نشر في صحيفة الرأي يوم 2005/6/2 صفحة 36

الطاقة الذرية في الأردن: ضرورة اقتصادية ومائية وبيئية

أ.د. نزار أبو جابر
رئيس قسم علوم الارض و البيئة
جامعة اليرموك

مقدمة

تعتبر الطاقة وكلفة الحصول عليها من المحددات المهمة للنمو الاقتصادي في الدول المتطورة والنامـــية علـــى حد سواء. و ذلك لان الحصول على الطاقة بكلفة معقولة يعني تنافسية أعلى للصناعات عالية لاستهلاك للطاقة و انخفاض كلفة تحلية المياه.

تعتبر تكلفة الطاقة في الأردن إحدى تحديات التنمية الاقتصادية والاجتماعية الكبرى، حيث أننا نفتقر لمصادر طاقة محلية ، مما يرفع كلفة الإنتاج ويحد من القدرة على تحلية مياه البحر أو المياه المسوس الموجودة في بعض الخزانات الجوفية العميقة في المملكة.

تهـــدف هذه المقالة إلى تلخيص الخيارات المتاحة لسد احتياجات الأردن من الطاقة الكهربائية والتـــبعات المترتبه علىهذه الخيارات للوصول إلى موقع الأمان الاقتصادي والمائي والبيئي الذي نصبو إليه.

الوضع الحالي والكلفة الحقيقية للطاقة في الأردن

تشير بيانات الشركة الوطنية لتوليد الكهرباء (1-3) والملخصة في الجدول رقم 1 على وجود زيـــادة كبـــيرة فـــي تولـــيد الكهرباء في الأردن خلال السنوات الماضية . و مع هذه الزيادة المضطردة كانت هناك حاجة إضافية لاستيراد حوالي 787 جيغاوات ساعة من مصر في عام 2004 (3).

كمـــا و تشـــير هذه البيانات أيضا إلى التحول التدريجي من استخدام الوقود الثقيل والاعتماد المتزايـــد علـــى الغاز الطبيعي المستورد من خلال انبوب الغاز المصري الجديد. و مع هذا الـــتحول لا زال الاردن يســـتخدم حوالي 936000 طن من الوقود الثقيل في محطة الحسين

الحـــرارية فـــي الـــزرقاء ، حيث يشكل الوقود الثقيل 35% من الطاقة الكهربائية المولدة في الأردن عـــام 2004، و32% مـــن الاستهلاك الأردن في ذلك العام.

2004	2003	2002	2001	
1789	1788	1788	1578	قدرة التوليد (ميغاوات)
8967	7994	8127	7544	الكهرباء المولدة (جيغاوات ساعة)
3111	6858	7205	6604	الكهرباء المولده بالوقود الثقيل (جيغاوات ساعة)
780	744	680	769	الكهرباء المولده بالغاز المحلي (جيغاوات ساعة)
4479	699	–	–	الكهرباء المولده بالغاز المستورد (جيغاوات ساعة)
936	1509	1763	1631	كمية الوقود الثقيل المستخدم (1000 طن)

يباع زيت الوقود الثقيل أو ما يعرف حاليا بالوقود المتبقي (Residual fuel) أو وقود البنكر مـــن مصـــفاة البترول الأردنية والمستخدم في شركة الكهرباء الوطنية بمبلغ 75 دينار للطن الواحد. و هذا يعني ان الوقود المستخدم لانتاج كيلووات واحد مـــن الكهربـــاء يبـــلغ 22.6 فلس. و عند أضافة 4.4 فلس بدل إستهلاك للأجهزة والصيانة والتكاليف والإدارية والفاقد في الشبكات، فإن الهامش الربحـــي المتحقق يساوي 4 فلسات لشركة الكهرباء الوطنية حيث يتم بيع الكيلووات ساعة الواحد لشركات توزيع الكهرباء بمبلغ 31 فلس.

أمـــا إذا تم احتساب الكلفة الحقيقيـــة لاستخدام الوقـــود الثقيل والبالـــغ 260 دولار للطن في الســـــوق الدولـــية حاليا (4) فإن قيمة الوقود المستهلك لإنتاج كيلووات ساعة واحد سيساوي 55.5 فلـــس. فأن أبقينا على نفس هوامش المصاريف والأرباح ، فستبلغ قيمة بيع الكيلووات ســـاعة الواحـــد 63.9 فلسا، أو بتعبير آخر، فان قيمة الدعم على الكهرباء بالأسعار الدارجة تبلغ حوالي 102.6 مليون دينار.

لذا، يتضح من مراجعة هذه الأرقام أن هنالك خللا واضحا في إنتاج وتسعير الكهربـــاء فـــي الأردن، فـــلا يعقل أن يكون إنتاج الكهرباء مدعوما حكوميا لكي يكون مجديا اقتصاديا، حيث أن هـــذا القطاع هو قطاع رابح في كل الاقتصاديات المتطورة. ومن الواضح أيضا بأن الخلل الأساسي ينبع عن التوجيه الحكومي القديم والذي كان يستند إلى استخدام الوقود الثقيل ، حيث أن الحكومـــة لم تكن واقعيا تدفع ثمن البترول المستورد سابقا. ويلاحظ أن الأردن من الدول القلـــيلة جدا (ربما تكون الوحيدة خارج نادي الدول المنتجة للنفط) التي تستخدم هذا النوع من الوقود بشكل أساسي لانتاج الكهرباء ، وذلك لاعتبارات اقتصادية وأمنية وبيئية عديدة.

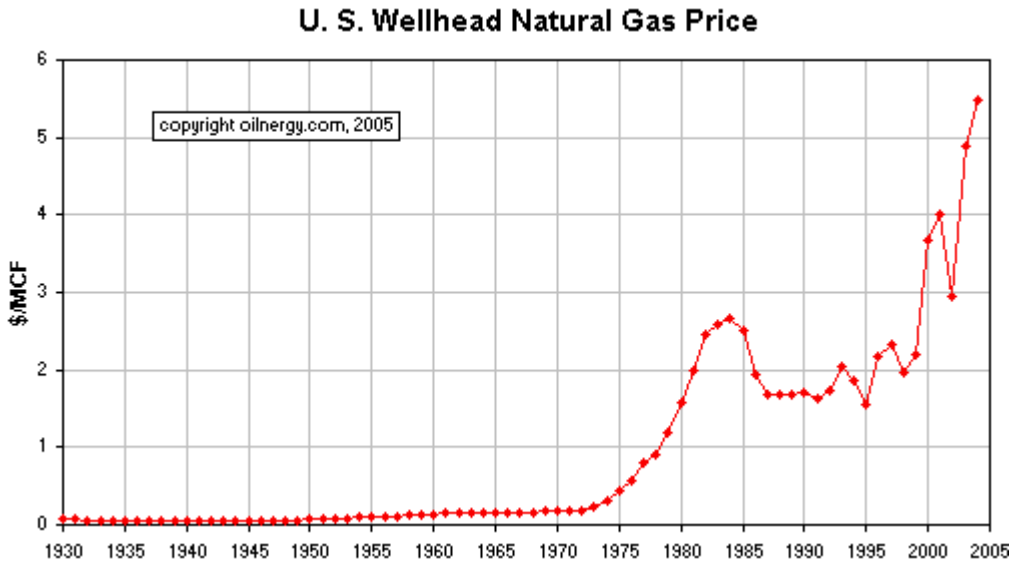
إن الـــنظر للمســـتقبل فـــي هـــذا السياق يجب أن يأخذ بعين الاعتبار بأن البترول لن يستمر بالوصول بالمجان إلى ما لانهاية، ولذلك فان التوسعات المستقبلية في إنتاج الكهرباء يجب أن تكون مجدية اقتصاديا وبيئيا.

يـــبدو أن التوســـع القادم بإنتاج الكهرباء سيتم بالاستفادة من أنبوب الغاز المصري والذي تم إنشاءه حديثا (2،3) ليزويد الأردن بما مقداره ملياري متر مكعب من الغاز الطبيعي سنويا أو ســـبعون مليار قدم مكعب حسب التعريفات التجارية الدارجة. يحتاج إنتاج كيلووات واحد من الكهرباء حوالي 6.25 قدم مكعب منها إذا تم استخدام ما يسمى تقنية الدورة

المشـــتركة (Combined cycle) و أكـــثر مـــن ذلـــك إذا استخدمت تقنية المولد البخاري (Steam turbine) (5). فـــإذا مـــا استخدمت تقنية الدورة المشتركة، فان كمية الكهرباء المتوقع إنتاجها سنويا ستكون بحدود 11300 جيغاوات ساعة علما بأن كمية الإنتاج الكلية عام 2004 كانت 8767 وحاجة الأردن كانت 9790 جيغاوات ساعة.

وفـــي عـــام 2004 تـــم استهلاك 1009 مليار متر مكعب من الغاز المصري لانتاج 4479 جيغاوات ساعة بكلفة 80 مليون دولار. أي أن قيمة الوقود (الغاز) من تكلفة توليد هذه الكمية مـــن الكهرباء بلغت 1.8 سنت لكل كيلووات ساعة (12 فلس) ويلاحظ بأن كفاءة الإنتاج هي أقل من الكفاءة المثالية المذكورة سابقا.

و بناء على ما تقدم، فإن الغاز المصري هو أجدى اقتصاديا من حرق الوقود الثقيل ، وإنشاء المولـــدات لاســـتخدام هـــذا الغـــاز ســـيزيد بشكل كبير من قدرة الأردن على توليد الطاقـــة الكهربائية وإن كانت أقل من الحاجة المتوقعة على المدى المتوسط خاصة إذا تم اتخاذ القرار المنطقي بوقف استخدام الوقود الثقيل لهذه الغاية. علما بأن أسعار الغاز الطبيعي قـــد ازدادت مـــنذ عام 2004 من 4.9 دولار إلى 6.7 دولار حاليا لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (B.T.U) بـــزيادة بنســـبة 38% وهذه الزيادة مرشحة للاستمرار في المستقبل (6). و يظهر المنحنى التالي تغيرات اسعار الغاز الطبيعي على المدى الطويل:



قبل الخوض في مبررات البحث عن مصادر أخرى للطاقة يجب أن نلاحظ الأمور التالية:-

١- تبلغ نسبة النمو في الاستهلاك الكهربائي في الأردن حوالي 9% سنويا ويتوقع أن تبلغ 15900 جيغاوات ساعة عام 2020 (2).

2- تبلغ حصة الفرد من إنتاج الكهرباء حوالي 1625 كيلووات ساعة ، بالمقارنة مع 6183 كيلووات ساعة في إسرائيل و 7579 في اليابان و 12406 في الولايات المتحدة (7).

3- سيستمر ارتفاع تكلفة إنتاج الكهرباء مع ارتفاع تكلفة الوقود الاحفوري كالغاز الطبيعي.

4- لا يمكن بناء قاعدة صناعية متطورة بدون الحصول على كميات وفيرة من الطاقة بأسعار مناسبة.

5- لن نتمكن من تحلية المياه بشكل اقتصادي في ظل وضع الطاقة الحالي.

من خلال الخبرة السابقة في الأردن ، من الواضح بأن أي قرار استراتيجي خاطئ في مجال الكهرباء يؤدي إلى خسائر فادحة على المدى البعيد. فقرار تبني الوقود الثقيل بشكل أساسي في توليد الكهرباء لا زال يؤدي إلى خسائر بعشرات أو مئات الملايين من الدنانير سنويا حتى بعد مرور ثلاثون سنة من اتخاذ هذا القرار. وبالتالي ، فان إستخدام الغاز الطبيعي كقرار استراتيجي وحيد قادم لتوليد الكهرباء هو قرار لا يجوز أن يتخذ بناء على حسابات آنية بدون

النظر لسنوات بعيدة إلى المستقبل. ومن خلال هذا المنظور يجب أن يتم اتخاذ مثل هذا القرار بمنتهى الحذر.

البدائـــــل

هــناك عدد من البدائل التي يمكن للاردن إستخدامها للحصول على الطاقة الكهربائية أجملها فيما يلي:-

1- قناة البحرين، تحاول الحكومة حاليا إيجاد ممولين لتنفيذ قناة تصل ما بين البحر الأحمر والــبحر الميت (8)، حيث أن فارق الارتفاع في منسوب المياه بين البحر الأحمر والبحر الميت هو حوالي 400 متر، وبالتالي يمكن توليد الكهرباء من خلال استغلال هذا الفارق فــي الارتفــاع. وقــد قدرت كمية القدرة الناتجة عن ذلك 100 ميغاوات (حوالي 867 جــيغاوات ســاعة في السنة) ، و يمكن تخزين المياه و تسييله في ساعات الذروة لتصل القــدرة الى 800 ميغاوات (9). وتتراوح تقديرات تكلفة هذه القناة حوالي ثلاثة مليارات دولار (8).

حســب المشــاريع المطروحة فإن التوجه السائد هو نحو استغلال هذه الطاقة لتحلية مياه البحر الأحمر و التي تقدر بحوالي 900 مليون متر مكعب في السنة. و بحسبة بسيطة فأن كمــية الطاقة اللازمة لتحلية متر مكعب واحد من المياه يبلغ حوالي 1 كيلووات ساعة ، وتقدر كلفة المتر المكعب من المياه المحلاة بهذه الطريقة بحوالي 1.35 دولار (9).

علــى أي حال فإن كمية الطاقة اللازمة لرفع المياه من مستوى البحر الميت لغاية مدينة عمان (حوالي 1400 متر) هي حوالي 150% من كمية الطاقة الناتجة عن تساقط المياه من مستوى البحر الأحمر لمستوى البحر الميت على اعتبار أن كمية المياه المراد ضخها تــبلغ حوالي نصف الكمية الكلية للمياه. أي أن ضخ المياه من البحر الميت لعمان ستكلف طاقــة أكــثر بكثير من الطاقة الناتجة عن هذا المشروع إذا افترضنا كفاءة 100%، في جمــيع مراحل ضخ المياه في القناة والتحلية وضخ المياه لوضع الاستخدام. بمعنى آخر، ســنكون بحاجــة لحوالــي 130 مــيغاوات من القدرة التوليدية الإضافية في حال تنفيذ المشــروع كما هو مخطط له. اما في حال تم الاكتفاء بتوليد الكهرباء دون تحلية المياه، فإن كمية الطاقة الناتجة ستكون متواضعة. مع الاخذ بعين الاعتبار ان ثلاثة دول ستستفيد من هذه الطاقة.

2- الصخر الزيتي: تقدر كمية الصخر الزيتي الموجودة في منطقة اللجون في محافظة الكرك بحوالي 1300 مليون طن بالإضافة إلى تواجدها في عدة مواقع أخرى في الأردن (10). وتمتاز هذه الصخور باحتوائها على كمية كبيرة من المواد الهيدروكربونية يصل إلى 28 % ، ممـــا حفز سلطة المصادر الطبيعية و غيرها على إجراء العديد من الدراسات حول إمكانـــية اســـتغلال هـــذه الصـــخور أما كمصدر للبترول أو كوقود مباشر للحرق لتوليد الكهرباء.

وقـــد دلت هذه الدراسات على الإمكانيات الفنية لاستخراج المواد الهيدروكربونية بطرق عدة.

و تجدر الإشارة في هذا السياق بان ما ينطبق على استخدام الوقود الثقيل في توليد الكهرباء ينطـــبق علـــى استخدام البترول المستخرج من الصخور الزيتية. أي أنه في حال ثبوت الجـــدوى الفنية والاقتصادية من استخراج البترول من الصخر الزيتي ، فان حرقه لتوليد الكهرباء لن يكون مجديا اقتصاديا لارتفاع قيمة الوقود.

3- الطاقـــة الذريـــة: هـــناك اتجـــاه قوي في الدول الصناعية (خاصة تلك التي تفتقر للفحم الحجري) للتوجه نحو الطاقة النووية كمصدر أساسي لتوليد الطاقة الكهربائية ، للعديد من الأسباب الأمنية والاقتصادية والبيئية.

فعلـــى المستوى الأمني، تدرك هذه الدول خطورة الاعتماد الكلي على الطاقة المستوردة لتأميـــن احتـــياجاتهم مـــنها، لما في ذلك من عدم تيقنها من كمية وأسعار النفط والغاز المستورد على المدى المتوسط والبعيد، وما يترافق مع ذلك من عدم القدرة على الاعتماد عليها لادارة اقتصادهم ، خاصة لصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة.

أمـــا علـــى المستوى الاقتصادي ، فان الطاقة النووية تعتبر طاقة قليلة الكلفـــة، حيث تقـــدر تكلفـــة الكيلووات ساعة الواحد ما بين 2-3.5 سنت أمريكي (14-25 فلس) و بعد احتساب تكاليف الإنشـــاء والإدارة والوقود وإدارة المخلفات الناتجة وكلف إخراج المفاعل من الخدمة بعـــد إنـــتهاء عمره التصميمي. تعتبر التكاليف الرأسمالية العالية عائق أمـــام الاستثمار بهذا المجـــال ، حيـــث تقدر تكاليف إنشاء مفاعل نووي بقدرة 1000 ميجاوات ما بيـــن 1000-1200 ملـــيون دولار (11). في المقابل فإن تكلفة الوقود تشكل نسبة بسيطة من التكلفة الكلية لانتاج الكهرباء ، مما يعني بأن الزيادات المستقبلية في أسعار الوقود لن يكون لها تأثير كبير

علـــى الكلفـــة الكلية لتوليد الطاقة. فقد قدرت بعض التقارير بأن تكلفة الوقود لتوليد الكهرباء بالغـــاز الطبيعـــي تشكل اكثر من 66% من كلفة توليد الكهرباء، بينما تبلغ التكلفة الرأسمالية لإنشاء محطات التوليد حوالي 25% من الكلفة. في المقابل تشكل تكلفة إنشاء المحطة النووية 66% من كلفة توليد الكهرباء بينما تشكل كلفة الوقود 9% من مجمل تكلفة التوليد. ومن هذا الجانـــــب فـــــأن إنشاء محطات نووية لتوليد الطاقة توفر استقرار في الأسعار على المدى البعيـــد بطريقـــة لا يمكن مقارنتها مع الغاز أو البترول أو حتى الفحم الحجري.

أمـــا على المستوى البيئي ، فأن العديد من الدول تحاول التقليل من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكـــربون لتقلـــيل أثـــر الاحتباس الحراري. بالإضافة إلى تقليل الانبعاثات المسببة للأمطار الحمضية. في مقابل ذلك فأن نواتج الانشطار من المفاعلات النووية محدودة من حيث الحيز الـــذي تشـــغله، ويمكـــن تخزينها والتخلص منها باختيار موقع جيولوجي مناسب واستغلال التقنيات المناسبة المستخدمة في أماكـــن مختلفـــة في العالم.

<u>الفوائد المتوقعة من المبادرة بإنشاء مفاعل نووية في الأردن.</u>

١- الفائدة الاقتصادية. بالإضافة إلى التوفير في كلفة توليد الكهرباء بشكل مباشر، فإن وفرة الطاقـــة الكهربائية سيؤدي إلى تشجيع الصناعات كثيفة الاستخدام للكهرباء مثل صناعات الألمنـــيوم والأســـمدة وغيرها. و من الجدير ذكره أن وفرة الطاقة الكهربائية ذات الكلفة المعقولـــة وذات الاستمرارية على المدى الطويل سيؤدي إلى توطين مثل هذه الصناعات مع ما سيترتب على ذلك من توفير فرص عمل وقاعدة ضرائب و غيرها من الفوائد.

2- الفـــائدة المائـــية. هـــناك عـــدة تقنيات مستخدمه لتحلية مياه البحر، والتوجه الحديث هو باســـتخدام أســـلوب التناضح العكسي (Reverse Osmosis) لهذه الغاية لقلة إستخدامها للطاقـــة. ويتم طرح موضوع استخدام التناضح العكسي كجزء من مشروع قناة البحرين. وكما هو متوقع ، فان جزء مهم من تكلفة تحلية مياه البحر تكمن في الطاقة المطلوبة لهذه الغاية. وحسب أحدث التقنيات المستخدمة فيحتاج المتر المكعب الواحد من مياه البحر إلى حوالي 6 كيلووات ساعة من الكهرباء (12). ويجب ملاحظة أن ملوحة المياه في البحر الأحمر هي أعلى من الملوحة الموجودة في البحار المفتوحة بمقدار حوالي 10% ، ممـــا ســـوف يتطلب زيادة الطاقة المطلوبة لهذه التحلية بحيث تصل كمية الكهرباء المطلوبـــة إلـــى 7-8 كيلووات ساعة لكل متر مكعب ماء يتم إنتاجية.

لــذا، يحتاج إنتاج 900–1000 مليون متر مكعب من المياه (الكمية المتوقعة من إنشــاء مشـــروع قــناة البحرين) إلى 7200 جيغاوات ساعة/السنة أي قدرة توليدية بمقــدار حوالي 800 ميجاوات.

نظــرا لوجــود قواســم مشتركة في بنية وتجهيزات المفاعلات النووية ومحطات تحلية مياه الــبحر، فكثيرا ما يتم التزاوج ما بين هذه المنشآت، مما يخفض من كلفة التحلية حيث تستغل الطاقة الحرارية والكهربائية الناتجة عن المفاعلات في عمليات التناضح العكسي.

تشير دراسات أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية إلى أن مفاعل للماء الثقيل في منطقة البحر الأحمــر بقــدرة 900 ميجاوات من الكهرباء من الممكن أن تحلي حوالي نصف مليون متر مكعــب مــن المياه يوميا بكلفة تتراوح من 50–60 سنت للمتر المكعب الواحد (12) ، وهي كلفة مغرية بكل المعايير.

3– الناحــية البيئــية. إن التوجه نحو الطاقة النووية سيؤدي إلى عدة نتائج مهمة. فانخفاض اســتخدام الوقود الثقيل سيؤدي إلى خفض بالتلوث بالعناصر الثقيلة في الهواء والماء والتربة فــي منطقة المحطات الحرارية كمحطة الحسين الحرارية. كما أن توفر المياه سيؤدي لحماية افضل للموائل المائية كأنهار الموجب وزرقاء ماعين بالإضافة لواحة الأزرق. بالإضافة إلى ذلك فان توفر الكهرباء قد يؤدي لتشجيع استخدام وسائل مواصلات رفيقة بالبيئية كالقاطرات الكهربائــية. وفي الواقع فانه من الصعب حصر الفوائد التي قد تجني نتيجة التوجه نحو هذا المصدر من الطاقة ، لان هذه الفوائد محدودة بقدرة الإنسان على التخيل.

<u>الخلاصـــــــة</u>

1- الــتوجه الحالــي في إنتاج الطاقة في الأردن هو باستخدام حرق الوقود الاحفوري ، مما يعــرض الاقتصاد الوطني للخطر لارتباط هذا الوقود بأسعار عالمية قابلة للزيادة بشكل حاد.

٢– الطاقة النووية تشكل مصدر ثابت للطاقة منخفض الكلفة وغير حساس للتقلبات في السوق الدولية.

3- وجــود مصــدر للطاقة يمكن الاعتماد عليه وذو كلفة قليلة سيؤدي إلى تطوير العديد من الصناعات الثانوية ، مما ينعكس إيجابيا على الاقتصاد الوطني.

4- يمكن استخدام الطاقة النووية لتحلية كميات كبيرة من مياه البحر بأسعار معقولة.

5- يمكــن الــتخلص مــن العديد من المشاكل البيئية الموجودة في حال توفر مصدر للطاقة الكهربائية ذو كلفة قليلة.

المصادر

١- تقريـــر شـــركة الكهـــرباء الوطنـــية لعـــام 2002 علـــى الإنترنـــت http://www.nepco.com.jo/arabic_tstatic1.html

2- تقرير شركة الكهرباء الوطنية لعام 2003

3- تقرير شركة الكهرباء الوطنية لعام 2004

4- www.bunkerworld.com/index-fs.htm

5- http://www.dnr.state.la.us/SEC/EXECDIV/TECHASMT/data/electricity/non_utility_1996/042.htm

6- http://www.nymex.com/jsp/markets/ng_fut_cso.jsp 12/5/2005

7- http://www.nationmaster.com/graph-T/ene_ele_con_cap

8- صـــحيفة الـرأي 2005-05-10

9- موقـــــــــع وزارة الخارجـــــــــية الاســـــــــرائيلية علـــــــــى الإنترنـــــــــت http://www.mfa.gov.il/mfa/go.asp?MFAH0mb90

10- http://www.nerc.gov.jo/oil_shale_in_jordan.htm

11- http://www.uic.com.au/nip08.htm

١٢- Examining the economics of seawater desalination using the DEEP code. IAEA TecDoc 1186, December 2000.