الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم

2023-2024

التكنولوجيا ومستقبل الطاقة

مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

الصف
12

التكنولوجيـــا
ومستقبل الطاقة

الآراء الواردة في هذا الكتاب تخص المؤلف وحده ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية أو أي هيئة أو وزارة أو مؤسسة حكومية رسمية في دولة الإمارات العربية المتحدة.

حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم في دولة الإمارات العربية المتحدة ومركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

ويُمنع نشر هذا الكتاب أو أجزاء منه في أي شكل من الأشكال دون الحصول على موافقة خطية من الناشر ويُستثنى من ذلك الاقتباسات المقتضبة الواردة في المراجعات النقدية.

أَهَمِّيَّةُ تَوافُرِ ثَلاثَةِ أَشياءَ أَساسِيَّةٍ لِتَنافُسِيَّةِ الدُّوَلِ وَأَسْبَقِيَّتِها، وَهي: أَوّلًا: الحَجْمُ، وَثانيًا: سِلاحُ العِلْمِ، والاستِثمارُ فيهِ بِكُلِّ الإمكاناتِ، وَثالِثًا: القِيادَةُ الواعِيَةُ الّتي لَدَيْها رُؤْيَةٌ واضِحَةٌ، وَخَريطَةُ طَريقٍ مُحَدَّدَةٌ.
صاحب السمو الشيخ محمد بن زايد آل نهيان

مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

التكنولوجيا ومستقبل الطاقة

مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

أنشئ مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية في 14 آذار/ مارس 1994؛ بهدف إعداد البحوث والدراسات الأكاديمية للقضايا السياسية والاقتصادية والاجتماعية المتعلقة بدولة الإمارات العربية المتحدة ومنطقة الخليج والعالم العربي. ويسعى المركز إلى توفير الوسط الملائم لتبادل الآراء العلمية حول هذه الموضوعات، من خلال قيامه بنشر الكتب والبحوث وعقد المؤتمرات والندوات. كما يأمل مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية أن يسهم بشكل فعال في دفع العملية التنموية في دولة الإمارات العربية المتحدة.

يعمل المركز في إطار ثلاثة مجالات هي مجال البحوث والدراسات، ومجال إعداد الكوادر البحثية وتدريبها، ومجال خدمة المجتمع، وذلك من أجل تحقيق أهدافه الممثلة في تشجيع البحث العلمي النابع من تطلعات المجتمع واحتياجاته، وتنظيم الملتقيات الفكرية، ومتابعة التطورات العلمية ودراسة انعكاساتها، وإعداد الدراسات المستقبلية، وتبني البرامج التي تدعم تطوير الكوادر البحثية المواطنة، والاهتمام بجمع البيانات والمعلومات وتوثيقها وتخزينها وتحليلها بالطرق العلمية الحديثة، والتعاون مع أجهزة الدولة ومؤسساتها المختلفة في مجالات الدراسات والبحوث العلمية.

المحتويات

تقديم 7
جمال سند السويدي

مقدمة: التكنولوجيا ومستقبل الطاقة 9

القسم الأول: التطور التكنولوجي وصناعة الطاقة العالمية

الفصل الأول: التغيرات في ميزان العرض والطلب العالمي على الطاقة 23
كين كوياما

الفصل الثاني: تأثير تطور تقنيات الطاقة في مستقبل الإنتاج العالمي للنفط 61
راي ليونارد

الفصل الثالث: أثر الابتكار التكنولوجي في قطاع النفط والغاز 89
إردال أوزكان

الفصل الرابع: السياسات العامة والاتجاهات الاستثمار في تكنولوجيات الطاقة 123
روبرت سكينر

القسم الثاني: التحديات والفرص في القطاعات ذات الاستخدام الكثيف للطاقة

الفصل الخامس: الحد من استهلاك الطاقة في التصنيع: الفرص والتأثيرات 183
بِن سونغ ودواين وانغ

الفصل السادس: التحديات والفرص التكنولوجية في قطاع توليد الكهرباء 225
عصام عبدالعزيز العمّار

الفصل السابع: التحديات والفرص التكنولوجية في قطاعي النقل والاتصالات 263
إبراهيم عبدالجليل

القسم الثالث: الآفاق التكنولوجية للطاقتين: النووية والمتجددة

الفصل الثامن: آفاق تقدم تكنولوجيا الطاقة المتجددة في قطاع الكهرباء..... 305

نوال الحوسني، وستيفن جريفيث، ودولف جيلين

الفصل التاسع: توطين تكنولوجيا الطاقة النووية: من الطريقة الكورية إلى التجربة الإماراتية..... 345

بيونغ كو كيم

القسم الرابع: المباني الخضراء والمدن المستدامة

الفصل العاشر: الانبعاثات الكربونية من المباني.. التحديات والحلول..... 375

خالد عبدالله السلال

الفصل الحادي عشر: التحضر والمدن المستدامة في دول الخليج العربية..... 397

محسن أبو النجا

المشاركون 439

الهوامش 453

المصادر والمراجع 507

تقديم

تلعب الطاقة دوراً رئيسياً في تحقيق التنمية المستدامة في البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء. ولذلك من المهم استمرار الاستثمار في التطوير التكنولوجي من أجل تحقيق الاستغلال الأمثل لموارد الطاقة المتاحة حالياً. وهناك أيضاً حاجة إلى الاستثمار في مجال الطاقة البديلة، ولاسيما في ضوء المنافع الاقتصادية والاستراتيجية المحتملة لتطوير هذه التكنولوجيات. ولكن تبقى هناك شكوك حول مدى قدرة الابتكار التكنولوجي على تلبية احتياجات الطاقة العالمية في المستقبل.

نظراً إلى أهمية هذه المسألة في منطقة الخليج العربي والعالم كله، وتماشياً مع هدف "مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية" في إثراء عملية وضع السياسات والاستراتيجيات لمواجهة التحديات المعاصرة في هذا السياق، نظم المركز خلال الفترة 12-13 نوفمبر 2012 مؤتمره السنوي الثامن عشر للطاقة تحت عنوان "التكنولوجيا ومستقبل الطاقة". وشارك في المؤتمر مجموعة من أبرز الخبراء من العاملين في قطاع الطاقة، والأوساط الأكاديمية والحكومية، الذين قدموا نظرة استراتيجية للتطوير التكنولوجي في قطاع الطاقة استناداً إلى تحليل العرض والطلب على الطاقة في العالم، واتجاهات الاستثمار الحالية والمستقبلية في مجال تكنولوجيا الطاقة، وأثر التقدم التكنولوجي في صناعة النفط والغاز، وجدوى تكنولوجيات الطاقة البديلة. كما ناقش المؤتمر التحديات والفرص التكنولوجية في القطاعات ذات الاستخدام الكثيف للطاقة في البلدان المنتجة للنفط في الخليج العربي. وتقدم أوراق المؤتمر، التي تم جمعها في هذا الكتاب، دراسة مهنية وأكاديمية لهذه الاتجاهات، وتأثيراتها في كل من المنتجين والمستهلكين في الشرق الأوسط وأماكن أخرى.

وبهذه المناسبة أود أن أُعرب عن شكري وامتناني لجميع المتحدثين في المؤتمر على مشاركتهم في مؤتمر الطاقة السنوي الثامن عشر لـ"مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية". فالأوراق البحثية التي قدموها، والتي تم جمعها في هذا الكتاب، توفر معلومات قيمة عن التطورات التكنولوجية في قطاع الطاقة، وفي المجتمعات المستهلكة حول العالم. كما أود الإعراب عن تقديري للباحثين الأكاديميين من جميع أنحاء العالم الذين شاركوا في عضوية لجنة المحكّمين، وقاموا بمراجعة أوراق المؤتمر وتقييمها قبل نشرها.

وأخيراً، لا بد لي من شكر أعضاء فريق العمل في إدارة النشر العلمي بالمركز، من محررين ومترجمين ومدققين لغويين ومنسّقين فنيين، الذين بذلوا جهداً كبيراً في إعداد هذا الكتاب للنشر في هذه الهيئة المتميزة.

د. جمال سند السويدي

مدير عام المركز

المقدمة

التكنولوجيا ومستقبل الطاقة

من المتوقع أن يستمر الطلب العالمي على الطاقة في الارتفاع؛ نتيجة للزيادة السكانية، والتوسع الاقتصادي في جميع أنحاء العالم. وفي حين أن الطلب على الطاقة في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية سيبقى ثابتاً، أو ربما ينخفض بسبب عوامل مثل تراجع النمو الاقتصادي، والتحسن في كفاءة استخدام الطاقة، فإن الطلب على الطاقة في الصين والهند والدول النامية الأخرى في آسيا والشرق الأوسط سينمو بشكل كبير خلال العقود المقبلة.

سيحدث نمو كبير في أنواع الوقود غير الأحفوري، ومن المتوقع أن تشهد الطاقة المتجددة على وجه الخصوص تطوراً ونمواً كبيرين؛ بفضل السياسات الداعمة وانخفاض التكاليف. ففي عام 2011، بلغت الاستثمارات العالمية في الطاقة المتجددة رقماً قياسياً مقداره 257 مليار دولار أمريكي، أسهمت في زيادة استطاعة الطاقة المتجددة العالمية (باستثناء الطاقة المائية) إلى 390 جيجاواط. وبرغم أن طاقة الرياح تمثل 60٪ من هذه القدرة، فإن الطاقة الشمسية الكهروضوئية هي تكنولوجيا الطاقة المتجددة الأسرع نمواً؛ حيث نمت الاستطاعة الكلية لمحطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية حول العالم بمعدل يقارب 44٪ سنوياً في العقد الماضي. ومع ذلك، ما زالت حصة الطاقة المتجددة "الحديثة" باستثناء الطاقة المائية (أي الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والوقود الحيوي، والطاقة الحرارية الأرضية، والكتلة الحيوية الحديثة) أقل من 5٪ من الاستهلاك العالمي من الطاقة؛ ما يعني الحاجة إلى مزيد من الابتكار التكنولوجي والدعم التنظيمي من أجل المحافظة على الزخم الإيجابي لانتشار تكنولوجيا الطاقة المتجددة. وفي بعض المناطق من العالم، ولاسيما الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، كان يُنظر تاريخياً إلى تكنولوجيات الطاقة المتجددة باعتبارها غير قادرة على المنافسة الاقتصادية مع الطريقة التقليدية لتوليد الكهرباء

باستخدام الوقود الأحفوري، وبالتالي كان انتشار تكنولوجيا الطاقة المتجددة بطيئاً جداً. وتحديداً فإن العقبتين الرئيسيتين اللتين تواجههما الطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا هما: وفرة الموارد الهيدروكربونية، ودعم أسعار الطاقة. والتصورات الإقليمية المتعلقة بهذين العاملين حالت -حتى الآن- دون الاعتراف بأن التقدم التكنولوجي والانخفاض السريع في التكاليف يجعلان بعض أشكال الطاقة النظيفة مجدية اقتصادياً في المنطقة. فعلى سبيل المثال، يقدم توليد الطاقة بواسطة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية بدائل اقتصادية للتوربينات التي تعمل بالنفط، ومولدات الكهرباء المستقلة التي تعمل بالديزل. وفي الواقع، إذا حسبنا قيمة المنتجات النفطية وفقاً للأسعار الدولية يمكن توقع عوائد إيجابية من توليد الكهرباء بالاعتماد على الموارد المتجددة، عندما نأخذ في الحسبان التكاليف المرتبطة باستهلاك النفط. ولسوء الحظ فإن عدم وجود معلومات موثوق بها عن التكاليف والمنافع النسبية لتكنولوجيات الطاقة المتجددة جعل من الصعب على الحكومات وضع تقييم دقيق لكيفية استغلال تكنولوجيات الطاقة المتجددة؛ بما يتناسب مع ظروفها الخاصة.

وإلى جانب التوسع السريع في الطاقة المتجددة، من المتوقع أيضاً أن تزداد حصة الطاقة النووية على مستوى العالم على الرغم من حادث فوكوشيما، مع تركز النمو بشكل رئيسي في الأسواق الناشئة مثل الصين والهند. وفي هذا السياق، حققت دولة الإمارات العربية المتحدة مؤخراً إنجازاً مهماً، حيث شهد يوم 17 يوليو 2012 بداية العمل على إنشاء أول محطة طاقة نووية إماراتية في موقع براكة، وذلك عندما بدأ صبّ الخرسانة لبناء أساس مبنى احتواء المفاعل النووي للوحدة الأولى من المحطة. وقد تم اختيار التكنولوجيا بناء على سجل السلامة والأداء للبرنامج الكوري للطاقة النووية، واعتُمِد مفاعل الطاقة المتقدم من الجيل الثالث (APR1400) الذي يجري بناؤه حالياً في الوحدتين الثالثة والرابعة من محطة "شين كوري" للطاقة النووية في كوريا الجنوبية كنموذج لمشروع براكة، برغم أنه تُجرى حالياً إضافة تحسينات على التصميم لزيادة مستوى السلامة في حالة حدوث كوارث طبيعية كبيرة كما حدث في فوكوشيما عام 2011. وكما هي حال أي دولة نووية ناشئة،

ستبقى الموازنة بين السلامة النووية والاستخدام الفعال للكوادر النووية الوطنية والوافدة بطريقة مستدامة في صدارة أولويات الجهات المعنية في الإمارات. وقد بدأت عملية تعليم مواطنين متخصصين في الطاقة النووية وتدريبهم في العديد من المؤسسات التعليمية المحلية، وهي عملية ليست بالسهلة، وتستغرق وقتاً طويلاً.

برغم هذه التطورات، فإن الوقود الأحفوري سيبقى المصدر الرئيسي للطاقة في المستقبل المنظور في أبوظبي وغيرها من بقاع العالم؛ وذلك نظراً إلى مزاياه من حيث المنافسة الاقتصادية، والتكلفة، وتوافر الموارد،... إلخ. ومن المهم ملاحظة أن مزيج الطاقة في المستقبل قد يختلف تماماً عما هو عليه اليوم نتيجة لعوامل مثل السياسات المتعلقة بالطاقة والبيئة، والتطور التكنولوجي، والعوامل الجيوسياسية والاقتصادية. وبعبارة أخرى؛ ما زالت هناك شكوك كثيرة تحيط بمستقبل الطاقة العالمية.

فعلى سبيل المثال، يواجه قطاع توليد الكهرباء تحديات رئيسية؛ تشمل الحاجة إلى تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء، وتحسين الكفاءة المتدنية للمحطات التقليدية التي تعمل بالوقود الأحفوري، والتقليل من التلوث البيئي الناجم عن انبعاث غازات الدفيئة، وزيادة القدرة على المواءمة بين الطلب الإجمالي على الطاقة واستطاعة التوليد الكلية بكفاءة وموثوقية.

توفر جهود البحث والتطوير في الهندسة الكهربائية والمجالات الأخرى، من تكنولوجيا الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات إلى العلوم الفيزيائية والهندسة الكيميائية، فرصاً ستكون مفيدة غالباً في مواجهة هذه التحديات. وتحديداً فإن التطوير التكنولوجي في مجال مصادر الطاقة المتجددة مثل أنظمة الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الحرارية الأرضية، قد يوفر حلولاً ناجعة. وفي الوقت ذاته يمكن لتكنولوجيات التوليد المشترك والتقاط الكربون وتخزينه أن تسهم في تحسين كفاءة محطات الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري، والحد من انبعاثات غازات الدفيئة، في حين يمكن استخدام مفاهيم جديدة مثل الشبكات الصغيرة، وتوزيع محطات التوليد، وتكنولوجيا تغذية الشبكة من

المركبات للموازنة الفعالة بين إجمالي الطلب على الطاقة، وإجمالي استطاعة التوليد. ومن خلال تحسين إدارة وتنظيم مصادر الطاقة التقليدية والبديلة، والأحمال الصغيرة والكبيرة، وسعات التخزين المركزية والموزعة، يمكن تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية بطريقة اقتصادية، ونظيفة، وفعالة، وموثوق بها.

بالمقارنة مع القطاعات الأخرى، يمثل قطاع التصنيع نسبة كبيرة من استخدام الطاقة حول العالم. وهناك إمكانات هائلة لتوفير الطاقة في هذا القطاع. ومن المعروف على نطاق واسع أن تحسين كفاءة استخدام الطاقة يمكن أن يسهم في تحقيق فوائد إيجابية؛ من حيث الربحية والإنتاجية، والحد من انبعاثات غازات الدفيئة، والحفاظ على الموارد الطبيعية. إلا أن هناك العديد من التحديات التنظيمية والاقتصادية والتقنية التي تجعل من تحسين هذه الكفاءة أمراً صعباً.

مع تجاوز عدد سكان العالم سبعة مليارات نسمة، أدت التحديات الاستراتيجية مثل إمدادات الطاقة، وتوافر المياه، والأمن الغذائي، وتغير المناخ، إلى انطلاق أصوات تدعو إلى الاستدامة والتنمية المستدامة في جميع جوانب الحياة، كما أن هناك دعوات متزايدة إلى وضع سياسات تُعنى بالنمو الأخضر في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وبعض المهتمين بهذا المجال يتحدثون عن المدن المستدامة باعتبارها عنصراً حاسماً للحد من الطلب على الطاقة، وبالتالي الحد من انبعاثات غازات الدفيئة، ولاسيما في مجالات المباني المستدامة والنقل الأخضر.

تمثل بيئة المباني نحو 48٪ من مجموع استهلاك الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة في الولايات المتحدة الأمريكية، و30٪-40٪ من إجمالي انبعاثات الكربون في المملكة المتحدة، بينما ينتج قطاع البناء في الهند نحو 22٪ من مجموع الانبعاثات السنوية من ثاني أكسيد الكربون. ويعتمد إنتاج مواد البناء بشكل رئيسي على مصادر الطاقة التقليدية في كثير من بقاع العالم. و80٪ من الانبعاثات الناتجة عن قطاع البناء هي نتيجة لمنتجات/ عمليات صناعية تتعلق بمواد البناء ذات الاستهلاك الكثيف للطاقة (أي الإسمنت والجير

والصلب والطوب والألمنيوم). وخلال العقود الثلاثة المقبلة، من المتوقع أن تنمو كتلة المباني بشكل كبير، وإذا تم خفض الطلب على الطاقة عبر رفع كفاءة المباني الجديدة في استهلاك الطاقة، فسيوفر ذلك فرصة استثنائية لتحقيق تخفيضات كبيرة في الانبعاثات من هذا القطاع.

كما يعد قطاع النقل مستهلكاً رئيسياً للطاقة، حيث مثل 19٪ من الاستهلاك العالمي من الطاقة في عام 2007، وسيكون مسؤولاً عن 90٪ من الزيادة في استخدام النفط في العالم بين عامي 2010 و2035. ويستهلك قطاع النقل البري (بما في ذلك المركبات الخفيفة والثقيلة) أكبر قدر من الطاقة المستهلكة في القطاع، ويمثل أكبر نسبة من النمو، ويطلق قرابة ربع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة في العالم.

أثبتت المنتجات النفطية مثل البنزين، والديزل، فعالية كبيرة كوقود للنقل، حيث ترتفع فيها كثافة الطاقة، وتسهل مناولتها ونقلها. كما أن معظم أنواع الوقود البديلة تتطلب أنواعاً جديدة من السيارات واستثمارات كبيرة في بنية تحتية جديدة، وهذا يضعف قدرتها على المنافسة نظراً إلى الانتشار الواسع للمركبات والبنية التحتية التي تعتمد على النفط في وقتنا الحاضر.

خلال السنوات الخمس والعشرين المقبلة، سيزداد الطلب على الوقود السائل في قطاع النقل بسرعة أكبر من أي قطاع آخر، وستكون معظم الزيادة المتوقعة في البلدان النامية وعلى رأسها الصين والهند. أما الدول المتقدمة الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية فسيبقى مستوى الاستهلاك فيها ثابتاً، أو ربما ينخفض.

وهناك عامل رئيسي آخر يسهم في زيادة استهلاك الوقود في قطاع النقل، وهو عدد مالكي المركبات في العالم، الذي يُتوقع أن يرتفع بسرعة، خاصة في البلدان النامية. أما في البلدان الصناعية، فمن المتوقع أن يتباطأ معدل الزيادة في عدد مالكي المركبات مع اقترابها من مستويات الإشباع. وفي عام 2030، سيبلغ عدد المركبات الخفيفة التي تسير على الطرقات 1.2 مليار مركبة، بزيادة 400 مليون عن عددها اليوم.

هذه الاتجاهات يُتوقع لها أن تستمر بسبب الزيادة السكانية وارتفاع الدخل، ولاسيما في البلدان النامية، ما لم يحدث تحول كبير. ونظراً إلى عوامل مثل أمن الطاقة، والمخاوف المتعلقة بتغير المناخ، فإن هذا التحول يتطلب تغيراً ملحوظاً في قطاع النقل العالمي؛ من حيث كيفية سفر الأفراد، ونقل البضائع، بما في ذلك اعتماد تكنولوجيات جديدة لتحسين كفاءة المركبات، وتمكينها من استخدام وقود منخفض الكربون.

تشهد تكنولوجيات النقل تقدماً على العديد من الجبهات نحو خفض انبعاثات ملوثات الهواء وغازات الدفيئة. وهذا يشمل على سبيل المثال: السيارات التي تعمل بالطاقة الكهربائية، والمحركات الكهربائية الهجينة، وخلايا الوقود، والحافلات والمركبات التجارية التي تعمل بالغاز الطبيعي المضغوط، واستخدام أنواع وقود بديلة مستمدة من مختلف مصادر الكتلة الحيوية، والتحسينات المستمرة في كفاءة الوقود، والانبعاثات القياسية للمركبات التي تعمل بالبنزين والديزل. وهذه الابتكارات التكنولوجية المختلفة تحقق كلها نجاحاً تجارياً بمعدلات مختلفة. ويمكن تشجيع انتشارها في السوق من خلال حوافز اقتصادية مناسبة، ومواصلة جهود البحث والتطوير والاستخدام.

وعلى صعيد التطورات في قطاع النفط، تضافرت ثلاثة عوامل لتحدث تغيراً كبيراً في ميزان الإنتاج والاحتياطيات، وتؤدي إلى آثار اقتصادية ومالية كبيرة في جميع اقتصادات العالم. هذه العوامل هي: ظهور تكنولوجيات جديدة خلال العقد الماضي؛ سمحت بإنتاج النفط في مناطق لم يكن من الممكن الوصول إليها من قبل، أو في خزانات كانت في السابق تعتبر غير مجدية اقتصادياً، ووصول إنتاج النفط التقليدي ذي التكلفة المنخفضة إلى نقطة الذروة، ثم بدء تراجعه، والارتفاع المستمر في أسعار النفط. وفي الواقع، من المرجح أن يحافظ سعر النفط على مستواه عند 100 دولار للبرميل (ضمن نطاق يزيد أو ينقص بمقدار 20٪) طوال فترة ثبات إنتاج النفط، على الأقل خلال هذا العقد.

كانت صناعة النفط والغاز سباقة على الدوام إلى تطوير التكنولوجيا الجديدة والاستفادة منها، وتاريخها حافل بالأمثلة على قدرتها على تجاوز الأوقات الصعبة من خلال

الابتكار التكنولوجي. وقد كان أهم تطور في مجال الطاقة الأحفورية في العقود الأخيرة هو النجاح الاقتصادي في استخراج النفط الصخري. وجاء ظهور هذا الأفق الجديد لصناعة النفط والغاز في وقت تتقاطع فيه الجهود المستمرة لاستكشاف مكامن النفط والغاز غير التقليدية، وتطوير تكنولوجيات جديدة، ما أسهم في إزالة بعض الحواجز الفنية والاقتصادية التي كانت تحول دون استغلال هذه الموارد.

هذه العوامل دفعت الكثيرين إلى إعلان بدء حقبة جديدة في تاريخ النفط ستحل محل النظام الذي ظل قائماً طوال السنوات الثلاثين الماضية، وربما تؤدي إلى استقلال النصف الغربي من الكرة الأرضية في مجال الطاقة، وانخفاض أسعار النفط في المستقبل إلى مستويات لم تُشاهد منذ عقد من الزمان. إلا أن التقييم الدقيق لجميع العوامل يكشف عن واقع أكثر تعقيداً. فمصادر النفط الجديدة لها تكلفة بيئية ومالية، في حين أن الفجوة بين أسعار النفط المرتفعة والتكلفة المنخفضة للإنتاج التقليدي توفر مكاسب مالية غير متوقعة للدول التي تمتلك احتياطيات تقليدية، شريطة محافظتها على حصتها من أسواق التصدير.

وعلى المستوى العالمي، تتوقع وكالة الطاقة الدولية (IEA) أن هناك حاجة إلى استثمار 38 تريليون دولار في البنية التحتية للطاقة بين عامي 2011 و2035، وذلك بناء على مجموعة من الافتراضات حول الأسعار، والنمو الاقتصادي، والتركيبة السكانية، وتنفيذ سياسات الطاقة والمناخ التي سبق إعلانها. لم تتغير الصورة العامة التي ترسمها توقعات الطاقة العالمية الصادرة عن وكالة الطاقة الدولية كثيراً خلال العقدين الماضيين، وهي صورة مستقبل يهيمن عليه الوقود الأحفوري، وتبقى فيه حصص الطاقة المائية والنووية ثابتة، بينما تنمو مصادر الطاقة المتجددة الأخرى بشكل كبير، ولكن نسبتها إلى مجموع إمدادات الطاقة تبقى ضئيلة. هذه التوقعات المتعلقة بأساسيات الطاقة تتناقض تناقضاً تاماً مع ما يمكن توقعه في ضوء الخطاب المؤسسي العالمي حول مشكلة الطاقة. فإذا مضت الحكومات نحو تطبيق السياسات التي تعلن تبنيها منذ ما يقرب من ربع قرن لمعالجة المخاوف العالمية المتعلقة بالطاقة والبيئة، وإذا قام جميع الأطراف في سلسلة قيمة الطاقة energy value chain بالاستثمار، كما لو أن تطبيق تلك السياسات أمر وشيك، فسيتراجع

استخدام الوقود الأحفوري، وتحل محله مصادر الطاقة النووية والمتجددة، وستنخفض انبعاثات الكربون في العالم. ولكن، باستثناء قلة من البلدان، يبدو أن الاستثمارات ما زالت تتجه نحو مستقبل تزداد فيه انبعاثات الكربون.

من المؤكد أن قدرة الطاقة المتجددة تتزايد بشكل كبير، ولكن القدرة شيء والإمدادات شيء آخر. فبرغم أن توليد الكهرباء باستخدام مصادر الطاقة المتجددة غير المائية تضاعف خلال خمس سنوات، فإن زيادة التوليد في العالم كله في عام 2011 كانت مساوية للانخفاض في توليد الكهرباء في العام نفسه بسبب إغلاق المحطات النووية في اليابان بعد حادث فوكوشيما. ومع تباطؤ الاستثمار في الطاقة النووية في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، والزيادة الكبيرة في الطاقة المتجددة غير المائية، فإن حصة موارد الطاقة التي لا يمكن التحكم بها في مزيج توليد الكهرباء في المنطقة ستتضاعف تقريباً بحلول عام 2035. ومما يفاقم من تقلب إمدادات الكهرباء أن حصة الموارد المتجددة الأخرى في هذه الطاقة التي لا يمكن التحكم فيها ستزداد من 11٪ فقط في عام 2000 إلى 72٪ في عام 2035، وبالتالي تزداد الحاجة إلى الاستثمار في استطاعة توليد احتياطية تبلغ 300 جيجاواط ومعظمها يعتمد على الوقود الأحفوري.

تعكس اتجاهات الاستثمار في جميع حلقات سلسلة قيمة الطاقة تقييم الشركات والمستهلكين للمنافع والمخاطر الكامنة في نظرتهم إلى مستقبل الطاقة. هذا السلوك الاستثماري الجمعي –من الإنفاق على البحث والتطوير وإيداعات براءات الاختراع (وهي مؤشرات على استثمارات محتملة في المستقبل)، إلى الاستثمار في زيادة القدرة في جميع حلقات سلسلة التوريد، إلى عمليات الدمج والاستحواذ، إلى قرارات المستهلكين عند شراء تجهيزات تعمل بالطاقة– ينبغي أن يقوم على رؤية متكاملة للحد الذي يمكن أن تنجح فيه السياسات الحكومية في تقييد خيارات الوقود وزيادة التكاليف وتقليل عوائد بعض الاستثمارات دون غيرها. فتراجع الاستثمار في الطاقة النووية واستمراره بقوة في الوقود الأحفوري يشيران إلى أن المستثمرين يتجاهلون إلى حد كبير الخطاب العالمي وقدرة الحكومات أو استعدادها لفعل أي شيء تجاه ذلك، حيث لم تحقق استثمارات الأسهم في مصادر الطاقة

المتجددة والغاز الطبيعي أداءً جيداً خلال السنوات الخمس الماضية، وربما يكون ذلك بسبب الدعم الحكومي المبالغ فيه، أو على الأقل لأن هذا الدعم من النوع الخطأ.

برغم أن التطورات الأخيرة المتعلقة بإمدادات النفط والغاز في أمريكا الشمالية تثير الدهشة والإعجاب، فهي ليست الأولى من نوعها. والتغيير الذي حدث نتيجة لابتكار تكنولوجيات جديدة للتعامل مع المواد الهيدروكربونية غير التقليدية يقدم مزيجاً من الدروس. فمن المؤكد أن السياسات الحكومية لعبت دوراً في ما يسمى "ثورة الطاقة"، فالإصلاحات الاقتصادية في التسعينيات أوجدت الإطار العام. كما أن الاستثمار في البحث والتطوير منذ عقود طويلة قدم مساهمة مهمة. وتاريخ الغاز الطبيعي في أمريكا الشمالية، ولاسيما الميل المستمر لدى الحكومات والفاعلين في قطاع الصناعة إلى وضع توقعات خطأ لمستقبل الغاز الطبيعي، ليس على المدين الطويل والمتوسط فقط، بل على المدى القصير أيضاً، يعلّمنا أن نكون حذرين في قبول التوقعات الحالية بأن القارة ستصبح عما قريب مُصدِّراً صافياً للغاز الطبيعي المسال. أما بالنسبة إلى "ثورة النفط"، فما زال الوقت مبكراً لتوقع ما ستؤول إليه الأمور. ما من شك في أن الاستثمار في استخراج النفط الصخري يغير الخريطة الهيدروكربونية في أمريكا الشمالية، وقد بدأت آثاره تظهر في أماكن أخرى. ولكن ليس لهذا الاستثمار علاقة بالخطاب العالمي العام، بل هو صورة جديدة للسعي الأزلي نحو الربح في بلد شهد أكبر قدر في العالم من التنقيب عن أحواض النفط واستنفادها. وإذا كان هناك من سياسة تندرج تحتها الاتجاهات الحالية، فهي العودة إلى نهج تحقيق الاستقلال في إمدادات النفط الذي ساد في سبعينيات القرن الماضي في عالم لا يزال يفيض بالنفط.

القسم الأول

التطور التكنولوجي وصناعة الطاقة العالمية

الفصل الأول

التغيرات في ميزان العرض والطلب العالمي على الطاقة

كين كوياما

تدور التساؤلات المركزية المطروحة في هذه الدراسة حول الآتي: ما الذي ستكون عليه حافظة الطاقة العالمية (هيكلية العرض والطلب) في المستقبل؟ وما القوى الدافعة الرئيسية لها؟ وما التأثيرات الرئيسية المحتملة لحافظة الطاقة العالمية تلك؟ وستسعى هذه الدراسة إلى تحديد التوقعات الخاصة بالطاقة المستقبلية الممكنة في العالم وتفحّصها، مع مراعاة عوامل عدة أساسية مهمة، بما في ذلك النمو الاقتصادي، وأسعار الطاقة، والتطور التكنولوجي، وتوافر الموارد، والعلاقات الدولية، والتوترات الجيوسياسية. كما ستتناول تأثير توقعات العرض والطلب على الطاقة العالمية في أمن الطاقة، وتغير المناخ، وقطاع الطاقة العالمي.

وحيث إنه لا غنى عن الطاقة لنشاطات البشرية وللتنمية الاقتصادية-الاجتماعية، فإن القضايا ذات الصلة بالطاقة في كثير من الأحيان تكتسب أهمية سياسية عالية جداً؛ محلياً ودولياً على السواء. وهكذا، يعدّ أمن العرض والطلب أمراً بالغ الأهمية بالنسبة إلى أصحاب المصلحة في مجال الطاقة. وبما أنه لاستخدام الطاقة وتنميتها تأثير مباشر في البيئة، فمن الطبيعي أن تثير الاعتبارات الخاصة بالطاقة والبيئة أيضاً اهتمام أصحاب المصلحة في مجال الطاقة؛ مثل صانعي السياسات، وصناعات الطاقة، والمستهلكين، والمواطنين.

وستوظف هذه الدراسة تحليلاً كمياً لتوقعات العرض والطلب على الطاقة في العالم حتى عام 2035، وذلك باستخدام نموذج الطاقة العالمي الذي وضعه "معهد اقتصاديات الطاقة الياباني IEEJ"،[1] لتسليط الضوء على الملامح الرئيسية لمشهد الطاقة العالمي وعلى مستقبل الطاقة في بعض الدول/ المناطق الكبرى مثل الصين والهند والشرق الأوسط.

وسيسلط التحليل الضوء أولاً على سيناريو الحالة المرجعية، الذي تتواصل فيه اتجاهات الطاقة العالمية الحالية والمستمرة على أساس "المسار المعتاد"، الذي لا يشهد تغيرات واسعة النطاق في مجال السياسات/ التكنولوجيات من شأنها أن تحوّل مشهد الطاقة العالمي. وسيلي ذلك تحليل لسيناريو التكنولوجيا المتقدمة، الذي يفترض تحقق تحسينات كبيرة في التكنولوجيا المتقدمة الخاصة بالطاقة على جانبي العرض والطلب، في محاولة لتعزيز أمن الطاقة وتطبيق سياسة البيئة. أما الافتراضات الأساسية الأخرى مثل نمو الناتج المحلي الإجمالي وأسعار الطاقة فتبقى من دون تغيير.

وتكمن أصالة التحليل في صوغ حالة التكنولوجيا المتقدمة، التي تقوم على أساس "النهج التصاعدي bottom-up" بهدف تحقيق أقصى إدخال ممكن للتكنولوجيا، وليس "النهج التنازلي top-down" المعتمد في مثل هذه الحالات، كما هي الحال في "سيناريو الـ450" الخاص بـ "وكالة الطاقة الدولية" IEA [السيناريو الذي قدم في "توقعات الطاقة في العالم" World Energy Outlook، ويحدد مساراً للطاقة يتفق مع هدف الحد من زيادة درجة الحرارة العالمية بمقدار درجتين مئويتين، ويتأتى ذلك بالحد من تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي إلى نحو 450 جزءاً في المليون من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2]. والفارق مهم، لأن النهج الثاني يمكن تفسيره على أنه "تكهن ارتجاعي backcasting" من مستقبل معياري، أما الأول فيمكن تفسيره على أنه "تنبؤ" من الحاضر.

وستتم الإشارة أيضاً إلى توقعات طويلة الأجل أخرى للطاقة، أجرتها منظمات بارزة، بوصفها مواد مرجعية. واستناداً إلى النتائج الرئيسية ونتائج التحليل الكمي، ستناقش الدراسة بعدئذ التداعيات الناتجة، والفرص والتحديات التي تواجه أمن الطاقة والسياسة البيئية في العالم، وما إلى ذلك.

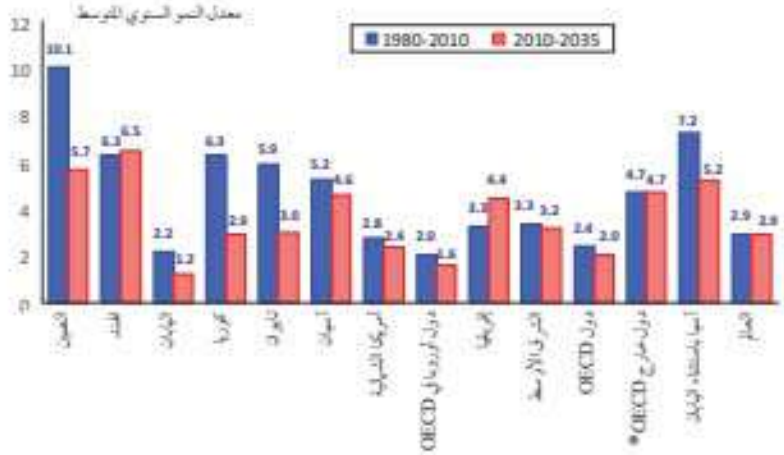
نمو الطلب على الطاقة في آسيا وتأثيراته

تتطلب توقعات الطلب على الطاقة افتراضات عدة مهمة؛ منها النمو الاقتصادي، وعدد السكان، وأسعار الطاقة. وسبب ذلك أن الطلب على الطاقة يتحدَّد بفعل وظائف النشاط الاقتصادي والبشري، بالإضافة إلى آليات السعر.

ومن حيث النمو الاقتصادي، تفترض توقعات الحالة المرجعية في هذه الدراسة أن الاقتصاد العالمي سيستمر في التوسع بمعدل نمو سنوي متوسط للناتج المحلي الإجمالي يبلغ 2.9٪ بين عامي 2010 و2035. ويتساوى معدل النمو المفترض هذا مع معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي الفعلي العالمي بين عامي 1980 و2010. وبحسب البلد، من المتوقع أن تحقق الصين والهند وغيرهما من الاقتصادات الناشئة –ولاسيما في آسيا– نمواً أسرع وتيرة من بلدان "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD". وكما هو مبين في الشكل (1-1)، يبلغ معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي المفترض حتى عام 2035 في الصين 5.7٪، بينما يبلغ 6.5٪ في الهند، و4.6٪ في دول رابطة أمم جنوب شرق آسيا (آسيان ASEAN)، و3.2٪ في منطقة الشرق الأوسط. ويعدّ معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي المفترض مماثلاً تماماً لتلك الزيادات التي وردت في التوقعات الطويلة الأجل الأخرى. فعلى سبيل المثال، افترضت "وكالة الطاقة الدولية IEA" أن معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي العالمي يبلغ 2.9٪ حتى عام 2035، في حين تشير تقديرات منظمة البلدان المصدرة للنفط (أوبك) OPEC إلى نمو نسبته 3٪.

الشكل (1-1)

افتراضات نمو الناتج المحلي الإجمالي السنوي المتوسط (٪)



المصدر:

International Energy Agency (IEA) / Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), World Energy Outlook 2012.

* OECD هي "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية".

وتتبنى توقعات الحالة المرجعية عدد سكان مفترضاً للعالم يستند إلى توقعات الأمم المتحدة التي تفترض حدوث زيادة في السكان من 6.8 مليار نسمة عام 2010 إلى 8.6 مليار نسمة عام 2035. ومن المتوقع أن تستمر هيمنة آسيا في هذا المجال، حيث ستشكّل 52٪ من سكان العالم عام 2035. ومن المتوقع أن تتخطى الهند الصين لتصبح أكبر دولة في العالم؛ من حيث عدد السكان في خلال فترة التوقعات، ليصل إلى 1.6 مليار نسمة مقارنة بـ 1.4 مليار نسمة في الصين عام 2035.

وبالنسبة إلى الافتراضات الخاصة بأسعار الطاقة، تفترض توقعات الحالة المرجعية أن أسعار النفط الخام العالمية ستتزايد بشكل معتدل بالمعنى الحقيقي لتصل إلى 125 دولاراً

للبرميل عام 2035،[2] السعر الذي يتطابق والتوقعات طويلة الأجل الأخرى على شاكلة "توقعات الطاقة في العالم 2012" من "وكالة الطاقة الدولية". وبالنسبة إلى أسعار الغاز/ الغاز الطبيعي المسال، يفترض أن أسعار الغاز في الولايات المتحدة الأمريكية ستظل أقل مقارنة بأوروبا وآسيا، وذلك بفضل إمدادات الغاز المتنامية من مصادر غير تقليدية، وستتم مناقشة تفاصيل ذلك أدناه؛ ولكن يفترض أيضاً (كما في التوقعات الطويلة الأجل الأخرى) أن تنخفض فروق أسعار الغاز بحسب المنطقة تدريجياً بسبب النمو المتوقع في تجارة الغاز/ الغاز الطبيعي المسال عالمياً، كما هو موضح في الجدول (1-1).

توقعات الطلب العالمي على الطاقة

من المتوقع استمرار زيادة الطلب العالمي على الطاقة، يدعمها في ذلك النمو الاقتصادي والسكاني في العالم. وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع ارتفاع الطلب من 11.7 مليار طن مكافئ نفطي btoe عام 2010 إلى 17.5 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035؛ أي بمعدل نمو سنوي متوسط يبلغ 1.6٪. ويعد معدل النمو المتوقع هذا أدنى من المعدل التاريخي البالغ 1.9٪ للفترة بين عامي 1980 و2010، وذلك بفضل الاتجاه الجاري المتوقع لتزايد كفاءة استخدام الطاقة.

ومن المتوقع أن يفوق نمو الطلب على الطاقة في آسيا مثيله في مناطق أخرى،[3] حيث سيدفع نموّ زيادات الطلب العالمي على الطاقة. وكما هو مبين في الشكل (1-2)، من المتوقع نمو الطلب على الطاقة في آسيا من 4.2 مليار طن مكافئ نفطي عام 2010 إلى 7.7 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035؛ أي بمعدل نمو سنوي متوسط يعادل 2.9٪. ومن المتوقع أن تبلغ الزيادة التراكمية في الطلب على الطاقة في آسيا لهذه الفترة 3.5 مليار طن مكافئ نفطي، وهو ما يمثل نحو 60٪ من نمو الطلب العالمي على الطاقة. وفي آسيا، يعد نمو الطلب على الطاقة في الصين هو الأهم، إذ من المتوقع أن يرتفع من 2.2 مليار طن مكافئ نفطي عام 2010 إلى 4.0 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035؛ أي بمعدل نمو سنوي متوسط يعادل 2.4٪. ومن المتوقع أيضاً نمو الطلب على الطاقة في الهند بقوة، من

0.5 مليار طن مكافئ نفطي إلى 1.4 مليار طن مكافئ نفطي للفترة نفسها؛ أي بمعدل نمو سنوي متوسط يعادل 3.9٪، وهي نسبة أعلى حتى مما هي عليه الحال في الصين. ويمثل الطلب التراكمي المجمّع المتوقع على الطاقة في الصين والهند نحو ثلاثة أرباع إجمالي نمو الطلب على الطاقة في آسيا لفترة التوقع.

الشكل (1-2)

توقعات الطلب على الطاقة الأولية بحسب المنطقة

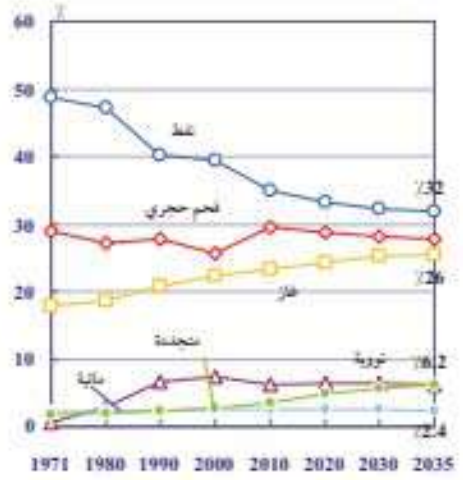
المصدر: IAE/OECD, op.cit.

ومع أنه من المتوقع أن يشهد الطلب على الطاقة ركوداً في دول "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية"، فإنه من المتوقع نموه في خلال فترة التوقع في المناطق التي ليست عضواً في المنظمة؛ مثل الشرق الأوسط وإفريقيا وأمريكا اللاتينية. وبالتالي، سيواصل مركز ثقل سوق الطاقة العالمية من حيث الطلب تحوله إلى المنطقة التي ليست عضواً في "منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي"، إلى آسيا خاصة.

وفي ما يتعلق بالمصادر، ستستمر هيمنة النفط على حافظة الطاقة العالمية حتى عام 2035، في توقعات الحالة المرجعية. وكما هو مبين في الشكل (1-3)، من المتوقع انخفاض حصة النفط في إجمالي الطاقة الأولية من 35٪ عام 2010 إلى 32٪ عام 2035، ولكنها ستظل الحصة الكبرى، يليها الفحم الحجري (28٪ عام 2035) والغاز الطبيعي (26٪). ويتباين تكوين الطلب على الطاقة وهيكل الحصة بشكل كبير تبعاً للمنطقة، وذلك لأسباب شتى تتعلق بالمناطق التي تحتوي موارد الطاقة، وباقتصاديات استخدام الطاقة، وسياسات الطاقة، والتطورات الحاصلة في قطاع الطاقة،... إلخ.

الشكل (1-3)

التوقعات: حصة مصادر الطاقة في إجمالي الطاقة (عالمياً)



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

الشكل (1-4)

التوقعات: حصة مصادر الطاقة في إجمالي الطاقة (آسيوياً)

المصدر: IAE/OECD, op. cit.

وفي آسيا، على سبيل المثال، يعد الفحم الحجري مصدر الطاقة الأكثر استخداماً على نطاق واسع، وسيظل، مصدر الطاقة القادر على المنافسة اقتصادياً في البلدان الرئيسية المستهلكة للطاقة مثل الصين والهند. وقد وصلت نسبة الفحم الحجري في إجمالي الطلب على الطاقة الأولية في آسيا عام 2010 إلى 54٪، تلاها النفط (28٪) والغاز الطبيعي (11٪). وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع انخفاض حصة الفحم في آسيا إلى 46٪ عام 2035، ولكن سيبقى الفحم مصدر الطاقة المهيمن في آسيا، كما في الشكل (1-4).

وتشير دراسة مقارنة مع غيرها من التوقعات الرئيسية للطاقة على المدى الطويل -مثل "توقعات الطاقة في العالم 2012" الصادرة عن "وكالة الطاقة الدولية" و"توقعات النفط العالمية لعام 2012" الصادرة عن منظمة "أوبك"- إلى أن الاتجاهات الأساسية الرئيسية في الطلب العالمي على الطاقة (مثل هيمنة نمو الطلب

على الطاقة في آسيا، واتجاه حصص أنواع الوقود الأحفوري الرئيسية) تعد شائعة في الحالات أو السيناريوهات الخاصة بكل منها، وذلك على الرغم من الاختلافات الملحوظة في التوقعات العددية المفضَّلة. فمن المتوقع على سبيل المثال أن يزداد الطلب العالمي على الطاقة من 12.7 مليار طن مكافئ نفطي عام 2010 إلى 18.7 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035 في سيناريو السياسات الحالية لتوقعات "وكالة الطاقة الدولية"؛ في حين تنبئ توقعات الحالة المرجعية من "أوبك" بوصول الطلب العالمي على الطاقة إلى 18.0 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035.

تزايد اعتماد آسيا على واردات الطاقة

ما زال الطلب على الطاقة في آسيا يتزايد؛ ومن ثم فمن المتوقع ألا يكون إنتاج الطاقة في المنطقة قادراً على مواكبة نمو الطلب؛ ما سيؤدي إلى تزايد الاعتماد على واردات الطاقة في آسيا.

وستكون هذه الظاهرة أشد وضوحاً في حال التوازن بين العرض والطلب على النفط. ومع أنه ثمة العديد من الدول الرئيسية المنتجة للنفط في آسيا (بما في ذلك الصين وإندونيسيا والهند وماليزيا وفيتنام،... إلخ)، فإن إجمالي إنتاج النفط في آسيا (382 مليون طن مكافئ نفطي) عام 2010 كان أقل بالفعل من الـ 1.174 مليار طن مكافئ نفطي في الطلب الكلي. وقد احتاجت آسيا عام 2010 إلى 792 مليون طن مكافئ نفطي من صافي الواردات النفطية من خارج المنطقة لتلبية الطلب الإقليمي، وهو ما يمثل 67٪ من الطلب. ومع أنه من المتوقع أن يبقى إنتاج النفط الإقليمي عند نحو 400 مليون طن مكافئ نفطي، فإنه من المتوقع زيادة الاعتماد على الواردات النفطية لتصل إلى 80٪ بحلول عام 2035، وذلك نتيجة لتزايد الطلب، كما في الشكل (1-5).

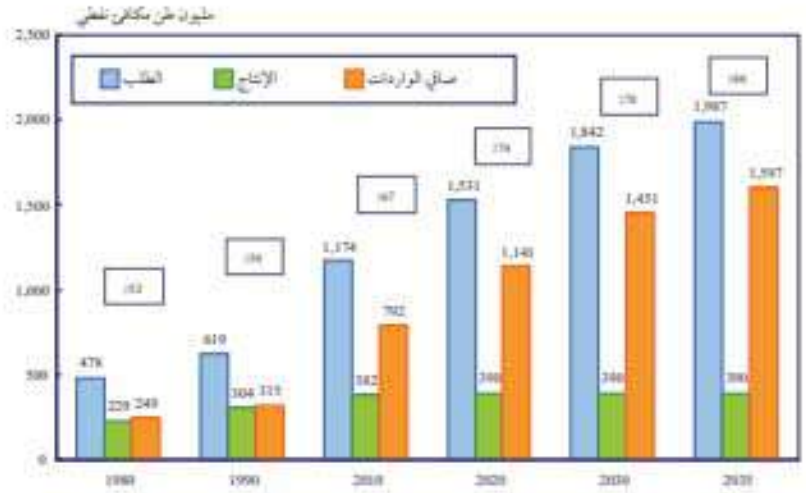
وترى بلدان كثيرة في آسيا أن تزايد الاعتماد على الواردات يشكل خطراً جدياً على أمن طاقتها، ولاسيما في ضوء ارتفاع أسعار النفط وتقلبها في سوق النفط العالمية، وكذلك

إمكانية حدوث عدم استقرار، أو توتر جيوسياسي في مناطق إمدادات النفط الرئيسية، مثل الشرق الأوسط.

ونظراً إلى هواجس تتعلق بأمن الطاقة وتزايد الاعتماد على الواردات، شرعت دول كبرى مستوردة للطاقة، بما فيها الصين والهند، في بذل جهود شاملة لتعزيز أمن الطاقة عبر تحسين كفاءة استخدام الطاقة، وتطوير الطاقة المحلية، وتنويع مصادر الطاقة، وتنويع مصادر استيراد الطاقة، وتطوير موارد الطاقة عبر البحار، وتخزين النفط، وتعزيز العلاقات مع الدول الغنية بموارد الطاقة.

الشكل (1-5)

توقعات التوازن بين العرض والطلب على النفط في آسيا



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

وإذا أُخذت هذه التدابير بطريقة مناسبة، فمن المتوقع أن تتغلب على نقاط ضعف أمن الطاقة في تلك البلدان، وبالتالي تعزيز أمن الطاقة في العالم قاطبة. ولكنّ ثمة قلقاً من

احتمال أن يتزعزع استقرار سوق الطاقة العالمية إذا سعى كل بلد إلى تحقيق أمن الطاقة من جانبه بطريقة "لعبة المحصلة الصفرية" [التي يكون فيها ربح طرف على حساب الطرف الآخر]. وفي هذا الصدد، سيواصل سلوك البلدان الرئيسية المستوردة للطاقة في آسيا جذب الاهتمام العالمي باعتباره عاملاً مهماً يؤثر في أمن الطاقة عالمياً.

نمو الطلب على الطاقة في منطقة الشرق الأوسط وتداعياته

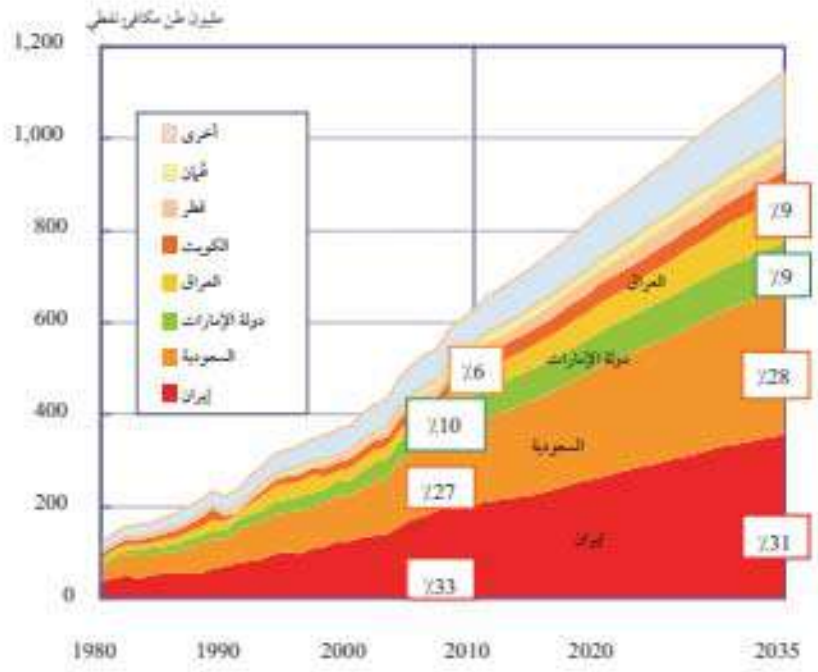
وفقاً لما جاء في المراجعة الإحصائية للطاقة في العالم لعام 2012، الصادرة عن شركة "بريتش بتروليوم" (BP Statistical Review of World Energy, 2012)، امتلك الشرق الأوسط اعتباراً من نهاية عام 2011 ما مقداره 795 مليار برميل من احتياطيات النفط المؤكدة القابلة للاستخراج و80 تريليون متر مكعب من احتياطيات الغاز المؤكدة القابلة للاستخراج، وهو ما يمثل 48٪ و38٪ على التوالي من المجاميع العالمية. وكونه مدعوماً بهذه الموارد الوفيرة، يلعب الشرق الأوسط دوراً بالغ الأهمية -وعلى نحو حاسم- بوصفه منتج النفط والغاز الطبيعي ومصدّرهما إلى السوق العالمية.

ومع ذلك، هناك ظاهرة ناشئة الآن تستقطب الاهتمام العالمي؛ ألا وهي الطلب المتزايد على الطاقة في المنطقة وتداعياته على ميزان الطاقة. ومن بين العوامل الأساسية لنمو الطلب هذا على الطاقة: النمو الاقتصادي المطّرد يدعمه ارتفاع أسعار النفط، والنمو السكاني، وأسعار الطاقة المحلية الرخيصة نسبياً مقارنة بالمستويات الدولية (ولاسيما في الدول المنتجة للنفط في المنطقة). وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع نمو الطلب على الطاقة في المنطقة من 628 مليون طن مكافئ نفطي عام 2010 إلى 1.144 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035 بمعدل نمو سنوي متوسط يبلغ 2.4٪، انظر الشكل (1-6). وتعد إيران والسعودية البلدين الرئيسيين المستهلكين للطاقة في المنطقة، حيث استهلكتا 33٪ و27٪ على التوالي من إجمالي استهلاك الطاقة الأولية الإقليمية عام 2010. ومن المتوقع أن يشهد البلدان، وغيرهما في المنطقة، زيادة في الطلب على الطاقة حتى عام 2035.

وللزيادة الكبيرة المتوقعة في الاستهلاك المحلي للطاقة تداعيات مهمة، ولاسيما في سياق الحد من إمكانات التصدير. فمن المتوقع، في حالة السعودية مثلاً، أن يرتفع طلبها المحلي على النفط من 2.1 مليون برميل يومياً عام 2010 إلى 4.3 مليون برميل يومياً عام 2035 في توقعات الحالة المرجعية المبينة في الشكل (1-7).

الشكل (1-6)

توقعات الطلب على الطاقة الأولية في الشرق الأوسط



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

الشكل (1-7)

توقعات الطلب على النفط في السعودية

المصدر: IAE/OECD, op. cit.

ويعادل الطلب المتوقع على النفط عام 2035 ما نسبته 44٪ من إنتاج النفط الخام الفعلي في السنوات الأخيرة، ما يحد من الكميات المعدّة للتصدير، إذا بقي مستوى الإنتاج من دون تغيير. وعليه، للحفاظ على الكميات المعدة للتصدير حالياً، أو زيادتها، ستحتاج المملكة إلى واحد - أو في الواقع اثنين - من التدابير التالية: زيادة طاقة إنتاج النفط بالاستثمار في عمليات الإنتاج وما قبل upstream (الاستكشاف والتطوير والإنتاج)، أو تخفيض أو كبح الطلب على النفط من خلال تحسين الكفاءة أو إدخال الطاقات البديلة. ويتطلب هذان الإجراءان اتخاذ قرارات خطيرة في مجال السياسات، وتنفيذ سياسة طويلة الأمد مع توظيف استثمار كبير في قطاعات الطاقة ذات الصلة، والتصدي في الوقت نفسه لشتى التحديات والصعوبات التي تعترض تحقيقها. فمثلاً، قد يتطلب تحسين كفاءة الطاقة

مراجعة سياسة تسعير الطاقة المحلية، التي تعد الآن حساسة سياسياً في ظل الواقع السياسي الناشئ، حيث أصبح الاستقرار السياسي الداخلي أولوية قصوى في أعقاب "الربيع العربي"؛ لأن أي ارتفاع في سعر الطاقة المحلية قد يؤدي إلى عدم الاستقرار.

التحديات التي تواجه أمن الطاقة في العالم وتغير المناخ

يستمر الطلب العالمي على الطاقة في الارتفاع، ويتزايد بصفة خاصة الاعتماد على واردات الطاقة في آسيا، التي أخذت تبرز بوصفها عنصراً مهماً يؤثر في أمن الطاقة من جانب الطلب العالمي. ومن المهم في الوقت نفسه أن نشير إلى أنه ثمة العديد من الشكوك والتحديات لعناصر جانب العرض التي قد تؤثر أيضاً في أمن الطاقة عالمياً، وأوَّلها هو الخطر الجيوسياسي.

وتعد تأثيرات "الربيع العربي" والتوترات المتعلقة ببرنامج إيران النووي أمثلة نموذجية على المخاطر الجيوسياسية التي قد تؤثر في إمدادات الطاقة العالمية. كما تعد حوادث الطاقة الواسعة النطاق غير المتوقعة، كالحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما [النووية في اليابان]، من العوامل المزعزعة للاستقرار التي تؤثر في أسواق الطاقة العالمية.

وبالإضافة إلى المخاطر "المحتملة" لأمن الطاقة المذكورة آنفاً، قد تمثل المشكلات الأمنية والهيكلية، مثل تزايد وطنية الموارد وقوة السوق، تهديدات أيضاً لأمن الطاقة في العالم. وهذا مهم جداً لأن عدم الاستقرار وعدم اليقين في سوق الطاقة العالمية قد يتطور إلى قيود على الاستثمار في قطاع الطاقة، ما يحول دون إضافة قدرة كافية تسهم في الوقت المناسب في تلبية الطلب العالمي المتزايد على الطاقة. وتعد هذه المشكلات جميعها "مخاطر فوق الأرض" يواجهها أمن الطاقة في العالم من جانب العرض، بينما يستمر اعتبار موارد الطاقة في باطن الأرض وفيرة، والفضل في ذلك مرده جزئياً إلى النمو السريع الذي حدث مؤخراً لاستخراج موارد النفط والغاز غير التقليدية.[4]

وبصرف النظر عن التحديات التي يواجهها أمن الطاقة في العالم، فإن من شأن حدوث زيادات كبيرة في الطلب على الطاقة -ولاسيما الوقود الأحفوري- أن يشكل تحدياً بيئياً. وسيؤدي تنامي معدلات الوقود الأحفوري إلى زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عالمياً. وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عالمياً من 30.4 مليار طن مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون tCO_2e عام 2010 إلى 43.4 مليار مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون عام 2035. وكما هو اتجاه الطلب على الطاقة الأولية، فإن آسيا هي التي ستدفع عجلة نمو انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عالمياً. ومن المتوقع زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في آسيا من 12.5 إلى 21.3 مليار مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون للفترة نفسها، وستمثل الانبعاثات التراكمية في آسيا 72٪ من إجمالي نمو الانبعاثات في العالم. وعليه، من المهم معالجة القضايا المتعلقة بنمو الطلب على الطاقة في آسيا، من حيث أمن الطاقة وتغير المناخ على السواء.

وفي آسيا، حيث الفحم الحجري هو الوقود الأكثر هيمنة، تعد معالجة مشكلات البيئة الإقليمية أو المحلية؛ مثل تلوث الهواء، وتلوث المياه،... إلخ، مسألة بالغة الأهمية أيضاً. ولهذا يجري تنفيذ سياسات لتحسين كفاءة استخدام الطاقة وتشجيع استخدام وقود أنظف في آسيا.

الواقع الناشئ لإمدادات الطاقة العالمية

النمو السريع لإمدادات الطاقة المتجددة

لا تشكل الطاقة المتجددة (بما في ذلك الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الحرارية الأرضية، والوقود الحيوي، وغيرها، باستثناء الطاقة المائية) سوى 3.6٪ من إجمالي الطاقة الأولية في سوق الطاقة العالمية اعتباراً من عام 2010، انظر الشكل (1-3). وتعزى هذه الحصة المحدودة في المقام الأول إلى الاقتصاديات الأقل مرتبة لمصادر الطاقة المتجددة، مقارنة بمصادر الوقود الأحفوري التقليدية، وإلى عدم ملاءمة الإمدادات المتقطعة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح).

ولكنّ ثمة اتجاهاً ناشئاً مؤخراً يتمثّل في تطوير الطاقة المتجددة باعتبارها سياسة لها الأولوية في العديد من البلدان. وتشمل هذه السياسة اتخاذ تدابير واسعة النطاق مثل أنظمة التعريفة التفضيلية لإمدادات الطاقة المتجددة feed-in-tariff، ومعايير حافظة الطاقة المتجددة، والإعانات المباشرة للمرافق ذات الصلة،... إلخ. أما الأسباب الكامنة وراء السياسات التشجيعية هذه فهي المزايا المتخيَّلة التالية للطاقة المتجددة:

- يمكن للطاقة المتجددة أن تحسّن الاكتفاء الذاتي بالطاقة؛ لأنها أحد أشكال إنتاج الطاقة "المحلية".
- يمكن للطاقة المتجددة أن تسهم في الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال استبدال الوقود الأحفوري.
- من المتوقع أن تؤسس الطاقة المتجددة "صناعة جديدة" يمكنها الإسهام في الاقتصادات الوطنية، وتحقيق النمو، وتوفير فرص العمل.
- أدى تطوير التكنولوجيا والآثار المترتبة على "منحنى التعلم" إلى تخفيض تكاليف تكنولوجيا الطاقة المتجددة ككل.

وفي ظل هذه الظروف، من المتوقع نمو الطاقة المتجددة بشكل كبير. فعلى سبيل المثال، من المتوقع أن تزداد قدرات الفولطيات الضوئية [الخلايا الكهرضوئية] PV من 39 جيجاواط عام 2010 إلى525 جيجاواط عام 2035 في توقعات الحالة المرجعية، انظر الشكل (1-8). ومن المتوقع أيضاً أن تزداد قدرات طاقة الرياح عالمياً من 184 جيجاواط إلى 859 جيجاواط للفترة نفسها. كما ستزداد قدرات الفولطيات الضوئية، وطاقة الرياح في كل بقاع العالم، ولكن آسيا هي التي تعد مثالاً على القدرة على تحقيق أسرع زيادة في استخدام هذه التكنولوجيات.

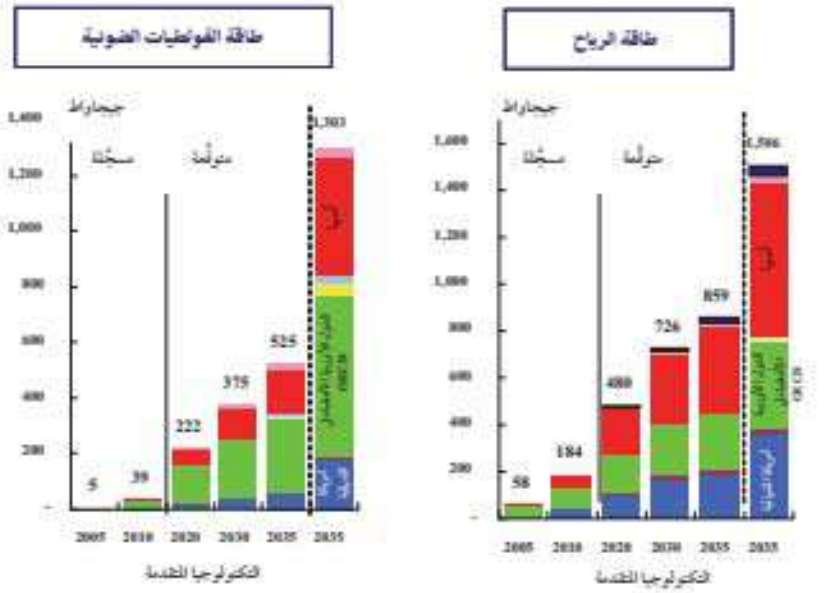
ونتيجة ذلك، من المتوقع زيادة حصة الطاقة المتجددة في إجمالي الطاقة الأولية العالمية من 3.6٪ عام 2010 إلى 6.3٪ عام 2035، وهذا يمثل الزيادة المئوية التراكمية الكبرى لأي مصدر من مصادر الطاقة في فترة التوقع.

وعلى الرغم من المزايا المتخيّلة الكثيرة المذكورة سابقاً، تثير زيادة استخدام الطاقة المتجددة الآن أيضاً تحديات عديدة، بما في ذلك: طبيعة تكلفتها العالية، والأعباء الاقتصادية الناتجة الملقاة على كاهل القطاع والمستهلكين، وزيادة حصة إمدادات الطاقة المتقطعة وأثرها في استقرار إمدادات الكهرباء، وانخفاض كثافة إنتاج الطاقة المتجددة الذي يتطلب استخدام الأراضي على نطاق واسع، والحاجة المتزايدة إلى بنية تحتية/ أنظمة هائلة من الاستثمار في الطاقة لتعزيز استقرار الشبكة ونظامها بهدف استيعاب نمو الطاقة المتجددة.

وحيث إنه من المتوقع أن تلعب الطاقة المتجددة دوراً متزايد الأهمية في مجموع إمدادات الطاقة، ستتزايد أهمية التحديات المذكورة أعلاه أكثر مستقبلاً.

الشكل (1-8)

التوقعات بالنسبة إلى "الفولطيات الضوئية" وطاقة الرياح



المصدر: IAEA/OECD, op. cit.

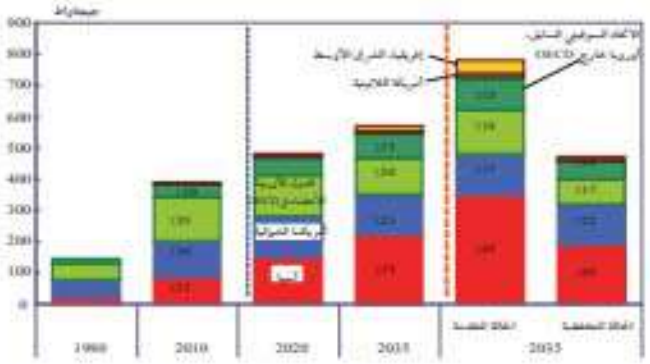
توقعات الطاقة النووية ما بعد حادثة فوكوشيما

تم الترويج للطاقة النووية على أنها مصدر مهم في تنويع مصادر الطاقة، وبشكل رئيسي في دول منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي وروسيا. واعتباراً من عام 2010، بلغت الطاقة الإنتاجية العالمية للطاقة النووية 389 جيجاواط، شكلت دول "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" منها ما يقرب من 90٪ من الطاقة العالمية. ومن فوائد الطاقة النووية أنها تولد الكهرباء على نطاق واسع وبشكل يتسم بالكفاءة والاستقرار (وبالتالي هي مثالية كمصدر لإمدادات طاقة الحمل الأساسي)؛ وتنعدم فيها الانبعاثات وقت التوليد؛ وتعد فعالة في الحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري.

وفي مثل هذه الظروف، كانت بلدان عديدة، في الفترة التي سبقت حادثة فوكوشيما، حريصة على تعزيز استخدام الطاقة النووية، إما ببناء محطات طاقة نووية جديدة، وإما بإطالة عمر محطات الطاقة النووية القائمة مع "الترقية" uprating (تحقيق زيادة تراكمية في القدرات) حيثما أمكن. كما دعم استمرار التحول التصاعدي في أسعار النفط والحاجة المتخيلة إلى معالجة أمن الطاقة وتغير المناخ العالمي تعزيز الطاقة النووية، الذي قيل إنه يشهد "نهضة نووية".

الشكل (1-9)

التوقعات بالنسبة إلى قدرة الطاقة النووية



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

ولكن حادثة فوكوشيما أثرت بشكل كبير في التطور النووي العالمي. فقد قررت ألمانيا بعدها الاستغناء تدريجياً عن الطاقة النووية، وشـرعت اليابـان في مراجعـة شـاملة لخطـة الطاقة الوطنية الأساسية الخاصة بها، والتي كان مقرراً فيها زيادة نسـبة الطاقـة النوويـة إلى 53٪ من مجموع توليد الكهرباء بحلول عام 2030. وما زالت الصين والهند وبعض الدول الناشئة الأخرى في آسيا والشـرق الأوسط إيجابية وداعمة لخططها للطاقة النووية، ولكـن تعزيز سلامة التدابير اللازمة وزيادات التكاليف ذات الصلة قد تـؤدي إلى تبطئـة إدخـال القدرة أكثر مما كان متوقعاً سابقاً. أما الولايات المتحدة وفرنسا -كبرى وثاني كبرى الدول في مجال الطاقة النووية- فتواصلان إيلاء الأولوية للطاقة النوويـة بوصـفها مصـدراً مهـماً للطاقة في الحافظات الخاصة بكل منهما، ولكن حالة عدم اليقين قد تظل موجودة، حتى في أثناء تطوير الطاقة النووية الأمريكية والفرنسية، ولاسيما في ما يتعلق بالمحطـات الجديـدة، وذلك لأن توافر الغاز الطبيعي الرخيص، بفضل ما يسمى "ثورة الغاز الصخري"، أثر في التنافسية الاقتصادية للقدرة النووية الجديدة في الولايات المتحدة.

وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع زيادة قدرات الطاقة النوويـة العالميـة مـن 389 جيجاواط عام 2010 إلى 572 جيجاواط عام 2035، انظر الشكل (1-9). وبهـذه الزيـادة في القدرات، من المتوقع أن تشكل الطاقة النووية 6.2٪ من إجمالي إمدادات الطاقة في العالم عـام 2035. وفي ضوء تأثير حادثة فوكوشيما، تم إعداد حالة أخرى، "الحالة النووية المنخفضـة"، وهي الحالة التي يتم فيها دراسة وإجراء تبطئة أو تخفيض في برنامج الطاقة النووية لكل بلـد. وفي الحالة النووية المنخفضة، من المتوقـع أن تصـل القـدرة العالميـة إلى 471 جيجـاواط عـام 2035، وهو رقم يقل بما يقرب من 100 جيجاواط عما كان عليه في الحالة المرجعية، ولكنه مـا زال أعلى من قدرة عام 2010. ومن المهم أن نلاحظ في هـذا الصـدد أن الزيـادة الرئيسـية في القدرات النووية العالمية ستتحقق من آسيا، وخاصة الصين والهند. وعليـه، مـن المهـم جـداً تعزيز السلامة النووية في آسيا بهدف تحقيق اسـتقرار سـوق الطاقـة العالميـة. وفي مـا يتعلـق باستخدام الطاقة النووية، تعد السلامة والأمن والضـمانات شـروطاً أساسـية، ولا بـد مـن تطبيق العبر المستخلصة من أحداث فوكوشيما لما فيه خير العالم بأسْـره.

أهمية أنواع الوقود الأحفوري بوصفها مصادر طاقة مهيمنة

على الرغم من أنه سيتم تعزيز استخدام الطاقتين: المتجددة والنووية، وأنهما ستمثلان حصصاً أكبر تدريجياً في إجمالي حافظة الطاقة العالمية، فستظل الحقيقة أن أنواع الوقود الأحفوري -أي النفط والفحم الحجري والغاز- ستبقى مصادر الطاقة المهيمنة.

وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع أن تنخفض حصة أنواع الوقود الأحفوري في إجمالي إمدادات الطاقة الأولية العالمية من 88٪ عام 2010 إلى 85٪ عام 2035. وعليه فإن الهدف من تأمين إمدادات وقود أحفوري مستقرة، من حيث الكمية والسعر على السواء، سيبقى هو التحدي الأهم في عملية الحفاظ على أمن الطاقة العالمي.

وفي توقعات الحالة المرجعية، من المتوقع أن يتمكن إنتاج الطاقة في العالم من مواكبة الطلب المتزايد عليها، إذا تم توظيف ما يلزم من الاستثمار الواسع النطاق في قطاعات الطاقة ذات الصلة في الوقت المناسب وبالطريقة المناسبة. كما تفترض التوقعات أنه لن تكون هناك قيود عالمية النطاق على الموارد في فترة التوقع.

فعلى سبيل المثال، تشير توقعات إمدادات النفط في الحالة المرجعية إلى أن إنتاج النفط العالمي سيستمر في الارتفاع من 87 مليون برميل يومياً عام 2011 إلى 114 مليون برميل يومياً عام 2035 لتلبية الطلب المتزايد. ومن المتوقع أن يزداد إنتاج النفط من خارج "أوبك" من 49 إلى 59 مليون برميل يومياً في الفترة نفسها، ومردّ ذلك أساساً نمو الإنتاج في أمريكا الشمالية وأمريكا اللاتينية والاتحاد السوفيتي السابق. ومن المتوقع أيضاً زيادة إنتاج "أوبك" من النفط لسد الفجوة بين الطلب العالمي على النفط والإنتاج من خارج "أوبك"، من 36 إلى 53 مليون برميل يومياً، الأمر الذي ستنجم عنه حصة لـ"أوبك" في الإنتاج العالمي للنفط ستصل إلى 46٪ عام 2035. وهكذا فإن الاستثمار في الوقت المناسب وبالشكل الملائم في قطاعات إنتاج النفط واستكشافه وتطويره في "أوبك" وخارجها، وفي تطوير النفط التقليدي، وغير التقليدي، سيغدو أساسياً لتحقيق الاستقرار في التوازن بين العرض والطلب على النفط في العالم. وسينطبق هذا أيضاً على قضية الاستثمار في تطوير موارد الطاقة الأخرى، بما في ذلك الغاز الطبيعي والفحم الحجري.

وبالإضافة إلى ما سبق، سيكون تأمين سعر مستقر للإمدادات مهماً جداً لمستهلكي الطاقة أيضاً. ويمكن للتأرجحات والتقلبات والتذبذبات الكبيرة في أسعار الطاقة أن تشكل عائقاً كبيراً في وجه التنمية الاقتصادية السليمة والمستدامة من وجهة نظر المستهلكين، كما يثير عدم استقرار أسعار الطاقة أيضاً مشكلات لمنتجي الطاقة ومصدريها من حيث أمن الطلب، ما يؤدي إلى مشكلات تصيب الاقتصاد الكلي. وهكذا سيبقى تطور أسعار الطاقة عنصراً مهماً جداً يؤثر في أمن الطاقة العالمي، وهو أمر سيبقى قيد المراقبة الدقيقة من قبل صانعي سياسة الطاقة وقطاعها.

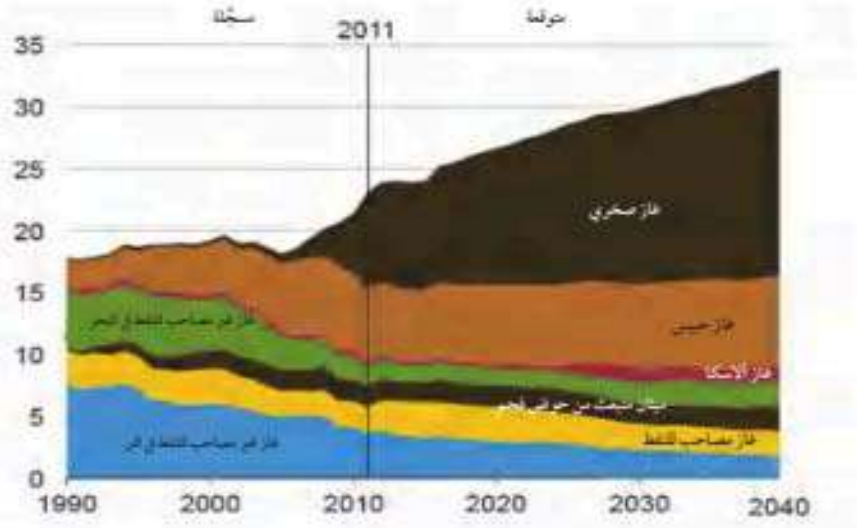
تزايد إمدادات النفط والغاز غير التقليدية

ثمة "ثورة" جارية في مجال إمدادات النفط والغاز العالمية؛ ألا وهي التزايد المتسارع في إنتاج النفط والغاز غير التقليديين في الولايات المتحدة، ولهذه الثورة تداعيات مهمة في سوق الطاقة العالمية. فالولايات المتحدة تشتهر بمواردها الكامنة الضخمة من النفط والغاز غير التقليديين، بما في ذلك ثروات النفط والغاز الصخري الواسعة النطاق جداً. وكانت تلك الثروات تعد في زمن من الأزمان صعبة التطوير تجارياً بالتكنولوجيا المتوافرة آنذاك، ولكن تطوير تلك التكنولوجيات وتطبيقها ونشرها، مثل الحفر الأفقي والتكسير الهيدروليكي، جعل من الممكن تطوير الغاز الصخري بسرعة وعلى نطاق واسع، يليه النفط الصخري (نفط خفيف حبيس [محصور في طبقات صخرية أو رملية كتيمة]). وكان الاعتقاد السائد من قبل، على نطاق واسع، أن إنتاج الغاز المحلي في الولايات المتحدة سينخفض على المدى الطويل لأن إنتاجها من الغاز التقليدي كان آخذاً في الاستقرار. وبموجب هذا الرأي، كان من المتوقع أن يتعرض التوازن بين العرض والطلب على الغاز في الولايات المتحدة للضغط، وهو ما يتطلب واردات واسعة النطاق من الغاز الطبيعي المسال لسد الفجوة. ولكن في الواقع، غيّر الارتفاع غير المتوقع والسريع في إنتاج الغاز الصخري واقع العرض والطلب في الولايات المتحدة بشكل أساسي. فبفضل زيادة إنتاج الغاز الصخري، بحسب وجهة النظر الشعبية[5] الآن، سوف يستمر إنتاج الغاز المحلي في الولايات المتحدة في الارتفاع حتى عام 2040، أما الغاز الصخري فسيمثل نحو نصف إجمالي إنتاج الغاز في الولايات المتحدة،

انظر الشكل (1-10). وحين أضحت الإمدادات وفيرة جداً، خفت حدة اختلال التوازن بين العرض والطلب على الغاز بشكل كبير، ما أدى إلى انخفاض سعر الغاز المحلي ليتراوح بين 2 و4 دولارات لكل مليون وحدة حرارية بريطانية خلال الفترة 2011-2012. ومع أن انخفاض سعر الغاز أصبح في حد ذاته عاملاً يؤثر سلبياً في اقتصاديات تطوير الغاز الصخري، فإن إنتاج السوائل من التكوينات الغنية بالنفط أسهم في تعزيز زيادات إنتاج الغاز الصخري. كما عزز انخفاض التكاليف والغاز المصاحب الناتج من زيادة إنتاج النفط الصخري استمرار التوسع في إنتاج الغاز الصخري.

الشكل (1-10)

التوقعات بالنسبة إلى إنتاج الغاز في الولايات المتحدة



المصدر: EIA "Annual Energy Outlook 2013 Early Release," 2012.

وفق "ثورة الغاز الصخري" هذه، يسبب الغاز الرخيص (مقارنة بالسوق الأوروبية [9-10 دولارات/ مليون وحدة حرارية بريطانية] وسوق الغاز الطبيعي المسال الآسيوية

[16–18 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية]) العديد من التطورات المهمة في الولايات المتحدة: أولها، أن الطلب على الغاز يتزايد في العديد من القطاعات. ويحل الغاز محل الفحم الحجري الآن في قطاع توليد الطاقة بينما تتعزز تنافسية الغاز الاقتصادية بشكل كبير. وفي الواقع، يجري الآن تصدير الفحم الحجري إلى الأسواق الأوروبية والآسيوية، الأمر الذي يؤثر في التوازن بين العرض والطلب في أسواق الفحم الحجري ذات الصلة. ويخترق الغاز بعض القطاعات الجديدة، بما في ذلك النقل والصناعة. وعلى وجه الخصوص، أصبحت وفرة الغاز الرخيص عاملاً يشجع على الاستثمار في الصناعة البتروكيماوية، التي تخطط بعض الشركات فيها الآن لاستخدام الغاز كمادة مدخلة feedstock، وفي الصناعات التحويلية الأخرى النهمة للطاقة في الولايات المتحدة. ولهذا الاتجاه تأثيرات مهمة في النمو الاقتصادي الأمريكي وفرص العمل، فضلاً عن القدرة التنافسية الاقتصادية للصناعة في الولايات المتحدة. واللافت للنظر أيضاً أنه يجري التخطيط والإعداد لعدد من مشروعات تصدير الغاز الطبيعي المسال في الولايات المتحدة، في محاولة لتحقيق الحد الأقصى من المنافع الاقتصادية بالاستفادة من انخفاض سعر الغاز المحلي في الولايات المتحدة في مقابل ارتفاع الأسعار العالمية. وفي حال حصول بعض مشروعات تصدير الغاز الطبيعي المسال على إذن من الحكومة الأمريكية للتصدير، فمن المتوقع أن يكون لذلك تأثيرات كبيرة في أسواق الغاز الطبيعي المسال الآسيوية والأوروبية. وفي هذا الصدد، من المهم جداً متابعة النقاش المحلي الدائر في الولايات المتحدة تجاه إذا ما كان ينبغي السماح بتصدير الغاز الطبيعي المسال على أساس مصالح الولايات المتحدة القومية الشاملة، حيث يجادل بعضهم بأن هذا قد يؤثر سلبياً في الاقتصاد الأمريكي برفعه سعر الغاز.[6]

ومع أن القلق وعدم اليقين ما زالا قائمين تجاه مستقبل تطوير الغاز الصخري في الولايات المتحدة –مثل المخاوف البيئية (تلوث المياه)، واقتصاديات تطوير الغاز الصخري في بيئة منخفضة السعر– فإنه من المهم جداً مواصلة متابعة "ثورة الغاز الصخري" بعناية.

ويجب علينا أيضاً أن نتساءل إذا ما كانت ثورة الغاز الصخري في الولايات المتحدة قابلة للتكرار في أماكن أخرى من العالم، في ضوء الموارد الكامنة الضخمة من الغاز

الصخري في العالم.[7] وقد يصبح معدل ومدى تطوير الغاز الصخري عاملاً يؤثر في العرض والطلب على الطاقة العالمية في المستقبل، على الرغم من أن العديد من الخبراء يشيرون الآن إلى أن الظروف الفريدة في الولايات المتحدة جعلت تطوير الحقول الصخرية أمراً ممكناً في مثل هذه الفسحة الزمنية القصيرة؛ مثلاً، من حيث توافر (البنية التحتية) لخطوط الأنابيب، ووجود صناعة نفطية متنوعة، وقوى فاعلة في مجال صناعة الخدمات، وهيكلية واضحة لملكية الموارد،... إلخ.[8]

وأخيراً وليس آخراً، يغير تطور النفط الصخري في الولايات المتحدة أيضاً وبشكل سريع التوازن النفطي فيها. فقد شهدت الولايات المتحدة لسنوات متتالية نمواً في إنتاج النفط منذ عام 2008، وتوقعت "وكالة الطاقة الدولية" في تقريرها Short Term Energy Outlook [توقعات الطاقة على المدى القصير] لشهر يناير 2013 أن إنتاج النفط الخام في الولايات المتحدة عام 2012 يقدر بـ6.4 مليون برميل يومياً، ومن المتوقع أن يرتفع إلى 7.9 مليون برميل يومياً عام 2014؛ أي أعلى مستوى له منذ عام 1988. ويعزى نمو الإنتاج إلى حقيقة أن إنتاج النفط الخفيف الحبيس في حقول مثل باكن Bakken، وإيجل فورد Eagle Ford، إلخ يتزايد بسرعة، وذلك بفضل التكنولوجيا المتقدمة نفسها التي تم استخدامها لتطوير الغاز الصخري.

وأدت الزيادة الحادة في الإنتاج المحلي للنفط في الولايات المتحدة، إلى جانب انخفاض الاستهلاك المحلي بفعل التباطؤ الاقتصادي وتحسين كفاءة استخدام الوقود، إلى انخفاض مطرد في واردات الولايات المتحدة من النفط. واستناداً إلى بيانات "وكالة الطاقة الدولية"، من المقدر انخفاض صافي الواردات النفطية الأمريكية من 10.9 مليون برميل يومياً عام 2008 إلى 7.6 مليون برميل يومياً عام 2012. وكان للنمو الأساسي في إنتاج النفط الخفيف الحبيس في الولايات المتحدة فعلياً تأثير في هذه المجالات المهمة، مثل تسعير الخام القياسي الخفيف الحلو [المنخفض الكبريت] (غرب تكساس الوسيط WTI)، واقتصاديات التكرير، وانخفاض مدفوعات واردات النفط الوطنية. وكما في حالة ثورة الغاز الصخري تماماً، يعد التطوير المستقبلي لإنتاج النفط الصخري في الولايات المتحدة،

وكذلك احتمال تكراره في أجزاء أخرى من العالم، وتطوير مصادر غير تقليدية أخرى مثل الرمال النفطية، أمراً مهماً جداً يؤثر في واقع الطاقة العالمي كله.

تأثيرات "استقلال" الولايات المتحدة في مجال الطاقة

كما شرحنا سابقاً، يشهد وضع الطاقة في الولايات المتحدة الآن تغيراً جذرياً. ويقود تطوير النفط والغاز الصخريين تغيرات كبيرة في أساسيات سوق الطاقة في العديد من المناطق داخل الولايات المتحدة وخارجها على حد سواء. ولكن في الوقت نفسه، يسهم النمو السريع في إنتاج النفط والغاز الصخريين، حقيقة، في الحد من الواردات الصافية من الطاقة في الولايات المتحدة، ما يؤدي إلى تحسين اكتفاء الولايات المتحدة الذاتي في مجال الطاقة. ومع أنه من المتوقع استمرار تزايد إنتاج النفط والغاز في الولايات المتحدة، فإنه ثمة حجج ونقاشات تدور بين أصحاب المصلحة في مجال الطاقة العالمية تجاه إذا ما كانت الولايات المتحدة ستغدو "مستقلة في مجال الطاقة" وما قد يعنيه هذا "الاستقلال".

وكونها أقل اعتماداً على الواردات، من المحتمل أن يُتم تعزز القوة الاقتصادية في الولايات المتحدة، الأمر الذي من شأنه أن يصون مكانتها الشاملة كقوة عظمى ويحسنها. وفي الوقت نفسه، قد يتساءل المرء: ما الذي ستكون عليه سياسة الولايات المتحدة تجاه الشرق الأوسط، وروسيا، والصين، واليابان، والاتحاد الأوروبي، وما إلى ذلك، في حال أصبحت "مستقلة في مجال الطاقة". وفي المقابل، ما الذي ستكون عليه تأثيرات ذلك في العلاقات الدولية وفي جيوسياسة الطاقة، على سبيل المثال، العلاقات بين الصين والشرق الأوسط، والعلاقات بين اليابان والصين، وأمن عبور ونقل الطاقة الدولية في الممرات البحرية الكبرى. وعند هذه اللحظة، بدأ للتوّ صانعو سياسات الطاقة، والقوى العاملة في هذا القطاع، والخبراء في هذا الموضوع مناقشة هذه الموضوعات، ويبدو أنهم لم يتوصلوا إلى توافق واضح، ولكن اعتماداً على إجابات هذه الأسئلة، قد تتخذ الآفاق المستقبلية للطاقة العالمية شكلاً مختلفاً تماماً.

ومع تزايد اكتفاء الولايات المتحدة الذاتي من الطاقة، ستتزايد أهمية الاعتماد على واردات الطاقة في آسيا. وبعبارة أخرى، ستتزايد أهمية آسيا من حيث الطلب ضمن الصورة العالمية للطاقة. وفي ما يتعلق بالعرض، سيستمر الشرق الأوسط، جنباً إلى جنب مع المناطق/ البلدان الأخرى الرئيسية المصدّرة للطاقة، مثل روسيا، في لعب دور مهم وكمزود للعالم بالطاقة. وفي ظل هذه الظروف، قد يؤثر "استقلال الولايات المتحدة في مجال الطاقة" في تحسين العلاقات بين آسيا والشرق الأوسط، أو الاعتماد المتبادَل في مجال الطاقة.

تأثيرات التكنولوجيا المتقدمة في مستقبل الطاقة العالمية

ما "حالة التكنولوجيا المتقدمة"؟

لغرض المقارنة بتوقعات الحالة المرجعية، نتفحص هنا توقعات بديلة تخص العرض والطلب على الطاقة في العالم. وتستند الحالة البديلة إلى مفهوم استغلال التكنولوجيا المتقدمة في جانبي العرض والطلب في سوق الطاقة العالمية، بينما تظل الافتراضات الأساسية الرئيسية الأخرى (الناتج المحلي الإجمالي، والنمو السكاني، وأسعار الطاقة، ... إلخ) ثابتة. وجوهر هذه الحالة هو أنه من المعقول النظر في مستقبل عالمي للطاقة يتم فيه التعجيل بتعزيز تكنولوجيا الطاقة المتقدمة في محاولة لمعالجة أمن الطاقة وحماية البيئة.

ولإنشاء هذه الحالة البديلة، يتم إجراء فحص للإمكانات العلمية والصناعية والقيود حتى عام 2035 من حيث تحسين الكفاءة، وتخفيض التكاليف، وتطوير "التكنولوجيات الجديدة" ونشرها، استناداً إلى دراسة استقصائية مكثفة للأدبيات ومقابلات صناعية/ أكاديمية.

وكما هو مذكور في الجزء الأول من هذه الورقة، حريّ بنا أن نتذكر أن المفهوم الكامن لهذه الحالة يستند إلى "النهج التصاعدي" بهدف تحقيق أقصى إدخال ممكن للتكنولوجيا، بدلاً من "النهج التنازلي" المعتمَد في "سيناريو الـ450" الخاص بـ"وكالة الطاقة الدولية" مثلاً. فالفرق مهم؛ لأن النهج الثاني يمكن أن يُفسر على أنه "تكهن ارتجاعي" من مستقبل

معياري (أي مستقبل "450 جزءاً في المليون") أما النهج الأول فيمكن تفسيره على أنه "التكهّن" من الحاضر.

الشكل (1-11)

الافتراضات الرئيسية لحالة التكنولوجيا المتقدمة

القاعدة/ التنظيم، والهدف الوطني، والتشريع الحكومي المقترح،... إلخ. ضريبة الكربون، والاتجار بالانبعاثات، ومعيار حافظة الطاقة المتجددة، وأحكام الإعانة الحكومية، وتعريفة المادة الخام، ومعايير الكفاءة، ومعيار كفاءة وقود السيارات، ومعيار الوقود المنخفض الكربون، ووضع علامات كفاءة الطاقة، والهدف الوطني.	تعزيز أعمال البحث والتطوير، والتعاون الدولي تشجيع الاستثمار في أعمال البحث والتطوير، والتعاون الدولي في مجال التكنولوجيا الوفرة للطاقة، والدعم في مجال تأسيس معيار للكفاءة.
(التكنولوجيا المتعلقة بجانب الطلب) ▪ **الصناعة** أفضل التكنولوجيا المتوافرة الخاصة بالعمليات الصناعية؛ مثل صناعة الفولاذ، والإسمنت، والورق، وتكرير النفط،... إلخ، سيتم نشرها عالمياً. ▪ **النقل** المركبات العاملة بالطاقة النظيفة (السيارات ذات كفاءة الوقود العالية، والسيارات الهجينة، والسيارات الكهربائية الهجينة، والسيارات الكهربائية، والسيارات العاملة بخلايا الوقود) سيتم استخدامها عالمياً. ▪ **البناء** الأجهزة الكهربائية الكفؤة (الثلاجات، وأجهزة التلفاز،... إلخ)، وأنظمة تسخين المياه ذات الكفاءة العالية (المضخات الحرارية،... إلخ)، أنظمة تكييف الهواء الكفؤة، والإضاءة الكفؤة، وتعزيز عزل التدفئة.	(التكنولوجيا المتعلقة بجانب العرض) ▪ **الطاقة المتجددة** المزيد من التوسع في طاقة الرياح، والفولطيات الضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، وتوليد طاقة الكتلة الحيوية، والوقود الحيوي. ▪ **الطاقة النووية** تسريع المزيد من محطات الطاقة النووية، وتحسين معدل التشغيل. ▪ **تعزيز كفاءة محطات الطاقة العاملة بالوقود الأحفوري** المزيد من التوسع في إنشاء محطات الطاقة العاملة بالفحم الحجري (توليد الطاقة بواسطة المراجل ذات الضغط فائق الحرّج، والتغويز [تحويل المواد المشتملة على الكربون إلى غاز] بنظام الدورة المختلطة المتكاملة، والتغويز بنظام دورة الخلية الوقودية المتكاملة)، الدورة المختلطة المتقدمة جداً العاملة بالغاز الطبيعي. ▪ **حجز الكربون وتخزينه** إدخال تقنية حجز الكربون وتخزينه إلى مجال الطاقة (القطاعات العاملة بالفحم الحجري، والقطاعات العاملة بالغاز) والقطاعات الصناعية.

المصدر: IAE/OECD, op. cit.

الأهمية الحاسمة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة

يعد المسار المتوقع لنمو الطلب العالمي على الطاقة في حالة التكنولوجيا المتقدمة مختلفاً تماماً عن مثيله في الحالة المرجعية. ففي حالة التكنولوجيا المتقدمة، من المتوقع ارتفاع الطلب العالمي على الطاقة الأولية من 11.7 مليار طن مكافئ نفطي عام 2012 إلى 15.0 مليار طن مكافئ نفطي عام 2035، انظر الشكل (1-12). وسيكون الطلب العالمي المتوقع على الطاقة عام 2035 أقل بنسبة 14٪ (بمعدل 2.5 مليار طن مكافئ نفطي) من الحالة المرجعية، وهذا مرده المساهمة في تعزيز الاقتصاد باستهلاك الوقود، وتعزيز تحسين كفاءة توليد الطاقة، والنشر الأسرع للأجهزة ذات الكفاءة في استخدام الطاقة،... إلخ.

الشكل (1-12)

توقعات الطلب العالمي على الطاقة الأولية بحسب الحالة

المصدر: IAE/OECD, op. cit.

هذا ويمكن تفسير جزء كبير من الفجوة المتوقعة في الطلب العالمي على الطاقة الأولية بين الحالتين بانخفاض الطلب على الطاقة في البلدان غير الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" (خاصة في آسيا). أما الفجوة المتوقعة البالغة 2.5 مليار طن مكافئ نفطي، فيعزى ما نسبته 67٪ (1.7 مليار طن مكافئ نفطي) منها إلى انخفاض الطلب في الدول غير الأعضاء في المنظمة؛ إذ تمثل آسيا وحدها 53٪ (1.3 مليار طن مكافئ نفطي) من هذه الفجوة المتوقعة. وفي آسيا، تعد الصين والهند الدولتين اللتين يمكن أن ينخفض فيهما بشكل كبير مستوى الطاقة الأولية في حالة التكنولوجيا المتقدمة (0.8 و0.3 مليار طن مكافئ نفطي على التوالي).

وفي ما يتعلق باستهلاك الطاقة النهائي، سيكون القطاع العائلي/ السكني مصدر الانخفاض الأكبر في الاستهلاك في حالة التكنولوجيا المتقدمة (0.5 مليار طن مكافئ نفطي)، يليه قطاع الصناعة (0.4 مليار طن مكافئ نفطي) والنقل (0.4 مليار طن مكافئ نفطي).

كما سيكون للانخفاض المتوقع في الطلب على الطاقة تأثير كبير في أمن الطاقة والبيئة؛ لأنه يمكن أن يؤثر في متطلبات استيراد الطاقة ككل، ناهيك عن الانبعاثات الناجمة عن استخدام أنواع الوقود الأحفوري.

إمدادات الوقود غير الأحفوري والتغيرات في حافظة الطاقة العالمية

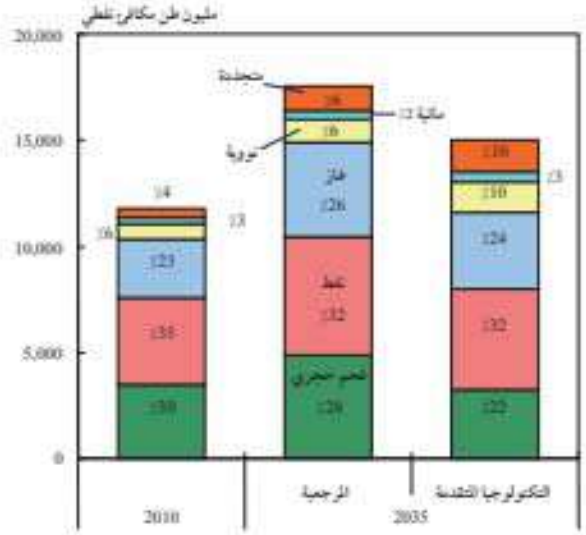
يفترض في حالة التكنولوجيا المتقدمة، أن تتعزز الطاقة المتجددة والطاقة النووية أكثر مع توافر التحسينات التكنولوجية المتقدمة وتخفيض التكاليف، وكذلك دعم السياسات. فمثلاً، كما هو مبين في الشكل (1-8)، من المتوقع أن تصل قدرة الفولطيات الضوئية الشمسية إلى 1,303 جيجاواط عام 2035 في هذه الحالة (بالمقارنة مع 525 جيجاواط في الحالة المرجعية)، وطاقة الرياح 1,506 جيجاواط (859 جيجاواط في الحالة المرجعية).

ومن المتوقع أيضاً زيادة قدرة الطاقة النووية بشكل كبير في هذه الحالة لتصل إلى 778 جيجاواط عام 2035، انظر الشكل (1-9). ومن المتوقع أن يتحقق معظم النمو المتوقع في الطاقة غير الأحفورية في البلدان النامية، ولاسيما في آسيا.

ونتيجة ذلك، سترتفع حصة الطاقة غير الأحفورية في إجمالي إمدادات الطاقة العالمية في هذه الحالة أعلى من الحالة المرجعية. وستصل حصة الطاقة المتجددة (باستثناء الطاقة المائية) في هذه الحالة إلى 10٪ من إجمالي الطاقة الأولية (6٪ في الحالة المرجعية) وكذلك الأمر بالنسبة إلى الطاقة النووية، انظر الشكل (1-13). وسيكون الوضع مماثلاً في آسيا، حيث ستصل حصة الطاقة المتجددة والنووية في هذه الحالة إلى 7٪ و10٪ على التوالي، أما في الحالة المرجعية فستمثل 4٪ و6٪ على التوالي، انظر الشكل (1-14).

الشكل (1-13)

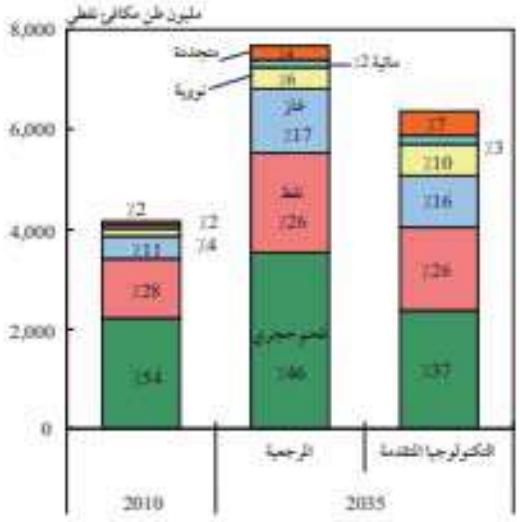
توقعات حصة مصدر الطاقة بحسب الحالة (عالمياً)



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

الشكل (1-14)

توقعات حصة مصدر الطاقة بحسب الحالة (آسيوياً)



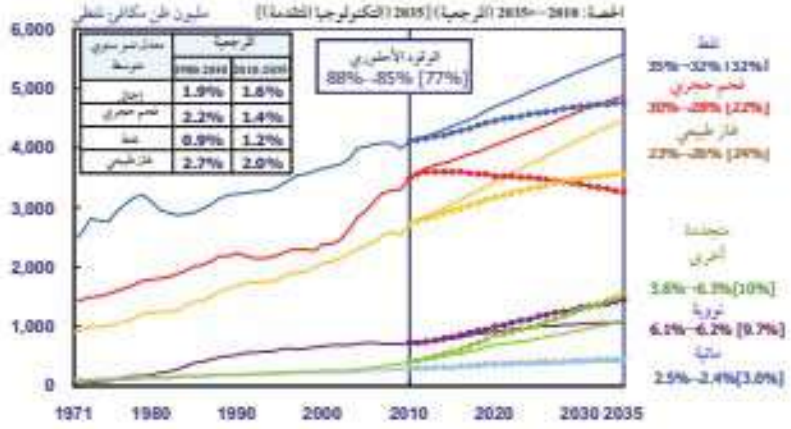
المصدر: IAE/OECD, op. cit.

سيتأثر نمو الوقود الأحفوري سلبياً في هذه الحالة، ولكن تأثير ذلك في الطلب على الفحم الحجري سيكون أشد؛ وهذا مردّه إلى: (أ) تعتمد زيادة الطلب على الفحم الحجري في المستقبل على مدى التوقعات باستخدامه في توليد الطاقة. (ب) سيحل الاستخدام المتزايد للطاقة النووية والطاقة المتجددة في هذه الحالة محل استخدام الفحم الحجري في توليد الطاقة. (ج) سيؤدي تحسن كفاءة توليد الطاقة في هذه الحالة أيضاً إلى تخفيض الطلب على الفحم الحجري. وفي الحقيقة، من المتوقع وصول الطلب العالمي على الفحم الحجري عام 2035 في حالة التكنولوجيا المتقدمة إلى 3.3 مليار طن مكافئ نفطي، وهو أقل بنسبة 33٪ من الطلب المتوقع في توقعات الحالة المرجعية، انظر الشكل (1-15). ومن المهم أيضاً الإشارة إلى أنه من المتوقع أن يكون الطلب على الفحم الحجري في هذه الحالة أقل حتى من الاستهلاك الفعلي عام 2010. كما سيطرأ انخفاض في نمو الطلب على النفط والغاز، بوصفهما من أنواع الوقود الأحفوري، في حالة التكنولوجيا المتقدمة، مع توقع

وصول الطلب عليها عام 2035 إلى 4.8 مليار طن مكافئ نفطي (انخفاض نسبته 15٪) للنفط و3.6 مليار طن مكافئ نفطي (أقل بنسبة 20٪) للغاز. وفي هذه الحالة، تكون الحصص المتوقعة للفحم الحجري والغاز في الطلب العالمي على الطاقة الأولية أقل مما هي عليه الحال في الحالة المرجعية عند 22٪ (مقابل 28٪ في الحالة المرجعية) للفحم الحجري و24٪ (مقابل 26٪) للغاز. وتبقى الحصة المتوقعة من النفط عند نسبة 32٪ في كلتا الحالتين، وذلك على الرغم من المستوى المطلق للطلب على النفط الذي من المتوقع انخفاضه في حالة التكنولوجيا المتقدمة.

الشكل (1-15)

توقعات الطلب على الطاقة الأولية بحسب الحالة (عالمياً)



المصدر: IEA/OECD, op. cit.

وكذلك فإن آسيا، التي تتميز بهيكل إمدادات طاقة يهيمن عليها الفحم الحجري، وبنمو سريع للطلب على الطاقة، ستشهد أيضاً تغيرات جوهرية في الاتجاه ذاته. وكما هو مبين في الشكل (1-16)، من المتوقع أن تصل حصة الفحم الحجري في إجمالي الطاقة الأولية في آسيا في حالة التكنولوجيا المتقدمة عام 2035 إلى 37٪ (مقارنة بـ46٪ في الحالة المرجعية)، مع حصة النفط والغاز عند 26٪ و16٪ على التوالي (26٪ للنفط و17٪ للغاز في الحالة المرجعية).

وبالإضافة إلى الانخفاض المتوقع في نمو الطلب على الطاقة، ستؤثر التغيرات الكبيرة في حافظة الطاقة الأولية في آسيا والعالم تأثيراً قوياً في أمن الطاقة والبيئة في العالم.

الشكل (1-16)

توقعات الطلب على الطاقة الأولية بحسب الحالة (آسيوياً)

المصدر: IAE/OECD, op. cit.

تأثيرات التكنولوجيا المتقدمة

أولاً، سيؤثر انخفاض الطلب على الطاقة في هذه الحالة –خاصة انخفاض الطلب على الوقود الأحفوري– في أمن الطاقة العالمية من خلال الحد من الحاجة إلى استيراد الطاقة. فعلى سبيل المثال، من المتوقع أن تصل الحاجة الصافية إلى استيراد النفط في آسيا في هذه الحالة إلى 25.9 مليون برميل يومياً عام 2035، وهو ما يقل بـ6.9 مليون برميل يومياً (21٪) عن الحالة المرجعية. وهذا سيغير الأثر المحتمل لأي انقطاعات يمكن أن تحدث للإمدادات النفطية، أو زيادات في سعر النفط/ كميات النفط المستوردة، في اقتصاد آسيا الكلي، ما سيؤدي إلى تغيرات في الحاجة إلى تكديس احتياطيات استراتيجية من النفط، مثلاً.

ومن ناحية أخرى، يمكن اعتبار الزيادة المتوقعة في استخدام الطاقات المتجددة والنووية في هذه الحالة مفيدة من وجهة نظر مستهلكي/ مستوردي الطاقة؛ حيث إن الاكتفاء الذاتي في الطاقة سيتحسن في حالة التكنولوجيا المتقدمة.

أما الجانب الآخر للعملة نفسها فمفاده أن الانخفاض المحتمل في الحاجة إلى استيراد النفط (ومصادر الطاقة الأخرى) قد يشكل تحدياً للبلدان المصدرة للنفط من حيث "أمنها المتعلق بالطلب". وقد يؤدي عدم اليقين الناتج تجاه الاحتياجات الاستثمارية في قطاع استكشاف النفط وتطويره وإنتاجه إلى عدم الاستقرار في السوق مستقبلاً. فعلى سبيل المثال، من المتوقع أن يصل الإنتاج العالمي للنفط إلى 97 مليون برميل يومياً عام 2035 في حالة التكنولوجيا المتقدمة، وهو رقم يقل كثيراً عما هو عليه في توقعات الحالة المرجعية، عند 114 مليون برميل يومياً. وبفرض بقاء توقعات الإنتاج من خارج "أوبك" كما هي في كلتا الحالتين (حيث سيزداد الإنتاج من خارج "أوبك" بواقع 10 ملايين برميل يومياً في الفترة بين عامي 2010 و2035)، فسيظل الطلب على نفط "أوبك" ثابتاً تقريباً حتى عام 2035 في حالة التكنولوجيا المتقدمة. ولا شك في أنه سيكون للفارق تداعيات خطيرة على سياسة "أوبك" بشأن أي توسع في الطاقة الإنتاجية. وبالتالي، من المهم أن ندرك الطبيعة المعقدة للترابط بين أمن الإمدادات وأمن الطلب.

ثانياً، سيكون للانخفاضات المتوقعة في الطلب على الوقود الأحفوري تأثيرات مهمة في المشكلات البيئية. فمن المحتمل أن تخفّ حدة المشكلات البيئية المحلية/ الإقليمية (تلوث الهواء، مثلاً) نتيجة لانخفاض استهلاك الفحم الحجري في المستقبل. وكذلك سيؤدي انخفاض الطلب الكلي على الطاقة وارتفاع حصة طاقة الوقود غير الأحفوري إلى تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون العالمية أيضاً.

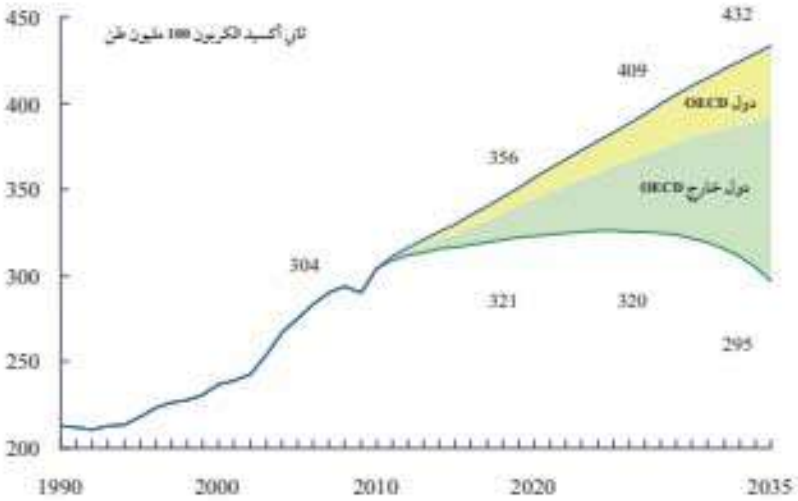
وفي حالة التكنولوجيا المتقدمة، من المتوقع أن تظل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون العالمية عند 29.7 مليار طن عام 2035؛ أي أقل بنسبة 31٪ (13.7 مليار طن) عما هي عليه في الحالة المرجعية، انظر الشكل (1-17). وبالتفصيل على المستوى الإقليمي نرى أن البلدان النامية -ولاسيما في آسيا- هي التي ستمثل الغالبية العظمى من الانخفاض المتوقع في

انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في هذه الحالة. ومن ما مجموعه 13.7 مليار طن من الانخفاضات، من المتوقع أن تسهم البلدان النامية بـ9.5 مليار طن (70٪)، وآسيا 7.6 مليار طن (56٪). وتكتسب الانخفاضات المتوقعة في الصين (4.2 مليار طن) والهند (1.5 مليار طن) أهمية خاصة من حيث الإسهامات على المستوى الوطني.

وهكذا، من المهم أن نشير إلى أن مفتاح النجاح في الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عالمياً يكمن في تعزيز وتنفيذ جهود الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في البلدان النامية وآسيا؛ حيث توجد إمكانات هائلة للحد منها. ومن المهم جداً أيضاً أن نلاحظ أنه لا بد من أن تلعب تكنولوجيا الطاقة ذات الصلة دوراً في الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، أما دور الوفر في الطاقة (تخفيض الطلب على الطاقة) فسيشكل الانخفاض الأكبر البالغ 6.2 مليار طن (45٪) من إجمالي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، انظر الشكل (1-18).

الشكل (1-17)

التوقعات الخاصة بالحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في العالم بحسب المنطقة



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

الشكل (1-18)

التوقعات الخاصة بالحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في العالم

بحسب التكنولوجيا

المصدر: IAE/OECD, op. cit.

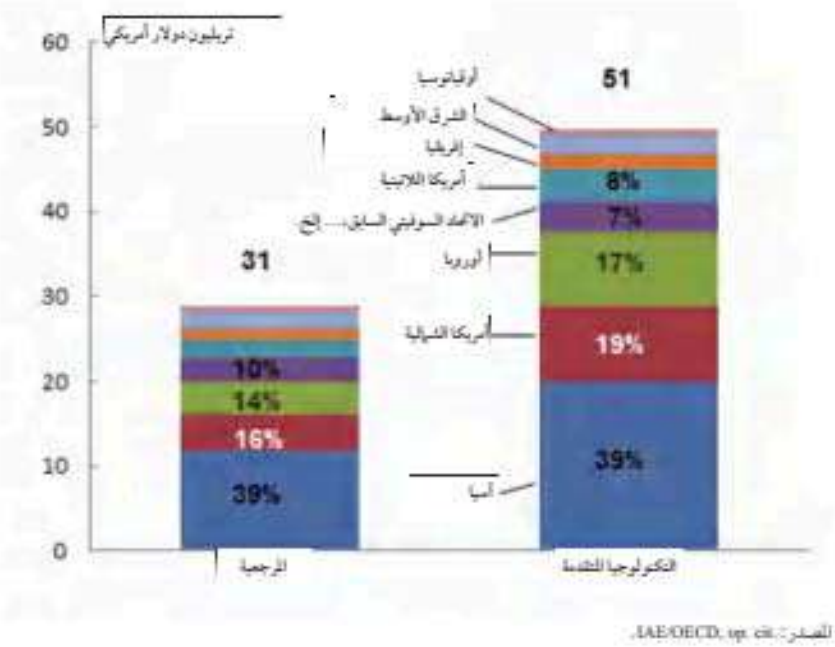
أهمية الاستثمار في الطاقة

كما ذكرنا أعلاه، قد يغير تطوير التكنولوجيا المتقدمة ونشرها واقع الطاقة العالمي في المستقبل، ولكن ليس هناك ما يضمن أن تكون التكنولوجيا المتقدمة متاحة بسهولة وبأسعار معقولة. وهناك عدد من التحديات والشكوك السياسية والاقتصادية والتقنية والاجتماعية والمالية والمؤسساتية المحيطة بمستقبل التنمية وتطور سوق الطاقة العالمية. ومن الأمثلة على ذلك القضايا المتعلقة بالحاجة إلى تأمين وتوظيف مبالغ ضخمة من الاستثمارات في قطاع الطاقة في الوقت المناسب. ومن المتوقع أن تكون هناك حاجة إلى 31 تريليون دولار أمريكي في الفترة بين عامي 2010 و2035 (في الحالة المرجعية) لتلبية

الطلب والعرض المتزايدين في جميع أنحاء العالم، انظر الشكل (1-19). وسوف تشكّل آسيا 39٪ من الاستثمار المطلوب في الطاقة، حيث تمثل المنطقة المركز العالمي لنمو سوق الطاقة. وإذا استلزم الأمر إدخال التكنولوجيا المتقدمة، سيرتفع الاستثمار الإجمالي اللازم في الطاقة، ليصل إلى 51 تريليون دولار.

الشكل (1-19)

التوقعات بالنسبة إلى الاستثمار التراكمي في قطاع الطاقة بحسب المنطقة (2010-2035)



المصدر: IAE/OECD, op. cit.

وفي ضوء المبالغ المالية العالية المطلوبة، مضافة إلى شتى المخاطر والشكوك المرتبطة بالاستثمار، من غير الممكن الاعتماد على وجهة نظر متفائلة مفادها أن كل الاستثمارات الضرورية يمكن أن تتحقق بالطريقة المناسبة، وفي الوقت المناسب في مجالي الجغرافيا والطاقة على السواء. وفي حال الفشل في توظيف الاستثمار اللازم، قد يتأثر التوازن بين العرض والطلب على الطاقة في العالم ويتزعزع.

وفي الوقت نفسه، يمكن النظر إلى هذه التحديات ذات الصلة بالاستثمار من زاوية مختلفة؛ أي الإمكانات التجارية الهائلة التي تتيحها الطاقة لأصحاب المصلحة جميعهم. وعلى الرغم من التحديات والشكوك المتخيَّلة، فإنه يمكن أن يستمر تطوير سوق الطاقة العالمية في توفير فرص استثمارية تزيد قيمتها على تريليون دولار سنوياً في جميع أنحاء العالم، على مدى العقدين المقبلين.

استنتاجات

يتسم مستقبل سوق الطاقة العالمي بالغموض، ويحفل بالتحديات والفرص. واعتماداً على التطور المستقبلي لهذه العوامل المهمة، بالإضافة إلى النمو الاقتصادي والسكاني العالمي، وأسعار الطاقة، وسياسات الطاقة وتطوير تكنولوجياتها، قد يتخذ مسار العرض والطلب العالمي على الطاقة مجموعة متنوعة من الأشكال المختلفة.

وحيث إن الطاقة هي سلعة أساسية واستراتيجية، فسوف تستمر تباينات العرض والطلب العالمي عليها -أو بعبارة أعم، التباينات في المشهد العالمي للطاقة- في التأثير في صانعي السياسات ومتخذي القرارات في قطاع الطاقة وعامة الناس. وهكذا سيبقى تطوير سوق الطاقة العالمية يستقطب اهتمام أصحاب المصلحة جميعاً.

وقد يوفر التقدم التكنولوجي حلاً جديداً لتحديات الطاقة، بما في ذلك أمن الطاقة وتغير المناخ؛ ولكن من الضروري أن نأخذ في الاعتبار الكامل الطبيعة المعقدة للتفاعل والاعتماد المتبادَل بين القوى العاملة في سوق الطاقة العالمية، بما في ذلك العلاقة بين أمن الإمدادات وأمن الطلب.

وسيتم بالتأكيد النظر إلى نمو سوق الطاقة المتوقع والتغيرات المحتملة في حافظة الطاقة العالمية على أنها تحديات خطيرة لا بد من معالجتها بالشكل الصحيح، ولكن ينبغي أيضاً النظر إلى تطور سوق الطاقة العالمية على أنه فرصة اقتصادية ومبتكرة لم يسبق لها مثيل للأطراف الفاعلة كافة في سوق الطاقة.

الفصل الثاني

تأثير تطور تقنيات الطاقة في مستقبل الإنتاج العالمي للنفط

راي ليونارد

تضافرت ثلاثة عوامل لتتمخض عن حدوث تحوُّل كبير في ميزان الإنتاج والاحتياطيات، ما أدى إلى حدوث تأثيرات اقتصادية ومالية كبيرة في جميع اقتصادات العالم. وهذه العوامل الثلاثة هي: **أولاً**، تطور التكنولوجيات الجديدة، خلال العقد الماضي، ما سمح بإنتاج النفط في المناطق والمكامن التي كانت تعد في السابق لا يمكن الوصول إليها، أو أنها غير منتجة. **ثانياً**، ارتفاع وانخفاض إنتاج النفط التقليدي[1] منخفض التكلفة. **ثالثاً**، الارتفاع المستمر في أسعار النفط.

وهذه العوامل حدت بالكثيرين إلى التبشير بعصر جديد في النفط العالمي، سيحل محل النظام القائم منذ 30 عاماً مضت، وربما يؤدي إلى الاستقلال في مجال الطاقة لنصف الكرة الغربي وانخفاض أسعار النفط في المستقبل إلى مستويات شهدناها آخر مرة منذ عقد مضى. ويكشف تقييم دقيق لجميع العوامل عن واقع أكثر تعقيداً؛ فتكلفة مصادر النفط الجديدة عالية -من الناحيتين: البيئية والمالية- في حين أن الفجوة بين ارتفاع أسعار النفط، وانخفاض تكلفة الإنتاج التقليدية توفر مكاسب مالية غير متوقعة لمن يمتلكون احتياطيات تقليدية، شريطة أن يتمكنوا من الحفاظ على حصة الصادرات الخاصة بهم.

وتُظهر دراسة الاتجاهات من عام 2000 حتى وقتنا الحاضر، وكذلك التوقعات حتى عام 2030 انخفاضاً في إنتاج مصادر النفط التقليدية غير المتجددة من 86٪ إلى 55٪ خلال تلك الفترة الزمنية.[2] فارتفاع حجم إنتاج النفط من المصادر غير التقليدية، ومن

مصادر المياه العميقة كذلك، يقدر تقريباً بضعف الانخفاض في الإنتاج من المصادر التقليدية خلال الفترة من عام 2005 إلى عام 2020. وهذا قاد إلى ارتفاع في حجم إنتاج مصادر النفط غير التقليدية، وغير المتجددة من نحو 85 إلى 93 مليون برميل نفط يومياً. ومع ذلك، وفي ظل الوصول إلى ذروة الإنتاج النفطي من مصادر المياه العميقة في عام 2020، ينبغي أن يظل إنتاج النفط في العالم ثابتاً خلال العقد المقبل، ما يفرض مزيداً من الضغوط على الأسعار في حال استمر تزايد الطلب. ويعد الارتفاع البطيء في الإنتاج خلال العقد الحالي أمراً ضرورياً في الحفاظ على مستوى الأسعار (100 دولار للبرميل +/ - 20٪ بحسب قيمة الدولار في عام 2012) وفي دعم استمرار ارتفاع حجم إنتاج النفط من مصادر المياه العميقة، ومن المصادر غير التقليدية ذات التكلفة العالية. وستكون قدرة العالم على التحوّل إلى مصادر بديلة مثل الغاز الطبيعي للحصول على حصة أكبر من توليد الطاقة عاملاً حاسماً في منع حدوث ارتفاع في الأسعار إلى مستوى آخر مرتفع قرب نهاية العقد الجاري، حيث يبدأ الإنتاج في التراجع مرة أخرى.

الشكل (2-1)

إنتاج مصادر النفط التقليدية وغير التقليدية والمياه العميقة حتى عام 2030
(ألف برميل يومياً)

يوضح الشكل (2-1) التراجع في حجم إنتاج النفط من المصادر التقليدية بعد عام 2005 يقابله ارتفاع في حجم الإنتاج من المصادر غير التقليدية، ومصادر المياه العميقة، الأمر الذي نجم عنه زيادة في إنتاج النفط يصل حجمها إلى 93 مليون برميل يومياً من إنتاج النفط من المصادر غير المتجددة بحلول عام 2020، لكن مع بلوغ ذروة الإنتاج من مصادر المياه العميقة، سيصل إنتاج النفط إلى مرحلة الاستقرار النسبي خلال العقد المقبل (يتضمن الإجمالي نسبة 2.6٪ من فوائض عمليات التكرير).

تراجع إنتاج المصادر التقليدية والتحوّل في قاعدة الاحتياط

مصطلح "ذروة النفط" مفهوم مثير للجدل، وكثيراً ما يساء تطبيقه. ويشير هذا المفهوم إلى نقطة الحد الأقصى للإنتاج، وليس الوقت الذي سينضب فيه النفط. والعامل الأساسي في التطبيق الأمثل لهذا المفهوم هو استخدام قاعدة بيانات دقيقة الوصف. وعلى أصغر نطاق يمكن أن يتم تطبيق المفهوم على حقل نفط معين. فلا خلاف على أن أي حقل نفط معين سيصل إلى ذروة الإنتاج ثم ينخفض. وفي المستوى التالي يتم تطبيق المفهوم على الحوض الجيولوجي بكامله؛ إذ إنه بمجرد احتساب الاحتياطيات النهائية لحوض ما، يكون من الممكن تقييم ذروة الإنتاج مرة أخرى بطريقة معقولة. وقد تم بنجاح تقييم العديد من الأحواض الناضجة في الولايات المتحدة الأمريكية بهذه الطريقة. وفي المستوى التالي يتم حساب "ذروة النفط" لبلد ما فيه أحواض متعددة. وكان التطبيق الأكثر شهرة في هذا الصدد، هو نظرية إم كينج هوبرت؛ الخاصة بحساب ذروة النفط في الولايات المتحدة (ماعدا مصادر المياه العميقة وولاية ألاسكا)، حيث كانت توقعاته المستقبلية في محلها.[3] وعند الانتقال إلى الساحة العالمية للتوقعات، نجد عدداً من العوامل المعقدة. أولاً: يجب استخدام قاعدة بيانات دقيقة بشكل معقول، مع الأخذ في الاعتبار ضرورة التطبيق على فئة ثابتة من الاحتياطيات.[4] وفي حال إمكانية قصر قاعدة البيانات على النفط التقليدي، يمكن التنبؤ بالذروة النفطية بطريقة معقولة (وهذا لا يشمل الإنتاج من مصادر المياه العميقة، والمصادر غير التقليدية).[5] أما العامل الثاني فيشمل سياسات النفط. حيث

إن هناك أجزاءً من العالم تنتج النفط بسرعة مُجدية اقتصادياً، في حين أن آخرين يعملون على الحد من إنتاجهم، أو يكون إنتاجهم محدوداً بسبب عوامل غير جيولوجية، أو هندسية. ولمعالجة ذلك، تم في هذه الدراسة تقسيم العالم إلى ثلاث مناطق: أعضاء منظمة البلدان المصدرة للنفط "أوبك OPEC"، و"الاتحاد السوفيتي السابق"، و"بقية العالم". وعملياً هناك تراجع كامل في إنتاج النفط من المصادر التقليدية في مناطق "بقية العالم". وهذا من شأنه أن يجعل الانخفاض العام، أو الإجمالي يحدث بشكل تدريجي أكبر من حال حدوث الانخفاض في جميع القطاعات الثلاثة.

بلغ اكتشاف النفط التقليدي ذروته إبان فترة الستينيات. وبرغم ذلك، واصل إنتاج النفط من المصادر التقليدية في الارتفاع، ليصل إلى الذروة بواقع 68 مليون برميل يومياً في عام 2005، ويشهد حالياً انخفاضاً بنسبة 1.2٪ سنوياً. وبينما توجد الاحتياطيات التقليدية في جميع القارات، وفي البحار والمحيطات المجاورة، فإن نحو 70٪ من الاحتياطيات المتبقية متوافرة في الوقت الحاضر في مقطعين جيولوجيين، هما: حوض الترسيب العربي، وحوض غرب سيبيريا. وفي الوقت الحالي، يأتي 45٪ من إنتاج النفط التقليدي في العالم، أي ما يعادل نحو 30 مليون برميل يومياً، من هذين الحوضين.

وسيواصل إنتاج النفط التقليدي تراجعه في أحواض أخرى أكثر نضوباً حول العالم، في حين أن الاحتياطيات في هذين الحوضين ستظل كافية للحفاظ على مستويات الإنتاج الحالية على الأقل حتى عام 2030، وعند هذه النقطة ستصل حصة إجمالي إنتاج النفط التقليدي قرابة 60٪. ويعد الإنتاج من الاحتياطيات التقليدية، هو الأقل تكلفة، مع ارتفاع حجم التكاليف الحالية التي تتراوح ما بين 15 دولاراً للبرميل في الخليج العربي، و50 دولاراً للبرميل باستخدام تقنيات الاستخلاص المعزز للنفط، أو ما يعرف أيضاً بالطرق الثلاثية، أو الاستخراج الثلاثي في المناطق الناضجة. لكن انخفاض الإنتاج سيكون بالكامل تقريباً خارج "أوبك" والاتحاد السوفيتي السابق، حيث بلغت "بقية دول العالم" ذروتها الإنتاجية في عام 2000 بواقع 31 مليون برميل يومياً، وسيواصل

الانخفاض بشكل مطرد بنسبة 2٪ سنوياً ليصل إلى ما دون 17 مليون برميل يومياً بحلول عام 2030. وعلى الرغم من أن الجزء الأكبر للاحتياطيات التقليدية ينتقل بشكل متزايد إلى النصف الشرقي للكرة الأرضية بمرور الوقت؛ فإن الصورة الخاصة باحتياطيات المياه العميقة -ولاسيما النفط الثقيل، و"البيتومين" (القار)- مختلفة تماماً، في ظل وجود الجزء الأكبر من الاحتياطيات في النصف الغربي للكرة الأرضية.

أهمية التكنولوجيا والسعر والمناخ التجاري

كان الابتكار التكنولوجي عاملاً ثابتاً في صناعة الطاقة؛ من حيث إيجاد سبل لإنتاج النفط في بيئات وخزانات جديدة، والبحث عن مصادر للطاقة لتحل محل النفط في أوقات الندرة، أو في البلدان التي ليس بها إمدادات نفطية داخل أراضيها. لكن مع ذلك فإن التكنولوجيات الجديدة، مهما كانت بارعة، يظل التعامل معها -نظرياً في المختبرات، أو تطبيقياً في ميدان العمل- باعتبارها حلولاً مؤقتة في ظروف خاصة، أو لا تزال قيد التحقق من وجودها حتى تصبح متوافرة تجارياً على نطاق واسع؛ بما يتماشى مع الأسعار والأسواق. ولفهم الأثر الاقتصادي والمالي لتكنولوجيات النفط المتطورة، يجب تفسير التحول الكبير الذي شهدته السوق النفطية، وأسعار النفط منذ عام 2005.

كما تم تطوير تكنولوجيات جديدة والبدء باعتمادها وتنميتها في أمريكا الشمالية، حيث تمت إزالة الحواجز التي تحول دون إنتاج النفط من مصادر المياه العميقة باستمرار في خليج المكسيك، ثم في البرازيل، وغرب إفريقيا، بينما يتم استخدام أحدث التقنيات الخاصة بالنفط الثقيل في حوض ألبيرتا في كندا، حيث سيستمر معظم إنتاج النفط الثقيل حتى عام 2030، وذلك على الرغم من وجود احتياطيات هائلة، وعينات نفطية أعلى جودة في أماكن أخرى. وتعد ثورة النفط الصخري ظاهرة أمريكية بامتياز في الوقت الحاضر. وتتمثل العوامل المشتركة التي سمحت بالاستغلال التجاري واسع النطاق للتقدم التكنولوجي، في الإفراج عن قواعد البيانات (بحيث أصبحت متاحة للجمهور بعد فترة معينة)؛ وتوافر البنية التحتية؛ وحصول ضغوط تنافسية؛ ووجود شركات

الخدمات؛ وتأمين حقوق الملكية، وتوافر شروط ضريبية جذابة. وفي فترة ارتفاع أسعار النفط المقبلة، ستحتاج الدول ذات المصادر التقليدية المحدودة، والتي تأمل التحول إلى المصادر النفطية في المياه العميقة، والمصادر غير التقليدية، إلى مراجعة هذه العوامل لمعالجة إمكانية جذب رؤوس الأموال لتنمية مواردها.

عوالم النفط الثلاثة

خلال معظم القرن العشرين، لعبت الولايات المتحدة دوراً قيادياً في عالم النفط. ولم يقتصر دورها على التكنولوجيا فحسب، بل شمل الإنتاج والتسعير أيضاً؛ حيث كانت تمتلك قدرة إنتاجية فائضة. ومع وجود مفوضية "سكة حديد تكساس" التي تعد نموذجاً مبكراً لمنظمة "أوبك"، وبفضل القوانين المختلفة للاستيراد والرسوم الضريبية، تمكنت الولايات المتحدة من الوسائل اللازمة لتنظيم الإنتاج؛ بغرض الحماية وضبط الأسعار. ونتيجة لذلك كان سعر النفط خلال القرن العشرين حتى فترة السبعينيات مستقراً إلى حد ما بقيمة 25 دولاراً للبرميل (زائد، أو ناقص 20٪ بحسب قيمة الدولار في عام 2012).[6]

وخلال تلك الفترة، كانت الولايات المتحدة في وضع يسمح لها بالتعامل مع الأزمات السياسية، وانقطاع الإمدادات، كما حدث في الحرب العالمية الثانية، وخلال أزمة السويس عام 1956، وحرب الأيام الستة عام 1967. لكن مع بداية السبعينيات تسبب اختفاء القدرة الإنتاجية الفائضة، والارتفاع السريع في احتياجات الاستيراد الأمريكية بشكل كبير في إنهاء الهيمنة الأمريكية على أسواق النفط.[7] وكشف استخدام "سلاح النفط" من قبل بعض الدول في منظمة "أوبك" عن واقع جديد، تمثل في وقف تصدير 7٪ من إمدادات النفط العالمية؛ الأمر الذي قاد إلى ارتفاع أسعار النفط إلى ثلاثة أضعاف خلال الفترة من أكتوبر حتى ديسمبر 1973.[8] ونتيجة لما سبق حل محل الولايات المتحدة كقوة نفطية مسيطرة ثلاثة عوالم نفطية منفصلة: "أوبك" والاتحاد السوفيتي (الاتحاد السوفيتي السابق بعد عام 1990) و"بقية العالم"؛ مع وجود اختلاف في مستويات

الاحتياطيات، والإنتاج، والفلسفات الاقتصادية، والدوافع. وقد تمخض عن هذا التفاعل بين تلك العوالم الثلاثة تأرجح شديد واحتمالات في تغير الأسعار على مدى الثلاثين عاماً الماضية.

كانت منظمة "أوبك" أقوى اللاعبين الثلاثة؛ فحاولت لعب الدور الذي كانت الولايات المتحدة تقوم به. وتنقسم "أوبك" في الواقع إلى مجموعتين: دول "حوض الترسيب العربي"، مع رجحان وجود احتياطيات النفط التقليدي العالمي تقدر بنحو 700 مليار برميل. أما المجموعة الثانية فهي اللاعبون الرئيسيون الآخرون في مجال النفط خارج العالم المتقدم، باستثناء الاتحاد السوفيتي، الذي يحتفظ بنحو 100 مليار برميل من الاحتياطيات التقليدية. وما دامت فلسفة الاتحاد السوفيتي و"بقية دول العالم" كانت تقوم على إنتاج أكبر قدر ممكن من النفط، فإن وضع "أوبك" في السوق كان غير مؤكد. على سبيل المثال، أدت الزيادات في الإنتاج في غرب سيبيريا وبحر الشمال إبان الثمانينيات إلى تقويض محاولة "أوبك" تثبيت أسعار النفط. وعلى الرغم من أن "أوبك" لديها 75٪ من احتياطيات النفط التقليدية عالمياً، فإن إنتاجها من هذه الفئة لا يتجاوز 40٪ من الإنتاج العالمي في هذه الفئة، وهو ما يضمن أن موقفها كمنتج بتكلفة منخفضة سوف يزداد قوة في الأعوام المقبلة. وفي عام 2000، بلغت نسبة إنتاج "أوبك" من الاحتياطيات التقليدية 88٪، وستظل ما نسبته 65٪ من هذه الفئة قائماً حتى عام 2030.

ويصل حجم احتياطيات النفط التقليدي في "بقية العالم" إلى نحو 170 مليار برميل. وإبان الثمانينيات والتسعينيات، كانت هناك مطالبات بإنتاج جديد في "بقية العالم"؛ غالباً في بحر الشمال، لتقويض أهداف التسعير الخاصة بـ "أوبك". لكن عدم القدرة على زيادة الإنتاج خلال العقد الماضي، حيث ارتفع سعر النفط إلى 100 دولار للبرميل، يدل على مدى ضعف موقف "بقية دول العالم". فعلى الرغم من إنتاجها حالياً ما نسبته 40٪ من النفط التقليدي، فإنها لا تحتفظ إلا بـ 12٪ فقط من الاحتياطيات التقليدية. علاوة على ذلك، ستنخفض نسبة إنتاج النفط التقليدي، أو النفط منخفض التكلفة في "بقية دول العالم" من 85٪ في عام 2000 إلى 40٪ فقط بحلول عام 2030.

أما ثالث المجموعة، وهو الاتحاد السوفيتي السابق، فقد أصبح المنتج الجديد المرجَّح للنفط، وقد أثر بشكل كبير في أسعار النفط خلال "فترة 30 عاماً من عدم التيقن واحتمال تغير الأسعار". وتسبب ارتفاع حجم الإنتاج في الاتحاد السوفيتي المتأتي في معظمه من غرب سيبيريا، مع مضاعفة الإنتاج إلى 12 مليون برميل يومياً، في تقويض جهود "أوبك" في المحافظة على مكاسب أسعارها خلال الفترة ما بين عامي 1973 و1981، لتتعرض في نهاية المطاف للهزيمة على خلفية هذا العامل أكثر من أي سبب آخر. وفي عام 1986، كان الاتحاد السوفيتي ينتج 20٪ من النفط العالمي. لكن الانهيار في الإنتاج الروسي خلال الفترة من عام 1990 حتى عام 1993 سمح لمنظمة "أوبك" باستعادة جزء كبير من حصتها المفقودة في السوق. ومع ذلك، كانت انتعاشة صناعة النفط الروسية بقيادة شركة "يوكوس YUKOS" في الفترة 1999–2003، سبباً في معظم الزيادة العالمية في إنتاج النفط خلال هذه الفترة، لتلائم زيادة الطلب بإمداد جديد وتحديد الأسعار. وجاء حادث القبض على الملياردير الشهير ميخائيل خودوركوفسكي وتفكيك شركة "يوكوس" التي يترأسها في أكتوبر 2003؛ بعد 30 عاماً تقريباً من استخدام "سلاح النفط" من قبل بعض دول "أوبك"، ليؤذن بنهاية زيادة الإنتاج الروسي سريعاً، ويسمح للطلب العالمي على النفط بتجاوز المعروض مرة أخرى. وعلى الرغم من عدم سيطرة الحكومة على الإنتاج الروسي، فإن التعزيز المستمر لصناعة النفط والغاز في ظل الشركات الحكومية؛ "روسنفت Rosneft" و"غازبروم Gazprom"، حقق تلك النتيجة. وبلغ حجم الاحتياطيات التقليدية في الاتحاد السوفيتي السابق 157 مليار برميل، مقابل 119 برميل نفط في روسيا،[9] ومن المتوقع أن يظل حجم الإنتاج التقليدي عند 10–13 مليون برميل يومياً حتى عام 2030.

وقد آذنت الزيادة السريعة في الأسعار التي بدأت في عام 2004 باقتراب "عصر النفط المقبل". فتمكُّن "أوبك" والاتحاد السوفيتي السابق من السيطرة بفاعلية على مستويات الإنتاج، وكذلك تراجع إنتاج النفط التقليدي في "بقية العالم"، من شأنه أن يؤدي إلى استقرار، ليس في الإنتاج فحسب، بل في السعر عند المستوى الحالي البالغ 100 دولار للبرميل (زائد أو ناقص 20٪ بحسب قيمة الدولار في عام 2012) أيضاً حتى عام

2030؛ حيث إن زيادة الإنتاج من المصادر التقليدية والمياه العميقة توازي التراجع في إنتاج النفط التقليدي لبقية العالم.

الشكل (2-2)

تطور مستوى استقرار سعر النفط الجديد[10]

ملاحظات: عقب استقرار الأسعار من هيمنة الولايات المتحدة (25 دولاراً للبرميل – زائد أو ناقص 20٪ بحسب قيمة الدولار في عام 2012) خلال معظم القرن العشرين، فإن 30 عاماً من "عوائد النفط الثلاثة" هي فترة عدم استقرار الأسعار. وسيعود الاستقرار (100 دولار للبرميل – زائد أو ناقص 20٪ بحسب قيمة الدولار في عام 2012) خلال استقرار مستوى سعر النفط، على الرغم من أنه سيكون بسعر أعلى.

التطور التكنولوجي في إنتاج النفط من المصادر غير التقليدية

الإنتاج من مصادر المياه العميقة (أكثر من 400 متر) هو عبارة عن مجموعة فرعية خاصة من الإنتاج التقليدي. وبفضل التقدم في تكنولوجيا الحفر والإنتاج، أُجريت أول الاكتشافات في المياه العميقة إبان الثمانينيات. لكن الإنتاج بشكل كبير بدأ خلال السنوات العشر الماضية. وعلى الرغم من أن هناك تطورات تكنولوجية ثابتة في كل جانب من

جوانب التنقيب والإنتاج البحري -تتراوح ما بين حفر توصيلات تربط بين السطح والمياه العميقة، ونظم إنتاج المياه العميقة- فإن أهم عامل هو قدرة التكنولوجيا الحديثة على الوصول إلى الأعماق التشغيلية التي يمكن أن تحدث فيها حالياً عملية الاستكشاف والإنتاج، ما يسمح باستكشاف أحواض جديدة والإنتاج من خلالها. وقبل عام 2000 كان الحد الأقصى لعمق المياه ألف متر، ووصل إلى 2000 متر في عام 2007، وبحلول عام 2010 كان الإنتاج قد تحقق في أعماق تزيد على 2500 متر، مع إجراء استكشافات على عمق يتخطى أكثر من ثلاثة آلاف متر.[11] ومع ذلك، هناك قيود على مدى زيادة الإنتاج من مصادر المياه العميقة. وتعد تراكمات النفط الكبرى الموجودة في المياه العميقة ظاهرة تتسم بنوع من الشذوذ؛ فبيئات المياه العميقة لا تفضي إلى الحفاظ على المواد العضوية، وبها معدل بطيء جداً في الترسيب لدفن المواد العضوية التي تتحول إلى نفط. ولذلك كان من الضروري توافر ظروف مختلفة جداً في هذه المواقع في أوقات جيولوجية سابقة هي التي أدت إلى تكوُّن الاحتياطيات النفطية في بيئات المياه العميقة. ويقدر العلماء أن عملية هبوط، إضافة إلى عدم التأثر بالأحداث التكتونية الرئيسية، أدت إلى المحافظة على تلك الصخور الرسوبية المسؤولة عن ظاهرة الاحتياطيات النفطية في بيئات المياه العميقة. ويوجد الجزء الأكبر من هذه المجموعات الخاصة من الظروف فقط بطول حدود الأطلسي، وهي الظروف الجيولوجية التي أدت إلى انفصال إفريقيا عن شمال أمريكا وجنوبها خلال حقبة العصر الوسيط.

وتم اكتشاف أربع مقاطع ضخمة بطول حدود الأطلسي في المياه العميقة بخليج المكسيك، وحوضي "كامبوس" و"سانتوس" قبالة البرازيل، وكذلك في مقاطع من سواحل غرب إفريقيا قبالة الكونغو وأنجولا (معظمها في أنجولا) وأحواض النيجر. وتُقدر احتياطيات مناطق خليج المكسيك والبرازيل بما يزيد على 25 مليار برميل، مع أكثر من 10 مليارات برميل عُثر عليها قبالة أنجولا ونيجيريا.

ومن خلال منحنيات الاكتشافات، يمكننا تقدير أن الاحتياطيات النفطية التراكمية في أحواض المياه العميقة تصل إلى نحو 150 مليار برميل، تم اكتشاف 90 مليار برميل منها

بالفعل. ومن بين هذه الاحتياطيات الإجمالية، نجد أن ما نسبته تزيد على 90٪ من الاحتياطيات ستكون متوافرة في الأحواض بطول الحد، أو الهامش الأطلسي. وجاءت اكتشافات النفط من مصادر المياه العميقة على ثلاث مراحل أساسية: المرحلة الأولى، اكتشاف 40 مليار برميل، عن طريق التنقيب على عمق 400–1500 متر من المياه حتى عام 2002، وهي غالباً في تمديدات الأحواض المنتجة في المياه الضحلة.[12] وكان هذا متوافراً بشكل حصري تقريباً في أربعة أقاليم كبرى هي: خليج المكسيك، وحوضي "كامبوس" و"سانتوس"، ودلتا النيجر، والمياه العميقة في أنجولا. وأتاحت الأعماق المتوسطة للمياه، والبنية التحتية وضع تصور للإنتاج التجاري في هذه الأعماق المائية، حتى مع أسعار النفط المنخفضة نسبياً في ذلك الوقت. وبلغ إنتاج النفط من مصادر المياه العميقة في تلك المرحلة مليوني برميل يومياً فحسب، لكن كانت التقديرات تشير إلى ارتفاع حجم الإنتاج بشدة.

أما المرحلة الثانية؛ أي الفترة من عام 2002 إلى عام 2012، فسينظر إليها في وقت لاحق على أنها العصر الذهبي للاكتشافات في المياه العميقة، حيث تم افتتاح المنطقة البالغة مساحتها 1500–3000 متر للتنقيب لأول مرة. وكان اكتشاف 50 مليار برميل في المياه العميقة يعادل جميع الاكتشافات من المصادر التقليدية حول العالم خلال هذا الإطار الزمني.

وفي المرحلة الثالثة حالياً؛ بدأ المكتشفون يعيدون النظر في مناطق مثل شمال غرب إفريقيا التي توفر تلك الفرص الاستثنائية في المياه الضحلة. ومع ارتفاع أسعار النفط، وتطوير تكنولوجيا التصوير الزلزالي، فإنه من الوارد أيضاً التنقيب في المياه شديدة العمق في الأحواض المعروفة. وبناء على منحنيات الاكتشافات، لا تزال هناك احتياطيات تقدر بـ60 مليار برميل نفط لم تكتشف حتى الآن. وهي موزعة في الغالب على المكامن النفطية الأكثر دقة وعمقاً في المناطق الأربع الكبيرة المعروفة، وأيضاً في الأحواض الجديدة على أعماق مائية أقل من 1500 متر؛ التي لم تكن ناجحة، أو منتجة هامشياً في الأعماق الضحلة بطول حدود الأطلسي.

وبحلول نهاية عام 2012، بلغ إنتاج النفط من مصادر المياه العميقة 7.5 مليون برميل يومياً، ومن المتوقع أن يصل إنتاجه إلى ذروته عند 11.5 مليون برميل يومياً خلال الفترة بين عامي 2020 و2025، ثم يتبعه انخفاض. وسوف يتأثر شكل هذا الانخفاض بالمؤشرات، والتغيرات المادية للخزانات، واقتصادات حقول المياه العميقة. ونظراً إلى ارتفاع التكاليف الأولية لعملية الإنتاج، فإنه يتم استخدام الخزانات في أسرع وقت ممكن، ما يؤدي إلى تفاقم معدلات الانخفاض المصاحبة. علاوة على ذلك، فإن تكلفة إصلاح الآبار ذات الأداء الضعيف في المياه شديدة العمق باهظة إلى حد ما. ويوضح التراجع بنسبة 50٪ في الإنتاج من مصادر المياه العميقة في خليج المكسيك خلال عام واحد من إغلاق بئر "ماكوندو" للنفط مدى سرعة انخفاض حجم الإنتاج؛ في حال توقف عمليات التنقيب، وعدم اكتشاف حقول جديدة.[13] وتعكس ملفات الإنتاج للأقاليم المختلفة العوامل الفنية، وغير الفنية المتنوعة، التي يواجهها المشغلون. وقد منحت التطورات المبكرة في مجال التكنولوجيا، بالإضافة إلى البيانات، ومساحة الأراضي، والبنية التحتية المتوافرة، خليج المكسيك الريادة في مجال الإنتاج في حقول المياه العميقة. ثم تبع ذلك الأقاليم الرئيسية في غرب إفريقيا وأنجولا/ نيجيريا. وبينما ظلت وتيرة الاستكشافات في المياه العميقة في البرازيل على حالها، تأخر الإنتاج بسبب اللوائح التي تفرض وجود مستويات معينة من العمالة والإنشاءات.[14] لكن مع اكتشاف الاحتياطيات الهائلة، فمن المتوقع أن تصبح البرازيل أكبر إقليم منتج من مصادر المياه العميقة بعد عام 2020. وتعد التراكمات الطبقية للمياه شديدة العمق الخاصة بعوامل التحول (الضغط والحرارة) في الجرف الإفريقي وجرف غرب أمريكا الشمالي، أهم التحديات الفنية، ومن المرجح أن تلعب دوراً رئيسياً في زيادة معدل إنتاج النفط المستخرج من مصادر المياه العميقة خلال الفترة من عام 2020 إلى عام 2030.

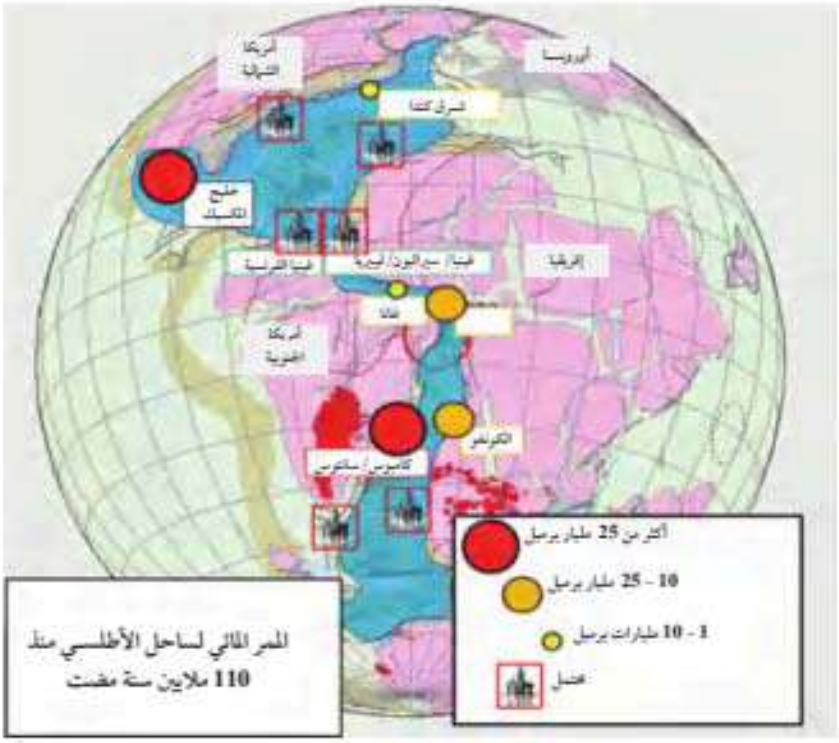
وفي حين يتراوح حجم ارتفاع تكاليف إنتاج حقول النفط من المياه البالغ عمقها 400–1000 متر ما بين 30 و50 دولاراً للبرميل، فإن ارتفاع تكاليف الإنتاج من المياه

العميقة للغاية (1500–3000 متر)، سيتراوح ما بين 50 و80 دولاراً للبرميل. مع الأخذ في الحسبان أن معظم الإنتاج خلال العقد المقبل سيكون عن طريق هذا المصدر.

وخلاصة القول؛ إنه في الوقت الذي يلعب فيه الإنتاج من مصادر المياه العميقة دوراً مهماً في عكس اتجاه الانخفاض في الإنتاج من المصادر التقليدية خلال العقدين الأولين من القرن الجديد، من المهم أن نلاحظ أن قاعدة الموارد محدودة، مثل النفط التقليدي، ويمكن توقع الوصول إلى ذروة الإنتاج فيها. وبالتالي، يتعين على العالم أن يواجه النتائج المترتبة على بلوغ الإنتاج من مصادر المياه العميقة ذروته مع نهاية العقد الجاري.

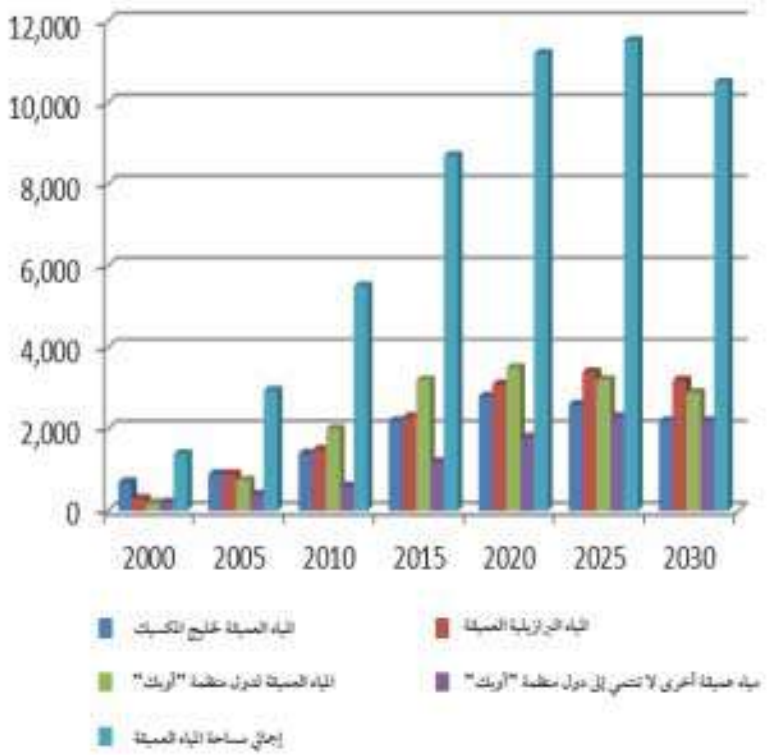
الشكل (2–3)

لمحة موجزة عن توزيع الأقاليم الحدودية الرئيسية للنفط في المياه العميقة للمحيط الأطلسي



الشكل (2-4)

لمحة موجزة عن إنتاج الأقاليم الأساسية للمحيط الأطلسي (ألف برميل يومياً)



تختلف الاحتياطيات غير التقليدية عن التقليدية من حيث إن واحداً، أو أكثر من العوامل الأساسية الداخلة في عمليات التراكم -كالمصدر، أو الطبقة الحابسة، أو المخزن- فيها قصور؛ ما يؤدي إلى منتج متدنٍّ ذي قيمة أقل، أو ينطوي على مشقة أكبر لاستخلاصه من الصخور. والاحتياطيات غير التقليدية ضخمة، حيث يستند الإنتاج إلى الاقتصادات وتطوير تقنيات جديدة بدلاً من وضع حد على الاحتياطيات. لكنها تمثل جزءاً متزايداً من الإنتاج العالمي للنفط. فقد شكّل إنتاج النفط المستخرج من المياه العميقة والمستخرج

بطرق غير تقليدية ما نسبته 14٪ فقط من إنتاج النفط العالمي غير المتجدد عام 2000. ومن المقرر أن تزداد تلك النسبة لتصل إلى 45٪ بحلول عام 2030.

ويتخذ القسم الأكبر من الإنتاج غير التقليدي للنفط شكل الغاز الطبيعي المسال (NGL) (وهو عبارة عن سوائل تستخلص بواسطة إنتاج الغاز الطبيعي). ونظراً إلى طبيعة صخور مصادر الغاز الطبيعي، فإن الهيدروكربونات أخف وزناً من النفط الخام حيث يحتوي برميل الغاز الطبيعي المسال على 70٪ في المتوسط من محتوى الطاقة الموجود في برميل من النفط الخام. وينصبّ تركيز استغلال الغاز الطبيعي المسال على صناعة البتروكيماويات بدلاً من النقل، أو إنتاج الطاقة. فكمية النفط المستخرجة تتباين وفقاً لدرجة "رطوبة" الغاز.[15] ويعد إنتاج الغاز الطبيعي المسال منخفضاً نسبياً في روسيا نظراً إلى انخفاض المحتوى السائل من تراكمات الغاز شمال غرب سيبيريا. وعلى النقيض من ذلك، فإن إنتاج الغاز الطبيعي المسال في دول حوض الترسيب العربي أعلى بكثير؛ نظراً إلى وجود ما يربو على ضعف المحتوى السائل لكل وحدة لإنتاج الغاز، مقارنة بالمحتوى الروسي. وفي الولايات المتحدة، ارتفع إنتاج الغاز الطبيعي المسال على مدار العامين الماضيين إلى حد كبير، حيث حدث تحوّل في إنتاج الغاز باتجاه "الغاز الرطب"، وخاصة في إنتاج الغاز الصخري بغية الارتقاء بقيمة الغاز الطبيعي المسال لتعويض أسعار الغاز المنخفضة.

ويرتبط إنتاج الغاز الطبيعي المسال بالإنتاج العالمي للغاز، والذي من المرتقب أن يرتفع بنسبة 30٪ خلال الفترة بين عامي 2015 و2030.[16] وتلعب التقنيات الجديدة دوراً متزايداً في إنتاج الغاز، حيث ستأتي 50٪ من هذه الزيادة من مصادر غير تقليدية كالغاز الصخري، وغاز الميثان المستخرج من الطبقة الفحمية coal bed methane والغاز الصخري، (المحكم) tight gas المستخرج من الخزانات ذات النفاذية المحدودة.[17] وبحلول عام 2030، من المفترض أن يصل إنتاج الغاز المسال إلى 17 ألف برميل في اليوم الواحد، على أن تنتج دول منظمة "أوبك" نحو 45٪ من الغاز المسال، والاتحاد السوفيتي

السابق 10٪، بينما ستنتج الولايات المتحدة نصف الكمية المتبقية. وبينما بِيعَ الغاز الطبيعي المسال تاريخياً لقاء 70٪ من سعر النفط العالمي بما يعكس محتوى الطاقة الأقل، فإن الزيادة السريعة في الإنتاج خلال السنوات الأخيرة والمرتبط بدور الغاز الصخري في أمريكا الشمالية[18] أوجدت فائضاً في الإنتاج؛ ما ساعد على هبوط الأسعار، مؤقتاً، إلى ما دون 50٪ من أسعار النفط العالمية. ومن المرتقب أن يساعد نقل صناعة البتروكيماويات إلى الولايات المتحدة على الاستفادة من انخفاض الأسعار –خاصة أسعار الغاز– في استقرار سعر الغاز الطبيعي المسال عند مستوى 50٪ بما يحقق التوازن المنشود في النهاية.

تفتقر رواسب النفط الثقيل (والمُعَرَّف في هذا السياق بأنه النفط الذي تتجاوز جاذبيته 15 درجة بحسب تقديرات معهد البترول الأمريكي) إلى الطبقة الحابسة للهيدروكربون. ولما كانت المنتجات النفطية الأسرع تطايراً تتسرب من المكمن، فإن الحاجة تستدعي وسائل صناعية لإنتاج المواد المتبقية. وتتراوح تلك الإجراءات ما بين تسخين النفط في أسفل الطبقات الأرضية، للتقليل من مدى لزُوجته، والسماح بتدفقه، وصولاً إلى التعدين بالتعرية السطحية للنفط، ومزجه بالهيدروكربونات الأخف وزناً لإنتاج النفط القابل للنقل.

إن تقنية الاستكشاف ليست عاملاً حاسماً؛ حيث إن رواسب النفط الثقيل العالمية ضحلة، كما أنها تم استكشافها بالفعل. لكن لب الأمر يكمن في الارتقاء بتقنيات التعافي من الأزمات، وتدشين مشروعات اقتصادية، ومشروعات مستدامة. فالتقنيات التي استخدمت لأغراض إنتاج النفط الثقيل بقدر أكبر من الفعالية كانت قد تم ابتكارها منذ سنوات عدة. لكن مع الزيادة في الأسعار التي شهدها العقد الأخير، بالإضافة إلى انخفاض تكلفة الطاقة المتأتية من الغاز الطبيعي في أمريكا الشمالية، بدأ الإنتاج يصل إلى مستوى كبير على الصعيد العالمي. ويتطلب النفط المُخلَّق من إنتاج "البيتومين" من التنقيب السطحي فارقاً في السعر، فأغلب أنواع النفط الثقيل منتج ثانوي، حيث تم بيعه على مدار التاريخ بنسبة 80٪ من أسعار النفط العالمية في المتوسط.

وعادة ما يتم إنتاج موارد النفط الثقيل على عمق من سطح الأرض يصل تقريباً إلى 100 متر بطريقة التنقيب في المناجم المفتوحة. ويعتمد قرابة نصف إنتاج كندا من النفط الثقيل على هذه الطريقة في التنقيب. ولقد استخدم التنقيب السطحي عن "البيتومين" على مدار 50 عاماً تقريباً، ويعد تقنية مجربة. ونظراً إلى أن ممارسات الإنتاج الحالية تستخلص نحو 90٪ من "البيتومين"، فمن الممكن الحصول على احتياطيات ضخمة من مناطق صغيرة.[19] ويتحدد الإنتاج بالموارد المتاحة؛ مثل الماء، والمعدات، واليد العاملة، وسهولة الوصول إلى خطوط الأنابيب. وتتضمن المخاوف البيئية استصلاح الأراضي، والموارد المائية، ونسبة انتشار الكربون، والتخلص من الكبريت والنفايات.

هناك العديد من أساليب الإنتاج المتاحة في حال كانت الخزانات أعمق من أن تخضع للتنقيب بطريقة مناجم الحفر المفتوحة. إن الآبار الأفقية والآبار المتعددة الأطراف ترقى بالإنتاج في فنزويلا، بينما يرتقي "تحفيز البخار الدوري"، و"الصرف بالتثاقل" المعتمد على البخار؛ واللذان يستغلان تقنيات حفر جديدة، وطاقة منخفضة التكلفة بنصف إنتاج النفط الثقيل الكَنَدي، والذي لا يتأتى تحقيقه في مناجم الحفر المفتوحة. ومع ذلك، يجب أن نقرّ بأن عمليات إنتاج النفط الثقيل هذه تنطوي على تحديات بيئية أكثر من حيث، انتشار الكربون واحتياجات موارد المياه، أو الطاقة من الإنتاج التقليدي.

وكما هي الحال بالنسبة إلى النفط التقليدي، فإن موارد النفط الثقيل العالمية غير موزعة بشكل متساوٍ على أجزاء العالم، حيث عُثر على 85٪ تقريباً من النفط الثقيل في إقليمين جيولوجيين؛ أولهما: إقليم "ألبيرتا" في كندا الغني برواسب الرمل النفطي، وثانيهما: إقليم حزام "أورنوكو" النفطي في فنزويلا.[20] وتتفاوت تقديرات الاحتياطي الذي يمكن استخراجه باستخدام التقنيات والأسعار الحالية بقدر كبير وفقاً لآخر توقعات لأسعار النفط، لكن يمكننا افتراض أنها تجاوزت 100 مليار برميل لكل إقليم.[21] ويقدر الإنتاج الموحد الحالي من هذين الإقليمين بـ80٪ من إنتاج النفط الثقيل عالمياً. ومن المتوقع أن تظل تلك النسبة عالية هكذا في المستقبل القريب. لقد كان إنتاج كندا من النفط أعلى من إنتاج فنزويلا بنسبة نحو 50٪ وسيظل كذلك طوال السنوات القليلة المقبلة على

الرغم من أن إقليم "أورنوكو" الفنزويلي يتمتع بخزان أفضل وخصائص خام أفضل.[22] ويرجع الفضل في ذلك إلى المناخ التجاري الكندي الأكثر ملاءمة. ولا شك في أن ذلك يمكن أن يتغير في ظل مناخ سياسي أكثر مواءمة في فنزويلا بعد سقوط نظام شافيز. ويبلغ الإنتاج العالمي الحالي من النفط الثقيل 3.5 مليون برميل يومياً، ومن المتوقع أن يرتفع إلى 7 ملايين برميل يومياً بحلول عام 2030.

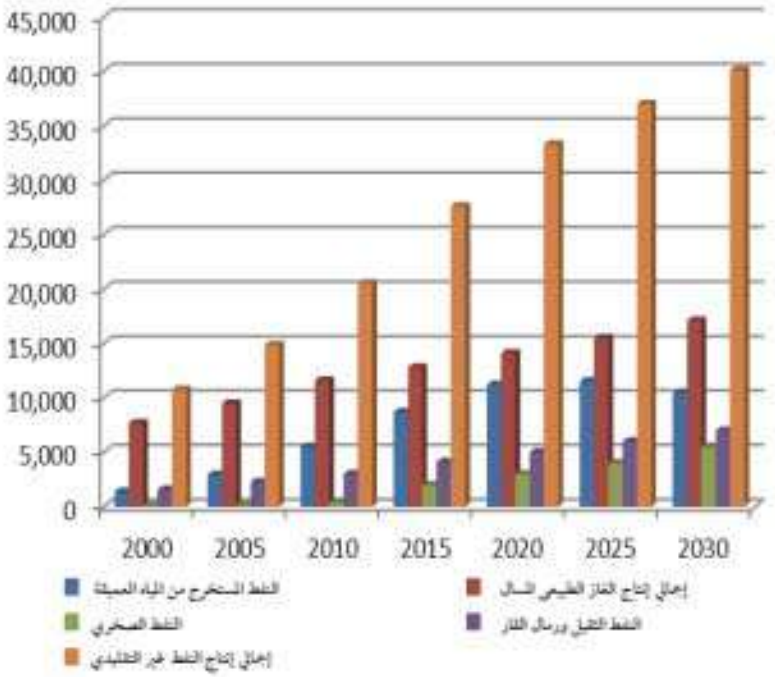
أما الفئة الأخرى من النفط غير التقليدي فهي الغاز الصخري، أو إنتاج النفط الصخري اعتماداً على الاستعانة بالحفز الأفقي الممتد، وتقنية التكسير الهيدروليكي. إن المزج بين هذه التقنيات، وتقنية البيانات الاهتزازية الثلاثية للحصول على صورة لباطن الأرض سمح برسم خريطة دقيقة لتوزيع غاز الطين الصخري. كما أدى كذلك إلى طفرة ستتجاوز في نهاية المطاف أثر إنتاج النفط من مصادر المياه العميقة. إن مكونات الغاز الصخري موزعة في شتى أرجاء العالم، حيثما عُثر على خزانات النفط. لكن تلك التقنية وتطبيقاتها تنحصر تقريباً في الولايات المتحدة، وغرب كندا خلال الوقت الحالي. ويرجع ذلك إلى عوامل خاصة؛ ألا وهي قاعدة بيانات الآبار (حيث حفرت الولايات المتحدة آباراً أكثر من الآبار التي حفرتها "بقية دول العالم" كلها)، والبيئة التنافسية، والبنية التحتية المتاحة، ووجود الشركات الخدمية، والشروط المالية التنافسية جداً، وحقوق الملكية المحددة بدقة. إن أغلب تلك العوامل لا وجود لها في "بقية دول العالم"، ولن تظهر إلا تدريجياً بالتزامن مع زيادة الحاجة إلى احتياطيات جديدة توازي التراجع المستمر في الإنتاج التقليدي للنفط. ومع ذلك، فإن الأحواض البرية التي تحتوي على صخور نفطية على أعلى مستوى عالمي، وتنطوي على تكاليف استخلاص منخفضة، من المفترض أن تحقق إنتاجية عالية بشكل استثنائي. ويعتبر النفط الصخري لمنطقة "بازينوف" غرب سيبيريا من الأمثلة النموذجية (ومع ذلك، يجب أن يحدث تحول كبير في الشروط المالية لإنتاج النفط الصخري في روسيا بحيث يصبح اقتصادياً). وتميل الدول التي تحتوي على احتياطيات نفطية من الطراز الأول عالمياً إلى أن يكون لديها أنظمة مالية تتماشى مع احتياطياتها

التقليدية الوفيرة، وقد لا تُدرك سريعاً أهمية تخفيض الضرائب، أو معدلات العائدات الضرورية بما يسمح بأن يكون إنتاج النفط الصخري مقبولاً من الناحية الاقتصادية. ولا تتضمن البنية التحتية اللازمة لإجراء عمليات التكسير الهيدروليكي شركات خدمية فحسب، بل تتطلب كذلك طرقاً، وطاقة، ومواد، وأهم من ذلك كله إمكانية الوصول إلى كميات كبيرة من المياه، الأمر الذي يمكن أن يمثل عاملاً مقيداً للإنتاج في المناطق الجافة لحين ابتكار تقنيات إعادة تدوير فعالة.

بدأ إنتاج النفط الصخري بكميات كبيرة لأول مرة في الولايات المتحدة عام 2010، وتجاوز المليون برميل في اليوم الواحد. وسيمثل الغاز الطبيعي المسال نحو 25٪ من تلك الكمية.[23] بيد أن طبيعة إنتاج النفط الصخري تفضي إلى معدلات تراجع عالية جداً في الآبار تصل في المتوسط إلى 70٪ في العام الأول. ولذلك، ما لم يتم اكتشاف أحواض جديدة باستمرار -وهو ما يحدث حالياً بالفعل- فسرعان ما سيستقر الإنتاج. فمن المفترض أن يشهد الإنتاج في تكوينات حقلي "إيجل فورد" و"باكين" التي ينسب إليها 70٪ من إنتاج النفط الصخري طفرة بحلول عام 2015. وإجمالاً، فمن المرتقب أن يحقق الإنتاج الأمريكي طفرة نحو عام 2020 بإنتاجية تصل إلى 2.5–3 مليون برميل يومياً من النفط الصخري للعقد التالي قبل أن يحل الهبوط.[24] وبعد عام 2020، من المتوقع أن يشهد إنتاج النفط الصخري خارج الولايات المتحدة الأمريكية زيادة كبيرة، حيث من المتوقع أن يصل الإنتاج العالمي إلى 5.5 مليون برميل يومياً بحلول عام 2030. وعلى الرغم من وجود تنويعات كثيرة في الاقتصادات نتيجة لعوامل النفط الصخري المختلفة؛ كالضغط، والعمق، والسُّمك، والثراء، فإن متوسط السعر الضروري لتحقيق 15٪ من معدل العائدات للنفط الصخري الأمريكي هو 56-80 دولاراً للبرميل الواحد، ما يساعد بفاعلية على تحديد مستوى أساسي للسعر المطلوب لكي يتسنى تطوير هذا المورد.

الشكل (2-5)

تقديرات الإنتاج من مصادر المياه العميقة وغير التقليدية 2000–2030 (ألف برميل يومياً)



التأثيرات الاقتصادية والمالية

بلغ الحد الأقصى من الإنتاج العالمي للنفط، وفقاً لتقديرات بعض الباحثين في عام 2010، 90 مليون برميل يومياً، وسط تكهنات بأن هذا هو أعلى مستوى يمكن أن يصل إليه في ظل الانخفاض المستمر في الإنتاج والركود الاقتصادي الحاد.[25] ولكن الارتفاع في الإنتاج من احتياطيات النفط غير التقليدي، وكذلك المستخرج من المياه العميقة حال دون وقوع هذا الانخفاض. ومع ذلك فإن تكاليف إنتاج النفط غير التقليدي، والمستخرج من المياه العميقة باهظ الثمن، ويتعرض كذلك للانخفاض بسبب التغيرات المناخية، بالإضافة إلى بطء نموه في الإنتاج، حيث يصل إلى 93 مليون برميل يومياً فقط

بنهاية هذا العقد، وتعقبه حالة من الاستقرار في العقد المقبل. ومن المحتمل أن يؤدي هذا الإنتاج المحدود إلى الحفاظ على السعر المرتفع الحالي البالغ 100 دولار أمريكي للبرميل (وفقاً لسعر الدولار في عام 2012) حتى عام 2030 على الأقل. وأدى ارتفاع السعر الرئيسي لأكثر سلعة مستخدمة في العالم قبل عام 1973، وحتى مرحلة ما بعد عام 2005 أربع مرات (وفقاً للقيمة الثابتة للدولار)، إلى إحداث نقلة نوعية في الثروة العالمية. وسيؤدي استمرار هذا السعر المرتفع على مدار العقدين المقبلين إلى إرهاق كاهل النظام الاقتصادي الحالي بشكل بالغ في ظل حالة عدم التوزيع العادل للموارد.

أما المستفيد الأكبر من حالة الاستقرار تلك التي سيشهدها سعر النفط، فهو دول الخليج، ودول شمال إفريقيا الأعضاء في منظمة "أوبك"، وكذلك روسيا، حيث إنها تحتوي على النسبة الكبرى من الموارد التقليدية رخيصة الثمن. فالاحتياطيات كافية لإبقاء إنتاج النفط التقليدي في تلك المناطق العامرة بالنفط في المستويات الحالية حتى عام 2030 وما بعده. فتلك الدول لا تتمتع فقط بوجود النفط منخفض التكلفة، ولكن يتم تصدير نحو ثلثي هذا الإنتاج، ما يحافظ على المعدل الكبير لتدفق الإيرادات. وتعد نسبة التصدير تلك مقبولة وفي مستويات الأمان في روسيا، حيث يوفر الغاز الطبيعي، وكذلك الطاقة الكهرومائية والنووية، الموارد الرئيسية للطاقة، الأمر الذي أدى إلى جعل استخدام النفط مستقراً بشكل نسبي. بيد أن دول الخليج، ودول شمال إفريقيا الأعضاء في منظمة "أوبك" تشهد تزايداً سريعاً في المعدل المحلي لاستخدام النفط. ويعزى هذا الأمر جزئياً، إلى النمو السكاني، والمنح التي جعلت استخدام النفط غير مكلف، بالإضافة إلى الافتقار إلى الاستغلال الأمثل لمصادر الطاقة الأخرى مثل الغاز الطبيعي والطاقة الشمسية والرياح للحد من الاستهلاك المحلي من النفط. ولكن تلك الدول محظوظة؛ لأن أمامها فسحة من الوقت لمعالجة تلك المشكلة، ولكن الزمن لن ينتظرهم كثيراً بكل تأكيد.

إن مسألة استقرار سعر النفط تلك لها تداعيات إيجابية، وأخرى سلبية على حد سواء على دول العالم الغربي. فاحتياطي النفط التقليدي يشهد انخفاضاً، ولن يكفي إلا لتغطية نزر قليل من احتياجات النفط، وخاصة في الولايات المتحدة. ولكن بإمكان العالم

الغربي تغطية جل احتياجاته من النفط، بسبب وفرة الموارد غير التقليدية، لكن التكلفة المالية وربما البيئية ستكون كذلك عالية. فالنصف الغربي للكرة الأرضية يحتوي على أكثر من 60٪ من الاحتياطي العالمي من النفط المستخرج من المياه العميقة وكذلك إنتاجه، وينتج تقريباً كل احتياطي النفط الثقيل، وتنتج الولايات المتحدة كل احتياطي النفط الصخري الحالي، بالإضافة إلى النفط الصخري المستخرج من منطقة "لالونا" في كولومبيا وفنزويلا، ومنطقة "فاكا مايورتا" في الأرجنتين؛ وهما منطقتان جديدتان عامرتان بحقول النفط، وتحتويان على أجود أنواع النفط الصخري على مستوى العالم. لكن لا تزال تلك البلاد تفتقر إلى معظم العوامل غير الجيولوجية التي تلعب دوراً رئيسياً في ازدهار حقول النفط الصخري في الولايات المتحدة، علاوة على أن الإنتاج الوفير من النفط الصخري من المحتمل أن يتفجر بعد عام 2020 في أمريكا اللاتينية. ثم إن الولايات المتحدة، وكندا تنتجان تقريباً 30٪ من الغاز الطبيعي المسال في العالم.

والتعويل على وضع الولايات المتحدة وحدها في هذا السياق ليس آمناً تماماً على المدى البعيد. فالارتفاع في معدل إنتاج النفط المستخرج من المياه العميقة والنفط الصخري سيؤدي إلى حالة من الاستقرار في مستوى إنتاج الولايات المتحدة في الفترة ما بين عامي 2015 و2020 المقدّر بـ 11 مليون برميل في اليوم الواحد، بفعل التوازن الحاصل بين انخفاض معدل إنتاج النفط التقليدي، وإنتاج النفط المستخرج من المياه العميقة، وكذلك النفط الصخري، والغاز الطبيعي المسال.[26] وإذا ما وضعنا في الاعتبار استمرار الطلب اليومي المقدَّر بـ 19 مليون برميل في اليوم الواحد، فإن هذا سيؤدي إلى هبوط بمقدار نحو 50٪ من أعلى مستوى تعتمد عليه الولايات المتحدة منذ عام 2005. ولكن بعد أن تنقضي الفترة بين عامي 2015 و2020، سيصل إنتاج النفط المستخرج من المياه العميقة إلى أعلى مستوى له، بينما سيستقر سعر النفط الصخري، فيما سيواصل إجمالي الإنتاج انخفاضه.

وستكون الولايات المتحدة أمام خيارين؛ إما أن تضيق فجوة الاستيراد من خلال موارد النفط غير التقليدية عالية التكلفة الموجودة في العالم الغربي، وإما أن تتجه إلى إنتاج

النفط التقليدي منخفض التكلفة (لكنه يحقق إيرادات عالية لدول منطقة الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا الأعضاء في منظمة "أوبك"، وروسيا).

أما بالنسبة إلى المناطق التي ستعد خاسرة على صعيد الإيرادات بسبب حالة الاستقرار التي سيشهدها النفط، فهي دول جنوب وشرق آسيا وكذلك الاتحاد الأوروبي. حيث إن الاحتياطيات المحدودة من النفط التقليدي الموجودة في تلك البلدان تشهد انخفاضاً ملحوظاً سيستمر حتى عام 2030. بالإضافة إلى أن تلك المناطق تفتقر إلى الموارد غير التقليدية، فهي تقريباً لا تقوم بأي أعمال استكشافية في أعماق المياه، وبالتالي ليس لديها أي احتياطي من النفط المستخرج من المياه العميقة، أو النفط الثقيل و"البيتومين". وهي للأسباب ذاتها لديها احتياطيات متواضعة من النفط، حيث إن صخور المصدر المتميزة المسؤولة عن إنتاج النفط الصخري المعروف عالمياً ليست موجودة في أراضيها. وستكون الخيارات المتوافرة أمامهم هي: السعي إلى تقليص احتياجاتها من النفط؛ من خلال استغلال مصادر الطاقة الأخرى؛ مثل: الغاز، والفحم، والطاقة، النووية، وكذلك الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى تخفيض استهلاكها للطاقة. وسيتعين عليها في الوقت الحالي دفع مبالغ باهظة لدول منظمة "أوبك" وروسيا بسبب فاتورة الاستيراد العالية لديها.

السيناريوهات البديلة

يستند هذا الفصل، من هذا الكتاب، إلى أفضل تقديرات لمجموعة من العوامل الجيولوجية والهندسية والاقتصادية والسياسية. ونظراً إلى أنه ليس هناك أمر قطعي؛ لأن كل التقديرات غير مؤكدة، فإنه يتعين علينا الرجوع خطوة إلى الخلف، ومراجعة بعض الاستدلالات الأساسية لبحث النتائج الأخرى في حال تغيرت الافتراضات الرئيسية.

- **انخفاض في معدل إنتاج النفط التقليدي**: بدأ الانخفاض في معدل إنتاج النفط التقليدي في عام 2005. ويرجع ذلك إلى حدوث هبوط في إنتاج بعض المناطق التي

تقع في بلدان خارج نطاق منظمة "أوبك"، ودول الاتحاد السوفيتي السابق التي يمثل الإنتاج فيها 40٪ من إجمالي إنتاج النفط التقليدي، لكنها لا تحتوي سوى على 14٪ من احتياطيات النفط التقليدي. وإذا ما عكسنا تلك الحقيقة، فإنه سيتعين على "بقية دول العالم" أن تكون قد عملت طوال السنوات العشر الماضية على تغيير دفة الأمور، أو أن الدول الأعضاء في منظمة "أوبك"، وكذلك دول الاتحاد السوفيتي السابق (وخاصة روسيا) قد بذلت قصارى جهدها لزيادة معدل إنتاجها من النفط التقليدي. ولكن حالت الأسعار المرتفعة للنفط منذ عام 2007 دون قدرة أحد على تغيير دفة الأمور. فروسيا تحصل على جل إيراداتها من احتياطيات النفط التقليدي للإنفاق على احتياجات الدولة. لكنها لم تستثمر تلك الأموال بشكل كاف في حقول النفط الخاصة بها لزيادة معدل الإنتاج، علاوة على أنها لا تنوي أيضاً اتخاذ أي خطوات قد تؤدي إلى خفض سعر النفط. وهذا الواقع يبين أن دول الخليج العربي، وكذلك شمال إفريقيا الأعضاء في منظمة "أوبك" هي وحدها التي أمامها احتمال حقيقي يؤهلها لزيادة معدل إنتاجها من النفط التقليدي بشكل كبير، وخفض سعر النفط. بيد أنها أظهرت أنها ليست على استعداد للقيام بهذا، ولا يوجد سبب يدعونا إلى الاعتقاد أن هذا الواقع يمكن أن يتغير.

- **هل يمكن أن تتطور الاحتياطيات الهائلة من النفط غير التقليدي، وكذلك النفط المستخرج من المياه العميقة في النصف الغربي من الكرة الأرضية على نحو أسرع بكثير مما هو متوقع في هذا التقرير؟** والإجابة عن هذا السؤال المهم هي أنه ليس من المحتمل حدوث هذا. فقد تباطأ تطوير عمليات استخراج النفط من المياه العميقة في الولايات المتحدة بسبب تشديد الإجراءات التي تفرضها الهيئات الرقابية للبيئة بعد الانفجار الذي وقع في بئر "ماكندو". أما في البرازيل، فقد أدت السياسة التي تنتهجها الدولة تجاه التنقيب في المياه العميقة –وخاصةً فيما يتعلق بتصنيع وحدات الإنتاج– إلى إيجاد احتياطي من الاستكشافات التي تنتظر أن تدخل في حيز الإنتاج. ولكن على الرغم من تلك الاكتشافات الهائلة، فإن معدل الإنتاج، قد هبط بالفعل

خلال العامين الماضيين. وبالنسبة إلى كندا، فقد شهد إنتاج النفط الثقيل نمواً مطرداً بمعدل مليون برميل في اليوم الواحد على مدار عقد كامل. فالنفط الموجود في الموقع (الحقل) متوافر بكميات كافية لزيادة الإنتاج بمعدل أسرع، ولكن المعوقات المرتبطة بخطوط الأنابيب، ومصادر الطاقة، والمياه أيضاً تجعل التوقعات الأكثر تفاؤلاً بعيدة المنال. ولكن فنزويلا هي البلد الوحيد الذي بإمكانه أن يفوق التوقعات الخاصة بمعدل إنتاج النفط الثقيل الواردة في هذا التقرير بشكل مذهل في حال تم إحداث تغييرات هائلة على النظام التجاري. فالقيود المفروضة على الإنتاج من خلال التكسير الهيدروليكي في الولايات المتحدة جلية ومعروفة للمهندسين والجيولوجيين، برغم التوقعات المتفائلة التي يطلقها الاقتصاديون والسياسيون. فتوقع تأخير يقدر بخمس سنوات قبل التوسع التجاري عالمياً في إنتاج النفط غير التقليدي يمكن اعتباره لوناً من ألوان التحفظ، فالوقت وحده هو الكفيل بالحكم على الأمور. أما الارتفاع في معدل إنتاج الغاز الطبيعي المسال فيتعرض حالياً لضغوطات نظراً إلى محدودية استخدامه وإغراق الأسواق به، الأمر الذي أدى إلى انهيار في الأسعار. ومن المتوقع أن يستمر معدل نمو الإنتاج، ولكن بوتيرة أكثر تواضعاً.

- **هل يمكن أن تؤدي الضغوط المتعلقة بالبيئة إلى تقليص نمو إنتاج النفط غير التقليدي، وما البديل الذي سيحل محله؟** مما لاشك فيه أن عملية إنتاج النفط غير التقليدي، وكذلك النفط المستخرج من المياه العميقة تواجه تحديات بيئية أكبر من تلك التي تواجهها عملية إنتاج النفط التقليدي. فالانفجار الذي وقع في بئر "ماكوندو" عند التنقيب في المياه العميقة لخليج المكسيك، أظهر أن التكنولوجيا اللازمة لإنتاج النفاط في المياه شديدة العمق، قد تطورت بشكل أسرع من تلك اللازمة لمعالجة انفجار كبير بهذا الحجم. وتقع أكثر منطقتين إنتاجاً -وهما خليج المكسيك والمياه البرازيلية- بالقرب من مراكز كبرى آهلة بالسكان، ومجمعات صناعية. ووقوع حادثة أخرى مثل كارثة "بئر"، يمكن أن يغير مسار النمو الخاص بإنتاج النفط المستخرج من المياه العميقة. فعملية إنتاج النفط الثقيل في

فنزويلا، وكذلك كندا بالتحديد، تمثل تحدياً لظاهرة الاحتباس الحراري بسبب بصمة الكربون العالية التي تخلّفها، وكذلك إمدادات المياه والطاقة. ثم إن عملية التكسير الهيدروليكي تواجه معارضة قوية في المناطق الآهلة بالسكان؛ بسبب الأعباء التي تثقل بها كاهل البنية التحتية للسطح، وكذلك استخدام المياه والطاقة. وقد حاولنا في هذا الفصل جاهدين الوصول إلى السيناريو "الأكثر احتمالاً" للقيود البيئية، لكن القيود يمكن أن تكون أكبر من تلك المذكورة في الفصل، الأمر الذي سيؤدي إلى تشديد القيد على نمو الإنتاج الخاص بالنفط غير التقليدي، وكذلك النفط المستخرج من المياه العميقة.

- **هل هناك سيناريو منطقي لهبوط حاد في تكلفة النفط خلال العقد المقبل؟** ما لم تقرر الأطراف الأكثر استفادة من السعر المرتفع للنفط بجدية إغراقَ السوق بالنفط التقليدي لتخفيض السعر، فسيظل هذا الاحتمال -في تقديري- مستبعداً وقوعه. فارتفاع سعر النفط، هو أحد العوامل الرئيسية وراء زيادة إنتاج النفط غير التقليدي. بالإضافة إلى أن معظم المشروعات الخاصة بإنتاج النفط غير التقليدي، والمستخرج من المياه العميقة لا يزال أمامها وقت طويل حتى تبدأ في الإنتاج، حيث إنها قائمة على استثمارات مباشرة هائلة. فتلك المشروعات قد تم إنشاؤها فقط بسبب حتمية استمرار أسعار النفط على المدى القريب. فالسعر الأدنى المطلوب للحفاظ على نسبة الربحية هو 80 دولاراً للبرميل تقريباً في كل الحالات. وأي انخفاض تحت هذا المستوى سيؤدي إلى توقف جل تلك المشروعات. بالإضافة إلى ذلك، فإن كثيراً من البلدان التي تتمتع بالنسبة الباقية من احتياطيات النفط التقليدي جعلت تلك الاحتياطيات تحت سيطرة الدولة، حيث تنفق على احتياجات البلاد بدلاً من إعادة استثمارها في قطاع النفط. وتحتاج تلك البلدان، تقريباً بلا استثناء، إلى سعر نفط لا يقل عن 100 دولار للبرميل من أجل إحداث توازن في الميزانية الخاصة بها، وأي هبوط كبير تحت هذا المستوى سيؤدي إلى تقليص سريع في الإنتاج لخفض السعر كما حدث في عام 2008.

ويجب أن يصمد سعر النفط البالغ 100 دولار للبرميل (وفقاً لسعر الدولار في عام 2012) خلال عصر استقرار النفط، ولا يتحرك إلا في حدود 20٪ أكثر، أو أقل من السعر المذكور، مدعوماً بالتكاليف المرتفعة لاحتياطيات النفط غير التقليدي في السوق الرخيصة، وتكلفة إحلال مصادر الطاقة المنافسة في السوق باهظة الثمن، على الأقل خلال هذا العقد. وفي تلك الحالة، سيتم تقريباً تعويض الانخفاض في معدل إنتاج النفط التقليدي من خلال ارتفاع معدل إنتاج النفط غير التقليدي؛ ما لم يتم رفع معدل إنتاج النفط المستخرج من المياه العميقة. وإذا ما استمر ارتفاع الطلب عالمياً ستتم مواجهته بأحد البدائل التالية: (1) قفزة في السعر الحقيقي للنفط من أجل محو أثر الزيادة الحاصلة في الطلب، أو (2) سعي حثيث لزيادة إنتاج النفط غير التقليدي بمعدل أعلى من المستوى المقترح في هذا الفصل -خاصةً النفط الثقيل والتكسير الهيدروليكي- برغم التداعيات البيئية المحتملة، واعتراض الرأي العام، أو (3) سيشهد الطلب على النفط حالة من الاستقرار بسبب مصادر الطاقة البديلة. وحينها سيكون أي نوع من الغاز الطبيعي احتمالاً واقعياً؛ فيما يتعلق بالوفرة، والسعر، والتأثير البيئي. ولكن بالنسبة إلى قطاع الطاقة، فمن الضروري أن نعي الخيار الذي سنواجهه، ونبدأ في الاستعداد له.

الفصل الثالث

أثر الابتكار التكنولوجي في قطاع النفط والغاز

إردال أوزكان

ما زال تعويض الاحتياطيات يشكّل تحدياً كبيراً لقطاع النفط والغاز. وكما هو مبين في الشكل (3-1)، فإنه على عكس الزيادة المستمرة في الطلب، شهدت الاكتشافات النفطية انخفاضاً منذ منتصف الستينيات من القرن العشرين. وهناك وسيلتان لمواجهة هذا التحدي هما: زيادة أنشطة التنقيب، وتعزيز التقدم التكنولوجي.

وبقدر التأثير الذي تحدثه أسعار النفط في الاقتصاد العالمي، فإن الخطط التجارية لشركات النفط والغاز تتأثر كذلك بالاقتصاد العالمي الذي يؤدي دوراً في كثافة أنشطة التنقيب. ولكن – وكما هو مبين في الشكل (3-2) – من الصعب إيجاد علاقة مباشرة بين سعر النفط واكتشاف مكامن النفط والغاز. وبالمثل، لا يبدو أن المعروض النفطي (أو، بصورة مكافئة، الطلب عليه) له علاقة بالاستكشافات الجديدة وأسعار النفط.

كما أن هذه الإحصاءات تشير إلى مشكلة معقدة جداً بين التنقيب والابتكار التكنولوجي. وبسبب ندرة مصادر الهيدروكربون، فإن الاكتشافات الجديدة لا تتطلب مجرد استثمارات أكبر في عمليات التنقيب ضمن بيئات عالية المخاطر، بل تستوجب أيضاً استخدام تكنولوجيات جديدة وأكثر تعقيداً. وبالتالي، لمواجهة تحديات القطاع الجديدة المتمثلة في تعويض الاحتياطيات، لا بد من فهم تعقيدات العملية التي يتم من خلالها تطوير تكنولوجيا جديدة، وتنفيذها في قطاع النفط والغاز.

تعد شركات الخدمات حالياً في طليعة التطور التكنولوجي في القطاع. فمنذ مطلع ثمانينيات القرن العشرين، حولت الشركات العاملة استراتيجيات البحث والتطوير الخاصة بها نحو أسلوب "الشراء مقابل البناء". ولأن دوافع شركات الخدمات والتشغيل كليهما تتمثل -في المقام الأول- في إمكانات التكنولوجيا الجديدة لتحقيق أرباح على المدى القريب، فقد تُركت عمليات البحث الأساسية ذات العائد على المدى الأطول للأوساط الأكاديمية، ومعاهد البحوث في المقام الأول. وحتى في هذه الحالات، نتيجة لانخفاض الدعم الحكومي لأنواع الوقود الأحفوري، اضطرت الجامعات والمعاهد البحثية إلى اللجوء إلى الصناعة من أجل التمويل، الأمر الذي أدى بشكل محتّم إلى تحويل تركيز أبحاثها من البحوث الأساسية إلى البحوث التطبيقية.

الشكل (3-1)

الاتجاهات التاريخية في الطلب على النفط والكميات المستكشفة

المصدر:

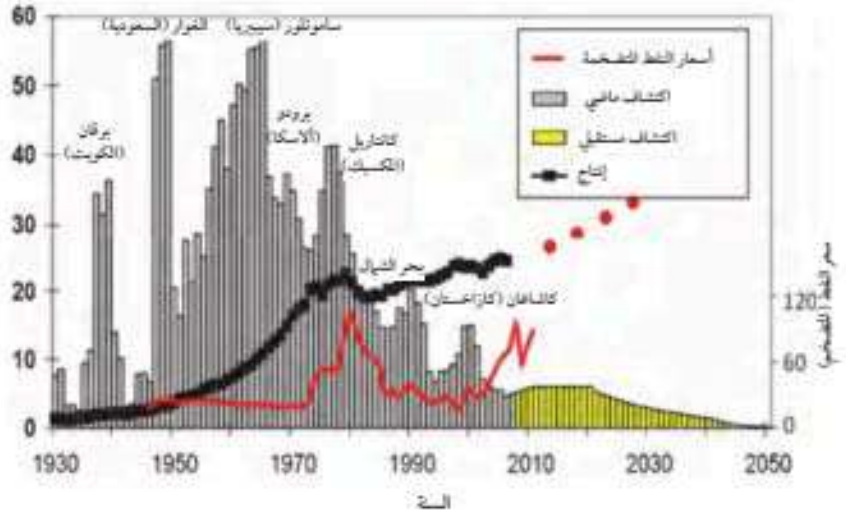
H.J. Longwell, "The Future of the Oil and Gas Industry: Past Approaches, New Challenges," World Energy, vol. 5, no. 3, 2002.

ومنذ بداية القرن، ترافقت مشكلة تعويض الاحتياطيات مع مشكلة إيجاد مصادر جديدة أكثر وفرة، وذات متوسط عمر أطول من الاحتياطيات التقليدية، وتكون مجدية اقتصادياً بالمقارنة مع مصادر الطاقة التقليدية وغير التقليدية. ويجب اعتبار عملية تطوير مكامن الغاز الصخري الغنية بالسوائل، في العقد الأخير، كاستجابة من قبل قطاع النفط والغاز لهذه الجوانب المتغيرة لمشكلة تعويض الاحتياطيات. وفي الأساس، فقد حدثت هذه الثورة غير التقليدية في مجال المصادر البديلة بفضل جهود التنقيب المستمرة في مشروعات المصادر غير التقليدية، وتطوير تقنيات جديدة أتاحت استغلال هذه المصادر بصورة مجدية اقتصادياً. وينبغي أن يعزى التقدم التكنولوجي -الذي حصل معظمه في مجال المعدات، والأدوات، والتطبيقات في عمليات الحفر والإكمال- إلى التقدم الكبير الذي تحقق في مجال مشروعات المصادر غير التقليدية.

الشكل (3-2)

مقارنة الاكتشافات النفطية التقليدية الرئيسية

والأسعار التاريخية والإنتاج



المصدر:

www.planetforlife.com (2008); InflationData.com (2012).

وبرغم الإشارة إلى دور التكنولوجيات الجديدة في نهوض المشروعات غير التقليدية، فلابد أيضاً من تأكيد تعقيدات العمليات التي يتم من خلالها تطوير هذه التكنولوجيا الجديدة وتنفيذها. ففي قطاع النفط والغاز، لا يتوقف الأمر عند مجرد ارتفاع تكاليف تطوير التكنولوجيات الجديدة، بدءاً من مرحلة وضع مفهومها، وحتى تسويقها، بل إنها أيضاً تستغرق وقتاً طويلاً (16 سنة في المتوسط).[1] وبالإضافة إلى البنية التحتية الخاصة بالبحث والتطوير في القطاع، فإن هذه العملية الطويلة الممتدة من المفهوم، وحتى التسويق، هي نتيجة للتعقيدات الفنية التي هي من طبيعة أنشطة البحث والتطوير، ومعالم الاقتصاد الكلي المعقدة التي تؤثر في دوافع العمل الخاص بالبحث والتطوير، وتوافر الباحثين المدربين والمؤهلين.

ويتمثل الغرض من هذه الورقة في تقديم لمحة عن أعمال البحث والتطوير في قطاع النفط والغاز؛ حيث تُركز على ما يسمى "ثورة المكامن غير التقليدية" لتوضيح أثر الابتكارات التكنولوجية في تجديد قطاع النفط والغاز؛ باعتبارها المساهم المسيطر على المدى الطويل في مزيج الطاقة العالمي. وتسلط الضوء على بعض التحديات العلمية والتكنولوجية السائدة في سبيل الاستخدام الكامل للمكامن غير التقليدية. كما تُلخص هذه الورقة جهود البحث الرامية إلى مواجهة هذه التحديات، وتغطي أيضاً المشكلات التي تواجه الاستخدام الأمثل، وقرارات المحفظة الاقتصادية التي يطرحها وجود المصادر التقليدية، وغير التقليدية معاً.

البنية التحتية للبحث والتطوير في قطاع النفط والغاز

مرت البنية التحتية للبحث والتطوير في قطاع النفط والغاز بتغير كبير في مطلع عقد الثمانينيات من القرن العشرين. ومنذ ذلك الحين -كما هو مبين في الشكل (3-3)- [2] حدث انخفاض كبير في إنفاق كبرى شركات النفط والغاز على البحث والتطوير. (ما دامت كانت مساهمة شركات النفط والغاز المستقلة في جهود البحث والتطوير الرئيسية مساهمات ضئيلة نسبياً). وقد سلكت الشركات العاملة نهج "الشراء مقابل البناء"

للتكنولوجيا الجديدة، وباستثناء عدد قليل من الشركات الكبرى، فقد أوقفت معظم الشركات كفاءاتها البحثية الداخلية. بالإضافة إلى ذلك، ركزت معظم نفقات البحث والتطوير الخاصة بالشركات العاملة على مكافأة المساهمين على المدى القصير،[3] مع الحفاظ في الوقت ذاته على الاستدامة على المدى الطويل؛ من خلال تعويض الاحتياطيات.[4]

الشكل (3-3)

استثمارات البحث والتطوير (مليون دولار بأسعار عام 2004)

المصدر:

W.F. Lawson, "Who will Fund America's Energy Future?" The Interstate Oil and Gas Compact Commission, 2006.

في منتصف التسعينيات من القرن العشرين، رفعت شركات الخدمات إنفاقها على البحث والتطوير من أجل التعويض عن الانخفاض الحاصل في نفقات البحث والتطوير في القطاع.[5] وكما تمليه العوامل المحركة لأعمالها، فإن جهود البحث والتطوير التي تقوم بها شركات الخدمات تركز على تطوير التكنولوجيات الخاصة، وتكوين حصة ضخمة من السوق (أو السيطرة) لضمان التدفق المستمر للعوائد. وبرغم زيادة الفرص التجارية أمام الشركات الصغيرة، فإن سوق الخدمات يخضع، إلى حد كبير، لاحتكار القلة من قبل ثلاث شركات صغيرة. حيث تسيطر كل من "شلمبرجير Schlumberger"، و"هاليبرتون Halliburton"، و"بيكر هيوز Baker Hughes" على 90٪ من السوق.[6]

وبسبب المنافسة الشديدة بين هذه الشركات العملاقة الثلاث، فإن استثماراتها في البحث والتطوير تمليها المضاربات التنافسية؛ أي عند اتخاذ القرارات الخاصة باستثمارات البحث والتطوير، لا تأخذ تلك الشركات بالاعتبار فقط ما هو موجود أصلاً لدى منافساتها، بل تحاول أيضاً توقع ردود أفعال منافساتها على قراراتها الاستثمارية.[7] ويبين الشكل (3-4)، كثافة البحث والتطوير (معدل استثمار الشركات في البحث والتطوير بالمقارنة مع مبيعاتها) في شركات الخدمات الرئيسية الثلاث في قطاع النفط والغاز. وبالرغم من السوق التنافسية تاريخياً، فإن معدل كثافة أعمال البحث والتطوير التي تقوم بها الشركات الرئيسية الثلاث كانت أقل من 3٪.

الشكل (3-4)

كثافة البحث والتطوير التي تقوم بها شركات الخدمات الرئيسية الثلاث[8]

تعد الأوساط الأكاديمية، والاستشاريون المستقلون، والحكومات هي الجهات الفاعلة الأخرى في مجال البحث والتطوير. كما تعد الأوساط الأكاديمية دائماً قوة بحث أساسية، ولكن مع التغييرات الحاصلة في البنية التحتية الخاصة بالأبحاث، وطلب القطاع، فقد تحول دورها أكثر نحو التطوير والتنفيذ. وكان هذا التحول أساسياً للبقاء في ظل بيئة تمويل غير مواتية نجمت عن انخفاض الدعم من الدولة، والهيئات الأخرى التي تمول

البحث.[9] كما أن الدور المتغير الذي تلعبه الأوساط الأكاديمية في البحث والتطوير يتناقض مع رسالتها المنشودة، ويبدو بصورة جزئية كمنافس مع الاستشاريين المستقلين. (وبرغم ضعفها من حيث حجم البحث والتطوير، فإن مساهمة الاستشاريين المستقلين معظمها محدود بالتطبيق التكنولوجي). كما يجب أيضاً التشديد على أن عمليات الاندماج والاستحواذ في قطاع النفط والغاز كان لها أثر سلبي كبير في برامج البحث الأكاديمي؛ فالعدد الحالي للشركات التي تمول البرامج الأكاديمية يبلغ نحو نصف عددها قبل عام 2000.

إن الحكومات، وشركات النفط الوطنية (NOCs) متحفزة للاستثمار في البحث والتطوير لأسباب اقتصادية واجتماعية باعتبارها المالك الأكبر لمصادر النفط والغاز في العالم، انظر الشكل (3-5)، كما أنها تمتلك أيضاً القدرة على دعم البحث والتطوير.[10] وعلاوة على ذلك، فإن سياسات الطاقة القوية، والاستخدام الأمثل للمصادر الوطنية، والسلامة التقنية والبيئية، وفرص التوظيف، تمنحها الدوافع السياسية والاجتماعية للاستثمار في البحث والتطوير. ومع ذلك، كان الدعم من قبل الحكومة ومن قبل شركات النفط الوطنية لأعمال البحث والتطوير في قطاع النفط والغاز، على مر التاريخ، أقل من إنفاق شركات النفط وشركات الخدمات العالمية.[11] كما أن استثمارات البحث والتطوير التي تقوم بها شركات النفط الوطنية شهدت زيادة كبيرة مؤخراً. فقد كسبت بعض شركات النفط الوطنية مثل: "بتروتشاينا PetroChina"، و"بتروبراس Petrobras"، و"شتات أويل Statoil"، مراكز مهيمنة في أنشطة البحث والتطوير العالمية.[12] ولكن استثمارات البحث والتطوير في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا لا تزال ضئيلة جداً لتظهر في الإحصاءات العالمية.[13] وكما يبين الشكل (3-8) فإن السعودية فقط (باعتبار أن أرامكو السعودية هي إحدى شركتين فقط تستثمران في البحث والتطوير في السعودية) هي التي ظهرت في إحصاءات البحث والتطوير الأخيرة حول العالم.[14] ويمكن القول إن إنتاجية الاستثمارات البحثية التي تقوم بها بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا لم تصل إلى المستوى المطلوب [هذه مشكلة معقدة في الشرق الأوسط وإفريقيا؛ لا تتعلق تماماً

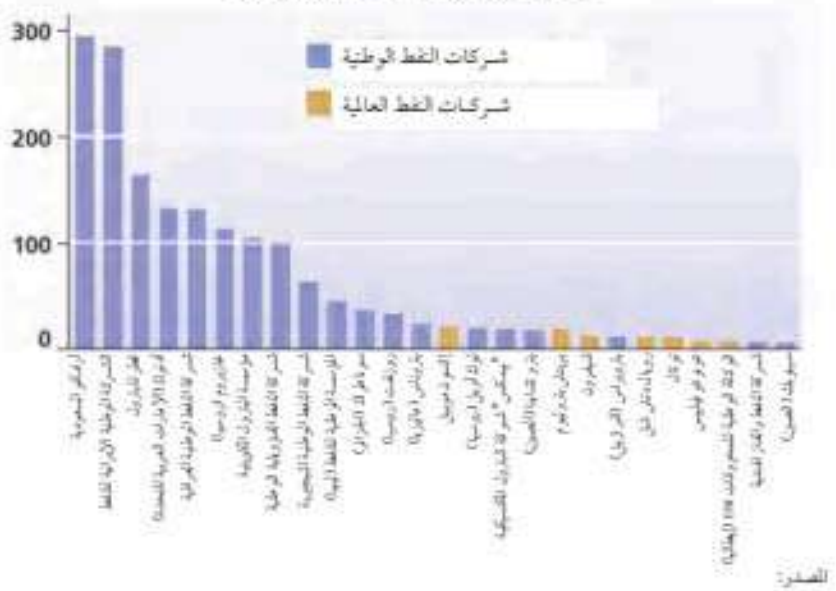
بأعمال البحث والتطوير في قطاع النفط والغاز].[15] كما أن شركات النفط الوطنية في الشرق الأوسط وإفريقيا مثقلة بأعباء تفرضها تقلبات أسعار النفط العالمية، والأزمة المالية، والربيع العربي،... إلخ، خلال السنوات الأخيرة.[16]

على الرغم من الظروف غير المواتية، وبرغم أنها لا تزال صغيرة نسبياً، فإن مساهمات شركات النفط الوطنية في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا في مجال التطبيقات التكنولوجية ضمن قطاعات النفط تستحق الذكر (مثل تطوير شركة أرامكو السعودية لبرنامج رقمي لحقول النفط، وإنشاء شركة "سوناطراك" الجزائرية لمحطة رائدة لاحتجاز الكربون). إضافة إلى ذلك، هناك دلائل واضحة تشير إلى تغير قوي في فضاء البحث العلمي في الشرق الأوسط؛ ومن أمثلة ذلك زيادة المملكة العربية السعودية للبحوث الأساسية في مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتكنولوجيا، وجامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية،[17] والتمويل السخي الذي تقدمه قطر للبحوث الأصيلة في مجال العلوم الفيزيائية والاجتماعية والهندسية من خلال الصندوق القطري لرعاية البحث العلمي، والمبادرات التي أطلقتها دولة الإمارات العربية المتحدة لتعزيز البحوث الأكاديمية على مستوى الدراسات العليا في معهد مصدر للعلوم والتكنولوجيا، وتعزيز الدراسات والبحوث الاستراتيجية من خلال الهيئة الوطنية للبحث العلمي ومركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية.

كما برز شكل جديد من التعاون، تستثمر فيه شركات النفط الوطنية في البنى التحتية للبحث والتطوير، والموجودة في شركات النفط العالمية، وشركات الخدمات لتطوير تكنولوجيات تلائم احتياجاتهم. ويشير أ. ميليت A. Melet إلى تطوير المصادر غير التقليدية، والأزمة الاقتصادية المستمرة باعتبارها حافزاً جديداً لشركات النفط الوطنية كي تشارك في عملية الابتكار.[18] وهو يثني على الجهود الرامية إلى التقليل من اعتماد شركات النفط الوطنية تكنولوجياً على شركات النفط العالمية، ويعتبر الاستثمار في البحث والتطوير وسيلة للمساهمة في جهود التنويع الاقتصادي، وتوفير فرص العمل المحلية والمشروعات الخاصة في نيجيريا، وقطر، والمملكة العربية السعودية.

الشكل (3-5)

ملكية احتياطيات النفط العالمية، 2010

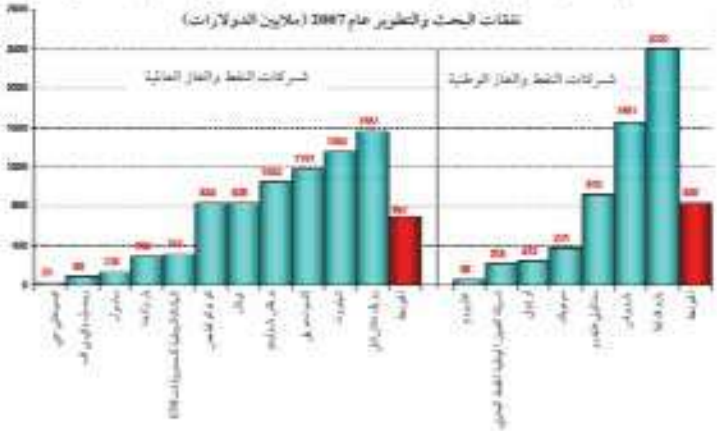


المصدر:

M. Anderson, "The Future of Oil: Energy Security, Climate Risks, and Market Opportunities," The Civil Society Institute and Cores, 2007.

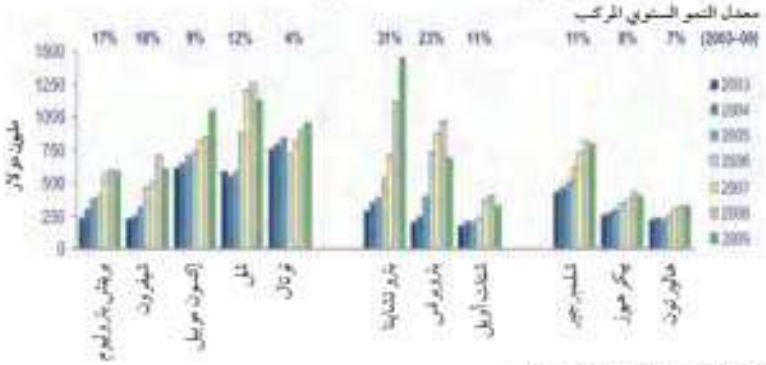
الشكل (3-6)

نفقات البحث والتطوير: شركات النفط العالمية مقابل الشركات الوطنية[19]



الشكل (3-7)

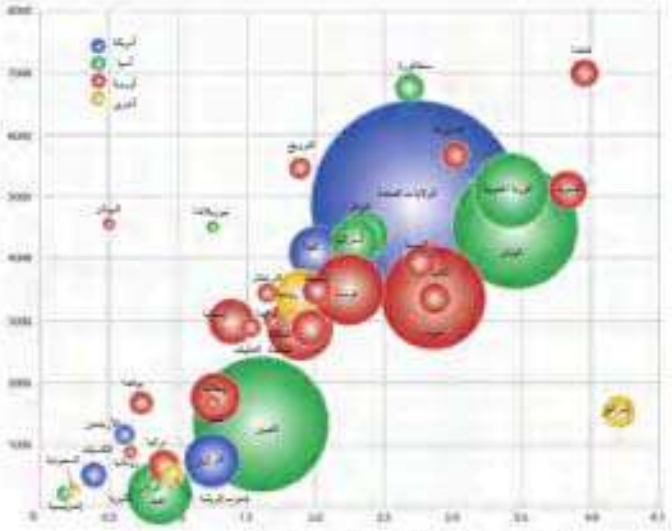
استثمارات البحث والتطوير لشركات النفط العالمية، وشركات النفط الوطنية، وشركات الخدمات المختارة، 2003-2009



المصدر: Theriaux-Allemin, et al, op. cit.

الشكل (3-8)

استثمارات البحث والتطوير في شركات نفط دولية ووطنية مختارة، 2003-2009[20]



ملاحظة: يمثل حجم الكرة الحجم النسبي للإنفاق السنوي على البحث والتطوير.

المصدر:

Battelle, "2012 Global R&D Funding Forecast," R&D Magazine, December 2011.

تشير البنية التحتية للبحث والتطوير المشار إليها في الشكل (3-8) إلى بيئة تطوير وتنفيذ حيوية؛ ولكنها تعرض أيضاً التحديات الرئيسية في المنطقة على المدى الطويل، والتي تتمثل في البحث الأساسي. فتوزيع أنشطة البحث والتطوير بين الدوائر المختلفة في قطاع النفط والغاز حيث دوافع العمل المختلفة تضيف بعداً آخر إلى المناقشة. ومن أحد تداعيات هذه المشكلة هناك المسؤولية المتنامية الملقاة على عاتق القطاع والحكومة للمساعدة في تدريب الجيل القادم من العلماء والمهندسين والجيولوجيين.

تحديات البحث والتطوير التي تواجه قطاع النفط والغاز

كما هو مبين في الشكل (3-9)، يمكن تصنيف نفقات البحث والتطوير ضمن قطاع النفط والغاز كنفقات بحثية فعلية (وتشمل البحوث الأساسية والتطبيقية)، نفقات غير بحثية (تضم مجالات التطوير والتنفيذ).[21] بالتعريف، يستمد تطوير تكنولوجيات جديدة من البحوث الأصلية والأساسية؛ أي إن العنصر غير البحثي من أنشطة البحث والتطوير لا يمكن أن يوجد من دون البحث الأساسي. ويعتمد التطوير والتنفيذ عادةً على نتائج البحوث الأساسية السابقة (الفترة الزمنية الفاصلة بين البحث الأساسي والتطوير قد تكون قصيرة أو طويلة، وهذا يتوقف على عوامل عديدة).

الشكل (3-9)

أنشطة البحث والتطوير في قطاع النفط والغاز

المصدر:

W.H. Neal, et al., "Oil and Gas Technology Development," Working Document of the NPC Global Oil & Gas Study, National Petroleum Council, July 18, 2007.

يتم إجراء البحوث الأساسية في العادة ضمن الأوساط الأكاديمية، ومراكز البحوث التابعة للشركات الكبرى، وشركات الخدمات، والمختبرات البحثية. وكما هو موضح في القسم السابق، برغم مصلحة القطاع في تطوير التكنولوجيا وتنفيذها، فقد حصل ضعف في البحوث الأساسية بفعل اهتمام شركات الخدمات والشركات العاملة بعوائد استثمارات البحث والتطوير على المدى الأقصر. فالحجم الأكبر من نفقات البحث والتطوير منذ تسعينيات القرن العشرين كان مركزاً على تطوير المشروعات، وتطوير الطريقة، والخدمات التقنية، التي تشكل المكون غير البحثي من نفقات البحث والتطوير، انظر الشكل (3-9). وبعبارة أخرى، معظم نفقات البحث والتطوير محصورة في المشروعات الميدانية، ولا تقدم مساهمة كبيرة في قاعدة المعرفة العامة.[22] ونتيجة لذلك، فإن معظم تطورات التكنولوجيا الجديدة في العقدين الأخيرين هي تطورات استهلكت منتجات البحوث الأساسية التي أجريت قبلها بوقت طويل. والتحدي الماثل حالياً هو العمل على إجراء بحوث أساسية جديدة وتشجيع البحث، ما سيؤدي إلى نشوء تكنولوجيات المستقبل الجديدة في قطاع النفط والغاز.

وثمة تحدٍّ آخر يتمثل في زيادة نفور المشغلين الرئيسيين من المخاطرة؛ حيث أصبحت المشروعات الجديدة أكبر تكلفة، وأقل اقتصادية، وأكثر تحدياً من الناحية التقنية.[23] كما يشير راو ورودريغوز إلى افتقار المشغلين إلى الإلمام الجيد بتطور التكنولوجيا والخبرة التفصيلية في مجالات التكنولوجيا الجديدة كسبب لعجزهم عن تقدير المخاطر المرتبطة بتطبيقات التكنولوجيا الجديدة، وتقدير القيمة التي قد تحققها.[24] يعتبر المشغلون الاستثمار في البحث والتطوير حقلاً عالي المخاطر؛ ما لم يكن من المؤكد أنه سيحقق لهم عوائد سريعة من خلال الاستحواذ على حصة إضافية، أو جديدة من السوق. من ناحية أخرى، ثمة إجراء عملي للنجاح في تطوير تكنولوجيا جديدة؛ وهو قرار أحد المشغلين باستخدامها في تطبيق تجاري ما. وهذا يؤدي إلى ضغط على ميزانيات البحوث لجعلها جذابة وتنافسية، ويؤثر بدوره سلبياً في نوعية مشروعات البحث والتطوير ونطاقها. علاوة على ذلك، تتكبد البحوث الأساسية الضرر الأكبر عندما يتم اتخاذ قرارات دعم البحوث في ظل ظروف التمويل غير المواتية هذه.

وفي سياق متصل، يلفت راو ورودريغوز الانتباه إلى تباين المعلومات بين مطوري التكنولوجيا الجديدة (وهم حالياً شركات الخدمات والأوساط الأكاديمية) والمستهلكين (شركات التشغيل).[25] ويشددان على افتقار شركات الخدمات إلى فهم عميق للمشكلات التي يتعين حلها، وعدم إلمام شركات التشغيل بعملية البحث والتطوير. ويشيران إلى هذا التباين بين قواعد المعرفة لدى المشغلين، ولدى شركات الخدمات (والأوساط الأكاديمية) كأحد الأسباب التي تؤدي إلى بطء عملية دمج التكنولوجيا الجديدة في القطاع.

من المهم أيضاً إدراك التحديات التي يفرضها نقص الموارد البشرية المطلوبة لإنجاز نشاطات بحث وتطوير ناجحة وفاعلة. صحيح أن قطاع النفط والغاز اجتذب العمال واستخدمهم بأعداد كبيرة في مطلع عقد الثمانينيات من القرن العشرين، عندما وصلت ذروة أسعار النفط إلى 37 دولاراً للبرميل. وكان من بين الذين انضموا إلى هذه القوة العاملة باحثون شباب ومدربون أيضاً، ولكن قسماً كبيراً من القوة العاملة ضاع في خضم موجة التسريح التي حدثت أواخر عقد التسعينيات من القرن العشرين عندما هبطت أسعار النفط إلى 12 دولاراً للبرميل. وأدى ذلك إلى تحول ديموغرافي، وأدى إلى الفجوة العمرية بين أفراد القوة العاملة والتي تواجه القطاع حالياً.[26] وتم التصريح بالمشكلات التي سببتها شيخوخة المختصين في قطاع النفط والغاز، وتقاعد العمال المهرة بأعداد كبيرة،[27] وزيادة النشاطات التي قام بها عمال أقل خبرة، والتأخر في ملء المناصب المطلوبة بسبب شروط السلامة والتدريب الأكثر صرامة،[28] وكان القطاع يتصدى لهذه المشكلة بصورة استباقية. ولكن هناك أمراً تم إغفاله؛ وهو الفجوة في القوة العاملة الماهرة عندما يتعلق الأمر بأنشطة البحث والتطوير. ونظراً إلى الحاجة الملحة إلى تعيين الموظفين في المجالات التشغيلية، فقد أُهملت حاجات القوة العاملة في أقسام البحث والتطوير، أو تم تأجيلها. من المهم أيضاً أن ندرك أنه يتم تنظيم المختصين في البحث والتطوير من خلال عمليات تدريب مختلفة وأطول. وهذا يتطلب مبادرات من الحكومة والقطاع لتأسيس ودعم البنية التحتية للتدريب بالإضافة إلى إلهام أجيال الشباب وتشجيعهم على اختيار البحث والتطوير كمسار لحياتهم المهنية.

وأخيراً، يجب الاعتراف بالتغييرات الحاصلة في مجال البحوث الأكاديمية ومعالجتها بشكل مناسب. فقد أدت جامعات الولايات المتحدة دوراً رئيسياً في الكثير من الابتكارات الفنية المهمة، فضلاً عن تعليم القادة التقنيين والتجاريين في قطاع النفط والغاز العالمي.[29] وكان دعم الحكومة الأمريكية (بشكل رئيسي من خلال وزارة الطاقة) فاعلاً في نجاح هذه المؤسسات الأكاديمية. لكن في العقد الماضي، فقدت برامج طاقة الوقود الأحفوري الدعم الحكومي في الولايات المتحدة. كما كان دعم القطاع يتجه نحو الجامعات والمؤسسات البحثية في الخارج؛ لأن معظم مشاركات القطاع موجودة في الخارج، والحكومات المضيفة تفرض شروطاً صارمة على البحث والمحتوى المحلي، واستخدام القوى العاملة المحلية في الوظائف.[30] ونتيجة لذلك، فإن هذا يعزز علاقات أوثق مع الجامعات المحلية والإقليمية كما يعزز الاستثمارات فيها. ولكن ثقافة البحث والبنية التحتية الموجودة، والموارد البشرية للجامعات الأمريكية والأوروبية بُنيت على مدى عقود عديدة، ويجب أن نتوقع الأمر ذاته مع الجامعات الناشئة في الخارج؛ كما أن تحولاً مفاجئاً للتمويل من مراكز البحث القديمة إلى معاهد البحث الناشئة بإمكانه أن يدمر القديم قبل ظهور الجديد. يتوقع نيل وآخرون أن الجامعات الأمريكية ستقود بحوث النفط والغاز والتعليم في المستقبل القريب؛ ولكنهم يقولون إن هذا سيتم من خلال الطلاب الأجانب الذين يأتون إلى الولايات المتحدة للتعليم والبحث، ومن ثم يعودون إلى أوطانهم.[31] وتجدر الإشارة إلى الاهتمام المتجدد الذي يوليه القطاع في البحوث الأكاديمية، بسبب حدود البحوث الجديدة وغير المستكشفة التي توفرها المصادر غير التقليدية؛ باعتبارها مؤشراً إيجابياً إلى تزايد النشاط البحثي في الأوساط الأكاديمية.

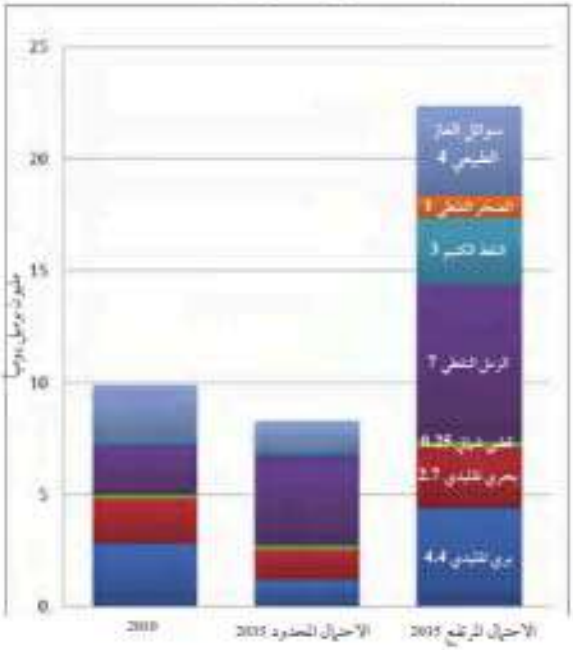
دراسة حالة: مشروعات المصادر غير التقليدية

يجب اعتبار تطوير الغاز الصخري والمكامن الغنية بالسوائل، والمكامن النفطية الصخرية (المحكمة) في العقد الأخير، رداً من القطاع على التحديات التي تفرضها مشكلة تعويض الاحتياطيات. ويظهر الشكل (3-10) تأثير المصادر غير التقليدية في إنتاج النفط في أمريكا الشمالية. فقد عزز تطوير الغاز الصخري إنتاج الغاز في الولايات المتحدة بمعدل

25٪ في السنوات الخمس الأخيرة (حيث يشكل الغاز الصخري حالياً 37٪ من إنتاج الغاز في الولايات المتحدة، بالمقارنة مع 2٪ في مطلع القرن الحادي والعشرين). كما أن النجاح الذي حققه تطوير الغاز الصخري أعطى القطاع ثقةً بخوض تحدي تطوير مكامن النفط المحكم (النفط الصخري أو الرمال الغنية بالسوائل). وازداد إنتاج الولايات المتحدة من النفط بمعدل 13.2٪ خلال الفترة من عام 2008 إلى عام 2011، وبمعدل 12.3٪ في عام 2012.[32]

الشكل (3-10)

توقعات إنتاج النفط في أمريكا الشمالية



ملاحظة: في عام 2010، بلغ الطلب على النفط في الولايات المتحدة وكندا معاً 22.45 مليون برميل في اليوم. وبالتالي، حتى في السيناريو ذي الاحتمال الأكبر، نجد أن العروض أقل من الطلب في عام 2010، ما يعني حاجة مستمرة إلى الواردات النفطية والمشاركة في التجارة العالمية.

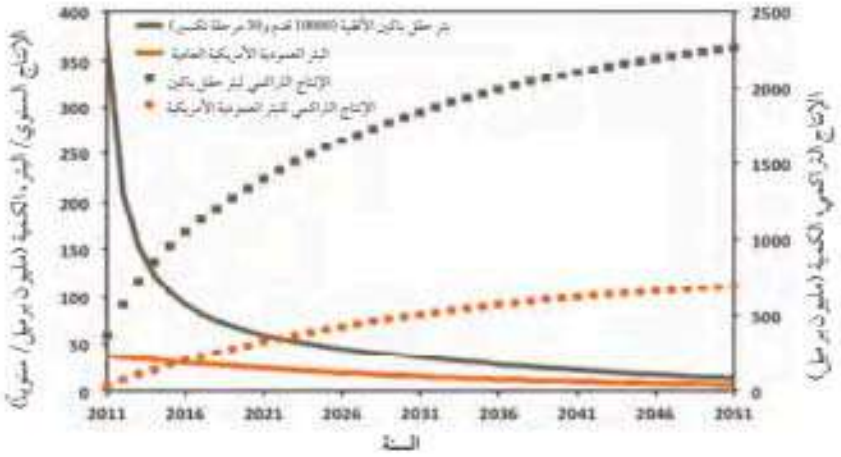
المصدر:

C. McConnell et al., "Supporting American Jobs and the Economy through Expanded Energy Production: Challenges and Opportunities of Unconventional Resources Technology," US House of Representatives, May 10, 2012.

يقارن الشكل (3- 11) هبوط الإنتاج وخصائص الإنتاج التراكمي للبئر الأفقية في حقل "باكين" مع حقل عمودي عادي في مشروع تقليدي في الولايات المتحدة. يبدأ الحقل العمودي التقليدي بالإنتاج بمعدل 30 ألف برميل سنوياً، ثم يشهد معدل انخفاض اسمي قدره 4.5٪.[33] ويبلغ عمق البئر الأفقية المبينة في الشكل (3-11) 10 آلاف قدم، وفيها 30 مرحلة تكسير.[34] وهي تبدأ بإنتاج 367 ألف برميل سنوياً، وينخفض الإنتاج إلى حد كبير حتى 5٪، ومن ثم يتحول إلى الانخفاض المتسارع.

الشكل (3-11)

تراجع الإنتاج، والإنتاج التراكمي: بئر حقل باكين الأفقية العادية مقابل البئر الأمريكية العمودية العادية



بعكس النوع التقليدي، وتراجع الإنتاج المحكوم بالحدود، فإن الآبار الأفقية المتكسرة في حقل باكين تظهر خط جريان ممتداً. وبالتالي، فإن الموارد التقليدية، وغير التقليدية لها خصائص انخفاض مختلفة، وهو اختلاف ينعكس أيضاً في إنتاجها التراكمي. وتعدّ معدلات الإنتاج الأولي الكبيرة، والإنتاج التراكمي الأعلى إلى حد كبير على مدى حياة البئر، وامتداد متوسط العمر المتوقع، من العوامل التي تجعل المصادر غير التقليدية خياراً اقتصادياً وممتازاً لتعويض الاحتياطي.

بحسب "كتاب حقائق العالم" الذي تصدره وكالة الاستخبارات الأمريكية، فإن الولايات المتحدة هي حالياً الرائدة عالمياً في مجال إنتاج الغاز الطبيعي، وثالث أكبر دولة من حيث إنتاج النفط. وقبل أقل من عقد، كانت الولايات المتحدة في طريقها لتصبح أكبر مستورد للغاز الطبيعي المسال في العالم بحلول عام 2010.[35] أما الوضع الحالي للولايات المتحدة بين المنتجين الرائدين للنفط والغاز في العالم، فيعزى إلى الابتكارات التكنولوجية التي تسهل استغلال مصادر النفط والغاز غير التقليدية.[36] وهناك العديد من جوانب تطوير مشروعات المصادر غير التقليدية والجديرة بالملاحظة لتسليط الضوء على مساهمة التكنولوجيات الجديدة في قطاع النفط والغاز.

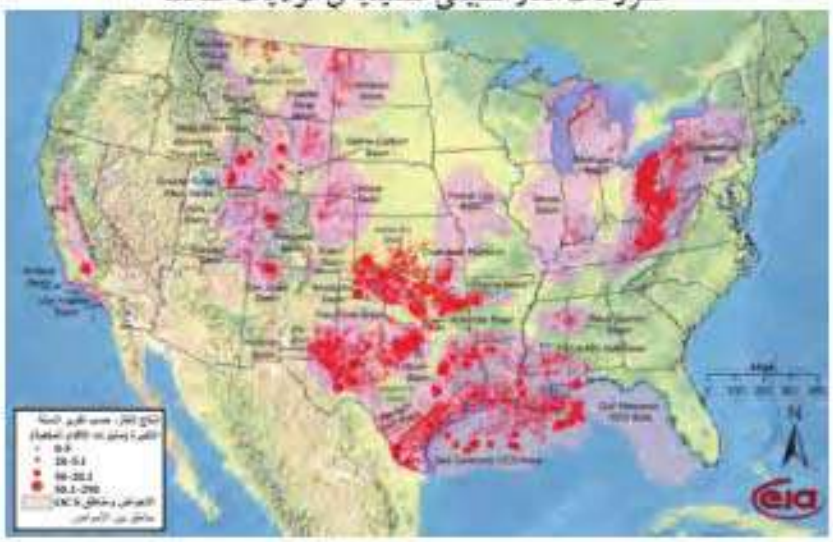
بروز مشروعات مصادر غير تقليدية

فرض العمل في أراضٍ غير مستكشفة مسبقاً تحديات جديدة، ومشكلات حقيقية للقطاع. وكانت التحديات الأولية تلحظ غالباً في مجالات التوصيف، وتحديد البقعة المثلى، والأدوات، والتنفيذ، والاقتصادات غير التقليدية. وكان النهج الذي اتخذه القطاع لمواجهة هذه التحديات يعتمد في معظمه على قاعدة المعرفة الموجودة، والاستفادة من التكنولوجيا الناضجة، ولكن غير المسوّق لها.

لم يكن توصيف وتحديد البقعة المثلى جديداً على علماء الجيولوجيا والكيمياء الجيولوجية الذين يعملون على التنقيب. وكما ذكرنا سابقاً، تعتبر مشروعات المصادر غير التقليدية المنتجة حالياً استكشافات جديدة (يبين "الشكل 3-12" التقارب الجغرافي بين المشروعات التقليدية وغير التقليدية في الولايات المتحدة)، وهي صخور المنشأ لمكامن الهيدروكربون المعروف، أو التكوينات المحكمة للغاية، والتي ترتبط عادة بصخور المنشأ. وقد قام علماء الأرض بدراسة صخور المنشأ وتوصيفها، لفهم أصول ومسارات انتقال تكوينات الهيدروكربون التقليدية ("الأنظمة البترولية" بشكل عام). وهكذا، فإن انتشار ثورة المكامن غير التقليدية جاء نتيجة اكتشاف، أو فهم جديد لتراكمات الهيدروكربون.

الشكل (3- 12 -أ)

مشروعات الغاز الطبيعي التقليدية في الولايات المتحدة



الشكل (3- 12 -ب)

مشروعات الغاز الطبيعي الصخري في الولايات المتحدة

(التراكمات المتمركزة في أحواض)

الشكل (3- 12 -ج)

مشروعات الغاز الصخري في الولايات المتحدة (صخور المنشأ)

المصدر:

US Energy Information Administration (EIA). "Summary Maps: Natural Gas in the Lower 48 States and North America." 2009.

وبالمثل، شهدت تكنولوجيات، من قبيل الآبار الأفقية الطويلة، وتكسير الثقوب المكشوفة، والتكسير بالمياه الزلقة slick water، ومراقبة الهزات الأرضية الخفيفة نضجاً، لكنها لم تحقق الكثير عن طريق التطبيقات المحتملة في المكامن التقليدية. مثلاً، باستثناء بعض التطبيقات الخاصة، أدت خسارة الإنتاجية الناجمة عن هبوط ضغط احتكاك حفرة البئر، إلى جعل تطبيقات الآبار الأفقية الطويلة (أكثر من بضعة آلاف قدم) عديمة الفائدة في معظم المكامن التقليدية. وتجدر الإشارة إلى أن الحافز التقليدي لحفر الآبار الأفقية هو زيادة الإنتاجية بزيادة الوصول إلى المكامن. وفي تطبيقات مشروعات المصادر غير التقليدية، تغيرت مهمة الآبار الأفقية بشكل كبير؛ وهي الآن تعمل فقط كقنوات لتنفيذ عمليات التكسير الهيدروليكي، وتجميع السوائل الناتجة عن ذلك. ولذلك، فإن الإمكانات الحالية لتكنولوجيا الحفر الأفقي وجدت تطبيقاً جديداً في مشروعات المصادر غير التقليدية، وازدهرت إلى نطاق أكبر.

كان التكسير على مراحل تكنولوجيا ناضجة فعلاً، ولكننا لا نبالغ إن قلنا إن التكسير على مراحل وصل إلى ذروة إمكاناته في الآبار الأفقية للمكامن غير التقليدية (مؤخراً، لم يعد مستغرباً أن نجد ما يصل إلى 40 مرحلة في آبار يصل عمقها إلى 10 آلاف قدم). ومن جانب آخر، وبسبب مشكلة التسرب الكبير للسوائل، وانخفاض القدرة على نقل عوامل الدعم المساعدة على استمرار مواضع التكسير مفتوحة (Proppant)، فإن فرص نجاح التكسير بالمياه الزلقة ضئيلة في تطبيقات مكامن الغاز الصخري التقليدية، حيث يكون الهدف هو إحداث كسر طويل وفعال للوصول إلى المكمن. وأصبح تسرب السوائل خاصية مرغوباً فيها لإحداث حيز مكمن نشط حول البئر (ويتم إنجاز هذا بتجديد الكسور الطبيعية الموجودة والمغلقة في الطفل الصفحي)، والذي يعتبر مطلوباً لنجاح الإنتاج من مشروعات الغاز الصخري.

باختصار، جاء ظهور المشروعات الخاصة بالمصادر غير التقليدية كمصدر حيوي للطاقة نتيجة لتقاطع الجهود الحثيثة الرامية إلى استكشاف مصادر النفط والغاز غير التقليدية، وتطوير تكنولوجيات جديدة، ما أزال بعض العقبات التقنية والاقتصادية التي وقفت في وجه استغلال هذه المصادر.[37] ينبغي أن تعزى مراحل التقدم التكنولوجي -ومعظمها في مجالات الأدوات، والآلات الصغيرة- وتطبيقاتها في عمليات الحفر والإكمال إلى ما يعتبر حالياً الأحدث من نوعه في مجال المكامن غير التقليدية. ولكن اقتصاد المكامن غير التقليدية كان يعتبر مصدر قلق جديداً، وقد واجه القطاع منحنى تعليم حاداً من أجل اكتساب الثقة بالتحليل الاقتصادي للآفاق المستقبلية الخاصة بالمكامن غير التقليدية.

الآثار المترتبة على اقتصادات المكامن غير التقليدية

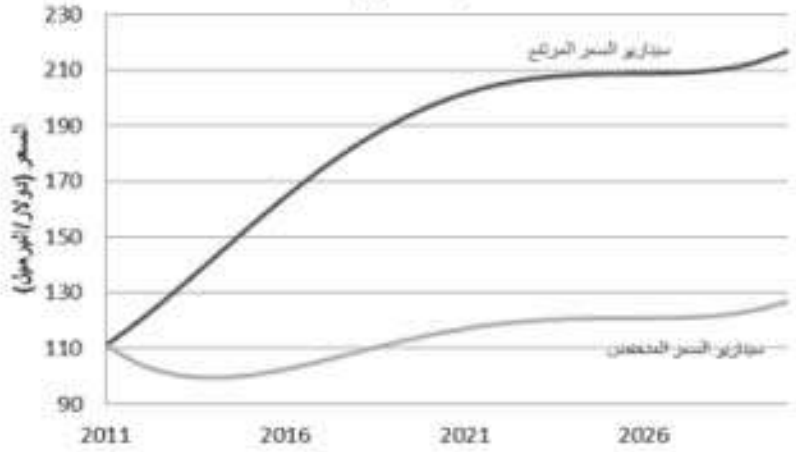
تشكل اقتصادات المكامن غير التقليدية صعوبة في وجه المحللين الاقتصاديين لمصادر الهيدروكربون التقليدية. وتعتبر اتجاهات الهبوط الحاد للإنتاج في مراحل مبكرة منه، انظر الشكل (3-11)، والخطر الكبير المترتب على الانتقال إلى أراضي مجهولة، من العوامل غير

المشجعة. ومع أننا نقترب من السنوات العشر في مجال إنتاج المكامن غير التقليدية، لا توجد حالياً أدلة كافية على أن معدلات التدفق المرتفعة في بداية فترة الإنتاج تساعد على استرداد التكلفة العالية المترتبة على مشروعات المكامن غير التقليدية من خلال الإنتاج المتسارع؛ ومن ثم فإن الإنتاج المستقر على المدى الطويل يوفر اقتصاداً مواتياً نظراً إلى ارتفاع الإنتاج التراكمي، انظر الشكل (3-11). بالإضافة إلى ذلك، أثبتت شركات المشروعات الصغيرة أنه من الممكن النجاح في تحييد عامل الخطر المرتفع من خلال تغيير سريع وتعديل على عجالة للتطبيقات الميدانية. وهذا يختلف عن تطوير المشروع التقليدي الذي تتبعه شركات النفط والغاز الأكثر استقراراً، والذي يستغرق وقتاً أطول بكثير لدراسة المشروعات والحد من المخاطر. وأخيراً، أصبح لزاماً أن تتضمن خيارات إدارة المحافظ الاستثمارية توافر موارد غير تقليدية كخيار مجدٍ وقابل للتطبيق. وكل هذه العوامل تجعل اقتصاديات مشروعات الموارد غير التقليدية أكثر تعقيداً بكثير.

على عكس الاعتقاد الشائع، على سبيل المثال، يبدو أن دور أسعار النفط المواتية في بروز المكامن غير التقليدية محدود. ويبين الشكل (3- 13) المأخوذ من "أوزكان وآخرين" (Ozkan et al.) شركةً تواجه طلباً ثابتاً بمقدار 80 مليون برميل سنوياً، ويظهر البدائل المثلى للإنتاج التقليدي المتراجع، وذلك من خلال موردين اثنين ممكنين هما: استكشاف مكامن نفط تقليدية جديدة، ونفط غير تقليدي من الصخور النفطية في حقل باكين.[38] وبالنسبة إلى كلا السيناريوهين: "السعر المرتفع" و"السعر المنخفض"، فإن خيارات البديل الأمثل تتطلب التحول إلى المكامن غير التقليدية. ولكن الشكل (3- 13) يشير إلى أن التحول إلى المكامن غير التقليدية أقرب للحدوث في حالة سيناريو انخفاض السعر. ولذلك ينبغي لتوقعات انخفاض الأسعار أن تحفز الشركات على استبدال احتياطيات النفط التقليدي بأخرى غير تقليدية. وعلاوة على ذلك، فإن تطوير مشروعات غير تقليدية لا يعد ثورة يحركها ارتفاع الأسعار. وكما أشرنا سابقاً، فإن كل الفضل في ذلك يرجع إلى الابتكارات التكنولوجية؛ إنها فعلاً ثورة تحركها التكنولوجيا.

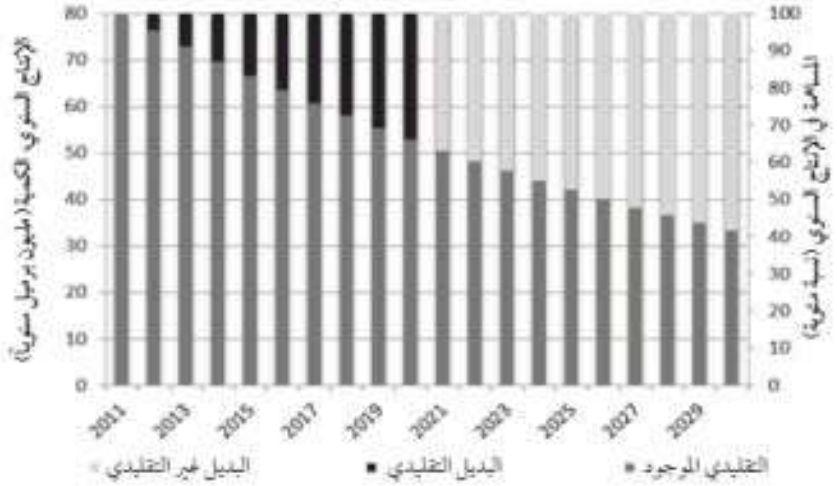
الشكل (3-13 -أ)

تعويض فاقد الاحتياطيات بمصادر تقليدية وغير تقليدية: سيناريو السعر المرتفع والمنخفض



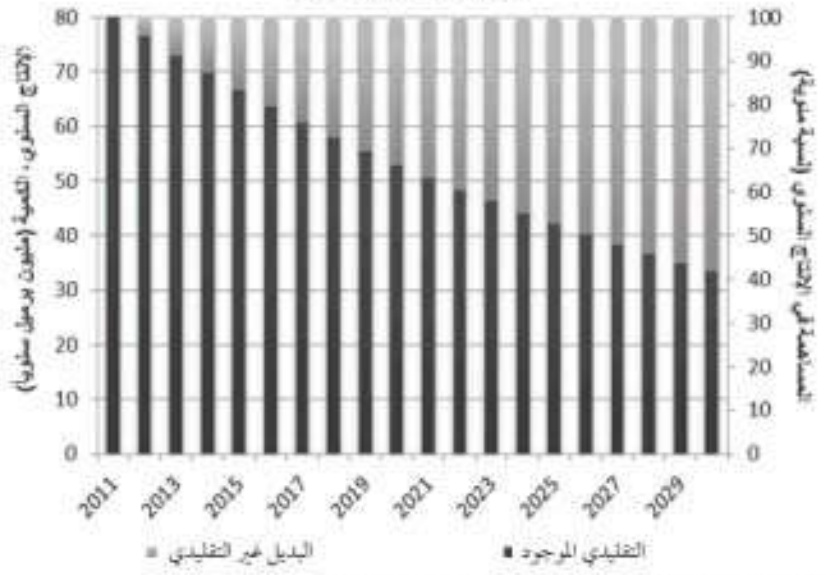
الشكل (3-13 -ب)

سيناريو السعر المرتفع



الشكل (3-13 -ج)

سيناريو السعر المنخفض



ملاحظة: طلب ثابت بمقدار 80 برميلاً سنوياً، نفط غير تقليدي من حقل باكين.

المصدر:

Orkan et al., "Long-Term Economic Viability of Production from Unconventional Liquids-Rich Reservoirs: The Case of Bakken Field," SPE Economics and Management, October 2012.

وكما هي الحال مع أي تطور جديد، فإن الوجود المشترك لإمكانات الموارد التقليدية، وغير التقليدية يجمع بين مشكلة الاستخدام الأمثل، وقرارات المحفظة الاقتصادية. كانت التكلفة الهامشية لتعويض فاقد الاحتياطي بالنفط التقليدي تبلغ 98 دولاراً للبرميل في عام 2012، انظر الشكل (3-14). للاطلاع على المثال المنظور ذاته في الأعلى،[39] يبين الشكل (3-15) أن النفط التقليدي لا يمكنه الحفاظ على تدفق نقدي إيجابي للشركة، والبديل الاحتياطي غير التقليدي هو الخيار الأفضل.

الشكل (3-14)

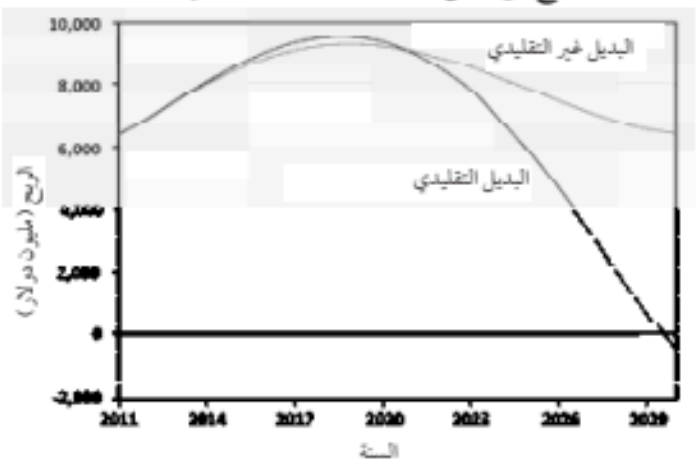
التكلفة الهامشية لاستبدال المصادر التقليدية

المصدر:

Ozkan, et al., 2012, op. cit.; EIA, 2011, op. cit.; K. Mackenzie, "Marginal Oil Production Costs are Heading Towards $100/barrel," Financial Times, May 2, 2012; and J. Herron, "Oil Price Likely to Stay Buoyed by Marginal Costs," The Wall Street Journal, May 22, 2012.

الشكل (3-15)

الأرباح من بدائل الاحتياطيات التقليدية وغير التقليدية

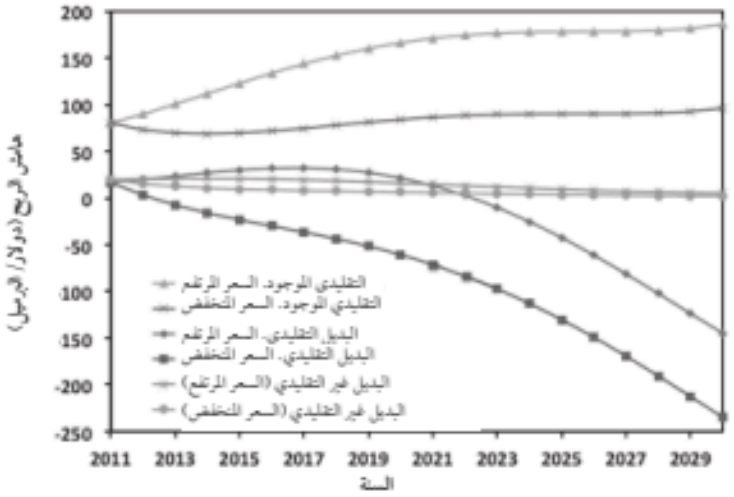


المصدر: Ozkan, et al., op. cit.

ولكن، كما يظهر في الشكل (3-16)، فإن هامش الربح من المكامن غير التقليدية بناءً على توقعات أسعار النفط الحالية سيتراوح ما بين 2 و5 دولارات للبرميل في العشرينيات من القرن الحادي والعشرين. ولا يوفر نطاق الربح هذا وقاية من تقلبات الأسعار، أو هامشاً كافياً للخطر.[40] ولأن شركات النفط لا تستطيع السيطرة على الأسعار، فإن الخيار الأكثر قبولاً لزيادة هامش الربح هو خفض تكاليف الاستخراج والتطوير، وهذا يتطلب استثمارات كبيرة في البحث والتطوير.

الشكل (3-16)

هوامش ربح الاحتياطيات التقليدية الموجودة والبديل التقليدي وغير التقليدي



ملاحظة: هوامش الربح في ظل توقعات السعر المرتفع والسعر المنخفض على سبيل المثال، أعدت في الاعتبار من قبل أوزكان.
المصدر: Orkun et al., 2012, op. cit.

أحدث التكنولوجيات في مجال المكامن غير التقليدية

مع أنها بدأت في أواخر عقد التسعينيات من القرن العشرين، أدت موجة الابتكارات في تكنولوجيات الحفر والاستكمال (من حيث توافر المواد وكلفة التصنيع على حد سواء) إلى تغيير كبير في النجاح التقني والاقتصادي لتطبيقات هذه التكنولوجيا.

وهدأت هذه الموجة مع تضاؤل المزايا المتوقعة من تطورات أخرى في هذه المجالات. وأيضاً، على الرغم من تطبيقات التكنولوجيا المثيرة للإعجاب في السنوات العشر الأخيرة، كان فهم الآليات الفيزيائية التي تحكم إنتاج السوائل من مكامن غير تقليدية ذات مسام دقيقة نانوية (Nano) محدوداً. ولما بدأت الهواجس تجاه إدارة المكامن على المدى الطويل تطغى على الضجة التي حصلت في البداية حول مشروعات المصادر غير التقليدية، بدأ الاهتمام يتزايد بالأبحاث الفعلية لهندسة المكامن غير التقليدية. وأتى هذا الاهتمام الجديد ليعزز البحوث الأساسية حول فهم آلية التدفق في المسام الدقيقة في المكامن غير التقليدية، والتي كانت خارج نطاق البحث والتطوير التقليدي في القطاع.

ويبين الشكل (3-17) المكامن التقليدية (ذات المسام الواسعة Macro والصغيرة "الميكروية" Micro)، والمكامن غير التقليدية (ذات المسام الدقيقة "النانوية") وفقاً لأنظمة نودسن للتدفق Knudsen flow regimes.[41] من الواضح أن العلاقات التأسيسية التقليدية للتدفق في الأوساط المسامية، مثل "تدفق دارسي Darcy flow"، غير قابلة للتطبيق في المسام النانوية الدقيقة. وقد أثبتت البحوث الحديثة[42] أن التدفق الانزلاقي في المسام الدقيقة "النانوية"، بالإضافة إلى "تدفق دارسي" في المسام الصغيرة "الميكروية"، يلعب دوراً كبيراً يسهم في إنتاجية الآبار في مكامن الغاز الصخري. وبالإضافة إلى التدفق الانزلاقي، فإن عدم التجانس الذي يسببه المحتوى العضوي لصخور المنشأ، والدور المحتمل لعملية "الامتزاز desorption" كان موضوع البحث، وشكل إضافة إلى نماذج التدفق الجديدة الخاصة بمكامن الغاز الصخري.

بسبب انخفاض أسعار الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة، مقابل ارتفاع أسعار النفط، اكتسبت المكامن الغنية بالسوائل، مثل "باكين" و"إيجل فورد"، مزيداً من الاهتمام في الآونة الأخيرة. وتنتج هذه المشروعات غير التقليدية في العادة من طبقات كربونات محكمة جداً (بنفاذية دارسي نانوية) ولكنها متكسرة طبيعياً، وعلى مقربة كبيرة من صخور المنشأ، أو محصورة بينها (عادة ما تكون صخراً زيتياً). لم تفلح المحاولات الأولية

التي بذلها القطاع لتطبيق نماذج المكامن التقليدية والمتكسرة طبيعياً على هذه المشروعات غير التقليدية، في شرح دعم مصفوفة نانو-دارسي (nD)، ومحاكاة سلوك الإنتاج في ظروف تدفق متعدد المراحل.

الشكل (3-17)

"أنظمة تدفق نودسن" ومواصفات المكامن التقليدية (المسامية-الميكروية) وغير التقليدية (المسامية النانوية)

المصدر:

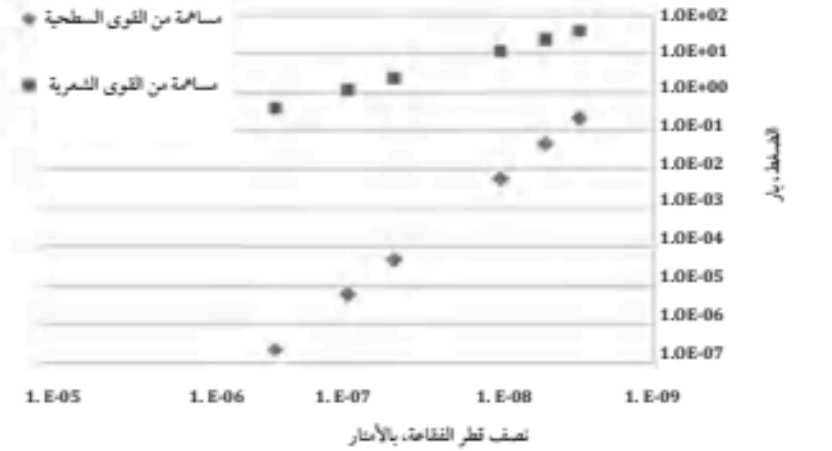
M. Knudsen, "Die Gesetze der Molekularstromung und der Inneren Reibungsstromung der Gase durch Rohren," Ann. Physik, vol. 28, 1909.

كان كبح نقطة تكوّن الفقاقيع في المسام النانوية من مجالات الاهتمام البحثي الأخيرة.[41] وهذا مثال جيد عن المفاهيم التقليدية التي تفشل في شرح فيزياء تدفق السوائل في التشكيلات ذات المسام النانوية. وكما ناقش فرينجي أوغلو (Firincioglu) وآخرون،[44] فقد أصبح وصف الخلية التقليدي من حيث الضغط-الحجم-الحرارة للديناميكا الحرارية للأوساط المسامية، غير قابل للتطبيق عندما يكون حجم المسام في

حدود النانومترات.[45] وكما هو مبين في الشكل (3- 18) عندما تكون المسام بهذا الحجم، تصبح قوى السطح مماثلة لـ"القوى الشَّعرية capillary forces".[46] والقوى السطحية تكون في العادة مهملة في الوصف التقليدي من حيث الضغط والحجم والحرارة (PVT)، وذلك بسبب مسامها ذات الحجم الكبير؛ وهي العلاقات بين مساحة السطح الصغيرة والحجم في المسام التقليدية الميكروية.

الشكل (3-18)

مقدار القوى السطحية بالنسبة إلى مقدار القوى الشَّعرية



ملاحظة: مبة السائل من حقل باكين.

المصدر:

T.E. Firincioglu et al., "Thermodynamics of Multiphase Flow in Unconventional Liquids-Rich Reservoirs," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, October 8–10, 2012.

يحتاج تأثير خزان الاحتواء وصفاً ترموديناميكياً أكثر تفصيلاً للتدفق المتعدد المراحل في المسام النانوية. ومن الأمثلة على ذلك التعريف التقليدي لضغط نقطة تكوّن الفقاعة. وفي تجارب الموائع الخاصة بخلايا الضغط والحجم والحرارة التقليدية، من المفترض أن يكون نصف قطر الثقب كبيراً بما يكفي ليكون الضغط الشَّعري ضئيلاً عند نقطة تكوّن الفقاعة. وهذا يؤدي إلى فكرة ضغط نقطة تكوّن الفقاعة، حيث يكون الضغط في مرحلتي

الترطيب (wetting)، وعدم الترطيب (non-wetting) متساوياً في لحظة ظهور فقاعة الغاز الأولى. وفي الثقوب النانوية، يمكن تحديد العلاقة بين مرحلتي الترطيب وعدم الترطيب بالصيغة التالية:

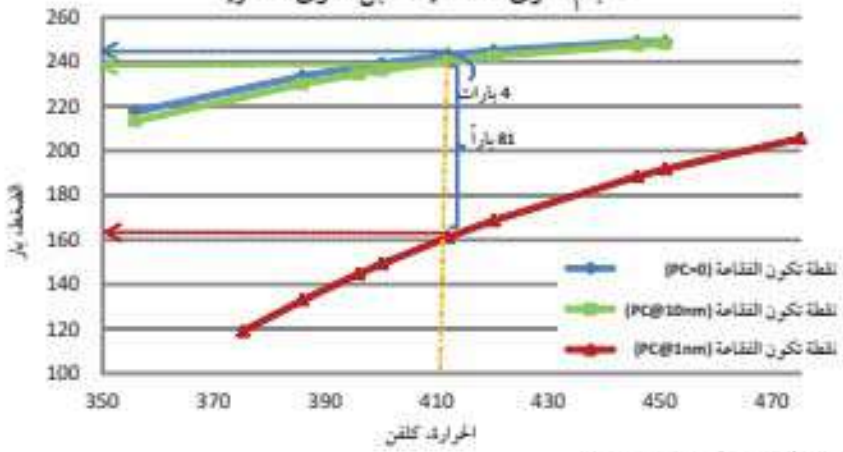
$$p_{non-wetting} - p_{wetting} = \frac{2\sigma}{r_p} + \Pi_{surface} \quad (1)$$

حيث إن σ هو التوتر السطحي البيني، وrp هو نصف قطر الثقب، و Πsurface هو قوى السطح (قوى فان دير فالس، والقوة اهيكلية، والقوة الكهربائية الساكنة، وقوة الامتزاز).

ويتناول الشكل (3- 19) عينة من سوائل حقل باكين، يقارن ضغوط مرحلة الترطيب (السائل) تحت ثلاثة ظروف مختلفة، حيث إن rp = ∞ يعني قياسات المواقع المأخوذة في خلايا الضغط والحجم والحرارة التقليدية؛ والحالات التي يكون فيها rp = 10و1 نانومتر تأخذ في الاعتبار تأثير الحزان الحابس على ضغط نقطة تكوّن الفقاعة للمرحلة السائلة. كما يشير أثر الحزان الحابس المبين في الشكل (3- 19) إلى أهمية دمج الفيزياء غير التقليدية للتدفق في نمذجة تدفق المكامن.

الشكل (3- 19)

حجم القوى السطحية مقابل القوى الشَّعرية



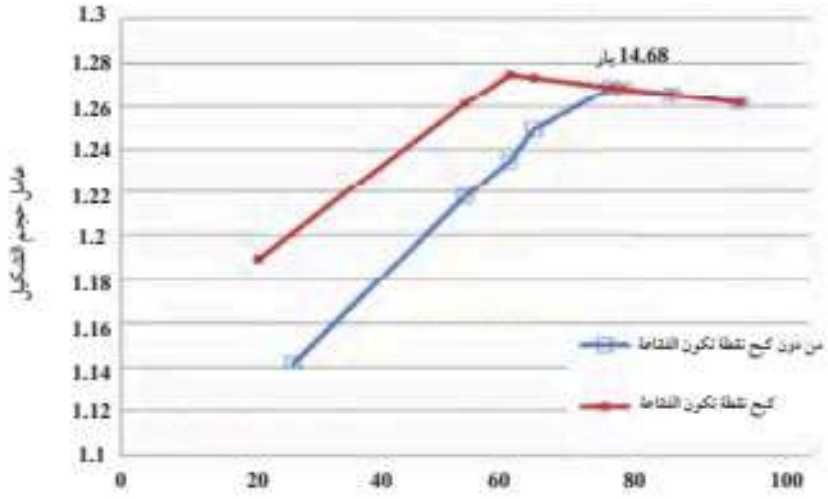
ملاحظات: عينة السائل من حقل باكين.

المصدر: T.E. Firoozabadi et al. op. cit.

تأثير الخزان الحابس المقابل في عامل حجم التشكل للسائل المبين في الشكل (3-19) يظهر كذلك في الشكل (3-20) بالنظر إلى حالة (rp = 10 نانومتر) المبينة سابقاً. وتشير النتائج المبينة في الشكل (3-20) إلى زيادة كبيرة في الاحتياطيات التي يمكن استخراجها بالمقارنة مع قياسات ضغط الكتلة وحجمها وحرارتها.

الشكل (3-20)

تأثير كبح نقطة تكوّن الفقاعة في عامل حجم التشكيل



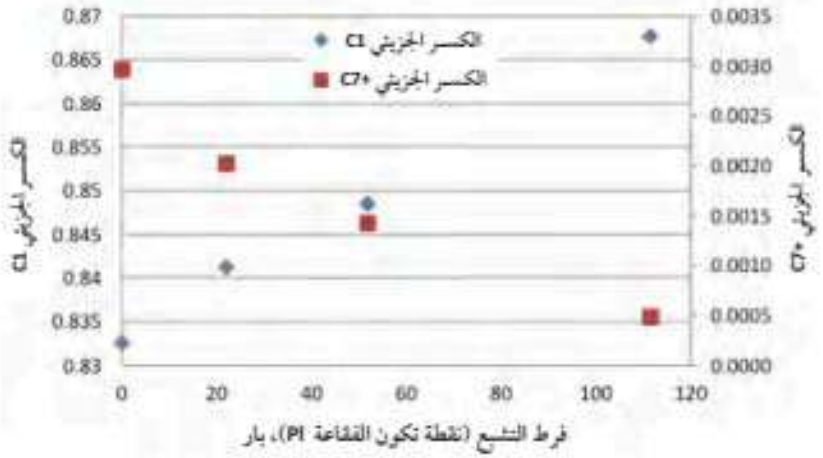
ملاحظات: عينة السائل من حقل باكين.

المصدر: T.E. Firoozabadi et al., op. cit.

أدى بحث أثر الخزان الحابس في خصائص السوائل إلى اكتشاف نظم تدفق أخرى محتملة في التشكيلات المتجانسة ذات المسام النانوية. ويبين الشكل (3-21) المأخوذ من فيرينسيوجلو وآخرين، أثر فرط التشبع (كبح نقطة تكوّن الفقاعة) في C1 و C7+. كما يشير اختلاف ضغوط السائل عند نقطة تكوّن الفقاعة كنتيجة لاختلاف أحجام المسام، إلى تدفق السائل المدفوع بالتركيز وبالضغط التناضحي في التشكيلات ذات المسام النانوية.

الشكل (3-21)

أثر فرط التشبع في تركيب السائل

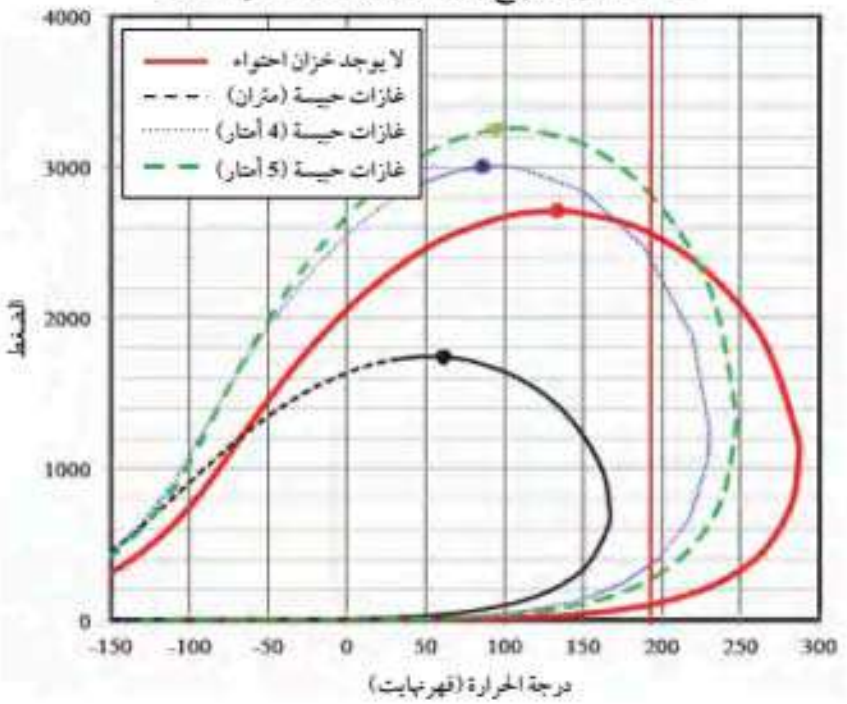


المصدر: T.E. Firoozabadi et al., op. cit.

سجّل سابياني وديفيجودا وآخرون (Sapmanee and Devegowda et al.) نتيجة مماثلة.[47] ودرسوا تحول الطور-الغلاف بسبب قرب المسام الخاصة بمزيج مكثفات غاز ثلاثية من تشكيل إيجل فورد. وكما هو مبين في الشكل (3-22)، فقد أوضحوا أن تسرب المكثفات المتوقع يعتمد على توقعات السوائل السائبة (غير المحبوسة في خزان محكم)، لن يحدث أبداً تحت محتوى ذي مسام بحجم 2-5 نانومترات بدرجة حرارة معينة للمكمن (الخط العمودي في الشكل 3-22). وتشير هذه النتائج إلى الحاجة إلى المزيد من الأبحاث الأساسية لتحديد تدفق السائل في المسام النانوية للمكامن غير التقليدية.

الشكل (3- 22)

مخططات طورية لمزيج مكثفات الغاز الحيـة وغير الحيـة



المصدر:

K. Sapmanee, "Effects of Pore Proximity on Behavior and Production Prediction of Gas/Condensate," MS Thesis, University of Oklahoma, 2011; and D. Devegowda, et al., "Phase Behavior of Gas Condensates in Shales Due to Pore Proximity Effects: Implications for Transport, Reserves and Well Productivity," presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, October 8–10, 2012.

التقدم نحو تقنيات المكامن غير التقليدية

أكدت التجربة الحالية لإدارة المكامن الحاجة إلى تطوير فهم أفضل وأكثر شمولاً للتدفق والنقل في المكامن غير التقليدية. وينبغي أن ينبع هذا الفهم عن بحث أساسي حول ظواهر المسام المتعلقة بمكامن الهيدروكربون، والتي بدأت بالفعل. وينبغي أن يكون ما ينتج عن البحوث الأساسية هو بناء أوصاف الظواهر الخاصة بآليات التدفق والنقل في التشكيلات ذات المسام النانوية.

المجال الآخر الذي يتم التركيز عليه هو ظروف السطح البيني وآليات نقل السائل بين مصفوفة مسام نانوية والكسور، لتقديم شرح أكثر واقعية عن الدور الذي يؤديه النسيج الغشائي الصخري غير التقليدي المحكم للغاية. بالإضافة إلى ذلك -ومن أجل تحليل وتوقع الإنتاج من المكامن الغنية بالسوائل- من الضروري تحديد ونمذجة الدعم الذي توفره صخور المنشأ للإنتاج من التشكيلات المجاورة المتكسرة.

ومن المتوقع أن تؤدي هذه الجهود البحثية إلى تطوير نماذج ومظاهر تدفق جديدة من أجل تحقيق إدارة أفضل لمشروعات المصادر غير التقليدية. وهناك أيضاً حاجة واضحة إلى تطوير وتحسين النماذج وطرق تفسير البيانات المؤقتة الخاصة بالضغط والمعدل.

بشكل عام، ونتيجة لتطوير المكامن غير التقليدية، ازداد مستوى الوعي بأهمية البحوث الأساسية. وتسلط الأدبيات الحديثة في مجال هندسة البترول الضوء على المجالات البحثية غير التقليدية؛ مثل: تطبيق تكنولوجيا النانو، والفيزياء الإحصائية والميكانيكا، والموائع الدقيقة/ الميكرونية.[48]

استنتاجات

لعبت الابتكارات التكنولوجية على مدى تاريخ قطاع النفط والغاز دوراً أساسياً. ولكن منذ مطلع عقد الثمانينيات في القرن العشرين، كان هناك هبوط حاد في استثمارات البحث والتطوير من قبل الشركات المشغِّلة. وبرغم الزيادة في إنفاق شركات الخدمات على البحث والتطوير منذ منتصف التسعينيات من القرن العشرين، فإن بنية القطاع التحتية الحالية الخاصة بالبحث والتطوير تفرض تحديات خاصة. وبفضل الاهتمام القصير المدى الذي أبدته شركات الخدمات والشركات المشغلة في مكافأة المساهمين، فقد ركزت معظم أنشطة البحث والتطوير على الجانب التنموي. وكان هناك ما يكفي من تأكيد البحث الأساسي لتحقيق اختراقات مستقبلية. وفي الواقع، إن معظم التطورات التكنولوجية في العقد الأخير من القرن العشرين والعقد الأول من القرن الحادي

والعشرين، كانت تقوم على البحث الأساسي الذي تم قبل عقد الثمانينيات من القرن العشرين. ولكن تحديات تطوير مصادر غير تقليدية في الولايات المتحدة، أدت إلى تغيير في التركيز نحو مزيد من البحوث الأساسية مؤخراً. وفرضت ثورة المكامن غير التقليدية مؤخراً تحديات جديدة أمام قطاع النفط والغاز، ولاسيما في أمريكا الشمالية. وكان هناك نتيجة مهمة لتطوير المصادر غير التقليدية تمثلت في تجدد الاهتمام ليس بالبحث التنموي فقط بل بالبحث الأساسي أيضاً. فخلال السنوات الماضية، تزامنت أنشطة البحث الرئيسية في مجال تطوير مصادر غير تقليدية، بشكل وثيق مع مجالات البحث العلمي الأحدث من نوعها، مثل تكنولوجيات النانو، والفيزياء الإحصائية، والميكانيكا، والموائع الدقيقة/ الميكرونية. فالنجاح الواضح في مجال استخراج النفط والغاز من التشكيلات التي كان متعذراً استخراجها منها في السابق من خلال التحسينات التقنية والعلمية، ووجود مجموعة من الأدوات والتكنولوجيات المطورة حديثاً، رفع مستوى الثقة بالنفس لدى قطاع النفط والغاز، فضلاً عن ثقة الناس عموماً بهذا القطاع. كما تدل هذه التطورات الجديدة على أهمية توسيع حدود علم وهندسة البترول، لتتجاوز التكنولوجيات والمفاهيم التقليدية. والأهم من ذلك أن ثورة المصادر غير التقليدية في الولايات المتحدة شكلت قدوة تحتذي بها بقية أنحاء العالم؛ لتبحث عن تكنولوجيات وحلول جديدة بهدف تحسين عمليات الاستخراج من مصادر الهيدروكربون. وأخيراً، وكجانب آخر من جوانب التطوير الإيجابي، تجدر الإشارة إلى زيادة مستوى وعي وتأثير شركات النفط الوطنية في مجال البحث والتطوير؛ ومن المتوقع أن تقوم شركات النفط الوطنية في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا بدور متزايد في تطوير التكنولوجيا في المستقبل.

الفصل الرابع

السياسات العامة واتجاهات الاستثمار في تكنولوجيات الطاقة

روبرت سكينر

لو كان بمقدورنا أن نقف على سطح القمر على مدى ربع القرن الماضي، مستمعين إلى حديث البشر على سطح الأرض، وأن نصطفي الحوار المؤسسي الدولي والتغطية الإعلامية بشأن قضايا الطاقة، لكان من المنطقي أن نتوقع، لدى العودة إلى كوكبنا اليوم، رؤية تغيرات كبيرة في بيان ميزانية طاقة البشرية. من المؤكد أننا كنا سنتوقع تغيراً كبيراً في أنماط الاستثمار في تكنولوجيا الطاقة لمصلحة التكنولوجيات المنخفضة الكربون، وعلامات واضحة على التغيير في حصص وقود الطاقة الأولية، وكذلك، بصورة خاصة، الاتجاه التنازلي في الانبعاثات العالمية من ثاني أكسيد الكربون. وعلى أي حال، لو غبنا لنصف تلك المدة -أي ما بين عامي 1973 و1983- لعدنا لنرى عالماً مختلفاً بدرجة ملحوظة من حيث قضايا أمن النفط التي هيمنت على الخطاب الدولي على مدى تلك الفترة.

وهذا الخيال يصلح لأن يكون إطاراً لفحص اتجاهات الاستثمار في تكنولوجيات الطاقة. فالأخطار التي تشكلها البشرية على ذاتها يجري توثيقها ومناقشتها منذ نحو قرن، وهناك بعض التنبؤات التي لم تتحقق[1] -على الأقل إلى الآن- فيما أضيفت تهديدات جديدة إلى القائمة.[2] إن الطاقة جانب أساسي من جوانب الوضع البشري، وهي -وهذا أمر غير

مستغرب- حاضرة في معظم الأخطار. وكما هي الحال بالنسبة إلى أي كائنات، فإن البشر يضعون استراتيجيات كثيرة للحصول على الوقود وتحويله إلى طاقة لضمان بقائهم. أما الوسائل للقيام بذلك -أي التكنولوجيات- المستخدمة في سلسلة استكشاف موارد الطاقة واستخراجها ونقلها وتحويلها واستخدامها فهي متعددة. واتجاهات الاستثمار في تكنولوجيات الطاقة موضوع واسع، ولأغراض هذه الورقة، سوف يُقتصر على دراسة عدد محدود من العناصر لمعالجة المسألة، وهي: هل تتسق اتجاهات الاستثمار في الطاقة مع العناصر الرئيسية للخطاب الدولي بشأن سياسات الطاقة وتستجيب لها، أو حتى تلغيها؟

ويرد تعريف "الاستثمار" في قاموس أكسفورد للغة الإنجليزية على النحو التالي: "تصرف متمثل في تخصيص الوقت، أو الجهد، أو الطاقة، لعمل معين توخياً للحصول على نتيجة مفيدة: شيء يستحق الشراء؛ لأنه قد يكون مربحاً، أو مفيداً في المستقبل".

وبعبارة أخرى، يتضمن الاستثمار تصرفات تهدف إلى استدرار مزايا مقبلة تفوق تكلفة تلك التصرفات. وتتجلى هذه التصرفات في مظاهر كثيرة: في شكل نشاطات البحث، والتطوير، وبراءات الاختراع، ونشاطات الدمج والتملك، واستثمارات الصناديق الفردية أو التقاعدية في الأسهم، والاستثمارات الرأسمالية في التكنولوجيات الجديدة وتوظيفها، بما في ذلك المعدات المنتجة للطاقة والمستخدمة لها.

وتُستهل هذه الورقة بنقاش مرجعي مختصر حول التوازنات والاتجاهات الرئيسية للطاقة، وتقارير الوكالة الدولية للطاقة بشأن الاتجاهات الشاملة للاستثمارات. ويشار في جميع أجزاء الورقة إلى أوجه التناقض والاتساق في استخدام رأس المال مع النتائج المرجوة المفترَضة لـ"خطاب السياسات". وتقدَّم الحالة الخاصة بتكنولوجيات الطاقة المتجددة بعض الدروس المهمة. وتجري دراسة عودة النفط والغاز الأمريكيين، وبصورة خاصة الهيدروكربونات غير التقليدية، كمثال على أحد المجالات الاستثمارية السريعة والإنتاجية التي كانت، قبل سنوات معدودة فقط، إما غير متوقعة، وإما مقدَّرة بأقل من قيمتها بكثير،

ويوجد جدل بشأن ما تنطوي عليه من حوافز على صعيد السياسات. كما تتعرض الورقة لاستثمارات الأسهم واتجاهات الملكية الفكرية كبدائل عن الاهتمام المجتمعي بالحلول التكنولوجية للقضايا البيئية، وتختم الورقة بمعلومات محدَّثة مختصرة عن الاستثمار في احتجاز الكربون وتخزينه.

الاتجاهات العالمية في استثمارات الطاقة

خلفية مرجعية

جاء انهيار أسعار النفط في عامي 1985 و1986 استجابة لتراجع الطلب، وزيادة المعروض، وإخفاق منظمة البلدان المصدرة للنفط "أوبك" في إدارة المعروض على نحو تعاوني؛ ما ألقى بعبء تخفيض الإنتاج على المملكة العربية السعودية (والكويت) في مواجهة إنتاج النفط خارج إطار المنظمة. كما أسهمت الحرب بين إيران والعراق في خفض الإنتاج، وخصوصاً في إيران. وبينما كُتب الكثير عن تلك الفترة الحرجة في تاريخ النفط، فإنه كثيراً ما يُنسى، أو يُغفل أن جذور الزيادة في إنتاج النفط خارج إطار "أوبك"، لا تعود إلى تأميم الصناعة في البلدان المنتجة للنفط الرئيسية في أوائل السبعينيات من القرن العشرين فحسب. فالبدايات تعود إلى قبل ذلك بكثير في ميدان العلم والتكنولوجيا ، أساساً في شكل أفكار جديدة بشأن الأماكن التي يمكن أن يوجد النفط بها في المناطق البحرية عند الجروف القارّية، بعيداً جداً عن الامتدادات الجيولوجية البسيطة للحقول البرية. ولاحظ باحثون بريطانيون وكنديون يعملون بشكل مستقل، وجود أنماط منتظمة من القطبية المغناطيسية في الصخور الغنية بالحديد في قاع المحيط الأطلسي. وأدى اكتشاف الأشرطة المغناطيسية في قاع المحيط، مقترناً بالاكتشافات المبكرة للتأريخ الإشعاعي للصخور [تأريخ عمر الصخور بالقياس الإشعاعي] على أيدي علماء أمريكيين، إلى تأكيد نظرية تكتونيات الصفائح [تصف

الحركات الكبرى لغلاف الأرض الصخري]. وبينما قدمت الحكومات الدعم لأولئك العلماء، لم يكن القصد هو اكتشاف نظرية جيولوجية موحدة للأرض من أجل إنهاء هيمنة "أوبك" على المعروض بعد ذلك بعقدين.

والفكرة التقنية الأساسية النابعة من هذه البحوث في الخمسينيات، وأوائل الستينيات من القرن العشرين، والتي أدت إلى فكرة أن نظماً بترولية يمكن أن توجد في الأعماق المقابلة للهوامش القارية نتج عنها نصف الكمية على الأقل من النفط المنتج تدريجياً خارج إطار "أوبك" في الفترة ما بين عامي 1973 و1984، ومقدارها 9.9 مليون برميل يومياً (على سبيل المثال في خليج المكسيك في الولايات المتحدة، وبحر الشمال، وقبالة سواحل غرب إفريقيا والبرازيل في تسعينيات القرن العشرين). وبطبيعة الحال، أدى ارتفاع الأسعار بواقع ستة أضعاف في سبعينيات القرن العشرين إلى أن تصبح هذه العملية المكلفة لاستخراج النفط البحري ممكنة.

وبينما يكتسي رصد اتجاهات التكنولوجيا أهمية حاسمة في إعداد التوقعات؛ فيما يخص الطاقة، فإنه كثيراً ما يكون من الصعب جداً، إن لم يكن من المستحيل تحديد نقاط بداية التطورات التي من شأنها إحداث تحولات جذرية. وعلى وجه الخصوص، فإن دور السياسات في السلسلة المتقلبة، بدءاً بالفكرة، ومروراً بالبحوث والاكتشاف، وانتهاءً بالاستغلال التجاري للتكنولوجيات التعطيلية [سُمِّيت كذلك لأنها تعطل ما قبلها، ويقال: الإحلالية والهدّامة والمجدِّدة والمعرقِلة والمُلغِية والكاسحة]، يندر أن يكون قابلاً للإدراك. ولذا، فإن التوقعات التي تُبنى على فكرة أن السياسات العامة سوف تغيِّر مسار الاستثمار، يمكن أن تنقلب رأساً على عقب بفعل الأحداث المفاجئة. ولإيضاح ذلك، تجري دراسة حالتي تكنولوجيات الطاقة المتجددة والنفط والغاز غير التقليديين في أمريكا الشمالية.

سياسات الطاقة وحصص الوقود في الماضي

قبل دراسة إذا ما كانت اتجاهات الاستثمار الحالية تبدو متجاوبة مع السياسات، من المفيد استذكار الاتجاهات ضمن أطر السياسات السابقة. ويبين الشكل (4-1)، الذي يعرض الاتجاهات السابقة في قدرات توليد الطاقة الكهربائية في منطقة "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية"، تأثير التغيرات في النمو الاقتصادي وارتفاع أسعار النفط، وسياسات الطاقة. فقد كانت الفترة من عام 1974 إلى عام 1990 هي "حقبة اللانفط"، كما يجسدها تقرير الوكالة الدولية للطاقة لعام 1977، القائم على تحكُّم الدولة، والمعنون "مبادئ سياسات الطاقة،[3] بحافز من الصدمة النفطية لعامي 1973 و1974 وما استتبعته من هواجس بشأن أمن إمدادات النفط. وكانت الحقبة تتسم بسياسات طموحة قائمة على الابتعاد عن النفط، وتشجيع الفحم والطاقة النووية، وعدم تشجيع استخدام الغاز الطبيعي في توليد الطاقة، والتركيز على "حفظ الطاقة" (بدلاً من الكفاءة في استخدامها). وأعقبت ذلك فترة انتقالية بعد انهيار أسعار النفط في منتصف الثمانينيات من القرن العشرين، عندما انحسر اهتمام دول "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" بسياسات الطاقة؛ ومن بعد ذلك، من عام 1990 إلى عام 2000، في أثناء ما ينطبق عليه وصف "حقبة الأسواق" مع انهيار حائط برلين، هيمن تحرير أسواق الكهرباء والغاز والتركيز على قوى السوق على سياسات الطاقة؛ واعتمدت "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" وغيرها من المؤسسات الاقتصادية الغربية سياسات قائمة على السوق،[4] وشجعت بقوة باقي العالم على القيام بالشيء نفسه. بيد أن تغير المناخ بدأ يصبح هاجساً متنامياً. وفي أثناء فترة ما بعد عام 2000 -التي يمكن تسميتها "حقبة اللاكربون"- أصبحت سياسة الطاقة هي سياسة المناخ أساساً. ومن ثم، زادت الاستثمارات في الغاز الطبيعي، ومصادر الطاقة المتجددة، واستمر تراجع الفحم. وبذلك، كان للسياسات في الماضي بعض التأثير في الاستثمارات في قطاع الطاقة بدول "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية"، لكن الأسعار كانت أكثر تأثيراً.

الشكل (4-1)

قدرات توليد الطاقة لدى دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية:

التخضير مع التغيير في السياسات

المصدر: OECD/IEA Electricity Information (2012)

هل للاستثمار الكبير في مصادر الطاقة المتجددة منذ عام 2000 المبين في الشكل (4-1) تأثير من حيث توليد الطاقة الكهربائية والحدّ من الانبعاثات الكربونية، وهل يفضي إلى معروض كهربائي أكثر قوة وأمناً؟ وللإجابة عن هذين السؤالين، تجري أدناه دراسة أحدث اتجاهات الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة.

العقد الماضي: هل تنبئ الاتجاهات الأخيرة بالمستقبل؟

إن الخطاب الدولي المحيط باستجابات السياسات إلى خطر تهديد تغير المناخ محور أساسي في المناقشات بشأن السياسات على مدى أكثر من عشرين عاماً. لقد جرى أول اجتماع للفريق الحكومي الدولي بشأن تغير المناخ في عام 1988. واستند اتفاق كيوتو إلى

عام 1990 باعتباره سنة الأساس لتخفيض الانبعاثات من قبل البلدان الصناعية، ولـذلك فهو نقطة مرجعية مهمة -وإن كانت مختلقة- في تاريخ السياسات الدولية؛ كان يتحـتم أن تؤثر في عرض الطاقة والطلب عليها، إذا ما تُرجمت إلى أفعال ملموسة.

من المؤكد أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربـون تراجعـت في الاتحـاد الأوروبي بتركيبتـه الحالية؛ بيد أن هذا يعطي فكرة خاطئة عـن التغيـرات السياسـية والاقتصـادية والهيكلية الرئيسية التي أثَّرت في المنطقة في عام 1990 (التراجع الحاد في استهلاك الفحـم في المملكـة المتحدة، والتوسع النووي الفرنسـي، وإغلاق محطـات تعمـل بـالفحم في شـرق ألمانيـا) وكذلك الكساد الذي شهده عام 1991. وإذا اكتفينـا بـالنظر إلى أعضـاء منظمـة التعـاون الاقتصادي والتنمية الأوروبيين في ذلك الوقت (باستثناء ألمانيـا)، لا يمكـن إلا للـدنمارك وفرنسا والسويد والمملكة المتحدة أن تـزعم أنهـا خفضـت انبعاثاتهـا حتـى عـام 2011.[5] ويعزى الانخفاض الحاد لدى ألمانيا إلى تراجع فحـم "الليجنيـت"، والفحـم الحجـري في جمهورية ألمانيا الديمقراطية السابقة، وإلى الاستثمارات الهائلة في مصادر الطاقة المتجـددة في فترة أحدث.

وما بين عامي 2000 و2011، زاد المعروض العالمي من الطاقـة الأوليـة بنسـبة 31٪، انظر الجدول (4-1). وزادت مصادر الوقود الأحفوري كمجموعة بنسـبة 32٪؛ مـا نـتج عنه تصاعد كثافة الكربون على نحو طفيف، ولكن بشكل متواصل، (زادت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 28٪). وبينما كان من الممكن أن يتراجع دور الفحم -كـما حـدث في مناطق "منظمة التعاون الاقتصـادي والتنميـة"، حيـث تراجعـت انبعاثـات ثـاني أكسـيد الكربون بنسبة 1٪- فمن بين مصادر الوقود الأولي التقليدية، أو الرئيسية، شهد المعروض من الفحم أكبر زيـادة منـذ عـام 2000 (بنسـبة 57٪)، وزاد اسـتهلاك الفحـم بـأكثر مـن الضعف في البلدان غير الأعضاء في منظمـة التعـاون الاقتصـادي والتنميـة. أمـا الأخبـار الجيدة من حيث اتساق الاسـتثمارات مـع تطلعـات السياسـات فهـي أن مصـادر الطاقـة المتجددة (بما فيها الطاقة المائية) زادت بنسبة 51٪، بينما زاد إنتاج الطاقة المتجددة غير المائية بنسبة 277٪ (برغم كونه من قاعدة صغيرة جداً).

الجدول (4–1)

التغيرات في الحصص العالمية من وقود الطاقة الأولية، 2000–2011

الوقود	الحصة في عام 2000 (نسبة مئوية)	الحصة في عام 2011 (نسبة مئوية)	الزيادة (مليون طن من المكافئ النفطي)	الزيادة (نسبة مئوية)
الفحم	25	30	1,352	57
النفط	38	33	487	14
الغاز الطبيعي	23	24	732	34
الطاقة المائية	6	6	190	32
الطاقة النووية	6	5	15	3
مصادر متجددة أخرى	0.55	1.59	143	277
المجموع	100	100	2,919	31
الوقود الأحفوري	86	87	2,571	32
المصادر المتجددة	7	8	333	51

المصدر: البيانات تستند إلى BP Statistical Review 2012. المصادر المتجددة الأخرى تستثني الطاقة الحيوية خارج نطاق توليد الكهرباء.

توقعات عرض الطاقة والطلب عليها

تعرض معظم التوقعات بشأن عرض الطاقة والطلب عليها عالمياً[6] على مدى السنوات العشرين الماضية، الصورة نفسها لربع القرن المقبل؛ وهي استمرار نمو الطلب واستمرار الاعتماد على الوقود الأحفوري بالنسبة إلى 80٪ على الأقل من معروض الطاقة الأولية، وبعض التحولات في حصص الوقود (زيادة الغاز الطبيعي والمصادر المتجددة، واستقرار الفحم والطاقة النووية، واستمرار تقلّص الحصة النفطية)، وتنامي هيمنة

استهلاك الطاقة من جانب البلدان غير الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية". والجميع يقرّ بأنه حتى السياسات الجديدة لن تغير هذه الصورة الأساسية بدرجة كبيرة على مدى الإطار الزمني للتوقعات. ومنذ أوائل التسعينيات من القرن العشرين، تقدّم الوكالة الدولية للطاقة بلا كلل هذه الرسالة العامة في تقاريرها المعنونة "توقعات الطاقة العالمية". وفي تقرير عام 1993،[7] توقعت الوكالة أن تستقر حصة الجوامد [المواد الصلبة] لتغذية توليد الطاقة في العالم عام 2010 عند نسبة 39.4٪، أما الحصة الفعلية في عام 2010 فكانت 48٪ (46٪ للفحم، و2٪ للكتلة الحيوية).[8] وأقرت الوكالة ضمنياً، في أحدث توقعاتها المستندة إلى ثلاثة سيناريوهات تتضمن سياسات متفاوتة التركيز والصرامة من حيث ثاني أكسيد الكربون، بأن سياسات الطاقة والبيئة التي تقترحها الحكومات حالياً لن تحدث تغيراً كبيراً في أحد أسوأ موضوعات الخطاب العالمي، وهو فقر الوقود:

> هناك عدد من الاتجاهات الأساسية التي، برغم اختلاف فرضيات سياساتها، تميز كل واحد من السيناريوهات المقدمة في هذا التقرير: فإن تزايد المداخيل والسكان يؤدي إلى تزايد الضغوط على الاحتياجات من الطاقة، ويزداد تحكم الاقتصادات الناشئة في تحديد ديناميات سوق الطاقة، ويواصل الوقود الأحفوري تلبية الجزء الأكبر من احتياجات العالم من الطاقة، من قاعدة موارد ضخمة، ولا يزال تمكين جميع فقراء العالم من الوصول إلى الطاقة هدفاً بعيد المنال.[9]

وكثيراً ما تشير الوكالة الدولية للطاقة إلى التحدي المتمثل في استثمار الطاقة. وفي أواخر التسعينيات، تساءلت الأمانة عما إذا كان هناك ما يكفي من رأس المال، وإذا ما كان سيُوظف بمرور الوقت لتفادي الهواجس بشأن تقييد العرض والطلب ومعالجة هاجس انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتغير المناخ ذي الصلة بالطاقة.

ولدى استعراض التوقعات الماضية في مجال الطاقة وخطاب السياسات المقترن بها، من المهم استذكار السياق السياسي والاقتصادي الأوسع في ذلك الوقت. فعلى سبيل

المثال، في بداية هذا القرن، ساد اعتقاد على نطاق واسع بأن الإنتاج العالمي من النفط والغاز الطبيعي سيصل إلى ذروته خلال فترة وجيزة، وكان أمن الطاقة يمثل هاجساً لبلدان مجموعة العشرين[10] وصدر بشأنه كثير من الكتب، بل واستُحدثت منظمات لتحذير العالم بشأن "ذروة نفط"، ما استحوذ على انتباه الكثير من القادة السياسيين. وجسدت موجة الاندماج بين الشركات النفطية الكبرى التي شهدتها أواخر التسعينيات من القرن العشرين تصور الصناعة لحاجتها إلى توسيع الحجم من أجل خفض تكاليف الوحدة وزيادة الإنتاج من أجل استحداث قيمة ملكية المساهمين. وكان حديث السياسات في ذلك الوقت يدور كله حول "الوصول إلى الموارد" وتعززه النشاطات الدولية التوسعية لشركات النفط الوطنية لدى أهم البلدان المستهلكة والغزو الوشيك للعراق، وهو عمل اعتبره بعض المراقبين يخص تأمين سبل الوصول إلى النفط وليس القضاء على أسلحة الدمار الشامل في العراق.

اتجاهات الاستثمار في الطاقة العالمية

لم يكن مستغرباً إذاً أن تُعنى الوكالة الدولية للطاقة أخيراً وبجدية بمسألة الاستثمارات؛ ففي عام 2003، أعدت أول تقييم شامل لمتطلبات الاستثمار في الطاقة العالمية.[11] وتصدَّر تقرير "توقعات استثمارات الطاقة في العالم" لعام 2003 عناوين الأخبار بعد التوقع أن 16.5 تريليون دولار، أو 550 مليار دولار في السنة، يلزم استثمارها في البنى التحتية لعرض الطاقة في جميع أنحاء العالم حتى عام 2030. وواصلت الوكالة الدولية للطاقة التعليق على متطلبات الاستثمار في الإصدارات اللاحقة من تقرير "توقعات الطاقة العالمية". وفي تقرير عام 2011، توقعت الوكالة أن يلزم استثمار 38 تريليون دولار في جميع أنحاء العالم في الفترة 2011–2035.[12] وزادت الوكالة متطلبها للاستثمارات السنوية بأكثر من الضعف، بعد التعديل من أجل التضخم ومقارنةً بتوقعاتها لعام 2003 (بواقع نحو 700 مليار دولار إلى 1580 مليار دولار في عام 2010). ومرة أخرى ربما تتضح حساسية

السياق لدى مراجعة تلك التوقعات من البيان التالي الذي ورد في تقرير "توقعات استثمارات الطاقة في العالم" لعام 2003 فيما يتعلق بآفاق الغاز في أمريكا الشمالية:

> سوف تشهد أمريكا الشمالية، وهي المنطقة الأكثر نضجاً في العالم من حيث إنتاج الغاز، تحولاً ملحوظاً في مصادر إمداداتها من الغاز مع الاستنفاد السريع للاحتياطيات التي تعتمد عليها المنطقة حالياً. وسوف تساعد مصادر محلية جديدة في إحلال هذه الاحتياطيات لكن لا يُتوقع أن تكون كافية لتلبية الطلب المتصاعد. ونتيجة لذلك، سوف تزداد أهمية الواردات على مدى العقود المقبلة. وسوف يلزم أن تكون الاستثمارات في القدرات الجديدة على الإنتاج والنقل كبيرة جداً، نحو 855 مليار دولار على مدى الفترة 2001-2030. وبينما لا تُعتبر قدرة الصناعة على تمويل هذه الاستثمارات محل تساؤل، توجد هواجس متنامية بشأن مستوى الأسعار التي ستكون ضرورية لجعل الاستثمار في مشروعات بنى أساسية كبيرة الحجم مربحة في سوق أمريكا الشمالية التي تتسم بدرجة كبيرة من الخلو من الحواجز الإدارية.

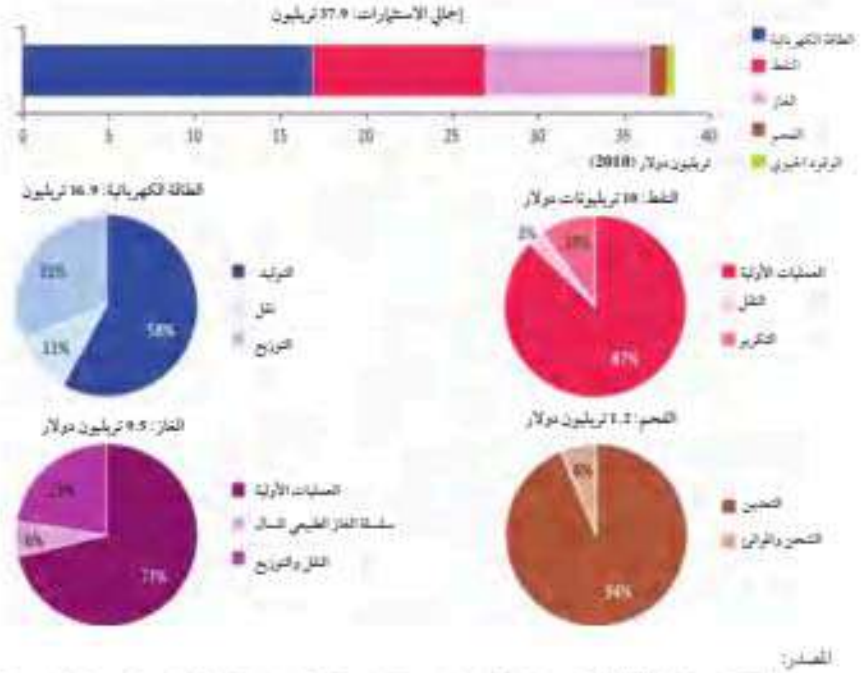
وبينما تنبأت الوكالة الدولية للطاقة بأن يكون للغاز غير التقليدي دور متنامٍ في أمريكا الشمالية؛ فقد ركزت على ميثان الطبقة الفحمية، بدلاً من الغاز الصخري، وإن كانت هناك إشارات مبكرة في الإنتاج المتزايد من [التكوين الجيولوجي] بحقل "بارني تشيل" في تكساس في عام 2003 على أن يزخر التكسير [أو التصديع] الهيدروليكي للطبقات بآفاق واعدة. وتبعاً لرأي وكالة معلومات الطاقة التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية،[13] تنبأت الوكالة الدولية للطاقة بأن تعتمد أمريكا الشمالية على الواردات فيما يخص أكثر من 20٪ من احتياجاتها من الغاز بحلول عام 2020. بيد أن كلتا الوكالتين تتنبآن الآن بأن أمريكا الشمالية سوف تصبح مصدِّراً صافياً للغاز بحلول هذا الوقت. وقد خصصت الوكالة الدولية للطاقة، في تقرير "توقعات الطاقة العالمية" الذي أصدرته لعام 2012، قسماً بعنوان "التطورات في الولايات المتحدة تعيد رسم خريطة الطاقة العالمية"،[14] استناداً إلى "مفاجأة" في مجال تكنولوجيا الطاقة خلال السنوات التسع ما بين التاريخين. وسوف تجري لاحقاً مناقشة التطورات التي شهدها الغاز في أمريكا الشمالية والتغيرات في استثمارات تكنولوجيا النفط والغاز في المنطقة.

ويبين الشكل (4–2) الاحتياجات من الاستثمار، وفقاً لتقرير "توقعات الطاقة العالمية" لعام 2011. وكما في تقرير "توقعات استثمارات الطاقة في العالم" لعام 2003، فإن احتياجات قطاع توليد الكهرباء من الاستثمارات هي الكبرى (45٪). وفي تقرير "توقعات استثمارات الطاقة في العالم" لعام 2003، وباستخدام فرضيات مختلفة، لوحظ أن قطاع توليد الكهرباء يمثل أكثر من 70٪ من الاستثمارات "المطلوبة".

الشكل (4–2)

الاستثمار التراكمي في البنى التحتية لإمدادات الطاقة حسب نوع الوقود

في سيناريو السياسات الجديدة، 2011–2035 (بدولار عام 2010)



المصدر:

International Energy Agency (IEA) / Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), World Energy Outlook 2011, p. 97.

وعليه، يُتوقع أن تتمثل المجالات المهيمنة لاستثمارات إمدادات الطاقة في توليد الكهرباء ونقلها، واستكشاف النفط والغاز وإنتاجها (العمليات الأولية). ويلاحَظ أن الاستثمارات المطلوبة للفحم ضئيلة نسبياً، بيد أن هذا لا يعطي الصورة الحقيقية عن إسهام الفحم المستمر في إمداد الطاقة الأولية، حيث يُتوقع أن يواصل النمو بنسبة 0.8٪ سنوياً.[15] وبعبارة أبسط، الفحم رخيص، ويُتوقع أن يظل كذلك. وقد حدَّثت الوكالة الدولية للطاقة هذه الصورة في تقرير "توقعات الطاقة العالمية" الذي أصدرته لعام 2012.[16] ويلاحَظ عموماً أن الاحتياجات الصافية المتوقعة من الاستثمارات تراجعت بواقع 531 مليار دولار فيما ارتفع الاستثمار في الفحم والنفط بواقع 60 مليار دولار و245 مليار دولار على التوالي، وإن انخفض بالنسبة إلى الغاز الطبيعي بنسبة نحو 9٪ عن مستواه قبل عام (أي عن المقدار المذهل البالغ 820 مليار دولار)؛ ويلاحظ أن التوقعات الخاصة بالطلب على الغاز الطبيعي تتسم بنفس تقلب السلعة ذاتها.

اتجاهات الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة

إن ما طرأ عليه تغير كبير منذ تقييم الوكالة الدولية للطاقة لعام 2003، إنما هو توقعات الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة، وخصوصاً المصادر غير الكهرمائية. ففي عام 2003، لم تقدم الوكالة توزيعاً للاستثمار بحسب نوع الطاقة المتجددة، إذ إنها توقعت تنفيذ استثمارات إجمالية بقيمة 561 مليار دولار (710 مليارات دولار، بدولار عام 2010) فيما يخص "الطاقة المتجددة" (بما فيها المائية) على فترة 27 سنة. بيد أن الوكالة زادت توقعاتها في عام 2012 فيما يخص استثمارات الطاقة المتجددة إلى 6.4 تريليون دولار على مدى السنوات الثلاث والعشرين المقبلة حتى عام 2035، حيث يستحوذ قطاع الكهرباء على ما نسبته 94٪: 2.1 تريليون دولار للرياح، و1.5 تريليون دولار للطاقة المائية، و1.3 تريليون دولار للطاقة الشمسية الكهروضوئية [الفوتوفولطية]، بينما يُخصص المتبقي للوقود الحيوي.

وفي عام 2003، أبلغت الوكالة صنّاع القرار بأنه «من أجل تشجيع مصادر الطاقة المتجددة، يتعين على الحكومات أن تضع إطاراً سوقياً يكافئ من يستثمرون في مصادر الطاقة المتجددة»[17] (بعبارة أخرى، سوف يتعين على الحكومات أن تضع إطاراً للإعانات بحيث تصبح مصادر الطاقة المتجددة مجدية اقتصادياً). كما حثَّ المنتدى الاقتصادي العالمي مؤخراً الحكومات على "إبداء القيادة" مع "المؤسسات المالية العالمية والمستثمرين الخواص" للتصدي لفجوة الاستثمارات الخضراء" [أي المراعية للاعتبارات البيئية].[18] بيد أنه في عام 2012، أطلقت الوكالة الدولية للطاقة تحذيراً بشأن المخصصات المتنامية للإعانات بشأن مصادر الطاقة المتجددة، وقدرها 3.5 تريليون دولار، حيث خُصص بالفعل ربع هذا المبلغ، بينما من المقرر تخصيص نحو 70٪ بحلول عام 2020. [19] وحذرت الوكالة من أن على الحكومات أن تحدَّ من هذه الإعانات "لتفادي أن تصبح عبئاً مفرطاً على الحكومات والمستخدمين النهائيين".[20] فعلى سبيل المثال، هناك أمثلة في ألمانيا وأونتاريو، بكندا، على أن هذا التحذير قد يكون حلَّ وقته منذ زمن بعيد.

ويُصدر برنامج الأمم المتحدة للبيئة، استناداً إلى قاعدة بيانات بلومبرغ لتمويل الطاقة الجديدة، إحاطة سنوية[21] عن الاتجاهات في "الاستثمار في الطاقة المتجددة"، تُعرف بتقرير الحالة العالمية لمصادر الطاقة المتجددة، في إطار شبكة سياسات الطاقة المتجددة للقرن الحادي والعشرين REN21. وهي تمثِّل مصدراً مفيداً للمعلومات بشأن الاتجاهات. وربما يكون النمو المفاجئ في قدرات مصادر الطاقة المتجددة المشار إليه في تقرير الحالة العالمية المذكور، وكذلك الحماسة التي تتملك بعض قادة الحكومات لمصلحة مصادر الطاقة المتجددة، أمراً مفهوماً بالنظر إلى الاهتمام الذي تمنحه وسائل الإعلام والمنظمات غير الحكومية المعنية بالبيئة والناس عامة إلى "تخضير الاقتصاد". بيد أن تقرير بلومبرغ يبين أن الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة يواجه تحديات متنوعة؛ وفيما يلي نسخة مختصرة من أهم النتائج الواردة في تقرير بلومبرغ الأخير:[22]

- زاد الاستثمار العالمي في الطاقة المتجددة ووقودها بنسبة 17٪ ليصل إلى مستوى قياسي جديد؛ وهو 257 تريليون دولار في عام 2011 موزعة بين نسبة 65٪ للدول المتقدمة ونسبة 35٪ للدول النامية.

- كانت الصين في مقدمة المستثمرين بمبلغ 51 مليار دولار، تلتها الولايات المتحدة التي جاء النمو لديها بنسبة 61٪، بعد النمو الذي سجلته الهند بنسبة 63٪، وقيمة 12 مليار دولار.
- تراجع دعم السياسات (والإعانات) لمصادر الطاقة المتجددة في أوروبا وأمريكا الشمالية نتيجة لنمو الطلب على برامج الدعم وتراجع تكاليف معدات الطاقة المتجددة (تراجعت أسعار الطاقة الكهروضوئية بنسبة تقترب من 50٪، فيما تراجعت أسعار توربينات الرياح البرية بنسبة تتراوح بين 5٪ و10٪).
- في عام 2011، مثّلت الطاقة المتجددة (باستثناء المرافق الكبيرة لتوليد الطاقة الكهرمائية) ما نسبته 44٪ من قدرة توليد الطاقة الجديدة المضافة عالمياً، بعد أن كانت 34٪ في عام 2010. وقد ارتفعت نسبة الطاقة الكهربائية المولَّدة باستخدام مصادر متجددة (باستثناء المرافق الكبيرة لتوليد الطاقة الكهرمائية) إلى 6٪ في عام 2011 من 5.1٪ في العام السابق.
- مثلت الطاقة الشمسية وطاقة الرياح 90٪ من الاستثمارات في الطاقة المتجددة، حيث اتسعت الفجوة بين هذين النوعين من الطاقة بصورة حادة لمصلحة الطاقة الشمسية البالغة قيمتها 147 مليار دولار، مقابل طاقة الرياح بقيمة 84 مليار دولار، في الغالب نتيجة للطفرة التي شهدتها تركيبات الطاقة الكهروضوئية فوق الأسطح في ألمانيا وإيطاليا، حيث عمل مالكو العقارات على الاستفادة من تراجع أسعار الألواح، لكن أيضاً بسبب عدد من المشروعات ذات التكلفة الرأسمالية العالية والكبيرة الحجم لتوليد الكهرباء بالطاقة الشمسية الحرارية (أو الطاقة الشمسية المركزة) في إسبانيا والولايات المتحدة.
- إدراك المستثمرين أن الحكومات التي تعاني ضعفاً خطيراً في اقتصادها قد تواصل الحدّ من دعم السياسات والإعانات لمصادر الطاقة المتجددة، بينما يستمر تدفق معدات الطاقة المتجددة الآسيوية المنشأ والمنخفضة التكلفة إلى أسواق منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، وكذلك نضوب تمويل المشروعات من المصارف؛ ما أدى مجتمعاً إلى هبوط حاد بنسبة 40٪ في أسهم قطاع الطاقة المتجددة.

ويوضح الشكل (4-3) توزيع الاستثمارات جغرافياً بين التكنولوجيات ونوع التمويل.

الشكل (4-3-أ)

الاستثمارات الجديدة في الطاقة المتجددة حسب البلد وفئة الأصول لعام 2011 والنمو مقارنةً بعام 2010 (مليار دولار)

المصدر:

Frankfurt School of Finance, UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance, Global Trends in Renewable Energy Investment 2012.

ملحوظة: الأصول: جميع الأموال المستثمرة داخل وخارج الميزانية والديون والأسهم، لكن باستثناء البحث والتطوير (ما يقلل من الاستثمارات الأمريكية).

الشكل (4-3-ب)

الاستثمارات العالمية الجديدة في الطاقة المتجددة:

البلدان المتقدمة النمو مقابل البلدان النامية، 2011، والنمو في عام 2010

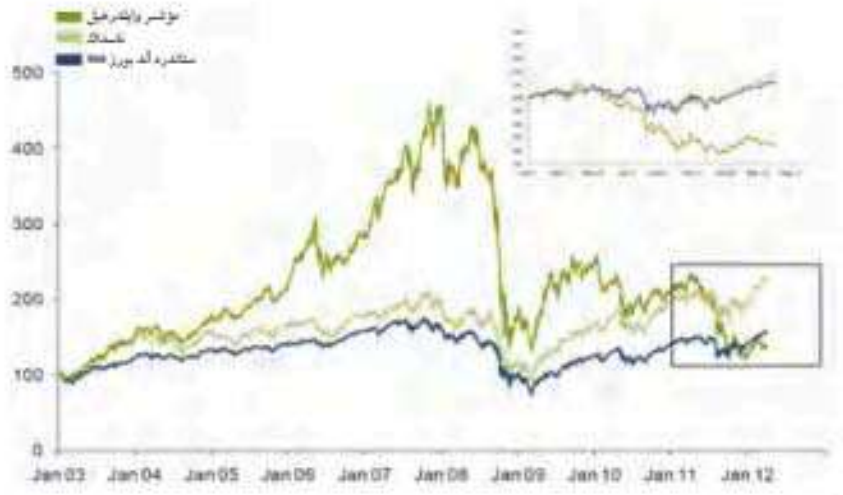
(مليار دولار)

المصدر: Ibid.

ولعل التحديات التي تواجهها الصناعة حالياً تتضح على نحو أفضل من خلال الشكل (4-4) ومسار مؤشر وايلدرهيل WilderHill لابتكارات الطاقة العالمية الجديدة مقارنةً بمؤشري ناسداك وستاندرد أند بورز 500. وبينما يكاد هذان الأخيران لم يبرحا مكانهما في يناير 2003، فإن الأداء النسبي منذ بداية عام 2011 يجسد ستة سنين بصفة خاصة بالنسبة إلى الطاقة المتجددة (انظر الرسم الداخلي).

الشكل (4-4)

أداء أسهم الطاقة المتجددة مقارنةً بمؤشرات أخرى



المصدر: Ibid.

ومن المنطقي افتراض أن زيادة بنسبة 450٪ في مؤشر وايلدرهيل ما بين عامي 2003 و2008 تستند إلى إيمان المستثمرين بأن دعم الحكومات لمصادر الطاقة المتجددة سوف يستمر. وبالفعل، فإن الانتعاش الذي شهده عام 2009 بعد الأزمة المالية في عام 2008 يشير إلى أن الثقة بالصناعة استمرت، وإن تعرضت لهزة حقيقية. ويشير تقرير بلومبرغ إلى ما يلي:

> شهدت [طاقة الرياح والطاقة الشمسية في عام 2011]... زيادة كبيرة في القدرات وتنافساً شرساً وهبوطاً في أسعار المنتجات. ففي الطاقة الشمسية، بدأت أسعار الوحدات الكهروضوئية، التي بلغت ذروتها في عام 2008 عند نحو 4.20 دولار للواط، وعام 2011 عند 1.80 دولار للواط، واختتمته عند دولار واحد للواط. وفيما يخص طاقة الرياح، بلغ

> متوسط أسعار التوربينات 0.90 مليون يورو (128 مليون دولار) لكل ميجاواط، ما يمثل هبوطاً بنسبة 11٪ عن مستواه في عام 2010 باليورو، وأقل بنسبة 24٪ من ذروته في عام 2009. وشجع تراجع أسعار المعدات [الحكومات] على تقليص الدعم... جزئياً لمنع مطوري المشروعات من جني عائدات مفرطة من وراء التعريفات التي وُضعت عندما كانت أسعار التكنولوجيا مرتفعة.[23]

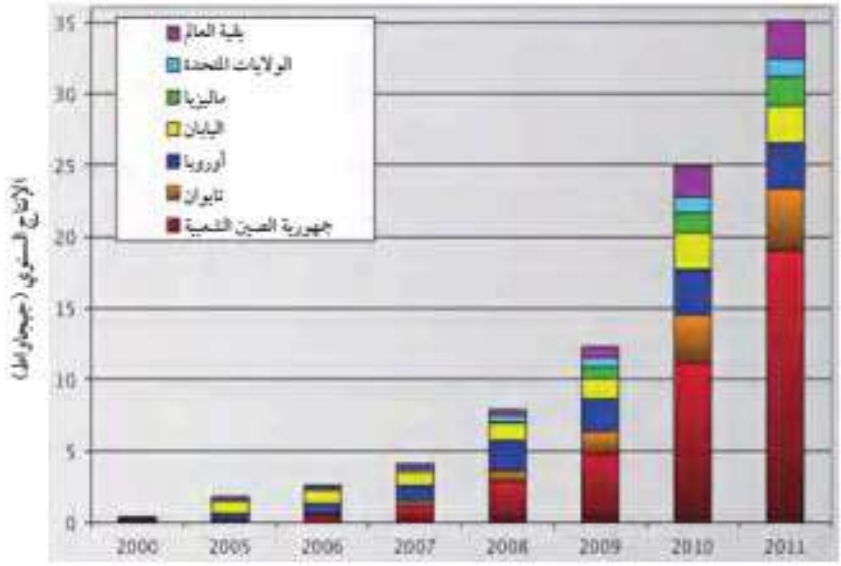
وشملت التحديات الماثلة أمام الصناعة، إلى جانب ارتفاع الأسعار وانخفاضها، وخفض الدعم، وانحسار اهتمام المستثمرين، إشهار خمسة من كبار مصنّعي الطاقة الشمسية الكهروضوئية إفلاسهم. ويبين الشكل (4-5)، المأخوذ من التقرير المرحلي للاتحاد الأوروبي عن الطاقة الشمسية الكهروضوئية،[24] الزيادة في إنتاج خلايا/ وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية حسب البلد منذ عام 2000. ويقارَن الإنتاج البالغ 35 جيجاواط بالقدرة المخطَّط لها لعام 2012 بواقع أكثر من 80 جيجاواط، ترتفع إلى 120 جيجاواط بحلول عام 2015. وترتئي توقعات الوكالة الدولية للطاقة فيما يخص قدرات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في إطار السيناريو الذي وضعته للسياسات الجديدة، إضافات سنوية ترتفع من 15 جيجاواط حتى عام 2020 ثم ترتفع إلى 23 جيجاواط ما بعد عام 2025. وفي إطار أفضل سيناريوهات الوكالة طموحاً (سيناريو 450)، يُقدَّر الحجم الأقصى للطاقة الشمسية الكهروضوئية المركَّبة سنوياً بـ55 جيجاواط. وإذا كانت السياسات الحكومية يُحمد لها هذه الحماسة، فإنها مسؤولة أيضاً عن جزء كبير من التقلبات اللاحقة -إن لم نقل الانهيار- في الصناعة.

وعلى صعيد الاستثمار أيضاً، أثّرت المشكلات المالية التي شهدتها أوروبا على وجه الخصوص في الفترة الأخيرة في ائتمانات المرافق. وفي الوقت نفسه، فإن القواعد المصرفية الدولية (بازل 3) تضع اشتراطات تتعلق بالسيولة على المصارف؛ ما من شأنه أن يحدّ من قدرتها على الاحتفاظ بقروض طويلة الأجل (> 10 سنوات). وهذه العوامل يمكن أن ترفع تكاليف الاقتراض فيما يخص المشروعات المقبلة للطاقة المتجددة.[25]

الشكل (4-5)

إنتاج خلايا/ وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية

(جيجاواط)



المصدر:

Arnulf Jäger-Waldau, PV Status Report 2012, Joint Research Center (JRC) Scientific Policy Reports, European Commission; based on data from Photon International 2012, PV News 2012 and JRC analyses.

وكما هو متوقع، أدت وفرة المعروض من معدات الطاقة الشمسية إلى نشوء نزاعات تجارية كبرى. وعندما انهارت السوق في عام 2010، وحافظ المنتجون الصينيون على الإنتاج، مخفّضين أسعارهم بنسبة 30٪. واشتكى المصنّعون الأمريكيون والأوروبيون إلى الاتحاد الأوروبي والحكومة الأمريكية بسبب التجارة غير المنصفة والإعانات غير القانونية في الصين. ورداً على ذلك، تقدمت الصين بشكوى لدى منظمة التجارة العالمية من أن إيطاليا واليونان تقدّمان تعرفة مرتفعة على الطاقة الشمسية التي تولّدها الألواح المصنّعة محلياً.[26] وقد توجه ما نسبته نحو 60٪ من صادرات الصين من الألواح الشمسية إلى الاتحاد الأوروبي في عام 2011، ما ولّد عائدات قدرها 21 مليار يورو.

وتعزى الوفرة في معدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية إلى الطاقة الفائضة في السيليكون المتعدد البلورات، وهو المادة الأساسية في تصنيع خلايا الطاقة الشمسية الكهروضوئية. فقد زادت القدرة بنسبة 90٪ في سنة واحدة فقط (2010) إلى 190 ألف طن متري. وقد جاءت هذه القفزة استجابة إلى تراجع المعروض بسبب نمو الطلب بحافز من الإعانات ما بين عامي 2004 و2008، ما رفع سعر السيليكون المتعدد البلورات إلى الذروة حين وصل إلى 500 دولار للكيلوجرام، وفي أغسطس 2012 كان السعر الفوري قد هبط إلى أقل من 20 دولاراً للكيلوجرام.[27]

التحديات أمام الطاقة المتجددة

إن التقلب في صناعة الطاقة المتجددة ناتج عن إغراءات السياسات التي تهدف إلى التغلب على الجوانب المادية الأساسية. وتواجه الطاقة المتجددة حواجز مستعصية إلى جانب الساسة المتقلبين والنزاعات التجارية والمستثمرين المتعجّلين والتقييمات المختلفة للتكاليف النقدية مقارنةً بالوقود الأحفوري. وقد لخص ديفيد فريدلي[28] تسعة من التحديات التي تواجه "الطاقة البديلة" (أي بدائل عن السوائل البترولية القائمة مثل الوقود الحيوي والهيدروكربونات غير التقليدية، وبدائل توليد الكهرباء). وحسبما يرى فريدلي، فإن الافتراض بإمكانية البناء السلس لتكنولوجيات الطاقة البديلة فوق هيكل منظومة الطاقة الحالي أمر مشكوك فيه إلى حد بعيد. وتشمل تحديات الطاقة البديلة التي يحددها ما يلي:

- متطلبات المدخلات المادية: تشمل الأمثلة النيوديميوم بالنسبة إلى المغانط الخفيفة الوزن من أجل التوربينات التي تعمل بقوة الرياح، والغاليون والإينديوم بالنسبة إلى رقائق الخلايا الشمسية (الإينديوم هو أيضاً من مكونات الشاشات المسطحة والاحتياطيات منه محدودة)؛ وتتطلب جميع نظم الطاقة البديلة مدخلات من الوقود الأحفوري.

- التقطع: يمكن التحكم في انطلاق الطاقة من الوقود الأحفوري بوتيرة مدروسة؛ وفي المقابل، تشهد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وحتى الكتلة الحيوية، تقلبات يومية

وموسمية. وتتراوح عوامل القدرة من 12٪ إلى 19٪ بالنسبة إلى الطاقة الشمسية الكهروضوئية، ومن 20٪ إلى 40٪ بالنسبة إلى طاقة الرياح، ومن 60٪ إلى 100٪ بالنسبة إلى الوقود الأحفوري والطاقة النووية. ومفتاح معالجة التقطع هو التخزين، بيد أن البطاريات تواجه قيوداً تتعلق بالمواد وكثافة الطاقة والخسائر.

- كثافة الطاقة: تمثل تحدياً بالنسبة إلى الوقود السائل للحلول محل النفط في النقل؛ وتوجد متطلبات هائلة فيما يتعلق باستخدام الأرض فيما يخص الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة الحيوية لتوليد كميات متكافئة من الطاقة مقارنةً بتوليد الطاقة القائم على الوقود الأحفوري.
- قانون انحسار الآفاق: كلما زادت الطاقة المطلوبة لإنتاج طاقة بديلة، انحسرت أسعار تعادلها (إيثانول الذرة والحجر الزيتي).
- مردود استثمارات الطاقة (نسبة مدخلات الطاقة إلى نتاجها): بينما يُعَدُّ أداء طاقة الرياح، وبنسبة أقل الطاقة الشمسية، جيداً نسبياً من حيث مردودها الاستثماري، توجد صعوبة في تحقيق فائض من الطاقة في المصادر البديلة مثل الهيدروكربونات غير التقليدية والوقود الحيوي.

وتوجد حاجة إلى تحقيق تقدم في مجال تخزين الطاقة للتصدي لتحدي التقطع. وتهدف بحوث جديدة حول مفهوم قديم، وهو الهواء السائل، إلى معالجة الحاجة إلى التخزين داخل الشبكة. وتُستخدم طاقة "الوقت الخاطئ" لتسييل الهواء إلى -196 درجة مئوية؛ ولدى التعرض لدرجات حرارة البيئة المحيطة، يشغِّل التمدد السريع للهواء توربيناً. ويسهم استخدام فاقد الحرارة من مصادر أخرى لتدفئة الهواء المسال في زيادة الكفاءة بدرجة كبيرة.[29] ومن المنظور استثمار أكثر من 100 مليار دولار في تخزين الطاقة على مدى العقد المقبل.[30]

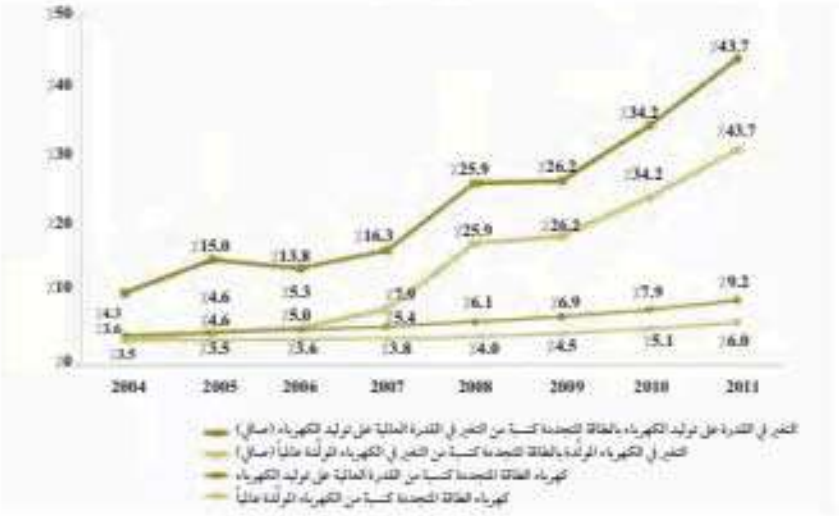
ويتمثل شاغل آخر في عوامل السعة ذات الصلة بمصادر الطاقة المتجددة مع تزايد نسبة الطاقة المتجددة في منظومة توليد الكهرباء. فما بين عامي 2000 و2010، لم تؤدِّ زيادة

السعة بنسبة 18٪ في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" (معظمها من الغاز الطبيعي والطاقة المتجددة) سوى إلى زيادة الكهرباء المولَّدة بنسبة 11٪.[11] ويوضح الشكل (4-6) اتجاهات السعة [أو القدرة] والتوليد فيما يخص الطاقة المتجددة؛ فمنذ عام 2004، زادت حصة الطاقة المتجددة في السعة العالمية لتوليد الكهرباء بواقع أربعة أضعاف، من 10.3٪ إلى 43.7٪ في عام 2011، بينما زادت حصتها من الزيادة في الكهرباء المولَّدة عالمياً من 4.3٪ إلى 30.7٪. وتزداد الفجوة بين حصة السعة وحصة التوليد اتساعاً. وسوف تزداد تلك الفجوة مع تراجع نوعية الموارد المستغلة، تماماً كما هي الحال بالنسبة إلى منحنى "التزبيد" [من الزبد، والمقصود طريقة لتقدير كمية احتياطي النفط بفحص مدى سهولة العثور على النفط، وسُمي كذلك لأن الآبار الأولى تعثر على الحقول الأسهل والأكبر] الخاص بالاكتشافات في مجمّع معين من الحقول النفطية.

الشكل (4-6)

حصص الطاقة المتجددة في التوليد والسعة العالميين

2011-2004



المصدر: Frankfurt School of Finance, op. cit.

ويلاحَظ أن النمو الذي شهدته مصادر الطاقة المتجددة المركَّبة في عام 2011 مقاسة بالجيجاواط مبهر حقاً. بيد أن إسهامه في توليد الكهرباء يُعَدُّ ضئيلاً نسبياً؛ فالزيادة التدريجية في الكهرباء التي ولدتها مصادر الطاقة المتجددة بواقع 129.3 تيراواط ساعة في عام 2011 يقابل بدقة التراجع في الكهرباء المولَّدة نووياً في اليابان في العام نفسه في أعقاب إغلاق محطات الطاقة النووية بعد الكارثة النووية في فوكوشيما دايتشي.[32] وفي رد فعل على حادث فوكوشيما، قررت ألمانيا الوقف التدريجي لمحطاتها النووية الثماني المتبقية، وفي الوقت نفسه -على نحو مستغرب، بالنظر إلى برنامجها الشديد الطموح في مجال الطاقة المتجددة- بناء محطات جديدة تعمل بالفحم الحجري، وفحم "الليجنيت". وما من مثال أفضل من هذا على سير الاستثمار في عكس الاتجاه الذي تدعمه الدولة استجابةً لشواغل الطاقة العالمية.

ويلاحَظ أن طاقة الرياح والطاقة الشمسية (اللتين تشكلان معظم الطاقة المتجددة غير المائية) وكذلك الطاقة النووية، تنتجان طاقة غير قابلة للإرسال، أي لا يمكن استدعاؤها عند الحاجة (من دون تخزين). وقد نمت القدرة على توليد الطاقة غير القابلة للإرسال في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية من نحو 5٪ في عام 1974 إلى 20٪ في عام 2009، وسوف تصل، إذا صحت توقعات الوكالة الدولية للطاقة،[33] إلى 38٪ بحلول عام 2035، (انظر الشكل 4-7). ومع توقف استثمارات الطاقة النووية، سوف يميل مزيج الطاقة الكهربائية غير القابلة للإرسال في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بدرجة كبيرة نحو المصادر غير المتجددة المتقطعة (من 37٪ في عام 2009 إلى 72٪ في عام 2035) وبعيداً عن الحمل الأساسي غير القابل للإرسال الذي توفره الطاقة النووية. وأنواع التوليد المختلفة هذه لها أدوار مختلفة في منحنى الحمل؛ ولذلك، سوف تميل القدرات القائمة على الوقود الأحفوري إلى الحلول محل القدرات النووية.

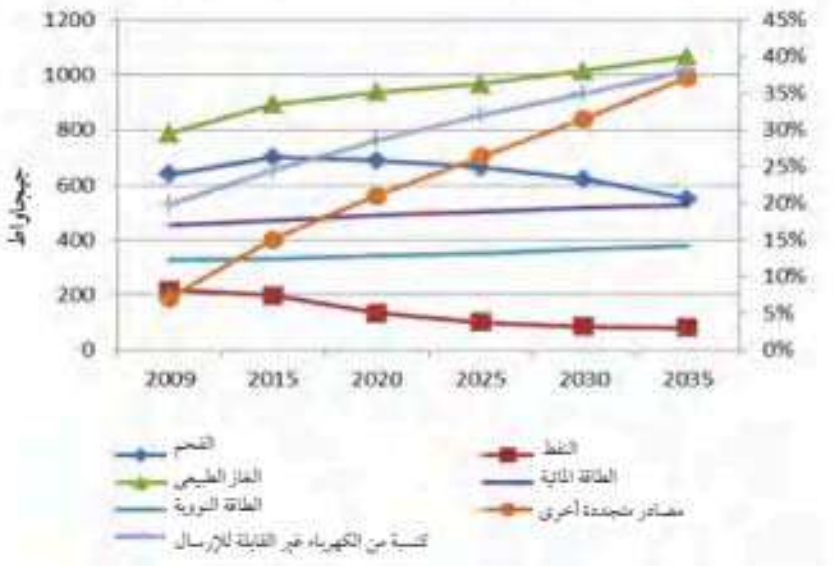
وللإسهام المتزايد للطاقة المتجددة في شبكات الطاقة الكهربائية انعكاسات على تصميم نظم الطاقة الكهربائية، وتترتب عليه تكاليف إضافية لضمان أمن الإمدادات. وقد عالجت الوكالة الدولية للطاقة هذا الجانب في عام 2010،[34] وحدَّثت متطلبات القدرة الإضافية، أو قدرة "الإسناد" في تقرير "توقعات الطاقة العالمية" لعام 2011؛ "لكل 5

ميجاواط من الطاقة المتجددة المتغيرة في النظام (سيناريو السياسات الجديدة)، توجد حاجة إلى نحو 1 ميجاواط من قدرة (مرنة) أخرى للحفاظ على كفاية النظام". وبذلك، فإنه بحلول عام 2035، سوف توجد حاجة إلى 300 جيجاواط أخرى -أو 8٪ من القدرات المضافة غير المتغيرة- على مدى فترة التقرير مع 5 دولارات-25 دولاراً إضافية لكل ميجاواط ساعة من الكهرباء المولّدة باستخدام مصادر متجددة متغيرة لضمان كفاية النظام والتوازن والاندماج في الشبكة.[35] وإذا افترضنا أن الكهرباء المولّدة بالغاز سوف توفر قدرة الإسناد (وإن اتسمت المحطة التي تعمل بالليجنيت والتابعة إلى [شركة المرافق الألمانية] "آر دبليو إي"، في غرفينبرويش -نيورات، بألمانيا، بالمرونة نفسها للغاز الطبيعي[36])، فإن هذا سوف يعني أن 25٪ من القدرة المضافة باستخدام الغاز على مدى الفترة سوف توجد لدعم الطاقة المتجددة.

الشكل (4-7)

التغيرات في القدرة على توليد الكهرباء لدى

دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، 1974-2035



المصدر: IEA Electricity Information 2012, WEO 2011.

ومن الزاوية الأعمّ، فإن تزايد توليد الكهرباء باستخدام مصادر الطاقة المتجددة يستند إلى السياسات ويجري تنسيقه – بل دعمه وتشجيعه – من خلال حوافز خاصة (الإعانات، وتعرفات الإمدادات، والتوجيهات) تقدمها معظم حكومات دول "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية". وتنوه الوكالة الدولية للطاقة، وهي نتاج لحكومات بلدانها الأعضاء، بفضائل دعم مصادر الطاقة المتجددة في أحدث تقاريرها لاستعراض إعانات الطاقة.[37] بيد أنه كثيراً ما يعقد مناصرو الطاقة المتجددة الساعون إلى مزيد من الإعانات، على نحو يتناقض مع معايير النقد الموضوعي مقارنة[38] بين إعانات استهلاك الوقود الأحفوري (غالباً ما تكون مخصصة للنفط والغاز في الدول النفطية)، وقدرها 409 مليارات دولار (في عام 2012) مع مبلغ إنتاج الطاقة المتجددة ومقداره 60 مليار دولار، ويؤكدون ضرورة إيجاد توازن بين المقدارين؛ بيد أنهما لا صلة بينهما. وعلاوة على ذلك، فإن وحدة الإعانات لدى الوقود غير الأحفوري تزيد على مثيلتها لدى الوقود الأحفوري.[39] وفي الوقت نفسه، فإن السياسات الحكومية (للتخلي عن الطاقة النووية وزيادة قدرات الوقود الأحفوري ومصادر الطاقة المتجددة المتغيرة للإسناد) تتناقض مع الهدف الشامل المتمثل في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

وكما هو مبين في الشكل (4–8)، فإن مصادر الطاقة المتجددة اتسمت بكونها تدخل في دائرة اختصاص الدول الغنية، وسوف تبقى كذلك للسنوات العشرين المقبلة على الأقل؛ ثم من بعد عام 2030، يُتوقع أن تتصدر المشهدَ الدولُ غير الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" من خلال توفير نحو 250 مليار دولار في شكل إعانات سنوية مطلوبة لاستيفاء توقعات الوكالة الدولية للطاقة.

وفي عام 2010، شكلت مصادر الطاقة المتجددة غير المائية 8.5٪ من القدرة على توليد الكهرباء و5.6٪ من الكهرباء المولَّدة في منطقة منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، وذلك مقارنةً بما نسبته 3.7٪ و1.6٪ على التوالي خارج نطاق منطقة منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية.[40] ومن المنطقي أن تكون دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا الغنية بأشعة الشمس مركزاً لتوليد الطاقة الشمسية؛ لكن عندما تحظى أسعار الكهرباء بهذا القدر

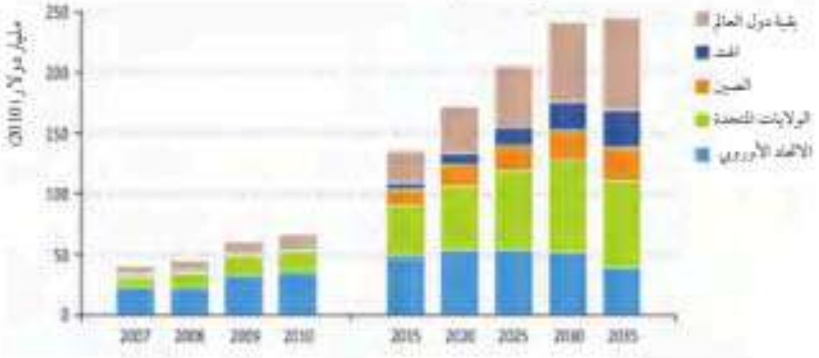
الكبير من الدعم، كما هو حادث في جميع أنحاء المنطقة، فإن المستهلكين لا توجد لديهم حوافز لتركيب ألواح توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية في بيوتهم ومنشآتهم التجارية. وكما يلاحظ علي العيساوي[41] في استعراضه لتقرير بلومبرغ حول تمويل الطاقة الجديدة، فإن الفكرة القائمة على إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية داخل منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا تغفل المثبطات التي أوجدها الدعم الكبير الذي تحظى به أسعار الكهرباء. وعلى العموم، قد تقع هذه المسائل خارج نطاق التقرير، لكن المؤكد أنها تندرج ضمن نطاق صانعي السياسات في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا الذين لم يواتموها حتى الآن مع أهدافهم الطموحة المعلنة في مجال الطاقة المتجددة.

وتجدر ملاحظة أن المملكة العربية السعودية تخطط لفتح محطة حديثة (محطة شركة بوليسيليكون أيديا) لتصنيع السيليكون المتعدد البلورات ورقائق شمسية قادرة على إحلال 100 ألف برميل نفط تُستخدم حالياً لتوليد الكهرباء في المملكة.[42]

الشكل (4-8)

الإعانات الإقليمية للكهرباء المولَّدة بالوقود الأحفوري

والطاقة المتجددة في سيناريو السياسات الجديدة، 2009-2035



المصدر: IEA/OECD, World Energy Outlook 2012, p. 235.

وقد أولي الكثير من الاهتمام مؤخراً بـ"ثورة" النفط والغاز المستمرة في أمريكا الشمالية. ويعتقد مصرف "سيتي بنك" أن القارة سوف تصبح "الشرق الأوسط

الجديد".[43] وترى الوكالة الدولية للطاقة، المتحفزة دائماً لمسايرة الركب، أن "نهوض قطاع الطاقة في الولايات المتحدة يعيد تشكيل مشهد الطاقة العالمي، مع ما لذلك من تداعيات بعيدة المدى".[44]

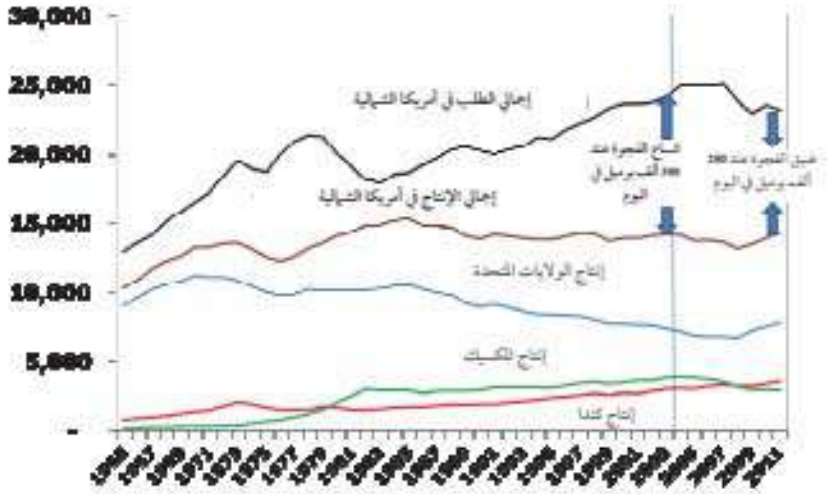
ويسهم تقارب السياسات والتكنولوجيات والتجمعات الديمغرافية في الولايات المتحدة في الحدّ من الطلب على النفط، وفي الوقت نفسه زيادة المعروض منه. وفيما يخص الغاز الطبيعي، تراجعت أسعاره إلى مستويات تاريخية تعادل ثلث ما كانت عليه قبل مدة لا تتجاوز السنوات الخمس عندما كانت التوقعات تشير إلى أن المنطقة سوف تصبح مستورداً رئيسياً للغاز الطبيعي المسال. واليوم، تتوقع الوكالات الرسمية أن تصبح المنطقة مصدِّراً صافياً للغاز الطبيعي المسال بحلول عام 2020.

وفي عام 2003، كانت فجوة استيراد النفط في أمريكا الشمالية (كندا والمكسيك والولايات المتحدة) آخذة في الاتساع منذ عام 1990 بواقع نحو 300 ألف برميل يومياً لكل سنة؛ وبحلول عام 2011، كان ذلك المعدل 280 ألف برميل يومياً، أو نحو 400 ألف برميل يومياً من دون المكسيك، انظر الشكل (4–9). وتسهم معايير الكفاءة الجديدة للسيارات، وكذلك تغيُّر عادات استخدام السيارات لدى المجموعة الأولى من جيل طفرة المواليد [حدثت في أعقاب الحرب العالمية الثانية] والبادئين فترة التقاعد، في الحدّ من الطلب على النفط. وكان الطلب على المنتجات النفطية في الولايات المتحدة قد بدأ في التراجع في أوائل عام 2008 قبل الأزمة المالية. وما بين يناير 2008 ويناير 2013، تراجع الطلب بمعدل نحو 1.5 مليون برميل يومياً.

وعلى جانب عرض النفط، زاد إنتاج الولايات المتحدة بواقع مليوني برميل يومياً على مدى هذه الفترة. وبالنسبة إلى دولة تتملكها منذ زمن طويل فكرة "الاستقلال من حيث الطاقة"، التي تنمّ عن الإصابة برهاب الأجانب، وعن الأمية الاقتصادية، فإن تحقيق هذا الانخفاض بواقع 3.5 مليون برميل يومياً في النفط المستورد كان حدثاً مثيراً.

الشكل (4-9)

فجوة استيراد النفط في أمريكا الشمالية: التحول



المصدر:

Data from US Department of Energy (DoE) / Energy Information Administration (EIA).

مما لا شك فيه أن تقارب الحفر الأفقي البعيد المدى، والتكسير الهيدروليكي ولّد نوعاً من التغيرات الجذرية في اتجاهات الاستثمار، ومن ثم تأثرت أسواق النفط والغاز في القارة. بيد أن صناعة الغاز الطبيعي في أمريكا الشمالية بوجه خاص تتسم على مدى تاريخها بـ"عقلية القطيع"، وفي إطار حلقة سببية تبادلية التعزيز mutually reinforcing loop، يميل المعلقون والمحللون إلى إعداد توقعات وهمية فيما يخص الصناعة:

- بعد الحادث النووي في "ثري مايل آيلاند" في الولايات المتحدة في عام 1979، ومن ثم الحادث النووي في تشرنوبل في عام 1986، وصلت الدول الأعضاء في الوكالة الدولية للطاقة إلى قناعة بأن التكنولوجيا المرتبطة بتوليد الحمل الأساسي للكهرباء في المستقبل ستقوم على حرق الفحم في الغلاف الجوي والطبقة المميعة. وقد أغفل الفريق العامل المعني بالوقود الأحفوري التابع

للوكالة قدومَ تكنولوجيا التوربينات الغازية المركَّبة (أو الموحدة) الدورات. وخلال عامين، أو ثلاثة أعوام، وفيما يكاد يكون بين عشية وضحاها، حيثما تتوافر إمدادات الغاز، فإن التكنولوجيا المفضلة من أجل القدرة الجديدة على توليد الكهرباء أصبحت هي التوربينات الغازية المركَّبة الدورات CCGT.

- وقد جمع مجلس البترول القومي في الولايات المتحدة، الذي أسسه الرئيس هاري ترومان لتقديم المشورة إلى الحكومة فيما يتعلق بالأمور النفطية، بصفة دورية، بناء عل طلب وزير الداخلية، أو وزير الطاقة، المئات من الخبراء في الصناعة لتقديم المشورة إلى الحكومة بشأن عرض النفط والغاز والطلب عليها.

  - أبلغ مجلس البترول القومي في الولايات المتحدة، في توقعاته بشأن إمدادات الغاز لعام 1992،[45] الحكومة بأن كميات كبيرة من الغاز سوف تصبح متاحة، إذا واصلت التكنولوجيا خفض التكاليف، وإذا أمكن الوصول إلى موارد جديدة وخففت الحكومة الأعباء الرقابية على الصناعة. وفي فصل مخصص للغاز "غير التقليدي"، ارتأى المجلس أن «التكسير الهيدروليكي الأفضل... والحفر الأفقي، أو المائل يمكنهما أيضاً أن يحسّنا الاسترجاع في بعض الحالات».[46] ورفع المجلس التماساً خاصاً إلى الحكومة لزيادة نشاطات البحث والتطوير التي تقوم بها في مجال الغاز الطبيعي[47] (في ذلك الوقت كان ما نسبته 91٪ من ميزانية البحث والتطوير لمكتب الطاقة الأحفورية التابع لوزارة الطاقة مخصصاً للفحم، مع ما نسبته 2٪ فقط للغاز)؛ وطوال التسعينيات من القرن العشرين، وبعد إلغاء قانون استخدام الوقود الأمريكي، الذي كان قد حظر استخدام الغاز لتوليد الكهرباء، جرى تركيب قدرات تعمل بالغاز لتوليد أكثر من 200 جيجاواط.

- ونبه المجلس، في تقريره عن الغاز لعام 1999 [48] إلى أنه في الوقت الذي توجد فيه احتياطيات كبيرة من الغاز، فإن الحاجة ستكون ملحة من أجل إمدادات واستثمارات جديدة.

- وفي عام 2003، بدت آفاق الغاز الطبيعي في أمريكا الشمالية كئيبة؛ ففي شهادة غير مسبوقة أمام لجنة التجارة والطاقة التابعة لمجلس النواب،[49] حذر آلان غرينسبان، رئيس مجلس الاحتياطي الفيدرالي، من التهديد الذي يشكله على الاقتصاد خطر ارتفاع أسعار الغاز بسبب نقص الإمدادات، وأشار إلى الضرورة الملحّة لاعتماد محطات لاستيراد الغاز الطبيعي المسال بما يُكسِب سوق الغاز الطبيعي الأمريكية التنوع نفسه الذي تحظى به إمدادات الخام الأمريكية؛ وبينما اتضح فيما بعد أنه كان من الأولى أن يقلق غرينسبان بشأن الممارسات الإقراضية لمصارف التجزئة، فإن شهادته أفهمت وزير الطاقة كي يطلب من مجلس البترول القومي إعداد دراسة جديدة. وخلال أربعة أشهر، استكمل المجلس تقريراً ضخماً[50] خلص فيه إلى أن الولايات المتحدة بحاجة إلى التعجيل بإصدار الموافقات بشأن محطات الغاز الطبيعي المسال، وإزالة قرارات الوقف المفروضة على المناطق الخارجية، واعتماد خط أنابيب الغاز الطبيعي في ألاسكا، والسماح بالوصول إلى المناطق المقفرة والأراضي الاتحادية.

- وخلال أقل من 4 سنوات، تحوَّل منظور الصناعة بشأن المستقبل تحولاً جذرياً؛ فقد تراجعت توقعاتها بشأن إنتاج الولايات المتحدة [باستثناء ألاسكا وهاواي] عام 2005 بواقع 20٪، نحو 5 تريليونات قدم مكعبة.

- وأثرت الصناعة في رأي إدارة معلومات الطاقة بشأن إمدادات الغاز. ويتضح من استعراض تقرير الإدارة بعنوان "آفاق الطاقة السنوية" على مدى الفترة ما بين عامي 2003 و2005 مدى ضبابية توقعات الإدارة فيما يخص الغاز الطبيعي. فما بين تقريري

عامي 2003 و2006، تأرجحت التوقعات بشأن الواردات الأمريكية من الغاز الطبيعي المسال لعام 2025 من تريليوني قدم مكعبة (2003) إلى 6.4 تريليون قدم مكعبة (2005)، ثم إلى 4 تريليونات قدم مكعبة (2006). وفي تقرير عام 2012، تنبأت الإدارة بأن تصبح الولايات المتحدة مصدِّراً صافياً بحلول عام 2016، لكنها عادت وعدَّلت الموعد مؤخراً ليصبح 2020. [51]

- وفي عام 2003، كانت هناك 35 محطة للغاز الطبيعي المسال (بين قائمة ومعتمدة ومقترحة ومخطط لها) في أمريكا الشمالية مع سعة متوقعة تزيد على 35 مليار قدم مكعبة يومياً (كان إنتاج الولايات المتحدة [باستثناء ألاسكا وهاواي] في ذلك الوقت نحو 50 مليار قدم مكعبة يومياً). واعتباراً من ديسمبر 2012، انقلبت الصورة، إذ كانت هناك 3 محطات استيراد مقترحة و19 مشروع تصدير مقترحاً ومحتملاً مع سعة متوقعة تزيد على 24.7 مليار قدم مكعبة يومياً.

قد يكون من المفيد تحذير الغافلين عندما يسمعون عن تقارير مفادها أن الولايات المتحدة "سوف تغير خريطة الطاقة في العالم". فهناك الكثير من المخاطر والحواجز المحتملة لتحقيق الجانب الإيجابي من هذه التوقعات، وليس أقلها شأناً إذا ما كان صانعو القوانين في الولايات المتحدة سوف يسمحون بصادرات سنوية على مدى نحو عشرين عاماً لما يعادل نحو ثلث الاستهلاك الحالي.

التكسير الهيدروليكي

إن الحقن بالضغط العالي للمياه والرمل والكيماويات، لتكسير الصخور المحتوية على النفط والغاز، لزيادة النفاذية مفهوم غير جديد. والتكسير، كما يُسمى، يُطبَّق في الصناعة منذ أكثر من نصف قرن. أما الجديد فهو تطبيقه المكثف على الطين الصفحي البترولي في وسط الحوض (أي الصخور التي تشكل مصدر النفط والغاز) على امتداد مساحات واسعة باستخدام تكسيرات متعددة المراحل في الآبار الأفقية الطويلة، حيث ترتبط آبار

عدة بالمنصة نفسها. والحجة التي يدفع بها أرباب الصناعة -من أن عمليات التكسير لا تنطوي على إجراءت جديدة [مضرة بالبيئة] كدفاع ضد الإشراف الرقابي الإضافي والخاص على الصناعة - غير صادقة. كما تفاجأت بها الكثير من المناطق التي تفتقر إلى النظم الرقابية، أو الخبرة بصناعة المراحل الأولية لاستخراج النفط والغاز. ويشهد ردّ فعل الجمهور على هذه الصناعة نمواً مستمراً. وإلى الآن يقاوم واضعو القوانين في المملكة المتحدة والاتحاد الأوروبي النداءات بفرض حظر على التكسير الهيدروليكي، وإن فرضت بعض المناطق الإدارية بالفعل قرارات بوقفه؛ نتيجة لما أصبح -بدرجة كبيرة- مناقشات مسيَّسة ذات حلة تقنية.

والتطورات التي تشهدها أمريكا الشمالية قد توفر دروساً لباقي العالم مع التذكير بأنه من المهم وضع العائد المالي في الحسبان. فعلى عكس مناطق أخرى، فإن حقوق التعدين في الولايات المتحدة تعود إلى مالك سطح الأرض (تُستثنى من ذلك ألاسكا وبعض أراضي الرعي في منطقة جبل روكي). وتُعَدُّ الآفاق بأن يتلقى المزارعون الفقراء، وأصحاب الأملاك في المناطق الريفية دفقاً لم يحلموا به من المبالغ النقدية، دافعاً أساسياً وراء الطفرة التي يشهدها الغاز الصخري. وفي أقاليم مجاورة في كندا (كيبيك ونيو برونزويك)، يرى مالكو الأراضي أنهم يتحملون المخاطر البيئية كافة، بينما تستعد الصناديق المحلية والصناعات من مناطق أخرى لجني الثمار.

والتحولات أو التغيرات المفاجئة الثلاثة التالية لا تجسد التقلب المستمر في صناعة الغاز الطبيعي وأسواقه في أمريكا الشمالية فحسب، فهي تشير إلى أن أنماط الاستثمار ما زالت تتسم بقدر كبير من الضبابية أيضاً.

تحوُّل القطيع في الغاز الصخري: لقد نما إنتاج الولايات المتحدة من الغاز الصخري نمواً مطرداً منذ عام 2000، بحيث أصبح الآن يمثل أكثر من 30٪ من إنتاج الولايات المتحدة من الغاز، ويحلّ إلى درجة كبيرة محل إنتاج الغاز التقليدي؛ فعلى الرغم من وفرة الغاز وانخفاض الأسعار -بينما زادت حصة الغاز في توليد الكهرباء- يتواصل نمو الطلب الإجمالي على الغاز بالوتيرة نفسها منذ عام 1985. ولا تخلو رواية الغاز الصخري

الأمريكي من المتشككين والنقاد. إنها تفاعل معقد بين التقدم التكنولوجي، والتغيرات في أسواق الطاقة، وحاجة الصناعة إلى إظهار حدوث نمو في الاحتياطي للمستثمرين، والرفع المالي، ونشاط دعم الصناعة، والاحتياطي القابل للاستخراج المتنازع عليه، ومعدلات تراجع الآبار، وعقلية القطيع لدى المستثمرين، وقصر نظر المحللين، والنشاطات الداعمة للبيئة، والضائقة المالية التي يعانيها مالكو الأراضي، والتلاعب بالقواعد الجديدة للجنة أسواق الأسهم فيما يخص حجز الاحتياطيات.[52] وفي وقت تقل فيه أسعار الغاز عن 5 دولارات للمليون قدم مكعبة، فإن معظم آبار الغاز الصخري غير مربحة.[53] بيد أن التزامات خدمة الدَّين، والحاجة إلى توصيل الآبار المحفورة فعلاً، والالتزامات المقدَّمة إلى ملاك الأراضي للحفر ضمن أطر زمنية محددة، أسهمت جميعاً في تعميق الوفرة، بل إن البعض أشار إلى الأمر على أنه "سلسلة بونزي" [ويقال هرمية الوهمية].[54] وقد لزم أن ينتقل قطيع التكسير إلى الأجزاء الأكثر رطوبة (أي الأغنى من حيث السوائل الهيدروكربونية) من التجمعات الصخرية، لضمان أن يقابل ارتفاع أسعار السوائل خسائر الغاز أساساً.

انقلاب الغاز الطبيعي المسال: لقد حفزت الطفرة الظاهرة في فقاعة إمدادات الغاز (كما ذكرنا سابقاً) الاهتمام بتصدير الغاز في صورته المسالة. ومعظم مشروعات التصدير تستهدف السوق الآسيوية، وخصوصاً الصين. وثمة فروق كبيرة في الأسعار (نحو 14 دولاراً لكل مليون قدم مكعبة في 4 فبراير 2013 [55]) بين الأسعار في كل من شرق آسيا والولايات المتحدة في مركز هنري [لتوزيع الغاز في إيراث بولاية لويزيانا]، وفروق أقل، ولكنها تظل مهمة، مع أسعار الغاز الأوروبية. واتُّفق في إطار مشروع تصديري معتمد (وهو محطة "سابين باس" التابعة لشركة شانيير في غرب لويزيانا) على سعر يستند إلى 115٪ من السعر المعمول به في مركز هنري زائداً رسم إسالة ثابتاً قدره 2.15 دولار[56] للبيع إلى زبائن آسيويين وأوروبيين. وليس بوسع مصدِّري الغاز الطبيعي المسال في أمريكا الشمالية أن يتوقعوا ألا تتآكل فروق الأسعار من خلال المراجحة. وهناك مصادر أخرى في روسيا، أو أستراليا، أو اكتشافات أخرى في موزمبيق سوف تتنازع على السوق الآسيوية.

وأخيراً وليس آخراً، لن يواصل المشترون الآسيويون برضاهم دفع أسعار ترتبط بمزيج الخام الياباني. ومن المؤكد أن الخبراء في اليابان يعتقدون أن السعر الذي تستورد به البلاد الغاز يمكن أن ينخفض بواقع 10٪ من خلال استيراد الغاز الطبيعي المسال الأمريكي.[57] وكما أشير إليه سابقاً، فإن حكومة الولايات المتحدة لم تضع بعد سياستها لتصدير الغاز الطبيعي المسال في شكلها النهائي.

ومن بين مشروعات تصدير الغاز الطبيعي المسال في أمريكا الشمالية المقترحة والمحتملة، وعددها 22 مشروعاً،[58] تقع 7 منها على الساحل الغربي لأمريكا الشمالية، منها 4 مشروعات تقع على الساحل الشمالي الغربي لمقاطعة كولومبيا البريطانية، في كندا. وقد حظيت ثلاثة مشروعات كندية بموافقات تصدير من الحكومة الاتحادية. وثمة مقترحان آخران من أجل مدينة برينس جورج الواقعة إلى الشمال. وهذه المشروعات الخاصة في كولومبيا البريطانية لا تخلو من التحديات:

- سوف تعتمد هذه المشروعات على الغاز من عمليات التكسير العالية التكلفة في الركن الشمالي الشرقي النائي من مقاطعة كولومبيا البريطانية، ما سيتطلب تطوير إنتاج شامل ومتواصل وبنى تحتية جديدة لنقل الغاز مئات عدة من الكيلومترات إلى مواقع الإسالة المقترحة عند الأراضي الساحلية المنخفضة.

- تكاليف البناء فوق المضايق الساحلية النائية والعاصفة في كولومبيا البريطانية سوف تفوق -على سبيل المثال- تلك المتكبَّدة على امتداد ساحل الخليج الأمريكي، حيث يوجد معظم المشروعات التصديرية الأخرى.

- توجد حاجة إلى استحصال موافقة جماعات السكان الأصليين، وإن كان هناك إلى اليوم مشروع واحد على الأقل توجد فيه جماعة من السكان الأصليين كشريك.

- سوف تشكل ضريبة الكربون الخاصة في المنطقة إضافةً إلى التكاليف، سواء في الحقول (معالجة الغاز) أو مواقع الإسالة، إذ لن يُسمح لمحطات الغاز الطبيعي المسال

بالاعتماد على إمدادات المنطقة من الطاقة الكهرمائية لتأمين القدرة المطلوبة لجميع المشروعات، وهي تزيد على 3 جيجاواط.

- لم يوضَّح الإطار المالي فيما يخص استنزاف رأس المال بالنسبة إلى محطات الغاز الطبيعي المسال.
- تفكر حكومة كولومبيا البريطانية في فرض ضرائب على صادرات الغاز الطبيعي المسال.[59]

وأخذاً في الاعتبار أن صادرات الغاز الطبيعي المسال من هذه المنطقة اقتُرحت من قبل، في أوائل الثمانينيات[60] ومنتصف التسعينيات من القرن العشرين،[61] وأن بعض المقترحات الحالية لواردات الغاز الطبيعي المسال طُرحت قبل أقل من ثلاث سنوات مضت، فإن ثمة أسباباً لتوخي الحيطة لدى إعداد التوقعات بشأن الاستثمار.

التحول الأخضر: من الجدير بالملاحظة -بالنسبة إلى أولئك الذين يعتقدون أن طفرة الغاز الصخري سوف تدعم استجابة قائمة على الغاز الطبيعي لتغير المناخ- أن هناك تساؤلات أثيرت حول مؤهلات الغاز الطبيعي في ضوء الممارسات الحالية في صناعة التكسير.[62] وبينما شككت دراسات أكثر شمولية أعدّها معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في تقديرات انبعاثات الميثان الهاربة،[63] فإن القلق لا يمكن إغفاله إذا ثبتت صحة التوقعات بشأن اقتصاد قائم على الغاز الصخري (توليد الكهرباء المعزَّز، والمركبات العاملة بالغاز الطبيعي، وانتعاش صناعة الأسمدة، وزيادة استخدام الغاز في العمليات الصناعية) وأخفقت الصناعة في الحدّ بصورة حقيقية من انبعاثات الميثان.

بيد أن التغيير المطرد في صورة إمدادات النفط هو ذلك الذي شهدته أمريكا الشمالية، وهو الآن محط اهتمام الاستثمارات الرئيسية حول العالم.

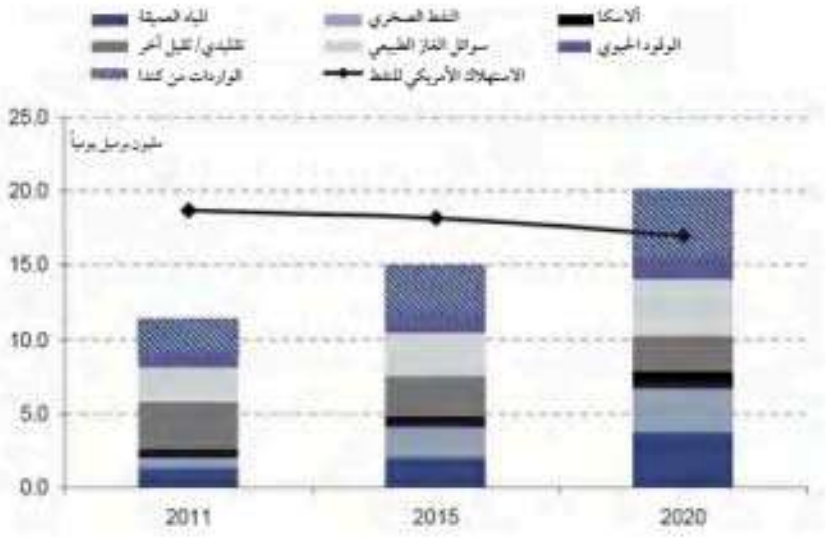
اتجاهات الاستثمارات النفطية في أمريكا الشمالية

تشير توقعات "سيتي بنك" إلى خمسة مصادر متنامية للإمداد بالسوائل، يمكن أن تتيح استقلال الولايات المتحدة عن الواردات من خارج القارة. وهذه المصادر هي: الرمل النفطي الكندي، والزيت الصخري، وإنتاج الحقول البحرية في خليج المكسيك، وسوائل الغاز الطبيعي، والوقود الحيوي، انظر الشكل (4-10). ولا يتناول هذا الفصل سوى جوانب الاستثمار في تكنولوجيا الرمل الزيتي، وتعطُّل السوق الناتج عن زيادة إنتاج الزيت الصخري.

الشكل (4-10)

إمدادات الخام الأمريكي من المصادر الداخلية والكندية مقابل

الاستهلاك الأمريكي



المصدر:

Edward L. Morse, "ENERGY 2020: North America, the New Middle East?" Citi GPS, Commodities Research and Strategy, 2012.

الرمال النفطية

تشكل الرمال النفطية في شمال شرق ألبرتا في كندا أحد أكبر الرواسب الهيدروكربونية في العالم. وقد لفتت هذه الرواسب، التي تصل إلى نحو تريليوني برميل من القار [البيتومين]، انتباه الجيولوجيين والمهندسين على مدى أكثر من قرن. وقد قام باحث يعمل لدى جهة حكومية بتطوير التكنولوجيا الأساسية المستخدمة اليوم في مشروعات التعدين/ التطوير المتكاملة لفصل القار عن الرمال، لأول مرة في أوائل العشرينيات من القرن العشرين. ويوجد أكثر من 90٪ من المورد على عمق كبير يتعذر معه تعدينه، ولذلك أجريت منذ الستينيات اختبارات على أساليب للحدّ من لزوجة القار الشبيه بدبس السكر (7–10° نقاء) في الموقع، وإنتاجه باستخدام الآبار. والإنتاج الحالي من القار الخام من الرمال النفطية، الذي يزيد على 1.9 مليون برميل يومياً،[64] نصفه تعديني، بينما النصف الآخر موقعي [أو موضعي]. أما القار التعديني فتجري ترقيته في الموقع وصولاً إلى 860 ألف برميل يومياً من النفط الخام الصناعي (~31–36° نقاء، 0.15–0.25 كبريت). أما الإنتاج الموقعي فيُستخدم فيه إما الحقن البخاري الدوري [ويقال: تحفيز البخار الدوري، والتحفيز بالبخار الدوّار]، وإما التزريب الجاذبي بواسطة البخار [ويقال: تصريف البخار بالاستعانة بالجاذبية، والصرف بالتثاقل المعتمد على البخار، والتصريف بواسطة الجاذبية بمساعدة البخار، والصرف بالثُّقالة المساعَد بالبخار، وحقن البخار بمساعدة الجاذبية]. والقار الخام ثابت بمقتضى ظروف الخزان، ولا بد من تحريكه باستخدام الحرارة أو المذيبات. وبينما يُستخدم البخار حالياً في معظم المشروعات لتزويد الخزان بالحرارة، يجري اختبار تكنولوجيات جديدة تستخدم المذيبات والتباينات في تركيبات البخار/ المذيبات، والتدفئة الكهربائية المقاومة [التسخين بالوشيعة الكهربائية]، والحثّ الكهرومغناطيسي، في حقول تجريبية. وتستخدم تكنولوجيا التزريب الجاذبي بواسطة البخار بئرين أفقيتين تبعدان عن بعضهما بعضاً بنحو 5 أمتار عمودياً، وفي العادة 80 متراً إلى 100 متر أفقياً. ويجري تطوير تباينات هذه التركيبة. وفيما يلي قائمة ببعض التوجهات الجديدة المستخدمة في الرمال النفطية:

- من أجل الحد من خطر مشروعات الرمال النفطية ذات التكلفة الرأسمالية العالية، حصلت شركة "جريزلي أويل ساندز" (شركة ذات مسؤولية غير محدودة) على براءة اختراع عن مخطط تجميعي مضغوط للتزريب الجاذبي بواسطة البخار (نموذج تطوير متقدم موحد تجميعي قابل للنقل) يمكن استخدامه بسرعة بتكلفة أدنى من محطات التزريب الجاذبي بواسطة البخار التقليدية. ويجري تطوير مشروعها الأول.

- توجد أسفل الرمال النفطية مساحات من الكربونات الكارستية [نسبة إلى الكارست، أو الحجر الجيري] المدملكة [نسبة إلى صخر المدملكات breccia] والمكسورة تحتوي على أكثر من 500 مليار برميل من القار.[65] وهناك شركتان على الأقل تقودان تجربة الإنتاج في هذه الكربونات، حيث تقوم شركة "أثاباسكا" للنفط باختبار تصريف الجاذبية المساعَد حرارياً، الذي يستخدم الحرارة من مقاومة الكهرباء في الكابلات على امتداد الآبار الأفقية لحشد القار؛ بينما تقترب شركة "لاراسينا" للطاقة المحدودة من المستويات التجارية في الإنتاج باستخدام استراتيجيات خاصة للاستكمال وحقن البخار.

- وتخطط شركة "إن-سولف" لتجربة تكنولوجيتها القائمة على المذيبات الساخنة في أزواج الآبار الشبيهة بالتزريب الجاذبي بواسطة البخار في موقع منشأة الاختبار تحت الأرض التي أثبتت تكنولوجيا التزريب الجاذبي بواسطة البخار لأول مرة.

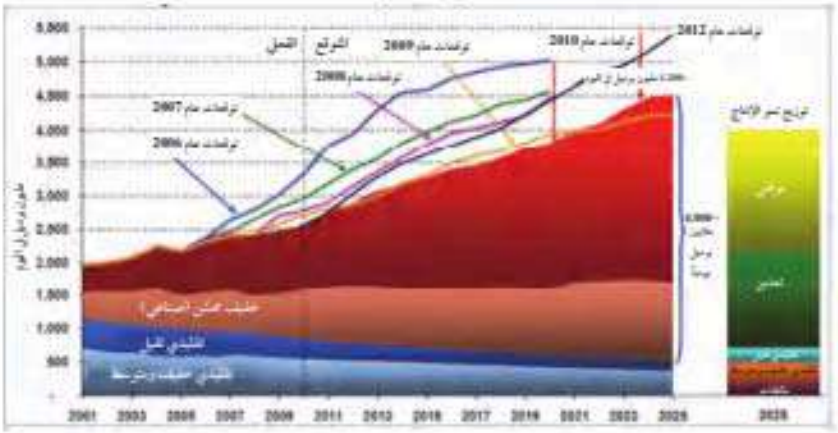
- اقتربت شركة "إمبيريال أويل" المحدودة من إطلاق خامس عملية تعدين بالتحميل والنقل (مشروع كيرل) لكن على عكس غيرها من العمليات، لن تشتمل هذه العملية على منشأة لتحسين القار؛ ويتم تخفيف القار المفصول جزئياً عن الأسفلت بواسطة المكثفات وشحنه إلى الأسواق.

إن التغير التكنولوجي في مجال الرمال النفطية يتسم بالبطء الشديد؛[66] وفكرة التزريب الجاذبي بواسطة البخار، التي ورد وصفها لأول مرة في عام 1969، لم تُطبَّق ميدانياً

سوى في أواخر الثمانينيات من القرن العشرين من جانب اتحاد مشترك بين الحكومة والصناعة. وبدأ أول مشروع تجاري في عام 1999، ويوجد الآن أكثر من 15 مشروعاً تجارياً في طور التنفيذ، وعشرات أخرى مقترحة، أو معتمدة، أو في مرحلة التطوير.[67] وحسبما ذكرته حكومة ألبرتا، ما بين عامي 2000 و2010، استُثمر 116 مليار دولار كندي في صناعة الرمال النفطية، ومن المزمع دفع مبلغ آخر قدره 218 مليار دولار كندي على مدى 25 عاماً.[68] وتتوقع الرابطة الكندية لمنتجي النفط، أن يصل الإنتاج المطروح في الأسواق من الرمال النفطية إلى 3.2 مليون برميل يومياً؛ بحلول عام 2020. وبينما تنطوي التوقعات السنوية للرابطة على مخاطر (حيث لا تقتصر الرابطة على جمع إنتاج التصميم المقترح للمشروعات الحالية والمقترحة)، فهي تتجاوز على الدوام الإنتاج الفعلي النهائي، انظر الشكل (4–11).

الشكل (4–11)

توقعات إنتاج النفط في غرب كندا



المصدر: CAPP data and Strategy West.

وقد اشتهرت مشروعات الرمال النفطية من حيث كونها عرضة للتأخير؛ ذلك أن القليل منها هو ما يحقق قدرته المفترضة بعد بنائه. والمشروعات التي تتمكن من ذلك

بالفعل تواجه صعوبة في الحفاظ على ذلك المستوى. ومن غير المحتمل أن يزيد الإنتاج من الرمال النفطية على المستوى الذي يتوقعه مصرف "سيتي بنك" لعام 2020، وهو 4 ملايين برميل في اليوم، وخصوصاً بالنظر إلى الزيادة الأخيرة في التكاليف، وتأجيل المشروعات والتراجع الحاد في الأرباح الشاملة، بسبب نقص القدرة الاستيعابية لخطوط الأنابيب.

ويكاد يكون لكل شركة نفط كبرى حضور في منطقة الرمال النفطية. والجدير بالملاحظة فيما يخص اتجاهات الاستثمار في الرمال النفطية هو اهتمام الشركات الأجنبية، وخصوصاً شركات النفط الوطنية لبعض الدول. وفي السنوات الخمس الأخيرة، اكتسبت شركات النفط الوطنية في كل من الصين والنرويج وتايلند وكوريا حصصاً في الرمال النفطية تقدَّر قيمتها بـ16 مليار دولار كندي، عدا عملية استحواذ بقيمة 15.2 مليار دولار كندي التي استحوذت بموجبها الشركة الوطنية الصينية للنفط البحري على شركة "نكسن".[69] وبينما استقطبت نشاطات شركات النفط الوطنية قدراً كبيراً من الاهتمام الإعلامي والسياسي (كانت موضوع إعلان يتعلق بالسياسات صدر في كندا مؤخراً، ويضع حداً للحصة التي يجوز لشركات النفط الوطنية أن تقتنيها في شركات الرمال النفطية)، فإنها في الواقع لا تسهم بالكثير على صعيد التطوير. كما أنها لا تتحكم في حصص كبيرة في مخزون كندا، أو حتى المخزون العالمي، من النفط الثقيل، ربما باستثناء شركات النفط الوطنية في فنزويلا والبرازيل التي تملك الاحتياطيات في بلديها؛ لكن هل نسبتاهما، وهما 11٪ و9.5٪ على التوالي، من احتياطيات 86 شركة تشكلان أهمية؟ ربما لا.

التأثيرات التعطيلية للنفط

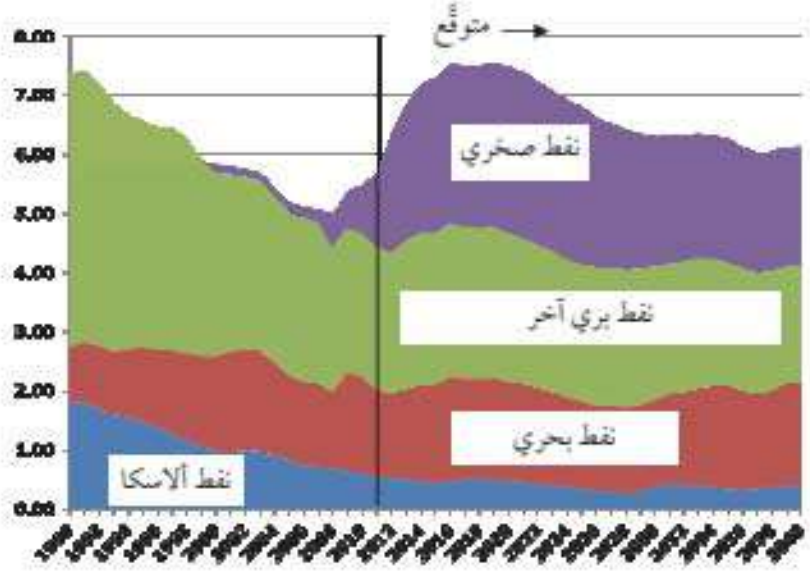
إن الزيادة الحادة والمتوقعة، انظر الشكل (4–12) في الإنتاج من حقول النفط الصخري [النفط المحكم] في الولايات المتحدة لها تأثيرات كبيرة في الصناعة والأسواق،

ما نتج عنه أسعار داخلية تقلّ عن الأسعار العالمية، وانخفاضات معتبرة في الخام الكندي، وضغوط على قدرات خطوط الأنابيب، ونقص خطوط الأنابيب والقدرة الإجمالية على النقل في حقول النفط الصخري الجديدة، وزيادة استخدام عربات السكك الحديدية لنقل النفط الجديد، وزيادة المقترحات بشأن خطوط الأنابيب لنقل النفط الداخلي إلى المناطق الساحلية وأسواق التصدير. وفي الوقت نفسه، اقتنص معارضو الوقود الأحفوري الفرصة للاعتراض على خطوط الأنابيب الجديدة، خصوصاً تلك المخصصة لنقل منتجات الرمال النفطية.

الشكل (4-12)

إنتاج الخام الأمريكي المحلي حسب المصدر، 1990-2040

(مليون برميل يومياً)



المصدر: US DoE/EIA, Annual Energy Outlook, 2013.

إن تكنولوجيا التكسير الهيدروليكي تصب في قلب هذه "الثورة"؛ إذ:

- إن تطبيقها داخل الولايات المتحدة -في الأحواض التي لم تكن تندرج ضمن المناطق البترولية، أو تلك التي تكون فيها البنية الأساسية السطحية إما معدومة، وإما محدودة- أدى إلى اختناقات وفائض محلي، خصوصاً في كوشينغ، في ولاية أوكلاهوما. فعلى مدى السنوات الثلاث الماضية -وتوقعاً لزيادة القدرة على نقل النفط من كوشينغ إلى ساحل الخليج- أضيفت مجموعة جديدة من خطوط الأنابيب بقدرة 815 ألف برميل يومياً إلى كوشينغ، بينما لم تُضف قدرة إجمالية على النقل سوى بواقع 400 ألف برميل يومياً من كوشينغ. ومن المخطط له تحقيق زيادة جديدة على قدرة التسليم والنقل بواقع 1.1 مليون برميل يومياً من كوشينغ وإليها على مدى العامين المقبلين، بينما يخطَّط لإضافة قدرة جديدة بواقع 830 ألف برميل يومياً لنقل النفط الصخري من الحوض البرمي في غرب تكساس مباشرةً إلى ساحل الخليج لتفادي كوشينغ.

- مع تغير مصادر الغاز الطبيعي مقارنة بالأسواق، يُنظر في تحويل خطوط الأنابيب غير المستغلة بالكامل لنقل النفط الخام (من باتوكا، بولاية إلينوي، إلى مركز سان جيمس عند ساحل الخليج شرق تكساس، حيث يُنقل من هناك بالناقلات البحرية وعربات السكك الحديدية، ومن غرب كندا إلى شرقها عبر خط أنابيب الغاز الطبيعي ترانس كندا). وقد شهدت واردات الخام الخفيف تراجعاً بواقع نحو 750 ألف برميل يومياً منذ عام 2010؛ ومن شأن هذه الخطوط الجديدة إحداث تخفيضات كبيرة جديدة في الواردات الأجنبية من الخام الخفيف إلى هذه المنطقة.[70]

- والخام الموجود في تكوين باكن في ولاية داكوتا الشمالية، أقرب إلى مصافي الإقليم الأوسط الشمالي الشرقي من الخام الكندي، وهو ذو قيمة أعلى بكثير من المزيج المرّ [الكبريتي] الثقيل من كندا؛ وقد استحوذت إمدادات باكن على سعة خطوط الأنابيب والأسواق بالنسبة إلى منتجات الرمال النفطية.

- ويشير معارضو الرمال النفطية ومقترحات خطوط الأنابيب إلى زيادة وتنويع سبل وصولها إلى الأسواق إلى كثافة غازات الدفيئة في الرمال النفطية. وبينما أدت عملية التكسير إلى انخفاض أسعار الغاز الطبيعي -ما يحسّن كثيراً من الجوانب الاقتصادية للرمال النفطية، حيث يُستخدم الغاز كوقود لتلك المشروعات الكثيفة الاعتماد على الطاقة- فإن الحافز الاقتصادي للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عن طريق إدخال تحسينات على كفاءة المحطات تتراجع بدرجة كبيرة نتيجة لذلك. وقد ألغي مشروعان لحبس الكربون وتخزينه (أحدهما محطة لتوليد الكهرباء بالفحم، والثاني مشروع لاستخراج الغاز من الطبقة الفحمية) في ألبرتا بسبب انخفاض أسعار الغاز الطبيعي.

- شهدت الاستثمارات في نقل النفط بالسكك الحديدية زيادة مطّردة لمعالجة مسائل الوصول إلى الأسواق؛ إذ تشير التقديرات إلى أن الحام المنقول بالسكك الحديدية خلال عامي 2011 و2012 شهد زيادة بواقع نحو 360 ألف برميل يومياً مع قيام أهم شركات السكك الحديدية بزيادة استثماراتها في المرافق لتلبية الطلب.[71] وفي الوقت نفسه، تراجع الفحم، الذي يمثل 41٪ من مجموع الحمولات الإجمالية للسكك الحديدية، بنسبة 11٪ مع تحول المرافق إلى الغاز الأرخص من أجل توليد الكهرباء.[72]

- كان التأثير في أسعار النفط وتفاوتها حاداً؛ حيث جرى مؤخراً تخفيض أسعار خام غرب تكساس المتوسط بنسبة 10٪-15٪ عن برنت، وجرى تخفيض أسعار الخام الكندي الداخلي الحلو [غير الكبريتي] بنسبة 5٪-10٪ عن أسعار خام غرب تكساس المتوسط، بينما يوجد فرق بنسبة 30٪ بين أمزجة القار المستخرجة من الرمال النفطية عن أسعار خام غرب تكساس المتوسط مقارنة بالنسبة التي سادت على الدوام، وهي 15٪-18٪. ولذا، فإن مزيج القار يستقطب نصف سعر برنت.

- إن دوام هذه الطفرة من عدمه محل جدل؛ وتجعل معدلات الهبوط السريعة (35٪-40٪ بالنسبة إلى آبار باكن، و40٪-45٪ بالنسبة إلى آبار إيغل فورد) الأمر يبدو وكأنه جرْي على جهاز للمشي؛ ذلك أن الصناعة بحاجة إلى حفر عدد متزايد باستمرار من الآبار العالية التكلفة (5-10 ملايين دولار لكل واحد) لزيادة الإنتاج، والخزان -على اتساعه- ليس غنياً أو منتجاً على نحو موحد. ومع تزايد ديون الأطراف الفاعلة من أجل الجري فوق جهاز المشي هذا، إذا ارتفعت أسعار الفائدة وانخفضت أسعار النفط، فإن ثورة النفط الصخري لن تتعدى كونها "مناوشة" في تاريخ النفط في أمريكا الشمالية.

هل "ثورة النفط الأمريكية" غير مسبوقة؟

بينما يمكن فهم الحماسة النابعة من زيادة المعروض من النفط وتراجع الطلب عليه، فإن معدلات التغير في هذين الجانبين للمعادلة النفطية الأمريكية ليست غير مسبوقة. وكما يتضح من الشكل (4-13) فإن الزيادة السنوية في إنتاج النفط في الولايات المتحدة تقترب من معدل الزيادة ما بين عامي 1965 و1970؛ وتقترب الزيادة في إنتاج النفط الصخري منذ عام 2005 من الزيادة في إنتاج الرمال النفطية منذ عام 2000، ومن الزيادة في إنتاج بحر الشمال على مدى نحو ثلاثة عقود منذ عام 1972. بيد أن توقعات إدارة معلومات الطاقة التابعة لوزارة الطاقة تشير إلى ارتفاع نمو إنتاج النفط الصخري بالمعدل نفسه لنمو إنتاج النفط الأمريكي في ستينيات القرن العشرين.

وفيما يخص استهلاك النفط الأمريكي، فإن التراجع السنوي الأخير يوازي التراجع الذي شهدته الفترة ما بين عامي 1978 و1983. أما الأمر اللافت للنظر فهو أنه بعد أن تراجع الإنتاج في الولايات المتحدة تراجعاً صافياً بواقع نحو 4 ملايين برميل يومياً ما بين عامي 1985 و2008، عاد إلى الارتفاع مجدداً بواقع أكثر من مليون برميل يومياً خلال مدة لم تتجاوز السنوات الأربع.

الشكل (4-13)

الزيادة في إنتاج النفط الأمريكي، والرمال النفطية الكندية، ونفط بحر الشمال، وانخفاض الاستهلاك الأمريكي

المصدر:

BP Statistical Review 2012; US DoE/EIA AEO 2013; CAPP Statistical Handbook; CAPP Canadian Crude Oil Forecast 2012-2030, 2012.

دور السياسات في ثورة النفط والغاز الأمريكية

ولّد هذا التغير في وضع الطاقة لدى الولايات المتحدة جدلاً جانبياً جديراً بالانتباه بشأن فعالية سياسات الطاقة. فأما من يرون أن الأسواق المفتوحة وإطلاق قدرة منظمي المشروعات على الإبداع سعياً إلى تحقيق المصالح الخاصة سوف يوفران أمن الطاقة

ويحققان تخفيضات في غازات الدفيئة، فيشيرون إلى نقص في محركات السياسات فيما يتعلق بثورة النفط الصخري والغاز؛ حيث يرون أن الطفرة في الغاز غير التقليدي مثال رائع على نتائج التغيير الأهم الذي أُدخل على سياسات الطاقة المتبعة خلال السنوات الخمس والثلاثين الماضية... [أي] التخلي عن ضوابط الأسعار والقيود التجارية وزيادة الاعتماد على التجديدات والأسواق الخاصة.[73]

وتميل وسائل الإعلام في أوساط الأعمال إلى إعادة الفضل إلى رائد أعمال مثابر من تكساس –وهو جورج ميتشل[74]– الذي تقدَّم[75] مسيرة الاستفادة التجارية من التكسير المتعدد المراحل في حقول بارنيت الصخرية في عام 1991. وهناك آخرون،[76] ممن يركزون على تدخلات الحكومة لتحقيق أمن الطاقة والأهداف البيئية، ويشيرون إلى الدعم المبكر لبحوث التكسير الهيدروليكي في إطار جهود البحوث والاستفادة التجارية المشتركة بين القطاعين العام والخاص بدعم من برنامج البحث والتطوير في مجال الوقود الأحفوري الذي أطلقته الحكومة الأمريكية قبل إنشاء وزارة الطاقة؛ والبحوث التي حظيت بدعم اتحادي لمعهد بحوث الغاز والبحوث ذات الصلة لدى المختبرات الاتحادية؛ ومشروعات الحفر التجريبي في إطار "مشروع الغاز الصخري الشرقي"، في سبعينيات القرن العشرين؛ والائتمانات الضريبية في إطار "الباب 29" [من قانون الضرائب على الأرباح المفاجئة لعام 1980] فيما يخص الغاز غير التقليدي ما بين عامي 1980 و2002 [يتأتى الائتمان من بيع "الوقود المؤهَّل" إلى الأطراف الثالثة المنفصلة، ويُعبَّر عنه بـ: دولار/ برميل من المكافئ النفطي، أو دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية]؛ وتقاسم التكاليف الخاصة بآبار الغاز الصخري الأفقية، بما في ذلك أول آبار ميتشل في حقل بارنيت الصخري بتكساس.

وكما هي الحال في معظم المناقشات من هذا النوع، فإن كلا الجانبين ينطويان على جزء من الصواب. فعلى عكس ما هو متوقع، إذا كانت سبل الوصول إلى الموارد النفطية العالمية المملوكة لشركات النفط الوطنية، ونسبتها 80٪ أو أكثر، متاحة للصناعة النفطية الخاصة، فمن غير المحتمل أن تلجأ هذه الأخيرة إلى تقنية التكسير في أمريكا الشمالية، بحيث يتم

استنزاف مورد مستنزَف أساساً منذ زمن طويل. ومن المؤكد أنه من دون اتفاق التجارة الحرة بين كندا والولايات المتحدة وخصخصة السكك الحديدية الكندية، من المشكوك فيه إذا ما كانت هذه الشركات ستكون اليوم في وضع يؤهلها للاستجابة إلى الزيادة في إنتاج النفط من الرمال النفطية وشمال داكوتا. وقد كان الدعم الحكومي في البحث والتطوير والشراكات بين القطاعين العام والخاص في المشروعات الإيضاحية من الأمور الثابتة منذ سبعينيات القرن العشرين. وفي كندا، حظيت الرمال النفطية بدعم حكومي كبير على مدى القرن الفائت، بما في ذلك المشاركة في تمويل المشروعات البحثية والإيضاحية والتمويل الأولي لمنجم سينكرود ومنشأة التكرير الخاصة به في سبعينيات القرن العشرين.

اتجاهات استثمار الأسهم

قد يتيح الاستثمار في الأسهم بديلاً عن الكيفية التي يمكن بها للمواطنين أن يستثمروا أموالهم في السياسات التي يميلون إليها. وبعبارة أخرى، هل يؤثّر الحديث المسهب عن سياسات الطاقة والبيئة في اتجاهات استثمارات الأسهم؟ كما تلاحظ دراسة صدرت مؤخراً عن "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" بشأن الاستثمارات الخضراء [أي المراعية للاعتبارات البيئية]، قد يكون هذا الأمر ذا صلة من الناحية النظرية، لكن هناك مشكلات عندما يتعلق الأمر بتعيين اتجاه الاستثمار المواضيعي:

> يرتبط الاستثمار المواضيعي باستغلال الاتجاهات المستقبلية؛ أي تحديد الفائزين (والاستفادة منهم) وكذلك -وبالأهمية ذاتها- تجنّب الخاسرين (أو التقليل من شأنهم). ويتناقض طابعه المستشرف للمستقبل تناقضاً واضحاً مع التوجه الأكثر شيوعاً للاستخدام القائم على الاستثمار في رسملة السوق، حيث يُفترض ضمناً أن يواصل الفائزون السابقون فوزهم بحيث يستحقون المزيد من الاهتمام والوزن في الحافظة. ولذلك، فإن الحجة التي كثيراً ما تساق هي أنه إذا أرادت الحكومات تحويل رأس المال الخاص إلى مجال مواضيعي، أو زيادة رأس المال الخاص في ذلك المجال (النمو الأخضر مثلاً)، فإن وضوح التعريف (أو المعايير) -والتكلفة المنخفضة- يجعلان تخصيص الأموال أكثر احتمالاً، ما يساعد على الإسراع بالتحول المطلوب. وهو يتيح أساساً تحويل الغربلة المواضيعية إلى سلعة.[77]

وعندما يحظى ما نسبته 38٪ من الأموال بأقلية الاستثمارات في قطاعات لا يبدو أنها ذات صلة بالموضوع، فإن ذلك يوحي بأن الدوافع الأساسية التي تحرك تكوين صناديق "خضراء، أو مستدامة، أو مسؤولة، أو أخلاقية"، أو الاستثمار فيها لا تختلف عن تلك التي تستحثّ الاستثمار في الصناديق غير النظيفة، وغير المستدامة، وغير المسؤولة، وغير الأخلاقية". وفي الواقع، قد يكون الاستثمار الأنجع هو ذلك الذي يتم في شركة غير نظيفة، وغير أخلاقية، وغير مستدامة، حيث يسعى المرء، كأحد حَمَلة أسهمها، إلى تغيير سلوكها وممارساتها.[78]

وعلى العموم، فإن أداء الصناديق الخضراء لم يكن رائعاً، وتشير البحوث إلى أن أداءها لا يختلف اختلافاً كبيراً عن أداء الصناديق التقليدية.[79] هل جسَّد الارتفاع في قيمة مؤشر الطاقة الجديد، انظر الشكل (4–4) رهاناً جماعياً يشير إلى إمكانية جني المال من خلال الاستثمار في الشركات المسجلة في مؤشر الطاقة الجديد لأن ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري ومخاوف الحكومات المعلنة بشأن تغير المناخ، و"الذروة النفطية"، وأمن الإمدادات سوف تؤدي إلى دعم حكومي كبير لمصادر الطاقة المتجددة؟ على الأرجح أن تلك الصناديق الخضراء كان المستثمرون ينظرون إليها باعتبارها مجرد سبيل آخر لكسب المال، بينما يشعرون بالراحة بشأن دعم هدف اجتماعي. وعلى أي حال، لقد كانت هذه الحماسة متقلبة، كما يتضح من الطبيعة الشديدة التقلب لإطلاق صناديق الأسهم العامة للطاقة المستدامة (التي بلغت ذروتها في عام 2007 قبل الانهيار). والأمر لا يختلف عن تقلب حماسة المستثمرين تجاه جميع سلع الطاقة. وتقدِّم الأمثلة التالية على أداء المؤشرات صورة ممتزجة للاستثمار، حيث يشير "خطاب السياسات" إلى:

- **الغاز هو الوقود الأحفوري الأكثر اخضراراً**: تراجُع مبلغ 10 آلاف دولار كندي في مؤشر الغاز الطبيعي الكندي في عام 2006 إلى 192.70 دولاراً في منتصف عام 2012.
- **"النفط غير النظيف"** على امتداد الفترة ذاتها: ارتفاع مبلغ 10 آلاف دولار كندي في مؤشر قطاع الرمال النفطية إلى 21989.80 دولاراً كندياً.

- **أمن الطاقة في الولايات المتحدة وطاقة أكثر اخضراراً من الفحم**: ارتفاع مبلغ 10 آلاف دولار أمريكي في مؤشر طومسون رويترز للغاز الصخري إلى 11490 دولاراً.

- **الطاقة الخضراء**: يعادل مبلغ 10 آلاف دولار في مؤشر ويلدرهيل للإبداع العالمي في الطاقة الجديدة (NEX) نحو 6300 دولار (في الفترة 31/ 10/ 2006– 31/ 10/ 2011)، بينما نجح مؤشر MSCI للأسواق المتقدمة في العالم بالكاد في الاحتفاظ بقيمته، انظر الشكل (4-4).

ولذلك، فإن أنماط الاستثمار في التكنولوجيا التي تزعم معالجة قضايا الطاقة العالمية، تسفر عن نتائج مخيبة للآمال في واقع الأمر. ومن المفارقة أن السبب الأصلي يمكن أن يعود إلى الدعم في مجال السياسات من جانب الحكومات، وهو ما يتوقف دوماً على الدورة الاقتصادية والمشكلات المالية التي تواجهها الحكومات لاحقاً. وليس المقصود من ذلك أن السياسات غير مجدية، وإنما أن هناك بعض أنواع السياسات، مثل الإعانات، التي يمكن أن تكون لها نتائج سلبية.

اتجاهات الملكية الفكرية

إن البحث والتطوير والإبداع أشكال من الاستثمار في تكنولوجيات المستقبل. ويقع إجراء مناقشة شاملة لاتجاهات البحث والتطوير في مجال الطاقة على مدى العقود الأربعة الماضية خارج نطاق هذه الورقة. ويكفي القول إن الميزانيات العمومية للبحث والتطوير في مجال الطاقة تراجعت عموماً، وهي تمثل حصة متناقصة في جميع البحوث التي تحظى بدعم عمومي، حيث يتبع الدعم الحكومي في مجال البحث والتطوير الدورة الاقتصادية، ويستجيب للضغوط السياسية التي تمارسها جماعات المصالح الخاصة.[80] وعادة ما تستجيب برامج البحث والتطوير –بدرجة تزيد، أو تقلّ– لخطاب السياسات، وهي لا تلبي على الإطلاق توقعات جميع المصالح.

وقد خلص مؤلفو تحليل صدر مؤخراً لـ"منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية"[11] عن محددات الإبداع في تكنولوجيات توليد الطاقة الكهربائية إلى أنه مع ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري، يزداد النشاط الإبداعي في تكنولوجيات الطاقة المتجددة، بينما يكون التأثير في التكنولوجيات القائمة على الوقود الأحفوري إيجابياً، لكنه يتزايد بوتيرة متناقصة، انظر الشكل (4-14). ولا يوجد تأثير مشابه لأسعار الوقود الأحفوري على نشاط استحصال براءات الاختراع في تكنولوجيات الطاقة النووية.

مع استمرار تزايد أسعار الوقود الأحفوري، فإن الإبداع في التكنولوجيات القائمة على الوقود الأحفوري تبدأ في التراجع، بما يوحي بأن هناك تأثيراً إحلالياً يُقصي الإبداع من تكنولوجيات الوقود الأحفوري باتجاه تكنولوجيات الطاقة المتجددة.

الشكل (4-14)

عدد الأولويات المزعومة في إطار اتجاهات الإبداع في تكنولوجيات الطاقة

ملاحظات: لا تشير الأولويات المزعومة سوى إلى براءات الاختراع المحمية في بلدان متعددة.

المصدر:

Elira Lanzi, Ivan Hascic and Nick Johnstone, "The Determinants of Invention in Electricity Generation Technologies," Environment Working Papers No. 45, OECD, 2012.

ولا يشرح المؤلفون الأسباب التي أدت إلى تزايد النشاط الإبداعي في الطاقة المتجددة، والوقود الأحفوري على السواء عندما ارتفعت الأسعار في الفترة 1978–1980، والأسباب التي أدت إلى استقرار براءات الاختراع في مجال الوقود الأحفوري. ولكنهم يشيرون إلى تراجع براءات مصادر الطاقة المتجددة في فترة ما بعد عام 1980. بيد أنه مع ارتفاع الأسعار ما بين عامي 2003 و2008، تراجعت الإبداعية في الوقود الأحفوري، بينما ارتفعت في مصادر الطاقة المتجددة. ومن المؤكد أن سياق السياسات ذو صلة بالموضوع؛ فقد شجع معظم الحكومات على البحث والتطوير في مجال الوقود الأحفوري (الفحم، والاستخلاص المعزَّز للنفط [ويقال الاسترداد الإضافي للنفط، وطرق الاستخراج الثانوية، وتقنيات الاستخراج المحسَّنة]، والنفط غير التقليدي) وبدائل النفط على وجه الخصوص في المرحلة المبكرة، بينما في المرحلة الأخيرة، لم يكن السياق السياسي يشجع على قيام دافعي الضرائب بدعم صناعة الوقود الأحفوري الغنية؛ فقد كان من الأسلم سياسياً القبول برأي الإعلام والحركة البيئية، بأن مصادر الطاقة المتجددة يمكن أن تلبي الاحتياجات المستقبلية من الطاقة الكهربائية إذا عُني المزيد من البحوث بتذليل الحواجز.

وتشير بعض الدراسات إلى أن نشاطات البحث والتطوير لا تسهم بالكثير في التأثير في براءات الاختراع الخاصة في مجال الطاقة، بل إنها قد تؤدي إلى هروب نشاطات البحث والتطوير الخاصة.[82] بيد أن البحوث الأحدث عهداً تشير إلى أن النفقات العمومية على البحث والتطوير لها تأثير إيجابي في بعض المجالات (مصادر الطاقة المتجددة والطاقة النووية على سبيل المثال)[83] لكنها تعتمد على سياق السياسات المتغير وعلى تركيز التمويل العمومي للبحث والتطوير في مجال الطاقة.[84]

ويبين الشكل (4–15) الاتجاه بين نحو 50 ألف براءة اختراع أمريكية في ثلاثة فئات من البراءات فيما يخص التنقيب عن النفط وكيمياء الحقول النفطية ما بين عامي 1969 و2011، مقارنة بأسعار النفط. ويبدو أن ركوداً حدث في الإبداع في التنقيب على النفط في أثناء ارتفاع أسعار النفط في أواخر السبعينيات من القرن العشرين، بينما كان المتوقع هو أن تشهد براءات الاختراع زخماً في إطار سياسة "التخلي عن النفط" و"أمن الإمدادات

النفطية". أما التفسيرات الأرجح فقد تتمثل في "الإبعاد" من جانب باقي أولويات البحث والتطوير في مجال الطاقة (شهدت هذه الفترة الذروة على الإطلاق في التمويل الاتحادي في مجال البحث والتطوير، بينما تواصل الدعم للوقود الصناعي حتى عام 1983)؛ وتأثيرات الكساد الاقتصادي؛ والتغير المفاجئ والحاد في سياسات الاقتصاد الجزئي، والنفقات العامة على البحث والتطوير في عهد الرئيس ريجان، الذي انتُخب في عام 1980 (تراجعت الميزانية الاتحادية الأمريكية للبحث والتطوير في مجال الطاقة بواقع أكثر من النصف، من نحو 8 مليارات دولار في عام 1979 إلى أكثر بدرجة طفيفة من 3 مليارات دولار في الفترة الثانية لولاية ريجان[85]). ومن اللافت للانتباه أن براءات الاختراع في مجال حفر آبار النفط بدأت في الازدياد بالقرب من نهاية رئاسته، لكنها تدنّت في عام 1997 في أثناء الأزمة المالية العالمية.

الشكل (4-15)

طلبات براءات الاختراع المتعلقة بحفر آبار النفط والغاز وأسعار النفط

(2011-1969)

المصدر:

US DOE EIA and US Patent and Trademark Office (USPTO)

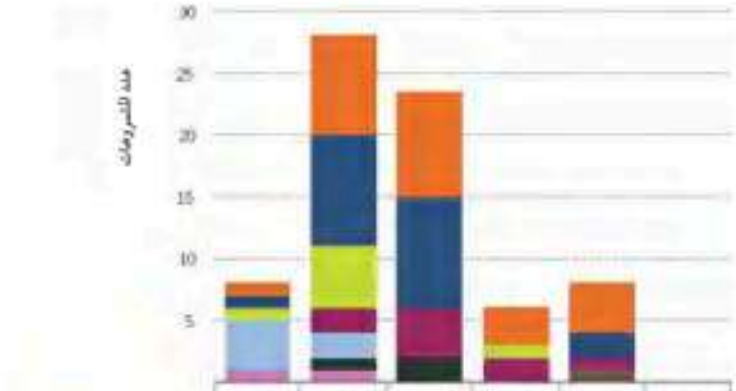
احتجاز الكربون وتخزينه

كما هو متوقع، وكما هي الحال بالنسبة إلى الاستثمارات الرأسمالية الأخرى التي تهدف إلى الحدّ من الانبعاثات الكربونية، فقد تراجعت وتيرة تطوير مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه، وإن بدرجة طفيفة. وعلى مدى عام 2012، ازداد عدد المشروعات المتكاملة الكبيرة الحجم لاحتجاز الكربون وتخزينه بنسبة 1 إلى 75. لكن خلال هذه السنة أُلغيت ثمانية من المشروعات المتكاملة الكبيرة الحجم المحددة مسبقاً، أو عُلقت، أو أعيدت هيكلتها. ويبين الشكل (4–16) التوزيع الجغرافي لمشروعات احتجاز الكربون، وتخزينه التي تابعها المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه.[86] وتنطوي مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه الواعدة من حيث العائدات، مثل الاستخلاص المعزَّز للنفط، على إمكانات أكبر من حيث الحصول على تمويل القطاع الخاص. والمشروعان العاملان في أوروبا يخصان معالجة الغاز الطبيعي البحري النرويجي، حيث يوجد حافز اقتصادي في شكل ضريبة كربونية. وتتطلب مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه في معظمها دعماً مالياً حكومياً قوياً؛ وهو أمر غير محتمل في الظروف الاقتصادية الراهنة. ومن بين مبالغ الدعم العام المتاحة لاحتجاز الكربون، وتخزينه، وقدرها 20.7 مليار دولار، خُصص ما نسبته 65٪ لمشروعات محددة.

وتمتلك مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه الثمانية العاملة قدرة استيعابية مقدارها 23.2 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون (أي ما يعادل انبعاثات محطة شيرير لتوليد الكهرباء بالفحم في جورجيا، في الولايات المتحدة)؛ وتحتجز مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه ثاني أكسيد الكربون من العمليات التالية: 6 محطات لمعالجة الغاز الطبيعي، ومصنع للأسمدة، ومحطة للغاز الصناعي. وهناك خمس من تلك العمليات يُستخدم فيها ثاني أكسيد الكربون للاستخراج المعزَّز للنفط، وثلاث يخزَّن فيها ثاني أكسيد الكربون في مستودعات مائية مالحة.

الشكل (4-16)

الوضع العالمي لمشروعات احتجاز الكربون وتخزينه



	التحديد	التقييم	التعريف	التنفيذ	التشغيل	المجموع
الولايات المتحدة	1	8	9	3	4	25
أوروبا	1	9	9	0	2	21
أستراليا ونيوزيلندا	1	5	0	1	0	7
كندا	0	2	4	2	1	9
الصين	4	2	0	0	0	6
الشرق الأوسط	0	1	2	0	0	3
بقية آسيا	1	1	0	0	0	2
إفريقيا	0	0	0	0	1	1
المجموع	8	28	24	6	8	74

المصدر:

Global CCS Institute, "The Global Status of CCS 2011," Canberra, Australia, 2012.

وقد تراجع عدد المشروعات الجديدة المحددة من 19 مشروعاً في عام 2009 إلى 9 مشروعات فقط في عام 2011. وبينما يشير المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه إلى إحراز تقدم، فإن سعة احتجاز الكربون وتخزينه سوف تقلّ عن المطلوب، ما لم تحدث زيادة معتبرة في الدعم الحكومي.

استنتاجات

تأتي الاتجاهات في استثمار تكنولوجيا الطاقة مغايرة للتوقعات عموماً مقارنةً بالخطاب الواسع في مجال السياسات المحيط بشواغل الإنسانية في مجال الطاقة. وبينما ظلت توقعات الوكالة الدولية للطاقة، بل كل التوقعات تقريباً، على مدى أكثر من عقدين تدق ناقوس الخطر من دون توقف بشأن التصاعد الحاد لانبعاثات غازات الدفيئة المرتبطة بالطاقة وضرورة اعتماد سياسات محكمة لحرف هذا الاتجاه، إن لم يكن قلبه، فإن الانبعاثات العالمية مستمرة في التصاعد. ولم يكن من الممكن للمرء أن يتوقع، لدى الإصغاء إلى النقاش العام، أن الوقود الأكثر كثافة كربونية، وهو الفحم، سوف يكون الأعلى نمواً على مدى العقد الماضي. فقد كان المتوقع زيادة الدعم الذي تحظى به مصادر الطاقة المتجددة، وقد حدث هذا بالفعل؛ لكن، من باب المفارقة، فقد عاد الدعم الحكومي لمصادر الطاقة المتجددة بنتائج عكسية، إذ إنه استحثّ انتعاشة غير مستدامة بين الشركات والمستهلكين والمستثمرين. وقد يكون هذا الأمر مؤقتاً، لكن سوف يكون لزاماً على الحكومات أن تستعين بآليات أخرى أكثر إحكاماً، وأقل اعتماداً على الأموال العامة والضمانات السعرية، الطويلة الأجل والثابتة، لاستعادة ثقة الأطراف جميعها في صناعة مصادر الطاقة المتجددة وأسواقها.

إن التراجع في الانبعاثات الكربونية في معظم بلدان "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" يعود في معظمه إلى التراجع الاقتصادي. وفي أمريكا الشمالية، فإن انتعاش إنتاج النفط والغاز، وتراجع الانبعاثات الكربونية في قطاع توليد الكهرباء، وتحسُّن أمن إمدادات النفط الأمريكية، يعود بدرجة أكبر إلى وجود السياسات التي تمنع وصول صناعة النفط والغاز إلى البلدان التي تمثل تحدياً أقل من الناحية التكنولوجية، وتحظى بموارد أوفر من الهيدروكربونات، وإلى استخدام تكنولوجيات جديدة (التكسير الهيدروليكي والحفر الأفقي) أكثر من كونه يعود إلى أي سياسات حكومية محددة.

إن اتجاهات الاستثمار، كما تجسدها مؤشرات الأسهم، لا تشجع على الاستثمار المراعي للاعتبارات الاجتماعية؛ فالمستثمرون في المؤشرات الخضراء مثل الغاز الطبيعي ومصادر الطاقة المتجددة لحقت خسائر بأسهمهم، بينما المستثمرون في الرمال النفطية الكثيفة الكربون، على سبيل المثال، حققوا أرباحاً مضاعفة، وإن تراجعت قيمة الرمال النفطية بسبب إخفاقات، أو تناقضات لاحقة في السياسات، مثل رفض رئيس الولايات المتحدة اعتماد البنى الأساسية لخطوط الأنابيب. وتشهد الطاقة النووية تراجعاً مع التصاعد المطّرد في سعة توليد الكهرباء بالمصادر المتجددة. ويؤدي تزايد مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء إلى زيادة التكاليف، وتراجع موثوقية النظام، وكذلك، على عكس المتوقع، زيادة عدد محطات الوقود الأحفوري المطلوبة كقدرة إحلال، أو إسناد في بعض المناطق. ويُذكر أن اجتماع تراجع الطاقة النووية وزيادة الاعتماد على الغاز الطبيعي من أجل الحلول محل الطاقة النووية ودعم مصادر الطاقة المتجددة أمر يدعو إلى القلق من حيث انبعاثات غازات الدفيئة، وخصوصاً في ضوء الأدلة على أن تسرب الميثان من صناعة الغاز أكبر مما كان يُفترض في السابق.

وأخيراً، فإن الإنفاق على احتجاز الكربون وتخزينه، وهو الاستجابة التكنولوجية الحاسمة لتغير المناخ، قد توقف.

القسم الثاني

التحديات والفرص في القطاعات ذات الاستخدام الكثيف للطاقة

الفصل الخامس

الحد من استهلاك الطاقة في التصنيع: الفرص والتأثيرات

بن سونغ ودواين وانغ*

يُعرَّف التصنيع [أو الصناعات التحويلية] عموماً بوصفه عمليةً مستهلِكة للطاقة؛ يتم بموجبها تحويل المواد الأساسية إلى منتجات نهائية مفيدة. والصناعات التحويلية ركيزة من ركائز المجتمع الحديث، وهي مسؤولة عن إيجاد السلع التي تتطلبها أساليب الحياة الحديثة، كما أنها قوة اقتصادية مفصلية تسهم بنحو 26.3٪ من الناتج المحلي الإجمالي العالمي.[1] وفي الآونة الأخيرة أصبحت الصناعات التحويلية محطّ تركيز الجهود المبذولة لمكافحة تغير المناخ، على اعتبار أنها مسؤولة عن نحو 20٪ من انبعاثات غازات الدفيئة.[2] وعلى الصعيد العالمي، تستهلك الصناعات التحويلية نحو 51.7٪ من جميع مصادر الطاقة الأولية، ونسبة 41.7٪ من الكهرباء المولَّدة.[3] وفي سنغافورة والعديد من الدول الأخرى مثل الصين، والهند، والبرازيل، وروسيا، وألمانيا يمكن أن تصل حصة قطاع الصناعة إلى نصف إجمالي استهلاك الطاقة.[4]

وعلى مدى العقود القليلة الماضية، لوحظ أن قطاع الصناعات التحويلية نما بالتوازي مع تزايد استهلاك الطاقة. وقد كان الاستهلاك الإجمالي للطاقة ضمن البلدان المتقدمة النمو مثل الولايات المتحدة في تراجع عموماً منذ عام 1998، على الرغم من أن المكونات المتناسبة لمختلف مصادر الطاقة مثل النفط الخام والطاقة الكهرمائية متماثلة.[5] ومن أجل الحدّ من البطالة وحفز النمو الاقتصادي في الكساد الاقتصادي الحالي، توجد لدى البلدان

* دواين وانغ، مهندس وباحث في معهد سنغافورة لتكنولوجيا التصنيع (SIMTech)، حيث يتخصص في الاستدامة وإدارة دورة الحياة. وقد شارك منذ التحاقه بالمعهد في يوليو 2012، في دراسات بشأن أساليب تحليل دورة الحياة والتصنيع المتسم بالكفاءة في استخدام الطاقة.

المتقدمة النمو مثل الولايات المتحدة والمملكة المتحدة خطط لتجديد تركيزها على الصناعة، وهو إجراء يمكن أن يؤدي إلى زيادات كبيرة في استهلاك الطاقة.[6] وفي الواقع، فإن نمو السكان، مصحوباً بالتحسن في نوعية الحياة، سوف يتطلب زيادة القدرات التصنيعية. وإذا واصلت الصناعات التحويلية استهلاك القدر نفسه من الطاقة لكل وحدة إنتاجية -كما هو حادث اليوم- فإن ذلك سيؤدي إلى زيادات كبيرة في الاستهلاك العالمي للطاقة، انظر الشكل (5-1). ومن الممكن أن يؤدي هذا الاتجاه إلى ضغط مفرط على موارد الطاقة العالمية.

الشكل (5-1)

النمو العالمي في استهلاك الطاقة والناتج المحلي الإجمالي والسكان

المصدر:

S. Upadhyaya, Compilation of Energy Statistics for Economic Analysis, United Nations Industrial Development Organization, Vienna, 2010.

ملحوظة: النمو (1998=100)

وقد أسهم القلق المتعلق باستهلاك الطاقة غير المستدامة، وكذلك زيادة الوعي بتغير المناخ بسبب انبعاثات غازات الدفيئة من الوقود الأحفوري، في نشوء سلسلة من القوى

المحركة على صعيدي الأسواق والسياسات لتطوير القدرات في الطاقة المتجددة وتحسين الكفاءة في استخدام الطاقة. ويمكن النظر إلى الصناعات التحويلية، باعتبارها مستهلكاً أساسياً للطاقة ضمن الاقتصاد الحديث. وبطبيعة الحال، فإن هذه الصناعة هي إحدى أولى الصناعات التي سوف تشعر بالضغط إزاء الحد من استهلاكها من الطاقة حسب الإنتاج. وللاختصار، فإن محركات الحدّ من استهلاك الطاقة في الصناعات التحويلية يمكن تصنيفها كما يلي:

- **الاتجاهات الصاعدة في أسعار الطاقة:** تُعدّ التقلبات في أسعار الطاقة خلال العقد الأخير واتجاهها التصاعدي المتوقع والمرصود في المستقبل إحدى أهم القوى المحركة. وتشير التوقعات الواردة في التقرير الذي أصدره الاتحاد الأوروبي بعنوان "اتجاهات الطاقة حتى عام 2030" إلى أن أسعار النفط والغاز والفحم لكل برميل من المكافئ النفطي المستهلَك في المستقبل سوف تشهد زيادة كبيرة، انظر الشكل (5–2). وفي عام 2011، أجرت وحدة "إكونوميست" للمعلومات استعراضاً بشأن أهمية كفاءة الطاقة في المنشآت التجارية اليوم ومواقف المديرين بشأن هذه القضية. وكانت النتيجة الرئيسية التي خلص إليها الاستعراض ضرورة الارتقاء بالإنتاج الصناعي إلى أقصى حد، وتقليص الأضرار البيئية إلى أدنى حد، باستخدام التكنولوجيات والأساليب الجديدة لتحسين كفاءة الطاقة في العمليات التصنيعية.[7] وتحسين الكفاءة في استخدام الطاقة يمكن أن يدرّ منافع في مجالات الربحية والإنتاجية وحفظ الموارد المادية.[8] وفي الوقت نفسه، فإنه يعوّض التأثيرات البيئية النابعة من الأنشطة البشرية مثل تكوين المنتجات الجانبية للنفايات من عمليات توليد الطاقة، مثل انبعاثات غازات الدفيئة.[9]

- **المتطلبات التنظيمية والطوعية:** استُهل العديد من البرامج التشريعية والطوعية لتلبية الحاجة إلى حماية البيئة وتدابير تخفيف آثار تغير المناخ. وقد اعتمدت دول

آسيوية، ودول من مناطق أخرى التوجيهات الصادرة عن الاتحاد الأوروبي، مثل التوجيه المتعلق بالقيود على استعمال المواد الخطرة RoHS (EU 2002/95)، والأمر التوجيهي المتعلق بنفايات المعدات الكهربائية والإلكترونية WEFE (EU 2002/96)، والتوجيه المتعلق بالمنتجات ذات الصلة بالطاقة ErP (EU 2009/125).[10] وتضع هذه التوجيهات مواصفات لاستهلاك الطاقة في عملية دورة حياة المنتَج، وتقتضي في الوقت نفسه أن يتولى المصنِّعون مسؤولية النفايات الناتجة عن نهاية حياة المنتَج. وعلاوة على ذلك، فإن تزايد القلق بشأن تغير المناخ أدى إلى إرساء نظم تحديد الانبعاثات وتداولها (على سبيل المثال، بروتوكول كيوتو، وآلية التنمية النظيفة، والاتجار بأرصدة انبعاثات الكربون المسموح بها،... إلخ) وضرائب الكربون في بلدان مثل النرويج وأستراليا. وعلى الرغم من تباين الآراء ونقص العقود الملزمة قانونياً المتفق عليها لدى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ التابعة للأمم المتحدة، فإن العديد من البلدان واءمت أهدافها القومية للحدّ من غازات الدفيئة مع توصيات الهيئة للحد من الانبعاثات بنسبة 15٪–30٪ بحلول عام 2020 في إطار سيناريو بقاء الأمور على حالها.[11] ومن أجل تحقيق هذه الأهداف التخفيضية، وضعت البلدان والمنظمات برامج طوعية لخفض الانبعاثات الكربونية.[12] كما بدأت البلدان في الضغط من أجل اعتماد مبادرات وتشريعات للحد من استهلاك الطاقة في الصناعة. فعلى سبيل المثال، يقتضي قانون حفظ الطاقة في سنغافورة،[13] والمقرر أن يدخل حيز التنفيذ اعتباراً من إبريل 2013، بأن تتولى الشركات التي تستهلك أكثر من 15 جيجاواط ساعة (أو 1.29 كيلو طن من المكافئ النفطي) من الطاقة سنوياً تسجيل استخدامها من الطاقة والإبلاغ عنه، ووضع خطط لتحقيق الكفاءة في استخدام الطاقة، وتعيين "مديرين معنيين بالطاقة". ويجري تقديم الحوافز للمصنِّعين وكذلك الاشتراط عليهم باتخاذ التدابير الكفيلة بالحد من استهلاكهم الشامل للطاقة.

الشكل (5-2)

أسعار الوقود الأحفوري في خط الأساس (أسعار الدولار الثابتة في عام 2008 لبرميل المكافئ النفطي)

المصدر:

P. Capros, et al., "EU Energy Trends to 2030 – update 2009," Directorate-General for Energy, European Commission (Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010).

- **متطلبات تنفيذ سلسلة إمداد مستدامة:** إن من شأن المتطلبات التنظيمية والطوعية أن تؤثّر تأثيراً مباشراً في مصنّعي المنتجات، وخصوصاً الشركات الكبرى حجماً. وضمن الصناعة الشاملة، فإن تأثيرات تلك المتطلبات تمتد من مصنّعي المنتجات النهائية إلى مقدّمي تكنولوجيا الصناعة، وتؤثّر في نهاية المطاف في جميع الأطراف في سلاسل إمداد المنتجات. وستتأثر كذلك المؤسسات الكبيرة والمنشآت الصغيرة والمتوسطة التي تنتج مكونات وتقدّم خدمات. وقد أصبح مفهوم "سلسلة الإمداد المستدامة" توجهاً مهماً من أجل التحسين المستمر داخل إدارة الشركات.[14] ويشمل مفهوم سلسلة الإمداد المستدامة التوقعات والمعايير على حد

سواء، فيما يتعلق بالتواصل مع المورِّدين، بما في ذلك المزايا الاجتماعية والأداء البيئي، بالإضافة إلى التأثيرات الاقتصادية التي تقاس نمطياً. ومن الاعتبارات الرئيسية أيضاً الحد من استهلاك الطاقة وتحسين الكفاءة في استخدامها.

وتقدِّم التأثيرات الفردية والمجتمعة للمحرِّكات الثلاثة الآنفة الذكر قوة دفع من أجل إجراء تغييرات عميقة في تكنولوجيات الصناعات التحويلية وإدارتها. ويجري تطوير نظم وتكنولوجيات جديدة من أجل تحسين استغلال الطاقة وتطبيقها في المنشآت التصنيعية. وتتشكل تكنولوجيات جديدة ومبتكرة ذات مستويات واعدة على صعيد توفير الطاقة. ويُعَدُّ التصنيع الإضافي [ويعرف أحياناً بالتصنيع بالإضافة، والمضاف، والجمعي، والتراكمي، والتتابعي] أو الطباعة الثلاثية الأبعاد أحد الأمثلة التي تكاد تحدث فيها عملية التصنيع مباشرة من المختبر إلى مكان الإنتاج، ومن النماذج إلى المنتجات الحقيقية، ما ينطوي على تغير جذري في الطريقة التي تُصنع بها المنتجات.[15] لقد تغير التعريف التقليدي لـ"النفايات" في الصناعة تغيراً جذرياً. فبينما يعاد تدوير النفايات في أثناء عملية التصنيع متى أمكن، يزداد إخضاع المنتجات المنتهية حياتها إلى عملية إعادة تصنيع[16] لصنع منتجات جديدة مع تحقيق توفير كبير، سواء من حيث المواد أو الطاقة.

ولأسعار الطاقة التي تتأثر بالسياسات وقوى السوق، تأثير مباشر في الابتكار وتطبيق تكنولوجيات جديدة وذات كفاءة في استخدام الطاقة في الصناعات التحويلية، وثمة علاقة دينامية بين الاثنين؛ ذلك أن ارتفاع أسعار الطاقة يحفز على المزيد من الابتكار واستخدام التكنولوجيات ذات الكفاءة في استخدام الطاقة، ما يحد في نهاية المطاف من الطلب على الطاقة عموماً ويخفض أسعارها. وبمرور الوقت، يؤدي هذا الانخفاض في أسعار الطاقة مجدداً إلى تباطؤ الابتكار والتطبيق حتى انطلاق الدورة المقبلة مع بداية ارتفاع أسعار الطاقة من جديد. وعلى نطاق هذه العمليات الدورية، يوجد العديد من الفرص لتطوير التكنولوجيات الجديدة وتطبيقها، وإن اقترنت بتلك الفرص تحديات من النواحي التقنية والاقتصادية، وكذلك الناحية المتعلقة بإدارة الشركات.

وهناك الكثير من التقارير الصادرة عن الهيئات الدولية لتحليل استهلاك الطاقة، وكذلك إمكانات الحد من استهلاكها لدى مختلف قطاعات الصناعات التحويلية مثل الحديد والصلب، والأغذية والمشروبات، والآلات،... إلخ.[17] وفي هذه الورقة، يُعتمد توجه قائم على التكنولوجيا، حيث يتم تجميع توجهات عدة مستقاة من تقارير مختلفة بشأن الحد من استهلاك الطاقة في الصناعات التحويلية. كما تُستعرض حالات من تكنولوجيات قائمة وواعدة، بينما يجري تحليل تأثير تلك التكنولوجيات في استدامة الطاقة ضمن لمحة عامة موسَّعة.

منهجية البحث

يكمن هدف هذه الورقة في تحديد مختلف التحديات والفرص التكنولوجية من أجل تحسين كفاءة الطاقة في عمليات الصناعات التحويلية وتصنيف تلك التحديات والفرص وتحليلها. ولدى الانتهاء من عملية التحديد، يمكن بعدئذ أن يسير تطوير الفهم اللاحق ضمن سياق أكثر منهجية.[18] وتستند الورقة إلى "أسلوب بحثي أرشيفي"[19] ينطوي على دراسة الحقائق المسجَّلة مسبقاً من خلال تحليل المضمون وأخذ العينات. وتتألف عملية التحليل من الخطوات التالية:

- تعريف المصطلحات وتصنيفها: "الصناعات التحويلية"، و"التوجهات نحو الحدّ من استهلاك الطاقة"، و"التحديات"، و"الفرص".
- وحدة التحليل: تُعرَّف وحدة التحليل بوصفها ورقة بحثية وحيدة يتواصل رسم حدودها رهناً بالنطاق المحدد والتعريفات الآنفة الذكر.
- النطاق: يركز استعراض الأدبيات على الكتب والأوراق المنشورة ومقالات المؤتمرات، وكذلك منشورات الوكالات التي تحظى برعاية حكومية. ويشمل النطاق الزمني للفرص التكنولوجية السنوات العشرين الأخيرة حفظاً للحداثة والصلة بالموضوع. وقد استُخدمت كلمات رئيسية مثل "تحسين كفاءة الطاقة"

و"الصناعات التحويلية" و"التكنولوجيات" و"أحدث ما توصل إليه العصر" في عمليات البحث المكتبية في قواعد البيانات لجمع المنشورات.

- إرساء سياق تصنيفي، من خلال: توزيع أنشطة الصناعات التحويلية حسب استهلاك الطاقة؛ والمقارنة بين البلدان وقطاعات الصناعة،... إلخ؛ ومقارنة "التحديات" و"الفرص" وتوفير الطاقة،... إلخ.
- القياس الكمي وتصنيف أحدث ما توصل إليه العصر من فرص تكنولوجية: بعد استعراض مستفيض للأدبيات، تُجمع الفرص التكنولوجية وتُلخَّص من حيث نطاقها وتصنيفها لتكوين جدول شامل لتيسير الإحالة المرجعية والمقارنة.
- حالات دراسية محددة: للفرص التكنولوجية المجمَّعة، حيث تُستعرض عدة حالات بمزيد من العمق والتفصيل.
- مقارنة التأثير المحتمل وتحليلاته: يتم وضع نوع من أنواع نظم التصنيف -مصفوفة فرص مثلاً- لتعيين الفرص التي تنطوي على إمكانات أكبر، وقد يكون لها أعظم تأثير لدى التطبيق.
- رسم حدود المجال:

  - مَن: العلماء والمهندسون والخبراء ضمن المجال المحدد مع أوراق منشورة في مصادر مرموقة.
  - ماذا: الصناعات التحويلية وعملياتها الفرعية.
  - متى: من خمسينيات القرن العشرين حتى الوقت الحاضر، لكن يُفضَّل خلال السنوات العشرين الأخيرة.
  - أين: عالمياً، لكن مع التركيز على اقتصادات معينة مثل الحالات الدراسية للولايات المتحدة، وأوروبا، وسنغافورة.
  - لماذا: لتقليص نطاق المجال وتقديم حجة أكثر إيجازاً وتخصصاً.

- كيف: استعراض الأدبيات وتحليلها باستخدام المنشورات الموسوعية والعلمية والهندسية الإلكترونية، والمجلات وأوراق المؤتمرات، والبرامج الإعلامية والإخبارية والعروض والبيانات المستمدة من الوكالات الحكومية.

استهلاك الطاقة في الصناعات التحويلية

يمكن تصنيف الصناعات التحويلية عموماً إلى فئتين فرعيتين، هما: المتواصلة والمنفصلة. أما عمليات التصنيع المتواصلة فهي تفضي إلى منتجات غير متميزة، مثل صناعات تكرير النفط، أو تصنيع المواد الكيميائية، بينما تفضي عمليات التصنيع المنفصلة إلى مصنوعات متفردة يمكن بسهولة عدّها وتمييزها، مثل صناعات الأجهزة الإلكترونية والأثاث.[20]

الشكل (5-3)

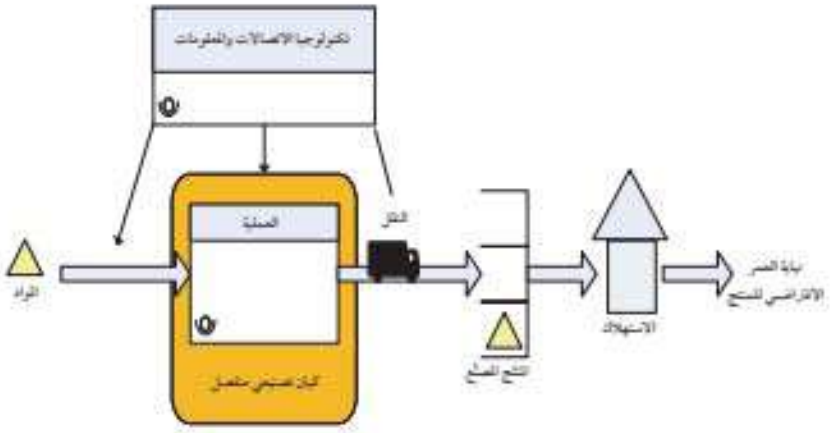
العمليات في المنشأة التصنيعية

ويمكن تصنيف الصناعات التحويلية إلى فئات فرعية عند المصنع (المنشأة) والمستويات الدنيا. وعلى العموم، قد تكون لدى كل شركة منشأة واحدة أو أكثر. وكما هو مبين في الشكل (5-3) يمكن أن تحتوي كل "منشأة" على واحد أو أكثر من خطوط الإنتاج المؤلفة من آلات وأدوات، ويمكن إدارتها باستخدام تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات. و"الصناعات التحويلية" و"العمليات المساعدة" هما الفئتان الرئيسيتان من فئات العمليات الأولية التي تشمل، على سبيل المثال لا الحصر، الأمثلة المذكورة أدناه. وهناك العديد من العمليات الفرعية الأخرى المستخدمة، كما يجري باستمرار تطوير خطط وأساليب جديدة.

وفي كل عملية، تُستهلك المواد والطاقة على حد سواء. ويعرض الشكل (5-4) تدفقاً نمطياً للمواد ضمن العملية التصنيعية. وفي المقابل، يتألف استهلاك الطاقة من الاستخدامين: الوقودي وغير الوقودي، وعادةً ما يُحسب لمرة واحدة من خلال قياس أولي نقاط استخدامه.

الشكل (5-4)

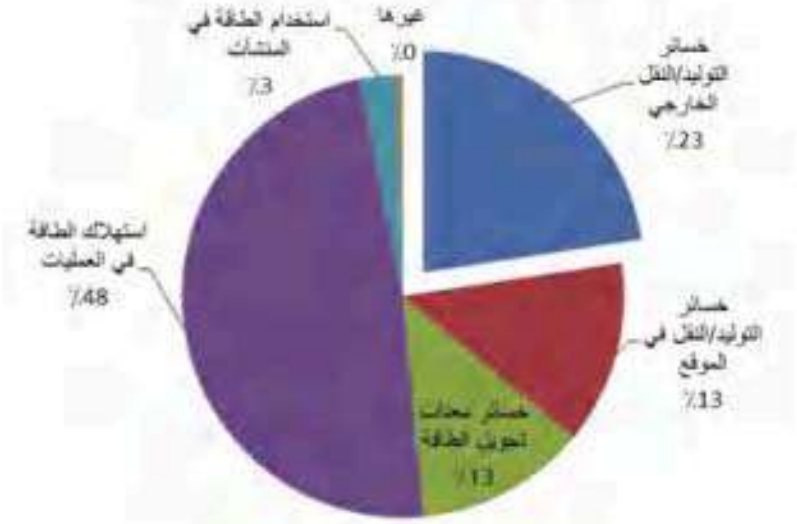
تدفق المواد النمطي ضمن عملية التصنيع



ويختلف التوزيع التفصيلي لاستهلاك الطاقة ضمن الصناعات التحويلية من مصدر إلى آخر. وعلى غرار عمليات التدفق الكتلي، تُستهلك الطاقة ضمن فئات فرعية عدة. وتشمل الفئات الفرعية المقبولة عموماً ما يلي: "خسائر التوليد/ النقل الخارجي"، و"خسائر التوليد/ النقل في الموقع"، و"خسائر معدات تحويل الطاقة"، و"استهلاك الطاقة في العمليات"، و"استخدام طاقة المنشآت"، وغيرها. ويبيّن الشكل (5-5) الأنماط الشاملة للمتوسط المرجّح لتوزيع طاقة الصناعات التحويلية في الصناعة في الولايات المتحدة. وقد يلاحَظ أن العمليات التحويلية تستهلك ما يقرب من نصف الطاقة الإجمالية.

الشكل (5-5)

المتوسط المرجّح لتوزيع طاقة الصناعات التحويلية في الصناعة بالولايات المتحدة



المصدر:

US Environmental Protection Agency (EPA), "Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes," ICF International, 2007 (http://www.epa.gov/sectors/energy/index.html).

توجهات للحدّ من استهلاك الطاقة في الصناعات التحويلية

هناك الكثير من الطرق المختلفة للحد من استهلاك الطاقة في الصناعات التحويلية. وفي سياق هذه الورقة، نلخص تلك الطرق في التوجهات الثلاثة التالية:

- **تحسينات كفاءة الطاقة**: تشير التحسينات في كفاءة الطاقة إلى الحد من الطاقة المستهلكة فيما يخص خدمة معينة، أو مستوى نشاط معين مقارنة بخط أساس راسخ. وعادةً ما يقترن التحسين بالتغيرات التكنولوجية، وإن أمكن أن تسهم أيضاً عوامل أخرى مثل تحسين التنظيم، أو تحسين الأوضاع الاقتصادية.[21] ولأغراض هذه الورقة، لن يُنظر سوى في أساليب التحسين التكنولوجي (أي تلك التي تنطوي على إحلال أو تحسين بسيط في الآلات والمعدات والتقنيات كما تطورها المعرفة العلمية)، وتطبيق التكنولوجيات والأساليب التنظيمية المتاحة لزيادة الإنتاجية بكمية الطاقة نفسها، أو أقل.

- **التكنولوجيات البديلة**: تشير التكنولوجيات البديلة إلى التكنولوجيات الجديدة والناشئة التي من شأنها، لدى تطويرها وتطبيقها، إنهاء استهلاك الطاقة، أو الحد منه بدرجة كبيرة في بعض العمليات الكثيفة الطاقة. وتشمل الأمثلة الصناعات التحويلية الإضافية، والمعالجة السطحية المنخفضة الحرارة.

- **استرجاع النفايات**: في هذه الورقة، يشير استرجاع النفايات –تحديداً– إلى اعتماد إعادة التصنيع كعملية لاسترداد المنتجات، أو المكونات التي انتهى عمرها الافتراضي من أجل تحقيق وفورات كبيرة في الطاقة من انخفاض إنتاج المنتجات/ المكونات الجديدة. وتشير إعادة التصنيع إلى إعادة تدوير المنتجات النهائية مباشرةً في عملية تصنيع منتجات جديدة، وهي تنطبق عادةً على صناعات الآلات والإلكترونيات والتغليف.

ولدى رسم خريطة التوجهات الآنفة الذكر ضمن عمليات التصنيع لدى منشأة معينة، يمكننا تكوين مصفوفة فرص، انظر الشكل (5–6) لتصنيف العمليات ضمن ثلاثة توجهات للحد من استهلاك الطاقة في الصناعة.

وفي هذه المصفوفة، يمكن أن تكون لدى كل عملية فرصة، أو أكثر لتحسين الطاقة عن طريق توجه أو أكثر. ويمكن أن تشير كل فرصة إلى تنفيذ أو ابتكار حل أو تكنولوجيا. والفرص التي يحددها أحد التوجهات من أجل عملية معينة يمكن إيضاحها أكثر ضمن الخانة المؤشر عليها. وفي التطبيقات العملية، لا بد من مواءمة قائمة العمليات في المصفوفة مع المنشأة المحددة لأي شركة. ويعرض الجدول (5–1) قائمة من الحالات التكنولوجية التي يُحتمل أن تكون لها تأثيرات كبيرة والتي سيجري الاستفاضة في مناقشتها أدناه.

الجدول (5–1)

مصفوفة الفرص مع الحالات العالية التأثير

	استرجاع النفايات	تحسين الكفاءة	التكنولوجيات البديلة
النظام		✓	✓
الطباعة الثلاثية الأبعاد			✓
الآلات		✓	
معالجة السطح			✓
اللحام/ التوصيل			✓
الصب		✓	
التسخين			✓
الإضاءة		✓	
إعادة التدوير/ التصنيع	✓		✓

تحسين كفاءة الطاقة

تُعرَّف كفاءة الطاقة بطرق مختلفة عبر الاختصاصات.[22] فمجلس الطاقة العالمي يعرِّفها بوصفها "الحد من الطاقة المستخدمة لخدمة معينة (التدفئة، الإنارة،... إلخ) أو لمستوى نشاط معين".[23] ولقياس كفاءة الطاقة في العمليات التحويلية، يقدِّم مؤشر كثافة الطاقة، كما هو معرَّف في مجموعة أدوات الصناعات التحويلية المستدامة، الصادرة عن "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD"، قياساً عملياً ومفيداً.[24]

$$\text{كثافة الطاقة} = \frac{\text{الطاقة المستهلكة في الإنتاج} + \text{الطاقة المستهلكة في التشغيل}}{\text{عامل التسوية}}$$

والطاقة المستهلكة في الإنتاج هي الاستخدام المجمَّع من الطاقة في جميع العمليات التصنيعية المعنية، بينما الطاقة المستهلكة "في التشغيل" هي القيمة الإجمالية للعمليات والمنشآت التكميلية. و"عامل التسوية" [التطبيع] هو في العادة سعر تسليم السلع المنتَجة. وعلى العموم، فإن كثافة الطاقة هي قياس لاستهلاك الطاقة لكل دولار إنتاجي[25] في أي منشأة، أو شركة، أو مؤسسة. ومن خلال تحليل العملية التصنيعية بالكامل، يكشف استهلاك فرادى العمليات من الطاقة العمليات التي تكون فيها كثافة الطاقة أعلى من المتوسط. وهذه المعلومات مطلوبة من أجل تحديد الأولويات لدى تخطيط التحسينات في الحد من استهلاك الطاقة.

وعلى الرغم من أن قيمة كثافة الطاقة المطلقة لمختلف العمليات تتباين بين مختلف القطاعات والشركات، فإن ثمة جوانب مشتركة. ومن زاوية أكثر تحديداً، يوجد العديد من أشكال التكنولوجيا من أجل تحسين كثافة الطاقة، لكن القليل منها هو الذي جرى العمل به على نطاق واسع. وتشمل تلك الفرص، على سبيل المثال لا الحصر: نظم رصد

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

الطاقة وإدارتها، والتقدم المحقق في الإضاءة، والنظم العاملة بمحركات كهربائية، واسترجاع الطاقة. وسوف تناقَش التكنولوجيات الآنفة الذكر بمزيد من التفصيل أدناه، بدءاً بقياس الطاقة ونظم الرصد.

قياس الطاقة ونظم الرصد

ورد أحد أوائل التوصيفات لنظام قياس الطاقة ورصدها في العمل الذي ألفه شويندتنر،[26] والذي أُثني فيه على النظام باعتباره أداة أساسية من أجل إدارة الطاقة وتحسين كفاءتها. واليوم، تمتلك معظم الشركات شكلاً من أشكال القياس، لكن تلك العدادات لا توجد عادةً سوى على مستوى المنشأة. ومن شأن النظام الفعال لقياس الطاقة ورصدها أن يعطي لمحة عامة، على المستويين: الجزئي والكلي عن بيانات استهلاك الطاقة في مؤسسة ما، مثل عمليات المنشآت بالكامل، وعمليات وحدات محددة. ثم يقدِّم البيانات على نحو سهل الفهم من أجل تحقيق الكفاءة في إدارة الطاقة. ومن خلال ذلك، يمكن للمرء أن يحدد خطوط الأساس لاستهلاك الطاقة، وأن يستبين المناطق ذات إمكانات الاستهلاك العالية (البقع الساخنة)، وأن يحلل مصادر هدر الطاقة، وقياس تأثيرات التغييرات والتحسينات على العملية. وفي مقابل الزيادة الحادة في أسعار الطاقة أُبلغ عن زيادة كبيرة، وتكاد تكون متناسبة، في حالات تطبيق قياس الطاقة ورصدها في العقد الأخير، انظر الشكل (5-2). لكن تجدر ملاحظة أن نظم قياس الطاقة ورصدها يجب أن تكون مقترنة بالتغيرات التنظيمية والتكنولوجية على حد سواء، من أجل تحقيق التحسينات في كفاءة الطاقة واستخدامها.

وهناك العديد من الدراسات التي تبين أن ثمة هدراً كبيراً في الطاقة في العمليات التصنيعية. فقد حلل بيكر وماكنزي استهلاك الطاقة في المجفِّفات الصناعية، ووجدا أن ما نسبته 29٪ من الطاقة المزوَّدة يجري هدرها.[27] ودرس دايتمايير وفيرل استخدام الطاقة

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 200/457

في نظم التصنيع والعمليات الآلية، وقدَّرا أن ما نسبته 20٪ فقط من إجمالي الطاقة المستهلكة مفيد فعلاً، بما يشير إلى هدر بنسبة نحو 80٪.[28] ودرس شلوسر وآخرون استهلاك الطاقة في عملية القطع، وخلصوا إلى أن مدة الطلب المستمر على الطاقة يمكن اختزالها بنسبة 95٪ إلى نحو 5٪.[29] وقدم كريشنان وآخرون نماذج وتحاليل لاستهلاك الطاقة في العديد من آلات وعمليات القولبة بالحقن، وتشكيل الألواح المعدنية، وخلصوا إلى إمكانية توفير ما نسبته 49٪ من الطاقة.[30] وفي الوقت نفسه، أعدَّ كاو وآخرون دراستي حالة بشأن رصد الطاقة الصناعية، ولاحظوا أن الطاقة الخاملة يمكن أن تصل إلى 63٪ من إجمالي استهلاك الطاقة.[31] وبالنظر إلى الكمية الكبيرة من الطاقة المهدرة خلافاً لذلك، فإن ثمة إمكانات كبيرة لتطبيق الأساليب لمراقبة تلك الأعباء الإضافية والحد منها.

وقد وُجد أن نظم قياس الطاقة ورصدها أدوات فعّالة لتقليص هدر الطاقة في الصناعات التحويلية. ويشير كارا وآخرون إلى حالة دراسية صناعية بشأن تطبيق قياس الطاقة ورصدها في نظم التصنيع.[32] ويشمل النظام ثلاثة مستويات في الشركة، وهي: عمليات المصنع والإدارة والوحدات. وتشمل التحديات الماثلة في أثناء التطبيق انتقاء الأجهزة والنظم الفعّالة التكاليف لتحقيق أهداف المؤسسة، والحاجة إلى أجهزة عالية الدقة لقياس الإنتاج بما يتواءم مع الدينامية العالية التي يتسم بها السلوك الاستهلاكي، والاندماج الشمولي بين المستويات الثلاثة للمعلومات من أجل تحقيق الفعّالية في التحكم والإدارة. وقد وجدت الدراسة أنه بعد تطبيق نظام قياس الطاقة ورصدها، لوحظ أن ما نسبته 30٪ من الطاقة المستخدمة في العملية زائدة عن الحاجة، ويمكن توفيرها بإجراء تعديلات طفيفة. وأعَدَّ هاينان وآخرون دراسة لقياس الطاقة وجمع البيانات بشأن تحسين الكفاءة في استخدام الطاقة في عملية لصبغ الألمنيوم وصبّه.[33] كما أجريت دراسة لتقديم نماذج ومحاكاة قائمة على سيناريوهات وتحليلات، وأظهرت النتائج أن إمكانات توفير الطاقة يمكن أن تصل إلى 18.86٪. وفي إصدار عام 2008 من

تقرير تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات من أجل كفاءة الطاقة الذي نشرته المفوضية الأوروبية،[34] وُجد أن إمكانات توفير الطاقة من تحسين العمليات في التصنيع المتقطع يمكن أن تصل إلى 25٪–30٪. بينما أظهرت تجربة ميدانية أجرتها [شركة دعم الأبحاث البريطانية] كربون ترست Carbon Trust أن المؤسسات التي تتحول إلى أساليب القياس المتطورة حددت متوسطاً من إمكانات توفير الكربون يبلغ 12٪، وحققت 5٪ عن طريق عملية الحد من استهلاك المرافق وحدها.[35] وعلى العموم، تشير مختلف الدراسات إلى أن نحو 10٪–30٪ من الطاقة يمكن توفيرها في عمليات التصنيع من خلال اعتماد وتطبيق النظم المناسبة لقياس الطاقة ورصدها.

وفي عام 2010، بلغ الإجمالي العالمي من استهلاك الطاقة 12717 مليون طن من المكافئ النفطي.[36] وتستهلك العمليات الصناعية في المتوسط نحو 51٪ من جميع مصادر الطاقة الأولية،[37] حيث تستحوذ الصناعات التحويلية على ما نسبته 90٪ من استهلاك الطاقة الصناعية.[38] وعلى افتراض أن نظم قياس الطاقة ورصدها مطبَّقة بالكامل في الصناعات التحويلية، فإن حساباً بسيطاً بالاستناد إلى هذه القيم والفرضيات يتنبأ بتوفير كميات كبيرة من الطاقة تصل إلى 580 مليون طن مكافئ سنوياً.

وعلى الرغم من المنافع المبلَّغ عنها، لا تزال منشآت التصنيع التي يوجد فيها نظام لقياس الطاقة ورصدها قليلة العدد. وتشمل العراقيل التي حددها ولخصها تاترو وآخرون في ما يلي: استحصال موافقة الإدارة العليا، وعدم القدرة على تبرير تكاليف المعدات والتركيب، ونقص الميزانية/ التمويل للشراء والتركيب، وعدم القدرة على حساب عائدات الاستثمار وفترات الاسترداد، ومحدودية الموارد لتشغيل المعدات وصيانتها.[39] ومن واقع خبرة الكاتبين، فإن أحد العراقيل الرئيسية مصدره غياب الفائدة بالنسبة إلى صنع القرار الخاص بالعمليات في العديد من النظم الحالية لقياس الطاقة ورصدها. وتوجد حاجة إلى إجراء المزيد من البحوث في عمليات التصنيع.

الإضاءة

تستحوذ الإضاءة عالمياً على نحو 18٪ من استهلاك الكهرباء، وهو ما يقابل 4.2٪ من الاستهلاك العالمي من الطاقة الأولية.[40] وفي الولايات المتحدة، تقدِّر إدارة معلومات الطاقة أن الإضاءة مثَّلت 13٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء في عام 2010.[41] وعلى مستوى المصنع، تستهلك الإضاءة متوسطاً قدره 15٪–16٪ من الكهرباء في مصانع تجميع السيارات.[42]

وثمة ثلاثة أنواع من الإضاءة متاحة في السوق، هي: المتوهجة، والفلورية [المتألقة]، والصمام الثنائي الباعث للضوء (LED). والإضاءة المتوهجة هي الأكثر استخداماً، ولكنها الأقل كفاءة من حيث الطاقة (10–17 لومن للواط)، وتتسم بمتوسط مدة خدمة قصيرة (750–2500 ساعة). ولا تتطلب الإضاءة الفلورية سوى 25٪–35٪ من الطاقة التي تحتاج إليها المصابيح المتوهجة لتوفير القدر نفسه من الضوء (فعّالية تتراوح بين 30 و110 لومن للواط)، ولديها متوسط خدمة أطول بعشر مرات من الإضاءة المتوهجة (7000–24000). بيد أنها أغلى بنحو 3–4 مرات من الإضاءة المتوهجة. وتتسم الصمامات الثنائية الباعثة للضوء باستخدام تكنولوجيا إضاءة ذات كفاءة عالية من حيث الطاقة. فهي، مقارنةً بالإضاءة المتوهجة، لا تتطلب بحد أقصى سوى 25٪ من الطاقة المستخدمة لتوفير القدر نفسه من الإضاءة، علاوة على أن عمرها أطول بنحو 25 مرة. بيد أنه في الوقت الحاضر، فإن التكنولوجيا التي تعتمد عليها أغلى بنحو 29–30 مرة من الإضاءة المتوهجة، وهو ما يشكل حاجزاً رئيسياً أمام تطبيقها على نطاق واسع.

ويُعتقد أن التطبيق الواسع النطاق للصمامات الثنائية الباعثة للضوء يمكن أن يكون له تأثير أكبر في مجال توفير الطاقة. فمجرد الاستعاضة عن مصادر الإضاءة التقليدية بالصمامات الثنائية الباعثة للضوء من شأنه نظرياً خفض الاستهلاك العالمي من الكهرباء لأغراض الإضاءة بواقع 50٪. وحسب ما ذكرته "الوكالة الدولية للطاقة ومنظمة التعاون

الاقتصادي والتنمية"[43] فقد أنتج 20261 تيراواط ساعة، وفُقدت 3464 تيراواط ساعة من الكهرباء خلال توليد الطاقة ونقلها، واستهلك المستخدمون النهائيون 16816 تيراواط ساعة من الكهرباء العالمية في عام 2008. وبناء عليه، فإن التوفير المحتمل من الإضاءة بالصمامات الثنائية الباعثة للضوء يمكن أن يصل إلى 1513 تيراواط ساعة، أو نحو 157 مليون طن من المكافئ النفطي، استناداً إلى الكمية نفسها من الكهرباء المنتجة.

وتشمل العوامل التي تمنع انتشار الصمامات الثنائية الباعثة للضوء على نطاق واسع: ارتفاع تكلفة شرائها، ومحدودية أنواعها وتنوعها الوظيفي، وغياب ضمان الموثوقية من جانب المصنّعين، ونقص الترويج والوعي العام لمساعدة الشركات على فهم إمكانات التوفير في تكلفة دورة خدمتها الشاملة.[44]

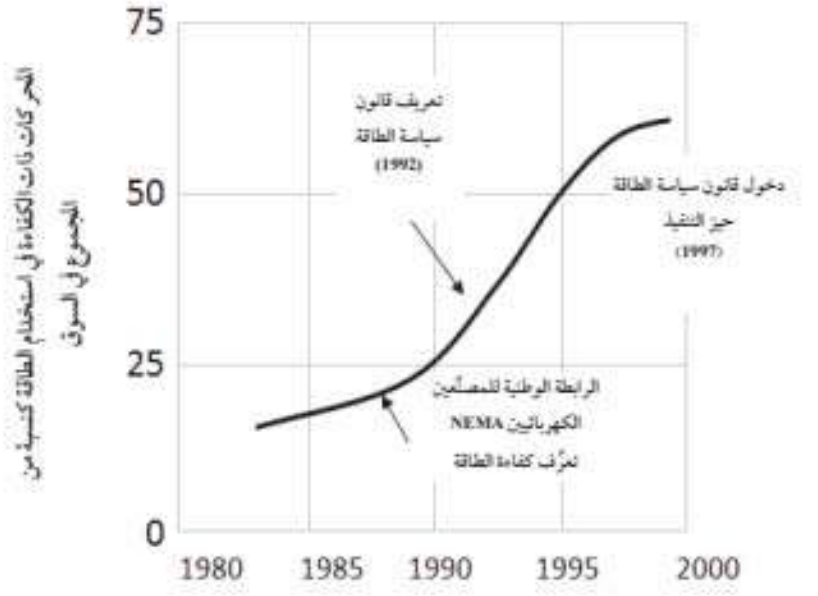
النظم العاملة بمحركات كهربائية

وفقاً لمصادر "الوكالة الدولية للطاقة"، فإن النظم العاملة بالمحركات الكهربائية (EMDS) تمثل نحو 15٪ من الاستخدام النهائي العالمي للطاقة، ونحو 60٪ من استهلاك الكهرباء في الصناعة.[45] وهناك الكثير من العمليات التصنيعية والمساعدة التي تعتمد على المحركات الكهربائية، مثل معالجة المواد ومناولتها، وضخ الغازات وضغطها، والتبريد. ومن خلال استخدام المتحكّمات المنطقية المبرمجة (PLC)[46] في نظم المحركات وتوفير الصيانة اللازمة، تشير تقديرات الوكالة الدولية للطاقة إلى إمكانية تحسين كفاءة النظم العاملة بالمحركات الكهربائية فعلياً بواقع 10٪-15٪، بما من شأنه تحقيق انخفاض مكافئ في الاستخدام العالمي للطاقة بنسبة 5٪.[47] ومن خلال ربط هذه المعلومات ببيانات الاستهلاك العالمي للكهرباء في عام 2008، يمكن تحقيق انخفاض بواقع 841 تيراواط ساعة، أو 87 مليون طن من المكافئ النفطي، استناداً إلى الطاقة المستخدمة لتوليد الكهرباء.[48]

وعلى الرغم من المزايا الواضحة لكفاءة الطاقة، فإن عملية تبنّي المحركات ونظم المحركات الكهربائية العالية الكفاءة سارت ببطء على مدى العقود الثلاثة الماضية. ويبين الشكل (5-6) معدل التبنّي في السوق الأمريكية الأولى عالمياً مع معدل اختراقها البالغ حالياً نحو 60٪.

الشكل (5-6)

معدل اختراق المحركات ذات الكفاءة بموجب قانون سياسة الطاقة للسوق الأمريكية



المصدر:

R.L. Nailen, "Motor Efficiency in the US: The Next Step," *Electrical Apparatus*, vol. 61, no. 8, 2008, pp. 21–24.

ويرد ملخص جيد للعراقيل التي تعترض تبنّي المحركات ونظم المحركات الكهربائية العالية الكفاءة في تقرير عام 2010 لمركز العولمة والحوكمة والقدرة التنافسية (CGGC)، حيث تُصنَّف ضمن عراقيل "تنظيمية" و"اقتصادية" و"تقنية":[49]

- العراقيل التنظيمية:
  - انشغال المشترين بتكلفة الشـراء وبقيود الميزانية.
  - نشوء حوافز غير متسقة بين ميزانيتي الشـراء والتشغيل.
  - تركيز المصانع على التوفير القصير المدى بدلاً من التقييم الشمولي لتكلفة دورة الحياة.
  - افتقار المنشآت إلى خطط الطوارئ، وعدم كفاية تدريب المديرين على وظيفتي الصيانة والإدارة.
  - إمكانية اعتبار الطاقة تكلفة إضافية لا تندرج ضمن مسؤولية أحد.
  - افتقار صانعي القرار على مستوى المصنع إلى معارف التوجهات المنهجة نحو كفاءة نظم المحركات.
- العراقيل الاقتصادية:
  - إمكانية أن تبدو زيادة الكفاءة القابلة للتحقيق باستخدام محركات جديدة وذات كفاءة غير فعّالة، من حيث التكلفة، وخصوصاً عندما تُتكبَّد تكاليف التعطُّل.
  - احتمال تضارب الدوافع لدى القائمين على دمج النظم ومصنّعي المعدات وما ينشأ عن ذلك من حصول المستخدم النهائي على نظم محركات أرخص وذات كفاءة أقل.
- العراقيل التقنية:
  - نشوء تحديات لدى دمج محرك جديد في نظام تحكم قائم.

- اتسام المستخدم النهائي بالقصور الذاتي، حيث يفتقر إلى الرغبة في التغير نحو التكنولوجيات الجديدة.

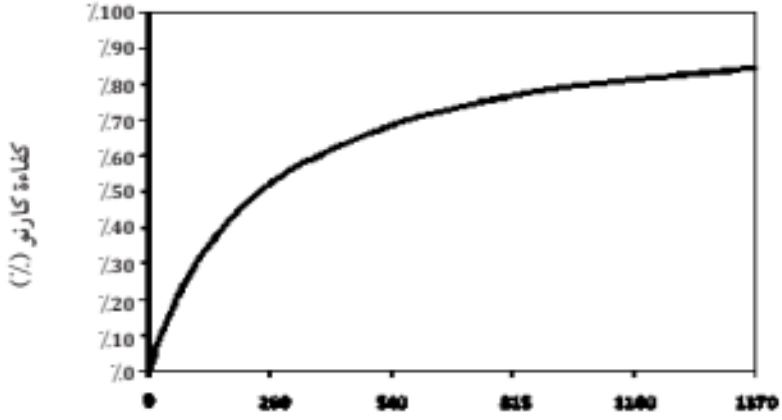
استرجاع الطاقة في عمليات التصنيع

يوجد هدر الطاقة في التصنيع بأشكال مختلفة، ولأسباب متباينة.[50] ويُعزى جزء كبير من هذه الخسائر إلى تبديد الطاقتين: الحرارية والحركية، وتوجد تكنولوجيات كثيرة لاستردادها.

ووفقاً لوزارة الطاقة الأمريكية، فإن ما نسبته نحو 20٪-50٪ من الطاقة الداخلة في الصناعة يُفقد كحرارة مُهدَرة، بما يمثل 5-13 وحدة حرارية بريطانية (كدريليون) أي ما يمثل (126-328 مليون طن من المكافئ النفطي).[51] وهذه الخسائر في الحرارة يمكن أن تنشأ عن الإشعاع الكهرومغناطيسي (الأشعة تحت الحمراء)، وبرودة البخار والسوائل/ الغازات الساخنة أو هروبها، وكذلك التبديد غير المباشر للحرارة من الاحتكاك وعمليات تحويل الطاقة. وتعتمد الكفاءة الشاملة لاسترداد الخسارة الحرارية على الفرق بين فاقد الحرارة (T_w) والبالوعة الحرارية (T_s)، أو ΔT (ويُرمز إليها بـ $\Delta^{\circ}C$) في الشكل (5-7)، وذلك على الرغم من أن الكفاءة الفعلية تتباين وفقاً لنوع تكنولوجيا الاسترجاع المتاحة. وتُعرَّف الكفاءة القصوى بكفاءة كارنو Ec، حيث $Ec = 1 - Tw/Ts$. ومع تراجع البالوعة الحرارية ΔT، تتراجع الكفاءة تراجعاً كبيراً. واستناداً إلى درجة حرارة مقدارها 25 درجة مئوية وتوافر كفاءة نظم التدفئة، يوجد احتمال باسترجاع نحو 600 تريليون وحدة حرارية بريطانية (15 مليون طن من المكافئ النفطي سنوياً)، مع كون نسبة 75٪ من الطاقة الممكن استرجاعها عبارة عن "فاقد حرارة" يتسم بانخفاض درجة الحرارة (<230 درجة مئوية).

الشكل (5-7)

كفاءة كارنو: الكفاءة القصوى من أجل تحقيق الكفاءة في توليد الطاقة



المصدر:

US Department of Energy (DOE), "Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in US Industry," Industrial Technologies Program, DOE, 2008.

هناك طائفة منوَّعة من مختلف التكنولوجيات من أجل استرجاع الخسائر الحرارية في بيئة التصنيع.[52] والكثير من تلك التكنولوجيات لا يعمل سوى عند ارتفاع البالوعة الحرارية ΔT. بيد أن هناك كمية كبيرة من الطاقة التي تُستخدم في مراجل المياه الصناعية التي عادة ما تواجه بالوعة حرارة ΔT منخفضة تبلغ نحو 150 درجة مئوية. وفيما يخص نظم تلك البالوعات الحرارية المنخفضة، يصعب تحقيق استرجاع حرارة بطريقة مجدية اقتصادياً. وفي كثير من الصناعات، مثل مصانع تجهيز الأغذية، كثيراً ما توجد عمليتا التسخين والتجميد جنباً إلى جنب. وإذا أمكن استرجاع الحرارة المستنزفة من عملية التجميد لرفع درجة حرارة المياه الداخلة في المراجل، فسوف تُختزل الطاقة المطلوبة للغليان، إن لم تنعدم. ويبدو ابتكار شركة ناتفلو NatFlow الذي يعيد توجيه فاقد الحرارة من نظم تكييف الهواء إلى مياه الأنابيب من أجل العمليات المساعدة، مثل الغليان، حلاً

واعداً يمكن أن يحقق استرجاع الحرارة المنخفضة من حيث البالوعة الحرارية ΔT على نحو مجدٍ اقتصادياً.[53] وتقع عملية التسخين في مبادل حراري يعمل بطريقة الأنابيب داخل الأنابيب في ظل أوضاع التدفق الصفائحي، ويمكنها رفع درجة حرارة المياه من ظروف الإمداد بالأنابيب والبالغة 20 درجة مئوية حتى 60 درجة مئوية (زائد أو ناقص 5 درجات مئوية). وتشير تقارير إلى أن أحد مصنّعي الأغذية الذين تبنّوا هذه التكنولوجيا اختزل إجمالي استهلاكه من الوقود بنسبة 15٪.

والخسائر الحركية عادةً ما تقع في الآلات عندما يتباطأ أحد الأجزاء المتحركة ويتوقف في نهاية المطاف عن أداء وظيفته. واسترجاع هذه الخسائر من شأنه إحداث تخفيضات معتبرة في استهلاك الطاقة. وقد أبلغ دياز وآخرون عن تطوير نظام لاسترجاع الطاقة الحركية (KERS) يخزن الطاقة الحركية من محور متباطئ (من 20000 إلى صفر دورة في الدقيقة) ضمن آلة تفريز طراز Mori Seki NV1500DCG في صف من المكثفات الفائقة مصنَّفة عند 350 درجة فهرنهايت، باستخدام فولطية (تيار كهربائي) مقدارها 1 كيلوفولط، وكفاءة شحن/ تفريغ بواقع 9.0 [90٪].[54] ونُفذت محاكاة مونتي كارلو على التصميم بمجموعات متباينة من الأدوات (2–5 أدوات ذات أقطار وسطية للقواطع قدرها 5 ملليمترات، وانحراف معياري قدره 2 ملليمتر بزيادات تدريجية بواقع 5.0 ملليمتر) وأوقات دورة (2–5 دقائق). وأظهرت النتائج توفيراً للطاقة بنسبة 5٪–25٪ للآلة ككل حسب الأجزاء المستخدمة والبارمترات المستخدمة في تشغيل الآلة. وبصورة مماثلة طوَّر كا. تاكاهاشي k. Takahashi وآخرون نظاماً لاسترجاع الطاقة باستخدام مكثف كهربائي من طبقتين لأجل نظم تشغيل المحركات، وتحديداً آلات القولبة بالحقن. وأظهرت المحاكاة إمكانية تحقيق تحسن في استهلاك الطاقة بنسبة 49٪. وعلى الرغم من أن الإحصاءات الدقيقة للاستهلاك العالمي للطاقة في آلات التشغيل غير متاحة، فإن أسس تكنولوجيات استرجاع طاقة التشغيل هذه تنطبق نظرياً على معظم نظم التشغيل بالمحركات الكهربائية. وبافتراض أن تكنولوجيات استرجاع الطاقة الحركية هذه تُوظَّف بالكامل في جميع نظم التشغيل بالمحركات الكهربائية بمتوسط استرجاع متواضع قدره

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

5٪، فإنه يمكن توفير 607 تيراواط ساعة، أو 52 مليون طن من المكافئ النفطي. ويستند ذلك إلى توليد كهرباء عالمية قدرها 20261 تيراواط ساعة،[56] استهلكت منها نظم التشغيل بالمحركات الكهربائية تلك 60٪.[57]

التكنولوجيات البديلة

كما جرت مناقشته في القسم السابق من الورقة، فإن للتحسينات في كفاءة الطاقة التي تتيحها التكنولوجيات القائمة حداً أعلى. وإجراء المزيد من التخفيض في استهلاك الطاقة في التصنيع سوف يعتمد على ابتكار تكنولوجيات جديدة تَعِدُ بإحداث انخفاض جذري في الفاقد. وتحسين كفاءة الطاقة مجال رئيسي من مجالات البحوث في التصنيع، حيث يجري تطوير العديد من التكنولوجيات الجديدة. وفي هذا القسم، سوف تركز المناقشات على اثنتين من التكنولوجيات الناشئة، هما: أولاً: التصنيع الإضافي، وهو عملية تصنيع جديدة يمكن أن تحدث تطوراً هائلاً في طرق صنع المنتجات. ثانياً: المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي، وهي تكنولوجيا يمكن أن تحلّ محل المعاملة الحرارية التي تتم بها معاملة المواد.

التصنيع الإضافي

يشير التصنيع الإضافي، ويُعرف أيضاً بـ"الطباعة الثلاثية الأبعاد"، إلى شكل من أشكال تقنيات الطبع المتقدمة التي يمكن استخدامها لبناء النماذج على أساس الطبقات، أو "بالإضافة"، بحيث تُطبع بفعّالية منتجات مفيدة مباشرة من مكوناتها الأساسية.[58] وعادة ما يُستخدم فيه الليزر عالي الطاقة من أجل صهر المكون وإعادة تشكيله. ولذا، فإن التصنيع الإضافي يختلف عن أساليب التصنيع والتشغيل الأكثر تقليدية، والتي تميل إلى كونها "طرحية" [أو اختزالية، أو إسقاطية] وتنطوي على فصل أجزاء من المواد الأساسية للحصول على المنتج النهائي. كما تتيح هذه الطريقة التصنيع المباشر للأشياء ثلاثية الأبعاد من نموذج رقمي، ما يتيح تجاوز العديد من المراحل الوسيطة ما بين تصور الشيء وإنتاجه.[59] ويمكن استخدامها في عمليات النمذجة السريعة، أو التصنيع السريع. وعلى الرغم من أن التصنيع الإضافي ظهر لأول مرة في ثمانينيات القرن العشرين، فإنه لم يدخل

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 210/457

دائرة الاهتمام العام ويصبح شائع الاستخدام إلا مؤخراً مع التراجع الكبير في أسعار الطابعات وغيرها من الأجهزة المصاحبة. ووصل الأمر إلى حد أن الطابعات الثلاثية الأبعاد أصبحت في متناول القوة الشرائية للأسر الغنية أيضاً.[60] وعلاوة على ذلك، مع قدوم المفاهيم الصناعية وتحدياتها، مثل سلسلة الإمداد المستدام وارتفاع أسعار الطاقة، فإن التصنيع الإضافي مجال سريع التطور والنمو،[61] حيث يجري تطوير الكثير من الإجراءات الابتكارية حول فكرتها الأساسية.

والتصنيع الإضافي تكنولوجيا إحلالية بديلة، ويمكن استخدامها في صناعات مختلفة كثيرة، تتراوح من المصنوعات الكبيرة الحجم مثل السيارات والقطع المعدنية المستخدمة في الصناعات الفضائية الجوية[62] إلى المصنوعات الصغيرة الحجم مثل المستحضرات الصيدلانية وتصنيع الرقائق الإلكترونية.[63] والتوفير في الطاقة والمواد نتيجة لتبنّي التصنيع الإضافي كبير، وإن كانت العراقيل أمام دخوله الكثير من عمليات الصناعات التحويلية والعمليات الصناعية نابعة من ارتفاع تكلفة الإحلال والانطلاق ونقص المعايير المعترف بها وإجراءات التحقق.[64] ومن خلال الاقتصار على توظيف واستخدام الكمية الدقيقة من المواد المطلوبة من أجل صنع منتَج ما، فإن تكنولوجيات التصنيع الإضافي لديها إمكانية اختزال الكتلة المادية والطاقة المستهلكة على نطاق دورة الحياة الشاملة مقارنة بالتقنيات الطرحية التقليدية من خلال إزالة الخردة المهندَسة [أي المواد المقصود أن تكون خردة].[65]

وتشير تقديرات وزارة الطاقة [الأمريكية] إلى أن استخدام تكنولوجيات التصنيع الإضافي يمكن أن تصنع أجزاء جديدة باستخدام ما بين 2٪ و25٪ من الطاقة الأصلية التي تتطلبها عمليات التصنيع الحالية،[66] أو تحقق توفيراً إجمالياً في الطاقة يزيد على 50٪ للعمليات التنافسية مع توفير مادي تصل نسبته إلى 90٪.[67] ووجد باومرز وتاك وآخرون، في دراستهم المقارنة بشأن استهلاك الكهرباء في التصنيع الإضافي المعدني، أنه إذا صُنّعت منتجات متعددة باستخدام عملية التصنيع الإضافي دفعة واحدة، لا يلزم استثمار سوى ما نسبته 34٪ من الطاقة لكل جزء بما يتم معه توفير ما نسبته 66٪ من الطاقة.[68]

واستناداً إلى إجمالي استهلاك الطاقة في جميع أنحاء العالم، والبالغ 12717 مليون طن من المكافئ النفطي،[69] حيث تستهلك عمليات الطاقة الصناعية ما نسبته 51٪ من الطاقة، أو 6490 مليون طن من المكافئ النفطي،[70] وتشكل عمليات التصنيع ما نسبته 90٪ من عمليات الطاقة الصناعية، أو 5840 مليون طن من المكافئ النفطي،[71] فبإمكان المرء حساب التوفير النظري في الطاقة إذا طُبقت تكنولوجيات التصنيع الإضافي على النطاق العالمي. وبافتراض تحقيق انخفاض بنسبة 34٪–66٪ في استهلاك الطاقة، فإن مقدار الطاقة الموفَّرة سيكون كبيراً جداً حيث سيصل إلى 1985–3850 مليون طن من المكافئ النفطي سنوياً.

المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي

المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي (HMEP) تكنولوجيا ناشئة؛ يمكن أن تحلّ محل العملية الصناعية الأكثر استخداماً؛ وهي المعالجة الحرارية. وتُستخدم المعالجة الحرارية في نقل الخصائص الميتالوجية المرغوب فيها، مثل القوة والمتانة، إلى أحد المكونات، لكنها تتسم بالكثافة المفرطة في استخدام الطاقة. والمعالجة الحرارية هي في حد ذاتها قطاع قيمته 15–20 مليار دولار، وهي تكاد تكون حاسمة الأهمية بالنسبة إلى جميع القطاعات الصناعية، من الصناعات الفضائية الجوية إلى صناعة السيارات.[72] كما تنطوي المعالجة الحرارية على استخدام معدات متخصصة باستثمارات رأسمالية وتكاليف تشغيلية مرتفعة. وإلى جانب تلك التكاليف، أصدرت جمعية المعالجة الحرارية التابعة لـ ASM International [كانت تُعرف بالجمعية الأمريكية للمعادن] مبادئ إرشادية عدة للحدّ من استهلاك الطاقة من عمليات المعالجة الحرارية بنسبة 80٪، والحدّ من أوقات المعالجة بنسبة 50٪، والقضاء على الانبعاثات.

وأحد هذه الأساليب هو المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي، وهو أسلوب متَّبع فعلاً في بعض الصناعات والموضوعات البحثية المتخصصة كما في تعزيز الخواص الحرارية والكهربائية لمركَّبات العناصر البوليمرية المدعومة بالأنابيب النانوية الكربونية.[74] والمعالجة بالمجال المغناطيسي العالي أسلوب مبتكر وغير حراري لمعالجة المواد، ولديه إمكانية تقليص عمليات المعالجة الحرارية التقليدية الكثيفة الطاقة، بل والقضاء عليها.

وهو يعتمد على استخدام مغانط عالية التوصيل مصنَّفة عند 10 تسلات [جمع تسلا] فما فوق. وهي ظاهرة لم تتحقق سوى خلال تسعينيات القرن العشرين، وذلك للتحكم في خواص مثل الصلابة عند المستوى الذرّي.[75] وتتيح المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي إمكانية تحوير الهياكل المادية على المستويين: الجزئي والنانوي، وهي خالية كلياً من الحرارة، ما يقلل الحاجة إلى التبريد العميق، أو المعالجات الحرارية المزدوجة التطبيع. والأهم من ذلك، فإن المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي يمكن أن تحد من زمن التعرض العام من 1200 دقيقة إلى 5 دقائق فقط، أي تخفيض بنسبة 99.6٪.[76] وعلى الرغم من أن كثافة الطاقة المطلوبة في المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي سوف تختلف خلال زمن التعرض، فإن التقارير تشير إلى أن التوفير تصل قيمته إلى ملايين عدة من الدولارات.

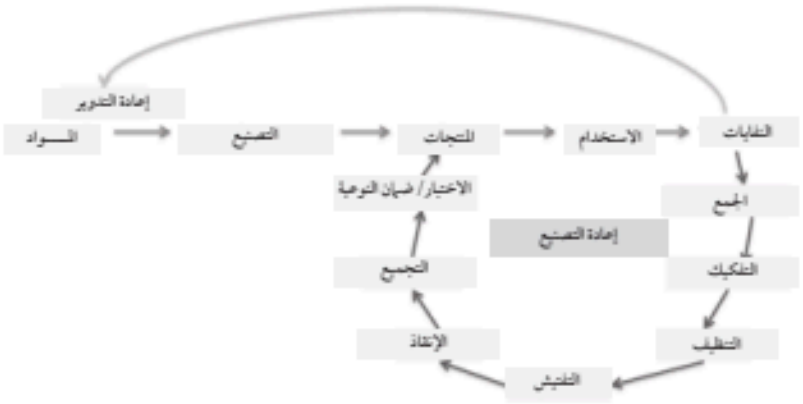
وإذا حلت طريقة المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي محل المعالجة الحرارية في عملية إنتاج الصلب لإزالة مادة "البايناية"، فإن حجم التوفير في الولايات المتحدة وحدها يمكن أن تصل قيمته إلى 91 مليون دولار، حيث تبلغ كمية الطاقة الموفَّرة 14 تريليون وحدة حرارية بريطانية.[77] وفي الوقت نفسه، فإن المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي عوضاً عن المعالجة الحرارية من أجل تطبيع الأعمدة/ القضبان، والمعالجة الحرارية التكويرية والصبّ، يمكن أن توفر داخل الولايات المتحدة وحدها 5 مليارات دولار و5.371 تريليون وحدة حرارية بريطانية سنوياً، مع خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بواقع 66.1 مليون طن متري سنوياً.[78] وأظهرت دراسة أحدث عهداً وأشمل، أعدها لودكا وآخرون[79] وصدرت في عام 2012، إمكانية تحقيق توفير بنسبة 5٪ من إجمالي الطاقة الأولية والثانوية لدى التطبيق الانتقائي، على نطاق الصناعة، للمعالجة بالمجال المغناطيسي العالي؛ فيما يخص صناعات الألمنيوم والصلب وصبّ المعادن، مع إمكانية توفير 5.231 تريليون وحدة حرارية بريطانية من أصل 63.4 كواد quad من الطاقة المزمع توفيرها.[80] ومن خلال إدراج التوفير من المعالجة الحرارية للتطبيع والمعالجة الحرارية للتكوير للأعمدة والقضبان، توقع الباحثون أنه بحلول عام 2025، يمكن أن تفضي المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي إلى توفير 5.371 تريليون وحدة حرارية بريطانية سنوياً (4.9 مليون طن من المكافئ النفطي) من الطاقة من هذه العمليات التصنيعية وحدها.

استرجاع النفايات

جميع المنتجات المادية تصبح نفايات في نهاية المطاف عند مرحلة نهاية عمرها. ومع تزايد كمية المنتجات في الأسواق، سوف تتصاعد كمية النفايات أيضاً. ولتقليص التأثير البيئي إلى الحد الأدنى، وتحسين الاستدامة المادية، يروَّج للحل القائم على التخفيض، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير. وقد نوقش التخفيض بالفعل سابقاً. وإعادة استخدام المنتجات، أو المكونات من الأمور المستصوبة بشدة، لكنها عموماً صعبة التحقيق بسبب الأضرار والتدهور المادي (الاهتلاك)، أو مجرد التقادم الوظيفي. أما إعادة التدوير فعادة ما تسترجع المواد التي تكون في أوضاع مماثلة، أو المتدهورة بدرجة طفيفة. والطاقة الموفَّرة من إعادة التدوير تعتمد على المواد. فعلى سبيل المثال، يوفر الألمنيوم المعاد تدويره طاقة تزيد على 95٪ أو أكثر مقارنة بالألمنيوم البكر،[81] ويوفر عنصر "البوليمر" المعاد تدويره نحو 90٪،[82] ويوفر الورق المعاد تدويره نحو 70٪.[83] بيد أن المواد المعاد تدويرها لا يمكن أن تصبح منتجات مفيدة من جديد سوى عن طريق العمليات التصنيعية. وكما هو موضح في الشكل (5-8) أحد هذه التوجهات الأكثر استصواباً هو إعادة التصنيع.

الشكل (5-8)

إعادة التدوير وإعادة التصنيع في دورة حياة المنتَج



إعادة التصنيع عملية لاستعادة نهاية حياة المنتجات أو المكونات إلى وضع "أشبه بالجديد" [في حالة ممتازة]. وعادة ما يقدِّم المصنِّعون الضمان نفسه الذي يقدمونه للمنتجات الجديدة، لكن بسعر يتراوح ما بين 50٪ و70٪. ويجعل ذلك من المنتجات المعاد تصنيعها خياراً جذاباً بالنسبة إلى عدد متزايد من المستخدمين. وعلاوة على ذلك، ومقارنة بالمنتجات البكر، يمكن أن تسهم إعادة التصنيع في توفير كميات هائلة من الطاقة والمواد المستهلكة. وتتباين الكميات الموفَّرة فعلياً رهناً بنوع المنتجات/ المكونات وتقنيات إعادة التصنيع المستخدمة. واستناداً إلى الدراسات المبلغ عنها، تتراوح الطاقة الموفَّرة من خلال إعادة التصنيع ما بين 14٪ و32٪ و44٪ على التوالي فيما يخص ثلاثة من الأجهزة المنزلية الشائعة (غسالات الأواني والثلاجات وغسالات الملابس)،[84] وما بين 94٪ و98٪ بالنسبة إلى مكونات محركات الاحتراق؛ مثل المكابس الفولاذية، وكتل المحركات المصنوعة من حديد الصبّ.[85]

ولا تزال إعادة التصنيع على نطاق الصناعة في مراحل تطورها المبكرة. وتوجد لدى الولايات المتحدة صناعة إعادة تصنيع كبيرة الحجم نسبياً، حيث تصل قيمة إنتاجها السنوي إلى 55 مليار دولار في السنة،[86] بيد أن هذا لا يمثل سوى نحو 2٪ من إجمالي الإنتاج السنوي للصناعات التحويلية البالغ نحو 2600 مليار دولار.[87] ويُقدَّر بأن الطاقة الموفَّرة عالمياً نتيجة لإعادة التصنيع بدلاً من تصنيع منتجات جديدة تصل إلى 400 تريليون وحدة حرارية بريطانية، أو نحو 10 ملايين طن من المكافئ النفطي.[88] ومع نمو الصناعات التحويلية، سوف يزداد ما تجنيه من طاقة موفَّرة.

وعلى الرغم من هذه المزايا، هناك بعض التحديات الكبرى من أجل تبنّي إعادة التصنيع على نطاق الصناعة. فالمنتجات ليست مناسبة جميعها لإعادة التصنيع بسبب عوامل مثل: تصميم المنتَج، وتواتر عائدات المنتَج وحجمها ووضعها، ومسافات النقل وتكاليفه، وقيمة المنتجات المعاد تصنيعها والطلب عليها، وتكلفة إعادة التصنيع.[89] وقد لخص شتاينهيلبر وآخرون (2001) الاعتبارات في ثمانية معايير لتحديد مدى ملاءمة

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

المنتج لإعادة التصنيع، وهي:[90] (1) المعايير التقنية (نوع أو تنوّع المواد والأجزاء وملاءمتها للفك والتنظيف والاختبار وإعادة التكييف. (2) المعايير الكمية (كمية المنتجات المعادة وتوافرها الزمني والإقليمي). (3) معايير القيمة (القيمة المضافة من المواد/ الإنتاج/ التجميع). (4) المعايير الزمنية (أقصى زمن لحياة المنتج، وزمن دورة الاستخدام لمرة واحدة). (5) معايير الابتكار (التقدم التقني فيما يخص المنتجات الجديدة والمنتجات المعاد تصنيعها). (6) معايير التخلص من النفايات (جهود وتكلفة العمليات البديلة لإعادة تدوير المنتجات والمكونات الخطرة الممكنة). (7) معايير متعلقة بالتداخل مع التصنيع الجديد (المنافسة أو التعاون مع مصنّعي المعدات الأصليين). (8) معايير أخرى (سلوك السوق، والمسؤوليات، وبراءات الاختراع، وحقوق الملكية الفكرية). وعلاوة على ذلك، فإن مصنّعي المعدات الأصليين في وضع أفضل من المصنّعين المستقلين. وقد يحاولون حماية منتجاتهم بسد الطريق أمام الأطراف الثالثة، ومنعها من إعادة تصنيعها.[91] ونظراً إلى التكلفة ولتضارب المصالح مع تصنيع المنتجات الجديدة ومبيعاتها، فإن معظم مصنّعي المعدات الأصليين يقررون عدم تبنّي عملية إعادة التصنيع.[92] وبالإضافة إلى ذلك، لا تزال العراقيل التجارية قائمة أمام شحن المنتجات الأساسية والمعاد تصنيعها عبر الحدود الوطنية، ما يحول دون نمو مُعيدي التصنيع القائمين.[93]

التأثير المحتمل للفرص

يلخص الجدول (5-2) الطاقة المحتمل توفيرها من فرص التوجهات الثلاثة الآنفة الذكر. وتستند قيم نطاقي الطاقة المنخفض والمرتفع إلى دراسات من الأدبيات المشار إليها في المراجع. وفي الحالات التي تكون فيها قيم النطاقين المنخفض والمرتفع إما غير متاحة، وإما غير قابلة للحساب يُستشهد بالبيانات المرجعية مباشرة. وقد يوجد بعض التداخل بين التكنولوجيات والتوفير الذي يُحتمل أن تحققه، وخصوصاً في حالة نظم قياس الطاقة ورصدها، حيث قد يتأتى التوفير من تطبيق بعض تكنولوجيات تحسين كفاءة الطاقة

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 216/457

المتضمَّنة على نحو منفصل في هذه الورقة. وبما أن الإمكانات النابعة من نظم قياس الطاقة ورصدها أكبر بكثير من مجموع النظم الأخرى، فإن عدم الدقة نتيجة للتداخل يُعتبر عديم المغزى نسبياً، ويمكن تجاهله.

الجدول (5-2)

التوفير المحتمل في الطاقة من تكنولوجيات مختارة

التكنولوجيا		معدل توفير الطاقة (نسبة مئوية)	احتمال التخفيض في الاستهلاك العالمي للطاقة (مليون طن من المكافئ النفطي)
تحسين كفاءة الطاقة			
قياس الطاقة ورصدها		30-10	1,750-580
الإضاءة بالصمام الثنائي الباعث للضوء		50	157
النظم العاملة بالمحركات الكهربائية		15-10	87
الطاقة المسترجعة	حرارية	70-10	15
	حركية	49-5	52
المجموع الفرعي			2,061-891
التكنولوجيات البديلة			
التصنيع الإضافي		66-34	3852-1985
المعالجة بالمجال المغناطيسي العالي		5	9.4
المجموع الفرعي			3,861.4-1,994.4
استرجاع النفايات			
إعادة التصنيع		98-14	10
المجموع			5,932.4-2,895.4

تشير البيانات في الجدول (5-2) إلى أن تطبيق التكنولوجيات المتاحة حالياً المتضمَّنة في الدراسة، مثل نظم قياس الطاقة ورصدها، والإضاءة بالصمام الثنائي الباعث للضوء، والنظم العاملة بالمحركات الكهربائية ذات الكفاءة في استخدام الطاقة، وأجهزة استرجاع

الطاقة، في جميع أنحاء العالم يمكن أن يسهم في تحقيق انخفاض في استهلاك الطاقة في النطاقين المنخفض والمرتفع بواقع 31٪ و35٪ على التوالي. وتصل كمية الطاقة المحتمل توفيرها من تطبيق نظم إدارة الطاقة القائمة على قياس الطاقة ورصدها على نطاق الصناعة إلى ما بين 54٪ (بنسبة تحسن في الكفاءة قدرها 10٪) و82٪ (بنسبة تحسن في الكفاءة قدرها 30٪)، وهي قيمة أعلى من مجموع البقية.

وجدير بالذكر أن مجالات الفرص المختارة في هذه الورقة يُعتقد أن لها تأثيراً مهيمناً على إجمالي الطاقة المحتمل توفيرها. وهذه المجالات أيضاً جرت دراستها على نحو جيد نسبياً والإبلاغ عنها في الأدبيات. وهناك الكثير من المجالات غير المتضمَّنة هنا، حيث إن "التصميم البيئي" من بين الاستثناءات المهمة.

ويعرَّف توجيه المنتجات المستخدمة للطاقة الصادر عن المفوضية الأوروبية (التوجيه 2009/125/EC) التصميم البيئي بأنه "دمج الجوانب البيئية في تصميم المنتَج بهدف تحسين الأداء البيئي للمنتَج على مدى دورة حياته بالكامل". وقد بينت الدراسات أن القرارات المتعلقة بالتصميم تحدد ما نسبته 75٪ أو أكثر من تكلفة دورة حياة المنتَج،[94] بينما لا يمكن أن تؤثر قرارات التصنيع سوى على ما نسبته 10٪–25٪ من تكاليف التصنيع.[95] ونظراً إلى أن أغلبية التكاليف في التصنيع هي في المواد والموارد، فإن تأثير التصميم على التكاليف يمكن أن يكون أيضاً ذا صلة باستهلاك الطاقة في شكل الطاقة المتضمَّنة ضمن المواد المكوِّنة لها، وكذلك الطاقة التي تستهلكها مباشرة عملية التصنيع. ويوحي ذلك بأن التصميم البيئي يمكن أن يكون له إسهام أكبر بكثير في الطاقة الموفَّرة في التصنيع. بيد أن القياس الكمي لاحتمالات التوفير أمر صعب بسبب نقص الإحصاءات الموثوق بها، ومن ثمّ فإن الطاقة المحتمل توفيرها من التصميم البيئي غير متضمَّنة في هذه الورقة.

ويمكن، من خلال استخدام التكنولوجيات الجديدة والناشئة، إحداث تخفيضات كبيرة في استهلاك الصناعات التحويلية من الطاقة. ومن بين المجالات المختارة، توجد أعلى إمكانات لدى التصنيع الإضافي، حيث يستحوذ على ما نسبته 65٪، أو أكثر من

الطاقة الممكن توفيرها في الجدول (5-2). وإذا أصبحت هذه التكنولوجيات تنافسية تقنياً واقتصادياً في الحلول محل التكنولوجيات القائمة، فإنها ستقدِّم واحداً من أكبر التخفيضات في استهلاك الطاقة.

ويمكن أن يوفر استرجاع النفايات، وخصوصاً في إعادة التصنيع، قيمة أعلى بكثير من تلك الواردة في الجدول (5-2). وهناك عدد من العوامل التي يمكن أن تسهم في النمو القوي في إعادة التصنيع وتوفير الطاقة. ومن بين تلك العوامل: تحسُّن قبول السوق للمنتجات المعاد تصنيعها، وتصاعد الضغوط على حفظ الطاقة والمواد، وإزالة العراقيل التجارية عن المواد الأساسية والمنتجات المعاد تصنيعها، والتحسينات في تكنولوجيات إعادة التصنيع. وإذا نما إنتاج إعادة التصنيع إلى 30٪ من صناعة إعادة التصنيع من خط الأساس المتمثل في 2٪ بحسب البيانات الأمريكية، فإن الطاقة الموفَّرة سوف تزداد بالتناسب إلى 150 مليون طن من المكافئ النفطي. ويشير ذلك، إلى جانب التحليل بشأن التوجهين الآخرين، إلى أن الطاقة المحتمل توفيرها في الجدول (5-1) تمثل تقديرات متحفظة.

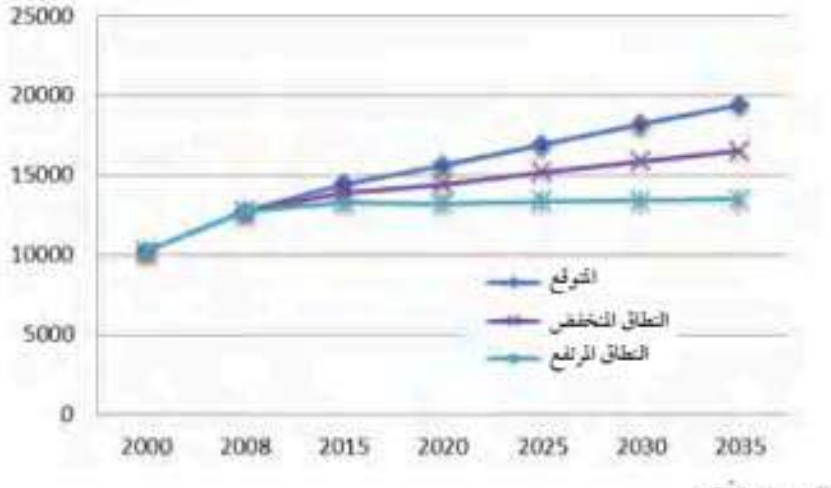
وبافتراض أن النطاقين المنخفض والمرتفع لإمكانات الطاقة سوف يتحققان خطياً ما بين عامي 2008 و2035، يمكننا الحصول على منحنيات كما هو مبين في الشكل (5-9). ويستند المنحنى المتوقع في الشكل ذاته على التقرير المعنون "آفاق الطاقة العالمية 2011" (*International Energy Outlook*) الذي نشرته إدارة معلومات الطاقة الأمريكية.[96]

يوضح الشكل (5-9) أنه في السيناريو المتوقع، سوف تطرأ زيادة بنسبة 34٪ على استهلاك الطاقة ما بين عامي 2008 و2035. واستناداً إلى سيناريو النطاق المنخفض، سوف يكون الاستهلاك النهائي في عام 2035 أقل بنسبة 15٪ عن السيناريو المتوقع، بحيث يعوض فعلياً ما نسبته 44٪ من نمو استهلاك الطاقة. وفي سيناريو النطاق المرتفع، سوف يكون الاستهلاك النهائي أقل بنسبة 31٪ من السيناريو المتوقع؛ بما يشير إلى أن النمو المتوقع سوف يعوَّض، وأن استهلاك الطاقة العالمي يمكن أن يبقى تقريباً عند مستواه في عام 2010. ويشير ذلك إلى أن الصناعات التحويلية لديها الإمكانية لأن تؤثر بشكل كبير

في نمو استهلاك الطاقة العالمي، إذا أمكن تحقيق جميع الإمكانات من التكنولوجيات المتاحة، وكذلك التكنولوجيات الناشئة من الآن وحتى عام 2035. وأحد المحفزات -كما يتضح من المصالح المتصاعدة في كفاءة الطاقة في السنوات الأخيرة- هو سعر الطاقة بسبب إما سياسات جانب العرض، وإما السياسات الوطنية/ الحكومية. وزيادة أسعار الطاقة سوف توفر المزيد من الحوافز من أجل الاستثمار في تكنولوجيات التصنيع ذات الكفاءة في استخدام الطاقة وتطبيق تلك التكنولوجيات، وهو ما من شأنه تقليص استهلاك الطاقة، وتخفيف الضغط على الزيادات في أسعار الطاقة. ويقع التحري عن العلاقة بين عرض الطاقة، وأسعارها، وكفاءتها، في التصنيع خارج نطاق هذه الورقة، لكن من المفيد دراستها في المستقبل.

الشكل (5-9)

التخفيض المحتمل في الاستهلاك العالمي من الطاقة في الصناعات التحويلية
(مليون طن من المكافئ النفطي)



المصدر: استناداً إلى:

US Energy Information Administration (EIA), *International Energy Outlook 2011* (www.eia.gov/forecasts/ieo).

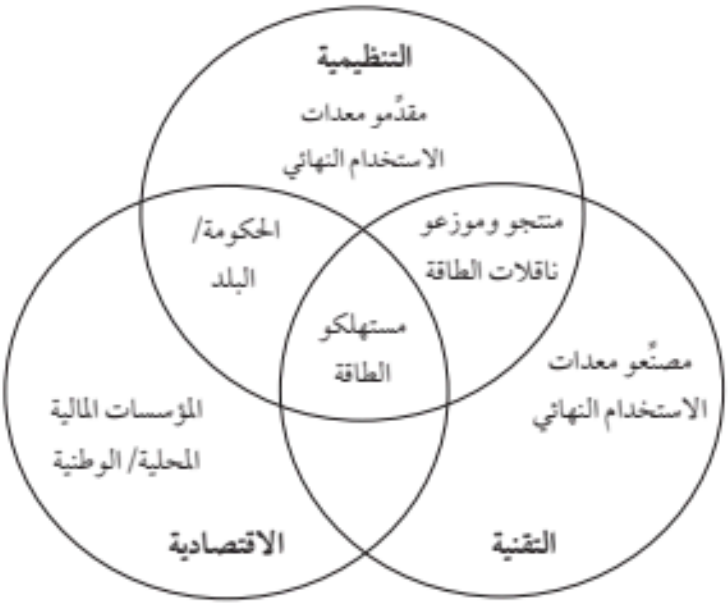
التحديات المرتبطة بفرص الحد من الطاقة

إن تطبيق تكنولوجيات التصنيع ذات الكفاءة في استخدام الطاقة مهمة شاقة، حتى بالنسبة إلى التكنولوجيات التي تبدو ذات كفاءة من حيث الطاقة واقتصادياً على حد سواء.[97] كما أجريت دراسات من أجل الوصول إلى فهم أفضل للتحديات والعراقيل التي تواجه تنفيذ برامج وتكنولوجيات تخفيض الطاقة. وقد أعدَّ رودين وآخرون دراسة حول قطاعات التصنيع غير الكثيفة؛ من حيث استخدام الطاقة، وتحرّوا حالة صناعة سبك المعادن السويدية، وخلصوا إلى أن ضيق سبل الحصول على رأس المال هو الحاجز الأكبر، وتليه المخاطرة التقنية مثل انقطاعات الإنتاج، ونقص التمويل من الميزانية.[98] وأجرى فلايتر وآخرون تحليلاً تجريبياً استناداً إلى بيانات مراجعة الطاقة في ألمانيا.[99] وقد أكدوا النتائج التي توصلت إليها الدراسات السابقة، وصنفوا المنشآت الصغيرة والمتوسطة باعتبارها تواجه حواجز تتصل بالعراقيل الذاتية التقييم (مثل نقص رأس المال الخارجي)، والعراقيل الموضوعية (مثل زمن الاسترداد)، ومتغيرات التحكم (مثل تكلفة الطاقة السنوية للشركات كنسبة من إجمالي تكاليف الإنتاج) والصعوبات والمخاطر المرتبطة بابتكار وتطوير تكنولوجيات تصنيع تتسم بكفاءة الطاقة.

وكما تبين الدراسات المشار إليها آنفاً، فإن تحسين كفاءة الطاقة في الصناعات التحويلية يواجه تحديات كبرى. وتصنَّف هذه الورقة التحديات على أساس العوامل "التنظيمية" و"الاقتصادية" و"التقنية". ويمكن بعدئذ تقسيم تلك العوامل على أساس "مستهلكي الطاقة"، و"مصنّعي معدات الاستخدام النهائي"، و"مقدّمي معدات الاستخدام النهائي"، و"منتجي وموزعي ناقلات الطاقة"، و"المؤسسات المالية المحلية/ الوطنية"، و"الحكومة/ البلد" على حد وصف الباحث أموليا رِدي.[100] وتكاد جميع النتائج التي توصلت إليها الدراسات الآنفة الذكر تصلح لأن توضع ضمن الرسم البياني المبين في الشكل (5-10).

الشكل (5-10)

توزيع التحديات



المصدر:

Amulya K.N. Reddy, "Barriers to Improvements in Energy Efficiency," *Energy Policy*, vol. 19, no. 10, 1991.

العوامل التنظيمية

تتضمن التحديات التنظيمية العوامل الإدارية والاجتماعية-السياسية على حد سواء. فعلى الجانب الإداري، كثيراً ما تجسد العوامل التي تؤثّر في الصناعة الفجوة ما بين النظرة الشمولية للإدارة العليا، والقضايا التي تحدث على أرض الواقع. فعلى سبيل المثال، يمكن اعتبار الطاقة تكلفة إضافية من الصعوبة وعدم الأهمية بحيث لا يستوي أن يتعامل "مستهلكو الطاقة" أنفسهم معها سواء على مستوى الإدارة، أو على المستوى الفردي. كما

سيتضح أن اللامبالاة، أو الجهل بالحاجة إلى كفاءة الطاقة من جانب المصنّعين ومقدّمي معدات الاستخدام النهائي هو أيضاً من عوائق الحد من استهلاك الطاقة في التصنيع.[101] ومقدّمو معدات الاستخدام النهائي، أو موزعوها، ليسوا إلا جزءاً من سلسلة الإمداد، ولا يجوز لهم أن يبادروا إلى إنفاذ كفاءة الطاقة في قطاعات أخرى.

وترتبط العوامل الاجتماعية-السياسية بالحكومة والبلد، ويمكن أن تتضمن قضايا مثل نقص الدعم السياسي أو التشريعات. فعلى سبيل المثال، تتبع سنغافورة المعايير التي وضعتها دولياً الأمم المتحدة فيما يتعلق بانبعاثاتها الكربونية ونصيب الفرد من استهلاك الطاقة لكل وحدة من وحدات الناتج المحلي الإجمالي.[102] وإذا لم تُبنَ الحدود والمواصفات على هذه القيم، فإن الحكومات المحلية ليست واقعة تحت الضغط السياسي نفسه لوضع ضوابط مشابهة داخل صناعاتها، ولذا فإنها تحثّ على تبنّي تكنولوجيات مفيدة.[103]

العوامل الاقتصادية

قد تركز الشركات على التوفير القصير الأجل بدلاً من المزايا التي يمكن أن تتأتى من تحليلات، وتعديلات دورات الحياة على المدى الطويل. وينطبق ذلك بصورة خاصة عندما تكون فترات الاسترداد مفرطة في الطول، وهو ما يؤدي أيضاً إلى خسارة في رأس المال المقدم لمصلحة فرص استثمارية أخرى.[104] كما أن الحاجة إلى كميات كبيرة من رأس المال -وخصوصاً عندما يتعلق الأمر بتكنولوجيات الإحلال- يثبط الحافز من أجل التغيير. وحتى إذا لم تكن الشركات أنفسها قادرة على توفير رأس المال هذا، قد تكون المؤسسات المالية المحلية/ الوطنية، أو الحكومية غير راغبة، أو غير قادرة على تقديم الاستثمار في البنى الأساسية ذات الكفاءة في استخدام الطاقة، وهي نقطة أشير إليها باعتبارها إحدى أهم النقاط في الدراسة التي أعدها وولش وثورنلي عن العراقيل أمام تحسين كفاءة الطاقة في الصناعات التحويلية باستغلال فاقد الحرارة [وتعرف أحياناً بالحرارة الثانوية].[105] وقد تكون لدى مستهلكي الطاقة أيضاً الرغبة في تحمُّل تكاليف

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

تكنولوجيات جديدة، مفضلين سداد القيمة السوقية لمصدر الوقود الأكثر ملاءمة -النفط الخام عادةً- باستخدام تكنولوجيات تنقصها الكفاءة من حيث استخدام الطاقة.

العوامل التقنية

يمثل الخوف من التكاليف الخفية المرتبطة باستخدام تكنولوجيات عالية المخاطر وغير مؤكدة -وخصوصاً بسبب نقص الأبحاث الملموسة والتحليلات الاقتصادية- تحدياً رئيسياً يؤرق الكثير من مصنّعي معدات الاستخدام النهائي.[106] وعلى الرغم من أن الكثير من هذه المستجدات التكنولوجية تصب في صلب التصنيع، فإنها قد لا تكون اختُبرت وأجريت البحوث بشأنها على نحو صارم من حيث قوة تحملها، ونوعيتها وفعّاليتها على المستوى العملي. كما أن الارتفاع المحتمل في تكلفة التنفيذ يمكن أن يؤدي إلى الإحجام عن تحديث معدات التصنيع وممارساته لدى المرء، وخصوصاً إذا نُفِّذت استثمارات سابقة في الآلات والمعدات، أو إذا مُنحت فرص استثمارية أخرى أولوية أعلى، كما وُجد في مسح أجراه الباحث جي. هاريس على شركات صناعية أسترالية.[107] ويميل منتجو وموزعو ناقلات الطاقة إلى اعتبار أن الحفاظ يقع خارج دائرة نفوذهم ومجال عملهم،[108] وخصوصاً على اعتبار أنه كلما قلت وحدات الطاقة التي يبيعونها، قلّت ربحيتهم. ويثبطهم ذلك عن البحث عن حلول لمسألة كفاءة الطاقة.[109]

استنتاجات

يتحول المشهد السياسي المتغير باتجاه تنفيذ مخططات وتكنولوجيات تصنيعية تتسم بكفاءة الطاقة. وهذا التحول يدفع الصناعات التحويلية نحو مستقبل يتسم بدرجة عالية من الكفاءة في استخدام الطاقة. والعوامل الرئيسية المعنية هي: ارتفاع تكاليف الطاقة، ونمو السكان المقترن بارتفاع نصيب الفرد من استهلاك الموارد، واللوائح الرامية إلى تخفيف آثار تغير المناخ، واستنزاف الوقود الأحفوري. وعلى صعيد الصناعات التحويلية، يبدأ تأثير التحول من مصنّعي المنتجات ومقدّمي المواد وصولاً إلى مورّدي المستويات

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 224/457

الدنيا عبر تأثير سلسلة الإمداد. وتخلق هذه العملية فرصاً لا حصر لها ذات دوافع تقنية واجتماعية وسياسية.

ويمكن تلخيص الفرص التقنية للحد من استهلاك الطاقة في التصنيع ضمن ثلاثة توجهات: تحسين كفاءة الطاقة، والتكنولوجيات البديلة، واسترجاع النفايات.

وفي إطار التوجه الخاص بتحسين كفاءة الطاقة، تجري مناقشة أربعة مجالات للتكنولوجيا ذات التأثير الكبير في توفير الطاقة، وهي: تنفيذ نظم قياس الطاقة ورصدها، والإضاءة بالصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)، والنظم ذات الكفاءة التي تعمل بالمحركات الكهربائية، واسترجاع الطاقة من النفايات. وإذا نُفذت هذه المجالات في جميع المنشآت التصنيعية عالمياً، يمكنها أن تحقق مجتمعةً انخفاضاً بنسبة 35٪ في الاستهلاك العالمي من الطاقة.

ويشير مصطلح "التكنولوجيات البديلة" هنا إلى التكنولوجيات الناشئة وتلك التي تُحدِث تغيراً جذرياً. ويجري استعراض وتحليل تكنولوجيات التصنيع الإضافي (أو الطباعة الثلاثية الأبعاد) والمعالجة بالمجال المغناطيسي العالي. وتشير النتائج إلى أنه لدى الجمع بين العمليات البديلة الثلاث وتنفيذها عالمياً، يمكن خفض استهلاك الطاقة في التصنيع بواقع نحو 65٪.

وفي مجال استرجاع النفايات، ينصب التركيز على إعادة التصنيع. ويصل التوفير الحالي في الطاقة بناءً على التقديرات المتاحة إلى 10 ملايين طن من المكافئ النفطي (نحو 1.1٪ من إمكانات التحسين في كفاءة الطاقة، أو 5.0٪ من التوفير باستخدام التصنيع الإضافي). بيد أنه من بين المزايا الاقتصادية والبيئية المهمة الأخرى، إذا نما إنتاج إعادة التصنيع من نسبته الحالية وقدرها 2٪ إلى 30٪ من إنتاج التصنيع من حيث القيمة، فإن الطاقة الممكن توفيرها ستزداد بالتناسب 15 مرة؛ بحيث يكون لها تأثير أكبر بكثير.

وعلى العموم، تشير الإمكانات المجمَّعة لتوفير الطاقة إلى أنه، في سيناريو النطاق المنخفض، سوف يكون إجمالي استهلاك الطاقة في عام 2035 أقل بنسبة 15٪ من القيمة الخالية من التغيير المتوقعة الأصلية، ما يعوض فعلياً ما نسبته 44٪ من نمو استهلاك الطاقة. وفي سيناريو النطاق المرتفع، سوف يكون استهلاك الطاقة الإجمالي أقل بنسبة 31٪ ما يعني إمكانية تعويض ما نسبته 91٪ من النمو المتوقع، وإذا تحقق ونُفِّذ بنجاح، فإن الاستهلاك العالمي للطاقة سوف يبقى عند نحو مستواه في عام 2010، ما يؤكد أهمية الصناعات التحويلية في الحد من استهلاك الطاقة.

والواقع هو أن التكنولوجيات القائمة تُطبَّق في الصناعة بوتيرة بطيئة، ويواجه نضجُ التكنولوجيات الناشئة وتطويرها تحدياتٍ من حيث الموارد، وتحديات تقنية أيضاً. وتأتي العراقيل في شكل عدد من العوامل التنظيمية والاقتصادية والتقنية، يُتعارف على أن في مقدمتها نقص اهتمام الإدارة، وطول فترات الاسترجاع، والخوف من التكاليف الخفية من استخدام تكنولوجيات غير مؤكدة وعالية المخاطر. وبما أن هذه العوامل الرئيسية يمكن ربطها جميعاً بالتكلفة والربح، فإن اتجاه أسعار الطاقة ومستواها لن يكون له تأثير مباشر في الموارد المستثمَرة في ابتكار وتطبيق تكنولوجيات تصنيعية تتسم بكفاءة الطاقة، ومن ثمّ في سرعتها ومدى تحقيقها.

الفصل السادس

التحديات والفرص التكنولوجية في قطاع توليد الكهرباء

عصام عبدالعزيز العمّار

إن التحدي الرئيسي الذي يواجه قطاع توليد الكهرباء يكمن في زيادة القدرة على تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء. وبما أن إنشاء محطات الطاقة يستغرق سنوات طويلة، فإن التخطيط لأي قدرات مطلوبة خلال السنوات العشر المقبلة، يجب أن يبدأ الآن، ولابد من تحديد المزيج المناسب من مصادر الطاقة. ومن المعروف أن الطاقة الكهربائية لا يمكن تخزينها، بل لا بد من استهلاكها لدى توليدها، أو تحويلها إلى طاقة كامنة، أو طاقة حركية، أو طاقة كيميائية، أو شكل آخر من أشكال الطاقة حتى يتم تخزينها. بيد أن كثافة الطاقة لهذه الأشكال المعروفة للتخزين شديدة الانخفاض. ولذلك لا بد في الظروف المثالية أن يُحدَّد الجدول الزمني للتوليد؛ بحيث يتماشى بدقة مع الحمولة المتغيرة على نحو اقتصادي وموثوق به. وهذه المشكلة مفهومة بصورة جليّة.[1] بيد أنه مع الانتشار المتزايد للمصادر المتجددة، فإن الهدف المتمثل في المواءمة بين التوليد والحمولة سينطوي على المزيد من التحديات.

وفي الوقت الحالي، يُولَّد ما نسبته أكثر من 50٪ من الكهرباء من محطات تعمل بالوقود الأحفوري. وهذه المحطات لا تتسم بالكفاءة. ونظراً إلى تباين المصادر المتجددة، فإنه توجد حاجة إلى المحطات التقليدية التي تعمل بالوقود الأحفوري من أجل التحكم والتنظيم. وبما أن المصادر المتجددة لا تزال عالية التكلفة، حتى في ما يخص توفير الحمل الأساسي، فسوف يتواصل استخدام المحطات التقليدية. وينبغي لقطاع توليد الكهرباء أن يبذل الجهود لجعل المحطات أكثر كفاءة من خلال ترجيح: (1) محطات الطاقة والتحلية

المجمَّعة؛ بحيث يتم توفير مياه الشرب والكهرباء. (2) محطات الطاقة المشتركة [أو المختلطة] التي تستخرج أقصى كمية من الطاقة من الوقود المحروق. و(3) محطات الطاقتين: الحرارية والكهربائية المشتركة.

أما التحدي الرئيسي الآخر فهو تأثير انبعاثات غازات الدفيئة في كوكب الأرض؛ ذلك أن محطات الوقود الأحفوري الحالية تنبعث منها أنواع مختلفة من غازات الدفيئة؛ مثل ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروس. وتوجد حاجة إلى اتخاذ خطوات سريعة لتخفيف آثار الانبعاثات الكربونية. كما تُشكِّل موثوقية مصدر التوليد، وأمن الإمداد سببين رئيسيين للقلق. فنحن نعتمد على الكهرباء في جميع أنشطة الحياة، ويتوقع المستهلكون إمدادات متصلة على مدار الساعة. ولتحقيق هذا الهدف، يجب أن تكون مصادر التوليد موثوقاً بها. وعلاوة على ذلك، يجب أن يكون الوقود متاحاً بيسر. ومن ثمَّ، لا بد من إحكام السيطرة على المخزون وإدارة سلسلة الإمداد على نحو يتسم بالكفاءة.

وفي العقد الماضي، تحقق تقدم كبير في التكنولوجيا المستخدمة لتوليد الكهرباء من مصادر طاقة غير تقليدية ومتجددة؛ مثل الرياح، والطاقة الكهروضوئية، والطاقة الشمسية المركَّزة. ولا يمكن استخدام هذه المصادر لدعم التردد، ولا كاحتياطي. وتوجد حاجة إلى أن تعاد دراسة حماية نظام الطاقة، وكذلك مسائل نوعية الطاقة والاستقرار. وتوجد حاجة إلى تطوير نماذج دينامية واختبارها. ومع توليد الكهرباء بطاقة الرياح في المناطق البحرية، فإن خطوط النقل الطويلة المطلوبة تشكل تحدياً تقنياً إضافياً. أما فيما يخص حقول الطاقة الشمسية، فتتمثل التحديات في الرياح العابرة، والتباينات الموسمية واليومية في كثافة أشعة الشمس. وبينما يمكن للقدرة على التخزين أن تزيد من إمكانية التنبؤ بالنسبة إلى محطات الكهرباء التي تعمل بالطاقة المتجددة، فإن التحدي الرئيسي المرتبط بتخزين مصادر أخرى للطاقة مثل الغاز المضغوط والأوكسجين، يكمن في ما تتسم به من انخفاض كثافة الطاقة. وفي ظل جميع هذه المكونات الإضافية، هناك الكثير الذي ينبغي القيام به قبل أن تصبح هذه التكنولوجيات جاذبة من الناحية الاقتصادية. وهناك مصادر أخرى للطاقة

لاتزال في بداياتها، مثل الطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الأحيائية. وعلى الرغم من أن الطاقة النووية أصبحت مكتملة النمو، فإن قضايا السلامة، ومعالجة النفايات لا تزال مصدر قلق كبير.

وهناك فرصة أخرى ينبغي استكشافها بقوة؛ ألا وهي إدارة الطلب على الطاقة وجدولته؛ بحيث يتواءم مع التوليد، وذلك من خلال العديد من برامج الاستجابة للطلب التي تقدَّم ضمن نموذج شبكة ذكية. وكي تنجح برامج الاستجابة للطلب، لا بد من دمج تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات على نحو متصل مع نظم التوزيع والأحمال القائمة. ومن شأن الاستخدام الواسع النطاق للسيارات الكهربائية الهجينة أن يزيد الضغط على نظام التوزيع في المستقبل. بيد أن تكنولوجيات الاستجابة للطلب يمكن أن تحوِّل هذا التحدي إلى فرصة؛ فعن طريق الجدولة واستخدام تكنولوجيات الاتصالات على نحو ملائم، يمكن أن تصبح السيارات الكهربائية الهجينة بمنزلة بُنى أساسية موزَّعة، ويمكن أن تمد الشبكة بالكهرباء. ومن ثمَّ يسهم المزيج المكوَّن من: (1) التوليد التقليدي (القابل للإرسال آنياً عند الطلب [أي الذي يمكن وقفه وتشغيله خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً، وكذلك يمكن لمشغلي الشبكة التحكم في كميته وتوقيته]) وغير التقليدي (غير القابل للإرسال الآني). (2) الأحمال القابلة وغير القابلة للتحكم فيها. (3) التخزين الموزَّع والكبير الحجم، في إيجاد توازن بين التوليد والطلب.

والشيء المطلوب الآن هو التوليد الذكي للكهرباء من مجموعة منوَّعة من المصادر، على أن تتحمل محطات الوقود الأحفوري والطاقة النووية الحمل الأساسي. وينبغي للمحطات التي تعمل بالفحم والنفط أن تطوِّر تكنولوجيات أفضل لحجز الكربون وتخزينه من أجل الحد من انبعاثات غازات الدفيئة. ويمكن أن تكون محطات الدورة المركَّبة التي تعمل بالغاز، بما تتميز به من كفاءة عالية واستجابة سريعة ومستوى منخفض نسبياً من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون، ذات قيمة كبيرة، لأنها يمكن أن تعالج التباينات المفاجئة في الطاقة الكهربائية المستمدة من المصادر المتجددة. وعلاوة على ذلك، فإن

التنسيق الملائم للمصادر المختلفة يتطلب الاستخدام الأمثل لتكنولوجيات الشبكات الذكية؛ من حيث التحميل والتخزين، من أجل أن تصبح الكهرباء معقولة التكلفة وموثوقاً بها ومستدامة، وكذلك لتحقيق انخفاض كبير في انبعاثات غازات الدفيئة. وفي الأقسام التالية، سوف تُناقَش هذه التحديات والفرص بمزيد من التفصيل.

التحديات

مواءمة التوليد والطلب

تشير التوقعات إلى أن الطلب على الكهرباء سوف يصل إلى 31525 تيراواط ساعة بحلول عام 2030، مسجلاً نمواً بمعدل سنوي قدره 2.4٪.[2] ويُعد معدل استخدام الطاقة في الكهرباء من أسرع معدلات الاستهلاك الأخرى للطاقة. ويبلغ نمو الطلب على الكهرباء أعلى مستوياته لدى البلدان النامية. فقد زاد استهلاك الكهرباء لدى المملكة العربية السعودية والهند بمعدل متسارع على مدى السنوات العشر الأخيرة، بينما بقي ثابتاً تقريباً لدى الولايات المتحدة على مدى السنوات الخمس الأخيرة، انظر الجدول (6-1).

الجدول (6-1)

استهلاك الكهرباء (مليار كيلوواط ساعة)

البلد	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
السعودية	113.8	113.8	128.5	134.9	144.4	156.8	156.8	165.1	165.1	174.5
الهند	497.2	497.2	510.1	519	587.9	517.2	517.2	568	568	600.6
الولايات المتحدة	3,479	3,602	3,660	3,656	3,717	3,892	3,892	3,873	3,873	3,741
العالم	13,810	13,940	14,280	15,450	16,330	16,880	17,480	17,930	17,780	19,090

المصدر:

US Energy Information Administration (EIA) / Department of Energy (DoE), "Annual Energy Outlook 2013 Early Release," December 2012.

ويتمثل أحد التحديات الرئيسية التي يواجهها قطاع توليد الكهرباء في مهمة المواءمة بين التوليد والطلب. ولا بد من أن تخطط دول الخليج العربية لإنشاء محطات جديدة، من أجل تلبية الزيادة المتوقعة في الطلب. وحتى يبدأ تشغيل محطة بعد 10 سنوات، لا بد من أن تبدأ أنشطة التخطيط لها الآن. ولدى التخطيط للمستقبل لا بد من مراعاة العوامل البيئية، وكذلك توافر الوقود والمياه والأرض. ولا بد من مواءمة التوليد والطلب في جميع الأوقات، بدءاً من الثواني وحتى السنوات. وتتحقق المواءمة الآنية بين التوليد والطلب من خلال القصور الذاتي للنظام. فمن خلال التداخل بين المصادر المتجددة والطاقة الكهربائية، من المحتم أن يتراجع القصور الذاتي للنظام. وتتحقق المواءمة بين التوليد والطلب على مستوى الثواني من خلال التحكم في جهاز تحديد السرعة governor، بينما تتحقق على مستوى الدقائق من خلال التحكم الآلي في التوليد. ويلخص الجدول (6–2) مشكلات التنظيم الزمني لنظام الكهرباء. وقد تلاحَظ ضرورة إعادة النظر في مشكلة التزام الوحدة (UCP) والتزويد الاقتصادي (ED) مجدداً عند تزايد نسبة المصادر المتجددة.

الجدول (6–2)

مشكلات جدولة نظام الطاقة الكهربائية

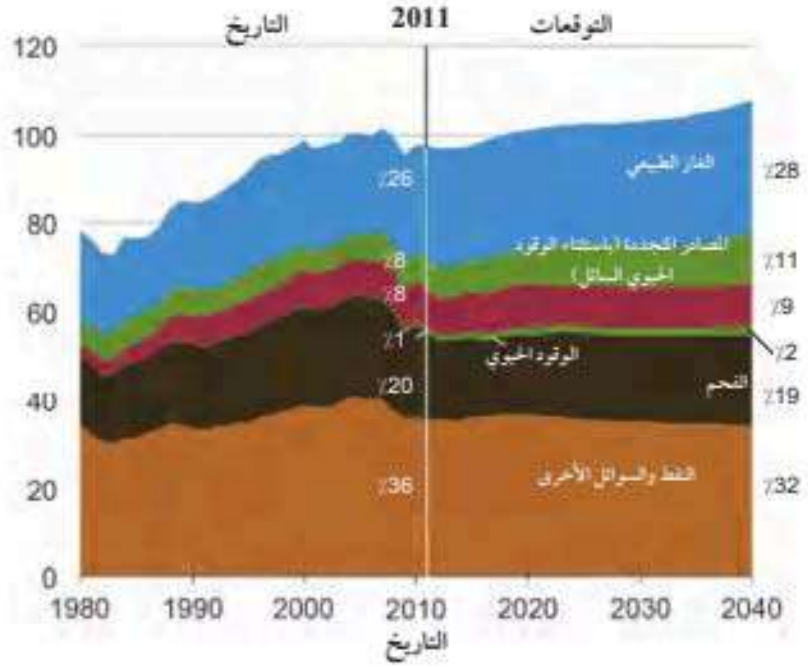
المقياس الزمني	النظام المنطبق
الثواني	التحكم في جهاز تحديد السرعة
دقيقتان	التحكم الآلي في التوليد
30 دقيقة	التزويد الاقتصادي
24 ساعة	مشكلة التزام الوحدة
السنوات	التخطيط لإنشاء محطات جديدة لتوليد الكهرباء لتلبية الطلب المتوقع

كفاءة التوليد

بدأت تكلفة الطاقة الكهروضوئية في التراجع، وبدأ توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح تزداد كفاءته، وبدأ تشغيل المحطات التي تعمل بالطاقة الشمسية المركّزة التي تصل قدراتها إلى مئات الميجاواطات. ومع ذلك، نظراً إلى تباين الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فإن انتشار المصادر المتجددة سوف يبقى محدوداً. ومن ثمّ، فإن المحطات القائمة على الوقود الأحفوري سوف تستمر في العمل خلال السنوات المقبلة. وإذا فحصنا توليد الكهرباء حسب المصدر، كما في الشكل (6-1) يمكننا ملاحظة أن الفحم سوف يبقى مصدر الطاقة الرئيسي (وإن أشارت التوقعات إلى تراجع حصته في مجموع الطاقة المولّدة من 42٪ في عام 2011، إلى 35٪ في عام 2040).

الشكل (6-1)

التوليد العالمي للكهرباء حسب الوقود، 1990-2040[3]



الجدول (6–3)

توليد الكهرباء حسب الوقود (مليار كيلوواط ساعة)

نوع الوقود	2011	2040
النفط وأشكال الوقود السائل الأخرى	40	40
الفحم	1,730	1,830
الغاز الطبيعي	1,020	1,580
الطاقة النووية	790	900
الطاقة المتجددة	520	860
المجموع	4,100	5,210

المصدر: EIA/DoE, December 2012, op. cit.

وفي عام 2011، أسفر الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي والفحم) عن توليد 2790 مليار كيلوواط ساعة من الكهرباء. وحسب ما جاء في تقرير توقعات الطاقة لعام 2013 الذي أصدرته إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، سوف تصل كمية الطاقة الكهربائية المنتجة باستخدام الوقود الأحفوري وحده في عام 2040 إلى 3450 مليار كيلوواط ساعة، انظر الجدول (6–3). وسوف يعني ذلك تراجعاً في مساهمة المحطات العاملة بالوقود الأحفوري من 68٪ إلى 66٪ من الكهرباء المولَّدة عالمياً. وإذا أخذنا السعودية كمثال، ترتئي خريطة الطريق التي وضعتها مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة، أنه بحلول عام 2030 سوف يَستخدم نحو 50٪ من محطات توليد الكهرباء الوقودَ الأحفوري لتلبية الطلب المتباين، بينما سوف توفر محطات الطاقة النووية إمدادات الحمل الأساسي، وهو نحو 20٪ من الطلب الأقصى، انظر الجدول (6–4). ويبين الشكل (6–2) التنبؤات حسب مصدر الوقود. وتكاد محطات الوقود الأحفوري في جميع البلدان تقريباً توفِّر ما لا يقل عن 50٪ من إجمالي الطلب للسنوات الثلاثين المقبلة على الأقل.

الجدول (6-4)

مزيج الطاقة السعودي المخطط له بحلول عام 2033 (جيجاواط)

نوع الوقود	2032
النفط والغاز الطبيعي	60.5
الطاقة النووية	21
الطاقة الشمسية المركزة والطاقة الكهروضوئية	41
المجموع	122.5

المصدر:

King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy (KACARE), (http://www.kacare.gov.sa/).

الشكل (6-2)

مزيج الطاقة السعودي المخطط له بحلول عام 2033 (جيجاواط)[4]

وتمثل الكفاءة الحرارية النمطية للمولدات الكهربائية في الصناعة نحو 33٪ بالنسبة إلى المحطات التي تعمل بالفحم والنفط. وتتغير هذه القيمة بحسب نقاط التشغيل ونوع الوقود،... إلخ. أما ما يستحق التأكيد فهو أن محطات الوقود الأحفوري التقليدية عديمة الكفاءة. وفي السنوات المقبلة، توجد حاجة إلى اتخاذ خطوات لتحسين كفاءة المحطات القائمة، وإحالة القديم منها إلى التقاعد. وعندما تُبنى محطات جديدة تعمل بالوقود الأحفوري، فلا بد من إيلاء أهمية لمسألة الكفاءة. ويجب الحرص على عدم اللجوء إلا إلى محطات الوقود الأحفوري التي تستخدم أحدث التكنولوجيات الهجينة.

قطاع توليد الكهرباء والبيئة

ستواجه الأرض كارثة كبرى إذا استمر الإنسان في توليد الكهرباء من دون مراعاة لعواقب تصرفاته. فالتنبؤات تشير إلى أنه في إطار سيناريو بقاء الأمور على حالها، سوف تصل غازات الدفيئة إلى مستويات تنذر بالخطر بحلول عام 2050. ويمكن، من خلال التدابير التسكينية، تأجيل الكوارث، لكن لا يمكن تجنبها. وتفادي تلك الكوارث يتطلب أن تتخذ جميع الجهات المعنية تدابير قاسية. ويسهم قطاع توليد الكهرباء بنحو 21٪ من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة.

وسوف تفرض الحكومات في السنوات المقبلة قيوداً مختلفة على الانبعاثات. ولذلك ينبغي لقطاع توليد الكهرباء أن يستحدث أساليب ذكية للحد من انبعاثات غازات الدفيئة من المصادر القائمة، وفي الوقت نفسه تطوير أساليب بديلة لتوليد الكهرباء. ومن المسائل الأخرى ذات الصلة أن غازات الدفيئة سوف تتسبب في تغير المناخ، وهو ما يؤثر أيضاً في قطاع توليد الكهرباء بحيث تتشكل حلقة مفرغة من التأثيرات السلبية.

غازات الدفيئة

تشمل غازات الدفيئة بخار الماء (H_2O)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروس (N_2O)، والأوزون (O_3). وإذا استمرت انبعاثات ثاني أكسيد

الكربون بالمعدل الحالي، فإن تركُّز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سوف يصل إلى 600 جزء في المليون بحلول عام 2050، وهو مستوى ينذر بالخطر. وإذا أطلق جميع البلدان برامج متواضعة للحدّ من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون، يمكن عندئذ تأجيل هذه الكارثة (لكن ليس منعها). وعلى جميع الدول أن تتخذ التدابير التي من شأنها إحداث انخفاض حقيقي في انبعاثات غازات الدفيئة. فعلى سبيل المثال، تهدف الولايات المتحدة إلى الحد من ثاني أكسيد الكربون بنسبة 20٪ بحلول عام 2020، وبنسبة 80٪ بحلول عام 2050. وتُعَدُّ الصين والولايات المتحدة والهند أكبر مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ذات الصلة بالطاقة في العالم، انظر الجدول (6–5).

الجدول (6–5)

أهم مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ذات الصلة بالطاقة

البلد	النسبة من الانبعاثات العالمية السنوية
الصين	23.6
الولايات المتحدة	17.9
الهند	5.5
روسيا الاتحادية	5.3
اليابان	3.8
ألمانيا	2.6
إيران	1.8
كندا	1.8
كوريا	1.8
المملكة المتحدة	1.6

المصدر:

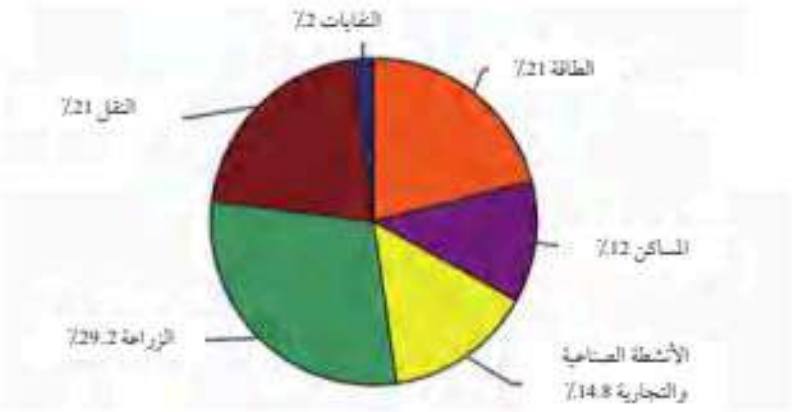
United Nations Framework Convention on Climate Change.

تأثير المحطات العاملة بالفحم في البيئة

تنبعث غازات الدفيئة من قطاعات مختلفة، بما فيها الزراعة والصناعة والنقل والطاقة. ويعرض الجدول (6–4) نسب انبعاثات غازات الدفيئة من مصادر مختلفة. ويتضح من هذا المخطط البياني أن قطاع الطاقة بحاجة إلى اتخاذ تدابير صارمة للحدّ من انبعاثاته. ومن بين منشآت توليد الكهرباء، تأتي المحطات التي تعمل بالفحم في مقدمة مصادر الانبعاثات.

الشكل (6–3)

انبعاثات غازات الدفيئة حسب المصدر



المصدر:

United States Environmental Protection Agency (EPA), "Global Greenhouse Gas Emissions Data."

يوجد الكثير من محطات الفحم الكبيرة على نطاق العالم، ويؤدي توليد نحو 1 ميجاواط ساعة من الكهرباء إلى انبعاث نحو طن متري واحد من ثاني أكسيد الكربون. ومن ثمّ، تواجه دول الخليج تحدياً رئيسياً يتمثل في الحد من نسبة الكهرباء المولّدة من

الوقود الأحفوري عموماً، ومن الفحم خصوصاً، أو ابتكار تكنولوجيا من شأنها الحد من الآثار التلويثية للمحطات القائمة.

الشكل (6-4)

حصص الوقود في توليد الكهرباء

المصدر:

International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook, 2013 (Paris: IEA, 2013).

أمن الإمداد

تتطلب الحياة الحديثة الطاقة الكهربائية من أجل كل شيء؛ بدءاً من الإنارة والتدفئة والتبريد، وانتهاءً بالطهي والنقل. ومن الصعب تخيُّل أي سيناريو يخلو من الكهرباء، حتى ولو لبضع ساعات. وتوليد الكهرباء على نحو مستمر يتطلب إمدادات متواصلة من الوقود، سواء أكان الفحم، أم النفط، أم الغاز الطبيعي، أم اليورانيوم المخصَّب. والاعتماد المفرط على نوع واحد من الوقود يمثل تحدياً أمام الأمن القومي. ولذلك، ينبغي لقطاع توليد الكهرباء أن يسعى إلى استخدام الوقود المتوافر محلياً، وحتى إذا تحقق ذلك، فلابد من اتخاذ خطوات لضمان استمرار الإمدادات. ومن ثمّ، فإن وضع خريطة ملائمة فيما يخص النقل والدعم اللوجيستي والتخزين يشكل تحدياً رئيسياً. ولا بد من أن تكون لدى دول الخليج استراتيجيات أفضل لإدارة سلسلة الإمداد على اعتبار أن نقص الوقود يمكن أن يهدد توليد الكهرباء.

الموثوقية

تكتسي موثوقية التوليد أهمية كبرى من أجل تحقيق الإمدادات المتصلة من الكهرباء. ومن أجل زيادة الموثوقية، فإن الدعم الاحتياطي مطلوب. بيد أن الدعم الاحتياطي ينطوي على تكلفة. ولذلك، لا بد من أن تنظر دول الخليج في مسألة الموثوقية بطريقة علمية.

وهناك العديد من المقاييس المستخدمة لتحديد الموثوقية، بما في ذلك عامل التوافر (AF)، وعامل الانقطاع الاضطراري (FOF)، وموثوقية البداية (SR)، وعامل السعة الإجمالية (GCF)، وعامل السعة الصافية (NCF)، ومعدل الانقطاع الاضطراري المكافئ (EFOR)، ونسبة معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ إلى الطلب (EFORd)، والموثوقية (R). والمقاييس الأهم هي معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ (EFOR)، ونسبة معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ إلى الطلب (EFORd) والموثوقية (R).

ومعدل الانقطاع الاضطراري المكافئ (EFOR) هو ساعات عطل الوحدة (ساعات الانقطاع غير المخطَّط له والساعات المخفَّضة غير المخطط لها المكافئة) كنسبة من إجمالي ساعات توافر تلك الوحدة. وأما معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ إلى الطلب (EFORd)، فهو احتمال ألا تلبي إحدى الوحدات متطلباتها التوليدية في فترات الطلب وموثوقية (R) مقدارها 1–EFORd. والقيمة النمطية لمعدل الانقطاع الاضطراري المكافئ عند الطلب (EFORd) لدى محطة طاقة حديثة هي نحو 5٪، ومن ثمّ تكون الموثوقية نحو 95٪، انظر الجدول (6–6).[5]

الجدول (6–6)

القيم النمطية لنسبة معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ إلى الطلب (EFORd)

المحطة	نسبة معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ إلى الطلب
المحطات التقليدية	٪6.2
المحطات العاملة بالفحم	٪6.4
المحطات العاملة بالنفط	٪5.7
المحطات العاملة بالغاز	٪5.9
المحطات النووية	٪5.4
المحطات المائية	٪3.6
الدورة المركّبة	٪5.6
توربينات الغاز	٪7.5
محركات الديزل	٪5.4

المصدر:

North American Reliability Council (NERC); (http://www.nerc.com).

وهناك قياس مهم آخر في التخطيط، وهو هامش الاحتياطي المطلوب لموثوقية النظام المحددة. فإذا كانت سعة المحطة المطلوبة هي 100 ميجاواط، وإذا كانت مكونة من ثلاث

وحدات سعة كل منها 100 ميجاواط، عندئذٍ يكون الاحتمال بأن تقدِّم المحطة إمدادات قدرها 100 ميجاواط هو الاحتمال نفسه بأن تكون إحدى الوحدات على الأقل عاملة. وإذا افترضنا أن معدل الانقطاع الاضطراري المكافئ عند الطلب (EFORd) يعادل 5٪ (الموثوقية = 95٪)، عندئذ تكون موثوقية النظام المحسوبة باستخدام المعادلة (2) هي 999.0. ولذلك، فبالنسبة إلى موثوقية النظام التي تعادل 99.0، يكون هامش الاحتياطي المطلوب هو 200٪. ولننظر في حالة تكون فيها محطة مؤلفة من أربع وحدات، سعة كل واحدة منها 50 ميجاواط. وفي هذا السيناريو، فإن الاحتمال بأن تقوم المحطة بإمداد 100 ميجاواط هو الاحتمال نفسه بأن تكون وحدتان على الأقل من الوحدات الأربع عاملتين. وفي هذه الحالة، تكون موثوقية النظام 999.0 أيضاً، بحيث يمكن تحقيق موثوقية النظام المطلوبة بهامش احتياطي قدره 100٪. وبصورة مماثلة، إذا كان حجم الوحدة 33 ميجاواط، يمكن تحقيق موثوقية النظام باستخدام خمس وحدات؛ وفي هذه الحالة، لا يتعدى هامش الاحتياطي 67٪. وباختصار، إذا كان لدينا وحدات أكثر بسعة أقل، يكون هامش الاحتياطي المطلوب أقل. وإذا كانت موثوقية النظام المطلوبة 99.99٪ وكانت الوحدات كافة من الحجم نفسه وتساوي 100٪، عندئذ يكون هامش الاحتياطي المطلوب هو 300٪، انظر الجدول (6-7).

الجدول (6-7)

الاحتياطي المطلوب لهدف موثوقية نظام قدره 99.99٪

النظام	الاحتياطي المطلوب
٪100×4	٪300
٪50×5	٪150
٪10×14	٪40
٪5×26	٪30
٪1×115	٪15

بيد أنه مع تزايد انتشار المصادر المتجددة مثل الرياح والطاقة الكهروضوئية، فإن حساب هامش الاحتياطي سيصبح أكثر تعقيداً؛ ذلك أن توليد الكهرباء من طاقة الرياح والطاقة الشمسية يختلف اختلافاً كلياً عن توليدها من المصادر التقليدية. ولذلك، فإن الاختلاف الأساسي لخصائص عمل تلك المنشآت يؤثّر في موثوقية نظام الكهرباء على نحو يختلف عما هو عليه لدى النظم التقليدية. ومن ثمّ، فإن حساب هامش الاحتياطي في وجود تلك المصادر يشكل تحدياً هائلاً.

الفرص

يوجد العديد من الفرص لمواجهة تحديات التلوث البيئي، وأمن الإمداد. وهناك العديد من المصادر المتجددة التي تزداد جدواها التقنية، ويجري تطوير المزيد من التكنولوجيات الأكثر كفاءة لتوليد الكهرباء من المصادر التقليدية. ومع تطور تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات، فإن دمج المصادر المتجددة أصبح أكثر موثوقية وكفاءة ضمن نموذج الشبكة الذكية. وهناك مفاهيم جديدة مثل الشبكة البالغة الصغر والتوليد الموزَّع؛ من شأنها أن يتسم توليد الكهرباء وتوزيعها بالمزيد من الكفاءة والنظافة والموثوقية.

المصادر البديلة

إن المصادر التقليدية الرئيسية لتوليد الكهرباء هي الفحم والنفط والغاز الطبيعي. وكما ذُكر آنفاً، الفحم يتسبب في الكثير من التلوث، بينما يتسبب النفط والغاز الطبيعي أيضاً في التلوث، وإن بدرجة أقل. والنفط والغاز الطبيعي مرتفعا التكلفة ومحدودان. كما أن الإفراط في الاعتماد عليهما عندما لا يكونان متاحين على نطاق واسع يمثل تحدياً للأمن الوطني. وتستكشف الدول في جميع أنحاء العالم إمكانات المصادر المتجددة لمواجهة تحديات التلوث البيئي وزيادة الطلب وأمن الطاقة. وتنطوي الرياح والطاقتان: الشمسية والنووية ومصادر الطاقة الأخرى على إمكانات كبيرة لاستكمال المصادر التقليدية والحلول محلها جزئياً. بيد أن هذه المصادر لها تحدياتها.[6]

الطاقة الشمسية

من المعروف أن الكهرباء يمكن توليدها من الطاقة الشمسية، سواء بصورة مباشرة، أو غير مباشرة. فباستخدام التكنولوجيات الكهروضوئية يمكن توليد الكهرباء بصورة مباشرة، بينما تُستخدم تكنولوجيات الطاقة الشمسية المركَّزة لتوليد البخار، أو الطاقة الحرارية، التي تُستخدم بدورها في توليد الطاقة الكهربائية. ومن خلال عمل الباحثين في الجامعات ومختلف المختبرات البحثية، أصبحت الطاقة الشمسية ميسورة التكلفة، وموثوقاً بها، وقابلة للإرسال، أو الإمداد (أي يمكن إرسالها بناءً على طلب مشغّلي شبكة الكهرباء، أي إن محطات التوليد يمكن تشغيلها وإغلاقها وضبط إنتاجها).

وقد أوجدت التطورات التي شهدها مجال إلكترونيات الطاقة، وعلم المواد، وتكنولوجيا الاتصالات، والمعلومات، فرصاً هائلة للاستفادة من كميات غير محدودة من الطاقة الشمسية. وفي جميع أنحاء العالم، تستثمر الشركات في توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية على نطاق غير مسبوق. ولذا، فإن التكاليف مستمرة في الانخفاض، وتشهد التكنولوجيا تحسناً مستمراً. بيد أن هناك الكثير من التحديات الإضافية التي يتوجب التغلب عليها حتى تصبح الطاقة الشمسية أكثر موثوقية وقدرة على الإرسال [حسب الطلب].[7]

وتكنولوجيا الطاقة الشمسية الكهروضوئية متاحة وموثوق بها، والإمكانات الكبيرة لنموها على المدى الطويل تكاد تكون موجودة في جميع المناطق. أما ما يجعل من الطاقة الشمسية الكهروضوئية فرصة عظيمة بالنسبة إلى دول الخليج العربية فهو تكلفتها المتناقصة والقدرة على ربطها بالشبكة ضمن وحدات منفصلة. ويمكن أن يتم التوليد عبر محطة ضخمة تولد ميجاواطات عدة، أو عن طريق الطاقة الكهروضوئية الموزَّعة فوق الأسطح. وقد شهد هذا المجال تطورات هائلة. ويجري تطوير خلايا متعددة الوصلات تحتجز كمية أكبر من الطيف الشمسي، وتُركَّب نظم للرصد والتحكم لتحسين مراقبة الجودة في التصنيع.

وتتوقع الوكالة الدولية للطاقة أن تشهد السعة التراكمية المربوطة بالشبكة نمواً من 70 جيجاواط في عام 2011 إلى 91 جيجاواط في عام 2012، و115 جيجاواط في عام 2013، و140 جيجاواط في عام 2014، و167 جيجاواط في عام 2015، و197 جيجاواط في عام 2016، و230 جيجاواط في عام 2017. ويُقدَّر بأنه بحلول عام 2050، سوف توفر الطاقة الكهروضوئية نحو 11٪ من الإنتاج العالمي من الكهرباء، وتمنع 3.2 جيجاطن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل سنة.

بيد أن هناك العديد من التحديات؛ حيث يلزم تطوير التصاميم والمواد والتكنولوجيات القادرة على زيادة كفاءة الخلايا وتخفيض التكلفة. كما يشكل التباين في إنتاج الكهرباء شاغلاً مهماً، حيث يمكن للسحب العابرة أن تتسبب في تباينات مفاجئة في الفولطية. وحتى في الأيام المشمسة العادية، تتباين زاوية الورود [السقوط] الإشعاعي من الصباح إلى المساء. ولذلك، يجب أن تكون هناك ترتيبات لاصطفاف ألواح الطاقة الكهروضوئية. ولا بد من ضبط نقطة التشغيل بالنسبة إلى إشعاع وزاوية معينتين باستخدام خوارزميات تعقُّب أقصى نقطة للطاقة. ويكمن تحدٍّ آخر أمام استخدام تكنولوجيات الطاقة الكهروضوئية في الغبار؛ حيث يلزم إيجاد وسيلة ناجعة للتنظيف. وإذا استُخدمت ألواح كهروضوئية كثيرة على الأسطح، عندئذ يمثل التنسيق والاندماج الصحيحين مع الشبكات القائمة مهمة تنطوي على تحديات.

وهناك العديد من تكنولوجيات الطاقة الشمسية المركَّزة التي يجري تطويرها. وتُستخدم في بعض تلك التكنولوجيات مرايا منحنية لتركيز أشعة الشمس للحصول على البخار، بينما تتجه أخرى إلى توليد الكهرباء مباشرة. ويُستخدم هذا البخار لتوليد الكهرباء بواسطة معدات توليدية تقليدية. وفي المحطات التي يصل إنتاجها إلى ميجاواطات عدة، توفر الطاقة الشمسية المركَّزة أدنى تكلفة للكهرباء المولَّدة بالطاقة الشمسية. وتُعَدُّ إمكانية التخزين الحراري المتكامل جانباً مهماً في محطات الطاقة الشمسية المركَّزة، وتكاد تكون جميعها لديها قدرات للدعم الاحتياطي تعمل بالوقود. وعليه، فإن

الطاقة الشمسية المركَّزة تقدِّم للمرافق ولمشغلي الشبكات سعة إنتاجية كهربائية محكمة ومرنة. وتتنبأ الوكالة الدولية للطاقة بأن يتم تركيب ما مجموعه 710 جيجاواطات بحلول عام 2017. وبحلول عام 2050، يُقدَّر بأن تؤمِّن الطاقة الشمسية المركَّزة ما نسبته 3.11٪ من الكهرباء العالمية، حيث تُستمد 6.9٪ من الطاقة الشمسية و7.1٪ من وقود الدعم (الوقود الأحفوري أو الكتلة الأحيائية).[8]

ويتمثل أحد التحديات الرئيسية في الوصول إلى مياه التبريد اللازمة لمحطات الطاقة الشمسية المركزة. ويمكن استخدام التبريد الجاف، أو التبريد الهجين (الرطب/ الجاف) في المناطق ذات الموارد المائية المحدودة. والمانع الرئيسي أمام التوسع في محطات الطاقة الشمسية المركَّزة ليس توافر المناطق المناسبة من أجل توليد الكهرباء، وإنما المسافة الفاصلة بين تلك المناطق ومراكز الاستهلاك الكبيرة. ولذا، توجد حاجة إلى تحسين التكنولوجيات التي تعالج هذا التحدي من خلال نقل الكهرباء على نحو كفء لمسافات بعيدة.

طاقة الرياح

إن طاقة الرياح، أسوة بالطاقة الشمسية، مصدر رئيسي من مصادر خفض الانبعاثات. وعلاوة على ذلك، فإنها لا تتطلب مياهاً عذبة، وهو ما يجعلها خياراً جذاباً في عالم يعيش ضائقة متزايدة في المياه. وطاقة الرياح هي بطبيعتها مصدر متأصل للطاقة، وهو أمر مفيد بصورة خاصة للبلدان المثقلة بفواتير ضخمة في مجال استيراد الوقود الأحفوري. كما أنها تتمتع الآن بميزة تنافسية وسط عدد متزايد من الأسواق، حتى عند خوض غمار المنافسة ضد مصادر الطاقة "التقليدية" التي تحظى بدعم كبير، مع تعويضات مالية قليلة، أو معدومة عن مزاياها البيئية والاجتماعية (لا انبعاثات من ثاني أكسيد الكربون، لا استخدام للمياه، لا تلويث للهواء، أو الماء). وأدت التحسينات الكبيرة التي أُدخلت على التوربينات والنصال وعلب التروس، والزيادة في ارتفاع أبراج الرياح، إلى تراجع التكاليف.

الجدول (6-8)

السعة التراكمية العالمية لطاقة الرياح

الطاقة (تيراواط ساعة)	السعة (جيجاواط)	السنة
583	238	2011
976	398	2015
1,439	587	2020
2,412	918	2030

المصدر: EIA/DoE, December 2012, op. cit.

الجدول (6-9)

حصة طاقة الرياح في الطلب العالمي على الكهرباء

الحصة من الكهرباء (٪)	السنة
3.5	2011
4.7	2015
6.0	2020
8.9	2030

المصدر:

Global Wind Energy Council (GWEC), "Global Wind Energy Outlook 2012," November 2011.

إن محطات الكهرباء التي تعمل بطاقة الرياح يمكن بناؤها بجميع الأحجام، بدءاً من المحطات التي تولّد عدداً محدوداً من الكيلوواط ساعة، إلى تلك التي تولّد المئات من الميجاواط. ويجري بناء المزارع الريحية بسعات تصل إلى مئات الميجاواط، سواء في المناطق البرية، أو البحرية. وبحلول عام 2030، يُنتظر أن تصل السعة الإجمالية إلى نحو 918 جيجاواط، انظر الجدول (6-8). ويُنتظر أن تشهد حصة طاقة الرياح في الطلب العالمي على الكهرباء نمواً من معدلها الحالي البالغ 3.5٪ إلى 9٪ بحلول عام 2030، انظر الجدول (6-9).[9] وتستند هذه الأرقام إلى توقعات الطلب للوكالة الدولية للطاقة في إطار سيناريو

السياسات الجديدة، وهي توقعات محافظة. وتشير جميع التقديرات إلى أن طاقة الرياح ستنمو بواقع أكثر من الضعف على مدى السنوات العشرين المقبلة.

بيد أن طاقة الرياح تواجه أيضاً عدداً من التحديات، هي:

- طاقة الرياح، بطبيعتها، عشوائية.
- المسافة بين المزارع الريحية ومراكز الاستهلاك تعني إقامة خطوط عالية الفولطية طويلة لنقل التيار المتردد، أو المباشر والربط بينها.
- توجد اعتراضات جمالية وبيئية على طاقة الرياح.
- تستخدم توربينات الرياح ذات الدفع المباشر مغانط ذات تموج مستمر، وتشتمل على مواد أرضية نادرة؛ ولذا، توجد حاجة إلى إجراء بحوث في المواد المغناطيسية التي يمكن أن تنتج كثافة طاقة مغناطيسية كبيرة.

الطاقة النووية

هناك دول مختلفة تبني محطات الكهرباء التي تعمل بالطاقة النووية، ومن هذه الدول: الولايات المتحدة واليابان والصين وروسيا والهند، لإمداد طاقة الحمل الأساسي. وللطاقة النووية مزايا تقنية كثيرة، مثل ارتفاع كثافة الطاقة، وانعدام تلوث الهواء، وموثوقية إمداد الوقود. بيد أن ثمة الكثير من التحديات. فالسلامة هاجس أساسي. وعلى الرغم من أن التقدم التكنولوجي يقلص احتمال الحوادث النووية إلى مستوى شديد التدني، إلا أنه في حال وقوع حادث، فإن حجم الكارثة لا يمكن تخيله. فلا تزال حوادث ثري مايل آيلاند وتشرنوبيل وفوكوشيما حاضرة في أذهان عامة الناس. ولذلك تصعب الإجابة عن السؤال: ما مدى سلامة إجراءات السلامة؟ كما أن التكاليف الرأسمالية الابتدائية والتخلص من النفايات النووية، وإقفال المحطات تشكل تحديات رئيسية لدى استخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء.

الجدول (6-10)

توليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية

السنة	الطاقة (مليار كيلوواط ساعة)
2011	790
2020	880
2030	910
2040	900

المصدر: EIA/DoE, December 2012, op. cit.

ويبلغ حجم الكهرباء المولَّدة باستخدام الطاقة النووية عالمياً 810 مليارات كيلوواط ساعة. وتخطط الهند، والسعودية، ودول أخرى كثيرة لإقامة محطات ضخمة تعمل بالطاقة النووية. بيد أن هناك الكثير من البلدان الأوروبية واليابان التي لديها تحفظات رئيسية. ولذا، يُنتظر أن يكون النمو في الطاقة النووية محدوداً وفقاً لتقديرات الوكالة الدولية للطاقة. وبحلول عام 2040، يُنتظر أن يصل التوليد التراكمي العالمي للكهرباء باستخدام الطاقة النووية إلى 900 مليار كيلوواط ساعة (وهو ما يعادل متوسط نمو في السنوات العشرين المقبلة بواقع أقل من 1٪، انظر الجدول (6-10).

المصادر المتجددة الأخرى

المصدران المتجددان الرئيسيان إلى الآن هما: الرياح والطاقة الشمسية. بيد أن ثمة مصادر أخرى مثل الطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة المدّية [أو طاقة المدّ والجزر]، وطاقة الكتلة الأحيائية. ومن الممكن إذا تحقق تقدم في أي من هذه المجالات في المستقبل أن يصبح أحد هذه المصادر الهامشية مصدراً مهماً. وفي المحطات التي تعمل بالطاقة الحرارية الأرضية، تُحتجز الطاقة الحرارية أسفل سطح الأرض وتُستخدم لإنتاج البخار الذي يُستخدم بدوره لتوليد الكهرباء. وتكمن إحدى المزايا الرئيسية للطاقة الحرارية الأرضية في

كونها متأصلة. وعلاوة على ذلك، فإنها، إلى جانب الكهرباء، تتيح الفرصة من أجل استخراج المعادن. وتكمن التحديات الرئيسية فيما يلي:

- ارتفاع تكلفة إنشاء محطات الطاقة الحرارية الأرضية.
- قد تتسبب هذه المحطات في اضطرابات جيولوجية.
- انبعاثات غاز كبريتيد الهيدروجين.

وتُعتبر الطاقة المدّية هي أيضاً جاذبة نظراً إلى ارتفاع كثافة الطاقة لديها ولعدم تسببها في التلوث، بيد أنها عالية التكلفة، وربطها بالشبكة ليس بالأمر السهل. كما أنها تتطلب خطوط نقل طويلة.

تكنولوجيات التخزين

نظراً إلى الطبيعة غير الملوّثة للرياح والطاقة الشمسية، وفي ضوء الدعم الحكومي، يُنتظر أن تتزايد نسبة المصادر المتجددة. وإذا أضافت هذه المصادر سعةً للمصادر الموجودة، فسوف تكون هناك حاجة إلى المزيد من السعة التخزينية. وعليه، فإن تكنولوجيات التخزين تتيح فرصة لتعظيم استخدام مصادر الطاقة المتجددة على نحو يتسم بالكفاءة.

وفيما يخص الطاقتين: الريحية والشمسية، فمن المعروف جيداً أن الطاقة الكهربائية لا يمكن توليدها إلا عند هبوب الرياح، أو سطوع الشمس. ولذا، لا يمكن استخدام المصادر المتجددة مباشرة لإمداد الأحمال المتباينة. بيد أن الطاقة الكهربائية المولَّدة يمكن تخزينها في شكل طاقة كامنة، وطاقة حركية، وطاقة كيميائية، عندما يكون هناك فائض.

والضخ والتخزين الكهرومائي (PSH) هو نوع من توليد الطاقة الكهرومائية يمكن استخدامه لتحقيق التوازن في الأحمال. وبموجب هذه الطريقة، يتم تخزين الطاقة في شكل الطاقة الكامنة للمياه التي يتم ضخها إلى منسوب مرتفع. وحسبما أفاد به معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI)، فإن الضخ والتخزين الكهرومائي هو الشكل الأكبر سعةً من بين الأشكال المتاحة لتخزين طاقة الشبكات، إذ يمثل ما نسبته أكثر من 99٪ من إجمالي

السعة التخزينية على المستوى العالمي، وهو ما يعادل نحو 127 جيجاواط.[10] وتعادل كفاءة طاقة الضخ والتخزين الكهرومائي عملياً نحو 75٪.

وتوجد أشكال أخرى مختلفة للتخزين، لكن تبقى جميعها هامشية في المرحلة الراهنة، انظر الجدول (6-11).

الجدول (6-11)

السعة التخزينية المركَّبة للطاقة الكهربائية على النطاق العالمي

التكنولوجيا	السعة (ميجاواط)
ضخ المياه	127,000
تخزين طاقة الهواء المضغوط	440
عجلة الموازنة (لتخزين طاقة الحركة الدورانية)	25
بطارية الصوديوم-الكبريت	316
بطارية الرصاص الحمضية	35
بطارية النيكل-كادميوم	27
بطارية الليثيوم-أيون	20
بطارية تدفق الاختزال والأكسدة	3

المصدر: Electric Power Research Institute (EPRI), 2012.

وتوجد أشكال أخرى كثيرة لتخزين طاقة الشبكات. فعلى سبيل المثال، يمكن لتخزين طاقة الهواء المضغوط أن يخزن كميات معقولة من الطاقة الكامنة، ويمكن لدواليب الموازنة أن تخزن الطاقة في شكل طاقة حركية، ويمكن لبطاريات الطاقة الكهروضوئية، وطاقة الرياح أن تُستخدم لتخزين الطاقة في شكل طاقة كيميائية، ويمكن

أن تُجعل المحطات العاملة بالطاقة الشمسية المركَّزة قابلة للإرسال باستخدام التخزين الحراري. وثمة مفهوم آخر يجري استخدامه مع المصادر المتجددة؛ وهو إنتاج الوقود مثل الهيدروجين، أو الإيثانول كلما هبت الرياح، أو سطعت الشمس، وهو ما يمكن استخدامه في مرحلة لاحقة لتوليد الكهرباء في أثناء فترات ارتفاع الطلب.

أما التحدي الرئيسي في التخزين فهو كثافة الطاقة. ولا بد من تعزيز المبادرات البحثية التي تستكشف تكنولوجيات التخزين للسماح بتحسين استغلال الطاقتين: الريحية والشمسية. وفي ظل التكنولوجيا الراهنة، يمثل الضخ والتخزين الخيار الوحيد المتاح للتخزين الواسع النطاق، ولذا فإن المزرعة الريحية الكبيرة تتطلب وجود محطة مائية مجهزة بقدرات الضخ والتخزين حتى تصبح مجدية من الناحيتين: العملية والتقنية.

بيد أن المفهوم الجديد الناشئ يكمن في التخزين الموزَّع. ويمكن استخدام السيارات الكهربائية والسيارات الهجينة من أجل التخزين الموزَّع. ومع تطور تكنولوجيا توصيل السيارات بالشبكة، يمكن استخدام أساطيل السيارات في أماكن الانتظار لتنظيم الخدمة.

التكنولوجيات البديلة ذات الكفاءة

على الرغم من أن نسب المحطات التي تعمل بالطاقتين: النووية والمتجددة في تزايد، فإنه يُتوقع أن يتواصل التشغيل باستخدام الفحم وغيره من أشكال الوقود الأحفوري لسنوات طويلة مقبلة. وسوف يوفر الفحم والنفط والغاز الطبيعي أكثر من 50٪ من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة للسنوات الثلاثين المقبلة على الأقل. والنفط والغاز الطبيعي نوعان مرتفعا التكلفة من أنواع الوقود، ولذلك يتعين استخدامهما بأقصى قدر من الكفاءة. ويتسبب الفحم في كثير من التلوث، لكنه رخيص، ولذلك فإن كثيراً من البلدان مضطرة إلى العيش مع المحطات العاملة بالفحم. ومن ثمّ، لا بد من توظيف التكنولوجيات للتقليص إلى الحد الأدنى من تأثير تلك المحطات في البيئة. ويعرض هذا القسم بعض الطرق التي تتسم بالكفاءة لتوليد الكهرباء وأساليب الحد من التلوث البيئي.

التوليد المشترك

تكمن إحدى الأفكار الرئيسية لتحسين الكفاءة في التوليد المشترك. وينطوي التوليد المشترك على الإنتاج المتزامن لنوعين، أو أكثر من الطاقات القابلة للاستخدام من مصدر طاقة واحد. ومن الأمثلة على ذلك، الحرارة والكهرباء المدمجة، ومحطات توليد الكهرباء المركبة، ومحطات توليد الكهرباء وتحلية المياه. وفي محطات توليد الكهرباء التقليدية التي تعمل بالوقود الأحفوري، تُنتج الحرارة بحرق الوقود في محرك حراري ثم تُحوَّل إلى طاقة ميكانيكية تُحوَّل بدورها إلى طاقة كهربائية بينما يُهدر بعض الحرارة. أما في محطات التوليد المشترك، فإنه يجري استخدام الحرارة المهدرة. فعلى سبيل المثال، في محطات الحرارة والكهرباء المدمجة، تُستخدم هذه الحرارة لأغراض التدفئة، انظر الشكل (6-5).

الشكل (6-5)

إيضاح المفهوم المستخدم في التوليد المشترك

وتتألف محطات توليد الكهرباء بالدورة المركبة من مجموعة من المحركات الحرارية الموصَّلة بالتوالي وتستخدم مصدر الحرارة نفسه؛ حيث تحوِّل الحرارة إلى طاقة ميكانيكية تشغِّل في العادة مولدات كهربائية. والمبدأ يقوم على أن عادم أحد المحركات الحرارية يُستخدم كمصدر حراري لمحرك آخر، وهو ما من شأنه استخلاص طاقة أكثر فائدة من

الحرارة، ما يزيد من كفاءة النظام الشاملة. ويعمل ذلك لأن المحركات الحرارية لا يمكنها استخدام سوى جزء من الطاقة التي يولدها وقودها (عادة ما تكون أقل من 50٪). وفي محرك حراري عادي (ذي دورة غير مركَّبة)، عادةً ما تُهدر الحرارة المتبقية (على سبيل المثال أدخنة العادم الساخن) من الاحتراق.

ومن شأن الجمع بين اثنتين أو أكثر من الدورات الدينامية الحرارية تحقيق تحسن في الكفاءة الشاملة، ما يقلل تكاليف الوقود. وفي محطات الكهرباء الثابتة، يتمثل أحد أشكال الجمع الشائعة في توربين غازي (يستخدم دورة برايتون) يحرق الغاز الطبيعي، أو الغاز الصناعي من الفحم، ويشغل عادمُه الساخن محطةَ توليد كهرباء تعمل بالبخار (دورة رانكن). ويُسمى هذا النوع، محطة التوربينات الغازية بنظام الدورة المركبة (CCGT)، ويمكنه تحقيق كفاءة حرارية تُقدَّر بنحو 60٪، مقابل محطات التوليد البخارية أحادية الدورة التي تقتصر كفاءتها على نحو 35٪–42٪.

وهناك طريقة أخرى لتحسين الكفاءة الشاملة وهي بناء محطات تحلية هجينة، حيث تكون مياه الشرب شحيحة. وهناك الكثير من البلدان، بما فيها المملكة العربية السعودية، ودولة الإمارات العربية المتحدة، وإسبانيا وأستراليا والهند، التي توجد لديها محطات تحلية هجينة. فعلى سبيل المثال، تتصل محطة التحلية النووية التجريبية (NDDP) الكائنة في كالباكام في الهند بمحطة الطاقة النووية في مادراس (MAPS)، وتجمع بين تكنولوجيتي التقطير الومضي المتعدد المراحل (MSF) وفصل غشاء التناضح العكسي (RO). وتصل السعة الإجمالية لمحطة التحلية النووية التجريبية إلى 3.6 مليون لتر يومياً. وهي أكبر محطة هجينة لتحلية مياه البحر متصلة بمحطة قائمة للطاقة النووية، وهي تعتمد على تكنولوجيا التقطير الومضي المتعدد المراحل.

التوليد المرن للكهرباء

في نظام توليد الكهرباء المستقبلي القائم على زيادة حصة الطاقة المتجددة، لن تعود هناك حاجة إلى نموذج تشغيل الحمل الأساسي بالنسبة إلى المحطات العاملة بالفحم.

وسوف تكون الوظيفة الرئيسية للمحطات العاملة بالوقود الأحفوري هي تحقيق التوازن في إنتاج الطاقة المتجددة. ويعني ذلك أنه سيتعين أن تكون المحطات العاملة بالوقود الأحفوري قادرة على الاستجابة للتقلبات في الطلب على الكهرباء. وينبغي أن تكون الفترات بين التشغيل والإقفال قصيرة قدر المستطاع، ويجب أن تكون لدى المحطات الجديدة قدرة التشغيل الأسود [المقصود به إعادة تشغيل محطة توليد الكهرباء من دون الاعتماد على الشبكة الخارجية لنقل الطاقة الكهربائية]. وينبغي أن يكون الجيل المقبل من المحطات قادراً على استخدام أنواع مختلفة من الوقود. ولذا، فإن التوليد الذكي للكهرباء سيتسم بارتفاع الكفاءة، واتساع نطاق التوافر، وانخفاض رأس المال، وانخفاض التكاليف التشغيلية.

حجز الكربون وتخزينه

كما ذُكر أعلاه، سوف يُبنى المزيد من محطات توليد الكهرباء العاملة بالفحم في المستقبل، وسوف تتحمل المحطات القائمة لسنوات طويلة مقبلة. بيد أنه نظراً إلى التقدم التكنولوجي في حجز الكربون وتخزينه، لا حاجة إلى القلق غير المبرَّر؛ ذلك أنه باستخدام مختلف أساليب حجز الكربون وتخزينه، يمكن تحديد مدى ثاني أكسيد الكربون الذي يتم ضخه إلى الغلاف الجوي. وثمة تكنولوجيات مختلفة في هذا المجال، إذ يمكن على سبيل المثال استخدام الاحتراق اللاحق،[11] والاحتراق السابق،[12] والاحتراق بالأكسجين.[13] ويمكن نقل الكربون المحتجز من خلال تشييد خطوط أنابيب مباشرة، أو محطات لتوليد الطاقة بالقرب من منشآت التخزين. كما يمكن تخزين الكربون في تشكيلات جيولوجية، أو أسفل المحيطات.

مفاهيم وأشكال وقود بديلة

مع التقدم والتطور الحاصل في مجالات أخرى، تلوح فرص جديدة في قطاع توليد الكهرباء. وهناك الكثير من المفاهيم وأشكال الوقود الجديدة المستمدة من مجالات متنوعة؛ مثل تكنولوجيا الاتصالات، والهندسة الكيميائية. وبينما بعض المفاهيم مبالغ فيها وغير

واقعية فيما يبدو، فإن البعض الآخر وُضع بالفعل موضع التنفيذ. ونناقش هنا المفاهيم التالية الجديرة بالملاحظة: الشبكات الصغرى، والتوليد الموزَّع (DG)، والتوصيل بين السيارة والشبكة (V2G)، و"سواتل الطاقة الشمسية" [أي الأقمار الصناعية التي تعمل بهذه الطاقة]، والوقود البديل.

الشبكات الصغرى

تمثل الشبكات الصغرى[14] مفهوماً جديراً بالملاحظة؛ وُضع موضع التنفيذ في العديد من المشروعات التجريبية.[15] وفي هذه الشبكة، يتاح لموقع صغير –وليكن بلدة، أو سفينة، أو حرماً جامعياً– ما يكفي من الكهرباء المولَّدة (في شكل مصادر تقليدية ومتجددة) والمخزَّنة ضمن الموقع لتلبية الطلب داخل المنطقة. وتُوصَّل الشبكة الصغرى بالشبكة [العمومية]، ويمكن استيراد الكهرباء، أو تصديرها رهناً برصيد الطاقة داخل المحطة الصغرى استناداً إلى عقود متفق عليها على نحو متبادل. وفي هذا النموذج، يمكن تقليل خسائر النقل والتوزيع إلى الحد الأدنى، كما يمكن الاستفادة على نحو أفضل من المصادر المتجددة.

التوليد الموزَّع (DG)

إن مصادر التوليد الموزَّع عادةً ما تكون صغيرة، ومفككة، وكائنة في الموقع بالقرب من كبار المستخدمين النهائيين للطاقة. كما يساعد التوليد الموزَّع على الحد من خسائر النقل؛ حيث إن التوليد قريب على الحمل. وهناك العديد من المصادر التي تُستخدم في التوليد الموزَّع، بعضها محركات تعمل بالديزل، وذات خزانات تخزين ضخمة، وخلايا وقود، وتوربينات صغرى تعمل بالغاز الطبيعي، وتوربينات تعمل بالرياح، وصفيفات شمسية، وتوربينات حرارية، أرضية، أو نهرية (من أنهار محلية صغيرة). كما ينطوي التوليد الموزَّع على تحدياته الخاصة. ففي ظل أوضاع الحمل المنخفض، يمكن أن يكون هناك تأثير ارتفاع الفولطية. وحماية نظم التوزيع باستخدام المغذيات الشعاعية صُممت على فرضية التدفق الأحادي الاتجاه (أي من محول التوزيع عند نقطة التوليد إلى الأحمال عند نقطة

التوزيع). وإذا وُضع التوليد الموزَّع عند الطرف البعيد من نظام التوزيع، يمكن أن يكون هناك تدفق للكهرباء من نقطة التوزيع إلى نقطة التوليد. كما توجد حاجة إلى فحص مسائل نوعية الكهرباء واستقرارها من منظور مختلف. بيد أن البحث النشط في هذا المجال يعني أن كثيراً من التحديات تجري معالجتها.[16]

التوصيل من المركبة إلى الشبكة و"سواتل الطاقة الشمسية"

في المرحلة الراهنة، لا يزال التوصيل بين المركبات والشبكة (V2G) وسواتل [أقمار] الطاقة الشمسية مجرد أفكار. وقد يبدو التوصيل بين المركبات والشبكة بعيد الاحتمال، لكن يبدو أنه يمثل فرصة معقولة في المستقبل القريب. ومع انتشار السيارات الكهربائية والسيارات الهجينة، سوف يكون هناك أسطول كبير من السيارات التي ستكون خاملة لأكثر من 90٪ من الوقت. ومن خلال الاستغلال الأفضل للاتصال والتحكم الآلي وتكنولوجيا المعلومات، يمكن استخدام بطاريات السيارات الكهربائية في التخزين الموزَّع. ويمكن للسيارات المنتظِرة أن تمتص الكهرباء عندما يكون هناك فائض في الإمداد في الشبكة، ويمكن أن تمدّ بالكهرباء عندما يكون هناك نقص. وسوف يتطلب ذلك تنسيقاً معقداً، وسوف ينطوي على العديد من القيود. وقد لا يكون التوصيل بين السيارات والشبكة قادراً على الإمداد بكميات كبيرة من الكهرباء، لكنه يمكن أن يوفر الدعم لتنظيم الترددات في نطاقات زمنية تتدرج من الثواني إلى الدقائق.

وأقمار الطاقة الشمسية تجمع الطاقة من الفضاء؛ ثم ترسل الكهرباء إلى الأرض بواسطة الموجات الدقيقة. وتبدو أقمار الطاقة الشمسية بعيدة المنال، لكن قد يصبح هذا الحلم مجدياً اقتصادياً في المستقبل.

الوقود البديل

تخيَّل رودولف ديزل أن محركه سيعمل ذات يوم بالزيت النباتي. وهذا لم يحدث نظراً إلى توافر النفط الرخيص خلال القرن العشرين. بيد أنه نظراً إلى ارتفاع أسعار النفط

والهواجس البيئية، فإن هذه الفكرة بدأت تصبح واقعاً.[17] ويمكن للوقود التكميلي من الكتلة الحيوية أن يعالج على نحو متزامن هاجسين مجتمعيين مهمين، هما:

- أمن الإمداد (يمكن إنتاج الوقود الحيوي محلياً في نظم مستدامة).
- انخفاض صافي الانبعاثات من غازات الدفيئة (يعيد الوقود الحيوي تدوير ثاني أكسيد الكربون المستخلص من الغلاف الجوي لإنتاج الكتلة الأحيائية).

ولذا، يمكن في المستقبل القريب أن تعمل محطات توليد الكهرباء العاملة بالنفط، بعد إدخال بعض التعديلات عليها، بالوقود الحيوي.[18] ويُنتج الإيثانول حالياً من قصب السكر، أو الذرة، بينما يجري كذلك تطوير التكنولوجيا من أجل إنتاج الديزل الحيوي من فول الصويا. بيد أن التحدي الرئيسي يكمن في أنه مع تزايد الوقود الحيوي، سوف تطرأ الحاجة إلى المزيد من الأراضي الزراعية؛ ما سيزيح الأراضي المستخدمة لإنتاج الغذاء.

إدارة جانبي العرض والطلب

إن إدارة جانب العرض، أو جدولة المولدات جانب تشغيلي مفهوم من جوانب نظم الكهرباء. وفي الماضي، كانت وحدات التوليد تتم جدولتها لمقابلة الحمل في نطاقات زمنية تتباين من الثواني إلى السنوات. وهناك الكثير من الخوارزميات التي كانت تُستخدم لجدولة وحدات التوليد؛ ما يفضي إلى توفير بقيمة ملايين الدولارات. وهناك تطوران رئيسيان على نطاق العالم في هذا الشأن في مجالي الترابط بين البلدان والاستجابة للطلب.

والترابط بين المرافق ضمن البلد الواحد وإنشاء شبكات وطنية دَعَما إدارة جانب العرض في الماضي. وفي المستقبل، سوف تحسّن الشبكات الدولية إدارة جانب العرض من خلال خفض متطلب الاحتياطي وتحسين الموثوقية والكفاءة الشاملة.

كما أن استجابة الطلب ستمهد الطريقَ من أجل مشاركة المستهلكين الكبار والصغار على حد سواء، والمستهلكين الداخليين والصناعيين في برامج إدارة جانب الطلب، من خلال نقطتين أساسيتين، هما الربط الكهربائي بين البلدان، والاستجابة للطلب:

- **الارتباط بين البلْدان**: من أجل تحسين تقاسم موارد التوليد، توجد أشكال مختلفة من الارتباط على نطاق العالم. وتتباين أهداف مختلف الارتباطات. فعلى سبيل المثال، أنشأت دول الخليج الست (الكويت والسعودية والبحرين وقطر والإمارات وعمان) شركة مساهمة، وهي هيئة الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية (GCCIA)، بغية تحقيق الأهداف التالية:[19]

1. ربط شبكات الطاقة الكهربائية في الدول الأعضاء من خلال توفير الاستثمارات اللازمة لتبادل الطاقة الكهربائية لمواجهة فاقد التوليد في حالات الطوارئ.
2. الحدّ من احتياطي توليد الكهرباء لكل من الدول الأعضاء.
3. تحسين الكفاءة الاقتصادية لنظم الطاقة الكهربائية لدى الدول الأعضاء.
4. توفير الأساس لتبادل الطاقة الكهربائية بين الدول الأعضاء على نحو يخدم اقتصادات دول مجلس التعاون وتعزيز موثوقية الإمدادات الكهربائية.
5. التعامل مع الشركات القائمة والسلطات المسؤولة عن قطاع الكهرباء في الدول الأعضاء، وأماكن أخرى لتنسيق عملياتها ورفع كفاءة التشغيل، مع إيلاء العناية الواجبة للظروف المحيطة بكل دولة.
6. متابعة التطور التكنولوجي العالمي في هذا المجال، والسعي إلى تطبيق أحدث التكنولوجيات وأكثرها كفاءة.

ويكمن الهدف من الربط المقترح بين الهند ونيبال في تدفق الصادرات من الكهرباء إلى الهند من الإنتاج المتزايد في نيبال.[20] ويُنتظر أن يُستكمل المشروع

بحلول عام 2016. وفي هذه الأثناء، أسس البرلمان الأوروبي الشبكة الأوروبية لمشغلي نظام نقل الكهرباء (ENTSO-E) من أجل التشجيع على استكمال سوق كهرباء داخلية مع تجارة عبر الحدود لضمان المستوى الأمثل من الإدارة والتنسيق والتشغيل والتطوير التقني لشبكة نقل الكهرباء الأوروبية.

- **الاستجابة للطلب**: في الماضي، كانت وحدات التوليد قابلة للتحكم فيها، بينما كانت الأحمال قابلة للتنبؤ لكن لا يمكن التحكم فيها. وفي المستقبل، سوف تصبح بعض وحدات التوليد غير قابلة للتحكم فيها ولكنها قابلة للتنبؤ، بينما ستصبح بعض الأحمال قابلة للتحكم.[21] وفي الماضي، كانت التعريفات ثابتة وغير مرتبطة بالزمن؛ أما في المستقبل، فقد يُعمل بتعريفات الوقت الحقيقي، وقد يتحكم كبار المستهلكين وصغارهم في أحمالهم ويستهلكون الكهرباء عندما يكون السعر منخفضاً. وسوف تجمع الأطراف الثلاثة الأحمال القابلة للتحكم بها وتتصرف كوحدات افتراضية لتوليد الكهرباء.[22] وسوف يصبح بمقدور شركات التوليد الدخول في عقود ثنائية مع المجمِّعين وكبار المستهلكين للحدّ من الحمل في أثناء فترات الذروة بدلاً من تشغيل وحدات التوليد التي تستهلك وقوداً مرتفع التكلفة. ومن شأن ذلك، ومعه تطوير تكنولوجيا الاتصالات، أن يشجع على نشوء إدارة لجانب الطلب تتسم بمزيد من الجرأة.

وتسهِّل استجابةُ الطلب في إطار نموذج الشبكة الذكية التحكمَ في الأحمال وتحويلها.[23] وعليه، في المستقبل، ينبغي لقطاع توليد الكهرباء أن ينظر إلى الجدولة من منظور مختلف.[24] وأحد أساليب استجابة الطلب هو استجابة الطلب القائمة على السعر (PBDR). فمع التوسع في استخدام البنية التحتية المتطورة للقياس، تُطبَّق برامج متنوعة لاستجابة الطلب القائمة على الأسعار. فعلى سبيل المثال، تُستخدم التعريفات كإشارة للمستهلكين. وفي إطار هذه البرامج، سوف يُستعاض عن التعرفة الثابتة بتعريفات مرتبطة بالزمن مثل تسعيرة الذروة الحرجة (CPP) وتسعيرة زمن الاستخدام (ToUP) وتسعيرة الزمن الحقيقي (RTP). وفي تسعيرة الذروة الحرجة، تُسعَّر الكهرباء بسعر أعلى في أثناء

فترات الطلب "المرتفع". وفي تسعيرة زمن الاستخدام، تُقسَّم فترة الساعات الأربع والعشرين إلى شرائح زمنية، لكل منها سعر مختلف. وفي تسعيرة الزمن الحقيقي، تتغير التعريفات المفروضة كل ساعة بما يجسد التكلفة الحقيقية للكهرباء في سوق الجملة. ولكي يكون لهذه التعريفات تأثير، ينبغي للمستهلكين أن يعتمدوا التحكم الآلي. وهناك العديد من الباحثين الذين يطورون خوارزميات وأُطراً كي تصبح الاستجابة للطلب واقعاً.[25] ويجب أن يُنظر إلى الجدولة في المستقبل باعتبارها توجهاً متكاملاً لإدارة جانبي العرض والطلب، ما يتطلب إقامة توازن بين مصادر التوليد القابلة للتحكم فيها والمتغيرة، والأحمال القابلة للتنبؤ والتحكم فيها، والتخزين الكبير الحجم والموزَّع. وباستخدام الجدولة التي تتسم بالكفاءة والشمولية، يمكن لشركات التوليد أن توفِّر المال، وتقلص التلوث إلى الحد الأدنى، وتفيد المستهلكين.

الشبكة الذكية

شهد نظام الطاقة الكهربائية تطوراً بطيئاً، ولكنه منتظم خلال العقود الماضية. ونظراً إلى التحديات والفرص الجديدة المختلفة، هناك من خشي أن يكون التطور التدريجي غير كافٍ، على اعتبار أن هناك حاجة إلى ثورة كاملة. وقد مهد ذلك الطريقَ للشبكة الذكية.[26] ويمكن النظر إلى الشبكة الذكية باعتبارها الاندماج بين الاتصال والمعلومات وتكنولوجيا نظام الطاقة لتحسين أداء نظم الطاقة. وتكنولوجيات الشبكة الذكية -مثل العدّادات الذكية، ووحدات قياس الأطوار، والتوصيل بين المركبات والشبكة، والاستجابة للطلب، والتحكم الذكي، وسعة انتشار المصادر المتجددة والموزَّعة- سوف تُحدِث ثورة في كيفية تشغيل نظم الطاقة وإدارتها.[27] فعلى سبيل المثال، سوف تتيح تكنولوجيات الشبكة الذكية سهولة اندماج المصادر المتجددة الموزَّعة مثل الألواح الكهروضوئية فوق الأسطح، كما أنها سوف تحسِّن الأمن والموثوقية. وعلاوة على ذلك، باستخدام العدادات الذكية، والتعريفات الذكية، والقوابس الذكية والسيارات الكهربائية، أصبح التحكم الفردي والمجمَّع في الأحمال الكبيرة والصغيرة ممكناً من خلال الاستجابة للطلب. وقد اكتسبت

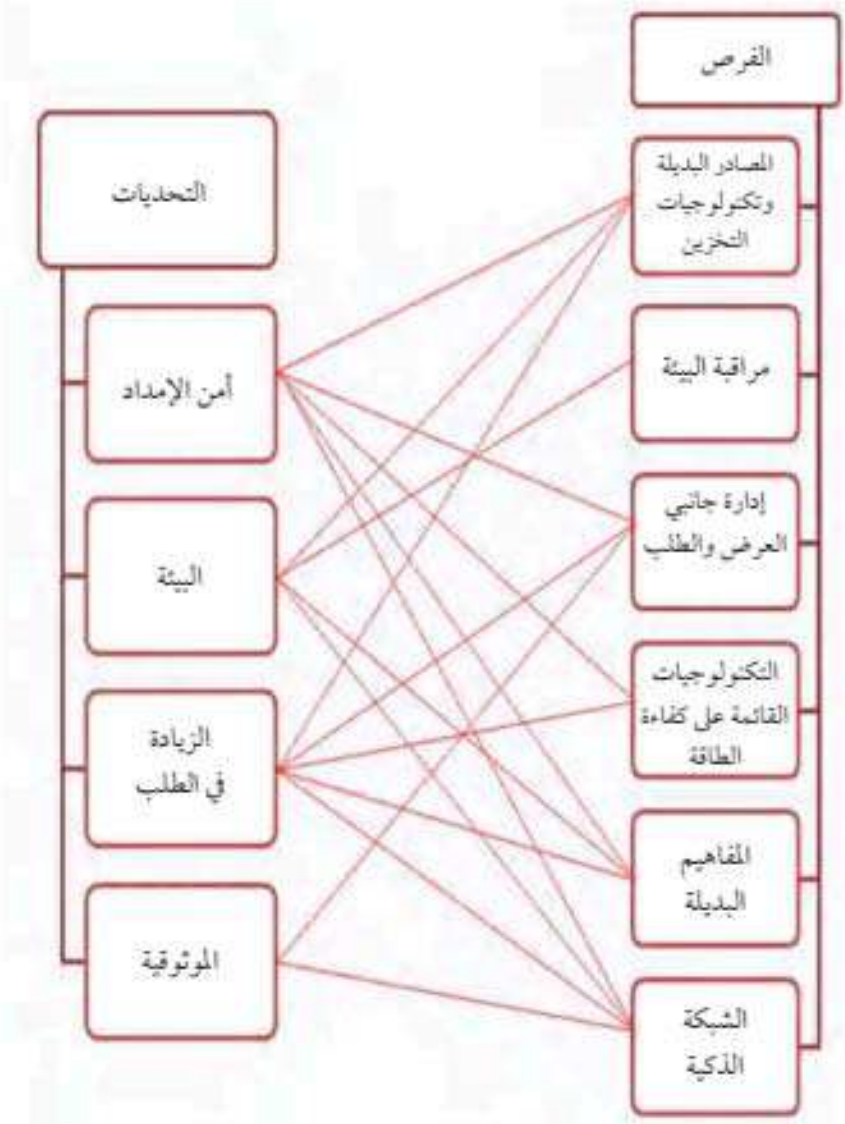
إدارة جانب الطلب زخماً، وهي تساعد شركات التوليد على استخدام الأحمال كتوليد افتراضي. ولدى البلدان المتقدمة والنامية العديد من مبادرات الشبكة الذكية والمشروعات التجريبية. وتخصص العديد من الجامعات مجموعات للاضطلاع بالبحوث في هذا المجال. وهناك العديد من الناشرين (بمن فيهم معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE) الذين لديهم مجلات متخصصة تعالج المسائل العملية والنظرية المرتبطة بالشبكات الذكية. وهناك الكثير من الشركات، من مصنّعي مكونات الطاقة إلى عمالقة تكنولوجيا المعلومات، التي أدركت أهمية الشبكات الذكية وتستثمر في هذا المجال.

استنتاجات

إن التحدي الرئيسي الذي يواجه دول الخليج، يكمن في تلبية الطلب المتزايد في جميع النطاقات الزمنية، وعلى نحو كفء وموثوق به، مع تحقيق تراجع مطّرد في انبعاثات غازات الدفيئة، وبقدر المستطاع استغلال الوقود المتاح داخل كل بلد. وتتيح المصادر المتجددة، مثل الرياح والطاقتين: الشمسية والنووية، بديلاً من أجل إنتاج الكهرباء. والمزايا الرئيسية تكمن في انخفاض انبعاثات غازات الدفيئة وزيادة أمن الإمداد. وعلاوة على ذلك، فإن محطات توليد الكهرباء القائمة على الطاقة الشمسية المركَّزة قابلة للإرسال [التحكم]، ومحطات الطاقة الكهروضوئية مكونة من وحدات تجميعية. بيد أن محطات توليد الكهرباء القائمة على الطاقة الشمسية المركَّزة باهظة التكلفة، وتتطلب توافر المياه من أجل التنظيف. ومحطات الطاقة الكهروضوئية غير قابلة للإرسال، ومن ثمّ فإنها تتطلب سعة تخزينية كبيرة، وتكنولوجيا متطورة من أجل دمج المحطات الموزَّعة على نحو كفء وموثوق به. وهناك زيادة في عدد محطات توليد الكهرباء التي تعتمد على طاقة الرياح، وتسير التكنولوجيا المقترنة بذلك نحو النضج. بيد أن التقلب يشكل تحدياً رئيسياً. ولا يمكن للطاقة النووية –على الرغم من كونها نظيفة وتتسم بالكفاءة ومثالية– أن تتسم بالتقلب في وتيرة توليدها.

الشكل (6-6)

التحديات والفرص في قطاع توليد الكهرباء



وعليه، فإن دول الخليج تحتاج إلى محطات تقليدية تعمل بالوقود الأحفوري، وتكون قابلة للإرسال [أو الإمداد وفقاً للطلب]، ولديها قدر كبير من القصور الذاتي، أو العطالة (inertia) [بمعنى إمكانية تشغيلها ووقفها حسب الحاجة]، وإن كانت في الوقت ذاته عالية التلويث. ولذا، فإن المحطات العاملة بالوقود الأحفوري يجب أن تكون لديها برامج تتسم بالكفاءة لحجز الكربون وتخزينه، ويجب أن تتسم المحطات الجديدة بالمرونة والذكاء. ومن ثمّ، فإن دول الخليج تحتاج إلى محطات توليد متنوعة، أي مزيج صحي من محطات الوقود الأحفوري تعمل إلى جانب الطاقة الشمسية المركَّزة، والطاقة الكهروضوئية، والمزارع الريحية الصغيرة والكبيرة، والمحطات النووية التي تزود الحمل الأساسي، والمحطات المائية السهلة الجدولة، مع جميع أنواع التخزين: المركَّز والموزَّع لتلبية الحمل المستمر التزايد. وعلى دول الخليج أن تطوِّر تكنولوجيات لتشغيل مصادر ووسائل متنوعة للتخزين. ويمكن للتطورات في مجال تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات أن تساعد على التشغيل المنسَّق لهذه المصادر المتنوعة. ويلخص الشكل (6-6) مختلف التحديات والفرص في قطاع توليد الكهرباء. وترتبط التحديات والفرص المقدَّمة في هذا التقرير بالاعتبارات التكنولوجية وحدها. وسوف يلزم ضبط الصورة الكبيرة للتحديات والفرص المقدمة في هذا التقرير استناداً إلى اعتبارات أخرى، مثل السياسة والقبول العام، والاقتصاد، والتنظيم، وما شابه. ومن المهم أيضاً فهم كيفية تحويل التحديات إلى فرص. المنشورات وبراءات الاختراع سوف تساعد، لكنها لن تعالج التحدي الحقيقي على الأرض. ومن المهم توفير الأموال الكافية للجامعات ومراكز البحوث، وما شابه، لمعالجة تلك التحديات، وإرساء قاعدة حقيقية للبحث والتطوير، وتوجيه القطاع.

الفصل السابع

التحديات والفرص التكنولوجية في قطاعي النقل والاتصالات

إبراهيم عبدالجليل

يعتمد قطاع النقل اعتماداً كبيراً على المنتجات النفطية التي تلبي 95٪ من حاجات قطاع النقل والمواصلات من الطاقة. وخلال الفترة الممتدة من عام 1971 إلى عام 2006، ارتفع الاستخدام العالمي للطاقة في النقل باطراد بمعدل 2٪-2.5٪ سنوياً؛ ليعكس وبشكل وثيق النمو الاقتصادي العالمي. وهناك أكثر من 60٪ من المنتجات النفطية تستهلكها البلدان الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD" -ونحو 50٪ في الدول غير الأعضاء في المنظمة- جرى استخدامها لتلبي حاجات قطاع النقل والمواصلات. ويعزى هذا في جزء منه إلى اتجاه البنوك الدولية نحو توسيع الائتمان لتمويل قروض السيارات، ما أدى إلى تسريع امتلاك السيارات. وسينعكس هذا الاتجاه في المستقبل، وستكون حاجات قطاع النقل والمواصلات في الدول النامية هي المحرك الرئيسي لنمو الطلب العالمي على النفط، ليشكل نحو 90٪ من الزيادة الإجمالية خلال السنوات المقبلة حتى عام 2035. وفي الدول الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية"، يعود الهبوط المتوقع في الطلب على النفط بشكل رئيسي إلى تراجع الطلب على النقل البري، ولاسيما كنتيجة لتحسن اقتصاد وقود المركبات، وهي نقلة نمطية نحو زيادة استخدام المواصلات العامة، وانخفاض في معدل نمو امتلاك السيارات.[1]

وهناك عدد من الأسباب للاعتماد على النفط في النقل والمواصلات؛ فقد أثبتت منتجات النفط كالبنزين والديزل فعاليتها الكبيرة كوقود فعال للنقل والمواصلات، من

حيث كثافة الطاقة التي تولدها ومواصفاتها السهلة نسبياً في المناولة/ النقل. وكانت معدلات أسعار النفط منخفضة إلى حدٍّ ما مقارنة بالبدائل المتاحة على مدى العشرين سنة الماضية. بالإضافة إلى ذلك، تتطلب معظم أنواع الوقود البديلة أنواعاً جديدة من المركبات واستثمارات واسعة النطاق في بنية تحتية جديدة ونظم جديدة لتسليم الوقود، ما يجعل المنافسة صعبة عليها، نظراً إلى اتساع نطاق مخزون المركبات التي تعتمد على مشتقات النفط والبنية التحتية الموجودة أصلاً.[2]

تبلغ حصة قطاع النقل والمواصلات نحو 19٪ من الاستخدام العالمي للطاقة، و23٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO2) المتعلقة بالطاقة، وسوف تستمر هذه الحصص في الارتفاع في المستقبل. ومن المتوقع أن يرتفع معدلا استخدام الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل والمواصلات بنحو 50٪ بحلول عام 2030، وبأكثر من 80٪ بحلول عام 2050.

يوصي "الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ IPCC" بأنه من أجل التخفيف من الآثار المحتملة لتغير المناخ، يجب خفض الانبعاثات العالمية من غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 50٪ على الأقل بحلول عام 2050. ولتحقيق ذلك، سيحتاج قطاع النقل والمواصلات إلى تأدية دور مهم، بحيث يحد بشكل كبير من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2050؛ وإلا سيكون من الصعب جداً تحقيق الهدف المتمثل في استقرار تركيز انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (غازات الدفيئة) في الغلاف الجوي عند 450 جزءاً في المليون (ppm) من مكافئ غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي تنص عليه "اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ UNFCCC". ومع ذلك كان تطور نظام المناخ الدولي يشكل دافعاً قوياً لاعتماد سياسات وتدابير للحد من انبعاثات غازات الدفيئة (GHG) الناجمة عن قطاع النقل والمواصلات، من أجل الحد من الارتفاع في متوسط درجات الحرارة العالمية إلى درجتين مئويتين. على سبيل المثال، سيتم استبدال النفط المستخدم في النقل والمواصلات لتحلّ محله أنواع أخرى من الوقود البديل، وأنواع الوقود الهجين،

والسيارات الكهربائية. وهذا صحيح ولاسيما في البلدان المتطورة ذات الاستهلاك الكبير للطاقة. وستكون الزيادة المتوقعة في الطلب المستقبلي على النفط في قطاع النقل والمواصلات، خاضعة لهيمنة الدول النامية بسبب الزيادة الكبيرة في ملكيات السيارات، وتزايد الطلب على التنقل والحركة بسبب النمو الاقتصادي، وزيادة عدد السكان، والتوسع الحضري.

أحد الأشياء الرئيسية المجهولة فيما يخص الطلب المستقبلي على النفط في قطاع المواصلات، هو كيف ستتطور السياسات الحكومية والتطورات التكنولوجية في قطاع المركبات التجارية. على سبيل المثال، أثرت معايير انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون تأثيراً كبيراً في كفاءات استخدام الوقود في قطاع النقل البري في الدول الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية"، وهو تأثير سيستمر في المستقبل. ولكن، كان تأثيرها حتى هذا التاريخ مقتصراً على سيارات الركاب. ومن غير المعروف إذا ما كانت مثل هذه المعايير ربما تنطبق على المركبات التجارية، ومتى يمكن أن تنطبق.[3]

خيارات السياسة العامة للنقل المستدام

يوجد الكثير من عوامل التحفيز التي لها تأثير كبير في تطوير سياسة النقل والابتكارات التكنولوجية في المستقبل. وتختلف هذه القوى المحفزة بحسب المنطقة، والوضع الاجتماعي والاقتصادي، والنمو الاقتصادي والسكاني المتوقع في جميع أنحاء العالم. ويختلف هدف السياسة المتمثل في تقليص الطلب على النفط في جميع المناطق. على سبيل المثال؛ قد تعتبر بعض الدول أن معالجة المخاوف البيئية المحلية -مثل جودة الهواء- هي أولوية قصوى. وهكذا، فإن تدهور جودة الهواء المحلي الذي يرتبط بالتحضر وزيادة الطلب على وسائل النقل، سيظل عاملاً رئيسياً في تطوير سياسات جديدة. وحتى الآن، ركزت السياسة بصورة اعتيادية على تحسين جودة الهواء من خلال تنظيم ملوثات الهواء مثل أول أكسيد الكربون (CO)، وأكسيد النيتروجين (NOx)، وأكسيد الكبريت (SO2)،

وما إلى ذلك، وفرض مواصفات أكثر صرامة على نوعية الوقود؛ مثل وقود الديزل ذي نسبة الكبريت المنخفضة جداً. ولكن يجري تطوير سياسات أخرى على نحو متزايد، مثل الحد من انبعاثات غازات الدفيئة -ولاسيما ثاني أكسيد الكربون- وتحسين اقتصادات الوقود، ولاسيما في الدول الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية".

من شأن مخاوف تغير المناخ، وما ينتج عنها من تخفيضات في انبعاثات غازات الدفيئة أن تؤدي ربما إلى تغييرات كبيرة في السياسات الخاصة بقطاع النقل والمواصلات. وحتى الآن لم تصل المفاوضات الجارية بخصوص اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ إلى أي اتفاق حول نظام مناخي عادل وفعال على المدى الطويل؛ أي ما بعد عام 2020. وبغضّ النظر عن هذا الغموض، هناك تحول مستمر الظهور في سياسات المناخ المحلية لبعض مستهلكي الطاقة الرئيسيين في العالم مثل الولايات المتحدة، والاتحاد الأوروبي، والصين، نحو التطور الذي يستهدف خفض الكربون.

وشكّل القلق تجاه أمن الطاقة في بعض البلدان، قوة دفع مهمة أخرى في قطاع النقل والمواصلات. وسوف يواصل مستهلكو الطاقة الرئيسيون في العالم مثل الولايات المتحدة واليابان استيراد نسبة مرتفعة من حاجاتهم النفطية. وبالتالي، سوف تركز السياسات على تقليص الاعتماد على النفط، والتشجيع على تطوير أنواع الوقود الأصلية البديلة وتوريدها.[4]

يعد الازدحام المروري في المناطق الحضرية، ولاسيما في الدول النامية، عاملاً آخر يشجع على اعتماد تكنولوجيات جديدة في إدارة الحركة المرورية. كما أن المخاوف تجاه السلامة المرورية تؤدي إلى دراسة تكنولوجيات جديدة، وخاصةً تصميم الطرق والتحكم الآلي في المركبات.[5]

وعلاوة على ذلك، سيكون لأنماط التوسع الحضري أثر كبير في حاجات النقل والمواصلات، والبنية التحتية، وجدوى وسائط النقل المختلفة. وهذا أمر بالغ الأهمية

وخصوصاً لمنطقة مجلس التعاون لدول الخليج العربية، باعتبارها تمتلك أحد أعلى معدلات التوسع الحضري في العالم. ويوفر التخطيط الحضري الكثير من الفرص لخفض الطلب على التنقل. يمكن للمدن الأصغر حجماً ذات الامتداد الحضري الأقل، وبمزيج أكبر من أنماط استخدام الأراضي، أن تقلص المسافات التي يتعين على الركاب والبضائع قطعها. ويمكن لتخطيط استخدامات الأراضي أن يسهل المشي، وركوب الدراجات الهوائية، ودمجها ضمن شبكة من وسائل المواصلات العامة. كما يوفر استخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصالات حلولاً بديلة تغني عن السفر إلى العمل، والتعليم، والبنوك، وما إلى ذلك. وستناقش هذه الورقة استخدام تقنية المعلومات والاتصالات في قطاع النقل والمواصلات بمزيد من التفصيل فيما يلي.

يمكن تصنيف أدوات السياسة الهادفة إلى التحول إلى قطاع نقل بري فعال ذي انبعاثات كربونية منخفضة، إلى فئتين رئيسيتين: تكنولوجية وغير تكنولوجية. ويوجز الجدول (7–1) خيارات السياسة الرئيسية غير التكنولوجية. وهي تضم مزيجاً من أدوات القيادة والتحكم، والمحفزات الاقتصادية، وأدوات التثقيف العام. وتحتاج دول مختلفة إلى تجميع المزيج المناسب من هذه الخيارات بما يلائم ظروفها المحلية. وهناك مجموعة متزايدة من الأدبيات التي تحقق في تأثيرات هذه الخيارات في توفير الطاقة، والجودة البيئية، وقابلية التنقل. على سبيل المثال، تم بموجب القانون الأمريكي لسياسة الطاقة والحفاظ على البيئة الصادر عام 1975 إنشاء برنامج المعيار الموحد لاقتصاد الوقود للشركات (CAFE) [على أساس الميل بالجالون]، الذي يلزم شركات تصنيع السيارات بزيادة متوسط اقتصاد وقود السيارة بحسب وزنها، والخاص بأساطيل سيارات الركاب والشاحنات الخفيفة المباعة في الولايات المتحدة. وفي عام 2002، أجريت دراسة لتقييم فعالية معايير (CAFE) وأثرها كانت نتيجتها أنه إذا لم يتم تحسين اقتصاد الوقود، فإن استهلاك البنزين (وواردات النفط الخام) ستكون أكبر بنحو 14٪ من الاستهلاك الفعلي لعام 2002. كما خفضت معايير (CAFE) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وحسّنت من شروط التجارة الأمريكية. ومن بين النتائج الأخرى الكثيرة كانت حقيقة أن التكنولوجيا موجودة، وأنها لو طُبّقت

فستخفض من استهلاك الوقود بشكل أكبر بكثير. ولكن إطلاق تلك التكنولوجيا من شأنه أن يعتمد على أسعار النفط التي يمكن أن تبرر تكلفتها. كما خلصت الدراسة ذاتها أيضاً إلى أن خيارات السياسة الأخرى، كتلك المبينة في الجدول (7-1) يمكن أن تحقق الهدف ذاته المتمثل في تحسين اقتصاد الوقود بتكلفة أقل.[6] ولكن إجراء مناقشات مفصلة لأدوات هذه السياسة وتأثيراتها، هو أمر يتجاوز نطاق هذه الورقة.

الجدول (7-1)

ملخص خيارات السياسة غير التكنولوجية لقطاع النقل البري

القيادة والتحكم

- معايير التحكم في انبعاثات السيارات.
- معايير اقتصاد الوقود.
- إلغاء دعم الوقود الأحفوري.
- خفض حدود السرعة.
- تسعير الطرق [فرض رسوم على مستخدمي الطرقات].
- القيود المفروضة على دخول المركبات.

الحوافز الاقتصادية

- خطة رسوم وتخفيضات للمركبات ذات الكفاءة أو الجديدة.
- دعم النقل والمواصلات العامة.
- تأمين السيارات على أساس مقدار استخدامها.
- رسوم الازدحام [فرض رسوم على استخدام السيارات في المناطق المزدحمة].
- رسوم مواقف السيارات.
- فرض ضرائب الوقود على أساس محتوى الكربون.
- إعانات الوقود النظيف.
- رسوم متباينة لتسجيل المركبات.
- فرض ضرائب على شراء السيارات.

إدارة الطلب على النقل والمواصلات

- تخطيط استخدام الأراضي.
- تغيير أنماط المواصلات المستخدمة.
- إدارة حركة المرور.

تثقيف المستهلك

- الاستخدام المشترك للسيارات.
- برنامج تصنيف المركبات.

استخدام تكنولوجيا تقنية المعلومات

- العمل من المنزل.
- التعليم عن بعد.
- عقد المؤتمرات عن بعد.

تكنولوجيات النقل والمواصلات المنخفضة الكربون

تقنيات المركبات

لا تزال هناك إمكانية كبيرة لتحسين تقنيات السيارات التقليدية. وهي تشمل تحسين كفاءة مجموعة نقل الحركة، واسترداد الطاقة المفقودة، وتخفيف الحمل على المركبة. ولهذه التقنيات القدرة على رفع كفاءة استهلاك الوقود بمقدار الضعف تقريباً في المركبات الخفيفة "الجديدة" من 7.5 لتر لكل 100 كيلومتر في عام 2010 إلى 3 لترات لكل 100 كيلومتر بحلول عام 2050.[7]

يمتد نطاق التحسينات على مجموعة من مختلف جوانب التصميم، مثل: المحركات، وأجهزة نقل الحركة، وأنظمة الاشتعال، وضوابط العوادم، والهياكل، وآليات التعليق، والمكابح، والعجلات، ومخففات الاهتزاز، والإطارات، والمبردات، والطلاء الخارجي، والأجهزة، وأجهزة القياس الموجودة في السيارة، وراحة السائق ورفاهيته، وأجهزة التحكم في المركبات المؤتمتة.

بحلول عام 2015، يمكن خفض استهلاك الوقود في السيارات الجديدة بمعدل يصل إلى 25٪ بتكلفة منخفضة، وذلك من خلال الاستغلال التام للتكنولوجيات المتاحة. في بعض الحالات كان لهذه التكنولوجيات تكاليف باهظة على المستهلكين، لأن قيمة وفورات الوقود على مدار دورة حياة السيارة أعلى من التكلفة الإضافية للتكنولوجيات. ومع ذلك فإن اعتبارات دوران المخزون تعني أن التأثير الكامل لهذه التحسينات لن يتحقق حتى عام 2020 –2025.[8] وستكون وسائل التغير التكنولوجي المتسارع في قطاع السيارات على المدى الطويل، عبارة عن تطورات في تطبيق تكنولوجيا المعلومات، ومواد جديدة، وإنجازات هندسية، وتكنولوجيات متقدمة للمحركات عبر القطاع بأكمله.[9]

وبالتالي من المتوقع أن تؤثر تحسينات التكنولوجيا التقليدية في متوسط استهلاك الوقود لجميع المركبات. وستكون تأثيراتها في الشاحنات أقل من تأثيراتها في سيارات الركاب، بسبب انخفاض مستويات التهجين، ومحدودية فرص المكونات الإضافية، والقيود التي تعوق التحسينات في تكنولوجيا محركات الديزل العامة.

تعتبر بعض السياسات المحلية، مثل الاتفاقيات الطوعية الأوروبية وبرنامج "توب رانر" (Top Runner) في اليابان، أمثلة جيدة على السياسات التي تشجع على الابتكار التكنولوجي، ولكن أياً منها لا يثني المستهلكين عن التحول إلى المركبات الأكبر والأكثر قوة.

محركات الاحتراق الداخلي ذات الكفاءة

من المتوقع أن تبقى تكنولوجيا آلية الدفع والحركة مصدراً للمكاسب المحققة في مجال الكفاءة. وسيركز المصنعون على التحسينات في مجال انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الوقود. وستتركز هذه التحسينات في تطوير المحرك، وإدارة الطاقة، والتقليل من أحجام المحركات. كما أن التحسينات التي لا علاقة لها بنقل القدرة، مثل تخفيف مقاومة الإطارات، وخفض وزن المركبة، وتحسينات الديناميكية الهوائية، ستؤدي أدواراً كبيرة.

وهناك إمكانات كبيرة في مجال تكنولوجيا المحركات لتحسين كفاءة طاقة المركبات. فمحركات البنزين ذات الحقن المباشر، ومحركات الديزل المتقدمة، حققت زيادة فعلية بنحو 25٪ في كفاءة الوقود في محركات الاحتراق الداخلي (ICE).[10] أما اليوم، فإن محركات الديزل النظيف توفر احتراقاً أفضل للوقود بما لا يقل عن 20٪ أكثر من محركات البنزين التقليدية. ولكن الشعبية المحدودة التي يتمتع بها وقود الديزل (ما عدا في أوروبا) تعني أن التحسينات التكنولوجية الواسعة النطاق سوف تعتمد على التقدم المحقق في مجال محركات البنزين.[11]

يمكن للأنظمة الإلكترونية الحديثة زيادة كفاءة طاقة المحرك بنسبة تصل إلى 25٪. ومن أمثلة ذلك الأنظمة الكهربائية لمفتاح بدء التشغيل/ مولد التيار المتناوب المدمجة، وأنظمة الكبح بالتوليد المعاكس، ونظام التوجيه (steering) الكهربائي بالكامل. وقد أصبحت هذه الأنظمة إلزامية في سيارات الركاب الجديدة في الولايات المتحدة.[12]

تكنولوجيا المواد

تستخدم صناعة السيارات في العادة مواد كثيفة استهلاك الطاقة كالزجاج، والصلب، والألمنيوم، والبلاستيك؛ ما أدى إلى ارتفاع استهلاك المركبات للطاقة، وزيادة في كثافة الكربون على أساس دورة حياة السيارة. ولذلك يمكن تحسين كفاءة استهلاك المركبات للطاقة من خلال تقليص حجم المركبة. فالقاعدة العامة تقول إن تخفيض 10٪ من وزن المركبة يمكن أن يحقق توفيراً بالوقود بمقدار 5٪–7٪ (من حيث مقدار الأميال التي تقطعها المركبة بكل جالون من الوقود) بشرط تخفيف آلية نقل القدرة. وقد أدى هذا إلى توفير متوقع بمقدار 0.46 لتر من البنزين لكل 100 كلم تقطعها السيارة، وذلك عن كل 100 كلج يتم تخفيضها من كتلة المركبة. (تنطبق هذه القيمة على مركبة أمريكية (من أمريكا الشمالية) متوسطة الحجم وزنها فارغة 1532 كلج). على مدى عمر مركبة ما (الذي يفترض أن يكون 193000 كلم)، فإن هذا يؤدي إلى وفورات قدرها 25.3 كلج من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل كيلوجرام يتم تخفيضه من وزن المركبة.[13]

يمكن تحقيق هذا من خلال استخدام مواد لهيكل المركبة الخفيفة تكون أقل استهلاكاً للطاقة، مثل الألياف الكربونية، أو المواد المركبة الأخرى. عدا عن ذلك، فإن كثرة استخدام الألمنيوم، وغيره من المواد الأخرى الخفيفة الوزن في أجزاء المركبات (مثل تجهيزات "الفرامل" والعجلات) يمكن أن يحقق الهدف ذاته أيضاً. كما تعتبر أنواع طلاء السيراميك المقاومة للتلف والدائمة العزل من التكنولوجيات المنتشرة لتحسين كفاءة محركات الديزل. كما تجري بحوث لتحسين مقاومة التآكل والتلف الناجم عن الاحتكاك، وذلك باستخدام أغشية وأغلفة رقيقة مبتكرة. وتشكل السلامة، وكفاءة

استهلاك الوقود، والاستدامة البيئية تحدياً كبيراً لتكنولوجيا المواد. فعلى الرغم من أن هياكل المركبات الخفيفة يمكن حتى أن تكون أقوى من الصلب، فإن تكنولوجيات تصنيعها لا تزال قيد التطوير.

اقتصاد الهيدروجين

يشير اقتصاد الهيدروجين إلى مجتمع يقوم أساساً على استخدام الطاقة المتجددة المتأتية من فصل الماء إلى مكوناته؛ الأكسجين، والهيدروجين. ويصبح الهيدروجين وقوداً قابلاً للتخزين؛ بحيث يمكن استخدامه عند الحاجة إلى تشغيل خلايا الوقود، التي ستوفر الكهرباء لمختلف الاستخدامات، بما فيها تزويد المركبات بالطاقة. ويصف اقتصاد الهيدروجين نظام طاقة تتم فيه تلبية حاجات الطاقة غالباً بواسطة الهيدروجين، بدلاً من الوقود الأحفوري. وهذا النوع من الاقتصاد من شأنه أن يعتمد على المصادر المتجددة على شكل غاز الهيدروجين كناقل للطاقة. وبشائر النجاح مثيرة، لأن خلايا الوقود تتمتع بالقدرة على مضاعفة كفاءة السيارات وفي الوقت ذاته التقليل من تلوث الهواء إلى حد كبير. وإذا صدقت هذه التوقعات، فستشهد خلال العقود المقبلة ابتعاداً مذهلاً عن اقتصاد الوقود الأحفوري الذي نعتمد عليه اليوم، ونتجه نحو مستقبل أنظف بكثير يعتمد على الهيدروجين. وقد تم تحفيز التوجه نحو اقتصاد الهيدروجين من قبل القوى ذاتها التي تدفع نحو تغيير السياسة في قطاع النقل والمواصلات، والتي تشمل:

أ) تأثيرات استخدام الوقود الأحفوري في البيئة المحلية، ومنها تدني جودة الهواء بسبب الملوثات المتعلقة بالطاقة والتي تطلقها جميع نشاطات الطاقة؛ من استخراج الوقود الأحفوري، وإنتاجه إلى انبعاثات الاستخدام النهائي الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري.

ب) تغير المناخ العالمي بسبب تراكم ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى في الغلاف الجوي. حالياً، يعتبر احتراق الوقود الأحفوري مسؤولاً عن انبعاث نحو

36 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً على المستوى العالمي. وهذه القيمة تشكل ما يزيد على 85٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عالمياً.

ج) أمن إمدادات الطاقة: تعتمد الدول الصناعية الكبرى اعتماداً كبيراً على النفط المستورد. على سبيل المثال، تستورد الولايات المتحدة حالياً من 10 إلى 11 مليون برميل نفط يومياً -معظمها من منطقة الشرق الأوسط- وهي تعتمد على شبكات نقل ضخمة ومعرضة لخطر الهجمات.

د) تطور التكنولوجيا: العامل الآخر المهم لدفع اقتصاد الهيدروجين للأمام هو التطوير التكنولوجي لخلية الوقود. فقد خلصت دراسة أجراها مجلس البحوث الوطني الأمريكي (NRC) أنه لكي تتمكن خلايا الوقود من منافسة محركات الاحتراق الداخلي الموجودة والتي تعمل بالنفط، ولاسيما محركات المركبات الخفيفة، فيجب تحسينها من خلال ثلاثة عوامل: أولاً: عامل 10- 20 ضعفاً من حيث التكلفة. ثانياً: عامل خمسة أضعاف في العمر. ثالثاً: عامل ضعفين تقريباً من حيث الكفاءة. وبحسب الوكالة الدولية للطاقة (IEA)، من المتوقع أن تصبح خلايا الوقود القائمة على الهيدروجين جاذبة من الناحية الاقتصادية في بعض تطبيقات توليد الطاقة، وإلى حد أقل بكثير، في السيارات والشاحنات بحلول عام 2030. وفي الوقت ذاته، من شأن حوافز خفض الانبعاثات وقدرها 25 – 50 دولاراً/ طن من ثاني أكسيد الكربون (اعتماداً على سعر الوقود الأحفوري) أن تساعد في جعل الهيدروجين H2، وخلايا الوقود والخيارات الأخرى للطاقة النظيفة أكثر تنافسية من الناحية الاقتصادية.[14]

من جانب آخر، هناك عدد من العوامل الأخرى التي تبطئ وتيرة تحقيق الهدف المتمثل في اقتصاد الهيدروجين؛ ومنها المستويات الحالية لكفاءة خلايا الوقود، والموثوقية والتكاليف، والتطوير التكنولوجي المستمر لمحركات الاحتراق الداخلي، وعدم وجود بنية تحتية للهيدروجين. فالتفاعلات بين جميع هذه العوامل والعوامل الأخرى تجعل عملية

التحول إلى اقتصاد الهيدروجين معقدة للغاية. وبالتالي، مطلوب فترة انتقالية بين النظام الاقتصادي الحالي، والنظام الاقتصادي الذي يعتمد على الهيدروجين، حيث توجد حاجة إلى مجموعة حوافز حكومية من أجل دفع السوق إلى الأمام.[15]

ونظراً إلى مزايا المركبات التي تعمل بمحركات احتراق داخلي، والبنية التحتية الموجودة، فإنه من غير المرجح -في ظل غياب سياسة قوية جداً، وعدم وجود الدعم المالي من الحكومات في أنحاء العالم- أن تكون قوى السوق وحدها كافية لإحداث نقلة مهمة من محركات الاحتراق الداخلي/ نظام النفط إلى نظام المركبات العاملة بخلايا الوقود (FCV)/ نظام الهيدروجين.

الهيدروجين

يعتبر الهيدروجين ناقلاً للطاقة، ويمكن الحصول عليه من مصادر عدة مختلفة: الوقود الأحفوري (استصلاح الغاز الطبيعي، واستخلاص الغاز من الفحم)، والطاقة المتجددة والطاقة النووية، وفصل جزيئات الماء عن طريق الحرارة المرتفعة، والتحليل الكهربائي للماء. إذا تم إنتاج الهيدروجين H2 من الطاقة المتجددة والنووية، أو من الغاز الطبيعي والفحم مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CCS)، عندها يمكن أن يكون وقوداً خالياً من الكربون إلى حد كبير، وبالتالي يساعد في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.[16]

ينبغي وضع مخططين رئيسيين لإنتاج الهيدروجين؛ وهما: إنتاج الهيدروجين المركزي والموزع (اللامركزي). وهناك العديد من التقنيات المتوافرة فعلياً في السوق من أجل الإنتاج الصناعي للهيدروجين. أما التقنية التجارية الأولى، التي تعود إلى أواخر عقد العشرينيات من القرن العشرين، فكانت تحليل الماء كهربائياً لإنتاج الهيدروجين النقي. وفي الستينيات من القرن العشرين، تحول الإنتاج الصناعي للهيدروجين ببطء نحو المواد الأولية الأحفورية التي تعد المصدر الرئيسي لإنتاج الهيدروجين اليوم، ولاسيما في مصافي

تكرير النفط ومصانع المواد البتروكيماوية على حد سواء. يمكن أن يقوم إنتاج الهيدروجين الموزع على تقنيتي التحليل الكهربائي للماء، واستصلاح الغاز الطبيعي على حد سواء. ومن شأن الفائدة أن تتمثل في انخفاض الحاجة إلى نقل وقود الهيدروجين، وبالتالي تقليل الحاجة إلى إنشاء بنية تحتية جديدة للهيدروجين. ولكن ذلك أقل كفاءة من الإنتاج المركزي الواسع النطاق، ويجعل من إجراء احتجاز الكربون وتخزينه أمراً غير عملي.

في الفترة الحالية والقريبة (حتى عام 2030)، تعتبر عملية التحليل الكهربائي للماء واستصلاح الغاز الطبيعي -على نطاق صغير- مناسبة. فعملية تحليل الماء كهربائياً هي تكنولوجيا مجربة يمكن استخدامها في المراحل الأولى من بناء البنية التحتية للهيدروجين الخاص بقطاع النقل والمواصلات. كما أن عملية إنتاج الهيدروجين القائم على الإنتاج المركزي للوقود الأحفوري مع احتجاز غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، هي عملية مجدية. ولكن عملية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ليست مجربة تقنياً، أو تجارياً بعد، وتتطلب مزيداً من البحث والتطوير. وهناك طرق أخرى لإنتاج الهيدروجين، ولاسيما من الوقود العضوي، ولكنها بعيدة جداً عن طرحها تجارياً وتحتاج إلى المزيد من البحث والتطوير.[17]

تعتبر التقديرات الخاصة باستثمار البنية التحتية للهيدروجين معقدة بما يكتنفها من غموض كبير. فتكلفة البنية التحتية الخاصة بإمداد الهيدروجين الخاص بالنقل البري تقدر بأنها في حدود مئات المليارات من الدولارات. وعلى فرض تم إنتاج الهيدروجين مركزياً وعلى نطاق واسع، فإن تكاليف البنية التحتية لإمداده تشمل أنظمة أنابيب توزيع على مستوى العالم من أجل النقل البري، واستثماراً إضافياً في محطات التزود بالوقود.[18]

وبحسب الوكالة الدولية للطاقة، من المرجح أن يحصل الهيدروجين على حصة كبيرة في السوق خلال العقود المقبلة، إذا ما هبطت تكلفة إنتاج الهيدروجين وتوزيعه

واستخدامه النهائي إلى درجة كبيرة، وإذا ما تم وضع سياسات فعالة لزيادة كفاءة الطاقة، والتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وتعزيز أمن الطاقة.[19]

خلايا الوقود

خلايا الوقود هي أجهزة كهروكيميائية تستخدم الهيدروجين، أو الوقود الغني بالهيدروجين، مع أكسجين الهواء، لتوليد الكهرباء والحرارة. وهناك الكثير من المتغيرات لهذه العملية الأساسية، اعتماداً على أنواع خلايا الوقود، وأنواع الوقود. ويمكن استخدام "خلايا وقود من غشاء إلكتروليتي بوليمري PEMFC" إما لتغذية المركبات بالطاقة، وإما لتوليد كهرباء مستقرة. وباعتبارها حساسة للتلوث، فإن خلايا الوقود المكونة من غشاء "إلكتروليتي بوليمري" تحتاج إلى هيدروجين نقي. وهي لا تنتج أي انبعاثات من غاز ثاني أكسيد الكربون خلال العملية. وتعمل بدرجة حرارة منخفضة، وتمنح كفاءة بمقدار 35٪-40٪. أما الأنواع الأخرى من خلايا الوقود، التي تشمل خلايا الوقود من الكربونات المنصهرة، وخلايا الوقود من الأكسيد الصلب، وخلايا الوقود من حامض الفوسفوريك (MCFC, SOFC, PAFC)، فتستخدم لتوليد الطاقة الثابتة والحرارة.

تستخدم السيارات العاملة بخلايا الوقود (FCVs) خلايا الوقود لتحويل الطاقة الكيماوية المحتواة في الهيدروجين إلى طاقة كهربائية تستخدم لتغذية محرك كهربائي يعمل على تدوير العجلات ويدعم الوظائف الأخرى في السيارة. وفي ظل ظروف تشغيل سيارات خلايا الوقود، يكون العمر النموذجي لخلايا وقود من غشاء إلكتروليتي بوليمري نحو 2000 ساعة (100000 كلم). وتحتاج خلايا الوقود إلى تطورات تكنولوجية هائلة وتخفيضات في التكاليف لكي تصبح تكنولوجيا مجدية في تشغيل سيارات النقل البري؛ إنه تطور يبدو غير محتمل في المستقبل المنظور. في الواقع هناك العديد من التحديات التي تنتظرنا، بما فيها حلول تخزين الهيدروجين في السيارات، وتطوير مصدر للهيدروجين يقوم على أساس الطاقة المتجددة، والبنية التحتية لتخزين الهيدروجين وتوزيعه. وإذا لم تتم

مواجهة هذه التحديات، فمن غير المرجح أن تدخل أعداد كبيرة من السيارات العاملة بخلايا الوقود إلى السوق قبل عام 2030.[20]

يعدّ تخزين الهيدروجين في السيارات أمراً صعباً، وربما يكون له تأثير كبير في البنية التحتية الخاصة بالهيدروجين وفي معاييره. والهدف هو تخزين 4–5 كلج من الهيدروجين (وهي كمية تكفي لتشغيل السيارة مسافة 450 كلم تقريباً)، وفي الوقت ذاته تقليص الحجم، والوزن، وطاقة التخزين، وزمن إعادة التزود، والتكاليف، وزمن توفير الهيدروجين عند الطلب. يحتاج تخزين الهيدروجين في الحالتين: الغازية والسائلة على حد سواء، إلى حيز أكبر من الحيز الذي يحتاج إليه ما يعادله من البنزين، بالإضافة إلى خزانات أكبر تكلفة. والتخزين في المواد الصلبة قد يوفر مزايا حاسمة (حجماً أصغر، وضغطاً منخفضاً، ومدخلاً للطاقة) ولكن العمل لا يزال جارياً على تطوير ذلك، حيث يوجد عدد من المواد التي تخضع للبحث والتجريب. كما ثبت أن إجراء عوامل الاستصلاح على متن السيارة لإنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري في غاية الصعوبة، ومرتفعة التكاليف.

السيارات الهجينة

تحتوي السيارات الهجينة على محركات احتراق داخلي مع محرك كهربائي ومخزن للطاقة مثل البطاريات. وهناك ثلاثة أنواع من السيارات الهجينة:

- السيارات الهجينة "المتوازية" التي يعمل فيها محرك احتراق داخلي ومحرك كهربائي على عمود التدوير نفسه، ويمكن لأي منهما، أو كليهما معاً توفير الطاقة للسيارة.
- السيارات الهجينة "المتوالية" التي يعمل محركها بواسطة الكهرباء التي يحصل عليها إما من البطاريات و/ وإما محرك احتراق داخلي صغير يعمل كوحدة طاقة مساعدة تعمل على تشغيل مولد كهربائي.
- السيارات الهجينة "المدمجة" التي يمكن تشغيلها في أي من النمطين المذكورين. وتزداد الكفاءة بواسطة الكبح بالتوليد المعاكس (regenerative braking)، والتحكم في محرك الاحتراق الداخلي ليدور عند نقاط تشغيل أكثر كفاءة، والقيام

بالتوقف/ الانطلاق للتخلص من خسارة الطاقة في حالة إيقاف التشغيل. وتظهر القياسات التجريبية على السيارات الهجينة مزايا كبيرة في اقتصاد الوقود بمعدل 40٪– 60٪ في القيادة ضمن المدن (التوقف – الانطلاق) بسرعة تقل عن 95 كلم في الساعة. وعند القيادة بسرعات عالية، يكون أداء السيارات الهجينة مماثلاً لأداء سيارات الديزل التقليدية ذات الكفاءة. ومن المتوقع أن توفر السيارات الهجينة المدمجة في أثناء قيادتها في شوارع المدن، وعلى الطرقات السريعة، مزايا نموذجية من حيث الاقتصاد في الوقود بمعدل 15٪– 30٪. كما أن زيادة التعقيد تزيد من الطاقة اللازمة (وبالتالي كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة) في أثناء التصنيع، ولكن تأثيرات ذلك أقل إلى حد بعيد من مقدار الوفورات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي يتم تحقيقها في أثناء الاستخدام، ما يؤدي إلى مستويات أقل في مجمل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال دورة حياة السيارة بالمقارنة مع السيارات التقليدية.[21] ومن أهم المزايا في صناعة السيارات الهجينة:

- أنها تتيح لمحركات الاحتراق الداخلي العمل بأقصى كفاءتها في جميع الأوقات؛ لتزيد المسافة، وتخفض الانبعاثات بالمقارنة مع تصميمات محركات الاحتراق الداخلي التقليدية لجميع المركبات.
- القدرة على إطفاء المحرك في حالة الوقوف وفي الأوقات الأخرى الأقل كفاءة.
- استرجاع الطاقة المتبددة نتيجة لزيادة تسارع السيارة، وفي القيادة على طرقات جبلية (الكبح بالتوليد المعاكس). فقدرة الكبح المعاكس أعلى كفاءةً خلال حركة المرور التي يكثر فيها التوقف/ الانطلاق، أو على الطرقات الجبلية التي يكثر فيها الصعود والهبوط. ولكنها لن تعمل بشكل جيد على الطرقات الصاعدة الطويلة، والطرقات النازلة الطويلة، أو للرحلات الريفية، لأن البطارية اللازمة لهذه الرحلات من شأنها أن تكون كبيرة جداً،[22] فالسيارات الهجينة حالياً تعوقها عوامل من قبيل ارتفاع التكاليف، وارتفاع الأسعار، ومحدودية عمر البطارية، وتكاليف الاستبدال، وخيارات المستهلكين.

ويجري تطوير البطاريات باستمرار؛ فعلى سبيل المثال، عملت خلايا أيون الليثيوم (lithium ion cells) الأعلى من حيث كثافة القدرة والطاقة، على تحسين أداء البطاريات وعمرها المتوقع؛ ومن ناحية أخرى، بالنسبة إلى خلايا أيون الليثيوم لا يزال هناك مسائل السلامة التي يجب حلها، بالإضافة إلى تخفيض التكاليف.[23]

من المحتمل أن يتأثر الاهتمام النسبي بالأنواع المختلفة من السيارات الهجينة، إلى حد كبير، ليس بالفروق بين الأسعار فقط، بل بالاختلافات الإقليمية، وسياسات شركات تصنيع السيارات أيضاً. هناك ميل قوي إلى تفضيل السيارات الهجينة التي تعمل بالبنزين في الأسواق ذات مجالات التسويق الخاصة والراسخة، مثل الولايات المتحدة واليابان، بالإضافة إلى الشركات المصنّعة التي تركز على السيارات الهجينة مثل تويوتا وهوندا. أما السيارات الهجينة العاملة بالديزل فتواجه مشكلة ارتفاع تكاليف مجموعة نقل الحركة، ومن المحتمل أن تحقق نجاحاً أكبر في فئة السيارات الفاخرة، وفي المناطق التي تشهد إقبالاً أكبر على سيارات الديزل، ولاسيما في أوروبا.

السيارات الكهربائية والهجينة

خفضت السيارات الهجينة، والسيارات الكهربائية الهجينة القابلة للشحن (PHEVs) إلى حد كبير من استهلاك الوقود وانبعاثات الكربون. وبالتالي، فإن مفهوم السيارات الكهربائية الهجينة القابلة للشحن (السيارات الهجينة) يُعدّ شكلاً ممتازاً من أشكال مجموعة الدفع والحركة لدعم التحول على المدى الطويل إلى قطاع مواصلات أكثر استدامة. وتعد الطاقة الكهربائية للمواصلات وسيلة للحد من استخدام النفط، و/ أو انبعاث غازات الدفيئة، و/ أو تحسين جودة الهواء. وبالتقليل من استهلاك قطاع النقل للنفط على أساس كل ميل تقطعه السيارة، عن طريق استخدام الكهرباء من الشبكة يؤدي إلى تعزيز أمن الطاقة.

ويتيح ظهور تكنولوجيات سيارات الدفع الكهربائي مثل السيارات الكهربائية الهجينة التخلص نهائياً من انبعاثات عوادم السيارات عند القيادة لمسافات قصيرة (حتى

مسافة 50 كلم تقريباً داخل المدن). يمكن للسيارات الكهربائية كلياً (BEV) أن تحقق كفاءة عالية جداً (أكثر من 90٪، أي أربعة أضعاف كفاءة سيارة تعمل بمحرك احتراق داخلي، ولكن باستثناء خسائر توليد ونقل الكهرباء)، ولكن المسافات التي تقطعها قصيرة، بالإضافة إلى قصر عمر البطارية. وإذا انتشرت التكنولوجيات الهجينة على نطاق واسع، فإنه يمكن الحصول على وفورات وقود محددة بمقدار الضعف على مستوى الأسطول في العقد المقبل.

لا يوجد محرك احتراق في السيارات الكهربائية كلياً، وقدرة بطاريتها هي التي تحدد المسافة التي تقطعها. ونظراً إلى ارتفاع تكاليف البطارية، فإن السيارات الكهربائية كلياً التي يمكنها أن تقطع مسافات أطول، تميل إلى أن تكون باهظة الثمن للغاية. وعلاوة على ذلك، بخصوص السفر لمسافات طويلة، تحتاج السيارات الكهربائية كلياً إلى البنية التحتية المخصصة لشحن البطاريات، وهي غير متوافرة حالياً.

السيارات الكهربائية الهجينة، والسيارات الكهربائية كلياً في مرحلة تسمح لها بالنمو، ولكن التكنولوجيا والبنية التحتية لا تزال في بدايتها، وسيحتاج خيار المستهلكين إلى فترة من الزمن حتى يتغير. كما من المرجح أن تبقى حصة السيارات الكهربائية في السوق صغيرة، وخصوصاً طالما أن أداء البطارية لا يتحسن بشكل كبير من حيث التكلفة، وزمن الشحن، وكثافة الطاقة، وعمر السيارة. وبالتالي، من دون دعم حكومي كبير، فإن هذه السيارات تشكل مجرد سوق خاصة صغيرة فعلياً.[24]

أما التحدي الرئيسي أمام تعميم السيارات الكهربائية الهجينة، والسيارات الكهربائية كلياً، فهو تخفيض تكاليف البطارية. وتشمل التحديات الأخرى، تطوير أنظمة قياس وشحن ذكية تساعد على الحد من انبعاثات غازات الدفيئة، ولا تشكل في الوقت ذاته ضغطاً على مصادر توليد وتوزيع الكهرباء. وينبغي أن يلمس المستهلكون ميزة في التكاليف؛ من حيث وفورات الوقود لتبرير الأسعار المرتفعة للسيارات الهجينة. وسوف تستميل مبيعات هذه السيارات الهجينة بشكل رئيسي المستهلكين الذين تتوافر لهم المنافذ

الكهربائية، على سبيل المثال، مع المراتب. ومن المحتمل أن تكون مبيعات هذه السيارات الهجينة في المدن أكبر من مبيعاتها في المناطق الريفية.

ستعتمد انبعاثات السيارات الكهربائية الهجينة على مصدر الكهرباء. فإذا كانت هناك نقلة واسعة النطاق نحو السيارات الكهربائية، فإن الانبعاثات الناتجة عن قطاع النقل سترتبط بالانبعاثات الناتجة عن محطات توليد الطاقة الثابتة. ومع تخليص محطات الطاقة هذه من انبعاثات الكربون، فستنخفض الانبعاثات الناتجة عن نشاط النقل. ومن المرجح أن تلعب الجهود الرامية إلى وضع الأهداف والقوانين -مثل معايير الطاقة المتجددة في قطاع توليد الطاقة والأهداف الصارمة على نحو متزايد بخصوص كفاءة الوقود في قطاع النقل والمواصلات- دوراً متزايداً. ومع نهاية عام 2011، أصبح واضحاً أن ثورة الغاز غير التقليدية في الولايات المتحدة، وربما في أماكن أخرى، زادت من جاذبية الغاز الطبيعي كوسيلة للحد من كثافة الكربون في توليد الطاقة، وربما، قطاع النقل والمواصلات. وهذه فرصة أخرى يمكن أن تؤثر في جاذبية السيارات الكهربائية في المستقبل. على سبيل المثال، المخاوف الموثقة جيداً تجاه الحاجة إلى دراسة الانبعاثات الناتجة خلال دورة الوقود "من البئر إلى العجلات"، أي من مراحل إنتاج النفط وحتى استهلاكه في السيارات الكهربائية، واحتمال استبدال الفحم بالغاز الصخري لتوليد الكهرباء، يمكن أن تتأثر إلى حد كبير بهذه التطورات.

تمتلك السيارات الكهربائية القدرة على أن تكون وسيلة اقتصادية للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المباشرة (أو العوادم) من قطاع النقل والمواصلات. ولكن، من دون وجود سياسة مناخية تضع حداً لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن قطاع توليد الطاقة الكهربائية، فإن التأثير الصافي لانتشار السيارات الكهربائية الهجينة على نطاق واسع على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في جميع أنحاء العالم، ليس واضحاً. ولهذا يجب إجراء تحليل شامل يأخذ في الحسبان قطاعي الكهرباء والنقل سوياً، جنباً إلى جنب مع نتائجه على بقية نظام الطاقة. وهناك إجماع دولي على أن التحسينات التي طرأت في مجال استدامة السيارات الكهربائية يمكن تحليلها فقط على أساس تقييم دورة الحياة (LCA)، والذي يشمل دراسة

لإنتاج السيارات، وتشغيلها، ومعالجتها عند انتهاء عمرها. على سبيل المثال، هناك نحو 90٪ من انبعاثات غازات الدفيئة من سيارة تعمل على الكهرباء المستمدة من مصدر للطاقة الكهرومائية المتجددة؛ ناجمة عن إنتاج السيارة، ومعالجتها عند انتهاء عمرها، و10٪ فقط تنتج عن تشغيل السيارة. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تشمل جميع التأثيرات البيئية سلسلة القيمة بأكملها. كما ينبغي أن تشمل -إذا كان ذلك مناسباً- التفاعلات الناتجة من إعادة التدوير في مرحلة التفكيك إلى مرحلة الإنتاج؛ إذا تم استخدام المادة لإنتاج سيارات جديدة.[25]

ازداد إنتاج السيارات الكهربائية الهجينة بسرعة منذ إطلاق سيارة تويوتا بريوس (Toyota Prius) عام 1997. ويحلول عام 2010، بيع أكثر من مليوني وحدة من هذا الطراز حول العالم.[26] ومن المحتمل أن تصبح السيارات الكهربائية منافسة من حيث التكلفة في مجال المواصلات المحلية، قبل أن تصبح منافسة في مجال السفر لمسافات طويلة. فقد تحسنت تكلفة البطارية، وموثوقيتها إلى حد كبير على مدى السنوات العشر الماضية، ما جعل السيارات الكهربائية الهجينة، والسيارات الكهربائية كلياً التي يمكن إعادة شحنها تبدو عملياً بشكل متزايد. كما أن السيارات الكهربائية المناسبة للمسافات القصيرة متوافرة فعلياً.

تعتبر السيارات الكهربائية كلياً باهظة الثمن أكثر من نظيراتها التقليدية بسبب التكاليف الإضافية للبطاريات ومعدات الدفع الكهربائية. وتشكل مبيعات السيارات الكهربائية كلياً نسبة مئوية صغيرة من إجمالي مبيعات السيارات عموماً، ولكن إذا كان تحقيق تقدم في تكنولوجيا البطاريات أن يخفض التكاليف، فمن المحتمل أن تزداد مبيعات السيارات الكهربائية كلياً. فارتفاع أسعار البنزين سيحفز المزيد من المستهلكين على شراء السيارات الكهربائية الهجينة. ولا بد للمستهلكين من المقارنة بين التكاليف الإضافية للسيارات الكهربائية الهجينة وبين الوفورات المتوقعة في تكاليف البنزين وأهمية المزايا البيئية في نظرهم.

وتمثل تكنولوجيا الشحن السريع للبطارية إحدى أهم التقنيات الواعدة في الترويج للسيارات الكهربائية. فتكنولوجيا الشحن السريع للبطارية سوف تسهم أيضاً في أنظمة

نقل حركة مبتكرة ليس لها أي انبعاثات. وقد ازدادت محطات الشحن السريع للسيارات الكهربائية إلى أكثر من ألف محطة حول العالم، مع تركيب 400 محطة منها في عام 2011. على سبيل المثال، في عام 2010، تم إطلاق مشروع في الولايات المتحدة يهدف إلى توزيع 14000 محطة شحن كهربائي سريع من المستوى 2 بقدرة 400 فولط في جميع أنحاء البلاد بحلول عام 2013. ويجري العمل على تركيبها في 18 مدينة داخل ست ولايات، ومقاطعة كولومبيا.[27]

الوقود البديل

تشمل أنواع وقود المواصلات البديلة عن المنتجات النفطية ما يلي: (1) الوقود القائم على الغاز الطبيعي. (2) الوقود الحيوي. وأنواع الوقود البديلة لا تنتج بالضرورة انبعاثات غازات الدفيئة أقل من البنزين. ومحتوى الكربون بكل وحدة من الطاقة في معظم أنواع الوقود البديل هو أقل من محتواه في البنزين، ولكنها لا تنتج بالضرورة انبعاثات إجمالية أقل خلال دورة حياته "من البئر إلى العجلة"، وتشمل الانبعاثات الناجمة عن كامل سلسلة عمليات الاستخراج، والإنتاج، والتوزيع، والتخزين، واستخدامه في السيارات، من خلال تحليل لدورة حياة الوقود. ولكن القليل من أنواع الوقود البديل يعد بتخفيضات كبيرة في انبعاثات غازات الدفيئة على أساس دورة حياة كاملة. وتشمل هذه الأنواع الإيثانول والميثانول في ظل ظروف معينة، أي عندما يتم استخلاصها من مواد أولية سليلوزية باستخدام عمليات إنتاج متقدمة منخفضة استهلاك الطاقة. ولكن الإنتاج الحالي للكحول التجاري الخاص بالنقل لا يستخدم عمليات متقدمة، ولا يتيح تخفيضاً في انبعاثات غازات الدفيئة بالمقارنة مع البنزين.

الغاز الطبيعي المضغوط (CNG)

بحسب "الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ"،[28] فإن أنواع الوقود الأحفوري الأخرى البديلة عن البنزين؛ ومنها الديزل، والغاز النفطي المسال، والغاز الطبيعي المضغوط، يمكن أن توفر تخفيضاً في الانبعاثات بمعدل 10٪–30٪ في كل

كيلومتر، وهي أصلاً اقتصادية في التكاليف للأسواق الصغيرة الخاصة مثل أسواق المركبات التي تقطع مسافات طويلة، وتعمل ضمن أساطيل، ومنها الحافلات المدنية الصغيرة والشاحنات الصغيرة لتوصيل البضائع. ويعود ذلك إلى نقص البنية التحتية الخاصة بالتزويد بالوقود، والزيادة الهائلة في تكاليف المركبة، وانخفاض كثافة الطاقة في الغاز الطبيعي المضغوط، ما يعني تكرار إعادة التزود بالوقود بكثرة.[29] وتعمل مركبات الغاز الطبيعي المضغوط بمحرك احتراق داخلي (التي تشبه إلى حد ما محركات البنزين والديزل) يعمل بواسطة الغاز الطبيعي المضغوط. وينبع احتمال تخفيض الانبعاثات من انخفاض كثافة ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الغاز الطبيعي بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الوقود الأحفوري. ولكن عمليات إنشاء أنابيب نقل الغاز الطبيعي الممتدة لمسافات طويلة يمكنها ربما أن تقضي على الميزة المتأتية من انخفاض ثاني أكسيد الكربون في الغاز الطبيعي. والفرق الرئيسي الوحيد بين سيارة تعمل بالبنزين وسيارة أخرى تعمل بالغاز الطبيعي هو نظام الوقود. فالغاز الطبيعي يمكن تخزينه على متن سيارة في خزانات مضغوطة ومعزولة. ومعظم السيارات العاملة بالغاز الطبيعي حالياً تستخدم الغاز الطبيعي المضغوط. إلا أن الغاز الطبيعي المضغوط يخضع حالياً للدراسة بصورة متزايدة بسبب فوائد تخزينه.

في الولايات المتحدة، تتراوح التكلفة العادية لتحويل السيارات الخفيفة العاملة بالبنزين إلى سيارات تعمل بالغاز الطبيعي بين 3000 دولار و5000 دولار. وتعتبر تكلفة تحويل السيارات الأكبر، مثل الشاحنات والحافلات المدرسية، أكبر. كما أن تكلفة السيارات المخصصة للعمل بالغاز الطبيعي، تزيد على تكلفة السيارات العاملة بالبنزين بمبلغ يتراوح ما بين 3500 دولار و7000 دولار، ولكن يمكن أن نتوقع من اقتصادات الحجم أن تخفّض السعر. وتقدّر وزارة الطاقة الأمريكية أن السيارات التي تعمل بالغاز والتي يتم إنتاجها بكميات ضخمة سوف تكلّف نحو 800 دولار أكثر من الأنواع العاملة بالبنزين التي تمكن مقارنتها. ومن المهم أن نلاحظ أن تكاليف تحويل السيارات تختلف من بلد إلى آخر، بناءً على عوامل مثل التكنولوجيا المستخدمة، وتكاليف اليد العاملة. على

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

سبيل المثال، في مصر، تقدّر التكلفة الحالية لتحويل سيارة ركاب من سيارة تعمل بالبنزين إلى سيارة تعمل بالغاز الطبيعي بنحو 1500 دولار.[30]

وفي ظل أسعار الغاز الطبيعي المنخفضة بالمقارنة مع البنزين في الولايات المتحدة، وبروز أهمية إنتاج الغاز الصخري في هذا البلد، قد تلعب السيارات العاملة بالغاز الطبيعي (NGVs) دوراً أكبر في قطاع النقل والمواصلات، وبصورة خاصة في مجال الشحن والأساطيل الضخمة من سيارات المدينة. وعلى مدى السنوات الأخيرة، بلغ حجم نمو السيارات العاملة بالغاز الطبيعي حول العالم نحو 25٪ سنوياً، ويتوقع كثيرون مزيداً من الارتفاع الحاد في حصتها من السوق. وربما يكون الاحتمال الرئيسي في المستقبل للشركات المصنعة للشاحنات التي تسافر لمسافات طويلة، هو التحول من الديزل إلى الغاز الطبيعي المسال، على الرغم من أن توافر البنية التحتية الخاصة بالتزود بالوقود يشكل عائقاً رئيسياً يجب التغلب عليه.

في المنطقة العربية، تشكل مصر قدوة في استخدام الغاز الطبيعي المضغوط كوقود لوسائل النقل والمواصلات. وفي عام 1994، تم تشكيل أول شركة لتحويل السيارات من سيارات تعمل بالبنزين إلى سيارات تعمل بالغاز الطبيعي. وحالياً، يوجد 6 شركات عاملة متخصصة بالغاز الطبيعي المضغوط، و119 محطة وقود تقدم الغاز الطبيعي المضغوط، ونحو 110 آلاف سيارات تعمل بالغاز الطبيعي المضغوط في الاستخدام، 75٪ منها سيارات أجرة، موجودة بشكل رئيسي في القاهرة. والعامل الرئيسي لنجاح صناعة السيارات العاملة بالغاز الطبيعي في مصر هو حزمة من الحوافز المالية التي تقدمها الحكومة، بما فيها إعفاء ضريبي مؤقت لمدة خمس سنوات لشركات الغاز الطبيعي المضغوط، وانخفاض رسوم تحويل السيارات المفروضة على أصحابها، وفرق جذاب في السعر بين الغاز الطبيعي المضغوط والبنزين. بالإضافة إلى ذلك، فإن معدات تحويل سيارة عادية تكلّف نحو 1500 دولار. ومالكو السيارات التي تستخدم كميات وقود كبيرة، مثل سيارات الأجرة، يمكنهم استعادة التكلفة التي دفعوها لتحويل السيارة خلال أقل من

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 288/457

سنة. عدا عن ذلك، تنفذ الحكومة حالياً مبادرة تهدف إلى استبدال أسطول سيارات يضم نحو 40 ألف سيارة أجرة قديمة ملوثة للجو بسيارات حديثة تعمل بالغاز الطبيعي المضغوط. كما أن المبادرات الاقتصادية تؤدي دوراً رئيسياً في نجاح هذه المبادرة. فبالإضافة إلى القروض الميسرة، فإن السيارات العاملة بالغاز الطبيعي المضغوط والمجمّعة محلياً معفاة من نحو 55٪ من الرسوم وضرائب الاستهلاك. وفي المقابل، ينبغي لأصحاب سيارات الأجرة المشاركين التخلص من سياراتهم القديمة وشطبها من الخدمة. وسيكون للمشروع تأثيرات كبيرة في جودة الهواء في القاهرة، تلك المدينة الضخمة التي تعاني ارتفاع مستويات تلوث الهواء فيها. وتشهد مصر حالياً عملية إعادة تنظيم باعتبار أن لديها واحداً من البرامج العشرة الأوائل في استخدام الغاز الطبيعي المضغوط تجارياً والتي تعتبر الأكثر نجاحاً على مستوى العالم.[31]

الوقود الحيوي

كانت السيارات تعمل بالوقود الحيوي، قبل أن يصبح النفط هو الوقود المهيمن؛ فقد صمم هنري فورد سيارته الأصلية من طراز T عام 1908 لتعمل على الإيثانول، وشاء رودولف ديزل أن يعمل محركه بالزيت النباتي. وقد اعتبرت أنواع الوقود الحيوي على مدى عقود لاحقة كخيار ربما يكون جاذباً للتغلب على بعض أكبر تحديات انخفاض إمدادات النفط، وارتفاع أسعاره، وتدني جودة الهواء، وتغير المناخ. ويتمتع الوقود الحيوي بالقدرة على تحفيز التنمية الاقتصادية، ولاسيما في المناطق الريفية من الدول النامية، ويمكنه أن يوفر وقوداً رخيصاً، ومتجدداً، ويتم الحصول عليه محلياً، وحيادي الكربون.[32]

الوقود الحيوي الخاص بقطاع النقل يشتمل على الإيثانول، المصنوع أصلاً من الذرة وقصب السكر، والديزل الحيوي، الذي يتم إنتاجه من الزيوت النباتية. ويمنح محصول الذرة أكثر من نصف الإنتاج العالمي من الإيثانول، وقصب السكر أكثر من الثلث. والإنتاج العالمي كله تقريباً حتى هذا التاريخ هو "الجيل الأول" من الوقود الحيوي. وحتى الآن، لم يقترب الجيل الأول من الإيثانول، والديزل الحيوي المنتج من المحاصيل الغذائية،

من حدّ الحلول مكان النفط، وقد شكّلا نحو 2.7٪ من إجمالي الوقود المستخدم عالمياً في قطاع النقل عام 2010. كما استحوذ هذا الوقود الحيوي على حصة أكبر في بعض البلدان (مثلاً، 4٪ في الولايات المتحدة)، و3٪ في الاتحاد الأوروبي، وقدم إسهاماً كبيراً جداً في البرازيل، حيث شكّل الإيثانول المنتج من قصب السكر 41.5٪ من وقود المركبات الخفيفة خلال عام 2010. وكانت الولايات المتحدة المنتج الأكبر للوقود الحيوي، تلتها البرازيل والاتحاد الأوروبي.[33]

لقد وُضعت العديد من السياسات والمعايير في العديد من البلدان خلال السنوات الأخيرة بهدف تعزيز إنتاج واستخدام الوقود الحيوي السائل المستدام، وبشكل أبرز في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة. ويعتبر "الأمر التوجيهي المتعلق بالطاقة المتجددة" لعام 2009، والذي يقضي بالحصول على 10٪ من طاقة النقل والمواصلات من مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2020، هو معيار الاستدامة الإلزامية الأشمل الذي وضع حتى هذا التاريخ. ويقضي الأمر التوجيهي بأن تكون انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن استهلاك الوقود الحيوي خلال دورة الحياة أقل بمقدار 50٪ على الأقل من الانبعاثات المماثلة الناتجة عن البنزين، أو الديزل وذلك بحلول عام 2017 (و35٪ أقل بدءاً من عام 2011). بالإضافة إلى ذلك، يجب عدم حصاد المواد الخام الخاصة بالوقود الحيوي من الأراضي ذات القيمة العالية من حيث التنوع الحيوي، أو من الأراضي الغنية بالكربون، أو الحراجية، أو من الأراضي الرطبة. برغم عدم وجود متطلبات اجتماعية في الأمر التوجيهي، فقد تضمن التزامات بالإبلاغ عن التأثيرات الاجتماعية (على سبيل المثال، الأمن الغذائي، وحقوق الأرض) فيما يخص الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي جميعها. يتطلب معيار الوقود المتجدد (RFS) في الولايات المتحدة، ومعيار الوقود المنخفض الكربون في ولاية كاليفورنيا (LCFS) مستويات محددة من تخفيضات انبعاثات غازات الدفيئة خلال دورة الحياة بالمقارنة مع ما يعادلها من احتراق الوقود الحيوي. كما يتطلب معيار الوقود المتجدد بأن نصف إنتاج الوقود الحيوي على الأقل والمسموح إنتاجه بحلول

عام 2022، ينبغي أن يخفض انبعاثات دورة الحياة بنسبة 50٪. ويعتبر معيار الوقود المنخفض الكربون في ولاية كاليفورنيا معياراً للأداء يدعو إلى تخفيض الانبعاثات بما لا يقل عن 10٪ لكل وحدة من طاقة النقل بحلول عام 2020. ويتناول معيارا كل من الولايات المتحدة وكاليفورنيا حالياً انبعاثات غازات الدفيئة. ولكن كاليفورنيا تخطط لتوسيع سياستها بحيث تتناول قضايا الاستدامة المرتبطة بالوقود الحيوي السائل في المستقبل. كما تبنت البرازيل أيضاً سياسات جديدة للاستدامة في عام 2009 فيما يخص الإيثانول المستخلص من قصب السكر، بما في ذلك تنظيم تقسيم المناطق الخاصة بتوسيع زراعة قصب السكر والبروتوكولات الاجتماعية.[34]

إن القلق بشأن استدامة الوقود الحيوي، والذي يعود أساساً إلى القيود التي تفرضها الأرض والمياه على زراعة الكتلة الحيوية الخاصة بالوقود الحيوي مع التأثيرات السلبية المترتبة على إنتاج الغذاء وأسعاره، استدعى تطوير جيل جديد من الوقود الحيوي، المسمى الوقود الحيوي من "الجيل الثاني". كما يحتمل أن تكون أنواع الوقود الحيوي المستخلص من سليلوز الخشب والذي يتم إنتاجه من الأجزاء الخشبية للنبات مثل قش القمح، وقشور الذرة، وما شابه ذلك، وخاصة تلك المنتجة من المخلفات الزراعية ومخلفات الغابات –مصادر للطاقة أكثر وفرة من المحاصيل الغذائية. ويمكن لإنتاج الوقود الحيوي من سليلوز الخشب بدلاً من المحاصيل الغذائية أن يساعد في تقليل المنافسة مع الإنتاج الغذائي، والحاجة إلى الأراضي والمصادر، التي تنضب بسرعة بفعل الاستخدامات المتنافسة. إلا أن معالجة السليلوز الخشبي مكلفة حالياً، ومقيدة بقيود تكنولوجية، وإن كان هناك الكثير من البحوث للتغلب على هذه المعوقات. وتعتبر الطحالب خياراً آخر يمكن أن يكون أكثر إنتاجية بمقدار 200 ضعف لكل هكتار من المحاصيل التي تعتمد على الأرض، وتخفض الضغوط على استخدام الأرض (مع أنها قد تحول هذه الضغوط إلى أنظمة بيئية أخرى مثل الأراضي الرطبة). وتتمتع هذه العمليات بإمكانية زيادة تنوع وكميات المواد الخام المناسبة، بما فيها المخلفات السليلوزية، والمخلفات الزراعية،

ومخلفات معالجة الأغذية، بالإضافة إلى النباتات السريعة النمو مثل أشجار الحور، والثُّمام العصوي switchgrass. ويمكن زراعة المواد الأولية السليلوزية على أراضي غير صالحة للزراعة، الأمر الذي يمكن أن يزيد إلى حد كبير من توافر الأراضي لإنتاج الغذاء.[35]

يعد الرصيد الصافي من الطاقة أحد الاعتبارات المهمة بخصوص تحديد صافي انبعاثات غازات الدفيئة من استخدام أحد أنواع الوقود الحيوي. فكلما انخفض معدل الرصيد الصافي من الطاقة، زادت كمية الوقود الأحفوري التي تحرق للحصول على الطاقة من الوقود الحيوي، وبالتالي تكون انبعاثات غازات الدفيئة الصافية غير مواتية. وتظهر معظم التحليلات الحديثة ميزة إيجابية من حيث صافي انبعاثات غازات الدفيئة من استخدام الوقود الحيوي السائل، بحيث يتراوح من صغير إلى حد ما بالنسبة إلى نظام إيثانول الذرة، وحتى كبير جداً بالنسبة إلى إنتاج الإيثانول من قصب السكر، أو الديزل الحيوي من زيت النخيل، إذا ما أخذنا في الاعتبار تغييرات استخدام الأرض غير المباشرة. ومع ذلك، هناك تفاوت كبير حتى بالنسبة إلى أي وقود حيوي معين، بسبب الاختلافات في الممارسات الزراعية وفي النقل والمعالجة. على سبيل المثال، تتراوح التقديرات الأخيرة الخاصة بمتوسط صافي وفورات غازات الدفيئة من نظام إيثانول-الذرة من 12٪ إلى 20٪. وهناك اعتبار حاسم بالنسبة إلى معظم تحليلات صافي انبعاثات غازات الدفيئة من الوقود الحيوي، وهو أنها تأخذ في الاعتبار المستوى الحالي فقط من الإنتاج، ولا تعالج آثار تغيير استخدام الأرض التي يمكن أن تصاحب التوسع في استخدام الوقود الحيوي.[36]

يمكن للإيثانول والديزل الحيوي، كما يتم إنتاجها بشكل عادي حالياً، أن تخفض من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون لكل لتر من الوقود بمعدل 20٪ أو 50٪ بالمقارنة مع وقود البنزين أو الديزل، على التوالي، على أساس دورة الحياة "من البئر إلى العجلة". وبصرف النظر عن مرافق إنتاج الوقود، فإنه يمكن أن يكون استثمار البنية التحتية اللازم لدعم استخدام الوقود الحيوي السائل المتقدم، قليلاً نسبياً، لأن هذه الأنواع من الوقود يمكن مزجها مع أنواع الوقود التقليدي، ونقلها في المستقبل باستخدام البنية التحتية

الحالية الخاصة بالوقود.[37] ومع ذلك، فإن الحاجة إلى تعديل وتوسيع البنية التحتية الخاصة بالتوزيع والعمليات اللوجيستية لنقل الوقود الحيوي إلى السوق ستشكل تحدياً كبيراً من حيث التكاليف.

إن معظم المحركات التي صنعت بعد عام 2005 قادرة عموماً على استخدام خليط من الوقد يحتوي على نسبة منخفضة من الوقود الحيوي. إلا أن السيارات الأقدم التي لا تزال تعمل في الكثير من البلدان، لا يمكن أن تتحمل استخدام أنواع الوقود الحيوي بأي مستوى تركيز كان في الوقود. وهذا يعني أن هناك حاجة إلى مواصلة إمدادات أنواع الوقود التقليدية إلى أن تخرج هذه السيارات من الخدمة، أو يتم تعديلها. وبالتالي، يمكن تعديل محركات الاحتراق الداخلي لتعمل بأنواع الوقود البديلة (مثل الإيثانول والميثانول)، التي تخفض انبعاثات أكسيد النيتروجين. وقد جرى تطوير تكنولوجيا جديدة في البرازيل تسمى السيارة المرنة في استخدام الوقود (المحرك المرن)، حيث تقوم السيارة بتحديد نوع الوقود الذي تم ملء خزانها به، وتعمل على ضبط المحرك تلقائياً تبعاً لنوع الوقود.

الإيثانول الحيوي

الإيثانول الحيوي هو الوقود الحيوي الأكثر شيوعاً، حيث يشكل أكثر من 90٪ من إجمالي استخدامات الوقود الحيوي. ويتم إنتاجه من خلال عملية معروفة جداً تعتمد على التحويل الإنزيمي للكتلة الحيوية النشوية إلى سكريات، و/ أو تخمير أنواع السكر السداسي الكربون مع التقطير النهائي للإيثانول للوصول إلى درجة الوقود. ويمكن إنتاج الإيثانول من مواد خام كثيرة، منها محاصيل الحبوب، والذرة، وقصب السكر، والشمندر السكري، والبطاطس، والذرة البيضاء. وأكبر منتجي الإيثانول الحيوي في العالم موجودون في البرازيل (إيثانول قصب السكر)، والولايات المتحدة (إيثانول الذرة). ويستخدم الإيثانول بمزج نسبة منخفضة منه تتراوح بين 5٪ و10٪ مع البنزين (E5, E10)، ولكن أيضاً يتم مزجه بنسبة 85٪ (E-85) في السيارات المرنة في استخدام الوقود. وفي البرازيل، يجب أن يحتوي البنزين على الإيثانول الحيوي بنسبة 22٪ كحد أدنى.[38]

الديزل الحيوي

يعتمد إنتاج وقود الديزل الحيوي على "أسترة" الزيوت والدهون النباتية trans-esterification. وتشمل المواد الخام على بذور اللفت، وبذور عباد الشمس، وبذور الصويا، وبذور زيت النخيل التي يستخرج منها الزيت كيميائياً، أو ميكانيكياً. وأكبر منتج لوقود الديزل الحيوي هي ألمانيا التي تنتج نصف الإنتاج العالمي منه. وغالباً ما يستخدم الديزل الحيوي حالياً في خليط من الوقود يحتوي على 5٪-20٪ (B5, B20) مع الديزل التقليدي، أو حتى أنه يستخدم نقياً لوحده أي بشكل (B100). ويوفر الديزل الحيوي إمكانية المزج التام مع الديزل التقليدي، كما يحمل إمكانية توفير رقم "سيتيني" [أو الرقم السيتاني، وهو رقم قياس لنوعية احتراق وقود الديزل في أثناء احتراق الضغط] مرتفع يمنح احتراقاً جيداً في محركات الإشعال بالضغط، وانبعاثات منخفضة من الكبريت والجسيمات.[39]

تقنيات الاتصالات وقابلية التنقل

إن ثورة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات تغير طريقة حياتنا، وتتولى تنفيذ الكثير من النشاطات البشرية كالعمل، والتسوق، والصيرفة، والتعلم. ويشار إلى ذلك بـ"قابلية التنقل الافتراضي".[40] ومن الملاحظ أن معدل اختراق تكنولوجيات المعلومات والاتصالات المذكورة للسوق هو أكبر بكثير من تكنولوجيات المواصلات. على سبيل المثال، إن معدلات انتشار الهاتف المحمول تزداد أسرع بكثير من وسائل النقل والمواصلات، حيث إن 85٪ من الاشتراكات الجديدة البالغة مليون اشتراك جديد يومياً تأتي من الدول النامية. ففي تنزانيا على سبيل المثال، ارتفعت معدلات امتلاك الهواتف المحمولة من نحو 2000 مشترك تقريباً في عام 1995 إلى 3.8 مليون مشترك في عام 2006 (هاتف محمول واحد لكل عشرة أشخاص). هذا بالمقارنة مع 230 ألف سيارة مسجلة في عام 2006 (سيارة واحدة لكل 170 شخصاً).[41] علاوة على ذلك، هناك إمكانات كبيرة لجيل جديد من تطبيقات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والتي يمكنها خفض التأثيرات البيئية، أو زيادة كفاءة استخدام الطاقة في مجال النقل البري. وتكمن هذه الإجراءات في نهج متكامل يشمل البنى التحتية، والسيارات، والسائقين.[42]

تشكل تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الأساس لأنظمة النقل الذكية (ITS). وتمتلك تكنولوجيات أنظمة النقل الذكية القدرة على تمكين المسافرين، ومشغلي الأساطيل، والسلطات من اتخاذ قرارات أفضل، وأكثر استنارة بخصوص النقل. وتطبق أنظمة النقل الذكية في دعم قابلية التنقل المستدامة من خلال تحسين الاتصالات، وجمع المعلومات وتدفقها بين السيارات والبنية التحتية، من أجل تحقيق حركة مرور للناس والبضائع تكون أكثر سلاسة ومرونة، وسليمة بيئياً ومنخفضة التكاليف. على سبيل المثال، أنظمة إدارة حركة المرور التي تتجنب الازدحام، وتقلل من التأخيرات من شأنها أن تؤدي إلى انخفاض استهلاك الوقود، وتقلل من الانبعاثات الناجمة عن المركبات. وتشمل تكنولوجيات أنظمة النقل الذكية مجموعة واسعة من تكنولوجيات الاتصالات، والمراقبة، والأجهزة الإلكترونية. ومن بين التكنولوجيات الخاصة بتمكين أنظمة النقل الذكية الحساسة هناك الإلكترونيات الدقيقة، وتحديد المواقع بالأقمار الصناعية، وأنظمة المعلومات الجغرافية (GIS)، واتصالات الهواتف المحمولة، وأجهزة الاستشعار. كما أن ذكاء أنظمة النقل الذكية ومرونتها يوفران القدرة على إدارة الشبكات بشتى الأساليب، بحيث إن مراقبة حركة المرور، ونظام الإدارة المتكاملة تولي الاعتبار الواجب للفوائد التي تحققت من خلال تكامل وسائل النقل العام.

من التطبيقات الكثيرة لأنظمة النقل الذكية، هناك إجراءات إدارة حركة المرور؛ مثل: حدود السرعة المتغيرة، والسير على مسارات التوقف الطارئ/ كتف الطريق، ومراقبة الدخول باستخدام الأنظمة الذكية لتنظيم التدفق المروري (Ramp metering). ويمكن تحقيق مراقبة متعددة المعايير لحركة المرور بصورة عملية، من حيث الزمان والمكان في سبيل أهداف مختلفة، وفقاً لمختلف استراتيجيات التشغيل الرفيعة المستوى. في المناطق الحضرية، يمكن لإدارة حركة المرور أن تحاول موازنة التناقض بين توفير الأولوية للنقل العام، أو المشاة، أو السيارات. ويمكن تقديم هذه المعلومات إلى المشغل ومدير حركة المرور لتحسين دعم عملية اتخاذ القرار، وأيضاً إلى العموم من أجل التأثير في اختيار المسار

والواسطة. ويمكن أيضاً لأنظمة النقل الذكية أن تتحكم في دخول السيارات إلى جزء، أو منطقة معينة من مدينة، أو منطقة حضرية. ويشمل هذا الإجراء طرق مراقبة لوحات أرقام السيارات الداخلة، والعابرة، والخارجة من منطقة "خاضعة للمراقبة". ويمكن للإجراء أن يتناول أغراض السياسة مثل التخفيف من الازدحام و/ أو الانبعاثات. كما أن سياسة تخفيف الانبعاثات في منطقة محظورة لا تشمل فرض أي رسوم على السيارات الأصغر حجماً والأنظف، وتفرض غرامات كبيرة على السيارات التي تنتج انبعاثات أكبر.

ومن التطبيقات القيّمة الأخرى لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات المستخدمة في السيارات، نظام مراقبة ضغط الإطارات (TPMS)، الذي ينبه السائق عندما يكون ضغط الإطارات أقل من الضغط المثالي لها. إضافة إلى ذلك، يعمل نظام التحكم الأوتوماتيكي بالسرعة على الحفاظ على السرعة المختارة للسيارة، ما يحسن كفاءة استهلاكها للوقود، كما تزود الخرائط الرقمية السائق بالمعلومات الإضافية للمساعدة في اختيار السرعة، والطرقات، وتجنب الازدحام المروري.

وتسمح أنظمة الاتصال بين المركبات للمركبة بأن تأخذ في الحسبان حركات السيارات الأخرى الموجودة أمامها بمسافة طويلة في حركة المرور، وبالتالي تقلل الحاجة إلى تغيير السرعة. كما أن التواصل بين المركبات والبنية التحتية يمكن أن ينقل بيانات السائقين وبيانات مراقبة السيارات إلى مركز خدمة، أو إلى الإنترنت، حيث يمكن للسائق مقارنة أدائه مع مرور الوقت، وأيضاً بالمقارنة مع نظرائه.

علاوة على ذلك، عززت تكنولوجيا المعلومات والاتصالات تطوير مفهوم "الشحنات الذكية" الحديث. فالغرض من الشحنات الذكية هو توفير قدرة كبيرة وواسعة النطاق على مراقبة، وتتبع، ومناولة البضائع المنقولة بشكل سليم وفقاً لمستوى تفاصيل البضاعة المطلوبة، بدءاً بالشحنات الكاملة، وحتى الطرود، أو الأشياء الشخصية. ويتيح هذا المفهوم زيادة كفاءة شبكات المواصلات، من خلال تحسين عملية التزامن بين

المستخدمين اللوجيستيين، والمشغلين، والسلطات الرقابية. كما يخفف من التأثيرات في المجتمعات المحلية من حيث الازدحام المروري والتلوث.

التأثيرات في سوق النفط

كما ناقشنا سابقاً، سيكون الطلب المتنامي على النقل والمواصلات في البلدان النامية هو السبب الرئيسي لنمو الطلب العالمي على النفط مستقبلاً، وهو ما يمثل نحو 90٪ من الزيادة على مدى الفترة الممتدة حتى عام 2035. وفي الدول المتقدمة، سيخضع انخفاض الطلب على النفط لهيمنة انخفاض الطلب في النقل البري بسبب التحسينات التي دخلت على اقتصاد السيارات في استهلاك الوقود، وتشبع السوق بملكية السيارات. والميزة الرئيسية هي إمكانية نمو سيارات الركاب والمركبات التجارية. ومع أن مفهوم التشبع هام لملكية سيارات الركاب، على الأقل في مستويات السكان ذوي الدخل الأعلى، فإن طبيعة ووتيرة النمو الاقتصادي والتجارة هي الأكثر ملاءمة لتوسيع مخزون المركبات التجارية. فقد ارتفعت نسبة المركبات الموجودة في البلدان النامية من 6٪ في عام 1970 إلى 24٪ في عام 1990، ويقدر أن تنمو إلى 52٪ من جميع السيارات الموجودة حول العالم في عام 2035. ومن جانب آخر، فإن الإشباع من ملكية السيارات واضح فعلياً في البلدان المتقدمة. على سبيل المثال، ارتفعت ملكية السيارات في الولايات المتحدة بسرعة من أقل من 500 سيارة لكل 1000 نسمة في مطلع السبعينيات من القرن العشرين إلى 797 سيارة لكل 1000 نسمة خلال الفترة الممتدة من عام 2004 إلى عام 2012.[43]

ويبين الجدول (7–2) توقعات عدد المركبات التجارية في السيناريو المرجعي ضمن توقعات النفط العالمية لعام 2012 الصادرة عن منظمة البلدان المصدرة للنفط "أوبك". من المتوقع أن يبلغ عدد المركبات التجارية العاملة على الطرقات نحو 480 مليون مركبة تجارية بحلول عام 2035. ويدل هذا على متوسط زيادة سنوية قدرها 3.8٪ عن عام 2009. ومن المقدر أن تحقق الهند أعلى معدل نمو قدره 9.1٪ سنوياً بالمقارنة مع المعدل العالمي البالغ 3.8٪.

الجدول (7-2)

المركبات التجارية في السيناريو المرجعي (مليون)

المنطقة	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2035	النمو السنوي
البلدان الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	96	101	108	118	129	140	151	1.7
البلدان غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	79	90	119	155	198	251	316	5.5
الهند	8	10	15	23	34	50	72	9.1
الصين	16	17	23	31	40	50	62	5.3
العالم	184	201	237	284	339	403	481	3.8

المصدر:

Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), World Oil Outlook (Vienna, Austria: OPEC Secretariat, 2012).

سيتم تحديد مستقبل نمط الطلب على النفط في قطاع النقـل البري في المقـام الأول -بالإضافة إلى الأعداد الفعلية المتوقعة من السيارات- عن طريق كميات النفط المستهلكة وسطياً عبر أسطول السيارات والمركبات التجارية. وهذا بدوره يتحدد عن طريق مستوى تنقلات الناس والبضائع، وكفاءة أسطول المركبات العاملة بمحركات الاحتراق الداخلي، ووتيرة التنمية وانتشار تكنولوجيات السيارات الجديدة، بما فيها المحركات البديلة العاملة بالوقود. أما فيما يتعلق بكفاءة السيارات العاملة بمحركات احتراق داخلي، فسوف يتم تحديدها عن طريق:

- كفاءات السيارات الجديدة، التي تتأثر بعوامل متعددة وتحديداً: السياسات، والتطورات التكنولوجية، والخيارات المفضلة للمستهلكين.
- سياسات الحكومة، ولاسيما السياسات المناخية التي تهدف إلى الحد من انبعاثات غازات الدفيئة.

- معدل استبدال السيارات القديمة بسيارات أكثر كفاءة.
- المزج بين البنزين والديزل.
- النطاق المحدود لتحسينات الكفاءة في السيارات التجارية.

على الرغم من هذه الاحتمالات، فسوف تبقى السيارة العاملة بمحرك الاحتراق الداخلي هي الوسيلة الرئيسية للنقل البري في المستقبل المنظور، ونظراً إلى حساسية الطلب على النفط في قطاع النقل بالنسبة إلى قائمة طويلة من المحددات، فإن شكوكاً كبيرة جداً ترتبط بشكل اعتيادي بالتوقعات الكمية للطلب على النفط. وتشمل الشكوك العوامل المتصلة بتكنولوجيا تحسين كفاءة الوقود المستهلك في السيارات، وتقليص حجم السيارات ووزنها، ونشر المركبات البديلة، ومصادر الطاقة النظيفة. وتظهر الدراسات أن هذه الشكوك لها تأثير كبير في استخدام وقود الأسطول وانبعاثات غازات الدفيئة، ويجب أخذها في الحسبان، نظراً إلى الشك القوي في تطور التكنولوجيا، وسلوك السوق. وتتطلب التأثيرات الكمية لهذا الشك في توقعات النفط العالمية مزيداً من التحليل.[44]

يبين الجدول (7-3) توقعات الطلب في قطاع النقل البري كما هي في توقعات النفط العالمية الصادرة عن منظمة "أوبك".[45] فمعظم الزيادة في الطلب العالمي على النفط لقطاع النقل بحلول عام 2035 (نحو 9 ملايين برميل من المكافئات النفطية/ اليوم) ستعزى إلى الدول النامية. كما أن طلب البلدان الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" سيزداد من 21.2 مليون برميل من المكافئات النفطية في اليوم في عام 2010 إلى 16.4 مليون برميل من المكافئات النفطية في اليوم عام 2035. وفي عام 2009، استهلكت الدول النامية مجتمعةً طاقة في قطاع النقل أقل بمقدار 45٪ مما استهلكت البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. وفي عام 2035، سوف يزداد استهلاك البلدان النامية من الطاقة في قطاع النقل، بحيث يتجاوز استهلاك البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، بمعدل 49٪.

الجدول (7-3)

الطلب على النفط في قطاع النقل البري (مليون برميل من المكافئات النفطية في اليوم)

المنطقة	2009	2010	2020	2035	النمو (2009–2035)
البلدان الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	20.9	21.2	19.7	16.4	-4.4
الهند	0.9	0.9	1.9	4.8	4
الصين	2.5	2.5	4.6	5.8	3.4
الدول النامية	11.4	12.2	18.1	24.5	13.1
العالم (النقل)	33.9	35.0	39.8	43.0	9.1
العالم (الطلب الإجمالي)	.....	86.8	97.8	109.7	.....

المصدر: OPEC, World Oil Outlook, 2011, op. cit.

يستكشف تقرير توقعات النفط العالمية لعام 2011 سيناريو "سياسة وتكنولوجيا النقل المتسارعة" (ATTP)، التي تفترض تحسينات كفاءة أعلى لمحركات الاحتراق الداخلي؛ وهي تعتبر نقلة متسارعة نحو السيارات الهجينة، والسيارات الكهربائية؛ أي مزيد من الدعم القوي لأنواع الوقود البديل مثل تحويل الفحم إلى وقود سائل (CTL)، وتحويل الكتلة الحيوية إلى وقود سائل (BTL)، وتحويل الغازات إلى سوائل (GTL)؛ ونقلة سريعة نحو مزيد من كفاءة الوقود في المركبات التجارية. وبناء على هذه الافتراضات، من المتوقع حدوث تحسن إضافي بمعدل 0.5٪ سنوياً في متوسط استخدام الوقود في كل سيارة. ولكن السيناريو ذاته يقول إن زيادة الكفاءة ستؤدي إلى خفض تكاليف السفر، وبالتالي احتمال حدوث نوع من "تأثير الانتعاش" على شكل زيادة في نشاط النقل والمواصلات. وفي هذا السيناريو، سيتم تخفيض الاستخدام العالمي للنفط بمقدار يزيد على 7 ملايين برميل يومياً، وذلك بحلول عام 2035، بالمقارنة مع الحالة المرجعية، التي تصل فيها أحجام الاستهلاك إلى نحو 102 مليون برميل يومياً. وستكون

إمدادات النفط من غير الدول الأعضاء في "أوبك" أعلى بمقدار 3 ملايين برميل يومياً بحلول عام 2035، بالمقارنة مع الحالة المرجعية. وكما يقول بريناند:

وفي هذا السيناريو من الصعب أن يكون هناك أي مجال لإمدادات النفط الخام من دول "أوبك" في المستقبل. وفي الواقع، بحلول عام 2035، سيكون النفط الخام اللازم من دول منظمة "أوبك" أقل من مستوياته الحالية. وهذا يؤكد الفكرة القائلة إن متطلبات استثمارات دول "أوبك" في التنقيب والاستخراج والإنتاج هي مثار شكوك كبيرة.[46]

ويوثق الجدول (7-4) تأثيرات سيناريو "سياسة وتكنولوجيا النقل المتسارعة" على الطلب على النفط. وينتهي السيناريو بتخفيض الاستهلاك العالمي للنفط بالمقارنة مع الحالة المرجعية بمقدار 7.4 مليون برميل يومياً بحلول عام 2035، عندما وصلت الأحجام إلى ما يزيد على 3.102 مليون برميل يومياً.

الجدول (7-4)

الطلب على النفط في سيناريو "سياسة وتكنولوجيا النقل المتسارعة"

(مليون برميل من المكافئات النفطية/ اليوم)

المناطق	2015	2020	2025	2035
البلدان الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	45.7	44.3	42.7	39.3
الدول النامية	41.3	46.1	50.2	75.6
العالم	92	95.6	98.2	102.3

المصدر:

Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), World Oil Outlook (Vienna, Austria: OPEC Secretariat, 2011).

استنتاجات

خلال السنوات الخمس والعشرين المقبلة، سيزداد الطلب على أنواع الوقود السائل في قطاع النقل والمواصلات بسرعة أكبر من أي قطاعات استهلاكية أخرى، وسيكون معظم النمو المتوقع بين الدول النامية، بقيادة الصين والهند. ويبقى الاستهلاك بين الدول المتقدمة الأعضاء في "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية" ثابتاً نسبياً، أو في انخفاض.[47] ويعزى هذا أساساً إلى النمو الاقتصادي المستدام، ومعدل النمو السكاني الخاص بتلك البلدان، وأسعار الوقود المدعومة بقوة، وهي عوامل من غير المرجح أن تلغى كلياً في بعض الدول على المدى المتوسط. كما أن انتشار تكنولوجيات النقل والمواصلات والوقود البديل في الأسواق من شأنه أن يخفض الطلب العالمي على النفط بمعدل 7 ملايين برميل يومياً بحلول عام 2035 بالمقارنة مع الحالة المرجعية.

تعتبر نسبة امتلاك السيارات حول العالم -التي يتوقع أن تنمو بسرعة، ولاسيما في الدول النامية- عاملاً رئيسياً آخر في زيادة استهلاك الوقود في قطاع النقل والمواصلات. وفي الدول الصناعية، يشهد معدل نمو ملكية السيارات لكل فرد تباطؤاً بسبب قرب وصول تلك البلدان إلى مستويات الإشباع والاكتفاء. في عام 2030، سيكون هناك 1.2 مليار سيارة خفيفة تسير على الطرقات، أي بزيادة قدرها 400 مليون عما هو العدد عليه اليوم. ولكن مع تحسن اقتصاد السيارات في استهلاك الوقود، فإن الطلب العالمي على السيارات الخفيفة سيصل إلى مرحلة الثبات، ثم ينخفض قليلاً بحلول عام 2030.

قد تبدأ تكنولوجيات النقل المتقدمة بتحدي هيمنة النفط في قطاع النقل والمواصلات. ونتيجة لذلك، فإن التوجهات المستقبلية للطلب في قطاع النقل ستتأثر بسياسات الحكومة الموجهة نحو خفض الانبعاثات والازدحام، بينما تشجع أنواع الوقود البديلة، وتكنولوجيات السيارات الجديدة، والنقل الجماعي. ويمكن لقوى السوق والسياسات الحكومية أن تقود عملية تطوير تكنولوجيات السيارات العالية الكفاءة، بما فيها السيارات الهجينة، والسيارات الكهربائية، والسيارات العاملة بالكهرباء وخلايا

الوقود. وتعتبر هذه التكنولوجيات واعدة، مع إمكانية تغيير الطلب المستقبلي على أنواع الوقود المستخدم في النقل والمواصلات، وخفض الانبعاثات، وتحسين أمن الطاقة، وتقديم وفورات كبيرة في الطاقة. فالانتشار الواسع النطاق لتكنولوجيات السيارات البديلة، مصحوباً باتساع البنية التحتية للنقل الجماعي، يمكن أن يشكل خياراً جاذباً لتنمية قطاع النقل والمواصلات على المدى الطويل في الكثير من البلدان النامية.

تحقق تكنولوجيات النقل والمواصلات تقدماً على جبهات كثيرة باتجاه خفض انبعاثات الغازات الملوثة للهواء وغازات الدفيئة. وتشمل هذه التكنولوجيات على سبيل المثال: السيارات التي تعمل بالكهرباء، والمحركات الكهربائية الهجينة، وخلايا الوقود، والحافلات والسيارات التجارية التي تعمل بالغاز الطبيعي المضغوط، واستخدام أنواع الوقود البديل المشتقة من مصادر الكتلة الحيوية المتعددة، والتحسينات المستمرة في مجال كفاءة الوقود والانبعاثات الناجمة عن السيارات النموذجية العاملة بالبنزين والديزل. وتحقق كل هذه الابتكارات التكنولوجية العديدة نجاحات في دخول الأسواق التجارية بمعدلات متفاوتة. كما يمكن تشجيع انتشارها المستمر في الأسواق من خلال الحوافز الاقتصادية المناسبة، والجهود المستمرة في البحث، والتطوير، والاستخدام.

من المتوقع أن يستمر دور تكنولوجيا آلية الدفع والحركة التقليدية كمصدر للمكاسب التي تتحقق في مجال الكفاءة بشكل دائم في المستقبل. وستكون تأثيرات هذه التكنولوجيا في الشاحنات أقل من تأثيراتها في سيارات الركاب، بسبب انخفاض مستويات التهجين، ومحدودية فرص المكونات الإضافية، والعوائق التي تواجه التحسينات في تكنولوجيا محركات الديزل العامة. كما أن السيارات الهجينة والكهربائية ستبدأ بالتأثير في مزيج مبيعات السيارات. ولكن التكنولوجيا والبنية التحتية لا تزالان في بدايتها، وسوف تحتاج عادات المستهلكين وقتاً كي تتغيرا. ومن بين جميع التكنولوجيات البارزة، سوف تؤدي السيارات الكهربائية كلياً دوراً رئيسياً في المستقبل، حيث ستبدأ باختراق الأسواق خلال الـ 10 – 20 سنةً المقبلة. والعوائق الرئيسية التي يجب التغلب

عليها هي أسعار البطاريات، وقصر المسافات التي تقطعها، واستغراقها زمناً طويلاً في شحن البطارية، وقلة محطات شحن البطاريات. وقد تبرز هذه التكنولوجيا كبديل عن محركات الاحتراق الداخلي لاستخدامات مُحددة، مثل قيادة السيارة لمسافات قصيرة. كما أن الدور المستقبلي المحتمل للغاز الطبيعي في قطاع النقل والمواصلات يحظى باهتمام متزايد، ولاسيما في الولايات المتحدة، بسبب التطورات الأخيرة في مجال الغاز الصخري. وربما ستبقى البدائل الأخرى، كخلايا الوقود، عديمة الأهمية خلال الفترة الممتدة حتى عام 2035.

القسم الثالث

الآفاق التكنولوجية للطاقتين: النووية والمتجددة

الفصل الثامن

آفاق تقدم تكنولوجيا الطاقة المتجددة في قطاع الكهرباء

نوال الحوسني، وستيفن جريفيث، ودولف جيلين*

في عام 2010، وفّرت الطاقة المتجددة ما يقرب من 17٪ من إجمالي الاستهلاك العالمي من الطاقة. وجاء ما يقرب من 8٪ من هذا المجموع من مصادر حديثة للطاقة المتجددة،[1] بما في ذلك الطاقة المائية، وطاقة الرياح، والطاقة الشمسية، والطاقة الحرارية الأرضية، والوقود الحيوي، والكتلة الحيوية الحديثة.[2] وفي قطاع الطاقة، وفرت الموارد المتجددة ما يقرب من 20٪ من الكهرباء في العالم، بما في ذلك 15٪ تم توليدها باستخدام الطاقة المائية. وقد أثبتت بلدان مثل البرازيل وأيسلندا أنه من الممكن تشغيل أنظمة الطاقة بالاعتماد بشكل رئيسي على الطاقة المتجددة. كما أثبتت ألمانيا جدوى التحول في نظام الطاقة إلى الموارد المتجددة عبر زيادة حصتها من إنتاج الطاقة المتجددة إلى ما يقرب من 20٪ خلال عقدين من الزمن.[3]

هناك نمو سريع في حصة الطاقة المتجددة من إجمالي الاستهلاك العالمي من الطاقة. وقد جاء أكثر من نصف الزيادة في الطاقة السنوية لتوليد الكهرباء من الموارد المتجددة؛ ما أدى إلى مضاعفة حصة هذه الموارد بالمقارنة مع ما كانت عليه قبل عقد من الزمن.[4] ففي عام 2011، وفرت طاقة الرياح 41 جيجاواط، والطاقة المائية 30 جيجاواط، والطاقة

* د. ستيفن جريفيث؛ مدير تنفيذي للمبادرات في معهد مصدر للعلوم والتكنولوجيا في أبوظبي. ود. دولف جيلين؛ مدير مركز الابتكار والتكنولوجيا في الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (آيرينا). ويشكر المؤلفون الوكالة الدولية للطاقة المتجددة على تزويدهم بالبيانات المتعلقة بالتكاليف الحالية والاتجاهات المستقبلية المتوقعة في المدى القصير من مجموعة واسعة من المراجع، مثل اتحادات الصناعة والتقارير الفنية، وبيانات المزادات وشركات تطوير المشروعات ودراسات الأسواق. هذا الدعم سيقلل من الشكوك القائمة في ما يتعلق بتقديرات تكلفة التقنيات وأدائها، ويسمح للحكومات والجهات التنظيمية باعتماد سياسات أكثر طموحاً والتشجيع على استخدام تقنيات الطاقة المتجددة.

الشمسية الكهروضوئية 28 جيجاواط، وموارد الطاقة المتجددة الأخرى نحو خمسة جيجاواط، وذلك من أصل أقل من 200 جيجاواط هي مجموع الزيادة في طاقة التوليد السنوية. هذه الحقائق تشير إلى الأهمية المتزايدة للموارد المتجددة بوصفها مصدراً أساسياً لتوليد الكهرباء. ولكن التحول في مزيج الطاقة يستغرق عقوداً، كما كانت حال التحولات السابقة في مجال الطاقة.[5]

وتشمل العوامل التي تدفع البلدان إلى اعتماد الطاقة المتجددة: انخفاض تكلفة هذه التقنية، وبحث الحكومات عن حلول للحصول على الطاقة، وضمان أمن الطاقة، فضلاً عن تقليل البصمة البيئية. ومثلما تتنوع أولويات الحكومات، تتنوع الأدوار الحالية والمتوقعة للموارد المتجددة. وقد دعت الأمم المتحدة إلى مضاعفة الحصة العالمية لمصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. وهناك أكثر من 100 دولة وضعت لنفسها هدفاً لنسبة الطاقة التي تحصل عليها من مصادر الطاقة المتجددة. كما أطلقت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (آيرينا)، بناء على طلب عدد من الدول الأعضاء فيها، عملية خريطة طريق تحت اسم "REMAP2030"، تهدف إلى وضع استراتيجيات لكيفية تحقيق الهدف المحدد لمصادر الطاقة المتجددة، في مختلف البلدان والقطاعات.[6]

ليس هناك حل واحد يناسب الجميع في مجال الطاقة المتجددة. وعلى كل بلد أن يضع في الحسبان موارده واحتياجاته. فتكلفة الطاقة المتجددة وفعاليتها تختلف بشكل كبير تبعاً لنوع التقنية المستخدمة، ونوعية المورد المتجدد، وتكلفة الخيارات البديلة، وتكلفة التمويل، ونظام الضريبة، أو الدعم المطبق على مصادر الطاقة المتجددة، والوقود الأحفوري. وقد حدث انخفاض كبير في تكلفة بعض التقنيات، ولاسيما تقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تراجعت تكلفتها بشكل ملحوظ في السنوات الأخيرة. وبالتالي، من المهم أن ينظر واضعو السياسات في أحدث بيانات التكلفة عند وضع سياساتهم.

يمكن استخدام الموارد المتجددة لتوليد الكهرباء بتكلفة أقل من تكلفة توليدها باستخدام المشتقات النفطية (فيما عدا الحالات التي يكون فيها سعر النفط مدعوماً بشكل كبير). وتتميز أنظمة توليد الطاقة المتجددة بسهولة تركيب مكوناتها، ما يجعل من الموارد المتجددة خياراً جذاباً لمراكز الطلب الصغيرة التي تستدعي إنشاء محطات ضخمة تعمل على الوقود الأحفوري والطاقة النووية. ومع ذلك، فقد أصبحت محطات التوليد الكبيرة التي تعتمد على طاقة المياه وطاقة الرياح قادرة على المنافسة اليوم في كثير من الأماكن. وبالمثل، أصبحت الطاقة الشمسية الكهروضوئية خياراً منافساً للحصول على الكهرباء من الشبكة (استجرار الكهرباء) في أجزاء عدة من أوروبا.

وهناك تقنيات أخرى مثل الطاقة الشمسية المركزة وطاقة المحيطات، ولكنها ما زالت جديدة، ومن المتوقع أن تنخفض تكاليفها. أما بالنسبة إلى تقنيات الكتلة الحيوية، فإن سعر المواد الأولية يشكل الجزء الأكبر من التكلفة، والمواد الأولية تخضع لعوامل الأسعار وتوافر المواد، وهي أمور يصعب التنبؤ بها. ومع ذلك، فقد تنشأ فرص للاستفادة من تقنية الكتلة الحيوية، ولاسيما في الحالات التي يمكن الاستفادة فيها من الكتلة الحيوية المتبقية من عمليات أخرى.

ومع زيادة حصة الموارد المتجددة في توليد الطاقة، تظهر قضايا جديدة تتعلق بالشبكات وتخزين الكهرباء. فالتخزين يتسم بأهمية خاصة في حالة الموارد المتجددة ذات الطبيعة المتغيرة؛ مثل طاقة الرياح؛ والطاقة الشمسية الكهروضوئية. بيد أن تخزين الطاقة أمر مكلف، باستثناء ضخ المياه إلى أحواض تخزين مرتفعة لاستخدامها في توليد الكهرباء لاحقاً، وهو أمر غير متاح في كل مكان. وهناك حلول تخزين جديدة قيد الدراسة، مثل بطاريات تخزين الكهرباء وتخزين الهواء المضغوط في درجة حرارة ثابتة، وهي توفر إمكانية تخزين واسع النطاق بتكلفة أقل في المستقبل.[7] كما أن تكلفة بطاريات "الليثيوم-أيون" وبطاريات "الصوديوم-الكبريت" المستخدمة في النقل وتخزين الكهرباء على نطاق واسع تتجه نحو الانخفاض، ولكن ما زالت الحاجة ماسة إلى أن تنخفض أكثر. وهناك استراتيجيات أخرى متنوعة لمعالجة التقطع والتغير في إنتاج الطاقة من مصادر الطاقة

المتجددة، ولكن التكاليف تزداد بشكل عام مع زيادة حصة الموارد المتجددة في نظام توليد الكهرباء.

برغم أن هذه الورقة تركز بشكل رئيسي على توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة، فإن هذا ليس إلا جزءاً من القصة، والجزء الذي يُغفل غالباً هو أن مجموعة متنوعة من القطاعات، أهمها النقل والصناعة والمباني، ما زالت تعتمد بشكل كبير على الكهرباء المولدة باستخدام الوقود الأحفوري. ويمكن للطاقة المتجددة أن تلعب دوراً مهماً في هذه القطاعات، ولكن مستوى البداية متواضع بشكل عام.

وفي قطاع النقل، لا يمثل الوقود الحيوي في الوقت الحاضر سوى نحو 3٪ من استهلاك الوقود في النقل البري،[8] والجزء الأكبر من هذا الوقود (نحو 90٪) هو إيثانول مستخرج من قصب السكر والحبوب. أما النسبة المتبقية فهي وقود ديزل حيوي من الزيوت النباتية. وقد بدأ يظهر جيل ثانٍ من الوقود الحيوي من الأشجار والمخلفات الخشبية. وقد بدأت بضع محطات تجريبية بالعمل، ولكن حصة إيثانول الجيل الثاني ما زالت نحو 0.1٪ فقط من إجمالي إنتاج الإيثانول. ولذلك، هناك حاجة إلى خفض تكاليف الوقود الحيوي من الجيل الثاني بشكل أكبر إذا أُريد له أن يمثل مساهمة مفيدة في الوقود المستخدم في قطاع النقل حول العالم. كما تجب دراسة ومتابعة خيارات أخرى أقل شيوعاً من الوقود الحيوي، مثل الغاز الحيوي. فمن أصل 900 محطة للتزود بالغاز الطبيعي المضغوط في ألمانيا، هناك 230 محطة تستخدم الغاز الحيوي، كما أن 10٪ من إجمالي الغاز الطبيعي المضغوط يعود في منشئه إلى الكتلة الحيوية.

وينظر الكثيرون إلى السيارات الكهربائية باعتبارها عنصراً أساسياً في تحقيق النقل المستدام. وهناك دول مثل الدنمارك تدرس استخدام السيارات الكهربائية لتكملة الحصص المتزايدة لمختلف أشكال مصادر الطاقة المتجددة. وفي النرويج، بلغت نسبة السيارات الكهربائية 5٪ من مجموع السيارات المبيعة. ومع ذلك، هناك حاجة إلى المزيد من

العمل لخفض التكاليف وزيادة الأداء. فخلال الفترة من يناير إلى يوليو 2012، بلغ عدد سيارات شيفروليه فولت الكهربائية الهجينة المبيعة في الولايات المتحدة ما يزيد قليلاً على 10 آلاف سيارة، وهو أقل من نصف الرقم المستهدف. وهذا برغم أن هذه السيارة الهجينة مزودة بمحركين، أحدهما محرك كهربائي والآخر محرك احتراق عادي. وهناك أيضاً زيادة في مبيعات السيارات الكهربائية التي تعمل بالبطارية فقط، مثل نيسان ليف، ولكن ثمة عقبات في وجه انتشارها بسبب المخاوف المتعلقة بتوافر البنية التحتية اللازمة لشحن البطارية وجدوى السفر لمسافات طويلة بالاعتماد على طاقة البطارية وحدها. وفي نهاية المطاف فإن التحول إلى السيارات الكهربائية في قطاع النقل سيستغرق عقوداً.

في حين يتركز قدر كبير من الاهتمام على سيارات الركاب، فنحن بحاجة أيضاً إلى حلول للمركبات الثقيلة التي تمثل النصف الآخر من الطلب على الطاقة على الطرقات. كما أن الوقود المستخدم في قطاعي الطيران والنقل البحري يمثل حصة تزداد بسرعة من إجمالي الطاقة المستخدمة في قطاع النقل، وليس له حتى الآن سوى القليل من البدائل المجدية من مصادر الطاقة المتجددة باستثناء الوقود الحيوي. ويمكن لمنظومة من الحلول، مثل السفر بواسطة القطارات عالية السرعة بدلاً من الرحلات الجوية القصيرة، المساعدة في التحول إلى الطاقة المتجددة، ولكنها تتطلب تخطيطاً ذا أفق بعيد.

تمثل المدن ثلثي استخدام الطاقة في العالم، وهي تشكل تحدياً خاصاً في وجه اعتماد الطاقة المتجددة بسبب ضيق المساحة المتوافرة. ومع ذلك، فإن ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركبة على سطوح المباني وأنظمة التدفئة والتبريد المركزية يمكن أن توفر كميات كبيرة من الطاقة غير الأحفورية. بيد أن الأهم من ذلك هو إعطاء الأولوية للكفاءة في استخدام الطاقة والتركيز على الاستغلال الكامل لخيارات الكفاءة المجدية أكثر من التركيز على مصدر الطاقة.

وثمة اعتبار أخير ولكنه مهم؛ وهو توافر الطاقة الحديثة لجميع سكان العالم. فالكتلة الحيوية التقليدية تمثل قرابة 8٪ من مجموع الطاقة الأولية المستخدمة، وهناك 1.3 مليار

نسمة لا يحصلون على الكهرباء.[9] وفي المناطق الريفية يمكن للموارد المتجددة الحديثة أن تلعب دوراً رئيسياً في توفير الطاقة بتكلفة مقبولة. وهذا يشمل، على سبيل المثال، الوقود الحيوي السائل والغاز الحيوي كبدائل لاستخدام الخشب كوقود للطهي. وفي المناطق الحضرية التي فيها سوق تجاري، هناك حوافز لهذا التحول. أما في المناطق الريفية التي توجد فيها كتلة حيوية وفيرة، فيجب تقديم مبررات بديلة غير اقتصادية. وقد أسهمت حلول الطاقة المتجددة التي تُغني عن استجرار الكهرباء من الشبكة، أو تنشئ شبكات مصغرة، إلى جانب هبوط أسعار التجهيزات التي تستخدم الطاقة بكفاءة مثل مصابيح الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LED)، في تمهيد الطريق للتحول إلى استخدام الكهرباء بالاعتماد على الموارد المتجددة.

باختصار، تمثل الموارد المتجددة حصة متزايدة من مزيج الطاقة اليوم. ومن المتوقع أن تنمو هذه الحصة أكثر، ولكن تحولها إلى لعب دور أساسي في مزيج الطاقة العالمي قد يستغرق عقوداً. وستلعب التقنية والابتكار دوراً رئيسياً في تسريع استخدام الموارد المتجددة، وهناك فرص كبيرة لهذه الموارد في قطاع الكهرباء تحديداً.

نظرة عامة على تقنيات وتكاليف توليد الطاقة باستخدام الموارد المتجددة

ستلعب الطاقة المتجددة دوراً رئيسياً في التحول إلى قطاع كهرباء مستدامة فعلاً. ففي الماضي، كان هناك عدد من العقبات التي تعوق انتشار تقنيات الطاقة المتجددة، من بينها التكلفة الأولية العالية. إلا أن تكلفة تقنيات الطاقة المتجددة تزداد تنافسية اليوم، بل إن تقنيات توليد الطاقة المتجددة أصبحت الآن الخيار الأرخص للحصول على الكهرباء من خارج الشبكة في العديد من المناطق، والخيار الأمثل لتزويد الشبكة المركزية وتوسيعها في المواقع ذات الموارد الجيدة.

في نهاية عام 2011، كانت طاقة توليد الكهرباء من الموارد المتجددة تمثل أكثر من 25٪ من إجمالي طاقة توليد الكهرباء العالمية.[10] وقد شملت الطاقة الإضافية الجديدة في ذلك العام 41 جيجاواط من طاقة الرياح، و28 جيجاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية،

و25 جيجاواط من الطاقة المائية، و6 جيجاواط من الكتلة الحيوية، و0.5 جيجاواط من الطاقة الشمسية المركزة، و0.1 جيجاواط من الطاقة الحرارية الأرضية.

لقد كان للانتشار السريع لتقنيات الطاقة المتجددة تأثير كبير في التكلفة، بسبب ارتفاع معدل "التعلم" (المعروف أيضاً بمعدل "تراكم الخبرة" و/ أو "التعلم بالممارسة") في حالة الموارد المتجددة، خاصة طاقة الرياح والطاقة الشمسية. فمثلاً، كلما تضاعفت طاقة وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركبة، انخفضت تكلفة الوحدة الواحدة بنسبة تصل إلى 22٪.[11] ونتيجة لذلك، انخفضت تكلفة وحدة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المصنوعة من السيليكون البلوري بنسبة تتجاوز 60٪ على مدى العامين الماضيين إلى ما دون 1.0 دولار/ واط. كما أن اتساع حجم الأسواق العالمية للطاقة المتجددة، وتنوع الموردين أديا إلى زيادة التنافسية في تلك الأسواق.

تلخص الأقسام التالية من هذه الورقة النتائج الرئيسية لخمس دراسات حول تكلفة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، وطاقة الرياح، والطاقة المائية، وطاقة الكتلة الحيوية؛ أصدرتها الوكالة الدولية للطاقة المتجددة في عام 2012.[12] كما ستلقي نظرة عامة على الموارد المتجددة الرئيسية المستخدمة في توليد الكهرباء حول العالم، ويتلو ذلك مناقشة تفصيلية للموارد المتجددة الأكثر ملاءمة لتوليد الكهرباء في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. والمعلومات المقدمة في هذه الورقة تعكس -ما لم يُشر إلى خلاف ذلك- أحدث البيانات الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة المتجددة فيما يتعلق بتكلفة تقنيات الطاقة المتجددة وأدائها.

تكاليف توليد الطاقة المتجددة

يمكن قياس تكاليف توليد الطاقة بعدد من الطرق المختلفة، بما في ذلك تكاليف المعدات، وتكاليف التمويل، والتكلفة الإجمالية للتركيب، وتكاليف التشغيل والصيانة الثابتة والمتغيرة، وتكاليف الوقود، وتكلفة توليد الكهرباء (LCOE). وفي ما يلي ثلاثة من المؤشرات الأكثر شيوعاً لتكلفة توليد الكهرباء، وهي المؤشرات المستخدمة في هذه الورقة:

- تكلفة المعدات: تسليم بوابة المصنع (التسليم على ظهر السفينة)، والتسليم في الموقع (أي التكلفة والتأمين والشحن).
- التكلفة الكلية للمشروع، بما في ذلك تكاليف التمويل الثابتة.
- تكلفة توليد الكهرباء (LCOE).

والأرقام الواردة في هذه الورقة لا تأخذ في الحسبان أثر الحوافز أو الدعم الحكومي، وموازنة التكاليف المرتبطة بمختلف الموارد المتجددة، وتسعير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وفوائد الموارد المتجددة المتعلقة بالحد من العوامل الخارجية الأخرى (مثل تقليل تلوث الهواء المحلي أو تلوث البيئة الطبيعية).

تكلفة توليد الكهرباء (LCOE) هو مصطلح مهم يستخدم على نطاق واسع في أدبيات اقتصاديات الطاقة، وبالتالي لا بد من تعريفه وفهمه جيداً. ويمكن القول ببساطة إن تكلفة توليد الكهرباء هي حاصل قسمة تكلفة نظام توليد الكهرباء (أي تكلفة تركيب النظام زائد تكاليف تشغيله وصيانته طوال عمره الافتراضي) على كمية الكهرباء التي يولدها ذلك النظام طوال عمره التشغيلي، وتقاس تلك التكلفة بالدولار/ كيلوواط ساعة (دولار/ ك.و.س). ويتأثر حساب تكلفة توليد الكهرباء بتكلفة النظام المركب، وتكاليف التشغيل والصيانة، والمناخ والموارد الشمسية المحلية، واتجاه الألواح الشمسية (في حالة الطاقة الشمسية الكهروضوئية)، وشروط التمويل، وعمر النظام، والضرائب، والسياسات ذات الصلة. لذلك تختلف تقديرات تكلفة إنتاج الطاقة تبعاً للافتراضات التي توضع عند تحديد قيم هذه المتغيرات. وفي ما يلي الصيغة المعتمدة لدى الوكالة الدولية للطاقة المتجددة لحساب تكلفة توليد الكهرباء، وهي بالتالي الصيغة المستخدمة في حساب القيم المقدمة في هذه الورقة:[13]

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

حيث: LCOE = تكلفة توليد الكهرباء؛ I_t = النفقات الاستثمارية في السنة t؛ M_t = نفقات التشغيل والصيانة في السنة t؛ F_t = تكلفة الوقود في السنة t؛ E_t = حجم الكهرباء المولدة في السنة t؛ r = معدل الخصم؛ n = عمر النظام.

وتعتمد الوكالة الدولية للطاقة المتجددة في حساب تكلفة توليد الكهرباء في أي مشروع قيمة متوسطة افتراضية لمعدل الخصم أو تكلفة رأس المال تبلغ 10٪. إلا أن تكلفة الدين والعائد المطلوب على رأس المال، وكذلك نسبة الدين إلى رأس المال، تتراوح من مشروع إلى آخر ومن بلد إلى آخر. فالمشروعات التي ترتفع فيها المخاطر (مثل عدم دفع ثمن الكهرباء المبيعة، ومخاطر العملة، ومخاطر التضخم،... إلخ) تتطلب عوائد أعلى، وقد يكون لهذا تأثير كبير في حساب تكلفة توليد الكهرباء. فمثلاً، ستكون تكلفة توليد الكهرباء في مشروع يعمل بطاقة الرياح، وتبلغ تكلفة رأس المال فيه 12.6٪ أعلى بنسبة 45٪ من تكلفة توليد الكهرباء في مشروع مماثل تبلغ تكلفة رأس المال فيه 5.5٪، على فرض أن معامل الحمل في المشروعين هو 35٪ وتكلفة التشغيل والصيانة فيهما 0.01 دولار/ك.و.س.[14]

من المهم ملاحظة أن التحليل الأساسي لتكلفة تقنيات الطاقة لا يكفي لوحده لتحديد الحصة المثلى لكل من مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة في بلد ما، بل يتطلب ذلك وضع نموذج ديناميكي لتكاليف نظام الكهرباء يأخذ في الحسبان جميع العوامل المعقدة التي تؤثر في تشغيل شبكة الكهرباء. وهذا التحليل هو جزء من العمل الذي تقوم به الوكالة الدولية للطاقة المتجددة في ما يتعلق بالسيناريوهات والاستراتيجيات المختلفة،[15] وسيتم تناوله بالتفصيل في موضع آخر.[16]

استخدام الكتلة الحيوية في توليد الكهرباء

توجد في جميع أنحاء العالم كميات كبيرة من مخلفات الزراعة والغابات التي تذهب سدى، بينما يمكن استخدامها وقوداً لتوفير الطاقة والحرارة. وتوليد الكهرباء باستخدام الكتلة الحيوية يمكن أن يكون منافساً لاستجرار الكهرباء من الشبكة، حيث تنخفض تكلفة الكهرباء في أكثر المشروعات تنافسية إلى 0.06 دولار/ك.و.س. إلا أن الطاقة

الإضافية التي توفرها الكتلة الحيوية حالياً ما زالت متواضعة بالمقارنة مع إمكانات هذه التقنية.

وتتراوح تقنيات توليد الكهرباء بالاعتماد على الكتلة الحيوية من حلول ناضجة إلى تقنيات ناشئة لم تصل إلى مرحلة استخدامها على نطاق واسع. والتكلفة الكلية لمشروعات توليد الكهرباء من الكتلة الحيوية تعكس هذا التنوع، حيث تراوحت ما بين 1,880 و6,800 دولار/ كيلوواط في عام 2010. وفي حالة استخدام الكتلة الحيوية إلى جانب الوقود الأحفوري، تنخفض تكاليف رأس المال بما بين 140 و850 دولار/ كيلوواط، ولكن هذا لا يشمل الاستثمار الأصلي في محطة التوليد. وتمثل تكاليف التشغيل والصيانة نسبة كبيرة (تتراوح عادة بين 9٪ و20٪) من تكلفة توليد الكهرباء في محطات طاقة الكتلة الحيوية.

ويعد توافر إمدادات مضمونة ومستدامة من الوقود الرخيص على المدى الطويل أمراً حيوياً لمحطات طاقة الكتلة الحيوية. وهذا الوقود قد يكون مجانياً في حالة بعض النفايات، بما في ذلك النفايات التي تنتجها بعض المنشآت الصناعية، مثل السائل الأسود في مصانع الورق، أو تفل القصب في مصانع السكر. فاستخدام هذه النفايات يوفر أحياناً تكلفة التخلص منها. وقد تكون التكلفة بسيطة في حالة المخلفات الزراعية التي يمكن جمعها ونقلها بسهولة لمسافات قصيرة، ولكنها ترتفع كثيراً في حالة النقل لمسافات كبيرة؛ لأن الكثير من مواد الكتلة الحيوية تكون كثافة الطاقة فيها منخفضة نسبياً وبالتالي فهي ضخمة الحجم ونقلها يكلف الكثير. وقد تتجاوز أسعار المواد الأولية تكلفة نقلها في بعض الأسواق إذا كانت هذه الأسعار تُحدّد بناء على تكلفة الوقود المنافس، وهذا الأمر يزيد من مخاطر المشروع وبالتالي تكاليف التمويل.

تعد تقنية توليد الطاقة من الكتلة الحيوية تقنية ناضجة، وهي خيار منافس لتوليد الطاقة في أي مكان توجد فيه مخلفات رخيصة من الزراعة أو الغابات. كما بدأت تظهر تقنيات جديدة توفر فرصاً كبيرة لمزيد من خفض التكاليف.

الطاقة المائية

الطاقة المائية هي تقنية ناضجة. وتعد تكلفة توليد الكهربـاء في المشـروعات القائمـة حالياً والتي اقترب إنجازها منخفضة بشكل عام. فتكلفة توليد الكهربـاء في مشـروعات الطاقة المائية الكبيرة يمكن أن تـتراوح مـا بـين 0.02 و0.19 دولار/ ك.و.س (وعـادة مـا تكـون التكلفـة مرتفعـة في السـدود متعـددة الأغـراض)، بمتوسـط يقـارب 0.04 دولار/ ك.و.س، بافتراض أن تكلفة رأس المال هي 10٪. وهذا يجعل مشـروعات الطاقة المائية الكبرى أفضل الخيارات المتاحة اليوم لتوليد الكهرباء من حيـث التكلفـة التنافسـية. وترتفع تكلفة توليد الكهرباء ويتسع نطاقها في مشـروعات الطاقـة المائيـة الصـغيرة، بينما تنخفض تكلفة تجديد المحطات وتحديثها، لتتراوح ما بين 0.01 و0.05 دولار/ ك.و.س.

قد تتراوح التكلفة الاستثمارية لمحطات الطاقة المائية الكبـيرة مـا بـين 1,050 و7,650 دولار/ كيلـوواط، بـرغم أن معظـم المشـروعات تبقـى ضـمن نطـاق 1,500–2,500 دولار/ كيلوواط. كما تتراوح التكلفة الرأسمالية لمشروعات الطاقة المائية الصـغيرة بشـكل كبير، ما بين 1,300 و8,000 دولار/ كيلوواط.

ومن الفرص المهمة التي توفرها الطاقة المائيـة إمكانيـة زيـادة طاقـة محطـات التوليـد القائمة، أو إنشاء محطات لتوليد الكهرباء على السدود التـي لـيس عليهـا محطـات توليـد. وهذا يتطلب تكاليف استثمارية منخفضة تصل إلى 500 دولار/ كيلوواط.

تسهم الطاقة المائية في استقرار الشـبكة مـن خـلال المرونـة التـي توفرهـا، حيـث يمكن تسـريع دوران التوربينات، بشكل أسـرع من أي مصدر آخر لتوليـد الكهربـاء. كما يمكن للطاقة الكهرومائية أن توفر خدمات أخرى للشبكة، بما في ذلك القدرة عـلى البدء السـريع للتشـغيل مـن الصـفر عنـدما يحـدث انقطـاع في الشـبكة بكاملهـا. ولا يتضمن تحليل تكلفة توليد الكهرباء قيمة تقديرية لهذه الخدمات؛ لأنها تختلف اختلافـاً كبيراً من منظومة إلى أخرى.

في حالة وجود خزانات مائية كبيرة، يمكن تخزين الطاقة المائية لأسابيع، أو شهور، أو فصول، أو حتى سنوات. وبالتالي يمكن للطاقة المائية توفير جميع الخدمات الإضافية اللازمة لتحقيق انتشار واسع لمصادر الطاقة المتجددة ذات الطبيعة المتغيرة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية. لذلك، يُرجَّح أن تزداد أهمية الطاقة المائية مع مرور الزمن. وبرغم أن نمو مشروعات الطاقة المائية التي تحترم ركائز الاستدامة الثلاث سيستغرق وقتاً طويلاً، فإن هذا النمو سيكون شديد الأهمية لتسهيل انتشار موارد الطاقة المتجددة في الأماكن التي لم يجرِ فيها تطوير الموارد الأخرى.

تعد الطاقة المائية أكبر مصدر لتوليد الطاقة المتجددة حالياً؛ إذ بلغ مجموع طاقة المحطات الكهرومائية القائمة حول العالم قرابة 970 جيجاواط في نهاية عام 2011. والمحطات الكهرومائية ذات المواقع الجيدة توفر الكهرباء بتكلفة أقل من أي تقنية أخرى.

طاقة الرياح

بعد ارتفاع أسعار توربينات الرياح لعدد من السنوات نتيجة لارتفاع أسعار المواد الأساسية وزيادة الطلب على العرض، بدأت أسعار هذه التوربينات تنخفض أخيراً، وهو اتجاه من المرجح أن يستمر مع دخول مُصنِّعين ذوي تكلفة منخفضة من الاقتصادات الناشئة إلى السوق العالمية. في عام 2010، كانت تكلفة توليد الكهرباء من مزارع الرياح البرية الجديدة تتراوح بين 0.06 و0.14 دولار/ ك.و.س، على فرض أن تكلفة رأس المال تبلغ 10٪، ولكن المشروعات التي في أفضل المواقع في أمريكا الشمالية يمكنها توفير الكهرباء بسعر يتراوح ما بين 0.04 و0.05 دولار/ ك.و.س، ما يجعل هذا الخيار منافساً لمحطات توليد الكهرباء التي تعمل بالغاز، بل وربما أرخص منها، وذلك على الرغم من الانخفاض الهائل في أسعار الغاز الطبيعي في الآونة الأخيرة نتيجة للكميات الكبيرة من الغاز غير التقليدي التي تم اكتشافها، ويجري الآن استخراجها في أمريكا الشمالية.[17]

وفي الصين، وصلت تكلفة مزارع الرياح البرية إلى 1,300 دولار/ كيلوواط في عام 2010، ويرجع ذلك جزئياً إلى أن تكلفة توربينات الرياح في الصين أرخص بنسبة 50٪–

60٪ مما هي عليه في أمريكا الشمالية. إلا أن ارتفاع سعر التوربينات وغيرها من تكاليف المشروع في أسواق الرياح الرئيسية الأخرى تجعل التكلفة تتراوح عادة ما بين 1,800 و2,200 دولار/ كيلوواط. وتزيد تكلفة مزارع الرياح البحرية عن نظيرتها البرية، إذ تتراوح ما بين 4,000 و4,500 دولار/ كيلوواط، حيث تمثل تكلفة التوربينات ما بين 44٪ و50٪ من التكلفة الكلية.

تعد طاقة الرياح الآن واحدة من أكثر تقنيات الطاقة المتجددة تنافسية. وفي البلدان المتقدمة التي فيها موارد رياح جيدة، يعتبر توليد الكهرباء في مزارع الرياح البرية خياراً منافساً في كثير من الأحيان لمحطات التوليد التي تعمل على الوقود الأحفوري.

الطاقة الشمسية الكهروضوئية

نمت الطاقة الإجمالية لمحطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية بنسبة 70٪ في عام 2011. وقد أدى هذا النمو، إلى جانب ارتفاع معدل تعلم هذه التقنية، إلى انخفاض كبير في التكاليف في السنوات الأخيرة. وفي العامين الماضيين وحدهما، انخفضت تكلفة وحدة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بنحو 60٪. ففي بداية عام 2012، كانت أسعار وحدات الرقائق الشمسية (تسليم المصنع أو التسليم الفوري) قد انخفضت إلى ما دون 1.0 دولار/ واط، وتراوحت ما بين 0.84 و0.93 دولار/ واط. أما أسعار وحدات السيليكون البلوري فكانت أعلى قليلاً، حيث تراوحت ما بين 1.02 و1.24 دولار/ واط في معظم الأسواق التنافسية، ولكنها انخفضت إلى 0.77 دولار/ واط بحلول منتصف عام 2012.

في عام 2010، كان في ألمانيا أرخص أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في السوق المنزلية الصغيرة (<5 كيلوواط)، حيث بلغ متوسط سعر وحدة السيليكون البلوري 3.8 دولار/ واط. وبحلول الربع الثاني من عام 2012، انخفض هذا السعر إلى 2.2 دولار/ واط. وإذا استمرت الاتجاهات الحالية، فإن تكلفة توليد الكهرباء في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المناطق ذات الإشعاع الشمسي الجيد، ستكون أقل من أسعار

الكهرباء المنزلية في كثير من بقاع العالم. كما تتميز الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمرونة لا تتوافر في أي تقنية أخرى لتوليد الكهرباء؛ حيث إنه بعد اكتمال تطور سوق ألواح الطاقة الشمسية المنزلية، سيكون بالإمكان الإسراع في إنشاء محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتحقيق أهداف السياسات أو لتلبية احتياجات قطاع الكهرباء.

هناك انخفاض سريع في تكلفة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بسبب ارتفاع معدلات تعلم كيفية تركيب وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وانتشارها السريع جداً في الوقت الحالي. وإذا استمرت هذه الاتجاهات، فسرعان ما سيصبح التطابق بين تكلفة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتعرفة الكهرباء المنزلية هو القاعدة وليس الاستثناء.

الطاقة الشمسية المركزة

هناك نوعان رئيسيان لمحطات توليد الكهرباء بالاعتماد على الطاقة الشمسية المركزة، وهما محطات مرايا القطع المكافئ، ومحطات أبراج الطاقة الشمسية. وتمثل محطات مرايا القطع المكافئ غالبية الأنظمة التجارية المستخدمة حتى الآن. وتكلفة توليد الكهرباء متقاربة في النوعين حالياً (إذ تتراوح ما بين 0.20 و0.36 دولار/ك.و.س في مرايا القطع المكافئ، وما بين 0.17 و0.29 دولار/ك.و.س في أبراج الطاقة الشمسية)، بافتراض أن تكلفة رأس المال هي 10٪. إلا أن تكلفة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية المركزة في المناطق ذات الموارد الشمسية الممتازة قد تكون أقل من ذلك، ربما في حدود 0.14–0.18 دولار/ك.و.س. ويبدو أن فرص خفض التكلفة أكبر في حالة أبراج الطاقة الشمسية، كما أن انخفاض تكلفة تخزين الطاقة الحرارية سيجعلها حلولاً جذابة للغاية لتوليد الكهرباء.

تبلغ التكاليف الرأسمالية لمحطات مرايا القطع المكافئ التي لا تتضمن خيار تخزين الطاقة الحرارية 4,600 دولار/كيلوواط، برغم أن معامل الحمل فيها منخفض[18] ويتراوح ما بين 20٪ و25٪. ويمكن مضاعفة معامل الحمل إذا أضفنا إليها القدرة على تخزين الطاقة الحرارية لمدة ست ساعات، إلا أن هذا سيزيد التكاليف الرأسمالية إلى 7,100–9,800 دولار/كيلوواط. ويمكن لمحطات أبراج الطاقة الشمسية القادرة على تخزين

الطاقة لمدة 6 إلى 15 ساعة أن تحقق معامل حمل ما بين 40٪ و80٪ بتكلفة تتراوح من 6,300 إلى 10,500 دولار/ ك.و.س. فالتخزين يقلل من تكلفة توليد الكهرباء في محطات الطاقة الشمسية المركزة، وهو خيار جذاب بشكل خاص لأنظمة الطاقة في المناطق التي يرتفع فيها الطلب في فترات المساء.

ستساعد زيادة الدعم للطاقة الشمسية المركزة في تسريع انتشارها والمساهمة في تخفيض تكاليفها من خلال وفورات الحجم والتعلم بالممارسة.

بدأت الطاقة الشمسية المركزة بالانتشار على نطاق واسع، وتكاليفها آخذة في الانخفاض. وصارت الأبراج الشمسية تبرز كخيار مهم لتوليد الكهرباء، خاصة في المناطق التي يرتفع فيها الإشعاع الشمسي المباشر، كما يمكن لأنظمة الطاقة الشمسية المركزة المساعدة في دمج مصادر الطاقة المتجددة ذات الطبيعة المتغيرة عند استخدامها مع تخزين منخفض التكلفة للطاقة الحرارية لتوليد الكهرباء عندما تغيب الشمس.

الاستنتاجات المتعلقة بتقنيات توليد الطاقة المتجددة

هناك تحسن في تنافسية الموارد المتجددة بعد الانتشار السريع لهذه الموارد وتبني سياسات داعمة تهدف إلى التغلب على العوائق التي تحول دون استخدامها، وهذا يؤدي بدوره إلى تخفيضات كبيرة وسريعة في تكلفة العديد من تقنيات توليد الطاقة المتجددة. لذلك ينبغي أن يتنبه واضعو السياسات إلى أن تكلفة دعم تلك التقنيات بحزَم دعم جيدة تنخفض مع مرور الزمن، وهي أقل بكثير مما يظهر في التحليل الثابت للتكاليف.

تقدم دراسات التكلفة الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة المتجددة معلومات حديثة ومفصلة حول تكلفة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، وطاقة الرياح، والطاقة المائية، والكتلة الحيوية. وهذه الدراسات تملأ فجوة كبيرة في المعلومات من خلال توفيرها أحدث البيانات الموضوعية عن تكلفة وأداء تقنيات توليد الطاقة المتجددة. بيد أن تلك الدراسات لا تمثل إلا جانباً واحداً من مجموعة الدراسات

التي تجريها الوكالة الدولية للطاقة المتجددة للمساعدة في دعم الانتشار السريع للطاقة المتجددة. فالتحليل الثابت للتكاليف ليس كافياً، كما أسلفنا، لتحديد مزيج الموارد المتجددة الأقل تكلفة لمنظومة كهرباء معينة، لأن هذا يعتمد على المنظومة القائمة، وموقع الموارد المتجددة ونوعها، ومجموعة من العوامل الأخرى. وهكذا فإن تحليل التكلفة يشكل عنصراً مهماً في التحليلات الأخرى التي تجريها الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، خاصة في ما يتعلق بالسيناريوهات والاستراتيجيات.

توليد الكهرباء من الموارد المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

الوضع الحالي لقطاع الكهرباء في المنطقة

يشهد الطلب على الطاقة الكهربائية في جميع أنحاء منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا نمواً سريعاً بسبب الزيادة السكانية والتوسع العمراني والنمو الاقتصادي المدفوع بعملية التحول الصناعي. كما يزداد الطلب على الكهرباء بسبب دعم معظم بلدان المنطقة لأسعار الكهرباء، وبالتالي ليس هناك ما يشجع على تحسين الكفاءة في استخدام الطاقة. هذه العوامل تعني عملياً أن الحاجة إلى قدرات جديدة لتوليد الكهرباء تفوق النمو الاقتصادي في المنطقة. وفي الواقع، إذا استمرت الاتجاهات الحالية، فإن النمو في طاقة توليد الكهرباء في المنطقة سيزيد على نمو الناتج المحلي الإجمالي بنحو 3٪ في السنوات القليلة المقبلة.[19] وهذا يعني الحاجة إلى طاقة توليد إضافية في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا تزيد على 120 جيجاواط بحلول عام 2017، وتصل تكلفتها إلى 250 مليار دولار أمريكي إذا أخذنا في الحسبان النقل والتوزيع.[20] في الماضي، كانت زيادة طاقة توليد الكهرباء في المنطقة تتم من خلال حرق الوقود الأحفوري، خاصة النفط والغاز، ولم تحظَ الطاقة المتجددة باهتمام كبير كبديل عملي. وقد أشار أحد المؤشرات إلى ضعف انتشار تقنيات الطاقة المتجددة بالمنطقة في تقرير **"الاتجاهات العالمية للاستثمار في الطاقة المتجددة"** الصادر عام 2012، والذي يبين أن مجموع الاستثمارات في الطاقة المتجددة في

منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا بلغ 5.5 مليار دولار فقط في عام 2011،[21] وهو أدنى مستوى للاستثمار الإقليمي في الطاقة المتجددة في العالم.

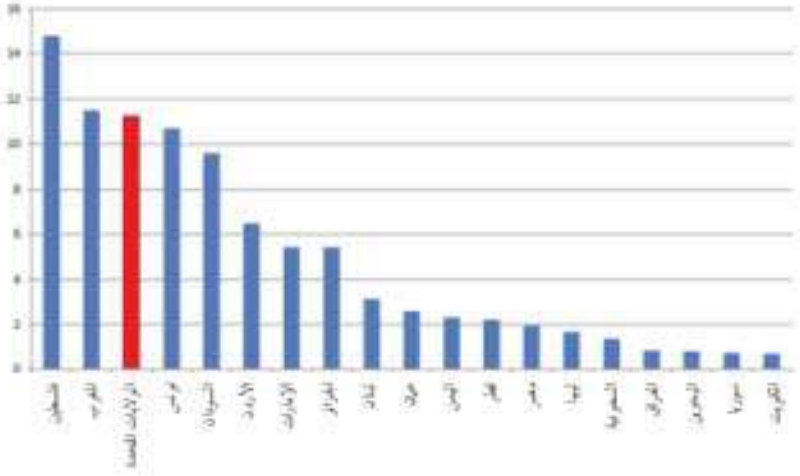
إلا أن هناك تغيراً في آفاق الموارد المتجددة، وإمكانية مساهمتها بشكل كبير في مواجهة تحدي إمدادات الكهرباء في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.[22] فالمنطقة تمتلك إمكانات ممتازة لتطوير تقنيات توليد الكهرباء بالاعتماد على طاقة الرياح والطاقة الشمسية،[23] ولكنها تفتقر إلى الموارد المادية اللازمة لتطوير مصادر أخرى للطاقة المتجددة على نطاق واسع، مثل الكتلة الحيوية، والطاقة الحرارية الأرضية، وطاقة المحيطات.[24] وبرغم وجود موارد الطاقة الحرارية الأرضية وطاقة المحيطات، فإنها لم تستكشف بشكل كبير في المنطقة. كما أن مناخ المنطقة وتضاريسها الجغرافية لا تساعد في تطوير طاقة الكتلة الحيوية. وتمتلك كل من مصر ولبنان والعراق وسوريا وتونس والمغرب والجزائر الإمكانات اللازمة لتوليد الكهرباء بالاعتماد على الطاقة المائية، ولكن الإمكانات الفنية للطاقة الكهرومائية أقل بكثير من الإمكانات الفنية للطاقة الشمسية وطاقة الرياح.[25] فالإمكانات الفنية للطاقة الشمسية هي الأكبر في المنطقة، حيث إن كل كيلومتر مربع من الأرض في المنطقة يستقبل سنوياً إشعاعاً شمسياً يكفي لتوليد كمية الكهرباء نفسها التي يمكن توليدها بحرق نحو 1.5 مليون برميل من النفط الخام. وهناك بلدان في المنطقة مثل اليمن والجزائر ومصر يزيد متوسط سرعة الرياح فيها على 7 أمتار في الثانية، وهي مناسبة جداً لاستغلال طاقة الرياح فيها. وفي الواقع فإن ساحل شمال إفريقيا يعدّ من أفضل المناطق لاستغلال طاقة الرياح في العالم.

برغم أن الموارد المتجددة في المنطقة لم تُستغل على النحو الأمثل حتى الآن، فإن توليد الكهرباء باستخدام هذه الموارد أصبح خياراً جذاباً على نحو متزايد بالمقارنة مع الأسلوب التقليدي الذي يعتمد على الوقود الأحفوري. وتشمل العوامل الدافعة نحو التحول في نظام الطاقة في المنطقة الانخفاض الكبير في تكلفة تقنيات الطاقة المتجددة، ونقص الغاز في بعض بلدان المنطقة الذي أدى إلى زيادة الاعتماد على استيراد الغاز الطبيعي المسال و/ أو أنواع الوقود المشتقة من النفط لتوليد الكهرباء. وإحدى أهم العقبات في وجه زيادة انتشار

الطاقة المتجددة هي أن تكلفة دورة الحياة لتقنيات الطاقة المتجددة تبدو حالياً غير تنافسية بالمقارنة مع أسعار الكهرباء في كثير من بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. ولكن ما يغفل عنه الكثيرون هو أن أسعار الكهرباء في هذه البلدان مدعومة بشكل كبير (انظر الشكل 8-1)، ولا تعكس التكلفة الفعلية لتوليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها، خاصة في أوقات ذروة الطلب. لذلك، برغم أن توليد الكهرباء بالاعتماد على الموارد المتجددة في العديد من بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، لا يُتوقع أن يوفر في المستقبل القريب كهرباء بالأسعار نفسها للشبكة الحالية، فإن هذا لا يعني عدم وجود مبررات اقتصادية لاستخدام الموارد المتجددة، خاصة على مستوى المرافق. فهناك مبررات قوية لذلك في معظم بلدان المنطقة، كما سنبين في الأقسام التالية.

الشكل (8-1)

أسعار الكهرباء المنزلية في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (سنت/ ك.و.س)



المصدر:

R. Mills, "Sunrise in the Desert: Solar becomes Commercially Viable in MENA," Emirates Solar Industry Association 2012; A. Hindley "The Outlook for the Middle East Power and Renewable Sectors" in FME Energy Transition Seminar The Hague 2012; and Bassam Fattouh "Energy Subsidies in the Middle East: Issues & Implications," paper presented at the conference "Increasing the Momentum of Fossil-Fuel Subsidy Reform" Geneva October 14 2014.

مستقبل الطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

برغم أن دعم أسعار الطاقة يضعف مبررات التحول إلى الموارد المتجددة في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، فإن هناك مبرراً اقتصادياً لاستخدام هذه الموارد عند النظر إليها من منظور الجهات الحكومية التي يجب عليها ضمان حاضر اقتصاداتها ومستقبلها. وبصرف النظر عن استعداد الحكومات للنظر في إصلاح نظام دعم أسعار استهلاك الطاقة، فعلى صناع القرار في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا اتخاذ القرارات الاستراتيجية المتعلقة بتوليد الكهرباء بناء على التكاليف الاقتصادية الفعلية، وليس الأسعار التي يدفعها المشتركون في شبكات الكهرباء. والواقع الذي يواجهه صناع القرار هو نقص إمدادات الوقود الأحفوري الرخيص لتوليد الكهرباء في أنحاء المنطقة جميعها وزيادة تكاليف توليد الكهرباء باستخدام هذا الوقود. وفي الحقيقة فإن العديد من بلدان المنطقة لجأت بالفعل إلى حرق المواد الهيدروكربونية السائلة المرتفعة الثمن، والغاز الطبيعي المسال المستورد لتوليد الكهرباء (انظر الشكل 8-2). ويمكن تصنيف بلدان المنطقة إلى ست فئات، وفقاً لمستقبل توليد الكهرباء فيها على المدى القصير:[26]

1. **لبنان والإمارات الشمالية (في دولة الإمارات العربية المتحدة) والأردن والمغرب**: إنتاج كمية قليلة من الغاز للاستخدام المحلي، واعتماد كبير على النفط لتوليد الطاقة. النقاط الرئيسية التي تثير القلق هي ارتفاع تكاليف الوقود وأمن الطاقة.

2. (أ). **الكويت وسوريا والسعودية**: توجد احتياطيات محلية كبيرة من الغاز، ولكنها لم تُستغل (حتى الآن) لتلبية الطلب المحلي على الكهرباء. ويمكن للمصادر الجديدة لتوليد الطاقة توفير النفط الذي يستخدم داخلياً للتصدير، وهو خيار جذاب اقتصادياً.

2. (ب). **تونس والبحرين ودبي (الإمارات العربية المتحدة)**: استيراد كميات كبيرة من الغاز لتوليد الكهرباء. الحاجة إلى استيراد وقود عالي التكلفة هي مصدر قلق لأسباب اقتصادية وأسباب تتعلق بأمن الطاقة (الكويت، في المجموعة 2 (أ)، تستورد أيضاً الغاز الطبيعي المسال، وبالتالي تستفيد من توفير كل من النفط والغاز).

3. **العراق واليمن وليبيا**: توجد موارد غاز محلية تكفي لتلبية الطلب، ولكن الإنتاج غير كافٍ بسبب الحرب وانعدام الأمن والعقوبات وسوء الإدارة وضعف مناخ الاستثمار وغيرها من العوامل. ويمكن لمصادر توليد الكهرباء الجديدة تلبية الطلب في مناطق محددة (مثل المناطق النائية) ريثما يتم تطوير الغاز المحلي.
4. **مصر وعمان والجزائر وأبوظبي (الإمارات العربية المتحدة)**: تتوافر موارد كبيرة من الغاز لتوليد الطاقة الكهربائية و/ أو التصدير، ولكن هناك شكوكاً تتعلق بالإمدادات في المستقبل.
5. **قطر**: تتوافر موارد غاز كبيرة، إلا أن هناك قيوداً على صادرات الغاز بسبب السياسة المتبعة، وليس شح الموارد.

الشكل (8-2)

الأهداف من استخدام الموارد المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

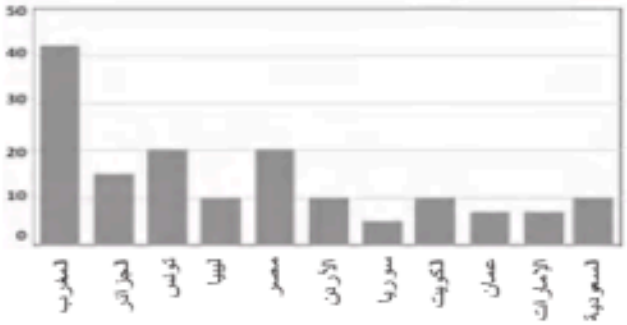
المصدر: Mills, op. cit.

ملاحظات: المجموعة الأولى تضم بلدان المنطقة التي يعتبر استخدام موارد الطاقة المتجددة فيها الأكثر جاذبية في الوقت الحالي، والمجموعة الرابعة تضم بلدان المنطقة التي يعتبر استخدام موارد الطاقة المتجددة فيها الأقل جاذبية في الوقت الحالي بسبب توافر موارد رخيصة من الوقود الأحفوري. ويعتبر استخدام موارد الطاقة المتجددة جذاباً بشكل معتدل في بلدان المجموعتين: الثانية والثالثة. ويشير حجم الدائرة إلى كمية الكهرباء التي يتم توليدها حالياً في كل بلد (مثلاً، تنتج السعودية نحو 300 تيراواط للساعة سنوياً بينما ينتج اليمن نحو 6.5 تيراواط للساعة سنوياً).

بالنظر إلى بلدان المنطقة المبينة في الشكل (8-2) من الواضح أن الحفاظ على البيئة، وأمن الطاقة، والتكاليف المباشرة، وتكاليف الفرصة البديلة المتمثلة في الاعتماد على توليد الكهرباء باستخدام الوقود الأحفوري، هي الحوافز لتنويع مصادر إمدادات الكهرباء. وهكذا فإن جميع البلدان التي شملتها الدراسة تقريباً وضعت لنفسها أهدافاً لتوليد الكهرباء من موارد الطاقة المتجددة و/ أو لاستخدام طاقة متجددة محددة[27] (انظر الشكل 8-3)، وكانت قطر آخر دولة في مجلس التعاون لدول الخليج العربية[28] تضع لنفسها هدفاً في استخدام الطاقة الشمسية، حيث أعلنت في أكتوبر 2012 خططاً لتركيب منظومة طاقة شمسية كهروضوئية تبلغ استطاعتها 1.8 جيجاواط بحلول عام 2014. وقد قامت دبي بخطوات أولى في خطة للطاقة الشمسية تبلغ تكلفتها 3.3 مليار دولار، وتهدف إلى الحصول على 5٪ من إمداداتها من الكهرباء بالاعتماد على الطاقة الشمسية بحلول عام 2030. كما تعمل أبوظبي على بدء تشغيل محطة الطاقة الشمسية المركزة "شمس 1" التي تبلغ استطاعتها 100 ميجاواط، وتعتبر أول محطة طاقة شمسية تستخدم في تزويد شبكة الكهرباء في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، وستتبعها مراحل أخرى. وكما سنبين بمزيد من التفصيل أدناه، فإن المملكة العربية السعودية تقدم مثالاً جيداً لبلد في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا يسعى إلى تنفيذ مبادرات طاقة نظيفة على المدى الطويل بناء على دوافع اقتصادية واضحة.

الشكل (8-3)

أهداف الطاقة المتجددة لعام 2020 (نسبة مئوية من الإنتاج)



المصدر: Hindley, op. cit.

ينمو الطلب المحلي على النفط والغاز في المملكة العربية السعودية بنحو 7٪ سنوياً.[29] لذلك أعلنت البلاد استراتيجية طَموحاً للطاقة المتجددة من شأنها الحد من النمو في الاستهلاك المحلي للنفط والغاز. وتشمل هذه الخطة إنتاج 9 جيجاواط من طاقة الرياح، و17 جيجاواط من الطاقة النووية، و2 جيجاواط من الكتلة الحيوية/ حرق النفايات، و2 جيجاواط من الطاقة الحرارية الأرضية، و16 جيجاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية، و25 جيجاواط من الطاقة الشمسية المركزة، وذلك كله بحلول عام 2030.[30] ومن المتوقع أن يؤدي استغلال الطاقة الشمسية الكهروضوئية وحدها إلى توفير ما يعادل 33-46 مليون برميل من النفط سنوياً للتصدير بدلاً من استهلاكها في توليد الكهرباء محلياً.[31]

لا بد من ملاحظة أن دوافع المملكة العربية السعودية للحصول على طاقة مستدامة لا تقتصر على استهلاك الموارد الأحفورية المحلية، بل تشمل أيضاً اعتبارات تنويع الناتج المحلي الإجمالي، والحد من البصمة البيئية، والفرصة الصناعية البديلة التي يوفرها استخدام الغاز الطبيعي. هذه الاعتبارات لا يمكن قياسها بسهولة، ولكنها تلعب دوراً مهماً في تطوير استراتيجية الطاقة. لذلك تتجه المملكة العربية السعودية بقوة نحو الطاقة النظيفة برغم أن التقديرات تشير إلى أن تكلفة استغلال الاحتياطيات السعودية من الغاز الحبيس والحمضي (أي الغاز الذي ترتفع فيه نسبة كبريتيد الهيدروجين) تتراوح ما بين 3.50 و6.00 دولار أمريكي لكل مليون وحدة حرارية بريطانية،[32] وهذا النطاق السعري، من دون أخذ الاعتبارات الاستراتيجية المختلفة في الحسبان، يجعل خيارات الطاقة النظيفة تبدو غير تنافسية بالمقارنة مع توليد الكهرباء بالاعتماد على الوقود الأحفوري.

يعتمد مدى انتشار تقنيات الطاقة المتجددة، خاصة تلك المتعلقة بالرياح والطاقة الشمسية، على نطاق واسع في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وتنفيذ الخطط الطموحة كالتي تبنتها المملكة العربية السعودية على العديد من العوامل، بما في ذلك حدوث المزيد من التطورات التقنية التي تسهم في زيادة تنافسية الموارد المتجددة من حيث تكلفتها وأداؤها بالمقارنة مع توليد الطاقة باستخدام الوقود الهيدروكربوني. ومع استمرار

تحسن أداء الموارد المتجددة في منظومات الطاقة المحلية والإقليمية، سيكون حدوث تقدم يخفض تكاليف دورة حياة التقنيات التي تستخدم أكثر الموارد الأولية المتجددة وفرة في المنطقة، أي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، أمراً ضرورياً لإنشاء محطات توليد كهرباء تعمل على الموارد المتجددة، وتكون مكملاً لمحطات التوليد التي تعمل على الوقود الأحفوري، أو بديلاً عنها.

وتلقي الأقسام التالية من هذه الورقة الضوء على المستقبل، من حيث التطورات الرئيسية، وتوقعات التكلفة لتقنيات الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح التي يرجح أن تؤثر في مشهد الطاقة في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا خلال السنوات المقبلة. وستقدم مجموعة واسعة من بيانات تكلفة توليد الطاقة المتجددة في أوروبا، وأمريكا الشمالية، وآسيا، والشرق الأوسط، وشمال إفريقيا، ومناطق أخرى، من أجل الوصول إلى فهم كامل لتكلفة مختلف التقنيات والتوقعات المتعلقة بها.[33] ومن المهم ملاحظة أنه برغم أن موارد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا تعد من بين أفضل الموارد في العالم، فإن تكاليف التشغيل والصيانة، وشروط التمويل، والعمر الافتراضي للنظام، وعوامل السياسة قد تضعف -على الأقل على المدى القصير- موقف الموارد الأولية الجيدة، وتجعل متوسط تكلفة توليد الكهرباء في المنطقة باستخدام التقنيات المختلفة مساوية، إن لم تكن أعلى من تكلفة توليد الكهرباء في المناطق الأخرى التي تمتلك موارد أقل من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.[34] ومع ذلك، فإنه مع زيادة استغلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في جميع أنحاء المنطقة، ستتم معالجة هذه العوامل بشكل تدريجي، وستنخفض تكاليف توليد الطاقة المتجددة في المنطقة إلى مستويات الأسواق الأخرى التي تحققت فيها مستويات عالية من توليد الطاقة المتجددة.

طاقة الرياح

الزيادات الأخيرة في أسعار توربينات الرياح تجعل من الصعب توقع انخفاض تكاليف مشروعات طاقة الرياح على المدى القصير. إلا أنه من المهم وضع تقديرات

لانخفاض التكلفة لكي تتوافر لواضعي السياسات، وشركات الطاقة، ومطوري المشروعات معلومات مفيدة؛ من أجل المقارنة بين مشروعات الطاقة المتجددة، وتقنيات توليد الكهرباء التقليدية. فيما يلي عناصر التكلفة الرئيسية، وبالتالي مجالات تخفيض التكلفة في مشروعات طاقة الرياح البرية والبحرية:

- توربينات الرياح.
- الأساسات.
- كابلات التوصيل بالشبكة.
- التركيب.
- تخطيط المشروع وتطويره.

تختلف التكلفة التقديرية لطاقة الرياح اختلافاً كبيراً تبعاً لـمُعامل الحمل، الذي يعتمد بدوره على جودة موارد الرياح والخصائص الفنية للتوربينات. ويتراوح مُعامل الحمل بشكل كبير بين مشروعات طاقة الرياح البرية والبحرية، ولكنه أعلى عموماً في المشروعات البحرية.

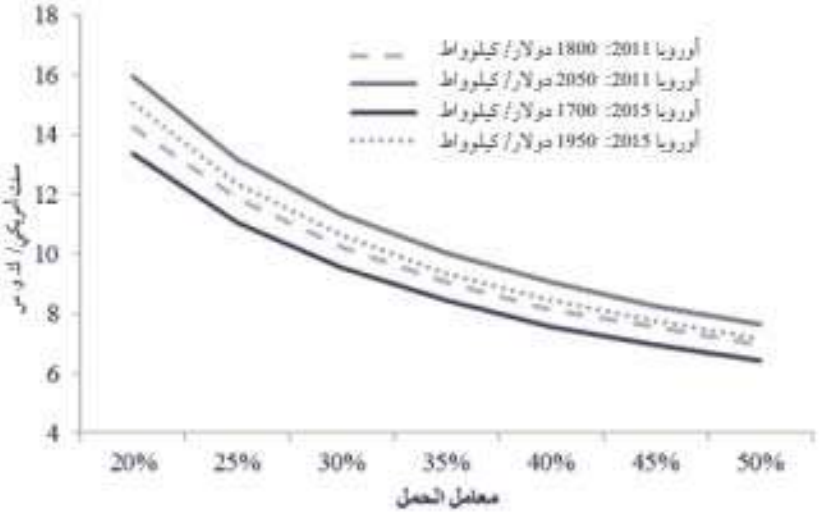
في عام 2011، كانت التكلفة التقديرية لتوليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح في أوروبا بين 0.10 و0.13 دولار/ ك.و.س. هذه التقديرات تقوم، كما هو مبين في الشكلين (8-4-أ) و(8-4-ب) على افتراض أن معامل الحمل العادي في أوروبا للمشروعات الجديدة في عام 2011 كان في حدود 25٪-30٪ في المشروعات البرية. وخفض التكلفة الممكن بحلول عام 2015 يتمثل في خفض تكلفة توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح بنسبة 6٪-7٪ عند معامل حمل معين.

وفي عام 2011 أيضاً، تراوحت التكلفة التقديرية لتوليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح في أمريكا الشمالية بين 0.10 و0.11 دولار/ ك.و.س، بافتراض معامل حمل قدره 30٪. إلا أن معاملات الحمل المسجلة في المشروعات في عام 2010 تراوحت بشكل كبير، من أقل من 20٪ إلى 46٪. وهذا النطاق الكبير يعني أن تكلفة توليد الكهرباء من طاقة

الرياح في أمريكا الشمالية تراوحت ما بين 0.07 و0.16 دولار/ ك.و.س. وخفض التكلفة الممكن بحلول عام 2015 يتمثل في خفض تكلفة توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح في أمريكا الشمالية بنسبة 5٪-9٪ عند معامل حمل معين. وبما أن هناك مجموعة من العوامل في الولايات المتحدة تؤدي إلى خفض معامل الحمل إلى ما دون المستوى المتوقع في ظروف مختلفة، فربما يرتفع معدل معامل الحمل من 30٪ إلى 35٪ في عام 2015. ومن شأن هذا خفض تكلفة توليد الكهرباء من طاقة الرياح في أمريكا الشمالية إلى ما بين 0.08 و0.09 دولار/ ك.و.س في عام 2015، أو بنسبة تتراوح ما بين 18٪ و20٪ بالمقارنة مع متوسط التكلفة في عام 2011.

الشكل (8-4-أ)

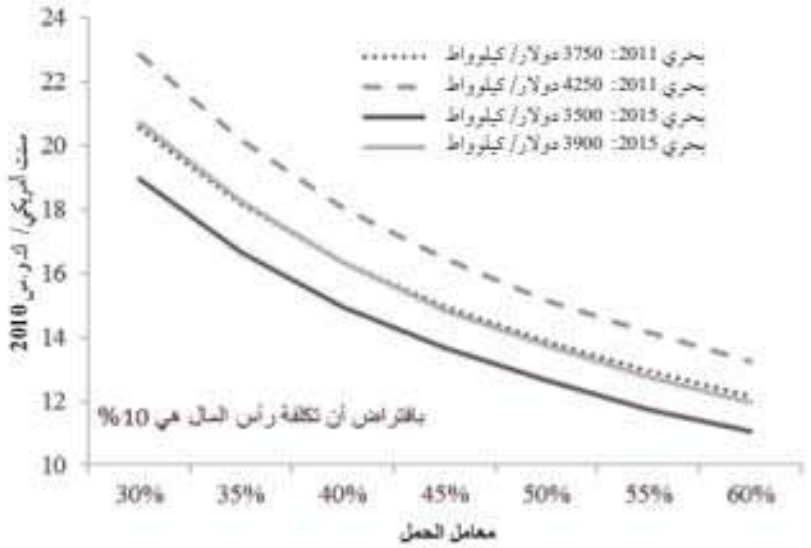
تكلفة توليد الكهرباء في مزارع الرياح البرية والبحرية



تعد تكلفة توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح في الصين والهند أقل بكثير مما هي عليه في أوروبا، أو أمريكا الشمالية، عند معامل حمل معين، بسبب الانخفاض الكبير في تكلفة تركيب مزارع الرياح البرية في هذين البلدين. ففي الهند في عام 2010، كان متوسط

معامل الحمل في محطات توليد الكهرباء في أربع ولايات (تمثل نحو أربعة أخماس إجمالي الطاقة الإنتاجية في الهند) 20٪، ولكن هذا المتوسط يتجه نحو الارتفاع مع مرور الزمن. وإذا افترضنا أن معامل الحمل في المشروعات الجديدة هو 25٪، فهذا يعني أن تكلفة توليد الكهرباء من الرياح في الصين والهند في عام 2011 تراوحت بين 0.07 و0.08 دولار/ ك.و.س، أي أقل من تكلفة توليد الكهرباء من الرياح في أوروبا وأمريكا الشمالية بنسبة 34٪ و43٪ عند معامل الحمل ذاته.

الشكل (8-4-ب)



ملاحظات: تكلفة توليد الكهرباء في مزارع الرياح البرية (أوروبا) والبحرية في عامي 2011 و2015. احتسبت التكلفة على أساس الافتراضات التالية: معدل الخصم: 10٪، العمر الافتراضي للمزرعة: 20 سنة، التراجع السنوي في الإنتاج (الاستهلاك) في مزارع الرياح البرية والبحرية: 0.1٪. التكلفة الافتراضية للتشغيل والصيانة في المزارع البرية 0.02 دولار/ ك.و.س، تزيد بنسبة 1٪ سنوياً في السنوات العشر الأولى ثم بنسبة 2٪. التكلفة الافتراضية للتشغيل والصيانة في المزارع البرية في عام 2015 هي 0.0175 دولار/ ك.و.س. التكلفة الافتراضية للتشغيل والصيانة في المزارع البحرية 0.035 دولار/ ك.و.س، تزيد بنسبة 1٪ سنوياً في السنوات العشر الأولى ثم بنسبة 2٪. التكلفة الافتراضية للتشغيل والصيانة في المزارع البحرية في عام 2015 هي 0.03 دولار/ ك.و.س.

كما هو مبين في الشكلين (8-4-أ) و(8-4-ب)، في عام 2011 تراوحت تكلفة توليد الكهرباء في مزارع الرياح البحرية ما بين 0.15 و0.165 دولار/ ك.و.س، بافتراض معامل

حمل قدره 45٪ وتكاليف تشغيل وصيانة قدرها 0.035 دولار/ ك.و.س. وينخفض هذا النطاق إلى 0.14–0.15 دولار/ ك.و.س عندما يكون معامل الحمل 50٪. والتكلفة المرتفعة لتشغيل وصيانة مزارع الرياح البحرية ترفع تكلفة توليد الكهرباء فيها، ومن المهم تخفيض تكلفة هذا الجانب لتحسين الجدوى الاقتصادية على المدى الطويل.

من المتوقع أن تنخفض التكلفة الكلية لإنشاء مزارع الرياح البحرية بمقدار 8٪ بحلول عام 2015، كما ستنخفض تكاليف التشغيل والصيانة من 0.035 دولار/ ك.و.س في المتوسط إلى 0.03 دولار/ ك.و.س. وهذا الانخفاض في التكاليف سيجعل تكلفة توليد الكهرباء في مزارع الرياح البحرية في عام 2015 أقل بنسبة 8٪–10٪ مما كانت عليه في عام 2011. ومن المرجح أن تظل تكلفة توليد الكهرباء في مزارع الرياح البحرية أعلى من تكلفتها في مزارع الرياح البرية في المستقبل المنظور، حتى لو أخذنا في الحسبان معاملات حمل أعلى، وربما تبقى كذلك على الدوام؛ نظراً إلى التحديات التي ينطوي عليها خفض التكاليف الرأسمالية، وتكاليف التشغيل والصيانة. ولكن مع زيادة المنافسة على مواقع الرياح البرية الجيدة القريبة من مراكز الطلب في أوروبا وأمريكا الشمالية، سيكون للرياح البحرية دور حيوي في استمرار نمو حصة طاقة الرياح.

في المدى القريب، يمكن للرياح البرية أن تحدث أثراً كبيراً في بلدان منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وبعض أفضل مواقع الرياح البرية في المنطقة توجد في خليج السويس، وعلى سواحل مصر، والسعودية، على البحر الأحمر، كما تمتلك المغرب والجزائر إمكانات ممتازة.[35] ولذلك من المتوقع أن تتمكن دول المنطقة التي تمتلك موارد رياح قوية من توليد الكهرباء –في نهاية المطاف– بتكلفة تماثل أدنى توقعات التكلفة العالمية الواردة في هذه الورقة.

الطاقة الشمسية الكهروضوئية

يعد توافر موارد الطاقة الشمسية العامل الرئيسي في تحديد إنتاجية محطة الطاقة الشمسية، ومتوسط معامل الحمل فيها. كما تتأثر هذه الإنتاجية بميل الألواح واتجاهها،

فضلاً عن وجود نظام لتتبع حركة الشمس. عندما تكون تكلفة توليد الكهرباء في نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية مماثلة لتعرفة الكهرباء المنزلية، أو أقل منها، فهذا يعني أن الكهرباء المولدة باستخدام الطاقة الشمسية منافسة اقتصادياً بالنسبة إلى الاستهلاك المنزلي. وقد تحققت التنافسية في بعض البلدان التي ترتفع فيها تعرفة الكهرباء وفيها إشعاع شمسي وظروف مناخية مناسبة لتوليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية. ومع استمرار انخفاض تكاليف محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية، ستزداد جاذبيتها الاقتصادية بالنسبة إلى المستهلكين المنزليين، والكثير من المستهلكين التجاريين في العديد من البلدان، وسيكون لها دور رئيسي في شبكات المرافق والمناطق غير المتصلة بالشبكة.[36] إلا أن الكثير يعتمد على استمرار المعدل الحالي لانخفاض تكلفة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وسرعة انتشارها. وبالمثل، تقوم العديد من هذه التوقعات على استمرار الزيادة في تكلفة الكهرباء المولدة باستخدام تقنيات التوليد التقليدية.

من المتوقع أن تستمر تكلفة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الانخفاض بسرعة، على الرغم من الشكوك الحالية في نمو السوق على المدى القصير. فتوقعات سوق الطاقة الشمسية الكهروضوئية على المدى القصير سرعان ما تصبح قديمة نظراً إلى تسارع وتيرة التطورات في هذه الصناعة. أما التوقعات على المدى الطويل فيرجح أن تشهد قدراً أقل من التقلبات. فمن المتوقع أن تنخفض تكلفة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الخاصة بالاستخدام المنزلي من 4,200–6,000 دولار/ كيلوواط في عام 2010 إلى 1,800–2,700 دولار/ كيلوواط بحلول عام 2020. كما يُتوقع أن تشهد الأنظمة الكبيرة القادرة على تزويد شبكة المرافق بالكهرباء انخفاضاً مماثلاً في تكلفتها من 3,600-4,000 دولار/ كيلوواط في عام 2010 إلى 1,800 دولار/ كيلوواط في عام 2020، وصولاً إلى 1,060-1,380 دولار/ كيلوواط في عام 2030. هذه التوقعات تقوم على معدل تعلم مقداره 18٪، وهو أقل من المعدل التاريخي البالغ 22٪. وقد تم تخفيض هذا المعدل؛ لأن معدلات التعلم تنخفض ببطء مع مرور الزمن ونضج التقنيات. ومن المتوقع أن يسهم إنشاء محطات ضخمة للطاقة الشمسية الكهروضوئية في تخفيض التكلفة من 3,730–3,900 دولار/ كيلوواط في عام

2011 إلى 2,200–2,640 دولار/ كيلوواط بحلول عام 2015. وقد تنخفض التكلفة الكلية لمحطات الطاقة الشمسية المكونة من ألواح السيليكون البلوري إلى 2,270–2,770 دولار/ كيلوواط بحلول عام 2015، في حين أن التكلفة الكلية لمحطات الطاقة الشمسية المكونة من وحدات الرقائق الشمسية قد تنخفض إلى 1,860–2,240 دولار/ كيلوواط. وبالإضافة إلى التوقعات التي تستند إلى انتشار الأنظمة ومعدلات التعلم، هناك أهداف أكثر طموحاً (تدعمها الجهود الكبيرة التي تبذل في البحث والتطوير والسياسات الهادفة إلى إحداث تحول في السوق)، مثل مبادرة "صن شوت SunShot" في الولايات المتحدة الأمريكية.[37] وتهدف هذه المبادرة إلى الوصول إلى توليد الكهرباء لاستخدامات شبكة المرافق بسعر 1 دولار/ واط بحلول عام 2020، وبسعر 1.5 دولار/ واط للأنظمة المنزلية خلال الفترة ذاتها. وتحقيق هذه الأهداف يعني أن أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية يمكن أن تنتج الكهرباء بتكلفة 0.05–0.07 دولار/ ك.و.س؛ ما يجعلها منافسة لتوليد الكهرباء بالاعتماد على الوقود الأحفوري في معظم المناطق الجغرافية. كما أن أرقام مبادرة "صن شوت" لا تأخذ في الحسبان تطوير خط نقل و/ أو تعزيز تخزين الكهرباء لتلبية الطلب عندما لا تكون الشمس ساطعة. ووفقاً لهذه المبادرة فإنه إذا استمر التطور التقني بسرعته الحالية، فمن المرجح أن تصل تكلفة نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية بحلول عام 2016 إلى 2.20 دولار/ واط للأنظمة الكبيرة القادرة على تزويد الكهرباء للمرافق، و2.50 دولار/ واط للأنظمة المتوسطة القادرة على تزويد المباني التجارية، و3.50 دولار/ واط للأنظمة المنزلية. وبحلول عام 2020، قد تنخفض تكلفة الأنظمة الكبيرة في سيناريو "التطور" إلى 1.71–1.91 دولار/ واط. أما الأنظمة المنزلية فقد تنخفض تكلفتها في هذا السيناريو إلى 2.29 دولار/ واط في عام 2020. ويشير التحليل الأولي إلى أن تحقيق هدف 1 دولار/ واط في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية يتطلب أن تبلغ تكلفة النظام 0.50 دولار/ واط، وتكلفة باقي عناصر النظام والتركيب 0.40 دولار/ واط، والتجهيزات الإلكترونية 0.10 دولار/ واط. وقد بدأ بالفعل استكشاف أفكار حول كيفية تحقيق هذه الأهداف في العديد من مشروعات البحث والتطوير؛ الصناعية والأكاديمية في مجال الطاقة الشمسية

الكهروضوئية. ويمكن تحقيق تحسينات كبيرة في تكلفة وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وباقي عناصر النظام والتجهيزات الإلكترونية لو أمكن تحسين كفاءة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتقليل المساحة اللازمة لاستطاعة توليد معينة. وكقاعدة عامة، فإن كل زيادة بمقدار 1٪ في كفاءة وحدة الطاقة الشمسية تؤدي إلى تخفيض تكلفة باقي عناصر النظام بما بين 0.07 و0.10 دولار/ واط.

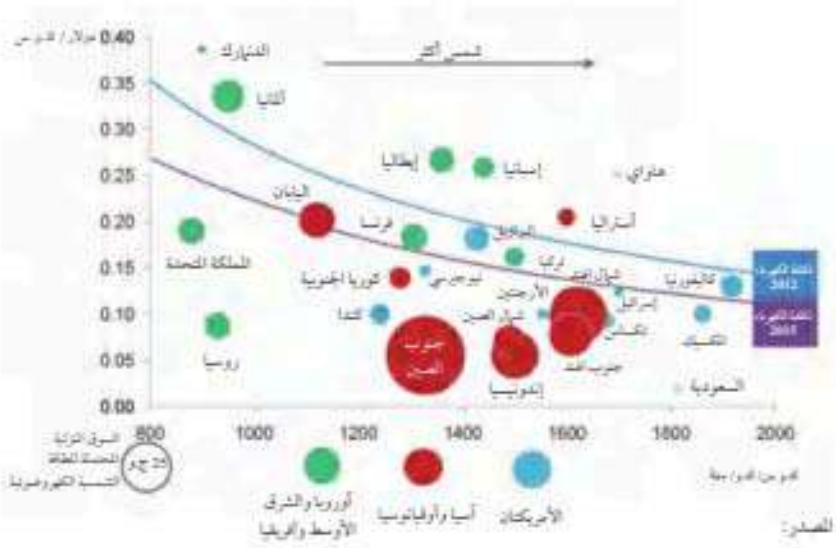
بعكس الرياح، الموارد الشمسية متاحة بوفرة بشكل عام في جميع أنحاء منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، ولا تقتصر على بلدان ومواقع معينة. ولكن، كما سبق القول، بغضّ النظر عن تكاليف النظام، وتكلفة توليد الكهرباء، سيبقى دعم أسعار الكهرباء المحلية عقبة في وجه استغلال الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتوليد الكهرباء للاستخدامات المنزلية والتجارية في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وكما يبين الشكل (8-5)، فإنه -برغم توافر موارد شمسية كبيرة- لا يُتوقع أن تصبح تكلفة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية مماثلة لتعرفة الشبكة (أو بشكل أدق لأسعار الكهرباء التي يدفعها المستهلكون) بحلول عام 2015، ولا حتى خلال العقد المقبل، برغم استمرار الهبوط السريع لتكلفة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.[38]

وهذا يعزى إلى حد كبير إلى الدعم الكبير لأسعار الكهرباء في السعودية، والعديد من البلدان الأخرى في الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا. ولكن هذا لا يعني عدم وجود أساس اقتصادي للطاقة الشمسية الكهروضوئية في السعودية وغيرها من دول المنطقة. بل على العكس تماماً، حيث بينت الجمعية الإماراتية لصناعات الطاقة الشمسية أنه بناء على أسعار تقنية الطاقة الشمسية في الأسواق، فإن تكلفة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المناخ التقليدي السائد في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا يقارب 0.15 دولار/ ك.و.س، وفي هذا المستوى فإن الطاقة الشمسية الكهروضوئية أرخص وفقاً للحساب البسيط للتكلفة من محطات توليد الكهرباء ذات الدورة المفتوحة والكفاءة المتدنية (أي المحطات التي يتم تشغيلها في أوقات الذروة) التي يتم تشغيلها لتلبية الطلب على الكهرباء في ساعات الذروة وتعمل على وقود غاز طبيعي يزيد سعره على 5.00

دولارات أمريكية لكل مليون وحدة حرارية بريطانية.[39] هذه النتيجة مشجعة بشكل خاص لاستغلال الطاقة الشمسية الكهروضوئية في دول الخليج التي تتطابق فيها ذروة الطلب على الكهرباء خلال النهار مع توافر الموارد الشمسية المحلية، وتزيد فيها تكلفة وقود المحطة في أوقات الذروة على 5.00 دولارات لكل مليون وحدة حرارية بريطانية، خاصة في حالة الحاجة إلى استخدام الغاز الطبيعي المسال المستورد.

الشكل (8-5)

تكلفة الطاقة الشمسية الكهروضوئية



المصدر:

M. Barcliana, et al., "Re-considering the Economics of Photovoltaic Power," Bloomberg New Energy Finance, 2012.

للوصول إلى استخدام واسع النطاق للطاقة الشمسية الكهروضوئية؛ في منطقة الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا -على الرغم من الدعم الكبير لأسعار الكهرباء فيها- ينبغي النظر بعناية إلى الاعتماد على هذه التقنية لتزويد شبكة المرافق مع التركيز على موقع التقنيات المختلفة في منحنى الطاقة والطرق المتعددة، لتأثير ذلك في أسعار الكهرباء بالجملة والتجزئة. وهذه الدراسات تجري حالياً كما أسلفنا.

الطاقة الشمسية المركزة

يمكن تخفيض تكلفة توليد الكهرباء في محطات الطاقة الشمسية المركزة من خلال تحسين الأداء (الكفاءة) وتقليل التكاليف الرأسمالية. وفيما يلي الجوانب الرئيسية التي يمكن فيها خفض التكاليف:

حقول الطاقة الشمسية: يمكن خفض التكاليف من خلال إنتاج كميات كبيرة واستخدام مكونات أرخص، وإدخال تحسينات على التصميم.

سوائل نقل الحرارة: سيساعد استخدام سوائل جديدة لنقل الحرارة الجديدة، القادرة على الوصول إلى درجات حرارة أعلى، في تحسين إمكانات التخزين، وخفض التكاليف. وهناك أيضاً إمكانية لتوليد الكهرباء من البخار مباشرة، ولكن هذا يتطلب المزيد من البحث.

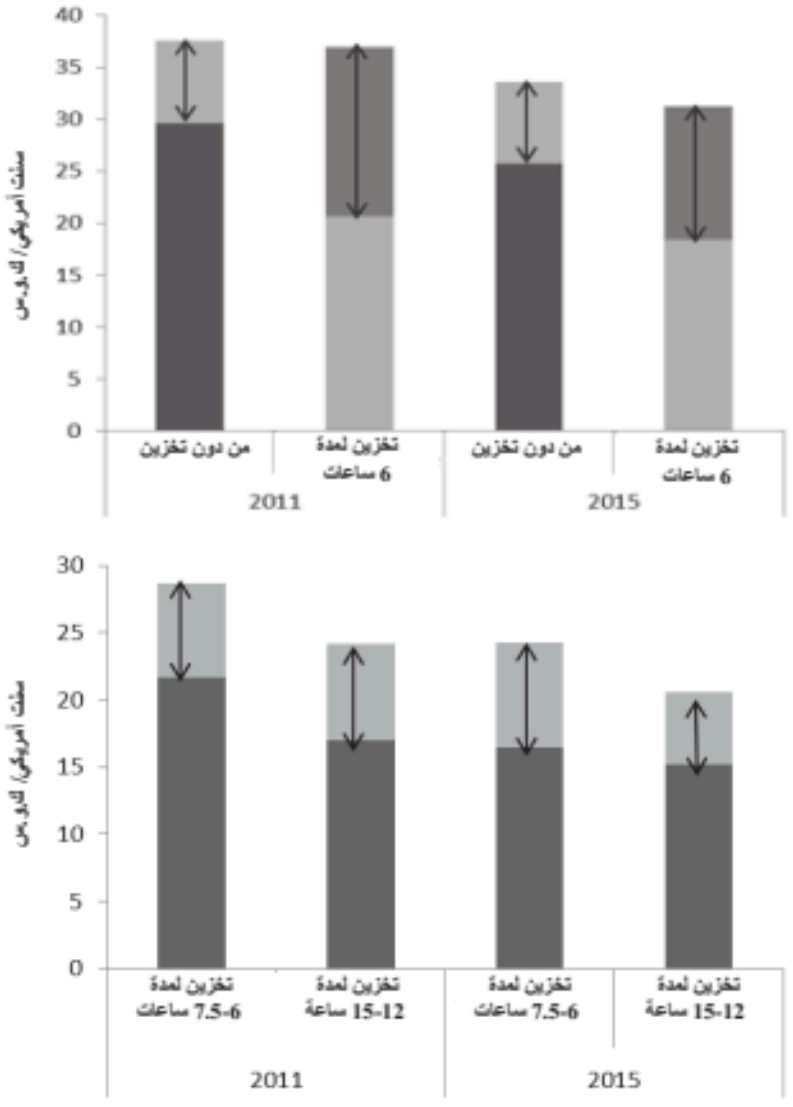
أنظمة التخزين: ترتبط هذه الأنظمة ارتباطاً وثيقاً بسوائل نقل الحرارة؛ لأن ارتفاع درجات الحرارة، وخاصة من الأبراج الشمسية، سيقلل من تكلفة تخزين الطاقة الحرارية.

وحدات التوليد: ما زالت هناك إمكانية لتخفيض التكاليف، ولكنه سيكون أقل من التخفيض الممكن في حالة المكونات الأخرى.

من المتوقع تحقيق تخفيضات كبيرة في تكلفة توليد الكهرباء في محطات الطاقة الشمسية في السنوات المقبلة؛ نظراً إلى وجود محطات طاقة شمسية مركزة قيد الإنشاء، أو أُعلِنت، أو تُخطط لبنائها بحلول عام 2020. ومع اعتماد سياسات تشجع على استخدام هذه التقنية، يمكن خفض التكلفة بشكل كبير من خلال آثار التعلم. ويمكن أيضاً تحقيق تخفيض إضافي في تكلفة توليد الكهرباء في محطات الطاقة الشمسية المركزة، من خلال زيادة الاستثمار في البحث والتطوير، ونمو الخبرة التشغيلية، وتوسيع المحطات وزيادة استطاعتها. وكما يبين الشكل (8–6) تشير التقديرات الحالية إلى أن تكلفة توليد الكهرباء في محطات مرايا القطع المكافئ غير المجهزة لتخزين الطاقة الحرارية تبلغ 0.30-0.37 دولار/ ك.و.س، ويمكن أن تنخفض إلى 0.26–0.34 دولار/ ك.و.س بحلول عام 2015.

الشكل (8-6)

تكلفة توليد الكهرباء في محطات مرايا القطع المكافئ وفي أبراج الطاقة الشمسية



المصدر: IRENA, 2012(b), op. cit.

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

أما محطات مرايا القطع المكافئ المزودة بإمكانية تخزين الطاقة الحرارية لمدة ست ساعات، فتتراوح التكلفة التقديرية لتوليد الكهرباء فيها بين 0.21 و0.37 دولار/ ك.و.س، تبعاً للتكاليف الرأسمالية ومعامل الحمل. ويمكن أن تنخفض هذه التكلفة إلى ما بين 0.18 و0.31 دولار/ ك.و.س بحلول عام 2015. أما بالنسبة إلى محطات الأبراج الشمسية، فتشير التقديرات إلى أن تكلفة توليد الكهرباء في المحطات المجهزة لتخزين الطاقة لمدة 6-7.5 ساعات بلغت 0.22–0.29 دولار/ ك.و.س في عام 2011. وتراوحت هذه التكلفة ما بين 0.17 و0.24 دولار/ ك.و.س في المحطات المجهزة لتخزين الطاقة لمدة 12–15 ساعة. وبحلول عام 2015، قد تسهم تخفيضات التكلفة الرأسمالية والتحسينات في الأداء وتخفيضات تكاليف التشغيل والصيانة في خفض تكلفة توليد الكهرباء في محطات الأبراج الشمسية المجهزة لتخزين الطاقة لمدة 6–7.5 ساعات إلى 0.17–0.24 دولار/ ك.و.س. أما المحطات المجهزة لتخزين الطاقة لمدة 12–15 ساعة، فقد تنخفض تكلفة توليد الكهرباء فيها إلى 0.15–0.21 دولار/ ك.و.س بحلول عام 2015. وهكذا، هناك إمكانية لخفض تكلفة توليد الكهرباء في محطات أبراج الطاقة الشمسية إلى مستوى تصبح معها قادرة على منافسة التقنيات التقليدية في توفير الأحمال المتوسطة وأحمال الذروة في فترة بعد الظهر الناتجة عن استخدام المكيفات في المناطق ذات المناخ الحار والجاف على المدى القصير إلى المتوسط، كما أن تخفيضات التكلفة الإضافية الممكنة حتى عام 2020 ستزيد تنافسيتها.

تشمل الاعتبارات الرئيسية المتعلقة بالطاقة الشمسية المركزة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا الإشعاع العادي المباشر (أي كثافة الإشعاع الساقط بشكل عمودي على سطح مائل موجه نحو الشمس) وطبيعة الطلب على الكهرباء في المنطقة التي تستخدم فيها الطاقة الشمسية المركزة. فبالنسبة إلى الإشعاع العادي المباشر، عندما يزيد هذا الإشعاع على 2,100 كيلوواط للساعة للمتر المربع الواحد في السنة (ك.و.س/ م^2/ سنة)، فمن المتوقع أن تنخفض تكلفة توليد الكهرباء في محطات الطاقة الشمسية المركزة بمقدار 4.5٪ مع كل زيادة مقدارها 100 ك.و.س/ م^2/ للسنة.[40] لذلك يعتبر التقييم الدقيق للموارد الشمسية أمراً أساسياً عند النظر في استغلال تقنية الطاقة

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 341/457

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

الشمسية المركزة. ولكن بشكل عام فإن تكلفة توليد الكهرباء باستخدام هذه التقنية في المغرب (حيث يبلغ الإشعاع العادي المباشر 2,600 ك.و.س/ م^2/ سنة تقريباً) هي أقل من تكلفتها في إسبانيا (حيث يبلغ الإشعاع العادي المباشر 2,100 ك.و.س/ م^2/ في السنة تقريباً) أو غيرها من البلدان الأوروبية، على فرض تساوي جميع عناصر التكلفة الأخرى.

في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، تمتلك الجزائر وليبيا والسعودية ومصر أفضل الفرص لاستخدام تقنية الطاقة الشمسية المركزة.[41] ومن المرجح أن تميل بلدان المنطقة التي فيها قدر كافٍ من الإشعاع العادي المباشر ويرتفع فيها الطلب على الكهرباء بشكل كبير في فترة الذروة المسائية إلى تفضيل محطات الطاقة الشمسية المركزة المجهزة لتخزين الطاقة الحرارية على محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية. وهذه البلدان تشمل المغرب وتونس والجزائر.[42]

الاستنتاجات والملاحظات

ناقشت هذه الورقة آفاق تقدم تقنية الطاقة المتجددة في قطاع الكهرباء. واستناداً إلى المعلومات المقدمة، خلصنا إلى الاستنتاجات العامة التالية:

نحن على وشك أن نشهد ثورة في مجال الطاقة المتجددة. فالانتشار السريع لتقنيات توليد الطاقة المتجددة والانخفاض السريع في التكاليف عاملان يعزز كل منهما الآخر. هناك انخفاض في تكلفة توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح، والطاقة الشمسية الكهروضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، وبعض تقنيات الكتلة الحيوية، إلا أن استغلال الطاقة المائية في المواقع الجيدة لا يزال أرخص وسيلة لتوليد الكهرباء. وما زالت تكلفة هذه التقنيات لإنتاج الطاقة المتجددة، باستثناء الطاقة المائية، في انخفاض نتيجة لآثار التعلم. وهذا يعني أن التكاليف الرأسمالية سوف تستمر في الانخفاض بنسبة مئوية ثابتة في كل مرة تتضاعف فيها استطاعة المحطات القائمة، وفي حالة محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية، تجاوزت هذه النسبة تاريخياً 20٪، ولكنها قد تنخفض إلى 15٪ بحلول عام 2015.[43]

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 342/457

أدى الانتشار السريع لتقنيات الطاقة المتجددة، إلى جانب معدلات آثار التعلم العالية المشار إليها، إلى انخفاض كبير ومستمر في التكاليف، وساعد في إطلاق ثورة الطاقة المتجددة، حيث أصبحت مصادر الطاقة المتجددة تنافسية بشكل متزايد. فقد انخفضت تكاليف محطات الطاقة الشمسية المكونة من ألواح السيليكون البلوري بأكثر من 60٪ خلال السنتين الأخيرتين لتصل إلى أقل من 1.0 دولار/ واط، كما أن تكلفة تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المنزلية آخذة في الانخفاض. ففي ألمانيا انخفضت تكلفة الأنظمة المركبة على سطوح المنازل بنسبة 65٪ بين عامي 2006 و2012 لتصل إلى 2.2 دولار/ واط؛ ما جعل الطاقة الشمسية الكهروضوئية منافسة لتعرفة الكهرباء المنزلية الحالية.

إن الانخفاض السريع في تكلفة تقنيات توليد الطاقة المتجددة يعني أن هناك حاجة إلى تحديث البيانات باستمرار، من أجل تقييم سياسات دعم الطاقة المتجددة، كما يلزم إجراء تحليل ديناميكي لتكاليف الطاقة المتجددة لتحديد مستوى الدعم اللازم. وسياسات الدعم المصممة للتغلب على العقبات وتشوهات السوق التي تواجهها الطاقة المتجددة تساعد في تخفيض التكاليف، وتسلط الضوء على حقيقة أن تكلفة دعم انتشار الطاقة المتجددة أقل بكثير مما يظهر في التحليل الثابت للتكاليف.

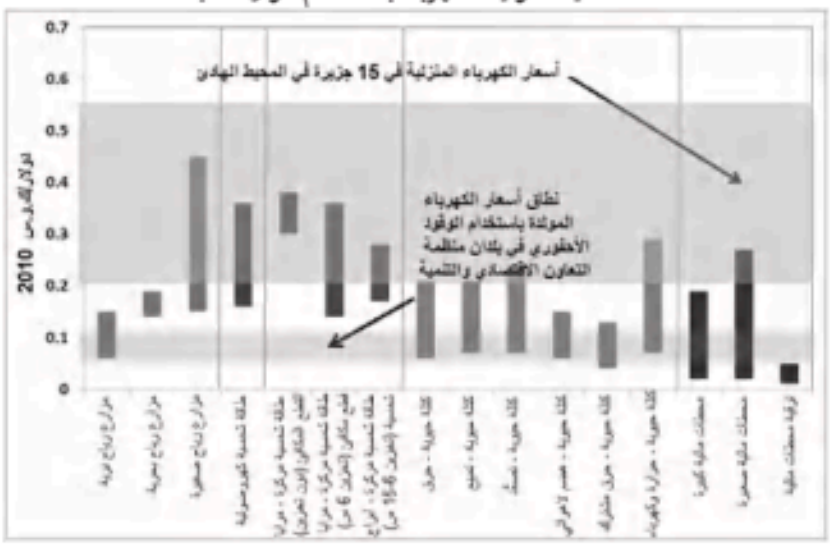
فالنمو السريع في الاستطاعة الكلية لمحطات الطاقة المتجددة، وتحسين التقنيات، وخفض التكاليف الناتج عن ذلك، يعني أنه حتى البيانات الصادرة قبل عام واحد، أو عامين، قد تتضمن مبالغة كبيرة في تكلفة توليد الكهرباء باستخدام تقنيات الطاقة المتجددة. وعلى واضعي السياسات مواكبة هذه التطورات السريعة، وإدراك أن إجراء تحليل ديناميكي لإجراءات الدعم المدروسة جيداً هو أمر ضروري لتحديد مستويات الدعم المناسبة والمحافظة عليها.

إن تقنيات إنتاج الطاقة المتجددة هي الآن أفضل حل اقتصادي لتوفير الكهرباء في المناطق الواقعة خارج شبكة الكهرباء، بل وتوسيع الشبكة في العديد من المناطق، فضلاً

عن إمداد الشبكة المركزية في المناطق التي تتوافر فيها موارد جيدة للطاقة المتجددة. فالارتفاع الحالي في أسعار النفط، وانخفاض تكاليف تقنيات توليد الطاقة المتجددة، جعلا الموارد المتجددة الخيار الأمثل لتوفير الكهرباء خارج الشبكة؛ فالطاقة الشمسية الكهروضوئية، وطاقة الكتلة الحيوية، وطاقة الرياح تعدّ حلولاً نموذجية لمشكلة إيصال الكهرباء إلى المناطق النائية، وبالتالي فهي فعالة جداً في المساعدة على تحقيق أهداف التنمية الاقتصادية والاجتماعية. وقد تكون تقنيات الطاقة المتجددة أرخص بكثير من حرق الديزل لتوليد الكهرباء، خاصة في المناطق النائية التي تعاني ضعفاً، أو حتى عدم وجود بنية تحتية، حيث يمكن أن تؤدي تكاليف النقل إلى زيادة تكلفة الديزل بنسبة تتراوح بين 10٪ و100٪.

الشكل (8-7)

تكلفة تقنيات توليد الكهرباء باستخدام الموارد المتجددة



المصدر:

IRENA, "Summary for Policy Makers: Renewable Power Generation Costs," 2012.

ملاحظات: التكلفة المفترضة لرأس المال هي 10٪. تمثل الأعمدة نطاقات التكاليف الاستثمارية النموذجية (باستثناء النقل والتوزيع) ومعاملات الحمل.

يبين الشكل (8–7) أنه برغم أن تقنيات الطاقة المتجددة قد تكون اقتصادية جداً في استخدامات معينة، فإن تكلفتها تختلف بشكل كبير من مكان إلى آخر. ونتيجة لذلك، لا يوجد تقنية توليد طاقة متجددة هي "الأفضل" دائماً. وفي الواقع، يمكن الجمع بين تقنيات مختلفة لتوليد الطاقة المتجددة في شبكات صغيرة لتزويد القرى المعزولة بالكهرباء، وتوسيع الشبكات القائمة. فالطبيعة التكاملية لمختلف خيارات الطاقة المتجددة، التي تستخدم أحياناً إلى جانب تخزين الكهرباء، يمكن أن تساعد في تقليل التقلبات في إمدادات الكهرباء وتوفير حلول منخفضة التكلفة لتوفير الكهرباء على المستوى المحلي؛ تحقق فوائد اقتصادية بتكلفة أقل من تكلفة محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالديزل.[44] إلا أن أحد التحديات الرئيسية التي تواجهها هذه المشروعات هي التكلفة العالية لرأس المال، التي يمكن أن ترتفع في البلدان النامية إلى ضعفي أو ثلاثة أضعاف التكلفة في البلدان المتقدمة. لذلك يتعين بذل جهود لتطوير آليات للتمويل بتكلفة أقل.

إن تكلفة توليد الكهرباء باستخدام تقنيات الطاقة المتجددة تختلف تبعاً للظروف وقد تتضاعف مرتين أو أكثر للتقنية ذاتها. لذلك من الضروري إجراء تحليل مفصل لتقنيات الطاقة المتجددة في كل بلد، بل وفي كل منطقة، من أجل فهم الفرص التي توفرها هذه التقنيات.

وهناك أربعة عناصر رئيسية تحدد إلى حد كبير تكلفة توليد الكهرباء باستخدام الطاقة المتجددة: جودة الموارد، وتكلفة المعدات وأداؤها، وتكاليف باقي مكونات المشروع، وتكلفة رأس المال. وجميع هذه العناصر قد تتفاوت بشكل كبير من مشروع إلى آخر، ومن بلد إلى آخر. وكل عنصر منها قد يختلف بمقدار الضعف، أو أكثر تبعاً للظروف. وبما أن هذه العناصر مستقلة عن بعضها بعضاً إلى حد بعيد، فإن تكلفة توليد الكهرباء تتفاوت بشكل كبير جداً. فالمشروعات المجدية اقتصادياً مشروطة بتضافر ظروف عدة مساعدة. ولا بد من إجراء تحليل دقيق للتكاليف والموارد في كل بلد، من أجل تحديد أفضل تقنيات الطاقة المتجددة لتوليد الكهرباء.

فيما يتعلق بمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على وجه التحديد، أصبحت تقنيات الطاقة المتجددة مجدية اقتصادياً لتوليد الكهرباء. وعلى الرغم من انتشار تقنيات الطاقة المتجددة، فإن استخدامها قليل نسبياً في المنطقة، برغم وفرة موارد الرياح والطاقة الشمسية فيها. ويرجع ذلك إلى عوامل مثل استمرار الاعتماد على الوقود الهيدروكربوني لتوليد الكهرباء، وعدم وجود حافز بسبب الدعم الكبير لأسعار الكهرباء، وعدم وجود سياسات تدعم الطاقة المتجددة للتغلب على هذه العقبات (مثل تعرفة إمدادات الطاقة، والحصص، ومعايير الطاقة المتجددة). ومع ذلك، فإن انتشار الطاقة المتجددة سيكتسب قوة دافعة في المنطقة مع تزايد الوعي بجدواها الاقتصادية. وتشمل عوامل الجدوى الاقتصادية للطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا على المدى القصير انخفاض تكاليف توليد الكهرباء باستخدام موارد الطاقة المتجددة، وزيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري غالي الثمن لتوليد الكهرباء في المنطقة. كما أن ربط شبكات الكهرباء في المنطقة وعبر القارات يوفر فرصة لموارد الطاقة المتجددة تتجاوز الطلب المحلي على الكهرباء، برغم أن هذه الورقة لم تتناول هذا الموضوع بشكل تفصيلي.[45]

ينبغي أن تشكل استراتيجيات الطاقة المتجددة التي تضعها وتنفذها بعض بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا؛ كالسعودية، والمغرب، والإمارات، وغيرها، نموذجاً للدور الذي يمكن أن تلعبه الطاقة المتجددة في تخفيض التكاليف، وتخفيف الحواجز المرتبطة بالاعتماد على الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية، بالإضافة إلى تحقيق التنمية والتنويع الاقتصادي.

كما أوضحت هذه الورقة، أنه يمكن لتقنيات الطاقة المتجددة تحقيق منافع اقتصادية ملموسة في المدى القريب على الصعيد العالمي، بما في ذلك العديد من بلدان منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وسيعتمد انتشار هذه التقنيات في المنطقة مستقبلاً على تطور إمدادات الطاقة، وتوقعات الطلب. ومن هنا فإن التحديث المستمر للمعلومات المتعلقة بتكلفة تقنيات الطاقة المتجددة وأدائها، خاصة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، سيكون أمراً شديد الأهمية لوضع هذه التوقعات، وبالتالي تطوير استراتيجيات الطاقة الإقليمية التي ستقرر مستقبل الطاقة في المنطقة.

الفصل التاسع

توطين تكنولوجيا الطاقة النووية:
من الطريقة الكورية إلى التجربة الإماراتية

بيونغ كو كيم

في السابع عشر من يوليو 2012، منحت الهيئة الاتحادية للرقابة النووية FANR في دولة الإمارات العربية المتحدة مؤسسة الإمارات للطاقة النووية ENEC ترخيصاً لإنشاء محطتين لتوليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية في موقعها المقترح في منطقة "براكة" بالمنطقة الغربية في إمارة أبوظبي. وجاء هذا المشروع نتيجة لجهود كبيرة بذلها أكثر من 200 خبير فني نووي في الداخل والخارج، على مدى 18 شهراً. وقام المراجعون بتدقيق وتقييم الوثائق والتقارير التي قدمتها مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، التي تغطي جميع الموضوعات المطلوبة، بما فيها كفاية المواقع المقترحة، وتصميم المنشأة، وتحليل الأمان، وتدابير السلامة من الإشعاع، والحماية المادية، والإجراءات الوقائية. وخلصت الهيئة الاتحادية للرقابة النووية إلى أن التصميم استوفى جميع الشروط الفنية والقانونية المعمول بها، وأنه بالإمكان البدء ببناء المفاعل النووي؛ وسوف يتم استكمال هذه الموافقة برخصة تشغيل لاحقة، يجب الحصول عليها قبل تحميل الوقود النووي. وبوضع هذه الموافقة التنظيمية في سياق عالمي -وفقاً لقاعدة بيانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية- أصبحت الإمارات أول دولة وافدة إلى قطاع الطاقة تبني أول محطة لتوليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية منذ 31 عاماً؛ (أي منذ قيام الصين بذلك عام 1981). وستكون هذه المحطة أول منشأة من نوعها في العالم العربي.[1]

المراحل الرئيسية للطاقة النووية في الإمارات

تمثل الإمارات، في كثير من النواحي، نموذجاً لدولة يتم إدخال الطاقة النووية إليها للمرة الأولى. ويمكن إرجاع ذلك إلى "رؤية أبوظبي الاقتصادية 2030" التي صدرت في عام 2008؛ حيث تمت الإشارة بصورة واضحة في هذه الوثيقة إلى طاقة مزيج من النفط، والغاز، والطاقة النووية، بهدف تحقيق مزيد من الكفاءة في استخدام النفط والغاز من خلال التحول تدريجياً إلى الكهرباء التي يتم توليدها بالطاقة النووية. واستشرافاً لمستقبل هذه السياسة الجديدة عقد مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية مؤتمره الرابع عشر للطاقة في أبوظبي عام 2008 تحت عنوان: "الطاقة النووية في الخليج"، مبشراً بحقبة نووية للمنطقة. وفي هذا المؤتمر، قدم هانز بليكس Hans Blix، المدير العام السابق للوكالة الدولية للطاقة الذرية حجة مقنعة للحصول على الطاقة النووية، حتى بالنسبة إلى دولة غنية بالنفط مثل الإمارات؛ مادام المشروع النووي يعتمد بشكل صحيح الإجراءات الوقائية الخاصة بالأمن جميعها ، والسلامة، وعدم انتشار الأسلحة النووية. وأضاف بليكس: قد توجد ميزة اقتصادية بالنسبة إلى الدول الغنية بالنفط والغاز في التوجه إلى استخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء من أجل تلبية الطلب المحلي المتزايد، وتصدير النفط والغاز بدل استخدامها لإنتاج الكهرباء.[2]

في يوليو 2009، عيّنت الحكومة الإماراتية المهندس حمد الكعبي، أول سفير لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية في فيينا؛ لكي يتولى زمام المبادرة في مجال الدبلوماسية للمشروع النووي الإماراتي على الساحة الدولية. ولتحقيق أعلى المعايير في إجراءات الوقاية من انتشار الأسلحة النووية، والأمان النووي، تبنت الحكومة الإماراتية سياسة الاستخدام السلمي للطاقة النووية بإعلان ما يعرف بـ"المعيار الذهبي" في منع انتشار الأسلحة النووية، والأمان النووي. من حيث الجوهر، لم يتم الإفساح لأي مجال من مجالات إساءة استخدام الطاقة النووية، وذلك من خلال الدخول في أنظمة الضمانات

الدولية ومعاهدات السلامة والأمان الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، بالإضافة إلى اتفاقيات ثنائية رئيسية مع الولايات المتحدة، وفرنسا، وكوريا الجنوبية.

مشروع براكة

تم إنشاء كامل البنية التحتية النووية في الدولة من الصفر في عام 2008، بدءاً بسن قوانين أساسية خاصة بالطاقة النووية. وفي عام 2009 تم تأسيس "الهيئة الاتحادية للرقابة النووية" التي تعمل على مراقبة جميع أمور الأمان النووي، وسلامة الإشعاعات، وضمانات منع الانتشار. كما تم إنشاء "مؤسسة الإمارات للطاقة النووية"، التي تعد المشغِّل النووي والمسؤول الوحيد عن بناء محطتي توليد الكهرباء بالطاقة النووية في موقع "براكة". وتم استدراج عروض أسعار دولية ذات تنافسية شديدة، شاركت فيها شركة آريفا Areva الفرنسية، وجنرال إلكتريك/ هيتاشي GE/Hitachi الأمريكية-اليابانية، وكونسورتيوم كوري برئاسة الشركة الكورية للطاقة الكهربائية كيبكو KEPCO. وفي السابع والعشرين من ديسمبر 2009، اختيرت "كيبكو" مقاولاً رئيسياً للقيام بتوريد أربع وحدات من مفاعلات الماء المضغوط (PWR) الكورية التصميم من الجيل الثالث، من طراز APR1400 [مفاعل الطاقة المتقدم 1400]، ليتم تشغيلها بدءاً من عام 2017 بمعدل إنجاز وحدة إضافية سنوياً بعد ذلك. وعندما يتم توصيل جميع الوحدات الأربع إلى الشبكة في عام 2020، من المتوقع أن تولّد محطات كهرباء براكة العاملة بالطاقة النووية 5.6 جيجاواط من الكهرباء؛ أي نحو 25٪ من مجمل احتياجات الإمارات من الكهرباء. وقد ذكرت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية بوضوح سبب اختيارها للمورِّد الكوري؛ وهو "سجله الحافل بتلبية متطلبات السلامة" والذي تم التوصل إليه بعد عملية تقييم لسجلات تشغيل عشرين وحدة من محطات كهرباء الطاقة النووية التي بنتها شركة "كيبكو" وشغّلتها في كوريا. وتصل تكلفة المشروع إلى 20 مليار دولار، وهو أول مشروع لتصدير محطة نووية بالنسبة إلى كوريا. ولكن الأهم من ذلك هو حقيقة أن الإمارات وكوريا تعهدتا بشراكة مدتها 100 عام بخصوص التعاون النووي، حيث يؤخذ

في الحسبان كل من المهلة اللازمة للتخطيط، بالإضافة إلى زمن البناء وقدره 10 سنوات، وعمر تشغيلي قدره 60 عاماً، وإيقاف تشغيل لمدة 20 سنة تقريباً في نهاية خدمة المحطة. وفي إبريل 2010، اعتمدت الهيئة الاتحادية للرقابة النووية منطقة براكة موقعاً لأول محطة كهربائية تعمل بالطاقة النووية في الدولة، وذلك بعد أن تم نقله نحو 50 كلم شرقاً من موقعه الذي اقترح في الأصل قُرب الحدود مع السعودية. وفي عام 2010، جرى انتخاب الإمارات للمرة الأولى لعضوية مجلس المحافظين للوكالة الدولية للطاقة الذرية الذي يضم 35 دولة، وذلك في اعتراف رسمي بارتقائها كدولة نووية جديدة مع بدء مشروع محطة براكة للطاقة النووية.

وحالما جرى توقيع عقد التوريد الرئيسي، لم يُضيِّع مشغل المشروع "مؤسسة الإمارات للطاقة النووية"، والمنظم "الهيئة الاتحادية للرقابة النووية"، والمورد "كيبكو"، وقتاً في إطلاق عمليات بناء المشروع مثل: تأسيس البنية التحتية التنظيمية، وأعمال التصميم والتصنيع، وأعمال تجهيز الموقع. و في ديسمبر 2010 تم إعداد التقرير الأولي لتحليل السلامة (PSAR)؛ وهو وثيقة رسمية ضرورية لرخصة البناء. وبعد مراجعة دقيقة للتقرير؛ شملت أكثر من 1600 طلب لمعلومات إضافية بين المشغل والمنظم، وامتدت لفترة 18 شهراً، أصدرت الهيئة الاتحادية للرقابة النووية رخصة البناء الأولى لمؤسسة الإمارات للطاقة النووية بخصوص وحدتي "براكة 1 و2" بتاريخ 17 يوليو 2012. وتم تحقيق أول إنجاز رئيسي في المشروع عندما جرى صب الخرسانة الأولى لحصيرة أساسات بناء الاحتواء للمفاعل. واعتباراً من ذلك اليوم، دخلت المحطة رسمياً في مرحلة البناء التي تقرها المنظمات النووية الدولية. وقد بلغ المعدل الإجمالي لتقدم أعمال البناء 22٪ منذ نوفمبر 2012.

وتبنت الهيئة الاتحادية للرقابة النووية عملية ترخيص ذات خطوتين: الأولى للإنشاء، والأخرى للتشغيل، كما هي الحال أيضاً في كوريا. أما الإنجاز الرئيسي التالي في مرحلة الإنشاء فسوف يكون في عام 2015، عندما تقدم مؤسسة الإمارات للطاقة النووية التقرير

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

النهائي لتحليل السلامة (FSAR) إلى الهيئة الاتحادية للرقابة النووية استعداداً للتشغيل، وتحديداً للسماح بتحميل الوقود النووي في قلب الوحدة 1. وقد منحت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية عقود توريد يورانيوم طويلة الأجل إلى موزّدين أمريكيين، وفرنسيين، وكنديين. واستعداداً لمرحلة التشغيل قامت في عام 2012 كل من مؤسسة الإمارات للطاقة النووية و"كيبكو"، بوضع صيغة لشركة ستكون مسؤولة عن تشغيل وصيانة محطة براكة للطاقة النووية.

اختيار التكنولوجيا الأفضل

إن اختيار مؤسسة الإمارات للطاقة النووية للشركة الكورية للطاقة الكهربائية "كيبكو" لتوريد أول محطة للطاقة النووية، بموجب عقد إنجاز (بتسليم المفتاح)، كان تطوراً كبيراً في الإمارات، وفي كوريا أيضاً. فقد أصبحت كوريا الآن بلداً مصدراً للتكنولوجيا النووية، حيث تولت مسؤولية كبرى بتسليم محطات الطاقة النووية الأحدث من نوعها؛ في الموعد المحدد، وضمن الميزانية المتفق عليها، والأهم من ذلك كله، اتباع طرق الجودة التي تلبي شروط السلامة الصارمة المعمول بها.

ومن أجل استخلاص الدروس المفيدة لأعضاء جدد في النادي النووي مثل الإمارات، من المفيد أن نفهم خلفية البرنامج النووي الكوري. فقد بدأت التجربة الكورية ضمن هذا المجال في أواخر الخمسينيات من القرن العشرين في ظل قيادة الرئيس والأب المؤسس للجمهورية، سينغمان ري Syngman Rhee؛ الذي كان له رؤية خاصة للطاقة النووية عندما كانت البلاد لا تزال تتعافى من آثار الحرب الكورية المدمرة (1950–1953)، وابتكر البنية التحتية النووية الأساسية. وجرى سن سلسلة من قوانين الطاقة الذرية، وتم إنشاء مكتب الطاقة الذرية بإشراف الرئيس مباشرةً، بالإضافة إلى معهد أبحاث الطاقة الذرية الذي أصبح لاحقاً المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية KAERI في عام 1959. وعلاوة على ذلك، جرى إنشاء مفاعل أبحاث صغير، من طراز تريغا

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 352/457

مارك 2 (TRIGA Mark-II)، في المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية في العام ذاته. ونظراً إلى الوضع الاقتصادي في كوريا آنذاك، حيث كان دخل الفرد يقل عن مئة دولار، كانت تلك خطوة بصيرة من قبل الرئيس ري. وأنشئ أول أقسام الهندسة النووية عامي 1958 و1959 ضمن أفضل الجامعات المرموقة في البلاد (جامعة هانغيانغ، وجامعة سيئول الوطنية، على التوالي)، ليستقطب ألمع الطلاب المتخرجين في المدارس الثانوية. وقد مثل العقدان الأولان فترة "نثر بذور" العلوم النووية الأساسية في كوريا، والتي تمركزت حول مفاعلات الأبحاث من طراز "تيغرا" المبنية حديثاً في المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية، لتعطي ثماراً تمثّل المتطلبات الأساسية في مجال الطاقة النووية؛ وهو تنمية الموارد البشرية.

صدر قرار بناء أول محطة للطاقة النووية في البلاد (الوحدة كوري 1) في عام 1968؛ وكانت مشروع إنجاز تام بمبدأ (تسليم المفتاح) من شركة وستينغهاوس Westinghouse الأمريكية، ودخلت مجال التشغيل التجاري في عام 1978 تحت إدارة مدير المشروع، وهو شركة كهرباء كوريا التي أصبحت لاحقاً الشركة الكورية للطاقة الكهربائية KEPCO. بدأ المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية بالمشاركة في مشروعات تجارية للطاقة النووية، وفي الأعمال الجدية لتعزيز تنمية تكنولوجيا الطاقة النووية المحلية وإنتاجها في الثمانينيات من القرن العشرين. ولكن حالة البنية التحتية في كوريا الجنوبية فرضت تحديات عدة تتمثل في: قلة اليد العاملة الخبيرة، ونقص الميزانية، وعدم توافر الوقت لتطوير تقنيات أساسية من العدم. وأصبحت قصة "التجربة الكورية" ممكنة عندما اتحدت قوة الكفاءات في المعهد الكوري لأبحاث الطاقة النووية مع القوة الإدارية التي تتمتع بها "كيبكو" في الثمانينيات من القرن الماضي. وبدأت الحملة لتحقيق الاعتماد على الذات في مجال تكنولوجيا محطات الطاقة النووية مع إنشاء وحدتَيْ يونغوانغ رقمَي 3 و4.

مفاعل APR1400

أوصت دراسة كورية موحدة استكملت في عام 1986، بأن طُرُز مفاعلات الطاقة النووية الكورية الموحدة KSNP، يجب أن تكون من فئة مفاعلات الماء المضغوط بقدرة

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

1000 ميجاواط كهربائي، كنموذج لمحطة الطاقة النووية الأولية، مع مفاعل كاندو CANDU (مفاعل كندا العامل باليورانيوم – الديوتريوم) كنموذج لمفاعل مكمِّل. كما قدمت الدراسة قائمة تحسينات على التصميم؛ ليتم إدخالها على التصميم المرجعي لمفاعلات الطاقة النووية الكورية الموحدة. وقبل ذلك كان هناك تسع محطات طاقة نووية من شركة ويستينغهاوس، وشركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة AECL، وشركة فراماتوم Framatome، قيد التشغيل، أو الإنشاء. وكان من المتوقع أن يتغلب تصميم مفاعلات الطاقة النووية الكورية الموحدة على الصعوبات التي تواجه تلك المحطات؛ من حيث التعدد والاختلاف في المعايير التنظيمية، وتصنيع المعدات، وارتفاع التكاليف، وعدم توافق قطع الغيار، والتأثيرات السلبية لذلك في جهود بناء المقدرات المعرفية والابتكارية المحلية الخاصة. كما حددت الدراسة خمسة مجالات رئيسية لتكنولوجيا محطات الطاقة النووية، وهي المجالات التي يلزم تعزيزها بين المؤسسات المحلية التي خصصتها الحكومة لهذا الغرض:

- الإدارة الكاملة للمشروع (كيبكو).
- الهندسة المعمارية للمحطة (الشركة الكورية لهندسة الطاقة KOPEC).
- تصميم نظامي المفاعل والوقود (المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية KAERI). وتم تحويله لاحقاً إلى (الشركة الكورية لهندسة الطاقة KOPEC).
- تصميم الأجزاء المكونة للمعدات وتصنيعها (دوسان للصناعات الثقيلة Doosan).
- تصنيع الوقود النووي (الشركة الكورية للوقود النووي Korea Nuclear Fuel Co.).

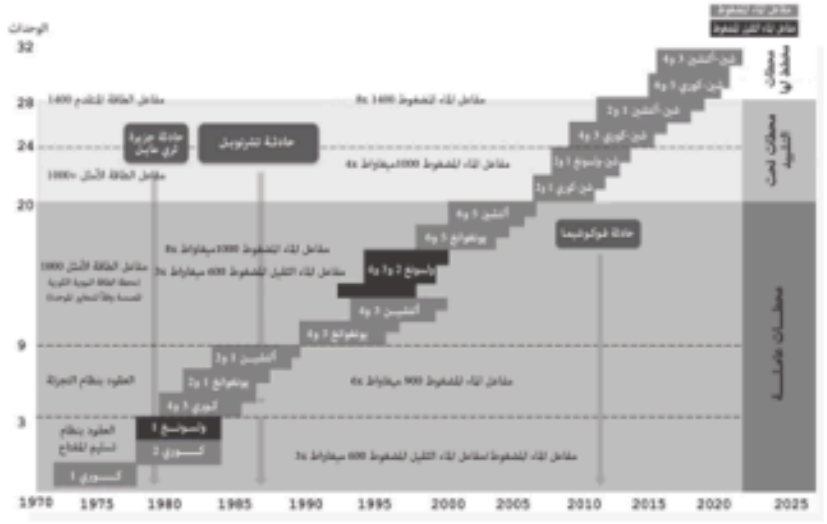
شكلت هذه الكيانات الخمسة، جنباً إلى جنب مع شركات الإنشاء المحلية، "كونسورتيوم" أساسياً لصناعات سلسلة التوريد النووي، مع حقوق حصرية لإنشاء قاعدة تكنولوجية لسوق مضمونة. ولم يتوقف جهد "الكونسورتيوم" عند مجرد تسليم مجموعة كاملة من منشآت توليد الطاقة النووية الكورية المحلية، بل إنها تشارك حالياً في مشروعات التصدير عبر شركات سلسلة التوريد ذاتها. وقد اكتسبت الخبرة الضرورية

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 354/457

من خلال المشروعات المتكررة لإنشاء محطات الطاقة النووية خلال العقود الثلاثة الماضية، كما هو مبين في الشكل (9–1)؛ حيث يمثل كل شريط أفقي بداية إنشاء محطة طاقة نووية جديدة، وتاريخ إتمامها. وحتى عام 2012، كانت توجد 23 وحدة قيد التشغيل، وخمس أخرى قيد الإنشاء.

الشكل (9–1)

التسلسل الزمني لإنشاء محطات الطاقة النووية الكورية



في عام 1986، اختيرت شركة كومباسشن إنجينيرينج Engineering Combustion -كانت آنذاك مصدِّراً نووياً غير معروف نسبياً خارج الولايات المتحدة- كشريك تكنولوجي لكوريا في مشروع يونغوانغ 3 و4. وكان الاتفاق يقوم على استعداد كومباسشن إنجينيرينج لقبول شروط نقل التكنولوجيا الأكثر إلحاحاً، من خلال إنشاء محطة يونغوانغ للطاقة النووية، التي كانت تعتبر المشروع الرائد لسلسلة مفاعلات الطاقة النووية الكورية الموحدة. وأصبح مشروع الإنشاء الذي تضمن مجموعة واسعة من

عمليات نقل التكنولوجيا، أساس تكنولوجيا الطاقة النووية في كوريا اليوم. كما تزامن ذلك مع مطلع "عصر الظُّلمات النووي" الذي تلا حادثة مفاعل "تشرنوبل". ومنذ إتمام الوحدة 3؛ وهي محطة يونغوانغ للطاقة النووية ضمن مفاعلات الطاقة النووية الكورية الموحدة في عام 1995، وتحقيق هدف الاعتماد على الذات بنسبة 95٪، تم بناء وتشغيل أحد عشر مفاعلاً إضافياً من التصميم ذاته في كوريا.

ثم انتقل البلد لاحقاً إلى تطوير تكنولوجياته الخاصة بـ"مفاعل الجيل التالي" – وهو محطة تعمل بمفاعلات الماء المضغوط من الجيل الثالث (1400 ميجاواط كهربائي اعتماداً على نظام "80+" الخاص بشركة كومباسشن إنجينيرينج، مع مزايا تصميم متقدمة). وقد اختارت الإمارات هذا التصميم، (مفاعل الماء المضغوط APR1400)، الذي تم ترخيص بنائه في كوريا عام 2002، وهو قيد البناء حالياً في محطة شين كوري 3 و4، باعتباره التكنولوجيا الأفضل، وذلك ضمن مناقصة تنافسية عام 2009. توجد وحدتان من طراز APR1400 في موقع شين كوري تعملان كمحطة مرجعية لمحطة براكة، لأنهما تسبقان جدول المراحل الزمنية لإنجاز محطة براكة بنحو ثلاث سنوات. فالتجارب الكورية أثبتت قدراتها من حيث السلامة، والتصميم، والتصنيع، والبناء، والتشغيل، والصيانة، والتراخيص التنظيمية، وانخفاض تكلفة التشغيل طوال دورة حياة محطة الطاقة النووية. وهي أمور ساعدت على وضع كوريا في مصافّ الدول الرائدة عالمياً في مجال توريد التكنولوجيا النووية.

تحولات في ثقافة السلامة النووية

تُصنَّف كوريا الجنوبية حالياً بأنها الأعلى كثافة في عدد محطات الطاقة النووية بالمقارنة مع تعداد السكان. وتنتج ما بين 30٪ و40٪ من الكهرباء طوال العشرين سنة الماضية عن طريق محطات الطاقة النووية. ولا شك في أن الطاقة النووية أسهمت إلى حد كبير في التنمية الاقتصادية للدولة من خلال توفير مصدر كهربائي أساسي موثوق به، ومنخفض

التكاليف. ولكن الأكثر أهمية من قضية النمو الاقتصادي، هو أن قطاع التكنولوجيا النووية أحدث تحولاً في عقلية الدولة برمتها؛ لتنتقل من دولة نامية تعتمد على العمالة الرخيصة، إلى دولة متقدمة ذات مجتمع "عالي التقنية" واقتصاد قائم على المعرفة. وكون كوريا قادرة على تصميم وبناء وتشغيل محطات طاقة نووية خاصة بها، ولَّد شعوراً كبيراً بالفخر والروح المعنوية العالية، وبالقدرة على الإنجاز لدى شعب كان معتاداً على الرأي القائل إن أي شيء "صُنع في كوريا" يعتبر "رخيصاً وغير موثوق به". وهذا يتعلق بفكرة "ثقافة السلامة" وما يصاحبها من مفهوم "ضمان الجودة" الذي يعدّ جوهرياً في القطاع النووي. وفكرة السلامة عميقة الجذور في القطاع النووي الغربي، وبخاصة في البرنامج النووي للبحرية الأمريكية. فمعايير أوعية الضغط الخاصة بالجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (ASME)، وبخاصة الأقسام 3 و8 و11 من تلك المعايير التي وُضعت على أساس نظام ضمان الجودة بهدف ضمان سلامة جميع المكونات النووية الرئيسية في محطات الطاقة النووية. وتُعد دمغة الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (N-stamp) من الأختام الدولية الرئيسية التي تُصدِّق على الجودة والسلامة في القطاع النووي حالياً، وتتطلب أعلى معايير النزاهة، وضمان الجودة، وهي إلزامية في جميع المشروعات النووية.

كان مفهوم الجودة والسلامة هذا غريباً تماماً وشبه معدوم في كوريا، عندما تم إطلاق أول محطة للطاقة النووية، كوري-1، في السبعينيات من القرن الماضي. وتم استيراد جميع المكونات المتعلقة بالسلامة النووية من الولايات المتحدة؛ بموجب عقد خارجي ينص على إنجاز متكامل للمشروع. وكان تلحيم تمديدات الأنابيب الخاصة بالسلامة النووية في موقع كوري، هو التحدي الأولي الذي اضطر فريق المشروع إلى مواجهته، لأن عملية البناء كانت تنفّذ من قبل شركات محلية مثل هيونداي كونستركشن Hyundai Construction تحت إشراف المقاول الرئيسي الأجنبي. وتم تدريب عمال تلحيم ذوي خبرة من أحواض بناء السفن المجاورة في مدينة أولسان، وتم التصريح لهم بتولي مهام التلحيم النووي الرئيسية؛ وفقاً لمتطلبات دمغة الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين. وتمتلك شركة هيونداي مصنعها الأصلي الخاص ببناء السفن، ويبعد 50 كيلومتراً فقط

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

شمال أولسان، واستطاعت أن تستفيد من تدريب عمال تلحيم أصحاب خبرة عالية من موقع كوري -1 النووي، والذين كانوا مخصصين آنذاك لموقع بناء السفن في أولسان. أما اليوم، فيعتبر "حوض هيونداي - أولسان لبناء السفن" الأكبر والأكثر تقدماً من نوعه في العالم. وكانت هذه الخطة الصناعية التعاونية بداية تقديم ضمان الجودة النووية إلى كوريا للمرة الأولى. وفي تلك الفترة كان الاهتمام بالجودة يتركز أساساً على الصناعات البتروكيماوية، والصناعات الثقيلة الخاصة بأوعية الضغط، وبناء السفن، ومصانع الصلب، في المنطقة الساحلية الجنوبية الشرقية بالقرب من أولسان بوهانغ، وعلى مقربة من مواقع أولى محطات الطاقة النووية للدولة في موقع كوري وولسونغ النووي. أما اليوم فإن المنتجات الكورية، من الصناعات الثقيلة، إلى الإلكترونية الدقيقة، في أي مجال؛ بدءاً من ناقلات النفط الضخمة، وسفن نقل الحاويات، وصولاً إلى الهواتف الذكية، والمنتجات والخدمات، أصبحت ذات جودة أعلى بكثير مما كانت عليه قبل ثلاثة عقود من الزمن. ويمكن أن ينسب الفضل في ذلك إلى القطاع النووي. فقد لعبت ثقافة السلامة الجديدة، التي تعتبر ركناً أساسياً من أركان الصناعات النووية حول العالم، دوراً بارزاً في تشجيع الصناعات الأخرى على رفع جودة المنتجات والخدمات الكورية عموماً.

طريق الحرير النووي.. شراكة لمئة عام

تُعدّ الدروس القيمة المستفادة من تجربة القطاع النووي الأحدث حالياً قابلة للتطبيق، وبشكل مباشر على البرنامج النووي الإماراتي، ولاسيما في مجال ثقافة السلامة؛ حيث يمضي البلدان قدماً في تنفيذ مشروع براكة. فبالإمكان الآن القول بثقة إنه تم تعزيز شراكة لفترة تناهز مئة عام بين البلدين، لتغطي دورة حياة كاملة لمحطة طاقة نووية نموذجية: خمس سنوات تخطيط، وعشر سنوات للبناء، و60 سنة للتشغيل، تليها عشرون سنة تقريباً لإيقاف التشغيل والتخلص من النفايات الإشعاعية. إن "رؤية أبوظبي الاقتصادية 2030" تتصور بوضوح مستقبل البلد كبلد قائم على اقتصاد عالي التقنية؛ يعززه اعتماد الطاقة النووية للمرة الأولى في منطقة الخليج. إن تنفيذ ثقافة السلامة

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 358/457

النووية في الإمارات سيساعد على تحويل البلد إلى مجتمع عالي التقنية، كما هي الحال في كوريا. فتاريخ التشغيل التجاري لوحدة "براكة 1" المتوقع في عام 2017، يتطلب مشاركة من مشغل منشآت نووية قوي؛ لأنه سيحتاج إلى عمل مشترك بعد بناء المحطات. ولهذه الغاية، أنشأت كل من مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، و"كيبكو" الكورية شركة تضطلع بعمليات محطات الطاقة النووية في عام 2012. ويجري تحديد جميع ترتيبات التعاون بالكامل بين الكيانين النوويين: الكوري والإماراتي، بما فيه البناء، والتشغيل والصيانة، وإدارة النفايات النووية، والمساعدة التنظيمية، والتعليم والتدريب.

عندما يتم وضع مواقع محطات الطاقة النووية المعروفة (العاملة، أو قيد الإنشاء، أو المُخَطط لها) على خريطة آسيا جنباً إلى جنب مع طرق الحرير القديمة، يمكن إيجاد علاقة مذهلة بين العصور القديمة، والقرن الحادي والعشرين. فقد كان طريق الحرير صلة وصل رئيسية بين آسيا وأوروبا على مدى يزيد على ألف عام من التبادل، ينقل التجار عبره البضائع القيِّمة كالحرير الصيني إلى الغرب، والأواني الزجاجية الرومانية إلى الشرق، هذا فضلاً عن نقل التكنولوجيا ونشر الدين؛ فقد انتشر الإسلام إلى جنوب شرق آسيا عبر طريق الحرير. أما اليوم، فإن ناقلات النفط الضخمة الحديثة تنقل مصادر الطاقة كالنفط والغاز من الخليج إلى الشرق الأقصى عبر المسار البحري على طول طريق الحرير القديم. فهناك نهضة نووية واضحة للعيان في الصين والهند، بالإضافة إلى الإمارات ببرنامجها الجديد الطموح. وسوف تتدفق البضائع والتكنولوجيات الخاصة ببناء وتشغيل محطات الطاقة النووية إلى البلدان صاحبة هذه المحطات عبر مسارات برية وبحرية وجوية. فالطائرات النفاثة الفائقة الضخامة والسفن الناقلة للحاويات عبر المحيطات تحل محل الجمال والخيول التي كانت تستخدم في العصور القديمة لعبور طريق الحرير. وتعد الإمارات مثالاً يوضح هذه النقطة بشكل جليّ؛ فمشروع محطة براكة يعمل على حشد القوة البشرية العاملة، وتصميم المحطة، وتصنيع المعدات، وبناء الموقع، ومن ثم ينتقل إلى شراكة أطول بكثير في مرحلة التشغيل. ويقع موقع براكة على ساحل الخليج العربي، حيث ستسافر القوة العاملة في المشروع على متن طائرات نفاثة ضخمة من مطار إنشيون

في كوريا إلى أبوظبي ودبي، في رحلة مباشرة من دون توقف. وسيتم شحن مئات وآلاف القطع من المعدات الثقيلة المنتجة في كوريا، ودول أخرى في حاويات على متن سفن شحن تبحر عبر المحيطات من ميناء بوسان الكوري وموانئ أخرى، عبر بحر الصين الجنوبي، ومضيق ملقا، والمحيط الهندي، ومضيق هرمز، وأخيراً إلى موقع براكة، كما هو موضح في الشكل (9-2).[3]

الشكل (9-2)

طريق الحرير النووي

حادثة فوكوشيما.. ودروس تعزيز السلامة

يجري تصميم كل محطة طاقة نووية بحيث تتحمل الحوادث التي يتسبب بها البشر، أو الكوارث الطبيعية. وذلك للتقليل من احتمالات إصابة قلب المفاعل بأضرار (أو احتمال انصهار قلب المفاعل). والاعتبارات الخاصة بتصميم المفاعل، بحيث يتحمل الزلازل، والتسونامي، هي من المتطلبات الرئيسية لمحطة الطاقة النووية، بعكس أي

صناعة أخرى. في حالة وقوع أي حادث فني، أو كارثة طبيعية، ينبغي إغلاق المفاعلات فوراً لإيقاف عملية الانشطار، مع تولي النظام الخاص بتخفيض الحرارة المتبقية عمله بشكل أوتوماتيكي من أجل تبريد الحرارة المتبقية (أو حرارة الانحلال المتبقية) من منتجات الانشطار. ولكن ليس بالإمكان ضمان هذا إلا عندما يتم حقن مياه التبريد بشكل مستمر في وعاء المفاعل لحماية القلب من الانصهار، وكذلك الحفاظ على استمرار عملية التبريد للوقود المخزن في حوض مجاور لمبنى الاحتواء.

ويبدو أن هذه القاعدة الأولى والبسيطة من قواعد سلامة المفاعل النووي قد انتُهكت بشدة، في وحدة "دايتشي" Daiichi في مفاعل "فوكوشيما" الياباني. لم تحدث الكارثة بسبب زلزال هائل (بقوة 9.0)، وإنما بسبب موجة تسونامي هائلة بلغ ارتفاعها أربعة عشر متراً؛ غمرت الساحل الشمالي الشرقي لليابان بتاريخ 11 مارس 2011. وأدت القوة الهائلة للأمواج إلى تعطيل أنظمة الطاقة الإضافية كافة المخصصة للحالات الطارئة بضربة واحدة. وهو الأمر الذي فاق خيال أي إنسان. وعندما انقطع التيار الكهربائي كلياً عن المحطة، وبعد انتهاء عمر البطارية التي عملت نحو ثماني ساعات، واجهت أنظمة الدفاع في عمق المفاعل إخفاقاً قاسياً على الصُّعد كافة. فمع غياب الكهرباء اللازمة لتشغيل المضخة، وعدم استمرار إمداد مياه التبريد إلى قلب المفاعل، ومجمع الوقود المستهلك، أدى كل ذلك إلى تضرر الوقود في أوعية المفاعل، والوقود المستهلك. وفي ظل هذه الظروف القاسية، أدى تجفيف الوقود النووي المكشوف إلى إنتاج الهيدروجين (وهذه ظاهرة شائعة جداً، وتعرف بـ"تأكسد الزيركونيوم")، ما أسفر عن انفجار الهيدروجين، وانتشار المواد المشعة في البيئة. وأفادت التقارير بأن الوضع وصل إلى المستوى السابع على المقياس الدولي للأحداث النووية (INES)،(الذي يقوم بشكل أساسي على النتائج المحتملة لانطلاق الإشعاعات إلى البشر والبيئة). وقد قررت الوكالة الدولية للطاقة الذرية أن حادثة "تشرنوبل" عام 1986 هي من المستوى السابع على المقياس الدولي للأحداث النووية، بينما يصنف حادث جزيرة "ثري مايل" في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1979 في المستوى الخامس. وكان الحادثان قد وقعا بسبب أخطاء بشرية، وأعطال في

المعدات، ولذلك كانا مختلفين من حيث الطبيعة عن حالة "فوكوشيما" التي كان السبب فيها كارثة طبيعية ليس لها أي علاقة بأساسات التصميم. ويعتقد أن حادثة "فوكوشيما" تفاقمت أكثر بفعل انقطاع روابط الاتصال بين المحطة ومراكز الاستجابة لحالات الطوارئ والموجودة خارج الموقع. وبالتالي فإن السؤال هو: كيف يمكننا منع مثل هذه الكوارث، وحماية قلب المفاعل؟

يبدو أن السبب الرئيسي الأوحد والأهم الذي أطلق سيل الأزمات اللاحقة في فوكوشيما هو: "الفقدان التام للطاقة الكهربائية ذات التيار المتناوب". فقد أدت أمواج التسونامي إلى تعطيل مصادر الطاقة الكهربائية المتعددة الموجودة في الموقع، وخارجه، مثل مولدات الديزل التي تعمل في الحالات الطارئة. فلو كانت مولدات الديزل محمية نوعاً ما من الغرق في مياه البحر، لكان من الممكن في ذلك اليوم تجنب الأزمة النووية، كما أوضحت الوحدات نفسها ذات المفاعلات العاملة بالماء المضغوط، الموجودة في محطة "أوناجاوا" التي كانت أقرب إلى مركز الزلزال، إضافة إلى محطة "فوكوشيما داييني" على الخط الساحلي نفسه لمقاطعة توهوكو. فقد كان هذان الموقعان على ارتفاعات أعلى؛ ما أنقذهما من التسونامي. كما أن تقريراً خاصاً من قوة المهام الرئاسية التابعة للجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين، توصل إلى بعض الاستنتاجات المهمة وتتلخص فيما يلي:

- الأسباب وراء الضرر الشديد الذي أصاب أربع وحدات من محطة "فوكوشيما داييتشي"، وانصهار قلوب ثلاثة من المفاعلات مفهومة وواضحة ويمكن تصحيحها. كما أن السبب في تمكّن عشر محطات نووية أخرى من النجاة في المناطق المتأثرة بالتسونامي، يمكن فهمه أيضاً بشكل جليّ وصريح.
- لم يكشف الحادث فوكوشيما دايتشي عن أي عطل كارثي في التكنولوجيا النووية، ومع ذلك يتم إجراء العديد من التحسينات المهمة في إجراءات السلامة في مجموع المنشآت النووية حول العالم بعد الدروس الجديدة المستفادة.[4]

إن دورات حياة التكنولوجيات المعقدة والمكونات مثل: المرجل، وأوعية الضغط، والطيران التجاري، قد نضجت جميعها إلى درجة أنها تقدم إسهامات اجتماعية كبيرة وتتمتع بقبول جماهيري واسع، على الرغم من التحديات الكبيرة التي واجهتها في بداياتها. فقد كشف حادث فوكوشيما عن الحاجة إلى خطوات إضافية للتقليل أكثر من احتمال حدوث العواقب الاجتماعية، والسياسية، والاقتصادية الناجمة عن انطلاق الإشعاعات. ويجري حالياً اتخاذ إجراء جديد للسلامة النووية لتحقيق هذا التحسين في الإمارات، كما هي الحال في البلدان الأخرى التي تستخدم الطاقة النووية.

تحديثات على مشروع براكة بعد حادثة فوكوشيما

أجرت الهيئة الاتحادية للرقابة النووية في الإمارات مراجعة خاصة لتحليل آثار فوكوشيما للاستفادة منها في مشروع براكة، قدمتها مؤسسة الإمارات للطاقة النووية بناء على تحديثات التصميم التي اقترحتها "كيبكو" لجميع محطات الطاقة النووية من طراز "APR1400". وقد أعيد النظر في عامل خطر الزلازل في أساس تصميم موقع براكة؛ فيما يتعلق بالحوادث الخارجة عن المألوف. وتقوم مؤسسة الإمارات للطاقة النووية بإجراء "تحليل المخاطر الزلزالية المحتملة PRA"؛ حيث ستتناول عدداً من القضايا المتعلقة بمفاعل "فوكوشيما". وستقدم إثباتاً على وجود هامش أمان كافٍ لاستيعاب الحوادث الاستثنائية. وتم الأخذ في الاعتبار حالات الفيضان الساحلي التي تتخطى قدرة أساسات التصميم على التحمل في الموقع، مع التركيز على تسونامي ينشأ من منطقة "الاندساس" في إقليم "مكران" الواقع خارج الخليج العربي، والمطل على بحر العرب، أو عاصفة ناجمة عن حدوث إعصار كمصدر رئيسي للخطر. واقترحت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية تغييرات على التصميم، تشمل: تحسين القدرة الزلزالية لجهاز عرض غرفة التحكم الرئيسية، وأبواب مانعة للماء كحماية إضافية من الفيضان فوق المستوى الذي يمكن أن ينشأ عن تسونامي، وتركيب أنظمة مولدات متنقلة تعمل بالديزل.[5] وهذه التغييرات متوافقة تماماً مع تحديثات التصميم التي باشرت بها الهيئة التنظيمية في كوريا بخصوص

الوحدتين 3 و4 في محطة شين-كوري. وهما وحدتان مرجعيتان تسبقان جدول المراحل الزمنية لبناء وحدتي موقع "براكة 1 و2" بثلاث سنوات.

البنية التحتية النووية في الإمارات

لعل أبرز نتائج برنامج الطاقة النووية الإماراتي منذ نشأته، هي وضع أعلى ثلاثة معايير تضمن عدم سوء الاستخدام للطاقة النووية. وهذه بادرة طيبة تدل على نهضة نووية حقيقية قادمة في دولة جديدة على الساحة النووية، حصلت على الاعتراف حالياً بكونها أنشأت ما يعرف بـ"المعيار الذهبي" لتتبعه الدول الأخرى. وهذا المعيار قائم على وجود نظام طاقة نووية يتحمل المسؤولية بحماية الجمهور، والبيئة، والبنية التحتية من أي سوء استخدام لأي عنصر من عناصر الطاقة النووية. واتخذت الحكومة الإماراتية إجراءات فورية للتوقيع والتصديق على الأنظمة القانونية الدولية، والاتفاقيات الثنائية مع الدول الرئيسية الموردة للمواد النووية عندما كان مشروع براكة في طور التشكيل.

كان من أول الإجراءات التي اتخذتها الإمارات لضمان عدم انتشار الأسلحة النووية؛ الانضمام إلى معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية في عام 1995، تلاها التصديق على اتفاقية الضمانات الشاملة في عام 2003، ومن ثم التصديق على البروتوكول الإضافي لمعاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية في عام 2010. إضافة إلى ذلك، وقعت الإمارات اتفاقية تعاون نووي ثنائية مع تحذير خاص يسمى "اتفاق بموجب المادة 123" والذي يمنع أي عملية محلية لتخصيب، أو إعادة معالجة الوقود النووي. وهذا أمر ضروري لأي وافد جديد إلى النادي النووي. ويكشف هذا الإعلان الجريء عن النية الوطنية لتسخير الطاقة النووية للاستخدامات السلمية فقط (يوجد اتفاق مماثل بموجب المادة 123 ساري المفعول بين كوريا والولايات المتحدة). فالسلامة النووية يضمنها أيضاً انضمام الإمارات عام 2009 إلى اتفاقية الأمان النووي الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، والاتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلَك، وأمان التصرف في النفايات. وهذه

الاتفاقيات تلزم الإمارات بتقديم التقارير، والتماس المساعدة الدولية في الأمور المتعلقة بالسلامة، باعتبار أنها دولة عضو مسؤولة. ومن أجل حماية الجمهور من ناحية المسؤولية المدنية في حالة وقوع أي حوادث جسيمة، انضمت الإمارات مؤخراً إلى اتفاقية فيينا بشأن المسؤولية المدنية عن الأضرار النووية، وأصدرت قانوناً اتحادياً مصاحباً لها في عام 2012. وتعد مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، المشغل النووي الحالي، هي المسؤول الوحيد حتى عن الحوادث النووية الأقل ترجيحاً، مع غطاء تأمين على المسؤولية بقيمة 5.2 مليار درهم. وفي مجال الأمن النووي، تم التصديق على اتفاقية الوكالة الدولية للطاقة الذرية بشأن الحماية المادية للمواد والمرافق النووية في عام 2008. وعموماً، فقد جعلت الإمارات من نفسها قدوةً في مجال التقيد بأعلى مستويات الأعراف الدولية على مدى ثلاث سنوات فقط. ولم تحقق أي دولة أخرى هذا القدر من الإنجازات من حيث الهيكلية القانونية الأساسية قبل إطلاق أولى محطاتها الخاصة بالطاقة النووية.

الضوابط القانونية النووية

أُنشئت "الهيئة الاتحادية للرقابة النووية" بموجب القانون الاتحادي الإماراتي الصادر بالمرسوم رقم 6 لعام 2009، لتكون السلطة التنظيمية الوطنية الوحيدة المخولة بترخيص جميع الأنشطة النووية والإشراف عليها في الإمارات. ويمنح القانون المذكور الهيئة الاتحادية للرقابة النووية الاستقلالية، والصفة القانونية التامة لتنظيم وضمان السلامة النووية، والسلامة من الإشعاعات، والأمن النووي، والضمانات النووية. وهي تمثل نقطة التحكم الوحيدة في الإمارات، والمسؤولة عن السلامة، والأمن، والضمانات. فهذه الهيئة مسؤولة حصراً عن إصدار التراخيص، وفرض الشروط على التراخيص التي ستضمن سلامة وأمن النشاط المنظم. ومن الأمثلة الحديثة على ذلك إصدار رخصة البناء لمؤسسة الإمارات للطاقة النووية في يوليو 2012 من أجل بناء الوحدتين 1 و2 في موقع براكة. كما تعمل الهيئة كنظام حكومي لحصر ومراقبة جميع المواد النووية، ونشاطات الضمان جنباً إلى جنب مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

لقد نمت الهيئة الاتحادية للطاقة النووية في الإمارات بسرعة؛ من حيث حجم موظفيها، وإمكاناتها منذ نشأتها في عام 2009. وتضم نحو 200 موظف في أقسام العمليات والإدارة؛ مخصصين للنشاطات التنظيمية في "المعايير الثلاثة" المتعلقة بالوقاية من سوء استخدام المواد النووية. وتسير عملية توطين الوظائف المهنية في الهيئة بصورة بطيئة، ولكنها تجري بثبات، مع برنامج شامل لتعليم الإماراتيين وتدريبهم عند انضمامهم إلى الهيئة. وهناك حتى الآن نحو 42٪ من الموظفين المهنيين في أقسام العمليات، من المواطنين الإماراتيين، ومعظمهم من المهنيين الشباب الذين يحتاجون إلى التدريب على تولي المسؤولية التامة. وتشمل مسؤولياتهم إنشاء إطار عمل قانوني شامل، والقيام بإجراءات الترخيص الخاصة بالنشاطات النووية، وعمليات التفتيش الميدانية الخاصة بـ"المعايير الثلاثة" المذكورة آنفاً.

في مجال اتفاقيات التعاون الثنائية الخاصة، وقعت الإمارات اتفاقيات سارية مع لجنة الأمان النووي (NSSC)، المسؤولة عن التنظيم النووي في كوريا، والمعهد الكوري للسلامة النووية (KINS)، والمعهد الكوري لمنع انتشار الأسلحة النووية والسيطرة عليها (KINAC). وتعد لجنة الأمان النووي في كوريا مسؤولة عن ترخيص محطات الطاقة النووية المحلية، بما في ذلك الوحدتان المرجعيتان 3 و4 في محطة "شين كوري"، اللتان تشبهان الوحدتين 1 و2 في محطة براكة.

وسيتم تطبيق الممارسات المستخدمة في المحطة المرجعية على محطة موقع براكة، ولكن هناك حاجة إلى إجراء تغييرات على التصميم الأصلي نتيجة لعوامل محلية خاصة بالموقع.

المشغّل النووي

أُنشئت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية كهيئة مسؤولة عن بناء وتشغيل محطات الطاقة النووية في عام 2009، بموجب القانون رقم 21 الصادر في أبوظبي، بعد إنشاء الهيئة الاتحادية للرقابة النووية. وتعد مؤسسة الإمارات للطاقة النووية تابعة مباشرةً لمجلس أبوظبي الاقتصادي، وفقاً لـ"رؤية أبوظبي الاقتصادية 2030". وحصلت على الموافقة

المبدئية فقط لموقع المشروع في براكة، واختارت الشركة الكورية للطاقة الكهربائية ومفاعلاتها من الجيل الثالث من طراز APR1400 لاعتمادها في أول مشروع نووي. وحصلت مؤخراً على رخصة البناء من الهيئة الاتحادية للرقابة النووية بخصوص الوحدتين 1 و2 في مشروع براكة. وتتسارع وتيرة أعمال الهياكل المدنية في الوحدة 1 بعد صب الكتلة الخرسانية الأولى في يوليو 2012. وعندما يجري توصيل جميع الوحدات الأربع بالشبكة بهدف التشغيل التجاري في عام 2020، ستكون هي الموقع الأكبر والوحيد لتوليد الكهرباء، وسوف توفر نحو 25٪ من الطاقة الكهربائية في الدولة.

وخلال ثلاث سنوات من إنشائها في عام 2009، وظفت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية نحو 550 موظفاً في عام 2012، بمن فيهم مواطنون إماراتيون، وخبراء لإدارة عملية بناء وحدات مرافق براكة جميعها في موقع المحطة. وتهدف المؤسسة إلى الالتزام بالجدول الزمني لعملية البناء بكاملها، مع ضمان تام للسلامة والأمان، بالتعاون مع شركة "كيبكو" الكورية التي تعتبر المقاول الرئيسي للمشروع. كما يوجد برنامج مكثف لتوظيف المواطنين الإماراتيين وتدريبهم، داخل الدولة وخارجها. ففي العديد من الجامعات والكليات في أبوظبي تقدم المعرفة النووية الأساسية، بالإضافة إلى التدريب داخل المؤسسة في التكنولوجيات المتقدمة مثل تدريبات المحاكاة الخاصة بمشغلي المفاعلات النووية. كما تسعى المؤسسة إلى تدريب كوادرها في الخارج في كل من الولايات المتحدة وكوريا على شكل تدريب على رأس العمل في مواقع محطات الطاقة النووية العاملة ومراكز التدريب. إضافة إلى توفير عدد من المنح الدراسية الجامعية للمواطنين الإماراتيين للحصول على الشهادات ذات الصلة بالهندسة النووية من الخارج. كما أطلقت المؤسسة مبادرات للتواصل مع جمهور المواطنين الإماراتيين من خلال الندوات المفتوحة والحملات الإعلامية لتعزيز الفهم المناسب للطاقة النووية، والسلامة من الإشعاعات النووية.

وتحضيراً لمرحلة تشغيل محطة براكة، بدأت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، و"كيبكو" الكورية في طور تشكيل مشروع مشترك لتأسيس شركة عمليات نووية،

ستحمل اسم "نواة". وتتمثل مهمتها في تشغيل محطة براكة وصيانتها، وفقاً لأفضل الممارسات الدولية. كما ستقوم (مؤسسة الإمارات للطاقة النووية / "نواة") بإعداد التقرير النهائي لتحليل السلامة الذي سيتم في ضوء نتائجه تسلم رخص التشغيل من الهيئة الاتحادية للرقابة النووية، قبل أن يصبح من الممكن تحميل الوقود النووي في قلب "الوحدة 1"، ثم تنطلق تجارب التشغيل بعد اكتمال مرحلة البناء.

قد تكون هناك حاجة إلى نحو 1600 عامل تشغيل، على أساس الممارسة الكورية لموقع محطة طاقة نووية؛ تضم أربع وحدات. وستكون شركة العمليات المشكلة حديثاً بحاجة إلى تشكيل فريق مشترك من مشغلي المفاعل من كلا البلدين. أما المسؤوليات الأساسية عن التشغيل والصيانة فستقع على عاتق الجانب الكوري في المرحلة الأولى، وتنتقل تلك المسؤوليات تدريجياً إلى الجانب الإماراتي مع تقدم ونمو كفاءاته مع مرور الزمن. وقد أعطت الحكومة الإماراتية أولوية كبيرة للهدف الطموح المتمثل في توطين العمالة بنسبة 60٪ في شركة العمليات النووية، بينما سيقوم الجانب الكوري بتوفير النسبة المتبقية. ويعتبر توفير العمالة المشتركة لتشغيل محطة براكة وصيانتها الحل الأمثل لمشكلة توريد العمالة على مدى دورة الحياة التشغيلية للمحطة البالغة 60 عاماً. وسيكون التوريد الكافي في الوقت المناسب من العمالة الإماراتية المدربة بصورة جيدة، أمراً أساسياً، لأنهم سيحتاجون إلى فترة طويلة من برامج التدريب المتعددة والمتتالية قبل منحهم الترخيص التام بالعمل.

مراجعات من قبل نظراء دوليين مستقلين

وكدولة جديدة في المجال النووي، تبذل الحكومة الإماراتية جهوداً حثيثة في الدعوة إلى مراجعات للمشروع من قبل نظراء دوليين من أجل تعزيز الشفافية تجاه العالم الخارجي، والسعي إلى الحصول على مشورة إضافية حسب الحاجة. وبما أن البرنامج النووي للبلاد بدأ من الصفر، مع جهود جبارة لتشكيل كيانات البنية الأساسية النووية بخبرات أجنبية من بلدان متقدمة نووياً، يشهد كل كيان تغييرات ديناميكية ونمواً سريعاً.

وكدليل على ذلك هناك مثالان عن المراجعات من قبل نظراء دوليين مستقلين يستحقان تنويهاً خاصاً.

في ديسمبر 2011، أجرى فريق دولي يضم كبار الخبراء خدمة المراجعة التنظيمية المتكاملة (IRRS)، لمصلحة مشروع محطة براكة، بموجب دعوة من الهيئة الاتحادية للرقابة النووية. وكانت "الوكالة الدولية للطاقة الذرية" هي التي شكلت فريق المراجعة بعد تلقيها طلباً من الحكومة الإماراتية. وكان الهدف من المهمة مراجعة فعالية إطار العمل التنظيمي النووي في الدولة، كما تنفذه الهيئة الاتحادية للطاقة الذرية، والتي كانت في بدايات انطلاقتها. تمثلت الأغراض الرئيسية للمهمة في تعزيز السلامة النووية والإشعاعية والاستعداد للطوارئ. وشملت مراجعة للإطار التنظيمي الإماراتي وفقاً لمعايير السلامة النووية الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية. ولدى التقييم العام لعملية المراجعة التي قامت بها الهيئة الاتحادية للرقابة النووية لرخصة بناء الوحدتين 1 و2 في براكة، خلُصت خدمة المراجعة التنظيمية المتكاملة إلى أن "الهيئة الاتحادية للرقابة النووية لديها التنظيمات وعمليات المراجعة اللازمة لإجراء المراجعة للطلبات المقدمة من قبل مؤسسة الإمارات للطاقة النووية". بالإضافة إلى ذلك، قدم فريق الخبراء في خدمة المراجعة التنظيمية المتكاملة، عدداً من التوصيات والمقترحات بخصوص تحسينات للهيئة الاتحادية للرقابة النووية باعتبارها هيئة تنظيمية نووية جديدة ونامية.[6]

وبهدف تعزيز شفافية برنامجها للطاقة النووية السلمية، طورت الحكومة الإماراتية للمرة الأولى عام 2010 فكرة المجلس الاستشاري الدولي (IAB) الذي يمثل مجموعة فريدة من الخبراء المعترف بهم دولياً، في العديد من المجالات المتعلقة بقطاع الطاقة النووية. ويشمل المجلس خبرات عالمية في مجالات السلامة والأمان النووي، وعدم انتشار الأسلحة النووية، فضلاً عن التنظيم، وضمان الجودة، والعمليات، وتنمية الموارد البشرية، وإدارة النفايات المرتبطة بعمليات بناء، وتشغيل، وإيقاف تشغيل محطات الطاقة النووية المدنية. ويتولى المجلس الاستشاري الدولي، بقيادة المدير العام السابق للوكالة الدولية للطاقة الذرية، هانز بليكس، مسؤولية إجراء مراجعات نصف سنوية لكامل برنامج

الطاقة النووية الإماراتي، ومن ثم إعداد تقرير كل ستة أشهر؛ يلخص نتائج تقريرهم وملاحظاتهم، وتوصياتهم. ويجتمع المجلس مرتين سنوياً في أبوظبي، حيث يدرس توجيهات السياسة العامة، ويقوم باستطلاع المسائل المتعلقة بخمس قضايا أساسية؛ كالسلامة والأمان النووي، وعدم الانتشار، والضمانات، والشفافية، والاستدامة. وتجيب عن الاستطلاعات والأسئلة التي يطرحها المجلس مجموعةٌ من الهيئات، والجهات الوطنية في الدولة؛ مثل: الهيئة الاتحادية للرقابة النووية، ومؤسسة الإمارات للطاقة النووية، ووزارة الخارجية، وجامعة خليفة، وجهاز حماية المنشآت الحيوية والسواحل. ويمثل قرار الحكومة الإماراتية بإتاحة هذه التقارير للجمهور مثالاً آخر على التزامها بتحقيق أعلى معايير الشفافية في برنامجها للطاقة النووية السلمية. ويجري تحميل تقاريرها النصف سنوية حول الموضوعات الخمسة المذكورة أعلاه بشكل منتظم على الموقع الإلكتروني للمجلس المذكور www.uaeciab.ae.[7]

توطين الخبرات العاملة في المجال النووي

أثبتت السنوات الثلاث الماضية أن إنجازات البنية التحتية النووية في الإمارات غير مسبوقة؛ من حيث سرعتها وحصيلتها. فقد بدأ المشروع من الصفر واقعياً؛ حتى في سنّ القوانين النووية الأساسية وتكييفها مع الأنظمة القانونية الدولية، والاتفاقيات الثنائية، من أعلى المستويات، فضلاً عن إنشاء هيئة تنظيم نووية (الهيئة الاتحادية للرقابة النووية) ومشغل نووي (مؤسسة الإمارات للطاقة النووية)، كما هو مبين سابقاً. وقد أعطت الدولة أولوية قصوى لإنجاز بناء محطة براكة في الموعد الزمني المحدد، وفقاً للميزانية، والأهم من ذلك أن يتم العمل بالجودة التي تمليها قوانين السلامة ومعاييرها. وكان اختيار المقاول الرئيسي "كيبكو" استراتيجياً في تأمين الدعم باليد العاملة المحترفة؛ ليس في أثناء مرحلة الإنشاء فقط، وإنما في أثناء مرحلة التشغيل أيضاً. وتعتبر "كيبكو" المورد الوحيد الذي يبني، ويمتلك، ويشغل جميع منشآت ومحطات الطاقة النووية في كوريا، بخلاف الموردين النوويين الآخرين في السوق العالمية.

أما المهمة التي ستثبت التجربة أنها الأكثر تحدياً، فهي مسألة تطوير اليد العاملة؛ من حيث الكفاءة المهنية، والأعداد الكافية لبناء قوة عاملة نووية مستدامة في الإمارات. إن تطوير المعرفة والخبرة المحلية الكافية لتشغيل محطات الطاقة النووية أمر ضروري لتشكيل البنية التحتية الأساسية لهذا القطاع. فقبل عام 2009، لم تكن توجد في البلاد عملياً أي يد عاملة فنية، أو إدارية في مجالات تتعلق بالطاقة النووية. فالجامعات والكليات المحلية كانت تقدم مناهج دراسية هندسية تركز بشكل أساسي على القطاع النفطي. ولم تصل العلوم النووية الأساسية إلى البلاد حتى الآن، ولذلك فإن اليد العاملة لم تتدرب، أو تتعلم الاحتياجات الأساسية الفنية لكي تكون قادرة على استيعاب القطاعات النووية. تمتلك معظم الدول النامية بعض أشكال التدريب النووي، التي تقدمها معاهد البحوث النووية المحلية، أو الجامعات التي فيها أقسام للهندسة النووية؛ في الكثير من الحالات، مع وجود مفاعلات بحثية صغيرة من أجل تقديم التكنولوجيات النووية الأساسية قبل وقت طويل من بدء أي عمل فعلي يتعلق بمفاعل الطاقة النووية. فبرنامج "تسخير الذرّة من أجل السلام الأمريكي Atoms for Peace" وبرامج التعاون التقني الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، أتاحا – منذ خمسينيات القرن العشرين – فرصاً وافرة للدول النامية، كي تقوم بتطوير قوتها العاملة في المجال النووي. إلا أن الإمارات لم تكن بحاجة إلى الاستفادة من هذه العروض قبل وضع "رؤية أبوظبي الاقتصادية 2030"، واضطرت إلى البدء من الصفر بإنشاء البنية التحتية النووية قبل ثلاث سنوات فقط. ولذلك، فإن القوة العاملة الفنية الأساسية في كل من الهيئة الاتحادية للرقابة النووية، ومؤسسة الإمارات للطاقة النووية، كانت من الوافدين الذين جاؤوا بالمعرفة والخبرات الكافية في مجال الطاقة النووية. ولهذا، تم تحديد أهداف التوطين الطموحة لرفع كفاءات الإماراتيين إلى مستويات مستدامة. وفي ما يلي بعض الجهود المتواصلة التي تبذل لتطوير القوة العاملة في المجال النووي في البلاد:

برامج الشهادات الجامعية

توجد في الإمارات أكثر من أربعين جامعة معتمدة رسمياً من قبل وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، نصفها تقريباً تقدم التخصصات الهندسية والعلمية العامة

بدرجات بكالوريوس العلوم والدراسات العليا. وتشمل الفيزياء، والكيمياء، وعلوم الحاسوب، والهندسة الميكانيكية، والكهربائية، والكيميائية، والمدنية التي يمكنها أن توفر القوة العاملة الأساسية للبنية التحتية النووية. فجامعة خليفة للعلوم والتكنولوجيا والبحوث في أبوظبي (تأسست عام 2007) كانت أول جامعة في البلاد تقدم برنامج بكالوريوس العلوم في الهندسة النووية عام 2010. وتمت هيكلة البرنامج المعتمد بالتعاون مع منهاج الهندسة النووية للمعهد الكوري المتقدم للعلوم والتكنولوجيا (KAIST)، وذلك ضمن حزمة العرض الخاصة بمحطة براكة. ويقتصر قبول الطلاب على المواطنين الإماراتيين حالياً، وقد أتمت الدفعة الأولى البالغ عددها خمسة طلاب، متطلبات شهادة ماجستير العلوم في عام 2012. وهم أول خريجي هندسة نووية من الإماراتيين حصلوا على تعليمهم محلياً، ويحملون شهادة ماجستير تخولهم للعمل في المنشآت النووية المحلية. كما يجري تنسيق البرامج الأكاديمية الخاصة بالطلاب، والبحوث، بشكل وثيق مع الهيئتين المشرفتين على البرنامج النووي الإماراتي؛ مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، والهيئة الاتحادية للرقابة النووية. كما أطلق معهد مصدر للعلوم والتكنولوجيا في أبوظبي برنامج شهادة الدراسات العليا في بحوث الهندسة النووية، حيث يركز على عمليات تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة النووية، وكذلك إنتاج الهيدروجين، في شراكة مع معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT).[8] ومنذ عام 2010، أطلق "معهد التكنولوجيا التطبيقية / أبوظبي بوليتكنك" برنامج دبلوم عالٍ مدته ثلاث سنوات لتدريب التقنيين على تشغيل محطات الطاقة النووية وصيانتها، وذلك بتعاون وثيق مع المشغل النووي، الشركة الكورية للطاقة الهيدروليكية والنووية (KHNP).

والتحدي الرئيسي الذي برز حتى الآن هو استقطاب الأعداد الكافية من المرشحين الإماراتيين المؤهلين لبرنامج الهندسة النووية. ويأتي هذا نتيجةً للعامل الديمغرافي في الدولة، حيث يبلغ عدد السكان المواطنين أقل من مليون نسمة، يقيم 80٪ منهم في الإمارَتَيْن الأكثر غنى؛ أبوظبي ودبي. وهناك حاجة إلى الآلاف من الخريجين الشباب

المثقفين والمتحمسين ممن يرغبون في تكريس أنفسهم للعمل طوال الحياة في القطاع النووي، وذلك للتمكن من تشغيل وإدارة الوحدات الأربع في محطة براكة للطاقة النووية.

برنامج التطوير المهني: "معهد الخليج للبنية التحتية للطاقة النووية" (GNEII)

كان الحدث المهم في التطوير المهني للقوة العاملة النووية، هو تأسيس "معهد الخليج للبنية التحتية للطاقة النووية" في جامعة خليفة عام 2010. وجاء التأسيس كجهد مشترك بين قسم الهندسة النووية في جامعة خليفة للعلوم والتكنولوجيا والبحوث، والشركاء الأمريكيين (مختبرات ساندیا الوطنية، ومعهد علوم وسياسات الأمن النووي NSSPI في جامعة تكساس آي آند إم)، بدعم تام من برنامج "شراكة لأجل الأمن النووي" التابع لوزارة الخارجية الأمريكية، وبرامج الأمن النووي الدولية التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية. كما أن الاهتمام المتزايد بمجال الطاقة النووية بين بعض دول الشرق الأوسط، يتلاقى مع عدم وجود آلية مؤسسية مستدامة، وطنية أو إقليمية لتنمية بنية تحتية مسؤولة للطاقة النووية. وبالتالي، فقد وفر معهد الخليج للبنية التحتية للطاقة النووية توافقاً مثالياً بين الدور الريادي لدولة الإمارات في مجال الطاقة النووية بمنطقة الخليج، وبين الأولوية التي تحظى بها السياسة الأمريكية لمنع الانتشار النووي في الشرق الأوسط. ويقوم معهد الخليج للبنية التحتية للطاقة النووية على ثلاث مميزات أساسية:

- معهد إقليمي، موجود فعلياً في جامعة خليفة بأبوظبي، وتعززه المصالح التي تحركها الطلبات، من المهنيين الإقليميين في مجال الطاقة النووية.
- مؤسسة تعليمية لأغراض التنمية المهنية النووية في مجال السلامة والأمن النووي، وضمانات منع الانتشار النووي (المعايير الثلاثة) في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.
- معهد استراتيجي مستمر من خلال الملكية المالية والتشغيلية الإقليمية، مع خطط لتوطينه، وجعله يتمتع بالدعم الذاتي في غضون خمس سنوات.

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

أتم معهد الخليج للبنية التحتية للطاقة النووية سنتين من مقررات الأساسيات (13و16 أسبوعاً لكل منها) منذ عام 2011. وهناك ما مجموعه 28 منتسباً (مهنيين عاملين استقطعوا وقتاً من عملهم) أتموا المقرر في موضوعات تغطي الأساسيات التقنية للطاقة النووية، وضمانات منع الانتشار النووي، والسلامة والأمن النووي، ودمج المعايير الثلاثة. وجاء معظم المنتسبين من الكيانات النووية الإماراتية، الهيئة الاتحادية للرقابة النووية، ومؤسسة الإمارات للطاقة النووية، إضافة إلى جهاز حماية المنشآت الحيوية والسواحل. وكذلك المنتسبون السعوديون، والكويتيون، والقطريون، والأردنيون المشاركون. ويعكس النجاح الأولي مدى الاهتمام المتزايد بالطاقة النووية في منطقة الخليج. ومن المتوقع أن يحقق المعهد نمواً في أعماله البحثية لتلبية الاحتياجات التقنية لأصحاب المصلحة، والتخطيط لأن يصبح متكاملاً تماماً مع برنامج الهندسة النووية في جامعة خليفة.

استنتاجات

لقد حققت الإمارات نجاحاً ملحوظاً في إنشاء البنية التحتية النووية، ووضع السياسات النووية، وتبني أعلى المعايير الدولية للسلامة، والأمن، وضمانات منع الانتشار النووي. وقد وضعت "المعيار الذهبي" للقادمين الجدد إلى النادي النووي خلال السنوات الثلاث الماضية من أجل تنفيذه في أولى محطاتها للطاقة النووية في موقع براكة. كما تم إدراج الدروس المستفادة من حادث فوكوشيما. ويجري حالياً توطيد شراكة مدتها 100 عام بين الإمارات وكوريا لإنشاء وتشغيل مفاعلات نووية من طراز APR1400، بالإضافة إلى تدريب القوة العاملة، وتأسيس شركة لتكون مسؤولة عن التشغيل والصيانة المستمرة لمحطة براكة. ويبقى التحدي الرئيسي أمام الهيئات المشرفة على المشروع، وكذلك كبار المديرين، هو كيفية تحقيق التوازن بين القوة العاملة الإماراتية والوافدة أيضاً، من أجل تحقيق الضمانات الكافية للسلامة، والأداء في أثناء إنشاء محطة براكة وتشغيلها، في حين يلبون أهداف التوطين الطموحة التي وضعوها لأنفسهم.

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 374/457

القسم الرابع

المباني الخضراء والمدن المستدامة

الفصل العاشر

الانبعاثات الكربونية من المباني.. التحديات والحلول

خالد عبدالله السلال

أصبح تغير المناخ أمراً واقعاً، بحسب الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC).[1] وعندما تُعلِن هذه النتيجة المهمة مجموعةٌ من العلماء الأكثر تحفظاً في جميع أنحاء العالم، فإنها ينبغي أن تؤخذ على أنها تحذير واضح حول أهمية النظر في هذه المسألة بشكل جدي، كما تدل على الحاجة الماسة إلى بدء البحث عن الحلول قبل فوات الأوان.

إن البيئة العمرانية مسؤولة عن نحو 48٪ من إجمالي استهلاك الطاقة وانبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري (غازات الدفيئة) في الولايات المتحدة، ونحو 30٪ إلى 40٪ من إجمالي انبعاثات الكربون في المملكة المتحدة. كما أن قطاع البناء والتشييد في الهند مسؤول عن نحو 22٪ من إجمالي الانبعاثات السنوية من غاز ثاني أكسيد الكربون. إن إنتاج مواد البناء يعتمد بشكل أساسي على مصادر الطاقة التقليدية في أجزاء كثيرة من العالم. كما أن نحو 80٪ من إجمالي الانبعاثات الناتجة عن قطاع البناء والتشييد، تنشأ بسبب المنتجات والعمليات الصناعية المرتبطة بمواد البناء كثيفة الاستهلاك للطاقة (أي الإسمنت والجير والصلب والطوب والألمنيوم). وعلى مدى العقود الثلاثة المقبلة، من المتوقع أن ينمو قطاع البناء على نطاق واسع. وإذا تم خفض الطلب على الطاقة عبر رفع كفاءة المباني الجديدة في استهلاك الطاقة، فسيوفر ذلك فرصة استثنائية لتحقيق تخفيضات كبيرة في الانبعاثات من هذا القطاع. إن الضغوط لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مستمرة بالتصاعد، مع تزايد مستويات

التشريعات والحوافز للحفاظ على بيئتنا. ولتحقيق هذه الأهداف، يتم حالياً إجراء أبحاث كثيرة حول الكفاءة في استخدام الطاقة. ويتناول هذا الفصل دور المباني في الانبعاثات الكربونية العالمية، والتدابير المحتملة للحد منها.

التوسع العمراني السريع

لقد أدى النمو الصناعي في أنحاء كثيرة من العالم إلى توسع عمراني سريع، واحتياجات أكبر لتلبية أسلوب حياة أفضل للسكان في المناطق الحضرية. ويتطلب هذا النمو التوسعي المزيد من الطاقة، كما أن الطلب على الطاقة ارتفع بشكل كبير منذ الثورة الصناعية. إن تحسين نمط الحياة مسؤول عن ارتفاع مستوى انبعاثات الكربون بشرية المنشأ، وما تلا ذلك من تدهور بيئي. وفي بعض أجزاء العالم، مثل دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، فإن النمو السريع للمجتمعات مدعوماً بموارد الطاقة الوفيرة كالنفط والغاز، نجم عنه توسع عمراني هائل، إلى جانب الاعتماد على زيادة مستويات إمدادات الوقود الأحفوري لدعم أشكال جديدة تماماً من أنماط الحياة المعيشية المعززة بشكل مفرط. وبما أن معظم الطاقة تنتج أساساً من الموارد التقليدية المحدودة، وغير المتجددة، فإن هذا يؤدي إلى مشكلات بيئية وصحية. وتظهر "البصمة البيئية" بأعلى درجاتها في دول مثل: الإمارات العربية المتحدة، والولايات المتحدة.[2] إن الاعتماد الكلي على الوقود الأحفوري، ونمط الحياة المعيشية المبالغ فيه لدى سكان هذه البلدان، يؤديان إلى ظهور "البصمة البيئية" بهذه الدرجات العالية جداً.[3] وتشير التقديرات إلى أنه إذا عاش كل شخص في العالم حياته بالطريقة التي يعيشها سكان دولة الإمارات العربية المتحدة، أو الولايات المتحدة، فإن الأمر سيتطلب نحو 4.6 كوكب لدعم احتياجات سكان العالم. وللحد من الانبعاثات الناشئة عن الأنشطة البشرية، تجب زيادة الوعي بين جميع أفراد المجتمع، وتشجيع اعتماد تدابير من شأنها مكافحة هذه الظاهرة.

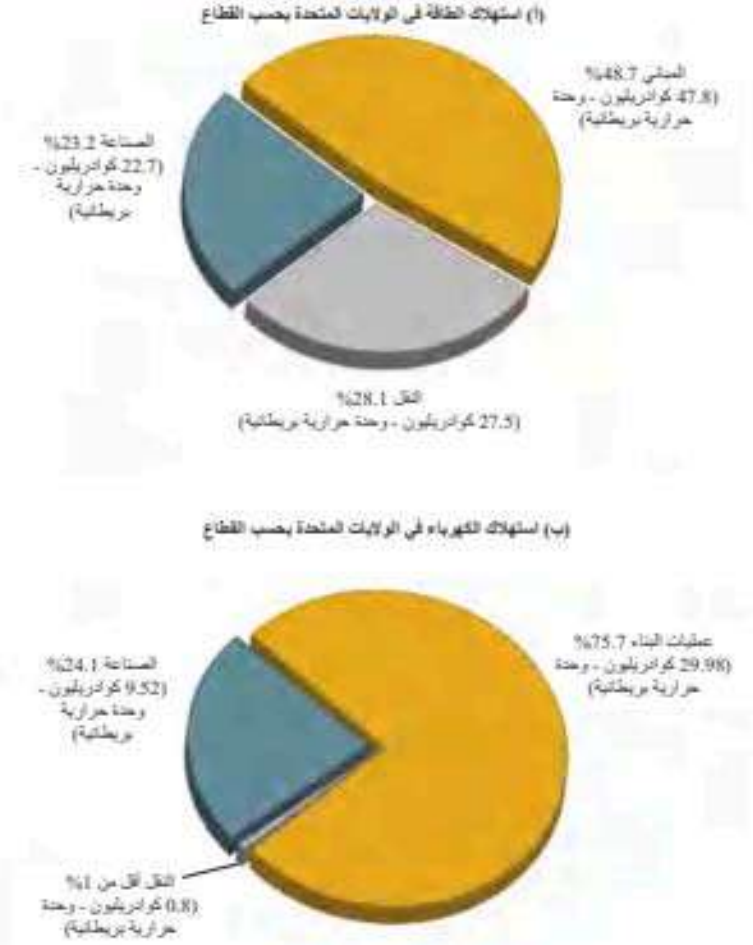
الانبعاثات من الوقود الأحفوري

تختلف الانبعاثات من الوقود الأحفوري اختلافاً كبيراً بحسب البلدان، وأسلوب الحياة. وتعد الدول الصناعية مثل الولايات المتحدة والصين مسؤولة عن توليد أعلى معدلات انبعاثات. كما أن معدلات نصيب الفرد من الانبعاثات هي الأعلى في البلدان الغنية التي تتسم بقلة عدد السكان مثل دول الخليج العربي. ووفقاً لتقديرات عام 2007، تبلغ الانبعاثات العالمية من غاز ثاني أكسيد الكربون نحو 26.8 مليار طن سنوياً،[4] ويقدر عدد السكان بأكثر من 6.4 مليار نسمة، ما يعني أن نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يبلغ نحو 4.2 طن سنوياً. وإذا عاش سكان العالم كافة وفق أنماط حياة مشابهة لنمط حياة الأوروبيين، فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم ستبلغ الضعف. وإذا ما اتبع سكان العالم كافة أنماط الاستهلاك في أمريكا الشمالية، فإن الانبعاثات ستزداد بواقع خمسة أضعاف. والحد الأعلى من المستوى الآمن لوجود ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي هو 450 جزءاً في المليون. وهذا يعادل بلوغ متوسط الانبعاثات العالمية من غاز ثاني أكسيد الكربون نحو 2.1 طن للفرد سنوياً قبل عام 2050. وهذا يتطلب تخفيضات بنسبة 75٪ في أوروبا، و60٪ في غرب آسيا، و90٪ في أمريكا الشمالية.

وعلى الصعيد العالمي، يمثل الوقود الأحفوري (النفط والغاز والفحم) 90٪ من إنتاج الطاقة الأولية.[5] وتعد المصادر غير المتجددة لتوليد الطاقة المساهم الرئيسي في انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري، والتي يعد غاز ثاني أكسيد الكربون أهمها. إن فكرة استخدام مصادر الطاقة المتجددة لا تزال غير شائعة نظراً إلى تكاليفها العالية، خاصة في البلدان النامية. ويجب الحد من استهلاك الطاقة، وتحسين الكفاءة، وتحويل توليد الطاقة من المصادر التقليدية إلى مصادر الطاقة المتجددة التي من شأنها أن تساعدنا على الاقتراب من إقامة مجتمع خالٍ من الكربون. وتتطلب هذه العملية أسلوباً منهجياً يقوم على تطوير تقنيات أفضل، ونشر الوعي بين الناس.

الشكل (10-1)

استهلاك الطاقة والكهرباء في الولايات المتحدة بحسب القطاع



المصدر: Architecture 2030 (http://architecture2030.org/); data from US EIA.

الطاقة في قطاع البناء

يستهلك قطاع البناء طاقة أكثر من أي قطاع آخر. واستناداً إلى بيانات من إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، تشير التقديرات إلى أن قطاع البناء يستهلك 48.7٪؛ أي ما يقرب من نصف إجمالي الطاقة المنتجة في الولايات المتحدة.[6] ويتم استهلاك نحو 75.7٪ من الكهرباء لتشغيل المباني فقط، كما في الشكل (10-1). على الصعيد العالمي، فإن هذه النسب هي أكبر من ذلك، الأمر الذي يجعل الأبنية أكبر مصدر لاستهلاك الطاقة، وانبعاثات غازات الدفيئة في العالم. وعلاوة على ذلك، فمن المتوقع أن ينمو استهلاك قطاع البناء للطاقة بوتيرة أسرع من استهلاك قطاع الصناعة، أو المواصلات. ومن المتوقع أن يرتفع استهلاك قطاع البناء للطاقة بين عامي 2010 و2030، بـ 5.85 "كوادريليون (qBTU)" (وحدة حرارية بريطانية). بينما من المتوقع أن ينمو استهلاك الطاقة بـ 4.01 "كوادريليون" في قطاع الصناعة، وبـ 3.15 "كوادريليون" في قطاع المواصلات. ولوضع هذه التوقعات في منظورها الصحيح، يجب توضيح أن كل وحدة "كوادريليون" تساوي الطاقة التي تولدها 37 محطة طاقة نووية (استطاعة كل منها 1.000 ميجاواط)، أو 235 محطة طاقة تعمل بالفحم (استطاعة كل منها 200 ميجاواط).

الإمارات: زيادة الطلب على الطاقة

بلغ الطلب على الكهرباء ذروته في دولة الإمارات العربية المتحدة عام 2007، بواقع 5,830 ميجاواط في أبوظبي، و4,730 ميجاواط في دبي، و1,557 ميجاواط في الشارقة، و1,680 ميجاواط في الإمارات الأخرى.[7] في أبوظبي، تجاوز توليد الكهرباء من قبل هيئة كهرباء ومياه أبوظبي (ADWEA) في فترة الذروة 10,000 ميجاواط لأول مرة في أوائل شهر يوليو 2012.[8] وتم استهلاك نحو 80٪ من هذه الذروة القياسية في توليد الكهرباء داخل الإمارة، بينما تم تصدير الباقي إلى مرافق الإمارات الشمالية من خلال الهيئة الاتحادية للكهرباء والماء (FEWA)، وهيئة كهرباء ومياه الشارقة (SEWA). وتعد المملكة العربية

السعودية والكويت الدولتين الاستثناء في مجلس التعاون لدول الخليج العربية، اللتين لديهما ذروة توليد كهرباء تفوق 10,000 ميجاواط.

وسوف يرتفع الطلب على الكهرباء في أبوظبي بمعدل يقرب من 13٪ سنوياً خلال هذا العقد، وهو معدل أسرع بواقع الثلث من الزيادة في استهلاك الطاقة في السنوات الخمس الماضية.[9] كما سيرتفع الطلب على الطاقة إلى 18.532 ميجاواط في عام 2015 من 8.563 ميجاواط في العام الماضي. ويشمل هذا الرقم أيضاً صادرات أبوظبي إلى الإمارات الأخرى. كما سيرتفع استهلاك الكهرباء في أبوظبي، وصادراتها من الكهرباء إلى الإمارات الأخرى لتبلغ 28.188 ميجاواط بحلول عام 2020. وتخطط أبوظبي لبناء محطة للطاقة النووية، وتطوير موارد الطاقة المتجددة، وبناء مولد تقليدي آخر لزيادة إمدادات الكهرباء.

وكانت الزيادة السنوية في الطلب على الكهرباء في دبي تقدر بنحو 15٪–20٪. وفي عام 2008، كانت المباني التجارية والسكنية في دبي مسؤولة عن 46٪ و34٪ على التوالي من إجمالي استهلاك الكهرباء (27,931 جيجاواط/ ساعة). بينما تم استهلاك نسبة الـ 20٪ المتبقية في الاستخدامات الصناعية، وغيرها. أما أرقام أحمال الكهرباء المتوقعة لعام 2020 فتبلغ أكثر من ضعف هذا المستوى. ووفقاً للمعلومات الواردة من هيئة كهرباء ومياه دبي (DEWA) والمنشورة في مجلة **أريبيان بزنس**،[10] فإن الطلب على الطاقة في دبي بلغ ذروته عند 6.165 ميجاواط في الفترة من 1 إبريل إلى 30 يونيو، مرتفعاً عن ذروة الربع الثاني من عام 2011 والتي بلغت 5.941 ميجاواط، ما يمثل ارتفاعاً بواقع 3.8٪ في الربع الثاني من عام 2012، مقارنة بالفترة نفسها من العام الماضي.[11] وتخطط هيئة كهرباء ومياه دبي لتحسين القدرة على الإنتاج والتوزيع والنقل لتعزيز البنية التحتية وتلبية الطلب المتزايد من جميع القطاعات على الكهرباء والمياه. ولدى الهيئة حالياً 10 محطات للكهرباء وتحلية المياه ونحو 300 محطة فرعية ذات استطاعة مختلفة.[12] وفي ظل مشروعات التوسع، وعمليات التطوير الجارية، تعمل الهيئة على بناء المزيد من المحطات الفرعية متفاوتة القدرات الكهربائية، أي 400 كيلوفولت و132 كيلوفولت.

المباني التجارية

تمثل المباني التجارية نحو 20٪ من إجمالي استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة، حيث تمثل مساحات المكاتب ومساحات البيع بالتجزئة والمرافق التعليمية ما يقرب من نصف استهلاك الطاقة في القطاع التجاري. وقد نمت المساحة التجارية بين عامي 1980 و2009 بنسبة 58٪ بينما زاد استهلاك الطاقة الأولية بنسبة 69٪. ويعزى الانخفاض الحاد في نفقات الطاقة في قطاع المباني التجارية، والذي بلغ 10٪، إلى الركود الاقتصادي عام 2008. وقد انخفضت قيمة البناء التجاري الجديد أيضاً بواقع 22٪، وهي أكبر نسبة تراجع في السنوات الثلاثين الماضية. وكان لذلك أثر إيجابي في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، التي انخفضت بنسبة 6٪. وبحسب توقعات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، سوف تستمر هذه النسبة في النمو بمعدلات أبطأ بين عامي 2009 و2035 (28٪ و22٪ على التوالي). ومن ناحية أخرى فإن متوسط أسعار الطاقة من المتوقع أن يظل مستقراً نسبياً. وبصورة إجمالية، استهلكت المباني التجارية 17.9 "كوادريليون" من الطاقة الأولية عام 2009، ما يمثل 46٪ من استهلاك الطاقة في قطاع البناء و18.9٪ من استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة. بالمقارنة، استهلك القطاع السكني 21.0 "كوادريليون" من الطاقة الأولية، أي ما يعادل 22.3٪ من استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة. أما الاستخدامات النهائية التي تحتل المراكز الثلاثة الأولى في القطاع التجاري، فهي الإضاءة، والتدفئة، والتبريد، والتي تمثل نصف استهلاك الطاقة الأولية التجارية، انظر الجدول (10-1).

وبحسب مسح استهلاك الطاقة في المباني التجارية، والذي أجرته إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (EIA's) عام 2003، تشير تفاصيل استهلاك الطاقة الكهربائية (بالوحدة الحرارية البريطانية) في مباني المكاتب عام 2003 إلى أن الإضاءة مسؤولة عن معظم الاستهلاك (39٪)، يليها التبريد (14٪) ثم التهوية (9٪). وهذا يعطي دلالة واضحة على أن مشكلة الطاقة يجب معالجتها أولاً عبر تطبيق استراتيجيات تصميم تتسم بالكفاءة في استخدام الطاقة، وتتعلق بضوء النهار، وتدابير التبريد/ التهوية، ومن ثم تلبية متطلبات الاستهلاك المتبقية من الطاقة التي ستبقى دائماً موجودة عبر المصادر المتجددة دون غيرها.

الجدول (10-1)

تقسيمات الاستخدام النهائي للطاقة في القطاع التجاري عام 2010، بحسب نوع الوقود " كوادريليون " (وحدة حرارية بريطانية)

	غاز طبيعي	زيت وقود[1]	غاز نفطي مسال	نفوط أخرى[2]	طاقة متجددة[3]	كهرباء الموقع	الموقع		كهرباء أولية[4]	الأولية	
							الإجمالي	النسبة %		الإجمالي	النسبة %
الإضاءة						1.19	1.19	13.60	3.69	3.69	20.20
التدفئة	1.65	0.22		0.06	0.11	0.28	2.33	26.60	0.88	2.93	16.00
التكييف	0.04					0.84	0.88	10.10	2.6	2.64	14.50
التهوية						0.54	0.54	6.10	1.66	1.66	9.10
التبريد						0.39	0.39	4.50	1.21	1.21	6.60
تسخين المياه	0.44	0.03			0.03	0.09	0.58	6.70	0.28	0.78	4.30
الإلكترونيات						0.26	0.26	3.00	0.81	0.81	4.40
الكمبيوترات						0.21	0.21	2.40	0.66	0.66	3.60
الطهي	0.18					0.02	0.2	2.30	0.07	0.25	1.40
أخرى[5]	0.3	0.01	0.14	0.05	0.01	0.69	1.2	13.70	2.13	2.64	14.50
التعديل مع نظام بيانات الطاقة في الولايات المتحدة[6]	0.68	0.25				0.02	0.95	10.90	0.06	0.99	5.40
الإجمالي	3.29	0.52	0.14	0.12	0.14	4.54	8.74	100	14.05	18.26	100

ملاحظات: 1) يتضمن (0.43 كوادريليون) نواتج التقطير (زيت الوقود)، و(0.08 كوادريليون) زيت الوقود المتبقي. 2) كيروسين (0.01 كوادريليون)، وفحم (0.06 كوادريليون) يفترض أنها تُنسب للتدفئة، ووقود المحركات (0.08 كوادريليون) يفترض أنها تُنسب للاستخدامات النهائية الأخرى. 3) تتألف من (0.11 كوادريليون) كتلة حيوية، (0.03 كوادريليون) تسخين المياه بالطاقة الشمسية (أقل من 0.01 كوادريليون) الطاقة الشمسية الكهروضوئية (أقل من 0.01 كوادريليون) رياح. 4) تحويل الكهرباء من الموقع إلى المصدر (بسبب خسائر توليد الكهرباء ونقلها) = 3.10. 5) تشمل معدات محطة الخدمة، وأجهزة الصراف الآلي، وأجهزة الاتصالات السلكية واللاسلكية، والمعدات الطبية، والمضخات، والمولدات الكهربائية في حالات الطوارئ، والتدفئة والكهرباء في المباني التجارية، والصناعات التحويلية التي أجريت في المباني التجارية. 6) تعديل الطاقة الذي تستخدمه إدارة معلومات الطاقة الأمريكية لتخفيف الاختلافات بين مصادر البيانات – الطاقة التي تُنسب إلى قطاع المباني التجارية، ولكن لا تُنسب مباشرة إلى استخدامات نهائية محددة.

المصدر:

US Energy Information Administration (EIA) / Department of Energy (DoE) Annual Energy Outlook 2012; Early Release, January 2012.

قطاع البناء وتغير المناخ

لفهم كيفية إسهام المباني في انبعاثات غازات الدفيئة، يحتاج المرء إلى معرفة كيفية قياس الانبعاثات. عموماً، هناك ثلاث طرق لقياس الغازات المسببة للاحتباس الحراري، وتعرف بالنطاقات:

- "النطاق 1" هو انبعاثات غازات الاحتباس الحراري المباشرة المنبعثة من المصدر. ويعد احتراق الغاز الطبيعي في المبنى انبعاثاً من "النطاق 1" من ذلك المبنى.
- "النطاق 2" هو من الانبعاثات الكهربائية غير المباشرة.
- "النطاق 3" هو أي شيء آخر تنبعث منه الغازات المسببة للاحتباس الحراري ذات الصلة بالمشروع (أو المرفق).

وخير مثال على تسجيل انبعاثات "النطاق 1" هو حالة المرافق الغازية والكهربائية، حيث تسجل انبعاثات كبيرة جداً من "النطاق 1"؛ لأن لديها محطات كبيرة لتوليد الطاقة تعمل بالغاز الطبيعي.

يزود الوقود الأحفوري 84٪ من إجمالي الاستهلاك في الولايات المتحدة، و76٪ من استهلاك الطاقة في قطاع البناء.[13] ومن المتوقع أن تنمو حصة الوقود الأحفوري في الاستهلاك في الولايات المتحدة بنسبة 9.8٪ بين عامي 2010 و2030.

إن حرق الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة، هو ما يؤدي إلى انبعاث ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى التي تؤجج الآن التغير المناخي الخطير. ويشير التقرير الأمريكي للعمل من أجل المناخ[14]؛ الذي يصدر عن وزارة الخارجية الأمريكي، إلى أن المباني هي أكبر مستهلك للطاقة. إذ إنها تستهلك نحو 37٪ من إجمالي استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة، ونحو 70٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء. وتأثير المباني في استهلاك الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة أمر بالغ الأهمية؛ بسبب عددها، وحجمها، وتوزعها، والأجهزة وأنظمة التدفئة والتبريد التي تعمل في داخلها (انظر الشكل 10–2). وأسهمت قطاعات الاستخدام النهائي السكنية والتجارية بنسبة 21٪ و18٪، على التوالي، من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بفعل احتراق الوقود الأحفوري عام 2007. ويعتمد

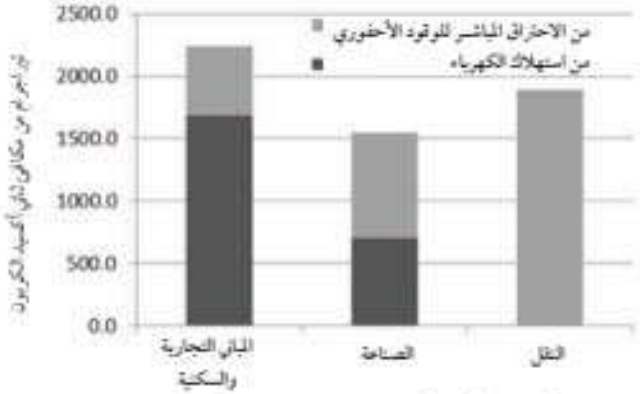
القطاعان اعتماداً كبيراً على الكهرباء لتلبية الطلب على الطاقة، حيث تعزى نسبة 72٪ و79٪ على التوالي، من انبعاثاتها إلى استهلاك الكهرباء من أجل الإضاءة والتدفئة والتبريد، وتشغيل الأجهزة المنزلية. أما النسبة المتبقية من الانبعاثات فكانت بسبب استهلاك الغاز الطبيعي والنفط لأغراض التدفئة والطهي. وتعتمد الولايات المتحدة على الكهرباء لتلبية جزء كبير من احتياجاتها من الطاقة، خاصة بالنسبة إلى الإضاءة والمحركات الكهربائية والتدفئة والتكييف. وقد استهلكت مولدات الكهرباء 36٪ من الطاقة في الولايات المتحدة التي تم توليدها من الوقود الأحفوري، وتسببت بانبعاث 42٪ من إجمالي غاز ثاني أكسيد الكربون بفعل احتراق الوقود الأحفوري في عام 2007.

فالمباني هي المساهم الأكبر في تغير المناخ (انظر الشكل 10-3). وبسبب تركيز الاهتمام بشكل كبير على انبعاثات وسائل النقل، يُفاجأ كثير من الناس بمعرفة هذه الحقيقة. فقطاع البناء كان مسؤولاً عن ما يقرب من (46.7٪)؛ أي نصف انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة في عام 2010. [15] وعلى سبيل المقارنة، تسبب قطاع النقل بنسبة 33.4٪ من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، بينما تسببت الصناعة بنسبة 19.9٪ فقط. ويتم إنتاج معظم هذه الطاقة من حرق الوقود الأحفوري، ما يجعل هذا القطاع أكبر مصدر للغازات المسببة للاحتباس الحراري على كوكب الأرض والمساهم الرئيسي بتغير المناخ بشري المنشأ.

وفي عام 2010، بلغت مساحة المباني في الولايات المتحدة 275 مليار قدم مربعة. وعلى مدى السنوات الثلاثين المقبلة، من المتوقع أن تنمو مساحة المباني لتصل إلى ما يقرب من 400 مليار قدم مربعة.[16] وكل عام يتم هدم نحو 1.75 مليار قدم مربعة، وتجديد 5 مليارات قدم مربعة، كما يتم بناء 5 مليارات قدم مربعة جديدة. وبحلول عام 2035 سيكون نحو 75٪ من بيئة المباني إما جديدة، وإما تم تجديدها. وهذا التحول على مدى السنوات يمثل فرصة تاريخية لتحقيق تخفيضات كبيرة في الانبعاثات من قطاع البناء؛ إذا تم خفض الطلب على الطاقة عبر رفع كفاءة المباني الجديدة في استهلاك الطاقة، وبالتالي تجنب تغير المناخ الذي ينطوي على مخاطر عديدة.

الشكل (10-2)

انبعاثات قطاع الاستخدام النهائي الأمريكي من ثاني أكسيد الكربون بفعل احتراق الوقود الأحفوري



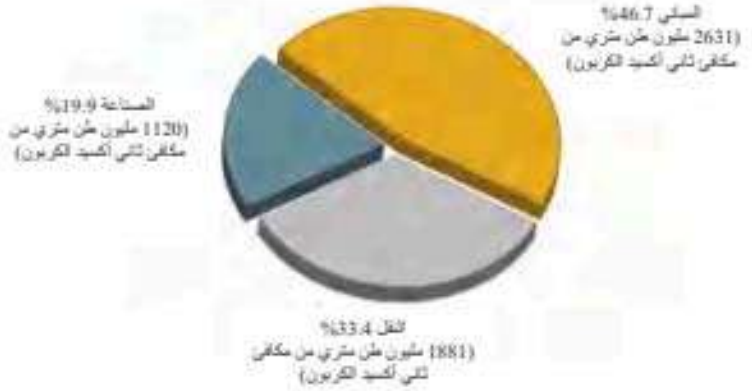
ملاحظة: $TgCO_2e$ = تيراجرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.

المصدر:

US Department of State (USDS), "US Climate Action Report 2010," Washington, DC: Global Publishing Services, June 2010.

الشكل (10-3)

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة بحسب القطاع



المصدر: Architecture 2030, op. cit.; Data from US (EIA), 2011 .

المباني: الانبعاثات المباشرة

تفيد التقارير بأن بيئة المباني مسؤولة عن نحو 48٪ من إجمالي استهلاك الطاقة وانبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري (غازات الدفيئة) في الولايات المتحدة، ونحو 30٪ إلى 40٪ من إجمالي انبعاثات الكربون في المملكة المتحدة. وينفث قطاع البناء والتشييد في الهند نحو 22٪ من إجمالي انبعاثات الاقتصاد الهندي السنوية من غاز ثاني أكسيد الكربون.[17] وتسهم المباني أيضاً بشكل غير مباشر في انبعاثات غازات الدفيئة. في عام 2004، كانت الانبعاثات المباشرة من قطاع البناء (باستثناء الانبعاثات الناتجة عن استخدام الكهرباء) نحو 3 جيجاطن من غاز ثاني أكسيد الكربون، و0.4 جيجاطن من الميثان (CH4) و0.1 جيجاطن من أكسيد النيتروس (N2O) و1.5 جيجاطن من المركبات الكربونية الهالوجينية (بما في ذلك مركبات الكلوروفلوروكربون [CFCs] ومركبات الكربون الهيدروكلورية الفلورية [HCFCs]). وبما أن التخفيف في هذا القطاع يتضمن مجموعة متنوعة من التدابير الرامية إلى توفير الكهرباء، فمن المفيد أن نقارن بين إمكانية التخفيف مع انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، بما في ذلك تلك التي تنبعث خلال استهلاك الكهرباء. وتبلغ انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة بما في ذلك الانبعاثات الناتجة عن استخدام الكهرباء 8.6 جيجاطن سنوياً، أو ما يقرب من ربع إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية.[18]

الانبعاثات غير المباشرة من المباني

تسهم المباني أيضاً بشكل غير مباشر في انبعاثات غازات الدفيئة. وتشمل الآثار غير المباشرة أشكالاً عديدة مثل الطاقة اللازمة لتوفير، ونقل مواد البناء والوقود المستخدم لنقل الناس من العمل وإليه ، والطاقة اللازمة لنقل ومعالجة المياه للشرب وتنظيف المراحيض، والوقود المستهلك لإعادة تدوير النفايات التي يخلقها شاغلو المباني والتخلص منها.[19] ويكاد يكون من المستحيل تتبع كل هذه المصادر غير المباشرة للانبعاثات وتحديد كميتها بدقة. ومع ذلك، من المهم معالجتها عبر أخذ الكفاءة في استخدام الطاقة، وأخذها

في الحسبان عند اتخاذ القرارات حول أنماط النقل، واستهلاك المياه، وتوليد النفايات، واستخدام الأراضي، وتدفقات مياه الأمطار، وعدد لا يحصى من القضايا الأخرى. فهذه الأمور كافة لها تأثيرات غير مباشرة في تغير المناخ، وبالتالي يجب أن تؤخذ في الحسبان.

الطاقة المستهلكة في تشييد المباني وتشغيلها وصيانتها

إن إجمالي الطاقة المستهلكة في دورة حياة أي مبنى تشمل الطاقة المستهلكة في تشغيل المبنى (الطاقة التشغيلية) والطاقة المستهلكة في تشييد المبنى وصيانته (الطاقة المتضمنة). والطاقة التشغيلية ضرورية للحفاظ على بيئة داخلية مريحة من خلال تشغيل الأنظمة في المبنى مثل التدفئة والتبريد والإضاءة والتهوية. أما الطاقة المتضمنة فتتعلق مباشرة بمحتوى الكربون المتضمن في مواد البناء الأساسية، ويتم استهلاكها في العمليات المتصلة بإنتاج مواد البناء، وأعمال البناء في الموقع، وأعمال الهدم والتخلص من الأنقاض. ومع التقدم في التكنولوجيا والأجهزة التي تراعي الكفاءة في استخدام الطاقة، فمن الممكن خفض الطاقة التشغيلية. ومع ذلك، فإن خفض الطاقة المتضمنة يتطلب نهجاً مختلفاً يعتمد على عشرة عوامل، هي: حدود النظام، وطرق تحليل الطاقة المتضمنة، والموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة، والطاقة الأولية والطاقة التي يتم إنتاجها، وعمر مصادر البيانات، ومصدر البيانات، واكتمال البيانات، والتكنولوجيا في عمليات التصنيع، ومراعاة طاقة المواد الأولية، والتمثيل الزمني.[20]

تم احتساب مجموع كميات غاز ثاني أكسيد الكربون المتضمن، والحصول على توقعات للانبعاثات التشغيلية لغاز ثاني أكسيد الكربون عبر نموذج محاكاة ديناميكي حراري للتأثيرات الناتجة عن منزل صغير في جنوب شرق إنجلترا على مدار مئة عام في ظل سيناريو تغير مناخي ذي انبعاثات متوسطة إلى عالية. وقد تبين أن غاز ثاني أكسيد الكربون الأولي المتضمن المحتسب يكون أعلى في حالة الوزن الأثقل، بنسبة تصل إلى 15٪ مقارنة بحالة الوزن الخفيف، إلا أن هذه الاختلافات يتم تعويضها في بداية دورة الحياة

بسبب انخفاض الانبعاثات التشغيلية من غاز ثاني أكسيد الكربون بالنسبة إلى المباني ثقيلة الوزن. كما تبين أن مجموع انخفاض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون يصل إلى 17٪ خلال دورة حياة الحالة الأثقل وزناً.[21] استقصت الباحثة كاتارينا ثورماك عن بدائل مختلفة لحساب تأثير اختيار المواد في إمكانية إعادة التدوير للمبنى.[22] وأظهرت النتائج أن الطاقة المتضمنة تنخفض في المباني التقليدية بنحو 10٪– 15٪ من خلال إعادة تدوير المواد والاحتراق. كما أجرى سيمون روبرتس دراسة أخرى أوصى خلالها باستخدام عناصر بناء مسبقة الصنع على وحدات قياسية، يتم تجميعها معاً لتشييد منازل أكبر أو أصغر، كأسلوب بناء مستدام.[23]

الحلول التكنولوجية

إن تغيير السياسات، واللوائح، وتدابير التحول في استخدام الوقود، سعياً إلى تخفيف الانبعاثات، يمكن أن تؤدي إلى تخفيض انبعاثات الكربون بنسبة تصل إلى 25٪ وفقاً لدراسة أجراها الباحثان داكوال ورواليجاونكار.[24] وتبين الدراسة ذاتها أن تحول تكنولوجيا توليد الطاقة من المصادر التقليدية إلى التوليد المشترك، أو التكنولوجيا الهجينة، يمكن أن يؤدي إلى انخفاض كبير في انبعاثات الكربون. وعلى سبيل المثال فإن المزج بين التكنولوجيا التقليدية، والطاقة الشمسية، لتوليد الطاقة، يؤدي إلى خفض انبعاثات الكربون بنسبة 40٪ بالمقارنة مع الطرق التقليدية.

وفي المباني التجارية المعاصرة نرى أن الواجهات الزجاجية الكبيرة شائعة، خاصة في مراكز التسوق ومباني المكاتب، ومباني تجارة التجزئة الأخرى. وهذه الواجهات تسبب زيادة كبيرة في الطاقة المستهلكة لتبريد المبنى نظراً إلى زيادة امتصاصها للحرارة الشمسية.[25] إن تحسين الأداء الحراري لواجهات المباني يؤدي إلى تخفيض انبعاثات الكربون. ويمكن تخفيض انبعاثات الكربون بنسبة تتراوح بين 31٪ و36٪ عن طريق التعديل التحديثي واختيار مواد عازلة للحرارة مناسبة لبناء الواجهات. كما أن إعادة استخدام، وإعادة تدوير، وإعادة توليد طاقة المبنى، قد تؤدي مجتمعة إلى توفير بنسبة تصل إلى 10٪ من إجمالي الطاقة، وبالتالي تخفيف

الانبعاثات بشكل أكبر. وقد تبين أن محاكاة طاقة المبنى في أثناء عملية التصميم أثبتت فعاليتها في دراسة آثار هذه المعايير على الكفاءة في استخدام الطاقة في المبنى.

إن الاستراتيجيات المتوافرة التي من شأنها أن تقلل إلى حد كبير من انبعاثات غازات الدفيئة في قطاع البناء، يمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات عامة:[26] استراتيجيات التخطيط والتصميم، واختيار واجهة المبنى، ومواد ومعدات البناء، والتكنولوجيات الإضافية. وتشمل استراتيجيات التخطيط والتصميم: شكل المبنى، والاتجاه واللون، والتخطيط المكاني، وشكل النوافذ واتجاهها، وضوء النهار، والتهوية الطبيعية، والتظليل الخارجي، والغطاء النباتي، ومراقبة المناخ المحلي، وأنظمة التدفئة والتبريد السلبية. ويشتمل اختيار واجهة المبنى ومواد البناء ومعداته، على: نسب عزل كافية، وحواجز عاكسة، وطلاء/ تلبيس منخفض الإشعاعية وزجاج مبطن بالأرجون، ونوافذ وأنظمة عازلة للحرارة، وتجهيزات عزل متحركة، وتجهيزات وأنظمة لضوء الشمس وضوء النهار، وأسطح باردة وخضراء، وأجهزة استشعار للإشغال، ولغاز ثاني أكسيد الكربون، وأجهزة للتحكم في ضوء النهار، وأجهزة استشعار ضوئية. أما فئة التكنولوجيات الإضافية فيمكن أن تشمل: الطاقة الشمسية لتسخين المياه، والنظم الكهروضوئية، وتوليد الكهرباء عبر توربينات الرياح المصغرة، واستخدام الطاقة الشمسية الحرارية على نطاق المجتمعات المحلية، وتوليد الكهرباء عبر الرياح والكتلة الحيوية، والأنظمة المشتركة للتسخين والطاقة.

الردود العالمية والمحلية للتخفيف من أثر الانبعاثات

إن خفض الطلب على الطاقة عبر رفع كفاءة المبنى أرخص بكثير من إنتاج الكمية نفسها من الطاقة عن طريق الفحم، أو الطاقة النووية. ووفقاً لتقديرات مبادرة التحديات المعمارية 2030، فإن كل "1 كوادريليون" من الطاقة يتم إنتاجها عبر جعل المباني أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، يمكن أن تكلف 42.1 مليار دولار، في حين أن تكلفة توليد كمية مماثلة هي 104.5 مليار دولار، إذا تم استخدام محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم، أو 141.3 مليار دولار، إذا تم استخدام المحطات النووية.

مبادرة التحديات المعمارية 2030

إن "مبادرة التحديات المعمارية 2030" التي أطلقها المعهد الأمريكي للمهندسين المعماريين (AIA 2030 Challenge) هي منظمة مستقلة غير ربحية، وغير متحيزة، تأسست رداً على أزمة تغير المناخ عام 2002. وتتمثل مهمة "التحديات المعمارية 2030" في تحويل قطاع البناء الأمريكي والعالمي من كونه مساهماً رئيسياً في انبعاثات غازات الدفيئة، ليصبح بسرعة جزءاً أساسياً من الحل لمعضلات تغير المناخ، واستهلاك الطاقة، والأزمات الاقتصادية. والهدف هو تحقيق انخفاض كبير في انبعاثات غازات الدفيئة المسببة للتغير المناخي من قطاع البناء، من خلال تغيير الطريقة التي يتم بموجبها تخطيط المباني والمشروعات، وتصميمها وبناؤها. وتضع "مبادرة التحديات المعمارية 2030" أهدافاً معقولة ويمكن تحقيقها وهي:

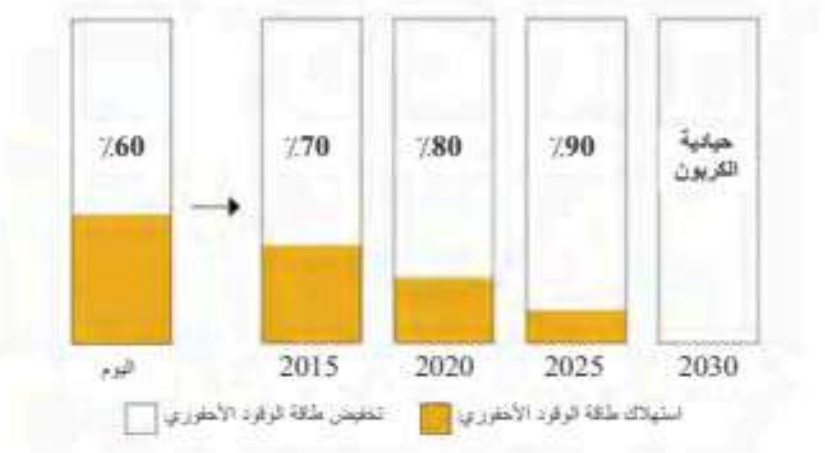
- أن تكون المباني الجديدة وعمليات التجديد الكبيرة كافة مصممة لاستيفاء معيار أداء للوقود الأحفوري وانبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري (غازات الدفيئة) واستهلاك الطاقة، يبلغ 50٪ من المتوسط الإقليمي لهذا النوع من البناء.
- أن يتم سنوياً تجديد مساحة مساوية لمساحة البناء القائم لاستيفاء معيار أداء للوقود الأحفوري واستهلاك الطاقة، يبلغ 50٪ من المتوسط الإقليمي.
- أن تتم زيادة معيار تقليص استهلاك الوقود الأحفوري لجميع المباني الجديدة، لتصبح خالية من الكربون بحلول عام 2030 (باستخدام طاقة تشغيل لا تستهلك الوقود الأحفوري الذي تنبعث منه غازات الدفيئة).

وتضع المبادرة -كما هو مبين في الشكل (10-4)- أهدافاً بشأن طاقة المباني، من حيث تحسين نسبة كثافة استهلاك الطاقة (EUI). ويتم احتساب كثافة استهلاك الطاقة عبر حساب استهلاك الطاقة في منطقة في السنة (أو جيجاجول/ متر مربع/ سنة). ويتم تحديد هذه الأهداف لمواقع مختلفة، ومساحات تجارية مختلفة الاستخدام، ومبانٍ مختلفة. فهي تبدأ مع أهداف تسعى إلى تحسين بواقع 50٪ أو 60٪ وتضع أهدافاً أكثر تحدياً للسنوات المقبلة؛

مثل: 70٪ بحلول عام 2015، و80٪ بحلول عام 2020، و90٪ بحلول عام 2025، ومحايدة الكربون بحلول عام 2030. ومن خلال استراتيجيات التصميم، والتكنولوجيات، والنظم، والطاقة المتجددة خارج الموقع، يمكن اليوم تصميم وتشييد مبانٍ تحقق أهداف "مبادرة التحديات المعمارية 2030".

الشكل (10-4)

التحديات المعمارية عام 2030



المصدر: Architecture 2030, op. cit.

استدامة

إن أهداف النمو الطموحة لإمارة أبوظبي تترجم إلى زيادة في استهلاك الطاقة.[27] برنامج "استدامة" هو إسهام إمارة أبوظبي في المناقشة العالمية حول كيفية بناء مجتمعات، ومدن ومؤسسات عالمية أكثر استدامة. وقد صمم في البداية لدعم تحقيق "خطة أبوظبي 2030"، تحت إشراف مجلس أبوظبي للتخطيط العمراني، مع الحرص على توفير عوامل التنمية المستدامة والبنية التحتية والتخطيط المجتمعي ونوعية الحياة.

ويسعى برنامج "استدامة" من خلال نظام التقييم بدرجات اللؤلؤ، إلى الحفاظ على الطاقة عبر التحولات التكنولوجية في قطاع البناء.[28] إن تقنيات الحفاظ على الطاقة في مراحل تصميم المباني ومراحل البناء تعتمد على خفض الطلب على الطاقة من خلال التصميم البيئي السلبي، والاختيار المناسب للمعدات الميكانيكية والكهربائية عالية الكفاءة، وتيسير منشآت الطاقة المتجددة.

الجدول (10-2)

وحدات التقييم المشمولة في قسم "الطاقة الفعالة" من نظام التقييم بدرجات اللؤلؤ

RE	الطاقة الفعالة	عامة	المكاتب	التجزئة	سكنية متعددة	مدارس
رمز وحدة التقييم	وصف وحدة التقييم					
RE-R1	الحد الأدنى لأداء الطاقة	R	R	R	R	R
RE-R2	مراقبة الطاقة وتقاريرها	R	R	R	R	R
RE-R3	آثار غازات التبريد وأجهزة إخماد الحريق في طبقة الأوزون	R	R	R	R	R
RE-1	أداء الطاقة المعدل	15	15	15	15	15
RE-2	استراتيجيات المبنى البارد	6	6	6	6	6
RE-3	أجهزة تراعي الكفاءة في استخدام الطاقة	3	3	3	3	3
RE-4	النقل العمودي	3	3	3	3	3
RE-5	تخفيض ذروة الحمل	4	4	4	4	4
RE-6	الطاقة المتجددة	9	9	9	9	9
RE-7	آثار المبردات وأجهزة إخماد الحريق في ظاهرة الاحتباس الحراري	4	4	4	4	4

المصدر:

Estidama, "The Pearl Rating System for Estidama: Community Rating System Design & Construction (Version 2)," 2011(a).

إن "نظام التقييم بدرجات اللؤلؤ" مقسم إلى سبعة أقسام؛ أحدها هو الطاقة الفعالة، ويركز هذا القسم على الحفاظ على الطاقة. إن عدد نقاط التقييم المتوافرة في قسم معين تحدد وزن هذا القسم. والحد الأقصى لعدد نقاط التقييم المتوافرة لقسم الطاقة الفعالة هو 42 نقطة بالنسبة إلى نظام تقييم المجمعات، و44 نقطة تقييم لنظام تقييم المباني. ونظراً إلى أهمية الحفاظ على الطاقة، فإن قسم الطاقة الفعالة يعطى أعلى وزن (أو أقصى قدر من النقاط التي يمكن تحقيقها) في نظامي التقييم (على مستوى المجمعات ومستوى المباني) من جميع الأقسام. الفئات السبع في برنامج استدامة لنظام التقييم بدرجات اللؤلؤ هي كما يلي:

1. عملية التطوير المتكامل: تشجيع العمل الجماعي متعدد التخصصات لتقديم إدارة بيئية وجودة عالية طوال فترة حياة المشروع.
2. الأنظمة الطبيعية: حفظ وصون وترميم البيئات والموائل الطبيعية الحساسة في المنطقة.
3. المجتمعات والمباني الملائمة للعيش: تحسين نوعية وترابط المساحات في الأماكن المفتوحة والمغلقة.
4. المياه الثمينة: الحد من الطلب على المياه، وتشجيع كفاءة التوزيع ومصادر المياه البديلة.
5. الطاقة الفعالة: تستهدف خفض الطلب على الطاقة التقليدية والمتجددة، والكفاءة في استخدامها، من خلال تدابير لإيجاد تصاميم سلبية [أي تخلو من الأجهزة الميكانيكية والكهربائية].
6. الإشراف على المواد: تأكيد أخذ دورة الحياة الكاملة في الاعتبار عند اختيار المواد وتحديدها.
7. الممارسة المبتكرة: تشجيع الابتكار في تصميم البناء وتشييده لتسهيل عملية التحول في السوق والصناعة.

وتظهر وحدات التقييم التي يغطيها قسم الطاقة الفعالة من نظام التقييم بدرجات اللؤلؤ للمباني في الجدول (10-2).

استنتاجات

إن التحسين المفرط لأنماط الحياة مسؤول عن ارتفاع مستوى انبعاثات الكربون بشرية المنشأ، وما تلاها من تدهور بيئي. وتعد المباني مسؤولة عن نحو 48٪ من جميع انبعاثات غازات الدفيئة و68٪ من استهلاك الكهرباء. في أبوظبي، تجاوز توليد الكهرباء من قبل هيئة كهرباء ومياه أبوظبي (ADWEA) في فترة الذروة 10 آلاف ميجاواط في أوائل شهر يوليو 2012. وتم استهلاك نحو 80٪ من هذه الذروة القياسية في توليد الكهرباء داخل الإمارة، بينما تم تصدير الباقي إلى مرافق الإمارات الشمالية. وللحد من الانبعاثات بشرية المنشأ، يجب الحد من استهلاك الطاقة، وتحسين الكفاءة، وتحويل توليد الطاقة من المصادر التقليدية إلى مصادر الطاقة المتجددة التي من شأنها أن تساعدنا على الاقتراب من إقامة مجتمع خالٍ من الكربون. وهذا يتطلب أيضاً زيادة الوعي بين الناس لتبني أساليب أكثر تقدماً من الناحية التكنولوجية وآمنة بيئياً. ويمكن أن يتحقق الانخفاض الكبير في انبعاثات الكربون عن طريق تحويل تكنولوجيا توليد الطاقة من التقليدية إلى تكنولوجيات التوليد المشترك، أو التكنولوجيات الهجينة. إن المزج بين التكنولوجيا التقليدية والطاقة الشمسية لتوليد الطاقة يمكن أن يؤدي إلى الحد من انبعاثات الكربون بنسبة 40٪ بالمقارنة مع الطرق التقليدية.

إن تحسين الأداء الحراري لواجهات المباني يؤدي إلى تخفيضات في انبعاثات الكربون، إذ يمكن تخفيض انبعاثات الكربون بنسبة تتراوح بين 31٪ و36٪ عن طريق التعديل التحديثي واختيار مواد عازلة للحرارة، ومناسبة لبناء الواجهات. ويمكن تحقيق نسبة تخفيض إضافية بواقع 10٪ من إجمالي طاقة وانبعاثات المبنى من خلال بناء نظم متكاملة تستخدم إعادة التدوير، وإعادة توليد طاقة المبنى. إن خفض الطلب على الطاقة عبر رفع كفاءة المبنى هو أرخص بكثير من إنتاج الكمية نفسها من الطاقة عن طريق الفحم، أو الطاقة النووية. إن استبدال قوة 235 محطة طاقة تعمل بالفحم والاستعاضة عنها برفع كفاءة البناء يكلف 42.1 مليار دولار، في حين أن تكلفة بناء هذه المحطات وتشغيلها

يكلف 104.5 مليار دولار. وبحلول عام 2035 سيكون نحو 75٪ من بيئة المباني إما جديدة، وإما تم تجديدها. وإذا تم خفض الطلب على الطاقة عبر رفع الكفاءة في استخدام الكهرباء لهذه المباني الجديدة، فإن هذا التحول يمثل فرصة تاريخية لتحقيق تخفيضات كبيرة في الانبعاثات من قطاع البناء والتشييد، وبالتالي تجنب تغير المناخ الذي ينطوي على مخاطر عديدة. إن تغيير السياسات واللوائح وتدابير التحول في استخدام الوقود سعياً إلى تخفيف الانبعاثات، يمكن أن تؤدي إلى تخفيض انبعاثات الكربون بنسبة تصل إلى 25٪.

وتضع "مبادرة التحديات المعمارية 2030" التي أطلقها المعهد الأمريكي للمهندسين المعماريين أهدافاً معقولة ويمكن تحقيقها. ومن خلال استراتيجيات التصميم والتكنولوجيات والنظم، والطاقة المتجددة خارج الموقع، يمكن اليوم تصميم وتشييد مبانٍ تحقق أهداف "مبادرة التحديات المعمارية 2030". وينبغي إدراج انبعاثات الكربون باعتبارها واحداً من العوامل الرئيسية في مختلف المنهجيات والمبادئ التوجيهية المتاحة لتقييم المباني التي تراعي الكفاءة في استخدام الطاقة. وقد حققت إمارة أبوظبي ذلك فعلاً عن طريق إدخال برنامج استدامة لنظام التقييم بدرجات اللؤلؤ. في هذا النظام، يتم تحديد وتقييم المواد والعمليات التي تسهم في الانبعاثات بشكل مباشر، أو غير مباشر. وهذا سيساعد في تحسين الكفاءة في استخدام الطاقة والأداء البيئي للمباني.

الفصل الحادي عشر

التحضر والمدن المستدامة في دول الخليج العربية

محسن أبو النجا

تزداد أهمية الاستدامة على النطاق العالمي. وهناك عدد متزايد اليوم ممن يفهمون خطورة السلوك غير المستدام، والحاجة إلى إجراء تحول عاجل في أساليب معيشتهم. فقد أصبحت التنمية المستدامة أحد العناصر الرئيسية في استراتيجيات الحكومات وسياساتها؛ نظراً إلى كمٍّ متنوع من التحديات الاستراتيجية المعاصرة. وتشمل هذه التحديات النمو السكاني، والطلب على الطاقة، والمعروض منها، والأمن المائي والغذائي. كما أن الزيادة السريعة في سكان العالم، وخصوصاً في المناطق الحضرية، تشكل أيضاً عاملاً حاسماً يؤثّر في تغير المناخ. ويزيد تركُّز السكان من الحاجة إلى توفير الطاقة والمياه والغذاء، وجميعها يولد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، انظر الشكل (11-1).

وفي البلدان النامية، تشهد البلدات والمدن توسعاً غير مسبوق، من حيث وتيرته وحجمه على حدٍّ سواء. وحسب ما ورد في دراسة أصدرها برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (الموئل UN-Habitat) في عام 2009، حدث تحول رئيسي في الفترة 2007-2008، حيث صُنف لأول مرة ما يزيد على نصف سكان العالم باعتبارهم من قاطني المدن.[1] وتشير التقديرات إلى أن عدد ساكني المدن والضواحي والبلدات في نهاية عام 2008 بلغ 3.3 مليار نسمة، ومن المتوقع أن يزيد إلى 5 مليارات نسمة بحلول عام 2030.[2] وحسب ما ذكرته الأمم المتحدة، فإن ما نسبته 64.1٪ و85.9٪ من سكان العالمين: النامي والمتقدم، على التوالي، سوف يقطنون الحضر بحلول عام 2050.[3]

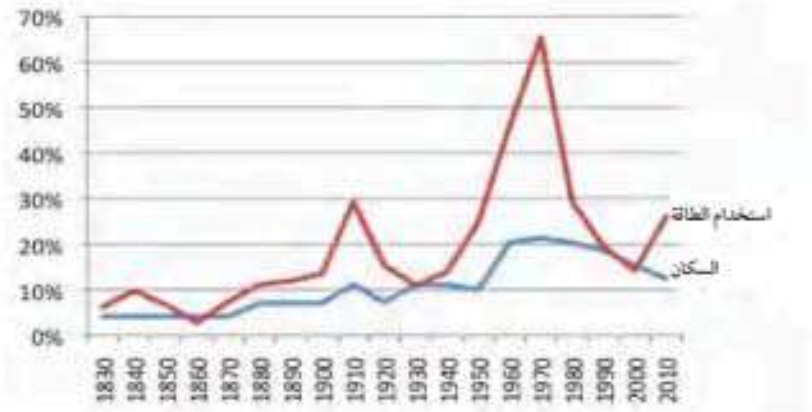
وسكان هذه المناطق الحضرية يحتاجون إلى المياه والغذاء والطاقة من أجل البقاء، وهو ما يشكل تحديات استراتيجية أمام الحكومات التي عليها أن تتوخى الدقة في إدارة العرض والطلب بغية تحقيق التوازن، وأن تراعي في الوقت نفسه الزيادة الحالية الهائلة في الطلب؛ ما يضع ضغوطاً ثقيلة على الموارد الطبيعية للأرض، وكذلك المرافق والخدمات (الطاقة والمياه وإدارة النفايات والتنقل). وتشير البيانات المستقاة من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي إلى أن الطلب العالمي على الطاقة في عام 2010 سوف ينمو بنسبة نحو 45٪ بحلول عام 2030. [4] كما أشارت منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) إلى أن العالم سيكون مطالَباً بإنتاج كميات من الغذاء تزيد على ما ينتجه اليوم بواقع 70٪ لإطعام سكانه الذين يُتوقع أن يصل عددهم إلى 9 مليارات نسمة بحلول عام 2050. [5] وحسب ما جاء في تقرير تنمية المياه في العالم لعام 2012، يُتوقع أن يشهد استهلاك المياه للزراعة زيادة بنسبة 19٪ بحلول عام 2050، وإن أمكن أن ترتفع النسبة عن ذلك بكثير إذا لم يطرأ تحسن كبير على غلة المحاصيل، وعلى كفاءة الإنتاج، فضلاً عن انبعاثات غازات الدفيئة التي سوف تزداد بنسبة 45٪، إن لم يكن أكثر، بحلول العام نفسه. [6] وعلاوة على ذلك، تشير منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ولجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية (UN-Water) وإدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة (UNDESA) إلى أن ثلثي سكان العالم يمكن أن يعانوا أوضاعاً تتسم بالإجهاد المائي (water-stressed). [7] وبالنظر إلى السيناريوهات القائمة لتغير المناخ، فإن نحو نصف سكان العالم سيعيشون في مناطق تتسم بارتفاع درجة الإجهاد المائي بحلول عام 2030، بمن فيهم ما بين 75 و250 مليون نسمة في إفريقيا. وسوف يزداد الوضع سوءاً مع الضغط الشديد الذي سيضعه النمو السريع في المناطق الحضرية على الموارد المائية المجاورة، بحيث قد يواجه العالم أزمة في المياه في المستقبل المنظور. [8] كما أن تغير المناخ الذي يشهده العالم يشكل تحدياً كبيراً، له تأثيراته في المدن. وفي ظل تلك التغيرات على النطاق العالمي، فإن على الحكومات أن تعتمد استراتيجيات وسياسات فعالة وسيناريوهات مرنة من أجل رصد الاستدامة في المدن، وكذلك وضع الأبعاد المتصلة بالتنمية المستدامة موضع التنفيذ لكبح انبعاثات غازات الدفيئة، وثاني أكسيد الكربون على وجه الخصوص.

الشكل (11-1)

التحديات الاستراتيجية العالمية

الشكل (11-2)

الزيادة في استخدام الطاقة حسب العقد (1830-2010)



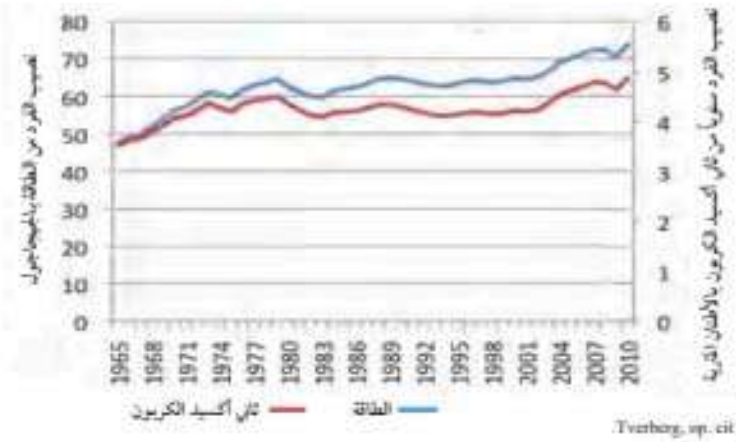
المصدر:

Gail Tverberg, "World Energy Consumption since 1982 in Charts" Our Finite World, March 2012.

يبين الشكل (11-2) العلاقة بين استخدام الطاقة وتغير السكان بمرور الوقت. ويتضح من الشكل أنه على مدى العقد الماضي (2000-2010)، شهد نصيب الفرد من استخدام الطاقة زيادة من جديد.[9] كما يبين الشكل (11-3) أن نصيب الفرد من الاستخدام العالمي للطاقة ازداد من 48 جيجاجول في عام 1965 إلى 74 جيجاجول في عام 2012 -أي بزيادة قدرها 54٪- وأن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سارت على النمط نفسه؛ حيث زادت بنحو 30٪ ما بين عامي 1965 و2010.[10] ومن أجل تحقيق أهداف الاستدامة، لابد من تخفيض هذا المعدل تخفيضاً حاداً.

الشكل (11-3)

نصيب الفرد من استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون

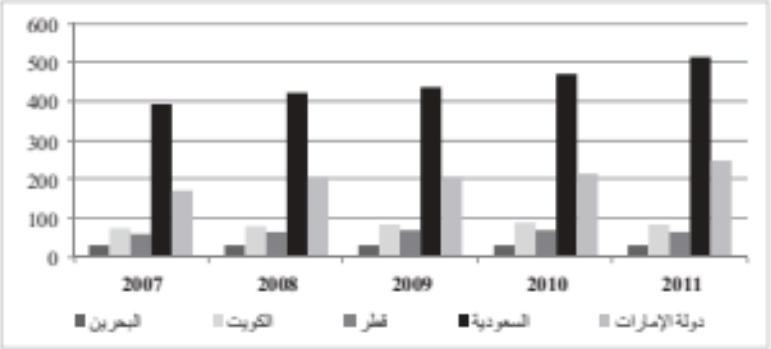


المصدر: Tverberg, op. cit.

وبالنسبة إلى منطقة الخليج، يبين الشكل (11-4) النمط السنوي لنصيب الفرد من استخدام الطاقة، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بملايين الأطنان المترية في الفترة 2007-2011. ويبين الشكل (11-5) إجمالي نصيب الفرد من استخدام الطاقة، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مدى الفترة نفسها؛ حيث يتضح من هذه الأرقام أن المملكة العربية السعودية كان لديها أعلى مستوى لنصيب الفرد من استهلاك الطاقة، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وتبعتها كل من: الإمارات العربية المتحدة والكويت، وقطر، والبحرين. ويمكن أن يعزى هذا بدرجة كبيرة إلى انخفاض أسعار الكهرباء ومحدودية الوعي بقضايا الاستدامة.

الشكل (11-4)

نصيب الفرد في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية من استخدام الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، 2007-2011 (مليون طن متري)

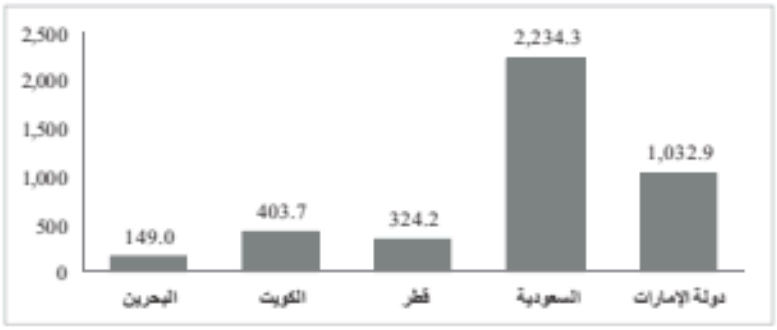


المصدر:

Annual Energy Use and CO_2 Emissions figures for the GCC are from Independent Statistics and Analysis, Energy Information Administration, US Department of Energy (overview data, data analysis, July 2011, http://www.eia.gov/countries).

الشكل (11-5)

إجمالي نصيب الفرد في دول مجلس التعاون من استخدام الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، 2007-2011 (مليون طن متري)



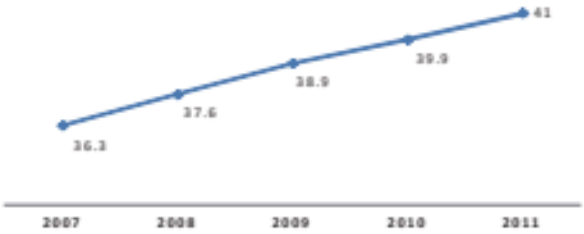
المصدر:

Total Energy use and CO_2 emissions figures for the GCC are from Independent Statistics and Analysis, Energy Information Administration - US Department of Energy (Overview data on Bahrain, Kuwait, Qatar, Saudi Arabia and UAE), data analysis, July 2011, http://www.eia.gov/countries).

ومن حيث نمو السكان في دول مجلس التعاون؛ يبين الشكل (11–6) حدوث زيادة بنسبة 13٪ على مدى خمس سنوات (2007–2011) من 36.3 مليون نسمة في عام 2007 إلى 41 مليون نسمة في عام 2011. وحسب ما ذكره صندوق النقد الدولي في عام 2011، شهد سكان دول مجلس التعاون نمواً بنسبة 3.3٪. ويُتوقع أن تحدث زيادة أخرى بنسبة 2.4٪ على مدى السنوات الخمس المقبلة.[11] وقد شهد عدد سكان دول مجلس التعاون نمواً بنسبة 3.3٪ (معدل النمو السنوي المركَّب) إلى 40.6 مليون نسمة في الفترة 2000–2010. وكان النمو في أعلى مستوياته لدى قطر (10.7٪) بينما كان في أدناها لدى عُمان (2.2٪) خلال تلك الفترة. وشهد عدد السكان لدى السعودية، وهي الدولة الأكثر اكتظاظاً بالسكان في منطقة مجلس التعاون، زيادة بنسبة 2.5٪. بيد أن النمو السكاني في بلدان المجلس قد يشهد تباطؤاً، ويُتوقع أن يزيد بمعدل نمو سنوي مركَّب قدره 2.4٪ في الفترة 2010–2015 ليصل إلى 45.6 مليون نسمة (يُحتمل أن يزيد عدد السكان في السعودية بواقع نحو 3 ملايين نسمة). وفي دولة الإمارات، شهد عدد السكان نمواً من 6.22 مليون نسمة في عام 2007 إلى 8.33 مليون نسمة في عام 2011؛ ما يشكل نمواً بنحو 34٪ على مدى خمس سنوات (2007–2011). وفي دبي تحديداً، شهد عدد السكان نمواً منتظماً بنسبة تكاد تكون ثابتة (31٪) على مدى خمس سنوات، من 1.53 مليون نسمة في عام 2007 إلى 2.01 مليون نسمة في عام 2011، كما يتضح من الشكل (11–7). وقد صاحب هذا النمو ارتفاع في استهلاك الغذاء والماء، والطاقة وكذلك انبعاثات غازات الدفيئة.

الشكل (11–6)

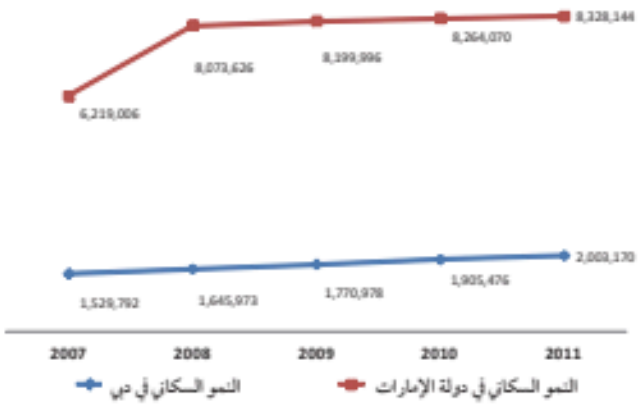
النمو السكاني في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، 2007–2011 (مليون)



المصدر: Samba Bank, "GCC Outlook 2011," Samba report Series (www.samba.com).

الشكل (11-7)

النمو السكاني في دولة الإمارات، 2007-2011



المصدر:

Dubai Statistics Center, Population and Vital Statistics, Reports, Population by Sex - Emirate of Dubai, Table 01, 2007- 2011 & Censuses of 1993, 2000, 2005 (www.dsc.gov.ae) & (http://www.dsc.gov.ae/EN/Themes/Pages/Reports.aspx?TopicId=23).

UAE National Bureau of Statistics, Methodology of estimating the population in UAE, Population estimates, Population by Nationality (National - Non National) and Sex (2007- 2011), end of the year estimates, pp 7-10, (www.uaestatistics.gov.ae) and (http://www.uaestatistics.gov.ae/ReportPDF/Population%20Estimates%202006%20-%202010.pdf).

لا تزال أعراض الأزمة المالية العالمية قائمة في الولايات المتحدة وأوروبا، وذلك على الرغم من برامج الإنقاذ القصيرة الأجل. كما أن الكساد الاقتصادي أثر في بقية العالم. ولذلك، لابد من توجيه التركيز نحو النمو الأخضر والاستدامة في جميع مناحي الحياة. والسؤال المهم هو: هل نعالج هذا المأزق في سياق التنمية المستدامة؟ وهل تسهم المدن والمباني، بالطريقة التي تُبنى بها الآن، في تحقيق الاقتصاد الأخضر والنمو المستدام؟ من أجل الإجابة عن هذا السؤال المتعدد الأوجه، من المهم بمكان فهم عواقب إغفال التأثيرات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية للمدن -ضمن سيناريو

الوضع المعتاد- على النمو. إن الحاجة إلى دمج هذه التأثيرات الثلاثة في النمو الأخضر تزداد أهمية، وخصوصاً في سياق تحقيق التنمية المستدامة.

وعلى مدى القرن الماضي، أنشئت مدن وبلدات تستخدم أنظمة حضرية مختلفة بطرق لا تتسم بالكفاءة؛ استناداً إلى أنشطة وأساليب حياة تقليدية. ونتيجة لذلك، أدت تلك النماذج إلى انعدام الكفاءة في إنتاج الموارد واستهلاكها. وبالفعل، فإن التوسع الحضري مشكلة مستمرة بالنظر إلى الطابع المحدود لموارد العالم الطبيعية. وتشمل الضغوط -وخصوصاً تلك المرتبطة بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المدن- توليد الكهرباء والنقل والنفايات. وتستهلك المدن كميات كبيرة من الطاقة والمياه، وتنتج كميات كبيرة من التلوث والنفايات. وتشكل جميع تلك الأنشطة مخاطر محتملة على صحتنا الاقتصادية والشخصية، وكذلك على سلامتنا البيئية. وحسب ما جاء في رسالة الأمم المتحدة الإلكترونية UN Wire، سوف تواجه منطقتا جنوب آسيا، والشرق الأوسط وشمال إفريقيا نقصاً في المياه، ولكن أيضاً فيضانات في العقود المقبلة.[12]

ويُعَدُّ النقل أحد مجالات التركيز الرئيسية في تطوير المدن المستدامة إلى جانب الطاقة والمياه والمباني. فالمدن مسؤولة عن ما نسبته نحو 70٪ من الانبعاثات الكربونية. وقد سلطت ورقة إحاطة صادرة عن مجلس البحوث الاقتصادية والاجتماعية البريطاني في عام 2009 الضوء على أن النقل والصناعة مجتمعين يشكلان ما نسبته 55٪ من جميع استخدامات الطاقة، مقارنةً بما نسبته 45٪ لدى المباني في المملكة المتحدة.[13] ومن ثمّ، فإن النقل حاسم الأهمية عندما يرتبط الأمر بأهداف تخفيض الانبعاثات الكربونية، ومعاوضة تغير المناخ [إشارة إلى عملية تداول وحدات تخفيض غازات الدفيئة]. وعلى العموم، يتأثر تغير المناخ بالانبعاثات من أربعة قطاعات رئيسية، هي: المدن والبلدات، ومحطات توليد الكهرباء، والنقل، والنفايات.

سياسات الطاقة في دول مجلس التعاون

تُستخدم الطاقة بصفة أساسية في منطقة الخليج في محطات توليد الكهرباء، والمباني، والنقل، والصناعة. وتستهلك المباني، وخصوصاً التجارية والسكنية منها، كميات كبيرة من الكهرباء لأغراض التبريد (المكيفات، وخصوصاً في فصل الصيف)، وتسخين المياه، والإنارة. وهذا الطلب المرتفع على التبريد يضع ضغطاً مفرطاً على محطات توليد الكهرباء، وقد أدى إلى تسجيل أعلى مستويات لاستهلاك الكهرباء (تبلغ الذروة 10,823 ميجاواط عند الظهيرة)، أي ما يقترب من أقصى سعة إنتاجية بواقع نحو 11,200 ميجاواط.[14] وكنتيجة للسياسات التي تحافظ على الكهرباء الرخيصة للمباني السكنية، فإن هذا القطاع هو المتصدر من حيث إجمالي استهلاك الكهرباء. وفي الكويت، والسعودية، وعمان، والبحرين، كان أكثر من 50٪ من الاستهلاك الوطني من الكهرباء في القطاع السكني في عام 2009. وفي دولة الإمارات، يشكل قطاع الإسكان (وهو القطاع الأكبر) ما نسبته 43٪، أي أكثر من القطاعين: الصناعي والتجاري. وفي السنوات الأخيرة (2008–2011)، وُضعت سياسات في دولة الإمارات لخفض الاستهلاك المرتفع للطاقة الذي تشجعه الكهرباء الرخيصة، وذلك بتطبيق تعريفات على الكهرباء. ومما زاد من دعم هذه السياسات حملات التوعية من أجل الترويج للاستدامة. وقد بينت دراسة حول سياسات الطاقة في دول مجلس التعاون أجرتها جامعة كمبريدج في عام 2012 أن الاستهلاك الرئيسي للطاقة زاد بمتوسط قدره 5٪ سنوياً في الفترة 2001–2010، حيث زاد بواقع الضعف تقريباً، من أكثر قليلاً من 200 مليون طن من المكافئ النفطي إلى نحو 380 مليون طن من المكافئ النفطي. كما بينت الدراسة أنه بحلول عام 2020، يُتوقع أن يزداد هذا الرقم بواقع نحو الضعف إلى 660 مليون طن من المكافئ النفطي. وعلاوة على ذلك، شهد استخدام الطاقة لدى دول مجلس التعاون على مدى العقد الماضي نمواً يضاهي في سرعته المتوسط العالمي، وهو 2.5٪ سنوياً (وإن كان أبطأ من مثيليه لدى الصين والهند).[15]

ويبين الشكل (11-8) أن استخدام الطاقة العالمي في قطاعي النقل، والإسكان والخدمات يشكل ما نسبته 63.3٪ من إجمالي استخدام الطاقة العالمي البالغ 98.022 تيراواط ساعة في عام 2008. وعلاوة على ذلك، فإن استخدام الطاقة في قطاعي النقل، والإسكان والخدمات زاد بنسبتي 16٪ و13.5٪ على التوالي. وفي دول مجلس التعاون، زاد إجمالي إنتاج الكهرباء بنحو الضعف؛ من 238 تيراواط ساعة في عام 2001 إلى 462 تيراواط ساعة في عام 2011، مقارنةً بالبرازيل (501 تيراواط ساعة) والمملكة المتحدة (365 تيراواط ساعة).[16] ويبين الشكل (11-9) العلاقة بين نمو توليد الكهرباء ونمو الناتج المحلي الإجمالي سنوياً. فقد زاد نمو توليد الكهرباء في الدول كافة باستثناء الكويت وقطر. وفي السعودية، زاد نمو توليد الكهرباء بنسبة 69.7٪ مقارنة بالزيادة في الناتج المحلي الإجمالي بنسبة 3.3٪، بينما زاد نمو توليد الكهرباء في دولة الإمارات بنسبة 42٪. وبلغ متوسط نمو توليد الكهرباء 7٪ سنوياً (2000-2010)، وهو أعلى من متوسط نمو للناتج المحلي الإجمالي في المنطقة؛ والبالغ 6.5٪ سنوياً.[17]

الشكل (11-8)

الاستخدام النهائي العالمي للطاقة (تيراواط ساعة) حسب القطاع 2000-2008

ملاحظة: إجمالي العرض العالمي من الطاقة عام (2008) 143.851 تيراواط ساعة.

المصدر: International Energy Agency (IEA) 2010.

الشكل (11-9)

الناتج المحلي الإجمالي مقابل توليد الكهرباء سنوياً في دول مجلس التعاون

المصدر:

Jim Krane. "Energy Policy in the Gulf Arab States: Shortage and Reform in the World's Storehouse of Energy." Judge Business School Cambridge University) UK 2011 (http://www.usaee.org/usaee2012/submissions/Online Proceedings/KRANE_IAEE_Energy-Policy-in-the-Gulf_Sept2012.pdf), based on IMF and World Bank data.

وفي ما يخص المدن المستدامة في المستقبل، تحتل قضايا المياه والطاقة والنقل والبنى التحتية الحضرية والمباني والتلوث وإدارة النفايات مركزاً متقدماً على جدول الأعمال. فجميعها يتطلب تحسين إدارة الطاقة والمياه، ليس في خفض النفايات وتحسين قدرة المزارعين على التعامل مع التحولات المناخية فحسب، وإنما أيضاً من حيث إدارة الاستهلاك في المدن والمباني.[18] ومن حيث النقل، يمكن تحوير بنية أي مدينة -دبي مثلاً- استناداً إلى نظم النقل الحضرية، بحيث تحولت من أسلوب النقل القائم على السيارات في عام 2000 إلى أسلوب النقل القائم على المواصلات العامة في عام 2009 والأعوام التي تليه. ووفقاً للوكالة الأوروبية للبيئة، تشير تقديرات الاستهلاك النهائي للطاقة (باستثناء الطاقة المستخدمة في الإنتاج والمفقودة في النقل) إلى أن قطاع النقل مسؤول عن 31.5٪ من

الاستهلاك النهائي للطاقة، بينما تمثّل المساكن 26٪.[19] ولذا، من الضروري وضع استراتيجيات وسياسات لتعزيز الاستدامة. والأهم، لا بد من استيفاء مؤشرات التنمية المستدامة على المستويين المحلي والعالمي.

المنهجية

هناك الكثير من النماذج المختلفة التي تتناول المدن المستدامة. ومع ذلك، لا بد من استحداث الاستراتيجيات والسياسات وأدوات التقييم المناسبة عند مستوى التخطيط القومي وتنفيذها بصورة محكمة لتحسين أداء المؤشرات الرئيسية وضمان أن تكون المدن مستدامة محلياً. وقد استحدث موسيوبولوس وآخرون (Moussiopolous et al.) أداة دينامية لإدارة المؤشرات البيئية والاجتماعية والاقتصادية لتقييم الاستدامة في المناطق الحضرية. وتم خلال الدراسة استقصاء منطقة سالونيك الكبرى في اليونان باستخدام مجموعة من 88 مؤشراً في 13 مجالاً مواضيعياً مختلفاً. كما أُوصي باعتماد مبادئ توجيهية لتطوير الاتصال بين الجهات المعنية المحلية.[20]

وفي الوقت نفسه، أجرى شن وآخرون (Shen et al.) دراسة نقدية لمختلف ممارسات التحضر المستدام، وعقدوا مقارنة بينها لدى اختيار مؤشرات الاستدامة الحضرية.[21] وتبين لديهم أن الاستدامة في المناطق الحضرية تتطلب تحقيق تنمية اجتماعية واقتصادية محلية قوية، وأن التحدي الرئيسي أمام المديرين ومتّخذي القرار في المجال البيئي هو التدهور البيئي. ويحدد تانغواي وآخرون (Tanguay et al.) عدداً من مؤشرات التنمية المستدامة مستقاة من 17 دراسة مع مجموعة منوّعة من الأطر والخيارات المفاهيمية. وهم يستخدمون في دراستهم أسلوباً يُطلق عليه SuBSelec (استراتيجية الانتقاء القائمة على الاستقصاء) حيث يُختزل 188 مؤشراً مستخرجاً من الدراسات السبع عشرة الآنفة الذكر إلى 29 مؤشراً للتنمية المستدامة.[22]

وقد أفضت هذه الاستراتيجية (SuBSelec) إلى منظور جديد في الجدل حول انتقاء مؤشرات التنمية المستدامة. ويُنظر إلى ذلك الآن باعتباره خطوة تمهيدية للمخططين وصنّاع القرار؛ حيث تُرسى شبكة علمية وعملية لهذه المؤشرات.[23] ويقرّ المؤلفون بالطابع الذاتي subjective لهذا التوجه، ويرون أن التصنيف يتيح اختيار مؤشرات معترف بها؛ تغطي مختلف جوانب التنمية المستدامة بمفهومها الواسع. وعلاوة على ذلك، فإن استنتاجاتهم شبيهة بتلك التي توصل إليها نيمايجر ودي غروت (Niemeijer and De Groot.)، من حيث إن اختيار المؤشرات يخضع على الدوام إلى قرارات عشوائية في مرحلة ما من مراحل العملية.[24] وتُبين تلك التحليلات أن الممارسات الحالية -فيما يتعلق بمؤشرات التنمية المستدامة- لا يمكنها تحقيق الأهداف القياسية، [أو المعيارية] وأن ثمة حاجة إلى إيجاد مؤشرات تجسد الهواجس المحلية.

ومن بين الإنجازات الملحوظة في منطقة آسيا والمحيط الهادي، ذلك الذي حققته الحكومة الماليزية التي تطمح إلى خفض انبعاثات ماليزيا من ثاني أكسيد الكربون بنسبة 40٪ ما بين عامي 2005 و2020. فقد شكلت فرقة عمل للاضطلاع بمشروع يسمى "مدينة بوتراجايا الخضراء 2025 - خط أساس وتقييم أولي".[25] ودراستنا تسير على نهج المشروع المذكور، بالاقتران باستراتيجية انتقاء قائمة على الإقصاء تشير إلى 29 مؤشراً مقسَّمة إلى ستة أبعاد: (مستدامة، قابلة للعيش، عادلة، اجتماعية، اقتصادية، مُجدية) بالنسبة إلى مدينة معينة.[26] وتقارَن النتائج مع "مؤشرات سانتا مونيكا للمدن المستدامة".[27] وعلاوة على ذلك، يتبع هذا البحث الإطار المعتمد من أجل نموذج "بوتراجايا PGC 2025" في ماليزيا، والذي يُعدّ معيار التنمية الحضرية ذات السيناريوهات الاجتماعية والاقتصادية المحكمة، وأبعاد التنمية المستدامة. ويجسد موضوع الدراسة في هذا الفصل طموحات حكومة دبي لخفض الانبعاثات الكربونية عن مستوياتها في عام 2000. وتحقيقاً لذلك، ونظراً إلى القيود الزمنية المتأصلة لهذه البحوث، فسوف نتناول موضوعين اثنين، هما:

أ) دبي ذات الكربون المنخفض.

ب) دبي كجزيرة حرارية حضرية [ويقال جزيرة احترار حضرية].

وتمضي الدراسة لاستحداث إطار، وتقترح مجموعة من خطط العمل البيئية التي يمكن لحكومة دبي اعتمادها وتنفيذها، مع التركيز على ثلاثة موضوعات رئيسية، هي:

أ) النقل المنخفض الكربون.

ب) مبانٍ مستدامة حديثة.

ج) تخطيط وإدارة متكاملان للمدينة.

وأخيراً، تقدِّم الدراسة مجموعة من المؤشرات قد تكون مفيدة في جعل دبي مدينة أكثر اخضراراً [أي أكثر مراعاة للاعتبارات البيئية].

المدن المستدامة

يقدم الجدول (11-1) قائمة بالمدن المستدامة في الأمريكتين: الشمالية، والجنوبية وأوروبا وأستراليا والمحيط الأطلسي.[28] كما أجرى بويد كوهين Boyd Cohen الذي شارك في تأليف كتاب "رأسمالية المناخ"، بحثاً حول ما يعرف بـ"المدن المرنة" استناداً إلى معايير مختارة.[29] وقد استخدم هذا التقييم معايير، مثل: نصيب الفرد من كثافة غازات الدفيئة، وأهداف غازات الدفيئة، ومصادر الطاقة المتجددة، والمتنزهات، بالإضافة إلى استراتيجيات المواءمة، كما هو مبين في الشكل (11-10). ويبين الشكل(11-11) ترتيب المدن. وتأتي العاصمة الدنماركية كوبنهاغن في أعلى القائمة، بينما تأتي العاصمة اليابانية طوكيو في المركز العاشر. وركزت دراسة حديثة أخرى على المدن "القابلة للعيش"، كما هو مبين في الشكل (11-12).[30] وقابلية العيش أحد الأبعاد الستة لقياس استدامة المدن المبينة في الشكل(11-13). وقد طُبق التصنيف على 140 مدينة، حيث صُنفت كل مدينة ضمن تصنيف يتدرج من 0.00 إلى 100 درجة، من حيث اعتبار 30 عاملاً موزعة على

خمسة مجالات؛ هي: الاستقرار، والرعاية الصحية، والثقافة، والبيئة، والتعليم، والبنية الأساسية.[31] وفي القسم التالي من الدراسة، نسلط الضوء بإيجاز على مكونات مختارة من الاستراتيجيات المستدامة التي دمجتها بعض المدن في خطط عملها.

الجدول (11-1)

قائمة بالمدن/ المقاطعات المستدامة في العالم، 2007-2010

الأمريكتان		أوروبا	أستراليا والمحيط الأطلسي
الشمالية	الجنوبية		
أوتاو	توسون	برلين	أديلد
فانكوفر	سياتل	بريستول	بالارات
نياغرا	سان فرانسيسكو	كمبردج	ماليني
فلوريدا	سان هوزيه	جنيف	ملبورن
غرينسبرغ	سيليكون فالي	مالمو	أوكلاند
موراغا	بوغوتا*	روتردام	ولينغتون
سانتا مونيكا	تشياباس*	أستوكهولم	
فيلادلفيا	كوريتيبا*		

* مقاطعات في أمريكا الجنوبية.

المصدر:

Source: Sustainable City Network (SCN), sustainable cities, The University of Melbourne 2007 – 2013. Available on: (http://www.sustainablecitiesnet.com/category/sustainable-cities/).

Mohsen M. Aboulnaga and S. Abdullah, 2011, 'Sustainable Cities: Strategy and Indicators for Healthy Living Environments', World Renewable Energy Congress (WREC 2011), Linköping, Sweden, May 2011, Linköping Electronic Conference Proceedings, 57, volume 12, Sustainable Cities and Regions, Linköping University Electronic Press, Available on: (http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=057), ISBN: 978-91-7393-070-3, ISSN 1650-3740 (online), ISSN 1650-3686 (print), pp. 3019.

الشكل (11-10)

المعايير المستخدمة لتقييم ترتيب المدن المرنة - 2011

المصدر:

Natalie Rosales, "Towards the Modeling of Sustainability into Urban Planning: Using Indicators to Build Sustainable Cities," Procedia Engineering, vol. 21, 2011, pp. 641-647.

الشكل (11-11)

المدن العشر الأكثر مرونة - 2011

المصدر:

Boyd Cohen, CO2 IMPACT and Co-Author, Climate Capitalism, Global Ranking of Top 10 Resilient Cities, June 28, 2011, (http://www.triplepundit.com/2011/06/top-10-globally-resilient-cities/), accessed March 2013.

الشكل (11-12)

المدن العشر الأكثر قابلية للعيش - 2012

المصدر:

Sustainable City Collective, "World's Most Livable Cities," Economist Intelligence Unit, reported by Bloomberg Business News, August 2012.

الشكل (11-13)

أبعاد التنمية المستدامة

المصدر:

Mohsen M. Aboulnaga and S. Abdullah, 2011., op. cit. and G. Tanguay, et al., op. cit.

مؤشرات التنمية المستدامة

حسب ما توصل إليه تانغواي تُستخدم مؤشرات التنمية المستدامة بكثافة لإيضاح مسارات التنمية المستدامة، وخصوصاً في تطبيق نظم التقديم والرصد الفعليين.[32] كما يرى المؤلفون أن استخدام مؤشرات التنمية المستدامة لا يزال إشكالياً نظراً إلى التعريف العام للتنمية المستدامة، كما هو مبين في تقرير برونتلاند Bruntland.[33]

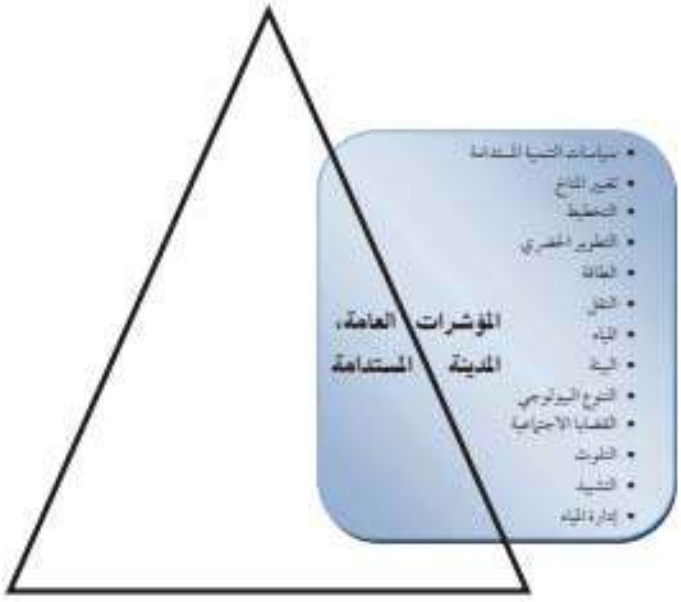
ومؤشرات التنمية المستدامة تختلف من مكان إلى آخر، بيد أن المؤشرات الرئيسية مدرجة في الشكل (11–14). ويمكن أن يعزى تباين المؤشرات اليوم، مقارنة بعشرين عاماً مضت، إلى الأولويات الموضوعة في تحقيق الأهداف البيئية والاجتماعية والاقتصادية والسياسية للاحتياجات المحلية والإقليمية. ويوجد مثال واضح في الاتحاد الأوروبي، حيث إن جميع البلدان الأعضاء الجديدة والقديمة مطالَبة بمراجعة استراتيجياتها الوطنية للتنمية المستدامة؛ بما يتسق مع مؤشرات التنمية المستدامة الجديدة للاتحاد الأوروبي، وهو ما يُحتمل أن يزيد درجة التماسك في تحديد مؤشرات التنمية المستدامة ورصدها. ومع ذلك، بينما يمكن لمؤشرات التنمية المستدامة أن تتباين على المستويات المحلية، فلا بد أيضاً من تحليلها من منظور عالمي.

وفي هذا السياق، قد تتباين بارامترات [معالم، معايير، محددات] المدن المستدامة. ولنأخذ حالة الولايات المتحدة كمثال؛ حيث يشير أحدث تقرير لمؤشر المدن المستدامة [الذي تديره مؤسسة "المنتدى من أجل المستقبل"] إلى أن المدن جرى تحليلها وفقاً لأربعة مؤشرات رئيسية، هي: 1) التكنولوجيا النظيفة. 2) تطوير المباني الخضراء. 3) نوعية الحياة الشاملة. 4) تخطيط الاستدامة وإدارتها.[34] وفي حالة المدن البريطانية، ركز التقييم بدرجة أقل على بُعد العدالة. وبالنسبة إلى أوروبا، يجب ألا تتميز المدن بالكفاءة في استخدام الموارد فحسب، إذ يجب أيضاً أن تكون أماكن عيش آمنة، وصحية، ومبهجة، ومشبعة، وملهمة. وقد خلصت ورقة استراتيجية (للفترة 2007–2013) أجرتها الآلية الأوروبية للجوار والشراكة ENPI إلى أنه على مستوى المدن، تتطلب استراتيجيات

الاستدامة المشاركة والالتزام النشطين للمجتمع المحلي الذي يمكن أن يتخذ تدابير فعالة.[35] والتحدي الحالي أمام المدن الأوروبية لتحقيق أهداف الاستدامة يكمن في أن على الحكومات أن تتيح الحرية القصوى للمدن لتطبيق أدوات ملائمة على المستويات المحلية.[36] وبالفعل، فإن المؤشرات تتطور بشكل متزايد لتصبح أداة مهمة لتوصيل المعلومات إلى صانعي القرار والجمهور بصورة مباشرة.[37]

الشكل (11-14)

المؤشرات العامة المستخدمة لقياس استدامة المدن



المصدر:

Mohsen M. Abualnaja and S. Abdullah, 2011, "Sustainable Cities: Strategy and Indicators for Healthy Living Environments", World Renewable Energy Congress (WREC 2011), Linkiping, Sweden, May 2011, Linkiping Electronic Conference Proceedings, 57, volume 12, Sustainable Cities and Regions, Linkiping University Electronic Press, (http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=057), ISBN: 978-91-7393-070-3, ISSN 1650-3740 (online), ISSN 1650-3686 (print), pp. 3019.

وأجريت دراسة لفحص دور قياسات التصميم في خفض استهلاك الطاقة في المناطق الحضرية، وخصوصاً في المدن اليونانية. واقترحت الورقة اعتماد منهجية تركز على الكيفية

التي تُمكِن بها إدارة المدن اليونانية؛ من حيث كفاءتها في استخدام الطاقة، لكنها اقتصرت على القطاع السكني.[38] وهناك دراسة أخرى لمؤلفها ييجون سونغ Yijun Song تسلط الضوء على أهمية ربط مفهوم التنمية الاقتصادية بالتنمية الاجتماعية، من أجل تحقيق التنمية المستدامة. وفي هذا البحث، فإن المشكلة الأساسية لبناء مدينة "إيكولوجية"، تبعاً للمبادئ الأساسية لبناء المدن الإيكولوجية، لم يتم التعرض لها سوى من حيث التوزيع المناطقي. وقد درست المدينة الإيكولوجية وعلاقتها بالتنمية المستدامة، لكنها اقتصرت على قضايا التشييد.[39] وهناك توجه متكامل آخر للمدن المستدامة اقترحه جان روتمانسا وآخرون (J. Rotmansa et al.).[40] ويركز المؤلفون على تطوير وتنفيذ إطار عام لتخطيط المدن؛ يمكن، من حيث المبدأ، تطبيقه على أي مدينة. وقد راعى هذا التوجه رأس المال البيئي ورأس المال الاجتماعي–الثقافي، ورأس المال الاقتصادي، وربط بينها. والإطار الناتج، في سياق تخطيط المدن، هو مزيج من نظام معلومات ونموذج دينامي مما يمكّن من استخدام الأداة من وجهيها الاستراتيجي والتشغيلي.[41]

وفي عام 2011، تفحصت ناتالي روزاليس Natalie Rosales أساليب وتقنيات وأدوات مختلفة للتقييم المستدام للمناطق الحضرية تسعى إلى استبانة الكيفية التي يمكن بها للمدن أن تصبح أكثر استدامة. ومن بين تلك الأساليب، يزداد استخدام المؤشرات؛ لأنها توفر أساساً صلباً لصنع القرار على جميع المستويات، وتسهم في بناء نظم ذاتية الرقابة ومستدامة؛ يمكن فيها دمج التنمية والبيئة. وتقدِّم الورقة مجموعة من المؤشرات المختارة بعناية لقياس أداء الاستدامة كمّياً على المستوى الحضري، وللتطبيق في عملية التخطيط من خلال نقل المؤشرات من التقييم اللاحق لمشكلات المدن إلى المرحلة السابقة، حيث يمكن تشغيلها كأدوات للتخطيط. ويكمّل هذا العمل الأدوات التقليدية لتخطيط المدن، ويمضي خطوة إلى الأمام؛ في ما يتعلق بتحقيق الاستدامة. كما وضعت الدراسة إطاراً يمكن ضمنه للمؤشرات أن تصبح أدوات رئيسية في التحليل الحضري، وكذلك تصميم السياسات والاستراتيجيات والتدابير والبرامج للتنمية الحضرية المستدامة.[42]

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

واليوم، تُعَدُّ "العمارة الخضراء" قياساً لاستدامة المدن الحديثة. ففي عام 2011، ذكر أمير حسينوفا Emir Huseynova أن تخطيط المدن المستدامة يعمل كمحفز أساسي للتغيير؛ حيث يحسّن النوعية البيئية للبيئات الطبيعية والمبنية ويحسّن الأوضاع لتطوير العمارة الخضراء. وقد تولى في عمله تحليل الاستراتيجيات المستخدمة للارتقاء بالنوعية البيئية لباكو في أذربيجان.[43]

وهناك عملية تحقق التوازن بين المنظورات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية للمناطق الحضرية، وهي تُعرف بالتسمية الصائبة "التحضر المستدام". وحسبما ذكر رسوليمانش، وآخرون (Rasoolimanesh et al.)، توجد حاجة إلى نظام محدد لإيجاد هذا التوازن. وهم يرون أن التخطيط الحضري له هو أيضاً دور رئيسي في إرساء هذا التوازن. وتتألف استراتيجيات تطوير المدن (CDSs) من توجه ناشئ للتخطيط الحضري الاستراتيجي تجاه صون الاستدامة.[44] ويشير شن وآخرون (Shen et al.) إلى أنه لا توجد مجموعة وحيدة من المؤشرات التي تلائم جميع المدن، أو المجتمعات بصورة متساوية. كما يقترحون استخدام مؤشرات متسقة لأغراض الرصد والمقارنة، نظراً إلى كون تلك المؤشرات ستتيح أن تكون لدى المدن نقطة مرجعية مشتركة لتقاسم الأدوات والقياسات الناجحة وتطبيقها.[45] ويوصي جانغ وهي وون (Zhang, He and Wen.) بأن تقدِّم مؤشرات الاستدامة الحضرية ما لا يقل عن: أ) أدوات تفسيرية لترجمة مفاهيم التنمية المستدامة إلى مجالات عملية. ب) أدوات تجريبية للمساعدة على اختيار بدائل السياسات للترويج للتنمية المستدامة. ج) أدوات تقييم الأداء لتحديد فعّالية الجهود.[46]

وقد استعرض أبو النجا وآخرون (Aboulnaga et al.) العديد من المؤشرات التي تقيس الاستدامة في المدن من خلال فحص حالة دراسية محلية في الولايات المتحدة (سانتا مونيكا).[47] واستعرضت الدراسة 29 مؤشراً -ما يقترح تانغواي وآخرون- وبينت أن الأبعاد المواضيعية الستة للتنمية المستدامة لا تكفي لقياس الفترة 1990-2000. وأوحى هذا التمرين بضرورة جمع البيانات على أساس مستمر للمساعدة على تطوير المؤشرات

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 420/457

وتقييمها من أجل تحقيق الأهداف المستدامة المحلية. وفي معظم الحالات، تكون هذه المؤشرات ذاتية، ويمكن تنقيحها لتتلاءم مع كل مدينة. ومما له مغزاه أن ثمة حاجة إلى استبانة التطبيق العملي للمؤشرات المستدامة على المستويات المحلية. ونتيجة لذلك، فإن إرساء إطار مناسب للمدن المستدامة يتطلب إيجاد نموذج مصمم خصيصاً يراعي الاحتياجات المحلية، بينما يواكب في الوقت نفسه الجهود المستدامة للمشاركين فيه.[48]

وهذا النموذج مطلوب لتحقيق سيناريو "دبي، المدينة الخضراء، 2021". وفي هذا الصدد، وُضعت ثلاثة أهداف بيئية لتحقيق أهداف خطة "بوتراجايا المدينة الخضراء PGC 2025" في ماليزيا،[49] وهي: 1) بلوغ مرحلة التمكن من تخفيض الكربون في بوتراجايا من أجل تخفيف آثار تغير المناخ. 2) إقامة مجتمع قائم على التخفيض وإعادة التدوير وإعادة الاستخدام (3R). 3) تحقيق الهدف المتمثل في أن تصبح بوتراجايا أكثر برودة؛ من أجل تخفيف تأثيرات الحرارة الحضرية على البيئة. والهدف من بحثنا هو تقييم الإمكانات المتاحة كي يتم تصنيف دبي كـ"مدينة خضراء" بحلول عام 2021، وطرح التوصيات بخطط العمل المعنية اللازمة استناداً إلى نموذج "PGC 2025".

نتائج البحث المتوقعة

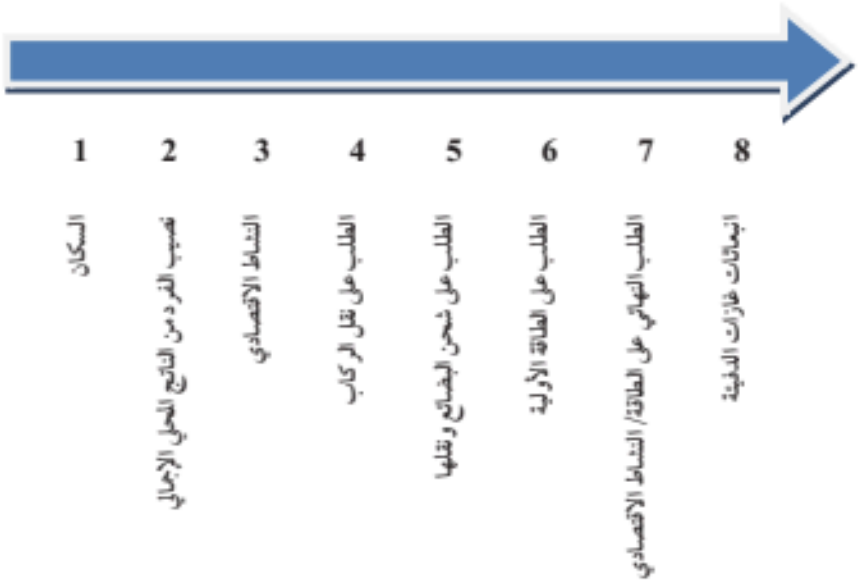
تسعى هذه الدراسة إلى تطوير سيناريوهات ومجموعة من خطط العمل من أجل "دبي المدينة الخضراء DGC 2021"، بهدف تخفيض: أ) كثافة الانبعاثات الكربونية بنسبة 25٪. ب) درجة حرارة الذروة بواقع 1–2 درجة مئوية.

ولدى التقييم، فإن المؤشرات في الشكل (11–15) –المستندة إلى استعراض الأدبيات– سوف يجري استخدامها في المرحلة التجريبية لسيناريو "دبي المدينة الخضراء 2021". وسوف تُعتبر 2009 سنة الأساس بسبب توافر البيانات، و2021 هي السنة المستهدفة. ومن خلال مقارنة المؤشرات في الشكلين (11–10) و(11–15)، يوجد مؤشران مشتركان، هما: السكان (الكثافة؛ أو السكان للكيلومتر) وانبعاثات غازات

الدفيئة، بينما المؤشرات الباقية مختلفة. وفي هذا التقييم، يُعتبر النقل هو المجال الرئيسي؛ إذ يستحوذ على أربعة مؤشرات، اثنان منها مباشران (الطلب على نقل الركاب، والطلب على نقل البضائع)، واثنان غير مباشرين (الطلب على الطاقة النهائية للنشاط الاقتصادي، والطلب على الطاقة الأولية). وعليه، فإن النقل عنصر مهم في هذا التقييم لاستدامة المدن.

الشكل (11-15)

المؤشرات المقترحة للدراسة



الحالة الدراسية لدبي مقابل نموذج مدينة بوتراجايا الخضراء

في القسم التالي، يتم تقديم وتفحص الموضوعات الرئيسية الثلاثة لـ"مدينة بوتراجايا الخضراء 2025" في ضوء نتائج دراسة تقييم خط الأساس ذات الصلة.[50] ومن حيث دراسة دبي ذات الانبعاثات الكربونية المنخفضة، سوف يتم تحديد الانبعاثات من قطاعات

عدة -النقل والمباني أساساً- وسوف يُطبَّق نموذج مدينة بوتراجايا الخضراء على القطاعات ذات الصلة لبلوغ أهداف دبي.

الموضوع الأول: بوتراجايا المنخفضة الكربون

في نموذج مدينة بوتراجايا الخضراء، تم تحديد سبعة قطاعات، هي: التجاري، والصناعي، والمرافق العامة، والدوائر والمؤسسات الحكومية، والسكني، ونقل الركاب (بالبر والبحر والجو)، ونقل البضائع (بالبر والبحر). ولدى تقييم نموذج "دبي المدينة الخضراء 2021"، يجري تطبيق جميع مؤشرات النقل. وبالنسبة إلى مدينة بوتراجايا، كانت الانبعاثات المتوقعة لعام 2007 من ثاني أكسيد الكربون هي 513 كيلوطن من ثاني أكسيد الكربون ($ktCO_2$). ويُتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات بنحو سبعة أضعاف إلى 749.3 كيلوطن من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2025؛ استناداً إلى سيناريو الوضع المعتاد، أو بقاء الأمور على حالها (BaU). وعندما وُضعت التدابير المقابلة المناسبة من أجل خفض الكربون موضع التنفيذ، تم تخفيض مستوى الانبعاثات التقديرية بواقع نحو 60٪ إلى 614.1 كيلوطن من ثاني أكسيد الكربون في عام 2025. ووُصفت مدينة بوتراجايا -وهي المركز الإداري الجديد للحكومة الاتحادية في ماليزيا- بأن بها أعلى انبعاثات من ثاني أكسيد الكربون بين جميع الإدارات الحكومية في عام 2007، إذ بلغت 180 كيلوطن من ثاني أكسيد الكربون، وتبعها بفرق بسيط قطاع نقل الركاب بواقع 158 كيلوطن من ثاني أكسيد الكربون.

الموضوع الثاني: بوتراجايا أكثر برودة

تشير النتائج ذات الصلة بالموضوع الثاني -وهو بوتراجايا أكثر برودة- إلى أن درجة الحرارة القصوى اليومية في بوتراجايا تزيد على 30 درجة مئوية، بينما تتجاوز 35 درجة خلال الفترة من شهر يناير إلى مايو. والهدف من التدابير المضادة المناسبة في هذا الصدد هو تحقيق انخفاض بواقع درجتين في درجة الحرارة القصوى. وقد أجريت الدراسة باستخدام

أداة النمذجة المعروفة باسم الجزيرة الحرارية الحضرية (UHI) (نموذج بحوث وتوقعات الطقس WRF، النسخة 2.3) من أجل القياس الكمّي للتدابير المضادة.[51]

الموضوع الثالث: إعادة الاستخدام، وإعادة التدوير، والتخفيض (3R)

يتمثل الهدفان الرئيسيان في تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة، وتخفيض حجم النفايات الصلبة المطمورة على حد سواء، بنسبة 50٪ بحلول عام 2025 (حالة الظروف العادية). وحسب تقرير "مدينة بوتراجايا الخضراء 2025" فإن التدابير المضادة المقترحة تهدف إلى تخفيض النفايات المنزلية، والتجارية على حد سواء.[52] ويقدم الموضوع الأول ستّ خطط عمل، ويتناول الموضوعان: الثاني والثالث خطتي عمل وثلاث خطط عمل، على التوالي، كما هو مبين في الشكل (11-16).[53] وكما هو مبين في الشكل (11-17)، فإن النقل المنخفض الكربون، والمباني المستدامة الحديثة، والتخطيط والإدارة المتكاملين للمدن، وكذلك المعالجة المتكاملة للنفايات، وحملة "التفكير قبل التخلص من المنتجات"، سوف تمثّل 26٪ و30٪ و34٪ على التوالي من إجمالي التخفيض في الانبعاثات.

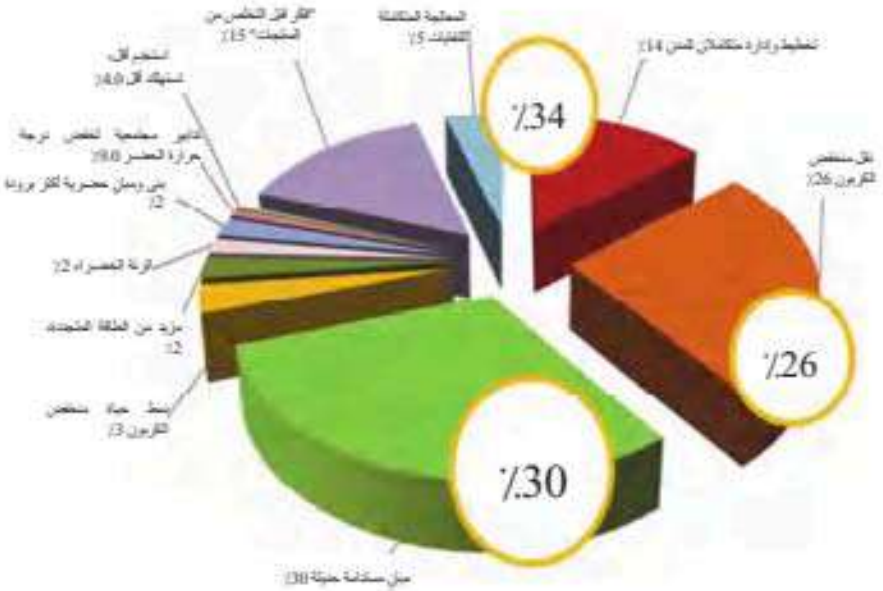
الشكل (11-16)

الموضوعات الرئيسية والفرعية في نموذج مدينة بوتراجايا الخضراء عام 2050

المصدر: Putrajaya Green City 2020.

الشكل (11-17)

خطط العمل لخفض انبعاثات غازات الدفيئة، مدينة بوتراجايا الخضراء عام 2025



المصدر: Ibid.

في الحالة الدراسية لـ"دبي المدينة الخضراء 2021"، قد يتم تحوير هذه العناصر، أو إعادة تناولها بما يتلاءم مع الاقتصاد، والمشهد الاجتماعي، والبارامترات والأولويات البيئية. وتمضي دراسة الحالة إلى اقتراح مجموعة من التدابير والمؤشرات التي يمكن لحكومة دبي والجهات المعنية أن تعتمدها وتنفذها؛ من أجل الوصول إلى الهدف المتمثل في "دبي المدينة الخضراء 2021". وما نخطط لتحقيقه هو وضع سيناريوهات ومجموعة من خطط العمل من أجل الهدف ذاته. ويتفحص القسم التالي من الورقة اثنين من المكونات الرئيسية لخطط العمل المعتمدة، وهما: أ) النقل المنخفض الكربون. ب) المباني المستدامة الحديثة.

النقل المنخفض الكربون

أهمية النقل الأخضر في تحقيق الاستدامة

في معظم نماذج المدن، يُعَدُّ "النقل الأخضر" مؤشراً رئيسياً في قياس الاستدامة.[54] وقد أشير في تقرير لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بشأن الاقتصاد الأخضر، نُشر في فبراير 2011، إلى النقل المنخفض الكربون باعتباره أحد العناصر الثمانية الرئيسية لتحقيق الاقتصاد الأخضر.[55] وعلاوة على ذلك، يُدرج النقل كأحد العناصر الاستراتيجية الثلاثة عشر التي تجعل المدن مستدامة.[56] وهناك ستة من تلك العناصر جرى تناولها في تصنيف الاقتصاد الأخضر لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة.[57] والسؤال هو: كيف تُرتَّب هذه العناصر حسب الأولوية؟ في هذا الصدد، فإن إحدى الخطوات الرئيسية هي تفحّص أنواع النقل المستخدمة في المدن، وخصوصاً نظم النقل المستدامة كما هو مبين في الشكل (11-18). ومن المهم بمكان أيضاً تفحّص الطريقة التي نقيس بها نظم النقل ونقيّمها. وحسب ما جاء في تقرير أصدره مجلس بحوث النقل في عام 2008، يُقيَّم النقل بصورة أولية؛ من حيث معيارين اثنين، هما: 1) التنقل، أو الحركة البدنية. 2) إمكانية الوصول، أو قدرة الناس على الحصول على السلع والخدمات المطلوبة.[58]

الشكل (11-18)

نظم النقل المستدامة

المصدر: Transportation Research Board, November 2008 (http://www.vtpi.org/sustain/sti.pdf).

3/24/24, 9:56 PM Akadimi | Reading

قضايا تحكم النقل

حسب ما ذكر ليتمان وآخرون (Litman et al.)،[59] من حيث تحقيق التنمية المستدامة، تندرج قضايا النقل ضمن ثلاث فئات، هي: 1) الاقتصادية. 2) الاجتماعية. 3) البيئية، وكل فئة من تلك الفئات تتألف من سبع قضايا فرعية "حاكمة". كما ستُستخدم هذه المؤشرات الثلاثة في تقييم دبي المدينة الخضراء 2021.

المباني المستدامة الحديثة

في جميع برامج تنمية المدن المستدامة، يُعَدُّ "التشييد الأخضر" أحد المؤشرات الأولية للتنمية. وتنبع أهميته من كون المباني الحالية تُشيَّد وتُشغَّل على نحو يخلو من الكفاءة بدرجة كبيرة، ومن ثمّ فهي تستهلك كميات كبيرة من الطاقة، والمياه بينما تولِّد أيضاً النفايات والتلوث. وفي حالة دبي، قد تكون هناك قيود من حيث البيانات المتوافرة في هذا الصدد، نظراً إلى أن حكومة دبي وضعت سياسة المباني الخضراء في عام 2008، بينما استُحدث الإطار المعني في عام 2009، وصدر به قانون في عام 2011، كما هو مبين في الشكل (11–19).

الشكل (11–19)

إطار لوائح المباني الخضراء في دبي

المصادر:

Mohsen Aboulnaga and Najeeb Al Ali, "Low Carbon/Sustainable Buildings in Dubai to Combat Global Warming, Counterbalance Climate Change, and for a Better Future," World Renewable Energy Congress (WREC-X 2008), Scottish Convention and Exhibition Center, Glasgow, July 2008, pp 124-128, (http://viewer.zmags.com/showmag.php?mid=ggbpd&preview=1&_x=1#/page124/).

Green Building Regulations & Specifications, Dubai Municipality, Dubai Electricity and Water Authority – Dubai Government, 2011, Section 3-7, pp 36-77, (http://www.dewa.gov.ae/images/greenbuilding_eng.pdf).

https://reader.ese.gov.ae/theme/default/books/5bca3d5c-bde3-5f58-f7a5-3a117304aa7e/ltr 427/457

وقبل عام 2008، لم تكن الاستدامة تُتوخى إلا من خلال مبادرات الملاك الخواص، وفي الفترة 2005-2008 لم يكن يشيَّد سوى عدد محدود جداً من المباني الخضراء (يتراوح بين 4 و5 مبانٍ). وفي عام 2009، كان العدد قد ارتفع إلى ثمانية مبانٍ؛ وفقاً لدراسة أجراها المؤلف.[60] ويدرج الشكل (11-20) مؤشرات المباني المستدامة.

الشكل (11-20)

مؤشرات قياس مدى "اخضرار" المباني

دبي كحالة دراسية

حسب نتائج الدراسة بشأن مؤشرات التنمية المستدامة التي أجراها أبو النجا وآخرون،[61] فإن ثمة مزايا لإرساء المؤشرات المستدامة. بيد أن تاتغواي وآخرون يحذرون من أن هذه المهمة تنطوي على تحديات.[62] وتتطلب الاستدامة الحضرية من جميع الجهات المعنية ضمن منطقة معينة أن تتعاون على وضع الإطار المناسب، ومجموعة الأدوات الملائمة. ويكمن تحدٍّ آخر يواجه المؤشرات المستدامة في الوصول إلى البيانات المحلية، بما فيها أنشطة الاستخدام النهائي (الاستهلاك) التي تنتج انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغيرها من الملوثات (على سبيل المثال، توجد حاجة إلى بيانات تفصيلية بشأن النقل والمباني). ويسلط موسيوبولوس وآخرون الضوء على الحقيقة التي مفادها أن أحد التحديات لدى إرساء نظام كفء من المؤشرات يكمن في انتقاء قائمة قابلة للإدارة من القياسات من أجل وصف الاستدامة على نحو أفضل. كما أنهم يشيرون إلى أن عملية وضع المؤشرات لا يمكن أن تكون تقنية، أو علمية فقط، وإنما يجب أن تنطوي على اتصال مفتوح وعملية شفافة لوضع السياسات أيضاً.[63] وفي المجمل، توصي الورقة بأن ينطوي التخطيط في المستقبل على مقارنات مع مدن أخرى باستخدام مؤشرات مستدامة ومتسقة.

وهناك ستة مؤشرات ترتبط بالنقل؛ جرى اختيارها لدراسة وتقييم تجريبيين. ففي أوائل عام 2007، اتخذت حكومة دبي خطوات جريئة لمعالجة قضايا الاستدامة في المجتمع باعتماد عدد من سياسات النقل المستدام، منها بناء خطي المترو: الأحمر والأخضر. وقد فُتح هذان الخطان في عامي 2009 و2011 على التوالي.[64]

النتائج والمناقشة

يقدم هذا القسم من الدراسة نتائج التحليل استناداً إلى البيانات المجمَّعة لمجموعة مؤشرات النقل المختارة المبينة في الشكلين (11-21) و(11-22). ويبين الشكل (11-21) الرحلات بخطوط المترو في الفترة 2009-2011. ويظهر أن الرحلات زادت بواقع 64.5 مرة في عام 2010 على ما كانت عليه في عام 2009، من 6,892,554 رحلة إلى 38,887,718 رحلة. ويجسد ذلك الحقيقة التي مفادها أن الخط الأحمر وحده في مترو دبي كان يعمل في عام 2009، حيث استُكمل الخط الأخضر في عام 2011. ولذا، فإن استخدام الركاب زاد أيضاً بواقع 7.8 مرة في عام 2011 من 6,892,554 رحلة إلى 60,024,794 رحلة. ويمكن أن يعزى هذا إلى حملة إذكاء الوعي التي أطلقتها حكومة دبي في عام 2010، وإلى التغير الذي طرأ على موقف ساكني دبي من استخدام النقل العام. ويقدم الشكل (11-22-أ) تقييماً وعرضاً لرحلات الركاب بالحافلات (العامة)، بينما يبين الشكل (11-22-ب) رحلات الركاب للفترة 2000-2011. كما يتضح من الشكل (11-22-ب) أن عدد رحلات الركاب تراجع من 144,420 رحلة في عام 2009 إلى 64,860 رحلة في عام 2011. ويمكن أن يُعزى هذا التراجع إلى التحول نحو استخدام مترو دبي في عام 2011، عندما افتُتح الخط الأخضر؛ وأصبح الوصول إلى معظم المناطق بواسطة المترو متاحاً. بيد أنه يتضح لدى تحليل بيانات الفترة 2000-2011 حدوث زيادة عامة في أعداد ركاب الحافلات من 38,079 رحلة في عام 2000 إلى 64,800 رحلة في عام 2011 كما يوضح الشكل (11-22-ب).

ويبين الشكلان (11-23-أ و11-23-ب) حركة الركاب حسب النوع في مطار دبي الدولي خلال الفترتين 1999-2001 و2009-2011. ويشمل ذلك حالات الوصول والمغادرة والعبور [الترانزيت]. ففي الفترة 2000-2011، زاد عدد القادمين بواقع 5.4 مرة، من 6.5 مليون مسافر في عام 2000 إلى 24.9 مليون مسافر في عام 2011 (345٪). وبصورة مماثلة، زاد عدد المغادرين بالمستوى نفسه تقريباً (58.4 مرات) من 5.5 مليون مسافر في عام 2000 إلى 25.3 مليون مسافر في عام 2011 (358٪). وبلغ الفرق بين أعداد القادمين والمغادرين 376.143 مسافراً في عام 2011. ويمكن أن يعزى ذلك إلى الزيادة الهائلة في السياحة، وكذلك الإجازات السنوية للوافدين. وقد زادت حركة المسافرين الإجمالية في مطار دبي الدولي من 12.3 مليون مسافر في عام 2000 إلى 50.9 مليون مسافر في عام 2011، ما يمثل زيادة بنسبة 314٪، كما في الشكل (11-24).

الشكل (11-21)

رحلات الركاب في مترو دبي حسب الخط*

ملاحظة: (*) لم تكن هناك خطوط عاملة قبل عام 2009.

المصدر: Dubai Statistics Center (DSC), 2012 (www.dsc.gov.ae).

الشكل (11-22-أ)

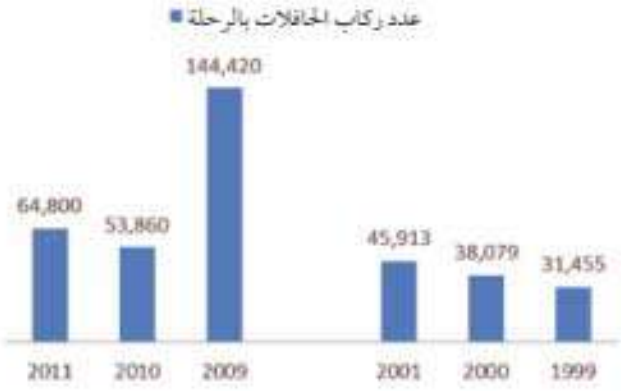
عدد الحافلات والخطوط في دبي

المصدر: Ibid

الشكل (11-22-ب)

عدد ركاب الحافلات في دبي حسب الرحلة في الفترتين (1999-2001) و(2009-2011)

(منطقتا الديرة وبر دبي)



المصدر: Ibid

الشكل (11-23-أ)

حركة الركاب حسب نوع الرحلة في مطار دبي (مليون)، 2009-2011

المصدر: Ibid.

الشكل (11-23-ب)

حركة الركاب حسب نوع الرحلة في مطار دبي (مليون)، 1999-2001

المصدر: Ibid.

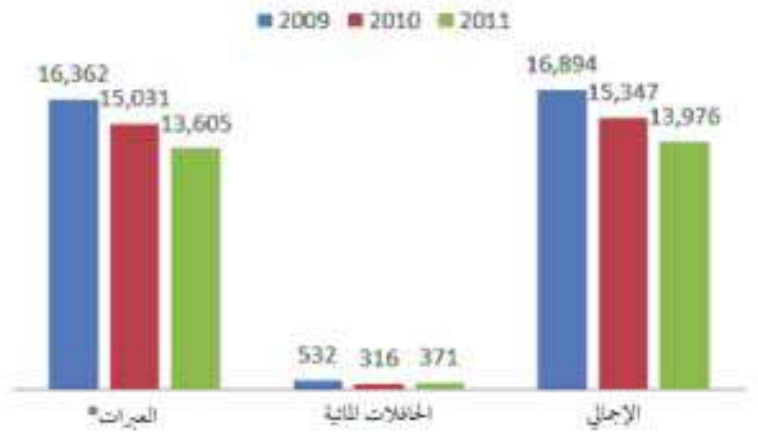
الشكل (11-24)

حركة الركاب حسب نوع الرحلة في مطار دبي، 2000/ 2011

المصدر: Ibid.

الشكل (11-25-أ)

حركة الركاب، خور دبي، 2009-2011

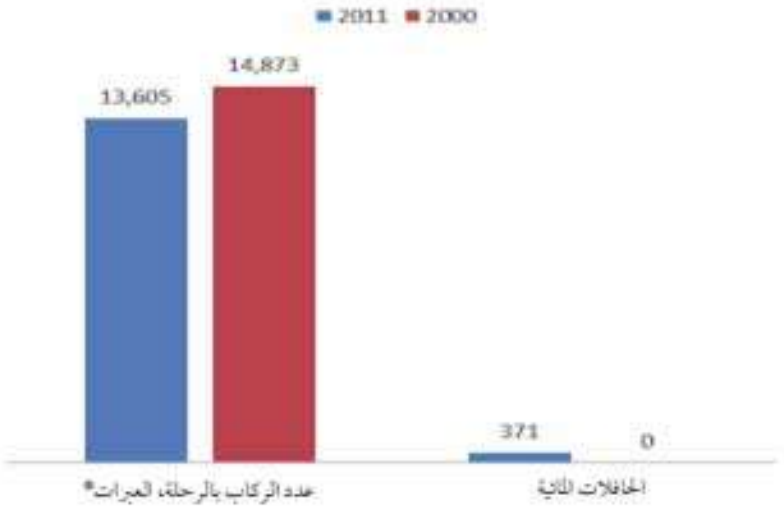


المصدر: Ibid.

ملاحظة: * 153 عبرة و9 حافلات مائية.

الشكل (11-25-ب)

حركة الركاب، خور دبي، 2000/ 2011



ملاحظة: * 153 عبرة و9 حافلات مائية.
العبرات هي زوارق خشبية صغيرة تحمل كل منها في المتوسط 20 راكباً.
المصدر: Ibid.

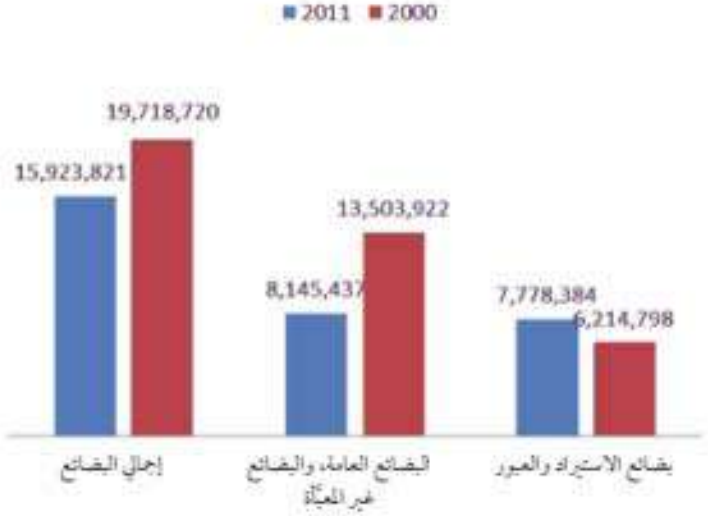
يقدم الشكلان (11-25-أ) و(11-25-ب) عدد رحلات الركاب بحراً باستخدام الحافلات المائية والعبرات في السنتين 2000 و2011. ويتضح من الشكل الثاني أن عدد الركاب الذين يستخدمون العبرات انخفض بنحو 9٪ من 14,873 في عام 2000 إلى 13,605 في عام 2011. ويعزى هذا الانخفاض إلى استخدام الأساليب البديلة للنقل العام في دبي، بما في ذلك التحول إلى الحافلات المائية والمترو من عام 2009 فصاعداً (وبصورة أساسية استخدام الخط الأخضر في عام 2011 بالقرب من الخور). بيد أن تحليل البيانات للفترة 2000-2011 يشير كذلك إلى حدوث زيادة في عدد ركاب الحافلات العمومية في دبي من 38,079 رحلة في عام 2000 إلى 64,800 رحلة في عام 2011، كما يوضح الشكل (11-22-ب). ويلاحظ أن عدد الركاب المستخدمين للخط الأخضر بلغ نحو 9 ملايين راكب في عام 2011، كما في الشكل (11-21).

الشكل (11-26)

شحن البضائع عبر مطار دبي (بالأطنان)، 2000/ 2011

الشكل (11-27)

شحن البضائع عبر ميناء دبي (بالأطنان)، 2000/ 2011



ويعرض الشكلان (11–26) و(11–27) حركة نقل البضائع جواً وبحراً. ويتضح من الشكل الأول أن إجمالي الشحن الجوي ازداد بواقع 5.3 مرة من 562,591 طناً في عام 2000 إلى 1,995,363 طناً في عام 2011. وتعزى هذه الزيادة الكبيرة إلى تطوير سعة المطار لاستيعاب النمو الاقتصادي الذي شهدته الفترة 2003–2008. وفي المقابل، تراجع إجمالي الشحن البحري بنسبة 19.3٪ من 19,718,720 طناً إلى 15,928,821 طناً ما بين عامي 2000 و2011، كما هو مبين في الشكل (11–28). وقد يعزى هذا التراجع إلى الأزمة المالية العالمية في سنوات (2008–2011).

المشاة وراكبو الدراجات

يكشف استعراض مختصر لتجارب الدول في تشجيع المزيد من المشاة وراكبي الدراجات في المدن عن العديد من قصص النجاح. فمن حيث استعادة مساحات في المدن لهذه الأغراض، هناك مثالان جديران بالملاحظة، هما: بانكوك؛ حيث تصل نسبة الرحلات مشياً أو بالدراجات إلى 15٪ من جميع الرحلات، بينما ترتفع هذه النسبة في طوكيو إلى 45٪.[65] وتشمل أمثلة أخرى دابلن ومونتريال بنسبتي 22٪ و30٪ على التوالي. ومن ناحية أخرى، تُصنَّف كل من كوبنهاغن وأمستردام وبروكسل وباريس ضمن أكثر المدن صداقة للدراجات.[66] واليوم، يوجد نحو ألف محطة تأجير في باريس، و20 ألف دراجة في وسط المدينة. ويستخدم ثلث سكان مدينة كوبنهاغن في الدنمارك الدراجات كوسيلة مواصلات إلى العمل، ويوجد نحو نصف مليون دراجة مستخدمة على نطاق جميع المجموعات الاجتماعية والاقتصادية في أمستردام. وتُصنَّف مدينتا برلين في ألمانيا ولوند Lund في السويد باعتبارهما أكثر مدن العالم صداقة للدراجات، إلى جانب العاصمة اليابانية طوكيو، ومدينة بورتلاند بولاية أوريغون في أمريكا. وفي برلين، مثلت الدراجات 15٪ من إجمالي الحركة المرورية في عام 2010. وتضم المدينة 620 كيلومتراً من مسارات الدراجات،

وتوجد 710 دراجات لكل ألف من السكان. وفي السويد، يسعى نظام النقل "لوندا ماتس" LundaMaTs إلى زيادة الحركة المرورية بالدراجات في المناطق الحضرية لمدينة لوند بواقع 70٪ بحلول عام 2020، وإلى خفض حركة السيارات بنسبة 5٪ خلال الفترة ذاتها.[67] وأنشئت حوامل عمومية متعددة المستويات لصفّ الدراجات في طوكيو بهدف الترويج لركوب الدراجات. ومن ناحية أخرى، تُصنَّف مدينتا بروكسل وغنت Ghent في بلجيكا باعتبارهما أكثر المدن صداقة للمشاة. ويشير كل ذلك إلى أن الحركة الخضراء تتزايد مظاهرها تدريجياً من أجل إيجاد مجتمعات صحية على نطاق العالم. لكن لم يُبذل الكثير في دبي للترويج لهذا المفهوم.

ويقدم القسم التالي بيانات جمعتها الدراسة، ويقدم كذلك تحليلاً لمؤشرات مختارة في ما يخص المباني المستدامة، كما يتضح من الشكلين (11-28) و(11-30). وهو يعرض عدد المباني الخضراء المشيدة في دبي في الفترة 2000–2011. ففي عام 2005، كانت دبي تكاد تخلو من المباني الخضراء (باستثناء ملحوظ هو كلية الطيران). وقد زاد العدد إلى 4–5 مبانٍ في عام 2007. بيد أنه وفقاً لدراسة أجراها المؤلف[68] وكذلك لدراسة أخرى أجرتها [شركة] لاسال (LaSalle) في عام 2011،[69] بلغت مساحة المباني المستدامة 430. ألف متر مربع، ما يمثل زيادة بنسبة 10٪ عن المساحة المسجلة في عام 2000، كما هو مبين في الشكل (11-28). وقد كان نصف هذه الزيادة داخل المنطقة الحرة في جبل علي، انظر الشكل (11-29). ويبين الشكل (11-30) مساحة المباني المستدامة في السنوات 2005 و2009 و2011، حيث يبين زيادة من 70.090 متراً مربعاً إلى 430 ألف متر مربع ما بين عامي 2005 و2011. ومن المؤكد أن إجمالي مساحة المباني زادت خلال عام 2012، نظراً إلى زيادة الوعي لدى الأطراف المعنية وكذلك بعض السياسات التي اعتمدتها الحكومة والقوانين التي أصدرتها. ومن المتوقع أن يتواصل نمو المساحات المشيدة خلال عام 2013.

الشكل (11–28)

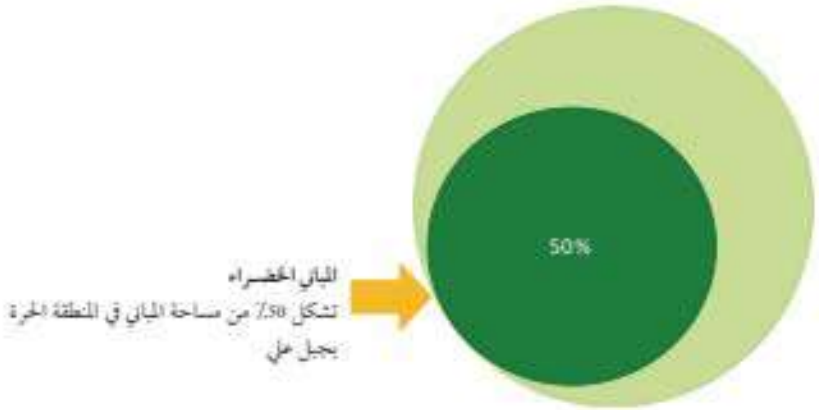
تطوير المباني الخضـراء، 2000/ 2011

المصدر:

Author; and Jones Lang LaSalle, "On Point: Dubai City Profile," September 2011 (http://www.joneslanglasalle-mena.com).

الشكل (11–29)

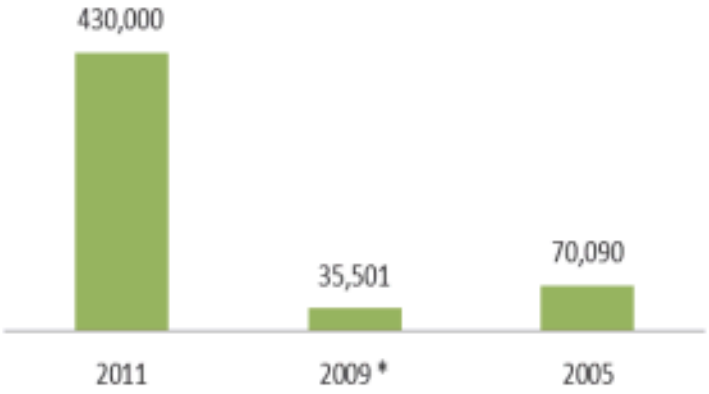
تركيز المباني الخضـراء، 2011



المصدر: Jones Lang LaSalle, op. cit.

الشكل (11-30)

مساحة المباني الخضراء بالمتر المربع، 2005-2011



ملاحظة: * وفقاً للبيانات المتوافرة في عام 2010.

المصدر: Author; and Jones Lang LaSalle, op. cit.

الاستنتاجات

تُبيِّن الحالة الدراسية لمدينة دبي، استناداً إلى المؤشرات المختارة للنقل والمباني المستدامين المفضَّلة أعلاه، أن الفترة 2000-2011 شهدت زيادة سريعة في استخدام وسائل النقل النظيفة. فقد زادت رحلات الركاب باستخدام الحافلات العامة في دبي بواقع نحو الضعف (1.7) في السنوات السابقة على عام 2011 (من 39,079 رحلة إلى 64,800 رحلة)، بيد أنها تراجعت تراجعاً حاداً في ما بعد نظراً إلى وقوع تحول باتجاه استخدام المترو في عام 2011 عندما افتُتح الخط الأخضر. ويلاحَظ وجود الاتجاه نفسه في عدد الركاب الذين كانوا يستخدمون العبرات (وسيلة نقل قديمة وملوِّثة) والذين يبدو أنهم تحولوا إلى المترو والحافلات المائية الجديدة التي بدأت في العمل بالقرب من المحطات في عام 2011.

ويتضح من المؤشرات المختارة أن النقل الجوي شهد زيادة في الفترة 2000–2011، على عكس الأنماط الأخرى مثل الشحن البحري. ويمكن أن تعزى هذه الزيادة إلى النمو الاقتصادي والتنويع في اقتصاد دبي. كما يُعَدُّ التوسع الذي شهدته دبي مسؤولاً جزئياً عن الزيادة السريعة في إجمالي حركة الركاب (بما في ذلك حالات المغادرة والوصول والعبور) عن طريق مطار دبي الدولي، حيث زادت بواقع 12.4 مرة، من 12.3 مليون مسافر في عام 2000 إلى نحو 51 مليون مسافر في عام 2011، انظر الشكل (11–23–أ).

وقد أشارت جميع مؤشرات النقل المنخفض الكربون المختارة في حالة دبي الدراسية إلى حدوث تطور كبير في الفترة 2000–2011، ولكنها أشارت أيضاً إلى الحاجة إلى تطوير المزيد من التنقل الأخضر خلال السنوات المقبلة من أجل توفير وسائل نقل كفؤة ومستدامة. وفيما يخص المباني الخضراء المستدامة في دبي خلال الفترة 2005–2011، تشير النتائج إلى أن تطوراً مهماً حدث خلال تلك الفترة، حيث بلغ إجمالي مساحة المباني 430.000 متر مربع. بيد أن هذا لا يُعتبر رقماً عالياً لدى مقارنته بما هو موجود في مدن مثل بورتلاند في ولاية أوريغون الأمريكية. ولذلك، توجد حاجة إلى تشييد المزيد من المباني المستدامة والحديثة خلال السنوات الخمس المقبلة للتعويض عن تراجع التشييد خلال تلك الفترة.

ولدى وصف جهود النقل المستدام في دبي، فإن أحد الأهداف الاستراتيجية المرسومة في قطاع البنية التحتية والأراضي والبيئة ضمن خطة دبي الاستراتيجية 2015 كان "توفير نظام طرق ونقل متكامل يضمن انسيابية الحركة ويوفر أفضل مستويات السلامة".[70] ومنذ عام 2009، وُضعت الكثير من المبادرات والبرامج واللوائح لتعزيز وتشجيع النقل العام النظيف (مترو دبي على سبيل المثال). بيد أن هناك حاجة إلى المزيد من المبادرات للتصدي للتحديات المستقبلية.

كما كشفت الدراسة عن الحاجة إلى قياس مؤشرات التنمية المستدامة لمعالجة الأبعاد الستة للتنمية المستدامة، وتطبيقها في الحالة الدراسية لدبي المدينة الخضراء 2021. وهي

توحي بضرورة العمل باستمرار على جمع البيانات للمساعدة على تطوير هذه المؤشرات وتقييمها، ومن ثمّ تحقيق الأهداف المستدامة المحلية لدبي المدينة الخضراء 2021. وفي معظم الحالات تكون هذه المؤشرات ذاتية ويمكن تنقيحها بحيث تتلاءم مع كل مدينة. ومما له مغزاه أن هناك حاجة إلى تحديد أفضل السبل لتطبيق التنمية المستدامة لتحديد تأثير ما يعرف بـ"الجزيرة الحرارية" في دبي. وقد يكون ذلك تحدياً في الوقت الحاضر نظراً إلى محدودية البيانات المتوافرة. بيد أنه تحدٍّ يمكن تجاوزه نظراً إلى أن البيانات يمكن نشرها هذا العام. وعند هذا المنعطف الزمني، فإن المؤشرات المناسبة لمعالجة الاستدامة في المستقبل سوف تكون مهمة.

المشاركون

كن كوياما

يشغل الدكتور كين كوياما منصب العضو المنتدب في معهد اقتصاديات الطاقة (IEEJ) في طوكيو، بالإضافة إلى كونه كبير خبراء الاقتصاد في المعهد، وهو أيضاً أستاذ في كلية الدراسات العليا للسياسة العامة في جامعة طوكيو منذ عام 2010.

انضم د. كوياما إلى معهد اقتصاديات الطاقة في اليابان عام 1986، بصفة خبير اقتصادي في الفريق النفطي. وشغل منذ ذلك الحين مناصب مختلفة في معهد اقتصاديات الطاقة في اليابان، منها: كبير خبراء الاقتصاد في المجموعة العالمية للنفط والطاقة (1992)؛ ورئيس المجموعة العالمية للنفط والطاقة (1997)؛ وزميل باحث في وحدة استراتيجية الطاقة (2005). وقد عمل د. كوياما عضواً في لجان عدد من المجالس المعنية بسياسات الطاقة واللجان الاستشارية ضمن الحكومة اليابانية.

حصل د. كين كوياما على درجتي البكالوريوس (1982) والماجستير (1986) في الاقتصاد من جامعة واسيدا في طوكيو، وعلى درجة الدكتوراه من جامعة دندي بأسكتلندا عام 2001. وتشمل اهتماماته البحثية قضايا أمن الطاقة، وجيوبوليتيكية الطاقة، وتحليل سوق الطاقة العالمية، وتطوير السياسات الخاصة بها مع التركيز على منطقة آسيا – المحيط الهادي. وألّف العديد من الأوراق والمقالات التي تبحث في قضايا الطاقة، وشارك في العديد من المؤتمرات الدولية.

راي ليونارد

يشغل راي ليونارد، منذ يوليو 2009، منصب الرئيس والرئيس التنفيذي لشركة "هايبرداينامكس كوربوريشن"، وهي شركة مُدْرجة في بورصة نيويورك، وتعمل في استكشاف النفط في غرب إفريقيا.

بدأ ليونارد حياته المهنية، التي استمرت 19 عاماً، في شركة أموكو (Amoco) التي كانت مرتبطة كلياً بمشروعات دولية في ترينيداد والنرويج وغرب إفريقيا. وفي عام 1989، تم تعيينه مديراً للمشروعات الجديدة في الاتحاد السوفيتي وأوروبا الشرقية والصين؛ ما مكّنه من الاطلاع على التغيرات السياسية والاقتصادية التي حدثت في هذه المناطق. وفي عام 1995، أصبح نائب الرئيس لعمليات الاستحواذ على الموارد لمصلحة شركة أموكو–أوراسيا. وفي يونيو 1998 قبِل منصب نائب رئيس الاستكشاف في شركة "ذا فيرست إنترناشونال أويل كومباني" (FIOC)، وهي شركة أُنشئت آنذاك في ألمآتي في كازاخستان.

وفي عام 2001، عُين ليونارد نائب رئيس الاستكشاف والمشروعات الجديدة في موسكو لمصلحة شركة "يوكوس" YUKOS، ثاني كبرى شركات النفط الروسية، وكان مسؤولاً عن تنويع محفظة الشركة في مجال الإنتاج والاستكشاف والتطوير، بعيداً عن مناطق الشركة الأساسية في غرب سيبيريا وسمارا، وتحديداً في شرق سيبيريا والجرف الروسي وآسيا الوسطى، ومن خلال إبرام اتفاقات مشاركة مع شركات غير روسية.

وفي بداية عام 2005، التحق ليونارد بشركة MOL الهنغارية للنفط والغاز ذات الرسملة السوقية الأعلى من أي شركة أخرى في أوروبا الشرقية (نحو 11 مليار دولار أمريكي)، بصفة نائب رئيس أول لعمليات الاستكشاف والإنتاج العالمية. وفي أثناء توليه منصبه مدة سنتين، استحوذت الشركة على أصول في روسيا وكازاخستان وعُمان وباكستان؛ واكتشفت حقولاً جديدة في باكستان وكازاخستان، ووصلت إلى ذروة إنتاج بلغت 55,000 برميل يومياً في مشروعها الروسي.

وفيما بعد، قبِل ليونارد العمل في "شركة كويت إنيرجي" في منصب نائب الرئيس، وتركزت مهامه في مجال الاستكشاف في منطقة أوراسيا. وفي أثناء وجوده في هذا المنصب، كوّن محفظة أصول في روسيا وأوكرانيا ولاتفيا، وأشرف على مشروعات استكشاف في الشرق الأوسط.

المشاركون

حصل راي ليونارد على درجة البكالوريوس في الجيولوجيا من جامعة أريزونا، وعلى درجة الماجستير في الجيولوجيا من جامعة تكساس في أوستن.

إردال أوزكان

يعمل د. إردال أوزكان أستاذاً لهندسة البترول، ومديراً مشاركاً في "مركز ماراثون للتميز في دراسات المكامن" (MCERS) في كلية كولورادو للمعادن بالولايات المتحدة. وقد انضم إلى قسم هندسة البترول بالكلية عام 1998. كما أن د. أوزكان عضو بارز في جمعية مهندسي البترول الأمريكية، وهو عضو أيضاً في "الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين" (ASME)، و"جمعية الرياضيات الصناعية والتطبيقية" (SIAM).

ويمتلك د. أوزكان خمسة وعشرين عاماً من الخبرة التعليمية والبحثية. ومن أبرز اهتماماته البحثية: تكنولوجيا الآبار الأفقية والمتعددة الأطراف، وتحليل الضغط العابر، ونمذجة تدفق السوائل في الوسائط النفوذة، والمكامن غير التقليدية. وقد نشر د. أوزكان أكثر من 100 ورقة بحثية، وشارك في تأليف كتاب واحد، وأسهم في العديد من الكتب الأخرى، وشارك بنشاط في تنظيم مؤتمرات تقنية عديدة، مثل منتدى "جمعية مهندسي البترول" الخاص بهندسة المكامن: مظاهر الآبار المتعددة الأطراف والمتقدمة (1999)، وورشة عمل تكنولوجيا "جمعية مهندسي البترول" المتقدمة الخاصة بالغاز غير التقليدي (2006)، وورشة عمل تكنولوجيا "جمعية مهندسي البترول" المتقدمة الخاصة بتطورات تشخيص أداء الآبار المكَسرة fractured wells والأفقية (2007)، ومؤتمرَيْ "جمعية مهندسي البترول" التقنيين حول إنتاج الغاز الصخري (2008 و2010).

ويعمل د. أوزكان في هيئات تحرير العديد من المجلات التقنية، مثل مجلة SPE Reservoir Engineering and Evaluation، ومجلة SPE Journal، ومجلة Journal of Petroleum Science and Engineering، ومجلة Journal of Natural Gas Science

and Engineering، ومجلة Petroleum Exploration and Production Technology.
وقد شغل منصب المحرّر التنفيذي في مجلة SPE Reservoir Engineering and Evaluation، ورئيس التحرير في مجلة Elsevier's Journal of Petroleum Science and Engineering، والمحرر التقني المشارك في مجلة ASME Journal of Energy Resources Technology، ومجلة Elsevier's Journal of Natural Gas Science and Engineering. كما يعمل محكّماً لمصلحة العديد من المؤسسات البحثية الدولية في الولايات المتحدة، وهو عضو اللجنة الاستشارية لتوصيف وديناميات المكامن في "جمعية مهندسي البترول"، وعمل مديراً تقنياً لقسم البحوث والتطوير التقني بالجمعية.

نال د. إردال أوزكان جائزة تقييم مدى إنتاجية المكامن Formation Evaluation من جمعية مهندسي البترول الأمريكية (2007)، وجائزة المُحاضر البارز في موضوع مكامن الغاز الصخري من الجمعية نفسها (2011-2012). وقد حصل أوزكان على درجتي البكالوريوس والماجستير في هندسة البترول من "جامعة إسطنبول التقنية" بتركيا، ودرجة الدكتوراه في التخصص نفسه من جامعة تولسا بولاية أوكلاهوما الأمريكية

روبرت جي سكينر

يعمل الدكتور روبرت ج. سكينر مستشاراً مستقلاً لشؤون الاستراتيجية في كالجاري بكندا. وتمتد حياته المهنية في مجال الطاقة إلى أربعة عقود زمنية من العمل في الحكومة، والصناعة، والأوساط الأكاديمية. ومن بين المشروعات الحالية الأخرى التي يضطلع بها منصب المدير التنفيذي المؤقت لكلية كندا للطاقة والبيئة في جامعة كالجاري.

وإلى جانب تقديمه الاستشارات حالياً للشركات المهتمة بالاستثمار في الرمال النفطية، لعب د. سكينر دوراً رئيسياً في تأسيس "توتال" Total SA في مجال الرمال النفطية عام 1998، و"شتات أويل" Statoil ASA عام 2006. وقد تقاعد من "شتات أويل" كندا عام 2011، حيث شغل منصب النائب الأول للرئيس، وكان مسؤولاً عن

الاستراتيجية، وحقوق التعدين، والتحليل الاقتصادي، وتطوير الأعمال، والشؤون الحكومية. ومن المناصب السابقة التي شغلها: مدير معهد أكسفورد لدراسات الطاقة في المملكة المتحدة؛ ومستشار في مجموعة توتال للغاز والكهرباء في باريس، ونائب الرئيس لوحدة المجموعة المعنية بالرمال النفطية في كالجاري؛ ومدير مكتب المشروعات الطويلة الأمد في وكالة الطاقة الدولية (IEA) بباريس.

وقد بدأ حياته المهنية عام 1971 جيولوجياً باحثاً في المسح الجيولوجي لكندا في وزارة الطاقة، والمعادن، والموارد الكندية، حيث قام بتطوير تقنيات لاستكشاف المعادن الأساسية والماس. كما عمل لاحقاً في شتى المناصب التنظيمية والإدارية المسؤولة عن النفط، والغاز الطبيعي، واليورانيوم، والوقود النووي والوقود البديل اللذين يُستخدمان في النقل. وفي عام 1985، عُيّن مساعداً لوكيل وزارة الطاقة.

ألّف د. سكينر العديد من الأوراق، والمقالات، والمحاضرات، وأسهم في كثير من الكتب والدراسات المعنية بالطاقة، والاستراتيجية، والجغرافيا السياسية، والسياسات. وهو مستشار بحوث أول في معهد أكسفورد لدراسات الطاقة، وزميل مشارك في مؤسسة "تشاتم هاوس"، وزميل باحث في معهد بحوث السياسة العامة في مونتريال؛ ومستشار أكاديمي سابق حول الطاقة والتنمية المستدامة لمصلحة "نادي مدريد"؛ وعضو سابق في هيئة التدريس الخارجية لمادة إدارة الطاقة في ماجستير إدارة الأعمال التنفيذية في الأكاديمية التنفيذية التابعة لجامعة فيينا؛ وعضو مجلس السياسة العالمية في مؤسسة بيرتلسمان Bertelsmann؛ وعضو هيئة تحرير مجلة Geopolitics of Energy؛ وعمل مستشاراً للصناعة والحكومات في أوروبا، وآسيا، وأمريكا اللاتينية.

وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الجيولوجيا من من جامعة واشنطن في سياتل عام 1971.

بِن سونغ

الدكتور بِن سونغ هو مدير مركز التصنيع المستدام التابع لمعهد سنغافورة لتكنولوجيا التصنيع، فضلاً عن كونه أحد كبار علماء المركز. وهو أيضاً مدير برنامج بحوث إعادة التصنيع في مجلس بحوث العلوم والهندسة (SERC) التابع لوكالة العلوم والتكنولوجيا والبحوث في سنغافورة.

وتركز نشاطاته الحالية في مجالات البحث والتطوير على إدارة دورة حياة المنتج، وتحقيق الحدّ الأمثل من تقليل الانبعاثات والنفايات في أثناء عمليات التصنيع. وهو مهتم على وجه الخصوص بإدارة البصمة الكربونية والتصنيع بالاستخدام الكفء للطاقة

ويتمتع د. بِن سونغ بخبرة في البحث والتطوير تزيد على 20 عاماً، وتشمل إدارة دورة حياة المنتج وهندسة دورة الحياة؛ وهي خبرة قاد فيها بنجاح كثيراً من المشروعات البحثية والمشروعات التي تموّلها شركات صناعية، ومنها مشروعات يبلغ تمويلها مليون دولار مع شركات متعددة الجنسيات، ومشروعات ذات قيمة مالية أقل مع مؤسسات صغيرة ومتوسطة الحجم.

عصام عبدالعزيز العمّار

يعمل الدكتور عصام عبدالعزيز العمّار أستاذاً مشاركاً في قسم الهندسة الكهربائية في جامعة الملك سعود بالرياض، ومستشاراً لهيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج في المملكة العربية السعودية.

وفي السابق، عمل د. العمار مستشاراً لوزارة المياه والكهرباء ومستشاراً لأغراض الطاقة لمصلحة "وادي الرياض للتقنية" في المملكة. كما عمل مهندس قوى وبيانات في شركة لوسنت تكنولوجيز في الرياض مدة عامين. وهو عضو في العديد من اللجان المحلية والدولية المعنية بشتى جوانب القوى والطاقة الكهربائية؛ ولاسيما معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) ولجنة المهندسين السعوديين.

حصل د. عصام عبدالعزيز العمّار على درجة الدكتوراه من جامعة ولاية أريزونا الأمريكية عام 2007، ونال درجة الماجستير من جامعة ألاباما الأمريكية عام 2003، وحاز درجة البكالوريوس من جامعة الملك سعود بالرياض عام 1997. وتشمل اهتماماته البحثية هندسة الجهد الكهربائي العالي، ونقل وتوزيع أنظمة القوى، والطاقة المتجددة، والشبكات الذكية.

إبراهيم عبدالجليل

الدكتور إبراهيم عبدالجليل هو أستاذ كرسي الشيخ زايد بن سلطان آل نهيان للعلوم البيئية في جامعة الخليج العربي في البحرين، حيث يحاضر ويشرف على البحوث في ما يتعلق بالطاقة والبيئة والتنمية المستدامة.

وقبل انضمامه إلى جامعة الخليج العربي، شغل الدكتور عبدالجليل منصب الرئيس التنفيذي لجهاز شؤون البيئة في مصر (1997-2002)، ومنصب رئيس مجلس إدارة جهاز تخطيط الطاقة (1994-1997)، وهو الجهة الحكومية المعنية بتحليل سياسات الطاقة وتحقيق الكفاءة في استخدامها. وقد اضطلع بدور رئيسي في قيادة الجهود الوطنية في مصر لمعالجة قضايا الطاقة والبيئة، وتغير المناخ بصفة خاصة. كما تولى، لأكثر من ثماني سنوات، رئاسة الوفد المصري في مفاوضات اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، وشغل مناصب استشارية وتنسيقية في ما يتعلق بالشراكات القائمة بين الحكومة المصرية وكل من الاتحاد الأوروبي، والوكالة الأمريكية للتنمية الدولية، والبنك الدولي، وغيرها من منظمات المساعدة الإنمائية الثنائية ومتعددة الأطراف، ومثّل أيضاً شمال إفريقيا في مجلس مرفق البيئة العالمية.

ويمتلك الدكتور عبدالجليل ما يربو على أربعين عاماً من الخبرة في القطاعات الصناعية والحكومية والأكاديمية في مجالي الطاقة والبيئة، مع التركيز بصورة خاصة على رسم السياسات وتحليلها، والتخطيط الاستراتيجي، وإعداد البرامج وإدارتها. وقد أهّلته

خبرته المهنية الطويلة، المقترنة بالعمل الأكاديمي والإداري والتدريبي الموسَّع ومتعدد التخصصات، لأن يكون في صدارة السياسات المصرية في مجالي الطاقة والبيئة على مدى أكثر من 20 عاماً. كما أنه يقدِّم خدمات استشارية لعدد من المنظمات الدولية، مثل الاتحاد الأوروبي، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ولجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (إسكوا)، وجامعة الدول العربية، ومجلس الطاقة العالمي، ومرفق البيئة العالمية.

وقد نشر الدكتور عبدالجليل، إلى جانب مقالاته في وسائل الإعلام العربية، أكثر من 60 إصداراً، وألَّف واشترك في تأليف ثمانية كتب والعديد من التقارير المرجعية، بما فيها الكتاب الذي صدر أخيراً بعنوان: تقييم الطاقة العالمية Global Energy Assessment.

حصل الدكتور إبراهيم عبدالجليل على درجة الدكتوراه في الهندسة الكيميائية من جامعة القاهرة عام 1984. وفي عام 1994، عُين زميلاً باحثاً في قسم الموارد الطبيعية بجامعة كورنيل، وباحثاً زائراً في مختبر لورانس بيركلي في كاليفورنيا بالولايات المتحدة.

نوال خليفة الحوسني

تشغل الدكتورة نوال خليفة الحوسني منصب مديرة إدارة الاستدامة في شركة مصدر، حيث تشرف على الفريق المسؤول عن تطوير معايير وسياسات الاستدامة في شركة مصدر، إضافة إلى الرقابة والتدقيق ورفع التقارير الخاصة بالاستدامة. وفي يناير 2012، عُيِّنت الدكتورة الحوسني مديرة لجائزة زايد لطاقة المستقبل. وكانت الدكتورة نوال قد عُينت في عام 2011 في الفريق الرفيع المستوى المعني بمبادرة "الطاقة المستدامة للجميع" التي أطلقها الأمين العام للأمم المتحدة.

وداخل شركة مصدر، تتولى الدكتورة نوال التنسيق مع السلطات الحكومية والمدارس والجامعات لدفع أجندة الفعاليات المتعلقة بالاستدامة في دولة الإمارات. وتتولى الدكتورة نوال عضوية مجلس الإدارة في العديد من المبادرات والمنظمات الإقليمية

والدولية، بما في ذلك منصب الرئيس المشارك لمنظمة "المرأة من أجل تحقيق النمو المستدام" (والتي تتألف من أعضاء من دول مجلس التعاون والدول الإسكندنافية)، وهي عضوة في الأمانة العامة لمجموعة أبوظبي للاستدامة، والمنظّم الإقليمي لشبكة الطاقة النظيفة المشتركة بين الاتحاد الأوروبي ومجلس التعاون لدول الخليج العربية.

وللدكتورة نوال بحوث منشورة في مجموعة واسعة من المجلات الدولية، بما فيها *International Journal of Management of Environmental Quality*، و*Renewable and Sustainable Energy Reviews*، و*Renewable Energy*، و*International Journal of Renewable Energy Engineering*. وهي تُدعى باستمرار إلى إلقاء كلمات رئيسية والمشاركة في جلسات نقاشية في مؤتمرات إقليمية ودولية، منها، على سبيل المثال لا الحصر، المشاركة مع الرئيس الأمريكي الأسبق بيل كلينتون والممثل براد بيت في الحلقة الختامية من مؤتمر مبادرة كلينتون العالمية.

نالت الكتورة نوال العديد من الميداليات والأوسمة على إنجازاتها المهنية، بما في ذلك زمالة شيفينينغ من وزارة الخارجية والكومنولث البريطانية، وجائزة الإمارات لسيدات الأعمال عن فئة الأعمال المهنية والوظيفية.

والدكتورة نوال حائزة الدكتوراه من جامعة نيوكاسل في المملكة المتحدة.

بيونغ كو كيم

يعمل الدكتور بيونغ كو كيم باحثاً أول Senior Research Fellow في قسم الهندسة النووية في جامعة خليفة للعلوم والتكنولوجيا والبحوث منذ عام 2011، بالإضافة إلى إدارته "معهد الخليج للبنية التحتية للطاقة النووية" في الجامعة. وقبل ذلك، عمل رئيساً لقسم التعاون التقني في الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) في فيينا لمدة سبع سنوات، حيث ساعد عدداً من الدول النامية على إنشاء البنى التحتية الخاصة بالاستخدامات السلمية للطاقة النووية.

وقبل خدمته بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، عمل د. كيم في معهد بحوث الطاقة الذرية الكوري (KAERI) لمدة 30 عاماً حتى تقاعده، حيث قام بمختلف المهمات المنوطة بكبير نواب رئيس المعهد. وتمثّلت ذروة حياته المهنية في المعهد في عمله مديرَ مشروع لأول برنامج للاعتماد على الذات تقنياً في كوريا، وهو مشروع تصميم نظم مفاعلات الطاقة الكهربائية، في ثمانينيات القرن العشرين؛ الأمر الذي أدى إلى توحيد مقاييس تشييد محطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية في كوريا. وقد تمخّض "اعتماد المقاييس الكورية" Koreanization في تكنولوجيا الطاقة النووية لاحقاً عن "الجيل الثالث" من نظام مفاعلات توليد الطاقة الكهربائية المتقدم في البلاد (APR-1400)، الذي يجري بناؤه الآن في كوريا، وكذلك في موقع براكة بدولة الإمارات العربية المتحدة.

ومن أحدث إصداراته (2011– باللغة الإنجليزية) كتاب: طريق الحرير النووي: "اعتماد المقاييس الكورية" في تكنولوجيا الطاقة النووية Nuclear Silk Road: The "Koreanization" of Nuclear Power Technology، الذي يرصد تاريخ تطوّر التكنولوجيا الأساسية في كوريا الجنوبية على مدى العقود الثلاثة الماضية. وقد تمت ترجمة هذا الكتاب إلى اللغتين: الصينية والعربية.

يذكر أن بيونغ كو كيم حاصل على درجتي الماجستير والدكتوراه في الميكانيكا التطبيقية من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. وكان قد حصل سابقاً على درجة البكالوريوس في الهندسة الميكانيكية من جامعة ميتشيجان بالولايات المتحدة الأمريكية.

خالد عبدالله السلال

يعمل الدكتور خالد عبدالله السلال حالياً أستاذاً للهندسة المعمارية ومدير مختبر الإضاءة النهارية في جامعة الإمارات العربية المتحدة. كما أنه ممثل دولة الإمارات العربية المتحدة في مجلس المباني الشاهقة والمساكن الحضرية (CTBUH) ومقره مدينة شيكاغو في

الولايات المتحدة، وعضو في مجلس إدارة الاتحاد الدولي لمحاكاة أداء المباني (IBPSA)، ومؤسس ورئيس فرع الاتحاد الدولي لمحاكاة أداء المباني في دولة الإمارات العربية المتحدة (IBPSA-UAE).

وقد عمل السلال في العديد من البرامج البحثية والمشروعات الاستشارية التي تهتم بتقديم تكنولوجيات جديدة في مجال المباني المستدامة إلى دولة الإمارات العربية المتحدة ومنطقة الشرق الأوسط، وتشمل مجالات خبرته التصميم المستدام مع التركيز على طاقة المباني. وتركز نشاطاته التدريسية والبحثية على أداء ومحاكاة المباني، والتصميم المُحيِّد للأثر الكربوني، والإضاءة النهارية، و"العمارة المحلية" (Vernacular Architecture) التي تتلاءم مع المناخ.

نشر السلال العديد من الأوراق في دوريات عالمية مُحكّمة ومجلّدات لأعمال المؤتمرات، وكَتب فصولاً في ثلاثة كتب محرَّرة صدرت عن دور نشر أكاديمية متميزة، وهي: إلسفير (Elsevier)، وفرانسيس وتايلور (Francis & Taylor)، وهوجريف وهابر (Hogrefe & Huber). ويعكف حالياً على تحرير كتاب عن تخفيض انبعاثات غاز الكربون والعمارة ذات الطاقة المنخفضة. وقد شارك السلال في العديد من المؤتمرات والاجتماعات والمنتديات العلمية.

حصل الدكتور خالد عبدالله السلال على العديد من الجوائز، بما في ذلك جائزة أفضل مشروع بحثي هندسي عام 2007، وجائزة التميّز في التدريس عام 2000 من جامعة الإمارات العربية المتحدة. وقد حاز درجة الدكتوراه من جامعة "تكساس إيه آند إم"، ودرجة الماجستير من جامعة ولاية أريزونا.

محسن أبو النجا

يعمل د. محسن أبو النجا حالياً أستاذاً للبيئة العمرانية المستدامة في جامعة دبي، التي يشغل فيها أيضاً منصبي المسجِّل ومدير الالتحاق. كما يتولى وظيفة مستشار حكومة دبي في

مجال الاستراتيجيات والسياسات، بالإضافة إلى كونه مؤسس ورئيس مجلس إدارة مجلس الإمارات للمباني الخضراء، الذي أُسس عام 2006.

ويملك الدكتور أبو النجا خبرة متنوّعة تزيد على 25 عاماً، منها 15 عاماً في دولة الإمارات، في الإدارة العليا والاستشارات والمناصب الأكاديمية. وتشمل مجالات تخصصه وخبرته سياسات التنمية المستدامة، والبيئات العمرانية المستدامة، والمباني الخضراء، والتخطيط الاستراتيجي وتطوير السياسات، والتقييم البيئي الاستراتيجي، والمجتمعات والسيناريوهات منخفضة الكربون، والمدن الصديقة للبيئة، والطاقة المتجددة، وتغير المناخ.

وكان أبو النجا يشغل وظيفة مستشار الاستراتيجيات والسياسات في مجال البيئة والبنية الأساسية لدى مكتب صاحب السمو رئيس مجلس الوزراء في دولة الإمارات (فبراير 2009- مارس 2010). وقبل ذلك، كان مستشاراً للاستراتيجيات والسياسات لدى المجلس التنفيذي لحكومة دبي (مايو 2007- يناير 2009).

حصل أبو النجا على الزمالة الفخرية من معهد المهنيين الخضر في الولايات المتحدة، وهو شريك في الشبكة الأوروبية للتنمية المستدامة في النمسا، وخبير مسجَّل لدى الأمم المتحدة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (إسكوا)، المكتب الإقليمي لغربي آسيا). ويمثل الدكتور أبو النجا مؤسسة المجتمع المستدام، ومقرّها لاهاي، في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، وشركة بحوث وتنمية الأبنية الخضراء Green Building Research and Development، دوسلدورف، ألمانيا.

وقد ألّف د. أبو النجا وشارك في تأليف أكثر من 80 إصداراً، ما بين أوراق مُحكَّمة وفصول في كتب، بما فيها فصل في كتاب From Mud to Skyscrapers: Comfort, Sustainability and Energy، الذي نشره المجلس العالمي/ الشبكة العالمية للطاقة

المتجددة، وأوراق مقدَّمة إلى مـؤتمرات دوليـة. وشـارك في أكثـر مـن 100 مـؤتمر وحلقـة دراسية وورشة عمل على المستويين الدولي والإقليمي.

وقد حصل محسن أبو النجا على درجة الدكتوراه في البيئات العمرانية من جامعة ليدز في المملكة المتحدة عام 1990، وعـلى درجـة الماجسـتير في اقتصـاديات الإسـكان (1985) ودرجة البكالوريوس في الهندسة المعمارية (1979) من جامعة القاهرة.

مركز اتصال وزارة التربية والتعليم
اقتراح - استفسار - شكوى
80051115
04-2176855
www.moe.gov.ae
ccc.moe@moe.gov.ae