

# توليد الكهرباء في المستقبل ودور مصادر الطاقة المتجددة

ليور نوّام\*

يتوقع البعض أن العالم مقبل خلال عقود قليلة على أزمة طاقة قد تكون بالغة الجدية وربما الخطورة وذلك بسبب تزايد السكان والعجز المتوقع في تلبية الطلب عليها من المصادر التقليدية. ويكمن أحد الحلول المقترحة في اللجوء إلى مصادر الطاقة المتجددة المختلفة لتوليد الكهرباء التي يحتاجها الاقتصاد العالمي. الدراسة تستعرض بإيجاز أنواع ومكامن الطاقات المتجددة، بدءاً من الرياح وأشعة الشمس، ومساقط المياه، والكتلة الحيوية، والحرارة الجوفية، وغيرها. وختاماً تقدم لنا نموذجين من المنطقة العربية، هما البحرين والسعودية، لتؤكد بأن المنطقة، وعلوّه عن غناها بمصادر الطاقة التقليدية، النفط والغاز أساساً، فإنها غنية كذلك بأهم مصدرين للطاقات المتجددة، وهما أشعة الشمس، و"جريان" الرياح بما قد تشهيه سفن طاقة المستقبل

## مقدمة

**لعلّجة** موضوع هذا البحث، وهو تقييم أساليب توليد الكهرباء في المستقبل ودور مصادر الطاقة المتجددة، ينبغي في البداية تلخيص الاحتياجات، وهذا يعني بيان الوضع الحالي لمصادر الطاقة واستخداماتها، واستشراف مستقبلها، وتبيان محدوديتها وما يترتب على ذلك كله من نتائج. وإذ ذاك تكون سبل توليد الكهرباء في المستقبل قد وصفت وقيمت. وتتم بعدها مناقشة الامكانيات والعقبات التي تواجه استخدام الطاقات المتجددة، وسيوضع كذلك تقدير تقريبي لإمكانيات تلك الطاقات الكامنة في بلدين عربيين غنيين بالطاقة الشمسية، أحدهما صغير (مملكة البحرين)، وثانيهما كبير (المملكة العربية السعودية).

لقد تم تجميع البيانات من مصادر عديدة، ومنها المواقع المتميزة على شبكة الانترنت لوزارة الطاقة الأمريكية (1) USDoe، وإدارة معلومات الطاقة التابعة لها (2)، ومكتب الميزانية (أو الموازنة) (3) Office of Budget، ومكتب الحفاظ على الطاقة والطاقة المتجددة (4) ومكتب الطاقة الأحفورية (5) والمختبر القومي للطاقة المتجددة (6). وتم استقاء المعلومات كذلك من موقع بحوث الطاقة - Energy Research - التابع للاتحاد الأوروبي (7)، وموقع وكالة الطاقة الدولية (8) IEA، والتقارير الإحصائي السنوي لشركة بريتيش بتروليوم (9) BP. وتجدر الإشارة هنا إلى أن كافة التحاليل

\* البروفيسور ليور نوّام Lior Noam يشغل منصب رئيس تحرير مجلة الطاقة، جامعة بنسلفانيا - الولايات المتحدة الأمريكية.

والتفسيرات والتعليقات هي وجهة نظر تخص الكاتب وحده ولا تمثل وجهة نظر لآية جهة تابعة لمؤسسة أو حكومة.

لقد أدى القلق بشأن النمو السريع لاستهلاك الطاقة، وخاصة تضاعفه في الدول كثيفة السكان، مثل الهند والصين، ونضوب المصادر المصحوب بالآزمات الدورية مع /أو داخل/ بعض البلدان المنتجة للنفط والغاز، وإرتفاع حرارة الأرض الناتج بشكل رئيسي عن زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> بفعل حرق مصادر الطاقة، إلى إثارة مزيد من الاهتمام بهذه القضايا وبالبحث والتطوير لتحسين كفاءة استخدام الطاقة، واستخدام مصادر الطاقة التي لا ينتج عنها غاز CO<sub>2</sub>، وكذلك في إيجاد أساليب لفصل واصطياد هذا الغاز وتخزينه (التخلص منه). ومع أن هذا لم يحدث على المستويات السابقة، فإن الاهتمام بمواضيع الطاقة ودعم البحث والتطوير R&D أخذ بالتزايد، مدفوعاً بالقلق حول أمن الطاقة<sup>(10)</sup>.

## الطاقة المستدامة

يرتبط تطوير الطاقة بشكل متزايد بالقلق العالمي الكبير من الانفجار السكاني، وتلوث كل من الهواء، والمياه العذبة، والشواطئ، وقطع الغابات، وفقدان التنوع البيولوجي، وتدهور المناخ العالمي. وللحيلولة دون أن تستفحل تلك العوامل الهدامة لتوازن العالم، فمن غير الممكن الالتزام بنشاطات واسعة في مجال الطاقة دون التأكد من استدامتها، وذلك حتى في الدول النامية حيث تطفئ أولويات تطوير الطاقة واستخداماتها وتوليد الكهرباء على ما لذلك من انعكاسات سلبية على البيئة والمجتمع وحتى على مصادر الطاقة في حد ذاتها.

ومع وجود العديد من التعاريف، فإنه يمكن هنا وببساطة القول أن النشاطات المستدامة تعني أنها تؤمن الحاجات الحالية دون تهديد إمكانيات الأجيال المستقبلية في الحصول على حاجتها، مع الموازنة بين المتطلبات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

ويستدعي أي جهد يبذل للحفاظ على استمرارية النشاط واستدامتها، الحاجة الفورية لوضع معايير كمية للاستدامة. ففي مجال الطاقة، وعلى سبيل المثال، فإن هذا يذهب أبعد من الطاقة التقليدية أو المؤشرات الاقتصادية مثل الاستهلاك في مجال الانتاج، وكفاءة التمويل والتكلفة. إن مثل هذه المعايير يجب أن تشمل الاعتبارات الاجتماعية والسياسية والايكولوجية (علاقة الكائنات بالبيئة). وذلك على المدى القصير والطويل، والتي يصعب تقييمها كميًا، ويعتمد إنجازها على البلد وحتى على الجماعة التي يتم التقييم عليها.

إن تخطيط وتصميم أنظمة مستدامة يكون أكثر تعقيداً وأصعب من التخطيط والتصميم التقليديين اللذان يأخذان في الاعتبار الدراسات الصعبة للإجراءات المستدامة نتيجة إضافة العديد من العوامل المتداخلة والاحتمالات متعددة الأهداف للاستدامة إلى العمليات المعتمدة بشكل عام للأنظمة النموذجية والتحليل والتحسين والاختيار. وباختصار فإن هذا النظام شديد التعقيد هو موضوع علم الاستدامة، الذي لا يزال في بداياته ويحتاج بشكل سريع إلى تطوير، ويشكل الجهد المبذول من خمس وكالات دولية بداية جيدة لتطوير الخطوط الإرشادية والمناهج الملائمة له (11 و 12).

## ملخص أوضاع الطاقة العالمية لعام 2006

### الاستهلاك الحالي للطاقة وواقع المصادر

ارتفع استهلاك العالم من الطاقة الأولية خلال عام 2005 بمعدل 2.7 % . وهو أقل من معدل النمو في استهلاك الطاقة عام 2004 والذي بلغ 4.4% (الشكل - 1)، وقد سجلت أعلى الزيادات في منطقة آسيا الباسيفيك 5.8 %، وسجل أقلها في أمريكا الشمالية وبشكل ضئيل في كل من الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي، في حين استوعبت الصين أكثر من نصف الزيادة في استهلاك العالم من الطاقة. وفي نفس الوقت، لم يكن هناك أي عجز ملموس في إمدادات كل من الفحم والنفط والغاز (مع بعض الاستثناءات الضئيلة والمحلية). وكما كان متوقفاً فقد تم استدراك ذلك التراجع البسيط الذي حصل في استهلاك العالم من الطاقة عام 2005 في وقت مبكر، نتيجة لأن الدول النامية كثيفة السكان في آسيا سوف تستمر في تحسين مستوى الحياة فيها.

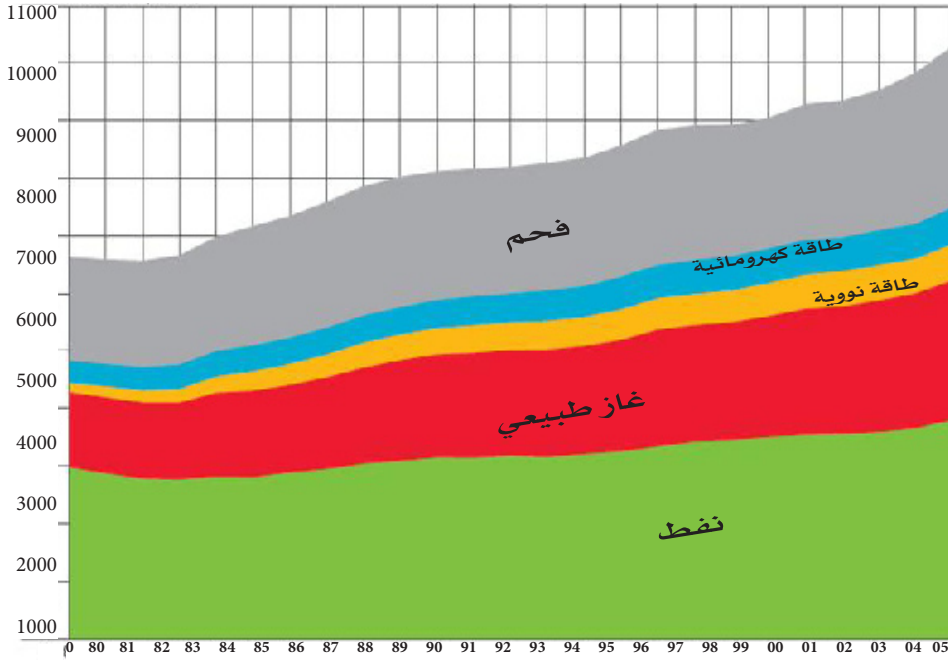
وأثار ارتفاع أسعار النفط في الفترة الأخيرة وبشكل كبير من 28 دولار/ برميل عام 2003 إلى 38 دولار/برميل عام 2005، وإلى أكثر من 70 دولار/ برميل عام 2006 قلقاً كبيراً. وعلى الرغم من أن عام 2005 قد شكل السنة الثالثة على التوالي في زيادة أسعار الطاقة، فإن السعر الحقيقي لبرميل النفط ظل دون مستوى أعلى سعر سجله في بداية الثمانينات. ومن الجدير بالذكر، أن لاقتصاد العالمي قد أثبت لحد الآن، وبشكل يبعث على الدهشة، عدم تأثره بارتفاع أسعار الطاقة، واستمر يحقق نمواً معتبراً على العموم.

تعتبر الطاقة النووية، المصدر الثاني للطاقة غير المتجددة، وهي تستخدم في الأعم الغالب لتوليد الكهرباء، وتنتج نحو 16 % من إجمالي الكهرباء المولدة في العالم<sup>(13)</sup>. وفي الوقت الذي تتزايد فيه كمية الكهرباء المولدة بالطاقة النووية، فإن عدد المفاعلات

لا يزال يتزايد بشكل أبطأ، وذلك عند ما نأخذ في الاعتبار المفاعلات التي توضع على الانتاج وتلك التي يجري استهلاكها. وقد أضيفت خلال السنوات الثلاثة الأخيرة ( 2004-2006 ) أربعة مفاعلات فقط. ومع القلق المتزايد من ارتفاع حرارة الأرض الناتج عن استخدام الوقود الأحفوري. وعلى الرغم من أحداث الخطيرة التي تسببت فيها الطاقة النووية خلال السنوات العشرين الأخيرة، فإن الرأي العام تجاهها أخذ بالتحسن، وشرعت الحكومات الجديدة في القيام بمبادرات (لإطلاق مشاريع بناء مفاعلات نووية جديدة)، لكن القلق القديم نفسه حول الأمان النووي والنفايات النووية، سيظل ماثلاً، بل قد يزداد نتيجة لتفاقم حالة الخوف من التسلح النووي. ويشار من جهة أخرى إلى إن استخدام الطاقات المتجددة أخذ في النمو بسرعة، لكن مساهمته في إجمالي استهلاك العالم من الطاقة الأولية لم تتجاوز عتبة الـ 3% ويستخدم 90% من الطاقات المتجددة في توليد 18% من إجمالي الكهرباء، يأتي 90% منها من الطاقة الكهرومائية.

### الشكل - 1: الاستهلاك العالمي من الطاقة الأولية، 2005<sup>(9)</sup>

(مليون طن مكافئ نفط)



سجل الاستهلاك العالمي من الطاقة الأولية تباطؤاً في النمو في عام 2005، لكنه ظل متجاوزاً متوسط مستواه خلال السنوات العشر الماضية. وسجلت آسيا نحو ثلاثة أرباع النمو العالمي، حيث استحوذت الصين لوحدها على أكثر من نصف تلك الزيادة. وتمكن كل من الغاز الطبيعي والفحم من زيادة حصتهما في المجموع نتيجة لارتفاع سعر النفط، وكذلك الأمر بالنسبة للطاقة النووية والطاقة الكهرومائية.

## الصين والهند نموذجان

حيث أن الصين هي من قاد نمو الاستهلاك العالمي من الطاقة، فيجدر التنويه إلى أن ذلك كان قد بدأ من مستوى منخفض جداً لاستهلاك الفرد فيها، حيث لا يعادل استهلاك الفرد من الكهرباء سوى 1/2 المستوى العالمي، ولا يتجاوز 1/8 استهلاك الفرد في بلدان منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية OECD. ولحد الآن لا يزال الفحم هو المهيمن على قطاع توليد الكهرباء في الصين وبكفاءة منخفضة جداً مقارنة مع العالم. ويقدر العجز المسجل في الصين في الوقت الحالي في الكهرباء بحوالي 35 جيجاواط. ولتدارك هذا الوضع، شرعت الصين في تنفيذ برنامج بالغ الطموح والسرعة لتطوير قطاع الطاقة فيها، إلا أنه ولسوء الحظ سيكون مصحوباً بتأثيرات سلبية بالغة الخطر على البيئة ناجمة عن استعمال الفحم، والأنهار، وتطوير سواحل الوقود والنقل.

وفي واقع الحال، تتعكس سرعة النمو المشهود في طلب الصين على الطاقة في الارتفاع الكبير في معدل نمو استهلاك الطاقة السنوي حيث أنه ارتفع بنسبة 15.3 % خلال الفترة 2002-2004، مقابل 3.4 % فقط خلال فترة 11 سنة (1990 - 2001). وفي نفس الوقت، وبشكل مماثل نما الاستهلاك السنوي من الكهرباء خلال السنوات الثلاث المذكورة، حيث أنه قفز إلى 15.7 % مقابل 8.4 % على امتداد السنوات الاحدى عشر السابقة.

الجدول - 1: التغيرات في قدرات توليد الطاقة الكهربائية في الصين (13)

السنوات	الطاقة جيجاواط (GW)		
	النووية	الكهرومائية	الحرارية
1980	-	20.3	45.6
1985	-	26.4	60.6
1990	-	36.0	101.8
1995	2.1	52.2	162.9
2000	2.1	79.4	237.5
2004	6.0	108.0	325.0

ومن المتوقع أن يحافظ هذا النمو الكبير على زخمه نتيجة لضخامة وطموح برامج التنمية الاقتصادية في الصين حتى عام 2020، والتي تستهدف رفع الناتج القومي أربعة أضعاف، وبمعدل نمو سنوي لا يقل عن 7.2%، حيث يخطط لرفع نصيب الفرد من الناتج القومي من 800 دولار عام 2000 إلى 3000 دولار عام 2020. ويتوقع أن يرتفع عدد السكان من 1.27 مليار نسمة إلى 1.5 مليار نسمة، وتقفز نسبة سكان المدن من 36% إلى 56%<sup>(14)</sup> خلال نفس الفترة.

أما الدولة الثانية كثيفة السكان فهي الهند التي يزداد فيها أيضاً استهلاك الطاقة بشكل سريع، إذ نما خلال الفترة 1980 - 2004 بحوالي 270%، مقارنة مع إجمالي نموه العالمي الذي كان في حدود 57%. وللمقارنة مع الصين، فإن نسبة نمو استهلاك الطاقة في الهند قد سجلت خلال الفترة من 2002 إلى 2004 نحو 11%، وتشير التوقعات إلى أن مستوى الاستهلاك في الهند سينمو سنوياً حتى 2030 بمعدل 3.2% سنوياً، أي بنسبة 1.2% أعلى من معدل نمو الاستهلاك في العالم خلال نفس الفترة.

## طاقة الوقود الأحفوري

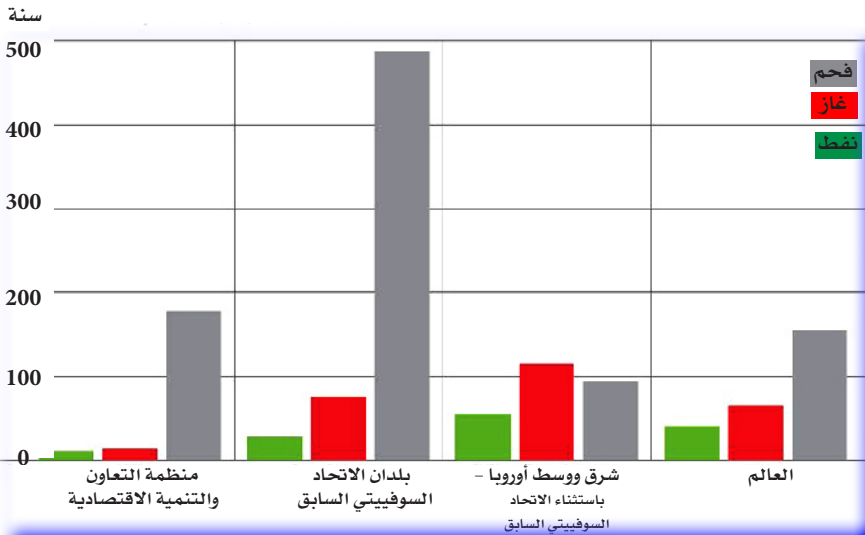
هناك ظاهرة عالمية جديدة بالاهتمام تتلخص في التالي: ففي الوقت الذي يرتفع فيه استهلاك الوقود الأحفوري، يلاحظ بأن هناك ارتفاعاً أيضاً في كميات الاحتياطات المؤكدة منه، حيث ظل (منسوب) معدل الاحتياطي المؤكد إلى الإنتاج أو ما يعرف بـ Reserves/Production ومختصره (R/P) شبه ثابت لعدة عقود ومسارياً 40 عاماً بالنسبة للنفط، و 60 عاماً بالنسبة للغاز الطبيعي، و 150 عاماً بالنسبة للفحم (الشكل-2). ومع أنه لمن الصعوبة بمكان الإحاطة بالتنوع الفعلية لبيانات تلك المصادر، والذي قد يكون أحد أسباب الظاهرة المشار إليها، وهو ليس الوحيد، فقد يكون السبب كامناً في عمليات الاستكشاف والاستفادة من تنامي تحسن أنواع الوقود تماشياً مع زيادة الاستهلاك وارتفاع الأسعار.

يجري نقل الغاز والنفط والفحم بكميات كبيرة، سواء كان ذلك ضمن الإطار المحلي للبلدان، أو على المستوى العالمي باستخدام كافة وسائل النقل، براً وبحراً. ولا شك أن لهذه العمليات تأثيرات إيكولوجية متعددة يمكن التخفيف منها باستخدام التقنيات الأفضل. وتشهد أنظمة نقل الكهرباء هي الأخرى توسعاً سريعاً ومسافات أبعد فأبعد. ومع ذلك فإن الهياكل الأساسية لهذه الأنظمة في معظم البلدان المتطورة باتت متهاكّة ولا يمكن الاعتماد عليها، مما يؤدي ليس فقط إلى هدر كبير للطاقة أثناء النقل في شبكات التوزيع، بل ما ينجم عن ذلك من المخاطر المتعلقة بالأمان في<sup>(15)</sup>.

وأكثر ما يثير القلق هو شح الاعتمادات المقدمة سواء من الحكومات أو من قطاع الصناعة والمخصصة لتحديث وتطوير أنظمة التوزيع الكهربائي تلك، وعلى سبيل المثال، فإن تلك المجالات قد أخذت هذا العام من ميزانية وزارة الطاقة الأمريكية.

لقد أدركت بعض شركات النفط والغاز ببعد نظر أن مشكلة غاز ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> وارتفاع حرارة الأرض يمكنها أن تشكل فرصة عمل لها عندما تقوم ببذل الجهود تمكينا لأفضل أنماط الانتقال باتجاه أنواع من الوقود التي ترفع كفاءة استخدام الطاقة، وتدعم تطوير أنظمة الطاقة المتجددة، علاوة على إنتاج وتوزيع الهيدروجين. وكمثال على ذلك، فقد أبدت شركة ستات أويل النرويجية اهتماما ملحوظا باتخاذ مسألة تطوير تقنية اصطياد وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون كميدان عمل وكسب، وهي تقوم بمعالجة وحقن ذلك الغاز منذ عام 1996 في حقل Sleipner الغازي، ولديها مشاريع أخرى في نفس الاطار أثبتت أن عملية التخزين قد تمت بشكل آمن وفعال<sup>(16)</sup>.

الشكل - 2: معدلات الاحتياطي إلى الانتاج عالمياً في نهاية عام 2005



## الطاقة النووية

بداية ينبغي أن يشار هنا إلى أن الطاقة النووية تنتج مقابل كل وحدة طاقة تولدها حوالي نصف كمية غاز CO<sub>2</sub> التي تنتجها طاقة الرياح، ونحو عشر 1/10 مما تنتجه الخلايا الفوتوفولتية الشمسية PV و30 مرة أقل مما ينتجه استخدام الغاز الطبيعي.

وقد قدر عدد المفاعلات العاملة في شهر حزيران/يونيو 2006 بـ 442 مفاعل يبلغ إجمالي طاقتها المركبة 370 جيغاواط كهرباء (GW(e) (بزيادة 4 مفاعلات عن عام 2002) وهناك 6 مفاعلات خطط لإغلاقها على مدى طويل، في حين يوجد 29 مفاعلاً قيد الانشاء<sup>(13)</sup>.

ومع أن استخدام الطاقة النووية يمكن أن يخفف كثيراً من مشكلة ارتفاع حرارة الأرض (خاصة إذ استخدمت الكهرباء أو الهيدروجين المنتج بالطاقة الكهرومائية في وسائل النقل) إلا أن بعض المشاكل الرئيسية المرافقة لتوليد الكهرباء بالطاقة النووية لا تزال قائمة، ومنها على سبيل المثال أن كمية النفايات الناتجة عن الاستخدام المدني للطاقة النووية في الولايات المتحدة لوحدها تبلغ ما لا يقل عن 250 ألف طن، فيما تعد كمياتها الناتجة عن الاستخدام العسكري، أعلى من ذلك بكثير، وهي تحتوي على ما لا يقل عن 1500 طن من البلوتونيوم، علاوة على حوالي 200 مليون طن من النفايات ضئيلة الاشعاعات الناتجة عن طحن اليورانيوم ومناجم تعدينه. وهناك بلدان عديدة أخرى تمتلك كميات ضخمة من تلك النفايات النووية، ولا يوجد هناك حل على المدى الطويل لتخزينها أو التخلص منها. ويأتي على رأس قائمة مشاكل الطاقة النووية خطر التسلح وانتشار المواد النووية الخطرة التي أصبحت مشكلة بالغة الجدية في العقد الأخير. ولمواجهة بعض من تلك المشاكل، باتت تبذل جهود عالمية لتطوير الجيل الرابع من المفاعلات النووية التي قد تدخل الخدمة في عام 2030، وستكون ذات خصائص وميزات رئيسية مثل أن يكون

❖ سعر كهربائها منافساً للغاز الطبيعي ولا يتعدى 3 سنت/ كيلواط ساعة،

❖ الكلفة الرأسمالية لا تتعدى 1000 دولار/كيلواط

❖ فترة تشييد المفاعل: نحو 3 إلى 4 سنوات

❖ درجة أمان وسلامة مؤكدة للهيئات المشغلة ولعمامة الناس.

وتشمل تلك الخواص والميزات الأمنية قلب المفاعل غير القابل للذوبان في حال التعرض للحوادث، والمبردات التي لا تتفاعل مع الأنابيب الناقلة (التآكل أو تفاعلات كيميائية أخرى)، والتبريد السلبي (مدفوعاً بالطفو الطبيعي للمبردات عوضاً عن استخدام المضخات والمراوح)، وعدم وجود احتمال لوقوع حوادث تتطلب التعامل الطارئ من الخارج/ علاوة على عدم التجاوب مع الخطأ البشري.

كما يمكن أن تعالج مشكلة النفايات النووية باحتسابها جزئياً كبدية لدورة الوقود الكاملة إنطلاقاً من عملية التعدين وحتى سحب المفاعل من الخدمة Decommissioning وذلك من خلال التحلل الكامل لسيل المخلفات وتقليص عمليات إنتاج النفايات. أما مخاطر الانتشار النووي (التسلح) فيمكن تقليصها من خلال الاختيار الملائم للمواد



والتحكم في التسيير وأثناء عملية التشييد. ومع أن هذه الأهداف تبدو إيجابية إلا أن تحقيقها هو من الصعوبة بمكان خلال فترة محددة من دون تكريس استثمارات ضخمة لها، والتي لو تم تأمينها لحدت من الجهود المبذولة في تطوير الطاقات الأخرى. كما يجري حالياً بذل الجهود لإطالة عمر المفاعلات النووية الحالية من 40 إلى 60 سنة.

ونتيجة لتنامي حدة القلق من الاحترار المناخي الناجم عن استخدام الوقود الأحفوري، ونظراً لعدم وقوع حوادث نووية جدية خلال العشرين سنة الأخيرة (منذ حادثة تشيرنوبل)، فإن درجة تقبل الناس للطاقة النووية بدأت تشق طريقها، لكن ذلك لا يزال غير كافٍ حتى الآن، حيث بات الناس يشعرون بأن عليهم أن يختاروا بين تأثيرات غازات الدفيئة والأمطار الحمضية الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري، وبين العواقب الخطيرة للحوادث النووية المحتملة (وذلك على الرغم من أن احتمالاً كهذا أضحي في حكم المستحيل ولا ينال احتمال وقوعه سوى واحد من مليون للمفاعل سنوياً)، وكذلك النفايات النووية والاستخدامات الحربية والإرهابية، وحسب بعض من أصحاب الرأي فإن ذلك الوضع يشبهه "المفاضلة بين الكوليرا والطاعون".

## الطاقات المتجددة

يمكن للطاقات المتجددة أن تمد العالم بأضعاف حاجته المستقبلية من الطاقة، وذلك وفقاً لما هو مبين في الجدول-2، إلا أنه، وباستثناء الطاقة المائية وطاقة الحرارة الجوفية وطاقة الرياح، فإن بقية المصادر تحتاج إلى تطوير كبير حتى تستطيع دخول حلبة المنافسة، وفيما يلي بعض التفاصيل:

الجدول - 2 : استخدام الطاقة المتجددة في العالم (1998) والامكانيات الفنية الكامنة (18)

المصدر	الإمدادات عام 1998 إكساجول/ سنة EJ/Y	الإمكانات الفنية الكافية إكساجول/ سنة EJ/Y
الكتلة الحيوية	10+45	500-200
طاقة الرياح	0.07	70-180
طاقة الشمس	0.06	1500-50000
طاقة المياه	9.3	50
الحرارة الجوفية	1.8	5000
طاقة المحيطات	-	غير محددة

**الطاقة الكهرومائية:** يلاحظ وجود بطء في نمو الطاقة الكهرومائية، وقد يكون الحدث الأكثر بروزاً هي الإضافة القادمة عام 2009 من سد ”الخوانق الثلاثة“ Three – Gorges في الصين، والمقدرة بحوالي 18.2 جيجاواط كهرباء، وغالباً ما تترتب على بناء مثل هذه المشاريع الكهرومائية العملاقة آثار بيئية وإجتماعية وأمنية متنوعة، فعلى سبيل المثال، تشكلت وراء هذا السد بحيرة طولها 600 كيلومتر، أدت إلى ترحيل ملايين البشر، ولا بد من الملاحظة كذلك بأن إقامة مشاريع الطاقة الكهرومائية في المناطق النباتية الحارة تؤدي إلى إنبعاث كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  والميثان  $CH_4$ .

**طاقة حرارة الشمس:** وتشمل التدفئة وتسخين المياه والتوليد الحراري للكهرباء. وكمثال على استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه نذكر المشروع الذي يتم من خلاله تقييم إمكانية إنشاء مجمعات شمسية شاملة للتدفئة وتسخين المياه على أسطح صف من المنازل في مدينة في فيلادلفيا الأمريكية، وهو نوع من الأبنية التي تشكل حوالي 70% من المناطق السكنية في مدن شرق ووسط الولايات المتحدة<sup>(18,19)</sup> ومن المفترض فيه أن يعمل لفترة أطول ما لم تكن أسقف المنازل في حاجة للإصلاح.

الشكل - 3 : ”الصف الشمسي“ صف بيوت جامعة بنسلفانيا، أول بيت مسخن بالطاقة الشمسية في فيلادلفيا - بنسلفانيا - الولايات المتحدة 1976<sup>(19,20)</sup>



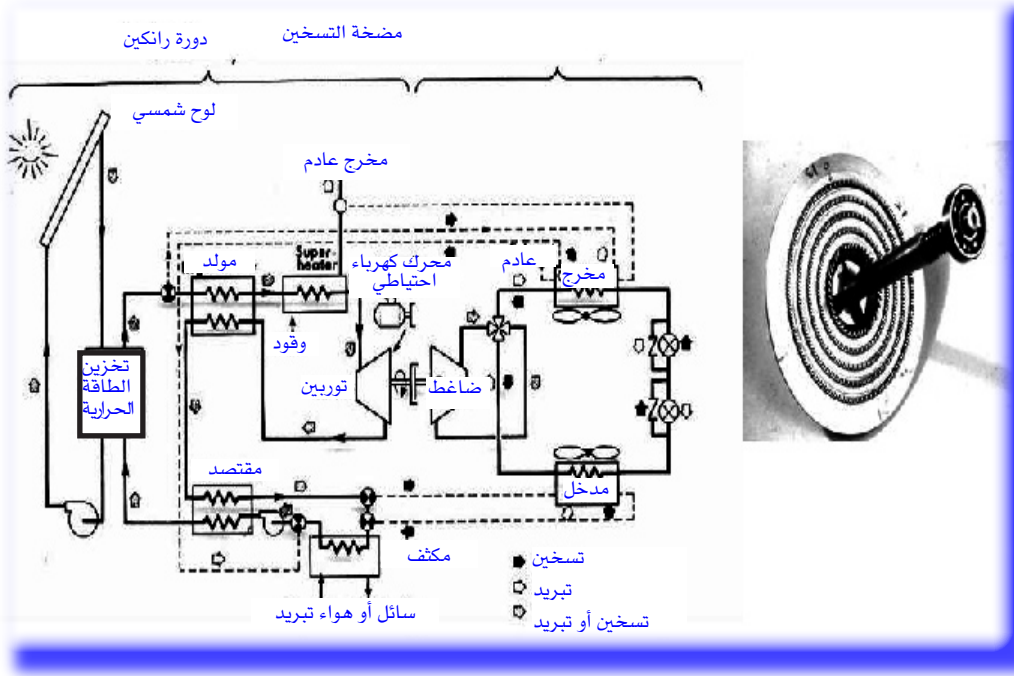
تابع الشكل - 3 : الصف الشمسي لجامعة بنسلفانيا



يحظى توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الحرارية الشمسية بنجاح ملحوظ في المصانع المهجنة (hybrid) العاملة بـ"الوقود الشمسي" الذي يستخدم المركبات الحوضية trough concentrators (التي تم تركيبها في البداية من قبل شركة Luz)، وينتج بطريقة تنافسية نحو 1 جيجاواط كهرباء في كاليفورنيا، بتكلفة بلغت 3000 دولار مقابل كل كيلواط (الشكل - 4). وقد اعتمدت هذه الأنظمة المنهجية على دراستنا النظرية والتجريبية المبكرة (بما فيها تطوير توربين جديد<sup>(21)</sup>) (الشكل - 5) تحت إشراف وزارة الطاقة الأمريكية، والتي دلت على أن زيادة الاستثمارات بمقدار 25 % في الطاقة عالية الحرارة المولدة نتيجة حرق الوقود أو المركبات الحرارية، تضاعف كفاءة توليد الطاقة، مما يؤدي إلى خفض الحاجة إلى المجمعات الشمسية بمقدار النصف بالمقارنة مع الأنظمة التي تعمل على حرارة منخفضة 70-100 درجة مئوية للمجمعات المسطحة في نظامنا، وعند حرارة أعلى (في نظام Luz)، وبالتالي خفض الكلفة الرأسمالية.

ومن الأنظمة الشمسية الحرارية الواعدة نجد هناك نظام البرج الشمسي المركزي، ونظام المحرك Tarabelic dish engine، والذي تم بناء واختبار العديد منها كوحدات بحث وتطوير وعرض. وتنتج هذه الأنظمة حرارة شمسية مرتفعة يمكن مقارنتها مع الغلايات المولدة للبخار أو الغاز العاملة على الوقود الأحفوري أو الطاقة النووية.

الشكل - 4 : محرك رانكين العامل بالبخار المولد من الطاقة الشمسية (SSPRE). نظام مهجن يعمل بالطاقة الشمسية وبمساعدة الوقود مع توربين باستطاعة 30 حصان، طور خصيصا له (21)



الشكل - 5 : حوالي 1000 ميغاواط كهرباء تنتج في صحراء كاليفورنيا وبأسعار تنافسية باستخدام صحن شمسية ، بمساعدة الوقود وبكلفة رأسمالية 3000 دولار/كيلواط



**الخلايا الشمسية - الفوتوفولتية - PV:** تبلغ طاقة الخلايا الشمسية المركبة حالياً حوالي 5000 ميغاواط، وتشهد نمواً كبيراً، حوالي 31 % سنوياً خلال السنوات العشر الأخيرة، ويهدف الاتحاد الأوروبي الوصول إلى 3000 ميغاواط عام 2010، في حين تهدف اليابان الوصول إلى 5000 ميغاواط، ولا يزال السيليكون المتعدد التبلور المادة الأساس في إنتاج الخلايا الشمسية، وبكفاءة حوالي 15 % . وبدأ خيار خلايا الفيلم الرقيق المرن بالظهور، مما قد يجعل تركيب الخلايا أسهل بكثير حتى على السطوح المنحنية. وتوجد برامج بحث وتطوير في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD ، وفي مقدمتها اليابان، كما دخلت السباق حديثاً مختبرات أمريكية، وأعلنت عن تطوير أول خلايا تصل كفاءتها إلى 40.3 % .

إن كلفة أنظمة الخلايا الشمسية باهظة، وتصل إلى 5000 دولار/ كيلوات، ولكن من المتوقع أن تتمكن من إنتاج الكهرباء بكلفة منافسة عام 2020. وقد شهدت كلفة هذه الخلايا ارتفاعاً في أسعارها في الفترة الأخيرة، بسبب حدوث عجز في إمدادات السيليكون المناسب لإنتاجها، إلا أنه من المتوقع أن يتراجع سعرها إلى الكلفة السابقة عند دخول مصانع السيليكون الجديدة مرحلة الانتاج.

**طاقة الرياح:** يعتبر التقدم الذي تم إحرازه في مجال طاقة الرياح نجاحاً، فهي تنتج حالياً 8 جيغاواط كهرباء ومن المتوقع أن يصل إنتاجها على 2014 إلى 29 جيغاواط<sup>(22)</sup>. وهناك برنامج يدعى "قوة الريح 12 (Wind Force-12)" يهدف على مستوى العالم<sup>(22)</sup> تحقيق ما يلي حتى عام 2020:

- ◆ نحو 12 % من الطلب العالمي على الكهرباء، أي ما يساوي 3000 تيراواط ساعة (2020).
- ◆ تركيب 1245030 ميغاواط
- ◆ أشغال سنوية بقيمة 80 مليار يورو
- ◆ 2.3 مليون فرصة عمل
- ◆ توفير تراكمي 10771 مليون طن CO<sub>2</sub>
- ◆ خفض التكلفة إلى 2.4 سنت يورو/كيلواط ساعة وبكلفة تركيب تبلغ 512 يورو/كيلواط

ما فتئت كفاءة أنظمة طاقة الرياح تزداد وتكتسب موثوقية وكبيرا في الحجم بعد أن تم رفع قدرة توربينات التوليد إلى 5 ميغاواط وبقطر حتى 125م وبارتفاع إلى 90م. وهناك إهتمام كبير بتطوير وحدات بحرية. وهناك بعض الاعتراضات على طاقة الرياح، لما تسببه من ضوضاء وضجيج وتأثير على الحياة البرية، ولكن يؤمل مع تطوير



الوحدات الجديدة وتعديل الوحدات الحالية وتحسين المعرفة بمواقع الوحدات، أن تصبح تلك الاعتراضات ثانوية. ويبين الشكل - 6 بعض الأنظمة العاملة على اليابسة أو في المغمورة.

الشكل - 6: طاقة الرياح، توربينات بحرية - الدنمارك (40 ميغاواط)  
أسفل: مزرعة رياح على اليابسة في سنترال فالي كاليفورنيا (630 ميغاواط)



أما العقبات التي تواجه الانتشار الأوسع لطاقة الرياح فهي<sup>(23)</sup>:

↪ اقتصاديات التكنولوجيا: حيث وجد من المنحنى التعليمي **Learning Curve** أن المعدل السنوي لخفض النفقات لتحسين التصميم والإنشاء والتشغيل، يساوي ما بين 15 - 20 %.

↪ حوافز السوق المقدمة من الحكومات لإحلال طاقة الرياح مكان مصادر الطاقة غير المستدامة والملوثة.

↪ كفاءة سوق الكهرباء والشبكات لاستيعاب طاقة الرياح المتقطعة والموزعة

↪ التخطيط والتأثيرات البيئية (الضجيج والمنظر والحياة البرية).

### **طاقة الكتلة الحيوية - البيوماس: مع أن لطاقة الكتلة الحيوية فوائد هامة**

من حيث مساهمتها في أمن الامداد بالوقود (بعض طرق التحويل وكفاءتها وتقديرات كلفتها مدرجة في الجدول - 3)، وإنبعاثات أقل لغازات الدفيئة (مع أن بعض الدراسات الحديثة قد أظهرت أن النباتات أثناء نموها تنفث غاز الميثان<sup>(25)</sup>)، ودعمها للزراعة، إلا أن لها جوانب مثيرة لقلق كبير كما أن لها بعض العقبات، ويشمل ذلك حقيقة أن إنتاج الوقود العضوي وسياساته لم تعتمد على أسس دراسة الكلفة والفائدة من استخدامها على مقياس واسع، وعلى إمتداد كامل لسلسلة الإنتاج، والذي هو حقيقي خاصة فيما يتعلق بالتأثيرات السلبية لإنتاج الطاقة العضوية على الزراعة، فعندما تعظم بعض المنشورات فوائد تحويل الذرة أو غيرها من المحاصيل إلى إيثانول، فعدد من هذه التحليلات تستند إلى مغالطات خاصة عندما لا يأخذ أصحابها في الاعتبار كامل الدورة والنظام<sup>(26)</sup>. وقد يكون الإيثانول المصنوع من السيللوز أفضل إلا أن البرهان النهائي غير متوفر.

ويشمل برنامج البحث والتطوير المقترح لتحقيق تقدم أساسي في استخدام مصادر الكتلة الحيوية<sup>(27)</sup> تطوير ما يلي:

↪ كتلة حيوية جديدة عن طريق تحسين استخدام التربة، واستعمال الفضلات، وإدارة المحاصيل، جنباً إلى جنب مع تعديل طرق المعالجة.

↪ طرق جديدة لزراعة وحصاد الأحياء المائية.

↪ استخدام الجينات والنباتات الجينية (مثل هندسة النباتات والعضويات المجهرية التي يمكن أن تنتج بوليمرات جديدة أو تزيد من الكربون من أجل محتوى كبير من الطاقة).

↪ طرق معالجة جديدة مثل التحويل الأنزيمي لكريوهيدرات الذرة إلى حامض استحلابي بوليلاكتي (PLA) وغيره من البوليمرات، ودمج عملية التركيب الضوئي مع أنزيمات خاصة لخلق بنية صلبة يمكن أن تمتص ضوء الشمس وتثبت الكربون في مادة غنية بالطاقة.

↪ تحسين استخدام الكتلة الحيوية التقليدية (الليغنين - اللحاء - والسيللوز) بتحويلها إلى غاز عضوي بكفاءة أكبر، والتحويل الأنزيمي لليغنوسيللوز إلى إيثانول.

↪ زراعة نباتات مهجنة سريعة النمو.

وتعكس الزيادة الكبيرة في ميزانية وزارة الطاقة الأمريكية لعام 2007 الاهتمام بالطاقة العضوية.

### الجدول - 3 بعض طرق تحويل الكتلة الحيوية (البيوماس) إلى وقود (17,18)

الوقود	الطريقة	الإيثانول من السكر أو المحاصل النشوية	الإيثانول من الكتلة الحيوية الخشبية	الهيدروجين من الكتلة الحيوية الخشبية	الميثانول من الكتلة الحيوية الخشبية	الزيت العضوي من الكتلة الحيوية الخشبية
<b>الفكرة أو الطريقة</b>	الاستخلاص والأسترة	التخمير	• التحلل بالماء • التخمير وإنتاج الكهرياء	التحويل إلى غاز	التحويل إلى غاز	التحلل بالحرارة
<b>الكفاءة الصافية للتمويل إلى طاقة</b>	75% بالاعتماد على كامل الطاقة المدخلة	50% من شمندر السكر 44% من قصب السكر	60 - 70% (على المدى الطويل مصحوباً بتوليد الكهرياء)	55 - 65% (60 - 70% على المدى الطويل)	50 - 60% أكثر من (60) - 70% على المدى الطويل)	70% زيت عضوي خام
<b>معدل الكلفة على المدى القريب</b>	15-25 دولار/ جيغا جول (شمال غرب أوروبا)	15 - 25 دولار جيغاجول من الشمندر السكري و 8 - 10 دولار من قصب السكر	10-15 دولار / جيغا جول	8-10 دولار / جيغا جول	11-13 دولار / جيغا جول	لا تتوفر تقديرات
<b>معدل الكلفة على المدى البعيد</b>	غير متوفر	غير متوفر	6 - 7 دولار / جيغاجول	6 - 8 دولار / جيغاجول	7 - 10 دولار / جيغا جول	غير محدد

### توليد الطاقة الكهربائية في المستقبل - المشكلة وتوجهات الحل المحتملة

تكمن أكبر مشاكل توقعات الطلب على الكهرياء خلال السنوات العشرين القادمة في ضرورة إنشاء طاقات توليد كهربائي مساوية لما تم إنشاؤه في العالم خلال القرن العشرين<sup>(2)</sup>، وهذا يعني بالمعدل تشغيل محطة توليد بطاقة 1000 ميغاواط كل 3 أيام ونصف اليوم على مدى السنوات العشرين القادم. وحتى يمكن الحد من الآثار السلبية



لهذه الزيادة الكبيرة فإنه لا بد من إنشائها بشكل مستدام.

ونظراً لوفرتة في معظم الدول المستهلكة للطاقة، مثل الصين والولايات المتحدة الأمريكية وجزء من أوروبا والهند وأستراليا، فسيكون الفحم - وبشكل متزايد - الوقود المستخدم في تلك المحطات، ويمكن استخدام جزء منه بعد تحويله إلى غاز أو وقود سائل. وسيحتاج التوسع في استخدام الفحم، إلى ضوابط بالغة الصرامة فيما يتصل بانبعاثات غازات الدفيئة وبغيرها من مشاكل إيكولوجية واجتماعية تصاحب عادة اقتصاديات الفحم. ويمكن أن تكون محطات الدورة المركبة الغازية IGCC قليلة الانبعاثات، مع الفصل المتزايد لغاز ثاني أكسيد الكربون، موضوع الاهتمام الرئيسي. وفي حال استخدام الوقود الأحفوري، ستكون محطات الدورة المركبة مرغوب فيها إذ تصل كفاءتها حالياً إلى 60 %، وينتج عنها انبعاثات أقل مما تنفثه المحطات الأخرى العاملة بالغاز الطبيعي، وكلفتها باتت معقولة ويمكن أن تستمر في التراجع مع استمرار التطور التكنولوجي.

وبالنسبة لمحطات الكهرباء النووية، وعلى الرغم من مشاكل تخزين نفاياتها التي لا تزال بلا حل، وكذلك مخاطر الانتشار النووي وإلى حد ما مسألة الأمان والسلامة، فقد يتم اللجوء إلى خيار بنائها، لتلبية احتياجات خاصة، كأن تتبنى هذا الخيار البلدان التي قد يكون حصولها على اليورانيوم أسهل عليها وأفضل لها من الحصول على الوقود الأحفوري. وينبغي أن نكون على علم بأن كميات اليورانيوم في العالم ليست بكافية مطلقاً لتلبية الطلب العالمي على الطاقة باستخدام خيار الطاقة النووية، وهذا الوضع لا يمكن تغييره إلا في حال تم استخدام ما يعرف بـ "المفاعلات الحاضنة Breeder reactors" إذ تعتبر تقنياتها على أية حال مأمونة وناضجة بشكل كاف، لكن ذلك لا يتوقع له أن يحدث خلال العقدين القادمين.

أما توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح فسينتشر بشكل واسع وسريع، إلا أنه سيكون محصوراً في المناطق التي تكون فيها الرياح ملائمة اقتصادياً، كما سيكون محدوداً بمدى ونوعية شبكات توزيع الكهرباء. أما توليد الخلايا الشمسية الفوتوفولتية، فسوف يستمر في زيادة كفاءته وفي تراجع أسعاره، وسوف يستخدم في العديد من الميادين، لكن كلفته ستظل أعلى بثلاث إلى خمس أضعاف من كلفة الطاقة المولدة بأساليب أخرى، وهي محددة كذلك بسعة ونوعية شبكة توزيع الكهرباء بل وحتى بوفرة مواد التصنيع التي قد لا تكون في المتناول خلال العقد القادم.

ومن ثمة، ينبغي أن يستمر التحسين والتطوير التكنولوجي لتوزيع وتخزين الكهرباء، فهذه الأمور أضحّت مطلوبة لتكييف تغيرات الطلب مع الكهرباء المولدة بالوقود

التقليدي غير المتجدد، وستكتسي هذه القضية أهمية كبرى في حال استخدام المصادر المتجددة المنقطعة مثل الشمس والرياح. كما يتعين كذلك الاستمرار في تطوير تقنيات النواقل الفائقة superconductors لتصبح قابلة للتداول التجاري ومقدور عليها، حيث أنها تتمتع بإمكانية كبيرة لزيادة كفاءة الأنظمة الكهربائية وتسمح بنقل التيار بأسعار اقتصادية لمسافات أطول، وذلك من المناطق الغنية بالطاقة إلى المناطق التي تحتاجها.

## خلايا الوقود والهيدروجين

يشهد تطوير خلايا الوقود، بتشجيع من حكومات البلدان الصناعية على وجه الخصوص، نشاطاً حثيثاً يهدف في المقام الأول إلى جعل الهيدروجين وقوداً لوسائط النقل، ويسعى في المقام الثاني لاستخدامه وقوداً للمحطات الكهربائية الضخمة. وهناك قضايا تقنية متعددة تحتاج إلى حلول قبل أن تتمكن خلايا الوقود من اختراق السوق، فالكلفة يجب أن تتخفف بشكل كبير، ويتعين القيام بأعمال بحث وتطوير على نطاق واسع، ولكن ينبغي أن يكون ذلك متوازناً مع الدعم المطلوب لتحسين محركات الاحتراق الداخلي والخارجي، بما لا يقل عن ذلك أهمية، خاصة وأنها قد حققت حتى الآن وفي بعض الحالات كفاءة أعلى من خلايا الوقود وبكلفة أقل بكثير.

يعتبر الهيدروجين المنتج من الفحم الهدف الرئيسي من برنامج الوقود لوزارة الطاقة الأمريكية، وموضوعه الرئيسي تطوير طريقة لإنتاج الهيدروجين من الفحم بكلفة منافسة لما يعادله من النفط الخام، عندما يتم إدماج إنتاجه مع أنظمة توليد الكهرباء العاملة بالفحم<sup>(28)</sup>. وتشهد عملية تطوير الهيدروجين كحامل للطاقة نشاطاً حثيثاً في دول صناعية أخرى. وعلى الرغم من فوائد استخدام الهيدروجين، لانعدام أية انبعاثات ضارة منه، والمشاريع المعلنة لتطويره، إلا أن الرأي الغالب للأوساط العلمية تجاه الاستخدام الواسع للهيدروجين كوقود في المستقبل القريب، يميل للتشكيك في ذلك، نظراً لكميات الطاقة الكبيرة التي تحتاجها عمليات إنتاجه، وقضايا الأمان والتخزين والتوزيع.

## المنظومات الصغرى للطاقة<sup>(29-34)</sup> Micro power systems

يوجد هناك اهتمام كبير ببناء واستخدام أنظمة صغرى لتوليد الطاقة لاستخدامات مختلفة تتراوح بين الاستخدامات العسكرية والطبية. وتحتوي مثل هذه الأنظمة على دورات طاقة حرارية مصغرة (miniaturized)، وعلى أنظمة تحويل تشمل خلايا الوقود<sup>(35)</sup>، وذلك لتحل محل البطاريات في عمليات طويلة زماً وفي أجهزة خفيفة الوزن صغيرة الحجم، وحيث أن الطاقة المنتجة من جهاز كهذا هي في حدود مللي واط في أحسن الأحوال، فإنه يبدو للوهلة الأولى بأنها لن تستخدم لإنتاج جزء مهم من إجمالي

الطاقة المطلوبة، ولكن علينا أن نتذكر بأن أجهزة الكمبيوتر منخفضة الطاقة بات استخدامها يزداد، مثلها مثل غيرها من الأدوات الكهربائية، بما في ذلك تطبيقاتها في السيارات وفي البيوت، وأصبحت تشكل حالياً طاقة حسابية تتجاوز الطاقة الإجمالية للكمبيوترات الشخصية، والمكتبية، والكمبيوترات العملاقة.

وتتطلب مولدات الطاقة الصغرى إجراء عمليات بحث وتطوير بالغة الأهمية، علاوة على تحديات جمة في بنائها، وكثير منها ذو صلة بشدة تعقيد تدفق تيار الكهرباء ونقلها وما ينجم عن ذلك من ظواهر ديناميكية حرارية. وتجنّب فوائد ضخمة من هذه المولدات الصغيرة التي غدا كثر من تطبيقاتها معروف وبعض منها لا زال مجهولاً، وذلك أمر يجعل من مواجهة تلك التحديات ومن تطويرها والتغلب عليها أمراً يستحق العناء.

تختلف الأجهزة الموصوفة أعلاه عما يعرف في الصناعة باسم "التوربينات الدقيقة (Microturbines) أو التوربينات الشخصية "Personal Turbines" الصغيرة نسبياً مقارنة مع الأنظمة التقليدية، مثل حجم الثلاجات المنزلية بطاقة 30 - 100 كيلوات كهرباء التي تعمل على الغاز أو النفط أو الغاز العضوي بكفاءة 30 % على الأكثر، وتطلق انبعاثات من أكاسيد النيتروجين  $No_x$  وأول أكسيد الكربون CO أقل من 10 أجزاء بالمليون، والتي يتزايد عرضها في الأسواق لغرض توليد الكهرباء للاستخدامات المنزلية والتجارية<sup>(36)</sup>. وتشير الدراسات المتعلقة بتكثيف هذه التوربينات الدقيقة مع خلايا الوقود الأكسيدي الجاف Solid Oxide Fuel Cells إلى إمكانية الوصول بكفاءتها إلى 60 %<sup>(37-39)</sup>.

### الكهرباء من الفضاء الخارجي: أي بديل للمستقبل؟<sup>(40.41)</sup>

يمكن إنتاج الكهرباء في الفضاء الخارجي لاستهلاكها على الأرض باستخدام عدد من مصادر الطاقة بما فيها الشمسية والنووية والكيماوية، ويمكن نقل الكهرباء المولدة إلى الأرض بعدد من الوسائل بما فيها النقل عن طريق الموجات المجهريّة (ميكرويف)، أو أشعة الليزر، أو تصنيع وقود في الموقع يسهل نقله حتى يتم تحويله بطرق تحويل الطاقة الكهروكيميائية أو بالاشتعال. وهذه طريقة بالغة التعقيد، إلا أنه، وبالنظر لارتفاع الطلب على الطاقة وتناقص الرقاع الأرضية الملائمة لإنشاء محطات توليد الطاقة، وتزايد مخاطر التأثيرات البيئية الناجمة عن توليد الطاقة، فإن استخدام الفضاء الخارجي لتوليد الكهرباء يبدو واعداً وقد لا تكون هناك مندوحة عنه على المدى البعيد، وذلك لأنه:

← يسمح بأعلى كفاءة لتحويل الطاقة، ويقدم أفضل الإمكانيات لتصريف الحرارة، ويسمح بالاستخدام الأعظمي للمصدر إذا كانت الشمس هي المصدر، ويجنب الأرض الآثار السلبية لتوليد الكهرباء.

← إنه أمر ممكن، من الناحية التقنية وإن كلفة إطلاق المحطة إلى الفضاء ووسائل نقل الطاقة أخذه بالتقلص نتيجة للاستخدامات الأخرى لنتائج الرحلات الفضائية ولاسيما ما يتعلق بالاتصالات.

ومن الناحية المبدئية يمكن القول بأن التكنولوجيا الضرورية لتنفيذ مثل تلك الأنظمة غدت متوفرة، لكن العقبة الرئيسية تكمن في الكلفة الباهظة للمحطة المدارية، وفي ظل الظروف الحالية، أصبح الأمر يتطلب خفض جميع التكاليف بدرجة كبيرة جداً. فمثلاً ينبغي خفض كلفة النقل إلى المدار الخارجي على الأقل مئة مرة، لتصبح أقل من 200 دولار/ كيلوغرام، حتى يكون الأمر مجدياً اقتصادياً. ولا بد من الإشارة هنا إلى أن أي مقارنة إقتصادية ينبغي أن تتم على أسس متساوية: أي أن تؤخذ بالاعتبار كافة تكاليف توليد الكهرباء بما فيها، وبشكل خاص، تكاليف الآثار البيئية، ونضوب المصادر والطاقة المحتواة فيها، كما أن هناك أموراً أخرى لا بد من حلها. وبعضها ذو طبيعة عامة، مثل الآثار البيئية والأمان في حال الطاقة النووية، وتحقيق تحويل الطاقة بمعدلات مرتفعة وكفاءة نقل عالية.

ومع أن أقمار الطاقة الشمسية تبدو الخيار الطبيعي الذي أشبع بحثاً، إلا أن معظم الدراسات تشير إلى أن حظها في النجاح قليل لأسباب اقتصادية في الوضع التقني الحالي، مما يجعلها في أضعف مرتبة من استخدام منظومات فضائية للمفاعلات النووية. ومن أهم التحسينات المطلوبة، رفع الكفاءة، وتخفيض الوزن والكلفة. إن الحاجة كبيرة للبحث والتطوير للتغلب على تلك العقبات، ومن المواضيع التي تحظى بالأولوية:

- 1 - عمليات الدفع التبادلي alternate propulsion processes التي تتطلب طاقة أقل، وتنتج كميات أقل من الانبعاثات غير المستحبة، وذات طاقة خاصة أكبر.
- 2 - توفر مركبات فضائية غير مأهولة وقابلة للاستعمال عدة مرات.
- 3 - إقامة مصانع آلية "مروبوطة robotized" أي يكون عمالها روبوطات آلية للتصنيع والتشغيل.
- 4 - أنظمة جديدة لتحويل الطاقة الساكنة تكون كفاءتها أعلى من تلك المتوفرة حالياً والتي تبلغ كفاءتها ما بين 6 - 10 % فقط.
- 5 - أنظمة متطورة لتمويل الطاقة الديناميكية والتي تستفيد بشكل أكبر من المصارف الحرارية في الفضاء.

6 - كفاءة تحويل الطاقة الخارجية الشمسية إلى كهرباء

7 - كفاءة أعلى لنقل الطاقة

8 - تأثيرات النقل إلى الفضاء الخارجي وتأثيرات نقل الطاقة على الغلاف الجوي

9 - سلامة الإطلاق

10 - سلامة المفاعلات النووية في الفضاء

وتجدر الإشارة إلى أن العديد من هذه الأهداف يحظى بأهمية كبيرة حتى ولو كان ذلك لاعتبارات أرضية. ونظراً للعقبات الكبيرة الناتجة عن كلفة النقل إلى الفضاء، فقد تم اقتراح المفاعلات الحاضنة breeder Reactors، ولا بد من أن تدرس وتطور بحرص شديد. ووفقاً لهذه الأطروحة يتم "تصعيد" كميات صغيرة من المواد إلى الفضاء لبناء المنشأة النهائية الكبيرة باستخدام ما يتوفر من المواد والطاقة في الفضاء. وغالباً ما يعتبر القمر مصدراً لمواد بناء محطات الطاقة تلك بل وقاعدة لها.

من الواضح أن أي تطوير لطاقة الفضاء يتعين أن يكون موضع اتفاقيات عادلة سياسية دولية. وسوف يتطلب توليد الطاقة المستقبلية في الفضاء الخارجي للاستهلاك الأرضي موارد ضخمة وزمناً طويلاً، وتعاوناً دولياً مناسباً. وقد تم اقتراح برنامج تدريجي<sup>(40)</sup> لذلك، يبدأ بتطوير العناصر المركبة لأنظمة على مقياس أصغر، يمكن أن ينتج عنه ليس فقط خبرة تقنية ولكن ثقة أكبر وقبول أفضل لدى الناس، وبعد ذلك يجري بناء وحدات أكبر.

قد يكون من أكثر الأمور أهمية التغير في النظر إلى أن الطاقة الفضائية يمكن أن تؤدي إلى أن تصبح الأرض منظومة أقل انغلاقاً وعزلة، وهنا لا بد من التأكيد على ضرورة تفعيل العمل الوطني والدولي في هذا الموضوع حتى تتمكن البشرية من الاستمرار في الحصول على الطاقة التي تحتاجها فعلاً لسعادتها ولاستمراريتها.

## الاعتمادات الحالية للبحث والتطوير والتوجهات

لا يزال تفحص أهداف الحكومات والمؤسسات وميزانياتها من الأمور صعبة التحقيق، إلا أن إلقاء نظرة تقريبية على الاعتمادات (الميزانيات) الحالية يساعد في الوصول إلى بعض الاستنتاجات حول توجهات الالتزامات الحكومية ومدى ملاءمتها للمشاكل الآنية.

سوف يظل إجمالي ميزانية وزارة الطاقة الأمريكية المخصصة للبحث والتطوير في مجال الطاقة لعام 2007، مماثلاً لمستوياته لعام 2006، والمقدرة بحوالي 2.5 مليار دولار أمريكي، مع احتمال إضافة مليار دولار إضافي في مجال العلوم الأساسية للطاقة، وبالتالي فإن الإجمالي سوف يتراوح ما بين 3.5 و 4.0 مليار دولار. أما برنامج اليابان، فيزيد عن 2.5 مليار دولار (ثلاثة أرباعها مخصص لأنشطة الانشطار والاندماج النوويين). أما البرنامج الاطاري السادس للاتحاد الأوروبي (2002 – 2006) فخصص سنوياً 0.7 مليار دولار (منها 0.16 مليار دولار لأنظمة الطاقة المستدامة، و 0.12 مليار دولار للنقل البري المستدام، و 0.14 مليار دولار للتغير الإيكولوجي العالمي، و 0.26 مليار دولار للبحث النووي في مركز البحث الذري الأوروبي يورواتوم (Euroatom). وتجدر الإشارة إلى أن لكل دولة أوروبية اعتماداتها الخاصة للبحث والتطوير في مجال الطاقة، والتي تتجاوز بمجموعها ميزانية الاتحاد الأوروبي لهذا الغرض.

وخارج حصة بحث وتطوير الطاقة في وزارة الطاقة الأمريكية، نجد بأن نحو نصف تلك الاعتمادات قد خصص لبرامج كفاءة الطاقة والطاقة المتجددة، وحوالي الربع لكل من الوقود والأحفوري والطاقة النووية. ومما تجدر الإشارة إليه، وعلى الرغم من رفض الإدارة الأمريكية التوقيع على بروتوكول كيوتو لعام 1997، فإنها قد وضعت نصب عينيها تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 18 % حتى عام 2012 .

وتقدر قيمة الاستهلاك السنوي للطاقة الأولية، بحوالي 3832 مليار دولار، بسعر يبلغ نحو 50 برميل دولار للبرميل مكافئ نفط، في حين أن ما يتم تخصيصه عالمياً من اعتمادات لبحوث الطاقة لا تتجاوز 14 مليار دولار أي حوالي 0.35 % من إجمالي القيمة المشار إليها. وبالنظر إلى الأهمية الحيوية للطاقة وتأثيراتها فإن هذا المبلغ يبدو جد ضئيل للتمكن من الوصول إلى تطوير الطاقة المستدامة واستخدامها .

## الامكانيات الكامنة للطاقة المتجددة في البلدان العربية؛ نموذجان من البحرين والسعودية

### البحرين

#### • معلومات تمهيدية

فيما يلي بعض بيانات تقدير الامكانيات الكامنة للطاقة المتجددة في البحرين وانعكاساتها:

- **الموقع الجغرافي:** 26 درجة شمال خط الاستواء و 50 درجة شرق غرينتش

- **المساحة:** 665 كيلومتر مربع
- **طول الساحل:** 161 كيلو متر
- **طبيعة الأرض:** صحراء مستوية منخفضة ترتفع قليلاً إلى هضبة منخفضة في الوسط.
- **استخدام الأرض:** الأرض الصالحة للزراعة 2.82 %، الأرض المزروعة 40 كم<sup>2</sup> عام 2003.
- **الطرق:** الاجمالي 3498 كيلو متر
- **عدد السكان:** 698585 نسمة، منهم 235108 وافد (يوليو 2006).

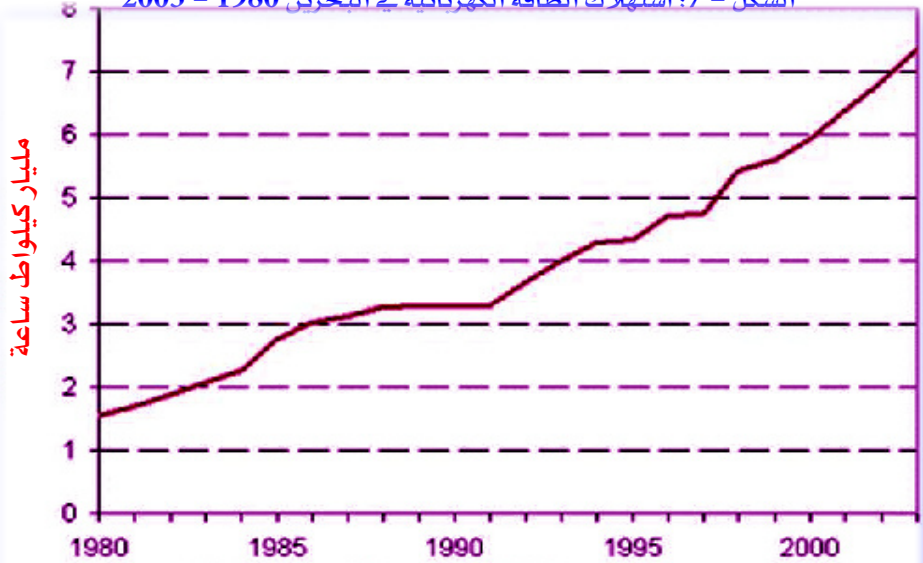
يشكل إنتاج البترول وتكريره حوالي 60 % من عائدات صادرات البحرين وهو ما يعادل 60 % من عائدات الدولة، و 30 % من إجمالي الدخل القومي. وبالنظر لبلوغ منشآت الاتصال والنقل درجة عالية من التطور، غدت البحرين مقراً للعديد من المؤسسات متعددة الجنسيات الناشطة في الخليج، وتشكل صادرات المشتقات المكررة من البترول الخام المستورد الحصة العظمى في صادرات البلد. ويبلغ الدخل القومي (بمعادل القوة الشرائية، تقديرات 2005)، 15.83 مليار دولار، أي 23000 دولار للفرد بمعدل نمو سنوي حقيقي 5.9 % وتمثل الزراعة نسبة 0.5 % من الدخل القومي، والصناعة 38.7 %، والخدمات 60.8 % . أما معدل نمو الانتاج الصناعي فهو 2 % (تقديرات عام 2000). وبلغ انتاج الكهرباء في عام 2003 حوالي 7.345 مليار كيلواط ساعة، في حين بلغ الاستهلاك 6.83 مليار كيلواط ساعة، وهو كما يبين في الشكل - 7 معدل نمو هائل.

قدر انتاج النفط في البحرين عام 2005 بحوالي 188300 برميل / يوم (بما فيها 150000 برميل / يوم يتم استيرادها من حقل أبو سعفة البحري السعودي). أما الاستهلاك فقد قدر عام 2003 بحوالي 26000 برميل / يوم، أما الاحتياطي المؤكد فيقدر بحوالي 124 مليون برميل (عام 2005). ويبين الشكل - 8 تطور الانتاج والاستهلاك، ويشير إلى نمو الاستهلاك في حين يتراجع الانتاج ببطء، مما يقلل من إمكانيات التصدير.

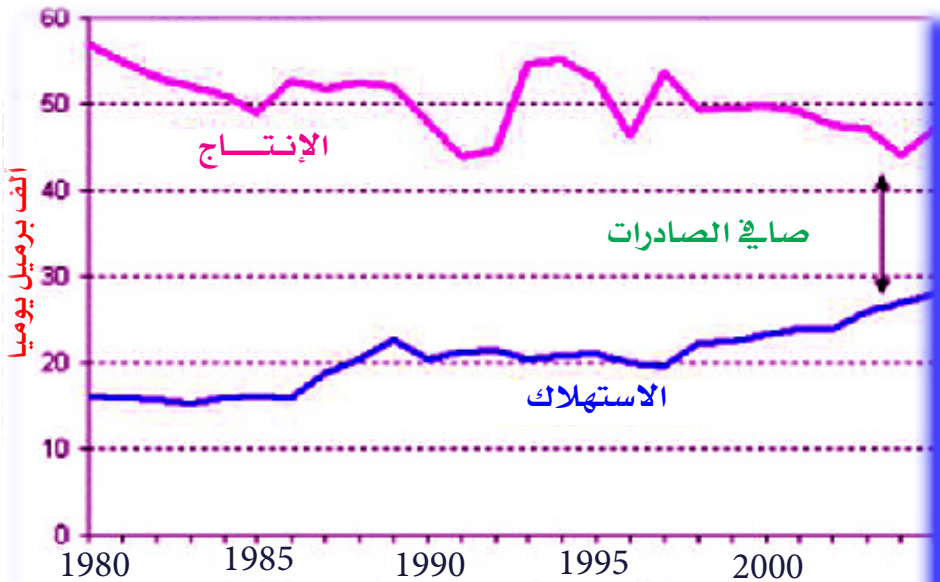
أما إنتاج الغاز فقد بلغ عام 2003 حوالي 9.65 مليار متر مكعب / استهلك بكامله محلياً، في حين أن الاحتياطيات المؤكدة منه قدرت بحوالي 92.03 مليار متر مكعب (عام 2005)، ويبين الجدول - 9 النمو المتسارع للاستهلاك والحاجة إلى زيادة الانتاج.



الشكل - 7: استهلاك الطاقة الكهربائية في البحرين 1980 - 2003



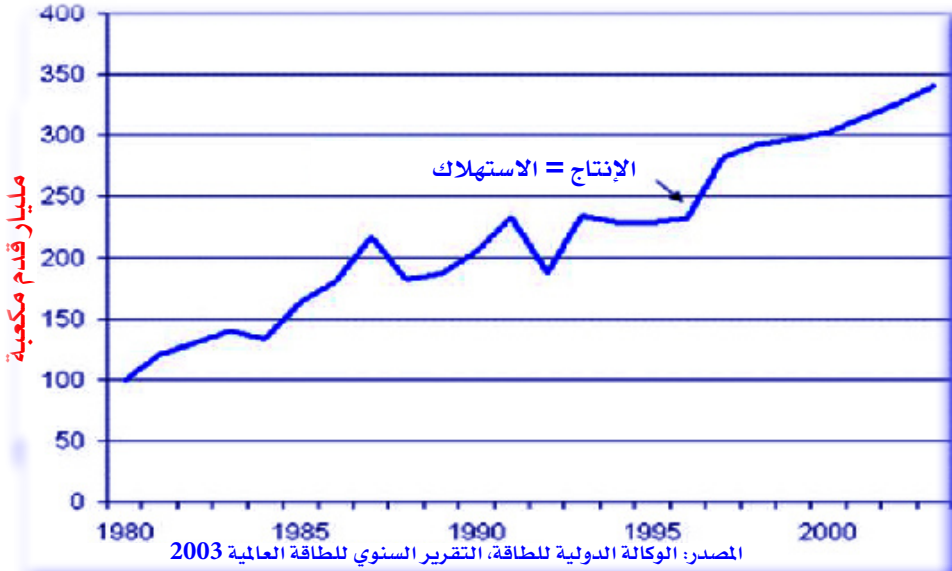
المصدر: الوكالة الدولية للطاقة، التقرير السنوي للطاقة العالمية 2003



المصدر: الوكالة الدولية للطاقة، التقرير السنوي للطاقة العالمية 2003 (تقديرات)



الشكل - 9: إنتاج واستهلاك البحرين من الغاز الطبيعي (1980 - 2003)



## المملكة العربية السعودية

### - معلومات تمهيدية

فيما يلي بعض البيانات ذات الصلة بتقدير الامكانيات الكامنة للطاقة المتجددة وانعكاساتها (تأثيراتها) في المملكة العربية السعودية:-

- الموقع الجغرافي: 25 درجة شمال خط الاستواء، و 45 درجة شرق غرينتش.
- المساحة: 1960582، وحتى 2240000 كم<sup>2</sup> حسب بعض التقديرات.
- طول السواحل: 2640 كيلومتر.
- طبيعة الأرض: صحراء رملية، معظمها غير مأهول.
- استخدام الأرض: 1.67 % أراضي زراعية، 0.09 % محاصيل دائمة.
- إجمالي الطرق: 152044 كيلو متر.
- عدد السكان: 27019731 نسمة منهم 5576076 وافد (يوليو 2006).

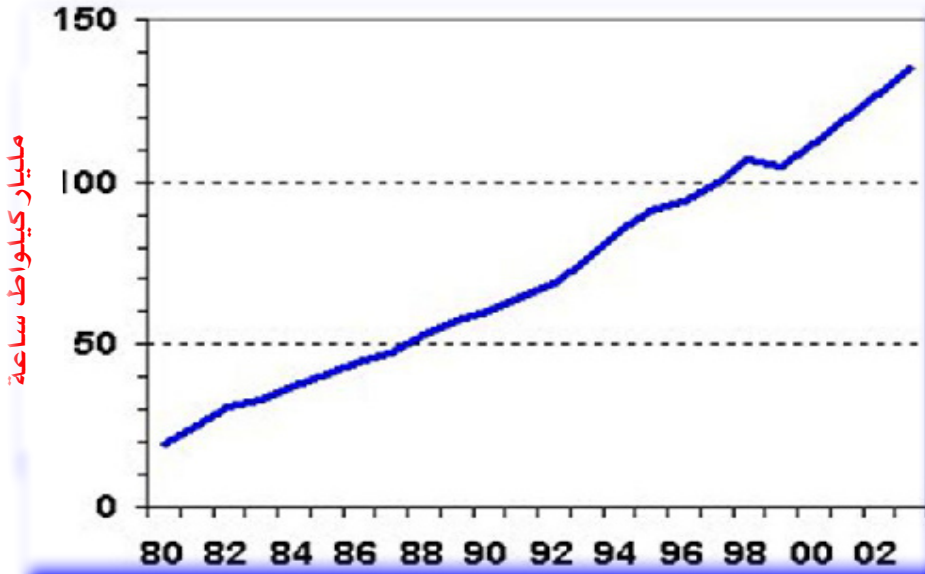
يعتمد الاقتصاد السعودي على النفط، حيث تبلغ حصة قطاع البترول في عائدات

الميزانية 75 %، وفي الناتج القومي الاجمالي 45 %، كما يشكل 90 % من إجمالي قيمة الصادرات، ومع ارتفاع أسعار النفط توفر فائض في الميزانية، مما سمح للحكومة بزيادة الانفاق على التدريب والتعليم وتطوير البنية التحتية ورواتب موظفي الدولة.

قدر إجمالي الناتج القومي عام 2005 بحوالي 538 مليار دولار، أي ما يعادل 12000 دولار/ للفرد الواحد، وبمعدل نمو سنوي حقيقي قدره 6.1 % . ويساهم القطاع الزراعي بنسبة 3.3 % من إجمالي الناتج القومي، والقطاع الصناعي بنسبة 35.4 % (بمعدل نمو 5.1 % عام 2000)، وقطاع الخدمات بنسبة 61.3 %.

بلغ إجمالي إنتاج الكهرباء عام 2003 حوالي 145.1 مليار كيلواط ساعة، في حين بلغ الاستهلاك الذي يشهد نمواً متصاعداً 734.9 مليار كيلواط ساعة، وهو ما يوضحه الشكل - 10:

الشكل - 10: استهلاك الطاقة الكهربائية في السعودية 1980 - 2003

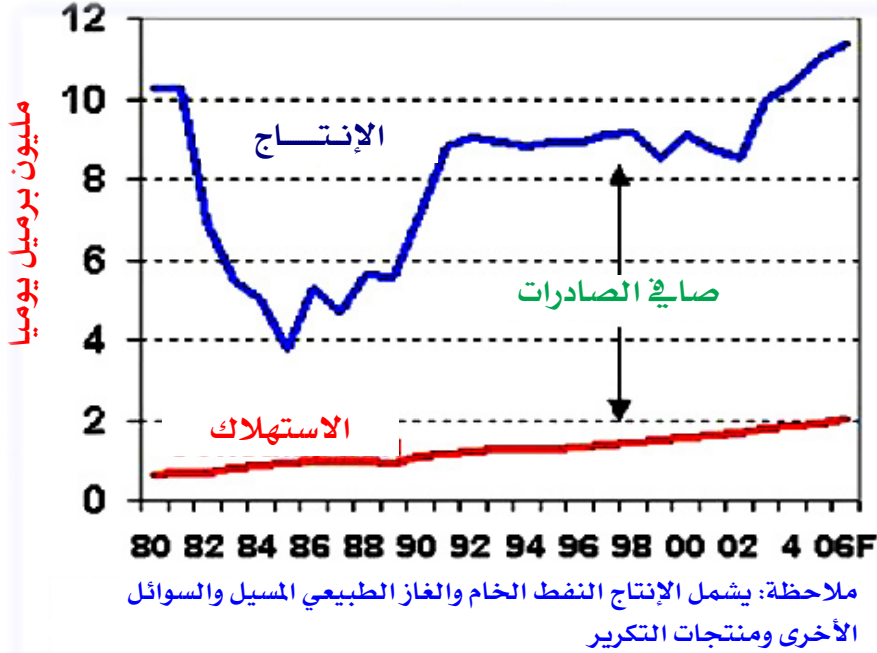


المصدر: وكالة الطاقة الدولية.

قدر إنتاج المملكة من النفط عام 2005 بحوالي 9.475 م. ب/ي، في حين بلغ الاستهلاك عام 2003 حوالي 1.775 م. ب/ي، وقدر الاحتياطي المؤكد من النفط عام 2005 بحوالي 262.7 مليار برميل، وبين الشكل - 11 أن الاستهلاك ينمو بمعدلات شبه ثابتة، في حين زاد الانتاج في السنوات الأخيرة بشكل سريع، مما سمح بزيادة

الصادرات. أما إنتاج الغاز الطبيعي فقد قدر عام 2003 بحوالي 60.06 مليار متر مكعب، استهلك محليا بكامله، في حين قدرت إحتياطياته عام 2005 بحوالي 6.544 تريليون متر مكعب. وذلك ما يبينه الشكل - 11:

الشكل - 11: إنتاج واستهلاك النفط والغاز الطبيعي في السعودية 1980 - 2003



المصدر: وكالة الطاقة الدولية.

## الامكانيات الكامنة للطاقة المتجددة في البحرين والسعودية

إعتادا على المراجع (من 42 إلى 48)، يبين الجدول - 4 المعلومات الأساسية وتقديراتنا التقريبية للامكانيات الكامنة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح في هذين البلدين. ولتكيف تلك البيانات مع حجم السكان، ويظهر الجدول - 5 البيانات الأولية مثله في ذلك مثل تقديراتنا التقريبية لنصيب أو إمكانية الفرد الواحد من طاقتي الرياح والشمس بالنسبة للبلدين . ويساعد هذا في تقدير الامكانيات بالنسبة لعدد السكان في المستقبل، وتجدر الاشارة إلى أن كفاءة التحويل المفترضة لكلا المصدرين قد يكون مبالغا فيها قليلا بالنسبة للوحدات المسوقة حاليا، ولكن يمكن الوصول إليها عندما يتم إنشاء تلك الوحدات والذي قد يستغرق ما بين 5 إلى 10 سنوات من الآن. كذلك تجدر الاشارة إلى أن الأراضي غير المستعملة هي التي أخذت في هذه

التقديرات، والتي يمكن في الحقيقة أن تشهد زيادة كبيرة في حال استخدام منشآت بحرية لطاقة الرياح والطاقة الشمسية.

تشير النتائج إلى عدم توفر مساحات كافية في البحرين لتلبية كافة احتياجات البلاد من الطاقة إلا أن 1/12 من مساحتها يكفي لتلبية احتياجاتها من الكهرباء إذا استخدمت الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء، و 1/24 من المساحة إذا استخدمت طاقة الرياح.

أما في السعودية فيكفي 3.5 % من المساحة غير المستعملة لتأمين كامل استهلاكها من الطاقة، و فقط 0.032 % لإمدادها بحاجاتها من الطلب الحالي على الكهرباء في حال استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء، و 0.024 % من المساحة غير المستعملة في حال استخدام طاقة الرياح لهذا الغرض.

وفي حال استخدام كامل المساحة غير المستعملة، فإن استخدام الطاقة الشمسية سيتيح للمملكة إمداد 28 ضعفاً من عدد سكانها بكامل احتياجاتهم من الطاقة، أي ما يساوي 764 مليون نسمة، أما إذا اقتصر الأمر على إستهلاك الكهرباء فستكفي لإمداد 3088 ضعفاً من عدد السكان الحالي. وفي حال استخدام الرياح فإن السعودية ستتمكن من تزويد 4240 ضعفاً من سكانها الحاليين بكامل احتياجاتهم من الكهرباء. وتعود هذه الإمكانيات إلى المساحة الكبيرة بالنسبة لعدد السكان، وإلى الإمكانيات الكبيرة المتوفرة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وإلى الاستهلاك المنخفض نسبياً من الطاقة. ومما يبارك في إمكانيات هذين البلدين ، وبلدان عديدة أخرى، وفرة مصادر الطاقة المتجددة والكلفة المنخفضة والمساحات الكبيرة غير المستخدمة (والتي تزيد باستخدام إمكانيات المغمورة) لتجميع الطاقات المتجددة، ويمكن لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة أن:

- ↪ يحل محل استخدام الوقود الأحفوري محلياً، ويحرره في المستقبل للتصدير.
- ↪ يخلق استقلالية من تقلب الأسعار ويضيف الاستقرار لاقتصاديات الطاقة في الدولة.
- ↪ يخفض الانبعاثات بشكل كبير.
- ↪ يخلق عائدات إضافية من التجارة بالكربون.
- ↪ يتيح الفرصة لقسمة عادلة للثروة عن طريق إنشاء أنظمة توزيع للطاقة المتجددة.
- ↪ يمنح الفرصة للريادة الدولية في المجالين العلمي والتقني مع تفعيل التعليم المتعلق بهما ويساهم في توفير الوظائف.

لكن طريق استخدام الطاقة المتجددة لا يزال يواجه عقبات جمة وهامة. أولها، وبإمكان الحكومات التغلب عليه بيسر السعر المنخفض والمصطنع للنفط والغاز

#### جدول - 4: الإمكانيات الكامنة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح في السعودية والبحرين

إمكانيات طاقة الرياح في حال استخدام نصف المساحة غير المستعملة، % من إجمالي الاستهلاك الحالي للكهرباء	إمكانيات الطاقة الشمسية في حال استخدام نصف المساحة غير المستعملة % من إجمالي الاستهلاك الحالي للكهرباء	جزء المساحة غير الاستعمل للاعداد يا إجمالي استهلاك الطاقة من الطاقة الشمسية %	معدل الكثافة الكلية لطاقة الرياح واط/م <sup>2</sup>	معدل الكثافة الكلية لطاقة الشمس واط/م <sup>2</sup>	المساحة غير المستعملة كم <sup>2</sup>	استهلاك الطاقة 10 <sup>8</sup> جيجا جول	استهلاك الكهرباء 10 <sup>8</sup> جيجا جول	البلد
1191	600	126	140	158	600	3.77	0.25	البحرين
21200	154	3.5	190	263	1.8 مليون	52.75	4.86	السعودية

- كفاءة تحويل الطاقة الشمسية = 10% - كفاءة تحويل طاقة الرياح = 19%

#### جدول - 5: الإمكانيات الكامنة للفرد من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في السعودية والبحرين

% من السكان الذين يمكن أن يحصلوا على كافة احتياجاتهم الطاقة من الطاقة الشمسية ملاحظة 2 و 4	% من السكان الذين يمكنهم الحصول على كامل احتياجاتهم الطاقة الشمسية ملاحظة 2 و 4	% من السكان الذين يمكنهم الحصول على كامل احتياجاتهم من الكهرباء من طاقة الرياح الحالية ملاحظة (2 و 3)	معدل طاقة الرياح كيلو واط/ فرد	معدل الارتفاع الشمسي كيلواط/فرد	معدل إجمالي استخدام كيلواط/فرد	معدل استخدام الكهرباء كيلواط/فرد	المساحة غير المستعملة م <sup>2</sup> / فرد	البلد
80	1214	2375	140	136	17.10	1.12	859	البحرين
2830	308 800	424000	12730	17600	6.22	0.57	6700	السعودية

ليور نؤام /

الملاحظات: 1 - بعد طرح الوفر الإضافي المستخدم في توليد الكهرباء. 2 - اعتمادا على المساحات غير المستعملة  
3 - الكفاءة الافتراضية لتحويل الطاقة الشمسية = 10% ، 4 - الكفاءة الافتراضية لتحويل طاقة الرياح = 19%

للاستخدام المحلي. ويشجع هذا الموضوع على الاستثمار في الأنظمة الصناعية المستهلكة للطاقة بما فيها تلك التي تستخدم الطاقة المتجددة وغيرها من المصادر ذات الكفاءة العالية.

أما العقبة الثانية فتمكن في الاستثمارات الأولية الكبيرة المطلوبة، والتي تزيد في حال الطاقة المتجددة بـ 2 - 3 مرات عما هي عليه في حال الأنظمة المعتمدة على الوقود الأحفوري التقليدي.

أما العقبة الثالثة فتشمل مجموعة من المشاكل المتعلقة بالمنحني التعليمي للطاقة المتجددة وهي:

- ↪ نظراً للتطور العلمي والتقني الكبير في أنظمة تحويل الطاقة المتجددة، والتي لا تساهم فيه هذه الدول إلا بقدر محدود، يوجد خوف كبير ومبرر بأن الأنظمة التي سيتم إنشاؤها حالياً ستصبح متقدمة قبل الفترة المعقولة لاسترداد تكلفتها.
- ↪ المخاطر الكبيرة المصاحبة لهذه الأنظمة لعدم توفر الخبرة المناسبة فيها.
- ↪ الحاجة إلى الخبرة اللازمة لدمج هذه الأنظمة في نظام الطاقة الكلي للدولة.

أما العقبة الرابعة، فهي تقطع الإمدادات من هذه المصادر (عدم الاستمرارية) مما يتطلب شبكات توزيع أكثر تطوراً، وتحتوي على إمكانيات لتخزين الطاقة.

أما العقبة الخامسة فتتعلق بالنظام المالي بالغ التعقيد وغير الملائم للطاقات المتجددة.

وتشمل العقبة السادسة حالة التحول الذي تشهده سياسات الطاقة التي تمر حالياً في مرحلة إعادة تشريع.

وتجدر الإشارة إلى أن معظم هذه العقبات ليست شديدة الصعوبة، وأنها ستصبح مع الوقت أكثر سهولة بحيث يمكن التعاطي معها.

## الخلاصة: الطرق الممكنة إلى المستقبل

↪ لعل الخطوة الأولى في أي تطوع وتوجه نحو المستقبل تكمن في الاستخدام الرشيد لمصادر الطاقة، وهو ما يعرف باسم الحفاظ على الطاقة. ويشمل هذا ضرورة الحد من الهدر الواسع في استعمالاتها وبلوغ كفاءة أعلى للحفاظ عليها، والتحول إلى منتجات وعمليات أقل استنزافاً لها والقيام بعمليات التدوير والعيش بأسلوب يقلل من الإفراط في استخدامها. وعلى الأقل، وبالنسبة لهذا القرن، فإذا لم تكن هناك مندوحة من الإستمرار في استخدام الوقود الأحفوري، فليتم ذلك بكفاءة أفضل وبأقل تلويث ممكن للبيئة، وأن يولى مزيد من الجهد لعمليات استكشاف وإنتاج ذلك الوقود بشكل أنسب وأنظف.

↪ ويبدو أن استخدام الطاقة النووية الانشطارية بشكل واسع سوف يتراجع ما لم يتم إيجاد حلول دائمة واقتصادية لمشكلة النفايات النووية، مثل التوصل إلى إمكانية تحويل العناصر الذرية المشعة إلى عناصر خاملة الإشعاع element transmutation أما الانتاج النووي فيمكنه أن يقدم حلاً ملائماً على المدى البعيد، ولكن طريق الوصول إليه لا تزال طويلة .

↪ وفيما يتعلق بالطاقات المتجددة فإن البحث والتطوير والاستخدام يجب أن يستمر وبشكل واسع، مع الأخذ في الاعتبار أن التقنيات الواعدة هي الخلايا الشمسية الفوتوفولتية، وطاقة الرياح، وإلى حد ما طاقة المادة الحيوية - البيوماس، كما يجب متابعة الحفر العميق جداً، والوصول إلى التقنيات الأنسب لاستثمار الإمكانيات الهائلة لطاقة الحرارة الجوفية.

↪ ومن ناحية أخرى، ينبغي أن يستمر البحث والتطوير في مجال النواقل عالية الناقلية Superconductors لتدخل المرحلة التجارية، حيث يمكنها أن تخفض قليلاً من الفاقد، ولكن هذا قد لن يكون ممكناً قبل عقود. وقد يصار إلى إيلاء أطروحة توليد الكهرباء في الفضاء اهتماماً أكبر وتدرس بشكل مفصل لتكون حلاً لمعضلة الطاقة في المستقبل البعيد.

↪ كما أن تطوير علم الاستدامة بما يمكنه من تقديم آليات للتحليل والتقييم، ينبغي أن يحظى بالأولوية، لما يصاحب تحويل الطاقة واستخداماتها من آثار سلبية بيئية وإقتصادية وإجتماعية، كما يجب أن يتم تصميم كافة مشاريع الطاقة واستخداماتها بشكل مستدام.

## REFERENCES المراجع

- [1] U.S.D.O.E. <http://www.energy.gov/>
- [2] U.S.D.O.E. Energy Information Administration <http://www.eia.doe.gov/>
- [3] U.S.D.O.E. Office of Management, Budget, and Evaluation (MBE), Office of Budget, <http://www.mbe.doe.gov/budget/>
- [4] U.S.D.O.E. Energy Efficiency and Renewable Energy [http://www.eere.energy.gov/office\\_eere/budget.html](http://www.eere.energy.gov/office_eere/budget.html)
- [5] USDOE Office of Fossil Energy <http://www.fossil.energy.gov>
- [6] National Renewable Energy Laboratory <http://www.nrel.gov/>  
International Energy Agency <http://www.iea.org/index.html>
- [7] The European Commission website on Energy Research [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.html)
- [8] International Energy Agency <http://www.iea.org/index.html>
- [9] British Petroleum, 2006, <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=91&contentId=7017990>
- [10] N. Lior, “*The state and perspectives of research in the energy field*”, invited keynote paper, *The Third International Biennial Workshop “Advances in Energy Studies: Reconsidering the Importance of Energy”*, pp. 351-364, Porto Venere, Italy, 24-28 September 2002
- [11] International Atomic Energy Agency, United Nations Department of Economic and Social Affairs, International Energy Agency, Eurostat, European Environment Agency. *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. Vienna: IAEA, 2005.
- [12] Vera, I., Langlois, L. *Energy indicators for sustainable development*, Proc. Dubrovnik 2005 Conferences on “*Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems*”, June 2005, Dubrovnik, Croatia.
- [13] International Atomic Energy Agency, <http://www.iaea.org/>
- [14] Wu, Z., *Future power generation in China*, in Panel on “*Future power generation*”, ECOS 2005: *18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, Trondheim, Norway, 2005. Also in: Lior, N. “*Brief summary of the ECOS '05 Panel on Future Power Generation*”, *Energy* 32 (2007) 254-255.



[15] Amin, S. M., Gellings, C.W., *The North American power delivery system: Balancing market restructuring and environmental economics with infrastructure security*, Energy, Vol. 31, Issues 6-7, Pages 967-999, 2006.

[16] Sundset, T., de Koeijer, G., *Future power generation in oil and gas industry*, in Panel on “Future power generation”, ECOS 2005: 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Trondheim, Norway, 2005. Also in: Lior, N. “Brief summary of the ECOS '05 Panel on Future Power Generation”, Energy 32 (2007) 255-256.

[17] Mathieu, P., *Future of Nuclear Power Generation*, in Panel on “Future power generation”, ECOS 2005: 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Trondheim, Norway, 2005. Also in: Lior, N. “Brief summary of the ECOS '05 Panel on Future Power Generation”, Energy 32 (2007) 258-259.

[18] United Nations, *World Energy Assessment*, UNDP, New York, 2000

[19] Lepore, J. A., Shore, S., Lior, N. “Retrofit of Urban Housing for Solar Energy Conversion”, Housing Science, 2, 6, pp. 483-498, 1978.

[20] Lior, N. “Retrofit for Solar Heating and Cooling”, Ch. 5 in Advances in Solar Energy, 5, K. W. Boer, Editor, Plenum Press, 1989, pp. 360-401.

[21] Lior, N. “Solar Energy and the Steam Rankine Cycle for Driving and Assisting Heat Pumps in Heating and Cooling Modes”, Energy Conversion, 16, 3, pp. 111-123, 1977.

[22] The European Wind Energy Association, [http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/reports/wf12-2005.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/wf12-2005.pdf)

[23] Jensen, P.H., *Future Wind Power Generation*, in Panel on “Future power generation”, ECOS 2005: 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Trondheim, Norway, 2005. Also in: Lior, N. “Brief summary of the ECOS '05 Panel on Future Power Generation”, Energy 32 (2007) 259.

[24] Lysen, E., *Renewable energy: The transition phase, in Panel on new energy sources, better energy converters and viable energy technologies*, The Third International Biennial Workshop “Advances in Energy Studies: Reconsidering the Importance of Energy”, pp. 351-364, Porto Venere, Italy, 24-28 September 2002

[25] Keppler, F., Hamilton, J.G., Brass, M., Rockmann, T., *Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions*, Nature, vol. 439, 12 January 2006, pp. 187-191.

- [26] Kavangh, E. (Ed.), *Looking at Biofuels and Bioenergy*, Science vol. 312 23 JUNE 2006, 1743-1748.
- [27] USDOE. *The biobased materials and bioenergy vision*. Draft, 18 July 2001. [http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BIOENERGY\\_BRCH\\_0718.pdf](http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BIOENERGY_BRCH_0718.pdf)
- [28] USDOE Office of Fossil Energy Vision 21 program [http://www.fossil.energy.gov/coal\\_power/vision21/](http://www.fossil.energy.gov/coal_power/vision21/)
- [29] Majumdar, A., Tien C.L. *Micro power devices*. *Microscale Thermophys. Eng.* 1998;2:67-69.
- [30] Peterson, R.B. *Size limits for regenerative heat engines*. In: *Microscale thermophysical engineering*, ASME, New York, 1998;2:121-131.
- [31] Ohadi, M.M. Buckley, S.G. *High temperature heat exchangers and microscale combustion systems: Applications to thermal system miniaturization* *Experimental Thermal and Fluid Science*, v 25, n 5, 2001, p 207-217
- [32] Lee, Dae Hoon, Park, Dae Eun, Yoon, Joon Bo, Kwon, Sejin, Yoon, E.. *Fabrication and test of a MEMS combustor and reciprocating device*. *J. Micromechanics and Microengineering* 2002;12(1):26-34.
- [33] Holladay, Jamelyn D., Jones, Evan O., Phelps, Max, Hu, Jianli. *Microfuel processor for use in a miniature power supply*. *J. Power Sources* 2002;108 (1-2):21-27.
- [34] Kribus, A. *Thermal integral micro-generation systems for solar and conventional use*. *ASME J. Solar Energy Eng.* 2002;124:180-197.
- [35] Holladay, Jamelyn D.; Jones, Evan O.; Phelps, Max; Hu, Jianli. *High-efficiency microscale power using a fuel processor and fuel cell*. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng* 2002;4559:148-156.
- [36] McDonald, C.F, and Rodgers, C.. *The ubiquitous personal turbine-a power vision for the 21<sup>st</sup> century*. *ASME J. Eng Gas Turbines & Power* 2002;124:835-844.
- [37] Campanari, S. *Full load and part-load performance prediction for integrated SOFC and microturbine systems*. *ASME J. Gas Turbines & Power* 2000;122:239-246.
- [38] Massardo, A.F., McDonald, C.F., Koriakinitis, T. *Microturbine/fuel-cell coupling for high efficiency electrical power generation*. *ASME J. Gas Turbines & Power* 2002;124:110-116.
- [39] Magistri, L., Costamagna, P., Massardo, A.F., Rodgers, C., McDonald, C.F. *A hybrid system based on a personal turbine (5 kW) and a solid oxide fuel cell stack: a flexible and high efficiency energy concept for the distributed power*

market. ASME J. Gas Turbines & Power 2002;124:850-857.

[40] Glaser, PE, Davidson, FP, Csigi, KI, editors. *Solar power satellites, the emerging energy option*. New York: Ellis Horwood, 1993.

[41] Lior, N. *Power from space*. Energy Conversion & Management J. 2001;42(15-17):1769-1805.

[42] Alnaser, W.E., Eliagoubi, B., El-Kalak, A., Trabelsi, H., Al-Maalej, M., El-Sayed, H.M., Alloush, M., *First solar radiation atlas for the Arab world*, Renewable Energy 29 (2004) 1085-1107.

[43] Alnatheer, O. *The potential contribution of renewable energy to electricity supply in Saudi Arabia*, Energy Policy 33 (2005) 2298-2312

[44] Alnatheer, O., *Environmental benefits of energy efficiency and renewable energy in Saudi Arabia's electric sector*, Energy Policy 34 (2006) 2-10.

[45] Alawaji, S.H., Eugenio, N.N., Elani, U.A., *Wind energy resource assessment in Saudi Arabia, Part II: data collection and analysis*, WREC (1996) 818-821

[46] Feregh, G.M., *Wind energy potential in Bahrain*, Energy Convers. Mgmt 34 (1993) 499-506.

[47] Rehman, S., *Offshore wind power assessment on the east coast of Saudi Arabia*, Wind Engineering 29 (2005) 409-420.

[48] Shobokshy, M.S., El-Zayat, R.E., *Assessment of electricity generation by wind power in the Kingdom of Saudi Arabia*, Int. J. Ambient Energy 12 (1991) 39-50.