الأراضي والآثار الصحية بخلاف تلك المتصلة بتلوث الهواء. ويركز التقييم على أكثر القطاعات تناولاً في الدراسات، مثل توليد الكهرباء ووقود النقل فيما يتعلق بانبعاثات غازات الدفيئة. ولا تُتناول الحرارة والطاقة اللازمة للأسر إلا بشكل مختصر، وتحديداً فيما يتعلق بتلوث الهواء والصحة. وتتسم الآثار على التنوع البيولوجي والنظم البيئية بأنها تخص كل موقع على حدة ويصعب تحديدها وتعرض بأسلوب أكثر نوعية. ويُقدَّم استعراض للمخاطر المصاحبة لتكنولوجيات الطاقة لتفسير الأعباء المصاحبة للحوادث مقارنة بالتشغيل العادي. [9.3.4]

وتشير تقييمات دورة الحياة المتعلقة بتوليد الكهرباء إلى أن انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن تكنولوجيات الطاقة المتجددة أقل بكثير بوجه عام من تلك المرتبطة بخيارات الوقود الأحفور ، وفي تشكيلة من الظروف أقلمن انبعاثات الوقود الأحفوري القائم على امتصاص الكربون وتخزينه. ويبلغ أقصى تقدير للطاقة الشمسية المركزة والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة المائية والطاقة البحرية وطاقة الرياح أقل من أو يساوي 100 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلوواط ساعة، وتتراوح متوسط القيم لجميع مصادر الطاقة المتجددة من 4 إلى 46 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ/كيلوواط ساعة. ويمتد الربع العلوي من توزيع تقديرات الخلايا الفلطائية الكهربائية والطاقة الأحيائية إلى أعلى من الحد الأقصى لتكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى بمرتين أو ثلاثة. غير أنه ثمة أوجه أكثر من عدم اليقين تحيط بأرصدة غازات الدفيئة من إنتاج الطاقة الحيوية: فباستبعاد تغير استخدام الأراضي، من شأن الطاقة الحيوية أن تحد من انبعاثات غازات الدفيئة مقارنة بالنظم القائمة على الوقود الأحفوري ويمكن أن تفضي إلى انبعاثات غازات الدفيئة المتجنبة الناتجة عن النفايات والمخلفات في مدافن القمامة والنواتج المختلطة؛ ويمكن أن يسهم المزج بين الطاقة الحيوية وامتصاص الكربون وتخزينه في تحقيق مزيد من الانخفاضات. (الشكل 9.4 من الملخص الفني). [9.3.4.1]

ومن شأن احتساب الاختلافات في جودة الطاقة المنتجة، والآثار المحتملة لتشغيل الشبكة المتعلقة بإضافة مصادر متغيرة لتوليد الطاقة، والتغير



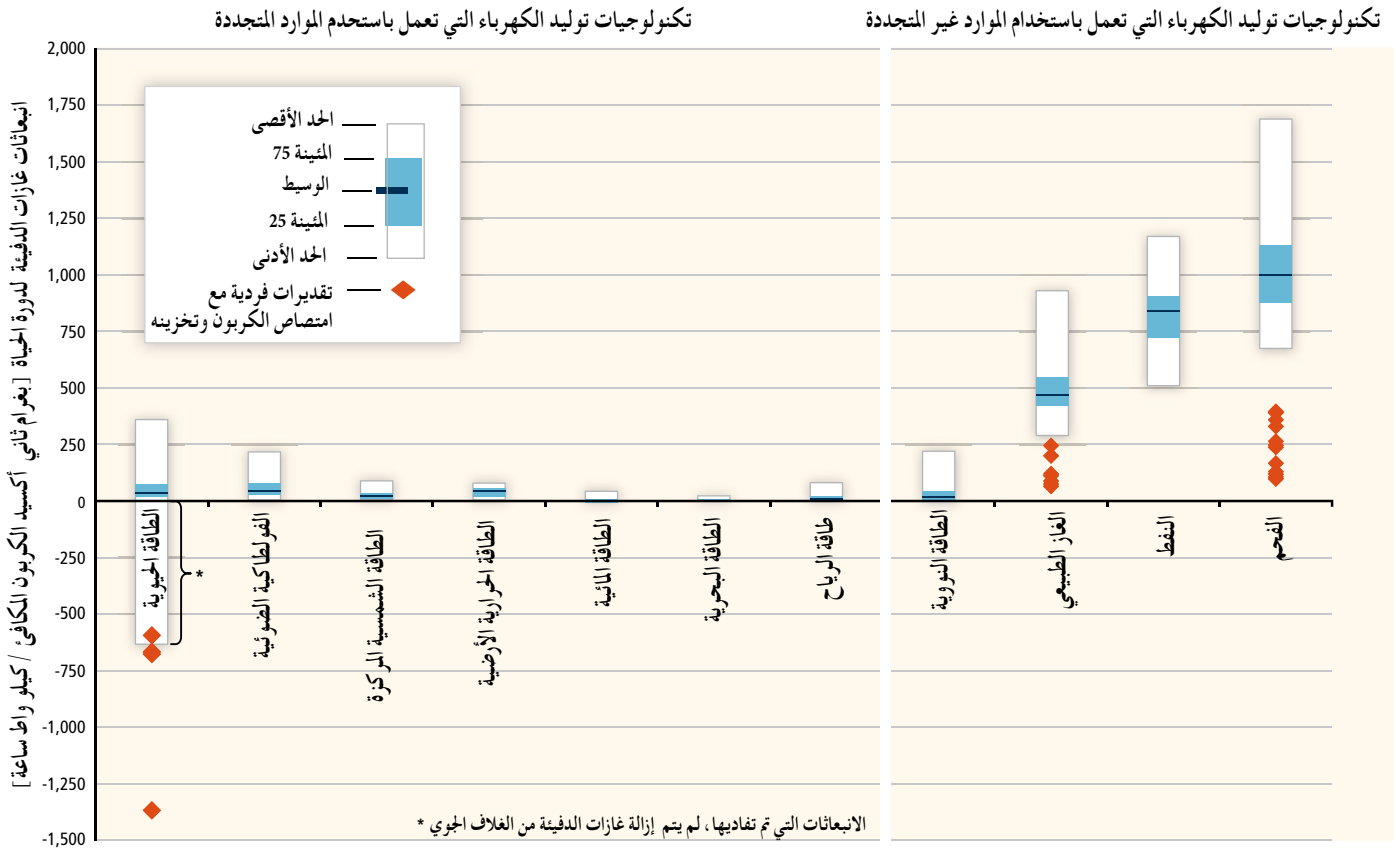
الشكل 9.3 الملخص الفني: واردات الطاقة بصفتها حصة من إجمالي استهلاك الطاقة الأولية (٪) للفحم (فحم الإنتراسيت والإغنيت) والزيت الخام والغاز الطبيعي في مجموعة مختارة من أقاليم العالم في 2008. وتشير القيم السالبة إلى المصدرين الصافين لناقلات الطاقة [الشكل 9.6]

المباشر أو غير المباشر في استخدام الأراضي أن يسهم في تقليص فائدة خفض انبعاثات غازات الدفيئة المتأتية من التحول إلى توليد الكهرباء من مصادر متجددة، إلا أنه لا ينفيها على الأرجح. [9.3.4.1]

وشهدت السنوات الأخيرة تدنياً سريعاً في مقاييس معينة مثل مقياس زمن استرداد الطاقة، الذي يصف النجاعة التكنولوجيات المتصلة بالطاقة أو الوقود، لبعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة (مثل الرياح والفلطائية الضوئية) بسبب التطورات التكنولوجية ووفورات الحجم. وتتميز تكنولوجيات الطاقة الأحفورية والنووية باحتياجاتها المستمرة من الطاقة لأغراض اشتقاق الوقود وتجهيزه، وهو ما يمكن أن تتزايد أهميته مع تدني جودة معروض الوقود التقليدي وارتفاع حصص الوقود غير التقليدي. [9.3.4.1]

وبالنسبة لتقييم انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن وقود النقل، تجرى المقارنة بين مجموعة مختارة من الوقود النفطي، والوقود الأحيائي من الجيل الأول (أي الإيثانول القائم على السكر والإيثانول القائم على النشا، والديزل الأحيائي القائم على البذور الزيتية، والديزل المنتج من المصادر المتجددة)، ومجموعة مختارة من الوقود الأحيائي من الجيل التالي المشتق من الكتلة الأحيائية الليغنوسليولوزية (أي الإيثانول والديزل القائم على عملية فيشر – تروبش) على أساس تحليل «من البئر إلى العجلات». وفي هذه المقارنة، تُستبعد انبعاثات غازات الدفيئة من آثار تغير استخدام الأراضي (المباشر وغير المباشر) وغيرها من الآثار غير المباشرة (مثل ارتداد استهلاك البترول)، ولكن ينظر فيها بصورة منفصلة أدناه. ويتميز إحلال الوقود الأحيائي محل الوقود النفطي بإمكانية الحد من انبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة التي تتصل اتصالاً مباشراً بسلسلة إمداد الوقود. وفي حين يؤدي الوقود الأحيائي من الجيل الأول إلى إمكانية طفيفة نسبياً لتخفيف أثر غازات الدفيئة (– 19 إلى 77 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ/ميغاجول بالنسبة للوقود الأحيائي من الجيل الأول مقابل 85 إلى 109 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ/ميغاجول للوقود النفطي)، فإن معظم الوقود الأحيائي من الجيل التالي (حيث تتراوح انبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة بين – 10 و38 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ/ميغاجول) يمكنه توفير مزيداً من المزايا المناخية. وتتسم تقديرات انبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة بالتقلبية وعدم اليقين سواء فيما يتعلق بالوقود الأحيائي أو الوقود النفطي، وهو ما يرجع أساساً إلى الافتراضات المتعلقة بالمعلمات الفيزيائية الأحيائية، والقضايا المنهجية، ومكان وكيفية إنتاج المواد الأولية. [9.3.4.1]

ومن الصعب تحديد انبعاثات غازات الدفيئة على مدى دورة حياتها الناتجة عن تغير استخدام الأراضي، حيث تؤثر ممارسات إدارة الأراضي وموارد الكتلة الأحيائية تأثيراً قوياً على أي مزايا للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة ومن ثم استدامة الطاقة الأحيائية. ومن شأن التغيرات التي تطرأ على استخدام الأراضي أو إدارتها، التي يسببها إنتاج الكتلة الأحيائية سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة لاستخدامها وقوداً أو طاقة أو حرارة أن تفضي إلى تغيرات في مخزونات الكربون الأرضية. ووفقاً لحالة الأراضي قبل التحويل، يمكن أن يفضي ذلك إلى انبعاثات مباشرة كبيرة، مما يستلزم



عدد التقديرات	222(+4)	124	42	8	28	10	126	125	83(+7)	24	169(+12)
عدد المراجع	52(+0)	26	13	6	11	5	49	32	36(+4)	10	50(+10)

الشكل 9.4 الملخص الفني: تقديرات دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة (غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ / كيلوواط ساعة) للفئات الواسعة لتكنولوجيات توليد الكهرباء، إضافة إلى بعض التكنولوجيات المدمجة مع امتصاص الكربون وتخزينه. وتستبعد التغيرات الصافية المتعلقة باستخدام الأراضي في آثار مخزونات الكربون (التي تنطبق أساساً على الطاقة الأحيائية والطاقة المائية المستمدة من الخزانات) وآثار إدارة الأراضي؛ وتستند التقديرات السلبية[1] للطاقة الحيوية على افتراضات بشأن الانبعاثات التي يتم تفاديها الناتجة عن النفايات والمخلفات الملقاة في مدافن القمامة والصادرة عن النواتج المختلطة. وترد المراجع والأساليب المستخدمة في الاستعراض في المرفق الثاني. ويزيد عدد التقديرات عن عدد المراجع نظراً لأن العديد من الدراسات نظرت في سيناريوهات متعددة. وتتعلق الأرقام الواردة في أقواس بالمراجع والتقديرات الإضافية التي عمدت إلى تقييم تكنولوجيات امتصاص الكربون وتخزينه. وتتعلق المعلومات التوزيعية بالتقديرات المتاحة حالياً في الدراسات عن تقييمات دورة الحياة، وليس بالضرورة بالقيم الحدية النظرية أو العملية التي تستند إليها، أو النزعة المركزية الحقيقية عند مراعاة جميع ظروف النشر. [الشكل 9.8]

ملاحظة: 1 – يشير مصطلح « التقديرات السلبية » الوارد في مصطلحات تقييمات دورة الحياة في هذا التقرير إلى الانبعاثات التي يتم تفاديها. وعلى عكس حالة الجمع بين الطاقة الحيوية وامتصاص الكربون وتخزينه، لا تسهم الانبعاثات التي يتم تفاديها في إزالة غازات الدفيئة من الغلاف الجوي.

حدوث تأخر زمني من عقود إلى قرون قبل تحقيق الوفورات الصافية، أو تحسين امتصاص الصافي للكربون في التربة أو في الكتلة الأحيائية فوق الأرض. ويتعقد تقييم آثار غازات الدفيئة الصافية للطاقة الأحيائية بسبب التحديات التي تنطوي عليها عملية رصد آثار التغير غير المباشر لاستخدام الأراضي وقياسها وعزوها، الذي يعتمد على السياق البيئي والاقتصادي والاجتماعي والسياساتي، فلا يمكن رصده بصورة مباشرة ولا عزوه بسهوله لسبب واحد. والتقديرات التوضيحية لانبعاثات غازات الدفيئة المتصلة بالتغير المباشر وغير المباشر لاستخدام الأراضي التي تنتج عن عدة مسارات للوقود الأحيائي من الجيل الأول تتيح نزعات مركزية (استناداً إلى أساليب الإبلاغ المختلفة) لفترة زمنية تمتد إلى 30 عاماً: بالنسبة للإيثانول (القمح في الاتحاد الأوروبي، والذرة في الولايات المتحدة، وقصب السكر في البرازيل) 5 إلى 82 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ / ميغاجول وللديزل (الصويا وزيت اللفت) 35 إلى 63 غرام ثاني أكسيد الكربون المكافئ / ميغاجول. [9.3.4.1]

وتشكل الآثار الناتجة عن تلوث الهواء المحلي والإقليمي فئة أخرى مهمة للتقييم، حيث تؤثر ملوثات الهواء (بما في ذلك المادة الجسيمية، وأكسيد النيترات، وثاني أكسيد الكبريت، والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية) على النطاقات العالمية [انظر الإطار 9.4] والإقليمية والمحلية. ومقارنة بتوليد الطاقة القائم على الوقود الأحفوري، تتمتع تكنولوجيات توليد الطاقة المتجددة غير القائمة على الاحتراق بإمكانية الحد بدرجة جوهرية من تلوث الهواء على المستويين الإقليمي والمحلي ومن الآثار الصحية المصاحبة له (انظر هذا القسم أدناه). غير أنه بالنسبة لوقود النقل، لم يتضح بعد أثر التبديل إلى الوقود الأحيائي على انبعاثات العوادم. [9.3.4.2]

وتشكل انبعاثات ملوثات الهواء المحلية الناتجة عن الوقود الأحفوري والكتلة الأحيائية أهم الآثار المتصلة بالطاقة على الصحة البشرية. إذ ينطوي تلوث الهواء المحيط، وكذلك التعرض لتلوث الهواء الداخلي بسبب احتراق الفحم والكتلة الأحيائية التقليدية، على آثار صحية خطيرة، وقد اعتُرف به باعتباره أحد أهم الأسباب المؤدية للمراضة والوفاة في شتى أنحاء العالم، لاسيما بالنسبة للنساء والأطفال في البلدان النامية. وفي عام 2000، على سبيل المثال، أظهرت عمليات التحديد المقارن للمخاطر الصحية أن أكثر من 1.6 مليون حالة وفاة وما يزيد على 38.5 مليون من سنوات العمر المعدلة حسب الإعاقة أمكن عزوها إلى الدخان الداخلي الناتج عن الوقود السائل. وتتضمن خيارات التخفيف، إلى جانب تبديل الوقود، تحسين مواقد الطهي والتهوية وتصميم المباني والتغير في السلوك. [9.3.4.3]

وتتعلق الآثار على المياه باستهلاك تكنولوجيات الطاقة للمياه للأغراض تشغيلية وعند المنابع وبجودة المياه. وتختلف هذه الآثار من موقع إلى آخر وينبغي النظر فيها من حيث الموارد المحلية والاحتياجات. وتعتمد تكنولوجيات الطاقة المتجددة، مثل الطاقة المائية وبعض نظم الطاقة الحيوية على سبيل المثال، على توفر المياه، ومن الممكن أن تؤدي إما إلى زيادة المنافسة أو تخفيف أثر شح المياه. وفي المناطق الشحيحة المياه، يمكن أن توفر تكنولوجيات الطاقة المتجددة غير الحرارية (مثل الرياح والخلايا الفلطائية الضوئية) كهرباء نظيفة دون أن تزيد الضغط على موارد المياه. ومن الممكن أن تستخدم تكنولوجيات الطاقة المتجددة الحرارية التي يتم تبريدها بأساليب تقليدية (مثل الطاقة الشمسية المركزة، والطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الأحيائية) كمّا من المياه خلال عملية التشغيل أكبر من تكنولوجيات المستخدمة في توليد الطاقة غير المتجددة، غير أنه من شأن تشكيلات التبريد الجاف أن تحد من هذا الأثر (الشكل 9.5 من الملخص الفني). ويمكن أن يبلغ استخدام المياه في العمليات المجراة عند المنبع مستوى مرتفع لبعض التكنولوجيات، لاسيما في اشتقاق الوقود وإنتاج المواد الأولية للكتلة الأحيائية؛ وبشمول العنصر الأخير، يمكن أن تزداد البصمة المائية الحالية لتوليد الكهرباء من الكتلة الأحيائية عن احتياجات استهلاك المياه لأغراض تشغيل محطات الطاقة الحرارية بعدة مئات من المرات. ومن الممكن أن يؤثر إنتاج المواد الأولية وعمليات التعدين ومعالجة الوقود أيضا على جودة المياه. [9.3.4.4]

وتظهر معظم التكنولوجيات احتياجات كثيرة من الأراضي عند شمول سلسلة الإمداد ككل. وفي حين تندر الدراسات عن تقديرات دورة الحياة المتعلقة باستخدام الأراضي المقسمة حسب تكنولوجيات الطاقة، تشير الأدلة المتاحة إلى أن تقسيم دورة حياة استخدام الأراضي حسب سلاسل الطاقة الأحفورية يتناسب مع استخدام الأراضي حسب مصادر الطاقة المتجددة أو يزيد عليها. وبالنسبة لمعظم مصادر الطاقة المتجددة، تتعاظم احتياجات استخدام الأراضي خلال مرحلة التشغيل. ويتمثل أحد الاستثناءات في كثافة الأراضي للطاقة الأحيائية من المواد الأولية المخصصة، التي تتسم بارتفاعها بصورة كبيرة عن أي تكنولوجيا أخرى للطاقة، وتظهر تغيرات كبيرة في ناتج الطاقة لكل هكتار للمواد الأولية والمناطق المناخية المختلفة. ويشغل عدد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة (طاقة الرياح، وطاقة الأمواج، والطاقة البحرية) مساحات شاسعة من الأراضي، غير أنها تتيح استخدامات ثانوية مثل أنشطة الزراعة وصيد الأسماك والأنشطة الترفيهية. [9.3.4.5] ويتصل باستخدام الأراضي الآثار (الخاصة بكل موقع) الواقعة على النظم البيئية والتنوع الأحيائي. وتأتي أوضح هذه الآثار، التي تحدث من خلال مسارات مختلفة، من خلال التغيير المادي المباشر للموائل على نطاق كبير، وتدهور الموائل – بشكل غير مباشر. [9.3.4.6]

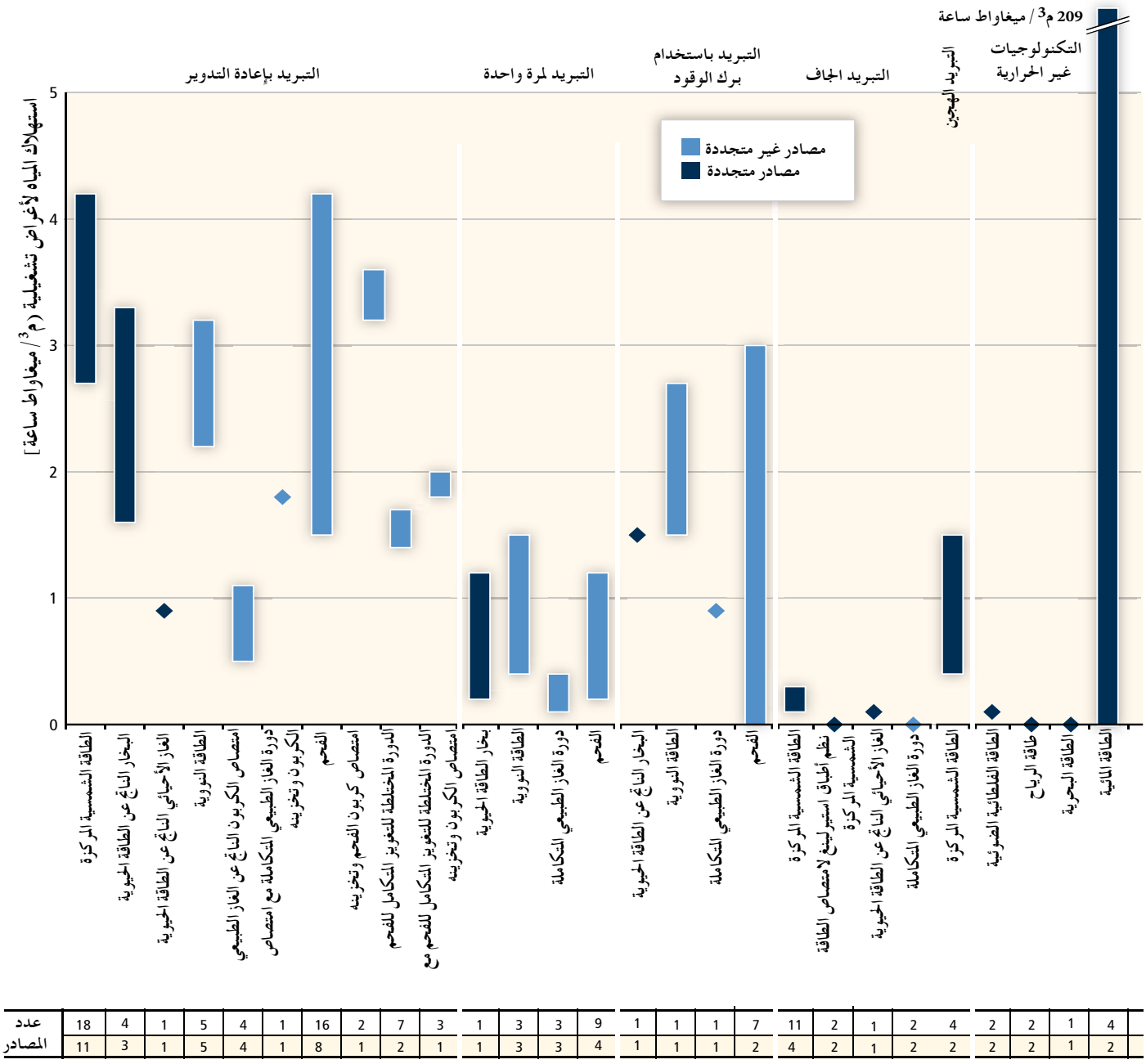
ويمثل التقييم المقارن لمخاطر الحوادث جانباً محورياً في أي تقييم شامل لجوانب أمن الطاقة وأداء الاستدامة المصاحب لنظم الطاقة الحالية والمستقبلية. فلا يتعرض المجتمع والبيئة لمخاطر تكنولوجيات الطاقة المختلفة خلال عملية التوليد الفعلي للطاقة فحسب، بل وفي جميع مراحل سلاسل الطاقة. ومخاطر التعرض للحوادث لتكنولوجيات الطاقة المتجددة لا يستهان بها، إذ تؤدي البنية اللامركزية غالباً للتكنولوجيات إلى وضع قيود شديدة على إمكانية حدوث تبعات كارثية على الأرواح. ولئن انخفضت معدلات الوفيات الناجمة عن تكنولوجيات الطاقة المتجددة بشكلٍ عام، فقد تسبب السدود المتصلة ببعض مشروعات الطاقة المائية خطراً محدداً بناء على عوامل خاصة بكل موقع. [9.3.4.7]

9.4 تأثير مسارات التنمية المستدامة على الطاقة المتجددة

بعد إجراء تحليل أكثر ثباتاً لتأثيرات نظم الطاقة المتجددة الحالية والناشئة على أهداف التنمية المستدامة الأربعة، يجري تقييم لتأثيرات التنمية المستدامة لمسارات نشر الطاقة المتجددة المستقبلية المحتملة بأسلوب أكثر دينامية ومن ثم دمج المكون الزمني المتعاقب للتنمية المستدامة. ولما كان من غير الممكن توقع التفاعل بين مسارات الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة في المستقبل بالاعتماد على تحليل جزئي لفرادى تكنولوجيات الطاقة، يرتكز النقاش على النتائج الناشئة عن دراسات السيناريو التي عادة ما تتناول حافظة البدائل التكنولوجية في إطار نظام عالمي أو إقليمي للطاقة. [9.4]

وترصد الأغلبية العظمى من النماذج المستخدمة لإنتاج السيناريوهات الخاضعة للاستعراض (انظر الفصل 10، القسم 10.2) أوجه التفاعل بين الخيارات المختلفة للإمداد بالطاقة وتحويلها واستخدامها. وتتراوح النماذج بين نماذج إقليمية موفرة للطاقة ونماذج تقييم متكاملة التي يشار إليها في هذا التقرير باسم النماذج المتكاملة. وتاريخياً، دأبت هذه النماذج على التركيز بصورة أكبر على الجوانب التكنولوجية والاقتصادية الكلية للتحولات في مجال الطاقة، وأنتجت خلال هذه العملية مقاييس مجمعة بدرجة كبيرة للتغلغل التكنولوجي أو الطاقة المولدة من مصادر إمداد معينة. وإن أهمية هذه النماذج في إنتاج سيناريوهات طويلة الأجل والمساعدة في فهم العلاقة المتداخلة بين التنمية المستدامة والطاقة المتجددة إنما تستند إلى قدرتها على مراعاة أوجه التفاعل في مجموعة واسعة من الأنشطة البشرية عبر نطاقات إقليمية وزمنية مختلفة. وتشهد النماذج المتكاملة تطورات مستمرة، بعضها سيكون بالغ الأهمية للتعبير عن شواغل الاستدامة في المستقبل، بزيادة تحليلها الزمني والمكاني على سبيل المثال، مما يسمح بتمثيل توزيع الثروة على نحو أفضل في جميع قطاعات السكان ودمج مزيد من التفاصيل في الوصف المادي لنظام الأرض. [9.4]

ويركز التقييم على ما يجب أن تتضمنه التحليلات الحالية المستندة إلى النماذج فيما يتعلق بمسارات التنمية المستدامة ودور الطاقة المتجددة، ويقيّم كيفية تحسين التحليلات المستندة إلى النماذج بغية الوصول إلى فهم أفضل لقضايا الاستدامة في المستقبل. [9.4]



عدد المصادر	18	4	1	5	4	1	16	2	7	3	1	3	3	9	1	1	1	7	11	2	1	2	4	2	2	1	4
	11	3	1	5	4	1	8	1	2	1	1	3	3	4	1	1	1	2	4	2	1	2	2	2	2	1	2

الشكل 9.5 الملخص الفني: نطاقات معدلات استهلاك المياه لأغراض تشغيلية مقسمة حسب التكنولوجيات غير الحرارية المولدة للكهرباء استناداً إلى استعراض الدراسات المتاحة (م3/ميغاواط ساعة). وترمز الأعمدة إلى نطاقات مطلقة من الدراسات المتاحة، وترمز المعينات إلى تقديرات فردية؛ ويرمز الحرف n إلى عدد التقديرات الواردة في المصادر. وترد الأساليب والمراجع المستخدمة في استعراض الدراسات هذا في المرفق الثاني. ويلاحظ أن القيم العليا للطاقة المائية تأتي من عدد قليل من الدراسات التي تقيس قيم التبخر الإجمالية، وقد لا تكون تمثيلية (انظر الإطار 5.2). [الشكل 9.14]

9.4.1 التنمية الاجتماعية والاقتصادية

عادة ما تتضمن النماذج المتكاملة منظوراً كلياً قوياً ولا تنظر في مقاييس الرفاهية المتطورة [9.2.2، 9.3.1]. فتركز، عوضاً عن ذلك، على النمو الاقتصادي، الذي لا يكفي في حد ذاته كمقياس للاستدامة، بل يمكن استخدامه مقياساً إرشادياً للرفاهية في سياق المسارات المختلفة لتحقيق الاستقرار. وعادة ما تتضمن سيناريوهات التخفيف قيداً قوياً مؤقتاً يتعلق بالاستدامة عن طريق وضع حد أقصى على انبعاثات غازات الدفيئة في المستقبل. ويؤدي ذلك إلى خسائر في الرفاهية (عادة ما تقاس باستخدام إجمالي الناتج المحلي أو الاستهلاك الممسك عنه) استناداً إلى افتراضات عن توفر تكنولوجيات التخفيف وتكاليفها. ويؤدي تحديد توفر البدائل التكنولوجية من أجل تقييد غازات الدفيئة إلى تفاقم الخسائر المتعلقة

بالرفاهية. وتبين الدراسات التي تهدف إلى إجراء تقييم محدد للآثار التي ينطوي عليها تقييد الطاقة المتجددة عند مستويات مختلفة من تثبيت تركيز غازات الدفيئة ضرورة توفر جميع تكنولوجيات الطاقة المتجددة على نطاق واسع من أجل الوصول إلى مستويات تثبيت منخفضة، وتظهر كذلك أن التوفر الكامل للتكنولوجيات منخفضة الكربون، بما فيها الطاقة المتجددة، يمثل عنصراً بالغ الأهمية للإبقاء على تكاليف التخفيف عند مستويات منخفضة نسبياً، حتى لمستويات التثبيت الأقل دقة. [9.4.1]

وفيما يتعلق بالآثار الإقليمية، تظهر تحليلات السيناريو أنه من الأرجح أن تشهد البلدان النامية أغلب التوسع في إنتاج الطاقة المتجددة. ومع عدم التغلب بعد على التحدي المتمثل في ارتفاع التكاليف المقومة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة، فإن هذه النتائج تلمح إلى إمكانية البلدان النامية على القفز متجاوزة مسارات التنمية الكثيفة الانبعاثات التي اتخذتها البلدان المتقدمة حتى الآن. وتتباين فرص التخفيف الإقليمية، على الرغم من ذلك، وفقاً للعديد من العوامل التي تشمل توفر التكنولوجيا، ولكنها تشمل أيضاً النمو السكاني والاقتصادي. وستعتمد التكاليف أيضاً على تخصيص تراخيص الانبعاثات القابلة للتداول، سواء في البداية أو بمرور الوقت، في إطار نظام عالمي لتخفيف أثر تغير المناخ. [9.4.1]

وعموماً، تشير تحليلات السيناريو إلى نفس الصلات بين الطاقة المتجددة والتخفيف والتنمية الاقتصادية في البلدان المتقدمة والنامية، سوى أن القوى عادة ما تكون أشد في البلدان غير المدرجة في المرفق الأول منها في البلدان المدرجة فيه بسبب زيادة سرعة النمو الاقتصادي المفترض ومن ثم زيادة عبء التخفيف بمرور الوقت. ومع ذلك، فإن هياكل النمذجة المستخدمة لإنتاج سيناريوهات عالمية طويلة الأجل تفترض بوجه عام حسن أداء الأسواق الاقتصادية العاملة والبنى الأساسية المؤسسية في جميع أقاليم العالم. وتستبعد أيضاً الظروف الخاصة السائدة في جميع البلدان، لاسيما في البلدان النامية حيث تتسم هذه الافتراضات بعدم ثباتها بصورة خاصة. وينبغي أن تكون هذه الأنواع من الاختلافات وما يمكن أن تخلفه من أثر على التنمية الاجتماعية والاقتصادية بين البلدان موضوعاً لبحوث نشطة في المستقبل. [9.4.1]

9.4.2 الاستفادة من الطاقة

تستند النماذج المتكاملة في كثير من الأحيان، حتى يومنا هذا، إلى معلومات البلدان المتقدمة وخبراتها وتقوم على افتراض أن نظم الطاقة القائمة في أجزاء أخرى من العالم وفي مراحل التنمية المختلفة تتصرف بالمثل. ولا ترصد النماذج عادة ديناميات مهمة أو حاسمة في البلدان النامية، على غرار اختيارات نوع الوقود والتجانس السلوكي والاقتصادات غير المنظمة. ويؤدي ذلك إلى إعاقة تقييم التفاعل بين الطاقة المتجددة وإتاحة خدمات الطاقة في المستقبل لشرائح مختلفة من السكان، بما في ذلك المهام المنزلية الأساسية، والنقل، والطاقة لأغراض التجارة، والتصنيع، والزراعة. غير أن بعض النماذج بدأت في دمج عناصر مثل النقص المحتمل في المعروض، والاقتصادات غير المنظمة، وتنوع فئات الدخل، وبدأت كذلك في زيادة التحليل التوزيعي. [9.4.2]

ولاتزال تحليلات السيناريو المتاحة تتسم بدرجة كبيرة من عدم اليقين. فبالنسبة للهند، أشارت النتائج إلى أن توزيع الدخل في المجتمع يمثل عنصراً مهما لزيادة الاستفادة من الطاقة مع نمو الدخل. وكذلك، فإن زيادة الاستفادة من الطاقة ليست مفيدة لجميع جوانب التنمية المستدامة، حيث يمكن أن يكون الانتقال نحو الطاقة الحديثة بعيداً عن الكتلة الأحيائية التقليدية مثلاً مجرد انتقال نحو الوقود الأحفوري. وبوجه عام، تسلط تحليلات السيناريو المتاحة الضوء على دور السياسات والتمويل لزيادة الاستفادة من الطاقة، حتى وإن كان الانتقال الإجباري إلى الطاقة المتجددة الذي من شأنه توفير النفاذ إلى خدمات الطاقة الحديثة يمكن أن يؤثر سلبياً على ميزانية الأسر. [9.4.2]

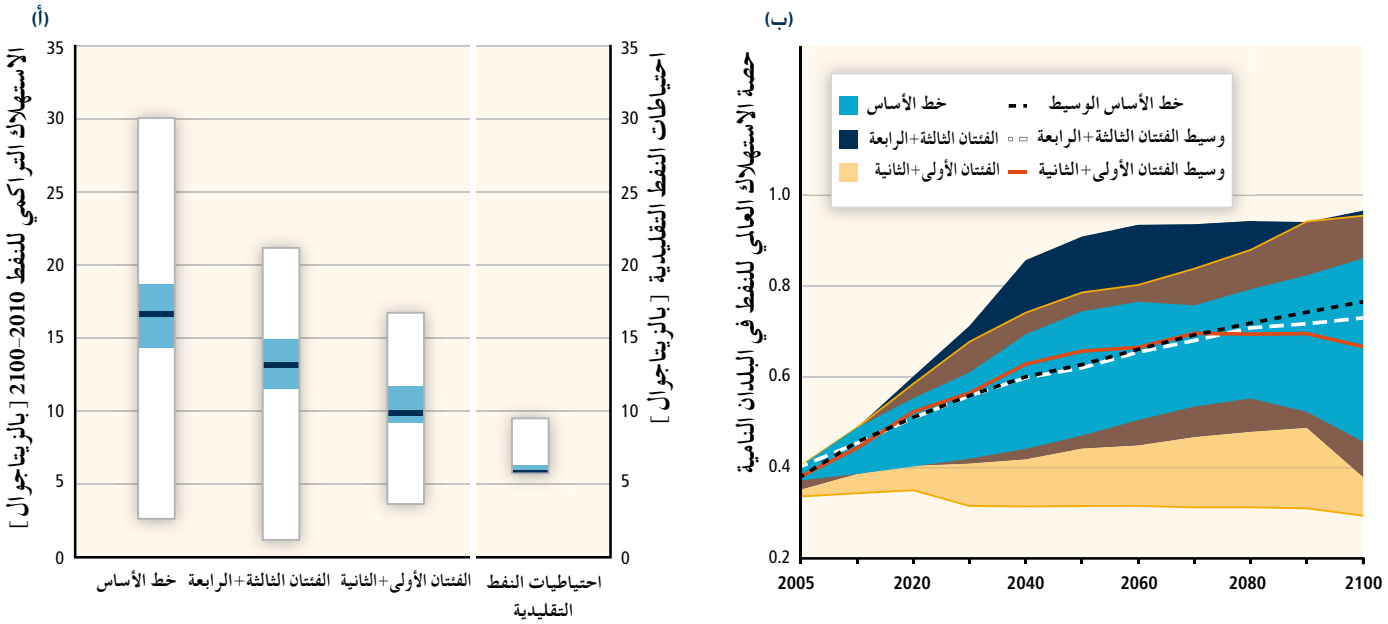
وينطوي إدخال مزيد من التحسينات على التحليل التوزيعي والجمود الهيكلي (عدم قدرة الكثير من النماذج على رصد الظواهر الاجتماعية والتغيرات الهيكلية التي يستند إليها استخدام السكان لتكنولوجيات الطاقة) على تحديات جمة. وغالبا ما يأتي أي تمثيل واضح لتبعات الطاقة على الشرائح الأفقر والنساء وبعض المجموعات الإثنية داخل البلدان، أو تلك التي تقطن في مناطق جغرافية محددة، خارج نطاق مخرجات النموذج العالمي الحالي. وينبغي أن تهدف نماذج الطاقة المستقبلية إلى توفير تمثيل أكثر وضوحا للمحددات الملائمة (مثل الوقود التقليدي، وأساليب الكهربة، وتوزيع الدخل) وربطها بتمثيلات مسارات التنمية البديلة. [9.4.2]

9.4.3 أمن الطاقة

من الممكن أن تؤثر الطاقة المتجددة على أمن الطاقة عن طريق تخفيف أثر الانشغالات المتعلقة بتوفر الموارد وتوزيعها على حد سواء، إضافة إلى تقلبية موارد الطاقة [9.2.2، 9.3.1]. وبقدر ما يعمل نشر الطاقة المتجددة في سيناريوهات التخفيف على الحد من المخاطر العامة للانقطاعات عن طريق تنويع حافظة الطاقة، فسيقل تأثر نظام الطاقة بالانقطاع (المفاجئ) في إمدادات الطاقة. ويختلف هذا الدور للطاقة المتجددة في السيناريوهات الموضوعة باختلاف شكل الطاقة. فالطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة البحرية، التي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بإنتاج الكهرباء، تتمتع بإمكانية إحلالها محل الوقود الأحفوري المتناقص في قطاعي المباني والصناعة. ويمكن أن ينزع الكربون بسهولة نسبية من توليد الكهرباء، مع تطبيق السياسات الملائمة للتخفيف من أثر الكربون. وعلى النقيض، يظل الطلب على الوقود السائل في قطاع النقل يتميز بعدم المرونة في حالة عدم تحقيق طفرة تكنولوجية. ويمكن أن تضطلع الطاقة الحيوية بدور مهم، إلا أن ذلك سيعتمد على توفر نظام امتصاص الكربون وتخزينه الذي يمكن أن يحول استخدامه نحو توليد الطاقة بامتصاص الكربون وتخزينه – مما يؤدي إلى انبعاثات كربون صافية سلبية بالنسبة للنظام وتيسير جهود التخفيف الكلية بصورة كبيرة. [9.4.1، 9.4.3]

وفي ضوء ما تقدم، فمن المرجح أن تظل شواغل أمن الطاقة التي أثيرت فيما مضى فيما يتعلق بانقطاعات إمدادات النفط ذات أهمية في المستقبل. وبالنسبة للبلدان النامية، ستكتسب المسألة أهمية أكبر مع زيادة حصص البلدان النامية في إجمالي الاستهلاك العالمي من النفط في جميع السيناريوهات المقيمة (الشكل 9.6 (ب) من الملخص الفني). ومادامت البدائل التكنولوجية للنفط مثل، الوقود الأحيائي و/أو كهربة قطاع النقل، لا تضطلع بدور مسيطر في تحليلات السيناريو، فلن تشهد معظم سيناريوهات التخفيف اختلافات مؤثرة بين سيناريو خط الأساس وسيناريو السياسات فيما يتعلق بالاستهلاك التراكمي للنفط (الشكل 9.6 (أ) من الملخص الفني) [9.4.3]

ويمكن أن يؤدي اتساع سوق الطاقة الحيوية إلى زيادة الانشغالات بشأن أمن الطاقة في المستقبل إذا اتسمت بانخفاض عدد البائعين ومن ثم أنتجت أنماط متوازية لسوق النفط الحالية. وفي مثل هذه البيئة، فإن مخاطر أسعار الأغذية يمكن ربطها بأسواق الطاقة الحيوية التي تتسم بالتقلب سيتعين تخفيفها للحيلولة دون وقوع آثار حادة على التنمية المستدامة حيث إن ارتفاع أسعار الأغذية وتقلبها من شأنه أن يعود بضرر بيّن على الفقراء. [9.4.3]



الشكل 9.6 المخلص الفني: (أ) احتياطيات النفط التقليدي مقارنة بالاستهلاك التراكمي المتوقع للنفط (زيتاجوال) من 2010 إلى 2100 في السيناريوهات التي يرد تقييمها في الفصل 10 لفئات السيناريوهات المختلفة: سيناريوهات خط الأساس، سيناريوهات الفئتين الثالثة والرابعة، وسيناريوهات مستوى التثبيت المنخفض (الفئة الأولى والثانية). ويشير الخط الأزرق الداكن إلى الوسيط، بينما يشير العمود الأزرق الخفيف إلى نطاق الأرباع (المئينة من 25 إلى 75)، أما الخط الأبيض فيشير إلى المجال الكلي لجميع السيناريوهات المستعرضة. ويبين العمود الأخير مجال احتياطيات النفط التقليدي المثبتة التي يمكن استعادتها (العمود الأزرق الخفيف) والاحتياطيات الإضافية المقدرة (العمود الأبيض المحيط). (ب) نطاق نسبة الاستهلاك العالمي من النفط في البلدان غير المدرجة في المرفق الأول لفئات سيناريوهات مختلفة بمرور الوقت، استناداً إلى السيناريوهات المقيّمة في الفصل 10. [الشكل 9.18]

ويؤدي استحداث التكنولوجيات المتغيرة للطاقة المتجددة إلى ظهور انشغالات جديدة، مثل شدة التأثر بالظواهر الطبيعية المتطرفة أو تقلبات الأسعار العالمية، التي لم تتصدى لها النماذج المتكاملة الكبيرة على نحو مرض إلى الآن. ومن المرجح أن تسهم الجهود الإضافية الرامية إلى تعزيز موثوقية النظم في زيادة التكاليف وتضمين موازنة الاحتياجات (مثل الاحتفاظ بمخزونات الطاقة)، وتصميم نظم تكميلية ومرنة لتوليد الطاقة، وتعزيز البنية الأساسية للشبكات والتوصيلات البينية، وتكنولوجيات تخزين الطاقة، والترتيبات المؤسسية المعدلة، بما في ذلك آليات التنظيم والأسواق [7.5، 8.2.1، 9.4.3].

وعادة ما تركز اعتبارات أمن الطاقة اليوم على أبرز قضايا أمن الطاقة في الذاكرة الحديثة. غير أن جوانب أمن الطاقة المستقبلية قد تتجاوز هذه القضايا فيما يتعلق مثلاً بمدخلات المواد المهمة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة. وتختفي هذه الشواغل الأوسع نطاقاً وخيارات التصدي لها، مثل إعادة التدوير، بصورة كبيرة من السيناريوهات المستقبلية لتخفيف الآثار والطاقة المتجددة. [9.4.3]

9.4.4 التخفيف من آثار تغير المناخ والآثار البيئية والصحية في السيناريوهات المستقبلية

يمكن أن يسهم إحلال الطاقة المتجددة أو التكنولوجيات المنخفضة الكربون الأخرى محل الوقود الأحفوري إسهاماً كبيراً في الحد من انبعاثات أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت. ويتضمن عدد من النماذج تمثيل صريح للعوامل، مثل التلوث الكبريتي، التي تتصل بالآثار البيئية أو الصحية. وتُظهر بعض نتائج السيناريوهات أن السياسة المناخية من شأنها أن تساعد في توجيه التحسينات في تلوث الهواء المحلي (أي المادة الجسيمية)، ولئن كانت سياسات الحد من تلوث الهواء وحدها لا توجه بالضرورة خفض انبعاثات غازات الدفيئة. ويتمثل أحد الآثار الأخرى لبعض مسارات الطاقة المحتملة في التحويل المحتمل لاستخدام الأراضي نحو دعم إنتاج الوقود الأحيائي. وأشارت نتائج السيناريوهات إلى إمكانية أن تفضي السياسة المناخية، إن لم تقترن باتخاذ تدابير أخرى على مستوى السياسات، إلى إزالة الغابات على نطاق واسع، حيث يجري تحويل استخدام الأراضي نحو المحاصيل المستخدمة في توليد الطاقة الأحيائية مما يخلف آثار سلبية محتملة على التنمية المستدامة، ومنها انبعاثات غازات الدفيئة. [9.4.4]

وللأسف، لا تتعامل دراسات السيناريو القائمة بشكل صريح مع عناصر التنمية المستدامة في مجال الطاقة، مثل استخدام المياه، وآثار اختيارات الطاقة على خدمات الأسر أو جودة الهواء الداخلي. ويمكن أن يفسَّر ذلك جزئياً عن طريق النماذج الجاري تصميمها بهدف النظر في أقاليم عالمية كبيرة نسبيا دون وجود تفاصيل عن توزيع الدخول أو التوزيع الجغرافي. وبالنسبة للتقييم الواسع النطاق للآثار البيئية على المستويين الإقليمي والمحلي، سيلزم النظر في نطاقات أضيق للآثار البيئية. وأخيراً، لا تتيح الكثير من النماذج بصورة صريحة دمج نتائج تحليلات دورة الحياة للبدائل التكنولوجية. فما هي هذه الآثار، وهل سيتم مقارنتها عبر الفئات وكيف سيكون ذلك، وهل سيمكن دمجها في السيناريوهات المستقبلية، كل هذه الأسئلة ستشكل مجالات مفيدة للبحوث في المستقبل. [9.4.4]

9.5 حواجز وفرص استخدام الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة

ينطوي السعي لاعتماد استراتيجية لنشر الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة على دراسة معظم الآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية بشكل صريح. ويمكن للتخطيط المتكامل وعمليات السياسات والتنفيذ أن تدعم ذلك عن طريق توقع الحواجز المحتملة والتغلب عليها واستغلال فرص نشر الطاقة المتجددة. [9.5]

والحواجز التي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بسياق التنمية المستدامة والتي يمكن إما أن تعيق نشر الطاقة المتجددة أو تؤدي إلى مبادلات مع معايير التنمية المستدامة إنما ترتبط بالحواجز الاجتماعية الثقافية، وحواجز المعلومات والوعي، والحواجز السوقية والاقتصادية. [9.5.1]

وتنشأ الحواجز أو الشواغل الاجتماعية الثقافية من مصادر مختلفة وترتبط ارتباطاً جوهرياً بالقيم والمعايير الاجتماعية والشخصية. فتؤثر هذه القيم والمعايير على النظرة إلى تكنولوجيات الطاقة المتجددة وتقبلها، وعلى الآثار المحتملة لنشرها التي يمكن أن يحدثها الأفراد والمجموعات والمجتمعات. ومن منظور التنمية المستدامة، قد تنشأ الحواجز من عدم إيلاء الاهتمام الكافي لهذه الشواغل الاجتماعية الثقافية، التي تتضمن الحواجز المتصلة بالسلوك؛ والموائل الطبيعية والمواقع الطبيعية ومواقع التراث البشري، بما في ذلك الآثار الواقعة على التنوع الأحيائي والنظم البيئية؛ والجماليات الطبيعية؛ واستخدام المياه/الأراضي وحقوق استخدام المياه/الأراضي وتوفرها لاستخدامات متنافسة. [9.5.1.1]

ويمثل الوعي والقبول العام عنصرين مهمين في الحاجة إلى زيادة نشر الطاقة المتجددة بوتيرة سريعة وعلى نطاق كبير للمساعدة في تحقيق أهداف تخفيف آثار تغير المناخ. ولا ينجح التنفيذ على نطاق واسع إلا عندما يلاقي فهماً ودعماً من الجمهور العام. وقد يتطلب ذلك تكريس جهود للاتصال فيما يتعلق بالإنجازات والفرص المتصلة بتطبيقات أوسع نطاقاً. غير أنه في الوقت ذاته، فإن المشاركة العامة في تخطيط القرارات إلى جانب اعتبارات الإنصاف والعدالة في توزيع الفوائد والتكاليف المقترنة بنشر الطاقة المتجددة تؤدي دوراً على نفس الدرجة من الأهمية ولا يمكن تجاهلها. [9.5.1.1]

وفي البلدان النامية، يتبدى نقص المهارات الفنية والتجارية وغياب نظم الدعم التقني بصورة خاصة في قطاع الطاقة، حيث يشكل الوعي بخيارات الطاقة المتجددة المتاحة والملائمة، ونشر المعلومات عنها، بين المستهلكين المحتملين أحد المحددات الرئيسية للاستيعاب وإنشاء الأسواق. وغالباً ما ينظر إلى هذه الفجوة في الوعي على أنها العامل المهم الوحيد الذي يؤثر على نشر الطاقة المتجددة وتصميم المشروعات الصغيرة والمتوسطة التي تسهم في النمو الاقتصادي. وإضافة إلى ذلك، ثمة ضرورة للتركيز على قدرة القطاع الخاص على تصميم تكنولوجيات الطاقة المتجددة وتنفيذها ونشرها، وهو ما يتضمن زيادة القدرات الفنية والتجارية على المستوى الجزئي أو مستوى الشركات. [9.5.1.2]

وتحرك العواطف والاعتبارات النفسية المواقف المتخذة حيال الطاقة المتجددة وكذلك الجوانب العقلانية. وينبغي أن يراعى هذا الأمر في نشر الطاقة المتجددة وجهود واستراتيجيات نشر المعلومات والوعي من أجل تحقيق النجاح. [9.5.1.2]

ولتقييم اقتصاديات الطاقة المتجددة في سياق التنمية المستدامة، ينبغي أن يُنظر بوضوح في التكاليف والفوائد الاجتماعية لها. فينبغي أن تقيّم الطاقة المتجددة على أساس المعايير القابلة للتحديد الموجهة نحو فعالية التكلفة، والملاءمة الإقليمية، والتبعات البيئية والتوزيعية. ويمثل حجم الشبكة وتكنولوجياتها محدداً رئيسياً للجدوى الاقتصادية للطاقة المتجددة وتنافسيتها مقارنة بالطاقة غير المتجددة. وغالباً ما تتوفر تكنولوجيات الطاقة المتجددة الملائمة التي تتميز بجدواها الاقتصادية لأغراض زيادة الاستفادة من الطاقة خارج نطاق الشبكات الريفية، لاسيما التطبيقات خارج نطاق الشبكات الأصغر حجماً وتطبيقات الشبكات الصغيرة. [9.5.1.3]

وفي الحالات التي يكون فيها لنشر الطاقة المتجددة جدوى اقتصادية، فقد تؤثر حواجز اقتصادية ومالية أخرى على نشرها. ويأتي ارتفاع التكاليف المقدمة للمشروعات، بما فيها ارتفاع تكاليف التركيب وتوصيل الشبكات، مثالاً على الحواجز المتكررة أمام نشر الطاقة المتجددة. وفي البلدان النامية، ثمة ضرورة لتصميم الدعم على مستوى السياسات وريادة الأعمال إلى جانب نشر الطاقة المتجددة لتشجيع النمو الاقتصادي والتنمية المستدامة، وحفز الاقتصادات النقدية الريفية وتلك المتاخمة للمدن. ويؤثر نقص البيانات الكافية عن إمكانيات الموارد تأثيراً مباشراً على عدم اليقين الذي يكتنف توفر الموارد، وهو ما يمكن أن يُترجم إلى زيادة علاوات المخاطر للمستثمرين ومطوري المشروعات. وكثيراً ما يؤدي استدخال المؤثرات الخارجية البيئية والاجتماعية إلى حدوث تغيرات في ترتيب مصادر وتكنولوجيات الطاقة المختلفة، مع استخلاص دروس مهمة لأغراض تحقيق أهداف التنمية المستدامة وإستراتيجياتها. [9.5.1.3]

ومن شأن إعداد إستراتيجيات للتنمية المستدامة على المستويات الإقليمية والوطنية والمحلية إلى جانب إعداد إستراتيجيات في الميدانين الخاص وغير الحكومي للمجتمع أن يسهم في إسقاط الحواجز وإنشاء الفرص لنشر الطاقة المتجددة عن طريق الدمج بين سياسات الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة وممارساتهما. [9.5.2]

ويوفر دمج سياسة الطاقة المتجددة في الإستراتيجيات الوطنية والمحلية للتنمية المستدامة (التي اعتُرف بها اعترافاً صريحاً في مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة لعام 2002) إطار عمل للبلدان من أجل اختيار إستراتيجيات ناجعة للتنمية المستدامة والطاقة المتجددة ومواءمتها مع تدابير السياسات الدولية. وتحقيقا لهذا الغرض، ينبغي أن تتضمن الإستراتيجيات الوطنية إلغاء الآليات المالية القائمة التي تتعارض مع التنمية المستدامة. فعلى سبيل المثال، قد ينطوي إلغاء الدعم على الوقود الأحفوري على إمكانية فتح فرص لتوسيع استخدام الطاقة المتجددة أو حتى دخول الأسواق، ولكن ينبغي لأي إصلاح في نظام الدعم نحو استخدام تكنولوجيات الطاقة المتجددة أن يعمل على تلبية الاحتياجات المحددة للفقراء وتحليل كل حالة على حدة. [9.5.2.1]

ويعتبر إنشاء آلية التنمية النظيفة في إطار بروتوكول كيوتو مثالاً عملياً على آلية للتنمية المستدامة تعنى بإدماج المؤثرات الخارجية البيئية والاجتماعية. غير أنه لا يوجد معايير دولية لتقييم الاستدامة (بما في ذلك مؤشرات التنمية

المستدامة القابلة للمقارنة) للتصدي لمواطن الضعف في النظام القائم فيما يتعلق بالموافقة على الاستدامة. وتم الإدلاء بالكثير من الاقتراحات، من قبيل المساهمة في المفاوضات المتعلقة بالنظام المناخي فيما بعد 2012، حول كيفية إصلاح آلية التنمية النظيفة لتصميم آليات جديدة ومحسنة للتنمية المستدامة. [9.5.2.1]

ومن الممكن تناول الفرص المتاحة أمام الطاقة المتجددة لتضطلع بدور في الإستراتيجيات الوطنية للتنمية المستدامة عن طريق دمج أهداف التنمية المستدامة والطاقة المتجددة في سياسات التنمية وتصميم إستراتيجيات قطاعية للطاقة المتجددة تسهم في تحقيق أهداف النمو الأخضر وخفض الكربون والتنمية المستدامة بما في ذلك تحقيق قفزات سريعة. [9.5.2.1]

وعلى المستوى المحلي، فمن شأن مبادرات التنمية المستدامة التي تتخذها المدن والحكومات المحلية والمنظمات الخاصة وغير الحكومية أن تقود التغيير وأن تسهم في التغلب على مقاومة المجتمعات المحلية للتركيبات الخاصة بتكنولوجيات الطاقة المتجددة. [9.5.2.2]

9.6 الموجز التجميعي وفجوات المعرفة واحتياجات البحوث المستقبلية

من شأن الطاقة المتجددة أن تسهم في تحقيق التنمية المستدامة وبلوغ الأهداف الأربعة المقيّمة بدرجات متفاوتة. فقد تبدو الفوائد المتعلقة بالحد من الآثار البيئية والصحية أكثر وضوحاً، غير أن المساهمة الدقيقة في التنمية الاجتماعية والاقتصادية، على سبيل المثال، تبدو أكثر غموضاً. وكذلك، قد ترتب البلدان أولويات التنمية المستدامة وفقاً لمستوى التنمية الذي تمر به. غير أن هناك ترابط قوي بين أهداف التنمية المستدامة هذه إلى حد ما. فيشكل التخفيف من آثار تغير المناخ في حد ذاته شرطاً مسبقاً لتحقيق تنمية اجتماعية واقتصادية ناجحة في كثير من البلدان النامية. [9.6.6]

ومن هذا المنطلق، يمكن تقييم التخفيف من آثار تغير المناخ في إطار نموذج التنمية المستدامة القوية، في حالة فرض أهداف التخفيف قيوداً على مسارات التنمية في المستقبل. وفي حالة موازنة تخفيف آثار تغير المناخ مقابل النمو الاقتصادي أو غيره من المعايير الاجتماعية الاقتصادية، تدخل المشكلة في إطار نموذج التنمية المستدامة الضعيفة التي تسمح بإجراء مبادلات بين هذه الأهداف واستخدام تحليلات التكاليف والفوائد لتوفير الإرشاد في عملية تحديد الأولويات. [9.6.6]

ومع ذلك، فإن انتشار عدم اليقين والجهل كمكونات أساسية لأي مسار إنمائي، إضافة إلى احتمال ارتفاع تكاليف الفرصة البديلة المصاحبة إلى «مستويات غير مقبولة»، سيفرض إجراء تعديلات مستمرة. وفي المستقبل، قد تكون النماذج المتكاملة في وضع مؤات لتحسين ربط نماذج التنمية المستدامة الضعيفة والقوية بعمليات صنع القرار. ويمكن للنماذج المتكاملة، داخل إطار جيد التحديد، أن تستكشف سيناريوهات مسارات التخفيف المختلفة، مع مراعاة أهداف التنمية المستدامة المتبقية بتضمين المؤشرات التصاعدية المهمة وذات الصلة. ووفقاً لنوع النموذج، يمكن الوصول بمسارات التنمية البديلة هذه إلى المستوى الأمثل لتحقيق نتائج مفيدة اجتماعياً. وبالمثل، فسيمثل دمج بيانات تقييمات دورة الحياة ذات الصلة بانبعاثات غازات الدفيئة أمراً ضرورياً لتحديد مستويات تثبيت ملائمة لتركيز غازات الدفيئة بصورة واضحة في المقام الأول. [9.6.6]

ومن الضروري دمج رؤى العلوم الاجتماعية والطبيعية والاقتصادية بصورة أوثق (من خلال نُهُج تحليل المخاطر على سبيل المثال)، بما يعكس الأبعاد المختلفة للاستدامة (لاسيما الأبعاد الزمنية والمكانية وعبر الأجيال)، وذلك لتحسين المعرفة بشأن العلاقات المتداخلة بين التنمية المستدامة والطاقة المتجددة والتوصل إلى إجابات على السؤال المتعلق بتحولات نظام الطاقة التي تتسم بالنجاعة والكفاءة الاقتصادية والقبول الاجتماعي. ويقتصر الأساس المعرفي إلى حد الآن على وجهات نظر ضيقة جداً من فروع بحوث بعينها لا تراعي بما فيه الكفاية الجوانب المعقدة لهذا الموضوع. [9.7]

10 إمكانيات التخفيف وتكاليفه

10.1 مقدمة

تعتمد التقديرات المستقبلية بشأن انبعاثات غازات الدفيئة اعتماداً كبيراً على تطور عدة متغيرات، بما في ذلك، من بين أمور أخرى، النمو الاقتصادي وتزايد السكان والطلب على الطاقة وموارد الطاقة وتكاليف وأداء توفير الطاقة وتكنولوجيا الاستخدام النهائي. بالإضافة إلى ذلك ستؤثر مستقبلاً هياكل سياسات التخفيف وعدم التخفيف في نشر تكنولوجيات التخفيف، وبالتالي فإنها ستؤثر على انبعاثات غازات الدفيئة والقدرة على تحقيق الأهداف المناخية. وأثناء تحديد دور الطاقات المتجددة في التخفيف من تغير المناخ، لا ينبغي بحث هذه العوامل جميعها في آن واحد فحسب [انظر الشكل 1.14]، إذ لا يمكن اليوم أن نعرف بالتحديد في أي اتجاه ستتطور هذه العوامل الرئيسية المختلفة بعد عقود من الزمن. [10.1]

إن المسائل المتعلقة بالدور الذي يمكن أن تقوم به مصادر الطاقة المتجددة وإمكانية مساهمتها في وضع مسارات للتخفيف من غازات الدفيئة تحتاج إلى دراسة ضمن سياق أوسع. ويعرض الفصل 10 مثل هذه المسارات باستعراض 164 سيناريو من المدى المتوسط إلى المدى البعيد على أساس نماذج متكاملة على نطاق واسع. ويستكشف الاستعراض الشامل مجموعة من مستويات الانتشار العالمي للطاقات المتجددة التي انبثقت عن السيناريوهات حديثة النشر، كما يحدد عدة عوامل رئيسية وراء تقلبية السيناريوهات (لاحظ أن هذا الفصل يعتمد بشكل خاص على السيناريوهات المنشورة حالياً ولا يطرح أي سيناريوهات جديدة)، وذلك على مستوى الطاقات المتجددة بشكل عام وأيضاً في سياق تكنولوجيات الطاقة المتجددة بصورة فردية. وتبرز المراجعة أهمية العلاقات التفاعلية والمنافسة مع باقي التكنولوجيات وكذلك تطور الطلب على الطاقة بشكل أوسع. [10.2]

ويجري استكمال هذا الاستعراض على نطاق واسع بمناقشة أكثر تفصيلاً حول نشر الطاقات المتجددة في المستقبل، باستخدام أربعة سيناريوهات من أصل 164 سيناريو كأمثلة توضيحية. وتشمل السيناريوهات المختارة مجموعة من الآفاق المتوقعة بشأن خصائص الطاقات المتجددة، وترتكز على منهجيات مختلفة كما تغطي مستويات مختلفة لتثبيت تركيزات غازات الدفيئة. ويتيح هذا الأسلوب مستوى آخر يعرض تفاصيل استكشاف دور الطاقات المتجددة في التخفيف من تغير المناخ كما يميز بين التطبيقات المختلفة (توليد الكهرباء والتدفئة والتبريد والنقل) والمناطق. [10.3]

ونظراً لأن عوامل التكلفة تحدد بشكل كبير الدور الذي تضطلع به الطاقات المتجددة، تتاح مناقشة أشمل بشأن منحنيات وجوانب التكلفة. وتبدأ هذه المناقشة بحصر جوانب القوة وأوجه النقص في منحنيات الإمدادات الخاصة بالطاقات المتجددة والتخفيف من غازات الدفيئة، وبالتالي تستعرض الدراسات الحالية بشأن منحنيات الإمدادات الإقليمية في مجال الطاقات

المتجددة، بالإضافة إلى منحنيات خفض التكلفة طالما أنها ذات صلة بمسائل التخفيف باستخدام مصادر الطاقات المتجددة. [10.4]

وتجري بعد ذلك معالجة موضوع تكاليف تسويق ونشر الطاقات المتجددة. ويستعرض هذا الفصل التكاليف الحالية لتكنولوجيا الطاقات المتجددة إلى جانب التوقعات بشأن كيفية تطور هذه التكاليف في المستقبل. ولإتاحة تقييم لحجم السوق واحتياجات الاستثمار في المستقبل، وعلى أساس نتائج السيناريوهات التوضيحية الأربعة، تخضع الاستثمارات في الطاقات المتجددة للمناقشة لاسيما بالنسبة لما يلزم توفيره لتحقيق أهداف طموحة في مجال حماية البيئة. [10.5]

إن التدابير الاقتصادية القياسية لا تغطي قائمة التكاليف برمتها. لذا يجري توليف ومناقشة التكاليف والمنافع الاجتماعية والبيئية لزيادة نشر الطاقات المتجددة وعلاقاتها بالتخفيف من تغير المناخ وبالتنمية المستدامة. [10.6]

10.2 الموجز التجميعي لسيناريوهات التخفيف لإستراتيجيات مختلفة في مجال الطاقة المتجددة

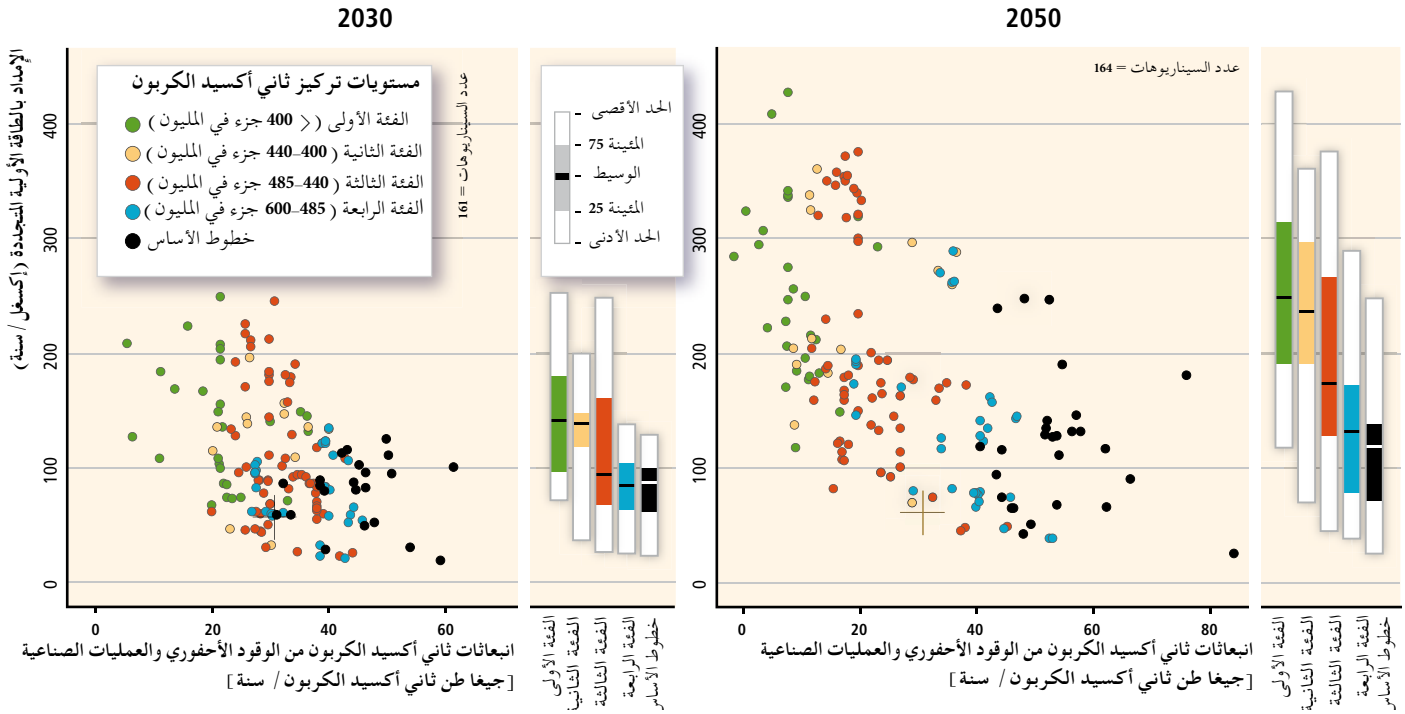
هناك عدد متزايد من الدراسات التحليلية للسيناريوهات المتكاملة يمكن أن تقدم أفكاراً ذات صلة بشأن المساهمة الممكنة للطاقة المتجددة في إمدادات الطاقة والتخفيف من تغير المناخ في المستقبل. ومن أجل وضع سياق واسع لفهم دور الطاقات المتجددة في التخفيف من تغير المناخ وتأثير الطاقات المتجددة على تكاليف التخفيف، تم استعراض 164 سيناريو في الأجلين المتوسط والبعيد من 16 نموذجاً عالمياً لاقتصاد الطاقة والتقييم المتكامل. وقد جُمعت السيناريوهات من خلال دعوة مفتوحة. وتشمل السيناريوهات مجموعة واسعة من تركيزات ثاني أكسيد الكربون (من 350 إلى 1050 جزءاً في المليون من تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بحلول 2100) وتمثل سيناريوهات التخفيف وسيناريوهات خطوط الأساس. [10.2.2.1]

بالرغم من أن هذه السيناريوهات تمثل أحدث الأفكار المتشعبة في مجال التخفيف من آثار تغير المناخ ودور الطاقة المتجددة من الأجل المتوسط إلى الأجل الطويل، ينبغي تأويلها بدقة وحذر، كما هو الشأن بالنسبة لأي تحليل يستشرف عقوداً من الزمن في المستقبل. لقد وضعت جميع السيناريوهات باستعمال النمذجة الكمية، لكن هناك تقلب كبير في تفاصيل وبنية النماذج المستعملة لوضع هذه السيناريوهات. هذا بالإضافة إلى أن السيناريوهات لا تمثل عينة عشوائية من بين سيناريوهات ممكنة قد تصلح لإجراء تحليل رسمي لعدم اليقين. وقد قدمت فرق معنية بالنمذجة سيناريوهات أكثر من غيرها. وفي تحليلات مجموع السيناريوهات على أساس جمع السيناريوهات من مختلف الدراسات، كالاستعراض الحالي، هناك تضارب لا مناص منه بين حقيقة أن السيناريوهات ليست بالتأكيد عينة عشوائية وبين إدراك أن اختلاف السيناريوهات يحمل نظرة متعمقة فعلية وواضحة في غالب الأحيان في معارفنا بشأن المستقبل، أو افتقارنا لهذه المعارف. [10.2.2.1، 10.2.2.1]

والسؤال الأساسي المتعلق بدور الطاقة المتجددة في التخفيف من آثار تغير المناخ هو: إلى أي مدى ترتبط مستويات نشر الطاقات المتجددة بتركيز ثاني أكسيد الكربون بعيد المدى في الغلاف الجوي، أو بالأهداف المناخية ذات الصلة. وتشير السيناريوهات إلى أنه بالرغم من وجود ترابط قوي بين أهداف مسارات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري والصناعي وأهداف تركيز ثاني أكسيد الكربون طويل الأجل في جميع السيناريوهات، فإن العلاقة بين أهداف نشر الطاقات المتجددة وتلك المتصلة بتركيز ثاني أكسيد الكربون أقل قوة بكثير (الشكل 10.1 بالملخص الفني). إن نشر مصادر الطاقة المتجددة يتزايد بشكل عام مع صرامة هدف تركيز ثاني أكسيد الكربون، لكن هناك اختلافا كبيرا فيما بين مستويات نشر الطاقات المتجددة بالنسبة لأي هدف محدد من أهداف تركيز ثاني أكسيد الكربون. وعلى سبيل المثال، في السيناريوهات التي تثبت تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند مستوى أقل من 440 جزء في المليون (الفئتان الأولى والثانية)، المستويات المتوسطة لنشر الطاقات المتجددة هي 139 إكسغل/سنوياً في 2030 و 248 إكسغل/سنوياً في 2050، وتصل أعلى المستويات إلى 252 إكسغل/سنوياً في 2030 وإلى 428 إكسغل/سنوياً في 2050. وتعد هذه المستويات أعلى بكثير من مستويات نشر الطاقات المتجددة في سيناريوهات خطوط الأساس المماثلة، بالرغم من ضرورة الاعتراف بأن نطاق نشر الطاقات المتجددة في كل فئة من فئات تثبيت ثاني أكسيد الكربون يعتبر نطاقاً واسعاً. [10.2.2.2]

ومن المهم أيضاً في ذات الوقت أن نلاحظ أنه بالرغم من وجود الاختلاف، فالأحجام المطلقة لنشر الطاقات المتجددة أعلى بكثير من الأحجام الحالية في الأغلبية الساحقة من السيناريوهات. في 2008، ظلت الإمدادات العالمية من الطاقة المتجددة الأولية ثابتة في بديل مكافئ مباشر عند حوالي 64 إكسغل/سنوياً. والقدر الأكبر من هذه الإمدادات، أي حوالي 30 إكسغل/سنوياً، من الكتلة الأحيائية التقليدية. وفي المقابل، وبحلول عام 2030، تشير عدة سيناريوهات إلى تضاعف نشر الطاقات المتجددة أو أكثر مقارنة بما هي عليه اليوم، وسيرافق ذلك، حسب معظم السيناريوهات، انخفاض في الكتلة الإحيائية التقليدية، مما يعني زيادة مهمة في مصادر الطاقة المتجددة غير التقليدية. وبحلول عام 2050 ستفوق مستويات نشر الطاقة المتجددة في أغلب السيناريوهات 100 إكسغل/سنوياً (المتوسط عند مستوى 173 إكسغل/سنوياً)، حيث تصل إلى 200 إكسغل/سنوياً في العديد من السيناريوهات وإلى أكثر من 400 إكسغل/سنوياً في بعض الحالات. ونظراً لأن استخدام الكتلة الإحيائية التقليدية يتضاءل في معظم السيناريوهات، فإن السيناريوهات تبين زيادة في إنتاج الطاقة المتجددة (باستثناء الكتلة الإحيائية التقليدية) في أي منها من ثلاثة إلى أكثر من عشرة أضعاف تقريباً. وأكثر من نصف السيناريوهات يبيّن أن مساهمة الطاقة المتجددة بحصة تفوق 17 ٪ من إمدادات الطاقة الأولية في 2030، وزيادة بنسبة تتجاوز 27 ٪ في 2050. أما السيناريوهات ذات أعلى حصة من مساهمة الطاقة المتجددة فتشير إلى حوالي 43 ٪ في 2030 و77 ٪ في 2050، بل ترتفع نسب النشر إلى أعلى من هذا المستوى بعد 2050. وهذا يعني زيادة هائلة في إنتاج الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة. [10.2.2.2]

إن نشر الطاقة المتجددة يسير في الحقيقة على نطاق واسع حسب العديد من سيناريوهات خطوط الأساس دون اعتبار مستوى تثبيت تركيز غازات الدفيئة. وتشير التقديرات إلى أنه بحلول عام 2030 يتوقع أن تصل مستويات نشر الطاقة المتجددة إلى حوالي 120 إكسغل/سنوياً، وتصل إلى مستويات تتجاوز 100 إكسغل/سنوياً في 2050 وفقاً لعدة سيناريوهات خطوط الأساس، وفي بعض الحالات إلى 250 إكسغل/سنوياً. إن هذا الانتشار الواسع للطاقة المتجددة وفقاً لسيناريوهات خطوط الأساس هو نتيجة مجموعة من الافتراضات الضمنية الواردة في السيناريوهات، وعلى سبيل المثال، افتراض أن استهلاك الطاقة سيستمر في الارتفاع بشكل كبير طيلة هذا القرن، والافتراضات بشأن قدرة الطاقة المتجددة على المساهمة في زيادة نسبة الوصول إلى الطاقة، والافتراضات بشأن إتاحة موارد الطاقة الأحفورية، وافتراضات أخرى (كتحسين تكاليف وأداء تكنولوجيا الطاقة المتجددة) ستجعل تكنولوجيا الطاقة المتجددة أكثر تنافسية في عدة تطبيقات حتى في غياب سياسة مناخية. [10.2.2.2]



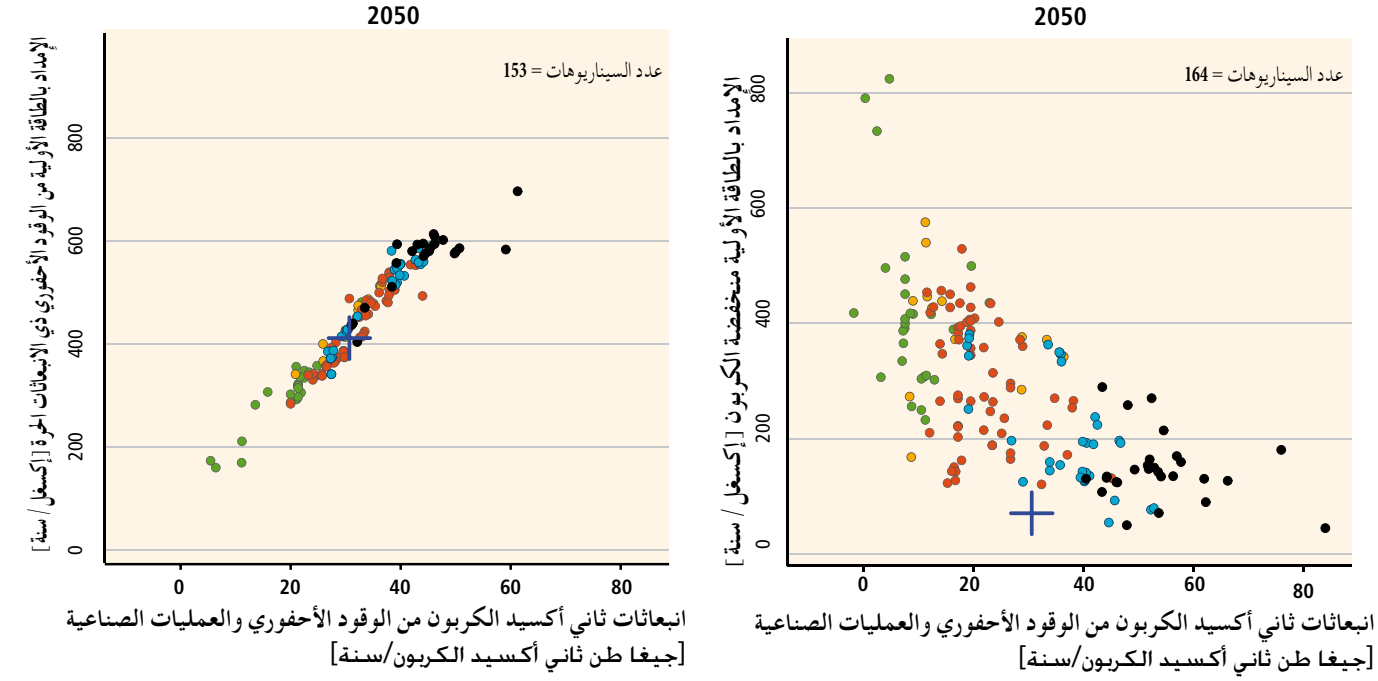
الشكل 10.1 الملخص الفني: الإمداد العالمي للطاقة الأولية من الطاقات المتجددة (المكافئ المباشر) من 164 سيناريو في الأجل الطويل كوظيفة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفورية والصناعية في 2030 و2050. ويعتمد الترميز الملون على فئات مستوى تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في سنة 2100. اللوحات على اليمين بنقاط متناثرة تبين انتشار مستويات الطاقات المتجددة في كل فئة من فئات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. الخط الأسود السميك يشير إلى الفئة المتوسطة، والخانة الملونة إلى مجموعة الشرائح الربعية (المئينة 25 والمئينة 75) والجزء الأخير من الخطوط البيضاء يشير إلى المجموعة برمتها في كافة السيناريوهات المراجعة. والخطوط الزرقاء المتقاطعة تبين العلاقة في سنة 2007. ومعاملات بيرسن للترابط بالنسبة لمجموعتي البيانات هي – 0,40 (2030) و– 0,55 (2050). ولأسباب تتعلق بنقل البيانات، فإن نتائج 2030 المبينة هنا لا تضم سوى 161 سيناريو، في مقابل المجموعة الكاملة التي تضم 164 سيناريو. مستويات نشر الطاقات المتجددة دون مستويات اليوم هي نتيجة للمخرجات النموذجية وكذلك الاختلافات في الإبلاغ عن الكتلة الحيوية التقليدية. [الشكل 10.2]

إن أوجه عدم اليقين بشأن دور الطاقة المتجددة في التخفيف من آثار تغير المناخ يرجع إلى عدم التيقن بشأن عدد من القوى الهامة التي تؤثر في نشر الطاقة المتجددة. ويتمثل عاملان هامان في تزايد الطلب على الطاقة والمنافسة مع خيارات أخرى للتخفيض من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الطاقة النووية والطاقة الأحفورية بالدرجة الأولى، مع امتصاص الكربون وتخزينه). إن تحقيق الأهداف المناخية طويلة الأمد يستدعي تخفيضاً في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الطاقة أو عن مصادر ذات صلة بالأنشطة البشرية. ولتحقيق أي هدف في مجال تغير المناخ، فإن هذا التخفيض محدد بشكل جيد نسبياً. وهناك علاقة وثيقة بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفورية والصناعية وانتشار الطاقة الأحفورية حرة الانبعاثات في جميع السيناريوهات (الشكل 10.2 من الملخص الفني). إن الطلب على الطاقة منخفضة الكربون (بما فيها الطاقة المتجددة والطاقة النووية والطاقة الأحفورية مع امتصاص الكربون وتخزينه) هو ببساطة الفرق بين مجموع الطلب على الطاقة الأولية وبين الطاقة الأحفورية ذات الانبعاثات الحرة، وهذا يعني أن أي طاقة لا يمكن توفيرها بواسطة الطاقة الأحفورية ذات الانبعاثات الحرة بسبب القيود المناخية التي ينبغي توفيرها إما بواسطة طاقة منخفضة الكربون أو بتدابير للحد من استهلاك الطاقة. ومع ذلك فإن السيناريوهات تشير إلى أوجه عدم يقين كثيرة للغاية بخصوص تزايد الطلب على الطاقة، وخاصة بالنسبة لعدة عقود في المستقبل. وهذا الاختلاف أكبر بكثير بشكل عام من آثار التخفيف من استهلاك الطاقة. لذا هناك تقلبية جوهرية للطاقة منخفضة الكربون بالنسبة لأي هدف يتعلق بتركيز ثاني أكسيد الكربون، وذلك بسبب تقلبية الطلب على الطاقة (الشكل 10.2 بالملخص الفني). [10.2.2.3]

ومن شأن المنافسة بين الطاقة المتجددة والطاقة النووية والطاقة الأحفورية مع امتصاص الكربون وتخزينه أن تضيف مستوى آخر من التقلبية في العلاقة بين نشر الطاقة المتجددة وهدف تركيز ثاني أكسيد الكربون. وهناك أوجه عدم اليقين أيضاً بشأن تكلفة وأداء وتوافر الخيارات المتنافسة لجانب الإمدادات – الطاقة النووية والطاقة الأحفورية مع امتصاص الكربون وتخزينه. وفي حال تقييد خيار نشر هذه التكنولوجيات الأخرى المخففة لآثار تغير المناخ من جانب العرض – بسبب التكلفة والأداء، وأيضاً لاحتمال وجود عوائق بيئية أو اجتماعية أو تتعلق بالأمن الوطني – سترتفع مستويات نشر الطاقة المتجددة، إن كانت جميع الأشياء متساوية (الشكل 10.3 بالملخص الفني) [10.2.2.4]

هناك تباين كبير في خصائص نشر كل تكنولوجيا من تكنولوجيات للطاقة المتجددة. إذ تتباين النطاقات المطلقة للنشر تبايناً واسعاً فيما بين التكنولوجيات كما أن أحجام النشر تتميز باختلاف أكبر بالنسبة لبعض التكنولوجيات المرتبطة بتكنولوجيات أخرى (الشكل 10.4 بالملخص الفني والشكل 10.5 بالملخص الفني). وفضلاً عن ذلك، هناك تباين في النطاق الزمني للنشر عبر مختلف مصادر الطاقة المتجددة، إذ يمثل في جزء كبير الاختلافات في مستويات النشر في الوقت الحاضر و(في غالب الأحوال) والافتراضات ذات الصلة بشأن النضج التكنولوجي النسبي. [10.2.2.5]

وتشير السيناريوهات بشكل عام إلى أن نشر الطاقة المتجددة أوسع مع مرور الوقت في البلدان غير الواردة في المرفق الأول منه في البلدان الواردة في



الشكل 10.2 الملخص الفني: الانبعاثات الحرة للوقود الأحفوري على المستوى العالمي (على اليسار؛ المكافئ المباشر) والإمدادات بالطاقة الأولية منخفضة الكربون (على اليمين؛ المكافئ المباشر) في 164 سيناريو طويل الأجل في 2050 كوظيفة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري والصناعي. الطاقة منخفضة الكربون تعني الطاقة المستخرجة من مصادر الطاقة المتجددة، الطاقة الأحفورية باستخدام امتصاص الكربون وتخزينه، والطاقة النووية. يستند التشفير الملون إلى فئات مستوى تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام 2100. تبين الخطوط الزرقاء المشبوكة العلاقة خلال عام 2007. ومعاملات الترابط بيرسون بالنسبة لمجموعتي البيانات هي 0.97 (الانبعاثات الحرة للوقود الأحفوري) و– 0.68 (الطاقة منخفضة الكربون). ولأسباب تتعلق بإعادة بث البيانات، لا تشمل النتائج الواردة هنا بشأن الانبعاثات الحرة للوقود الأحفوري والطاقة الخام منخفضة الكربون سوى 153 سيناريو و 161 سيناريو على التوالي، في مقابل المجموعة الكاملة للسيناريوهات البالغ عدد 164 سيناريو. [الشكل 10.4، اللوحة على اليمين، الشكل 10.5، اللوحة على اليمين]

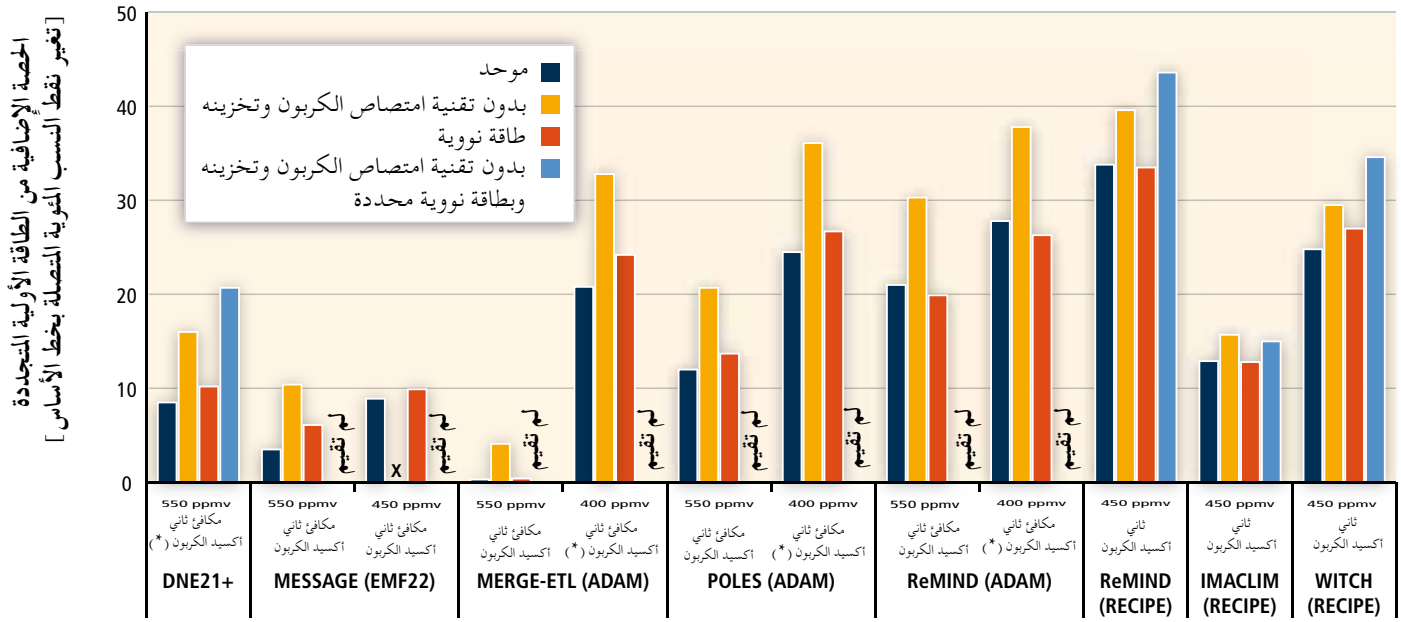
المرفق الأول. ونظرياً، تشمل جميع السيناريوهات تقريبا الافتراض بأن النمو الاقتصادي وتزايد الطلب على الطاقة سيشهدان في مرحلة ما في المستقبل ارتفاعاً في البلدان غير الواردة في المرفق الأول مقارنة بالبلدان الواردة في المرفق الأول. ونتيجة ذلك أن البلدان غير الواردة في المرفق الأول معنية بقدر متزايد بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في حالات خط الأساس أو انعدام سياسة عامة وبالتالي ينبغي عليها العمل على توسيع نطاق التخفيض من الانبعاثات مع مرور الوقت. (الشكل 10.4 بالملخص الفني). [10.2.2.5]

وهناك مسألة أساسية أخرى تتصل بالطاقة المتجددة والتخفيف وتكمن في العلاقة بين الطاقة المتجددة وتكاليف التخفيف. وقد تناولت عدة دراسات حساسيات السيناريوهات والتي تفترض وجود قيود على نشر خيارات التخفيف الفردية، بما في ذلك الطاقة المتجددة، فضلاً عن الطاقة النووية والطاقة الأحفورية مع امتصاص الكربون وتخزينه (الشكل 10.6 بالملخص الفني والشكل 10.7 بالملخص الفني). وتفيد هذه الدراسات أن تكاليف التخفيف تكون أعلى في حال عدم توافر خيارات، بما فيها خيارات الطاقة المتجددة. وفي أغلب الأحيان تكون ضريبة التكلفة المتصلة بوضع حدود على الطاقة المتجددة على الأقل بنفس حجم ضريبة التكلفة جراء وضع حدود على الطاقة النووية والطاقة الأحفورية مع امتصاص الكربون وتخزينه. وتفيد الدراسات أيضاً أن أهدافاً للتركيز أكثر جرأة قد لا تتيسّر إذا لم تتوفر خيارات الطاقة المتجددة أو غيرها من الخيارات ذات الكربون المنخفض. وفي ذات الوقت، حين يؤخذ في الاعتبار النطاق الواسع للافتراضات عبر المجموعة الكاملة من السيناريوهات التي يجري بحثها في هذا التقييم، لا تبين السيناريوهات أي علاقة ملموسة بين التدابير المرتبطة بالتكاليف (كأسعار الكربون على سبيل المثال) والمستويات المطلقة لنشر الطاقة المتجددة.

وهذا التباين يعكس حقيقة أن النماذج المتكاملة على نطاق واسع والمستخدمة لتوليد السيناريوهات تتميز بنطاق واسع من أسعار الكربون وتكاليف التخفيف التي تستند إلى افتراضات البارامتر وبنية النموذج على حد سواء. وخلاصة القول إنه إذا كان هناك اتفاق في الدراسات بأن تكاليف التخفيف ستزداد في حال تقييد نشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة، وأن مستويات أكثر طموحاً لتثبيت التركيز ربما لن تكون سهلة المنال، فإن الاتفاق لن يكون واسعا بشأن الحجم الدقيق لزيادة التكاليف. [10.2.2.6]

10.3 تقييم سيناريوهات التخفيف النموذجية لمختلف إستراتيجيات الطاقة المتجددة

بفضل تحليل متعمق استهدف أربعة سيناريوهات توضيحية مختارة من مجموعة أكبر تضم 164 سيناريو، أتيح الإطلاع على تفاصيل أكثر للمساهمة الممكنة لتكنولوجيات محددة للطاقة المتجددة في مناطق وقطاعات مختلفة. وقد اختيرت دراسة الوكالة الدولية للطاقة تحت عنوان توقعات الطاقة في العالم لسنة 2009 (IEA WEO 2009) كمثال لسيناريو خط الأساس، بينما حددت باقي السيناريوهات بوضوح مستويات تثبيت تركيز غازات الدفيئة. وسيناريوهات التخفيف المختارة هي Remind–RECIPE من معهد بوتسدام، و MiniCAM EMF 22 من الدراسة 22 لمنتدى نمذجة الطاقة وسيناريو ثورة الطاقة المتجددة من المركز الألماني للاستكشاف الفضائي ومنظمة السلام الأخضر الدولية و(ER 2010 EREC). وهذه السيناريوهات هي أمثلة توضيحية لكنها ليست نموذجا بالمعنى الدقيق للكلمة. بيد أنها تمثل أربعة مسارات مستقبلية متباينة ترتكز على منهجيات مختلفة ومجموعة واسعة من الافتراضات الضمنية. وترمز بشكل خاص إلى مسارات



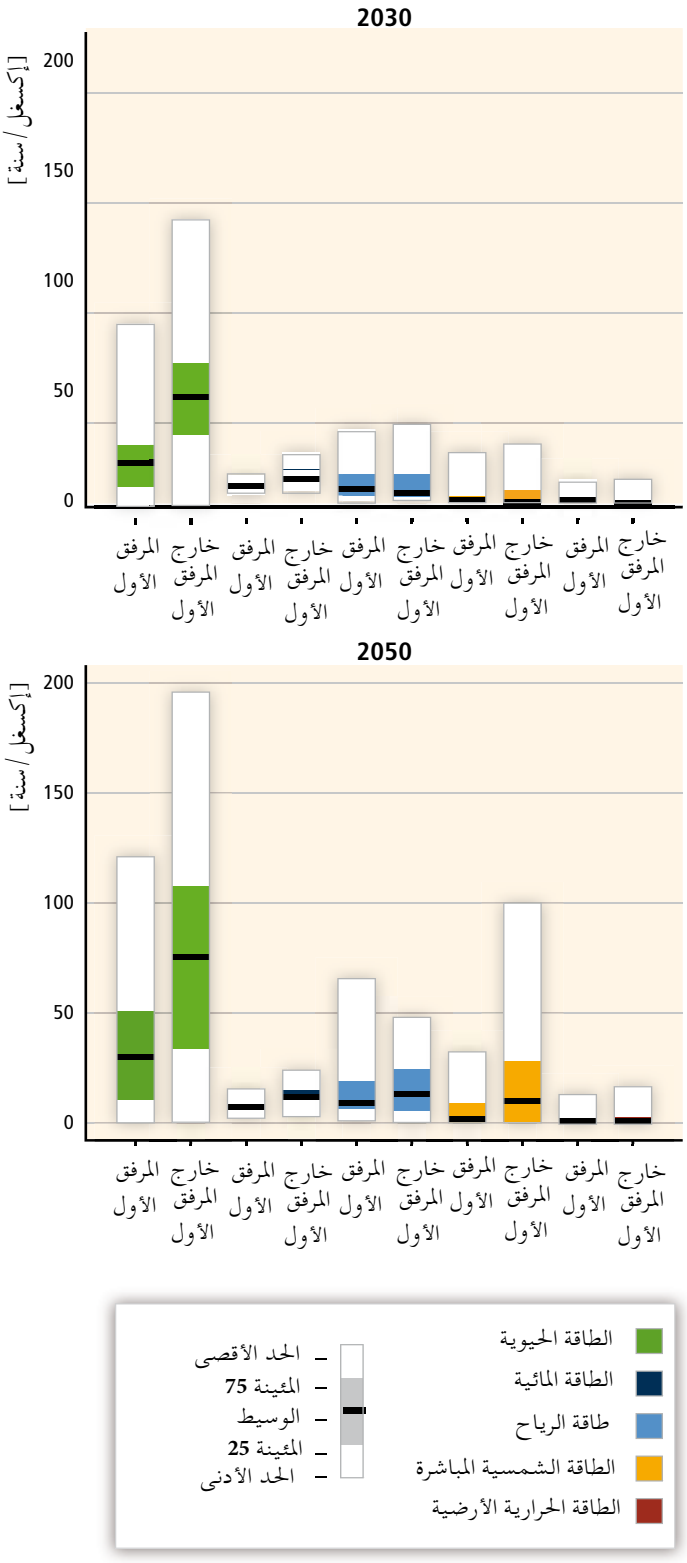
الشكل 10.3 الملخص الفني: ارتفاع الحصة العالمية من الطاقة المتجددة الأولية (المكافئ المباشر) في 2050 حسب سيناريوهات التكنولوجيا المقيدة بالمقارنة مع السيناريوهات الأساسية الخاصة. تشير علامة X إلى أن مستوى التركيز الخاص لم يتحقق. ويختلف تعريف «طاقة نووية MERGE–ETL» و «لا يوجد امتصاص الكربون وتخزينه» عبر جميع النماذج. وتبين سيناريوهات DNE 21 + و POLES التخلص التدريجي بمستويات سرعة متباينة؛ وتحدد سيناريوهات MESSAGE انتشار الطاقة المتجددة حتى 2010؛ أما سيناريوهات ReMIND و IMACLIM و WITH فإنها تحدد دور الطاقة النووية في المساهمة في السيناريوهات الأساسية الخاصة مما يعني أن هناك توسعاً ملحوظاً بالمقارنة مع مستويات الانتشار الحالية. وسيناريو REMIND (ADAM) المتضمن 400 جزء من المليون من حيث الحجم بدون تقنية امتصاص الكربون وتخزينه يحيل إلى سيناريو يكون فيه التخزين التراكمي لثاني أكسيد الكربون مقيداً في 120 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون. وسيناريو MERGE–ETL الذي يحدد 400 جزء من المليون من حيث الحجم بدون تقنية امتصاص الكربون وتخزينه التي تسمح بالتخزين التراكمي لثاني أكسيد الكربون لزهاء 720 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون. وسيناريو POLES الذي يحدد 400 جزء من المليون من حيث الحجم بدون تقنية امتصاص الكربون وتخزينهم يكن قابلاً للتطبيق وبالتالي تم تخفيض مستوى التركيز الخاص في السيناريو المبين بحوالي 50 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون. وتم تحديد سيناريو + DNE 21 بصورة تقريبية في 550 جزء من المليون من حيث الحجم من ثاني أكسيد الكربون على أساس ممر الانبعاثات خلال عام 2050. [الشكل 10.6]

مختلفة لنشر الطاقة المتجددة بدءاً من منظور أساسي مألوف إلى سيناريو يعتمد مساراً تطبيقياً متفائلاً للطاقة المتجددة بافتراض الإبقاء على الدينامية العالية في الوقت الحالي (نسب الزيادة) والتي تحركها سياسات محددة من بين عوامل أخرى. [10.3.1]

يعرض الشكل 10.8 بالملخص الفني نظرة عامة لإنتاج الطاقة المتجددة المتأتية بحسب المصدر وفقاً لأربعة سيناريوهات مختارة لسنوات 2020 و 2030 و 2050 كما تقارن الأرقام مع مجموعة الإمدادات العالمية من الطاقة الأولية. وباستخدام منهجية البديل المكافئ المباشر كما هو الشأن في هذا السياق، تملك الطاقة الحيوية في 2050 أعلى حصة من السوق في جميع السيناريوهات المختارة، تتلوها الطاقة الشمسية. ومجموع حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الأولية بحلول عام 2050 يتسم بتباين جوهري في جميع السيناريوهات. وبنسبة 15 ٪ بحلول 2050 – نفس المستوى القائم اليوم تقريباً (12.9 ٪ في 2008) – تؤكد إسقاطات الوكالة الدولية للطاقة في توقعات بشأن الطاقة في العالم الصادرة في 2009 (IEA WEO 2009) أن حصة الطاقة المتجددة الأولية ستسجل أضعف مستوى، بينما تشير النتائج المتوقعة في 2010 إلى مستوى أعلى من ذلك بنسبة 77 ٪. وتتوقع MiniCam EMF 22 أن 31 ٪ و ReMIND–RECIPE أن 48 ٪ من الطلب العالمي على الطاقة الأولية ستوفرها الطاقة المتجددة في سنة 2050. وتعد النطاقات الواسعة لحصص الطاقة المتجددة وظيفة تعتمد على افتراضات مختلفة لتكلفة التكنولوجيا و بيانات الأداء وتوافر تكنولوجيات أخرى للتخفيف (مثل تقنية امتصاص الكربون وتخزينه والطاقة النووية)، والبنية الأساسية أو حدود الاندماج والعوائق غير الاقتصادية (مثل الجوانب المتعلقة بالاستدامة) والسياسات المحددة وإسقاطات الطلب على الطاقة في المستقبل. [10.3.1.4]

وفضلاً عن ذلك، وبالرغم من أن نشر مختلف التكنولوجيات يشهد تزايداً واضحاً مع مرور الزمن، فإن المساهمة الناجمة عن الطاقة المتجددة في السيناريوهات المتصلة بأغلب التكنولوجيات في مختلف مناطق العالم أقل بكثير مما تتوفر عليه من إمكانيات فنية في المقابل (الشكل 10.9 بالملخص الفني). ويمثل المجموع الكامل لنشر الطاقة المتجددة في العالم بحلول 2050 في جميع السيناريوهات بعد التحليل أقل من نسبة 3 ٪ من الإمكانيات الفنية المتاحة للطاقة المتجددة. وعلى مستوى إقليمي، فإن أقصى نسبة لحصة النشر من الإمكانيات الفنية الشاملة للطاقة المتجددة في سنة 2050 وجدت في الصين، بمجموع نسبته 18 ٪ (النتائج المتوقعة لسنة 2010)، تتلوها بلدان أوروبا الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي (OECD) بنسبة 15 ٪ (النتائج المتوقعة لسنة 2010) والهند بنسبة 13 ٪ (MiniCam EMF 22). وتبلغ نسب النشر في منطقتين حوالي 6 ٪ من الإمكانيات الفنية الإقليمية المتاحة للطاقة المتجددة بحلول 2050: 7 ٪ في البلدان النامية لمنطقة آسيا (MiniCam EMF 22) و 6 ٪ بدول أمريكا الشمالية الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي (النتائج المتوقعة لسنة 2010). وتستخدم المناطق الخمس المتبقية أقل من 5 ٪ من الإمكانيات الفنية المتاحة للطاقة المتجددة [10.3.2.1]

وأجري حساب إمكانية التخفيف من غازات الدفيئة المماثل على أساس نشر الطاقة المتجددة الناتج للسيناريوهات التوضيحية المختارة الأربعة. وقد تم تحديد عوامل الانبعاثات في كل قطاع، مع معالجة كل نوع من أنواع توليد الكهرباء أو إمدادات الحرارة الذي تحل محله الطاقة المتجددة. ونظراً لأن نوع الطاقة التي جرى استبداله يعتمد على سلوك النظام برمته، لا يمكن تحقيق ذلك بدقة دون إجراء تحليل جديد ومتناغم للسيناريو أو تحليل للتوزيع في محطة معقدة للطاقة. لذا إن طريقة الحساب ترتكز بالضرورة على



الشكل 10.4 الملخص الفني: الإمدادات العالمية من الطاقة المتجددة الأولية (المكافئ المباشر) بحسب المصدر في الدول الواردة في المرفق الأول AI والدول غير الواردة في المرفق الأول NAI في 164 سيناريو طويل الأجل بحلول 2030 و 2050. الخط الأسود السميك يشير إلى المتوسط، والخانة الملونة تشير إلى مجموعة الشرائح الربعية (المئينة من 25 إلى 75) وتشير الأجزاء الأخيرة من الأعمدة البيضاء المحيطة للمجموعة الكاملة عبر جميع السيناريوهات المراجعة. ويتراوح عدد السيناريوهات المتعلقة بهذه الأرقام بين 122 و164 حسب المصدر. وبالرغم من أنه يفيد في تأويل المعلومات، يجب أن نلاحظ أن 164 من السيناريوهات ليست عينة عشوائية واضحة الغرض منها إجراء تحليل إحصائي رسمي. (يعود أحد الأسباب في أن إمدادات الطاقة الحيوية تبدو أكبر من إمدادات المصادر الأخرى إلى أن طريقة حساب المكافئ المباشر تستخدم لتوضيح الطاقة الأولية في هذا الشكل. وتراعى إمدادات الطاقة الحيوية قبل التحويل إلى وقود مثل الإيثانول والكهرباء. وتنتج باقي التكنولوجيات الكهرباء بالدرجة الأولى (لكن ليس بشكل كامل)، كما تحسب على أساس الطاقة الكهربائية المنتجة. وفي حال استخدام البدائل المكافئة الأولية، على أساس الطريقة البديلة، عوض البدائل المكافئة المباشرة، فإن إنتاج الطاقة بالاعتماد على الطاقة المتجددة من غير الكتلة الأحيائية سيفوق الحجم المبين هنا ثلاث مرات تقريباً. والطاقة البحرية ليت ممثلة هنا لأن عدداً ضئيلاً من السيناريوهات فقط يبحث في تكنولوجيات الطاقة المتجددة. [الشكل 10.8]

عدم اليقين ولو جزئياً بخصوص مواصفات عامل الانبعاث، جرى تمييز ثلاث حالات مختلفة (حالة المستوى الأعلى: متوسط محدد لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مزيج توليد الطاقة الأحفورية وفقاً لسيناريو خط الأساس؛ حالة المستوى المتوسط: متوسط محدد لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من المزيج الشامل لتوليد الطاقة وفقاً لسيناريو خط الأساس؛ حالة المستوى الأقل: متوسط محدد لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون لمزيج توليد الطاقة وفقاً للسيناريو الخاص بعد التحليل). وجرى استبعاد الوقود الأحيائي وخيارات أخرى من الطاقة المتجددة الخاصة بالنقل من الحساب بسبب ندرة البيانات الكافية.

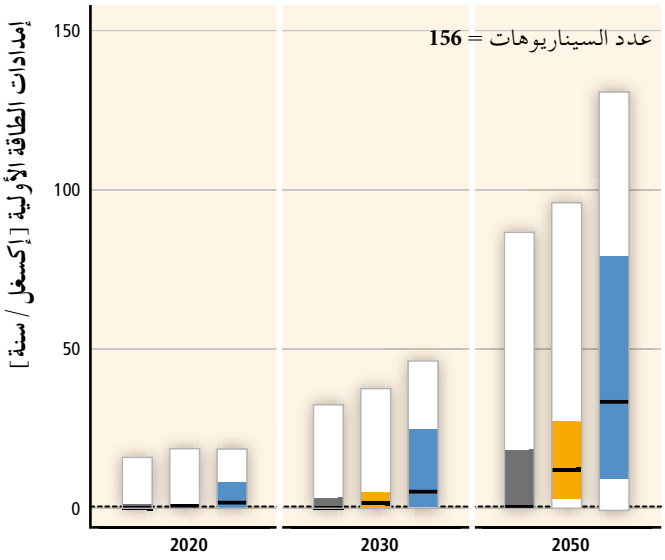
وفضلاً عن ذلك، ولتبيان انبعاثات غازات الدفيئة المدمجة الناتجة عن الطاقة الحيوية المستعملة في التسخين المباشر، تأخذ الحسابات في الاعتبار نصف الوفورات النظرية لثاني أكسيد الكربون فقط. ونظراً للقدر الكبير من أوجه عدم اليقين وتباين انبعاثات غازات الدفيئة المدمجة، تعتبر هذه الحسابات بالضرورة افتراضا مبسطا. [10.3.3]

ويبين الشكل 10.10 بالملخص الفني الإمكانيات التراكمية لخفض ثاني أكسيد الكربون من مصادر الطاقة المتجددة حتى 2020 و 2030 و2050 المستخلصة من السيناريوهات الأربعة التي يجري استعراضها بتفصيل في هذا السياق. وتوجز السيناريوهات التي جرى تحليلها إمكانية تراكمية للتخفيض (من 2010 إلى 2050) في منهج حالة المستوى المتوسط بين 244 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون (توقعات الطاقة في العالم لسنة 2009 (IEA WEO 2009)) وفق شروط خط الأساس، و 297 جيجاطن من ثاني أكسد الكربون (MiniCam EMF 22)، و482 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون (النتائج المتوقعة لسنة 2010) و 490 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون (سيناريو ReMIND–RECIPE). ويمثل النطاق الكامل في جميع الحالات والسيناريوهات التي جرى حسابها وفورات تراكمية لثاني أكسيد الكربون من 218 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون (توقعات الطاقة في العالم لسنة 2009 (IEA WEO 2009) إلى 561 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون (ReMIND–RECIPE) بالمقارنة مع حوالي 1530 جيجاطن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري والصناعي التراكمية وفقاً للسيناريو المرجعي في توقعات الطاقة في العالم لسنة 2009 (WEO 2009) خلال الفترة ذاتها. لكن هذه الأرقام لا تشمل وفورات ثاني أكسيد الكربون لاستخدام الطاقة المتجددة في قطاع النقل (بما في ذلك السيارات التي تعمل بالوقود الإحيائي والطاقة الكهربائية). وبالتالي يمكن أن يرتفع مستوى إمكانية التخفيف الشامل من ثاني أكسيد الكربون. [10.3.3]

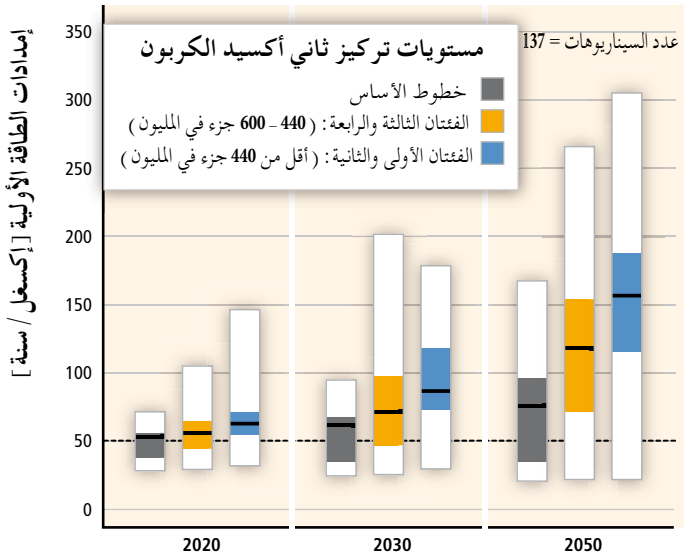
افتراضات مبسطة ولا يمكن اعتبارها سوى إرشادية. وبشكل عام ينبغي توخي الحذر عند عزو إمكانيات التخفيف بشكل دقيق للطاقة المتجددة. [10.3.3]

ويفترض في أغلب الأحيان أن تطبيقات الطاقة المتجددة ستحل بشكل كامل محل المزيج الحالي في استخدام الوقود الأحفوري، لكن ذلك قد لا يكون صحيحاً في واقع الأمر، إذ بإمكان الطاقة المتجددة أن تتنافس مثلاً مع الطاقة النووية أو ضمن حافظة الطاقة المتجددة ذاتها. وللتعامل مع حالات

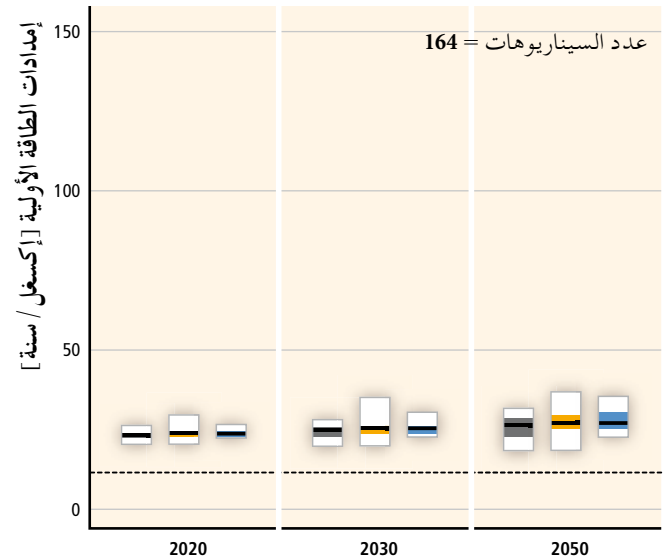
الطاقة الشمسية المباشرة



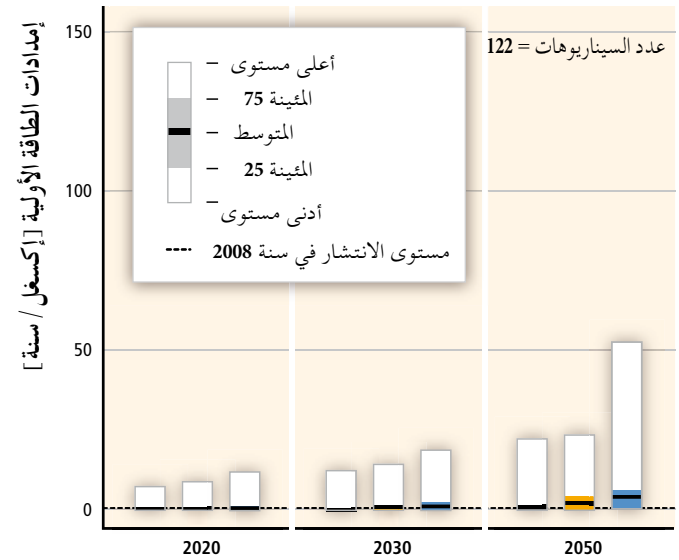
الطاقة الحيوية



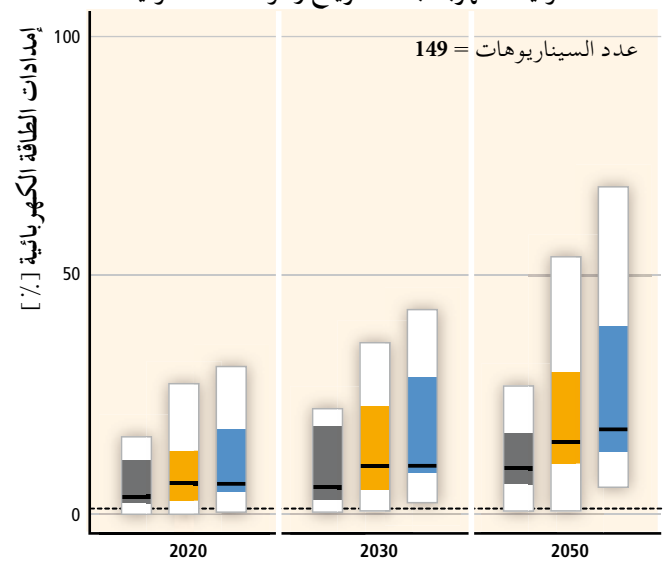
الطاقة المائية



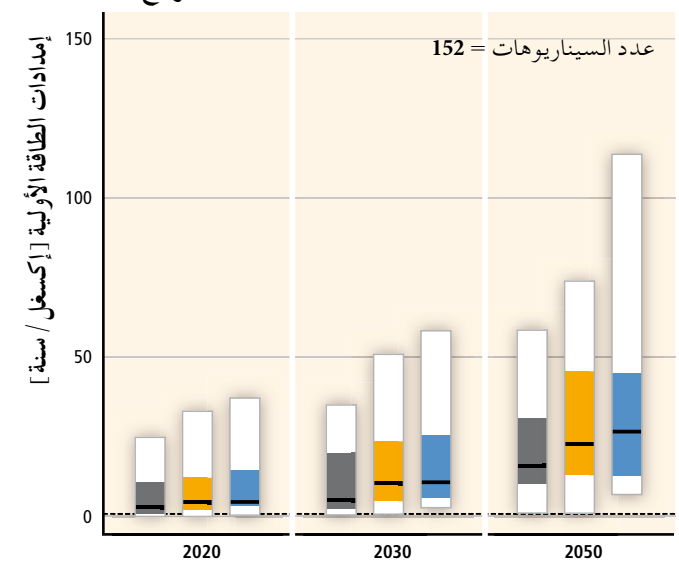
الطاقة الحرارية الأرضية



حصة توليد الكهرباء بطاقة الرياح والموصلات الضوئية

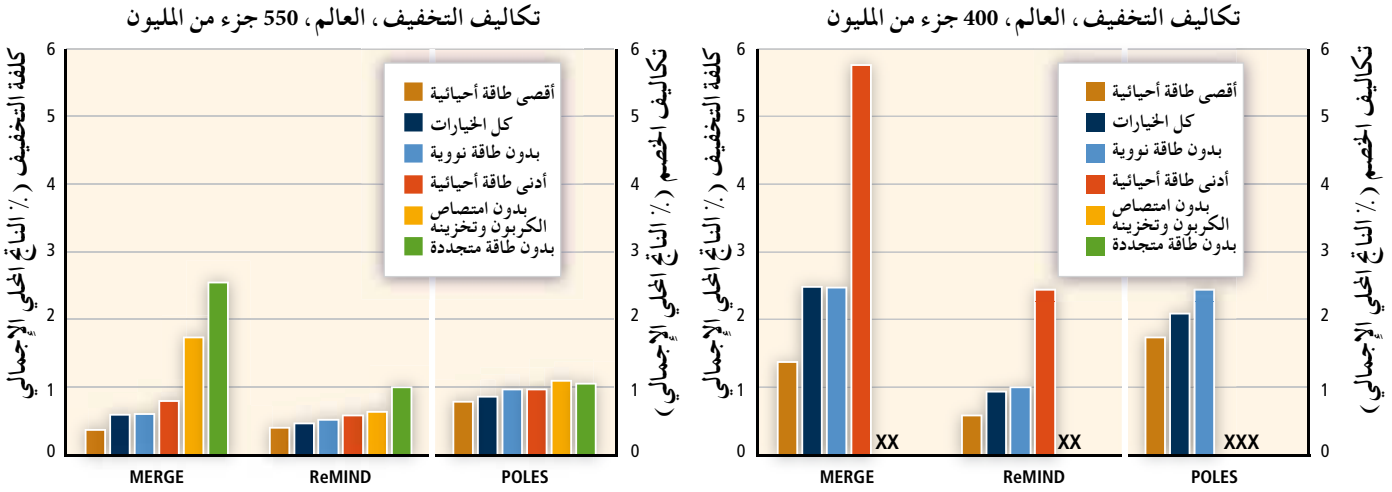


طاقة الرياح



الشكل 10.5 الملخص الفني: إمدادات الطاقة الأولية على الصعيد العالمي (المكافئ المباشر) من الكتلة الأحيائية، طاقة الرياح والطاقة الشمسية والكهرمائية والطاقة الحرارية الأرضية في 164 سيناريو طويل الأجل في سنوات 2020 و 2030 و 2050، مجموعة بحسب الفئات المختلفة لمستوى تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام 2100. الخط الأسود السميك يشير إلى المتوسط، والخانة الملونة تشير إلى مجموعة الشرائح الربعية (المئينة من 25 إلى 75) وتشير الأجزاء الأخيرة من الأعمدة البيضاء المحيطة إلى المجموعة الكاملة عبر جميع السيناريوهات المراجعة. [الشكل 10.9]

ملاحظات: لأسباب تتعلق بتوفير البيانات، هناك اختلاف كبير في عدد السيناريوهات المدرجة في كل لوحة من اللوحات المبينة هنا. ويرد عدد السيناريوهات التي تؤكد اللوحات الفردية، في مقابل المجموعة الكاملة من السيناريوهات البالغ عددها 164، في الزاوية العليا على يمين كل لوحة. ويرجع أحد الأسباب التي تظهر إمدادات الطاقة الحيوية أهم من الإمدادات من باقي المصادر إلى أن طريقة البديل المكافئ المباشر تستعمل لتمثل الطاقة الأولية في هذا الشكل. وتراعى إمدادات الطاقة الحيوية قبل التحويل إلى وقود مثل الوقود الحيوي والكهرباء والحرارة. وتنتج باقي التكنولوجيات الكهرباء بالدرجة الأولى (لكن ليس بشكل كامل)، كما تحسب على أساس الطاقة الكهربائية المنتجَة. وفي حال استخدام البدائل المكافئة الأولية، على أساس الطريقة البديلة، عوض البدائل المكافئة المباشرة، فإن إنتاج الطاقة بالاعتماد على الطاقة المتجددة من غير الكتلة الأحيائية سيفوق الحجم المبين هنا مرتين أو ثلاث مرات تقريباً. والطاقة البحرية ليست ممثلة هنا لأن السيناريوهات لم تبحث حتى الآن في تكنولوجيات الطاقة المتجددة فيما ندر. وأخيراً فإن الفئات ابتداء من الفئة الخامسة فصاعداً لا ترد هنا، كما تم تمديد الفئة الرابعة إلى 600 جزء في المليون من 570 جزء في المليون، لأن جميع سيناريوهات التثبيت محددة في أقل من 600 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون في 2100، وكذلك لأن سيناريوهات الخطوط الأساسية الأكثر انخفاضاً تصل إلى مستويات للتركيز تفوق بنسبة طفيفة 600 جزء في المليون بحلول عام 2100.



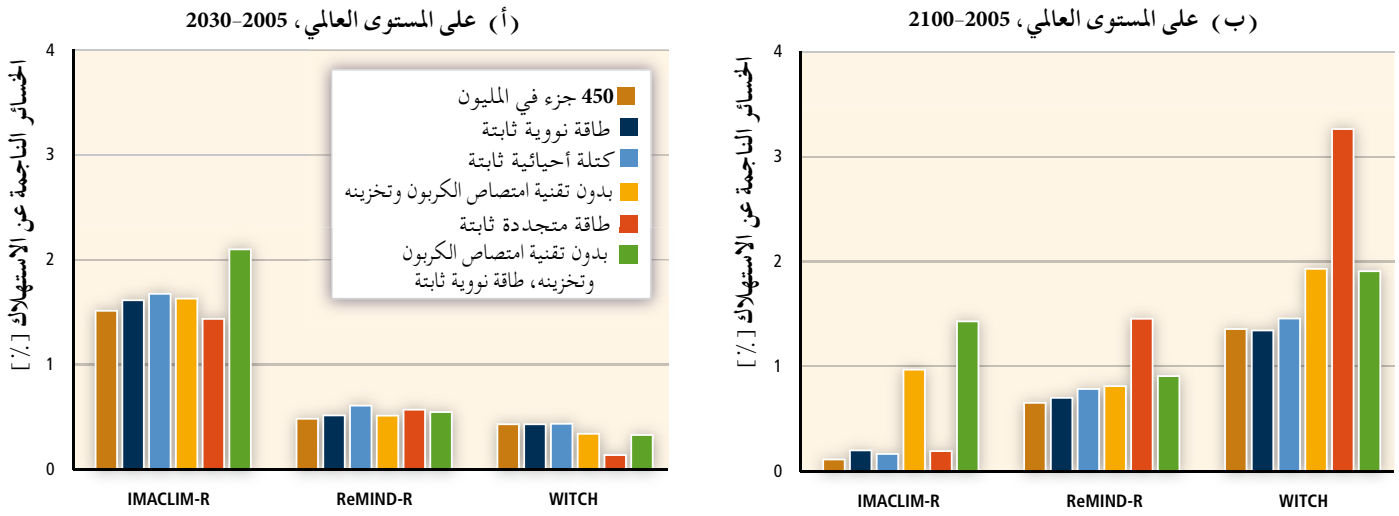
الشكل 10.6 الملخص الفني: تكاليف التخفيف من آثار تغير المناخ العالمي (يقاس على أساس نقص الاستهلاك) من مشروع ADAM وفق افتراضات متباينة بشأن توافر التكنولوجيا لتحقيق مستويات تثبيت طويلة الأجل تصل إلى 550 و 400 جزء في المليون من حيث الحجم من ثاني أكسيد الكربون. وعبارة «جميع الخيارات» تعني افتراضات تخص حافظة تكنولوجيات قياسية في مختلف النماذج، بينما يغطي «الحد الأقصى للكتلة الأحيائية» «biomax» و «الحد الأدنى للكتلة الأحيائية» «biomin» ضعف أو نصف الحجم الممكن للكتلة الأحيائية الممكنة المتمثل في 200 إكسغل على التوالي. ويستبعد خيار «دون امتصاص الكربون وتخزينه» «noccs» تقنية امتصاص الكربون وتخزينه من حافظة التخفيف كما يقيد خيار «لا طاقة نووية» «nonuke» و «دون تجديد» «norenew» مستويات انتشار الطاقة النووية والطاقة المتجددة في مستوى الخط الأساسي، مما يعني احتمال توسع كبير بالمقارنة مع الوضع الحالي. وتبين X علامة على لوحة اليمين عدم القدرة على تحقيق مستوى 400 جزء في المليون من حيث الحجم في حال خيارات تكنولوجية محدودة. [الشكل 10.11]

10.4 منحنيات التكلفة الإقليمية للتخفيف بمصادر الطاقة المتجددة

ترتكز منحنيات إمدادات خفض الكربون، والطاقة، والطاقة المحفوظة جميعها من حيث المفهوم على نفس الأسس. وتتألف هذه المنحنيات عادة من خطوات منفصلة، تتعلق كل خطوة بالتكلفة الحدّية لإجراء الخفض/تكنولوجيا توليد الطاقة أو إجراء حفظ الطاقة بحسب الإمكانيات. وتُصنف هذه الخطوات وفقاً للتكاليف. وتبدأ الخطوات على الرسم البياني من أدنى تكلفة على اليسار مع أعلى تكلفة موالية مضافة على اليمين وهلم جرا، بحيث يكون الاتجاه المائل صعوداً من اليسار إلى اليمين لتحديد منحنى التكلفة الحدّية. والنتيجة هي الحصول على منحنى يمكن تفسيره مثل مفهوم منحنيات الإمدادات في الاقتصادات التقليدية. [10.4.2.1]

وكثيراً ما يستعمل مفهوم منحنيات إمداد حفظ الطاقة غير أن لهذا المفهوم بعد الحدود المعروفة والخاصة. ومن بين أكثرها ذكراً في هذا السياق، هناك: الجدل بين العلماء فيما يتصل الإمكانيات والتكلفات السلبية؛ تبسيط الواقع لأن الفاعلين يتخذون قراراتهم استناداً إلى معايير أخرى غير تلك الواردة في المنحنيات؛ أوجه عدم اليقين من الناحية الاقتصادية والتكنولوجية المتصلة بالتكهن بالمستقبل، بما فيها تطور أسعار الطاقة ومعدلات الخصم؛ مزيد من أوجه عدم اليقين الناجمة عن التركيبات القوية؛ الحساسية العالية الناجمة عن افتراضات خط الأساس وحافظة أجيال المستقبل ونقل هذه الحافظة؛ مراعاة تدابير الأفراد بشكل مستقل، إغفال الارتباطات بين التدابير التي تطبق في الآن نفسه أو بترتيب مختلف؛ وبالنسبة لمنحنيات خفض الكربون، الحساسية العالية لافتراضات عامل الانبعاث (التي تتسم بانعدام اليقين). [10.4.2.1]

ومع أخذ هذه الانتقادات بعين الاعتبار، يجدر أيضاً أن نلاحظ أنه من الصعب جداً مقارنة البيانات والاستنتاجات من منحنيات خفض تكلفة الطاقة المتجددة والإمدادات، لأن دراسات قليلة جداً اعتمدت أسلوباً شاملاً ومنسجماً يعرض منهجياتها بالتفصيل. وتوفر عدة دراسات إقليمية وقطرية

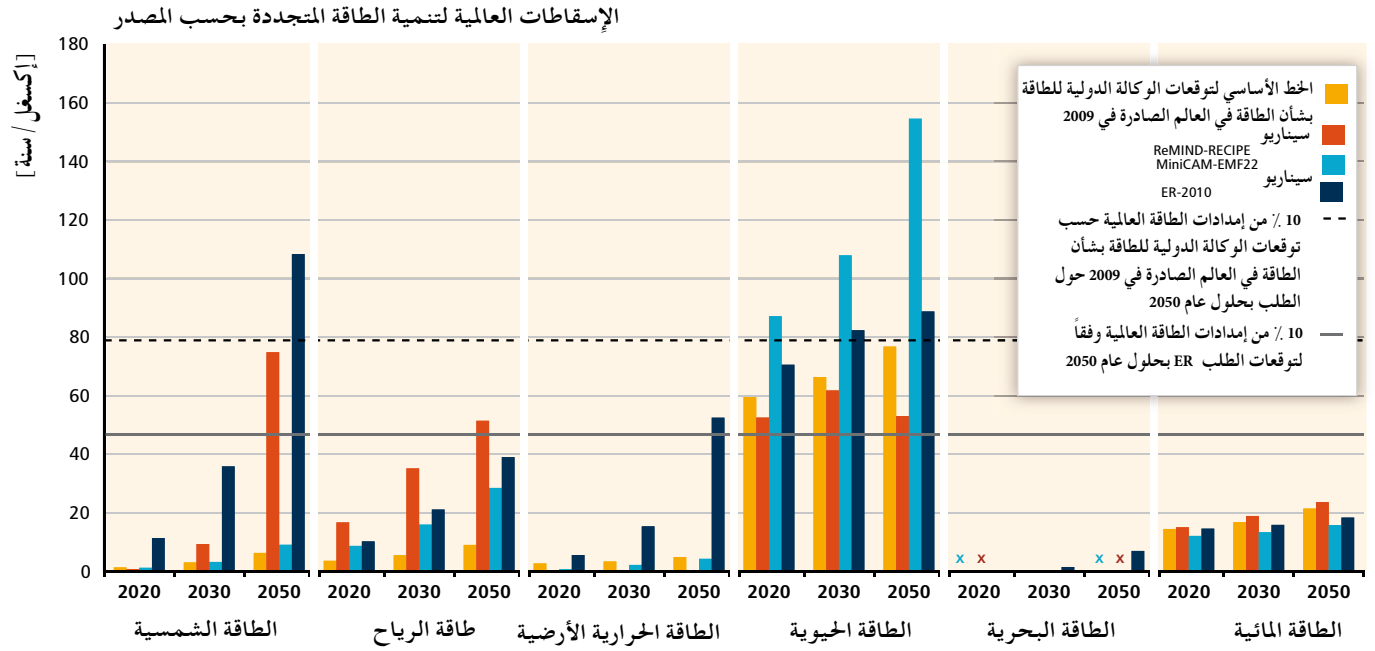


الشكل 10.7 الملخص الفني: تكاليف التخفيف الواردة في مشروع RECIPE ضمن افتراضات متباينة بشأن توافر التكنولوجيا لتحقيق مستوى تثبيت طويل الأجل يوازي 450 جزء في المليون من حيث الحجم من ثاني أكسيد الكربون. معدلات خيار التكنولوجيا من حيث خسائر الاستهلاك بالنسبة للسيناريوهات التي يتم فيها التخلي عن الخيار (امتصاص الكربون وتخزينه) أو تحديده في مستويات الخط الأساسي (جميع التكنولوجيات الأخرى) خلال الفترات أ) من 2005 إلى 2030 و ب) من 2005 إلى 2100. وتحسب معدلات الخيار على أساس الاختلافات في خسائر الاستهلاك وفقاً لسيناريو يكون في استخدام بعض التكنولوجيات محدودا بالنسبة لسيناريو الخط الأساسي. يلاحظ أنه بالنسبة لـ WITCH اعتُبر أن التكنولوجيا النووية الداعمة لم تكن متاحة في سيناريو «الطاقة المتجددة الثابتة» «fix RE» [الشكل 10.12]

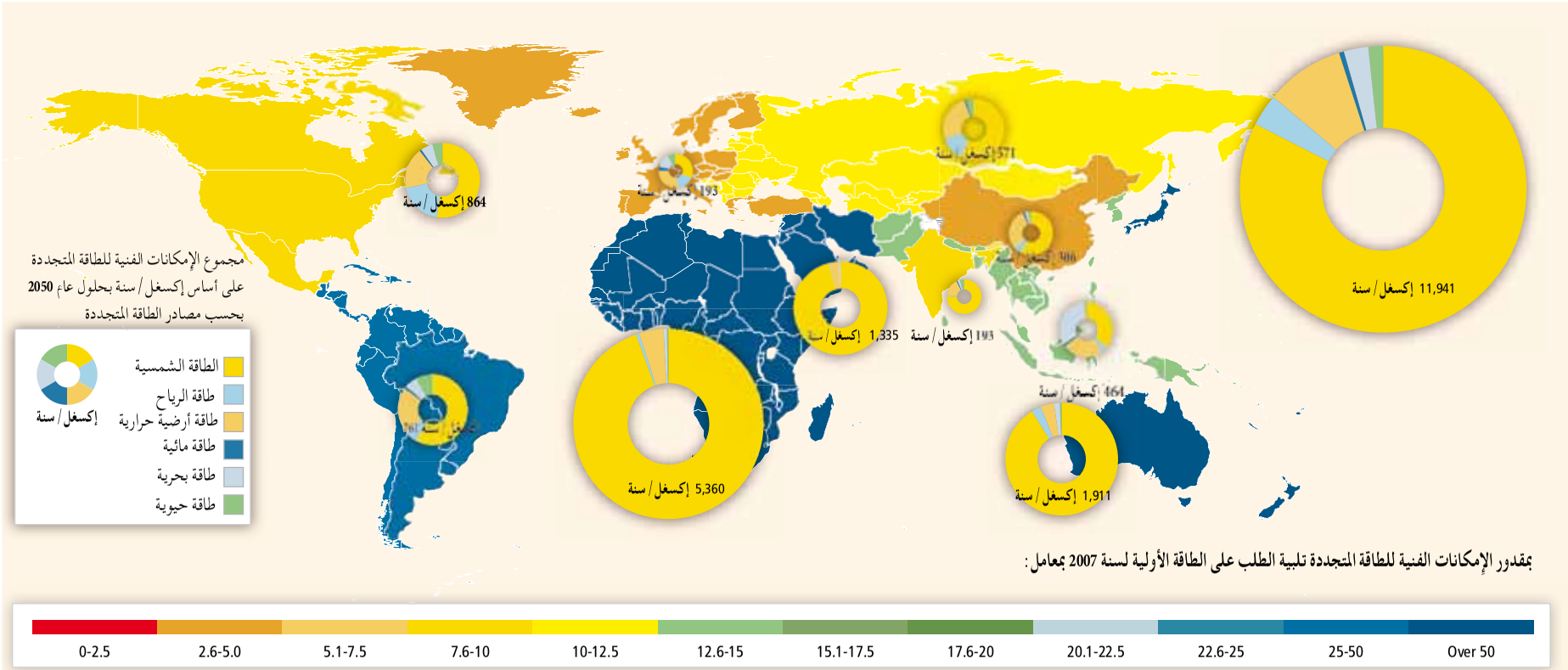
أقل من 10 ٪ من خفض الخط الأساسي لانبعاثات ثاني أكسد الكربون في الأجل المتوسط بتكلفة التخفيض أقل من حوالي 100 دولار أمريكي 2005 للطن من ثاني أكسيد الكربون. وتعتبر الإمكانيات الناتجة للتخفيض بتكلفة منخفضة أقل كثيراً بالمقارنة مع إمكانيات التخفيف الواردة في تقارير العديد من السيناريوهات التي جرى استعراضها في هذا السياق. [10.4.3.2]

10.5 تكاليف تسويق الطاقة المتجددة ونشرها

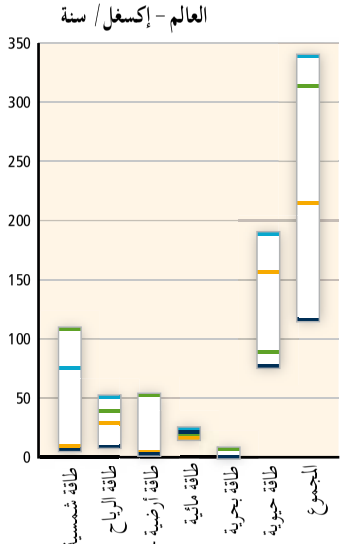
تتميز بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة بقدرة تنافسية عريضة مع الأسعار الحالية في سوق الطاقة. ويمكن للعديد من تكنولوجيات الطاقات المتجددة الأخرى، في بعض الحالات، تقديم خدمات تنافسية في مجال الطاقة، كما هو



الشكل 10.8 الملخص الفني: إسقاطات تنمية الطاقة المتجددة العالمية بحسب المصدر وحصص الطاقة المتجددة الأولية في العالم بحسب المصدر لمجموعة من أربعة سيناريوهات توضيحية. [الشكل 10.14]



الرسوم البيانية لمدى الانتشار : مستوى انتشار الطاقة المتجددة في **2050** وفقاً للسيناريوهات والطاقة المتجددة على أساس إكسغل / سنة

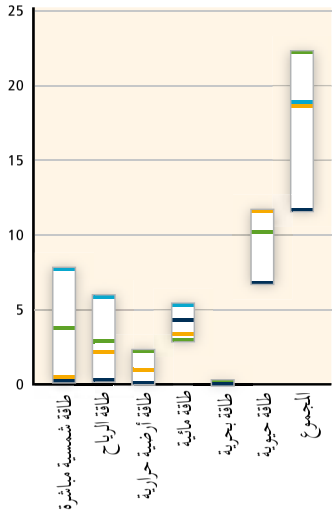


الوارد في السياق مجموع الإمكانيات على الصعيدين العالمي والإقليمي بالاستناد إلى الدراسات المنشورة قبل سنة **2009** من طرف ، (**2009**) **Krewitt et al**، والدراسات المذكورة لا تخصم من هذا المجموع أي إمكانيات يجري استعمالها في إنتاج الطاقة . ونظراً للاختلافات المنهجية وطرق الحساب فيما بين الدراسات، لايمكن إجراء مقارنة صارمة بشأن التقديرات سواء فيما يخص التكنولوجيات أو المناطق أو الطلب على الطاقة الأولية . وتظهر الدراسات التحليلية نتائج أعلى في بعض الحالات لكنها لا ترد في الشكل الحالي ، بيد أنه من الممكن لبعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة أن تتنافس للحصول على الأرض مما قدر يترتب عنه تخفيض إمكانية الطاقة المتجددة بصورة شاملة .

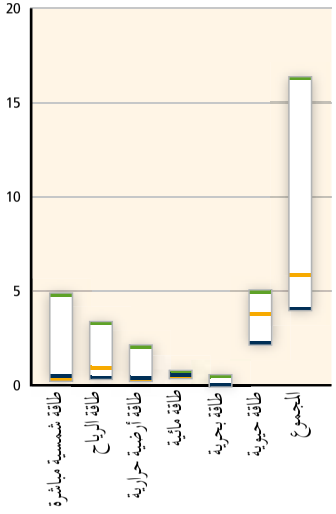
بيانات السيناريوهات : السيناريو المرجعي الوارد في توقعات الطاقة في العالم لسنة **Teske 2009** ، (**International Energy Agency (IEA**) **IEA WEO 2009** ؛ سيناريو تثبيت ثاني أكسيد الكربون في **450** جزء في المليون حسب (**Luderer et al., 2009**) **ReMIND-RECIPE**، سيناريو (**MiniCAM EMF22**) **et al, 2010**، 1st-best 2.6 W/2 Overshoot Scenario (Calvin et al., 2009، الطاقة المتقدمة .

[**R/evolution 2010 (Teske et al., 2010**]

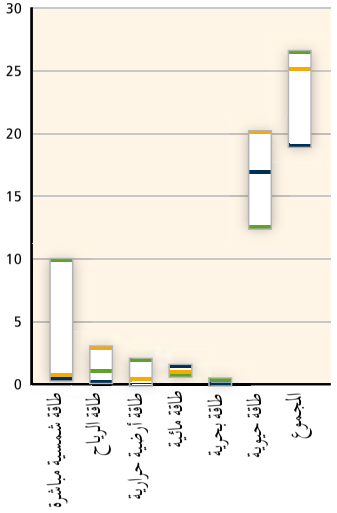
بلدان أمريكا اللاتينية – إكسغل/ سنة



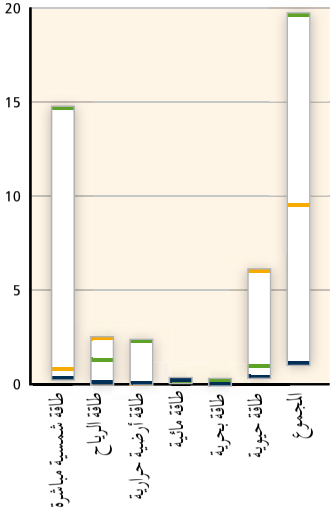
بلدان المحيط الهادي الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي – إكسغل/ سنة



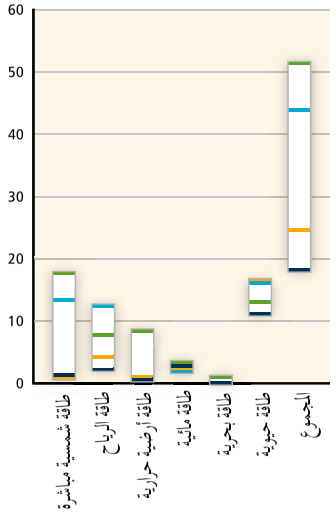
بلدان أفريقيا – إكسغل/ سنة



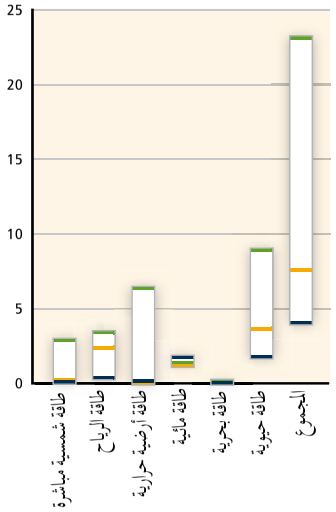
بلدان الشرق الأوسط – إكسغل/ سنة



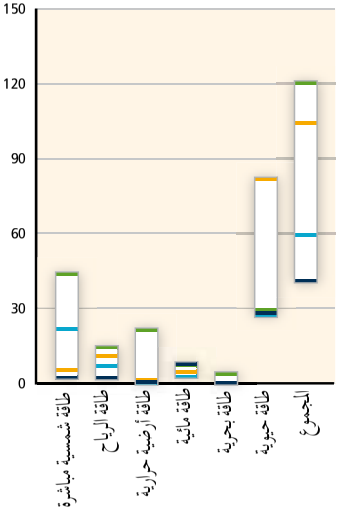
بلدان أمريكا الشمالية الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي – إكسغل/ سنة



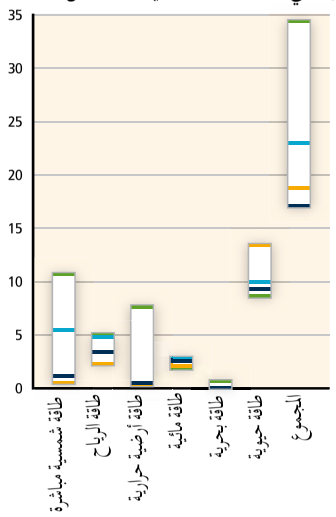
الاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية – إكسغل/ سنة



البلدان الآسيوية – إكسغل/ سنة



البلدان الأوروبية الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي – إكسغل/ سنة

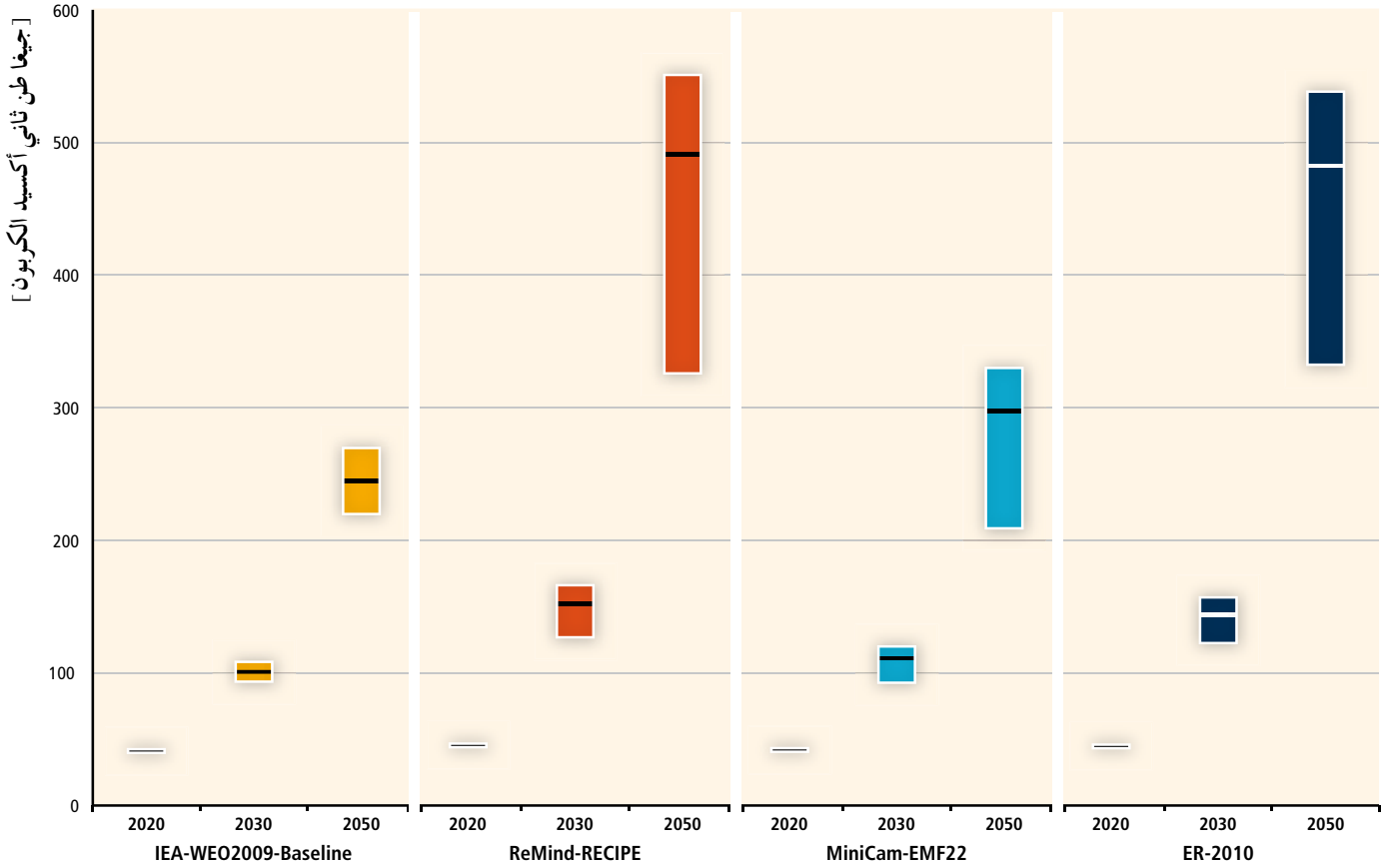


الشكل 10.9 الملخص الفني: التوزيع الإقليمي لانتشار الطاقة المتجددة في 2050 لوضع مجموعة توضيحية من أربعة سيناريوهات ممكنة لمختلف التكنولوجيات. والسيناريوهات التوضيحية الأربعة المختارة هي جزء من دراسة استقصائية شاملة تشمل 164 سيناريو. وتمثل نطاقات تتراوح من السيناريو المرجعي (توقعات الطاقة في العالم لسنة 2009 (IEA WEO 2009) دون مستويات محددة لتثبيت تركيز غازات الدفيئة إلى ثلاثة سيناريوهات تمثل مختلف فئات تركيز ثاني أكسيد الكربون، أحدها (Remind_RECIPE) الفئة الثالثة (من 440 إلى 485 جزء في المليون) واثنان منها (MiniCam EMF 22 والنتائج المتوقعة لسنة 2010 الفئة الأولى (<400 جزء في المليون). وفي السيناريو الأخير، يشمل MiniCam EMF 22 الطاقة النووية وتقنية امتصاص الكربون وتخزينه كخيارات للتخفيف كما يساعد على السيطرة للوصول إلى مستوى التركيز، بينما تعتمد النتائج المتوقعة نهجاً تطبيقياً متفائلاً بالنسبة للطاقة المتجددة. والاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية تعني الدول التي انتقلت من نظام اقتصادي مركزي في السابق إلى نظام يعتمد السوق المفتوحة. [الشكل 10.19]

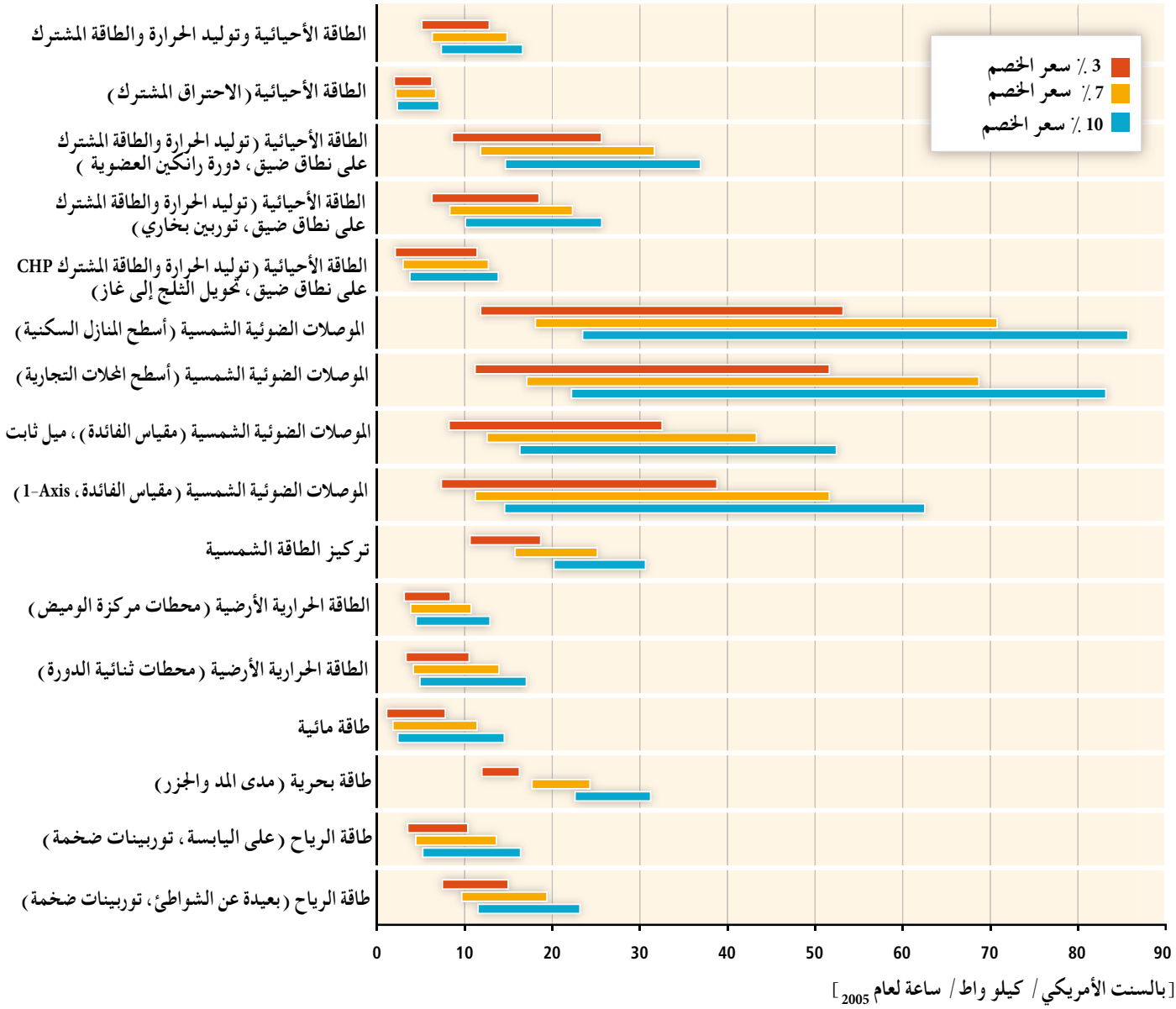
الحال في المناطق التي تتمتع بظروف ملائمة فيما يتعلق بالموارد، على سبيل المثال، أو لديها نقص في البنية الأساسية المرتبطة بإمدادات الطاقة منخفضة التكاليف. لكن، في أغلب مناطق العالم، لاتزال الحاجة ماسة إلى الإجراءات السياسية العامة لتأمين نشر سريع لعدة مصادر للطاقة المتجددة. [2.7، 3.8، 4.6، 5.8، 6.7، 7.8، 10.5.1، الشكل 1.9 بالملخص الفني]

ويوفر الشكلان 10.11 بالملخص الفني و10.12 بالملخص الفني بيانات إضافية بشأن تكلفة الطاقة المقومة ويعرف أيضاً بتكلفة الوحدة المقومة أو تكاليف التوليد المقومة، بالنسبة لتكنولوجيات مختارة في مجال الطاقة المتجددة وتكنولوجيات التسخين بالطاقة المتجددة، على التوالي. ويبين الشكل 10.13 بالملخص الفني التكلفة المقومة لوقود النقل (LCOF). وتشمل تكلفة الطاقة المقومة جميع التكاليف (على سبيل المثال، تكاليف الاستثمار، والتشغيل والصيانة، والوقود، وتكاليف وقف التشغيل) لمنشآت تحويل الطاقة وعزو هذه التكاليف لمخرجات الطاقة خلال مدة عمرها، بالرغم من عدم الأخذ في الحسبان الدعم أو السياسات التحفيزية. ونظراً لأن بعض تكنولوجيات الطاقات المتجددة (كالموصلات الضوئية والطاقة الشمسية المركزة والطاقة المستمدة من الرياح) تتميز بحصص عالية في تكاليف الاستثمار المتصلة بالتكاليف المتقلبة، فإن سعر الخصم المطبق يؤثر بشكل بارز في تكلفة الطاقة المقومة (LCOE بالملخص الفني) لهذه التكنولوجيات (انظر الأشكال بالملخص الفني 10.11 بالملخص الفني و10.12 بالملخص الفني و10.13 [10.5.1]. وتعتمد تكلفة الطاقة المقومة على استعراض الداراسات كما

عمليات الوفورات التراكمية العالمية لثاني أكسيد الكربون لمختلف مسارات نشر الطاقة المتجددة على أساس السيناريوهات من 2010 إلى 2020 و 2030 و 2050



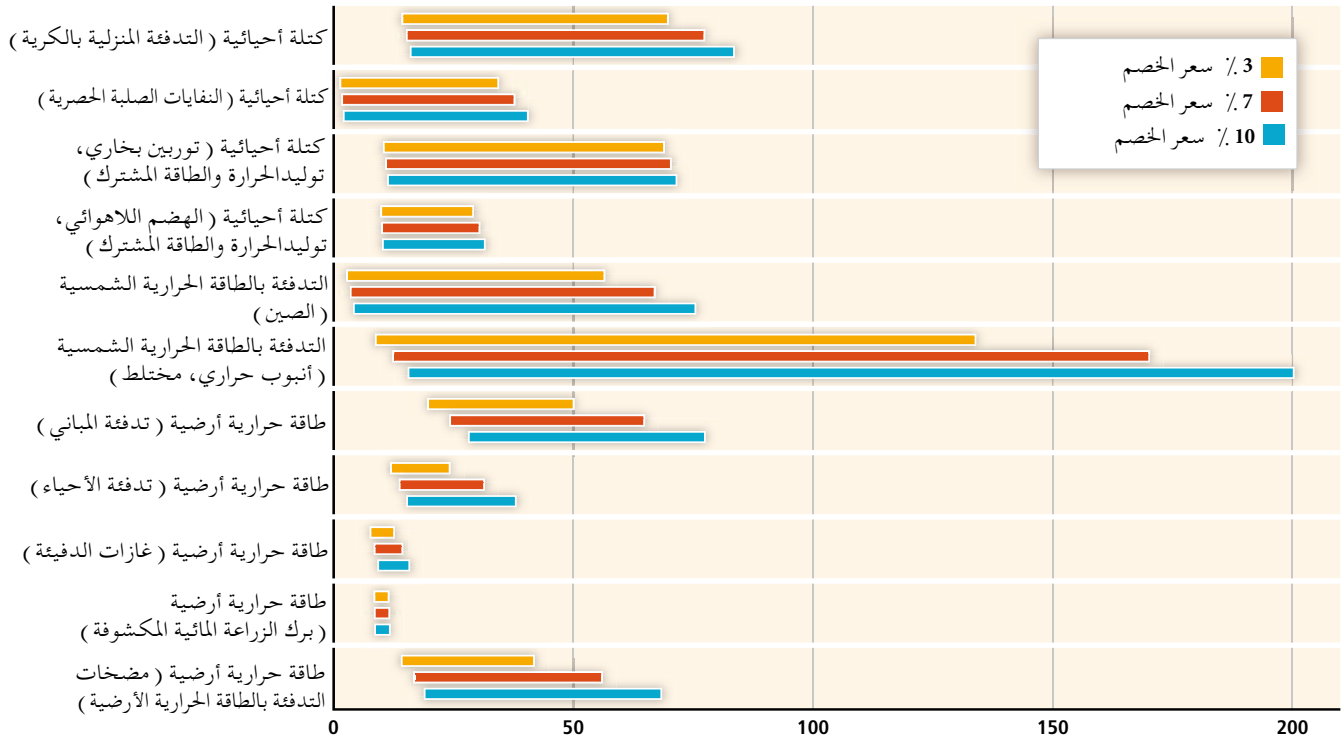
الشكل 10.10 الملخص الفني: الوفورات التراكمية العالمية لثاني أكسيد الكربون في الفترة ما بين 2010 و 2050 بالنسبة لأربعة سيناريوهات توضيحية. وتبين النطاقات المقدمة حالات عدم اليقين بنسبة عالية بشأن مصادر الطاقة التقليدية البديلة. وبينما يفترض الحد الأعلى استبدالاً كاملاً للوقود الأحفوري عالي الكربون، يبحث الحد الأدنى الانبعاثات لثاني أكسيد الكربون في السيناريو ذاته بعد التحليل. تم حساب الخط في الوسط بافتراض أن الطاقة المتجددة تحل محل مزيج الطاقة الخاص ضمن سيناريو مرجعي. [الشكل 10.22]



الشكل 10.11 الملخص الفني: التكلفة الاجمالية المقومة للكهرباء فيما يخص تكنولوجيات الطاقة المتجددة المتاحة لأغراض التجارة بمعدلات خصم محددة في 3 و7 و10 ٪. وتستند تقديرات التكلفة الاجمالية المقومة للكهرباء لجميع التكنولوجيات إلى مدخلات البيانات الموجزة في المرفق الثالث والمنهجية الموجزة في المرفق الثاني. والحد الأدنى لنطاق التكلفة الاجمالية المقومة يحسب على أساس الحدود المنخفضة لنطاقات الاستثمار وعمليات التشغيل والصيانة (O&M)، و (في حال قابلية التطبيق) تكلفة المواد الخام والحدود العليا لنطاقات عوامل القدرة وفترات العمر وكذلك (في حال قابلية التطبيق) الحدود العليا النهائية لنطاقات فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية. وعلى ذلك، يستند الحد الأعلى لنطاق التكلفة الاجمالية المقومة إلى الحدود العليا لنطاقات الاستثمار وعمليات التشغيل والصيانة وكذلك (في حال قابلية التطبيق) تكاليف المواد الخام والحدود المنخفضة لنطاقات عوامل القدرة وفترات العمر بالإضافة إلى (في حال قابلية التطبيق) الحدود المنخفضة لنطاقات فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية. يلاحظ أن فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية وفترات العمر شكلت في بعض الحالات قيماً قياسية أو متوسطة. وللإطلاع على البيانات والمعلومات التكميلية انظر المرفق الثالث. (توليد الحرارة والطاقة المشترك CHP، جهاز دورة «رانكين» العضوية ORC، محرك داخلي الاحتراق ICE) [الشكل 10.29]

تمثل أغلب البيانات المتاحة بشأن التكاليف. والنطاقات الخاصة تبدو واسعة طالما أنه يمكن للتكلفة المقومة لتكنولوجيات مماثلة أن تتباين في جميع أنحاء المعمور بحسب الموارد الأساسية للطاقة المتجددة والتكاليف المحلية للاستثمار والتمويل والتشغيل والصيانة. ولا ينبغي أن تستند المقارنة بين مختلف التكنولوجيات فقط إلى بيانات التكاليف التي توفرها الأشكال 1.9 بالملخص الفني و 10.11 بالملخص الفني و10.12 و بالملخص الفني 10.13؛ بل ينبغي الأخذ بعين الاعتبار الظروف الخاصة بالموقع والمشروع و/أو الاستثمار. وتقدم الفصول المتعلقة بالتكنولوجيا [2.7، 3.8، 4.7، 5.8، 6.7، 7.8] معلومات مفيدة عن الحساسيات في هذا الشأن. [10.5.1]

لا تعكس نطاقات التكلفة المبينة في هذا السياق تكاليف الإدماج (الفصل 8) أو التكاليف أو الأرباح الخارجية (الفصل 9) أو تكاليف السياسات (الفصل 11). وفي حال وجود ظروف ملائمة، تشير النهايات المنخفضة للنطاقات إلى أنه يمكن بالفعل لبعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة منافسة الأنواع التقليدية لأسعار السوق الحالية في مجال الطاقة في عدد كبير من مناطق العالم. [10.5.1]



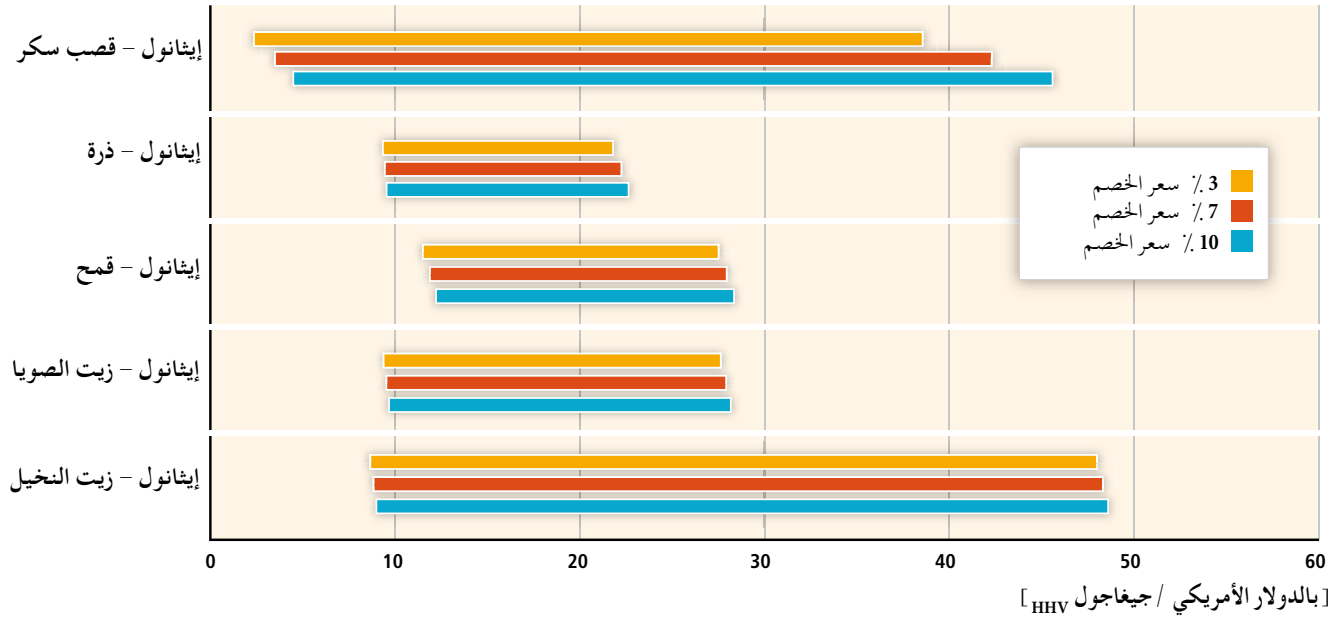
الشكل 10.12 الملخص الفني: التكلفة الاجمالية المقومة لحرارة (LCOH) لتكنولوجيات الطاقة المتجددة المتاحة لأغراض التجارة بمعدلات خصم محددة في 3 و7 و10 ٪. وتستند تقديرات التكلفة الاجمالية المقومة للحرارة لجميع التكنولوجيات إلى مدخلات البيانات الموجزة في المرفق الثالث والمنهجية الموجزة في المرفق الثاني. والحد الأدنى لنطاق التكلفة الاجمالية المقومة يحسب على أساس الحدود المنخفضة لنطاقات الاستثمار وعمليات التشغيل والصيانة (O&M)، و(في حال قابلية التطبيق) وتكلفة المواد الخام والحدود العليا لنطاقات عوامل القدرة وفترات العمر وكذلك (في حال قابلية التطبيق) الحدود العليا النهائية لنطاقات فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية. وعلى ذلك، يستند الحد الأعلى لنطاق التكلفة الاجمالية المقومة إلى الحدود العليا لنطاقات الاستثمار والتشغيل والصيانة وكذلك (في حال قابلية التطبيق) تكاليف المواد الأولية والحدود المنخفضة لنطاقات عوامل القدرة وفترات العمر بالإضافة (في حال قابلية التطبيق) إلى الحدود المنخفضة لنطاقات فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية. يلاحظ أن فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية وفترات العمر شكلت في بعض الحالات قيما قياسية أو متوسطة. وللإطلاع على البيانات والمعلومات التكميلية انظر المرفق الثالث. (النفايات الصلبة الحضرية MSW؛ الماء المنزلي الساخن DHW) [الشكل 10.30]

وتوفر منحنيات الإمدادات المقدمة هنا [10.4.4 والأشكال 10.23 و 10.25 و 10.26 و 10.27] معلومات إضافية عن الموارد الأساسية المتاحة (باعتبارها وظيفة لتكلفة الطاقة المقومة المرتبطة بحصاد هذه الطاقة). وعلى العكس من ذلك، توضح منحنيات تكلفة الإمدادات التي جرت مناقشتها [10.3.2.1، والأشكال 10.15 – 10.17] حجم الطاقة المتجددة التي تُسخّر (مرة أخرى باعتبارها وظيفة لتكلفة الطاقة المقومة) في مختلف المناطق بعد إتباع المسارات المحددة لتوسيع نطاق الطاقة المتجددة. وفضلاً عن ذلك، ينبغي التأكيد على أن الجزء الأكبر من منحنيات تكاليف الإمدادات يحيل إلى محطات زمنية في المستقبل (2030 أو 2050 على سبيل المثال)، أما تكلفة الطاقة المقومة الواردة في الأجزاء المخصصة للتكاليف ضمن الفصول المتعلقة بموضوع التكنولوجيا وكذا المنحنيات المبينة في الأشكال 10.11 بالملخص الفني و10.12 بالملخص الفني و10.13 بالملخص الفني (بالإضافة إلى المرفق الثالث) فإنها تحيل إلى التكاليف الجارية. [10.5.1]

لقد تبين على مدى العقود الأخيرة التقدم الملموس الذي تحقق في مجال تكنولوجيات الطاقة المتجددة وتخفيضات التكلفة المرتبطة بها، وذلك على الرغم من أن المساهمة والترابط المتبادل لعوامل دافعة مختلفة (التعلم بواسطة البحث، على سبيل المثال، والتعلم بواسطة الممارسة، والتعلم بواسطة الاستخدام، والتعلم بواسطة التفاعل، وتوسيع نطاق التكنولوجيات، واقتصادات الحجم) لا تكون دائما مستوعبة بالتفصيل. [2.7، 3.8، 7.8، 10.5.2]

ومن وجهة نظر تجريبية، يمكن تحديد الانخفاض الناتج في التكلفة بمنحنيات التجربة (أو "التعلم"). ولمضاعفة القدرة (التراكمية) التي جرى تركيبها، أظهرت عدة تكنولوجيات نسبة انخفاض ثابتة إلى حد ما في تكاليف الاستثمار الخاصة (أو في التكاليف المقومة أو سعر الوحدة، حسب اختيار مؤشر التكلفة الذي تم اختياره). وتسمى القيمة العددية التي تصف هذا التحسّن بنسبة التعلم. ويرد ملخص لنسب التعلم التي خضعت للملاحظة في الجدول 10.1 بالملخص الفني. [10.5.2]

أي جهود لتقييم التكاليف في المستقبل باستقراء منحنيات التجارب التاريخية يجب أن تأخذ بعين الاعتبار أوجه عدم اليقين من نسب التعلم بالإضافة إلى التحذيرات والفجوات في المعارف موضوع البحث. [10.5.6، 7.8.4.1]. وكطريقة تكميلية، يمكن استخدام استنتاجات الخبراء لجمع معلومات إضافية بشأن إمكانيات تخفيض التكاليف والتي يمكن مقارنتها مع التقديرات المحصل عليها باستخدام نسب التعلم. وفضلاً عن ذلك، يمكن أيضاً لتحليلات نموذج الهندسة لتحديد إمكانيات تحسين التكنولوجيا أن توفر معلومات إضافية لتطوير إسقاطات التكاليف. [2.6، 3.7، 4.6، 6.6، 7.7، 10.5.2]



الشكل 10.13 الملخص الفني: التكلفة الاجمالية المقومة لوقود (LCOF) لتكنولوجيات الطاقة المتجددة المتاحة لأغراض التجارة بمعدلات خصم محددة في 3 و7 و10 ٪ . وتستند تقديرات التكلفة الاجمالية المقومة للوقود لجميع التكنولوجيات إلى مدخلات البيانات الموجزة في المرفق الثالث والمنهجية الموجزة في المرفق الثاني . والحد الأدنى لنطاق السعر الوحيد للتكلفة يحسب على أساس الحدود المنخفضة لنطاقات الاستثمار والتشغيل والصيانة O&M ودخل المنتجات الجانبية . وعلى ذلك، يستند الحد الأعلى لنطاق التكلفة الاجمالية المقومة إلى الحدود العليا لنطاقات الاستثمار والتشغيل والصيانة وتكاليف المواد الخام . ويلاحظ أن فعالية التحويل ودخل المنتجات الجانبية وفترات العمر شكلت في بعض الحالات قيما قياسية أو متوسطة . وللإطلاع على البيانات والمعلومات التكميلية انظر المرفق الثالث . (القيمة الحرارية الأعلى HHV) . [الشكل 10.31]

من المتوقع أن تساهم أوجه التقدم الهام للإمكانيات التكنولوجية وتخفيضات التكلفة المرتبطة بها، على سبيل المثال، في ميادين التطبيق التالية (لكن على سبيل المثال فقط، لا الحصر): الأجيال المقبلة من الوقود الأحيائي ومصافي الوقود الأحيائي والتكنولوجيات المتقدمة في مجال الموصلات الضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، وعمليات التصنيع والنظم الحرارية المعززة والتكنولوجيات الناشئة المتعددة للطاقة البحرية وإنشاء وتصميم محركات بحرية لطاقة الرياح البحرية ويتوقع المزيد من خفض تكلفة الطاقة الكهرمائية لتكون أقل بشكل ملحوظ عن بعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى، لكن توجد فرص للبحوث والتطوير لتحقيق الجدوى الفنية لمشاريع الطاقة الكهرمائية في نطاق أوسع من المواقع ولتحسين الأداء الفني للمشاريع القائمة والجديدة . [2.6، 3.7، 4.6، 5.3، 5.7، 5.8، 6.6، 7.7]

لا يمكن إعطاء جواب على السؤال حول ما إذا كان هناك مبرراً للاستثمارات الأولية في تكنولوجيا مبتكرة محددة، مادامت التكنولوجيا تُعالج بطريقة منفصلة . وكمحاولة أولى لتوضيح هذه المسألة وخاصة لبحث التنافس المتبادل للتكنولوجيات المتوقعة في مجال حماية المناخ، بدأ التقييم المتكامل للقائمين على وضع النماذج في تصميم نموذج للتعلم التكنولوجي بطريقة محلية . وتشير النتائج المحرزة في عمليات مقارنة النماذج – في سياق تحقيق الأهداف المناخية الصارمة – إلى أنه يمكن إيجاد مبررات للاستثمارات الأولية في مجال تكنولوجيات التعلم في حالات عديدة . [10.5.3]

لكن، وكما تبين ذلك بوضوح مختلف السيناريوهات الواردة في الشكل 10.14 وفي دراسات أخرى، هناك عدم يقين كبير بشأن الحجم والتوقيت الحقيقيين لهذه الاستثمارات . [10.5.4]

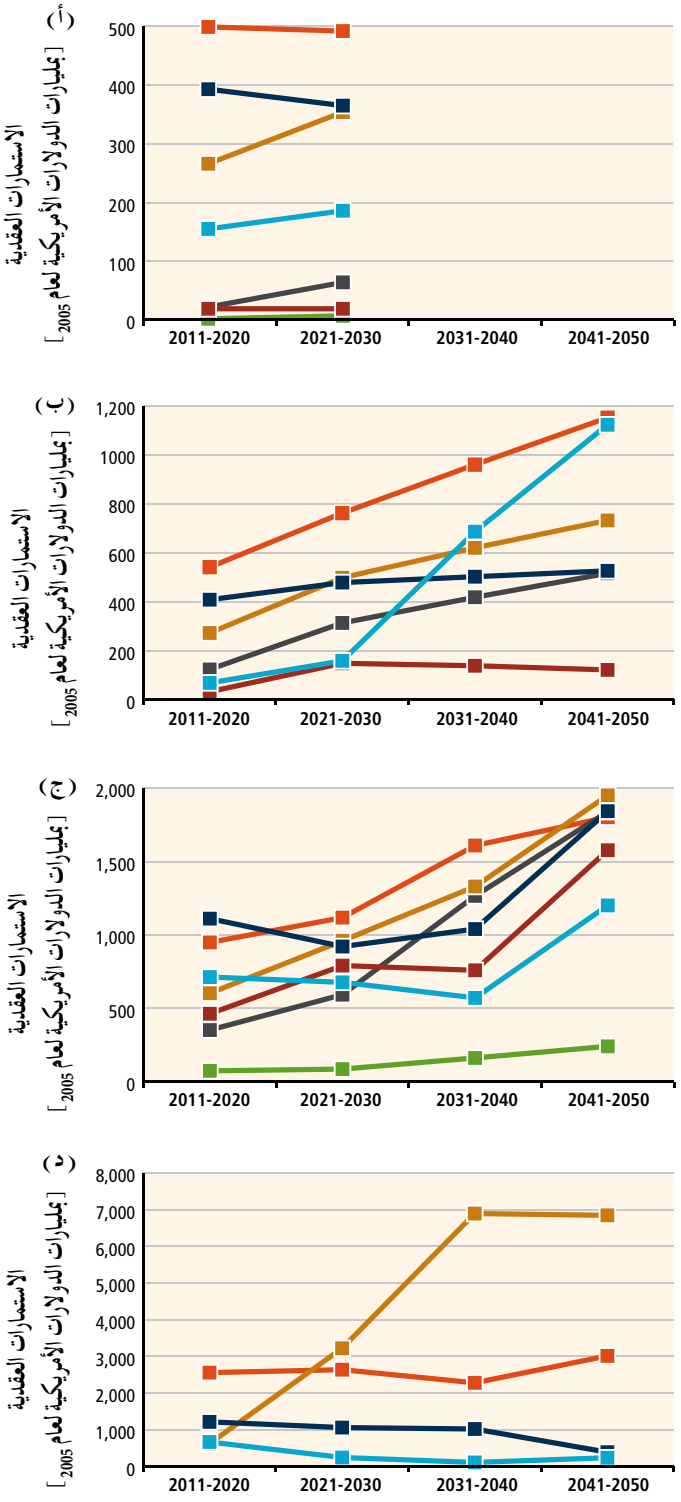
والسيناريوهات التوضيحية الأربعة التي جرى تحليلها بالتفصيل في الجزء 10.3 تغطي مجموعة الاستثمارات التراكمية العشرية العالمية (في قطاع توليد الطاقة) تتراوح بين 1360 و 5100 مليار دولار أمريكي 2005 (خلال العقد الممتد من 2011 إلى 2020) وبين 1490 و 7180 مليار دولار أمريكي 2005 (خلال العقد الممتد من 2021 إلى 2030) . وهذه الأرقام تسهّل تقييم حجم السوق في المستقبل وفرص الاستثمار الناتجة عن ذلك . وتحيل المعدلات الأدنى إلى السيناريو المرجعي المتمثل في تقرير الوكالة الدولية للطاقة حول توقعات الطاقة في العالم لسنة 2009 (IEA WEO 2009) بينما تحيل المعدلات الأعلى إلى سيناريو يسعى إلى تثبيت تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند 450 جزء من المليون . ومتوسط الاستثمارات السنوية أقل بنسبة طفيفة من الاستثمارات المبلغ عنها في 2009 . وبين 2011 و 2020 تكاد تتطابق المعدلات الأعلى للمتوسط السنوي للاستثمار في قطاع توليد الطاقة باستخدام الطاقة المتجددة مع تحقيق زيادة بثلاثة أضعاف في الاستثمارات العالمية الحالية في هذا المجال . ومن المتوقع ارتفاع هذا الحجم خمس مرات خلال العقد الممتد (من 2021 إلى 2030) . وحتى المستوى الأعلى للاستثمارات السنوية يساهم بنسبة أقل من 1 ٪ من الناتج المحلي الإجمالي . وفضلاً عن ذلك ستعمل زيادة القدرات المركبة لمحطات توليد الطاقة باستخدام الطاقة المتجددة على خفض حجم الوقود الأحفوري والوقود النووي اللازمين لتلبية الحاجة المتصلة بالطلب على الكهرباء . [10.5.4]

10.6 التكاليف والمنافع الاجتماعية والبيئية

يخلِّف استخراج الطاقة وتحويلها واستخدامها آثاراً بيئية واسعة كما يفرض تكاليف خارجية كبيرة . وبالرغم من أن استبدال الطاقة المرتبطة بالوقود

الجدول 10.1 الملخص الفني: نسب التعلُّم التي خضعت للملاحظة في تكنولوجيات مختلفة لإمدادات الطاقة. يلاحظ أن القيم الواردة في المنشورات القديمة أقل موثوقية لأنها تعنى بفترات زمنية أقصر. [الجدول 10.10]

التكنولوجيا	المصدر	البلد / الإقليم	الفترة	نسبة التعلم (٪)	قياس الأداء
الرياح على اليابسة					
	نيبج، 1997	الدانمرك	1995-1982	4	سعر العنفة الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
	مكاي وبروبرت، 1998	الولايات المتحدة الأمريكية	1996-1981	14	سعر العنفة الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
	نيبج، 1999	الدانمرك	1997-1982	8	سعر العنفة الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
	دورستفيتز، 1999	ألمانيا	1998-1990	8	سعر العنفة الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
	الوكالة الدولية للطاقة الذرية، 2000	الولايات المتحدة الأمريكية	1994-1985	32	تكاليف إنتاج الكهرباء (دولار أمريكي / كيلووات)
	الوكالة الدولية للطاقة الذرية، 2000	الاتحاد الأوروبي	1995-1980	18	تكلفة إنتاج الكهرباء (دولار أمريكي / كيلووات)
	كوفاريتاكس وآخرون، 2000	منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي	1995-1981	17	سعر العنفة الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
	نيبج، 2003	الدانمرك	1997-1982	8	سعر العنفة الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
	جونجينجر وآخرون، 2005a	إسبانيا	2001-1990	15	تكاليف استثمار الإنجاز الكلي (أورو / كيلووات)
	جونجينجر وآخرون، 2005a	المملكة المتحدة	2001-1992	19	تكاليف استثمار الإنجاز الكلي (أورو / كيلووات)
	سودرهولم وسانكيفست، 2007	ألمانيا، المملكة المتحدة، الدانمرك	2000-1986	5	تكاليف استثمار الإنجاز الكلي (أورو / كيلووات)
	نيبج، 2008	الدانمرك	2000-1981	17	تكلفة إنتاج الكهرباء (دولار أمريكي / كيلووات)
	كاهولي – براهمي، 2009	عالمي	1997-1979	17	تكاليف الاستثمار (دولار أمريكي / كيلووات)
	نيميت، 2009	عالمي	2004-1981	11	تكاليف الاستثمار (دولار أمريكي / كيلووات)
	وايزر وبولينجر، 2010	عالمي	2009-1982	9	تكاليف الاستثمار (دولار أمريكي / كيلووات)
الرياح البحرية					
	آيلز، 2006	8 بلدان من الاتحاد الأوروبي	2006-1991	3	تكلفة الاستثمار في الحقول الهوائية (دولار أمريكي / كيلووات)
الخلايا الفلطائية الضوئية (PV)					
	هارمون، 2000	عالمي	1998-1968	20	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
	الوكالة الدولية للطاقة الذرية، 2000	الاتحاد الأوروبي	1996-1976	21	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
	ويليامز، 2002	عالمي	2002-1976	20	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
	مركز بحوث الطاقة، 2004	الاتحاد الأوروبي	2001-1976	23-20	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
	مركز بحوث الطاقة، 2004	ألمانيا	2001-1992	22	سعر تكاليف أرصدة النظام
	فان سارك وآخرون، 2007	عالمي	2006-1976	21	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
	كروك وإلتروب، 2007	ألمانيا	2005-1977	13	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
	كروك وإلتروب، 2007	ألمانيا	2005-1999	26	سعر تكاليف أرصدة النظام
	نيميت، 2009	عالمي	2006-1076	21-15	مطبوع سعر الخلايا الفلطائية الضوئية (USD / Wpeak)
تركيز الطاقة الشمسية (CSP)					
	إينيرمودال، 1999	الولايات المتحدة الأمريكية	1989-1984	15-8	تكلفة الاستثمار في المحطات (دولار أمريكي / كيلووات)
الكتلة الأحيائية					
	الوكالة الدولية للطاقة الذرية، 2000	الاتحاد الأوروبي	1995-1980	15	تكاليف إنتاج الكهرباء (دولار أمريكي / كيلووات في الساعة)
	جولدمبيرغ وآخرون، 2004	البرازيل	2002-1985	29	أسعار وقود الإيثانول (دولار أمريكي / للمتر المكعب)
	جونجينجر وآخرون، 2005b	السويد، فنلندا	2003-1975	15	أسعار قشارة خشب الأحراج GJ (أورو)
	جونجينجر وآخرون، 2006	الدانمرك	1991-1984	15	تكاليف إنتاج الغاز الحيوي (أورو / Nm^3)
	جونجينجر وآخرون، 2006	السويد	2002-1990	9-8	طاقة الكتلة الحيوية لتركيز أشعة الشمس (دولار أمريكي / كيلووات في الساعة)
	جونجينجر وآخرون، 2006	الدانمرك	2001-1984	0-15	تكاليف إنتاج الغاز الحيوي (أورو / Nm3)
	جونجينجر وآخرون، 2006	الدانمرك	1998-1984	12	محطات الغاز الحيوي (أورو / متر مكعب من الغاز الحيوي في اليوم)
	فان دن وول بيك وآخرون، 2009	البرازيل	2003-1975	19	الإيثانول المستخرج من قصب السكر (دولار أمريكي / متر مكعب)
	جولدمبيرغ وآخرون، 2004	البرازيل	1985-1980	7	الإيثانول المستخرج من قصب السكر (دولار أمريكي / متر مكعب)
	جولدمبيرغ وآخرون، 2004	البرازيل	2002-1985	29	الإيثانول المستخرج من قصب السكر (دولار أمريكي / متر مكعب)
	فان دن وول بيك وآخرون، 2009	البرازيل	2003-1975	20	الإيثانول المستخرج من قصب السكر (دولار أمريكي / متر مكعب)
	هيتينجا وآخرون، 2009	الولايات المتحدة الأمريكية	2005-1983	18	الإيثانول المستخرج من الذرة (دولار أمريكي / متر مكعب)
	هيتينجا وآخرون، 2009	الولايات المتحدة الأمريكية	2005-1975	45	تكاليف إنتاج الذرة (دولار أمريكي / طن من الذرة)
	فان دن وول بيك وآخرون، 2009	البرازيل	2003-1975	32	تكاليف إنتاج قصب السكر (دولار أمريكي / طن)



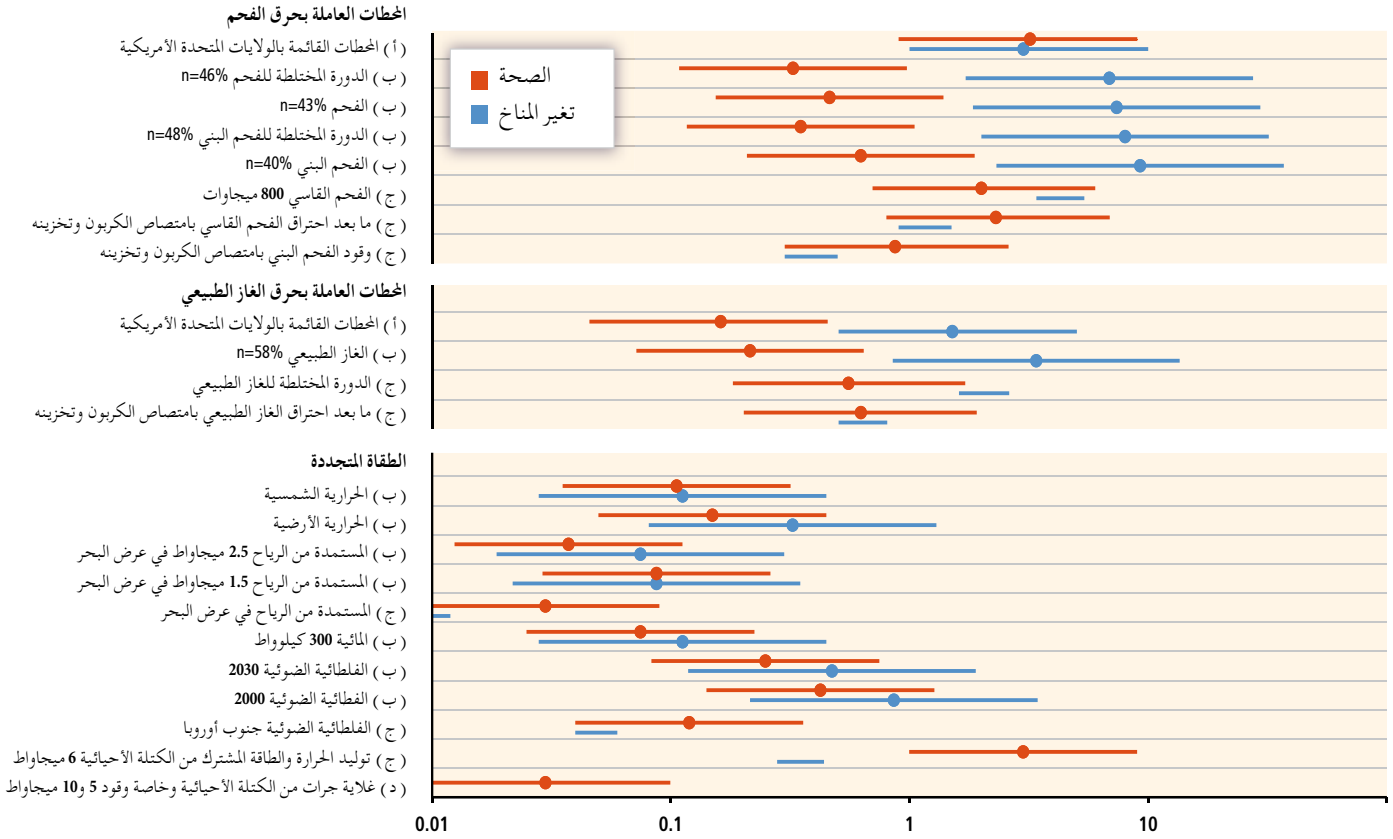
الشكل 10.14 بالملخص الفني: الاستثمارات العقدية العالمية التوضيحية (بمليارات الدولارات الأمريكية لعام 2005) اللازمة من أجل تحقيق أهداف حماية المناخ الطموحة: (ب) – MiniCAM–EMF22 (first–best 2.6 W/m² ove shoot scenario)، يُسمح بالتكنولوجيا النووية وتكنولوجيا تخزين الكربون)؛ (ج) ER–2010 (450 جزء من المليون مكافئ الكربون، لا يُسمح بالتكنولوجيا النووية وتكنولوجيا تخزين الكربون)؛ و(د) ReMIND–RECIPE (450 جزء من المليون ثان أكسيد الكربون يُسمح بمحطات الطاقة النووية وتكنولوجيا تخزين الكربون)؛ ومقارنة بالسيناريوهات الأخرى تعتبر حصة الطاقة الفولطائية الضوئية أعلى في (د) لأن طاقة الشمس المركزة لم تُراعى في هذا السياق. وفي إطار المقارنة (أ) تبين خط الأساس لبيانات الوكالة الدولية للطاقة – WEO2009 (سيناريو خط الأساس من دون حماية المناخ. المصادر: (أ) (2009) IEA (ب) Calvin et al (2009) (ج) Teske et al (2009) (د) Luderer et al.

الأحفوري بالطاقة المتجددة يمكّن من خفض انبعاثات غازات الدفيئة وأيضاً، إلى حد ما، من آثار بيئية وتكاليف خارجية أخرى، من شأن تكنولوجيات الطاقة المتجددة أن تخلف بدورها آثاراً بيئية وتتطلب تكاليف خارجية، رهناً بمصدر الطاقة والتكنولوجيا المستخدمة. وينبغي مراعاة هذه الآثار والتكاليف لإجراء تقييم شامل للتكاليف. [10.6.2]

ويبين الشكل 10.15 بالملخص الفني، النطاقات الواسعة لعدم اليقين بشأن عاملين مؤثرين للتكاليف الخارجية، وهما التكاليف الخارجية ذات الصلة بالمناخ والصحة. وتتطلب محطات توليد الطاقة بكتلة أحيائية صغيرة الحجم تعمل بالحرارة والطاقة المشتركة CHP تكاليف خارجية مرتفعة نسبياً بسبب الآثار الصحية الناجمة عن انبعاثات المواد الدقيقة. ويبدو أن طاقة الرياح البحرية تتطلب أقل تكلفة خارجية. ولا ترد تقديرات التكاليف الخارجية بشأن الطاقة النووية في هذا المقام لأن طبيعة وتقييم التكاليف الخارجية والمخاطر الناجمة عن إطلاق النويدات المشعة بسبب ضعف احتمال وقوع حوادث أو بسبب التسرب من أماكن إيداع النفايات في المستقبل البعيد تختلف كثيراً، مثلاً، عن حالات تغير المناخ وتلوث الهواء التي لا مناص منها تقريباً. لكن يمكن بحث هذه الآثار الخارجية المرتبطة بالطاقة النووية بطرحها للمناقشة والحكم عليها داخل المجتمع. وبشكل عام إن نسبة مخاطر الحوادث التي تؤدي إلى ضحايا في الأرواح بسبب السلاسل المختلفة لإنتاج الطاقة (كالفحم والزيت والغاز والطاقة المائية) أعلى في البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي من البلدان الأعضاء في نفس المنظمة. [10.6.3، 9.3.4.7]

ونظراً لأن الشكل 10.15 بالملخص الفني، يعرض فقط التكاليف الخارجية لكل تكنولوجيا من التكنولوجيات على حدة، يمكن تحقيق المنافع بافتراض أن كل تكنولوجيا تعوّض تكنولوجيا أخرى. ومصادر الطاقة المتجددة والتكنولوجيات التي تستخدمها لتوليد الكهرباء تتطلب في أغلبها تكاليف خارجية لإنتاج الكهرباء أقل من التكنولوجيات التي تعتمد على الوقود الأحفوري. [10.6.3]

لكن هناك حالات كثيرة من عدم اليقين بشأن تقدير وتقييم الآثار الخارجية لمصادر الطاقة. ويشمل تقدير الأضرار المادية والبيولوجية والصحية حالات كثيرة من عدم اليقين وتستند التقديرات عادة إلى نماذج الحسابات التي يصعب التحقق من صحتها في غالب الأحيان. ونادراً ما تكون للأضرار والتحولات قيم السوق التي يمكن استخدامها في تقدير التكاليف، لذا ينبغي استخدام المعلومات غير المباشرة وطرق أخرى لتقدير حجم الضرر. فضلاً عن ذلك، ستحدث أضرار كثيرة في المستقبل البعيد أو في مجتمعات تختلف كثيراً عن تلك التي تستفيد من استعمال إنتاج الطاقة موضوع



الشكل 10.15 بالملخص الفني: توضيح التكاليف الخارجية المترتبة عن الدورة العمرية لإنتاج الكهرباء على أساس الطاقة المتجددة والطاقة الأحفورية. لاحظ المقياس اللوغاريتمي للشكل. الخطوط السوداء تشير إلى مدى التكلفة الخارجية المترتبة عن تغير المناخ بينما تشير الخطوط الحمراء إلى حجم التكاليف الخارجية المترتبة عن الآثار الصحية بسبب تلوث الجو. والتكاليف الخارجية المترتبة عن تغير المناخ تهيمن بصورة أساسية في مجال الطاقة الأحفورية إذا لم تكن مجهزة بتقنية امتصاص الكربون وتخزينه. Comb.C: دورة مختلطة؛ Postcom: احتراق لاحق؛ η: عامل الفعالية. وتعتمد النتائج على أربع دراسات تقوم على افتراضات مختلفة (A–D)، ويفترض أن عدم التيقن بشأن التكاليف الخارجية للآثار الصحية هو عامل من بين ثلاثة. [الشكل 10.36 بالملخص الفني]

البحث، مما يجعل هذه الاعتبارات معقدة. وهذه العوامل تساهم في عدم اليقين بشأن التكاليف الخارجية. [10.6.5]

بيد أنه يمكن للمعارف المتصلة بالتكاليف الخارجية والمنافع من مصادر الطاقة المتجددة تقديم بعض الإرشادات للمجتمع من أجل انتقاء أفضل البدائل وتوجيه نظام الطاقة نحو فعالية إجمالية ومنافع قيّمة لتحقيق الرفاهية. [10.6.5]

11 السياسة والتمويل والتنفيذ

11.1 مقدمة

تتزايد قدرة الطاقة المتجددة زيادة سريعة في كافة أنحاء العالم إلا أن عدداً من العقبات مازال يكبح تحقيق المزيد من التقدم فيها. ولذا فإنه إذا أريد أن تساهم الطاقة المتجددة إسهاماً كبيراً في التخفيف من تغير المناخ، وأن تحقق ذلك بسرعة، فإن الأمر قد يحتاج إلى أشكال مختلفة من سياسات الدعم الاقتصادي فضلاً عن سياسات تهدف إلى تهيئة بيئة ممكنة. [11.1]

وقد روجت سياسات الطاقة المتجددة لزيادة حصص الطاقة المتجددة من خلال المساعدة على التغلب على مختلف العقبات التي تعوق تقدم التكنولوجيا ونشر الطاقة المتجددة. وقد يتعين سن سياسات الطاقة المتجددة على جميع مستويات الحكومة ـ من المستويات المحلية ومستوى الولايات والأقاليم إلى المستوى الوطني وإلى المستوى الدولي ـ وتتراوح بين البحوث والتطوير الأساسية لتطوير التكنولوجيا و دعم نظم الطاقة المتجددة القائمة أو الكهرباء والتدفئة أو الوقود الذي تنتجه. وفي بعض البلدان، يمكن منح الوكالات المنظمة والمرافق العامة المسؤولية، أو بمبادرتها الخاصة، فيما يتعلق بتصميم وتنفيذ آليات الدعم الخاصة بالطاقة المتجددة. كذلك فإن للعناصر الفاعلة غير الحكومية مثل الوكالات الدولية ومصارف التنمية دوراً يتعين أن تضطلع به. [1.4، 11.1، 11.4، 11.5]

ويمكن قياس الطاقة المتجددة بواسطة عناصر دالة إضافية مثل وقت وموثوقية التسليم (التوافر) ومصفوفات أخرى تتعلق بإدراج الطاقة المتجددة في الشبكات. كما أن هناك الكثير من العناصر الفاعلة لتهيئة بيئة تفضي الى نشر الطاقة المتجددة. [11.1، 11.6]

11.1.1 الأساس المنطقي للسياسات النوعية للطاقة المتجددة بالإضافة إلى سياسات تغير المناخ

يمكن أن توفر الطاقات المتجددة طائفة من المنافع للمجتمع. فبعض تكنولوجيات الطاقة المتجددة ينافس بصورة عامة أسعار السوق الحالية

للطاقة. ويمكن أن يوفر الكثير من تكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى التي لا تتمتع بعد بالقدرة التنافسية بصورة عامة، خدمات طاقة تنافسية في بعض الظروف. غير أن التدابير السياساتية مازالت مطلوبة في معظم أقاليم العالم لتيسير زيادة نشر الطاقة المتجددة. [11.1، 10.5]

وتقلل السياسات المناخية (ضرائب الكربون. وسياسات تجارة الانبعاثات أو تنظيمها) من التكاليف النسبية للتكنولوجيات المنخفضة الكربون بالمقارنة بالتكنولوجيات كثيفة الكربون. غير أن من المشكوك فيه أن تكون السياسات المناخية (مثل تسعير الكربون) قادرة بمفردها على الترويج للطاقة المتجددة بمستويات تكفي لتحقيق الأهداف الإنمائية والاقتصادية والاجتماعية العريضة ذات الصلة بالطاقة المتجددة. [11.1.1]

وثمة حالتي إخفاق منفصلتين للسوق توفران الأساس المنطقي للدعم الإضافي المقدم لتكنولوجيات الطاقة المتجددة المبتكرة التي تنطوي على قدرة عالية على الانتشار التكنولوجي حتى في حالة توافر سوق للانبعاثات (أو سياسات تسعير غازات الدفيئة بصفة عامة). ويشير أول إخفاق للسوق إلى التكاليف الخارجية لانبعاثات غازات الدفيئة. ويتمثل الإخفاق الثاني للسوق في مجال الابتكار، فإذا كانت المؤسسات تقلل من شأن المنافع المستقبلية للاستثمارات في تعلم تكنولوجيات الطاقة المتجددة أو إذا كانت لا تستطيع تقدير هذه المنافع، فسوف تقلل من استثماراتها عن الحد الأمثل من منظور الاقتصاد الكلي. فعلاوة على سياسات تسعير غازات الدفيئة، فإن السياسات النوعية الخاصة بالطاقة المتجددة قد تكون ملائمة من الناحية الاقتصادية إذا كانت الفرص ذات الصلة بالتطوير التكنولوجي سوف تعالج (أو إذا توبع تحقيق الأهداف التي تتجاوز التخفيف من تغير المناخ). وينبغي أن تؤخذ في الاعتبار النتائج المعاكسة المحتملة مثل تأثير الاحتجاز، وتسرب الكربون وآثار الارتداد لدى تصميم حافظة السياسات. [11.1.1، 11.5.7.3]

11.1.2 توقيت السياسات وقوتها

لتوقيت البحوث والتطوير وقوتها ومستوى التنسيق المتصل بها مقابل سياسات النشر انعكاسات على كفاءة وفعالية السياسات، وعلى التكاليف الإجمالية التي يتحملها المجتمع بثلاث طرق رئيسية: (1) ما إذا كان البلد يروج للطاقة المتجددة على الفور أو ينتظر إلى أن تنخفض التكاليف عما هي عليه، (2) بمجرد أن يقرر البلد دعم الطاقة المتجددة، تحديد التوقيت والقوة والتنسيق فيما يتعلق بالوقت الذى تفسح فيه سياسات البحوث والتطوير المجال أمام سياسات النشر، (3) تكلفة ومنافع التعجيل بتنفيذ سياسة «طلب السوق» مقابل الإبطاء في تنفيذها. وفيما يتعلق بالأولى، سيتعين بغية تحقيق القدرة التنافسية الكاملة أمام تكنولوجيات الوقود الأحفوري، توظيف استثمارات أولية كبيرة في الطاقة المتجددة إلى أن تتحقق نقطة التعادل. ويتوقف توقيت تحقيق هذه الاستثمارات على الهدف. فإذا كان المجتمع الدولي يهدف إلى تحقيق تثبيت الارتفاع في درجات حرارة العالم عند درجتين مئويتين، لابد أن تبدأ الاستثمارات في التكنولوجيات المنخفضة الكربون على الفور تقريباً.

11.2 الاتجاهات الحالية: السياسات والتمويل والاستثمار

حقق عدد متزايد ومتنوع من سياسات الطاقة المتجددة نمواً كبيراً في تكنولوجيات الطاقة المتجددة في غضون السنوات الأخيرة. فحتى أوائل تسعينات القرن الماضي، لم يسن السياسات الرامية إلى الترويج للطاقة المتجددة سوى عدد قليل من البلدان. ومنذ ذلك الوقت، وخاصة منذ أوائل إلى منتصف العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، بدأت تظهر سياسات في عدد متزايد من البلدان على مستوى البلديات والولايات والأقاليم والمستوى الوطني فضلاً عن المستوى الدولي (انظر الشكل 11.1). [1.4، 11.1، 11.2.1، 11.4، 11.5]

وفي البداية كانت معظم السياسات المعتمدة تتم في البلدان المتقدمة إلا أن عدداً متزايداً من البلدان النامية سن أطر سياسات على مستويات مختلفة من الحكومة للترويج للطاقة المتجددة منذ أواخر تسعينات القرن الماضي وأوائل القرن الحادي والعشرين، وكان ما يقرب من نصف تلك البلدان التي اعتمدت سياسات الكهرباء المعتمدة على الطاقة المتجددة حتى أوائل 2010 من البلدان النامية من كل إقليم في العالم. [11.2.1]

وكان لدى معظم البلدان التي تنفذ سياسات خاصة بالطاقة المتجددة أكثر من نمط من الآليات، وجرى تدعيم الكثير من السياسات والأهداف القائمة بمرور الوقت. وإضافة إلى السياسات الوطنية، يتزايد عدد السياسات الدولية والشراكات. كما وضعت عدة مئات من المدن والحكومات المحلية في كافة أنحاء العالم أهدافاً أو سنّت سياسات للترويج للطاقة المتجددة وآليات أخرى للتحفيز على نشر الطاقة المتجددة محلياً. [11.2.1]

ويتحول تركيز سياسات الطاقة المتجددة من التركيز بصورة تكاد تكون كاملة على الكهرباء الى إدراج قطاعات التدفئة/التبريد والنقل. وتتوافق هذه الاتجاهات مع تزايد النجاح في تطوير طائفة من تكنولوجيات الطاقة المتجددة وتصنيعها وتنفيذها (انظر الفصول من 2 إلى 7) فضلاً عن الزيادة السريعة في الاستثمارات السنوية في الطاقة المتجددة وتنوع مؤسسات التمويل وخاصة منذ 2004/2005. [11.2.2]

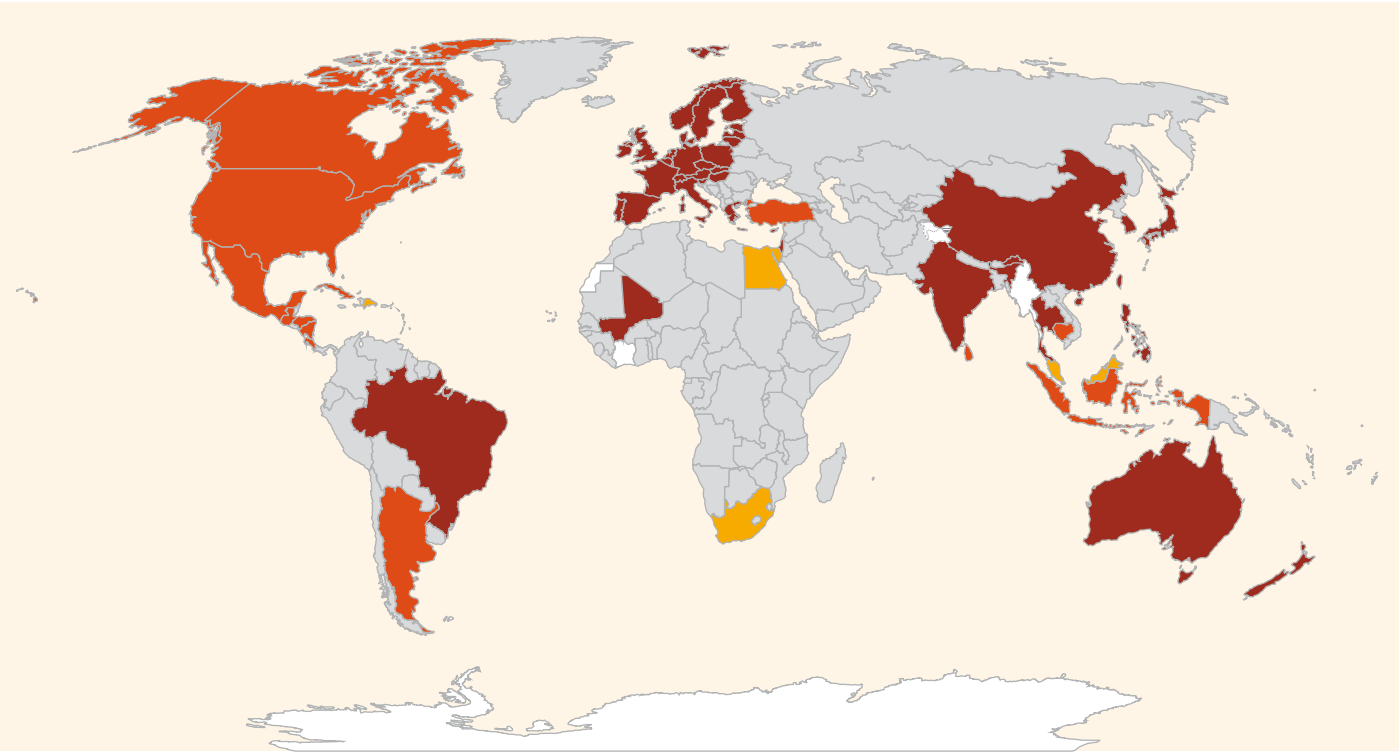
واستجابة لبيئة السياسات المعاونة بصورة متزايدة، شهد قطاع الطاقة المتجددة الشامل على المستوى العالمي ارتفاعاً كبيراً في مستوى الاستثمارات منذ 2004–2005، وحدث التمويل بشأن مايعرف «بالمراحل المترابطة» أو مراحل تطوير التكنولوجيا. والقطاعات الخمسة المترابطة هي (1) البحوث والتطوير، (2) تطوير التكنولوجيا وتداولها تجارياً، (3) تصنيع المعدات ومبيعاتها، (4) إقامة المشروعات، (5) إعادة تمويل وبيع الشركات وخاصة من خلال الدمج والاقتناء. وتزايد التمويل بمرور الوقت في كل مرحلة من هذه المراحل مما يوفر مؤشرات على الوضع الحالي والمتوقع لقطاعات الطاقة المتجددة على النحو التالي: [11.2.2]

- الاتجاهات في (1) تمويل البحوث والتطوير (2) والاستثمار في التكنولوجيا تمثل مؤشرات على التوقعات في الأجلين الطويل والمتوسط للقطاع – فالاستثمارات التي توظف سوف تبدأ في تحقيق عائداتها خلال عدة سنوات بمجرد أن تتداول التكنولوجيا تجارياً بصورة كاملة. [11.2.2.2، 11.2.2.3]
- الاتجاهات في (3) الاستثمار في التصنيع والمبيعات مؤشر على التوقعات لهذا القطاع على المدى القريب – وخاصة وأن نمو الطلب السوقي سوف يستمر. [11.2.2.4]
- الاتجاهات في (4) الاستثمار في البناء مؤشر على النشاط الحالي للقطاع بما في ذلك المدى الذي يمكن أن يسفر فيه إدراج التكاليف المرتبطة بغازات الدفيئة عن تدفقات مالية جديدة على مشروعات الطاقة المتجددة. [11.2.2.5]
- الاتجاهات في (5) دمج الصناعة والاقتناء يمكن أن يعكس النضج الشامل للقطاع، وزيادة نشاط إعادة التمويل بمرور الوقت يشير إلى أن كبار المستثمرين التقليديين يدخلون القطاع بشراء الاستثمارات المبكرة الناجحة من أول المستثمرين. [11.2.2.6]

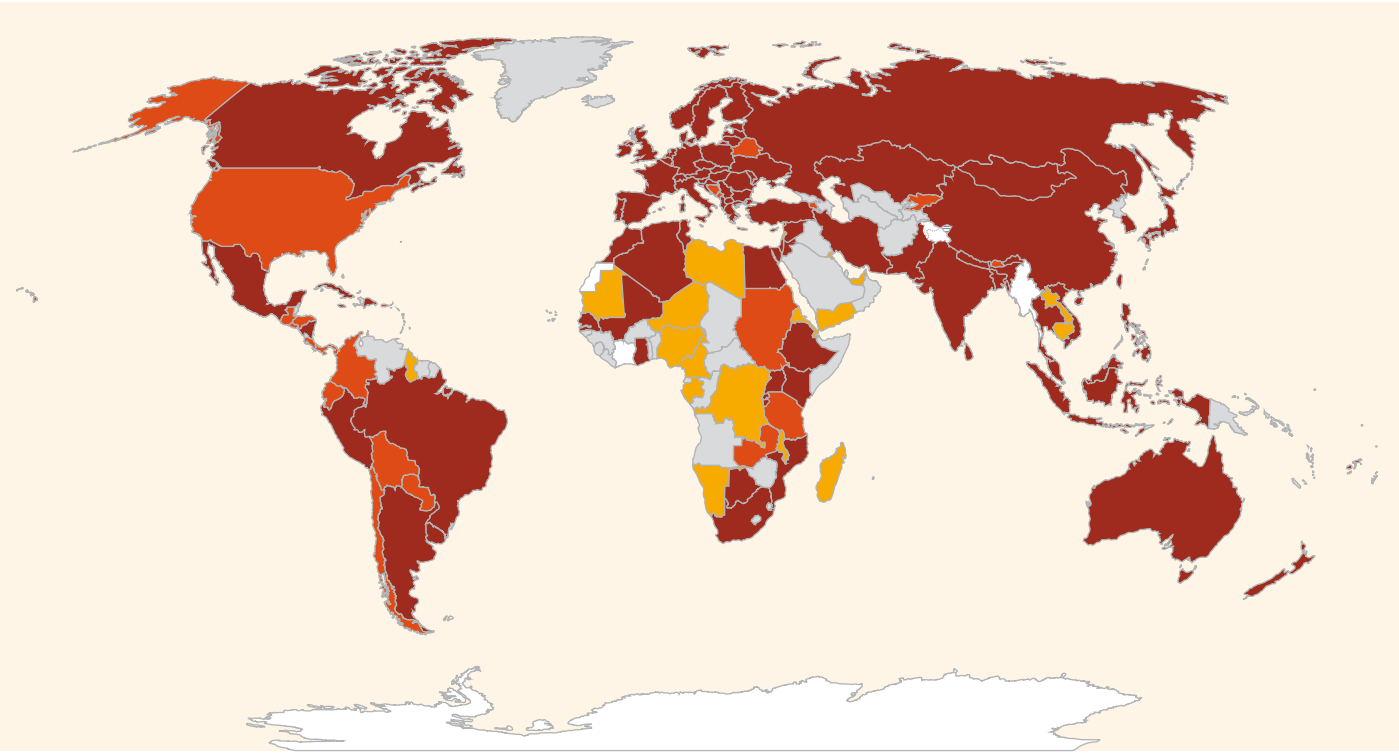
11.3 الدوافع الرئيسية والفرص والمنافع

يمكن أن توفر الطاقة المتجددة طائفة من المنافع للمجتمع. فعلاوة على الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، سنّت الحكومات سياسات خاصة

2005



بداية 2011



البلدان التي لديها هدف واحد على الأقل بشأن الطاقة المتجددة

البلدان التي لديها سياسة محددة واحدة على الأقل خاصة بالطاقة المتجددة و هدف واحد على الأقل بشأن الطاقة المتجددة

البلدان التي ليس لديها سياسة أو أهداف خاصة بالطاقة المتجددة

البلدان التي لديها سياسة محددة واحدة على الأقل خاصة بالطاقة المتجددة

الشكل 11.1 الملخص الفني: البلدان التي لديها هدف واحد على الأقل بشأن الطاقة المتجددة و/أو سياسة محددة واحدة على الأقل بخصوص الطاقة المتجددة في منتصف 2005 وفي أوائل 2011. ولايتضمن هذا الشكل سوى الأهداف والسياسات على المستوى الوطني (وليس مستوى البلديات أو الولايات أو الأقاليم) وليس حصريا بالضرورة. [الشكل 11.1].

بالطاقة المتجددة لتحقيق عدد من الأهداف بما في ذلك تهيئة البيئة المحلية وتحقيق المنافع الصحية، وتيسير الحصول على الطاقة وخاصة للمناطق الريفية، وتحقيق التقدم لأهداف أمن الطاقة، وتنويع حافظة تكنولوجيات وموارد الطاقة، وتحسين التنمية الاجتماعية والاقتصادية من خلال توفير فرص العمل المحتملة والنمو الاقتصادي. [11.3.1، 11.3.4]

وتتباين الأهمية النسبية للدوافع الخاصة بالطاقة المتجددة من بلد لآخر، بل وقد تتباين بمرور الوقت. وقد وصف الحصول على الطاقة بأنه الدافع الرئيسي للبلدان النامية في حين أن أمن الطاقة والشواغل البيئة كانت هي الأهم في البلدان المتقدمة. [11.3]

11.4 العقبات أمام صنع سياسات الطاقة المتجددة وتنفيذها وتمويلها

روجت سياسات الطاقة المتجددة لزيادة حصص الطاقة المتجددة من خلال المساعدة على التغلب على مختلف العقبات التي تعوق تطوير التكنولوجيا ونشر الطاقة المتجددة. وقد تؤدى العقبات النوعية التي تواجه صنع سياسات الطاقة المتجددة وتنفيذها وتمويلها (مثل حالات إخفاق الأسواق) أيضاً إلى إعاقة نشر الطاقة الجديدة. [1.4، 11.4]

وتشمل العقبات التي تعترض وضع وسن السياسات نقص المعلومات والوعي بشأن موارد الطاقة المتجددة وتكنولوجياتها وخيارات السياسات المتعلقة بها، والافتقار إلى فهم أفضل تصميمات السياسات أو كيفية الاضطلاع بعمليات الانتقال في مجال الطاقة، والصعوبات المرتبطة بالتقديرات الكمية للتكاليف والمنافع الخارجية وتدخيلها، والتقيد بالتكنولوجيات والسياسات القائمة. [11.4.1]

وتشمل العقبات المتصلة بتنفيذ السياسات التضارب مع القواعد السارية، ونقص العاملين المهرة و / أو نقص القدرات المؤسسية لتنفيذ سياسات الطاقة المتجددة. [11.4.2]

وتشمل العقبات أمام التمويل نقص الوعي بين الممولين والافتقار إلى المعلومات حسنة التوقيت والملائمة، والقضايا ذات الصلة بالهيكل المالي وحجم المشروعات، والمسائل المتصلة ببيانات التتبع المحدودة، وضعف المؤسسات في بعض البلدان بما في ذلك عدم نضج أسواق رأس المال، وعدم كفاية الحصول على التمويل بتكلفة مقبولة، وكلها عوامل تؤدي إلى زيادة المخاطر المتصورة ومن ثم زيادة التكاليف و / أو تزيد من صعوبة الحصول على التمويل لمشروعات الطاقة المتجددة. والأهم من ذلك أن الكثير من تكنولوجيات الطاقة المتجددة لا يتمتع بالقدرة التنافسية الاقتصادية مقارنة بأسعار السوق للطاقة الحالية مما يزيد من عدم ربحيتها من الناحية المالية بالنسبة للمستثمرين في عدم توافر الأشكال المختلفة من دعم السياسات ومن ثم تقييد رأس المال الاستثماري. [11.4.3]

11.5 الخبرات المتعلقة بخيارات السياسات وتقييمها

يتوافر الكثير من خيارات السياسات لدعم تكنولوجيات الطاقة المتجددة بدءاً من مراحلها المبكرة إلى البيانات الإيضاحية والمراحل السابقة على التداول التجاري، ومروراً باكتمالها ونشرها على نطاق واسع. ويشمل ذلك السياسات الحكومية المتعلقة بالبحوث والتطوير R&D (الدفع من جانب العرض) لتطوير تكنولوجيات الطاقة المتجددة وسياسات النشر (الجذب من جانب الطلب) التي تهدف إلى إنشاء سوق لتكنولوجيات الطاقة المتجددة. ويمكن تصنيف السياسات بطرق مختلفة ولا تتوافر قائمة متفق عليها عالمياً لخيارات سياسات الطاقة المتجددة أو تجميعاتها. ولأغراض التبسيط، نظمت سياسات البحوث والتطوير والنشر ضمن الفئات التالية [11.5]:

- **الحوافز الجبائية**: يمنح الفاعلون (الأفراد والأسر والشركات) تخفيضا على مساهماتهم في الخزانة العامة عن طريق ضرائب الدخل وغيرها من الضرائب أو يزودون بمدفوعات من الخزانة العامة في شكل تنزيل ضريبي أو منح.
- **المالية العامة**: الدعم العام الذي يتوقع أن يحقق عائدا ماليا (القروض والأوراق المالية) أو تحمل المسؤولية المالية (الضمانات).
- **اللوائح**: القواعد التي يسترشد بها أو التي تنظم سلوك أولئك الذين تسري عليهم.

وإن كانت الأهداف مكوناً محورياً في السياسات، فإن السياسات السارية قد لا تحتاج إلى أهداف محددة لكي تحقق النجاح. وعلاوة على ذلك فإن من المستبعد الوفاء بالأهداف الخالية من السياسات التي تحققها. [11.5]

ويتحدد نجاح صكوك السياسات بحسب مدى قدرتها على تحقيق الأهداف أو المعايير المختلفة بما في ذلك:

- **الفعالية**: المدى الذي تتحقق فيه الأهداف المتوخاة؛
- **النجاعة**: نسبة النواتج إلى المدخلات أو أهداف الطاقة المتجددة التي تتحقق بالمقارنة بالموارد الاقتصادية التي تنفق؛
- **الإنصاف**: آثار ونتائج التوزيع المتصلة بإحدى السياسات؛
- **الجدوى المؤسسية**: المدى الذي قد ينظر عنده إلى أحد صكوك السياسات على أنه قانوني ويحظى بالقبول ويعتمد وينفذ بما في ذلك القدرة على تنفيذ إحدى السياسات بمجرد تصميمها وإقرارها. [11.5.1]

وتركز معظم الدراسات على فعالية وكفاءة السياسات. فالعناصر التي تتكون منها خيارات السياسات النوعية هي التي تجعلها أكثر أو أقل قدرة على تحقيق مختلف المعايير، كما أن كيفية تصميم هذه السياسات وتنفيذها يمكن أن تحدد مدى نجاحها في الوفاء بهذه المعايير. وسوف يعتمد اختيار هذه السياسات والتفاصيل المتعلقة بتصميمها في نهاية المطاف على أهداف وأولويات صانعي السياسات. [11.5.1]

11.5.1 سياسات البحوث والتطوير بشأن الطاقة المتجددة

توفر البحوث والتطوير والابتكارات والنشر والانتشار بشأن التكنولوجيات الجديدة منخفضة الكربون منافع للمجتمع تتجاوز تلك التي بتصورها المبتكر مما يؤدي إلى نقص الاستثمارات في هذه الجهود. وعلى ذلك فإن بوسع البحوث والتطوير الحكومية أن تضطلع بدور هام في تطوير تكنولوجيات الطاقة المتجددة. فليس بوسع جميع البلدان أن تتحمل أعباء دعم البحوث والتطوير من الأموال العامة إلا أن البحوث والتطوير بشأن الطاقة المتجددة تعزز، في معظم البلدان التي يتوافر فيها قدر من الدعم، من أداء التكنولوجيات الوليدة حتى يمكنها الوفاء بطلبات جهات التطبيق الأولية. كذلك فإن البحوث والتطوير العامة تحسن من التكنولوجيات القائمة العاملة بالفعل في البيئات التجارية. [11.5.2]

وتشمل السياسات الحكومية في مجال البحوث والتطوير الحوافز الجبائية مثل التمويل الأكاديمي للبحوث والتطوير، والمنح والجوائز والائتمان الضريبي واستخدام مراكز البحوث العامة فضلاً عن التمويل العام مثل القروض الميسرة أو القابلة للتحويل، والأوراق المالية العامة والأموال الرأسمالية للمشروعات العامة. وتشمل الاستثمارات الواقعة في مجال البحوث والتطوير المميزة طائفة عريضة من النشاطات على امتداد فترة تطوير التكنولوجيا بدءاً من وضع خرائط موارد الطاقة المتجددة إلى التحسينات في التكنولوجيات المتداولة تجارياً للطاقة المتجددة. [11.5.2]

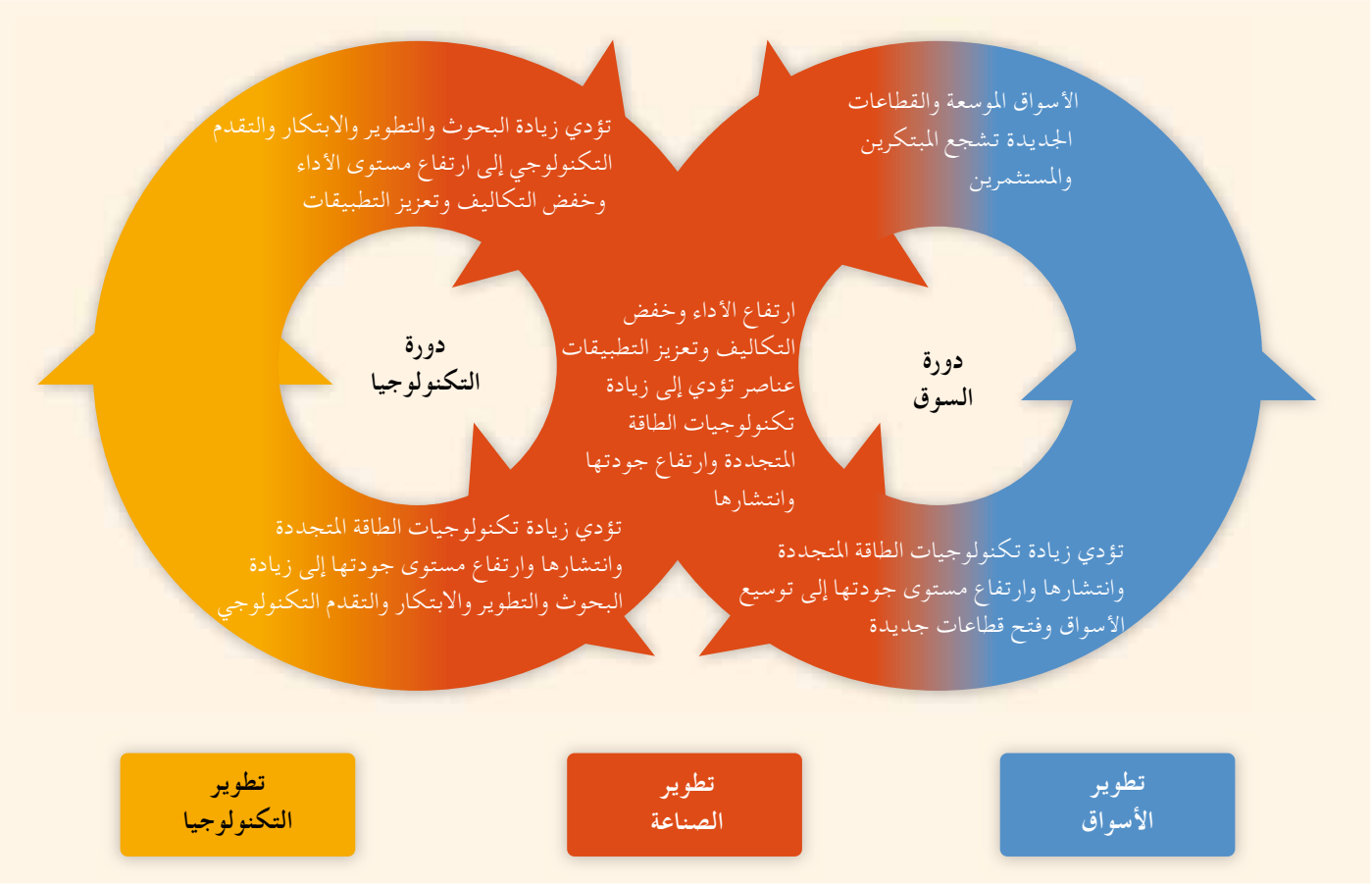
ويتوقف نجاح سياسات البحوث والتطوير على عدد من العوامل، يمكن تحديد بعضها بوضوح في حين يخضع البعض الآخر للنقاش في الدراسات. ولا تتعلق النتائج الناجحة لبرامج البحوث والتطوير فقط بمجموع مبالغ التمويل المخصصة لها بل تتعلق أيضاً باتساق التمويل من عام لآخر. فعمليات القطع والوصل في البحوث والتطوير تعوق التعلم الفني، في حين يعتمد التعلم الفني وخفض التكاليف على استمرارية الجهود والتزامها وتنظيمها، وعلى المسائل التي توجه إليها الأموال وطريقة ذلك مثلما تعتمد على حجم هذه الجهود. وتتوافر بعض المناقشات في الدراسات عن أنجع النهج إزاء سياسات البحوث والتطوير من حيث التوقيت: التقدم من خلال البحوث بغرض تحقيق تحسينات إضافية مقابل الاختراق (أي التقدم التكنولوجي الجذري) مع حجج تحبذ أياً من الخيارين أو توليفة بينهما. وقد أثبتت التجربة أن من المهم أن يتضمن تصميم الإعانات التي تقدم للبحوث والتطوير (وما يتجاوز ذلك) «إستراتيجية للخروج» حيث يتم التخلص بالتدريج من الإعانات مع تداول التكنولوجيا تجارياً بما يترك قطاعاً عاملاً ومستداماً. [11.5.2.3]

وتتمثل إحدى النتائج الأكثر متانة من زاوية الدراسات النظرية ودراسات الحالة التكنولوجية في أن الاستثمارات في البحوث والتطوير تحقق أعلى درجات فعاليتها عندما تستكمل بصكوك سياسات أخرى – وعلى وجه الخصوص، ودون أن تقتصر عليها، السياسات التي تعزز في نفس الوقت من الطلب على التكنولوجيات الجديدة للطاقة المتجددة. كذلك فإن سياسات النشر المبكر نسبياً في عملية تطوير التكنولوجيا يزيد من وتيرة التعلم سواء التعلم من خلال البحوث والتطوير أو التعلم من خلال الاستخدام (نتيجة للتصنيع) وخفض التكاليف. وتوفر البحوث والتطوير وسياسات النشر معاً دورة إيجابية لارتداد المعلومات بما في ذلك استثمارات القطاع الخاص في البحوث والتطوير (انظر الشكل الملخص الفني 11.2). [11.5.2.4]

11.5.2 السياسات الخاصة بالنشر

آليات السياسات التي تسن بصورة محددة للترويج للطاقة الجديدة متنوعة، ويمكن أن تطبق على جميع قطاعات الطاقة. وتتضمن الحوافز المالية (المنح ومدفوعات إنتاج الطاقة، وتنزيل الضرائب، والائتمانات الضريبية، والتخفيضات والإعفاء، والإهلاك المتغير أو المعجل)، والمالية العامة (الاستثمارات في الأوراق المالية، والضمانات، والقروض والمشتريات العامة) واللوائح (الحصص والمناقصات والعطاءات، وتعريفات إمدادات الطاقة والتوسيم الأخضر وشراء الطاقة الخضراء، والقياس الصافي والحصول ذي الأولوية أو المضمون، والإرسال ذي الأولوية) وفي حين أن اللوائح وآثارها تتباين تبايناً كبيراً من قطاع الاستخدام النهائي لآخر، فإن الحوافز الجبائية، والمالية العامة تطبق بصفة عامة على جميع القطاعات. [11.5.3.1]

ويمكن للحوافز الجبائية أن تقلل من تكاليف ومخاطر الاستثمار في الطاقة المتجددة من خلال خفض تكاليف الاستثمار الأولى المرتبط بالتركيب، وخفض تكلفة الإنتاج أو زيادة المدفوعات المتلقاة مقابل توليد الطاقة المتجددة. كذلك فإن الحوافز الجبائية تعوض عن مختلف أشكال إخفاق



الشكل 11.2 الملخص الفني: الدورات الداعمة لبعضها لتطوير التكنولوجيا والنشر في السوق تقلل من تكاليف التكنولوجيا [الشكل 11.5].

السوق مما يترك الطاقة المتجددة في وضع غير موات من الناحية التنافسية بالمقارنة بالوقود الأحفوري والطاقة النووية، وتساعد على خفض الأعباء المالية للاستثمار في الطاقة المتجددة. [11.5.3.1]

وتميل الحوافز المالية إلى أن تحقق أقصى فعاليتها عندما تقترن بأنماط أخرى من السياسات. فالحوافز التي تدعم الإنتاج تفضل عموماً عن إعانات الاستثمار لأنها تروج للنتيجة المنشودة وهي توليد الطاقة. غير أنه ينبغي وضع السياسات وفقاً للتكنولوجيات المعنية ومراحل النضج، ويمكن أن تساعد إعانات الاستثمار عندما تكون إحدى التكنولوجيات باهظة التكاليف نسبياً أو عندما تطبق التكنولوجيات على نطاق صغير (أي النظم الشمسية الصغيرة على أسطح المنازل) وخاصة إذا كانت تقترن بمعايير وشهادات اعتماد التكنولوجيا لضمان الحد الأدنى من نوعية النظم وتركيباتها. وتشير التجارب مع سياسات طاقة الرياح إلى أن مدفوعات الإنتاج واسترداد الرسوم قد تكون مفضلة على الائتمان الضريبي بالنظر إلى أن منافع المدفوعات واسترداد الرسوم متساوية بالنسبة للناس من جميع مستويات الدخل ومن ثم الترويج للاستثمار والاستخدام الأوسع نطاقاً. كذلك فإنه نظراً لأنها تقدم بصفة عامة في أو بالقرب من وقت الشراء أو الإنتاج، فإنها تسفر عن مزيد من النمو بمرور الوقت (بدلاً من الاتجاه إلى الاستثمار بأقصى قدرة قرب نهاية الفترة الضريبية). وكانت الحوافز المعتمدة على الضرائب تميل عادة إلى أن تستخدم للترويج فقط لأكثر التكنولوجيات المتاحة نضجاً وانخفاضاً في التكلفة. وعموماً فإن الائتمان الضريبي يعمل على أفضل وجه في البلدان التي يوجد بها العديد من مؤسسات للقطاع الخاص المربحة والتي تسدد الضرائب والتي تكون قادرة على أن تستفيد منها. [11.5.3.1]

ولآليات المالية العامة هدف ذى شقين: هو التعبئة المباشرة أو زيادة الاستثمارات التجارية في مشروعات الطاقة المتجددة، والعمل بصورة غير مباشرة على إنشاء الأسواق الموسعة والمستدامة تجاريا لهذه التكنولوجيات. وعلاوة على سياسات المالية العامة الأكثر تقليدية مثل القروض الميسرة والضمانات، أخذ عدد من الآليات المبتكرة في الظهور عند مختلف مستويات الحكومات بما في ذلك مستوى البلديات ويشمل ذلك تمويل مشروعات الطاقة المتجددة من خلال القروض الطويلة الأجل التي تقدم لأصحاب الأملاك مما يتيح توافق السداد مع الاقتصاد في الطاقة (مثل الطاقة النظيفة المقيمة حسب الممتلكات في كاليفورنيا) و"إعادة تدوير" الأموال الحكومية في أغراض متعددة (مثل استخدام الأموال العامة التي يتم توفيرها من خلال التحسينات في نجاعة الطاقة في مشروعات الطاقة المتجددة). [11.5.3.2]

ويشار في كثير من الأحوال إلى المشتريات العامة لتكنولوجيات الطاقة المتجددة وإمدادات الطاقة إلا أنه لا يشار كثيراً إلى الآلية المستخدمة لتشجيع السوق على الطاقة المتجددة. ويمكن أن تدعم الحكومات تنمية الطاقة المتجددة أو تشجيع خيارات الطاقة النظيفة للمستهلكين. وإمكانيات هذه الآلية هائلة في كثير من الدول. والحكومات هي أكبر مستهلك للطاقة، وتمثل مشترياتها من الطاقة أكبر مكون في المصروفات العامة. [11.5.3.2]

وتشمل السياسات المنظمة السياسات المعتمدة على الكميات والأسعار مثل الحصص وتعريفات إمدادات الطاقة، وجوانب الجودة والحوافز وأدوات الوصول مثل القياس الصافي. وتحدد السياسات المعتمدة على الكميات الكمية التي سيجري تحقيقها، وتترك للسوق تحديد السعر في حين أن السياسات المعتمدة على الأسعار تحدد السعر وتترك للسوق تحديد الكمية. ويمكن استخدام السياسات المعتمدة على الكميات في جميع قطاعات الاستخدام النهائي الثلاثة في شكل التزامات أو ولايات. وتتضمن حوافز الجودة مشتريات الطاقة الخضراء وبرامج التوسيم الأخضر (التي تكلف بها الحكومات من آن لآخر دون أن يكون ذلك بصفة دائمة) مما يوفر معلومات للمستهلكين عن جودة نواتج الطاقة لتمكينهم من اتخاذ القرارات الطوعية، وزيادة الطلب على الطاقة المتجددة. [11.5.3.3]

السياسات الخاصة بالنشر: الكهرباء

كانت السياسات التي تسن للترويج للطاقة المتجددة لأغراض الكهرباء تزيد حتى الآن بمراحل عن تلك المخصصة للتدفئة أو التبريد أو النقل. ويشمل ذلك الحوافز المالية والمالية العامة للترويج للاستثمار في الكهرباء المعتمدة على الطاقة المتجددة وتوليدها فضلاً عن طائفة من السياسات المنظمة المحددة الخاصة بالكهرباء. وفي حين أن الحكومات تستخدم طائفة من أنماط السياسات للترويج للكهرباء المعتمدة على الطاقة المتجددة، فإن أكثر السياسات شيوعا في الاستخدام هي تعريفات إمدادات الطاقة والحصص أو معايير حافظة الطاقات المتجددة. [11.5.4]

وتتوافر ثروة من الدراسات التي تقيّم السياسات المعتمدة على الكميات (الحصص ومعايير حافظة الطاقات المتجددة وسياسات المناقصات والعطاءات) والسياسات المعتمدة على الأسعار (الأسعار الثابتة وتعريفات إمدادات الطاقة بالأسعار المزودة بالعلاوات) والحصص وتعريفات إمدادات الطاقة FITs بالدرجة الأولى، مع التركيز على معايير الفعالية والكفاءة. وقد خلص عدد من الدراسات التاريخية من بينها تلك التي أجرتها المفوضية الأوروبية إلى أن تقنيات تعريفات مادات الطاقة «حسنة التصميم» و«حسنة التنفيذ» كانت حتى الآن هي سياسات الدعم الأكثر نجاعة (المحددة كمقابل للدعم الإجمالي المتلقي وتكاليف التوليد) وفعالية (القدرة على تحقيق زيادة في حصة الكهرباء المعتمدة على الطاقة المتجددة المستهلكة) الرامية إلى الترويج للكهرباء المعتمدة على الطاقة المتجددة [11.5.4].

ويتمثل أحد الأسباب الرئيسية لنجاح تقنيات FITs حسنة التنفيذ في أنها تضمن عادة درجة استثمار عالية نتيجة لتوليفة المدفوعات طويلة الأجل بالأسعار الثابتة، والاتصال الشبكي، وضمان الوصول الشبكي لجميع الأجيال. وقد شجعت تقنيات FITs حسنة التصميم كلاً من التنوع التكنولوجي والتنوع الجغرافي وتبين أنها أكثر ملاءمة للترويج للمشروعات المتباينة الحجم. ويتوقف نجاح سياسات FITs على ما تنطوي عليه من تفاصيل. فقد تضمنت أكثر السياسات فعالية وكفاءة معظم أو جميع العناصر التالية [11.5.4.3]:

- التزام المرفق بالشراء؛
- الحصول والإرسال على أساس الأولوية؛
- التعريفات المستخدمة على أساس تكاليف التوليد، والمتباينة بحسب نمط التكنولوجيا وحجم المشروع مع تحديد قيم البدء المحسوبة بدقة؛
- عمليات التقييم المنتظمة للتصميم الطويل الأجل والتعديلات في مستوى السداد في المدى القصير مع التعديلات الإضافية المدرجة في القانون لكي تعكس التغييرات في التكنولوجيات والأسواق، ولتشجيع الابتكار والتغيير التكنولوجي، وللتحكم في التكاليف؛
- التعريفات لجميع جهات التوليد المحتملة بما في ذلك المرافق؛
- التعريفات المضمونة لفترة طويلة تكفي لضمان معدل عائد كاف؛
- إدراج التكاليف في قاعدة الأسعار والتقاسم العادل عبر البلد أو الإقليم؛
- معايير وإجراءات الربط الواضحة لتخصيص التكاليف لعمليات الإرسال والتوزيع؛
- تبسيط العمليات التنفيذية والتطبيقية؛
- الاهتمام بالفئات المعفاة على أسس تفضيلية مثل المستخدمين الرئيسيين على أسس تنافسية أو المستهلكين منخفضي الدخل وغير ذلك من المستهلكين سريعي التأثر.

وأثبتت التجربة في العديد من البلدان أن فعالية نظم الحصص يمكن أن تزداد، وأن تتحقق مستويات الامتثال في حالة تسليم شهادات اعتماد الطاقة المتجددة في ظل سياسات حسنة التصميم مع عقود طويلة الأجل مما يثبت (إن لم يقض على) تقلبات الأسعار، ويقلل من المخاطر. غير أنه تبين أنها تفيد التكنولوجيات الأكثر نضجاً والأقل تكلفة. ويمكن معالجة هذا التأثير لدى تصميم السياسات في حالة تحديد مختلف خيارات الطاقة المتجددة أو اقترانها بحوافز أخرى. وقد تضمنت الآليات الأكثر فعالية ونجاعة المعتمدة على الكمية معظم إن لم يكن جميع العناصر التالية، وخاصة تلك التي تساعد في التقليل من المخاطر إلى أدنى حد ممكن [11.5.4.3]:

- التطبيق على قطاع واسع من السوق (الحصص فقط)؛
- قواعد التأهل المحددة بوضوح بما في ذلك الموارد والعناصر الفاعلة المؤهلة (تطبق على الحصص والمناقصات والعطاءات)؛
- ظروف العرض والطلب حسنة التوازن مع تركيز واضح على القدرات الجديدة – وينبغي أن تتجاوز الحصص الإمدادات القائمة وإن كان يتعين تحقيقها بأسعار معقولة (الحصص فقط)؛
- العقود الطويلة الأجل/التزامات الشراء النوعية والمواعيد النهائية مع تلافي وجود فجوات زمنية بين حصة وأخرى (الحصص فقط)؛
- عقوبات كافية عن عدم الامتثال والإنفاذ الكافي (تسري على الحصص، والمناقصات والعطاءات)؛
- الأهداف الطويلة الأجل لمدة عشرة سنوات على الأقل (الحصص فقط)؛
- النطاقات الخاصة بالتكنولوجيا أو عمليات التجزئة لتوفير الدعم المتباين (تسري على الحصص والمناقصات والعطاءات)؛
- المدفوعات الدنيا للتمكين من تحقيق العائد الكافي، والتمويل (تسري على الحصص والمناقصات والعطاءات).

ويتيح القياس الصافي لصغار المنتجين «البيع» في الشبكة، بأسعار التجزئة، أي كهرباء بالطاقة المتجددة التي يولدونها بما يزيد عن مجموع طلبهم في الوقت الحقيقي مادام يتم تعويض هذا التوليد الزائد من خلال التحميل الزائد للمستهلكين في أوقات أخرى خلال فترة التسوية المعنية. ويعتبر ذلك أداة منخفضة التكلفة وسهلة الإدارة لتشجيع المستهلكين على الاستثمار في الطاقة الصغيرة النطاق والموزعة وإدراجها في الشبكة مع إفادة الموردين أيضا من خلال تحسين عوامل التحميل إذا تم إنتاج الكهرباء المعتمد على الطاقة المتجددة خلال فترات ذروة الطلب. غير أنها ليست، في حد ذاتها، كافية بصورة عامة لتشجيع النمو الكبير في التكنولوجيات الأقل قدرة تنافسية مثل الفلط الضوئي على الأقل حيث تزيد تكاليف التوليد عن أسعار التجزئة. [11.5.4]

السياسات الخاصة بالنشر: التدفئة والتبريد

يعتمد عدد متزايد من الحكومات حوافز وولايات لتحقيق التقدم في تكنولوجيات التدفئة والتبريد المعتمدة على الطاقة المتجددة. ويشكل دعم هذه التكنولوجيات تحدياً فريداً لصانعي السياسات نتيجة للطابع الموزع في كثير من الأحيان لتوليد الحرارة. ويمكن توفير خدمات التدفئة والتبريد عن طريق التركيبات الصغيرة والمتوسطة النطاق التي تخدم مسكناً واحداً أو يمكن أن تستخدم في التطبيقات واسعة النطاق لتوفير التدفئة والتبريد على المستوى الحضري. ويتعين أن تعالج صكوك السياسات الخاصة بكل من التدفئة المعتمدة على الطاقات المتجددة والتبريد على وجه الخصوص الخصائص الأكثر تجانساً للموارد بما في ذلك النطاق الواسع لحجمها وتباين القدرة على تسليم مختلف مستويات درجات الحرارة، والطلب الموزع على نطاق واسع، والعلاقة بحمولة الحرارة، وتقلبية الاستخدام وعدم توافر التسليم المركزي أو آلية للاتجار. [11.5.5]

وقد زاد عدد السياسات التي تدعم مصادر التدفئة والتبريد من الطاقة المتجددة في السنوات الأخيرة مما أسفر عن زيادة توليد التدفئة والتبريد المعتمدين على الطاقة المتجددة. غير أن غالبية آليات الدعم تركزت على التدفئة المعتمدة على الطاقة المتجددة. وتشمل السياسات السارية للترويج للتدفئة المعتمدة على الطاقة المتجددة الحوافز المالية مثل خصم الضرائب والمنح وخفض الضرائب والائتمان الضريبي، وسياسات المالية العامة مثل القروض واللوائح مثل التزامات الاستخدام وجهود التعليم. [11.5.5.1، 11.5.5.3، 11.6]

وكانت الحوافز الجبائية حتى الآن هي السياسة السائدة المستخدمة حيث كانت المنح هي العنصر الذي يطبق في الغالب الأعم. وقد تكون الائتمانات الضريبية المتاحة بعد إنشاء نظام التدفئة المعتمد على الطاقة المتجددة (أي بعد التنفيذ) أكثر فائدة من الناحية اللوجستية عن، مثلاً، المنح التي تتطلب موافقة مسبقة قبل التركيب، وإن كانت لا تتوافر سوى خبرات محدودة بشأن هذا الخيار. وقد اجتذبت الآليات المنظمة مثل التزامات الاستخدام والحصص اهتماماً متزايداً لإمكانياتها على تشجيع نمو التدفئة المعتمدة على الطاقة المتجددة بصورة منفصلة عن الميزانيات العامة وإن لم تتوافر سوى خبرات ضئيلة عن تلك السياسات حتى الآن. [11.5.5]

وسوف تكون سياسات التدفئة/التبريد المعتمدة على الطاقة المتجددة، شأنها شأن الكهرباء المعتمدة على الطاقة المتجددة والنقل المعتمد على الطاقة المتجددة، في وضع ملائم أفضل في ظروف/مواقع معينة إذا روعي في تصميمها حالة نضج تكنولوجيا معينة، والأسواق القائمة وسلسلة الإمدادات. وتعتبر حوافز الإنتاج أكثر فعالية في نظم التدفئة/التبريد الكبيرة مثل شبكات التدفئة الحضرية منها بالنسبة للتركيبات الأصغر حجماً والموزعة لعمليات توليد التدفئة والتبريد والتي لا يتوافر لها سوى عدد ضئيل من قياسات مردودية التكاليف أو إجراءات المراقبة. [11.5.5]

وفي حين تتوافر بعض الأمثلة عن السياسات التي تدعم تكنولوجيات التبريد المعتمدة على الطاقة المتجددة RE–C، فإن السياسات العامة التي تهدف إلى دفع نشر التبريد المعتمد على الطاقة المتجددة فقط تعتبر أقل تطوراً من تلك الخاصة بالتدفئة المعتمدة على الطاقة المتجددة. كما يمكن تطبيق الكثير من الآليات التي يرد وصف لها في الفقرات السابقة على التبريد وذلك عموماً مع ما تنطوي عليه من مزايا وعيوب مماثلة. والأرجح أن نقص الخبرات المتعلقة بسياسات نشر التبريد المعتمد على الطاقة المتجددة يرتبط بالمستويات المبكرة للتطور التكنولوجي للكثير من تكنولوجيات التبريد. وقد يكون الدعم المقدم من البحوث والتطوير، والدعم من السياسات لتطوير السوق المبكرة، وسلاسل الإمدادات ذات أهمية خاصة لزيادة نشر تكنولوجيات التبريد في المستقبل القريب. [11.5.5.4]

السياسات الخاصة بالنشر: النقل

نفذت طائفة من السياسات لدعم نشر الطاقة المتجددة في قطاع النقل وإن كانت الغالبية العظمى من هذه السياسات والخبرات المتصلة بها تتعلق بصورة خاصة بالوقود الأحيائي. وتهدف سياسات دعم الوقود الأحيائي إلى الترويج للاستهلاك المحلي عن طريق الحوافز المالية (مثل الإعفاءات الضريبية للوقود الأحيائي عند مستوى المضخة) أو اللوائح (مثل ولايات الخلط) أو الترويج للإنتاج المحلي عن طريق المالية العامة (مثل القروض) لمرافق الإنتاج من خلال دعم عوامل الإنتاج أو الحوافز المالية (مثل الإعفاءات من الضريبية المضافة). ومن الأمور الأكثر شيوعاً، قيام الحكومات بسن توليفة من السياسات. [11.5.6]

وتستخدم الحوافز الضريبية عادة لدعم الوقود الأحيائي بالنظر إلى أنها تغير من قدرته التنافسية بالنظر إلى التكلفة بالمقارنة بالوقود الأحفوري. ويمكن

وضعها على إمتداد كامل سلسلة قيم الوقود الأحيائى إلأن الأكثر شيوعاً هو تقديمها إما لمنتجي الوقود الأحيائى (مثل الإعفاءات من الضريبة المضافة والائتمانات الضريبية) و / أو للمستهلكين النهائيين (مثل خفض الضرائب عن الوقود الأحيائى عند مستوى المضخة . [11.5.6]

غير أن العديد من البلدان الأوروبية وغيرها من البلدان الكبرى الثمانية + 5 بدأ في التحول بالتدريج من استخدام خفض الضرائب على الوقود الأحيائى إلى ولايات الخلط . ومن الصعب تقييم مستوى الدعم الذي يقدم في إطار ولايات الوقود الأحيائى بالنظر إلى أن الأسعار التي تفرضها هذه الالتزامات ليست عامة (على العكس من قطاع الكهرباء مثلاً) وفي حين أن الولايات تعتبر محركات رئيسية في تطوير ونمو معظم صناعات الوقود الأحيائى الحديثة، تبين أنها أقل ملاءمة في الترويج لأنواع معينة من هذا الوقود بالنظر إلى أن موردي الوقود يميلون إلى خلط الوقود الأحيائى منخفض التكلفة . يتعين تصميم الولايات، بحكم طبيعتها، بعناية وأن تقترن بمزيد من المتطلبات للوصول إلى مستوى أوسع نطاقاً للمساواة في التوزيع والتقليل من الآثار السلبية المحتملة الاجتماعية والبيئية . وتمتلك تلك البلدان التي لديها أعلى حصة من الوقود الأحيائى في استهلاك الوقود في قطاع النقل نظما مختلطة تجمع بين الولايات (بما في ذلك العقوبات) والحوافز المالية (الإعفاءات الضريبية بالدرجة الأولى) . [11.5.6]

التجميع التوليفى

أثبتت بعض عناصر السياسات أنها أكثر فعالية وكفاءة في تحقيق الزيادة السريعة فى نشر الطاقة المتجددة وتمكين الحكومات والمجتمع من تحقيق أهداف محددة . ويمكن أن تكون تفاصيل تصميم السياسات وتنفيذها عنصراً هاماً في تحديد الفعالية النجاعة مثلها مثل السياسات الخاصة المستخدمة . وتشمل عناصر السياسات الرئيسية ما يلي [11.5.7]:

- قيمة كافية مستمدة من الإعانات و تعريفات إمدادات الطاقة وغيرها لتغطية التكاليف التي تمكن المستثمرين من استرجاع استثماراتهم بمعدل عائد يتوافق مع ماتنطوي عليه من مخاطر؛
- الوصول المضمون إلى الشبكات والأسواق أو كحد أدنى الاستثناءات المحددة بوضوح التي تضمن الوصول؛
- العقود الطويلة الأجل للحد من المخاطر والتي يمكن من خلالها الحد من تكاليف التمويل؛
- الأحكام التي تراعي تنوع التكنولوجيات والتطبيقات . فتكنولوجيات الطاقة المتجددة تمر بمستويات متباينة من النضج وبخصائص مختلفة وتواجه في كثير من الأحيان عقبات شديدة التباين . وقد يتعين توفير مصادر وتكنولوجيات متعددة للطاقة المتجددة للتخفيف من تغير المناخ، ويمكن أن يضطلع بعضها الأقل نضجاً في الوقت الحاضر و / أو الأكثر تكلفة عن البعض الآخر بدور كبير في المستقبل في تلبية الاحتياجات من الطاقة وخفض انبعاثات غازات الدفيئة؛
- الحوافز التي تتضاءل بصورة يمكن التنبؤ بها بمرور الوقت مع تقدم التكنولوجيات و / أو الأسواق؛
- السياسات التي تتسم بالشفافية والتي يسهل الوصول إليها لكي يمكن للعناصر الفاعلة أن تفهم السياسات وطريقة عملها فضلاً عما هو مطلوب للدخول إلى السوق و / أو أن تكون في حالة امتثال . كما تتضمن الشفافية طويلة الأجل لأهداف السياسات مثل أهداف السياسات المتوسطة والطويلة الأجل؛
- الشمول ويعني إمكانية المشاركة واسعة قدر المستطاع لكل من جانب العرض (المنتجون التقليديون وموزعو التكنولوجيات أو إمدادات الطاقة سواء أكانت كهرباء أو تدفئة أو وقود) وجانب الطلب (قطاعات الأعمال، والأسر وغير ذلك) التي يمكن أن «تولد ذاتياً» مع الطاقة المتجددة الموزعة مما يمكن من المشاركة العريضة التي تطلق المزيد من رؤوس الأموال للاستثمار، ويساعد في بناء دعم عام عريض للطاقة المتجددة وتهيئة قدرات تنافسية أكبر؛
- الاهتمام بالفئات المعفية على أسس تفضيلية مثل كبار المستخدمين على أسس تنافسية أو المستهلكين المنخفضي الدخل وسريعي التأثر على أساس المساواة والتوزيع .

ومن المهم كذلك الإدراك بأنه لا توجد سياسة واحدة تصلح للجميع، ويمكن لصانعي السياسات الاستفادة من القدرة على التعلم من برامج الخبرات والمواءمة حسب مقتضى الحال . ويتعين أن تستجيب السياسات للاحتياجات والظروف السياسية والاقتصادية والاجتماعية والإيكولوجية والثقافية والمالية المحلية فضلاً عن بعض العوامل مثل مستوى النضج التكنولوجي وتوافر قاعدة الموارد الرأسمالية والمحلية والوطنية التي يمكن تحمل تكاليفها . وعلاوة على ذلك يتعين عموما توفير مزيج من السياسات لمعالجة مختلف العقبات التي تعترض الطاقة المتجددة . وقد تبين أن أطر السياسات التي تتسم بالشفافية والاستدامة . بدءاً من القدرة على التنبؤ بسياسة محددة إلى تسعير الكربون وغير ذلك من العناصر الخارجية إلى الأهداف الطويلة الأجل للطاقة المتجددةتمثل عنصرا أساسيا لخفض مخاطر الاستثمار وتيسير نشر الطاقة المتجددة وتطور التطبيقات المنخفضة التكاليف . [11.5.7]

تأثيرات سياسات الطاقة المتجددة على مستوى الاقتصاد الكلي

تميل المدفوعات لدعم الطاقة المتجددة التى تتسم بنمط دفع العرض إلى أن تأتي من الميزانيات العامة (المتعددة الجنسيات والوطنية والمحلية) في حين أن تكاليف آليات جذب الطلب تعتمد في كثير من الأحيان على المستخدمين النهائيين . فعلى سبيل المثال، إذا أضيفت سياسة كهرباء معتمدة على الطاقة المتجددة إلى قطاع الكهرباء في البلدان، فإن هذه التكاليف الإضافية يتحملها في كثير من الأحيان مستهلكو الكهرباء وإن كان يمكن للإعفاءات أو إعادة التخصيص أن تقلل من التكاليف بالنسبة لعملاء الصناعة أو الزبائن سريعي التأثر حيثما يكون ضرورياً . ومهما كان الاتجاه، هناك تكاليف ينبغي سدادها . فإذا كان الهدف هو تمويل قطاع الطاقة خلال العقود العديدة القادمة، فإن من المهم عندئذ التقليل من التكاليف خلال هذه الفترة بأكملها . ومن المهم كذلك إدراج جميع التكاليف والمنافع التي تعود على المجتمع في هذا الحساب . [11.5.7.2]

وعملية إجراء تحليل متكامل للتكاليف والمنافع المتعلقة بالطاقة المتجددة عملية كثيرة الطلبات بالنظر إلى أن ثمة عناصر كثيرة تنطوى عليها عملية تحديد الآثار الصافية . وتقع هذه الآثار في ثلاث فئات : التكاليف المباشرة وغير المباشرة للنظام فضلاً عن منافع التوسع في الطاقة المتجددة وتأثيرات التوزيع (حيث تتمتع العناصر أو الفئات الاقتصادية الفاعلة بالمنافع أو تعاني من الأعباء الناجمة عن دعم الطاقة المتجددة) فضلاً عن جوانب الاقتصاد الكلي مثل الآثار على الناتج المحلي الإجمالي أو فرص العمل . فعلى سبيل المثال فإن سياسات الطاقة المتجددة توفر فرصاً للنمو الاقتصادي المحتمل وتوفر فرص العمل إلاّ أن قياس الآثار الصافية مسألة معقدة وتعاني من عدم اليقين بالنظر إلى أن التكاليف الإضافية لدعم الطاقة المتجددة تفرض تأثيرات تتعلق بالتوزيع والميزانية على الاقتصاد . ولم يتناول هذه الآثار على الاقتصادات الوطنية أو الإقليمية سوى عدد قليل من الدراسات إلاّ أن تلك التي أجريت وجدت عموماً آثاراً اقتصادية إيجابية . [11.3.4، 11.5.7.2]

التفاعلات والنتائج غير المقصودة المحتملة للطاقة المتجددة والسياسات المناخية

نظراً لتداخل الدوافع والأسس المنطقية لنشر الطاقة المتجددة والتداخل في الولايات (المحلية والوطنية والدولية)، قد تحدث تفاعلات كبيرة فيما بين السياسات في بعض الأحيان مع ما ينطوي عليه ذلك من انعكاسات غير مقصودة. ولذا فإن من الأمور البالغة الأهمية توافر فهم واضح للتفاعلات بين السياسات والآثار المتراكمة للسياسات المتعددة. [11.3، 11.5.7، 11.6.2]

فسوف تتسبب كل من سياسات تسعير الكربون وسياسات الطاقة المتجددة، إذا لم تطبق عالمياً وبصورة شاملة، في حدوث مخاطر «تسرب الكربون» حيث تخفض سياسات الطاقة المتجددة في إحدى الولايات أو القطاعات الطلب على طاقة الوقود الإحفوري في تلك الولاية أو القطاع مما يخفض، إذا تساوت جميع الأحوال، من أسعار الوقود الإحفوري على الصعيد العالمي ومن ثم زيادة الطلب على الطاقة الاحفورية في الولايات أو القطاعات الأخرى. ويمكن أن تؤدي أسعار الكربون الأقل من المستوى المنشود وسياسات الطاقة المتجددة، حتى إذا نفذت عالمياً، إلى زيادة انبعاثات الكربون. فعلى سبيل المثال، إذا كان أصحاب موارد الوقود الإحفوري يخشون من السياسات الأكثر دعماً لنشر الطاقة المتجددة في المدى الطويل، يمكنهم زيادة استخلاص الموارد إذا ما تم دعم الطاقة المتجددة بصورة معتدلة. كذلك فإن توقعات الزيادات في أسعار الكربون في المستقبل قد تشجع أصحاب آبار النفط والغاز على زيادة سرعة استخلاص الموارد عندما تكون ضرائب الكربون منخفضة، مما يقوض أهداف صانعي السياسات بشأن كل من المناخ وانتشار تكنولوجيا الطاقة المتجددة. والظروف المتعلقة بهذه «المفارقة الخضراء» هي ظروف محددة: فسوف يبدأ تسعير الكربون من مستويات منخفضة ثم يزداد بسرعة. وفي نفس الوقت، فإن الطاقة المتجددة المدعمة سوف تكون أكثر تكلفة من التكنولوجيات المعتمدة على الوقود الأحفوري. غير أنه إذا بدأت أسعار الكربون وإعانات الطاقة المتجددة من مستويات مرتفعة منذ البداية، فإن هذه المفارقات الخضراء سوف تصبح بعيدة الاحتمال. [11.5.7]

وسوف تكون التأثيرات المتراكمة للسياسات المتظافرة التي تحدد أسعارا ثابتة للكربون مثل ضرائب الكربون مع إعانات الطاقة المتجددة ،عناصر مضافة إلى حد كبير: وبأسلوب آخر، فإن تقديم ضريبة الكربون مع إعانات الطاقة المتجددة يقلل من الانبعاثات ويزيد من نشر الطاقة المتجددة. غير أن التأثير على نظام الطاقة من جراء سياسات الأسعار المحلية المتظافرة، مثل تجارة الانبعاثات و/أو التزامات حصص الطاقة المتجددة، ليس بالأمر البسيط كما يبدو. فإضافة سياسات الطاقة المتجددة على قمة خطة تجارة الانبعاثات يقلل عادة من أسعار الكربون التي تزيد، بدورها، من جاذبية التكنولوجيات كثيفة الكربون (مثل تلك المعتمدة على الفحم) مقارنة بالخيارات الأخرى التي تحد من الطاقة المتجددة مثل الغاز الطبيعي، والطاقة النووية و/أو التحسينات في نجاعة الطاقة. وفي هذه الحالات، فإنه في حين تظل الانبعاثات الشاملة ثابتة بحسب الحد الأعلى، تقلل سياسات الطاقة المتجددة من تكاليف الامتثال و/أو تحسن الرفاهة الاجتماعية وذلك فقط إذا ما تعرضت تكنولوجيات الطاقة المتجددة لعناصر خارجية خاصة وحواجز سوقية بدرجة أكبر من تكنولوجيات الطاقة الأخرى. [11.5.7]

وأخيراً فإن سياسات الطاقة المتجددة ليست بمفردها (أي دون تسعير الكربون) بالضرورة وسيلة تتسم بالنجاعة لخفض انبعاثات الكربون حيث إنها لاتوفر حوافز كافية على استخدام جميع خيارات التخفيف المتاحة الأقل تكلفة بما في ذلك التكنولوجيات المنخفضة الكربون غير العاملة بالطاقة المتجددة والتحسينات في نجاعة الطاقة. [11.5.7]

11.6 البيئة المكنة والقضايا الإقليمية

يمكن أن تضطلع تكنولوجيات الطاقة المتجددة بدور أكبر في التخفيف من تغير المناخ إذا ما نفذت بالاقتران مع سياسات «ممكنة» أوسع نطاقاً تيسر التغيير في نظام الطاقة. وتشمل البيئة «الممكنة» مختلف المؤسسات والعناصر الفاعلة (أي دوائر التمويل ودوائر قطاع الأعمال، والمجتمع المدني، والحكومات)، والبنى الأساسية (مثل الشبكات والأسواق)، والنواتج السياسية (مثل الاتفاقات الدولية/التعاون الدولي، وإستراتيجيات تغير المناخ) (انظر الجدول 11.1 بالملخص الفني). [11.6]

ويمكن تهيئة بيئة مواتية أو «ممكنة» للطاقة المتجددة من خلال التشجيع على الابتكار في نظام الطاقة، ومعالجة التفاعلات المحتملة لسياسة معينة مع سياسات الطاقة المتجددة الأخرى فضلاً عن السياسات الأخرى غير المتعلقة بالطاقة المتجددة، وتيسير قدرة الجهات القائمة على تنمية الطاقة المتجددة على الحصول على التمويل والنجاح في تحديد موقع أحد المشروعات، وإزالة العقبات أمام الوصول إلى الشبكات والأسواق لمرافق الطاقة المتجددة ونواتجها، ونقل التكنولوجيا الممكنة وبناء القدرات، ومن خلال زيادة التعليم واستثارة الوعي على المستوى المؤسسي وفي داخل المجتمعات. كما أن وجود البيئة «الممكنة» يمكن أن يؤدي بدوره إلى زيادة نجاعة وفعالية السياسات الرامية إلى الترويج للطاقة المتجددة. [11.6.1، 11.6.8]

وتتمثل إحدى النتائج المسلم بها على نطاق واسع في الدراسات الخاصة بالابتكارات في أن النظم الاجتماعية الفنية القائمة تميل إلى تضييق تنوع الابتكارات لأن التكنولوجيات السائدة تهيىء بيئة مؤسسية مناسبة. وقد يؤدي ذلك إلى تكوين أوجه تكافل بين المسارات، واستبعاد (أو وقف) التنافس وبدائل الأداء الأفضل المحتملة. ولهذه الأسباب، فإن تغيير النظام الاجتماعي الفني يستغرق بعض الوقت، ويشمل تغييراً منهجياً أكثر منه خطياً. ويجري دمج تكنولوجيات الطاقة المتجددة في نظام الطاقة الذي أنشئ، في الكثير من بلدان العالم، لاستيعاب مزيج إمدادات الطاقة المتوافرة. ونتيجة لذلك، فإن البنية الأساسية توائم أنواع الوقود السائدة حاليا وينبغي أن تؤخذ جميع دوائر التأثير والمصالح في الاعتبار. ونظراً لما ينطوي عليه التغيير التكنولوجي من تعقيدات، فإن من المهم أن تشجع جميع مستويات الحكومة (من المحلية إلى الدولية) تنمية الطاقة المتجددة من خلال السياسات وإشراك العناصر الفاعلة غير الحكومية في صياغة السياسات وتنفيذها. [11.6.1]

والأرجح أن السياسات الحكومية التي يستكمل بعضها الآخر سوف تحقق النجاح في حين أن تصميم السياسات الأحادية للطاقة المتجددة سوف يؤثر أيضاً في نجاح تنسيقها مع السياسات الأخرى. ومن ناحية أخرى فإن محاولة الترويج بنشاط لتكامل السياسات عبر قطاعات متعددة – من الطاقة إلى الزراعة إلى سياسة المياه وغير ذلك – مع مراعاة أيضاً الأهداف المستقلة لكل منها – ليس بالمهمة السهلة وقد تنشئ حالات لتبادل المكسب و/أو المكسب – الخسارة مع احتمالات إجراء المقايضات. وينطوي ذلك على الحاجة إلى إجراء تنسيق مركزي قوي للتخلص من التناقضات والتضارب فيما بين السياسات القطاعية والعمل في نفس الوقت على تنسيق العمل على أكثر من مستوى من مستويات الحوكمة. [11.6.2]

وتشمل البيئة المكنة الأوسع نطاقاً القطاع المالي الذي يمكن أن يوفر الحصول على التمويل بالشروط التي تعكس الملامح الخاصة للمخاطر/المكاسب لتكنولوجيا أو مشروع الطاقة المتجددة، وترتبط تكاليف التمويل والحصول عليه بأحوال السوق المالي الأكثر شمولاً السائدة وقت الاستثمار، و بالمخاطر الخاصة بمشروع أو تكنولوجيا، وبالعناصر الفاعلة المشاركة.

الجدول الملخص الفني.11.1 العوامل والمشاركون المساهمون في نجاح نظام حوكمة الطاقة المتجددة [الجدول 11.4]

أبعاد البيئة الممكنة » العوامل والعناصر الفاعلة المساهمة في نجاح سياسة الطاقة المتجددة	القسم 11.6.2 دمج السياسات (السياسات الوطنية وفوق الولاية الوطنية)	القسم 11.6.3 الحد من المخاطر المالية والمتعلقة بالاستثمار	القسم 11.6.4 التخطيط والترخيص على المستوى المحلي	القسم 11.6.5 توفير البنية الأساسية والشبكات والأسواق للطاقة المتجددة	القسم 11.6.6 نقل التكنولوجيا وبناء القدرات	القسم 11.6.7 التعلم من العناصر الفاعلة فيما يتجاوز الحكومات
المؤسسات	دمج سياسات الطاقة المتجددة مع السياسات الأخرى عند مستوى التصميم يقلل من احتمالات التضارب بين السياسات الحكومية	تطوير مؤسسات ووكالات التمويل يمكن أن يساعد التعاون فيما بين البلدان، ويوفر القروض الميسرة أو الآلية الدولية لتمويل الكربون ويمكن أن يحد الالتزام الطويل الأجل من تصور المخاطر	عمليات التخطيط والترخيص تمكن من دمج سياسة الطاقة المتجددة مع السياسات غير المتعلقة بهذه الطاقة على المستوى المحلي	يمكن لصانعي القرار والمنظمين وضع الحوافز والقواعد للشبكات والأسواق مثل معايير الأمن وقواعد الوصول	يمكن ضمان موثوقية تكنولوجيات الطاقة المتجددة من خلال شهادات الاعتماد والاتفاقات المؤسسية التي تمكن من نقل التكنولوجيا	الانفتاح على التعلم من العناصر الفاعلة الأخرى يمكن أن يستكمل تصميم السياسات وتعزيز فعاليتها من خلال العمل في إطار الظروف الاجتماعية السائدة
المجتمع المدني (الأفراد والأسر والمنظمات غير الحكومية والاتحادات ...)	يمكن أن تضطلع البلديات أو المدن بدور حاسم في دمج سياسات الدولة على المستوى المحلي	استثمار المجتمع المحلي يمكن أن يتقاسم ويخفض مخاطر الاستثمار. ويمكن لمشاركة القطاعين العام والخاص في الاستثمار ووضع المشروعات أن تسهم في الحد من المخاطر ذات الصلة بصكوك السياسات ويمكن أن تتيح المؤسسات الدولية الملائمة التوزيع المنصف للأموال	قد تتيح مشاركة المجتمع المدني في عمليات التخطيط والترخيص على المستوى المحلي اختيار أكثر مشروعات الطاقة المتجددة فائدة من الناحية الاجتماعية	يمكن أن يصبح المجتمع المحلي جزءاً من شبكات الإمدادات من خلال المشاركة في إنتاج الطاقة والنماذج المركزية الجديدة	يمكن إشراك العناصر الفاعلة المحلية والمنظمات غير الحكومية في نقل التكنولوجيا من خلال نماذج الأعمال الجديدة التي تجمع معاً الشركات المتعددة الجنسيات والمنظمات غير الحكومية والمؤسسات الصغيرة والمتوسطة الحجم	يمكن أن تؤدي مشاركة المجتمع المدني في عمليات السياسات المفتوحة إلى إدراك معارف جديدة، وحث التغيير المؤسسي. وقد تضع البلديات أو المدن حلولاً لتيسير تنمية تكنولوجيا الطاقة المتجددة على المستوى المحلي. ولدى الناس (فرادى أو جماعات) إمكانية تحقيق التقدم في السلوك المتعلق بالطاقة عندما تتسق تنبيهات السياسات والقيود السياقية
مجتمعات المال والأعمال		يمكن أن تسهم شراكات القطاعين العام والخاص في الاستثمارات ووضع المشروعات في الحد من المخاطر المرتبطة بصكوك السياسات	يمكن لواضعي مشروعات الطاقة المتجددة عرض مهاراتهم والشبكات المهنية المتعلقة بما يلي: (1) مواءمة عملية وضع المشروعات مع متطلبات التخطيط والترخيص (2) تكييف عمليات التخطيط والترخيص مع الاحتياجات والظروف المحلية ويمكن أن تنشط قطاعات الأعمال في التأثير لتوفير السياسات المتسقة والمتكاملة	وضوح قواعد الشبكات والأسواق يزيد من ثقة المستثمرين	يمكن أن تتشارك مؤسسات ووكالات التمويل مع الحكومات الوطنية، وتوفير القروض الميسرة أو التمويل الدولي للكربون	يمكن للشركات المتعددة الجنسيات أن تشرك المنظمات غير الحكومية المحلية والمؤسسات الصغيرة والمتوسطة كشركاء في تنمية التكنولوجيا الجديدة (نماذج الأعمال الجديدة) تطوير الشركات والمؤسسات الدولية يقلل من مخاطر الاستثمار

أبعاد البيئة الممكنة » العوامل والعناصر الفاعلة المساهمة في نجاح سياسة الطاقة المتجددة	القسم 11.6.2 دمج السياسات (السياسات الوطنية وفوق الولاية الوطنية)	القسم 11.6.3 الحد من المخاطر المالية والمتعلقة بالاستثمار	القسم 11.6.4 التخطيط والترخيص على المستوى المحلي	القسم 11.6.5 توفير البنية الأساسية والشبكات والأسواق للطاقة المتجددة	القسم 11.6.6 نقل التكنولوجيا وبناء القدرات	القسم 11.6.7 التعلم من العناصر الفاعلة فيما يتجاوز الحكومات
البنى الأساسية	يمكن أن يؤدي الاندماج مع قواعد الشبكة والسوق إلى التمكين من وضع البنية الأساسية الملائمة لاقتصاد منخفض الكربون	وضوح قواعد الشبكة والسوق يقلل من مخاطر الاستثمار ويزيد من ثقة المستثمرين		وضوح وشفافية قواعد الشبكة والسوق تؤديان على الأرجح إلى تكامل البنية الأساسية مع المستقبل المنخفض الكربون		يمكن أن تدعم الأطر على مستوى المدن والمجتمعات المحلية لإقامة بنية أساسية وشبكات طويلة الأجل إشراك العناصر الفاعلة المحلية في وضع السياسات
السياسات (الاتفاقات الدولية / التعاون الدولي، إستراتيجية تغير المناخ، نقل التكنولوجيا)	الخطوط التوجيهية فوق الوطنية (مثل الاتحاد الأوروبي بشأن "التبسيط" ودراسة التأثير، تخطيط المحيطات قد يسهم في دمج سياسة الطاقة المتجددة مع السياسات الأخرى	الالتزام السياسي طويل الأجل بسياسة الطاقة المتجددة يقلل من مخاطر المستثمرين في مشروعات الطاقة المتجددة	قد تسهم الخطوط التوجيهية فوق الوطنية في عمليات تطوير التخطيط والترخيص	التعاون الإنمائي يساعد على دعم وضع البنية الأساسية ويتيح الوصول الأيسر إلى التكنولوجيات منخفضة الكربون	آليات التنمية النظيفة وحقوق الملكية الفكرية واتفاقات البراءات يمكن أن تسهم في نقل التكنولوجيا	المدخلات الملائمة من المؤسسات غير الحكومية تشجع على زيادة الاتفاقات المترابطة اجتماعياً. آليات عملية اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ مثل فريق الخبراء المعني بنقل التكنولوجيا ومرفق البيئة العالمية (GEF) وآلية التنمية النظيفة والتنفيذ المشترك قد توفر خطوطاً توجيهية لتيسير مشاركة العناصر الفاعلة غير الحكومية في وضع سياسة الطاقة المتجددة

وإضافة إلى السياسات الخاصة بالطاقة المتجددة، يمكن أن تتضمن الشروط الأوسع نطاقاً المخاطر السياسية والخاصة بأسعار الصرف والقضايا ذات الصلة بالطاقة مثل التنافس على الاستثمار من الجوانب الأخرى من قطاع الطاقة وحالة لوائح قطاع الطاقة أو إصلاحه. [11.6.3]

وقد اعتمد نشر تكنولوجيات الطاقة المتجددة بنجاح حتى الآن على توليفة من إجراءات التخطيط المواتية على المستويين الوطني والمحلي. ومن غير المحتمل أن تحل وصلات التثبيت الإجرائية الشاملة، مثل «تبسيط» تطبيقات الترخيص، النزاعات بين أصحاب المصلحة على مستوى نشر المشروع حيث أنها سوف تتجاهل الظروف الخاصة المتعلقة بالمكان والحجم. ويمكن أن يتضمن إطار التخطيط لتيسير نشر الطاقة المتجددة العناصر التالية: التوفيق بين توقعات ومصالح أصحاب المصلحة، ومراعاة أهمية السياق بالنسبة لنشر الطاقة المتجددة، وتطبيق آليات لتقاسم المنافع، وبناء شبكات تعاونية، وآليات للتنفيذ لتحديد جوانب النزاع لإجراء التفاوض. [11.6.4]

وبعد أن يحصل مشروع للطاقة المتجددة على الترخيص من التخطيط، فإن الاستثمار لإقامته لا يأتي إلاّ بعد الاتفاق على ربطه اقتصاديا بالشبكة، وعندما يحصل على عقد «لإطلاق» إنتاجه في الشبكة وعندما يتأكد بيعه الطاقة الذى يتم عادة عن طريق السوق. و تمثل القدرة والسهولة والتكاليف الخاصة بتحقيق هذه الشروط عنصراً أساسياً في جدوى مشروع للطاقة المتجددة. وعلاوة على ذلك، سيكون للطرق التي يتم بها دمج الطاقة المتجددة في نظام الطاقة تأثير على مجموع تكاليف النظام لدمج الطاقة المتجددة وتكاليف مختلف سيناريوهات الممرات. فضمان توسيع وتعزيز البنية الأساسية في الوقت المناسب من أجل مشروعات الطاقة المتجددة وربطها، قد يقتضي من المنظمين الاقتصاديين السماح لاستثمار «استباقي» أو «استشرافي» في الشبكة و/أو السماح بأن تربط المشروعات قبل التدعيم الكامل للبنية الأساسية. [11.6.5، 8.2.1.3]

وبالنسبة لكثير من البلدان يتمثل التحدي الرئيسي في الحصول على تكنولوجيات الطاقة المتجددة. فمعظم التكنولوجيات المنخفضة

الكربون بما في ذلك تكنولوجيات الطاقة المتجددة يتم تطويرها وتركيزها في بضعة بلدان. وقد أشير الى أن من غير المحتمل أن «يقفز» الكثير من البلدان النامية المراحل الكثيفة التلوث للتنمية الصناعية دون الحصول على التكنولوجيات النظيفة التي وضعت في اقتصاديات أكثر تقدماً. غير أن بعض التكنولوجيات مثل تكنولوجيات الطاقة المتجددة لاتتدفق عادة عبر الحدود ما لم توفر السياسات البيئية حوافز لتطبيقها في البلد المتلقي. وعلاوة على ذلك ينبغي أن لا يحل نقل التكنولوجيا مكان الجهود المحلية لبناء القدرات بل ينبغي أن يكملها. وبغية توفير القدرة على التكيف والتركيب والصيانة والإصلاح والتحسين فيما يتعلق بتكنولوجيات الطاقة المتجددة فى المجتمعات المحلية دون الحصول الميسر على الطاقة المتجددة، ينبغي أن يستكمل الاستثمار في نقل التكنولوجيا باستثمار في الخدمات الإرشادية المعتمدة على المجتمعات المحلية التي توفر الخبرة والمشورة والتدريب بشأن عمليات التركيب وتكييف التكنولوجيا والإصلاح والصيانة. [11.6.6]

وعلاوة على نقل التكنولوجيا، يضطلع التعلم المؤسسي بدور هام في تحقيق التقدم في نشر الطاقة المتجددة. فالتعلم المؤسسي يفضي إلى التغيير المؤسسي الذي يوفر مجالا للمؤسسات لتحسين اختبار وتصميم سياسات الطاقة المتجددة. كما أنه يشجع على تدعيم القدرات المؤسسية على المستوى الأكثر عمقاً، والأكثر محلية في كثير من الأحيان حيث يتعين اتخاذ العديد من القرارات المتعلقة بمواقع مشروعات الطاقة المتجددة والاستثمار فيها. ويمكن أن يتحقق التعلم ++المؤسسي إذا تمكن واضعو السياسات من الاستعانة بالعناصر الفاعلة غير الحكومية بما في ذلك العناصر الفاعلة من القطاع الخاص (الشركات وغيرها)، والمجتمع المدني لوضع نهج تشاركية في صنع السياسات. ويجري في كثير من الأحيان التشديد على المعلومات والتعليم بوصفهما من أدوات السياسات الرئيسية في التأثير على السلوك المتصل بالطاقة. غير أن فعالية السياسات المعتمدة على التعليم والمعلومات محدودة بفعل عوامل سياقية تحذر من الإفراط في الاعتماد على السياسات المعتمدة على المعلومات والتعليم بمفردها. والتغييرات في السلوك المرتبط بالطاقة هي نتاج عملية تتفاعل فيها المعايير والمواقف الشخصية مع الأسعار، ومؤشرات السياسات، وتكنولوجيات الطاقة المتجددة ذاتها فضلاً عن السياق الاجتماعي الذي يجد فيه الأفراد أنفسهم. وتشير هذه العوامل السياقية إلى أهمية العمل الجماعي بوصفه وسيلة أكثر فعالية، وإن كانت أكثر تعقيداً، لإجراء التغيير من العمل الفردي. ويؤيد ذلك السياسات المنسقة والمنهجية التي تتجاوز سياسات تغيير السلوك والمواقف الضيقة الأفق إذا ما رغب صانعو السياسات في إشراك الإفراد في التحول الى الطاقة المتجددة. [11.6.7، 11.6.8]

11.7 التحول الهيكلي

إذا كان صانعو القرارات يهدفون إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة، والوفاء، في نفس الوقت، بالأهداف التخفيف الطموحة المتصلة بالمناخ، سوف تصبح الالتزامات الطويلة الأجل والمرونة في التعلم من التجارب مسألة بالغة الأهمية. فتحقيق مستويات تثبيت تركيزات غازات الدفيئة مع زيادة حصص الطاقة المتجددة، يتطلب إجراء تحول هيكلي في نظم الطاقة المعاصرة خلال العقود القليلة القادمة ويختلف هذا التحول إلى الطاقة المنخفضة الكربون عن عمليات التحول السابقة في الطاقة (مثل من الخشب إلى الفحم ومن الفحم إلى النفط) لأن الفترة الزمنية المتاحة لا تتعدى بضعة عقود ولأن من الضروري تنمية الطاقة المتجددة وإدماجها في نظام أقيم في سياق هيكل الطاقة الحالي الذي يتباين بصورة كبيرة عما قد يكون مطلوبا في إطار مستقبل الطاقة المتجددة عالية التغلغل. [11.7]

وقد يبدأ التحول الهيكلي نحو نظام عالمي للطاقة يستند بالدرجة الأولى إلى الطاقة المتجددة بدور بارز لنجاعة الطاقة بالاقتران مع الطاقة المتجددة. غير أن ذلك يتطلب سياسة معقولة لتسعير الكربون في شكل خطة لضريبة أو لتجارة الانبعاثات تتجنب تسرب الكربون والتأثيرات الارتدادية. ويتعين توافر سياسات إضافية تمتد إلى ما يتجاوز البحوث والتطوير لدعم نشر التكنولوجيا، وتهيئة بيئة ممكنة تتضمن التعليم واستثارة الوعي، والنشر المنهجي للسياسات المندمجة مع قطاعات أوسع نطاقا بما في ذلك الزراعة والنقل وإدارة المياه والتخطيط العمراني [11.6، 11.7]. وأطر السياسات التي تحفز أقصى قدر من الاستثمار في الطاقة المتجددة هي تلك التي تصمم للحد من المخاطر والتمكين من العائدات الجذابة وتوفير الاستقرار ضمن نطاق زمني، للاستثمار [11.5] وتتزايد أهمية المزيج الملائم والموثوق به للصكوك عندما لا تكون البنية الأساسية للطاقة قد وضعت بعد ويتوقع زيادة الطلب على الطاقة بدرجة كبيرة في المستقبل. [11.7]

المرفقات

المرفق الأول

مسرد المصطلحات، والمختصرات، والرموز الكيميائية، والوحدات القياسية الدولية

المحررون:

Aviel Verbruggen (بلجيكا)، William Moomaw (الولايات المتحدة الأمريكية)، John Nyboer (كندا).

ينبغي الإشارة إلى هذا المرفق على النحو التالي:

A. Verbruggen، W. Moomaw، J. Nyboer 2011: المرفق الأول – مسرد المصطلحات والمختصرات، والرموز الكيميائية، والوحدات القياسية الدولية، في التقرير الخاص بمصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من تغير المناخ للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. (O. Edenhofer, R. Pichs–Madr ga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. v. Stechow) (محررون) مطبعة جامعة كامبردج، كامبردج، المملكة المتحدة ونيويورك، الولايات المتحدة الأميركية.

مسرد المصطلحات، والمختصرات، والرموز الكيميائية، والوحدات القياسية الدولية

صُنفت المصطلحات (الواردة **بالخط السميك**) في هذه القائمة بحسب أفضلية المواضيع. وقد يشمل المصطلح الأساسي **مصطلحات ثانوية**، ترد بدورها بالخط السميك، كمفهوم ***الطاقة النهائية*** التي صنفت تحت تعريف الطاقة. ويلي مسرد المصطلحات، قائمة المختصرات/الاختصارات، وقائمة التسميات والرموز الكيميائية والوحدات القياسية الدولية. واعتمدت بعض التعاريف من قاموس : C.J. Cleveland and C. Morris, 2006 : Dictionary of Energy, Elsevier, Amsterdam أما تعريف الأقاليم ومجموعات البلدان فقد ورد في القسم A.II.6 من المرفق الثاني لهذا التقرير.

مسرد المصطلحات

التكيف: المبادرات والتدابير التي ترمي إلى الحد من تعرض النظم الطبيعية والبشرية لتأثيرات تغير المناخ الحالية أو المتوقعة. ويمكن التمييز بين أنواع عديدة من التكيف، مثل التكيف الاستباقي والتفاعلي، والتكيف الخاص والعام، والتكيف المستقل والمخطط. ومن الأمثلة عليه، إنشاء السدود على الأنهار أو مصدات الفيضانات على السواحل، إجلاء المناطق الساحلية التي تتعرض للفيضانات بسبب ارتفاع منسوب البحر واعتماد محاصيل بديلة تتلاءم مع درجات الحرارة أو تتكيف مع الجفاف بدل المحاصيل التقليدية.

الأهباء الجوية: مجموعة من الجسيمات الصلبة أو السائلة التي يحملها الهواء ويتراوح حجمها عادة بين 0,01 ميكرون و10 ميكرونات، وتبقى هذه الجسيمات في الغلاف الجوي لعدة ساعات على الأقل. وقد تكون الأهباء الجوية طبيعية أو بشرية المنشأ. راجع أيضا الكربون الأسود.

التشجير: تحويل مباشر ومن صنع الإنسان للأراضي التي لم يتم تشجيرها إلى غابات من خلال الغرس أو نشر البذور و/أو تعزيز بشري المنشأ لموارد البذور الطبيعية[1]. انظر أيضاً إزالة الأشجار وإعادة التشجير واستخدام الأراضي.

البلدان المدرجة في المرفق الأول: مجموعة البلدان المدرجة في المرفق الأول (كما جرى تعديله منذ مالطا وأضيف بعد ذاك التاريخ) لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، بما فيها البلدان المتقدمة وبعض البلدان التي يمر اقتصادها بمرحلة انتقالية. ووفقاً للمادتين 4.2 (أ) و4.2 (ب) من الاتفاقية، تلتزم البلدان المدرجة في المرفق الأول فردياً أو مجتمعة التزاماً محدداً بهدف إعادة مستويات انبعاثات غازات الدفيئة إلى مستويات 1990 وذلك بحلول 2000. وتشبه هذه المجموعة بشكل كبير البلدان المدرجة في المرفق باء لبروتوكول كيوتو. ولذلك يُشار إلى البلدان الأخرى، بأنها **البلدان غير المدرجة في المرفق الأول**. وللاطلاع على قائمة البلدان المدرجة في المرفق الأول، انظر أيضاً اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، وبروتوكول كيوتو.

البلدان المدرجة في المرفق باء: هي بعض البلدان المدرجة في المرفق الأول التي وافقت على التزامات معينة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة بموجب بروتوكول كيوتو. وتشبه هذه المجموعة بشكل كبير البلدان المدرجة في المرفق الأول للاتفاقية. وتسمى البلدان الأخرى بالبلدان غير المدرجة في المرفق الأول. انظر أيضاً اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، وبروتوكول كيوتو.

بشري المنشأ: المتصلة بتأثير الإنسان على الطبيعة أو ناتجة عنه.

انبعاثات غازات الدفيئة بشرية المنشأ، وسلائف غازات الدفيئة، والهباء ناتجة عن حرق الوقود الأحفوري، وإزالة الغابات، والتغيرات في استخدام الأراضي، والمواشي، والتخصيب، والأنشطة الصناعية والتجارية والأنشطة الأخرى التي تتسبب في ارتفاع صاف في الانبعاثات.

توافر (منشأة الإنتاج): النسبة المئوية التي تكون فيها المنشأة جاهزة للإنتاج، وتُقاس بصفتها وقت الاستعداد من إجمالي الوقت (إجمالي الوقت = وقت الاستعداد + وقت الانقطاع بسبب الصيانة أو الأعطال).

الطاقة/الاحتياطات الموازنة: ونظراً للتقلبات الآنية و القصيرة الأمد في الشحنات الكهربائية وانعدام التوافر اليقين لمنشآت الطاقة، تطرح باستمرار الحاجة لمولدات تكون جاهزة وسريعة التشغيل للحفاظ على التوازن بين الطلب والعرض في مستويات الجودة المطلوبة من جهة التواتر والجهد.

الحاجز: هو أي عائق يعترض إمكانية تطوير أو نشر الطاقة المتجددة ويمكن التغلب عليه أو الحدّ منه من خلال سياسة أو برنامج أو تدبير. و يمكن للحواجز أن تكون عوائق يضعها الإنسان عمداً أو من غير عمد (مثلا مباني وجهتها سيئة، شبكة لتوزيع الطاقة لها معايير تستثني من المنافسة مولدات الطاقة المتجددة). وإضافة إلى الحواجز هناك بعض المسائل الأخرى كتلك المتصلة بالخصائص الطبيعية الجوهرية التي تحول دون اعتماد مصادر الطاقة المتجددة في مكان وزمان ما (على سبيل المثال، الأرض المسطحة تحول دون إنتاج الطاقة المائية والليل دون جمع الطاقة الشمسية المباشرة).

وتشمل **إزالة الحواجز** عملية تصحيح إخفاقات السوق بصورة مباشرة أو تقليص تكاليف المعاملات في القطاعين العام والخاص، بطرق مثل تحسين قدرات المؤسسات والحد من المخاطر وعدم اليقين، وتيسير معاملات السوق، وتطبيق السياسات التنظيمية.

خط الأساس: هو السيناريو المرجعي للكميات القابلة للقياس التي يمكن على أساسها قياس نتيجة بديلة، فسيناريو عدم التدخل مثلاً يُستخدم كمرجع لتحليل سيناريوهات التدخل. ويمكن أن يستخلص خط الأساس من التوجهات الحديثة أو على أساس التكنولوجيا والتكاليف الجامدة. راجع أيضاً سير الأمور كالمعتاد، والنماذج، والسيناريوهات.

عتبة: هي متغيرة قابلة للقياس تستخدم كخط الأساس أو كمرجع لتقييم أداء تكنولوجيا أو نظام أو منظمة ما. ويمكن وضع العتبات على أساس الخبرة الداخلية أو خبرة المنظمات الأخرى أو بناءً على

1 للاطلاع على مناقشة مصطلح الغابة والمصطلحات المتصلة به كالتشجير وإعادة التشجير و إزالة الأشجار، راجع تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لعام 2000، استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي والحراجة. وهو تقرير خاص Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (محررون)، مطبعة جامعة كامبردج، كامبردج، المملكة المتحدة ونيويورك، الولايات المتحدة الأميركية.

متطلبات قانونية وغالباً ما تستعمل لقياس التغيرات في الأداء التي تطرأ مع مرور الزمن.

التنوع الأحيائي: إجمالي تنوع الكائنات الحية من جميع المصادر بما فيها الأرضية والبحرية والنظم الأحيائية المائية الأخرى والمجمعات الإيكولوجية التي تنتمي إليها، وهذا يشمل التنوع داخل الأنواع وبين الأنواع وبين النظم الإيكولوجية.

الطاقة الحيوية: الطاقة المستمدة من أي شكل من أشكال الكتلة الأحيائية.

الوقود الأحيائي: أي وقود سائل أو غازي أو صلب يُنتج من مادة عضوية نباتية أو حيوانية كزيت فول الصويا والكحول من السكر المخمر والسائل الأسود من عملية تصنيع الورق والخشب إلخ. ويشمل الوقود الأحيائي التقليدي الخشب والروث والعشب والمخلفات الزراعية.

ويصنع **الوقود الأحيائي من الجيل الأول** من الحبوب والبذور الزيتية والدهون الحيوانية و نفايات الزيوت النباتية بفضل تكنولوجيا التحويل المتقدمة.

ويستخدم في **الوقود الأحيائي من الجيل الثاني** عمليات التحويل غير التقليدية الناتجة عن الكتلة الأحيائية اللجنينية السليولورية بفضل عمليات كيميائية و بيولوجية وأخرى كيميائية حرارية، وتستخدم على سبل المثال المخلفات من الأشجار والزراعة والنفايات الصلبة من المدن.

ومن المنتظر أن يشتق **الوقود الأحيائي من الجيل الثالث** من المواد الأحيائية مثل الطحالب ومحاصيل الطاقة بفضل عمليات متقدمة للغاية لاتزال قيد التطوير، ويسمى أيضا بوقود الجيل المقبل أو الوقود الأحيائي المتقدم أو تكنولوجيا الوقود الأحيائي المتقدمة.

الكتلة الأحيائية: مادة من أصل أحيائي (نباتات وحيوانات)، باستثناء المواد الموجودة في التشكيلات الجيولوجية والتي تحولت إلى وقود أحفوري أو خث. وعرفت الوكالة الدولية للطاقة (التوقعات العالمية للطاقة 2010) **الكتلة الأحيائية التقليدية** بصفتها استهلاك الكتلة الأحيائية في قطاع السكن في البلدان النامية التي تتخذ عادة شكل الاستعمال غير المستدام للخشب والفحم والمخلفات الزراعية وروث الحيوانات للطبخ والتدفئة. أما الاستعمالات الأخرى للكتلة الأحيائية فيعرف باسم **الكتلة الأحيائية العصرية** وتنقسم إلى قسمين:

الطاقة الأحيائية العصرية وتشمل توليد الكهرباء والإنتاج المشترك للتدفئة والكهرباء انطلاقا من الكتلة الأحيائية ومن النفايات الصلبة من المدن، والغاز الأحيائي، والماء الساخن للمباني والتطبيقات التجارية من الكتلة الأحيائية، ووقود النقل السائل.

وتشمل التطبيقات المتصلة **بالطاقة الأحيائية الصناعية** التدفئة بفضل البخار والتوليد الذاتي للكهرباء والإنتاج المشترك للتدفئة والكهرباء في صناعة اللب والورق ومنتجات الغابات والصناعات الغذائية وتلك المتصلة بها.

الكربون الأسود: مادة جسيمية في الغلاف الجوي تستند إلى القياس بامتصاص الضوء والتفاعل الكيميائي و/أو الاستقرار الحراري. ويتم تحديد مادة الكربون الأسود عملياً استناداً إلى قياس امتصاص الضوء. ويتألف من السناج والفحم و/أو إمكانية وجود مادة عضوية ماصة وغير قابلة للصهر.

سير العمل كالمعتاد: يجري إسقاط المستقبل أو التنبؤ به على أساس أن ظروف التشغيل والسياسات القائمة ستبقى على حالها. انظر أيضاً خط الأساس، النماذج، السيناريوهات.

القدرة: عموماً القدرة على الإنتاج أو الأداء أو الانتشار أو الاحتواء.

وتُعرف **قدرة التوليد** لمنشأة الطاقة المتجددة على أنها الطاقة القصوى أي الكمية القصوى للطاقة التي تولد في كل وحدة زمنية.

اعتماد القدرة هو حصة قدرة وحدة طاقة متجددة يعتبر توافره مضمون أثناء فترات زمنية معينة ومقبول بصفته مساهمة «أكيدة» في إجمالي قدرة نظام التوليد.

عامل القدرة هو معدل الناتج الفعلي لوحدة توليد أثناء فترة زمنية (عموما سنة) مقارنة مع الناتج النظري الذي يمكن أن تنتجه الوحدة لو شُغلت بشكل مستمر بقدرتها المقررة أثناء الفترة الزمنية نفسها. والقدرة المقررة المسماة أيضا معدل القدرة أو القدرة الاسمية هي مستوى الناتج المنتظر طيلة مدة معينة في إطار ظروف عادية.

بناء القدرات: تطوير المهارات الفنية وقدرات المؤسسات (المهارة) وقدرات البلدان (الوسائل الكافية) الكفيلة بمساهمتها في التكيف على تغير المناخ والتخفيف من آثاره والبحث بشأنه، في سياق سياسات تغير المناخ. انظر أيضا قدرة التخفيف.

دورة الكربون: يستخدم هذا المصطلح في وصف تدفق الكربون (في أشكال مختلفة مثل ثاني أكسيد الكربون) من خلال الغلاف الجوي، والمحيطات، والغلاف الحيوي الأرضي، والقشرة الأرضية.

ثاني أكسيد الكربون: غاز يوجد في الطبيعة، وهو أيضاً أحد النواتج الثانوية الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري من رواسب الكربون الأحفورية، وعن احتراق الكتلة الأحيائية، ونتيجة تغير استخدام الأراضي، وغير ذلك من العمليات الصناعية. وهو أهم غازات الدفيئة البشرية المنشأ الذي يؤثر في التوازن الإشعاعي للأرض. وهو الغاز المرجعي الذي تقاس على أساسه سائر غازات الدفيئة ولذلك تقدر إمكانية إحداث الاحترار العالمي بـ 1.

احتجاز (ثاني أكسيد الكربون) وتخزينه: عملية مكونة من فصل ثاني أكسيد الكربون عن المصادر الصناعية والمرتبطة بالطاقة، وضغطه ونقله إلى موقع تخزين، وعزله عزلاً طويل الأجل عن الغلاف الجوي.

السليولوز: العنصر الكيميائي الأساسي لجدران خلايا النباتات ومصدر المواد الليفية التي تدخل في صناعة سلع مختلفة كالورق والرايون

والسيلوفان وغيرها. ويعتبر العنصر الأساسي في صناعة الوقود الأحيائي من الجيل الثاني.

آلية التنمية النظيفة: آلية من آليات بروتوكول كيوتو تتيح للبلدان المتقدمة المدرجة في المرفق باء تمويل تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة أو مشاريع الإزالة في البلدان النامية (البلدان غير المدرجة في المرفق باء) والحصول على اعتمادات للقيام بذلك يمكن استعمالها للوفاء بالحدود الإلزامية المفروضة على الانبعاثات الخاصة بها.

تغير المناخ: مصطلح تغير المناخ يشير إلى تغير في حالة المناخ يمكن تحديده (عن طريق استخدام اختبارات إحصائية مثلاً) بتغيرات في متوسط خصائصه و/أو تقلبها، ويدوم لفترة متطاولة تدوم عموماً عقوداً أو فترات أطول من ذلك. وقد يعزى تغير المناخ إلى عمليات داخلية طبيعية أو تأثيرات خارجية، أو تغييرات مستمرة بشرية المنشأ في تركيب الغلاف الجوي واستخدام الأراضي. ويلاحظ أن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) تعرّفه في المادة الأولى منها بأنه «التغير في المناخ الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري الذي يغير من تكوين الغلاف الجوي للعالم والذي يكون إضافة إلى التقلبية في المناخ الطبيعي الملاحظة خلال فترات زمنية متماثلة» وعلى ذلك فإن الاتفاقية الإطارية تميز بين تغير المناخ الذي يعزى إلى الأنشطة البشرية التي تغير من تكوين الغلاف الجوي و«تقلبية المناخ» التي تعزى إلى أسباب طبيعية.

انبعاث ثاني أكسيد الكربون المكافئ: كمية انبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي قد ينتج عنه التأثير الإشعاعي نفسه الناجم عن كمية غاز دفيئة، أو خليط من غازات الدفيئة، حيث تتضاعف كلها بإمكانيات الاحترار العالمي العائدة لها، وذلك لتدرج في حسابها الأوقات المختلفة التي تبقى خلالها في الغلاف الجوي. أنظر أيضا إمكانية الاحترار العالمي.

المنافع المرافقة: المنافع الناشئة عن سياسات تنفذ لتحقيق أهداف متنوعة في وقت واحد، مثلا كالزيادة في استعمال الطاقة المتجددة الذي قد يساهم في الحد من تواجد الملوثات في الغلاف الجوي والتخفيض في الآن نفسه من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتوجد تعريفات مختلفة للمنافع المرافقة وفقا إذا ما كانت منشودة عمداً (بصفتها إمكانية) أو لم تكن مقصودة (امتياز بالصدفة) أما مفهوم الأثر المشترك فهو أكثر عمومية إذ يغطي المنافع والتكاليف. راجع أيضا المحفزات والفرص.

توليد مشترك للطاقة: استخدام الحرارة المهدرة في المصانع الحرارية لتوليد الكهرباء. ويمكن للحرارة أن تنتج عن الحرارة المكثفة التي يطلقها توربين بخاري أو غازات المداخن الساخنة المنبعثة من توربينات غازية، سواء لأغراض صناعية أو لتسخين الماء أو المباني أو لتدفئة المدن. وهو مرادف لتوليد الحرارة والطاقة المشترك.

التوربين الغازي ذو الدورة الموحدة: محطة لتوليد الطاقة على أساس عمليتين اثنتين. في العملية الأولى يغذي الغاز أو أو زيت وقود خفيف توربيناً غازياً ما يؤدي بكل تأكيد إلى إطلاق غازات ساخنة من المداخن (> 600 درجة مئوية). أما في العملية الثانية، فإن الحرارة المجمعة من تلك الغازات، مع مزيد من النار، تشكل مصدراً لإنتاج البخار الذي يشغل توربيناً غازياً. وتدير تلك التوربينات مولدات الكهرباء. وتصبح المحطة توربيناً غازياً مركب الدورات ومتكاملاً عندما يكون الوقود غازاً مركباً من الفحم أو من كتلة أحيائية بواسطة مفاعل التحويل إلى غاز (تغويز)، يرافقه تبادل لتدفقات الطاقة بين التغويز ومحطات التوربين الغازي المركب الدورات.

الامتثال: يعني الامتثال تقيد البلدان أو الأفراد أو الشركات بأحكام الاتفاقات ومدى احترامها للأنظمة. وهو يعتمد على تطبيق السياسات المرسومة وما إذا كانت التدابير تفي بمتطلبات هذه السياسات.

التحويل: تظهر الطاقة في مختلف الأشكال، وتتحول من نوع إلى آخر وتسمى بتحويلات الطاقة. على سبيل المثال فالطاقة الحركية المُستمدة من دفق الرياح يتم تحويلها بواسطة رمح دوار إلى كهرباء؛ كما يتم تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء بفضل الخلايا الفلطائية الضوئية. ويتم تحويل تيارات كهربائية بمواصفات معينة (مباشر، أو متناوب، مستوى الجهد، وغيرها) إلى تيارات لها مواصفات أخرى. والمُحول هو الجهاز المستخدم للقيام بهذا التحويل.

التكلفة: هي استهلاك الموارد مثل وقت العمل، ورأس المال، والمواد، والوقود وما إلى ذلك كنتيجة لعمل ما. وفي علم الاقتصاد، تقيم الموارد كافة من حيث تكلفة الفرص البديلة، وهي قيمة الاستعمال البديل الأكثر قيمة لتلك الموارد. ويتم تحديد التكاليف بطرق شتى وفي إطار افتراضات تؤثر على القيمة. والمنافع هي عكس التكاليف وفي الكثير من الأحيان تأخذ في الاعتبار معا، فعلى سبيل المثال، التكلفة الصافية هي الفرق بين إجمالي التكاليف والمنافع.

والتكاليف الخاصة يتحملها الأفراد أو الشركات أو الكيانات الأخرى الخاصة التي تقوم بذلك العمل.

أما **التكاليف الاجتماعية** فتضم كذلك التكاليف الخارجية المترتبة على البيئة وعلى المجتمع ككل، على سبيل المثال، تكاليف الأضرار التي تلحق بالنظم الإيكولوجية، والناس والاقتصادات بسبب تغير المناخ.

وتشمل **التكلفة الإجمالية** جميع التكاليف الناجمة عن نشاط معين. **ومتوسط التكلفة (للوحدة، خاص)** هو مجموع التكاليف المقسمة على عدد الوحدات التي أُنتجت. **التكلفة الهامشية أو الإضافية** هي تكلفة أخر وحدة إضافية.

وتشمل **تكاليف المشروع** المتصل بالطاقة المتجددة **تكلفة الاستثمار** (التكلفة – بقيتمها الفعلية العام الأول لبداية المشروع–اللازمة لإقامة مرفق للطاقة المتجددة يكون جاهزاً لبدء الإنتاج)؛ **تكلفة التشغيل والصيانة** (اللازمة أثناء تشغيل مرفق الطاقة المتجددة) **تكاليف وقف التشغيل** (وهي التكاليف التي تكبد عندما يتوقف المرفق عن التشغيل واللازمة لإعادة الموقع إلى ما كان عليه).

تكاليف دورة العمر تشمل جميع التكاليف المذكورة أعلاه بقيمتها الفعلية منذ العام الأول لبداية المشروع.

متوسط الكلفة الفعلية (انظر المرفق الثاني) هو السعر الموحد (بسنت الدولار الأمريكي/كيلوواط ساعة أو بالدولار الأمريكي/جيجاجول) لنواتج مشروع يجعل القيمة الحالية للمداخيل (منافع) تتساوى مع القيمة الحالية للتكاليف طوال دورة حياة المشروع. انظر أيضاً الخصم والقيمة الحالية.

وهناك المزيد من الفئات الإضافية الأخرى للتكاليف لها تسميات كثيرا ما تكون غير واضحة إن لم تكن غامضة، فعلى سبيل المثال تكاليف التركيب قد تشير إلى تكاليف تركيب المعدات والأجهزة أو الأنشطة المتصلة بوضع هذه المعدات والأجهزة في مكانها.

تحليل نسبة التكلفة إلى المنفعة: هو قياس نقدي لكافة التداعيات السلبية والإيجابية المرتبطة بعمل محدد يتم بموجبه مقارنة التكاليف والمنافع من حيث الفارق و/أو المعدل كمؤشر على الكيفية التي تجلب بها المردود المنتظر منها لنتائج سياسة أو استثمار من وجهة نظر المجتمع.

تحليل فعالية التكلفة: حالة معينة من تحليل نسبة التكلفة إلى المنفعة حيث يتم تقييم حافظة مشروعات من حيث صلتها بالهدف الثابت المرجو من السياسة الذي يمثل في هذه الحالة منافع المشروعات، وتقاس كافة التأثيرات الأخرى كتكاليف أو كتكاليف سلبية (منافع). ويمكن أن يكون الهدف من السياسة، على سبيل المثال، هو تحقيق إمكانيات معينة للطاقة المتجددة.

إزالة الغابات (أو الأحراج): عملية طبيعية أو بشرية المنشأ تحول الغابات إلى مناطق غير حرجية. انظر التشجير وإعادة التشجير واستخدام الأراضي.

إدارة جانب الطلب: السياسات والبرامج الرامية إلى التأثير في الطلب على السلع و/أو الخدمات. وفي قطاع الطاقة، تهدف إدارة جانب الطلب إلى الحد من الطلب على الكهرباء وأشكال الطاقة الأخرى اللازمة للتزويد بخدمات الطاقة.

الكثافة: الكمية أوالكتلة لكل وحدة من وحدات الحجم أو المساحة أو الطول.

فكثافة الطاقة هي كمية الطاقة لكل وحدة من وحدات الحجم أو الكتلة (على سبيل المثال، قيمة الحرارة لكل لتر من النفط).

ويُفهم عادة من **كثافة الطاقة** على أنها القدرة التي يمكن أن تُستمد من الشمس أو الريح أو الكتلة الأحيائية أو الماء من طاقة البحر لكل وحدة مساحية (وتقاس بالواط/متر مربع). أما للبطاريات، فتقاس القدرة لكل وحدة من وحدات الوزن (واط/كيلوغرام).

الطاقة الشمسية المباشرة – انظر الطاقة الشمسية

الخصم: عملية رياضية تؤدي إلى جعل المبالغ النقدية (أو غيرها) المستلمة أو المنفقة في أوقات مختلفة (سنوات) قابلة للمقارنة عبر الزمن (راجع المرفق الثاني). ويستعمل القائم بهذه العملية معدل خصم ثابت أو ربما قابل للتغير مع الوقت (> صفر) من سنة إلى سنة، ما يجعل القيمة المستقبلية أقل من القيمة الحالية. وفي **نهج الخصم الوصفي** تقبل معدلات الخصم التي يعتمدها الناس فعلياً (سواء كانوا مدخرين أو مستثمرين) في قراراتهم اليومية (**معدل الخصم الخاص**). أما في **نهج الخصم الإلزامي (أخلاقي أو معياري)** فيتثبت معدل الخصم انطلاقاً من منظور اجتماعي، كما في الاستناد إلى حكم أخلاقي بشأن مصالح الأجيال المقبلة (**معدل الخصم الاجتماعي**). وفي هذا التقرير، جرى تقييم إمكانيات الإمدادات من الطاقة المتجددة باستعمال معدلات خصم تساوي 3.7 و10 بالمائة.

شبكة التوزيع (توزيع الطاقة/قابلة للتوزيع): نظم الطاقة الكهربائية التي تشمل عدة وحدات أو شبكات للإمداد بالطاقة ويتم التحكم فيها بفضل مشغلي النظام. ويتيح هؤلاء للمولدات تزويد النظام بالطاقة للموازنة بين الطلب والعرض بشكل ناجع من حيث التكلفة وبشكل يمكن أن يعول عليه. ويمكن توزيع الوحدات التي يتم توليدها كاملة عندما يمكن تحميلها من صفر إلى مستوى قدرتها الإسمي من دون أي تأخير هام. أما الوحدات التي لايمكن توزيعها كاملة فهي المصادر المتجددة المتفاوتة الطاقة التي تقترن بالتيارات الطبيعية، وكذا الشأن أيضاً بالنسبة للمنشآت الحرارية الكبيرة ذات المعدلات المتباطئة في تغيير ناتجها. انظر أيضا الموازنة، القدرة، الشبكة.

التدفئة الحضرية: توزيع المياه الساخنة (البخار في النظم القديمة) من المحطات المركزية إلى المباني والمصانع في منطقة كثيفة سكنياً (مقاطعة أو مدينة أو منطقة حضرية). وهي شبكة معزولة ثنائية الأنابيب كنظام التدفئة المركزية الذي يشتغل بالماء في المباني مثلاً. ويمكن بواسطة مراكز التدفئة المركزية استعادة الحرارة المتبددة على المستويات الصناعية، وفي منشآت حرق النفايات، ومحطات التوليد المشترك للكهرباء أو المراجل المستقلة الحارقة للوقود الأحفوري أو الكتلة الأحيائية. وازدادت نظم التدفئة الحضرية التي توفر أيضا التبريد بالماء البارد أو بالسوائل ذات العوالق (**التدفئة والتبريد الحضريان – DHC**).

الدوافع: توفر الدوافع، في سياق سياسة معينة، الزخم والتوجه لاتخاذ المبادرات ودعمها. فما يحفز على اعتماد الطاقة المتجددة، على سبيل المثال، هي الانشغالات المتصلة بتغير المناخ أو أمن الطاقة. وبشكل عام، المحفز هو ما يدعو إلى رد الفعل، فالانبعاثات مردها هو استهلاك الوقود الأحفوري و/أوالنمو الاقتصادي. انظر أيضا الفرص.

وفورات الحجم: تنخفض تكلفة نشاط معين كلما ازداد هذا النشاط اتساعا، أي كلما زاد عدد الوحدات المنتجة على سبيل المثال.

النظام الإيكولوجي: نظام مفتوح من الكائنات الحية المتفاعلة فيما بينها ومع بيئتها الفيزيائية، وقادر على تنظيم ذاته إلى حد ما. وقد يتراوح حجمه بين نطاقات مكانية بالغة الصغر يقابلها كوكب الأرض بكامله في نهاية المطاف، حسب الاهتمام أو الدراسة.

الكهرباء: دفق الشحنة المارة عبر الموصل بفضل التباين في الجهد بين نهايتي الموصل. ويتم توليد الطاقة الكهربائية بالعمل من الحرارة في توربين غازي أو بخاري أو من الرياح أو مياه البحار أو الشلالات أو تنتج مباشرة من ضوء الشمس باستعمال أداة فلطائية ضوئية أو كيميائياً باستعمال خلايا الوقود. وبما أن الكهرباء عبارة عن تيار فلا يمكن تخزينها ويتطلب نقلها أسلاكا وكبلات (شبكة). ويتدفق التيار الكهربائي بشكل فوري، لهذا ينبغي تغطية الطلب على الكهرباء بإنتاجه في الوقت الفعلي.

الانبعاثات: الانبعاثات المباشرة تطلق وتحدد في نقاط في سلسلة من سلاسل الطاقة المتجددة سواء تعلق الأمر بقطاع أو تكنولوجيا أو

نشاط. على سبيل المثال، انبعاثات الميثان من المواد العضوية المتحللة والمنغمسة في خزانات الطاقة المائية، أو انبعاث ثاني اكسيد الكربون الذائب في الماء الساخن من مستجمعات حرارة الأرض أو ثاني أكسيد الكربون الناجم عن احتراق الكتلة الأحيائية. و الانبعاثات غير المباشرة فمردها أنشطة خارج سلسلة الطاقة المتجددة غير أنها تعتبر ضرورية لنشر الطاقة المتجددة. على سبيل المثال، الانبعاثات الناتجة عن الإنتاج المتزايد للأسمدة المستعملة في زراعة محاصيل الوقود الإحيائي، أو تلك الناتجة عن ترحيل إنتاج المحصول أو عن إزالة الغابات نتيجة محاصيل الوقود الإحيائي. الانبعاثات المتجنبة هي تخفيض الانبعاث الناجم عن إجراءات التخفيف مثل نشر الطاقة المتجددة.

عامل الانبعاث: عامل الانبعاث هو معدل الانبعاث لكل وحدة من وحدات النشاط، سواء تعلق الأمر بالمخرجات أو المدخلات.

الاتجار بالانبعاثات: منهج يعتمد على السوق في تخفيض غازات الدفيئة أو الانبعاثات الأخرى. ويتم التعبير عن الهدف البيئي أو مجموع الانبعاثات المسموح بها على أنها سقف الانبعاثات. وينقسم السقف إلى رخص الانبعاث القابلة للتداول الممنوحة – إما في المزاد أو المقدمة بالمجان – إلى هيئات خاضعة لخطة التداول. وينبغي للهيئات أن تسلم رخص انبعاث تساوي مجموع انبعاثاتها (بالأطنان من ثاني أكسيد الكربون). ويمكن للهيئة أن تبيع الفائض من رخصها. وعموماً، يمكن لخطط الاتجار أن تتم داخل الشركة وعلى المستويين المحلي والدولي كما يمكن أن تطبق على ثاني أكسيد الكربون أو غازات دفيئة أخرى أو مواد أخرى. ويعتبر الاتجار في الانبعاثات إحدى آليات بروتوكول كيوتو.

الطاقة: هي مقدار الجهد المبذول أو الحرارة المورَّدة. وتصنَّف الطاقة في أنواع مختلفة، وتصبح مفيدة للإنسان عندما تتدفق من مكان إلى آخر أو تحوَّل من نوع إلى نوع آخر. وتوفر الشمس يوميا إمدادات كبيرة من تدفقات طاقة الإشعاع. ويستعمل جزء من هذه الطاقة مباشرة في حين يخضع الجزء الآخر لتحولات متعددة تفضي إلى استحداث الماء والتبخر والرياح وغيرها. وتخزن حصة منها في الكتلة الأحيائية أو الأنهار ويمكن استخلاصها، أما بعضها الآخر فيستعمل مباشرة كضوء النهار، والتهوية والحرارة السائدة.

فالطاقة الأولية (تسمى أيضاً مصادر الطاقة) فهي الطاقة المتجسدة في الموارد الطبيعية (مثل الفحم، والنفط الخام، والغاز الطبيعي، واليورانيوم والمصادر المتجددة)، وتعرف بأشكال بديلة مختلفة. وتستعمل الوكالة الدولية للطاقة نهج محتوى الطاقة الفيزيائية الذي يعرف الطاقة الأولية على أنها الطاقة التي لم تخضع لأي تحول من أصل بشري. واستخدم في هذا التقرير النهج المتكافئ المباشر (المرفق الثاني) الذي يحسب وحدة الطاقة الثانية المستمدة من المصادر غير الاحتراقية بصفتها وحدة من الطاقة الأولية، غير أنها تعتبر الطاقة الاحتراقية بصفتها إمكانية الطاقة في الوقود قبل معالجته أو احتراقه. وتحول الطاقة الأولية إلى طاقة ثانوية بالتنظيف (الغاز الطبيعي) بالتكرير (من النفط الخام إلى نواتج النفط) أو تحول إلى الكهرباء أو الحرارة. وعندما تسلم الطاقة إلى مرافق الاستعمال النهائي فإنها تسمى الطاقة النهائية (الكهرباء في مأخذ الكهرباء على الجدار)، عندها تصبح الطاقة القابلة للاستعمال في خدمات الإمداد (مثلاً، الإضاءة).

أما **الطاقة المتجسدة** فهي الطاقة المستخدمة لإنتاج مادة (مثل المعادن المجهزة أو مواد البناء)، على أن تؤخذ في الاعتبار الطاقة المستخدمة في منشأة التصنيع (غياب الطلبيات)، والطاقة المستخدمة في إنتاج المواد التي تستخدمها المنشأة (الطلبية الأولى)، وغيرها.

الطاقة المتجددة هي أي شكل من أشكال الطاقة من المصادر الشمسية والجيوفيزيائية و الأحيائية التي تجدد تلقائيا بفعل الطبيعة بوتيرة تساوي أو تفوق وتيرة نضوبها. ويحصل على الطاقة المتجددة من تيارات الطاقة المستمرة والمتكررة الموجودة في البيئة الطبيعية، وتضم التكنولوجيات ذات الحمولة القليلة من الكربون كالطاقة الشمسية، والطاقة المائية، والرياح، والمد والجزر، والطاقة الحرارية الأرضية، فضلاً عن الوقود المتجدد كالكتلة الأحيائية. ولمزيد من التفاصيل، أنظر أنواع الطاقة المتجددة الخاصة في هذا المسرد، على سبيل المثال، الكتلة الأحيائية، الطاقة الشمسية، والطاقة المائية، والطاقة من البحار، والطاقة الحرارية الأرضية، وتلك المستمدة من الرياح.

الاستفادة من الطاقة: تمكين الناس من القدرة على الاستفادة من خدمات الطاقة النظيفة بشكل يُعول عليه وبسعر معقول لتلبية احتياجاتهم الأساسية (كالطبخ والتدفئة والإضاءة والتواصل والتنقل) وللاستعمالات المنتجة.

ناقل الطاقة: مادة تستعمل لتسليم الجهد المبذول العمل أو الحرارة المورَّدة. وتشمل ناقلات الطاقة على سبيل المثال، الوقود الصلب أوالسائل أوالغازي (مثلاً، الكتلة الأحيائية والفحم والنفط والغاز الطبيعي والهيدروجين) السوائل المنضغطة والمسخنة والمبردة (الهواء والماء والبخار)، والتيار الكهربائي.

فعالية الطاقة: نسبة مخرجات الطاقة القابلة للاستخدام (المفيدة) أو مخرجات فيزيائية أخرى من النظام أو عملية التحويل، نشاط نقل أو تخزين إلى مدخلاتها من الطاقة (تقاس بالكيلوواط / ساعة، أطنان / كيلواط ساعة أو بأي وحدة قياس فيزيائية للمخرجات المفيدة مثل كمية الأطنان المنقولة في الكيلومتر). وتعتبر فعالية الطاقة عنصراً من كثافة الطاقة.

كثافة الطاقة: هي نسبة مدخلات الطاقة (بالجولات) إلى الناتج الاقتصادي (بالدولار) الذي يمتص مدخلات الطاقة. وكثافة الطاقة هي مقابل إنتاجية الطاقة. أما على المستوى الوطني، فكثافة الطاقة هي نسبة استخدام إجمالي الطاقة الأولية أو طاقة الاستخدام النهائي، إلى الناتج المحلي الإجمالي. وكثافة الطاقة لاقتصاد معين هي المجموع المتوازن لكثافات الطاقة لجميع الأنشطة المعنية على اختلافها، ويقاس التوازن وفقا لحصة كل نشاط في الناتج المحلي الإجمالي. وتستخلص كثافة الطاقة من الإحصائيات المتوافرة (الوكالة الدولية للطاقة وصندوق النقد الدولي) وتنشر سنويا بالنسبة لأغلب البلدان في العالم. كما تستعمل كثافة الطاقة كتسمية لنسبة مدخلات الطاقة مقابل المخرجات أو الأداء بالمعنى الفيزيائي (على سبيل المثال، الناتج من الفولاذ بالأطنان، كمية الأطنان المنقولة في الكيلومتر، وغيره)، وفي مثل هذه الحالات، فهي مقابل فعالية الطاقة.

إنتاجية الطاقة: مقابل كثافة الطاقة.

الاقتصاد في الطاقة: تخفيض كثافة الطاقة بتغيير الأنشطة التي تستدعي مدخلات الطاقة. ويمكن تحقيق الاقتصاد في الطاقة بفضل المبادرات التقنية والتنظيمية والمؤسساتية والهيكلية وبتغيير السلوك أيضاً.

أمن الطاقة: يهدف كل بلد أو المجتمع الدولي بشكل عام إلى تأمين إمداد ملائم بالطاقة. و تشمل هذه الإجراءات تأمين الوصول إلى مصادر الطاقة، والعمل على تطوير التكنولوجيا ونشرها، وتشييد البنيات التحتية الكافية لتوليد الطاقة وتخزينها ونقلها، وتأمين العقود القابلة للتنفيذ ولتسليم الطاقة والاستفادة منها بأسعار معقولة لمجتمع أو مجموعات معينة في المجتمع.

خدمات الطاقة: هي المهام التي ينبغي القيام بها باستخدام الطاقة. ويمكن لخدمة طاقة معينة كالإضاءة أن توفر بفضل عدد من الطرق المختلفة كضوء النهار والمصابيح النفطية والمصابيح ثنائية الصمامات المتوهجة والفلورية والباعثة للضوء. وتتباين كمية الطاقة المستعملة لتوفير الخدمة بمعامل يساوي أو يزيد عن 10 كما أن كمية غازات الدفيئة المنبعثة من جراء ذلك قد تتراوح ما بين الصفر وقيمة عالية جدا بحسب مصدر الطاقة ونوعية أداة الاستهلاك النهائي.

نقل الطاقة: تنتقل الطاقة كعمل أو ضوء أو حرارة. يتم **نقل الحرارة** تلقائياً من الأشياء عندما تصل حرارتها إلى درجة عالية إلى أشياء تكون درجة حرارتها أقل وتسمى بالتوصيل (عندما يتم الاتصال بين هذه الأشياء) أو الحمل الحراري (عندما ينقل سائل كالهواء أو الماء الحرارة من الشيء الدافئ إلى الشيء الأبرد لتوصيل الحرارة) أو الإشعاع (عندما تنتقل الحرارة في الفضاء في شكل موجات كهرومغناطيسية).

الأثر الخارجي/التكلفة الخارجية/المنفعة الخارجية: تظهر الآثار الخارجية من نشاط بشري عندما لا تراعي الجهات المسؤولة عن ذلك النشاط بصورة كاملة تأثيره على إمكانيات الآخرين من حيث الإنتاج والاستهلاك، رغم غياب أي تعويض عن هذا الأثر. وتكون التكاليف الخارجية سلبية في حال كان الأثر سلبياً، ويُشار إليها بالمنافع الخارجية في حال كان الأثر إيجابياً.

تعرفة إمدادات الطاقة: وهي سعر وحدة الطاقة الكهربائية الذي يتعين أن يدفعه مرفق أو مورد الطاقة لقاء الطاقة الموزعة أو المتجددة التي تغذي بها المولدات غير التابعة للمرفق الشبكة. وتقوم السلطة العامة بتحديد التعريفات. وقد تكون هناك تعرفة لدعم الإمدادات المتجددة بالتدفئة.

التمويل: حشد أو توفير المال أو رأس المال من الأشخاص أو المؤسسات التجارية أو المصارف أو صناديق التمويل أو الهيئات العامة وغيرها لانجاز مشروع أو مواصلة نشاط ما. وتختلف طريقة التمويل باختلاف جهة التمويل، فالشركات مثلا قد تستمد التمويل من أرباح الشركة الداخلية أو من أسهمها.

وقد توفر الجهات الممولة **تمويل المشروع** المتصل بالطاقة المتجددة لشركات مستقلة ذات الهدف الوحيد والتي عادة ما تضمن مبيعاتها من الطاقة المتجددة بفضل اتفاقات اقتناء الطاقة.

ويعتبر **التمويل من دون حق الرجوع** خارج بيان الأصول والالتزامات لأن الجهات الممولة تعتمد على المداخيل النقدية الأكيدة التي يدرها المشروع لتسديد السلفة وليس على الأهلية الائتمانية لصاحب المشروع.

أما **التمويل بإصدار الأسهم العمومية** فهو رأس المال الذي يقدم لشركات القطاع العام.

والتمويل بإصدار الأسهم الخاصة فهو رأس المال الذي يخصص لشركات القطاع الخاص.

ويستعان في **تمويل الشركات** من طرف المصارف بواسطة سندات الديون بأصول الشركة المسجلة في بيان أصولها والتزاماتها كضمانة، ويبقى هذا التمويل مرهون بقدرة هذه المؤسسات على الاقتراض، إذ عليها أن تعمل على ترشيد كل سلفة إضافية مع احتياجاتها المالية الأخرى.

الحافز الجبائي/المالي: يُمنح الفاعلون (الأفراد والأسر والشركات) تخفيضا على مساهماتهم في الخزينة العامة من خلال ضريبة الدخل أو الضرائب الأخرى.

خلية وقود: تولِّد خلية الوقود الكهرباء بطريقة مباشرة ومستمرة من التفاعل الكهربائي الكيميائي المضبوط بين الهيدروجين أو وقود آخر وبين الأكسجين. وبما أنها تستخدم الهيدروجين كوقود فإن الخلية لا تطلق إلا الماء والحرارة (بدون ثاني أكسيد الكربون) التي يمكن استخدامها (انظر التوليد المشترك).

نماذج التوازن العام: النماذج التي تأخذ في الاعتبار في الآن نفسه جميع الأسواق وآثار التأثير التفاعلي فيما بينها في إطار اقتصاد يتجه السوق فيه نحو التوازن.

التحكم في الإنتاج: يمكن أن يخضع إنتاج الكهرباء في منشأة لإنتاج الطاقة المتجددة لأنواع متعددة من أنماط التحكم.

فالتحكم النشيط هو تدخل طوعي في طريقة عمل النظام (على سبيل المثال، التحكم في خطوة توربين الرياح بتغيير اتجاه الأرياش للزيادة في الإنتاج أو التخفيض منه).

ويتجلى **التحكم غير النشيط** في ترك قوى الطبيعة تعنى بتصحيح طريقة عمل النظام (على سبيل المثال، **التحكم بالانزلاق** في توربين الريح: تصمم ريشة توربين الريح بشكل يجعلها تتيح للريح أن ينزلق عندما تصل إلى سرعة معينة من أجل التحكم مباشرة في الإنتاج).

الطاقة الحرارية الأرضية: الطاقة الحرارية في باطن الأرض التي يمكن الوصول إليها سواء كانت داخل الصخور أو بخار الماء أو الماء السائل المحبوس (المصادر الحرارية المائية) والتي يمكن استعمالها لإنتاج الطاقة الكهربائية في منشأة للطاقة الحرارية، أو لتوفير الحرارة، عند الاقتضاء. وتتكون المصادر الأساسية للطاقة الحرارية الأرضية مما ترسب من طاقة بعد تكون الكوكب والطاقة التي تنتج باستمرار بسبب تفكك النويدات المشعة.

التدرج الحراري الأرضي: الوثيرة التي ترتفع بها درجة حرارة الأرض كلما زاد العمق، مما يحدد تدفق الحرارة من عمق الكرة الأرضية إلى أجزائها الأكثر برودة.

إمكانية الاحترار العالمي: مؤشر يستند إلى الخصائص الإشعاعية لغازات من غازات الدفيئة المختلطة اختلاطاً جيداً غرضه قياس المؤثر الإشعاعي كوحدة من وحدات كتلة غاز معين من غازات الدفيئة مخلوط خلطاً جيداً في الغلاف الجوي في الوقت الراهن ومحسوباً حساباً تكاملياً لأفق زمني مختار، نسبةً إلى المؤثر الإشعاعي لثاني أكسيد الكربون. وتمثل إمكانية الاحترار العالمي الأثر الموَّحد في الأوقات المختلفة لبقاء هذه الغازات في الغلاف الجوي وفعاليتها النسبية في امتصاص الإشعاع الحراري دون الأحمر الصادر. ويستند بروتوكول كيوتو إلى إمكانيات الاحترار العالمي المحسوبة على أساس الانبعاثات النبضية في إطار زمني مداه 100 سنة. انظر أيضا تغير المناخ وانبعاث ثاني أكسيد الكربون المكافئ.

الحوكمة: الحوكمة مفهوم كامل وشامل لتشكيلة كاملة من سبل اتخاذ القرار والإدارة وتنفيذ السياسات والتدابير. وإذا كان الحكم يرتبط بشكل وثيق بمفهوم الدولة – الأمة، فإن مفهوم الحوكمة الأكثر شمولاً يقر بمختلف مستويات الحكم (الدولي والعالمي والإقليمي والمحلي) وبمساهمة القطاع الخاص والفاعلين من المنظمات غير الحكومية من المجتمع المدني في معالجة مختلف أنواع القضايا التي تواجه المجتمع الدولي.

غازات الدفيئة: غازات الدفيئة هي المكونات الغازية للغلاف الجوي، الطبيعية والبشرية المنشأ، التي تمتص وتبعث الإشعاع بأطوال موجية محددة في نطاق طيف الإشعاع الحراري دون الأحمر الذي ينبعث من سطح الأرض، والغلاف الجوي ذاته، والسحب. وهذه الخاصية سببت ظاهرة الدفيئة. وغازات الدفيئة الرئيسية الموجودة في الغلاف الجوي هي بخار الماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وأكسيد النيتروز (N_2O)، والميثان (CH_4)، والأوزون (O_3). وبالإضافة إلى ذلك، يوجد في الغلاف الجوي عدد من غازات الدفيئة البشرية المنشأ كلياً، مثل الهالوكربونات وغيرها من المواد التي تحتوي على الكلور والبروم والتي يتناولها بروتوكول مونتريال. بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون، وأكسيد النيتروز، والميثان، يتناول بروتوكول كيوتو غازات الدفيئة التالية: سادس فلوريد الكبريت ومركبات الهيدروفلوروكربون والهيدروكربون المشبع بالفلور.

الشبكة (الشبكة الكهربائية، شبكة الكهرباء، شبكة الطاقة): شبكة تشمل الأسلاك والبدالات والمحولات لنقل الكهرباء من مصادر الطاقة إلى مستعمليها. وتشمل الشبكة الكبيرة نظما للتوزيع منخفضة الجهد (110–240 فولت) ومتوسطة الجهد (1–50 كيلوفولت) وعالية الجهد (أكثر من 50 كيلوفولت إلى ميغافولت). وتغطي الشبكات المتصلة فيما بينها مناطق شاسعة مثل القارات. وتعتبر الشبكة منصة لتبادل الطاقة تعزز الثقة في الإمدادات وتحقيق وفورات الحجم.

ويعتبر **التوصيل بالشبكة** بالنسبة لمنتج الطاقة أمراً حاسماً من الناحية الاقتصادية.

شفرات الشبكة هي الشروط الفنية للتجهيزات والعمليات التي ينبغي لمنتج الطاقة أن يمتثل لها حتى يتسنى له الربط بالشبكة. كما ينبغي لتوصيلات المستهلك بدورها أن تحترم القواعد الفنية.

ويعني **الوصول إلى الشبكة** أن يُقبل أن يسلم منتج ما الطاقة للشبكة.

ويعني **تكامل الشبكة** توحيد إنتاج الطاقة من مصادر متعددة وأحيانا مختلفة للطاقة في إطار شبكة متوازنة للطاقة. راجع أيضا النقل والتوزيع.

الناتج المحلي الإجمالي: مجموع القيمة الإجمالية المضافة، بسعر الشراء، من طرف المنتجين المقيمين وغير المقيمين في الاقتصاد، ويضاف إليه جميع الضرائب وتخصم منه المساعدات التي لا تدخل في قيمة المنتجات في منطقة جغرافية أو بلد معين ولفترة زمنية محددة عادة ما تكون عاماً. ولا يخصم أثناء حساب الناتج المحلي الإجمالي، الانتقاص من قيمة الأصول المصنوعة أو نضوب المصادر الطبيعية أو تدهورها.

المبادل الحراري: نبائط للنقل الفعال للحرارة من أداة إلى أخرى دون المزج بين التدفقات الحارة والباردة، مثلا المشعات والغلايات ومولدات البخار والمكثفات.

مضخة الحرارة: جهاز ينقل الحرارة من مكان بارد إلى مكان أسخن، على عكس الاتجاه الطبيعي لتدفقات الحرارة (راجع نقل الطاقة). وتستعمل مضخات الحرارة، التي تشبه المبردات من الناحية الفنية، لاستخلاص الحرارة من البيئة الهوائية مثل الأرض (المصادر الحرارية الأرضية أو الأرضية)، أو الماء أو الهواء. ويمكن أن يعكس توجه مضخات الحرارة لتوفير التبريد في الصيف.

مؤشر التنمية البشرية: يتيح مؤشر التنمية البشرية تقييم مدى التقدم الذي أحرزته البلدان في مجال التنمية الاقتصادية والاجتماعية، وهو مركب من ثلاثة مؤشرات هي: 1) الصحة وتقاس بالعمر المتوقع عند الولادة؛ 2) المعرفة وتقاس بمزيج بين نسبة تمكن الكبار من القراءة والكتابة ونسبة المسجلين في التعليم الابتدائي والثانوي والعالي؛ 3) ومستوى المعيشة ويقاس بحصة الفرد من إجمالي الناتج المحلي (مناصفة مع القدرة الشرائية). ولايقدم هذا المؤشر إلا توجهات غير مباشرة لبعض الأبعاد الأساسية للتنمية البشرية، فهو لا يأخذ في الحسبان على سبيل المثال نسبة المساهمة السياسية أو انعدام المساواة بين الرجل والمرأة.

المركبة الهجينة: أي مركبة تستعمل مصدري دسر (دفع)، خاصة المركبة التي تجمع بين محرك داخلي الاحتراق ومحرك كهربائي وبطاريات للتخزين.

الطاقة المائية: طاقة الماء وهو ينتقل من المرتفعات إلى مستويات أدنى والتي تتحول إلى طاقة ميكانيكية بواسطة توربين أو نبيطة أخرى تستعمل إما مباشرة للعمل الميكانيكي أو كما هو العادة عموما لتشغيل مولد لإنتاج الكهرباء. وتستعمل العبارة أيضا لوصف الطاقة الحركية لدفق مجرى والتي يمكن أيضاً أن تتحول إلى طاقة ميكانيكية لمولد من خلال توربين داخل المجرى لانتاج الكهرباء.

قطاع / اقتصاد غير نظامي: يتسم القطاع / الاقتصادي غير النظامي عموماً بضمه لوحدات إنتاج تعمل بأحجام صغيرة ومستويات دنيا من ناحية التنظيم وقلة التوزيع أو انعدامه فيما يتصل بالعمل ورأس المال بصفتهما عنصرين من عناصر الإنتاج، ويعتبر هدفه الرئيسي هو در الدخل وتشغيل الأشخاص المعنيين. ولا يأخذ النشاط الاقتصادي للقطاع غير النظامي في الحسبان في تحديد النشاط الاقتصادي القطاعي أو الوطني.

المؤسسة: بنية أو آلية للنظام الاجتماعي أو التعاون والتي تتحكم في سلوك مجموعة من الأفراد في مجتمع بشري. وينبغي للمؤسسات أن تكون فعالة وظيفياً لمدة طويلة وأن تساعد على تجاوز المصالح الفردية و تدبير السلوك

المتصل بالتعاون بين الأشخاص. ويستعمل هذا المفهوم أيضاً للإشارة إلى اللوائح التنظيمية والمعايير التكنولوجية وإصدار الشهادات وما شابه ذلك.

التقييم المتكامل: منهج في التحليل يجمع بين نتائج ونماذج من علوم الفيزياء والأحياء، والاقتصاد، والعلوم الاجتماعية، والتفاعلات بين هذه العناصر، وذلك ضمن إطار متسق لتقييم وضع ونتائج التغير البيئي والردود السياسية عليها. راجع أيضاً النماذج.

بروتوكول كيوتو: اعتمد بروتوكول كيوتو الملحق باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) في الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف في الاتفاقية الذي عقد في كيوتو باليابان، في عام 1997. ويشمل البروتوكول تعهدات ملزمة قانوناً بالإضافة إلى تلك التعهدات الواردة في الاتفاقية (UNFCCC). وقد وافقت البلدان المدرجة في المرفق باء الملحق بالبروتوكول على تخفيض انبعاثاتها من غازات الدفيئة البشرية المنشأ (ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز، والهيدروفلوروكربون، والهيدروكربون المشبع بالفلور وسداسي فلوريد الكبريت) بنسبة خمسة في المائة على الأقل دون مستويات عام 1990 وذلك خلال فترة الالتزام الممتدة من 2008 إلى 2012. ودخل بروتوكول كيوتو حيز النفاذ في 16 شباط/فبراير 2005. انظر أيضا باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ.

استخدام الأراضي (وتغير استخدام الأراضي؛ المباشر وغير المباشر): استخدام الأراضي مصطلح يشير إلى مجموع الترتيبات، والأنشطة، والمدخلات التي توضع موضع التنفيذ في نوع معين من الغطاء الأرضي. ويستعمل هذا المصطلح أيضاً بمعنى الأغراض الاجتماعية والاقتصادية المنشودة من إدارة الأراضي (مثل الرعي واستخراج الأخشاب وصيانتها).

أما مصطلح **تغير استخدام الأراضي** فيشير إلى تغير في استخدام أو إدارة الإنسان للأراضي قد يُفضي إلى تغير في الغطاء الأرضي، من غابات إلى أراضي زراعية أو مناطق حضرية. وبما أن اختلاف أنواع الأراضي يفضي إلى اختلاف في إمكانيات تخزينها للكربون (مثلاً تكون الإمكانية أعلى بالنسبة للغابات مقارنة بالأراضي الزراعية أو المناطق الحضرية)، فإن التغير في استخدام الأراضي قد يؤدي إلى انبعاثات صافية أو امتصاص للكربون.

ويشير **تغير غير مباشر في استخدام الأراضي** إلى تغيرات تحت تأثير السوق أو تحولات في استخدام الأراضي التي يمكن أن تعزى مباشرة إلى قرارات إدارة استخدام الأراضي التي اتخذها الأفراد أو الجماعات. على سبيل المثال، إذا جرى تخصيص أراض زراعية لتأمين إنتاج الوقود، فقد تقطع أشجار أخرى لضمان هذا الإنتاج الزراعي. راجع أيضاً التشجير وإزالة الأشجار وإعادة التشجير.

مدفن قمامة: موقع للتخلص من القمامة الصلبة سواء تحت سطح الأرض أو فوقه. وتكون هذه المدافن في المواقع المعدة لذلك وتكون مجهزة بوسائل للتغطية ويتم مراقبة وضع القمامة فيها كما يتم تدبير السوائل والغازات وهي لا تشمل المدافن العشوائية. وكثيراً ما ينبعث من هذه المدافن غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى بسبب تحلل المواد العضوية.

قفزة سريعة (قفزة الضفدع): قدرة الدول النامية على الالتفاف حول التكنولوجيا الوسيطة والقفز مباشرة نحو التكنولوجيات النظيفة المتقدمة، وتسمح القفزة السريعة للدول النامية بالانتقال إلى مسار تنموي متدني الانبعاثات.

منحنى / معدل التعلم: انخفاض كلفة أو ثمن الإمدادات بالطاقة المتجددة بصفته وظيفة لتنامي الإمدادات (المجموع أو سنوياً). وعلى الأمد الطويل فإن التعلم يحسن من التكنولوجيا والعمليات نظراً للتجربة التي تتراكم بزيادة الإنتاج و/أو البحث والتنمية. أما معدل التعلم فيشير إلى النسبة المئوية للانخفاض في الكلفة أو الثمن لكل مضاعفة في الإمدادات المتراكمة (ويسمى أيضاً بمعدل التقدم).

التكلفة الفعلية للطاقة – راجع التكلفة.

تحليل دورة الحياة: الهدف من تحليل دورة الحياة هو مقارنة تشكيلة كاملة من الأضرار البيئية لمنتوج ما أو تكنولوجيا أو خدمة (راجع المرفق الثاني). ويشمل هذا التحليل عادة المدخلات من المواد الخام ومتطلبات الطاقة وما تنتجه من النفايات والانبعاثات. كما يشمل هذا تشغيل التكنولوجيا أو المرفق أو المنتوج وكذا العمليات التي سبقت إنتاجه (العمليات التي تمت قبل تشغيل التكنولوجيا أو المرفق أو المنتوج) والعمليات التي تلي تشغيله (بعد فترة استعمال التكنولوجيا أو المرفق أو المنتوج) كما في أسلوب «من المهد إلى اللحد».

الحمل: الطلب المتزامن والمتراكم على الكهرباء من طرف مستعملي الطاقة (قد يتراوح عددهم بين الآلاف والملايين)، ويُضاف إليه ما يفقد أثناء التوزيع، وينبغي الاستجابة لهذا الطلب بفضل نظام متكامل للإمداد بالطاقة.

ويتيح **ضبط مستوى الحمل** تخفيض قوة تقلبات الحمل مع مرور الوقت.

أما **فقدان الحمل** فيتم عندما لا تكون قدرة الإنتاج أو النقل كافية لتلبية الحاجة لمجموع الحمل المطلوبة.

أما **ذروة الحمل** فهو الحمل الأقصى الملحوظ في مدة زمنية معينة (يوم أو أسبوع أو سنة) وفترة قصيرة.

الحمل الأساسي هي الطاقة المطلوبة باستمرار في مدة زمنية معينة.

القروض: المال الذي تمنحه الجهات المقرضة من القطاعين العام أو الخاص للمقترضين الذين يتعهدون بتسديد قيمته الاسمية والأرباح المرتبطة به.

وتمنح **القروض الناعمة** (التمويل الناعم أو التمويل الامتيازي) شروطا متميزة للتسديد وعادة ما تكون بسعر فائدة أقل مقارنة بسعر السوق وأحيانا بدون فوائد. وعادة ما تمنحها الوكالات الحكومية وليست المؤسسات المالية.

ويمكن للجهة المقرضة أن تحول **القروض القابلة للتحويل** إلى (أسهم عادية أو متميزة) بسعر تحويل معين وفي مهلة محددة.

تأثير الاحتجاز: يستمر استخدام التكنولوجيا التي تغطي حصصاً كبيرة من السوق بسبب عوامل مثل تكاليف الاستثمار المعدومة، وتطوير البنيات الأساسية ذات الصلة، واستخدام التكنولوجيات التكاملية فضلاً عن الهيكليات والعادات المؤسساتية والاجتماعية المتصلة بها.

ويعني **تأثير الاحتجاز للكربون** أن التكنولوجيا والممارسات القائمة يحفزها الكربون.

تكنولوجيا الكربون المنخفض: التكنولوجيا التي لا تتسبب خلال دورة حياتها في إطلاق نسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المكافئ أو تكون الانبعاثات الصادرة عنها أقل. انظر أيضاً الانبعاثات.

إخفاق السوق: عندما تتخذ القرارات الخاصة على أساس أسعار السوق التي لا تعكس الندرة الفعلية للسلع والخدمات، فإنها لا تخصص الموارد بشكل فعال وإنما تتسبب في نقص في مستوى المعيشة. ومن العوامل التي تتسبب في حياد أسعار السوق عن الندرة الاقتصادية، ينبغي ذكر العوامل الخارجية على البيئة والسلع العامة وسلطة الاحتكار.

التدابير: التدابير هي تكنولوجيات وعمليات وممارسات تحد من انبعاثات غازات الدفيئة أو تأثيراتها إلى ما دون المستويات المتوقعة في المستقبل. ومن الأمثلة على هذه التدابير تكنولوجيات الطاقة المتجددة، وعمليات تقليل النفايات إلى الحد الأدنى، وممارسات التنقل باستخدام وسائل النقل العام، وغير ذلك. انظر أيضاً السياسات.

الترتيب حسب التكلفة: ترتيب جميع وحدات إنتاج الطاقة المتاحة في نظام الإمداد بالكهرباء المتكامل حسب التكلفة الهامشية على الأمد القصير لكل كيلواط في الساعة، بدءاً بالأقل كلفة بالنسبة لتوزيع الكهرباء للشبكة.

الأهداف الإنمائية للألفية: مجموعة من ثمانية أهداف اتفق عليها وعلى خطة العمل لتحقيقها في قمة الأمم المتحدة للألفية التي عقدت في عام 2000، وهي أهداف ذات أطر زمنية محددة وقابلة للقياس، القصد منها مكافحة الفقر، والجوع، والمرض، والأمية، والتمييز ضد المرأة، وتردي البيئة.

التخفيف: تغيير واستبدال تكنولوجيات للحد من الموارد التي تشكل مدخلات وتقليل الانبعاثات لكل وحدة من المخرجات. ورغم أن سياسات اجتماعية واقتصادية وتكنولوجية عديدة يمكن أن تحدث انخفاضاً في الانبعاثات، إلا أن التخفيف، في سياق تغير المناخ، يعني تطبيق سياسات للحد من انبعاثات غازات الدفيئة وتعزيز مصارف امتصاصها. ويعتبر اعتماد الطاقة المتجدد أحد خيارات التخفيف عندما تتجاوز انبعاثات غازات الدفيئة التي تم تجنبها مجموع الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة (راجع الانبعاثات).

القدرة على التخفيف هي قدرة البلد على الحد من انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ أو على تعزيز المصارف الطبيعية، والقدرة هنا تشير إلى المهارات والأهلية و الملاءمة والخبرة التي اكتسبها البلد المعني، وتعتمد على التكنولوجيا والمؤسسات والثروة والإنصاف والبنية الأساسية والمعلومات. والقدرة على التخفيف متأصلة في مسار التنمية المستدامة للبلد.

النماذج: النماذج محاكاة هيكلية لصفات نظام ما وآلياته تحاكي مظاهر النظم وأنماط عملها كالمناخ، على سبيل المثال، واقتصاد بلد ما، أو محصول. وتشمل النماذج الرياضية العديد من المتغيرات والعلاقات (عادة في شفرة حاسوبية) لمحاكاة طريقة عمل النظام وأدائه من حيث التقلبات والمعالم والمدخلات.

النماذج المصممة من أسفل إلى أعلى تجمع التفاصيل التكنولوجية والهندسية وتلك المتصلة بالتكلفة الخاصة بعمليات وأنشطة معينة.

النماذج المصممة من أعلى إلى أسفل تطبق نظرية الاقتصاد الكلي، وتقنيات الاقتصاد القياسي، والحل الأمثل بهدف جمع المتغيرات الاقتصادية مثل الاستهلاك الكلي والأسعار وأنواع للدخل وتكاليف العوامل.

وتمزج **النماذج الهجينة** النماذج المصممة من أسفل إلى أعلى و النماذج المصممة من أعلى إلى أسفل إلى حد ما.

البلدان غير المدرجة في المرفق الأول – راجع البلدان المدرجة في المرفق الأول

البلدان غير المدرجة في المرفق باء – راجع البلدان المدرجة في المرفق باء

الطاقة البحرية: الطاقة المستمدة من البحر ولاسيما من الأمواج وحركات المد والجزر وتيارات المحيط و التدرجات في الحرارة والملوحة (وجرت الإشارة إلى الطاقة الحرارية الأرضية لجوف البحار تحت الطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الأحيائية البحرية تحت الطاقة من الكتلة الأحيائية).

المقابل (في سياسة المناخ): وحدة من وحدات ثاني أكسيد الكربون تقابل الانبعاثات التي جرى التخفيض منها أو تفاديها أو حجزها للتعويض عن الانبعاثات التي أطلقت في حيز آخر.

الفرص: هي بشكل عام الظروف التي تتيح المضي قدما أو إحراز التقدم أو تحقيق الربح. وفي سياق السياسة، ظروف اتخاذ المبادرة يضاف إليها عنصر الحظ. على سبيل المثال، استشراف المنافع الإضافية قد يتزامن مع اعتماد الطاقة المتجددة (الزيادة في الاستفادة من الطاقة و أمن الطاقة والتقليل من التلوث على المستوى المحلي) من دون أن تكون هذه المنافع مستهدفة أصلاً. راجع أيضا المنافع المشتركة والمحفزات.

الارتباط بالشوط المقطوع: تكون نتائج عملية ما مرهونة بقرارات وأحداث ونتائج سبقت ولا تكتفي بما هو راهن. لهذا فإن الخيارات التي تجرى على أساس انتقالي يمكنها أن تؤثر بشكل دائم وطويل حتى بعد تغير هذه الظروف.

العائد: يستخدم هذا المفهوم عادة في تقييم الاستثمار بوصفه **عائد مالي** ويشير إلى المدة الزمنية اللازمة لتسديد الاستثمار الأولي بفضل نتائج المشروع. وتحدث **فجوة في العائد**، على سبيل المثال، عندما يطالب المستثمرون من القطاع الخاص وآليات التمويل الصغيرة جداً بمعدلات فائدة أعلى بالنسبة للمشروعات المتصلة بالطاقة المتجددة مقارنة بتلك التي تعتمد على الوقود الأحفوري. إن فرض معدلات فوائد أعلى بالنسبة للاستثمارات المتصلة بالطاقة المتجددة يفضي بالضرورة إلى فرض عقبات مماثلة بالنسبة للأداء التقني لإنتاج الطاقة بفضل الحلول المتجددة مقارنة بالنظم التقليدية القائمة. **وعائد الطاقة** هي المدة الزمنية التي يحتاج لها مشروع طاقة لانتاج الطاقة مثل المدة التي لزمت لانجازه. **العائد المتصل بالكربون** وهي المدة الزمنية التي يحتاج لها مشروع في مجال الطاقات المتجددة للقيام بوفورات صافية من انبعاثات غازات الدفيئة (مقارنة بالنظام المرجعي للطاقة الذي يستعمل الوقود الأحفوري) تساوي تلك الانبعاثات التي تسبب فيها إنجازه حسب تحليل دورة الحياة (بما فيها تغيير استخدام الأراضي وفقدان مخزونات الكربون الأرضي).

التمثيل الضوئي: انتاج الكربوهيدرات في النباتات والطحالب وبعض البكتريا باستعمال طاقة الضوء. ويستعمل ثاني أكسيد الكربون بصفته مصدر الكربون.

التكنولوجيا الفلطائية الضوئية: التكنولوجيا التي تتيح تحويل طاقة الضوء مباشرة إلى كهرباء بحشد الالكترونات في معدات مزودة بأشباه الموصلات. وتسمى أشباه الموصلات النحيفة التي صممت لهذا الغرض بالخلايا الفلطائية الضوئية. راجع الطاقة الشمسية.

السياسات: في لغة اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، السياسات تعتمدها و/أو تقتضي اعتمادها الحكومة بالاشتراك غالباً مع قطاعي الأعمال والصناعة داخل بلدها، أو بالاشتراك مع بلدان أخرى، لتسريع إجراءات التخفيف والتكيف. ومن الأمثلة على السياسات، ضريبة الكربون أو غيرها من ضرائب الطاقة، ومقاييس كفاءة السيارات في استهلاك الوقود، وما إلى ذلك.

وتشير **السياسات المشتركة** أو **المنسقة** أو **المنسجمة إلى السياسات** التي تعتمدها الأطراف على نحو مشترك. انظر أيضاً التدابير.

المعايير المتصلة بالسياسات: عام: المعيار الذي يمكن أن يستند إلى التقييم أو القرار. وفي سياق السياسات أو الأدوات السياسية لدعم الطاقة المتجددة، يجرى العمل بأربعة معايير شاملة وهي:

الفعالية وهي مدى تحقيق الأهداف المنشودة على سبيل المثال الزيادة الفعلية في إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة أو في حصة الطاقة المتجددة من إجمالي الإمدادات بالطاقة في مدة زمنية معينة. وعلاوة على الأهداف الكمية، قد يشمل هذا البعد أيضاً عناصر مثل مستويات التنوع التكنولوجي التي حققت (تشجيع تكنولوجيا مختلفة للطاقة المتجددة) واتساع رقعة الاستعمال (التوزيع الجغرافي للإمدادات بالطاقة المتجددة).

الكفاءة وهي نسبة النتائج مقارنة بالاستثمار، كأهداف الطاقة المتجددة التي حققت مقارنة بالموارد الاقتصادية التي استثمرت فيها والتي تقاس في نقطة زمنية معينة (الكفاءة القارة) وتسمى أيضاً بفعالية التكلفة. أما الكفاءة النشيطة فتضيف بعداً زمنياً مستقبلياً بإضافة مجموع الابتكارات التي أشركت لتحسين نسبة النتائج مقارنة بالاستثمار.

الإنصاف وتشمل الآثار المتأتية عن سياسة ما بما فيها الإنصاف والعدل واحترام حقوق الشعوب الأصلية. ويركز معيار الإنصاف على توزيع التكاليف والمنافع لسياسة معينة وفي إشراك ومشاركة أوسع تشكيلة من مختلف الفاعلين (على سبيل المثال، الجماعات الأهلية ومنتجي الطاقة المستقلين).

الجدوى المؤسساتية: إلى أي مدى تعتبر سياسة أو أداة سياسية ذات مصداقية وقابلة بأن تحظى بالقبول ويمكن أن تعتمد وأن تنفذ. وتشمل **الجدوى الإدارية** عندما تتطابق مع الأساس المعلوماتي المتاح والقدرة الإدارية والهيكل القانوني والواقع الاقتصادي. وتحتاج **الجدوى السياسية** لموافقة ذوي المصلحة والمنظمات والمؤسسات كما ينبغي احترام الثقافات والتقاليد السائدة.

مبدأ الملوث يدفع: في 1972، وافقت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية على أن الملوثين ينبغي أن يتكفلوا بتكاليف مكافحة تلوث البيئة بوضع المرشحات، على سبيل المثال، ومرافق الصرف الصحي وتقنيات إضافية أخرى. ويتعلق الأمر بتعريف ضيق. وحسب تعريف أوسع، على الملوث أن يتكفل أيضا بالأضرار الناجمة عما ترسب من تلوثه (وكذلك التلوث الذي تسبب فيه خلال السنوات الماضية). وإذا جرى تأويل هذا المبدأ بشكل أوسع، فإنه يغطي أيضاً البعد الاحترازي لهذا المبدأ أي أن الملوث المحتمل ينبغي أن يبرم عقد تأمين أو يتخذ التدابير الوقائية عن التلوث الذي من المحتمل أن يتسبب فيه مستقبلا. وللمختصر بالأحرف اللاتينية معاني أخرى.

تحليل الحافظة: تعنى الحافظة بموجودات أو سياسات تنطوي على مخاطر ومنافع مختلفة. أما الهدف من التحليل فهو النظر في تغيرات العائدات ومخاطرها، للتوصل في النهاية إلى معيار اختيار الحافظة التي تحقق أعلى عائدات متوقعة.

إمكانية: يمكن التمييز بين العديد من مستويات إمكانيات الإمداد بالطاقة المتجددة، حتى وإن كان بإمكان كل منها أن يشمل قطاعا شاسعاً. وفي هذا التقرير تشمل عبارة **إمكانية المصدر** جميع المستويات لمصدر خاص من مصادر الطاقة المتجددة.

الإمكانية السوقية هي كمية الطاقة المتجددة المنتظر إنتاجها في ظل ظروف السوق المتوقعة التي يحددها الفاعلون الاقتصاديون الخواص وتقننها السلطات العامة. ويحقق الفاعلون الاقتصاديون الخواص أهدافا خاصة في ظل ظروف معينة ومتوقعة. وترتبط إمكانيات السوق بالمداخيل والنفقات المنتظرة الخاصة المحسوبة بالأسعار الخاصة (مع اعتبار المساعدات والضرائب و المداخيل) مع تطبيق معدلات الخصم الخاصة. ويجرى تحديد السياق الخاص جزئيا بفضل سياسات السلطات العامة.

والإمكانية الاقتصادية هي كمية الطاقة المتجددة المنتظر إنتاجها التي تضع في الاعتبار جميع التكاليف والمنافع الاجتماعية المتصلة بذلك، مما يفترض شفافية كاملة للمعلومات وافتراض أن المبادلات الاقتصادية ستفضي إلى توازن عام يتسم بالنجاعة على مستوى الزمان والمكان. ويتم تحديد سعر التأثيرات السلبية و المنافع المشتركة لجميع استعمالات الطاقة وللأنشطة الاقتصادية الأخرى. وتوازن معدلات الخصم الاجتماعية مصالح الأجيال البشرية في المستقبل.

وإمكانية التنمية المستدامة هي كمية الطاقة المتجددة التي يمكن إنتاجها في سياق مثالي من الأسواق الاقتصادية بلغت الكمال والنظم الاجتماعية المثلى (على مستوى المؤسسات والحكامة) وتحقيق التدفق المستدام للسلع والخدمات البيئية. وتختلف هذه الإمكانية عن الإمكانية الاقتصادية لأنها تعالج بشكل واضح القضايا المتصلة بالإنصاف (التوزيع) بين الأجيال وفي صفوف الجيل نفسه ومسألة الحكامة.

الإمكانية الفنية هي كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها إذا ما جرى اعتماد التكنولوجيا أو الممارسات التي ثبتت جدواها اعتمادا كاملا. وليست هناك أية إشارة للتكلفة أو العراقيل أو السياسات. غير أن الإمكانيات التقنية المشار إليها في هذه الدراسات التي تم تقييمها في هذا التقرير قد تكون قد أخذت في الاعتبار قيوداً عملية، وعندما يتم ذكرها بوضوح، يُشار إليها عموما في التقرير الأساسي.

الإمكانية النظرية يجرى استخلاصها من البارمترات الطبيعية والمناخية (الفيزيائية) (مثلاً إجمالي الإشعاع الشمسي على سطح قارة معينة). ويمكن قياس الإمكانية النظرية بدقة معقولة، غير أن هذه المعلومة لها جدوى عملية محدودة. وهي تمثل أعلى حد لما يمكن إنتاجه من مصدر للطاقة استناداً للمبادئ الفيزيائية والمعارف العلمية الحالية. ولا تأخذ في الاعتبار ما يفقد من طاقة أثناء عمليات التحويل اللازمة لاستعمال المصدر أو أي عقبة من العقبات.

القدرة: القدرة هي معدل انتقال الطاقة أو تحولها لكل وحدة زمنية أو معدل القيام بالعمل. ويتم التعبير عن هذه القدرة بالواط (الجولات / ثانية).

القيمة الحالية: تختلف قيمة كمية معينة من المال عندما تكون الكمية متوفرة على مراحل مختلفة من الوقت (سنوات). لذا يتم اختيار تاريخ ثابت بوصفه الوقت "الحاضر" كي تصبح الكميات المختلفة التواريخ قابلة للمقارنة وللجمع. أما الكميات المتوفرة خلال أوقات مختلفة في المستقبل، فيتم خصمها لإعادتها إلى القيمة الحالية ومن ثم جمعها للحصول على القيمة الحالية لسلسلة من التدفقات المالية في المستقبل. أما **صافي القيمة الحالية** فهو الفرق بين قيمة العائدات (المنافع) الحالية وبين قيمة التكاليف الحالية. انظر أيضاً الخصم.

تكلفة المشروع – انظر تكلفة.

معدل التقدم – انظر منحنى / معدل التعلم.

المالية العامة: الدعم العام الذي يُنتظر منه مردود مالي (قروض، مساهمة) أو ينتج عنه التزام مالي (ضمانة).

المنافع العامة: تستعمل أطراف عديدة المنافع العامة في الوقت نفسه (على عكس المنافع الخاصة). ولا تخضع بعض المنافع العامة للمنافسة، أما بالنسبة لبعضها الآخر، فإن استعمالها من طرف البعض يجعلها غير متوافرة بالنسبة للآخرين، وهذه ما يفضي إلى حالة ازدحام. وقد ترتبط الاستفادة من المنافع العامة بما إذا كانت هذه المنافع مشاعات أو تحت سيطرة الدولة أو لم تبق في ملك أي أحد. و يعتبر الغلاف الجوي والمناخ أقصى ما للبشرية من منافع عامة، كما أن العديد من مصادر الطاقة المتجددة هي أيضا منافع عامة.

الشراكات بين القطاعين العام والخاص: ترتيبات تتسم بالتعاون بين القطاعين العام والخاص. وبشكل عام، فهي تشمل جميع أنواع التعاون بين القطاعين العام والخاص لتوفير الخدمات والبنيات الأساسية.

الحصة (من الكهرباء / الطاقة المتجددة): وضع الحصص يجعل الأطراف المعنية (المنتجون والموردون) مجبرة على تحقيق أدنى الأهداف المتصلة بالطاقة المتجددة (التي كثيراً ما تتزايد تدريجياً)، و يشار إليها بالنسب المئوية من إجمالي الإمدادات أو بصفتها كمية من قدرة الطاقة المتجددة، يتحمل تكلفتها المستهلكون. وتستعمل تسميات مختلفة حسب البلدان للإشارة إلى الحصة، مثل معايير الحافظة المتجددة، الالتزامات المتجددة. راجع أيضاً الشهادات القابلة للتداول.

القدرة التفاعلية: جزء من القدرة الآنية التي لا تنتج عملاً، وتتجلى وظيفتها في إقامة الحقول الكهربائية والمغناطيسية اللازمة وإدامتها لتمكين القدرة النشيطة من القيام بالعمل المفيد.

تأثير الإرتداد: بعد تطبيق التكنولوجيات واعتماد الممارسات الفعالة، قد لا يحقق جزء من الوفورات المنتظرة في الطاقة لأن الوفورات المرافقة في فواتير الطاقة قد تستعمل للحصول على مزيد من الخدمات المتصلة بالطاقة. فعلى سبيل المثال، يؤدي تحسن في كفاءة محرك سيارة ما إلى خفض في تكلفة قيادة السيارة للكيلومتر الواحد، ما يشجع على زيادة عدد الرحلات أو على السياقة لمسافات أطول، أو لإنفاق المبلغ التي تم توفيره على أنشطة مستهلكة للطاقة. كما أن السياسات الناجحة في مجال مردودية الطاقة قد تفضي إلى تخفيض الطلب على الطاقة في الاقتصاد بشكل عام وبالتالي إلى خفض أسعار الطاقة، ويمكن لهذه الوفورات المالية أن تفضي إلى تأثير الارتداد. و تأثير الارتداد هو معدل الوفورات في الطاقة والموارد التي لم تحقق مقابل الوفورات الممكنة في حالة ما إذا بقي الاستهلاك مستقرا كما كان قبل اتخاذ إجراءات الترشيد. بالنسبة لتغير المناخ، يكمن الانشغال الرئيسي لآثار الارتداد في عواقبه على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (ارتداد الكربون).

إعادة التشجير: هي تحويل مباشر بشري المنشأ لأراض غير مزروعة إلى أحراج من خلال الغرس أو زرع البذور و/أو هي تعزيز بشري المنشأ لموارد البذور الطبيعية على أراض كانت تحتوي من قبل على غابات ولكنها تحولت إلى استخدامات أخرى. راجع أيضا التشجير، وإزالة الغابات واستخدام الأراضي.

نظام: قاعدة أو أمر صادر عن السلطات التنفيذية الحكومية أو الوكالات التنظيمية وله قوة القانون. وتُنفذ السياسات بفضل الأنظمة، وتكون عادة خاصة بمجموعات معينة وبهيئات قانونية وأنشطة بعينها. ويعني النظام أيضا وضع القواعد والأوامر وفرضها. من الناحية العملية فإن القيود المتصلة بالمعلومات والصفقات والإدارة والسياسة قد تضع قيوداً على قدرة المنظم على تنفيذ سياسات مفضلة.

الموثوقية: عموما، الموثوقية هي مستوى الأداء وفق المعايير المفروضة أو التوقعات.

موثوقية الكهرباء هي غياب أي انقطاع غير مخطط له للتيار، مثلاً بسبب نقص في قدرة الإمداد أو أعطال في أجزاء من شبكة التوزيع. وتختلف الموثوقية عن الأمن وعن التقلبات في نوعية القدرة بسبب النبضات أو التوافقيات.

الطاقة المتجددة – راجع الطاقة

سيناريو: وصف معقول، وفي أغلب الأحيان مبسط، للطريقة التي قد يتطور بها المستقبل استناداً إلى مجموعة افتراضات متجانسة ومتسقة داخلياً بشأن العلاقات الرئيسية والقوى المحركة (على سبيل المثال، معدل التغير التكنولوجي، الأسعار) التي تؤثر في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، واستعمال الطاقة، إلى غير ذلك. وليست السيناريوهات تنبؤات أو توقعات غير أنها مفيدة، إذ توفر نظرة لما يمكن أن يترتب عن التطور البديل أو المبادرات من آثار. راجع أيضاً خط الأساس، سير الأمور كالمعتاد، النماذج.

الزلزالية: توزيع الزلازل وتواترها من حيث الزمن والقوة والفضاء، على سبيل المثال عدد الزلازل سنويا التي تتراوح قوتها بين 5 و6 لكل 100 كلم^2 أو في بعض الأقاليم.

بالوعة، مصرف: أية عملية أو أنشطة أو آلية تزيل غازاً من غازات الدفيئة أو هباءً من الأهباء الجوية أو أحد سلائف غاز من غازات الدفيئة أو هباءً جوياً من الغلاف الجوي.

جهاز لتجميع الطاقة الشمسية: أداة لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية (الحرارة) لسائل متدفق.

الطاقة الشمسية: الطاقة المستمدة من الشمس التي تُستقطب كحرارة أو ضوء ويتم تحويلها إلى طاقة كيميائية بفضل التمثيل الضوئي الطبيعي أو الاصطناعي أو بالصفائح الفلطائية الضوئية ويتم تحويلها مباشرة إلى كهرباء.

أما **نظم الطاقة الشمسية المركزة** فتستعمل إما العدسات أو المرايا لاستقطاب كميات كبيرة من الطاقة الشمسية وتركيزها في حيز فضائي أصغر. وهذه الحرارة المرتفعة التي يتم إنتاجها يمكن أن تُشغل توربينا بخارياً حرارياً أو تُستعمل في العمليات الصناعية التي تتطلب الحرارة بدرجات عالية.

وتشير **الطاقة الشمسية المباشرة** إلى الاستعمال المباشر للطاقة الشمسية قبل أن تمتصها التربة أو الماء.

ويعني **الاستعمال الشمسي الحراري** الاستعمال المباشر للطاقة الشمسية لأغراض التدفئة، باستثناء الطاقة الشمسية المركزة.

وتحتاج **الطاقة الشمسية النشيطة** للتجهيزات مثل الصفائح والمضخات والمروحات لجمع الطاقة وتوزيعها.

وتعتمد **الطاقة الشمسية السلبية** على التصميم الهيكلي وتقنيات البناء التي تمكن البنايات من استعمال الطاقة الشمسية للتدفئة والتبريد والإضاءة بفضل أدوات غير ميكانيكية.

الإشعاع الشمسي: مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى السطح (واط/متر مربع). ويعتمد الإشعاع على اتجاه السطح، الاتجاهات الخاصة هي: أ – السطوح المتعامدة مع شعاع الإشعاع الشمسي؛ ب – السطوح الأفقية مع الأرض أوعليها. والشمس الكاملة هو الإشعاع الشمسي الذي يبلغ تقريباً 1000 واط/متر مربع.

الإشعاع الشمسي: تبعث الشمس الإشعاع الضوئي و الحراري في طول موجات تتراوح بين فوق البنفسجية وتحت الحمراء. ويمكن للإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض أن يُمتص أو ينعكس أو يُنقل.

إجمالي الإشعاع الشمسي يشمل **الشعاع** (الذي يصل الأرض في خط مستقيم) **والإشعاع الانتشاري** (الذي يصل الأرض بعد تناثره من قبل الغلاف الجوي والسحب).

المعايير: مجموعة قواعد أو مبادئ تفرض أو تحدد أداء المنتج (مثل الدرجات، والأبعاد، والخصائص، وطرق الاختبار، وقواعد الاستخدام).

وتحدد **معايير المنتجات أو التكنولوجيا أو الأداء** المتطلبات الدنيا بالنسبة للمنتجات أو التكنولوجيا ذات الصلة. وتفرض المعايير خفضاً لانبعاثات غازات الدفيئة يرتبط بتصنيع المنتجات أو استخدامها و/أو بتطبيق التكنولوجيا.

الإعانة: دفعات مباشرة من الحكومة أو خفض ضريبي لجهة خاصة لتنفيذ ممارسة ترغب الحكومة في تشجيعها. ويُعزز الحد من انبعاثات غازات الدفيئة من خلال خفض الإعانات التي تقدم حالياً والتي تؤثر في زيادة الانبعاثات، (مثل إعانات استخدام الوقود الأحفوري) أو تقديم إعانات لممارسات تقلل من الانبعاثات أو تعزيز المصارف (مثل مشاريع الطاقة المتجددة، أو تزويد المباني بالتجهيزات العازلة، أو غرس الأشجار).

التنمية المستدامة: أُدخل مفهوم التنمية المستدامة في الإستراتيجية العالمية للاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (IUCN, 1980) وهو يعود بجذوره إلى مفهوم المجتمع المستدام وإلى إدارة الموارد المتجددة. واعتمدته المجلس العالمي المعني بالبيئة والتنمية سنة 1987 ثم اعتمده مؤتمر ريو في سنة 1992 باعتباره عملية تغيير تتسم بالانسجام بين استغلال الموارد، وتوجيه الاستثمارات والتنمية التكنولوجية والتغير المؤسساتي كافة، وتعزز الإمكانية الحالية والمستقبلية للاستجابة لحاجات الإنسان وتطلعاته. وتشمل التنمية المستدامة الأبعاد السياسية والاجتماعية والاقتصادية والبيئية وتحترم القيود المتصلة بالموارد والبالوعات.

الضريبة: تفرض **ضريبة الكربون** على كمية الكربون الموجودة في الوقود الأحفوري. وبما أن الكربون الموجود في الوقود الأحفوري ينبعث كله تقريباً في النهاية كثاني أكسيد الكربون، فإن ضريبة الكربون تساوي **ضريبة الانبعاثات** المفروضة على كل وحدة مكافئة لثاني أكسيد الكربون من وحدات الانبعاثات. أما **ضريبة الطاقة** التي تفرض على محتوى الوقود الأحفوري من الطاقة، فتقلص الطلب على الطاقة وتحد بالتالي من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري. أما **الضريبة الإيكولوجية** فتهدف إلى التأثير على سلوك الإنسان (خاصة السلوك الاقتصادي) لحمله على اتباع مسار سليم إيكولوجيا. وأما **الائتمان الضريبي** فهو خفض للضريبة، يهدف إلى التشجيع على شراء منتج معين أو الاستثمار فيه، مثل تكنولوجيات الحد من انبعاثات غازات الدفيئة. **والرسم** على الكربون لا يختلف عن **ضريبة** الكربون.

التغيير التكنولوجي: يعتبر في أغلب الأحيان أنه تحسين تكنولوجي أي زيادة وتحسين السلع والخدمات التي يمكن الحصول عليها من مقدار معلوم من الموارد (عوامل الإنتاج). وتفرق النماذج الاقتصادية بين التغيير التكنولوجي الذاتي (الخارجي) والداخلي والمستحث.

فالتغيير التكنولوجي الذاتي (الخارجي) يفرض من خارج النموذج (بصفته بارمتر)، وغالباً ما يكون على شكل توجه زمني سائد يؤثر على الطلب على الطاقة أو إنتاجها، وبالتالي على الطلب عليها على نمو إنتاجها.

أما **التغيير التكنولوجي الداخلي** فهو نتيجة نشاط اقتصادي داخل النموذج (بصفته متغيراً)، فعنصر الإنتاج أو اختيار التكنولوجيات مثلاً هو ضمن النموذج ويؤثر على الطلب على الطاقة و/أو على النمو الاقتصادي.

أما **التغيير التكنولوجي المستحث** فهو تغيير تكنولوجي داخلي ولكن يضاف إليه بعض التغييرات بدافع سياسات وتدابير كضرائب الكربون التي تحرك جهود البحث والتطوير.

التكنولوجيا: التطبيق العملي للمعرفة بهدف إنجاز مهام محددة تستدعي استخدام الأدوات الفنية (المعدات والأجهزة) والمعلومات (الاجتماعية) (البرمجيات والمهارة في إنتاج الأدوات واستخدامها).

دعم العرض: يهدف إلى تطوير تكنولوجيات خاصة من خلال تقديم الدعم للبحوث والتطوير والاستعراض.

دعم الطلب: ممارسات ترمي إلى استحداث محفزات تجارية وغيرها تيسيراً لاعتماد مجموعة خاصة من التكنولوجيا (مثلاً تكنولوجيا تبعث كربونا أقل بفضل تسعير الكربون) أو تكنولوجيا واحدة (مثلاً، تحديد أسعار مشجعة لتكنولوجيا معينة).

نقل التكنولوجيا: تبادل المعرفة والمعدات والبرمجيات ذات الصلة والمال والسلع بين مختلف أصحاب الشأن، ما يؤدي إلى نشر التكنولوجيا المطلوبة للتكيف والتخفيف. ويشمل هذا المفهوم نشر التكنولوجيا والتعاون التكنولوجي بين البلدان وداخلها.

الشهادات القابلة للتداول (الشهادات الخضراء القابلة للتداول): تمثل الأطراف الخاضعة لحصص الطاقة المتجددة لالتزاماتها السنوية بتسليم الكمية الملائمة من الشهادات القابلة للتداول للمكتب المنظم. هذا المكتب هو الذي يستحدث هذه الشهادات ويخصصها لمنتجي الطاقة المتجددة لبيعها أو لاستعمالهم الخاص في إطار التزامهم بالحصة. راجع حصة.

نقل وتوزيع (الكهرباء): الشبكة التي تنقل الكهرباء عبر الأسلاك من مكان الإنتاج إلى مكان الاستعمال. ويشير نظام التوزيع إلى نظام الجهد المنخفض الذي يسلم الكهرباء للمستعمل النهائي. راجع الشبكة.

التوربين: هو الجهاز الذي يحول الطاقة الحركية لدفق من الهواء أو الماء أو الغاز الساخن أو البخار إلى قدرة ميكانيكية دوارة تستعمل للدفع المباشر أو لتوليد الكهرباء (راجع توربينات الريح أو الماء أو الغاز أو البخار). في **توربينات الغاز المكثف**، يرسل بخار العادم في مبدل للحرارة (المكثف) باستعمال درجة الحرارة السائدة من الماء (النهر، البحيرة، البحر) أو مصادر الهواء (أبراج التبريد). وليس **لتوربينات البخار بالضغط الخلفي** أي مكثف في ظروف درجة الحرارة السائدة، غير أنها ترسل جميع البخار بدرجة حرارة عالية للاستعمال لبعض الأغراض كتلك المتصلة بالتدفئة.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ: اعتمدت الاتفاقية في 9 أيار/مايو 1992 في نيويورك ووقع عليها في قمة الأرض التي عقدت في عام 1992 في ريو دي جانيرو أكثر من 150 بلداً والجماعة الأوروبية. وهدف الاتفاقية النهائي هو 'تثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى يمنع التدخلات البشرية المنشأ الخطرة في النظام المناخي'. وتتضمن التزامات لجميع الأطراف. وبموجب الاتفاقية تستهدف الأطراف المدرجة في المرفق الأول للاتفاقية العودة بانبعاثات غازات الدفيئة التي لا ينظمها بروتوكول مونتريال إلى مستويات عام 1990 بحلول عام 2000. وقد دخلت الاتفاقية حيز النفاذ في آذار/مارس 1994. واعتمدت اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ بروتوكول كيوتو. راجع أيضاً البلدان المدرجة في المرفق الأول، الأطراف المدرجة في المرفق باء وبروتوكول كيوتو.

وادي الموت: تشير هذه العبارة إلى فترة من فترات تطور تكنولوجيا معينة تتسم بتدفق نقدي سلبي بسبب الزيادة في تكلفة التطوير غير أن المخاطر المتصلة بهذه التكنولوجيا ليست قابلة للتدني بما فيها الكفاية لجذب المستثمرين الخواص من أجل تحمل عبء التمويل.

القيمة المضافة: صافي الإنتاج لقطاع أو نشاط معين بعد إضافة قيمة جميع النواتج المحصل عليها وخصم جميع عناصر الإنتاج الوسيطة.

القيم: السمة الأساسية لشيء ما والتي تجعل مالكه يستحسنه أو يرغب في امتلاكه أو في استعماله. ويختلف تعريف القيمة باختلاف كل علم من العلوم الإنسانية. وفي سياق الطبيعة والبيئة، يُميز بين القيم الجوهرية والقيم المنفعية التي يقوم الإنسان بتحديدها. ومن بين القيم المنفعية، توجد مجموعة غير قارة من القيم المختلفة (المباشرة وغير المباشرة) كالاستعمال والاختيار والحفظ والصدفة والنقل والبقاء، وغيرها.

وتُعرف القيمة الإجمالية لكل مورد من الناحية الاقتصادية على أنها مجموع القيم الخاصة لمختلف الأفراد المساهمين في استعمال المورد. أما القيم الاقتصادية التي هي أساس تقيم التكاليف، فتقاس وفقا لرغبة الأفراد في الدفع من أجل الحصول على المورد، أو رغبة الأفراد في دفع الأجزاء غير المدفوعة.

منفذ (الحرارية الأرضية/الحرارية المائية/قعر البحار): فتحة على سطح الأرض (أرضية أو بحرية) يمكن أن تتدفق منها المواد والطاقة.

رأسمال استثماري: نوع من رؤوس المال الخاصة تستثمر عادة في المنشآت التي تركز على التكنولوجيا الواعدة في بداية انطلاقها، أملاً في استدرار أكبر قدر من الربح بفضل صفقة تجارية أو الدخول إلى سوق البورصة.

من البئر إلى الخزان: ويشمل الأنشطة من استخلاص المورد ومروراً بإنتاج الوقود إلى تسليمه للعربة. ومقارنة مع "البئر إلى العجلة"، فهذا النهج لا يأخذ في الاعتبار استعمال الوقود لتشغيل العربات.

من البئر إلى العجلة: يشير هذا النهج من التحليل إلى تحليل دورة حياة خاصة تطبق على أنواع وقود النقل واستعمالها في العربات. ويشمل نهج من البئر إلى العجلة استخلاص المورد وإنتاج الوقود وتسليم الوقود للعربة والاستعمال النهائي للوقود في تشغيل العربة. وإن كانت المواد الأولية

التي تدخل في إنتاج أنواع الوقود الجديد لا تتأتى من الآبار، فقد جرى الاحتفاظ بهذه العبارة كما هي لتحليل نقل الوقود.

طاقة الرياح: الطاقة الحركية المستمدة من التيارات الجوية الناجمة عن التفاوت في درجات حرارة سطح الأرض. **وتوربين الريح** هي آلة دوارة تشمل بنية هيكلية لتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة ميكانيكية دوارة من أجل إنتاج الكهرباء. **وللطاحونة الهوائية** زعانف أو أجنحة مائلة ويتم استعمال الطاقة الميكانيكية التي يحصل عليها في أغلب الأحيان مباشرة لاستخراج الماء، على سبيل المثال. **الحقل الهوائي**، **المشروع الهوائي**، **محطة للطاقة الهوائية** هي مجموعة من توربينات الريح الموصولة فيما بينها بمرفق مشترك بواسطة نظام للمحولات وخطوط التوزيع و (عادة) بمحطة فرعية.

المختصرات

AA-CAES	Advanced adiabatic compressed air energy storage
AC	Alternating current
AEM	Anion exchange membrane
AEPC	Alternative Energy Promotion Centre
AFEX	Ammonia fibre expansion
APU	Auxiliary power unit
AR4	4th assessment report (of the IPCC)
AR5	5th assessment report (of the IPCC)
BC	Black carbon
BCCS	Biological carbon sequestration
Bio-CCS	Biomass with carbon capture and storage
BIPV	Building-integrated photovoltaic
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety)
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
BOS	Balance of systems
BSI	Better Sugarcane Initiative
CAES	Compressed air energy storage
CBP	Consolidated bioprocessing
CC	Combined cycle
CCIY	China Coal Industry Yearbook
CCS	Carbon dioxide capture and storage
CDM	Clean Development Mechanism
CEM	Cation exchange membrane
CER	Certified Emissions Reduction
CF	Capacity factor
CFB	Circulating fluid bed
CFD	Computational fluid dynamics
CFL	Compact fluorescent lightbulb
CHP	Combined heat and power
CIGSS	Copper indium/gallium disulfide/(di)selenide
CIS	Commonwealth of Independent States
CMA	China's Meteorological Administration
CNG	Compressed natural gas
CoC	Chain of custody
COP	Coefficient of performance
CPP	Captive power plant
CPV	Concentrating photovoltaics
CREZ	Competitive renewable energy zone
CRF	Capital recovery factor
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
CSP	Concentrating solar power
CPV	Concentrating photovoltaics
CSTD	Commission on Science and Technology (UN)
DALY	Disability-adjusted life year
dBA	A-weighted decibels
DC	Direct current or district cooling
DDG	Distillers dried grains
DDGS	Distillers dried grains plus solubles
DH	District heating
DHC	District heating or cooling
DHW	Domestic hot water
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (German Aerospace Centre)
DLUC	Direct land use change
DME	Dimethyl ether
DNI	Direct-normal irradiance
DPH	Domestic pellet heating
DSSC	Dye-sensitized solar cell
EGS	Enhanced geothermal systems
EGTT	Expert Group on Technology Transfer
EIA	Energy Information Administration (USA)
EIT	Economy In Transition
EMEC	European Marine Energy Centre
EMF	Energy Modelling Form
EMI	Electromagnetic interference
ENSAD	Energy-Related Severe Accident Database
EPRI	Electric Power Research Institute (USA)
EPT	Energy payback time
E[R]	Energy [R]evolution
ER	Energy ratio
ERCOT	Electric Reliability Council of Texas
EREC	European Renewable Energy Council
EROEI	Energy return on energy investment
ESMAP	Energy Sector Management Program (World Bank)
ETBE	Ethyl tert-butyl ether
ETP	Energy Technology Perspectives
EU	European Union
EV	Electric vehicle
FACTS	Flexible AC transmission system
FASOM	Forest and Agricultural Sector Optimization Model
FAO	Food and Agriculture Organization (of the UN)
FFV	Flexible fuel vehicle
FQD	Fuel quality directive
FIT	Feed-in tariff
FOGIME	Crediting System in Favour of Energy Management
FRT	Fault ride through
FSU	Former Soviet Union
FTD	Fischer-Tropsch diesel
GBD	Global burden of disease
GBEP	Global Bioenergy Partnership
GCAM	Global Change Assessment Model
GCM	Global climate model; General circulation model
GDP	Gross domestic product
GEF	Global Environment Facility
GHG	Greenhouse gas
GHP	Geothermal heat pump

Geographic information system	GIS
Genetically modified	GM
Genetically modified organism	GMO
Guarantee of origin	GO
Genuine progress indicator	GPI
Global positioning system	GPS
Ground source heat pump	GSHP
Human appropriation of terrestrial NPP	HANPP
Heat collection element	HCE
Human Development Index	HDI
Hot dry rock	HDR
Heavy duty vehicle	HDV
Hydrogen fuel cell electric vehicle	HFCV
Hot fractured rock	HFR
Higher heating value	HHV
Hydropower plant	HPP
Heat recovery ventilator	HRV
Hybrid electric vehicle	HEV
Heating, ventilation and air-conditioning	HVAC
High voltage direct current	HVDC
Hot wet rock	HWR
Impact assessment	IA
Indoor air pollution	IAP
interdigitated back-contact	IBC
Internal combustion engine	ICE
Internal combustion engine vehicle	ICEV
Local Governments for Sustainability	ICLEI
International Commission on Large Dams	ICOLD
Improved cookstove or Integral collector storage (Ch 3)	ICS
International Centre for Trade and Sustainable Development	ICTSD
International Energy Agency	IEA
International Electrotechnical Commission	IEC
Institute of Electrical and Electronics Engineers	IEEE
International Hydropower Association	IHA
Indirect land use change	ILUC
Integrated gasification combined cycle	IGCC
Intergovernmental Panel on Climate Change	IPCC
Intellectual property rights	IPR
Inter-quartile range	IQR
Indian Renewable Energy Development Agency	IREDA
International Renewable Energy Agency	IRENA
Inorganic mineral raw materials	IRM
Integrated solar combined-cycle	ISCC
International Solar Energy Society	ISES
Index of sustainable economic welfare	ISEW
International Organization for Standardization	ISO
Joule	J
Joint implementation	JI
Lifecycle assessment	LCA
Levelized cost of energy (or of electricity)	LCOE
Levelized cost of fuel	LCOF
Levelized cost of heat	LCOH
Light duty vehicle	LDV
Light-emitting diode	LED
Lower heating value	LHV
Liquefied natural gas	LNG
Liquefied petroleum gas	LPG
Learning rate	LR
Land use change	LUC
Mergers and acquisitions	M&A
Millennium Development Goals	MDG
Multiple-effect humidification	MEH
Micro-hydropower systems	MHS
Ministry of International Trade and Industry (Japan)	MITI
Municipal solid waste	MSW
National Aeronautics and Space Administration (USA)	NASA
National Development and Reform Commission (China)	NDRC
Non Fossil Fuel Obligation	NFFO
Natural gas	NG
Nongovernmental organization	NGO
Normal cubic metre (of gas) at standard temperature and pressure	Nm^3
Non-methane volatile organic compounds	NMVOC
Net primary production	NPP
Net present value	NPV
National Research Council (USA)	NRC
National Renewable Energy Laboratory (USA)	NREL
National Sustainable Development Strategies	NSDS
Operation and maintenance	O&M
Oscillating-body	OB
Organic carbon	OC
Organisation for Economic Co-operation and Development	OECD
Organic matter	OM
Organic photovoltaic	OPV
Organic Rankine Cycle	ORC
Ocean thermal energy conversion	OTEC
Oscillating water column	OWC
Property Assessed Clean Energy	PACE
Photobioreactor	PBR
Phase-change material	PCM
Power density index	PDI
Photoelectrochemical	PEC
Plug-in hybrid electric vehicle	PHEV
Particulate matter	PM
Palm oil mill effluent	POME
Purchase power agreement	PPA
Pressure-retarded osmosis	PRO
Brazilian Alcohol Program	PROALCOOL
Probabilistic safety assessment	PSA
Paul Scherrer Institute	PSI
Pumped storage plants	PSP
Production tax credit	PTC
Photovoltaic	PV

Photovoltaic/thermal	**PV/T**
Pressurized water reactor	**PWR**
Research and development	**R&D**
Reaktor bolshoy moshchnosty kanalny	**RBMK**
Regional climate model	**RCM**
Research, development and demonstration	**RD&D**
Reserves to current production (ratio)	**R/P**
Renewable diesel	**RD**
Renewable energy	**RE**
Renewable energy cooling	**RE-C**
Renewable energy heating	**RE-H**
Renewable energy heating/cooling	**RE-H/C**
Renewable energy certificate	**REC**
Reversed electro dialysis	**RED**
Renewable Energy Policy Network for the 21st Century	**REN21**
Renewable electricity standard	**RES**
Renovation, modernization and upgrading	**RM&U**
Root mean square	**RMS**
Rotor nacelle assembly	**RNA**
Renewables obligation	**RO**
Run of river	**RoR**
Renewable portfolio standard	**RPS**
Roundtable for Sustainable Biofuels	**RSB**
Supervisory control and data acquisition	**SCADA**
Stress corrosion cracking	**SCC**
Sustainable development	**SD**
Solar Electric Generating Station (California)	**SEGS**
Solar heating and cooling	**SHC**
Small-scale hydropower plant	**SHP**
Suitability index	**SI**
Small and medium sized enterprises	**SME**
Synthesis gas	**SNG**
Netherlands Development Organization	**SNV**
Seasonal performance factor	**SPF**
Summary for Policymakers	**SPM**
Small power producer	**SPP**
Sanitary and phytosanitary	**SPS**
Short rotation	**SR**
Special Report on Emission Scenarios (of the IPCC)	**SRES**
Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (of the IPCC)	**SRREN**
Simultaneous saccharification and co-fermentation	**SSCF**
Simultaneous saccharification and fermentation	**SSF**
Space-based solar power	**SSP**
Standard temperature and pressure	**STP**
Solar water heating	**SWH**
Tunnel-boring machines	**TBM**
Tonga Energy Roadmap	**TERM**
Tradable green certificate	**TGC**
Third-party access	**TPA**
Total primary energy supply	**TPES**
European Wind Energy Technology Platform	**TPWind**
Technical Summary or thermosyphon	**TS**
United States of America (adjective)	**US**
United States of America (noun)	**USA**
United Nations	**UN**
United Nations Conference on Environment and Development	**UNCED**
United Nations Conference on Trade and Development	**UNCTAD**
United Nations Development Programme	**UNDP**
United Nations Environment Programme	**UNEP**
United Nations Framework Convention on Climate Change	**UNFCCC**
US dollar	**USD**
US Department of Energy	**USDOE**
Volt	**V**
Vehicle kilometres travelled	**VKT**
Vanadium redox battery	**VRB**
Watt	**W**
Watt of electricity	**W_e**
Watt peak of PV installation	**W_p**
World Bank Group	**WBG**
World Commission on Dams	**WCD**
World Commission on Environment and Development	**WCED**
World Energy Assessment	**WEA**
World Energy Outlook	**WEO**
Wind Partnership for Advanced Component Technologies	**WindPACT**
World Trade Organization	**WTO**
Well to wheel	**WTW**

الرموز الكيميائية

Amorphous silicon	a-Si
Carbon	C
Cadmium sulphide	CdS
Cadmium telluride	CdTe
Methane	CH_4
Ethanol	CH_3CH_2OH
Dimethyl ether (DME)	CH_3OCH_3
Methanol	CH_3OH
Copper indium gallium diselenide (disulfide)	CIGS(S)
Chlorine	Cl
Carbon monoxide	CO
Carbon dioxide	CO_2
Carbon dioxide equivalent	CO_2eq
Crystalline silicon	c-Si
Copper	Cu
Copper indium diselenide	$CuInSe_2$
Dimethyl ether	DME
Iron	Fe
Gallium arsenide	GaAs
Hydrogen gas	H_2
Water	H_2O
Hydrogen sulphide	H_2S
Hydrofluorocarbons	HFC
Potassium	K
Magnesium	Mg
Nitrogen	N
Nitrogen gas	N_2
Nitrous oxide	N_2O
Sodium	Na
Sodium-sulfur	NaS
Ammonia	NH_3
Nickel	Ni
Nickel-cadmium	NiCd
Nitrous oxides	NO_x
Ozone	O_3
Phosphorus	P
Perfluorocarbon	PFC
Sulfur hexafluoride	SF_6
Silicon	Si
Silicon carbide	SiC
Sulfur dioxide	SO_2
Zinc oxide	ZnO

الوحدات القياسية الدولية

Prefix	Multiplier	Symbol
deci	10^{-1}	d
centi	10^{-2}	c
milli	10^{-3}	m
micro	10^{-6}	μ
nano	10^{-9}	n
pico	10^{-12}	p
femto	10^{-15}	f
atto	10^{-18}	a

Prefix	Multiplier	Symbol
zetta	10^{21}	Z
exa	10^{18}	E
peta	10^{15}	P
tera	10^{12}	T
giga	10^{9}	G
mega	10^{6}	M
kilo	10^{3}	k
hecto	10^{2}	h
deca	10	da

المرفق الثاني

المنهجية

المحررون الرئيسيون:
William Moomaw (الولايات المتحدة الأمريكية)، Peter Burgherr (سويسرا)، Garvin Heath (الولايات المتحدة الأمريكية)، Manfred Lenzen (أستراليا، ألمانيا)، John Nyboer (كندا)، Aviel Verbruggen (بلجيكا)

ينبغي الإشارة إلى هذا المرفق على النحو التالي:
Moomaw، W.، P. Burgherr، G. Heath، M. Lenzen، J. Nyboer، A. Verbrug-gen، الإسهام في التقرير الخاص المعني بمصادر الطاقة المتجددة (SRREN) عام 2011: المرفق الثاني: المنهجية في التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن بمصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من تغير المناخ [O. Edenhofer، R. Pichs-Madruga، Y. Sokona، K. Seyboth، P. Matschoss، S. Kadner، T. Zwickel، P. Eickemeier G. Hansen، S. Schlömer، C. von Stechow (eds) (تحرير)]، دار نشر جامعة كمبردج، كمبردج، المملكة المتحدة ونيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

المحتويات

A.II.1 مقدمة 183

A.II.2 أدوات القياس الخاصة بالتحليل في هذا التقرير 183

A.II.3 التقييم المالي للتكنولوجيات خلال فترة حياة المشروع 183

A.II.3.1 القيم الثابتة (الحقيقية) 183

A.II.3.2 الخصم والقيمة المالية الصافية 183

A.II.3.3 التكاليف المقومة 184

A.II.3.4 العامل السنوي أو عامل استعادة التكاليف الرأسمالية 184

A.II.4 محاسبة الطاقة الأولية 184

A.II.5 تقييم دورة الحياة وتحليل المخاطر 187

A.II.5.1 وقت سداد عائد الطاقة ومعدل الطاقة 187

A.II.5.2 استعراض تقديرات دورة الحياة لتكنولوجيات توليد الكهرباء 188

A.II.5.2.1 منهجية الاستعراض 188

A.II.5.2.2 قائمة المراجع 189

A.II.5.3 استعراض استخدام الماء التشغيلي في تكنولوجيات توليد الكهرباء 200

A.II.5.3.1 منهجية الاستعراض 200

A.II.5.3.2 قائمة المراجع 201

A.II.5.4 تحليل المخاطر 202

A.II.6 التعاريف الإقليمية ومجموعات البلدان 204

A.II.7 عوامل التحويل العامة للطاقة 205

A.II.1 مقدمة

يتعين أن يتفق الأطراف على بيانات ومعايير مشتركة و نظريات ومنهجيات مؤيدة. ويوجز هذا المرفق مجموعة من المبادىء والمنهجيات المتفق عليها. ويشمل ذلك وضع أدوات قياس وتحديد سنة أساس، وتعاريف للمنهجيات واتساق في البروتوكولات التي تتيح المقارنات ذات المصداقية بين الأنواع البديلة للطاقة في سياق ظواهر تغير المناخ. ويعرّف هذا القسم أو يصف هذه التعاريف والمفاهيم الأساسية على النحو المستخدم في هذا التقرير مع التسليم بأن الدراسات تستخدم في كثير من الأحيان تعاريف وافتراضات غير متساوقة.

ويبلغ التقرير عن حالات عدم اليقين حيثما يكون ذلك ذي صلة بالموضوع، بأن يبين، مثلاً، نتائج تحليل الحساسية أو نطاقات تقدم كمياً في عدد من التكاليف فضلاً عن نطاقات في نتائج السيناريوهات. ولا يطبق هذا التقرير مصطلحات عدم اليقين الرسمية لدى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC بالنظر إلى أن التوجيه المتعلق بعدم اليقين كان، وقت الموافقة على هذا التقرير، قيد التنقيح.

A.II.2 أدوات القياس الخاصة بالتحليل في هذا التقرير

يمكن بسهولة ذكر عدد من أدوات القياس أو من السهل نسبياً تعريفها. ويوفر المرفق الثاني مجموعة من أدوات القياس المتفق عليها. ويرد فيما يلي تلك التي تحتاج إلى مزيد من الوصف. وتشمل الوحدات والبارامترات الأساسية ذات الصلة بهذا التحليل لكل نوع من أنواع الطاقة المتجددة الواردة في هذا التقرير ما يلي:

- النظام الدولي للوحدات (SI) الخاص بالمعايير والوحدات
- الأطنان المترية (t) لثاني أكسيد الكربون، ومكافئ ثاني أكسيد الكربون
- قيم الطاقة الأولية بالإكساجول (EJ)
- عوامل/تحويل الطاقة بين الوحدات الفيزيائية والطاقة لدى الوكالة الدولية للطاقة
- القدرة الحرارية بالجيجاوات (GW_t) والكهرباء بالجيجاوات (GW_e)
- عامل القدرة
- فترة الحياة الفنية والاقتصادية
- محاسبة الطاقة الشفافة (مثل تحويل الطاقة النووية أو المائية إلى كهرباء)
- تكلفة الاستثمار بالدولار الأمريكي لكل كيلوات (طاقة الذروة)
- تكلفة الطاقة بالدولار الأمريكي في 2005 للكيلووات ساعة أو الدولار الأمريكي في 2005 للأكساجول
- قيم العملات بالدولار الامريكي في 2005 (بسعر الصرف في السوق حيثما ينطبق ذلك، ولا يستخدم تعادل الفترة الشرائية)
- معدلات الخصم المطبقة: 3، 7، 10 في المائة
- توقعات الطاقة العالمية (WEO) افتراضات أسعار الوقود الأحفوري في 2008
- سنة خط الأساس: 2005 بالنسبة لجميع العناصر (السكان والقدرة والإنتاج والتكاليف) ويلاحظ أن البيانات الأحدث قد تستخدم أيضاً (مثل استهلاك الطاقة في 2009)
- السنوات المستهدفة: 2020 و2030 و2050.

A.II.3 التقييم المالي للتكنولوجيات خلال فترة حياة المشروع

توفر أدوات القياس المعرفة هنا الأساس الذي يمكن الانطلاق منه لمقارنة أحد أنواع الطاقة المتجددة (أو المشروع) بنوع آخر. وبغية تيسير مقارنة المشروعات أو الموارد، ولو على الأقل من حيث التكاليف، تمثل التكاليف التي قد تحدث في أوقات زمنية مختلفة (مثل في مختلف السنوات) كرقم واحد يثبت في سنة معينة واحدة هي السنة المرجعية (2005). وتوفر الكتب الدراسية بشأن تقدير الاستثمارات معلومات أساسية عن مفاهيم القيم الثابتة، والخصم، وحسابات القيم الحالية الصافية والتكاليف المقومة مثلاً (Jelen and Black, 1983).

A.II.3.1 القيم الثابتة (الحقيقية)

تجرى عمليات تحليل التكاليف بالدولارات الأمريكية الثابتة أوالحقيقية[1] (أي باستبعاد تأثيرات التضخم) استناداً إلى سنة معينة هي سنة الأساس 2005 دولار امريكي. ويمكن أن تستخدم الدراسات النوعية التي يعتمد عليها التقرير أسعار سوق الصرف كخيار رئيسي أو استخدام تعادلات القدرة الشرائية إلا أنه إذا كانت تمثل جزءاً من التحليل سوف تذكر بوضوح، ويتم تحويلها حيثما يكون ممكناً إلى الدولار الأمريكي لعام 2005 (USD_{2005}).

وحيثما تكون السلاسل النقدية الواردة في التحليلات بالدولارات الحقيقية، يقتضي الاتساق أن يكون سعر الخصم أيضاً حقيقياً (خالياً من عناصر التضخم). غير أن هذا الاتساق لا يتبع عادة، وتشير الدراسات إلى «أسعار الفائدة الملاحظة في السوق» أو «معدلات الخصم الملاحظة» التي تتضمن التضخم أو التوقعات المتعلقة بالتضخم. ولا تراعي أسعار الفائدة «الحقيقية/الثابتة» على الإطلاق بصورة مباشرة بل تشتق من المعادلة الارتجاعية التالية:

$$(1+m) = (1+i) * (1+f) \qquad (1)$$

حيث

m = المعدل الاسمي (٪)

i = السعر الحقيقي/الثابت (٪)

f = معدل التضخم

وقد تختلف السنة المرجعية للخصم عن سنة الأساس للأسعار الثابتة المحددة في الدراسات المستخدمة في مختلف الفصول، وبذلت محاولة، حيثما يكون ممكناً، لتنسيق البيانات لتعكس أسعار الخصم المستخدمة هنا.

A.II.3.2 الخصم والقيمة المالية الصافية

يسند وكلاء القطاع الخاص قيمة للأشياء البعيدة في المستقبل أقل من الأشياء الخاصة بالحاضر بسبب «الأفضلية الزمنية للاستهلاك» أو لتعكس «عائداً على الاستثمار». ويخفض الخصم التدفقات النقدية المستقبلية بقيمة تقل عن 1. ويمكن بتطبيق هذه القاعدة على سلسلة من التدفقات النقدية الصافية بأسعار الدولار الأمريكي الحقيقية، التيقن من القيمة الحاضرة الصافية (NPV) للمشروع ومن ثم مقارنتها بالمشروعات الأخرى باستخدام:

$$NPV = \sum_{j=0}^{n} \frac{Net\ cash\ flows\ (j)}{(1+i)^{j}} \qquad (2)$$

حيث

n = فترة حياة المشروع

i = سعر الخصم

1 قد يحدث خلط للتعبير الاقتصادي «الحقيقي» حيث إن ما يسمونه حقيقي لا يتوافق مع التدفقات المالية الملاحظة («الاسمية» تشمل التضخم) و«الحقيقي» يعكس القدرة الشرائية الفعلية للتدفقات بأسعار الدولار الثابتة.

وقد استخدم محللو هذا التقرير ثلاث قيم لأسعار الخصم ($i = 3$، 7، و10 ٪) بالنسبة لعمليات تقييم التكاليف. وقد تعكس أسعار الخصم هذه المعدلات العادية المستخدمة مع إدراج علاوة المخاطر في القيم الأعلى. وسعر الخصم مفتوح لقدر كبير من النقاش، ولا يمكن اقتراح أي بارامتر أو خط توجيهي واضح باعتباره علاوة مخاطر ملائمة. ولم يتم مناولة هذه المناقشات هنا فالهدف هو توفير وسائل ملائمة للمقارنة فيما بين المشروعات وأنواع الطاقة المتجددة والعناصر الجديدة مقابل العناصر الحالية في نظام الطاقة.

A.II.3.3 التكاليف المقومة

تستخدم التكاليف المقومة في تقييم استثمارات توليد الطاقة حيث تكون النواتج قابلة للتقدير الكمي (كيلووات / ساعة التي يتم توليدها خلال فترة حياة الاستثمار). والتكاليف المقومة هي نقطة التعادل الفريدة في أسعار التكاليف حيث تعادل العائدات الخاضعة للخصم (الأسعار x الكميات)[2] المصروفات الصافية الخاضعة للخصم.

$$C_{Lev} = \frac{\sum_{j=0}^{n} \frac{Expenses_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^{n} \frac{Quantities_j}{(1+i)^j}} \quad (3)$$

حيث
C_{lev} = التكاليف المقومة
n = فترة حياة المشروع
i = سعر الخصم

A.II.3.4 العامل السنوي أو عامل استعادة التكاليف الرأسمالية

ثمة ممارسة شائعة بدرجة كبيرة تتمثل في تحويل مبلغ معين من المال في اللحظة 0 إلى عدد n من المبالغ السنوية الثابتة خلال السنوات المقبلة n القادمة.

Let A = مبلغ ثابت سنوي من المدفوعات على امتداد السنوات n
Let B = المبلغ النقدي الذي يسدد للمشروع في السنة 0

ويتم الحصول على A من B باستخدام المعادلة 2 المعدلة بصورة طفيفة: مقدم القرض يريد استرداد B بسعر الخصم i. ويحصل A على NPV (القيمة الحالية الصافية) بعدد مرات n في المستقبل ومن ثم لابد أن تعادل A على وجه الدقة B كالآتي:

$$\sum_{j=1}^{n} \frac{A}{(1+i)^j} = B, \text{or: } A\sum_{j=1}^{n} \frac{1}{(1+i)^j} = B \quad (4)$$

ويمكن وضع A قبل الحاصل لأنها قيمة ثابتة (لا تعتمد على j).

ويمكن خصم مبلغ عوامل الخصم (وهو متسلسلة هندسية محدودة) في شكل رقم معين. وعندما يحسب هذا الرقم توجد A من خلال قسمة B بهذا الرقم. ويعرف ذلك باسم عامل استرداد رأس المال (CRF) إلا أنه قد يعرف باسم العامل السنوي 'δ'. ويتوقف العامل السنوي δ شأنه شأن NPV على البارامترين الاثنين i و n:

$$\delta = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

ويمكن استخدام CRF (أو δ) لحساب التكاليف المقومة بسرعة في كل مشروع بسيط حيث تكون تكاليف الإستثمار، خلال سنة معينة، هي المصروفات فقط وحيث يظل الإنتاج ثابتاً خلال فترة الحياة (n):

$$C_{Lev} \times Q = B \times \delta, \text{ or: } C_{Lev} = (B \times \delta)/Q \quad (5)$$

أو حيثما يمكن الافتراض بأن تكاليف التشغيل والصيانة (O&M) لا تتغير من عام لآخر.

$$C_{Lev} = \frac{B \times \delta + O\&M}{Q} \quad (6)$$

حيث
C_{lev} = التكاليف المقومة
B = تكاليف الاستثمار
Q = الإنتاج
$O\&M$ = تكاليف التشغيل والصيانة السنوية
n = فترة حياة المشروع
i = معدل الخصم

A.II.4 محاسبة الطاقة الأولية

يقدم هذا القسم طريقة محاسبة الطاقة الأولية المستخدمة في كافة أنحاء هذا التقرير. فالتحليلات المختلفة للطاقة تستخدم طرق محاسبية مختلفة مما يؤدي إلى نواتج كمية مختلفة لإعداد التقارير سواء الخاصة باستخدام الطاقة الأولية الحالية أو استخدام الطاقة في السيناريوهات التي تستكشف تحويلات الطاقة في المستقبل. وتطبق تعاريف ومنهجيات وأدوات قياس مختلفة. وكثيراً ما تستخدم نظم محاسبة الطاقة في الدراسات دون بيان واضح فيما يتعلق بالنظام الذي يجري استخدامه (Lightfoot 2007 وMartinot et al. 2007). وجرى تقديم عرض عام لمختلف محاسبات الطاقة الأولية من إحصاءات متباينة (Macknick 2009). وأوضح Nakicenovic وآخرون (1998) انعكاسات استخدام نظم المحاسبة المختلفة في تحليل السيناريوهات طويلة الأجل.

وثمة ثلاث طرق بديلة تستخدم في الغالب الأعم في الإبلاغ عن الطاقة الأولية. ففي حين أن محاسبة مصادر المحروقات بما في ذلك جميع أشكال الطاقة الأحفورية والكتلة الأحيائية لا تتسم بالغموض وتتماثل عبر مختلف الطرق، فإنها تبين مواثيق مختلفة عن كيفية حساب الطاقة الأولية التي توفرها مصادر الطاقة غير القابلة للاحتراق أي الطاقة النووية وجميع مصادر الطاقة المتجددة باستثناء الكتلة الأحيائية.

وهذه الطرق هي:

- طريقة محتوى الطاقة المادية التي اعتمدتها، على سبيل المثال، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي OECD والوكالة الدولية للطاقة (IEA) والمكتب الإحصائي للجماعات الأوروبية / IEA (Eurostat (OECD / Eurostat, 2005)،
- طريقة البديل التي تستخدم بمتغيرات مختلفة بصورة طفيفة بواسطة بريتش بوتروليوم BP (2009) وإدارة معلومات الطاقة في الولايات

2 ويشار إلى ذلك أيضاً على أنه أسعار متعادلة. ويلاحظ في هذه الحالة أن الكيلوات ساعة سوف تخضع للخصم.

المتحدة (المسرد الإلكتروني للوكالة الدولية للطاقة) وكل منها يصدر إحصاءات دولية عن الطاقة،

- طريقة المكافئ المباشر التي تستخدمها إحصاءات الأمم المتحدة (2010) و التقارير المتعددة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ التي تتناول سيناريوهات الطاقة والانبعاث طويلة الأجل (Nakicenovic and Swart 2000، Morita et al. 2001، Fisher et al. 2007).

وبالنسبة لمصادر الطاقة غير القابلة للاحتراق، فإن طريقة محتوى الطاقة المادية تطبق مبدأ يرى أن من الضروري أن يكون شكل الطاقة الأولية هو الشكل الأولي للطاقة المستخدم لاحقاً في عملية الإنتاج التي تتسم فيها استخدامات الطاقة المتعددة بالطابع العملي (IEA/OECD/Eurostat, 2005). ويؤدي ذلك إلى اختيار أشكال الطاقة الأولية التالية:

- الحرارة للطاقة النووية والحرارية الأرضية والحرارية الشمسية؛
- الكهرباء للطاقة المائية والخاصة بالرياح والمد والجزر/الأمواج/المحيطات والخلايا الفلطائية الضوئية الشمسية (PV).

وباستخدام هذه الطريقة، فإن مكافئ الطاقة الأولية للطاقة المائية والخلايا الفلطائية الضوئية الشمسية، على سبيل المثال، يفترض كفاءة تحويل كاملة 100 في المائة إلى «الكهرباء الأولية» لكي تكون مدخلات الطاقة الإجمالية للمصدر هي 3.6 ميجاجول MJ من الطاقة الأولية = 1 كيلووات ساعة من الكهرباء. وتحسب الطاقة النووية بدءاً من التوليد الإجمالي بافتراض 33 في المائة من كفاءة التحويل الحراري[3] أي الكيلوات ساعة = (3.6 ÷ 0.33) = 10.9 ميجاجول MJ. وبالنسبة للطاقة الحرارية الأرضية، فإنه إذا لم تتوافر معلومات خاصة بالبلدان، بحسب مكافئ الطاقة الأولية باستخدام كفاءة تحويل 10 في المائة للكهرباء المعتمدة على الحرارية الأرضية (وعلى ذلك فإن 1 كيلووات ساعة = (3.6 ÷ 0.1) = 36 ميجاجول MJ)، و50 في المائة بالنسبة للحرارة المعتمدة على الحرارية الأرضية.

وتبلغ طريقة التبديل عن الطاقة الأولية من المصادر غير القابلة للاحتراق كما لو كانت قد جرى تبديلها بالطاقة القابلة للاحتراق. غير أنه ينبغي ملاحظة أن المتغيرات المختلفة لطريقة التبديل تستخدم عوامل تحويل مختلفة بعض الشيء. فعلى سبيل المثال، فإن بريتش بوتروليوم BP تطبق كفاءة تحويل تبلغ 38 في المائة إلى الكهرباء المولدة من الطاقة النووية والطاقة المائية في حين أن مجلس الطاقة العالمي يستخدم 38.6 في المائة بالنسبة للمصادر النووية والمصادر المتجددة غير القابلة للاحتراق (WEC, 1993)، وإن الوكالة الدولية للطاقة تستخدم قيماً مختلفة. ويقدم Macknick (2009) عرضاً عاماً أكثر اكتمالاً. وتستخدم كفاءات تحويل أخرى بالنسبة للحرارة المفيدة المولدة من مصادر طاقة غير قابلة للاحتراق.

وتحسب طريقة المكافئ المباشر وحدة من الطاقة الثانوية مقدمة من مصدر غير قابل للاحتراق بوصفه وحدة من الطاقة الأولية أي أن 1 كيلووات ساعة من الكهرباء أو الحرارة يحسب على أنه 1 كيلووات ساعة = 3.6 ميجاجول من الطاقة الأولية. وتستخدم هذه الطريقة في الغالب في دراسات السيناريوهات الطويلة الأجل بما في ذلك التقارير المتعددة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC, 1995 وNakicenovic and Swart, 2000 و Morita et al. 2001 و Fisher et al. 2007)، لأنها تتناول التحويلات الأساسية لنظم الطاقة التي تعتمد إلى حد كبير على مصادر الطاقة منخفضة الكربون غير القابلة للاحتراق.

وتستخدم بيانات الوكالة الدولية للطاقة في هذا التقرير، إلا أن إمدادات الطاقة تبلغ باستخدام طريقة المكافئ المباشر. وسوف يظهر الفرق الرئيسي بين هذه الطريقة وطريقة محتوى الطاقة المادية في كمية الطاقة الأولية المبلغة فيما يتعلق بإنتاج الكهرباء بواسطة التدفئة المعتمدة على الحرارية الأرضية، وتركيز مكونات الحرارية الشمسية ودرجة حرارة المحيط أو الطاقة النووية. ويقارن الجدول A.II.1 كميات الطاقة الأولية العالمية بحسب المصدر والنسب المئوية باستخدام محتوى الطاقة المادية، والمكافئ المباشر، ويتغير من طريقة البديل لعام 2008 استناداً إلى بيانات الوكالة الدولية للطاقة (IEA, 2010a). وتبدو الفروق الرئيسية في بيانات الطاقة الإحصائية الحالية بالأرقام المطلقة عندما تقارن الطاقة النووية والطاقة المائية. ونظراً لأن كليهما أنتج كمية متماثلة من الكهرباء على الصعيد العالمي في 2008 تحت كل من طريقة المكافئ المباشر وطريقة البديل، فإن نصيبهما من تلبية مجموع الاستهلاك النهائي متماثلة في حين يبلغ، في إطار طريقة محتوى الطاقة المادية، أن الطاقة النووية تزيد بنحو ثلاث مرات عن الطاقة الأولية من الطاقة المائية.

وتؤكد الطرق البديلة المبينة أعلاه الجوانب المختلفة لإمدادات الطاقة الأولية. ولذا، واعتماداً على الاستخدام، قد تكون إحدى الطرق أكثر ملاءمة من أخرى. غير أنه لا تتفوق إحداها عن الأخرى من جميع الوجوه. وعلاوة على ذلك، فإن من المهم الإدراك بأن مجموع إمدادات الطاقة الأولية لا يصف بالكامل نظاماً للطاقة إلا أنه مجرد مؤشر واحد من الكثير من المؤشرات. وتوفر أرصدة الطاقة على النحو الذي أصدرته الوكالة الدولية للطاقة (2010a) طائفة أوسع نطاقاً من المؤشرات مما يتيح تتبع تدفق الطاقة من المورد وحتى الاستخدام النهائي للطاقة. فعلى سبيل المثال فإن تكامل استهلاك مجموع الطاقة الأولية مع المؤشرات الأخرى مثل الاستهلاك النهائي للطاقة وإنتاج الطاقة الثانوية (مثل الكهرباء والحرارة) باستخدام مصادر مختلفة يساعد على ربط عمليات التحول بالاستخدام النهائي للطاقة. انظر الشكل 1.16 والمناقشات المتصلة به للخروج بموجز لهذا النهج.

ولأغراض هذا التقرير، اختبرت طريقة المكافئ المباشر للأسباب التالية:

- تؤكد منظور الطاقة الثانوية للمصادر غير القابلة للاحتراق التي هي المحور الرئيسي للتحليل في الفصول المتعلقة بالتكنولوجيا (الفصول من 2 إلى 7).

- تعالج جميع المصادر غير القابلة للاحتراق بطريقة واحدة باستخدام كمية الطاقة الثانوية التي تنتجها. ويتيح ذلك إجراء المقارنات بين جميع مصادر الطاقة المتجددة والنووية التي ينبعث منها ثاني أكسيد الكربون على أساس مشترك. وتجمع الطاقة الأولية للوقود الأحفوري والكتلة الأحيائية كلا من خسائر الطاقة الثانوية والطاقة الحرارية الناشئة عن عملية التحويل. وعندما يستعاض عن الوقود الأحفوري والوقود الأحيائي بالنظم النووية أو بتكنولوجيات متجددة أخرى غير الكتلة الأحيائية، فإن مجموع الطاقة الأولية المبلغة ينخفض انخفاضاً شديداً (Jacobson 2009).

- استخدمت دراسات الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تتناول التحويلات الأساسية في نظام الطاقة لتجنب التدخل البشري الخطير في النظام المناخي على المدى الطويل (50 إلى 100 عام)، طريقة المكافئ المباشر في الكثير من الأحيان (Nakicenovic and Swart، 2000، Fisher et al. 2007).

3 نظراً لأن كمية الحرارة المنتجة في المفاعلات النووية غير معروفة دائماً، فإن المنظمة العالمية للطاقة تقدر مكافئ الطاقة الأولية من توليد الكهرباء بافتراض كفاءة تبلغ 33 في المائة الذي يمثل متوسط مفاعلات الطاقة النووية في أوروبا (IEA, 2010b).

الجدول A.II.1: مقارنة مجموع إمدادات الطاقة الأولية على الصعيد العالمي في 2008 باستخدام مختلف الطرق المحاسبية للطاقة الأولية (البيانات من الوكالة الدولية للطاقة، 2010a)

	طريقة المحتوى المادي		طريقة المكافئ المباشر		طريقة البديل[1]	
	إكسغل	٪	إكسغل	٪	إكسغل	٪
الوقود الأحفوري	418.15	81.41	418.15	85.06	418.15	79.14
الطاقة النووية	29.82	5.81	9.85	2.00	25.90	4.90
الطاقة المتجددة:	65.61	12.78	63.58	12.93	84.27	15.95
الطاقة الأحيائية[2]	50.33	9.80	50.33	10.24	50.33	9.53
الشمسية	0.51	0.10	0.50	0.10	0.66	0.12
الحرارية الأرضية	2.44	0.48	0.41	0.08	0.82	0.16
المائية	11.55	2.25	11.55	2.35	30.40	5.75
المحيط	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
الرياح	0.79	0.15	0.79	0.16	2.07	0.39
غير ذلك	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
المجموع	513.61	100.00	491.61	100.00	528.35	100.00

ملاحظات:

1 بالنسبة لطريقة البديل، استخدمت كفاءات التحويل 38 في المائة للكهرباء و85 في المائة للحرارة من المصادر غير القابلة للاحتراق. وتستخدم بريتش بيتروليوم BP قيمة التحويل البالغة 38 في المائة للكهرباء المولدة من المصادر المائية والنووية. ولم تبلغ BP عن المصادر الشمسية والخاصة بالرياح والحرارية الأرضية في إحصاءاتها. وهنا تستخدم 38 في المائة للكهرباء و85 في المائة للحرارة.

2 يلاحظ أن المنظمة الدولية للطاقة تبلغ عن الجيل الأول للوقود الأحيائي بتعبيرات الطاقة الثانوية (الكتلة الأحيائية الأولية المستخدمة لإنتاج الوقود الأحيائي ستكون أعلى نتيجة لخسائر التحويل، انظر القسمين 2.3 و2.4).

ويبين الجدول A.II.2 الاختلافات في محاسبة الطاقة الأولية بين الطرق الثلاث من أجل سيناريو يحقق تثبيتاً بمقدار 550 جزءاً من المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2100.

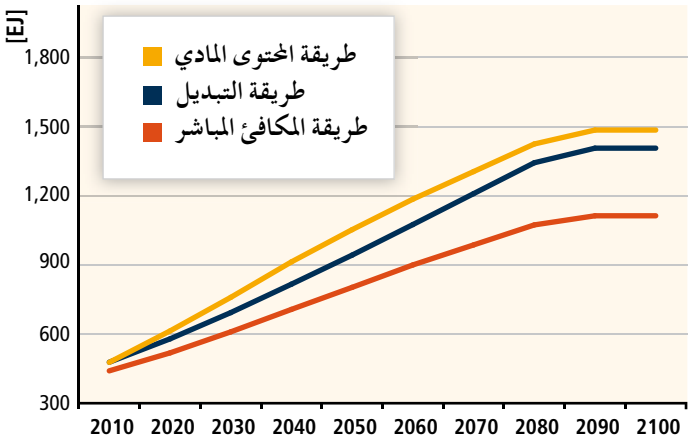
وفي حين أن الفروق بين تطبيق الطرق المحاسبية الثلاث على استهلاك الطاقة الحالية طفيفة، فإن هذه الفروق تتزايد بدرجة كبيرة لدى وضع سيناريوهات الطاقة المنخفضة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الأجل الطويل حيث تضطلع التكنولوجيات غير القابلة للاحتراق بدور نسبي أكبر (الجدول A.II.2). ويتزايد حجم الفجوة المحاسبية بين الطرق المختلفة بمرور الوقت (الشكل A.II.1). وثمة فروق كبيرة في المصادر الفردية غير القابلة للاحتراق في 2050 بل إن حصة مجموع إمدادات الطاقة الأولية المتجددة سوف تتراوح بين 24 و37 في المائة عبر الطرق الثلاث (الجدول A.II.2). وستكون أكبر فجوة مطلقة (والفرق النسبي) لمصدر واحد في الطاقة الحرارية الأرضية حيث سيبلغ الفرق نحو 200 اكسيجول EJ بين المكافئ المباشر وطريقة محتوى الطاقة المادية، وتظل الفجوة بين الطاقة الأولية الفردية والمائية كبيرة. والسيناريو المتمثل هنا هو سيناريو تمثيلي تقريباً وليس متشددا بأي حال من الأحوال. واختيار هدف تثبيت 550 جزءاً من المليون ليس بالهدف المتشدد بصورة خاصة كما أن حصة الطاقة غير القابلة للاحتراق ليست شديدة الارتفاع.

الجدول A.II.2: مقارنة مجموع إمدادات الطاقة الأولية في العالم في 2050 باستخدام مختلف الطرق المحاسبية للطاقة الأولية استناداً إلى سيناريو التثبيت على أساس 550 جزءاً من المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون (Loulou وآخرون، 2009).

	طريقة المحتوى المادي		طريقة المكافئ المباشر		طريقة البديل	
	إكسغل	٪	إكسغل	٪	إكسغل	٪
الوقود الأحفوري	581.6	55.2	581.56	72.47	581.6	61.7
الطاقة النووية	81.1	7.7	26.76	3.34	70.4	7.8
الطاقة المتجددة:	390.1	37.1	194.15	24.19	290.4	30.8
الطاقة الأحيائية	120.0	11.4	120.0	15.0	120.0	12.7
الشمسية	23.5	2.2	22.0	2.8	35.3	3.8
الحرارية الأرضية	217.3	20.6	22.9	2.9	58.1	6.2
المائية	23.8	2.3	23.8	3.0	62.6	6.6
المحيط	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
الرياح	5.5	0.5	5.5	0.7	14.3	1.5
المجموع	1,052.8	100	802.5	100	942.4	100

A.II.5 تقييم دورة الحياة وتحليل المخاطر

يتناول هذا القسم الطرق والدراسات الأساسية وافتراضات تحليل أوقات سداد عائد الطاقة ومعدلات الطاقة (A.II.5.1) ودورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة (A.II.5.2)، والاستخدام التشغيلي للماء (A.II.5.3)، والأخطار والمخاطر (A.II.5.4) ذات الصلة بتكنولوجيات الطاقة على النحو الوارد في الفصل 9. كما أدرج التحليل الذي أجري لدورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة في الأقسام 2.5 و3.6 و4.5 و5.6 و6.5 و7.6. ويرجى ملاحظة أن قواعد الدراسات الخاصة بالاستعراضات التي أجريت في A.II.5.2 وA.II.5.3 أدرجت في شكل قوائم في الأقسام ذات الصلة.



الشكل A.II.1: مقارنة مجموع إمدادات الطاقة الأولية في العالم فيما بين 2010 و2100 باستخدام مختلف الطرق المحاسبية للطاقة الأولية استناداً إلى سيناريو تثبيت 550 جزءاً من المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون CO2eq (Loulou وآخرون، 2009).

A.II.5.1 وقت سداد عائد الطاقة ومعدل الطاقة

يعرف معدل الطاقة *ER* (ويشار إليه أيضاً على أنه وقت سداد عائد الطاقة أو عائد الطاقة من الاستثمار في الطاقة *EROEI*، انظر Gagnon, 2008) لنظام إمدادات الطاقة بشأن تصنيف الطاقة P وعامل التحميل λ، على أساس المعدل

$$ER = \frac{E_{life}}{E} = \frac{P \times 8760\,hy^{-1} \times \lambda \times T}{E}$$

لفترة حياة ناتج الكهرباء E_{life} في منشأة عبر فترة حياتها T ومجموع الاحتياجات من الطاقة (الإجمالية) *E* للبناء والتشغيل ووقف التشغيل (Gagnon، 2008). ولدى حساب *E*، فإن من المسلم به، أ) استبعاد الطاقة من العمل البشري، والطاقة الموجودة في الأرض (الأحفورية والمعادن) والطاقة الكامنة في الشمس، والإمكانيات الهيدرواستاتيكية، وب) عدم خصم الاحتياجات من الطاقة في المستقبل من الاحتياجات الحالية (Perry et al., 1977 وHerendeen, 1988). وعلاوة على ذلك، يتعين لدى حساب مجموع الاحتياجات من الطاقة E، أن تكون مكوناتها من نفس نوعية الطاقة (مثل الكهرباء فقط أو الطاقة الحرارية فقط، انظر 'مشكلة التشمين' التي نوقشت في Leach (1975) وHuettner (1976) وHe – endeen (1988) وخاصة Rotty et al (1975)، الصفحات 5–9 بالنسبة لحالة الطاقة النووية). وفي حين أن من الممكن أن تتضمن E أشكال الطاقة المشتقة والأولية (مثل الكهرباء والطاقة الحرارية)، يجري عادة التعبير عنها بمصطلح الطاقة الأولية مع تحويل عنصر الكهرباء إلى مكافئات الطاقة الأولية باستخدام الكفاءة الحرارية $R_{conv} \approx 0.3$ لمحطة قوى نمطية عاملة بالفحم الأسود، دون أساسية، كعامل تحويل. ويتبع هذا التقرير هذه المبادئ. ويبلغ في بعض الأحيان عن E في شكل وحدات kWh_e/MJ_{prim}، وفي أحيان أخرى في شكل وحدات من kWh_e/kWh_{prim}. وفي حين أن الخيار الأول يختار أكثر الوحدات شيوعاً لأي من شكلي الطاقة، فإن الخيار الثاني يتيح للقارئ أن يفهم بسهولة النسبة أو العناصر المتعددة التي تربط الطاقة المدرجة ونواتج الطاقة. وعلاوة على ذلك، جرى الدفع (انظر Voorspools et al (2000) ص 326) بأنه في عدم توافر التكنولوجيات البديلة سيتعين توليد الكهرباء بالوسائل التقليدية. ولذا فإننا نستخدم kWh_e/kWh_{prim} في هذا التقرير.

ويتيح تطبيق أداة قياس دورة حياة الطاقة على نظام لإمدادات الطاقة تحديد وقت سداد عائد الطاقة. فهذا هو الوقت tPB الذي يستغرقه النظام للإمداد بكمية من الطاقة تعادل احتياجاته الخاصة من الطاقة E. ومرة أخرى، فإن هذه الطاقة تقاس على أفضل وجه على أساس المكافئ من الطاقة الأولية $\frac{E_{PB}}{R_{conv}}$ من نواتج النظام من الكهرباء خلال وقت سداد العائد. ويلاحظ Voo – spools et al (2000، ص 326) أنه إذا كان النظام سوف يسدد طاقته الأولية المدرجة بكميات متساوية من الكهرباء، فإن أوقات سداد عائد الطاقة سوف تكون أطول بمعدل ثلاث مرات.

وسيقرأ الشرط أعلاه من الناحية الرياضية ويؤدي إلى

$$E = \frac{E_{PB}}{R_{conv}} = \frac{P \times 8760\,hy^{-1} \times \lambda \times t_{PB}}{R_{conv}}$$

ويؤدي إلى

$$t_{PB} = \frac{E}{\frac{P \times 8760\,hy^{-1} \times \lambda}{R_{conv}}} = \frac{E}{\frac{E_{out\ annual}}{R_{conv}}}$$

$\frac{E_{out\ annual}}{R_{conv}}$ (مما يتوافق مثلاً مع التعريف الألماني VDI 4600 الألماني). وهنا هو نواتج الطاقة السنوية الصافية للنظام محسوبة على أساس المكافئات من الطاقة الأولية. ويمكن إثبات أن من الممكن تحويل معدل الطاقة ER (أو EROEI) ووقت سداد عائد الطاقة إلى كل منها وفقاً للمعادلة

$$t_{PB} = \frac{E\,T}{\frac{E_{out\ annual}\,T}{R_{conv}}} = \frac{E\,T}{\frac{E_{life}}{R_{conv}}} = \frac{R_{conv}}{ER}\,T.$$

ولاحظ أن وقت سداد عائد الطاقة لا يعتمد على فترة الحياة T لأن

$$t_{PB} = \frac{E\,R_{conv}}{P \times 8760\,hy^{-1} \times \lambda}.$$

وقد تم تحويل أوقات سداد عائد الطاقة بصورة جزئية من معدلات الطاقة المبينة في الدراسات (Lenzen, 1999, 2008 و Lenzen and Munk – gaard, 2002 وGagnon, 2008 وLenzen et al., 2006 وKubisz – wski et al., 2010) استناداً إلى متوسط فترة الحياة الافتراضية الواردة في الجدول 9.8 (الفصل 9). ويلاحظ أن عائد الطاقة بالتعريف الوارد في مسرد المصطلحات (المرفق الأول) والمستخدم في بعض الفصول المتعلقة بالتكنولوجيا يشير إلى المعرف هنا بأنه وقت سداد عائد الطاقة.

A.II.5.2 استعراض تقديرات دورة الحياة لتكنولوجيات توليد الكهرباء

أجرى المختبر الوطني للطاقة المتجددة (NREL) استعراضاً شاملاً لتقديرات دورة الحياة المنشورة (LCAs) لتكنولوجيات توليد الكهرباء. ومن بين مجموع المراجع البالغة 2165 مرجعاً تم جمعها، اجتاز 296 عملية فرز، ويرد وصف لها أدناه فيما يتعلق بالجودة والصلة بالموضوع. وأدخلت في قاعدة البيانات. وتشكل قاعدة البيانات هذه الأساس لتقدير دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة GHG من تكنولوجيات توليد الكهرباء في هذا التقرير. واستناداً إلى التقديرات المجمعة في قاعدة البيانات، تظهر مقاطع من التقديرات المنشورة لدورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة في كل فصل يتعلق بالتكنولوجيا في هذا التقرير (الفصول من 2 إلى 7)، وفي الفصلين 1 و9 حيث تجرى مقارنة دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة GHG من تكنولوجيات الطاقة المتجددة مع تلك المستمدة من تكنولوجيات توليد الكهرباء المعتمدة على الطاقة الأحفورية والنووية. وتتناول الفصول الفرعية التالية الطرق المطبقة في هذا الاستعراض (A.II.5.2.1)، وقائمة بجميع المراجع المبينة في النتائج النهائية مصنفة بحسب التكنولوجيا (A.II.5.2.2).

A.II.5.2.1 منهجية الاستعراض

يتبع الاستعراض، بصورة عامة، الخطوط التوجيهية الخاصة *بالاستعراضات المنهجية* على النحو الذي يطبق عادة في مجال العلوم الطبية على سبيل المثال (Neely et al., 2010). وتختلف طرق الاستعراض في العلوم الطبية بعض الشيء عن تلك التي تتبع في العلوم الفيزائية من حيث إنها تركز على الاستعراضات المتعددة المستقلة لكل مرجع مرشح باستخدام معايير فرز سابقة التحديد، وتشكيلة فريق الاستعراض الذي يتألف في هذه الحالة من خبراء في تقديرات دورات الحياة (LCA)، وخبراء في التكنولوجيا، وخبراء في بحوث الدراسات الذين يجتمعون بانتظام لضمان الاتساق في تطبيق معايير الفرز، وبحث شامل في الدراسات المنشورة لضمان عدم التحيز نتيجة ، مثلا، لنمط المطبوع (دورية أو تقرير أو غير ذلك).

ومن المهم أن يلاحظ منذ البداية أن هذا الاستعراض لم يغير (فيما عدا تحويل الوحدات) أو يراجع دقة التقديرات الخاصة بدورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة المنشورة في الدراسات التي اجتازت معايير الفرز. وعلاوة على ذلك، لم تبذل أي محاولة لتحديد أو فرز القيم الخارجية أو إصدار حكم على صحة مدخلات افتراضات البارامترات. ونظراً لأن التقديرات قد أدرجت على النحو الذي نشرت به، فإن الأمر ينطوي على قدر كبير من عدم الاتساق المنهجي مما يحد من مقارنة التقديرات سواء ضمن فئات تكنولوجيا معينة لتوليد الطاقة أو عبر فئات التكنولوجيا. وقد وجه هذا التقييد بصورة جزئية من خلال شمولية بحوث الدراسات وعمق الدراسات المعروضة. وقد بذلت بضع محاولات لإجراء استعراض عريض النطاق لدراسات تقديرات دورات الحياة بشأن تكنولوجيات توليد الكهرباء. وتميل تلك التي وجدت إلى التركيز على التكنولوجيات منفردة، ولكنها أكثر محدودية فيما يتعلق بالشمولية بالمقارنة بالاستعراض الحالي (Lenzen and Munksgaard, 2002 وFthenakis and Kim, 2007 وLenzen, 2008b و Sovacool, 2009 وBeerten et al., 2010 وKubiszewski et al.,).

ويتضمن الإجراء المتعلق بالاستعراض الخطوات التالية: جمع الدراسات، والفرز والتحليل.

جمع الدراسات

جرى بدءاً من أيار/مايو 2009، تحديد الدراسات ذات الصلة من خلال آليات متعددة بما في ذلك جوانب البحث في قواعد البيانات البيبليوغرافية (مثل ويب العلوم وWorldCat) باستخدام طائفة من خوارزميات البحوث وتوليفات الكلمات الرئيسية، واستعراض قوائم مراجع الدراسات ذات الصلة والبحوث المتخصصة على مواقع الويب الخاصة بسلاسل الدراسات المعروفة (مثل ExternE للاتحاد الأوروبي وفروعه) وقواعد بيانات الدراسات المتعلقة بتقدير دورات الحياة (مثل المكتبة المتضمنة حزمة برمجيات تقديرات دورات الحياة SimaPro). وقد جرى أولا تصنيف جميع الدراسات المجمعة بحسب المحتوى (مع معلومات رئيسية من كل مرجع مجمع مسجل في قاعدة بيانات) ويضاف إلى قاعدة البيانات البيبليوغرافية.

وتطبق طرق جمع الدراسات الواردة هنا على جميع فئات تكنولوجيات توليد الكهرباء التي جرى استعراضها في هذا التقرير باستثناء النفط والطاقة المائية. وقد أضيفت في مرحلة لاحقة بيانات تقدير دورات الحياة الخاصة بالطاقة المائية والنفط إلى قاعدة بيانات المختبر الوطني للطاقة المتجددة NREL، ولذا فإنها لم تتعرض إلا لعملية لجمع الدراسات أقل شمولا.

فرز الدراسات

خضعت المراجع المجمعة بصورة منفصلة لثلاث جولات من الفرز من جانب عدة خبراء لاختيار المراجع التي تستوفي معايير الجودة والصلة بالموضوع. وأبلغت المراجع في كثير من الأحيان عن تقديرات متعددة لانبعاثات غازات الدفيئة استناداً إلى سيناريوهات بديلة. وحيثما كانت وثيقة الصلة بالموضوع، كانت معايير الفرز تطبق على مستوى تقدير السيناريو، وكانت من آن لآخر تسفر عن موضوع واحد للسيناريوهات التي خضعت للتحليل في مرجع معين يجتاز عمليات الفرز.

وكانت المراجع التي اجتازت مرحلة الفرز الأولي المتعلقة بالجودة تتضمن مقالات دوريات يستعرضها نظراء ووقائع مؤتمرات مفصلة علمياً، وأطروحات درجات الدكتوراة وتقارير (وضعتها وكالات حكومية ومؤسسات أكاديمية ومنظمات غير حكومية أو شركات) نشرت بعد عام 1980 وباللغة الإنكليزية. وبذلت محاولات للحصول على نسخ بالإنكليزية من المطبوعات الصادرة بلغات غير الإنكليزية وجرت ترجمة بعض الاستثناءات القليلة. وضمن الفرز الأولي أيضاً أن تتعلق المراجع المقبولة بتقديرات دورات الحياة (LCAs) تعرف بعد تحليل مرحلتين أو أكثر من دورات الحياة (باستثناء الخلايا الفلطائية الضوئية PV، وطاقة الرياح بالنظر إلى أن الدراسات تبين أن الغالبية العظمى من دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة تحدث في مرحلة التصنيع (Frankl et al., 2005 وJungbluth et al., 2005).

وكان يجري الحكم بصورة مباشرة على جميع المراجع التي اجتازت الفرز الأول استناداً إلى معايير أكثر تشدداً للجودة والصلة بالموضوع:

- تستخدم طريقة العزو في تقديرات دورات الحياة LCA ومحاسبة غازات الدفيئة (حيث لم تدرج تقديرات دورات الحياة الناجمة لأن نتائجها لم تكن تتماثل بصورة جوهرية مع النتائج المعتمدة على طرق العزو في تقديرات دورات الحياة، انظر القسم 9.3.4 لمزيد من الوصف لطريقتي العزو والناجمة لتقديرات دورات الحياة (LCAs))؛
- تبلغ عن المدخلات وخصائص السيناريو/التكنولوجيا والافتراضات والنتائج الهامة بتفاصيل تكفي لتتبع النتائج والوثوق بها؛
- تقييم التكنولوجيا الحديثة أو ذات الصلة بالمستقبل.

وكان يتعين، بالنسبة للنتائج المنشورة التي ستخضع للتحليل، أن تجتاز التقديرات مجموعة نهائية من المعايير:

- ضمان الدقة في الانتساخ حيث أن تقديرات انبعاثات غازات الدفيئة المبلغة عددياً (أي ليس فقط بالرسوم البيانية) هي فقط التي أدرجت.
- لم تدرج التقديرات التي تنقل عن الأعمال سابقة النشر.

- النتائج سهلة التحويل إلى وحدة وظيفية تختار لأغراض الدراسة: غرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلووات ساعة يتم توليدها.

ويبين الجدول A.II.3 عدد المراجع في كل مرحلة في عملية الفرز بالنسبة للفئات العريضة من تكنولوجيات توليد الكهرباء التي أخذت في الاعتبار في هذا التقرير.

تحليل التقديرات

جرى تحليل وتسجيل تقديرات انبعاثات دورة حياة غازات الدفيئة المستخلصة من الدراسات التي اجتازت كلتا عمليتي الفرز. فأولا صنفت التقديرات بحسب التكنولوجيا ضمن الفئات العريضة التي أخذت في الاعتبار في هذا التقرير، ثم إدراجها في الجدول A.II.3. وثانيا حولت التقديرات إلى وحدة وظيفية مشتركة للغرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلووات ساعة يجري توليدها. وقد أجري هذا التحويل دون استخدام أي افتراضات خارجية. وفي حالة أن ذلك كان مطلوبا، لم يدرج ذلك في التقرير. وثالثا أزيلت التقديرات الخاصة بمجموع دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة GHG الذي تتضمن مساهمات من التغيير في استخدام الأراضي (LUC) أو إنتاج الحرارة (في حالات التوليد المشترك). وقد تطلبت هذه الخطوة أن تبلغ الدراسات التي نظرت في تغيير استخدام الأراضي (LUC) أو انبعاثات غازات الدفيئة ذات الصلة بالحرارة بصورة منفصلة عن تلك المساهمات لكي تتعلق التقديرات المدرجة هنا بتوليد الكهرباء فقط. وأخيرا حسبت معلومات التوزيع اللازمة للعرض في الإطار ومقاطع واسكرز: الحد الأدنى قيمة المئينة الخامس والعشرين، والحد الأقصى قيمة المئينة الخمسين، وقيمة المئينة الخامس والسبعين. وجرى تسجيل التكنولوجيات التي لديها مجموعة بيانات تتكون من أقل من خمسة تقديرات (مثل الحرارية الأرضية) بوصفها نقاط منفصلة وليس معلومات توزيع تركيبية فوقية.

ويبين الجدول A.II.4 القيم الناشئة الداعمة للشكل 9.8. وتستند الأشكال الواردة في الفصول المتعلقة بالتكنولوجيا إلى نفس مجموعة البيانات إلا أنها تعرض بمستوى أعلى من الاستبانة بشأن الفئات الفرعية للتكنولوجيا. (أي طاقة الرياح أمام الساحل والبعيدة عن السواحل).

A.II.5.2.2 قائمة المراجع

فيما يلي جميع المراجع الخاصة باستعراض عمليات تقدير دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة من توليد الكهرباء المبينة في النتائج النهائية في هذا التقرير، والتي أدرجت وصنفت بحسب التكنولوجيا، وبالترتيب الأبجدي.

توليد الطاقة المعتمدة على الكتلة الأحيائية (52)

Beals, D., and D. Hutchinson (1993). الآثار البيئية للتكنولوجيات البديلة لتوليد الكهرباء، التقرير النهائي، Beals and Associates, Guelph أونتاريو، كندا، 151 صفحة.

Beeharry, R.P (2001). موازنة الكربون في نظم الطاقة الأحيائية من قصب السكر. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **20**(5)، الصفحات 370–361

Corti, A., and L. Lombardi (2004). الدورة المجتمعة للتغويز المتكامل للكتلة الأحيائية مع خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون: تحليل الأداء وتقدير دورة الحياة (LCA)، الطاقة **29**(12–15)، الصفحات 2124–2109

Cottrell, A., J. Nunn, A. Urfer, and L. Wibberley (2003). تقييم نظم توليد الكهرباء باستخدام الكتلة الأحيائية والفحم في CFBC، مركز البحوث التعاونية للفحم من أجل التنمية المستدامة، بولينفال، أستراليا، 21 صفحة

Cowie, A.L (2004). موازنة غاز الدفيئة في نظم الطاقة الأحيائية المعتمدة على المزارع والغابات المتكاملة في شمال شرق نيوساوث ويلز، أستراليا: الوكالة الدولية للطاقة IEA مهمة الطاقة الأحيائية 38 بشأن موازنات غازات الدفيئة في نظم الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا ص 6 تتوافر على www.ieabioenergy–task38.org/projects/task38casestudies/aus–brochure.pdf.

Cuperus, M.A.T (2003). نظم الكتلة الأحيائية: التقرير النهائي، عمليات الحصر البيئي ودورة الحياة الإيكولوجية لنظم الطاقة الحالية

الجدول A.II.3: عدد تقديرات دورات حياة التكنولوجيات المولدة للكهرباء ('المراجع') في كل مرحلة من جمع الدراسات وعملية الفرز، وإعداد سيناريوهات ('تقديرات') دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة التي جرى تقييمها.

فئة التكنولوجيا	المراجع المستعرضة	المراجع التي اجتازت الفرز الأول	المراجع التي اجتازت الفرز الثاني	المراجع التي توفر تقديرات عن دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة	تقديرات دورة انبعاثات غازات الدفيئة التي اجتازت عملية الفرز
الطاقة الأحيائية	369	162	84	52	226
الفحم	273	192	110	52	181
الطاقة الشمسية المركزة	125	45	19	13	42
الطاقة الحرارية الأرضية	46	24	9	6	8
الطاقة المائية	89	45	11	11	28
الغاز الطبيعي	251	157	77	40	90
الطاقة النووية	249	196	64	32	125
الطاقة البحرية	64	30	6	5	10
النفط	68	45	19	10	24
الخلايا الفلطائية الضوئية	400	239	75	26	124
طاقة الرياح	231	174	72	49	126
المجموع	2165	1309	546	296	984
النسبة من المجموع المستعرض		60%	25%	14%	
النسبة من تلك التي اجتازت الفرز الأول			42%	23%	

الجدول A.II.4: النتائج التجميعية لاستعراض الدراسات الخاصة بتغير استخدام الأراضي المتعلق بانبعاثات غازات الدفيئة من تكنولوجيات توليد الكهرباء على النحو المبين في الشكل 9.8 (غرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلووات ساعة)

القيم	الطاقة الأحفورية	الطاقة الشمسية		الطاقة الحرارية الأرضية	الطاقة المائية	الطاقة البحرية	طاقة الرياح	الطاقة النووية	الغاز الطبيعي	النفط	الفحم
		الفلطائية الضوئية	الطاقة الشمسية المركزة								
الحد الأدنى	-633	5	7	6	0	2	2	1	290	510	675
المئينة الخامس والعشرين	360	29	14	20	3	6	8	8	422	722	877
المئينة الخمسين	18	46	22	45	4	8	12	16	469	840	1001
المئينة الخامس والسبعون	37	80	32	57	7	9	20	45	548	907	1130
الحد الأقصى	75	217	89	79	43	23	81	220	930	1170	1689
الحد الأدنى لامتصاص الكربون وتخزينه	-1368								65		98
الحد الأقصى لامتصاص الكربون وتخزينه	-594								245		396

والمقبلة في أوروبا، نيويورك tot Keuring van Electrotechnische Materialen (KEMA) Nederland B. V., Arnhem هولندا، ص 83

Damen, K., and A. P. C. Faaij (2003). حصر دورة الحياة للسلاسل الحالية لاستيراد الكتلة الأحيائية لإنتاج الكهرباء «الخضراء». NW&S–E–2003–1 معهد Universiteit Utrecht Copernicus Institute الجامعي، قسم العلوم والتكنولوجيا والمجتمع، أوتريشت، هولندا ص 76

Daugherty, E. C (2001). كفاءة نظم الطاقة المعتمدة على الكتلة الأحيائية: تحليلها من خلال تقدير دورة الحياة، أطروحة ماجستير، جامعة لوند، السويد، ص 39

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M. F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورة الحياة في نظم الطاقة: النتائج بشأن النظم الحالية في سويسرا وبلدان اتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا UCTE الأخرى، تقرير الحصر الإيكولوجي رقم 5، معهد Paul Scherrer، المركز السويسري لعمليات حصر دورات الحياة. فيليخين، سويسرا، ص 185، يتوافر على www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life–cycle–analysis–PSI–05.pdf

Dowaki, K., H. Ishitani, R. Matsuhashi, and N. Sam (2002). تحليل شامل لدورة الحياة في نظام الطاقة المعتمد على الكتلة الأحيائية. تكنولوجيا **8**(4–6)، الصفحات 193–204

Dowaki, K., S. Mori, H. Abe, P. F. Grierson, M. A. Adams, N. Sam, P. Nimiago, J. Gale, and Y. Kaya (2003). تحليل لدورة الحياة لنظم الطاقة المعتمدة على الكتلة الأحيائية مع مراعاة الإدارة المستدامة للغابات. في تكنولوجيات مراقبة غاز الدفيئة – المؤتمر الدولي السادس في كيوتو، اليابان 1–4 تشرين الأول / أكتوبر 2002، بيرجامون، أكسفورد ص 1383–1388

Dubuisson, X., and I. Sintzoff (1998). الطاقة وموازنات ثاني أكسيد الكربون في مختلف مسارات توليد الطاقة باستخدام الوقود الخشبي من غابات الدورة القصيرة. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **15**(4–5)، الصفحات 379–390

Elsayed, M. A., R. Matthews, and N. D. Mortimer (2003). موازنات الكربون والطاقة لطائفة من خيارات الوقود الأحيائي. معهد بحوث الموارد – جامعة هالان شيفيلد، شيفيلد، المملكة المتحدة، ص 341

European Commission (1999). التنفيذ الوطني. العناصر الخارجية للطاقة. المفوضية الأوروبية، المديرية العامة الثانية عشرة، لكسمبورغ، **20**، 534 صفحة

Faaij, A., B. Meuleman, W. Turkenburg, A. van Wijk, B. Ausilio, F. Rosillo–Calle, and D. Hall (1998) العناصر الخارجية لإنتاج الكهرباء المعتمد على الكتلة الأحيائية بالمقارنة بتوليد الطاقة من الفحم في هولندا. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **14**(2)، الصفحات 125–147

Faix, A., J. Schweinle, S. Scholl, G. Becker, and D. Meier (2010). تقدير دورة حياة عملية من الكتلة الأحيائية إلى النفط (BTO) مع التوليد المجتمع للحرارة والطاقة. التقدم البيئي والطاقة المستدامة **29**(2)، الصفحات 193–202

Forsberg, G (2000). نقل الطاقة المعتمدة على الكتلة الأحيائية – تحليل سلسلة نقل الطاقة الأحيائية باستخدام طريقة حصر دورة الحياة. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **19**(1)، الصفحات 17–30

Froese, R. E., D. R. Shonnard, C. A. Miller, K. P. Koers, and D. M. Johnson (2010). تقييم لخيارات التخفيف من غازات الدفيئة لمحطات الطاقة المعتمدة على الفحم في ولايات البحيرات العظمى في الولايات المتحدة. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **34**(3)، الصفحات 262–251

Gaunt, J. L., and J. Lehmann (2008). موازنة الطاقة والانبعاثات المرتبطة بتنحية الفحم الأحيائي وإنتاج الطاقة الأحيائية بالإنحلال الحراري. علوم البيئة والتكنولوجيا **42**(11)، الصفحات 4152–4158

Gmünder, S. M., R. Zah, S. Bhatacharjee, M. Classen, P. Mukherjee, and R. Widmer (2010). تقدير دورة الحياة في كهربة القرى استنادا إلى زيت Jatropha المباشر في شاتيسغارف، الهند، الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **34**(3)، الصفحات 347–355

Hanaoka, T., and S.–Y. Yokoyama (2003). التخفيف من ثاني أكسيد الكربون من خلال توليد الطاقة المعتمدة على الكتلة الأحيائية في اليابان. الدورية الدولية للطاقة **4**(2)، الصفحات 99–103

Hartmann, D., and M. Kaltschmitt (1999). توليد الكهرباء من الكتلة الأحيائية الصلبة عن طريق الاحتراق المشترك مع الفحم – الطاقة وموازنات الانبعاث من دراسة حالة ألمانية. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **16**(6)، الصفحات 397–406

Heller, M. C., G. A. Keoleian, M. K. Mann, and T. A. Volk (2004). دورة حياة الطاقة والمنافع البيئية من توليد الكهرباء من الكتلة الأحيائية للصفصاف. الطاقة المتجددة **29**(7)، الصفحات 1023–1042

Herrera, I., C. Lago, Y. Lechon, R. Saez, M. Munarriz, and J. Gil (2008). تقدير دورة الحياة في منشئتين لتوليد الطاقة من الكتلة الأحيائية في: المؤتمر الأوروبي السادس عشر للكتلة الأحيائية، والمعرض، فالينسيا، إسبانيا، 2–6 حزيران / يونيو 2008، الصفحات 2606–2613

Hong, S. W (2007). استخدام الخشائش المحولة وقش الأرز ومخلفات قطع الأشجار كمواد خام لتوليد الطاقة في شرقي تكساس. أطروحة للماجستير، تكساس، جامعة A&M، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 83

الوكالة الدولية للطاقة (2002). الآثار البيئية والصحية لتوليد الكهرباء. مقارنة للآثار البيئية للطاقة المائية، وتلك الخاصة بتكنولوجيات التوليد الأخرى، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 239

Jungmeier, G., and J. Spitzer (2001)، انبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة الأحيائية من الزراعة بالمقارنة بالطاقة الأحفورية لإنتاج الحرارة والكهرباء، تدوير المغذيات في النظم الإيكولوجية الزراعية **60** (1–3)، الصفحات 267–273

Jungmeier, G., J. Spitzer, and G. Resch (1998). الأعباء البيئية طوال دورة الحياة الكاملة لمنشأة لإنتاج الحرارة والكهرباء معتمدة على الكتلة الأحيائية. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **15**(4–5)، الصفحات 311–323

Lettens, S., B. Muys, R. Ceulemans, E. Moons, J. Garcia, and P. Coppin (2003)، تقييم ميزانية الطاقة وموازنة غازات الدفيئة في معظم الغابات الصغيرة المستدامة لإنتاج الكهرباء. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **24**(3)، الصفحات 179–197

Ma, X., F. Li, Z. Zhao, C. Wu, and Y. Chen (2003). تقدير دورة الحياة بشأن دورة مجتمعة لتغويز الكتلة الأحيائية ومنشأة للطاقة المعتمدة على الفحم. في: الطاقة والبيئة – وقائع المؤتمر الدولي المعني بالطاقة والبيئة – شنغهاي، الصين، 22–24 أيار/مايو 2003، دار نشر شنغهاي للعلوم والتكنولوجيا، شنغهاي، الصين، **1**، الصفحات 195–214

Malkki, H., and Y. Virtanen (2003). انبعاثات وكفاءات مختارة لنظم الطاقة المعتمدة على مخلفات قطع الأشجار ونشر الأخشاب. الكتلة الأحيائية، الطاقة الأحيائية، **24**، الصفحات 321–327

Mann, M. K., and P. L. Spath (1997). تقدير دورة حياة نظام الدورة المجتمعة لتغويز الكتلة الأحيائية NREL/TP–430–23076 المختبر الوطني للطاقة المتجددة، غولدين، الولايات المتحدة ص 157

Mann, M. K., and P. L. Spath (2001). تقدير دورة حياة الكتلة الأحيائية المستخدمة بصورة مشتركة في منشأة للطاقة العاملة بالفحم. النواتج والعمليات النظيفة، **3**، الصفحات 81–91

Mohan, T (2005). نهج متكامل للتحليل الفني الاقتصادي البيئي للطاقة المستمدة من الكتلة الأحيائية والوقود الأحفوري. أطروحة ماجستير، تكساس، جامعة A&M، تكساس، الولايات المتحدة، ص 200

Pehnt, M (2006). تقدير دورة الحياة الدينامية لتكنولوجيات الطاقة المتجددة. الطاقة المتجددة **31**(1)، الصفحات 55–71

Rafaschieri, A., M. Rapaccini, and G. Manfrida (1999). تقدير دورة حياة إنتاج الكهرباء من محاصيل الطاقة المعتمدة على الحور بالمقارنة بالوقود الأحفوري التقليدي، حفظ الطاقة وإدارتها، **40**(14)، الصفحات 1477–1493

Ramjeawon, T (2008). تقدير دورة حياة توليد الكهرباء من ثفل قصب السكر في موريشيوس. دورية الإنتاج النظيف، **16**(16)، الصفحات 1727–1734

Renouf, M. A (2002). منافع (2002). توليد الكهرباء من ثفل قصب السكر. مركز الطاقة البيئية، جامعة كوينلاند، كوينلاند، أستراليا، 15 صفحة، متوافر على – www.docstoc.com/docs/39528266/PRELIMINARY–LCA–OF–ELECTRICITY–GENERATION–FROM–SUGARCANE–BAGASSE

Robertson, K (2003). منافع غاز الدفيئة لنظام متكامل للطاقة الأحيائية المعتمد على الحرارة والطاقة مجتمعة في نيوزيلندا، تشاور FORCE، كيركلنز، الولايات المتحدة، ص 16، متوافر أيضاً على: – www.ieabioenergy–task38.org/projects/task38casestudies/nz_fullreport.pdf

هيئة ساسكاتشوان لصون الطاقة والتنمية (1994). التكاليف المتعادلة والآثار البيئية لدورة الوقود الكاملة في خيارات Saskatchewan بشأن إمدادات الكهرباء، مطبوع SECDA رقم T800–94–004 ساسكاتون، كندا، ص 205

Schaffner, B., K. Persson, U. Nilsson, and J. Peterson (2002). الآثار البيئية والصحية لتوليد الكهرباء. مقارنة الآثار البيئية للطاقة المائية وتلك التكنولوجيات الأخرى لتوليد الكهرباء، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 221. متوافر على: – www.ieahdro.org/reports/ST3–020613b.pdf

Searcy, E., and P. Flynn (2008). معالجة قش وقلاح الذرة. مقارنة دورة حياة الانبعاثات، الدورية الدولية للطاقة الخضراء، **5**(6)، الصفحات 423–437

Setterwall, C., M. Munter, P. Sarkozi, and B. Bodlund (2003). النظم المجتمعة للحرارة والطاقة العاملة بالوقود الأحيائي. عمليات حصر دورة الحياة البيئية والإيكولوجية لنظم الطاقة الحالية والقادمة في أوروبا (ECLIPSE)، نيويورك، – tot Keuring van Electrotechnische Materialen (KEMA) Nederland B.V., Arnhem، هولندا

Sikkema, R., M. Junginger, W. Pichler, S. Hayes, and A. P. C. Faaij (2010). اللوجستيات الدولية لكرات الطاقة الخشبية المستخدمة في إنتاج الحرارة والطاقة في أوروبا: التكاليف ومدخلات الطاقة وموازنات غازات الدفيئة لاستهلاك كرات الطاقة في إيطاليا والسويد وهولندا. الوقود الأحيائي والمنتجات الأحيائية والتنقيح الأحيائي، **4**(2)، الصفحات 132–153

Spath, P. L., and M. K. Mann (2004). نظم طاقة الكتلة الأحيائية والوقود الأحفوري التقليدي مع تنحية أو عدم تنحية ثاني أكسيد الكربون – مقارنة موازنات الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة واقتصاداتها NREL/TP–510–32575، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدين، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 28

Styles, D., and M. B. Jones (2007). محاصيل الطاقة في أيرلندا: التحديد الكمي للانخفاضات المحتملة في دورة حياة غازات الدفيئة في الكهرباء المعتمدة على محاصيل الطاقة. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **31**(11–12)، الصفحات 759–772

Tiwary, A., and J. Colls (2010). التخفيف من إمكانيات توليد الإيروسول الثانوي من استخدام الوقود الأحيائي في قطاع الطاقة. علم البيئة الكاملة، **408**(3)، الصفحات 607–616

Wibberley, L (2001). الفحم في مجتمع مستدام. برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا

Wibberley, L., J. Nunn, A. Cottrell, M. Searles, A. Urfer, and P. Scaife (2000). تحليل دورة الحياة لإنتاج الصلب والكهرباء في أستراليا. برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا، ص 36

Wicke, B., V. Dornburg, M. Junginger, and A. Faaij (2008). نظم إنتاج مختلف أنواع زيوت النخيل لأغراض الطاقة وانعكاساتها فيما يتعلق بغازات الدفيئة، الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **32**(12)، الصفحات 1322–1337

Yoshioka, T., K. Aruga, T. Nitami, H. Kobayashi, and H. Sakai (2005). الطاقة وموازنة ثاني أكسيد الكربون في مخلفات قطع الأخشاب بوصفها موارد طاقة بديلة. تحليل النظام بالاعتماد على طريقة تحليل حصر دورة الحياة. دورية البحوث الحرجية، **10**(2)، الصفحات 125–134

Zhang, Y. M., S. Habibi, and H. L. MacLean (2007). التقييم البيئي والاقتصادي للطاقة الأحيائية في أونتاريو، كندا، دورية رابطة الهواء وإدارة النفايات، **57**(8)، الصفحات 919–933

توليد الطاقة بالاعتماد على الفحم (52)

Akai, M., N. Nomura, H. Waku, and M. Inoue (1997). تحليل دورة حياة منشئات الطاقة المعتمدة على الوقود الأحفوري مع استرجاع ثاني أكسيد الكربون ونظام التنمية. الطاقة، **22**(2–3)، الصفحات 249–256

Bates, J. L (1995). انبعاثات دورة الوقود الكاملة في الغلاف الجوي وآثار الاحترار العالمي من توليد الكهرباء في المملكة المتحدة. رقم التقرير ETSU–R–88، وحدة الدعم الفني للطاقة (ETSU)، لندن، المملكة المتحدة، ص 51 (ISBN 011 515 4027)

Corrado, A., P. Fiorini, and E. Sciubba (2006). التقييم البيئي، وتحليل الطاقة الممتد القائم على القانون الثاني «الانبعاث الصفري لثاني أكسيد الكربون»، منشأة طاقة البخار عالية الكفاءة. الطاقة، **31**(15)، الصفحات 3186–3198

Cottrell, A., J. Nunn, A. Urfer, and L. Wibberley (2003). تقييم نظم توليد الكهرباء باستخدام الكتلة الأحيائية في CFBC، مركز البحوث التعاونية لدور الفحم في التنمية المستدامة، بولينفيل، أستراليا، ص 21

Damen, K., and A. P. C. Faaij (2003). حصر دورة الحياة في سلسلة واردات الكتلة الأحيائية الحالية لتوليد الكهرباء «الخضراء». NW&S–E–2003–1، معهد البحوث المتعلقة بالطبيعة والصناعة في جامعة أوتريشت، فسم العلوم والتكنولوجيا والمجتمع، أوتريشت، هولندا، ص 76

Dolan, S. L (2007). تقدير دورة الحياة وتقرير تجميعي توليفي ناشئ عن مزرعة رياح نظرية بعيدة عن الشاطئ في جاكسونفيل، فلوريدا، أطروحة ماجستير، جامعة فلوريدا، ص 125

Dones, R., U. Ganter, and S. Hirschberg (1999). عمليات الحصر البيئي لنظم الإمداد بالكهرباء في المستقبل في سويسرا، الدورية الدولية لقضايا الطاقة العالمية، **12**(1–6)، الصفحات 271–282

Dones, R., X. Zhou, and C. Tian (2004). تقدير دورة حياة سلسلة الطاقة الصينية لسيناريوهات كهرباء شاندونغ. الدورية الدولية لقضايا الطاقة العالمية، **22**(4/3/2)، الصفحات 199–224

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M. F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورة الحياة لنظم الطاقة: نتائج للنظم الحالية في سويسرا وغيرها من بلدان اتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا UCTE. تقرير Ecoinvent رقم 5، معهد بول شيرير، المركز السويسري لعمليات حصر دورات الحياة، فيليجن، سويسرا، ص 185. متوافر على: www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life–cycle–analysis–PSI–05.pdf

Dones, R., C. Bauer, T. Heck, O. Mayer–Spohn, and M. Blesl (2008). تقدير دورة حياة تكنولوجيات الوقود الأحفوري في المستقبل بتنحية أو بدون تنحية ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. تحليل دورة حياة تحويل الطاقة الجديدة ونظم التخزين، 1041، الصفحات 147–158

المفوضية الأوروبية (1995). الفحم والليجنيت. عناصر خارجية، العناصر الخارجية للطاقة. لوكسمبورغ، المفوضية الأوروبية، المديرية العامة الثانية عشرة، **3**، ص 573

المفوضية الأوروبية (1999). الفحم والليجنيت. عناصر خارجية، العناصر الخارجية للطاقة. لوكسمبورغ، المفوضية الأوروبية، المديرية العامة الثانية عشرة، **20**، ص 534

Fiaschi, D., and L. Lombardi (2002). منشأة الدورة المجتمعة المتكاملة للمغوزات مع الإزالة المتكاملة لثاني أكسيد الكربون و H2S. تحليل أداء، تقدير دورة الحياة وتقدير دورة الحياة المعتمدة على القانوني الثاني – الدورية الدولية للديناميات الحرارية التطبيقية، **5**(1)، الصفحات 13–24

Friedrich, R., and T. Marheineke (1996). تحليل دورة حياة النظم الكهربية: الطرق والنتائج. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للو كالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل موازنة الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الدفيئة لكامل سلسلة الطاقة في نظم الطاقة النووية وغيرها من النظم. بيجين، الصين، 7 تشرين الأول/أكتوبر 1994، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الصفحات 67–75. متوافر على: www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

Froese, R. E., D. R. Shonnard, C. A. Miller, K. P. Koers, and D. M. Johnson (2010). تقييم لخيارات التخفيف من غازات الدفيئة للمنشئات العاملة بالفحم في ولايات البحيرات العظمى في الولايات المتحدة – الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **34**(3)، الصفحات 251–262

Gorokhov, V., L. Manfredo, M. Ramezan, J. Ratafia–Brown (2000). تقدير دورة حياة الدورة المجتمعة للتغويز المتكامل IGCC. تقرير المرحلة الثانية من النظم. التعاون الدولي في استخدامات العلم (SAIC)، مكلين، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 162

Hartmann, D., and M. Kaltschmitt (1999). توليد الكهرباء من الكتلة الأحيائية الصلبة عن طريق الاحتراق المشترك مع الفحم. موازنات الطاقة والانبعاثات من دراسة حالة ألمانية. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **16**(6)، الصفحات 397–406

Heller, M. C., G. A. Keoleian, M. K. Mann, and T. A. Volk (2004). دورة حياة الطاقة والمنافع البيئية لتوليد الكهرباء من الكتلة الأحيائية للصفصاف. الطاقة المتجددة، **29**(7)، الصفحات 1023–1042

Herrick, C. N., A. Sikri, L. Greene and J. Finnell (1995). تقييم المنافع البيئية لنشر الطاقة المتجددة: تحليل دورة الوقود الكاملة لآثار غازات الدفيئة لتكنولوجيات التوليد المعتمدة على الطاقة المتجددة في نظم المنافع الإقليمية، داينكورب EENSP الاسكندرية، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة لنظم توليد الطاقة: حالة اليابان. الطاقة، **30**(11–12)، الصفحات 2042–2056

Jaramillo, P., W. M. Griffin, and H. S. Matthews (2006). تحليل مقارن لدورة حياة انبعاثات الكربون من LNG مقابل الفحم والغاز في توليد الكهرباء. لم يرد اسم الناشر، ص 66. متوافر على: www.ce.cmu.edu/~gdrg/readings/2005/10/12/Jaramillo_Life–CycleCarbonEmissionsFromLNG.pdf

Koornneef, J., T. van Keulen, A. Faaij, and W. Turkenburg (2008). تقدير دورة حياة منشأة طاقة عاملة بمسحوق الفحم مع امتصاص ثاني أكسيد الكربون بعد الاحتراق ونقله وتخزينه. الدورية الدولية لمراقبة غازات الدفيئة، **2**(4)، الصفحات 448–467

Kreith, F., P. Norton, and D. Brown (1990). انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من منشئات الطاقة الكهربية العاملة بالفحم والطاقة الشمسية. معهد بحوث الطاقة الشمسية (SERI)، جدولدن كولورادو، الولايات المتحدة، ص 44

Krewitt, W., P. Mayerhofer, R. Friedrich, A. Truckenmüller, T. Heck, A. Gressmann, F. Raptis, F. Kaspar, J. Sachau, K. Rennings, J. Diekmann, and B. Praetorius (1997). العناصر الخارجية في التنفيذ الوطني، ألمانيا، جامعة شتوتجارت، شتوتجارت، ألمانيا، ص 189

Lee, K.–M., S.–Y. Lee, and T. Hur (2004). تحليل حصر دورة الحياة بشأن الكهرباء في كوريا، الطاقة. الطاقة، **29**(1)، الصفحات 87–101

Lee, R (1994). تقدير العناصر الخارجية لدورات الوقود الفحمي. في: التكاليف الخارجية والمنافع في دورات الوقود، المجلد 3. مختبر أواك ريدج الوطني، أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 719

Lenzen, M (2008). دورة حياة الطاقة وانبعاثات غاز الدفيئة من الطاقة النووية: استعراض. تحويل الطاقة وإدارتها، **49**، الصفحات 2178–2199. متوافر على: www.isa.org.usyd.edu.au/publications/doc – ments/ISA_Nuclear_Report.pdf

Markewitz, P., A. Schreiber, S. Vögele, and P. Zapp (2009). الآثار البيئية للإستراتيجية الألمانية لإمتصاص الكربون وتخزينه Energy Procedia، **1**(1) الصفحات 3763–3770

Martin, J. A (1997). نهج كامل لدورة الوقود إزاء خفض انبعاثات غازات

الدفيئة: تكنولوجيات توليد الطاقة الشمسية بوصفها وسيلة للتخلص من غازات الدفيئة في شبكات المرافق في الولايات المتحدة الأمريكية: الطاقة الشمسية (وقائع مختارة بشأن ISES 1995: المؤتمر العالمي للطاقة الشمسية. الجزء الرابع)، **59**(4–6)، الصفحات 195–203

May, J.R. and D.J. Brennan (2003). تقدير دورة حياة خيارات الطاقة الأحفورية في أستراليا. سلامة العملية وحماية البيئة. معاملات مؤسسة المهندسين الكيميائيين، الجزء باء، **81**(5)، الصفحات 317–330

Meier, P.J., P.P.H. Wilson, G.L. Kulcinski, and P.L. Denholm (2005). اسجابة صناعة الكهرباء في الولايات المتحدة لقيود الكربون: تقدير دورة حياة البدائل على جانب العرض. سياسة الطاقة، **33**(9)، الصفحات 1099–1108

Meridian Corporation (1989). انبعاثات نظام الطاقة والمتطلبات المادية. مؤسسة ميريديان، الاسكندرية، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 34

Odeh, N.A. and T.T. Cockerill (2008). تحليل دورة حياة منشئات الطاقة العاملة بالفحم في المملكة المتحدة. تحويل الطاقة وإدارتها، **49**(2)، الصفحات 212–220

Odeh, N.A. and T.T. Cockerill (2008). تقدير دورة حياة غازات الدفيئة في المنشئات العاملة بالوقود الأحفوري مع امتصاص الكربون وتخزينه. سياسة الطاقة، **36**(1)، الصفحات 367–380

Pacca, S.A (2003). تأثير الاحترار العالمي المطبق على تكنولوجيات توليد الكهرباء. أطروحة دكتوراة، جامعة كاليفورنيا، بيركلي، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 191

Peiu, N (2007). دراسة عن حصر دورة الحياة لإنتاج الطاقة الكهربية في رومانيا. الدورية العالمية لتقدير دورة الحياة، 12(4)، الصفحات 219–225

Ruether, J.A., M. Ramezan, and P.C. Balash (2004). انبعاثات غازات الدفيئة من نظم توليد الطاقة من تغويز الفحم. دورية نظام البنية الأساسية، **10**(3)، الصفحات 111–119

San Martin, R.L (1989). الانبعاثات البيئية من نظم تكنولوجيا الطاقة: دورة الوقود الكاملة. إدارة الطاقة في الولايات المتحدة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 21

هيئة ساسكانشوان لصون الطاقة والتنمية (1994). التكاليف المتعادلة للآثار البيئية لدورة الوقود الكاملة في خيارات ساسكانشوان لإمدادات الكهرباء. مطبوع SECDA رقم 004–94–T800، ساسكانشون، كندا، ص 205

Schreiber, A., P. Zapp, and W. Kuckshinrichs (2009). التقدير البيئي لتوليد الكهرباء في ألمانيا من المنشئات العاملة بالفحم مع امتصاص الكربون المعتمد على النشادر. الدورية الدولية لتقدير دورة الحياة، **14**(6)، الصفحات 559–547

SENES Consultants Limited (2005). طرق تقدير الآثار على البيئة الطبيعية الناشئة عن خيارات التوليد. أعده الخبراء الاستشاريون في SENES لهيئة أونتاريو للطاقة، ريتشموند هل، كندا، ص 166

Shukla, P.R. and D. Mahapatra (2007). دورة الوقود الكاملة للهند. في: CASES: تقدير تكاليف نظم الطاقة المستدامة. الوثيقة رقم 7.1، المعهد الهندي للإدارة في أحمدأباد، فيسترابور، أحمدأباد، الهند، ص 10

Spath, P.L., and M.K. Mann (2004). نظم الطاقة المعتمدة على الكتلة الأحيائية والوقود الأحفوري التقليدي مع امتصاص أو عدم امتصاص ثاني أكسيد الكربون. مقارنة موازنات الطاقة، وانبعاثات غازات الدفيئة واقتصاداتها. NREL/TP–510–32575 المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 28

Spath, P.L., M.K. Mann, and D.R. Kerr (1999). تقدير دورة الحياة لإنتاج الطاقة المعتمدة على الفحم. المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 172

Styles, D., and M.B. Jones (2007). محاصيل الطاقة في أيرلندا، التقدير الكمي لإمكانيات خفض دورة حياة غازات الدفيئة في الكهرباء المعتمدة على محاصيل الطاقة. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية **31**(11–12)، الصفحات 759–772

Uchiyama, Y (1996). سلامة الدراسة المتعلقة بانبعاثات غازات الدفيئة من سلسلة الطاقة الكاملة FENCH–GHG: مقارنة المنهجيات وقواعد البيانات بشأن مصادر الطاقة من حيث عوامل انبعاثات غازات الدفيئة من سلسلة الطاقة الكاملة في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية بشأن تحليل موازين الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الطاقة النووية وغيرها من النظم. بيجين، الصين، 4–7 تشرين الأول/أكتوبر 1994، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الصفحات 85–94. متوافر على: www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

White, S.W (1998). سداد العائدات الصافية للطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من انتشار الهليوم – 3 ومنشئات الطاقة الكهربية العاملة بالرياح: أطروحة دكتوراة. جامعة ويسكونسن، ماديسون، ويسكونسن، الولايات المتحدة، ص 166

Wibberley, L (2001). الفحم في مجتمع مستدام، برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا

Wibberley, L., J. Nunn, A. Cottrell, M. Searles, A. Urfer, and P. Scaife (2000). تحليل دورة الحياة لإنتاج الصلب والكهرباء في أستراليا، برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا، ص 36

Zerlia, T (2003). غازات الدفيئة في دورة حياة الوقود الأحفوري: النقاط الحرجة في تقدير الانبعاثات السابقة على الحرق والمضاعفات على دورة الحياة الكاملة. La Rivista dei Combustibili **57**(6)، الصفحات 281–293

Zhang, Y.M., S. Habibi, and H.L. MacLean (2007). التقييم البيئي والاقتصادي للطاقة الأحيائية في أونتاريو، كندا، دورية رابطة إدارة الهواء والنفايات، **57**(8)، الصفحات 919–933

Zhang, Y.M., J. McKechnie, D. Cormier, R. Lyng, W. Mabee, A. Ogino, and H.L. MacLean (2010). انبعاثات دورة الحياة وتكلفة إنتاج الكهرباء من الفحم والغاز الطبيعي والكرات الخشبية في أونتاريو، كندا، العلوم والتكنولوجيا البيئية **44**(1)، الصفحات 538–544

الطاقة الشمسية المركزة (13)

Burkhardt, J., G. Heath, and C. Turchi (2010). تقدير دورة الحياة لمجرى متساوي المقطع في منشأة للطاقة الشمسية المركزة مع تخزين الطاقة الحرارية. في: المؤتمر الدولي الرابع المعني باستدامة الطاقة. الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (ASME) فونكس، أريزونا، الولايات المتحدة الأمريكية، 17–22 أيار/مايو 2010

Cavallaro, F., and L. Ciraolo (2006). تقدير دورة حياة نظام توليد طاقة الحرارة الشمسية بالطبق متساوي المقاطع. في: الندوة الدراسية الدولية الأولى بشأن هويات البيئة ومنطقة البحر المتوسط ISEIM, IEEE، كورت أجاكيو، فرنسا، 10–13 تموز/يوليو 2006، الصفحات 260–265

German Aerospace Center (DLR) (2006). الترابط عبر البحر المتوسط بشأن الطاقة الشمسية المركزة، التقرير النهائي، معهد دينامية الحرارة الفنية وتحليل نظم الأقسام، وتقدير التكنولوجيا. مركز الفضاء الجوي الألماني (DLR)، شتوتجارت، ألمانيا، ص 190

Jacobson, M.Z (2009). استعراض الحلول الخاصة بالاحترار العالمي وتلوث الهواء وأمن الطاقة. الطاقة وعلوم البيئة، 2، الصفحات 148–173

Kreith, F., P. Norton, and D. Brown (1990). انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من منشئات الطاقة الكهربية العاملة بالفحم والطاقة الشمسية. SERI/TP–260–3772، معهد بحوث الطاقة الشمسية، جولدن، كولورادو الولايات المتحدة الأمريكية، ص 44

Lenzen, M **(1999)**. تحليل غازات الدفيئة من توليد الكهرباء بالحرارة الشمسية. الطاقة الشمسية، **65**(6)، الصفحات 353–368

Ordóñez, I., N. Jiménez, and M.A. Silva (2009). دورة حياة الآثار البيئية لإنتاج الكهرباء من خلال نظم الصحن والاسترليني في إسبانيا في: SolarPACES 2009، برلين، ألمانيا، 15–18 أيلول / سبتمبر 2009، ص 8

Pehnt, M (2006). تقدير دورة الحياة الدينامية لتكنولوجيات الطاقة المتجددة: الطاقة المتجددة، **31**(1)، الصفحات 55–71

Piemonte, V., M.D. Falco, P. Tarquini, and A. Giaconia (2010). تقدير دورة حياة منشأة للطاقة الشمسية المركزة مزودة بالملح المذاب مرتفع درجة الحرارة. في: الندوة الدراسية الأوروبية العشرين عن هندسة العمليات المعانة بالحاسوب – E ESCAPE20, Pierucci, S., and G.B. Ferraris (eds.)، Elsevier، نابولي، إيطاليا، 6–9 حزيران / يونيو 2010، ص 6

Vant–Hull, L (1992). الكهرباء العاملة بالحرارة الشمسية: بديل حميد وسليم من الناحية البيئية. المنظورات في الطاقة، **2**، الصفحات 166–157

Viebahn, P., S. Kronshage, and F. Trieb (2008). التقرير النهائي عن البيانات الفنية والتكاليف وعمليات حصر دورة الحياة للمنشئات العاملة بالحرارة الشمسية. المشروع رقم 502687، تطورات العناصر الخارجية الجديدة للطاقة لتحقيق الاستدامة (NEEDS)، روما، إيطاليا، ص 95. متوافر على: www.needs–project.org/docs/results/RS1a/RS1a%20D12.2%20Final%20report%20concentrating%20solar%20thermal%20power%20plants.pdf

Weinrebe, G., M. Bohnke, and F. Trieb (1998). تقدير دورة حياة منشأة SEGS بقدرة 80 ميجاوات وبرج طاقة PHOEBUS بقدرة 30 ميجاوات. في: المؤتمر الدولي للطاقة الشمسية. الهندسة الشمسية ASME البوكويرك، نيومكسيكو، الولايات المتحدة الأمريكية، 14–17 حزيران / يونيو 1998، الصفحات 417–424

Wibberley, L (2001). الفحم في مجتمع مستدام، برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا

توليد الطاقة الحرارية الأرضية (6)

Frick, S., M. Kaltschmitt, and G. Schroder (2010). تقدير دورة حياة منشئات الطاقة الثنائية للحرارية الأرضية باستخدام المستودعات المعززة منخفضة الحرارة. الطاقة، **35**(5)، الصفحات 2281–2294

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة في نظم توليد الطاقة. حالة اليابان. الطاقة، **30**(11–12)، الصفحات 2056–2042

Karlsdottir, M.R., O.P. Palsson, and H. Palsson (2010). عوامل لتحقيق كفاءة الطاقة الأولية، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في إنتاج الطاقة الحرارية الأرضية في: المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2010. الرابطة الدولية للحرارة الأرضية، بالي، اندونيسيا، 25–29 نيسان / أبريل 2010، ص 7

Rogge, S., and M. Kaltschmitt (2003). إنتاج الكهرباء والحرارة من الطاقة الحرارية الأرضية – مقارنة إيكولوجية. | Erdoel Erdgas Kohle **119**EKEP(1)، الصفحات 35–40

Rule, B.M., Z.J. Worth, and C.A. Boyle (2009). مقارنة دورة حياة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والطاقة المجسدة في أربعة تكنولوجيات متجددة لتوليد الكهرباء في نيوزيلندا. العلوم والتكنولوجيا البيئية، **43**(16)، الصفحات 6406–6513

Uchiyama, Y (1997). تحليل دورة الحياة البيئية لتكنولوجيا توليد الطاقة من الطاقة الحرارية الأرضية. دورية معهد الهندسة الكهربية في اليابان، **117**(11)، الصفحات 752–755

الطاقة المائية (11)

Barnthouse, L.W., G.F. Cada, M.–D. Cheng, C.E. Easterly, R.L. Kroodsma, R. Lee, D.S. Shriner, V.R. Tolbert, and R.S. Turner (1994). تقدير العناصر الخارجية في دورات الوقود المائي. التقرير 6، مختبر أواك ريدج الوطني، أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 205

Denholm, P., and G.L. Kulcinski (2004). دورة الحياة للاحتياجات من الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة من نظم تخزين الطاقة على نطاق واسع. تحويل الطاقة وإدارتها، **45**(13–14)، الصفحات 2153–2172

Dones, R., T. Heck, C. Bauer, S. Hirschberg, P. Bickel, P. Preiss, L.I. Panis, and I. De Vlieger (2005). العناصر الخارجية للطاقة: تحديد الإطار المحاسبي وتطبيقات السياسات: تكنولوجيات الطاقة الجديدة. ENG1–CT–2002–00609، معهد بول شيرير (PSI)، فيليخين، سويسرا، ص 76

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M.F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورات الحياةالخاصة بنظم الطاقة: نتائج للنظم الحالية في سويسرا وغيرها من بلدان اتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا. تقرير Ecoinvent رقم 5. معهد بول شيرير، المركز السويسري لعمليات حصر دورات الحياة، فيليخين، سويسرا، ص 185. متوافر على: www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life–cycle–analysis–PSI–05.pdf

Horvath, A (2005). صنع القرار بشأن توليد الكهرباء استنادا الى قدرات الاحترار العالمي وتقدير دورة حياة تغير المناخ. جامعة كاليفورنيا – معهد الطاقة، بيركيلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 16. متوافر على: repositories.cdlib.org/ucei/devtech/EDT–006

الوكالة الدولية للطاقة (1998). الطاقة الحميدة؟ الانعكاسات البيئية لأنواع الطاقة المتجددة. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 128

Pacca, S (2007). تأثيرات وقف العمل في سدود الكهرباء المائية: منظور دورة الحياه. تغير المناخ، **84**(3–4)، الصفحات 281–294

Rhodes, S., J. Wazlaw, C. Chaffee, F. Kommonen, S. Apfel–baum, and L. Brown (2000). دراسة لمشروع الكهرباء المائية في بحيرة شبلان استنادا إلى تقدير دورة حياة الضغوط – التأثيرات. التقرير النهائي. نظم إصدار الشهادات العلمية، أوكلاند، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 193

Ribeiro, F.d.M., and G.A. da Silva (2009). حصر دورة الحياة لتوليد الطاقة الكهرومائية، دراسة حالة برازيلية. دورية الإنتاج النظيف، **18**(1)، الصفحات 44–54

Vattenfall (2008). الإعلان الخاص بالناتج البيئي المعتمد في الشمال لتوليد الكهرباء من الطاقة المائية في فاتينفول. التقرير رقم S–P–00088، فاتينفول، استكهولم، السويد، ص 50

Zhang, Q., B. Karney, H.L. MacLean, and J. Feng (2007). حصر دورة حياة استخدام الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة في مشروعين للطاقة المائية في الصين. دورية نظم البنى الأساسية، **13**(4)، الصفحات 271–279

توليد الطاقة بحرق الغاز الطبيعي (40)

Audus, H., and L. Saroff (1995). تقييم دورة الحياة الكاملة لخيارات التخفيف من ثاني أكسيد الكربون في منشأة طاقة تعمل بالوقود الأحفوري. صون الطاقة وإداراتها، **36**(6–9)، الصفحات 831–834

Badea, A.A., I. Voda, and C.F. Dinca (2010). تحليل مقارن لدورات حياة الفحم والغاز الطبيعي والطاقة النووية في سلسلة إنتاج الطاقة الكهربية. نشرة UPB العلمية. السلسلة جيم: الهندسة الكهربية، **72**(2)، الصفحات 221–238

Bergerson, J., and L. Lave (2007). دورة الحياة الطويلة الأجل للتكاليف الخاصة والخارجية للاستعمال المرتفع للفحم في سياسة الطاقة بالولايات المتحدة، **35**(12)، الصفحات 6225–6234

Bernier, E., F. Maréchal, and R. Samson (2010). تنظيم التصميم المتعدد الأهداف للدورة المجتمعة للغاز الطبيعي مع امتصاص ثاني أكسيد الكربون في منظور دورة الحياة. الطاقة، **35**(2)، الصفحات 1121–1128

Berry, J.E., M.R. Holland, P.R. Watkiss, R. Boyd, and W. Stephenson (1998). توليد الطاقة والبيئة: منظور للمملكة المتحدة. تكنولوجيا AEA أوكسفوردشاير، المملكة المتحدة، ص 275

Dolan, S.L (2007). تقدير دورة الحياة والتجميع التوليفي الناشئ لمزرعة رياح نظرية بعيدة عن الشاطئ في جاكسونفيل، فلوريدا، أطروحة ماجستير، جامعة فلوريدا، ص 125. متوافر على: http://etd.fcla.edu/UF/UFE0021032/dolan_s.pdf

Dones, R., S. Hirschberg, and I. Knoepfel (1996). حصر لانبعاثات غازات الدفيئة استناداً إلى تحليل لسلسلة الطاقة الكاملة. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل الموازنة الصافية للطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة في سلسلة الطاقة الكاملة لنظم الطاقة النووية وغيرها من أنواع الطاقة. بيجين، الصين، 4–7 تشرين الأول/أكتوبر 1994، الصفحات 95–114. متوافر على: www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

Dones, R., U. Ganter, and S. Hirschberg (1999). عمليات الحصر البيئي لنظم الإمداد بالكهرباء في المستقبل في سويسرا. الدورية الدولية لقضايا الطاقة العالمية، **12**(1–6)، الصفحات 271–282

Dones, R., T. Heck, and S. Hirschberg (2004). انبعاثات غازات الدفيئة من نظم الطاقة، مقارنة وعرض عام. دائرة معارف الطاقة **3**، الصفحات 77–95، doi:10.1016/B0–12–176480–X/00397–1

Dones, R., X. Zhou, and C. Tian (2004). تقدير دورة حياة سلسلة الطاقة الصينية لسيناريوهات شاندونغ للكهرباء. الدورية الدولية لقضايا الطاقة العالمية **22**(4/3/2)، الصفحات 199–224

Dones, R., T. Heck, C. Bauer, S. Hirschberg, P. Bickel, P. Preiss, L.I. Panis, and I. De Vlieger (2005). العناصر الخارجية في الطاقة: تمديد الإطار المحاسبي وتطبيقات السياسات. تكنولوجيات الطاقة الجديدة: ENG1–CT–2002–00609. معهد بول شيرير، فيليخين، سويسرا، ص 76

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M.F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورة الحياة في نظم الطاقة: نتائج للنظم الحالية في سويسرا وبلدان اتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا UCTE الأخرى. تقرير Ecoinvent رقم 5، معهد بول شيرير، المعهد السويسري لحصر دورة الحياة، فيليخين، سويسرا، ص 185. متوافر على: www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life–cycle–analysis–PSI–05.pdf

المفوضية الأوروبية (1995): النفط والغاز عناصر خارجية: العناصر الخارجية للطاقة، المفوضية الأوروبية – المديرية العامة الثانية عشرة، لكسمبورغ، **4**، ص 470

Frischknecht, R (1998). تحليل حصر دورة الحياة لصنع القرار: نماذج لنظام الحصر المعتمد على النطاق والتخصيص المشترك للنواتج بحسب السياق. بحث معهد زيوريخ الاتحادي السويسري للتكنولوجيا، زيوريخ، سويسرا، ص 256

Gantner, U., M. Jakob, and S. Hirschberg (2001). مجموع انبعاثات غازات الدفيئة وتكاليف الإستراتيجيات الخاصة بالإمدادات البديلة للطاقة السويسرية في: المؤتمر الدولي الخامس المعني بتكنولوجيات رصد غازات الدفيئة (GHGT–5). دار نشر CSIRO، كيرنز، أستراليا، 13–16 آب/أغسطس 2000، الصفحات 991–996

Herrick, C.N., A. Sikri, L. Greene, and J. Finnell (1995). تقييم المنافع البيئية لنشر أنواع الطاقة المتجددة: تحليل لدورة الوقود الكاملة لآثار غازات الدفيئة في تكنولوجيات توليد الطاقة المتجددة في نظم المرافق الإقليمية DynCorp EENSP، اسكندرية، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة في نظم توليد الطاقة، حالة اليابان. الطاقة، **30**(11–12)، الصفحات 2042–2056

الوكالة الدولية للطاقة (2002): الآثار البيئية والصحية لتوليد الكهرباء. مقارنة للآثار البيئية للطاقة المائية مع تلك التكنولوجيات الأخرى للتوليد، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 239. متوافر على: www.ieahydro.org/reports/ST3–020613b.pdf

Kannan, R., K.C. Leong, R. Osman, and H.K. Ho (2007). دورة حياة الطاقة والانبعاثات وحصر التكاليف الخاصة بتكنولوجيات توليد الطاقة في سنغافورة. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **11**، الصفحات 702–715

Kato, S., and A. Widiyanto (1999). خطة تقدير دورة الحياة لتقدير الأعباء البيئية لنظم توليد الطاقة بطريقة تقييم NETS. في: المؤتمر الدولي للتوليد المشترك للطاقة. S.R.H. Penfield and R. McMu – len (تحرير). الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (ASME) بولنجام، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، 25–28 تموز/يوليو 1999، **2**، الصفحات 139–146

Krewitt, W., P. Mayerhofer, R. Friedrich, A. Truckenmüller, T. Heck, A. Gressmann, F. Raptis, F. Kaspar, J. Sachau, K. Rennings, J. Diekmann, and B. Praetorius (1997) العناصر الخارجية للتنفيذ الوطني في ألمانيا، جامعة شتوتجارت، شتوتجارت، ألمانيا، ص 189

Lee, R (1998). تقدير العناصر الخارجية لدورات الوقود المعتمد على الغاز الطبيعي والتكاليف والمنافع الخارجية لدورات الوقود: دراسة أعدتها إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية ومفوضية المجموعات الأوروبية. التقرير رقم 4، أواك ريدج المختبر الوطني للموارد من أجل المستقبل، أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 440

Lenzen, M (1999). تحليل غازات الدفيئة من توليد الكهرباء المعتمد على الحرارة الشمسية، الطاقة الشمسية، **65**(6)، الصفحات 353–368

Lombardi, L (2003). مقارنة تقدير دورة الحياة للحلول الفنية لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في توليد الطاقة. صون الطاقة وإدارتها، **44**(1)، الصفحات 93–108

Martin, J.A (1997). النهج الكامل لدورة الوقود لخفض انبعاثات غازات الدفيئة: تكنولوجيات توليد الطاقة الشمسية في 1995، ISES. المؤتمر العالمي للطاقة الشمسية (الجزء الرابع)، **59**(4–6)، الصفحات 203– 195

Meier, P.J (2002). تقدير دورة الحياة لنظم واستخدامات توليد الكهرباء لتحليل سياسات تغير المناخ. أطروحة دكتوراة. جامعة ويسكونسن، ماديسون، ويسكونسن، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 147

Meier, P.J., and G.L. Kulcinski (2001). إمكانيات طاقة الاندماج للتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة في الولايات المتحدة. تكنولوجيا الاندماج، **39**(2)، الصفحات 507–512

Meier, P.J., P.P.H. Wilson, G.L. Kulcinski, and P.L. Denholm (2005). استجابة الصناعة الكهربية في الولايات المتحدة لقيود الكربون. تقدير لدورة حياة بدائل جانب العرض. سياسة الطاقة، **33**(9)، الصفحات 1099–1108

Norton, B., P.C. Eames, and S.N.G. Lo (1998). تحليل انبعاثات غازات الدفيئة في كامل سلسلة الطاقة لأغراض نظم توليد الطاقة الكهربية المعتمدة على الحرارة الشمسية. الطاقة المتجددة، **15**(1–4)، الصفحات 136–131

Odeh, N.A., and T.T. Cockerill (2008). تقدير دورة حياة غازات الدفيئة في منشئات الطاقة المعتمدة على الوقود الأحفوري مع امتصاص الكربون وتخزينه. سياسة الطاقة، **36**(1)، الصفحات 367–380

Pacca, S.A (2003). تأثير الاحترار العالمي المطبق على تكنولوجيات توليد الكهرباء. أطروحة دكتوراة، جامعة كاليفورنيا، بيركيلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 191

Phumpradab, K., S.H. Gheewala, and M. Sagisaka (2009). تقدير دورة حياة منشئات الطاقة العاملة بالغاز الطبيعي في تايلند. الدورية الدولية لتقدير دورة الحياة، **14**(4)، الصفحات 354–363

Raugei, M., S. Bargigli, and S. Ulgiati (2005). تقدير دورة الحياة

المتعددة المعايير لخلايا الوقود الكربونات السائل (MCFC). مقارنة مع توربينات الغاز الطبيعي – الدورية الدولية للطاقة الهيدروجينية، **30**(2)، الصفحات 123–130

Riva, A., S. D'Angelosante, and C. Trebeschi (2006). الغاز الطبيعي والنتائج البيئية لتقدير دورة الحياة، الطاقة، **31**(1)، الصفحات 138–148

هيئة صون الطاقة وتنميتها في ساسكاتشوان (1994). التكاليف المتعادلة والآثار البيئية لدورة الوقود الكاملة في خيارات ساسكاتشوان لإمدادات الكهرباء. مطبوعات SECDA رقم 004–94–T800، ساسكاتون، كندا، ص 205

SENES Consultants Limited (2005). طرق تقدير الآثار على البيئة الطبيعية للتوليد: إعداد خبراء SENES لهيئة الطاقة في أونتاريو، ريتشموند هيل، أونتاريو، كندا، ص 106

Spath, P.L., and M.K. Mann (2000). تقدير دورة حياة نظام توليد الطاقة لدورة مجتمعة للغاز الطبيعي. NREL/TP–570–27715 المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 54

Spath, P.L., and M.K. Mann (2004). طاقة الكتلة الأحيائية والنظم الأحفورية التقليدية مع امتصاص ثاني أكسيد الكربون أو عدم امتصاصه. مقارنة موازين الطاقة – انبعاثات غازات الدفيئة واقتصاداتها NREL/TP–510–32575 المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص28

Uchiyama, Y (1996) دراسة سلامة انبعاثات سلسلة الطاقة الكاملة – انبعاثات غازات الدفيئة: منهجيات وقواعد بيانات مقارنة مصادر الطاقة من حيث عوامل انبعاثات غازات الدفيئة في سلسلة الطاقة الكاملة الخاصة بها. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل موازنة الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الدفيئة في كامل سلسلة الطاقة المتعلقة بنظم الطاقة النووية وغيرها من أشكال الطاقة، بيجين، الصين، 4–7 تشرين الأول/أكتوبر 1994. الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الصفحات 85–94. متوافر على: www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

مجلس الطاقة العالمي (2004). مقارنة بين نظم الطاقة باستخدام تقدير دورة الحياة. مجلس الطاقة العالمي، لندن، المملكة المتحدة، ص 67

الطاقة النووية (32)

تكنولوجيات وكالة الطاقة الذرية (2005). إعلان النواتج البيئية بشأن الكهرباء المعتمدة على محطة تورنيس للطاقة النووية، الطاقة البريطانية، لندن، المملكة المتحدة، ص 52

تكنولوجيات وكالة الطاقة الذرية (2006). أثر الكربون في دورة الوقود النووي. الطاقة البريطانية، لندن، المملكة المتحدة، ص 26

Andseta, S., M.J. Thompson, J.P. Jarrell, and D.R. Pendergast (1998). مفاعلات كاندو وانبعاثات غازات الدفيئة. في: *المؤتمر السنوي التاسع عشر للجمعية النووية الكندية*. D.B. Buss and D.A. Jenkins (تحرير) الرابطة النووية الكندية، تورنتو، أونتاريو، كندا 18–21 تشرين الأول/أكتوبر 1998

AXPO Nuclear Energy (2008). منشأة بيزناو للطاقة النووية. Axpo AG، بادن، ألمانيا، ص 21

Badea, A.A., I. Voda, and C.F. Dinca (2010). تحليل مقارن لدورات حياة الفحم والغاز الطبيعي والطاقة النووية في سلسلة إنتاج الطاقة الكهربية، نشرة UPB العلمية، السلسلة جيم، الهندسة الكهربية، **72**(2)، الصفحات 221–238

Beerten, J., E. Laes, G. Meskens, and W. D'haeseleer (2009). انبعاثات غازات الدفيئة في دورة الحياة النووية: تقرير متوازن. سياسة الطاقة، **37**(12)، الصفحات 5056–5058

Dones, R., S. Hirschberg, and I. Knoepfel (1996). حصر انبعاثات غازات الدفيئة بالاعتماد على تحليل السلسلة الكاملة للطاقة. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل موازين الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الدفيئة في السلسلة الكاملة للطاقة للنظم النووية وغيرها من أشكال الطاقة. بيجين، الصين، 4–7 تشرين الأول/أكتوبر 1994، الصفحات 95–114. متوافر على: www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

Dones, R., X. Zhou, and C. Tian (2004). تقدير دورة الحياة لسلسلة الطاقة الصينية لسيناريوهات كهرباء شاندونغ. الدورية الدولية لقضايا الطاقة العالمية، **22**(4/3/2)، الصفحات 199–224

Dones, R., T. Heck, C. Bauer, S. Hirschberg, P. Bickel, P. Preiss, L.I. Panis, and I. De Vlieger (2005). العناصر الخارجية في الطاقة: تمديد الإطار المحاسبي وتطبيقات السياسات: تكنولوجيات الطاقة الجديدة. ENG1–CT–2002–00609 معهد بول شيرير، فيلجين، سويسرا، ص 76

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M.F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورات الحياة لنظم الطاقة: النتائج للنظم الحالية في سويسرا وبلدان إتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا UCTE الأخرى. تقرير Ecoinvent رقم 5، معهد بول شيرير، المركز السويسري لعمليات حصر دورات الحياة، فيليجين، سويسرا، ص 185. متوافر على: www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life–cycle–analysis–PSI–05.pdf

Dones, R., C. Bauer, and T. Heck (2007). تقدير دورة حياة نظم الكهرباء الحالية المعتمدة على الفحم والغاز والطاقة النووية، ومزيج الكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية، معهد بول، شيرير فيليجين، سويسرا، ص 4

Frischknecht, R (1998). تحليل حصر دورة الحياة لصنع القرار ونماذج نظم الحصر غير المعتمدة على النطاق ومخصص النواتج المشتركة الخاصة بالسياق، بحث معهد الاتحاد السويسري للتكنولوجيا في زيوريخ، زيوريخ، سويسرا، ص 256

Fthenakis, V.M., and H.C. Kim (2007). انبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة النووية والكهربية الشمسية. دراسة عن دورة الحياة. سياسة الطاقة، **35**(4)، الصفحات 2549–2557

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة لنظم توليد الطاقة: حالة اليابان. الطاقة **30**(11–12)، الصفحات 2042–2056

Kivisto, A (1995). فترة سداد عائدات الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مختلف طرق توليد الطاقة في فنلندا في: المؤتمر الدولي التابع للرابطة الدولية لاقتصاديات الطاقة (IAEE)، واشنطن العاصمة، 5–8 تموز/يوليو 1995، الصفحات 191–198

Krewitt, W., P. Mayerhofer, R. Friedrich, A. Truckenmüller, T. Heck, A. Gressmann, F. Raptis, F. Kaspar, J. Sachau, K. Rennings, J. Diekmann, and B. Praetorius (1997). العناصر الخارجية للتنفيذ الوطني في ألمانيا، جامعة شتوتجارت، شتوتجارت، ألمانيا، ص 189

Lecointe, C., D. Lecarpentier, V. Maupu, D. Le Boulch, and R. Richard (2007). التقرير النهائي عن البيانات الفنية والتكاليف وحصر دورة الحياة لمنشئات الطاقة النووية. D14.2 – RS 1a، التطورات الجديدة للعناصر الخارجية للطاقة لتحقيق الاستدامة (NEEDS)، روما، إيطاليا، ص 66. متوافر على: www.needs–project.org/RS1a/RS1a%20D14.2%20Final%20report%20on%20nuclear.pdf

Lenzen, M., C. Dey, C. Hardy, and M. Bilek (2006). دورة حياة موازنة الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة للطاقة النووية في أستراليا: ISA، جامعة سيدني، سيدني، أستراليا، ص 180

Meridian Corporation (1989). انبعاثات نظام الطاقة ومتطلبات ماتريل، مؤسسة ميرديان، اسكندرية، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 34

Rashad, S. M., and F. H. Hammad (2000). الطاقة النووية والبيئة: تقييم مقارن للآثار البيئية والصحية لنظام توليد الكهرباء. الطاقة التطبيقية، **65**(1–4)، الصفحات 211–229

San Martin, R. L (1989). الانبعاثات البيئية من نظم تكنولوجيا الطاقة. دورة الوقود الكاملة. إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية، واشنطن العاصمة، ص 21

Saskatchewan Energy Conservation and Development Authority (1994). التكاليف المتعادلة ودورة الوقود الكاملة للآثار البيئية لخيارات ساسكاتشوان لإمدادات الكهرباء، مطبوع SFDA رقم T800–94–004. ساسكاتشون، كندا، ص 205

Tokimatsu, K., T. Asami, Y. Kaya, T. Kosugi, and E. Williams (2006). تقييم دورة حياة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من قطاع الطاقة الكهربية في اليابان في القرن الحادي والعشرين في ظل مختلف السيناريوهات النووية. سياسة الطاقة، **34**(7)، الصفحات 833–852

Uchiyama, Y (1996). سلامة دراسة الانبعاثات من سلسلة الطاقة الكاملة – غازات الدفيئة: المنهجيات وقواعد البيانات. مقارنة بين مصادر الطاقة بحسب عوامل انبعاثات غازات الدفيئة من سلسلة الطاقة الكاملة في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للو كالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل موازنة الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة من كامل سلسلة الطاقة في نظم الطاقة النووية وغيرها من أشكال الطاقة، بيجين، الصين، 4–7 تشرين الأول/أكتوبر 1994، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الصفحات 85–94. متوافر أيضاً على:
www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

Uchiyama, Y (1996). تحليل دورة الحياة لنظم توليد الكهرباء والإمداد بها: تحليل الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الدفيئة في: الكهرباء والصحة والبيئة: تقييم مقارن لدعم صنع القرار، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، 16–19 تشرين الأول/أكتوبر 1995، الصفحات 279–291

Vattenfall (2007). موجز إعلان فاتنفول عن النواتج البيئية المعتمدة في الشمال، فاتينفول، EPD® إعلان النواتج البيئية للكهرباء من منشأة رينجالز للطاقة النووية. 01–11–2007 S–P–00026، فاتينفول، استكهولم، السويد، ص 4

Vattenfall (2007). إعلان فاتنفول عن النواتج البيئية المعتمدة في الشمال، فاتينفول، EPD إعلان النواتج البيئية للكهرباء من منشأة فورسمارك للطاقة النووية. التقرير رقم S–P–00088، فاتنفول، استكهولم، السويد، ص 59

Voorspools, K. R., E. A. Brouwers, and W. D. D'Haeseleer (2000). محتوى الطاقة والانبعاثات غير المباشرة لغازات الدفيئة المجسدة في منشئات الطاقة "الخالية من الانبعاثات": نتائج للبلدان المنخفضة. الطاقة التطبيقية، **67**(3)، الصفحات 307–330

White, S. W., and G. L. Kulcinski (1999). تحليل "من المهد إلى اللحد" لمعدل سداد عائدات الطاقة ومعدلات انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من الفحم والاندماج والرياح ومنشئات طاقة الاندماج DT، جامعة ويسكنسون، ماديسون، ويسكونسن الولايات المتحدة الأمريكية، ص 17

Wibberley, L (2001). الفحم في مجتمع مستدام. برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا

Yasukawa, S., Y. Tadokoro, and T. Kajiyama (1992). دورة حياة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مفاعل للطاقة النووية ونظام دورة الوقود. في: حلقة عمل الخبراء المعنية بتحليل دورة حياة نظم الطاقة والطرق والخبرات. باريس، فرنسا، 21–22 أيار/مايو 1992، الصفحات 151–160

Yasukawa, S., Y. Tadokoro, O. Sato, and M. Yamaguchi (1996). دمج الانبعاثات غير المباشرة لثاني أكسيد الكربون الصادرة عن سلسلة الطاقة الكاملة. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للو كالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل موازين الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الدفيئة لسلسلة الطاقة الكاملة في النظم النووية وغيرها من النظم، بيجين، الصين، الصفحات 139–150. متوافر على:
www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

الطاقة البحرية (5)

Parker, R. P. M., G. P. Harrison, and J. P. Chick (2008). الطاقة ومراجعة الكربون لمحول طاقة الأمواج في منطقة بعيدة عن الشاطىء. وقائع مؤسسة المهندسين الميكانيكيين، الجزء ألف: القوى والطاقة، **221**(8)، الصفحات 1119–1130

Rule, B. M., Z. J. Worth, and C. A. Boyle (2009). مقارنة دورة حياة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والطاقة المجسدة في أربع تكنولوجيات لتوليد الكهرباء من طاقة متجددة في نيوزيلندا. العلوم والتكنولوجيا البيئية، **43**(16)، الصفحات 6406–6413

Sorensen, H. C., and S. Naef (2008). تقرير المواصفات الفنية للتكنولوجيا المرجعية (منشأة الطاقة المعتمدة على الأمواج والمد) تطورات العناصر الخارجية للطاقة المتجددة لتحقيق الاستدامة (NEEDS)، روما، إيطاليا، والمكتب الاستشاري SPOK، كوبنهاغن، الدانمرك، ص 59

Wibberley, L (2001). الفحم في مجتمع مستدام، برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا

Woollcombe-Adams, C., M. Watson, and T. Shaw (2009). مشروع طاقة المد والجزر من مسدات سيفيرن: الانعكاسات بالنسبة لانبعاثات الكربون. دورية الماء والبيئة **23**(1)، الصفحات 63–68

توليد الطاقة من النفط (10)

Bates, J. L (1995). دورة الوقود الكاملة للانبعاثات في الغلاف الجوي وآثار الاحترار العالمي من توليد الكهرباء في المملكة المتحدة. ETSU، لندن، المملكة المتحدة، ص 51

Berry, J. E., M. R. Holland, P. R. Watkiss, R. Boyd, and W. Stephenson (1998). توليد الطاقة والبيئة، منظور المملكة المتحدة. تكنولوجيا AEA. أوكسفورشاير، المملكة المتحدة، ص 275

Dones, R., S. Hirschberg, and I. Knoepfel (1996). حصر انبعاثات غازات الدفيئة استناداً إلى تحليل كامل سلسلة الطاقة في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للو كالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتحليل موازنة الطاقة الصافية وانبعاثات غازات الدفيئة لكامل سلسلة الطاقة في نظم الطاقة النووية وغيرها من النظم. بيجين، الصين، 4–7 تشرين الأول/أكتوبر 1994، الصفحات 95–114. متوافر على:
www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/013/28013414.pdf

Dones, R., U. Ganter, and S. Hirschberg (1999). عمليات الحصر البيئي لنظم الإمداد بالكهرباء في المستقبل في سويسرا، الدورية الدولية لقضايا الطاقة العالمية، **12**(1–6)، الصفحات 271–282

Dones, R., T. Heck, C. Bauer, S. Hirschberg, P. Bickel, P. Preiss, L. I. Panis, and I. De Vlieger (2005). العناصر الخارجية للطاقة، تمديد الإطار المحاسبي وتطبيقات السياسات: تكنولوجيات الطاقة الجديدة. ENG1–CT–2002–00609 معهد بول شيرير، فيليجين، سويسرا، ص 76

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M. F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورة الحياة لنظم الطاقة: النتائج للنظم الحالية في سويسرا وبلدان اتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا. تقرير Ecoinvent رقم 5. معهد بول شيرير، المركز السويسري لحصر دورة الحياة. فيليجين، سويسرا، ص 185. متوافر على:

www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life-cycle-analysis-PSI-05.pdf

المفوضية الأوروبية (1995): النفط والغاز. العناصر الخارجية. العناصر الخارجية للطاقة، المفوضية الأوروبية، المديرية العامة الثانية عشرة، لكسمبورغ، **4**، الصفحة 470

Gagnon, L., C. Belanger, and Y. Uchiyama (2002). تقدير دورة حياة خيارات توليد الكهرباء. حالة البحوث في عام 2001. سياسة الطاقة، **30**، الصفحات 1267–1279

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة إنبعاثات غازات الدفيئة فى نظم توليد الطاقة: الحالة اليابانية. الطاقة، **30**(11–12) الصفحات 2056–2042

Kannan, R., C.P. Tso, R. Osman, and H.K. Ho (2004). تقدير دورة حياة منشأة طاقة توربين البخار العامل بالنفط في سنافورة، صون الطاقة وإدارتها، **45**، الصفحات 3091–3107

الخلايا الفلطائية الضوئية (26)

Alsema, E.A (2000). وقت سداد عائدات الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في نظم الخلايا الفلطائية الضوئية. التقدم في مجال الخلايا الفلطائية الضوئية، **8**(1)، الصفحات 17–25

Alsema, E.A., and M.J. de Wild-Scholten (2006). الآثار البيئية إنتاج وحدات الخلايا الفلطائية الضوئية السليكونية البلورية في: المؤتمر الدولي CIRP الثالث عشر بشأن هندسة دورة الحياة، ليفين، بلجيكا، 31 أيار/مايو – 2 حزيران/يونيو 2006. متوافر على: www.mech.kuleuven.be/lce2006/Registration_papers.htm

Dones, R., T. Heck, and S. Hirschberg (2004). انبعاثات غازات الدفيئة من نظم الطاقة مقارنة وعرض عام. دائرة المعارف المعنية بالطاقة، **3**، الصفحات 77–95

Frankl, P., E. Menichetti, M. Raugei, S. Lombardelli, and G. Prennushi (2005). التقرير النهائي بشأن البيانات الفنية والتكاليف وعمليات حصر دورة الحياة ذات الصلة باستخدامات الخلايا الفطائية الضوئية. Ambiente Italia، ميلانو، إيطاليا، ص 81

Fthenakis, V.M., and E. Alsema (2006). أوقات سداد طاقة الخلايا الفلطائية، انبعاثات غازات الدفيئة والتكاليف الخارجية: الحالة في 2004 وأوائل 2005. التقدم في بحوث الخلايا الفلطائية الضوئية واستخداماتها، **14**(3)، الصفحات 275–280

Fthenakis, V., and H.C. Kim (2006). استخدام الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة في: دورة حياة الخلايا الفلطائية الضوئية CdTe. في: أدوات تحليل دورة الحياة لاختيار المواد والعمليات الخضراء. ندوة جمعية بحوث المواد 2006. S. S. Papasavva and V.M.P.O. Fthenakis eds))، ندوة جمعية بحوث المواد، بوسطون، 28–30 تشرين الثاني/نوفمبر 2005، **895**، الصفحات 83–88

Fthenakis, V.M., and H.C. Kim (2007). ابنعاثات غازات الدفيئة من الطاقة الكهربية الشمسية والنووية. دراسة دورة الحياة. سياسة الطاقة، 35(4)، الصفحات 2549–2557

Garcia-Valverde, R., C. Miguel, R. Martinez-Bejar, and A. Urbina (2009). دراسة تقدير دورة الحياة لنظام مستقل للخلايا الفلطائية الضوئية بقوة 4.2 كيلووات. الطاقة الشمسية، **83**(9)، الصفحات 1434–1445

Graebig, M., S. Bringezu, and R. Fenner (2010). تحليل مقارن للآثار البيئية للغاز الأحيائي – الذرة والخلايا الفلطائية الضوئية على أساس استخدام الأراضي. الطاقة الشمسية، **84**(7)، الصفحات 1255–1263

Greijer, H., L. Karlson, S.E. Lindquist, and A. Hagfeldt (2001). الجوانب البيئية لتوليد الكهرباء من نظام الخلايا الشمسية المعلمة بصيغة مبلورة بالنانو. الطاقة المتجددة، **23**(1)، الصفحات 27–39

Hayami, H., M. Nakamura, and K. Yoshioka (2005). دورة حياة أداء انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لنظام السائل العامل بالطاقة الشمسية المشترك بين DOE وNASA: مقارنة بين النظم البديلة لتوليد الطاقة في اليابان. معاملات IEEE على النظم والإنسان والبيرانيطيقا، الجزء جيم: التطبيقات والاستعراضات، **35**(3)، الصفحات 491–400

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة لنظم توليد الطاقة – حالة اليابان. الطاقة، **30**(11–12)، الصفحات 2042–2056

Ito, M., K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, H. Sugihara, and K. Kurokawa (2003). تحليل لطائفة من نظم الخلايا الفلطائية الضوئية واسعة النطاق (VLS–PV) في الصحارى العالمية. في: المؤتمر العالمي الثالث لتحويل طاقة الخلايا الفلطائية الضوئية (WCPEC) أوساكا، اليابان، 11–18 أيار/مايو 2003، جيم، الصفحات 2809–2814

Kannan, R., K.C. Leong, R. Osman, H.K. Ho, and C.P. Tso (2006). دراسة تقدير دورة حياة نظم الفلطائية الضوئية الشمسية مثال على نظام للفلطائية الضوئية الشمسية بقدرة 2.7 فى سنغافورة. الطاقة الشمسية، **80**(5) الصفحات 555–563

Lenzen, M., C. Dey, C. Hardy, and M. Bilek (2006). دورة حياة موازنة الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة النووية في أستراليا. جامعة سيدني، سيدني، أستراليا، ص 180

Muneer, T., S. Younes, P. Clarke, and J. Kubie (2006). مدرسة الهندسة تقدير دورة الحياة لمرفق للخلايا الفلطائية الضوئية متوسطة الحجم في أدنبره. يوروصن 0171–T10–ES06، جمعية الطاقة الشمسية، جلاسجو، ص 157

Pacca, S.A (2003). آثار الاحترار العالمي المطبقة في تكنولوجيات توليد الكهرباء. أطروحة دكتوراة. جامعة كاليفورنيا، بيركيلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 191

Pehnt, M (2006). تقدير دورة الحياة الدينامية لتكنولوجيات الطاقة المتجددة، الطاقة المتجددة، **31**(1)، الصفحات 55–71

Pehnt, M., A. Bubenzer, and A. Rauber (2002). تقدير دورة حياة نظم الخلايا الفلطائية الضوئية. محاولة مواجهة التحيزات العميقة الجذور. في: دليل إرشادي عن نظم الخلايا الفلطائية الضوئية لصانعي القرار. A. Bubenzer and J. Luther. (تحرير) سبرنجر، برلين، ألمانيا، الصفحات 179–213

Reich-Weiser, C (2010). صنع القرار للحد من انبعاثات غازات الدفيئة في حالة التصنيع، أطروحة دكتوراة. جامعة كاليفورنيا، بيركيلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 101

Reich-Weiser, C., T. Fletcher, D.A. Dornfeld, and S. Horne (2008). وضع أداة لترشيد وتخطيط سلسلة الإمدادات من أجل البيئة (SCOPE) – الطاقة الشمسية التطبيقية. في: الندوة الدراسية الدولية بشأن الإلكترونيات والبيئة. IEEE، سان فرانسيسكو، كاليفورنيا، 19–21 أيار/مايو 2008، ص 6

Sengul, H (2009). تحليل دورة حياة مواد – Quantum Dot Semiconductor Materials. أطروحة دكتوراة – جامعة الينوي، شيكاغو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 255

Stoppato, A (2008). تقدير دورة حياة توليد الكهرباء بالاعتماد على الخلايا الفلطائية الضوئية. الطاقة، **33**(2)، الصفحات 224–232

Tripanagnostopoulos, Y., M. Souliotis, R. Battisti, and A. Corrado (2006). دراسة عن الأداء والتكاليف وتقدير دورة حياة النظم الشمسية المختلطة PVT/AIR. التقدم في الخلايا الفلطائية الضوئية. البحوث والتطبيقات، **14**(1)، الصفحات 65–76

Uchiyama, Y (1997). تحليل دورة حياة منشئات الخلايا الفلطائية الضوئية وطاقة الرياح. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للو كالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتقدير انبعاثات غازات الدفيئة من سلسلة الطاقة الكاملة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، النمسا، 21–24 تشرين الأول/أكتوبر 1996، الصفحات 111–122

Voorspools, K.R., E.A. Brouwers, and W.D. D'Haeseleer (2000). محتوى الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة المجسدة

في منشئات الطاقة "الخالية من الانبعاثات": النتائج للبلدان المنخفضة. الطاقة التطبيقية، **67**(3)، الصفحات 307–330

طاقة الرياح (49)

Ardente, F., M. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano (2008). جوانب أداء الطاقة وتقدير دورة حياة مزرعة للرياح في إيطاليا. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **12**(1)، الصفحات 200–217

Berry, J.E., M.R. Holland, P.R. Watkiss, R. Boyd, and W. Stephenson (1998). توليد الطاقة والبيئة. منظور للمملكة المتحدة. تكنولوجيا AEA. أكسفوردشاير، المملكة المتحدة، ص 275

Chataignere, A., and D. Le Boulch (2003). نظم توربينات الرياح: التقرير النهائي. الطاقة في فرنسا (EDF R&D)، باريس، فرنسا، ص 110

Crawford, R.H (2009). تحليل دورة حياة الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة لتوربينات الرياح وتأثير الحجم على حصيلة الطاقة. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **13**(9) الصفحات 2653–2660

Dolan, S.L (2007). تقدير دورة الحياة والتجميع التوليفي الناشئ لمزرعة الرياح النظرية البعيدة عن الشاطىء جاكسونفيل، فلوريدا. أطروحة ماجستير. جامعة فلوريدا، ص 125. متوافر على:
http://etd.fcla.edu/UF/UFE0021032/dolan_s.pdf

Dones, R., T. Heck, C. Bauer, S. Hirschberg, P. Bickel, P. Preiss, L.I. Panis, and I. De Vlieger (2005). العناصر الخارجية للطاقة. تمديد الإطار المحاسبي وتطبيقات السياسات. تكنولوجيات الطاقة الجديدة. ENG1–CT–2002–00609، معهد بول شيرير، فيليجين، سويسرا، ص 76

Dones, R., C. Bauer, R. Bolliger, B. Burger, T. Heck, A. Roder, M.F. Emenegger, R. Frischknecht, N. Jungbluth, and M. Tuchschmid (2007). عمليات حصر دورة حياة نظم الطاقة: النتائج للنظم الجارية في سويسرا وفي غيرها من بلدان اتحاد تنسيق نقل الكهرباء في أوروبا. تقرير Ecoinvent رقم 5، معهد بول شيرير، المركز السويسري لعمليات حصر دورة الحياة، فيليجين، سويسرا، ص 185. متوافر على: www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life–cycle–analysis–PSI–05.pdf

DONG Energy (2008). نهج دورة الحياة إزاء تقييم تقنيات الطاقة الناشئة: التقرير النهائي عن تكنولوجيا الرياح في المناطق البعيدة عن الشاطىء. طاقة DONG، فريديريشيا، الدانمرك، ص 60

Enel SpA (2004). الإعلان عن المنهج البيئي المعتمد للكهرباء من منشأة اينيل للرياح في سكلافاني باني (باليرمو، إيطاليا). شركة اينيل، روما، إيطاليا، ص 25

المفوضية الأوروبية (1995): الرياح والهيدرولوجيا. العناصر الخارجية، العناصر الخارجية للطاقة، المفوضية الأوروبية، المديرية العامة الثانية عشرة، لوكسمبورغ، **6**، ص 295

Frischknecht, R (1998). حصر دورة الحياة لأغراض صنع القرار. نماذج نظام الحصر المعتمد على النطاق ومخصصات المنتج المشترك الخاص بالسياق. بحث المعهد السويسري الاتحادي للتكنولوجيا في زيوريخ، زيوريخ، سويسرا، ص 256

Hartmann, D (1997). تحليل انبعاثات غازات الدفيئة في السلسلة الكاملة للطاقة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في ألمانيا. في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتقدير انبعاثات غازات الدفيئة من السلسلة الكاملة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح. الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، النمسا، 21–24 تشرين الأول/أكتوبر 1996، الصفحات 77–87

Hondo, H (2005). تحليل دورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة في نظم توليد الطاقة. حالة اليابان. الطاقة، **30**(11–12)، الصفحات 2042–2056

Jacobson, M.Z (2009). استعراض الحلول الخاصة بالاحترار العالمي وتلوث الهواء وأمن الطاقة. الطاقة وعلوم البيئة، **2**، الصفحات 148–173

Jungbluth, N., C. Bauer, R. Dones, and R. Frischknecht (2005). تقدير دورة الحياة للتكنولوجيات الناشئة: دراسات حالة لطاقة الخلايا الفلطائية الضوئية وطاقة الرياح. الدورية الدولية لتقدير دورة الحياة، **10**(1)، الصفحات 24–34

Khan, F.I., K. Hawboldt, and M.T. Iqbal (2005). تحليل دورة الحياة للنظام المتكامل للرياح وخلايا الوقود– الرياح. الطاقة المتجددة، **30**(2)، الصفحات 157–177

Krewitt, W., P. Mayerhofer, R. Friedrich, A. Truckenmüller, T. Heck, A. Gressmann, F. Raptis, F. Kaspar, J. Sachau, K. Rennings, J. Diekmann, and B. Praetorius (1997). العناصر الخارجية للتنفيذ الوطني في ألمانيا، جامعة شتوتجارت، شتوتجارت، ألمانيا، ص 189

Kuemmel, B., and B. Sørensen (1997). تحليل دورة الحياة لكامل نظام الطاقة الدانمركي IMFUFA، المركز الجامعي في روسكيلد، روسكيلد، الدانمرك، ص 219

Lee, Y.–M., and Y.–E. Tzeng (2008). تحليل التنمية وحصر دورة الحياة في طاقة الرياح في تايوان. دورية هندسة الطاقة، **134**(2)، الصفحات 53–57

Lenzen, M., and U. Wachsmann (2004). توربينات الرياح في البرازيل وألمانيا. مثال على التقلبية الجغرافية في تقدير دورة الحياة: الطاقة التطبيقية، **77**(2)، الصفحات 119–130

Liberman, E.J (2003). تقدير دورة الحياة وتحليل اقتصادي لتوربينات الرياح باستخدام محاكاة مونت كارلو. أطروحة ماجستير، معهد القوات الجوية للتكنولوجيا. قاعدة القواعد الجوية في رايت – باترسون، أوهايو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 162

Martínez, E., F. Sanz, S. Pellegrini, E. Jiménez, and J. Blanco (2009). تقدير دورة الحياة لتوربين طاقة الرياح البالغ 2 ميجاوات: طريقة CML. الدورية الدولية لتقدير دورة الحياة، **14**(1)، الصفحات 52–63

McCulloch, M., M. Raynolds, and M. Laurie (2000). تقدير دورة الحياة لتوربين رياحي – معهد بيمينيا، وادي درايتون، البيرتا، كندا، ص 14

Nadal, G (1995). دورة الحياة للتلوث المباشر وغير المباشر المرتبط بالخلايا الفلطائية الضوئية PV ونظم طاقة الرياح في ISES 1995 المؤتمر العالمي للطاقة الشمسية Fundacion Bariloche هراري، زمبابوي، 11–15 أيلول/سبتمبر 1995، ص 39

Pacca, S.A (2003). تأثير الاحترار العالمي المطبق على تكنولوجيات توليد الكهرباء. أطروحة دكتوراة، جامعة كاليفورنيا، بيركيلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 191

Pacca, S.A., and A. Horvath (2002). انبعاثات غازات الدفيئة من بناء وتشغيل منشئات الطاقة الكهربية في أعالي حوض نهر كولورادو. علم البيئة والتكنولوجيا، **36**(14)، الصفحات 3194–3200

Pehnt, M (2006). تقدير دورة الحياة الدينامية لتكنولوجيات الطاقة المتجددة. الطاقة المتجددة، **31**(1)، الصفحات 55–71

Pehnt, M., M. Oeser, and D.J. Swider (2008). تحليل النظام البيئي اللاحق لإنتاج الكهرباء المتوقع بفعل الرياح من مناطق بعيدة عن الشاطىء في ألمانيا. الطاقة، **33**(5)، الصفحات 747–759

Proops, J.L.R., P.W. Gay, S. Speck, and T. Schröder (1996). انعكاسات التلوث مدى الحياة من مختلف أنواع توليد الكهرباء. تحليل للمدخلات والمخرجات. سياسة الطاقة، **24**(3)، الصفحات 229–237

Rule, B.M., Z.J. Worth, and C.A. Boyle (2009). مقارنة دورة حياة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والطاقة المجسدة في أربع تكنولوجيات لتوليد الكهرباء من طاقة متجددة في نيوزيلندا. علوم وتكنولوجيا البيئة، **43**(16)، الصفحات 6406–6413

Rydh, J., M. Jonsson, and P. Lindahl (2004). الاستعاضة عن توربينات الرياح القديمة التي يجري تقييمها من منظورات الطاقة والمنظورات البيئية والاقتصادية. جامعة كالمار، قسم التكنولوجيا. كالمار، السويد، ص 33

هيئة ساسكتشوان لصون الطاقة وتنميتها (1994). التكاليف المتعادلة ودورة الوقود الكاملة للآثار البيئية لخيارات ساسكتشوان للإمدادات الكهربائية. مطبوع SECDA رقم 004–94–T800، ساسكاتون، كندا، ص 205

Schleisner, L (2000). تقدير دورة حياة مزرعة للرياح وما يتصل بها من عناصر خارجية. الطاقة المتجددة، **20**(3)، الصفحات 279–288

Spitzley, D.V., and G.A. Keoleian (2005). التقدير البيئي والاقتصادي لدورة الحياة بشأن توليد الكهرباء من الكتلة الأحيائية للصفصاف مقارنة مع المصادر الأخرى المتجددة وغير المتجددة. التقرير رقم CSS04–05R، جامعة ميتشجان، مركز النظم المستدامة، آن آربر، ميتشجان، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 69

Tremeac, B., and F. Meunier (2009). تحليل دورة حياة توربينات رياح بقدرة 4.5 ميجاوات و250 وات. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **13**(8)، الصفحات 2104–2110

Uchiyama, Y (1997). تحليل دورة حياة الخلايا الفلطائية الضوئية ومنشئات طاقة الرياح في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية المعني بتقييم انبعاثات غازات الدفيئة من السلسلة الكاملة للطاقة بشأن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، النمسا، 21–24 تشرين الأول/أكتوبر 1996، الصفحات 111–122

van de Vate, J.F (1996). مقارنة انبعاثات غازات الدفيئة من السلسلة الكاملة للطاقة من توليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في: اجتماع الفريق الاستشاري التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية الذي نظمه المقر الرئيسي للوكالة، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، النمسا، 21–24 تشرين الأول/أكتوبر 1996، ص 13

Vattenfall AB (2003). الإعلان الخاص بالمنتج البيئي المعتمد للكهرباء من منشئات فاتنفو لطاقة الرياح السويدية، فاتنفول، استكهولم، السويد، ص 31

Vattenfall AB (2010). الإعلان الخاص بالمنتج البيئي المعتمد للكهرباء من طاقة الرياح من مزارع الرياح في فاتنفول. طاقة الرياح في فاتنفول. استكهولم، السويد، ص 51

نظم فيستاس A/S (2006). تقدير دورة الحياة لإنتاج الكهرباء من منشئات طاقة الرياح الواقعة في المناطق البعيدة عن الشاطىء والموجودة في توربينات فيستاس بقدرة 82 فولت – 1.65 ميجاوات، فيستاس، رانديرز، الدانمرك، ص 77

نظم فيستاس للرياح (2006). تقدير دورة الحياة لمنشئات طاقة الرياح الواقعة أمام الساحل وفي مناطق بعيدة عن الساحل في توربينات فيستاس بقدرة 90 فولت – 3 ميجاوات. فيستاس، رانديرز، الدانمرك، ص 60

Voorspools, K.R., E.A. Brouwers, and W.D. D'Haeseleer (2000). محتوى الطاقة والانبعاثات غير المباشرة لغازات الدفيئة المجسدة في منشئات الطاقة "الخالية من الانبعاثات": النتائج للبلدان المنخفضة. الطاقة التطبيقية، **67**(3)، الصفحات 307–330

Waters, T.M., R. Forrest, and D.C. McConnell (1997). تقدير دورة حياة طاقة الرياح. دراسة حالة تعتمد على مزرعة الرياح في باكس إيبر، إسبانيا. في: تحويل طاقة الرياح 1997. وقائع المؤتمر التاسع عشر لطاقة الرياح BWEA، R. Hunter (تحرير)، مطبوعات الهندسة الميكانيكية المحدودة. جامعة هاريوت – وات، أدنبره، المملكة المتحدة، 16–18 تموز/يوليو 1997، الصفحات 231–238

Weinzettel, J., M. Reenaas, C. Solli, and E.G. Hertwich (2009). تقدير دورة الحياة لتوربين الرياح الطافي في المناطق البعيدة عن الساحل. الطاقة المتجددة، **34**(3)، الصفحات 742–747

White, S (2006). سداد عائدات الطاقة الصافي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من ثلاث مزارع للرياح في ميدويسترن، تحديث بحوث الموارد الطبيعية، **15**(4)، الصفحات 271–281

White, S.W., and G.L. Kulcinski (1998). سداد عائدات الطاقة الصافي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الكهرباء المولدة من الرياح في مزارع الميدويست. UWFDM–1092، جامعة ويسكونسين، ميديسون، ويسكونسين، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 72

White, S.W., and G.L. Kulcinski (1999). تحليل "من المهد إلى اللحد" لمعدل سداد الطاقة ومعدلات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، فيسيون. منشئات طاقة الرياح والاندماج DT. جامعة ويسكونسين، مديسون، ويسكونسين. الولايات المتحدة الأمريكية، ص 17

Wibberley, L (2001). الفحم في مجتمع مستدام. برنامج بحوث رابطة الفحم الأسترالية، بريسبان، كوينزلاند، أستراليا

مجلس الطاقة العالمي (2004). مقارنة نظم الطاقة باستخدام تقدير دورة الحياة. مجلس الطاقة العالمي، لندن، المملكة المتحدة، ص 67

A.II.5.3 استعراض استخدام الماء التشغيلي في تكنولوجيات توليد الكهرباء

يتناول هذا العرض العام طرق إجراء استعراض شامل للتقديرات المنشورة عن سحب الماء التشغيلي وكثافة استهلاك التكنولوجيات المولدة للكهرباء. وتناقش النتائج في القسم 9.3.4.4 وتبين في الشكل 9.14.

A.II.5.3.1 منهجية الاستعراض

أجري استعراض للدراسات الخاصة بدورة حياة استهلاك الماء وسحبها لأغراض تكنولوجيات توليد الكهرباء إلا أن الاستعراض يركز بصورة حصرية، نظرا للافتقار إلى الجودة وعمق البيانات، على استخدام الماء التشغيلي. ودراسات دورة الحياة التي نظرت هنا عبارة عن دراسات اجتازت عملية الفرز المستخدمة في الاستعراض الوارد في هذا التقرير لدورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة من تكنولوجيات توليد الكهرباء (انظر A.II.5.2). واستخدام الماء الإنتاجي لمحاصيل الطاقة المستمدة من الوقود الأحيائي ليس موضوع هذا القسم.

ولم يغير هذا الاستعراض (باستثناء تحويل الوحدات) أو يتحقق من دقة تقديرات استخدام الماء المنشورة في الدراسات التي اجتازت معايير الفرز. كذلك فإنه نظرا لأن التقديرات تستخدم على النحو الذي نشرت به، فإنها تنطوي على قدر كبير من عدم الاتساق المنهجي مما يحد من إمكانيات المقارنة. وقد بُذلت بضع محاولات لاستعراض دراسات استخدام الماء التشغيلي في تكنولوجيات توليد الكهرباء وإن كان جميع هذه المحاولات محدودة من حيث شمولها للتكنولوجيات أو الدراسات الأولية التي جرت مراعاتها (Gleick, 1993; Inhaber, 2004; NETL, 2007a,b; WRA, 2008; Fthenakis and Kim, 2010). ولذا فإن هذا الاستعراض يحقق الإستنارة للمناقشات الواردة في هذا التقرير بطريقة فريدة.

جمع الدراسات

بدأ التعرف على الدراسات ذات الصلة بطائفة أساسية من المراجع احتفظ بها الباحثون في السابق وأعقب ذلك البحث في قواعد البيانات الببليوغرافية باستخدام طائفة من خوارزميات البحث وتوليفات من الكلمات الرئيسية ثم استعراض قوائم مرجعية لكل مرجع تم جمعه. وأضيفت جميع الدراسات المجمعة إلى قاعدة البيانات الببليوغرافية. وتسري طرق جمع الدراسات الواردة هنا على جميع فئات تكنولوجيات توليد الكهرباء المستعرضة في هذا التقرير.

فرز الدراسات

أخضعت المراجع المجمعة لعملية فرز بصورة مستقلة لاختيار المراجع التي تستوفي معايير الجودة والصلة بالموضوع. وقد وضعت دراسات الماء التشغيلي باللغة الإنكليزية وتناولت استخدام الماء التشغيلي في المرافق الواقعة في أمريكا الشمالية، ووفرت معلومات تكفي لحساب معامل كثافة استخدام الماء (بالأمتار المكعبة لكل ميجاوات ساعة ولدت). وأجرت تقديرات لاستهلاك الماء لم تزدوج مع أي تقديرات أخرى سبق نشرها، وكانت في نسق من الأنساق التالية: مقالات في الدوريات، وقائع أو تقارير المؤتمرات (بتأليف من وكالات حكومية ومنظمات غير حكومية ومؤسسات دولية أو مؤسسات). وجرى النظر بصورة متساوية في تقديرات المتوسط الوطني لكثافة استخدام الماء لتكنولوجيات معينة، وتقديرات لاستخدام الماء التشغيلي القائم للنباتات،

والتقديرات المستمدة من التجارب المختبرية. ونظراً للافتقار إلى تقديرات متاحة لاستهلاك الماء في تكنولوجيات توليد الكهرباء، وأن التقديرات التي نشرت تستخدم بالفعل في سياق السياسات، لم يطبق المزيد من الفرز على أساس الجودة أو تكامل الإبلاغ.

تحليل التقديرات

صنفت التقديرات بحسب تكنولوجيات الوقود ونظام التبريد. وقد أجريت بعض التجميعات لأنماط من تكنولوجيا الوقود وأنماط من نظم التبريد لتيسير التحليل. وتتضمن الطاقة الشمسية المركزة لكل من نظم المجرى المتكافئ المقطع وبرج الطاقة. وتتضمن الطاقة النووية مفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء المغلي. ويتضمن الفحم التكنولوجيات دون الحرجية وفوق الحرجية. وبالنسبة لتكنولوجيات التبريد المعاد تدويرها، لم توضع فروق بين السحب الطبيعي والسحب الميكانيكي في نظم برج التبريد. كذلك تعالج جميع نظم الأحواض المبردة بصورة متماثلة. ويجري تحويل التقديرات إلى وحدة وظيفية مشتركة بالأمتار المكعبة لكل ميجاوات يجري توليده. وقد أجري هذا التحويل باستخدام افتراضات خارجية، ولم يجر تحليل أي تقدير في حالة الحاجة إلى ذلك.

A.II.5.3.2 قائمة المراجع

لجنة الطاقة في كاليفورنيا (2008). تقرير الأداء البيئي لعام 2007 لنظام توليد الكهرباء في كاليفورنيا. لجنة الطاقة في كاليفورنيا CEC التقرير النهائي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.

Cohen, G., D. W. Kearney, C. Drive, D. Mar, and G. J. Kolb (1999). التقرير النهائي بشأن برنامج التشغيل والصون والتحسين لمنشئات الطاقة الشمسية المركزة. التقرير الفني لمختبرات ساندیا الوطنية. التقرير الفني doi:10.2172/8378، SAND99–1290، البوكويرك، الولايات المتحدة الأمريكية

Dziegielewski, B., and T. Bik (2006). القياسات الأساسية لاستخدام الماء لأغراض توليد الطاقة الكهروحرارية، تقرير بحوث إدارة الجغرافيا والموارد البيئية، جامعة جنوب الينوي ، كاربوندال، الينوي، الولايات المتحدة الأمريكية

EPRI (2002). الماء والاستدامة (المجلد 2): تقدير للطلب على الماء والإمداد والجودة في الولايات المتحدة الأمريكية – نصف القرن القادم. تقرير فني 1006785، معهد بحوث الطاقة الكهربية، بالو ألتو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية

EPRI and US DOE (1997). خواص تكنولوجيا الطاقة المتجددة، معهد بحوث الطاقة الكهربية، تقرير مواضيعي 109496، معهد بحوث الطاقة الكهربية وإدارة الطاقة في الولايات المتحدة، بالو ألتو، كاليفورنيا وواشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية

Feeley, T. J., L. Green, J. T. Murphy, J. Hoffmann, and B. A. Carney (2005). إدارة الطاقة|برنامج البحوث والتطوير في مكتب إدارة مياه منشأة الطاقة العاملة بالطاقة الأحفورية. المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة، بيتزبورج، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 18. متوافر على:
www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/pubs/IEP_Power_Plant_Water_R%26D_Final_1.pdf

Feeley, T. J., T. J. Skone, G. J. Stiegel, A. Mcnemar, M. Nemeth, B. Schimmoller, J. T. Murphy, and L. Manfredo (2008). الماء: مصدر رئيسي في صناعة الطاقة الكهروحرارية. الطاقة، **33**، الصفحات 1–11

Fthenakis, V., and H. C. Kim (2010). دورة حياة استخدامات الماء في توليد الكهرباء في الولايات المتحدة. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **14**، الصفحات 2039–2048

Gleick, P (1992). النتائج البيئية للتنمية الكهرومائية ،دور حجم ونوع المرفق. الطاقة، **17**(8)، الصفحات 735–747

Gleick, P (1993). الماء في أزمة: دليل إلى موارد الماء العذبة في العالم. دار نشر جامعة أكسفورد، نيويورك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية

Hoffmann, J., S. Forbes, and T. Feeley (2004). تقدير الاحتياجات من الماء العذبة لتلبية توقعات قدرة توليد الكهرباء في عام 2025. مختبر بيتزبورج الوطني لتكنولوجيا الطاقة، بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمريكية. ص 12. متوافر على:
www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/pubs/%Estimating%20Freshwater%20Needs%20to pdf.202025

Inhaber, H (2004). استخدام الماء في إنتاج الكهرباء المتجددة والتقليدية. مصادر الطاقة، الجزء ألف: الاستخلاص والاستخدام والتأثيرات البيئية، 26، الصفحات 322–309، doi:10.1080/00908310490266698

Kelly, B (2006). تحليل نظم نيكسانت الطاقة الشمسية ذات المجرى المتكافئ المقطع– المهمة 2: مقارنة رفض حرارة دورة رانكين الرطبة والجافة. تقرير مقاول من الباطن – NREL/SR–550–40163، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على:
www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/40163.pdf

Leitner, A (2002). الوقود من السماء. إمكانيات الطاقة الشمسية لإمدادات الطاقة الغربية – تقرير مقاول من الباطن NREL/SR 550–32160، المختبر الوطني للتكنولوجيا المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على:
www.nrel.gov/csp/pdfs/32160.pdf

Mann, M., and P. Spath (1997). تقدير دورة حياة نظام الدورة المجمعة لتغويز الكتلة الأحيائية. تقرير فني – TP–430–23076، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على:
www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/23076.pdf

Meridian (1989). انبعاثات نظام الطاقة والاحتياجات من المواد. تقرير مؤسسة ميريديان إلى إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية

المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة (2007). خط الأساس للتكاليف والأداء لمنشئات الطاقة الأحفورية – المجلد الأول: التقرير النهائي المعني بالفحم القيري والغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء / DOE/NETL–2007/1281. المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة، بيتسبورغ، بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمركية. متوافر على:
www.netl.doe.gov/energy–analyses/pubs/BitBase_Fi – Rep_2007.pdf

المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة (2007). دراسة عن استخدام وخسائر الماء في منشأة للطاقة. تحديث 2007 المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة، بيتسبورج، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على:
www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/pubs/pdf/WaterReport_Revised%20May2007.pdf

المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة (2009). تقدير الاحتياجات من الماء العذبة لتلبية احتياجات توليد الكهرو حرارية في المستقبل DOE/NETL–400/2009/1339، المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة، بيتسبورج، بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.netl.doe.gov/energy–ana – yses/pubs/2009%20Water%20Needs%20Analysis%20 –%20Final%20%289–30–2009%29.pdf

المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة (2009). المنشئات القائمة والانبعاثات والامتصاص – تحديد أهداف برنامج البحوث والتطوير للمياه – الطاقة. DOE/NETL–2009/1372، المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة، بيتسبورج، بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على:
www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/water/pdfs/EPEC%20water–energy%20R%26D%20goal%20update%20v.1%20may09.pdf

Sargent&Lundy (2003). تقدير توقعات التكاليف والأداء لتكنولوجيا الطاقة الشمسية المعتمدة على المجرى المتكافئ المقطع وبرج الطاقة

NREL/SR–550–34440. المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة المتجددة، جولدين، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.nrel.gov/docs/fy04osti/34440.pdf

Stoddard, L., J. Abiecunas, and R. O. Connell (2006). المنافع الاقتصادية والمتعلقة بالطاقة والبيئة للطاقة الشمسية المركزة/ NREL/SR–550–39291. المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدين، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.nrel.gov/docs/fy06osti/39291.pdf

Torcellini, P., N. Long, and R. Judkoff (2003). الاستخدام المقنن للمياه لإنتاج الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية. تقرير فني TP–550–33905. المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدين، كولورادو. متوافر على: www.nrel.gov/docs/fy04osti/33905.pdf

Turchi, C., M. Wagner, and C. Kutscher (2010). استخدام الماء في منشئات الطاقة العاملة بالمجرى المتكافئ المقطع: موجز نتائج مستخلصة من تحليلات WorleyParsons NREL/TP–5500–49468. المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدين، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.nrel.gov/docs/fy11osti/49468.pdf

إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية (2009). دراسة الاستخدام التجاري للطاقة الشمسية المركزة: خفض استهلاك الماء في توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية المركزة. تقرير إلى المؤتمر. إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية، واشنطن العاصمة. الولايات المتحدة الأمريكية

Viebahn, P., S. Kronshage, F. Trieb, and Y. Lechon (2008). التقرير النهائي عن البيانات الفنية والتكاليف وعمليات حصر دورة الحياة بشأن منشئات الطاقة الحرارية الشمسية. المشروع 502687. تطورات العناصر الخارجية للطاقة الجديدة لأغراض الاستدامة (needs)، بروكسل، بلجيكا، ص 95. متوافر على: www.needs-project.org/RS1a/RS1a%20D12.2%20Final%20report%20concentrating%20solar%20thermal%20power%20plants.pdf

WorleyParsons (2009). تحليل منشئات الطاقة الشمسية بالإعتماد على المجرى المتكافئ المقطع بقدرة 125 ميجاوات بالوسائل الرطبة والجافة المكثفة. تقرير وورلي بارسونز رقم NREL–2–ME–REP–0002–R0، مجموعة وورلي بارسونز، شمال سيدني، أستراليا

WorleyParsons (2009). تقييم التبريد الجاف في مشروع الطاقة الشمسية الإرشادي. تقرير وورلي بارسونز رقم NREL–0–LS–019–0005. مجموعة وورلي بارسونز، شمال سيدني، أستراليا

WorleyParsons (2010). المدخلات المادية لتقدير دورة الحياة المهمة 5 المهمة الفرعية 2: الجداول الزمنية للرصدات والقياسات. تقرير وورلي بارسونز رقم FPEL–0–LI–450–0001. مجموعة وورلي بارسونز، شمال سيدني، أستراليا

WorleyParsons (2010). المنشأة المرجعية للمجرى المتكافئ المقطع لنمذجة التكاليف بنموذج من استشاري الطاقة الشمسية. تقرير وورلي بارسونز. مجموعة وورلي بارسونز، شمال سيدني، أستراليا

دعاة الموارد الغربية WRA (2008). الممر المستدام: تلبية الطلبات على الماء والطاقة في نيفادا، دعاة الموارد الغربية، بولدر، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.westernresourceadvocates.org/water/NVenergy-water-report.pdf

Yang, X., and B. Dziegielewski (2007). استخدام الماء بواسطة منشئات الطاقة الحرارية الأرضية في الولايات المتحدة. دورية الرابطة الأمريكية لموارد الماء، **43**، الصفحات 160–169

A.II.5.4 تحليل المخاطر

يقدم هذا القسم الطرق المطبقة لتقدير الأخطار والمخاطر ذات الصلة بتكنولوجيات الطاقة الواردة في القسم 9.3.4.7، ويوفر مراجع وافتراضات رئيسية (الجدول A.II.5).

وتتوافر طائفة واسعة من التعاريف الخاصة بمصطلح المخاطر بحسب مجال التطبيق والهدف قيد الدراسة (Haimes, 2009). ففي مجال الهندسة والعلوم الطبيعية، تعرف المخاطر عادة بطريقة كمية: المخاطر (R) = الأرجحية (p) × النتيجة (C). ولا يتضمن هذا التعريف العوامل الذاتية لتصور المخاطر وتفاديها مما يمكن أن يؤثر أيضاً في عملية صنع القرار أي أن بوسع أصحاب المصلحة إجراء مبادلات بين عوامل المخاطر الكمية والنوعية (Gregory and Lichtenstein و Stirling). ويتزايد تعقيد عمليات تقدير المخاطر وتقييمها عندما تتجاوز بعض المخاطر بصورة كبيرة المستويات اليومية، وتفرض مناولتها تحدياً للمجتمع (WBGU, 2000). فعلى سبيل المثال حدد Renn وآخرون (2001) المخاطر في ثلاث فئات أو مجالات (1) المجال الذي تسهل إدارته من خلال العمليات الروتينية والقوانين واللوائح القائمة و(2) المجال الوسيط (3) المجال غير المحتمل (مجال التصريح). واقترح Kristensen et al. (2006) وآخرون خطة تصنيف منقحة لزيادة تحسين عملية توصيف المخاطر. وفي الآونة الأخيرة أصبحت جوانب إضافية مثل حماية البنية الأساسية والنظم المترابطة العقدة و"العوامل المجهولة غير المعروفة" محور تركيز رئيسية (Samson et al., 2009 و Zio, 2011 و Elahi, 2011).

ويرتكز تقييم "الأخطار والمخاطر" لمختلف تكنولوجيات الطاقة على النحو المبين في القسم 9.3.4.7 على نهج التقييم المقارن للمخاطر على النحو الذي وضع في معهد بول شيرير منذ تسعينات القرن الماضي[4] الذي يوضع في أساسه قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة ذات الصلة بالطاقة (ENSAD) (Hirschberg et al., 1998, 2003a و Burgherr et al., 2004, 2008 و Burgherr and Hirschberg, 2005). ومن الضروري النظر إلى سلسلة الطاقة الكاملة لأن من الممكن أن تقع حادثة في أي مرحلة من السلسلة نتيجة لانفجار أو استخلاص أو تجهيز أوتخزين، أوالنقل لمسافات بعيدة والتوزيع الإقليمي المحلي، وتوليد الطاقة و/أو الحرارة، ومعالجة النفايات، والتخلص. غير أن هذه المراحل لا تسري كلها على كل سلسلة للطاقة. فبالنسبة لسلاسل الطاقة الأحفورية (الفحم والنفط والغاز الطبيعي) والطاقة المائية، فإن خبرات تاريخية واسعة النطاق ترد في قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة للفترة من 1970 إلى 2008. وفي حالة الطاقة النووية، يستخدم تقييم السلامة المتكافئة لمعالجة حوادث افتراضية (Hirschberg et al., 2004a). وعلى العكس من ذلك فإن دراسة تكنولوجيات الطاقة المتجددة غير الطاقة المائية يعتمد على إحصاءات الحوادث المتوافرة واستعراض الدراسات وتقديرات الخبراء بالنظر إلى محدودية الخبرات التاريخية أو انعدامها. وتجدر الإشارة الى أن التحليلات المتوافرة محدودة الأفق ولا تتضمن نمذجة متكافئة للحوادث الافتراضية. وقد يكون لذلك تأثيرات على النتائج المتعلقة بالخلايا الفلطائية الشمسية.

ولا يوجد أي تعريف متفق عليه لمصطلح "الحادث الجسيم" في الدراسات. ففي إطار قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة لمعهد بول شيرير، يعتبر الحادث جسيما إذا اتصف بواحدة أو أكثر من النتائج التالية:

- ما لا يقل عن 5 وفيات أو
- ما لا يقل عن 10 جرحى أو
- إخلاء ما لا يقل عن 200 شخص أو
- فرض حظر واسع النطاق على استهلاك الأغذية أو
- إطلاق هيدروكربونات تتجاوز 10 000 طن متري أو
- تطهير مفروض على الأراضي والماء في مساحة لا تقل عن 25 كيلومتراً مربعاً أو

4 عقد Felder (2009) في دراسة أجريت مؤخراً مقارنة بين قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة وتجميع آخر لحوادث الطاقة (Sovacool, 2008a). وعلى الرغم من الفروق الكبيرة العديدة والجزئية فيما بين المجموعتين من البيانات، عولج العديد من النتائج المهمة فيما يتعلق بالجوانب المنهجية والسياساتية. غير أن الدراسة كانت تركز على البيان الرسمي الأول لقاعدة بيانات الحوادث الجسيمة (Hirschberg et al., 1998)، وتغاضى عن جميع التحديثات والتمديدات اللاحقة. وثمة دراسة أخرى أجراها Colli et al (2009) اتخذت نهجاً مختلفاً بصورة طفيفة باستخدام مجموعة واسعة مما يسمى بمؤشرات تصنيف المخاطر، إلا أن الاختبار الفعلي مع أمثلة توضيحية استند إلى بيانات قاعدة الحوادث الجسيمة ENSAD.

الجدول A.II.5 : نظرة عامة لمصادر البيانات والافتراضات لحساب نسب الوفيات والعواقب في حدودها القصوى

الفحم

- قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة المتعلقة بالطاقة في معهد بول شيرير.[1]
- منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: 1970–2008 وقعت 86 حادثة، والوفيات 2239 . الاتحاد الأوروبي بأعضائه السبعة والعشرين: 1970–2008 وقعت 45 حادثة والوفيات 989، البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بدون الصين 1970–2008 وقعت 163 حادة والوفيات 5808 (Burgherr et al., 2011)
الدراسات السابقة: 2004, 2008) Burgherr et al.; (1998) Hirschberg et al.)
- الصين (1994–1999): وقعت 818 حادثة، الوفيات 302 11 (Hirschberg et al., 2003a; Burgherr and Hirschberg, 2007)
- الصين (2000–2009) للمقارنة حسب معدل الوفيات في الفترة 2000 إلى 2009 على أساس البيانات التي أبلغت عنها إدارة الدولة لسلامة العمل (SATW) في الصين2 . وتتوافق القيم السنوية المقدمة من هذه الإدارة مع مجموع الوفيات (أي الحوادث السجيمة والكبرى) . وعلى ذلك افترض، لحساب معدل الوفيات أن الوفيات من الحوادث الجسيمة تتألف من 30 في المائة من مجموع الوفيات على النحو الذي تبين في برنامج الصين لتكنولوجيا الطاقة (Hirschberg et al., 2003a; Burgherr and Hirschberg, 2007)، معدل الوفيات في الصين (2000–2009) = 3104 من الوفيات لكل GWeyr .

النفط

- قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة لمعهد بول شيرير، وقت حوادث جسيمة (5≤ وفيات)[1]
- منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 1970–2008 وقعت 179 حادثة، الوفيات 3383، الاتحاد الأوروبي بأعضائه السبعة والعشرين: 1970–2008 وقعت 64 حادثة، والوفيات 1236 والبلدان غير الأعضاء في تلك المنظمة 1970–2008 ;Non–OECD وقعت 351 حادثة، الوفيات 19 376 (Burgherr et al., 2011)
الدراسات السابقة: (2004, 2008) Burgherr et al.; (1998) Hirschberg et al.

الغاز الطبيعي

- قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة لمعهد بول شيرير، الحوادث الجسيمة (5≤ وفيات)[1]
- منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: 1970–2008 وقعت 109 حوادث والوفيات 1257 الاتحاد الأوروبي بأعضائه السبعة والعشرين 1970–2008، وقعت 77 حادثة والوفيات 1549 (Burgherr et al., 2011)
الدراسات السابقة: 2005) Burgherr and Hirschberg ; (2004, 2008) Burgherr et al. ; (1998) Hirschberg et al.)

الطاقة النووية

- الجيل الثاني (Gen. II) مفاعل الماء المضغوط، سويسرا، تبسيط تقييم السلامة الاحتمالية المبسطة (Roth et al., 2009)
- الجيل الثالث (Gen III) المفاعل الأوروبي المضغوط (2030 (EPR – سويسرا، تقييم السلامة الإحتمالية المبسطة (Roth et al., 2009) . تشير النتائج المتوافرة عن المفاعل المضغوط المشار إليه أعلاه إلى انخفاض شديد في معدلات الوفيات المبكرة (07–3.83E :EE وفيات / GWeyr الوفيات المتأخرة (05–1.03E :LF وفيات / GWeyr ومجموع الوفيات (05–1.07E :TF وفيات / GWeyr نتيجة لطائفة من الجوانب المتقدمة وخاصة فيما يتعلق بالنظم النشطة والسلبية لإدارة الحوادث الجسيمة (SAM) . غير أن النتائج القصوى للحوادث الافتراضية قد تزيد ca. 48,800 وفاة نتيجة لحجم المنشأة الكبير (1600 ميجاوات) والحصر الإشعاعي الكبير المرتبط بها .
- وفي حالة وقوع حادث جسيم في سلسلة نووية، فإن الوفيات المباشرة أو المبكرة (الحادة) تكون أقل أهمية وتشير إلى تلك الوفيات التي تحدث في فترة قصيرة بعد الانفجار، في حين أن الوفيات المتأخرة (المزمنة) التي تقع نتيجة للإصابة بالسرطان تغلب على مجموع الوفيات (Hirschberg et al., 1998) . ولذا فإن التقديرات الواردة أعلاه عن الجيلين الثاني والثالث تتضمن الوفيات المباشرة والمتأخرة.
- جزيرة الثلاثة أميال 2 – TMI–2) . وقعت حادثة TMI–2 نتيجة لفشل المعدات بالاقتران مع بعض الأخطاء البشرية . ونظراً لصغر حجم الإشعاع المطلق، فإن الجرعة الفعالة الكلية المقدرة للجمهور بلغت نحو 40 سيفرت SV)) للفرد وكانت الجرعات الفرعية لأفراد الجمهور منخفضة <1 سيفرت للفرد في أسوأ الحالات . وبناء على الجرعة الجماعية قدرت حالة وفاة إضافية بسبب السرطان غير أنه تم إجلاء 000 144 شخص عن النطقة المحيط بالمنشأة ولمزيد من المعلومات انظر 1998) Hirschberg et al.)
- تشيرنوبيل[3]: وقعت 31 حالة وفاة مباشرة، وأشارت التقديرات استناداً إلى تقييم السلامة الاحتمالية إلى ما بين 9000 و000 33 حالة وفاة متأخرة (Hirschberg et al., 1998)
- وتشير تقديرات معهد بول شيرير لشيرنوبيل بأن الوفيات المتأخرة تتراوح بين نحو 9000 لأوكرانيا وروسيا وبيلاروس إلى 000 33 لكامل نصف الكرة الشمالي خلال السبعين عاما القادمة (Hirschberg et al., 1998) . ووفقا لدراسة أجراها مؤخرا العديد من منظمات الأمم المتحدة فإن 4000 شخص قد يتعرضون للموت نتيجة للتعرض للإشعاع في أكثر المناطق تلوثا (منتدى تشيرنوبيل 2005) . ويقل هذا التقرير كثيراً عن الحدود العليا لتدخل معهد بول شيرير PSI الذي لم يقتصر على أي حال على أكثر المناطق تلوثا.

الطاقة المائية

- قاعدة بيانات الأحداث الجسيمة لدى معهد بول شيرير، الحوادث الجسيمة (5≥ وفيات)[1]
- منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: 1970–2008، حادثة واحدة، 14 حالة وفاة (انهيار سد تيتون، الولايات المتحدة الأمريكية، 1967) الاتحاد الأوروبي بأعضائه السبعة والعشرين 1970–2008 . حادثة واحدة و116 حالة وفاة (انهيار سد بيلش، رومانيا 1991) (Burgherr et al., 2011)
- واستنادا إلى نموذج نظري، فإن النتائج القصوى للانهيار الكامل للسد السويسري الكبير تراوح بين 7125 و050 11 حالة وفاة دون إنذار مسبق إلا أن هذا العدد يمكن أن ينخفض إلى ما يتراوح بين 2 و27 حالة وفاة خلال ساعتين قبل الإنذار المسبق (Burgherr and Hirschberg, 2005 والمرجع عنه)
- البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 1970–2008 وقعت 12 حادثة 007 30 حالة وفاة . البلدان غير الأعضاء في تلك المنظمة دون بانجاوار وشيمانتان 1970–2008 11 حادثة و2007 حالات وفاة، مع استبعاد أكبر حادثة تقع في الصين (انهيار سد بانجاو وشيمانتان 1975) (Burgherr et al., 2011)
- الدراسات السابقة: (2004, 2008) Burgherr et al. ; (1998) Hirschberg et al.

الخلايا الفلطائية الضوئية (PV)

- لا تشمل التقديرات الحالية سوى تكنولوجيات السليكون (Si) المرجحة بحصص السوق الخاصة بالعام 2008 أي 86 في المائة للسليكون (S) و5.1 في المائة بشأن Si/u–Si
- يغطي التحليل مخاطر بعض المواد الخطرة (الكلورين وحامض الهيدروكوليرك والسيلين والتريلكوروسيلين) ذات الصلة في دورة حياة الخلايا الفلطائية الضوئية للسليكون .
- جمعت بيانات الحوادث للولايات المتحدة الأمريكية (التي تتوافر لها تغطية جيدة) وللأعوام 2000 إلى 2008 لكي تكون التقديرات تمثيلية للتكنولوجيات العاملة الحالية .
- مصادر قاعدة البيانات : نظام الأخطار بالاستجابة للطوارئ، وخطة إدارة المخاطر، ودائرة بيانات الحوادث الخطيرة الرئيسية، ونظام الإبلاغ عن الحوادث الرئيسية، والتحليل البحوث والمعلومات عن الحوادث، وتحديث السلامة المهنية والصحة.
- ونظرا لأن الحوادث المجمعة لم تكن من قطاع الخلايا الفلطائية فقط، قدرت نسبة الوفيات الفعلية منها استناداً إلى كميات المواد المشاري إليها أعلاه في قطاع الخلايا الفلطائية كنسبة من مجموع الإنتاج في الولايات المتحدة الأمريكية فضلا عن بيانات من قاعدة بيانات ecoinvent
- جرى تطبيع حالات الوفاة التجميعية للمواد الأربع المشار إليها أعلاه في وحدة إنتاج الطاقة باستخدام عامل تحليل عام قدره 10 في المائة (Burgherr et al., 2008)
- الافتراض بأن حادثة واحدة من بين 100 كانت جسيمة 3
- التقدير الحالي لمعدل الوفيات : (Burgherr et al., 2011)
- النتائج القصوى تمثل تقديراً لأحد الخبراء نتيجة لمحدودية الخبرات التاريخية (Burgherr et al., 2008)
- الدراسات السابقة: (2009) Roth et al. ; (2008) Burgherr et al. ; (2004b) Hirschberg et al.
- الدراسات الأخرى: (2010) Fthenakis and Kim ; (2006) Fthenakis et al. ; (1982) Ungers et al.)

Continued next Page →

‹طاقة الرياح أمام السواحل

- مصادر المعلومات: قاعدة بيانات موتى طاقة الرياح (Gipe, 2010) تجميع حوادث توربين الرياح (منتدى معلومات مزرعة Caithness للرياح 2010)
- الحوادث المميتة في ألمانيا خلال الفترة 1995–2010: 10 حوادث، 10 حالات وفاة، واستبعدت من التحليل 3 حوادث سيارات قدم السبب بأنه عدم تركيز السائق نتيجة لمزرعة الرياح.
- الافتراض بأن حادثة واحدة من بين 100 هي حادثة جسيمة[3]
- التقديرات الحالية لحالات الوفاة: (Burgherr et al., 2011)
- النتائج القصوى تمثل تقديراً للخبراء نتيجة لمحدودية الخبرات السابقة (Roth et al., 2009)
- الدراسات السابقة: Hirschberg et al (2004b)

طاقة الرياح بعيداً عن السواحل

- مصادر البيانات: انظر أمام الساحل أعلاه
- وقعت حتى الآن حادثتان جسيمتان خلال عمليات بناء في المملكة المتحدة (2009 و2010) مع حالتي وفاة ووقعت حادثتان جسيمتان خلال نشاطات بحثية في الولايات المتحدة الأمريكية (2008) مع حالتي وفاة
- للتقديرات الحالية، لم تستخدم سوى حادثتي المملكة المتحدة مع افتراض عامل تحميل عام قدره 0.43 (Roth et al., 2009) للقدرات المركبة حالياً البالغة 1.340 ميجاوات (الطاقة المتجددة في المملكة المتحدة 2010)
- افتراض حادثة واحدة من بين 100 هي حادثة جسيمة [3]
- التقدير الحالي لمعدل الوفاة: Burgherr et al (2011)
- النتائج القصوى: انظر أمام الساحل أعلاه

الكتلة الأحيائية: الغاز الأحيائي للحرارة والطاقة مجتمعين

- قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة في معهد بول شيرير، الحوادث الجسيمة (5≤ حالة وفاة). ونظراً لمحدودية الخبرات التاريخية، كان معدل وفيات الغاز الأحيائي للحرارة والطاقة مجتمعين تقريباً باستخدام بيانات حادث الغاز الطبيعي من مرحلة سلسلة التوزيع المحلي.
- منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 1970–2008 وقعت 24 حادثة و260 حالة وفاة (Burgherr et al., 2011)
- النتائج القصوى تمثل تقديرات خبير نتيجة لمحدودية الخبرات التاريخية (Burgherr et al., 2011)
- الدراسات السابقة: Roth et al. (2009)

نظام الطاقة الحرارية الأرضية المعززة

- بالنسبة لحسابات معدل الوفيات، لم تؤخذ في الاعتبار سوى حوادث حفر الآبار، ونظراً لمحدودية الخبرات التاريخية، استخدمت حوادث التنقيب في سلسلة النفط كعامل تقريبي خام بالنظر إلى معدات الحفر المماثلة.
- قاعدة بيانات الحوادث الجسيمة في معهد بول شيرير: الحوادث الجسيمة (5≤ حالة وفاة)
- منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 1970–2008 وقعت 7 حوادث مع 63 حالة وفاة Burgherr, et al. 2011)
- بالنسبة للنتائج القصوى: رئي أن حادث زلزال مستحث يمثل أكثر الحوادث جسامة. ونظراً لمحدودية الخبرات التاريخية، أخذت حدود الدنيا العليا من تقييم مخاطر الزلازل في مشروع لنظام الحرارية الأرضية المعززة في بازل في سويسرا كمعدل تقريبي (Dannwolf and Ulmer, 2009)
- الدراسات السابقة: Roth et al (2009)

ملاحظات:

1 معدلات الوفيات طبعت مع وحدة إنتاج الطاقة في التجميع القطري المقابل. النتائج القصوى تتوافق مع أكثر الحوادث المميتة التي وقعت في فترة الرصد. 2 البيانات من إدارة الدولة لسلامة العمل SATW للسنوات 2000 إلى 2005 أبلغت في نشرة الأخبار السريعة للعمل في الصين رقم 60 (06–01–2006) متوافرة على: www.china-labour.org.hk/en/

- خسائر اقتصادية لا تقل عن 5 ملايين دولار أمريكي بأسعار 2000

وفيما يتعلق بتكنولوجيات الطاقة المركزية، ترد النتائج بالنسبة لثلاث مجموعات بلدان رئيسية هي منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والبلدان غير الأعضاء في هذه المنظمة فضلاً عن الاتحاد الأوروبي ببلدانه السبعة والعشرين. وهذه التصنيف له مغزى بالنظر إلى الفروق الكبيرة في الإدارة والأطر التنظيمية وثقافة السلامة العامة فيما بين البلدان الأكثر تقدماً (مثل منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والاتحاد الأوروبي ببلدانه السبعة والعشرين) والبلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الإقتصادي الأقل تقدماً في معظمها (Burgherr and Hirschberg, 2008). وفي حالة الصين، فإن بيانات سلسلة الفحم لم تخضع للتحليل إلا عن السنوات 1994 إلى 1999 عندما توافرت البيانات عن الحوادث الفردية من الكتاب السنوي لصناعة الفحم في الصين (CCIY) مما يشير إلى أن السنوات السابقة كانت تعاني من نقص شديد في الإبلاغ (Hirschberg et al., 2003a,b). ولم تتوافر عن الفترة 2000 إلى 2009 سوى المجاميع السنوية عن الوفيات في سلسلة الفحم من الكتاب السنوي لصناعة الفحم في الصين، وهذا هو السبب في أنها لم تجمع مع البيانات من الفترات السابقة. ويمكن اعتبار التقديرات الخاصة بتكنولوجيات الطاقة المتجددة باستثناء الطاقة المائية أنها تمثيلية بالنسبة للبلدان المتقدمة (مثل منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والاتحاد الأوروبي ببلدانه السبعة والعشرين).

وقد اعتمدت المقارنات بين مختلف سلاسل الطاقة، على البيانات المهيأة مع وحدة إنتاج الكهرباء. وبالنسبة لسلسلة الطاقة الأحفورية، جرى تحويل الطاقة الحرارية إلى مكافئ للنواتج الكهربية باستخدام عامل كفاءة عام يبلغ 0.35. أما بالنسبة للطاقة النووية والطاقة المائية والتكنولوجيات المتجددة الجديدة، فإن التطبيع عملية مباشرة بالنظر إلى أن المنتج المولد عبارة عن طاقة كهربية. وقد اختير ميجاوات الكهرباء– سنة (GWeyr) بالنظر إلى أن المنشئات الفردية الكبيرة لديها قدرات في المناطق المجاورة تبلغ 1 ميجاوات من الناتج الكهربائي (GWer) مما يجعل (GWeyr) وحدة طبيعية يمكن أن تستخدم لدى تقديم المؤشرات المطبقة التي جرى تحقيقها في عمليات تقدير التكنولوجيا.

A.II.6 التعاريف الإقليمية ومجموعات البلدان

يستخدم التقرير الخاص المعني بمصادر الطاقة المتجددة SRREN للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ التعاريف الإقليمية ومجموعات البلدان التالية التي تستند إلى حد كبير إلى التعاريف الواردة في توقعات الطاقة العالمية

لعام 2009 (الوكالة الدولية للطاقة 2009) ويتباين تجميع الأسماء والتعاريف في الدراسات المنشورة وقد يكون هناك في التقرير الخاص SRREN، في بعض الحالات، انحرافات طفيفة عن المواصفات التالية. وترد بين أقواس أسماء المجموعات البديلة المستخدمة في التقرير الخاص SRREN.

أفريقيا

الجزائر، أنغولا، بنن، بوتسوانا، بوركينا فاسو، بوروندي، الكاميرون، الرأس الأخضر، جمهورية أفريقيا الوسطى، تشاد، جزر القمر، الكونغو، جمهورية الكونغو الديمقراطية، كوت ديفوار، جيبوتي، كينيا، ليسوتو، ليبيريا، ليبيا، مدغشقر، ملاوي، مالي، موريتانيا، موريشيوس، المغرب، موزامبيق، ناميبيا، النيجر، نيجيريا، رينيون، رواندا، سان تومي وبرينسيبي، السنغال، سيشيل، سيراليون، الصومال، جنوب أفريقيا، السودان، سوازيلند، جمهورية تنزانيا المتحدة، توغو، تونس، أوغندا، زامبيا، زمبابوي.

المرفق الأول الأطراف في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ

أستراليا، النمسا، بيلاروس، بلجيكا، بلغاريا، كندا، كرواتيا، الجمهورية التشيكية، الدانمرك، استونيا، فنلندا، فرنسا، ألمانيا، اليونان، هنغاريا، أيسلندا، أيرلندا، إيطاليا، بولندا، البرتغال، رومانيا، الاتحاد الروسي، الجمهورية السلوفاكية، سلوفينيا، إسبانيا، السويد سويسرا، تركيا، أوكرانيا، المملكة المتحدة، الولايات المتحدة.

أوروبا الشرقية وأوراسيا (ويشار إليها في بعض الأحيان 'الاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية')

ألبانيا، أرمينيا، أذربيجان، بيلاروس، البوسنة والهرسك، بلغاريا، كرواتيا، استونيا، جورجيا، كازاخستان، قيرغيزستان، لاتفيا، ليتوانيا، جمهورية مقدونيا اليوغوسلافية السابقة، جمهورية مولدوفا، رومانيا، الاتحاد الروسي، صربيا، سلوفينيا، طاجيكستان، تركمانستان، أوكرانيا، أوزبكستان. لأسباب إحصائية يشمل هذا الإقليم أيضاً قبرص وجيبلاتر ومالطة.

الاتحاد الأوربي

أستراليا، بلجيكا، بلغاريا، قبرص، الجمهورية التشيكية، الدانمرك، استونيا، فنلندا، فرنسا، ألمانيا، اليونان، هنغاريا، أيرلندا، إيطاليا، لاتفيا، ليتوانيا، لكسمبورغ، مالطة، هولندا، بولندا، البرتغال، رومانيا، الجمهورية السلوفاكية، سلوفينيا، إسبانيا، السويد، المملكة المتحدة.

الدول الثماني الكبرى

كندا، فرنسا، ألمانيا، إيطاليا، اليابان، الاتحاد الروسي، المملكة المتحدة، الولايات المتحدة.

أمريكا اللاتينية

أنتيغوا وبربودا، أروبا، الأرجنتين، جزر البهاما، بربادوس، بليز، برمودا، بوليفيا، البرازيل، جزر فرجين البريطانية، جزر كايمان، شيلي، كولومبيا، كوستاريكا، كوبا، دومينيكا، الجمهورية الدومينيكية، إكوادور، السلفادور، جزر فوكلاند، غيانا الفرنسية، غرينادا، غواديلوب، غواتيمالا، غيانا، هايتي، هندوراس، جامايكا، مارتينيك، مونسيرات، هولندا، جزر الأنتيل، نيكاراغوا، بنما، باراغواي، بيرو، سانت كيتس ونيفيس، سانت لوسيا، سان بيير وميكيلون، سانت فنسنت وغرينادين، سورينام، ترينيداد وتوباغو، جزر الترك وكايكوس، أوروغواي، فنزويلا.

الشرق الأوسط

البحرين، جمهورية إيران الإسلامية، العراق، إسرائيل، الأردن، الكويت، لبنان، عمان، قطر، المملكة العربية السعودية، الجمهورية العربية السورية، الإمارات العربية المتحدة، اليمن. وتشمل المنطقة المحايدة بين المملكة العربية السعودية والعراق

بلدان آسيا غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (ويشار إليها أحياناً ببلدان آسيا النامية)

أفغانستان، بنغلاديش، بوتان، بروني دار السلام، كمبوديا، الصين، تايبي الصينية، جزر كوك، تيمور الشرقية، فيجي، بولينيزيا الفرنسية، الهند، اندونيسيا، كيريباتي، جمهورية كوريا الديمقراطية الشعبية، لاوس، ماكاو، ماليزيا، مالديف، منغوليا، ميانمار، نيبال، كاليدونيا الجديدة، باكستان، بابوا غينيا الجديدة، الفلبين، ساموا، سنغافورة، جزر سليمان، سري لانكا، تايلند، تونغا، فييت نام، فانواتو.

أفريقيا الشمالية

الجزائر، مصر، الجماهيرية العربية الليبية، المغرب، تونس.

منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي

أعضاء المنظمة OECD في أوروبا، أعضاء المنظمة OECD في أمريكا الشمالية أعضاء المنظمة OECD في المحيط الهادئ على النحو المدرج أدناه. ولم تدرج بعد البلدان التي انضمت إلى المنظمة OECD في 2010 (شيلي واستونيا وإسرائيل وسلوفينيا) في الإحصاءات المستخدمة في هذا التقرير.

بلدان أوروبا الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي

النمسا، بلجيكا، الجمهورية التشيكية، الدانمرك، فنلندا، فرنسا، ألمانيا، اليونان، هنغاريا، أيسلندا، أيرلندا، إيطاليا، لكسمبورغ، هولندا، النرويج، بولندا، البرتغال، الجمهورية السلوفاكية، إسبانيا، السويد، سويسرا، تركيا، المملكة المتحدة.

بلدان أمريكا الشمالية الأعضاء في المنظمة OECD

كندا، المكسيك، الولايات المتحدة.

بلدان المحيط الهادئ الأعضاء في المنظمة OECD

أستراليا، اليابان، كوريا، نيوزيلندا.

البلدان المصدرة للنفط OPEC

الجزائر، أنغولا، إكوادور، جمهورية إيران الإسلامية، العراق، الكويت، ليبيا، نيجيريا، قطر، المملكة العربية السعودية، الإمارات العربية المتحدة، فنزويلا.

أفريقيا جنوب الصحراء

مجموعة أفريقيا الإقليمية باستثناء مجموعة أفريقيا الشمالية الإقليمية وجنوب أفريقيا.

A.II.7 عوامل التحويل العامة للطاقة

يقدم الجدول A.II.6 عوامل التحويل الخاصة بطائفة من الوحدات ذات الصلة بالطاقة.

الجدول A.II.6 عوامل التحويل الخاصة بوحدات الطاقة (الوكالة الدولية للطاقة 2010b)

إلى:	TJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
من:	مضروباً في:				
TJ	1	238.8	2.388×10^{-5}	947.8	0.2778
Gcal	4.1868×10^{-3}	1	10^{-7}	3.968	1.163×10^{-3}
Mtoe	4.1868×10^{4}	10^{7}	1	3.968×10^{7}	11,630
MBtu	1.0551×10^{-3}	0.252	2.52×10^{-8}	1	2.931×10^{-4}
GWh	3.6	860	8.6×10^{-5}	3,412	1

ملاحظات: MBtu: مليون وحدة حرارية بريطانية؛ GWh: جيجاوات ساعة؛ Gcal: جيجاكالوري؛ TJ: تيراجول؛ Mtoe: ميجاتون من مكافئ النفط.

المراجع

Aven, T., and E. Zio (2011). بعض الاعتبارات الخاصة بمعالجة حالات عدم اليقين في تقييم المخاطر لصانعي القرارات العملية. هندسة التعويل وسلامة النظام، 96، الصفحات 64–74

Beerten, J., E. Laes, G. Meskens, and W. D'haeseleer (2009). انبعاثات غازات الدفيئة في دورة الحياة الأحادية: تقييم متوازن. سياسة الطاقة، **37**(12)، الصفحات 5056–5058

BP (2009). استعراض بريتش بيتروليوم BP الإحصائي للطاقة العالمية، لندن، المملكة المتحدة

Burgherr, P., and S. Hirschberg (2005). تقييم مقارن لمخاطر أحداث الغاز الطبيعي. تقرير معهد بول شيرير رقم 05–01 – No. معهد بول شيرير. فيليجين، سويسرا

Burgherr, P., and S. Hirschberg (2007). تقييم لمخاطر الحوادث الجسيمة في سلسلة الفحم الصيني، الدورية الدورية لتقييم المخاطر وإدارتها، 7(8)، الصفحات 1157–1175

Burgherr, P., and S. Hirschberg (2008). تحليل مقارن لمخاطر الحوادث في سلاسل الوقود الأحفوري والمائي والنووي. تقييم المخاطر البشرية والإيكولوجية، **14**(5)، الصفحات 947–973

Burgherr, P., S. Hirschberg, and E. Cazzoli (2008). تقرير نهائي عن التقييم الكمي لمؤشرات المخاطر لتقييم استدامة خيارات الإمدادات الكهربية في المستقبل. رسالة NEEDS رقم D7.1 المسار البحثي 2b مشروع NEEDS. تطورات العناصر الخارجية للطاقة الجديدة لأغراض الاستدامة، بروكسل، بلجيكا

Burgherr, P., S. Hirschberg, A. Hunt, and R.A. Ortiz (2004). الحوادث الجسيمة في قطاع الطاقة. التقرير النهائي للمفوضية الأوروبية عن البرنامج الإطاري الخامس للاتحاد الأوروبي "العناصر الجديدة لتقييم التكاليف الخارجية لتكنولوجيات الطاقة" (NewExt). المديرية العامة للبحوث. التطور التكنولوجي والبيانات التوضيحية (RTD)، بروكسل، بلجيكا

Burgherr, P., P. Eckle, S. Hirschberg, and E. Cazzoli (2011). التقرير النهائي عن مخاطر الحوادث الجسيمة بما في ذلك المؤشرات الرئيسية. رسالة SECURE رقم D5.7.2a. نظر عدم اليقين في أمن الطاقة. انعكاسات المخاطر والنواحي الاقتصادية (SECURE) بروكسل، بلجيكا. متوافر على: gabe.web.psi.ch/pdfs/s – cure/SECURE%20–%20Deliverable_D5–7–2%20–%20Severe%20Accident%20Risks.pdf

منتدى معلومات مزرعة كايتنس للرياح (2010). موجز بيانات حادث تورين الرياح حتى الثلاثين من أيلول / سبتمبر 2010. منتدى معلومات مزرعة كايتنس للرياح، المملكة المتحدة. متوافرة على: www.caithnesswindfarms.co.uk/fullaccidents.pdf

منتدى تشيرنوبل (2005). تراث تشيرنوبل: الآثار الصحية والبيئية والاجتماعية – الاقتصادية والتوصيات المقدمة لحكومات بيلاروس والاتحاد الروسي وأوكرانيا. منتدى شيرنوبل: 2003–2005. النسخة المنقحة الثانية. الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، النمسا

Colli, A., D. Serbanescu, and B.J.M. Ale (2009). مؤشرات لعقد مقارنات بشأن تعبيرات المخاطر، وتجميعاتها، والتصنيف النسبي لمخاطر نظم الطاقة: التطبيق مع بعض الحوادث من الوقود الأحفوري. علم السلامة، **47**(5)، الصفحات 591–607

Dannwolf, U.S., and F. Ulmer (2009). مقارنة مخاطر التكنولوجيات في مشروع DHM للحرارية الأرضية في بازل، سويسرا – تقييم المخاطر بما في ذلك الجوانب الاجتماعية. فريق SERIANEX. فريق الخبراء الثلاثي البلدان المعني بتحليل مخاطر الزلازل RiskCom. بفورزهايم، ألمانيا

Elahi, S (2011). هنا التنين ... استكشاف "العوامل المجهولة غير المعروفة" – فيوتشرز، **43**(2)، الصفحات 196–201

Felder, F.A (2009). تقييم حرج لدراسات حوادث الطاقة. سياسة الطاقة، **37**(12)، الصفحات 5744–5751

Fisher, B.S., N. Nakicenovic, K. Alfsen, J. Corfee Morlot, F. de la Chesnaye, J.–C. Hourcade, K. Jiang, M. Kainuma, E. La Rovere, A. Matysek, A. Rana, K. Riahi, R. Richels, S. Rose, D. van Vuuren, and R. Warren (2007). قضايا تتعلق بالتخفيف في السياق الطويل الأجل. في: تغير المناخ 2007: التخفيف. مساهمة الفريق العامل الثالث في تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية بشأن تغير المناخ B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, 2007 and L.A. Meyer (تحرير) دار نشر جامعة كامبردج، الصفحات 250–169

Frankl, P., E. Menichetti and M. Raugei (2005). التقرر النهائي عن البيانات الفنية والتكاليف وعمليات حصر دورة الحياة ذات الصلة بتطبيقات الخلايا الفلطائية الضوئية NEEDS: تطورات العناصر الخارجية في الطاقة الجديدة لأغراض الاستدامة. Ambiente Italia – ميلانو، إيطاليا، ص 81

Fthenakis, V.M., and H.C. Kim (2007). انبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة الكهربية الشمسية والطاقة النووية: دراسة دورة حياة. سياسة الطاقة، **35**(4)، الصفحات 2549–2557

Fthenakis, V.M., and H.C. Kim (2010). دورة حياة استخدامات الماء في توليد الكهرباء في الولايات المتحدة. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **14**(7)، الصفحات 2039–2048

Fthenakis, V.M., H.C. Kim, A. Colli, and C. Kirchsteiger (2006). تقييم المخاطر في دورة حياة الخلايا الفطائية الضوئية في سياق مقارن. المؤتمر الأوروبي الحادي والعشرين للطاقة الشمسية الفطائية الضوئية – درسدن، ألمانيا، 4–8 أيلول / ستمبر 2006

Gagnon, L (2008). الحضارة وسداد الطاقة – سياسة الطاقة، **36**، الصفحات 3317–3322

Gipe, P (2010). قاعدة بيانات وفيات طاقة الرياح. موجز حالات الوفاة في طاقة الرياح. لم يذكر اسم الناشر. متوافر على: www.wind–works.org/articles/BreathLife.html

Gleick, P (1993). أزمة الماء. دليل لموارد الماء العذبة في العالم. دار نشر جامعة أكسفورد، نيويورك. الولايات المتحدة الأمريكية

Gregory, R., and S. Lichtenstein (1994). لمحة عن المخاطر: المبادلات بين عوامل المخاطر الكمية والنوعية. تحليل المخاطر، **14**(2)، الصفحات 199–206

Haimes, Y.Y (2009). بشأن التعريف المعقد للمخاطر – نهج معتمد على النظم. تحليل المخاطر، **29**(12)، الصفحات 1647–1654

Herendeen, R.A (1988). اعتبارات الطاقة الصافية في: التحليل الاقتصادي لنظم الطاقة الحرارية الشمسية – R.E. West and F. Kr ith (تحرير) دار نشر MIT، كامبردج، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية، الصفحات 255–273

Hirschberg, S., G. Spiekerman, and R. Dones (1998). الحوادث الجسيمة في قطاع الطاقة – العدد الأول. تقرر معهد بول شيرير رقم 16–98. معهد بول شيرير، فيليجين، سويسرا

Hirschberg, S., P. Burgherr, G. Spiekerman, and R. Dones (2004a). الحوادث الجسيمة في قطاع الطاقة منظور مقارن – دورية المواد الخطرة، **111**(1–3)، الصفحات 57–65

Hirschberg, S., P. Burgherr, G. Spiekerman, E. Cazzoli, J. Vitazek, and L. Cheng (2003a). تقييم مخاطر الحوادث الجسيمة. في: التقييم المتكامل لنظم الطاقة المستدامة في الصين. برنامج تكنولوجيا الطاقة في الصين – إطار لدعم القرار في قطاع الكهرباء في مقاطعة شاندونغ. المجلد 4 من سلسلة التحالف من أجل الاستدامة العالمية. دار نشر كلور الأكاديمية. أمستردام، هولندا، 660–587

Hirschberg, S., P. Burgherr, G. Spiekerman, E. Cazzoli, J. Vitazek, and L. Cheng (2003b). تقييم مقارن للحوادث الجسيمة في قطاع الطاقة في الصين. تقرير معهد بول شيرير رقم 03–04 معهد بول شيرير، فيليجين، سويسرا

Hirschberg, S., R. Dones, T. Heck, P. Burgherr, W. Schenler, and C. Bauer (2004b). استدامة تكنولوجيات الإمدادات بالكهرباء في ظل الظروف الألمانية – تقييم مقارن – تقرير معهد بول شيرير رقم 04–15. معهد بول شيرير. فيليجين، سويسرا

Huettner, D.A (1976). تحليل للطاقة الصافية – تقييم اقتصادي Science, **192**(4235)، الصفحات 101–104

الوكالة الدولية للطاقة (2009). توقعات الطاقة العالمية 2009. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، الصفحات 670–673

الوكالة الدولية للطاقة (2010a). موازنات الطاقة في البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. نسخة عام 2010. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا

الوكالة الدولية للطاقة (2010b). الإحصاءات الرئيسية للطاقة العالمية. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا

الوكالة الدولية للطاقة/منظمة التعاون والتنمية في البلدان الاقتصادية/ومكتب الإحصاء الأوروبي (2005). دليل إحصاءات الطاقة. منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا

Inhaber, H (2004). استخدام الماء في إنتاج الكهرباء بالطاقة المتجددة والتقليدية. مصادر الطاقة، **26**(3)، الصفحات 309–322

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (1996). تغير المناخ 1995: التأثيرات والتكيف والتخفيف فيما يتعلق بتغير المناخ: تحليل علمي – فني. مساهمة الفريق العامل الثاني في تقرير التقييم الثاني للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ – R.T. Watson, M.C. Zi yowera, and R.H. Moss (تحرير) دار نشر جامعة كامبردج، ص 879

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2000). التقرير الثاني عن سيناريوهات الانبعاثات. N. Nakicenovic and R. Swart (تحرير) دار نشر جامعة كامبردج، ص 570

Jacobson, M.Z (2009). استعراض الحلول إزاء الاحترار العالمي وتلوث الهواء وأمن الطاقة. الطاقة وعلم البيئة، **2**(2)، الصفحات 148–173

Jelen, F.C., and J.H. Black (1983). التكاليف وهندسة الاستخدام الأمثل McGraw–Hill، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 538

Jungbluth, N., C. Bauer, R. Dones and R. Frischknecht (2005). تقدير دورة حياة التكنولوجيات الناشئة. دراسات حالة عن طاقة الخلايا الفلطائية الضوئية وطاقة الرياح. الدورية الدولية لتقدير دورة الحياة، **10**(1)، الصفحات 24–34

Kristensen, V., T. Aven, and D. Ford (2006). منظور جديد بشأن نهج رين وكلينك عن تقييم المخاطر وإدارتها. هندسة التعويل وسلامة النظم، **91**، الصفحات 421–432

Kubiszewski, I., C.J. Cleveland, and P.K. Endres (2010). تحليل وصفي لعائد الطاقة الصافية في نظم طاقة الرياح – *الطاقة المستدامة*، **35**(1)، الصفحات 218–225

Leach, G (1975). تحليل الطاقة الصافية – هل تفيد؟ سياسة الطاقة، **3**(4)، الصفحات 332–344

Lenzen, M (1999). تحليل غازات الدفيئة من توليد الكهرباء الحرارية الشمسية، الطاقة الشمسية، **65**(6)، الصفحات 353–368

Lenzen, M (2008). دورة حياة الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة النووية: استعراض. صون الطاقة وإدارتها، **49**(8)، الصفحات 2178–2199

Lenzen, M., and J. Munksgaard (2002). تحليل الطاقة وثاني أكسيد الكربون من توربينات الرياح – استعراض وتطبيقات. الطاقة المستدامة، **26**(3)، الصفحات 339–362

Lenzen, M., C. Dey, C. Hardy, and M. Bilek (2006). دورة حياة موازنة الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة النووية في أستراليا. تقرير إلى رئيس الوزراء عن استعراض استخراج اليورانيوم وتجهيزه والطاقة النووية (UMPNER)، جامعة سيدني، سيدني، أستراليا. متوافر على: http://www.isa.org.usyd.edu.au/publications/documents/ISA_Nuclear_Report.pdf

Lightfoot, H.D (2007). فهم الأحجام الثلاثة المختلفة لقياس الطاقة الأولية وتجنب الأخطاء، الطاقة، **32**(8)، الصفحات 1478–1483

Loulou, R., M. Labriet, and A. Kanudia (2009). تحليل قطعي وعشوائي للأهداف المناخية البديلة في إطار نظم التعاون المختلفة. اقتصاديات الطاقة، **31**(Supplement 2)، الصفحات S131–S143

Macknick, J (2009). جوانب عدم اليقين في بيانات الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون – المعهد الدولي للتحليل المقارن للنظم. تقرير مؤقت IIASA, IR–09–032، لاكسنبورغ، النمسا

Martinot, E., C. Dienst, L. Weiliang, and C. Qimin (2007). مستقبليات الطاقة المتجددة: الأهداف والسيناريوهات والمسارات. استعراض سنوي للبيئة والموارد، **32**(1)، الصفحات 205–239

Morita, T., J. Robinson, A. Adegbulugbe, J. Alcamo, D. Herbert, E. Lebre la Rovere, N. Nakicenivic, H. Pitcher, P. Raskin, K. Riahi, A. Sankovski, V. Solkolov, B.d. Vries, and D. Zhou (2001). سيناريوهات وانعكاسات التخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة. في: تغيير المناخ 2001: التخفيف ومساهمة الفريق العامل الثالث في تقرير التقييم الثالث للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ Metz, B., Davidson, O., Swart, R., and Pan, J (تحرير) دار نشر جامعة كامبردج، الصفحات 115–166

Nakicenovic, N., A. Grubler, and A. McDonald (eds) (1998). منظورات الطاقة العالمية. دار نشر جامعة كامبردج

Neely, J.G., A.E. Magit, J.T. Rich, C.C.J. Voelker, E.W. Wang, R.C. Paniello, B. Nussenbaum, and J.P. Bradley (2010). دليل عمل لفهم الاستعراضات المنهجية والتحليلات الوصفية. **142** ، Otolaryngology–Head and Neck Surgery، الصفحات 6–14

المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة (2007a). خط الأساس للتكاليف والأداء بشأن منشئات الطاقة الأحفورية – المجلد 1. التقرير النهائي عن الفحم القيري والغاز الطبيعي لأغراض توليد الكهرباء، DOE/NETL–2007/1281، المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة، بيتسبورج، بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمريكية

المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة (2007b). دراسة عن استخدام وخسائر الماء في منشئات للطاقة، تحديث عام 2007. المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة. بيتسبورج، بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/pubs/pdf/WaterReport_Revised%20May2007.pdf

Perry, A.M., W.D. Devine, and D.B. Reister (1977). تكلفة الطاقة من ناحية الطاقة – خطوط توجيهية بشأن تحليل الطاقة الصافية لنظم الإمداد بالطاقة. 14–77–ORAU/IEA(R) – معهد تحليل الطاقة وجامعات أواك ريدج المنتسبة. أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 106

الطاقة المتجددة في المملكة المتحدة (2010). مزارع الرياح العاملة البعيدة عن الساحل. الطاقة المتجددة في المملكة المتحدة. متوافر على: www.renewable–manifesto.com/ukwed/offshore.asp

Renn, O., A. Klinke, G. Busch, F. Beese, and G. Lammel (2001). إدارة جديدة لتصنيف وإدارة المخاطر. في: الدورات الكيميائية الأرضيبة العالمية في نظام المناخ. E.D. Schulze, M. He – mann, S. Harrison, E. Holland, J. Lloyd, I. Prentice, and D. Schimel (تحرير) دار النشر الأكاديمية سان دياجو – كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، الصفحات 303–316

Roth, S., S. Hirschberg, C. Bauer, P. Burgherr, R. Dones, T. Heck, and W. Schenler (2009). حافظة استدامة تكنولوجيا الإمدادات الكهربائية. حوليات الطاقة النووية، **36**، الصفحات 409–416

Rotty, R.M., A.M. Perry, and D.B. Reister (1975). الطاقة الصافية من الطاقة النووية. تقرير الوكالة الدولية للطاقة. معهد تحليل الطاقة جامعات أواك ريدج المنتسبة، أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة الأمريكية

Samson, S., J. Reneke, and M.M. Wiecek (2009). استعراض لمختلف المنظورات بشأن عدم اليقين والمخاطر ومجموعة النمذجة البديلة – هندسة التعويل وسلامة النظم، **94**، الصفحات 558–567

Sovacool, B.K (2008a). تكلفة الفشل: تقييم أولي لحوادث الطاقة الرئيسية 1907–2007. سياسة الطاقة، **36**، الصفحات 1802–1820

Sovacool, B.K (2008b). تقييم انبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة النووية. مسح رئيسي، سياسة الطاقة، **36**(8)، الصفحات 2950–2963

Stirling, A (1999). مخاطر على نقطة تحول؟ دورية الطب البيئي، **1**، الصفحات 119–126

إحصاءات الأمم المتحدة (2010). موازنات الطاقة وملامح الكهرباء – مفاهيم وتعاريف. إحصاءات الأمم المتحدة. نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: unstats.un.org/unsd/energy/balance/concepts.htm

Ungers, L.J., P.D. Moskowitz, T.W. Owens, A.D. Harmon, and T.M. Briggs (1982). منهجية لتقييم المخاطر المهنية: تقييم لأربع عمليات لتصنيع الخلايا الفطائية الضوئية. دورية الرابطة الأمريكية للصحة الصناعية، **43**(2)، الصفحات 73–79

Voorspools, K.R., E.A. Brouwers, and W.D. D'haeseleer (2000). محتوى الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة المجسدة في المنشئات "الخالية من الانبعاثات": النتائج من البلدان المنخفضة. الطاقة التطبيقية، **67**، الصفحات 307–330

WBGU (2000). عالم في مرحلة تحول: إستراتيجيات لإدارة المخاطر البيئية العالمية – تقرير رئيسي 1998. المجلس الاستشاري الألماني للتغيير العالمي (WBGU) سبرنجر، برلين، ألمانيا

مجلس الطاقة العالمي (1993). الطاقة لعالم الغد: التقرير العالمي للجنة مجلس الطاقة العالمي. مجلس الطاقة العالمي، لندن، المملكة المتحدة

دعاة الموارد الغربية (2008): ممر مستدام: تلبية طلبات نيفادا من الماء والطاقة. دعاة الموارد الغربية (WRA)، بولدر، الولايات المتحدة الأمريكية. ص 43. متوافر على: www.westernresourceadvocates.org/water/NVenergy–water–report.pdf

المرفق الثالث

البارامترات الأخيرة لتكاليف وأداء الطاقة المتجددة

المؤلفون الرئيسيون:
Thomas Bruckner (ألمانيا)، Helena Chum (الولايات المتحدة الأمريكية/البرازيل)، A. Luis Gutiérrez–Negrín (المكسيك)، John Nyboer (كندا)، Walter Musial (الولايات المتحدة الأمريكية)، Aviel Verbruggen (بلجيكا)، Ryan Wiser (الولايات المتحدة الأمريكية)

المؤلفون المساهمون:
Daniel Arvizu (الولايات المتحدة الأمريكية)، Richard Bain (الولايات المتحدة الأمريكية)، Jean–Michel Devernay (فرنسا)، Don Gwinner (الولايات المتحدة الأمريكية)، Hiram Hart (المكسيك)، John Huckerby (نيوزيلندا)، Arun Kumar (الهند)، José Moreira (البرازيل)، Steffen Schlömer (ألمانيا)

يشار إلى هذا المرفق على النحو التالي:
Bruckner, T., H. Chum, A. Jäger–Waldau, Å. Killingtveit, L. Gutiérrez–Negrín, J. Nyboer, W. Musial, A. Verbruggen, R. Wiser , 2011: المرفق الثالث: جدول التكاليف. في التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ المعنى بمصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من تغير المناخ [O. Edenhofer, R. Pichs–Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow] (محررون)، دار نشر جامعة كامبردج، كامبردج، المملكة المتحدة ونيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

المرفق الثالث : البارامترات الأخيرة لتكاليف وأداء الطاقة المتجددة

يتوخى أن يصبح المرفق الثالث «وثيقة حية» يجري تحديثها في ضوء ما يتوافر من معلومات جديدة لاستخدامه كمدخل في تقرير التقييم الخامس AR5 للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). ويرجى من العلماء الذين يهمهم دعم هذه العملية الاتصال بوحدة الدعم الفني (TSU) التابعة للفريق العامل الثالث في الهيئة IPCC (باستخدام العنوان التالي: srren_cost@ipcc–wg3.de) للحصول على مزيد من المعلومات بشأن عملية التقديم.[1] وسينظر في التعليقات والبيانات الجديدة للإدراج في المجلد 3 لتقرير التقييم الخامس للهيئة IPCC وفقاً للإجراءات المتبعة في نظام الاستعراض لدى الهيئة IPCC.

ويتضمن هذا المرفق معلومات عن أحدث البارامترات عن التكلفة والأداء بشأن تكنولوجيات توليد الطاقة المتجددة المتوافرة تجارياً في الوقت الحاضر (الجدول A.III.1) وتكنولوجيات الحرارة (الجدول A.III.2) وعمليات إنتاج الوقود الأحيائي (الجدول A.III.3). ويوجز المعلومات التي تحدد التكلفة المقومة للطاقة أو ناقلات الطاقة التي توفرها التكنولوجيات المعنية.

وتستند نطاقات المدخلات إلى عمليات تقييم مختلف الدراسات بواسطة مؤلفي الفصول المتعلقة بالتكنولوجيا المعنية (الفصول 2 إلى 7). ونطاقات البيانات المقدمة عبارة عن تجميعات عالمية ما لم يذكر غير ذلك. وتتعلق البيانات عموماً بعام 2008 إلا أنها يمكن أن تكون أحدث من ذلك حتى 2009. وهي تمثل بصورة عامة منتصف النسبة البالغة 80 في المائة المتوافرة في الدراسات ومن ثم فإنها تستبعد العناصر الخارجية. و يتباين توافر وجودة المصادر المختلفة للبيانات تبايناً كبيراً عبر التكنولوجيات المختلفة لطائفة من الأسباب.[2] ولذا فإن بعض تقديرات الخبراء ستكون مطلوبة لتحديد نطاقات البيانات الممثلة لفئات معينة من التكنولوجيات وفترات زمنية محددة وسلامتها عالمياً.

ويشار في الحواشي إلى المراجع المتعلقة بالمعلومات المحددة. فإذا كانت مجموعة البيانات الكاملة تستند إلى مرجع واحد، فإنه يدرج في عمود المراجع في الجزء الأخضر من الجداول. ويقدم المزيد من المعلومات عن البيانات الواردة في الجداول في الحواشي وفي الفصول من 2 إلى 7 (انظر على وجه الخصوص الأقسام 2.7 و3.8 و4.7 و5.8 و6.7 و7.8).

1 لا يمكن ضمان أي ردود فردية إلا أنه ستجري أرشفة جميع رسائل البريد الإلكتروني فضلاً عن المواد الملحقة بهذه الرسائل وإتاحتها في شكل مناسب للمؤلفين المشاركين في عملية تقرير التقييم الخامس (AR5).

2 لم تستخدم في هذا التقرير أي صيغة موحدة لعدم اليقين. ومع ذلك فإن مؤلفي هذا المرفق أجروا تقييماً وثيقاً للبيانات المتوافرة وأبرزوا القيود وعدم اليقين لهذه البيانات في الحواشي. ويمكن الحصول على انطباع جيد عن اتساع قاعدة المراجع من قائمة المراجع الواردة في هذا المرفق.

وتحسب التكلفة المقومة لأنواع وقود الكهرباء (LCOE) والحرارة (LCOH) والنقل (LCOF)[3] استناداً إلى البيانات المجمعة هنا والمنهجية التي يرد وصف لها في المرفق الثاني باستخدام مختلف معدلات الخصم الحقيقية (3 و7 و10 في المائة). وهي تمثل النطاق الكامل لقيم التكلفة المقومة المحتملة الناشئة عن الحدود الدنيا والعليا لبيانات المدخلات الواردة في هذا الجدول. وبصورة أدق، فإن الحد الأدنى من نطاقات التكلفة المقومة يستند إلى الحدود الدنيا من نطاقات الاستثمار والتشغيل والصيانة (O&M) (وإن أمكن) تكاليف المواد الخام، والحدود العليا من النطاقات المتعلقة بعوامل القدرة وفترات الحياة (وإن كان ينطبق) الحدود العالميا من نطاقات كفاءات التحويل وعائدات المنتج الثانوي المبينة في هذا الجدول. وعلى ذلك، فإن الحد الأعلى من نطاقات التكلفة المقومة يستند إلى الحد العالى من نطاقات الاستثمار، والتشغيل والصيانة (O&M) (وفي حالة الانطباق) تكاليف المواد الخام والحد المنخفض من نطاقات عوامل القدرة وفترة الحياة فضلاً عن الحدود الدنيا لنطاقات كفاءات التحويل وعائدات المنتجات الثانوية (في حال الانطباق).[4]

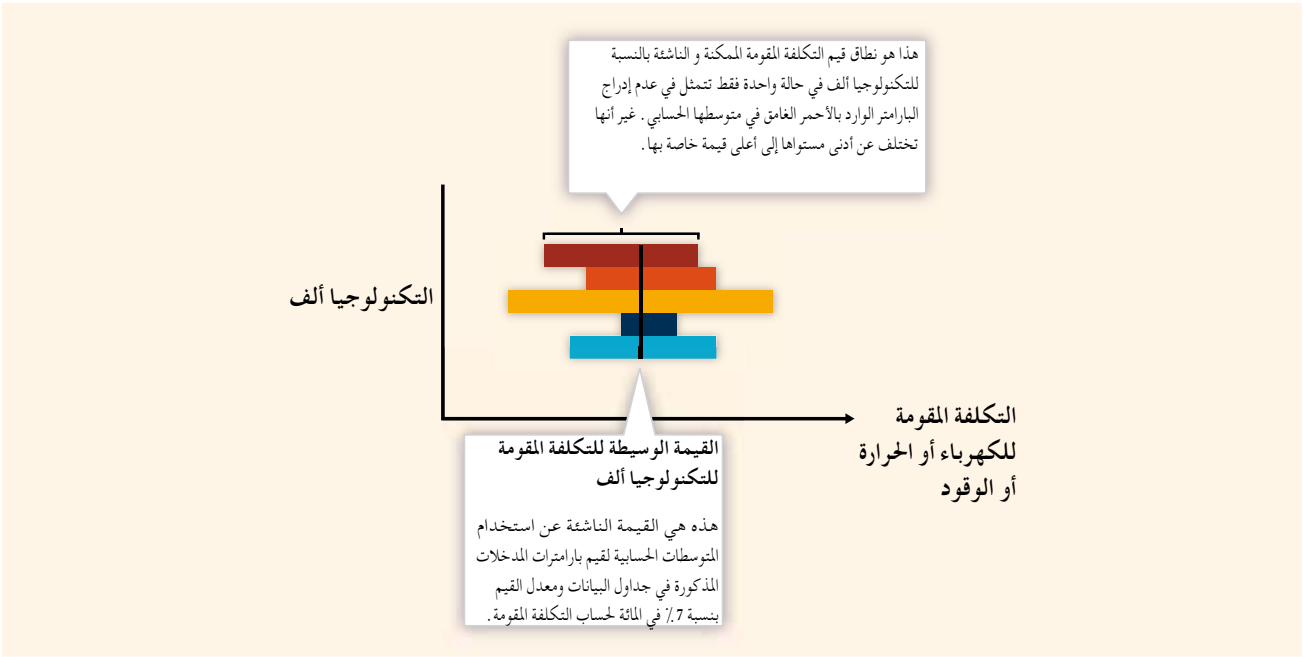
وتجري مناقشة أرقام التكلفة المقومة (الأجزاء البنفسجية في الجداول) في القسمين 1.3.2 و10.5.1 من التقرير الرئيسي وتوفر معظم الفصول المتعلقة بالتكنولوجيا (الفصول 2 إلى 7) قدر أكبر من التفاصيل عن حساسية التكلفة المقومة إزاء بارامترات مدخلات معينة تتجاوز معدلات الخصم (انظر على وجه الخصوص الأقسام 2.7 و3.8 و5.8 و6.7 و7.8). وتوفر تحليلات الحساسية هذه أفكاراً متعمقة إضافية عن الأهمية النسبية للعدد الكبير من البارامترات التي تحدد التكاليف المقومة في ظل ظروف أكثر تحديداً.

وعلاوة على تحليل الحساسية المتعلق بالتكنولوجيا في الفصول ذات الصلة (الفصول 2 إلى 7)، والمناقشات الواردة في القسمين 1.3.2 و10.5.1، تبين الأرقام الواردة في A.III.2 حتى (a, b) A.III.4 حساسية التكلفة المقومة بطريقة تكاملية باستخدام ما يسمى بالأشكال البيانية الإعصارية (tornado graphs) (الأشكال A.III.2 إلى A.III.4a) فضلاً عن «جوانبها السلبية» (الأشكال A.III.2 إلى A.III.4b).

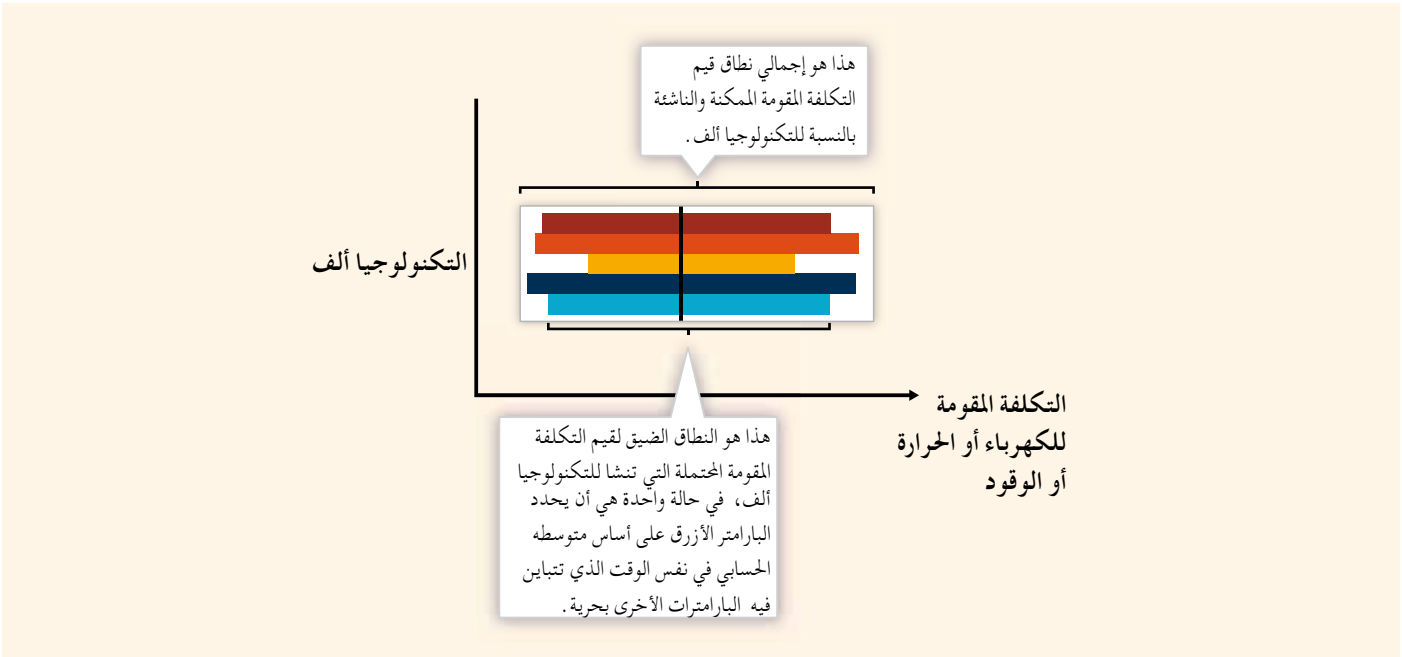
ويبين الشكلان A.III.1a وA.III.1b النسخ التخطيطية للأشكال البيانية الإعصارية (tornado graphs) و«جوانبها السلبية» على التوالي مع توضيح كيفية قراءتها بدقة.

3 تمثل التكلفة المقومة تكلفة نظام توليد الطاقة خلال فترة حياته. وتحسب هذه التكاليف على أساس سعر الوحدة التي ينبغي توليد الطاقة عندها من مصدر معين خلال فترة حياته لتحقيق التعادل. وتتضمن التكلفة المقومة عادة جميع التكاليف الخاصة التي تتكبد في المراحل الأولى من سلسلة القيمة إلا أنها لا تتضمن تكاليف ما بعد الإنتاج المتعلقة بالتسليم للعميل النهائي، وتكلفة الإدماج أو البيئة الخارجية أو التكاليف الأخرى. ولا تدرج إعانات توليد الطاقة المتجددة والائتمان الضريبي. غير أنه لا يمكن استبعاد الضرائب غير المباشرة والإعانات على المدخلات أو السلع التي تؤثر في أسعار المدخلات ومن ثم التكاليف الخاصة بصورة كاملة.

4 يفترض هذا النهج أن بارامترات المدخلات في حساب الوقود الخاص بالكهرباء والحرارة والنقل (LCOE/LCOH/LCOF) منفصلة عن بعضها الآخر. غير أن هذا افتراض يبسط الأمور ويعني أن النطاقات الدنيا من هذا الوقود (بوصفه توليفة لأفضل حالات قيم المدخلات) قد تكون في بعض الأحيان أقل مما هي عليه الحالة في غالب الأحيان في حين أن النطاق الأعلى لوقود LCOE/LCOH/LCOF قد يكون في بعض الحالات أعلى مما يعتبر عموماً جذاباً من الناحية الاقتصادية من منظور المستثمرين من القطاع الخاص. غير أنه يجري خفض مدى ما يسببه هذا النهج من تحيز هيكلي في نطاقات باستخدام أسلوب متحفظ إزاء نطاق قيم المدخلات (بما يتضمن جزئياً تقدير الخبراء) أي بقصر قيم المدخلات بصورة عامة على منتصف نطاق 80 في المائة حيثما يكون ممكناً.



الشكل A.III.1a الشكل البياني الإعصاري. ابتداء من القيمة الوسيطة للتكلفة المقومة بسعر فائدة قدرة 7 في المائة، يصبح في الإمكان توافر نطاق أوسع لقيم التكلفة المقومة في حالة تباين البارامترات الفردية على النطاق الكاملة للقيم الذي قد تتخذه هذه البارامترات في ظروف مختلفة. فإذا كان كل من LCOE/LCOH/LCOF في إحدى التكنولوجيات شديدة الحساسية لتباين بارامتر معين، فإن العمود المقابل سوف يتسع عندئذ. ويعني ذلك أن التباين في بارامتر معين قد يؤدي إلى انحراف قيم LCOE/LCOH/LCOF بشدة عن القيمة الوسيطة لها. وإذا كان كل من LCOE/LCOH/LCOF لتكنولوجيا معينة متينة بما لا يحقق هذه التباينات في البارامتر المعني، فيجري تضييق الأعمدة، وقد لا ينشأ سوى انحرافات طفيفة عن القيمة الوسيطة لكل من LCOE/LCOH/LCOF مما قد لا يسفر عن انحراف في ذلك البارامتر. غير أنه يلاحظ أنه قد لا ينشأ أي عمود أو أعمدة ضيقة عن عدم وجود أي انحراف أو وجود انحراف محدود في بارامترات المدخلات.



الشكل A.III.1b «الجانب السلبي» للشكل البياني الأعاصيري ابتداء من الحدود المنخفضة والعالية للنطاق الكامل لقيم التكلفة المقومة بسعر فائدة 3 في المائة و10 في المائة على التوالي، يظل النطاق الضيق لقيم التكلفة المقومة ممكناً إذا ثبتت البارامترات الأحادية عند قيمها الوسيطة المعينة. وإذ كانت قيم LCOE/LCOH/LCOF لتكنولوجيا شديد الحساسية للتباينات في بارامتر معين، يجري تضييق العمود المقابل عندئذ بدرجة كبيرة. وهذه البارامترات ذات أهمية خاصة في تحديد قيم LCOE/LCOH/LCOF في ظل ظروف أكثر تحديداً. فإذا كان وقود LCOE/LCOH/LCOF متيناً بما يحول دون التباين في بارامتر كل منها، فإن النطاق المتبقي سيظل قريباً من النطاق الكامل لقيم LCOE/LCOH/LCOF المحتملة. وهذه البارامترات أقل أهمية في تحديد قيم LCOE/LCOH/LCOF بصورة أكثر دقة. غير أنه يلاحظ أنه لا توجد أية انحرافات أو توجد انحرافات صغيرة عن النطاق الكامل نتيجة لأي تباين أو تباين محدود في بارامترات المدخلات.

الجدول A.III.1: بارامترات التكاليف – الأداء لتكنولوجيات توليد القوى من الطاقة المتجددة 1

الموارد	التكنولوجيا	بيان المدخلات										بيانات المخرجات		
		الحجم النمطي للجهاز (ميجاوات)[ii]	تكلفة الاستثمار (دولار أمريكي/ كيلووات)	تكاليف التشغيل والصيانة المثبتة سنوياً (دولار أمريكي/ كيلووات و/أو متغير (دولار أمريكي/ جيجاجول)	عائدات المخرجات الثانوية (دولار أمريكي/ كيلووات[iii]	تكاليف المواد الخام (دولار أمريكي/ جيجاجول[iv]	كفاءة تحويل المادة الخام (النسبة)	عامل القدرة (النسبة)	التصميم الاقتصادي فترة الحياة (النسبة)	المراجع	التكلفة المقومة للكهرباء[v] سعر الخصم		
											3%	7%	10%
طاقة حيوية	بطاقة أحيائية مخصصة محراق ذو قاعدة مانعة vi	25–100	2,700–4,100[vii]	87 USD/kW and 0.40 US¢/kWh	N/A[viii]	1.25–5.0[ix]	28	70–80	20	McGowin (2008)	6.1–13	6.9–15	7.9–16
	وقاد بطاقة أحيائية مخصصة x	See above	2,600–4,000[vii]	84 USD/kW and 0.34 US¢/kWh	N/A[viii]	See above	27	See above	See above		5.6–13	6.7–15	7.7–16
	طاقة أحيائية مخصصة (الوقاد للحرارة والطاقة مجتمعة xi)	See above	2,800–4,200[vii]	86 USD/kW and 0.35 US¢/kWh	1.0[xi]	See above	24	See above	See above		5.1–13	6.3–15	7.3–17
	الحرق المشترك: التغذية المشتركة	20–100	430–500[xiii]	12 USD/kW and 0.18 US¢/kWh	N/A[viii]	See above	36	See above	See above	McGowin (2008)	2.0–5.9	2.2–6.2	2.3–6.4
	الحرق المشترك: التغذية المنفصلة	See above	760–900[xiii]	18 USD/kW	N/A[viii]	See above	36	See above	See above	Bain (2011)	2.3–6.3	2.6–6.7	2.9–7.1
	الحرارة والطاقة مجتمعان (دورة رانكن العضوية) xiv	0.65–1.6	6,500–9,800	59–80 USD/kW and 4.3–5.1 US¢/kWh	7.7[xv, xvi]	See above	14	55–68	See above	Obernberger et al. (2008)	8.6–26	12–32	15–37
	الحرارة والطاقة مجتمعان (توربين البخار)	2.5–10	4,100–6,200[xvii]	54 USD/kW and 3.5 US¢/kWh	5.4[xv, xviii]	See above	18	See above	See above		6.2–18	8.3–22	10–26
	الحرارة والطاقة مجتمعان (تعزيز آلة الاحتراق الداخلي) xix	2.2–13	1,800–2,100	65–71 USD/kW and 1.1-1.9 US¢/kWh	1.0–4.5[xv, xx]	See above	28–30	See above	See above		2.1–11	3.0–13	3.8–14
الطاقة الشمسية المباشرة	الخلايا الفلطائية الضوئية (على أسطح المنازل)	0.004–0.01	3,700–6,800[xxi]	19–110 USD/kW[xxii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	12–20[xxiii]	20–30	see Section 3.8 and footnotes	12–53	18–71	23–86
	الخلايا الفلطائية الضوئية (على السطوح التجارية)	0.02–0.5	3,500–6,600[xxi]	18–100 USD/kW[xxii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	See above	See above		11–52	17–69	22–83
	الخلايا الفلطائية الضوئية (مستوى المرافق: الانحدار الثابت)	0.5–100[xxiv]	2,700–5,200[xxi]	14–69 USD/kW[xxii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	15–21[xxiii]	See above		8.4–33	13–43	16–52
	الخلايا الفلطائية الضوئية: مستوى المرفق، محور داخلي	0.5–100[xxiv]	3,100–6,200[xxi]	16–75 USD/kW[xxii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	15–27[xxiii]	See above		7.4–39	11–52	15–62
	الطاقة الشمسية المركزة	50–250[xxv]	6,000–7,300[xxvi]	60–82 USD/kW[xxvii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	35–42[xxviii]	See above		11–19	16–25	20–31
الطاقة الحرارية الأرضية	الطاقة الحرارية الأرضية (تكشيف المنشئات السريعة)	10–100	1,800–3,600[xxix]	150–190 USD/kW[xxx]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	60–90[xxxi]	25–30[xxxii]	see Section 4.7 and footnotes	3.1–8.4	3.8–11	4.5–13
	الطاقة الحرارية الأرضية (منشئات دورة السنتين)	2–20	2,100–5,200[xxix]	See above	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	See above	See above		3.3–11	4.1–14	4.9–17
الطاقة المائية	الجميع	<0.1 – >20,000[xxxiii]	1,000–3,000[xxxiv]	25–75 USD/kW[xxxv]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	30–60[xxxvi]	40–80[xxxvii]	see Chapter 5 and footnotes	1.1–7.8	1.8–11	2.4–15
الطاقة البحرية	نطاق المد[xxxviii]	<1 – >250[xxxix]	4,500–5,000[xxxvii]	100 USD/kW[xxxviii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	22.5–28.5[xl]	40[xli, xxxviii]	see Section 6.7 and footnotes	12–16	18–24	23–32

Continued next page →

الموارد	التكنولوجيا	بيان المدخلات									بيانات المخرجات		
		الحجم النمطي للجهاز (ميجاوات)[ii]	تكلفة الاستثمار (دولار أمريكي/كيلووات)	تكاليف التشغيل والصيانة الثابتة سنوياً (دولار أمريكي/كيلووات و/أو متغير (دولار أمريكي/جيجاجول)	عائدات المخرجات الثانوية (دولار أمريكي/كيلووات[iii]	تكاليف المواد الخام (دولار أمريكي/جيجاجول[iv]	كفاءة تحويل المادة الخام (النسبة)	عامل القدرة (النسبة)	التصميم الاقتصادي فترة الحياة (النسبة)	المراجع	التكلفة المقومة للكهرباء[v] سعر الخصم		
											3%	7%	10%
طاقة الرياح	طاقة الرياح (التوربينات الكبيرة أمام الساحل)	5–300[xli]	1,200–2,100[xliii]	1.2–2.3 US¢/kWh	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	20–40[xliv]	20[xlv]	see Chapter 7	3.5–10	4.4–14	5.2–17
	طاقة الرياح (التوربينات الكبيرة البعيدة عن الساحل)	20–120[xlii]	3,200–5,000[xlvi]	2.0–4.0 US¢/kWh	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	35–45[xlii]	See above		7.5–15	9.7–19	12–23

ملاحظات عامة:

i قربت جميع البيانات إلى أقرب عددين صحيحين. وتوفر معظم فصول الكنولوجيا (الفصول 2 إلى 7) معلومات إضافية و/أو زائدة عن التكاليف والأداء بصورة أكثر تفصيلاً في الأقسام المتعلقة باتجاهات التكاليف في الفصول المعنية. وينبغي للمقارنات المباشرة بين تقديرات التكلفة المقومة المأخوذة مباشرة من الدراسات أن تأخذ في كامل الاعتبار الافتراضات الداعمة لها.

ii المتوخى أن تكون أحجام الأجهزة تمثيلية للأحجام الحالية/الأخيرة وإذا كان من المتوقع أن تختلف الأحجام المستقبلية عن هذه القيم، فيرد ذلك في الحواشي الخاصة بالتكنولوجيات ذات الصلة.

iii بالنسبة لمنشئات الحرارة والطاقة مجتمعة، يعتبر إنتاج الحرارة منتجاً ثانوياً في حساب التكلفة المقومة للكهرباء حيث توفر معلومات عن التكاليف الرأسمالية الكاملة على أساس المنشأة القائمة بذاتها.

iv HHV قيمة الحرارة العالية وLHV قيمة الحرارة المنخفضة.

v LCOE التكلفة المقومة للكهرباء. وتشمل التكلفة المقومة عادة جميع التكاليف الخاصة التي تتكبد قبل الإنتاج في سلسلة القيم الخاصة بإنتاج الكهرباء إلا أنها لا تشمل تكلفة النقل والتوزيع على العميل النهائي. ولا تدرج إعانات المخرجات الخاصة بتوليد الطاقة المتجددة والائتمان الضريبي. غير أن الضرائب والإعانات غير المباشرة على المدخلات أو السلع التي تؤثر في أسعار المدخلات، ومن هنا لا يمكن استبعاد التكاليف الخاصة بالكامل. وبحسب سياق المناقشة، قد تمثل LCOE أيضاً التكلفة المقومة للطاقة.

الطاقة الأحيائية:

vi المحراق بقاعدة مائعة دوار (CFB) عبارة عن قاعدة سائلة مضطربة (تدفق الغاز بدرجة عالية) حيث تحتجز الجزيئات الصلبة وتعاد إلى القاعدة. أما القاعدة المائعة ذاتها فهي تجميع للجزيئات الصلبة الصغيرة العالقة ويحتفظ بها في حالة حركة بواسطة تدفق صاعد للسوائل وهي الغاز عادة.

vii تتعلق البيانات المرجعية بمنشأة بقدرة 50 ميجاوات، وأعيد تحديد حجم تكاليف الاستثمار في المنشئات الأكبر والأصغر وفقاً لقانون الطاقة. تكاليف الاستثمار المحددة الحجم 2 = تكاليف الاستثمار الحجم 1 x (الحجم 2 / الحجم 1) n–1 حيث عامل تحديد الحجم n = 0.7. وتتضمن التكاليف الرأسمالية مرافق مناولة وإعداد الوقود، ومراقبة جودة الغلاية والهواء، وتوربين البخار والمعدات المساعدة، وموازنة المنشأة، ورسوم المرافق والهندسة العامة، ومصروفات الطوارئ المتعلقة بالمشروعات والعملية، وعلاوة على الأموال المستخدمة خلال الإنشاء وتكاليف المالك والضرائب والرسوم.

viii المختصر "n.a" يعني هنا لا ينطبق.

ix المادة الخام هنا هي الخشب بقيمة حرارية عالية HHV تعادل 20.0 جيجاجول/طن وقيمة حرارية منخفضة LHO: 18.6 جيجاجول/طن.

x الوقاد الميكانيكي عبارة عن آلة أو جهاز يغذي الوقود في الغلاية.

xi CHP: الحرارة والطاقة مجتمعة.

xii حساب عائدات المنتج الثانوي للمنشئات الكبيرة للحرارة والطاقة يفترض: نواتج الحرارة المستخدمة في التطبيقات الصناعية تعادل 5.38 جيجاجول من الحرارة لكل ميجاوات ساعة من الكهرباء. ويثمن البخار على أساس دولار امريكي بأسعار 2005 لكل 4.65 جيجاجول (75 في المائة من أسعار البخار المشترى من إلب والورق في الولايات المتحدة الأمريكية) (وكالة الطاقة الدولية 2009، الجدول 7.2)، وبيع 75 في المائة من مخرجات الحرارة.

xiii تتعلق البيانات المرجعية بمنشأة بقدرة 50 ميجاوات. وأعيد قياس قيمة تكلفة الاستثمار وفقاً لقانون الطاقة: تكلفة الاستثمار المحددة حجم 2 = تكلفة الاستثمار حجم 1 x (حجم 2/حجم 1) n.1، حيث يبلغ عامل القياس n = 0.9 (Peters et al 2003). ووضعت تقديرات تكاليف الاستثمار في الحرق المشترك بالنسبة لعمليات إعادة تهيئة المنشئات العاملة بطاقة حرق الفحم في الولايات المتحدة الأمريكية وتتضمن مرافق لمناولة وإعداد الوقود، والمصروفات الإضافية لإجراء تعديلات على الغلايات، وموازنة المنشأة، والمرافق الهامة والهندسة، والطوارئ الخاصة بالمشروعات والعمليات، وعلاوة للأموال المستخدمة خلال الإنشاء، وتكاليف المالك، والضرائب والأتعاب. ولا تتضمن بروتوكولات تقدير تكاليف الحرق المشترك في الولايات المتحدة الأمريكية تكاليف الغلايات التناسبية.

xiv ORC دورة رانكلين العضوية.

xv لحساب عائدات المنتجات الثانوية في المنشئات الصغيرة الحجم للحرارة والطاقة مجتمعة، تثمن المياه الحارة على أساس 12.51 جيجاجول بالدولار الأمريكي بأسعار 2005 (متوسط Rauch, 2010 وSkjoldburg,

xvi مخرجات الحرارة المستخدمة في المياه الحارة تمثل 18.51 جيجاجول من الحرارة لكل ميجاوات ساعة للكهرباء.

xvii تتعلق البيانات المرجعية بمنشأة بقدرة 5 ميجاوات. ويعاد قياس تكاليف الاستثمار للمنشئات الأكبر والأصغر وفقاً لقانون الطاقة: تكاليف الاستثمار المحددة الحجم 2 = تكاليف الاستثمار الحجم 1 x (الحجم 2 / الحجم 1) n.1، حيث عامل القياس n = 0.7 (Peters et al., 2003).

Continued next page →

xviii تبلغ مخرجات الحرارة للمياه الحارة 12.95 جيجاجول من الحرارة لكل ميجاوات حرارة للكهرباء.
xix ICE آلة الاحتراق الداخلي.
xx تتراوح مخرجات الحرارة المستخدمة في الماء الساخن 2.373 ميجاجول و10.86 جيجاجول/ميجاوات ساعة.

الطاقة الشمسية المباشرة – نظم الخلايا الفلطائية الضوئية PV:

xxi في عام 2009، انخفضت أسعار وحدة PV تسليم المصنع بالجملة بأكثر من 50 في المائة. ونتيجة لذلك، انخفضت أسعار السوق لنظم PV المركبة في ألمانيا، التي هي أكثر الأسواق تنافساً، بأكثر من 30 في المائة في 2009 مقابل نحو 10 في المائة في 2008 (انظر القسم 3.8.3). وتستخدم بيانات أسعار السوق من ألمانيا بوصفها الحدود الدنيا لتكاليف الاستثمار في نظم أعلى أسطح المنازل (Bundesverband Solarwirtschaft e.V., 2010) ولنظم الانحدار الثابت على مستوى المرفق (Bloomberg, 2010). واستناداً إلى بيانات السوق في الولايات المتحدة الأمريكية لعامي 2008 و2009، يفترض أن تكاليف الاستثمار لنظم قمم الأسطح التجارية تنخفض بنسبة 5 في المائة عن نظم أعالي أسطح المنازل (المختبر الوطني للطاقة المتجددة 1011b)، (انظر أيضاً القسم 3.8.3). وتفترض نظم التتبع أن تكاليف الإستثمار لديها ترتفع بنسبة تتراوح بين 15 و20 في المائة عن المحور الواحد والنظم غير نظم التتبع المنظورة هنا (المختبر الوطني للطاقة المتجددة 2011a وانظر أيضاً القسم 3.8.3). وتستخدم تكاليف الاستثمار المرجحة بحسب القدرة في الولايات المتحدة في 2009 (المختبر الوطني للطاقة المتجددة 2011b) بوصفها الحدود العليا لتحقيق نطاقات تكاليف الاستثمار التي تبلغ عادة نحو 80 في المائة من المنشئات العالمية في 2009 (انظر القسم 3.4.1 والقسم 3.8.3).
xxii تكاليف التشغيل والصيانة O&M لنظم PV منخفضة وتقدم في حدود تتراوح بين 0.5 و1.5 في المائة سنوياً من تكاليف الاستثمار الأولية (Breyer et al. 2009، الوكالة الدولية للطاقة، 2010).
xxiii البارامتر الرئيسي الذي يؤثر في عامل القدرة في نظا م PV هو الشعاع الشمسي السنوي الفعلي بالكيووات/متر مربع سنوياً في موقع معين ونمط نظام معين. وترد عند Sharma (2111) عوامل القدرة في بعض النظم المركبة حديثاً.
xxiv يمثل الحد الأعلى لنظم PV من مستوى المرفق الحالة الجارية. أما النظم الأكبر من ذلك بكثير (حتى 1 جيجاوات) فهي في مرحلة المقترحات والوضع وقد تتمكن في غضون عقد من السنوات.

الطاقة الشمسية المباشرة – الطاقة الشمسية المركزة (CSP):

xxv أحجام المشروعات في منشئات الطاقة الشمسية المركزة يمكن أن تعادل على الأقل حجم نظام مفرد لتوليد الطاقة (مثل نظام صحن/آلة بقدرة 25 كيلوات). غير أن النطاق المقدم يعتبر عادياً بالنسبة للمشروعات التي يجري إقامتها أو اقتراحها حالياً. كما يجري اقتراح "منتزهات الطاقة" المؤلفة من منشئات متعددة للطاقة الشمسية المركزة CSP في موقع واحد بأحجام من فصل إلى 1 جيجافولت (4 250 x ميجاوات) أو تتجاوزها.
xxvi نطاقات التكاليف تتعلق بمنشئات المجرى المتكافئ المتقاطع مع ست ساعات من مخزونات الطاقة الحرارية في 2009. وتشمل تكاليف الاستثمار التكاليف المباشرة وغير المباشرة حيث تتضمن التكاليف غير المباشرة إضافات الهندسة والمشتريات والإنشاء، وتكاليف الملاك، والأراضي والضرائب. ونقل تكاليف الاستثمار بالنسبة للمنشئات الخالية من المخازن وترتفع بالنسبة للمنشئات التي لديها قدرة أكبر على التخزين. وتقدر الوكالة الدولية للطاقة (2010a) تكاليف الاستثمار بأنها منخفضة لدرجة تصل إلى 3800 دولار أمريكي بأسعار 2005 للكيلووات في المنشئات الخالية من المخازن وعالية بما يصل إلى 7600 دولار أمريكي بأسعار 2005 للكيلووات الواحد للمنشئات التي توجد بها مخازن كبيرة (بافتراض سنة الأساس لأسعار الصرف: 2009). وتتباين عوامل القدرة كذلك في حالة تركيب المخازن الحرارية (انظر الملاحظة 28).
xxvii تحدد وكالة الطاقة الدولية (2010a) تكاليف التشغيل والصيانة بالقياس بمخرجات الطاقة بما يتراوح بين 1.2 و2.7 دولار من دولارات الولايات المتحدة (سنة الأساس الافتراضية لأسعار الصرف 2009). وقد يسفر ذلك بحسب مخرجات الطاقة الفعلية عن انخفاض أو ارتفاع في تكاليف التشغيل والصيانة O&M بالمقارنة بالنطاق المشار إليه هنا.
xxviii عامل القدرة في منشأة المجرى المتكافئ المقطع لقطاع الطاقة الشمسية مع ست ساعات من التخزين الحراري لفئات الموارد الشمسية المعتادة في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية. وتتباين عوامل القدرة وتكاليف الاستثمار، بحسب حجم قدرة التخزين الحراري، تبايناً كبيراً. فبصرف النظر عن منشئات محطة توليد الكهرباء الشمسية في كاليفورنيا، فإن منشئات الطاقة الشمسية المركزة الجديدة لن تصبح قيد التشغيل إلا ابتداء من عام 2007 فصاعداً، وعلى ذلك فإن عددا قليلا من بيانات الأداء الفعلي ومعظم الدراسات لا تعطي سوى عوامل قدرة تقديرية أو متوقعة. ويذكر Sharma 2011 متوسط عوامل قدرة لعدة سنوات (1998–2002) تتراوح بين 12.4 و27.7 في المائة للمنشئات الخالية من التخزين الحراري ولكن مع احتياطي من الغاز الطبيعي. وتحدد الوكالة الدولية للطاقة IEA 2010a أن المنشئات في إسبانيا التي لديها 15 ساعة من المخزونات قد تنتج ما يصل إلى 6600 ساعة سنوياً. ويعادل ذلك 75 في المائة من عامل القدرة إذا حدث الإنتاج بالطاقة الكاملة خلال الساعات البالغة 6600. كذلك فإن المخزونات الأكبر تزيد من تكاليف الاستثمار (انظر الملاحظة 26).

الطاقة الحرارية الأرضية:

xxix تتضمن تكاليف الاستثمار: استكشاف وتأكيد الموارد وحفر آبار الإنتاج والحقن، المرافق والبنية الأساسية السطحية. منشأة الطاقة. وبالنسبة لمشروعات التوسع (أي المنشئات الجديدة في نفس مجال الحرارة الأرضية)، يمكن أن تقل تكاليف الاستثمار بما يتراوح بين 10 و15 في المائة (انظر القسم 4.7.1). وتستند نطاقات تكاليف الاستثمار إلى Bromley et al. 2010 (انظر أيضاً الشكل 4.7).
xxx تكاليف التشغيل والصيانة O&M تستند إلى Hance 2005. ففي نيوزيلندا يتراوح نطاق تكاليف التشغيل والصيانة بين 1 دولار امريكي و 1.4 للكيلووات ساعة بالنسبة لقدرة منشأة تتراوح بين 20 و50 ميجاوات MWe Barnett and Quinlivan, 2009 وهو ما يعادل 83 إلى 117 امريكي لكل كيلووات/سنة أي بما يقل كثيراً عن ذلك الذي أورده Hance 2005. ولمزيد من المعلومات انظر القسم 4.7.2.
xxxi يبلغ عامل القدرة (CF) الحالي في كافة أنحاء العالم (بيانات 2008–2009) للمنشئات الخاصة بالدوائر المكثفة (الخاطفة) والثنائية قيد التشغيل 74.5 في المائة. وبعد استبعاد بعض العناصر الخارجية، يمكن تقدير الحدود المنخفضة والعالية بنسبة 60 و90 في المائة. ويبلغ عامل القدرة العادية في المنشئات الحرارية الأرضية الجديدة أكثر من 90 في المائة (Hance, 2005؛ DiPippo, 2008؛ Bertani, 2010). ويتوقع أن يبلغ متوسط عامل القدرة العالمي لعام 2020 نسبة 80 في المائة، وقد يكون 85 في المائة في 2030 ومرتفعاً بما يصل إلى 90 في المائة في 2050 (انظر القسمين 4.7.3 و4.7.5).
xxxii فترة 20 إلى 30 سنة هي فترة الحياة العادية لمنشئات الطاقة الحرارية الأرضية في كافة أنحاء العالم. وتتيح فترة السداد هذه إعادة تجديد أو استبدال المنشأة السطحية المتقادمة في نهاية فترة حياتها، إلا أن ذلك لا يعادل فترة حياة المورد الاقتصادي الخاص بمستودع الطاقة الحرارية الأرضية التي هي أطول كثيراً عادة (Larderello, Wairakei, The Geysers: القسم 4.7.3). غير أن احتمالية تدهور الموارد بمرور الوقت في بعض المستودعات يمثل أحد العوامل العديدة التي تؤثر في اقتصاديات مواصلة تشغيل المنشأة.

Continued next page →

الطاقة المائية:

xxxiii منتصف فيمة 80 في المائة لحجم المشروعات ليست بالنسبة الموثقة بطريقة جيدة بالنسبة للطاقة المائية. فالنطاق الوارد هنا مؤشر على النطاق الكامل لأحجام المشروعات. ومشروعات الطاقة المائية هي مشروعات تختلف باختلاف الموقع حيث إنها تصمم لاستخدام التدفق والرأس عند كل موقع. ولذا قد تكون المشروعات في منتهى الصغر لتصل إلى بضعة كيلووات في مجرى صغير وتصل إلى عدة آلاف من الكيلووات مثل الكمية البالغة 18 000 ميجاوات لمشروع الثلاث جورجيز في الصين (والتي ستصل إلى 22 400 ميجاوات عندما يستكمل (انظر القسم 5.1.2). ويوجد الآن 90 في المائة من قدرة الطاقة المائية المركبة و94 في المائة من إنتاج الطاقة المائية اليوم في منشئات الطاقة المائية حيث يبلغ حجمها أكثر من 10 ميجاوات (IJHD 2010).

xxxiv يمكن أن تكون تكلفة الاستثمار في مشروعات الطاقة المائية منخفضة إلى ما يتراوح بين 400 إلى 500 دولار امريكي للكيلووات إلا أن معظم المشروعات الواقعية تقع اليوم في نطاق 1000 إلى 3000 دولار امريكي (القسم 5.8.1).

xxxv وتقدم تكاليف التشغيل والصيانة O&M كنسبة مئوية من تكاليف الاستثمار في مشروعات الطاقة المائية. و تتراوح القيمة العادية بين 1 إلى 4 في المائة في حين يعتمد الجدول على متوسط القيمة البالغة 2.5 في المائة المطبقة على نطاق تكاليف الاستثمار. وسيكون ذلك كافياً عادة لتغطية تجديد المعدات الميكانيكية والكهربائية مثل تجديد التوربينات، وإعادة لف المولدات وإعادة الاستثمار في نظم الاتصال والرقابة (القسم 5.8.1).

xxxvi ستحدد عومل القدرة (CF) بحسب الظروف الهيدرولوجية والقدرة المركبة، وتصميم المنشأة، والطريقة التي يتم بها تشغيل المنشأة (أي درجة تنظيم مخرجات المنشأة). فبالنسبة لتصميمات منشأة الطاقة التي تهدف إلى تحقيق أقصى إنتاج من الطاقة (القاعدة – الحمل) ومع بعض التنظيم، ستتراوح عوامل القدرة (CFs) في كثير من الأحيان بين 30 و60 في المائة. ويبين الشكل 5.20 متوسط عوامل القدرة في مختلف أقاليم العالم. فبالنسبة لمنشئات الطاقة من النمط الأقصى سيكون عامل القدرة منخفضاً بدرجة كبيرة تصل إلى 20 في المائة بالنظر إلى أن هذه المحطات تصمم بقدرة كبيرة للغاية من أجل تلبية الاحتياجات القصوى. وتتباين عوامل القدرة في نظم جريان الأنهار عبر طائفة عريضة (20 إلى 95 في المائة) بحسب الظروف الجغرافية والمناخية والتكنولوجيا والخصائص التشغيلية (انظر القسم 5.8.3).

xxxvii وتتمتع منشئات الطاقة المائية عموماً بفترات حياة شديدة الطول. وهناك العديد من الأمثلة على منشئات للطاقة المائية كانت تعمل لأكثر من 100 عام مع ترقية منتظمة للنظم الكهربائية والميكانيكية إلا أنه لم تحدث عمليات ترقية كبيرة للهياكل المدنية الأكثر تكلفة (السدود والأنفاق وغير ذلك). وتذكر الوكالة الدولية للطاقة (IEA) أن الكثير من المنشئات قد أقيم منذ 50 إلى 100 سنة مضت، ومازال يعمل حتى الآن. وبالنسبة لمنشئات الطاقة المائية الكبيرة، يمكن هنا تحديد فترة الحياة بصورة آمنة لا تقل عن 40 عاماً، ويستخدم فترة الحياة البالغة 80 عاماً كحدود قصوى. وبالنسبة لمنشئات الطاقة المائية الصغيرة النطاق، يمكن تحديد فترة الحياة بأربعين عاماً، وربما أقل في بعض الحالات. وقد تتباين فترة حياة التصميم الاقتصادي عن فترات حياة المنشئات المادية الفعلية وسوف تعتمد بقوة على كيفية امتلاك وتمويل منشئات الطاقة المائية (القسم 5.8.1).

الطاقة البحرية:

xxxviii تستند البيانات المقدمة عن منشئات طاقة مدى المد والجزر إلى عدد ضئيل جداً من المنشئات (انظر الحواشي التالية). ولذا ينبغي النظر إلى جميع البيانات بالحذر المناسب.

xxxix محطة طاقة مدى المد والجزر الوحيدة في العالم على مستوى المرافق هي محطة طاقة لارانس بطاقة 240 ميجاوات و تعمل بنجاح منذ عام 1966. وقد صدرت منذ ذلك الوقت تكليفات بمشروعات أخرى صغيرة في الصين وكندا وروسيا بطاقة 3.9 ميجاوات و20 ميجاوات و0.4 ميجاوات على التوالي. ويتوقع إصدار تكليفات لمحطة سد سيهوا بطاقة 254 ميجاوات في 2011، وستصبح عندئذ أكبر محطة لمدى المد والجزر في العالم. وقد حدد العديد من المشروعات يتسم بعضها بقدرات كبيرة بما في ذلك في المملكة المتحدة عند مصب نهر سيفيرن (9.3 جيجاوات) والهند (1.8 جيجاوات) وكوريا (740 ميجاوات) وروسيا (البحر الأبيض وبحر أوخوتسك 28 جيجاوات). ولم يعتبر أي منها اقتصادياً بعد، ويواجه الكثير منها اعتراضات بيئية (Kerr 2007). وقد خضعت المشروعات عند مصب نهر سيفيرن للتقييم من حكومة المملكة المتحدة، وأرجئ العمل فيه مؤخراً.

xl يشير تقييم أجري في وقت سابق إلى عوامل قدرة في نطاق 25 إلى 35 في المائة (Charlier 2003).

xli سدود المد والجزر تماثل منشئات الطاقة المائية التي تتمتع عموماً بفترات تصميم شديدة الطول. ويعمل الكثير من منشئات الطاقة المائية منذ أكثر من مائة عام مع عمليات ارتقاء منتظمة في النظم الكهربائية – الميكانيكية دون إجراء عمليات ارتقاء رئيسية في معظم الهياكل المدنية باهظة التكلفة (السدود والأنفاق وغير ذلك). ولذا يفترض أن لسدود المد والجزر نفس فترات حياة التصميم الاقتصادي لمنشئات الطاقة المائية التي يمكن تحديدها بأمان بما لا يقل عن 40 عاماً (انظر الفصل 5).

طاقة الرياح:

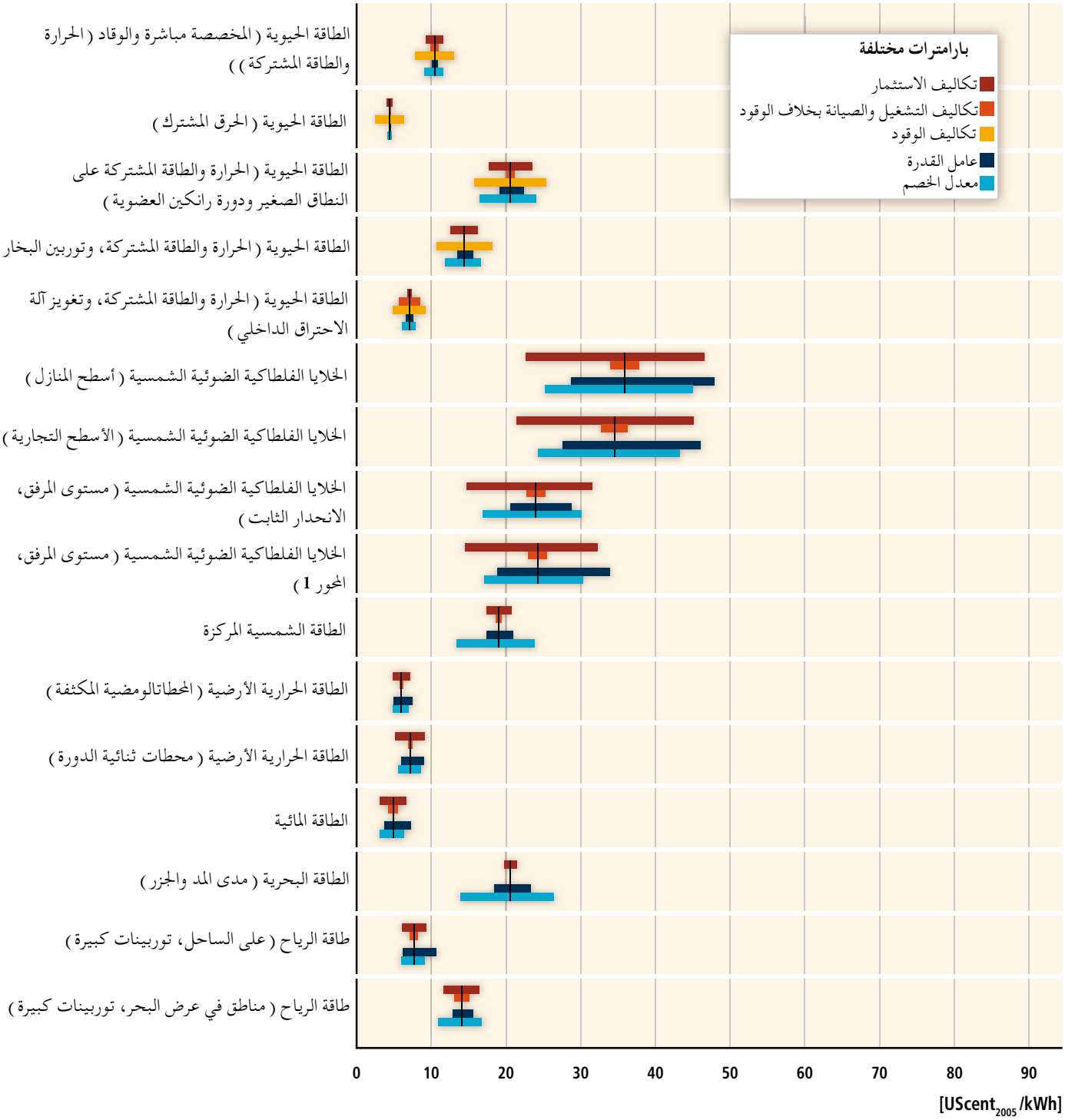
xlii يؤخذ الحجم العادي للجهاز على أنه حجم منشأة الطاقة (وليس التوربين) وبالنسبة لطاقة الرياح على الساحل كانت المنشئات بقدرة 5 إلى 300 ميجاوات شائعة من 2007 إلى 2009 إلا أن كلاً من المنشئات الصغيرة والكبيرة كانت سائدة. وبالنسبة لطاقة الرياح في المناطق البعيدة عن الساحل، تعتبر نطاقات حجم المنشئات من 30 إلى 120 ميجاوات شائعة مدفوعة بظروف السوق والظروف الجغرافية.

xliii أقيمت أدنى منشئات طاقة الرياح على الساحل تكلفة في الصين، مع حدوث تكاليف أعلى في كل من الولايات المتحدة وأوروبا. ويعكس النطاق معظم منشئات طاقة الرياح على الساحل في كافة أنحاء العالم في 2009 (وهو آخر عام تتوافر فيه بيانات أكيدة وقت الكتابة) إلا أن متوسط تكاليف المنشئات التي أقيمت في الصين كان أقل من هذا النطاق (حيث إن 1000 دولار امريكي الى 1350 دولار امريكي للكيلووات كان شائعاً في الصين). وفي معظم الحالات، كانت تكاليف الاستثمار تتضمن تكاليف التوربينات (التوربينات، والنقل إلى الموقع، والتركيب)، والربط بالشبكة (الكبلات والمحطة الفرعية والربط المشترك دون أن يشمل ذلك تكاليف التوسع العام في النقل) والأشغال المدنية (التأسيسات والطرق والمباني) والتكاليف الأخرى (الهندسة، والتراخيص، والتصاريح وعمليات التقييم البيئي ومعدات المراقبة).

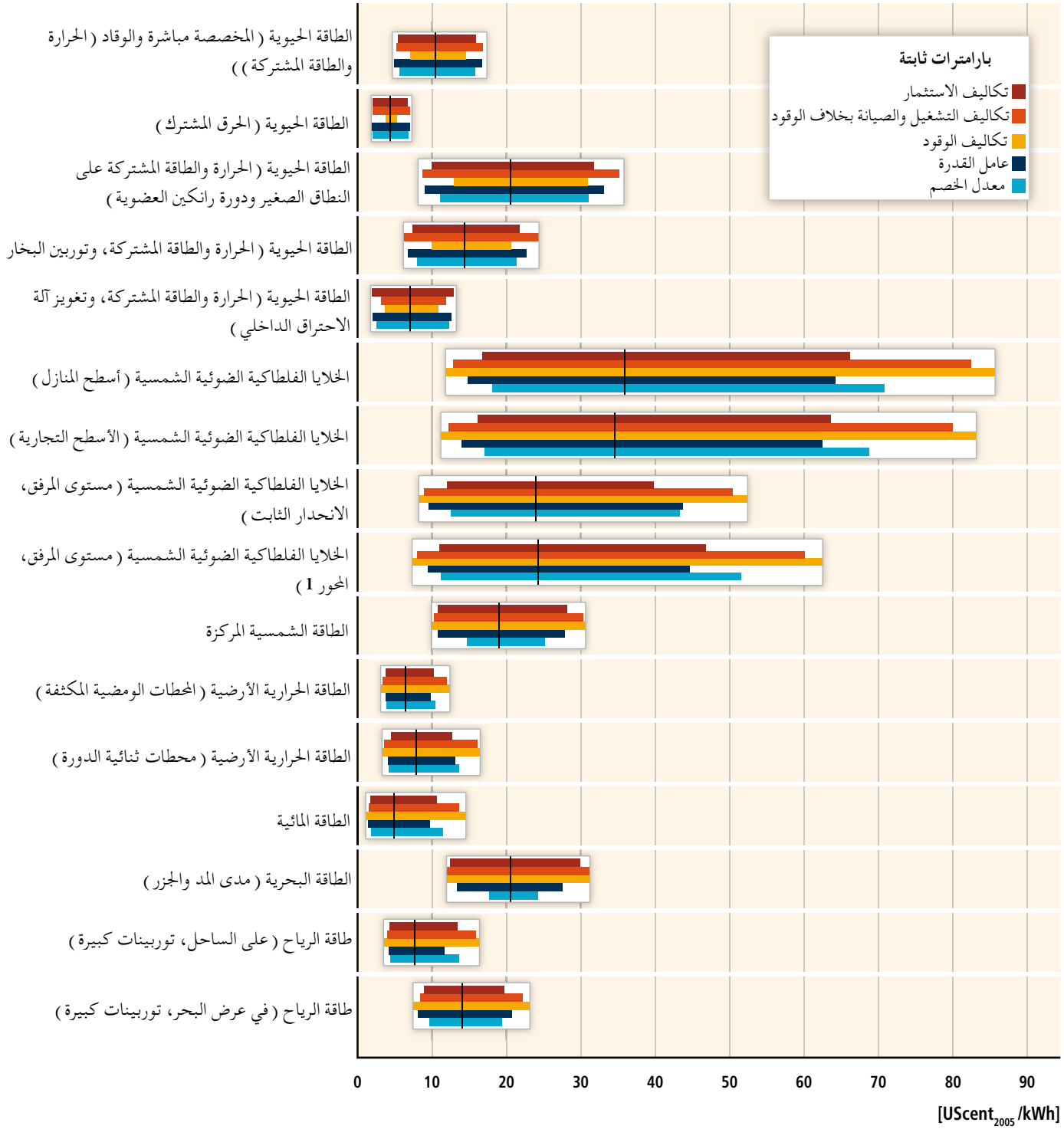
xliv تعتمد جزء من عوامل القدرة على قوة موارد الرياح المعتمدة عليها والتي تتباين بحسب الإقليم والموقع فضلاً عن تصميم التوربين.

xlv تصمم توربينات الرياح الحديثة التي تستوفي معايير اللجنة الدولية الفنية الكهربية لمدة 20 عاماً ويمكن أن تتجاوز فترات حياة التوربينات 20 عاماً إذا ظلت تكاليف التشغيل والصيانة في مستوى مقبول. وتمول منشئات طاقة الرياح عادة لفترة زمنية قدرها 20 عاماً.

xlvi بالنسبة لمنشئات طاقة الرياح في المناطق البعيدة عن الساحل، يتضمن نطاق تكاليف الاستثمار معظم منشئات طاقة الرياح في المناطق البعيدة عن الساحل المقامة في السنوات الأخيرة (حتى 2009) فضلاً عن تلك المقرر استكمالها في أوائل العقد. ونظراً لأن التكاليف قد ارتفعت في السنوات الأخيرة، فإن استخدام تكاليف المشروعات الأخيرة والمقررة يعكس بصورة معقولة التكاليف "الجارية" لمنشئات طاقة الرياح في المناطق البعيدة عن الساحل. وفي معظم الحالات، تتضمن تكاليف الاستثمار تكاليف التوربينات (التوربينات والنقل إلى الموقع والتركيب) والربط (الكبلات والمحطة الفرعية، والربط المشترك دون أن يشمل ذلك تكاليف التوسع العام في الإنتاج) والأشغال المدنية (التأسيسات والطرق والمباني) والتكاليف الأخرى (الهندسة والتراخيص والتصاريح وعمليات التقييم البيئي ومعدات المراقبة).



الشكل A.III.2a : الشكل البياني الأعاصيري لتكنولوجيات الطاقة المتجددة . لمزيد من الإيضاح انظر الشكل A.III.1a .



الشكل A.III.2b : "الجانب السلبي" في الشكل البياني الأعاصيري لتكنولوجيات الطاقة المتجددة . لمزيد من الإيضاح انظر الشكل A.III.1a

ملاحظة : حسبت الحدود العليا لكلتى التكنولوجيتين المعنيتين بالطاقة الحرارية الأرضية استناداً إلى وقت بناء مفترض قدرة 4 سنوات . غير أن هذا الافتراض لم يؤخذ في الاعتبار في النهج المبسط المستخدم في تحليل الحساسية الوارد هنا، وقد أسفر ذلك عن حدود عليا تقل عن تلك المعتمدة على المنهجية الأكثر دقة . غير أنه أعيد قياس النطاقات للتوصل إلى نفس النتائج التي سجلت للنهج الأكثر دقة .

الجدول A. III. 2: بارامترات التكاليف – الأداء لتكنولوجيات الحرارة بالطاقة المتجددةi

الموارد	التكنولوجيا	بيان المدخلات									بيانات المخرجات		
		الحجم النمطي للجهاز (ميجاوات)	تكلفة الاستثمار (دولار أمريكي/كيلووات)	تكاليف التشغيل والصيانة المثبتة سنويا (دولار أمريكي/كيلووات و/أو متغير (دولار أمريكي/جيجاجول)	عائدات المخرجات الثانوية (دولار أمريكي/كيلووات ii	تكاليف المواد الخام (دولار أمريكي/جيجاجول	كفاءة تحويل المادة الخام (النسبة)	عامل القدرة (النسبة)	التصميم الاقتصادي فترة الحياة (النسبة)	المراجع	التكلفة المقومة للكهرباءiii سعر الخصم		
											3%	7%	10%
طاقة حيوية	الكتلة الأحيائية (التدفئة المنزلية بكرات الوقود) iv	0.005–0.1[v]	310–1,200[vi]	13–43 USD/kW[vii]	N/A[viii]	10–20	86–95	13–29	10–20	IEA (2007b)	14–70	15–77	16–84
	الكتلة الأحيائية (نفايات البلديات الصلبة ix، الحرارة والطاقة مجتمعانX)	1–10[xi]	370–3,000[xii, xiii]	15–130 USD/kW[vii]	N/A[viii]	0–3	20–40[xiv]	80–91	10–20		1.4–34	1.8–38	2.1–41
	التكلفة الأحيائية (توربين البخار، الحرارة والطاقة مجتمعان) xv	12–14	370–1,000[xii]	1.2–2.5 USD/kW[vii]	N/A[viii]	3.7–6.2	10–40	63–74	10–20		10–69	11–70	11–72
	الكتلة الأحيائية (الهضم اللاهوني، الحرارة والطاقة مجتمعان)	0.5–5[xi]	170–1,000[xii,xvi]	37–140 USD/kW[vii]	N/A[viii]	2.5–3.7[xvii]	20–30[xviii]	68–91	15–25		10–29	10–30	10–32
الطاقة الشمسية	التدفئة الحرارية الشمسية (المياه الحارة المنزلية xix، الصين)	0.0017–0.01[xx]	120–540[xxi]	1.5–10 USD/kW[xxii]	N/A[viii]	N/A[viii]	20–80[xxiii]	4.1–13[xxiv]	10–15[xxv]	see Section 3.8.2 and footnotes	2.8–56	3.6–67	4.2–75
	التدفئة الحرارية الشمسية (المياه، الحرارة المنزلية) نظم توليفة صندوق الطرد الحراري)	0.0017–0.07[xx]	530–1,800	5.6–22 USD/kW[xxii]	N/A[viii]	N/A[viii]	20–80[xxiii]	4.1–13[xxiv]	15–25	IEA (2007b)	8.8–134	12–170	16–200
الطاقة الحرارية الأرضية	الطاقة الحرارية الأرضية (تدفئة المباني)	0.1–1	1,600–3,900[xxvi]	8.3–11 USD/GJ[xxvii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	25–30	20	see Section 4.7.6	20–50	24–65	28–77
	الطاقة الحرارية الأرضية (المنزلية)	3.8–35	600–1,600[xxvi]	8.3–11 USD/GJ[xxvii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	25–30	25		12–24	14–31	15–38
	الطاقة الحرارية الأرضية (الصوبات)	2–5.5	500–1,000[xxvi]	5.6–8.3 USD/GJ[xxvii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	50	20		7.7–13	8.6–14	9.3–16
	الطاقة الحرارية الأرضية (أحواض تربية الأحياء المائية غير المغطاة)	5–14	50–100[xxvi]	8.3–11 USD/GJ[xxvii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	60	20		8.5–11	8.6–12	8.6–12
	الطاقة الحرارية الأرضية (مضخات الحرارة)	0.01–0.35	900–3,800[xxvi]	7.8–8.9 USD/GJ[xxvii]	N/A[viii]	N/A[viii]	N/A[viii]	25–30	20		14–42	17–56	19–68

ملاحظات عامة:

i جرى تقريب جميع البيانات إلى رقمين صحيحين. وتوفر معظم فصول التكنولوجيا (الفصول 2 إلى 4) معلومات إضافية و/أو زائدة عن التكاليف والأداء بصورة أكثر تفصيلاً في الأقسام المتعلقة باتجاهات التكاليف في الفصول المعنية. وقد أخذت الافتراضات الداعمة لبعض تقديرات تكاليف الإنتاج من الدراسات مباشرة إلا أنها قد لا تكون شفافة مثل تلك الواردة في هذا المرفق ومن ثم يتعين أخذها بحذر؟

ii منشئات CHP تنتج كلا من الحرارة والكهرباء. ويمكن حساب التكلفة المقومة لأحد هذين المنتجين فقط أي الحرارة أو الكهرباء بطرق مختلفة. وأحد هذه الطرق هو إسناد قيمة سوقية (مخصومة) "لمنتج ثانوي" وخصم ذلك الدخل الإضافي من المصروفات المتبقية. وقد تم ذلك في حساب التكلفة المقومة LCOE لمنشئات الحرارة والطاقة مجتمعين العاملة بالطاقة الأحيائية. وحسبت التكاليف المتعادلة لإنتاج الحرارة LCOH بطريقة أخرى وفقا للمنهجية المستخدمة في الوكالة الدولية للطاقة IEA 2007 والتي استخدمت كمرجع رئيسي لبيانات المدخلات: فبدلا من اعتبار الكهرباء "منتج ثانوي" وخصم قيمتها من المصروفات المتبقية للإمداد بالحرارة، قسمت المصروفات العكسية على امتداد فترة حياة المشروع الاستثماري وفقا للمعدل المتوسط لمخرجات الحرارة/الكهرباء مع الأخذ في الاعتبار فقط أنصبة الحرارة من تكاليف الاستثمار والتشغيل والصيانة. ولهذا السبب، لم تذكر أي عائدات للمنتج الثانوي في جدول الحرارة. وتحقق كلتا المنهجيتين مزايا وعيوب مختلفة.

Continued next page →

iii LCOH التكلفة المقومة للإمداد بالحرارة. ولا تتضمن التكلفة المقومة تكاليف النقل والتوزيع في حالة نظم التدفئة الحضرية. كما استبعدت إعانات المخرجات لتوليد الطاقة المتجددة والائتمان الضريبي. غير أنه لا يمكن أن تستبعد بالكامل الضرائب والإعانات غير المباشرة على المخرجات أو السلع التي تؤثر في أسعار المدخلات ومن ثم التكاليف الخاصة.

الطاقة الأحيائية:

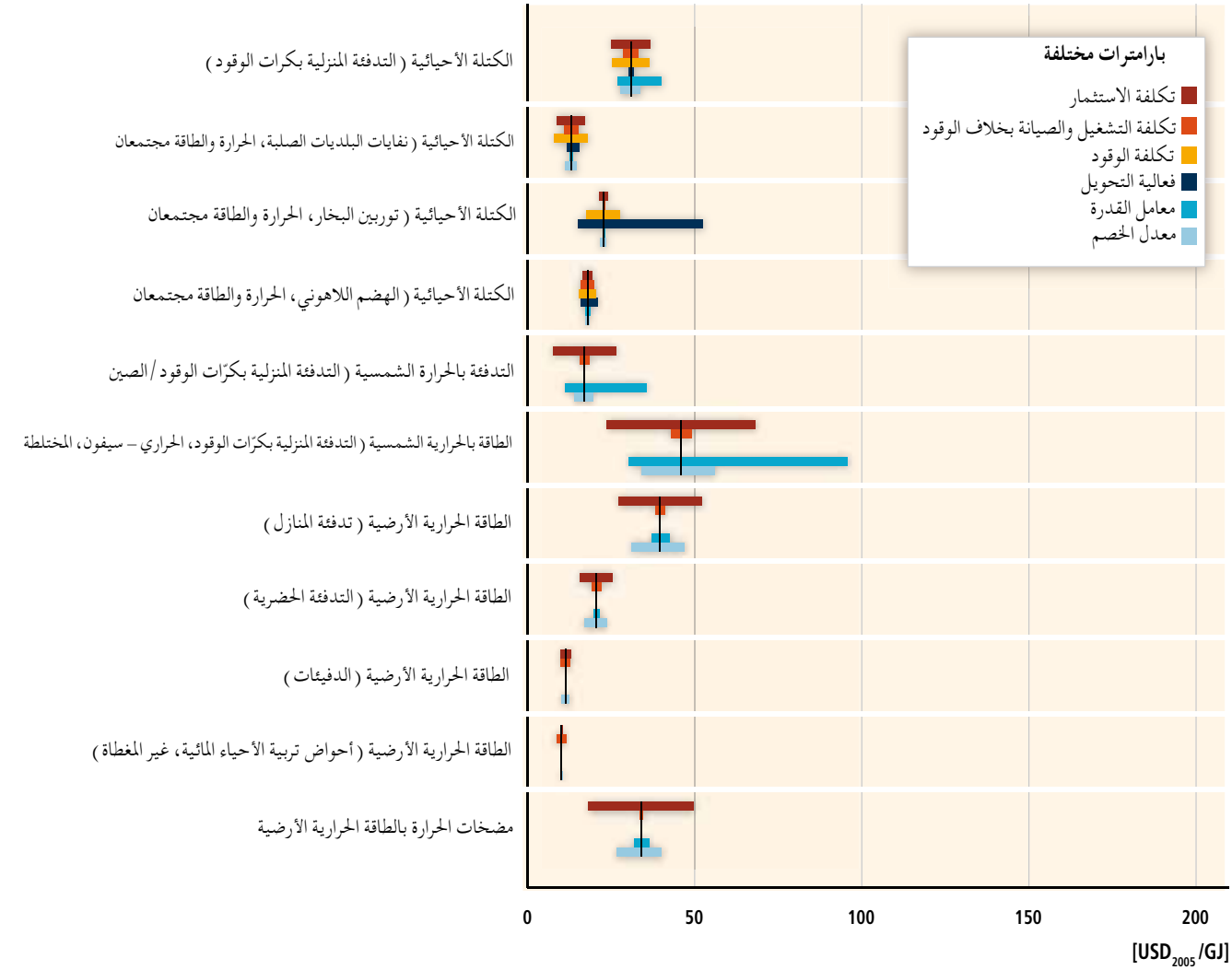
iv DPH التدفئة المنزلية بكرات الوقود.
v هذا النطاق عادي بالنسبة لأسرة مفردة منخفضة استهلاك الطاقة (5 كيلووات) أومبنى مكون من شقق (100 كيلووات).
vi تكاليف الاستثمار لنظام التدفئة بكرات الكتلة الأحيائية خاص بمنشأة الاحتراق فقط (بما في ذلك الضوابط) ويتراوح بين 100 و600 دولار امريكى للكيلووات. ويتضمن النطاق المشار إليه أعلاه الأشغال المدنية ومخازن الوقود والحرارة،(الوكالة الدولية،للطاقة 2007).
vii التكاليف السنوية الثابتة للتشغيل والصيانة تتضمن تكاليف الطاقة المساعدة. وتتراوح الطاقة المساعدة بين 10 إلى 20 كيلووات ساعة سنوياً. ويفترض أن تتراوح أسعار الكهرباء بين 0.1 إلى 0.3 دولار أمريكي للكيلووات ساعة. وتتضمن تكاليف التشغيل والصيانة للخيارات الحرارة والطاقة مجتمعين نسبة الحرارة فقط.
viii المختصر n.a يعني هنا لا ينطبق.
ix MSW نفايات البلديات الصلبة.
x CHP الحرارة والطاقة مجتمعان.
xi الحجم العادي يعتمد على تقدير الخبراء وبيانات التكاليف من الوكالة الدولية للطاقة، (2007).
xii تشمل تكاليف الاستثمار لخيارات الحرارة والطاقة مجتمعين نسبة الحرارة فقط. وتقدم بيانات الكهرباء الواردة في الجدول A.III.1 أمثلة على مجموع تكاليف الاستثمار (انظر القسم 2.4.4).
xiii تتحدد تكاليف الاستثمار لمنشئات نفايات البلديات الصلبة MSW بالدرجة الأولى بتكلفة تنظيف غاز المداخن التي يمكن أن تخصص لمعالجة النفايات بدلاً من إنتاج الحرارة (الوكالة الدولية للطاقة، 2007).
xiv مراصد نفايات البلديات الصلبة MSW خاصة بالحرارة فقط (على النحو المستخدم في الدانمرك والسويد) قد يكون لديها كفاءة حرارية تتراوح بين 70 و80 في المائة. إلا أنها لا تؤخذ في الاعتبار (الوكالة الدولية للطاقة، 2007).
xv النطاقات المقدمة في هذه الفئة تعتمد بالدرجة الأولى على منشأتين في الدانمرك والنمسا وقد أخذت من الوكالة الدولية للطاقة، 2007.
xvi تعتمد تكاليف الاستثمار في الهضم اللاهوائي على قيم الدراسات المقدمة بالقياس مع القدرة الكهربائية. وللتحويل إلى القدرة الحرارية، استخدمت الكفاءة الكهربائية 37 في المائة والكفاءة الحرارية 55 في المائة، الوكالة الدولية للطاقة، 2007.
xvii بالنسبة للهضم اللاهوائي، تعتمد أسعار الوقود على خليط من محاصيل الذرة الخضراء والمادة الخام من الروث وتشمل المواد الخام الأخرى للغاز الأحيائي النفايات المفصلة حسب المصدر، وغاز مدافن القمامة إلا أنها لا تؤخذ في الاعتبار هنا (وكالة الطاقة الدولية، 2007).
xviii تتضمن كفاءات التحويل مدخلات الحرارة المساعدة الإضافية (8 إلى 20 في المائة لحرارة العملية) فضلاً عن استخدام أي مادة أساس مشتركة مما قد يزيد من الكفاءة العملية. وبالنسبة للنفايات المفصلة حسب المصدر ستكون الكفاءة أكثر انخفاضاً (وكالة الطاقة الدولية، 2007).

الطاقة الشمسية:

xix DHW ماء ساخن منزلي.
xx متر مربع واحد من منطقة التجميع تحول إلى 0.7 كيلووات من القدرة المركبة (انظر القسم 3.4.1).
xxi 70 في المائة من حجم المبيعات البالغ 13.5 مليون متر مربع في 2004 بيع بأقل من 1500 يوان للمتر المربع (190 دولار أمريكي بأسعار 2005 للكيلووات) (Zhang et al, 2010). وتعتمد الحدود الدنيا على بيانات جمعت خلال المقابلات الموحدة في مقاطعة زيجانغ في الصين في 2008 (Han et al, 2010) ويعتمد على الحد الأعلى على Chang et al, 2011.
xxii يفترض أن تبلغ تكاليف التشغيل السنوية الثابتة 1 إلى 3 في المائة من تكاليف الاستثمار (وكالة الطاقة الدولية، 2007) بالإضافة إلى التكاليف السنوية للطاقة الإضافية المساعدة. وتتراوح الاحتياجات من الطاقة الإضافية المساعدة السنوية بين 2 و10 كيلووات ساعة/متر مربع). ويفترض أن تتراوح أسعار الكهرباء بين 0.1 إلى 0.3 دولار أمريكي للكيلووات ساعة.
xxiii تمثيل كفاءة تحويل نظام الحرارة الشمسية إلى أن تكون أعلى في الأقاليم التي ينخفض فيها الإشعاع الشمسي. ويعوض ذلك التأثير السلبي لانخفاض الشعاع الشمسي على التكلفة حيث إن إحصاء الطاقة في المتر المربع من منطقة الجمع سيكون متماثلاً (Harvey, 2006, p. 461). ولم تستخدم كفاءات التحويل التي تؤثر في عامل القدرة الناشئ في حساب LCOH بصورة مباشرة.
xxiv تعتمد عوامل القدرة على الحصيلة السنوية المفترضة للطاقة التي تتراوح بين 250 و800 كيلووات/متر مربع (الوكالة الدولية للطاقة، 2007).
xxv فترة حياة التصميم المتوقع لسخانات المياه الصينية العاملة بالطاقة الشمسية في حدود 10 إلى 15 عاماً (وكالة الدولية للطاقة، 2007).

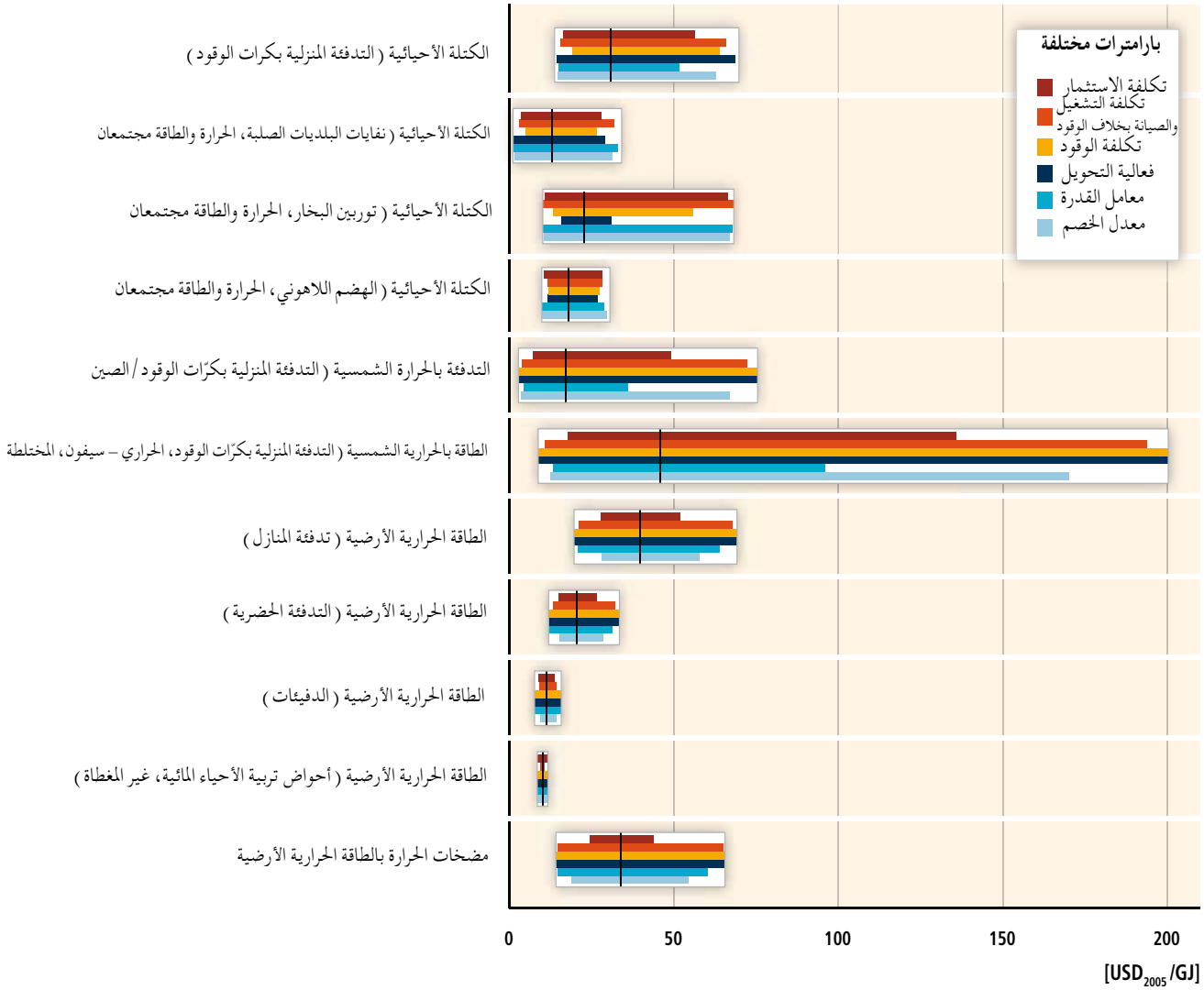
الطاقة الحرارية الأرضية:

xxvi بالنسبة لمضخات الحرارة العاملة بالطاقة الحرارية الأرضية، تتضمن حدود تكاليف الاستثمار منشئات سكنية وتجارية ومؤسسية وبالنسبة للمنشئات التجارية والمؤسسية، يفترض أن تتضمن التكاليف تكاليف التنقيب إلا أن هذه التكاليف غير متضمنة في المنشئات السكنية.
xxvii يبلغ متوسط تكاليف التشغيل والصيانة محسوبة بالدولار الأمريكي بأسعار 2005 للكيلووات ساعة 0.03 إلى 0.04 لتدفئة المباني والتدفئة الحضرية، وبالنسبة لأحواض تربية الأحياء المائية غير المغطاة 0.02 إلى 0.03، للصوبات و0.028 إلى 0.032 لمضخات الحرارة المعتمدة علىالطاقة الحرارية الأرضية.



الشكل A.III.3a: الشكل البياني الأعاصيري لتكنولوجيات الحرارة المتجددة. لمزيد من التوضيح انظر الشكل A.III.1a.

ملاحظة: قد يكون من قبيل التضليل بعض الشيء القول بأن تطبيقات الحرارة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية لا تبدي أي حساسية إزاء التباينات في كفاءات التحويل. ويعزى ذلك إلى أن مدخلات الطاقة بالنسبة للحرارة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية لا تنطوي على أي تكاليف، وأن ارتفاع كفاءات التحويل لمدخلات الطاقة في أعمال LCOH لا يحدث إلا من خلال زيادة المخرجات السنوية. فالتباينات في المخرجات السنوية تتحقق بدورها من خلال تباين عامل القدرة.



الشكل A.III.3b : "الجانب السلبي" في الشكل البياني الأعاصيري لتكنولوجيات الطاقة المتجددة . لمزيد من الإيضاح انظر الشكل A.III.1b .

الجدول A.III.3: بارامترات التكلفة – الأداء للوقود

الموارد	الطاقة / الإقليم	بيان المدخلات									بيانات المخرجات		
		الحجم النمطي للجهاز (ميجاوات)	تكلفة الاستثمار (دولار أمريكي / كيلووات) [ii]	تكاليف التشغيل والصيانة الثابتة سنوياً (دولار أمريكي / كيلووات و / أو متغير (دولار أمريكي / جيجاجول)	عائدات المخرجات الثانوية (دولار أمريكي / كيلووات	تكاليف المواد الخام (دولار أمريكي / جيجاجول	كفاءة تحويل المادة الخام (النسبة) الإنتاج فقط (المنتجات + المنتجات السنوية) [iii]	عامل القدرة (النسبة)	التصميم الاقتصادي فترة الحياة (النسبة)	المراجع	التكلفة المقومة للكهرباء [iv] سعر الخصم [v]		
											3%	7%	10%
	Ethanol				Co-product: sugar [vi]								
	Overall	***170–1,000***	***83–360***	***16–35 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$***	***4.3***	***2.1–7.1***	***17 (39)***	***50%***	***20***	***Alfstad (2008), Bain (2007), Kline et al. (2007)***	***2.4–39***	***3.5–42***	***4.5–46***
	Brazil, Case A [vii]	See above	100–330	20–32 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	2.1–6.5 [viii]	See above	See above	See above	Bohlmann and Cesar (2006), Oliverio (2006), van den Wall Bake et al. (2009)	2.4–38	3.5–41	4.5–44
	Argentina	See above	110–340	21–34 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	6.5 [ix]	See above	See above	See above	Oliverio and Riberio (2006), see also row 'Overall' above	28–39	30–42	31–46
قصب السكر	**Caribbean Basin** [x, xi]	See above	110–360	22–35 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	2.6–6.2	See above	See above	See above	Rosillo-Calle et al. (2000) see also row 'Overall' above	6.4–38	7.7–42	8.8–46
	Colombia	See above	100–320	20–31 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	5.6	See above	See above	See above	McDonald and Schrattenholzer (2001), Goldemberg (1996), see also row 'Overall' above	23–32	24–36	25–39
	India	See above	110–340	21–33 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	2.6–6.2	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	5.9–37	7.1–41	8.2–44
	Mexico	See above	83–260	16–25 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	5.2–7.1	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	19–37	19–40	20–42
	USA	See above	100–320	20–31 USD/kW$_{th}$ and 0.87 USD/GJ$_{feed}$	See above	6.2	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	27–36	28–40	29–43

Continued next page →

بيانات المخرجات			بيان المدخلات										
التكلفة المقومة للكهرباء[iv] سعر الخصم[v]			المراجع	التصميم الاقتصادي فترة الحياة (النسبة)	عامل القدرة (النسبة)	كفاءة تحويل المادة الخام (النسبة) الإنتاج فقط (المنتجات + المنتجات السنوية)[iii]	تكاليف المواد الخام (دولار أمريكي/ جيجاجول)	عائدات المخرجات الثانوية (دولار أمريكي/ كيلووات)	تكاليف التشغيل والصيانة الثابتة سنوياً (دولار أمريكي/ كيلووات و/ أو متغير (دولار أمريكي/ جيجاجول)	تكلفة الاستثمار (دولار أمريكي/ كيلووات)[ii]	الحجم النمطي للجهاز (ميجاوات)	الطاقة/ الإقليم	الموارد
10%	7%	3%											
								By-product: DDGS[xii]				Ethanol	الذرة
10–23	*9.5–22*	*9.3–22*	***Alfstad (2008), Bain (2007), Kline et al. (2007)***	*20*	*95%*	*54 (91)*	*4.2–10[xiii]*	*1.56*	***9–27 USD/kW$_{th}$ and 1.98 USD/GJ$_{feed}$***	*160–310*	*N/A*	*Overall*	
10–23	9.5–22	9.3–22	Delta-T Corporation (1997), Ibsen et al. (2005), Jechura (2005), see also row 'Overall' above	See above	See above	See above	4.2–10[xv]	See above	9–18 USD/kW$_{th}$ and 1.98 USD/GJ$_{feed}$	160–240	140–550[xiv]	USA	
17–18	16–17	16–17	McAloon et al. (2000). RFA (2011), University of Illinois (2011), see also row 'Overall' above	See above	See above	See above	7.5	See above	9–17 USD/kW$_{th}$ and 1.98 USD/GJ$_{feed}$	170–260	See above	Argentina	
12–16	12–15	11–15	see row 'Overall' above	See above	See above	See above	4.8–5.7	See above	13–27 USD/kW$_{th}$ and 1.98 USD/GJ$_{feed}$	200–310	See above	Canada	
								By-product: DDGS[xii]				Ethanol	القمح
12-28	*12–28*	*12–28*	***Alfstad (2008), Bain (2007), Kline et al. (2007)***	*20*	*95%*	*49 (91)*	*5.1–13*	*1.74*	***8–25 USD/kW$_{th}$ and 1.41 USD/GJ$_{feed}$***	*140–280[xvi]*	*150–610*	*Overall*	
14–28	14–28	13–28	OECD (2002), Shapouri and Salassi (2006), USDA (2007), see also 'Overall'	See above	See above	See above	6.3–13	See above	8–17 USD/kW$_{th}$ and 1.41 USD/GJ$_{feed}$	140–220	See above	USA	
14–17	14–16	14–16	see row 'Overall' above	See above	See above	See above	6.5–7	See above	8–16 USD/kW$_{th}$ and 1.41 USD/GJ$_{feed}$	150–230	See above	Argentina	
12–17	12–17	12–16	see row 'Overall' above	See above	See above	See above	5.1–6.9	See above	12–25 USD/kW$_{th}$ and 1.41 USD/GJ$_{feed}$	190–280	See above	Canada	

Continued next page →

الموارد	الطاقة / الإقليم	الحجم النمطي للجهاز (ميجاوات)	تكلفة الاستثمار (دولار أمريكي / كيلووات) [ii]	تكاليف التشغيل والصيانة الثابتة سنوياً (دولار أمريكي / كيلووات و / أو متغير (دولار أمريكي / جيجاجول)	عائدات المخرجات الثانوية (دولار أمريكي / كيلووات	تكاليف المواد الخام (دولار أمريكي / جيجاجول	كفاءة تحويل المادة الخام (النسبة) الإنتاج فقط (المنتجات + المنتجات السنوية) [iii]	عامل القدرة (النسبة)	التصميم الاقتصادي فترة الحياة (النسبة)	المراجع	التكلفة المقومة للكهرباء [iv] سعر الخصم [v] 3%	7%	10%
زيت الصويا	Biodiesel[xvii]				By-product: Glycerin[xviii]								
	Overall	*44–440*	*160–320*	*9–46 USD/kW$_{th}$ and 2.58 USD/GJ$_{feed}$*	*0.58*	*7.0–24*	*103 (107)19*	*95%*	*20*	*Alfstad (2008), Bain (2007), Kline et al. (2007), Haas et al. (2006), Sheehan et al. (2006)*	*9.4–28*	*10–28*	*10–28*
	Argentina	See above	170–320	12–42 USD/kW$_{th}$ and 2.58 USD/GJ$_{feed}$	See above	14–16[xx]	See above	See above	See above	Chicago Board of Trade (2006), see also row 'Overall' above	16–19	16–19	17–20
	Brazil	See above	160–310	9–27 USD/kW$_{th}$ and 2.58 USD/GJ$_{feed}$	See above	7.0–18[xx]	See above	See above	See above	Chicago Board of Trade (2006), see also row 'Overall' above	9.4–21	10–21	10–21
	USA	See above	160–300	12–46 USD/kW$_{th}$ and 2.58 USD/GJ$_{feed}$	See above	9.7–24	See above	See above	See above	USDA (2006), see also row 'Overall' above	12–28	12–28	12–28
زيت النخيل	Biodiesel				By-product: Glycerin[xviii]								
	Overall	*44–440*	*160–340*	*10–46 USD/kWth and 2.58 USD/GJfeed*	*0.58*	*6.1–45*	*103 (107)*	*95%*	*20*	*Alfstad (2008), Bain (2007), Kline et al. (2007), Haas et al. (2006), Sheehan et al. (1998)*	*8.7–48*	*8.9–48*	*9.0–49*
	Colombia	See above	160–300	10–34 USD/kW$_{th}$ and 2.58 USD/GJ$_{feed}$	See above	6.1–45	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	8.7–48	8.8–48	9.0–49
	Caribbean Basin[x]	See above	180- 340	13–46 USD/kW$_{th}$ and 2.58 USD/GJ$_{feed}$	See above	11–45	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	14–48	14–48	14–48
الخشب والغاز الأحيائي وغير ذلك	Pyrolytic Fuel Oil				By-product: Electricity[xxi]								
	Overall	*110–440*	*160–240*	*12–44 USD/kWth and 0.42 USD/GJfeed*	*0.07*	*0.44–5.5[xxii]*	*67 (69)*	*95%*	*20*	*Ringer et al. (2006)*	*2.3–12*	*2.6–12*	*2.8–12*
	USA	See above	160–230	19–44 USD/kW$_{th}$ and 0.42 USD/GJ$_{feed}$	See above	1.4–5.5	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	4.0–12	4.3–12	4.5–12
	Brazil	See above	160–240	12–24 USD/kW$_{th}$ and 0.42 USD/GJ$_{feed}$	See above	0.44–5.5	See above	See above	See above	see row 'Overall' above	2.3–11	2.5–11	2.8–11

Continued next page →

ملاحظات عامة:

i قريت جميع البيانات إلى أقرب عدد صحيح. ويوفر الفصل 2 معلومات إضافية عن التكلفة والأداء في القسم بشأن اتجاهات التكاليف. غير أن الافتراضات الداعمة لبعض تقديرات تكاليف الإنتاج التي أخذت بصورة مباشرة من الدراسات قد لا تكون بالشفافية التي تتسم بها مجموعات البيانات الواردة في هذا المرفق، ولذا ينبغي أن ينظر إليها بحذر.

ii تستند تكاليف الاستثمار إلى عامل قدرة المنشأة وليس على أساس عامل التيار بنسبة 100 في المائة الذي هو المبدأ العادي.

iii ذكرت كفاء تحويل المادة الخام المقاسة بوحدات الطاقة من المدخلات مقابل وحدات الطاقة من المخرجات فيما يتعلق بالكتلة الأحيائية فقط.

iv LCOF : التكلفة المقومة لوقود النقل. وتشمل التكلفة المقومة لوقود النقل جميع التكاليف الخاصة التي تتكبد في المراحل التمهيدية لنظام الطاقة الأحيائية إلا أنها لا تشمل تكاليف النقل والتوزيع على العملاء الأخيرين. كما تستبعد إعانات المخرجات لتوليد الطاقة المتجددة، والائتمان الضريبي. غير أنه لا يمكن أن تستبعد بالكامل الضرائب والإعانات غير المباشرة على المدخلات أو السلع التي تؤثر في أسعار المدخلات ومن ثم التكاليف الخاصة.

الطاقة الأحيائية:

v HHV : قيمة الحرارة الأعلى وLHV قيمة الحرارة الدنيا.

vi يفترض أن يكون سعر السكر أو العائدات منه تعادل 22 دولاراً أمريكياً بأسعار 2005 لكل جيجاجول من السكر استناداً إلى متوسط 2005–2008 أسعار السكر المكرر في العالم.

vii يستخدم سكروز القصب بمحتوى 14 في المائة في الحسابات الخاصة بالحالة ألف مع الافتراض الإضافي بأن 50 في المائة من مجموع السكروز يستخدم في إنتاج السكر (بكفاءة استخلاص قدرها 97 في المائة)، وتستخدم نسبة الـ50 في المائة الأخرى من مجموع السكروز في إنتاج الإيثانول (كفاءة استخلاص 90 في المائة). ويبلغ المحتوى من الثفل في القصب المستخدم 16 في المائة. وتبلغ قيمة الحرارة العليا المستخدمة من الثفل 18.6 جيجاجول/طن والسكروز 17.0 جيجاجول/طن، وفي شكل القصب المتلقى 3–5 جيجاجول/لتر.

viii انخفضت تكاليف المادة الخام البرازيلية بنسبة 60 في المائة في الفترة الزمنية لعام 1995 إلى 2005 (Hettinga et al, 2009). للحصول على مزيد من المعلومات عن اتجاهات التكاليف التاريخية والمستقبلية انظر أيضاً الأقسام 2.7.2 و2.7.3 و2.7.4.

ix كان 55.2 في المائة من المواد الخام من ثفل قصب السكر. ويمكن الإطلاع على المعلومات الأكثر تفصيلاً عن خواص المواد الخام مثلاً في القسم 2.3.1.

x بلدان مبادرة حوض الكاريبي هي غواتيمالا، وهندوراس، ونيكاراغوا، وجمهورية الدومينيك، وكوستاريكا، والسلفادور، وغويانا، وغيرها.

xi خليط الإيثانول وطحين السكر 50/50. ويمكن الإطلاع على معلومات أكثر تفصيلاً عن دقيق السكر في القسم 2.3.4.

xii DDGS: مقطرات الحبوب الجافة بالإضافة إلى المواد المذابة.

xiii بالنسبة لنطاق المواد الخام الدولية، استخدمت منحنيات العرض من Klime et al 2007. وللحصول على معلومات أكثر تفصيلاًعن منحنيات عرض المواد الخام وغير ذلك من الاعتبارات الاقتصادية في عمليات تقييم موارد الكتلة الأحيائية انظر القسم 2.2.3 في الفصل.

xiv نطاق حجم المنشأة (140–550 ميجاوات) هو ما يعادل ما بين 25 و100 مليون جالون سنوياً (mmgpy) من الإيثانول اللامائي، وتمثيلي لصناعة الإيثانول من الذرة في الولايات المتحدة الأمريكية (RFA, 2011).

xv انخفضت أسعار الذرة في الولايات المتحدة الأمريكية بنسبة 63 في المائة في الفترة من 1975 إلى 2005 (Hettinga et al., 2009). وللحصول على معلومات أكثر تفصيلاً عن اتجاهات التكاليف التاريخية والمستقبلية انظر أيضاً الأقسام 2.7.2 و2.7.3 و2.7.4.

xvi استناداً إلى تكاليف دقيق الذرة المصوبة لأغراض قيمة الحرارة العليا، وغلات مقطرات الحبوب الجافة (DDG) بالنسبة للقمح. ويمكن الإطلاع على معلومات أكثر تفصيلاً عن الطحن في القسم 2.3.4.

xvii أساس التركيب هو زيت الصويا وليس فول الصويا. ويستخدم نتاج الطحن للتحويل من أسعار فول الصويا إلى أسعار زيت الصويا. وتبلغ قيمة الحرارة العليا لزيت الصويا = 39.6 جيجاجول/لتر.

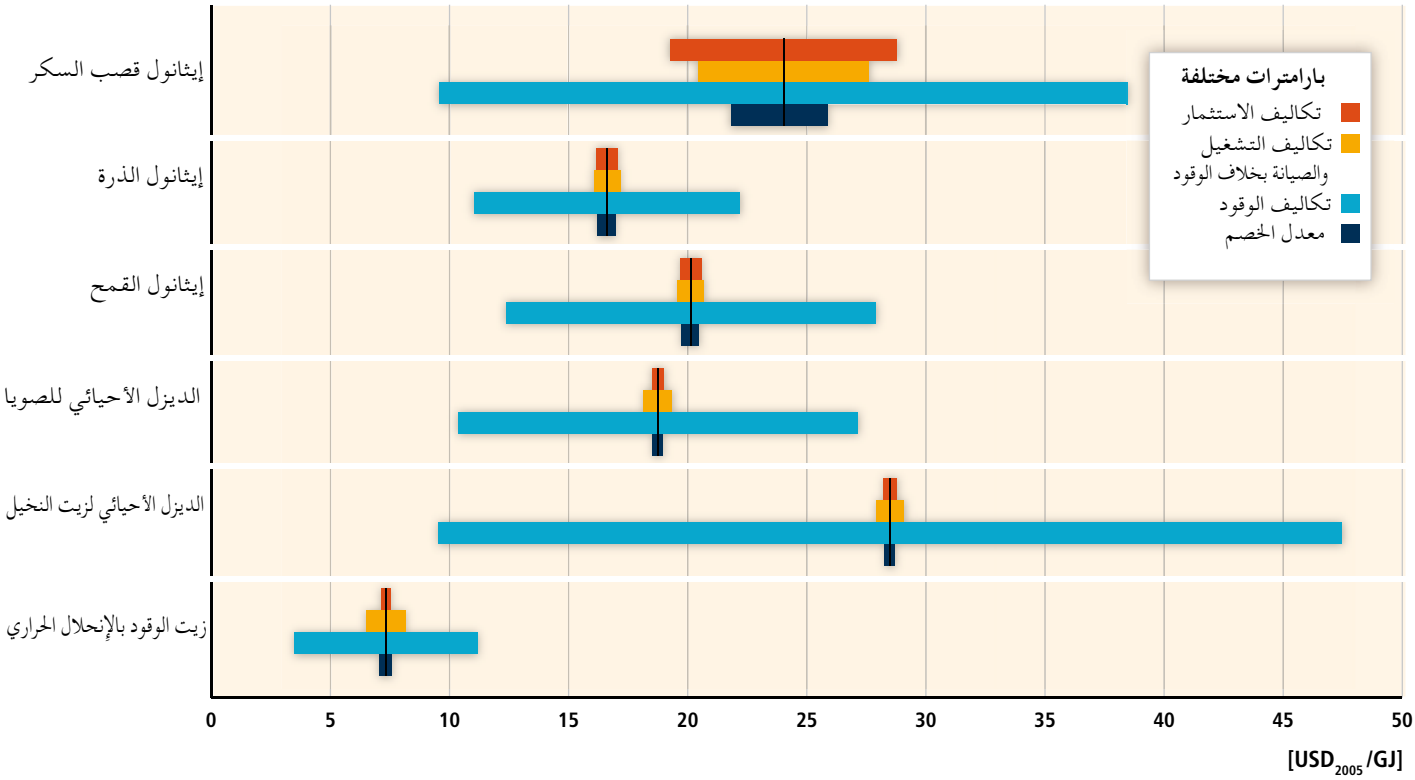
xviii يشار إلى الجلسرين أيضاً على أنه جليسرول وهو عبارة عن مركب بوليول بسيط (1، 2، 3 بروبانيتريول) ويمثل عنصراً رئيسياً في جميع الدهنيات المعروفة باسم تريجليسيريد. والجليسرين عبارة عن منتج ثانوي لإنتاج الديزل الأحيائي.

xix الغلة أعلى من 100 في المائة لأن الميثانول (أو غيره من المواد اللامائية) يدرج في المنتج.

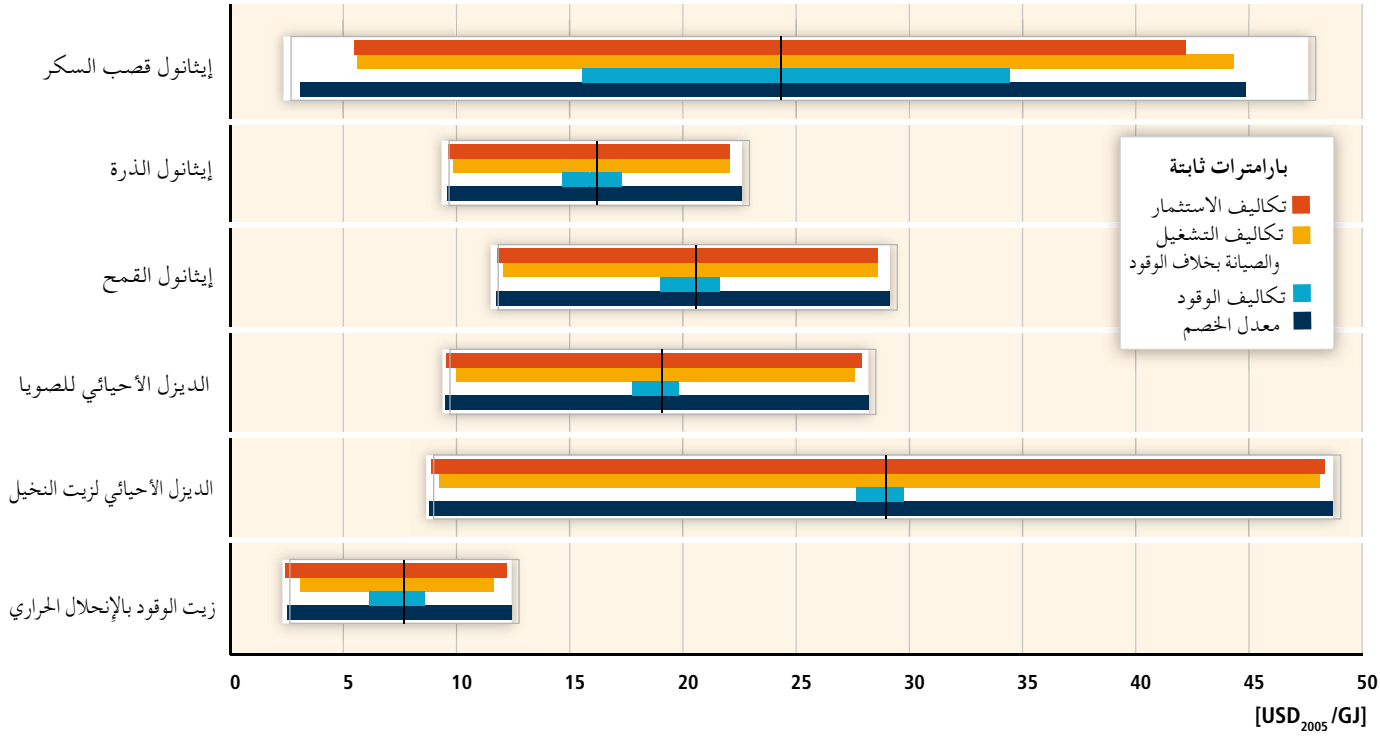
xx تقدر أسعار زيت الصويا من أسعار فول الصويا (Kline et al., 2007) ونتاج الطحن (مجلس شيكاغو للتجارة، 2006).

xxi يستخدم الغاز والنفايات الصلبة المستخلصة من العملية (char) لعملية الحرارة والطاقة. ويجري تصدير الكهرباء الفائضة بوصفها منتجا ثانويا.

xxii يستند نطاق تكاليف المواد الخام إلى أسعار نفايات ثفل قصب السكر والنفايات الخشبية (Kline et al. 2007). والنطاق المرتفع هو الإنحلال الحراري المعتمد على الخشب، والنطاق المنخفض يمثل عادة الإنحلال الحراري من ثفل قصب السكر. للحصول على مزيد من المعلومات عن الإنحلال الحراري انظر القسم 2.3.3.2. وللحصول على معلومات عن اتجاهات التكاليف التاريخية والمستقبلية انظر أيضاً الأقسام 2.7.2 و2.7.3 و2.7.4.



الشكل A.III.4a: الشكل البياني الإعصاري للوقود الأحيائي. لمزيد من المعلومات انظر الشكل A.III.1a



الشكل A.III.4b: الجوانب السلبية في الشكل البياني الإعصاري للوقود الأحيائي. لمزيد من المعلومات انظر الشكل A.III.1b.

ملاحظة: يؤدي تجميع بيانات المدخلات عبر مختلف الأقاليم والأقاليم الفرعية والحسابات التالية للتكاليف المتعادلة لوقود النقل إلى نطاقات لهذه التكاليف أكثر من تلك التي يتم الحصول عليها إذا حسبت قيم التكلفة المقومة لوقود النقل الخاصة بكل إقليم، ويجري بعد ذلك تجميع هذه القيم الإقليمية. وبغية التمكين من إجراء تحليل حساسية أوسع نطاقاً، اتبع المنهج الأول هنا. غير أنه أعيد قياس النطاقات الأوسع لتحقيق نفس النتائج مثل الناشئة عن النهج الآخر والذي هو أكثر دقة ويستخدم في بقية التقرير.

المراجع

استخدمت المراجع الوارد في هذه القائمة في تقييم بيانات التكلفة والأداء الخاصة بالتكنولوجيات المختلفة الموجزة في هذه الجداول. وقد أشير إلى بعضها فقط في نص هذا المرفق لدعم معلومات معينة مدرجة في النص التوضيحي. وقد صنفت جميع المراجع بحسب نوع الطاقة/الناقلات وبحسب التكنولوجيا.

الكهرباء

الطاقة الأحيائية

الملاحظة 1: جرى في معرض الفصل 2 تقييم المزيد من المراجع المتعلقة بالتكاليف. وقد أفادت هذه المراجع في إجراء مراجعة ترافقية لموثوقية النتائج من التحاليل الوصفية المعتمدة على مصادر البيانات الواردة هنا.

Bain, R. L (2007). تقدير الوقود الأحيائي في العالم. إمكانيات الكتلة الأحيائية في العالم: خواص التكنولوجيا NREL/MP–510–42467. المختبر الوطني للطاقة المتجددة. جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 140.

Bain, R. L (2011). تكنولوجيات الطاقة الأحيائية في مستقبل بدائل الكهرباء المتجددة. المختبر الوطني للطاقة المتجددة. جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. قيد الطبع.

Bain, R. L., W. P. Amos, M. Downing, and R. L. Perlack (2003). التقييم الفني للطاقة الأحيائية. حالة الصناعة والتكنولوجيا TP–510–33123. المختبر الوطني للطاقة المتجددة. جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 277.

DeMeo, E. A., and J. F. Galdo (1997). خواص تكنولوجيا الطاقة المتجددة TR–109496. إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية ومعهد بحوث الطاقة الكهربائية، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 283.

الوكالة الدولية للطاقة (2009): استهلاك الطاقة بواسطة الصناعات في 2006–جداول بيانات. الجدول 7.2. إدارة معلومات الطاقة. إدارة الطاقة في الولايات المتحدة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: eia.doe.gov/emeu/mecs/mecs2006/2006tables.html

McGowin, C (2008). دليل التقييم الفني للطاقة المتجددة. –TAG RE: 2007، معهد بحوث الطاقة الكهربائية، بالو ألتو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.

Neij, L (2008). تطور التكاليف لتكنولوجيا المستقبل لتوليد الطاقة – دراسة تستند إلى منحنيات الخبرة وعمليات التقييم التكميلية من أسفل إلى أعلى. سياسة الطاقة، **36**(6)، الصفحات 2200–2211

OANDA (2011). أسعار الصرف التاريخية.

Obernberger, I., and G. Thek (2004). التقييم الاقتصادي الفني لبعض عمليات الحرارة والطاقة المجتمعة على المستوى المركزي استنادا إلى حرق الكتلة الأحيائية في البلدان الشريكة في الوكالة الدولية للطاقة. BIOS Bioenergiesysteme GmbH، جرتس، النمسا، ص 87.

Obernberger, I., G. Thek, and D. Reiter (2008). التقييم الاقتصادي لتطبيقات الحرارة والطاقة المجتمعة على المستوى المركزي استنادا إلى حرق الكتلة الأحيائية وتغويز الكتلة الأحيائية. BIOS Bioenergiesysteme GmbH، جراتس، النمسا، ص 19

Peters, M, K. Timmerhaus,and R. West (2003). تصميم المنشئات والاقتصادات للمهندسين الكيميائيين. الطبعة الخامسة، شركات McGraw–Hill نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 242 (ISBN 0–07–239266–5).

Rauch, R (2010). التغويز غير المباشر. في: الوكالة الدولية للطاقة: حلقة العمل بشأن المهمة المشتركة 32 و33 كوبنهاغن، الدانمرك، 7 تشرين الأول/أكتوبر 2010. متوافر على: www.ieabcc.nl/meetings/task32_Copenhagen/09%20TU%20Vienna.pdf

Skjoldborg, B (2010). ترشيد منشأة التدفئة في منطقة سكيف. في: الوكالة الدولية للطاقة. حلقة العمل بشأن المهمة المشتركة 32 و33، كوبنهاغن، الدانمرك، 7 تشرين الأول/أكتوبر 2010. متوافر على: www.ieabcc.nl/meetings/task32_Copenhagen/11%20Skive.pdf

الطاقة الشمسية المباشرة

Bloomberg (2010). تحويل بلومبيرج للطاقة الجديدة – بيانات الطاقة الجديدة. متوافر على: bnef.com

Breyer, C., A. Gerlach, J. Mueller, H. Behacker, and A. Miller (2009). تحليل لتعادل الشبكات في مناطق الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية وقطاعات التسويق. ديناميةتعادل الشبكات والأعتماد على الإشعاع الشمسي. أسعار الكهرباء المحلية ومعدلات التقدم في الخلايا الفلطائية الضوئية. في: وقائع المؤتمر الأوروبي الرابع والعشرين للطاقة الشمسية بالخلايا الفلطائية الضوئية، 21–25 أيلول/سبتمبر 2009. هامبورغ، ألمانيا، الصفحات 4500–4992.

Bundesverband Solarwirtschaft e. V (2010). إحصاءات منشئات الطاقة الشمسية (الخلايا الفلطائية الضوئية) Berlin, Germany برلين، ألمانيا، ص 4.

الوكالة الدولية للطاقة (2010a). منظورات تكنولوجيا الطاقة: سيناريوهات وإستراتيجيات حتى عام 2050، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 710.

الوكالة الدولية للطاقة (2010b). خريطة طريق التكنولوجيا، الطاقة الشمسية المركزة، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 98.

الوكالة الدولية للطاقة (2010c). خريطة طريق التكنولوجيا، الطاقة الشمسية للخلايا الفلطائية الضوئية. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 48.

تنمية العناصر الخارجية للطاقة الجديدة لتحقيق الاستدامة (NEEDS) (2009). التقرير النهائي وقاعدة البيانات. تنمية العناصر الخارجية للطاقة الجديدة لتحقيق الاستدامة، روما، إيطاليا.

NREL (2011a). مجموعة نموذج تكاليف تصنيع الخلايا الفلطائية الضوئية الشمسية: أسعار تركيب نظام الخلايا الفلطائية الشمسية. عرض أمام حلقة العمل المشتركة بين SEGIS_ADEPT بشأن الطاقة الكهربية في نظم الخلايا الفلطائية الضوئية. أرلنجتون، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية، 8 شباط/فبراير 2011. NREL/PR–6A20–50955

NREL (2011b). مشروع الخلايا الفلطائية الضوئية المفتوح. قاعدة بيانات إلكترونية – متوافر على: openpv.nrel.org

Sharma, A (2011). دراسة شاملة للطاقة الشمسية في الهند والعالم. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **15**(4)، الصفحات 1767–1776.

Trieb, F., C. Schillings, M. O'Sullivan, T. Pregger, and C. Hoyer-Klick (2009). الاتفاقيات العالمية للطاقة الشمسية المركزة. في: مؤتمر PACES للطاقة الشمسية، برلين، ألمانيا، 15–18 أيلول/سبتمبر 2009.

Viebahn, P., Y. Lechon, and F. Trieb (2010). الدور المحتمل للطاقة الشمسية في أفريقيا وأوروبا: تقييم دينامي لتطور التكنولوجيا، وتطور التكاليف وعمليات حصر دورة المياه حتى عام 2050، سياسة الطاقة: doi: 10.1016/j.enpol.2010.09.026

الطاقة الحرارية الأرضية

Barnett, P., and P. Quinlivan (2009). تقييم التكاليف الجارية لتوليد الطاقة من الطاقة الحرارية الأرضية في نيوزيلندا (أساس عام 2007). تقرير مقدم من SKM لرابطة الطاقة الحرارية الأرضية في نيوزيلندا، ويلنجتون، نيوزيلندا. متوافر على: www.nzgeothermal.org.nz\industry_papers.html

Bertani, R (2010) توليد الطاقة الكهربية من الطاقة الحرارية الأرضية في العالم 2005–2010. تقرير محدث. في: وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2010، بالي، إندونيسيا، 25–30 نيسان/أبريل 2010. متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0008.pdf

Bromley, C.J., M.A. Mongillo, B. Goldstein, G. Hiriart, R. Bertani, E. Huenges, H. Muraoka, A. Ragnarsson, J. Tester, and V. Zui (2010) مساهمة الطاقة الحرارية الأرضية في التخفيف من تغير المناخ: تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عن الطاقة المتجددة. في: وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2010، بالي، إندونيسيا، 25–30 نيسان/أبريل 2010. متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0225.pdf

Cross, J., and J. Freeman (2009). تقرير سوق تكنولوجيات الطاقة الحرارية الأرضية لعام 2008، برنامج تكنولوجيات الطاقة الحرارية الأرضية لدى إدارة الطاقة في الولايات المتحدة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 46. متوافر على: www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/2008_market_report.pdf

Darma, S., S. Harsoprayitno, B. Setiawan, Hadyanto, R. Sukhyar, A.W. Soedibjo, N. Ganefianto, and J. Stimac (2010). تحديث الطاقة الحرارية الأرضية: تطور الطاقة الحرارية الأرضية واستخدامها في إندونيسيا. في: وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2010، بالي، إندونيسيا، 25–29 نيسان/أبريل 2010. متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0128.pdf

DiPippo, R (2008). منشئات الطاقة الحرارية الأرضية: المبادئ والتطبيقات ودراسات الحالة والآثار البيئية. السفير، لندن، المملكة المتحدة، ص 493.

مستقبل الطاقة الحرارية الأرضية (2008). مستقبل الطاقة الحرارية الأرضية 2008. DOE-GO-102008-2633، برنامج تكنولوجيات الطاقة الحرارية الأرضية في إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 36.

Gutiérrez-Negrín, L.C.A., R. Maya-González, and J.L. Quijano-León (2010). الحالة الراهنة للطاقة الحرارية الأرضية في المكسيك. في: وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2010، بالي، إندونيسيا، 25–29 نيسان/أبريل 2010. متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0101.pdf

Hance, C.N (2005). العوامل المؤثرة في تكاليف تنمية الطاقة الحرارية الأرضية. رابطة الطاقة الحارية الأرضية. واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 64. متوافر على: geo-energy.org/reports/Factors%20Affecting%20Cost%20of%20Geothermal%20Power%20Development%20-%20August%202005.pdf

Hjastarson, A., and J.G. Einarsson (2010). موارد الطاقة الحرارية الأرضية وخصائص HS Orka، شبه جزيرة ريجانيس، أيسلندا، تقرير فني مستقل أعدته شركة هندسة مانفيت لطاقة الصهارى، ص 151. متوافر على: www.mannvit.com

Kutscher, C (2000). حالة ومستقبل الطاقة الكهربية المعتمدة على الطاقة الحرارية الأرضية. مطبوع NREL/CP-550-28204، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، إدارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية. متوافر على: www.nrel.gov/docs/fy00osti/28204.pdf

Lovekin, J (2000). اقتصادات التنمية المستدامة للطاقة الحرارية الأرضية. في: وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2000. كيوتو توهوكو، اليابان، 28 مايو/أيار – 10 حزيران/يونيو 2000 (ISBN:). متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2000/R0123.PDF

Lund, J.W., K. Gawell, T.L. Boyd, and D. Jennejohn (2010). تحديث عن الولايات المتحدة الأمريكية لعام 2010. في: وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية لعام 2011، بالي، إندونيسيا، 25–30 نيسان/أبريل 2010. متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0102.pdf

Owens, B (2002). التثمين الاقتصادي للائتمان الضريبي لإنتاج الطاقة الحرارية الأرضية. مطبوع NREL/TP-620-31969، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، إدارة الطاقة في الولايات المتحدة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة، ص 24. متوافر على: www.nrel.gov/docs/fy02osti/31969.pdf

Stefansson, V (2002). تكاليف الاستثمار في منشئات الطاقة الحرارية الأرضية، الطاقة الحرارية الأرضية، 31، الصفحات 272–263

الطاقة المائية

Avarado-Anchieta, and C. Adolfo (2009). تقدير تكاليف E&M لمنشأة طاقة. الطاقة المائية الدولية وبناء السدود **61**(2)، الصفحات 21–25

الوزارة الاتحادية الألمانية للبيئة وحفظ الطبيعة والسلامة النووية (2008): مواصلة وضع إستراتيجية لزيادة استخدام الطاقات المتجددة في سياق الأهداف الحالية لحماية المناخ في ألمانيا وأوروبا. الوزارة الاتحادية الألمانية للبيئة وحفظ الطبيعة والسلامة النووية، بون، ألمانيا، ص 118.

Hall, D.G., G.R. Carroll, S.J. Cherry, R.D. Lee, and G.L. Sommers (2003). تقييم موارد الطاقة المائية المنخفضة المستوى المنخفضة الطاقة في الأقاليم الهيدرولوجية في شمال الأطلسي ووسط الأطلسي. DOE/ID-11077، إدارة الطاقة في الولايات المتحدة، مكتب عمليات إيداهو، إيداهو فولز، إيداهو، الولايات المتحدة الأمريكية.

الوكالة الدولية للطاقة (2008a). توقعات الطاقة العالمية 2008، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 578.

الوكالة الدولية للطاقة (2008b). منظورات تكنولوجيا الطاقة 2008، سيناريوهات وإستراتيجيات حتى عام 2050، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 646.

الوكالة الدولية للطاقة (2010d). العناصر الأساسية للطاقة المتجددة: الطاقة المائية. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 4

الوكالة الدولية للطاقة (2010e). التكاليف المتوقعة لتوليد الطاقة. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 218.

الدورية الدولية للطاقة المائية والسدود IJHD (2010). الأطلس العالمي ودليل الصناعة. الدورية الدولية للطاقة المائية والسدود، وولنجتون، سوري، المملكة المتحدة، ص 405.

Krewitt, W., K. Nienhaus, C. Klebmann, C. Capone, E. Stricker, W. Grauss, M. Hoogwijk, N. Supersberger, U.V. Winterfeld, and S. Samadi (2009). دور وإمكانيات الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لتوفير إمدادات الطاقة العالمية. تغير المناخ. 2009/18, ISSN 1862-4359، وكالة البيئة الاتحادية، دياسو، بوسلاو، ألمانيا، ص 396.

Lako, P., H. Eder, M. de Noord, and H. Reisinger (2003). تنمية الطاقة المائية مع التركيز على آسيا وغرب أوروبا: عرض عام في إطار VLEEM 2. خطة فيربوند ECN-C-03-027. مركز بحوث الطاقة في هولندا، بيتين، هولندا.

REN21 (2010). تقرير حالة عالمي لعام 2010 عن الطاقات المتجددة. شبكة سياسات الطاقة المتجددة للقرن الحادي والعشرين، باريس، فرنسا، ص 80.

Teske, S., T. Pregger, S. Simon, T. Naegler, W. Graus, and C. Lins (2010). تطور (قدرة) الطاقة لعام 2010. توقعات الطاقة العالمية المستدامة. كفاءة الطاقة. doi:10.1007/s12053-010-9098-y

UNDP/UNDESA/WEC (2004). التقييم العالمي للطاقة: تحديث العرض العام لعام 2004. مكتب سياسات التنمية. برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 85.

الطاقة البحرية

Charlier, R. H (2003). التوليد المشترك المستدام من المد والجزر: استعراض. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **7**(3)، الصفحات 187–213

ETSAP (2010b). موجز E13 عن تكنولوجيا الطاقة البحرية تشرين الثاني | نوفمبر 2010. برنامج تحليل نظم تكنولوجيا الطاقة. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا. متوافر على: www.etsap.org/E-techDS/PDF/E08-Ocean%20Ene - gy_GSgct_Ana_LCPL_rev30Nov2010.pdf

Kerr, D (2007). الطاقة البحرية. المعاملات الفلسفية للجمعية الملكية، لندن، السلاسل ألف (علوم الرياضيات والفيزياء والهندسة)، **365**(1853)، الصفحات 92–971

طاقة الرياح

Blanco, M. I (2009). اقتصادات طاقة الرياح، استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **13**، الصفحات 1372–1382

Boccard, N (2009). عامل القدرة في القيم المنخفضة من طاقة الرياح مقابل التقديرات. سياسة الطاقة، **37**، الصفحات 2679–2688

BTM Consult ApS (2010). تنمية طاقة الرياح الدولية. تحديث السوق العالمية BTM Consult ApS، رينجكوبنج، الدانمرك، ص 124.

BWEA and Garrad Hassan (2009). الرياح في المناطق البعيدة عن الساحل في المملكة المتحدة. تحديد الطريق السليم. رابطة طاقة الرياح البريطانية، لندن، المملكة المتحدة، ص 42.

رابطة الطاقة المتجددة في الصين (2009). التقرير السنوي عن الطاقة الجديدة والطاقة المتجددة في الصين 2009. رابطة الطاقة المتجددة في الصين. بيجين، الصين.

رابطة طاقة الرياح الأوروبية (2009). طاقة الرياح: الحقائق. رابطة طاقة الرياح الأوروبية، بروكسل، بلجيكا، ص 488.

Goyal, M (2010). إعادة التزويد بالطاقة – الموضوع الكبير القادم في الهند. استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة. **14**، الصفحات 1400–1409

الوكالة الدولية للطاقة (2009). خريطة طريق التكنولوجيات – طاقة الرياح. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 52.

الوكالة الدولية للطاقة (2010a). منظورات تكنولوجيا الطاقة: السيناريوهات والإستراتيجيات حتى عام 2050. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 710

الوكالة الدولية للطاقة – الرياح (2010). التقرير السنوي عن طاقة الرياح 2009. الرياح في الوكالة الدولية للطاقة. باريس، فرنسا، ص 172.

Lemming, J. K., P. E. Morthorst, N. E. Clausen, and J. P. Hjuler (2009). مساهمة في الفصل المتعلق بطاقة الرياح في منظورات تكنولوجيا الطاقة 2008. مختبر ريزو الوطني، روسكيلد، الدانمرك، ص 64.

Li, J (2010). إزالة الكربون من توليد الطاقة في الصين. هل الرد عبارة عن نفخ في الرياح؟ استعراضات الطاقة المتجددة والمستدامة، **14**، الصفحات 1154–1171

Li, J., and L. Ma (2009). ورقة معلومات أساسية: تقرير حالة عن الطاقة المتجددة في الصين. شبكة سياسات الطاقة المتجددة للقرن الحادي والعشرين، باريس، فرنسا، ص 95.

Milborrow, D (2010). مقارنة التكاليف السنوية للطاقة. الفرق الذي يمكن أن يحدثه عام. المجلة الشهرية لطاقة الرياح، **26**، الصفحات 41–47.

Musial, W., and B. Ram (2010). طاقة الرياح واسعة النطاق في المناطق البعيدة عن السواحل في الولايات المتحدة. تقييم الفرص والحواجز. المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 240.

Nielson, P., J. K. Lemming, P. E. Morthorst, H. Lawetz, E. A. James-Smith, N. E. Clausen, S. Strøm, J. Larsen, N. C. Bang, and H. H. Lindboe (2010). اقتصادات توربينات الرياح. منظمة EMD الدولية، ألبورج، الدانمرك، ص 86.

Snyder, B., and M. J. Kaiser (2009). مقارنة لتنمية طاقة الرياح في المناطق البعيدة عن السواحل في أوروبا والولايات المتحدة: أنماط ودوافع التنمية. الطاقة التطبيقية، **86**، الصفحات 1845–1856

مركز بحوث الطاقة في المملكة المتحدة (2010). التوقعات الكبرى: تكلفة الرياح في المناطق البعيدة عن السواحل في مياه المملكة المتحدة – فهم الماضي وتوقعات المستقبل: مركز بحوث الطاقة في المملكة المتحدة، لندن، انجلترا، ص 112.

Wiser, R., and M. Bolinger (2010). تقرير السوق عن تكنولوجيات الرياح 2009. إدارة الطاقة في الولايات المتحدة. واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة، ص 88.

الحرارة

الطاقة الأحيائية

ملاحظة: جرى تقييم مراجع أخرى في معرض الفصل 2. وقد أفادت هذه في إجراء مراجعة ترافقية لموثوقية النتائج المستخلصة من التحليل الوصفي المعتمد على مصادر البيانات المدرجة هنا.

Obernberger, I., and G. Thek (2004). التقييم الاقتصادي الفني لبعض تطبيقات الحرارة والطاقة مجتمعة على المستوى اللامركزي استناداً إلى حرق الكتلة الأحيائية في البلدان الشريكة للوكالة الدولية للطاقة. BIOS Bioenergiesysteme GmbH، جراتس، النمسا، ص 87.

الوكالة الدولية للطاقة (2007). الطاقة المتجددة لأغراض التدفئة والتبريد – إمكانيات غير مستغلة. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 209.

الطاقة الشمسية المباشرة

Chang, K.-C., W.-M. Lin, T.-S. Lee, and K.-M. Chung (2011). البرامج الفرعية عن نشر سخانات المياه بالطاقة الشمسية. مقاطعة تايوان. سياسة الطاقة، **39**، الصفحات 563–567.

Han, J., A. P. J. Mol, and Y. Lu (2010). سخانات المياه بالطاقة الشمسية في الصين: فجر يوم جديد. سياسة الطاقة، **38**(1)، الصفحات 383–391.

Harvey, L. D. D (2006). كتيب إرشادي عن المباني والأحياء المنخفضة الطاقة. نظم الطاقة: الأساسيات. التقنيات والأمثلة، إيرثسكان، ستيرلنج، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 701.

الوكالة الدولية للطاقة (2007). الطاقات المتجددة للتدفئة والتبريد – إمكانيات غير مستغلة. الوكالة الدولية للطاقة، باريس، فرنسا، ص 209.

Zhang, X., W. Ruoshui, H. Molin, and E. Martinot (2010). دراسة الدور الذي تضطلع به الطاقات المتجددة في الإمداد بالطاقة المستدامة في الصين. الطاقة، **35**(11)، الصفحات 4392–4399.

الطاقة الحرارية الأرضية

Balcer, M (2000). Infrastruktura techniczna zakladu geote - malnego w Mszczonowie (بالبولندية). في: الندوة الدراسية عن دور الطاقة الحرارية الأرضية في التنمية المستدامة لمنطقتي مازافيان ولودز (Rola energii geotermalnej w zrYwnowazonym ro - woju region.w Mazowieckiego i Lodzkiego) معهد البحوث الاقتصادية للمعادن والطاقة، بولندا، 4–6 تشرين الأول/أكتوبر 2000، الصفحات 107–114 (ISBN 83-87854-62-X).

Lund, J. W (1995). تجفيف البصل. معاملات مجلس موارد الطاقة الحرارية الأرضية، **19**، الصفحات 69–74.

Lund, J. W., and T. L. Boyd (2009). استخدام الطاقة الحرارية الأرضية في معهد أورجون التابع للجامعة التكنولوجية. Klamath Falls وقائع حلقة العمل الرابعة والثلاثين بشأن هندسة مستودعات الحرارية الأرضية، جامعة ستانفورد، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية (ISBN: 9781615673186).

Radeckas, B., and V. Lukosevicius (2000). مشروع كلايبيدا الإيضاحي للحرارية الأرضية. في: وقائع المؤتمر العالمي للحرارية الأرضية لعام 2000. كيوشو – توهوكو، اليابان، 28 أيار/مايو – 15 حزيران/يونيو 2000، الصفحات 3547–3550 (ISBN: 0473068117). متوافر على: www.geothermal-energy.org/pdf/IGAsta - dard/WGC/2000/R0237.PDF

Reif, T (2008). تحليل الربحية وإدارة المخاطر في مشروعات الطاقة الحرارية الأرضية. النشرة ربع سنوية لمركز الحرارية الأرضية **28**(4)، الصفحات 1–4. متوافر على: geoheat.oit.edu/bulletin/bull28-4/bull28-4-all.pdf

الوقود الأحيائي

ملاحظة: جرى تقييم مراجع أخرى في معرض الفصل 2. وقد أفادت هذه في إجراء مراجعة ترافقية لموثوقية النتائج المستخلصة من التحليل الوصفي المعتمد على مصادر البيانات المدرجة هنا.

المراجع العامة

Alfstad, T (2008). دراسة الوقود الأحيائي في العالم: تحليل السيناريوهات الخاصة بأسواق الوقود الأحيائي في العالم 2008–BNL–80238، مختبر بروكهافن الوطني، نيويورك، الولايات المتحدة، ص 67.

Bain, R.L (2007). تقييم الوقود الأحيائي العالمي: إمكانيات الكتلة الأحيائية في العالم: خواص التكنولوجيا. NREL/MP–510–42467 المختبر الوطني للطاقة المتجددة. جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 140.

Goldemberg, J (1996). تطور تكاليف الإيثانول في البرازيل. سياسة الطاقة، **24**(12)، الصفحات 1127–1128.

Hettinga, W.G., H.M. Junginger, S.C. Dekker, M. Hoogwijk, A.J. McAloon, and K.B. Hicks (2009). فهم الانخفاض في تكاليف إنتاج إيثانول الذرة في الولايات المتحدة. نهج منحنى الخبرة. سياسة الطاقة، **37**(1)، الصفحات 190–203.

Kline, K.L., G. Oladosu, A. Wolfe, R.D. Perlack, and M. McMahon (2007). تقييم المواد الخام للوقود الأحيائي لبعض البلدان. ORNL/TM–2007/224، المختبر الوطني في أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة، ص 243.

إيثانول الذرة

Delta-T Corporation (1997). معلومات عن الملكية. وليام بورج، فرجينيا، الولايات المتحدة.

Ibsen, K., R. Wallace, S. Jones, and T. Werpy (2005). تقييم سيناريوهات التكنولوجيا المتطورة في تنمية التكرير الأحيائي للمطاحن الجافة المتقدمة. FY05–630، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة.

Jechura, J (2005). تكلفة الطحن الجاف – المنطقة: موجز حالة - A PEN المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن الولايات المتحدة ص 2

Macloon, A ., F . Taylor W. Lee , K. Ibsen and R. Wooley (2000) تحديد تكلفة إنتاج الإيثانول من نشا الذرة والمواد الخام السيلولوزية. المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة.

رابطة الوقود المتجددة (2011). مواقع منشأة التكرار الأحيائي. رابطة الوقود المتجدد، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة. متوافر على: www.farmdoc.illinois.edu/manage/pricehistory/price_history.html

جامعة إلينوس (2011). أسعار الذرة التاريخية. جامعة إلينوس الولايات المتحدة. متوافر على: www.farmdoc.illinois.edu/manage/pricehistory/price_history.html

إيثانول القمح

Kline, K., G. Oladosu, A. Wolfe, R. Perlack, V. Dale and M. McMahon (2007). تقييم المواد الخام للوقود الأحيائي في بعض البلدان. ORNL/TM–2007/224، المختبر الوطني في أواك ريدج، أواك ريدج، تينيسي، الولايات المتحدة، ص 243.

Shapouri, H., and M. Salassi (2006). الجدوى الاقتصادية لإنتاج الإيثانول في الولايات المتحدة. إدارة الزراعة في الولايات المتحدة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة، ص 69.

إدارة الزراعة في الولايات المتحدة (2007). بيانات القمح جداول الكتاب السنوي. دائرة البحوث الاقتصادية. إدارة الزراعة في الولايات المتحدة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة.

قصب السكر

Bohlmann, G.M., and M.A. Cesar (2006). الفرصة البرازيلية للتكرير الأحيائي. التكنولوجيا الأحيائية الصناعية، **2**(2)، الصفحات 127–132

Oliverio, J.L (2006). التطور التكنولوجي لقطاع السكر والكحول البرازيلي: مساهمة ديريتي. دورية السكر الدولية، **108**(1287)، الصفحات 120–129.

Oliverio, J.L., and J.E. Riberio (2006). التوليد المشترك في مدافن السكر والإيثانول الأحيائي: الماضي والحاضر والتحديات. دورية السكر الدولية، **108**(191)، الصفحات 391–401.

Rosillo-Calle, F., S.V. Bajay, and H. Rothman (2000). الاستخدامات الصناعية لطاقة الكتلة الأحيائية. مثال البرازيل. - Ta lor & Francis، لندن، المملكة المتحدة.

van den Wall Bake (2006). القصب كعنصر رئيسي في صناعة الإيثانول. أطروحة ماجستير. NWS–1–2006–14، جامعة أوتريشت، أوتريشت، هولندا.

van den Wall Bake, J.D., M. Junginger, A. Faaij, T. Poot, and A. Walter (2009). شرح منحنى الخبرة. التخفيضات في تكاليف الإيثانول البرازيلي من قصب السكر. الكتلة الأحيائية والطاقة الأحيائية، **33**(4)، الصفحات 644–658.

الديزل الأحيائي

مجلس شيكاغو للتجارة (2006). دليل مرجعي لطحن فول الصويا. مجلس تجارة مدينة شيكاغو، شيكاغو، الولايات المتحدة.

Haas, M.J., A.J. McAloon, W.C. Yee, and T.A. Foglia (2006). نموذج لعملية لتقدير تكاليف إنتاج الديزل الأحيائي. تكنولوجيا الموارد الأحيائية، **97**(4)، الصفحات 671–678.

Sheehan, J., V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski, and H. Shapouri (1998). حصر دورة الحياة بشأن الديزل الأحيائي وديزل النفط للاستخدام في الحافلات الحضرية. NREL/SR–580–24089، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة.

زيت الإنحلال الحراري

Ringer, M., V. Putsche, and J. Scahill (2006). إنتاج زيت الإنحلال الحراري واسع النطاق: تقييم التكنولوجيا والتحليل الاقتصادي. TP–510–37779، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، جولدن، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية، ص 93.

«إن التخفيف من آثار تغير المناخ أحد أهم التحديات التي تواجهنا في القرن الحادي والعشرين. والانتقال من نظامنا العالمي للطاقة إلى نظام يكون فيه لمصادر الطاقة المتجددة سهم هام في ذلك النظام يمكن أن يمثل جزءاً لا يتجزأ من مواجهة الإنسان لهذا التحدي. وهذا التقرير يقدم أساساً هاماً لهذا الانتقال.»

– Hartmut Graßl، المدير السابق للبرنامج العالمي لبحوث المناخ، معهد الأرصاد الجوية Max Planck

«يمثل هذا التقرير إسهاماً شاملاً له حجيته في المناقشة الدائرة بشأن ما إن كان يمكن للطاقة المتجددة أن تحل مشكلة المناخ على نحو جذاب اقتصادياً. إنه بمثابة مخطط أولي لمواصلة تطوير قطاع الطاقة المتجددة، كما أنه يبين بوضوح دور قطاع الطاقة المتجددة في التخفيف من آثار تغير المناخ.»

– Geoffrey Heal، Columbia Business School، جامعة كولومبيا

«موارد الطاقة المتجددة والتكنولوجيات المتاحة لتوسيع نطاق استخدامها توفر المصدر الرئيسي للطاقة للتصدي للتحديات المتعددة من أجل تحقيق الاستدامة للجميع على كل من الصعيد الوطني والعالمي. وهذا التقرير إسهام قيّم من أجل القرن الحادي والعشرين.»

– Thomas B. Johansson، Lund University، السويد، وتقييم الطاقة العالمية، المعهد الدولي لتحليل النظم التطبيقية (IIASA)

«تقدم الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) تقييماً مستوفي البحث ومعروضاً بدقة للتكاليف والمخاطر والفرص المتاحة لمصادر الطاقة المتجددة. كما أنها تقدم تحليلاً منهجياً وتقييماً علمياً للمعارف المتوافرة حالياً بشأن أحد أهم الخيارات الواعدة لتقليص انبعاثات غازات الدفيئة والتخفيف من حدة آثار تغير المناخ.»

– Lord Nicholas Stern، IG Patel، أستاذ الاقتصاد والشؤون الحكومية، London School of Economics and Ploitical Science

«إن الطاقة المتجددة يمكن أن تكون القوة الدافعة للتنمية المستدامة على صعيد العالم. ويأتي هذا التقرير الخاص في الوقت المناسب، ويقدم نظرة متعمقة وتوجيهات لتيسير تغيير عملياتنا الصناعية.»

– Klaus Töpfer، Institute for Advanced Sustainability Studies، (IASS)، Potsdam

«قد يكون هناك عدد من الوسائل للتوصل إلى تحقيق وفورات في الكربون، لكن لم يحدث أن تم استقصاء أي من هذه الوسائل بشكل مفصل وشامل مثلما حدث لمجموعة الإسهامات الممكنة لمصادر الطاقة المتجددة من أجل تحقيق ذلك الهدف، والواردة في هذا التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC).»

– John P. Weyand، جامعة ستانفورد

يمثل تغير المناخ أحد أهم التحديات في القرن الحادي والعشرين. ولايزال من الممكن تجنب أخطر آثاره إذا ما بُذلت الجهود لتحويل نظم الطاقة الحالية. ومصادر الطاقة المتجددة لديها قدرة كبيرة على القضاء على انبعاثات غازات الدفيئة من احتراق الوقود الأحفوري، ومن ثم التخفيف من حدة آثار تغير المناخ. فيمكن لمصادر الطاقة المتجددة، إذا ما نُفذت على النحو الملائم، أن تسهم في التنمية الاجتماعية والاقتصادية، وفي توفير إمكانية الوصول إلى الطاقة، وفي الإمداد بالطاقة على نحو آمن ومستدام، والحد من الآثار السلبية لتوفير الطاقة على البيئة وصحة الإنسان.

وهذا التقرير الخاص بشأن مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير المناخ (SRREN) يقيّم جزئياً الأدبيات العلمية فيما يتعلق بالدور المحتمل للطاقة المتجددة في التخفيف من آثار تغير المناخ، من أجل صانعي السياسات والقطاع الخاص والباحثين الأكاديميين والمجتمع العام. فهو يغطي ستة مصادر للطاقة المتجددة – الطاقة الحيوية، والطاقة الشمسية المباشرة، والطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الكهرومائية، والطاقة البحرية، وطاقة الرياح، وكذلك دمجها في نظم الطاقة الحالية والمقبلة. ويبحث التقرير الآثار البيئية والاجتماعية المرتبطة باستخدام هذه التكنولوجيات، ويعرض إستراتيجيات للتغلب على العقبات الفنية وغير الفنية في تطبيقها ونشرها. كما يقارن المؤلفون التكلفة المستوية للطاقة المتجددة بتكلفة الطاقة من مصادر غير متجددة.

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) هي الهيئة الدولية الرائدة لتقييم تغير المناخ. وقد أنشأها برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) لتقديم رؤية علمية واضحة للعالم بشأن الحالة الراهنة للمعارف في مجال تغير المناخ، وآثاره البيئية والاجتماعية الاقتصادية المحتملة.

ونشر التقرير الخاص الكامل دار النشر Cambridge University Press (www.cambridge.org)، ويمكن الوصول إلى النسخة الرقمية عن طريق الموقع الشبكي لأمانة الهيئة (www.ipcc.ch) (IPCC)، أو الحصول على قرص مدمج بذاكرة للقراءة فقط (CDRom) من أمانة الهيئة (IPCC). ويتضمن هذا المطبوع ملخصاً لصانعي السياسات وملخصاً فنياً للتقرير.