هل الطاقة النووية مستدامة ونظيفة؟
Is Nuclear Energy Clean and Iain able?

Ayoub I. Abu-Dayyeh
Engineer and Doctor of Philosophy
E_case Society (Amman – Jordan)
Tel: +962 795772533 E-mail:ayoub101@hotmail.com

ملخص: يبدأ البحث بتقديم عن الطاقة النووية وعمليتي الانشطار والاندماج النوويتين ليؤسس لمجموعة من التساؤلات حول استدامة الطاقة النووية، من جهة المادة الخام (اليورانيوم) من حيث احتمال نضوب اليورانيوم في العالم خلال عقود قليلة قادمة، ومن جهة تكلفة الإنشاء من حيث تكلفة إنشاء المحطات النووية وحمايتها من المخاطر وحاجتها إلى الماء وتشغيلها وسداد قروضها، فضلاً عن تكلفة إزالتها عن الوجود عند انتهاء خدمتها.
ثم ينتقل البحث لمناقشة مدى التلوث الذي ينجم عن إنتاج اليورانيوم المخصب من المادة الخام، من حيث إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون خلال مراحل تعدين وتصنيع أكسيد اليورانيوم ومن ثم تخصيبه، وأيضاً من حيث التلوث الناجم عن النفايات النووية والمشكلات المعقدة والخطيرة التي تواجه تخزينها وإعادة استخدامها.
وينتهي البحث بخاتمة تلخص نتائج هذا البحث والتصورات التي نجمت عن مناقشة جزئياته المتنوعة.

مقدمة

إن الطاقة النووية هي تلك الطاقة المستمدة من الانشطار النووي Nuclear Fission، حينما تنشطر نواة المواد الثقيلة كاليورانيوم بقذفها بالنيوترونات، الأمر الذي يولـّد سلسلة من التفاعلات تنتج طاقة هائلة، أو هي تلك الطاقة المستمدة من الاندماج النووي Nuclear Fusion، حينما تنصهر نظائر مواد خفيفة تحت درجة حرارة مرتفعة جداً حتى يلتحمان ليشكلان نواة ثقيلة، ونتيجة ذلك تتوالد طاقة هائلة أعظم من طاقة الانشطار النووي.

ولكن العلماء يعتقدون أن نجاح مشروع توليد الطاقة من الاندماج النووي على أرض الواقع سوف يحتاج إلى عشرات السنين، فتلك الدرجة المرتفعة لا يمكن الوصول إليها على سطح الأرض إلا في المختبرات العلمية في الوقت الحالي، ولم تتحقق اليوم إلا لفترات زمنية في غاية الصغر. ولكن بعض التصريحات لسياسيين مرموقين في الاتحاد الأوروبي تشير إلى زيادة الآمال بتحقيق ذلك الطموح خلال مدة 15 سنة على الأكثر. وربما هذا ما يفسر سعي الدول الغربية اليوم إلى تسويق المفاعلات التقليدية في دول العالم النامي.

هناك نظائر لليورانيوم موجودة في الطبيعة، ومنها U_{235}، وهو الوحيد من النظائر الذي يوجد في الطبيعة وقابل للانشطار بالنيوترونات عند طاقة حركة منخفضة، وهو في الطبيعة يطلق إشعاعات ضئيلة. أما U_{238} فهو أيضاً قابل للانشطار ولكن عند طاقة حركة أكبر للنيوترونات، وهو الذي يستخدم عادة في صناعة الأسلحة.

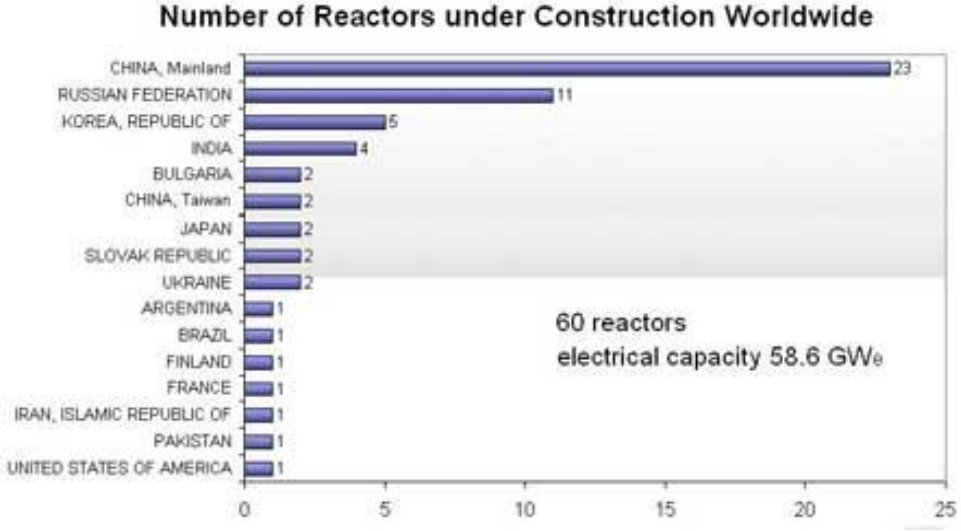
وعادة ما تتواجد أكاسيد اليورانيوم بنسب ضئيلة في الطبيعة، فبعد عملية استخلاص المادة الخام من المناجم فإنها تطحن ويضاف إليها مواد أسيدية، ثم يتم ترشيحها للحصول على "الكعكة الصفراء" التي تحتوي على خليط من الأكاسيد يتكون في معظمه من أكسيد U_3O_8. ومن خلال سلسلة معقدة من الإضافات ينتج اليورانيوم المشع غير المخصب بعد. ثم تتبع ذلك عمليات الصهر وإضافات أسيدية وأمونيا لإنتاج UF_6، ومن ثم تفصل النظائر لإنتاج U_{235} و U_{238} الأثقل وزناً. وفيما يستخدم اليورانيوم العالي التخصيب (نحو 85 %) في الأسلحة النووية، يستخدم الأقل تخصيباً منه في تشغيل المفاعلات النووية.

1. هل الطاقة النووية مستدامة؟

1.1 من جهة المادة الخام!

إن المفاعلات النووية المنتشرة اليوم في العالم، والتي وصل عددها إلى 439 مفاعل في الشهر الأول من عام 2005، تنتج 2525 تريليون واط ساعة من الطاقة الكهربائية سنوياً وتستهلك حوالى 66658 طن من اليورانيوم الطبيعي، الأمر الذي سوف يؤدي إلى نضوب الاحتياطي العالمي من اليورانيوم خلال 53 سنة، وهذه الفترة تتزامن مع تاريخ نضوب النفط على صعيد عالمي. وربما سيكون نضوب اليورانيوم أسرع إذا اتجهت المفاعلات النووية لإنتاج غاز الهيدروجين لتزويد مركبات المستقبل بهذا الغاز الذي يتولد عن احتراقه ماء صافي(1).

هذه هي إحدى الدراسات فقط والتي أفضت إلى تلك التوقعات، ولكن، إذا افترضنا أن العالم العربي وحده مقدم على إقامة العشرات من المفاعلات في الإمارات العربية المتحدة، الأردن، مصر، العربية السعودية، المغرب، الكويت، ليبيا، الجزائر، سوريا، قطر والسودان(2)، وذلك في العقدين القادمين، فيمكننا تخيل العدد النهائي للمفاعلات في العالم، والذي ربما يزيد عن الألفين بعد عشرين عاماً، وهذا بدوره يعني أن نضوب اليورانيوم سيكون في غضون 30 – 35 عاماً بدلاً من 53 عاماً، كما اقترح الباحثون المشار إليهم سابقاً؛ وهذا يؤكد أن الطاقة النووية التقليدية هي طاقة غير مستدامة، ليس على صعيد احتكار التكنولوجيا العلمية والأعباء الإستراتيجية الأمنية فحسب، إنما على صعيد نضوب المادة الخام أيضاً.



شكل 1: مفاعلات نووية قيد الانشاء وفق احصائيات 2010[3]

هناك ما يقارب من خمسمئة مفاعل نووي يعمل اليوم في أكثر من ثلاثين دولة، ويمد العالم بأكثر من 15 % من مجمل الطاقة الكهربائية، وهناك نحو ستين مفاعلاً قيد الإنشاء (أنظر الشكل1). ويلاحظ أن جل هذه المفاعلات يتم بناؤه في الصين وروسيا وكوريا والهند، وهي دول متقدمة تمتلك التكنولوجيا النووية بامتياز، كما تمتلك مخزوناً من السلاح النووي.

ويلاحظ كذلك أن الولايات المتحدة الأمريكية لم تقم بإنشاء سوى مفاعل واحد خلال الثلاثة عقود الماضية. وأن أغلب الدول الأوروبية لا يوجد فيها محطات نووية قيد الإنشاء. والحجة التي تقول إن العالم يشهد نهضة في مجال الطاقة النووية حديث مجزوء، إذ تقتصر هذه النهضة على الدول الناهضة، التي تحقق نمواً مرتفعاً، كالصين والهند وكوريا، ولأسباب خاصة.

وفي ضوء صعوبة تعدين اليورانيوم بمرور الوقت ونضوب الخامات السطحية وبخاصة الخامات الجيدة، فإن أسعاره سوف تزداد، وإذا ما شرع العالم في بناء مئات المفاعلات النووية في المستقبل القريب (الصين وحدها تنوي بناء 28 مفاعلاً إضافياً بحلول عام 2020)[4]، وإذا ما نضب المخزون من يورانيوم الأسلحة القديمة، فإن استهلاك العالم من اليورانيوم اليوم، الذي يتجاوز 64,000 – 70,000 طناً، سوف يتضاعف عدة مرات في المستقبل القريب، ليصل إلى 320,000 طن سنوياً. وهذا يعني أن اليورانيوم في العالم آنذاك لن يكفي لأكثر من 12.5 سنة[5] وذلك ابتداء من نهاية هذا العقد؛ ونحن نميل إلى موافقة الرأي الأخير.

إن ما يجعل الطاقة النووية غير مستدامة هو احتمالية نضوب المادة الخام (اليورانيوم) أسرع مما كان متوقعاً نتيجة طموحات عظيمة خارج أوروبا لبناء المفاعلات، وبخاصة في الصين وآسيا بعامة. كذلك فإن خامات الفوسفات التي تحتوي على اليورانيوم بنسب قليلة جداً سوف تصل إلى قمة عطائها بعد نحو 30 عاماً، ثم تشرع في النزول[6]. ويمكن إنتاج اليورانيوم من ماء البحار ولكنه يوجد بتركيز 2×10^{-7}، وعليه، فإن الطاقة المبذولة في إنتاجه أعلى بكثير من الطاقة الكهربائية التي سيولدها في المستقبل.

ولا يغفل نائب البرلمان الإنجليزي كولن شالين عن ذكر تقدم تكنولوجيا الاندماج النووية التي من المتوقع أن تلغي العمل بالانشطار تماماً[7]. وهذا يعني أن المفاعلات النووية التقليدية سوف تغدو عديمة الفائدة في المستقبل المنظور، أي أنها سوف تصبح تكنولوجيا قديمة عفا عليها الزمن.

خلاصة القول إن العلماء يتوقعون أن استخدام اليورانيوم بالتركيز المرتفع لإنتاج 16 % من حاجة العالم من الكهرباء، على نحو ما هو عليه اليوم، سوف يؤدي إلى استنزاف مخزون اليورانيوم الجيد ونضوبه في غضون 19 عاماً[8]، الأمر الذي سوف يساهم في رفع تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية في المستقبل القريب. وفي حال الاتجاه صوب استخدام الخامات الفقيرة باليورانيوم فإن تلويث العالم سوف يزداد، ناهيك بزيادة عدد المفاعلات النووية في المستقبل القريب وزيادة الطلب على اليورانيوم، الأمر الذي سوف يزيد من المشكلة تعقيداً.

وإذا عرفنا أن مدة إنشاء المحطة النووية يستغرق نحو 5 – 10 سنوات في الحد الأدنى، فإن نضوب المادة الخام بعد ذلك في غضون 12.5 – 19 عاماً، كما اتضح من هذه الدراسة، يعني أن اليورانيوم سوف يكون متوافراً بأسعار معقولة لمدة 10 – 20 سنة فقط عند تشغيله المفترض في عام 2020، فماذا بشأن عمره التشغيلي الذي يفترض أن يخدم نحو خمسين عاماً؟ ألن تصبح تكلفة إنتاج الطاقة من هذه المشاريع مكلفة جداً؟

2.1 من جهة تكلفة الإنشاء؟

ربما تكون التكلفة المرتفعة هي أحد الأسباب الأساسية في الإعراض عن بناء محطات جديدة في أوروبا، فضلاً عن خصخصة توليد الكهرباء في الكثير من دول العالم، كبريطانيا مثلاً، إذ تستوجب هذه المشروعات دعماً حكومياً وقروضاً ضخمة واحتياطات أمنية عالية ووفرة في المياه ومحاذير بيئية عديدة ومراقبة إشعاعية وأمنية مستمرة، لذا، لم يعد يكترث بها المستثمرون كثيراً اليوم، بالرغم من أن

الطاقة النووية تزود بريطانيا بنحو 18 % من طاقتها الكهربائية؛ بالرغم من أنه هناك حاجة ماسة لتعويض المحطات النووية التي اقتربت مواعيد شطبها من الخدمة(9).

وتحتاج بعض الدول إلى زيادة تحصين مفاعلاتها ضد العمل الإرهابي، فدولة مثل بريطانيا مهددة أكثر من دولة مثل فنلندا، على سبيل المثال. وتحصين المفاعلات يرفع من تكلفة إنشاء المفاعلات. على سبيل المثال، فإن قلب المفاعل الفنلندي Olkiluoto3 سيكون محمياً بغلاف من الإسمنت المسلح سماكته متراً واحداً، وأيضاً بجدار يليه سماكته مترين. وهذا يعني أن المفاعلات البريطانية الأكثر عرضة لاحتمالية التعرض لعمل إرهابي ينبغي أن يتم حمايتها أكثر(10). وهذا يعني بالتالي زيادة تكلفة إنشائها.

وتاريخ تأخر مشاريع المفاعلات النووية في العالم مشهود له، فمفاعل فنلندا المشار إليه، لم يبدأ بالعمل بعد، علماً بأنه متأخر عن فترة تسليمه سنتين لغاية الآن(11). وقد ارتفعت تكلفة المفاعل الواحد من 2.2 إلى 3.0 بليون جنية إسترليني، لغاية الآن.

وقلة الخبرة قضية جديدة تعاني منها بريطانيا، ففي أثناء بناء المفاعل الفنلندي تم صرف 1400 مخالفة أمنية خلال العمل، فقد أصبحت أعداد المفاعلات التي تنشأ اليوم في أوروبا محدودة. وما يتم بناؤه حالياً في فنلندا وفرنسا لا يوفر الكفاءات المطلوبة من الكوادر الأوروبية المؤهلة والتي تمتلك الخبرة الكافية(12).

أما بشأن رأس المال المطلوب للاستثمار في المفاعلات النووية فمتغير دوماً صوب الارتفاع، وهذا ما يحد من الاستثمار في هذا القطاع. فعلى سبيل المثال، نظرت محكمة الاتحاد الأوروبي في قضية تعمد ائتلاف مجموعة من الشركات الألمانية والفرنسية لخفض تكلفة المشروع ظاهرياً للفوز بالعطاء؛ وهذا الأسلوب متبع على نطاق واسع في شتى أرجاء المعمورة، وبخاصة في دول الجنوب الأكثر فقراً، ونحن منها؛ إذ يتم تجاهل تكلفة النفايات النووية وإدارتها لمئات السنين، حيث تنتج الدول التي تستمد الطاقة من المفاعلات النووية آلاف الأطنان من النفايات النووية(13)، وينبغي اتخاذ التدابير الملائمة لمعالجتها أو تخزينها لفترات طويلة جداً بحيث لا تمس أمن الأجيال القادمة.

كذلك، بدأت تتضح رؤى جديدة اليوم مفادها جعل هذه النفايات قابلة للوصول إليها واستردادها في المستقبل، حتى لو دفنت على بعد مئات الأمتار في قلب الصخور "الثابتة" والمستقرة مبدئياً؛ فربما ترغب الدول في إعادة تدويرها في المستقبل، أو ربما ترغب في التأكد من سلامتها، وما إلى ذلك. وهذا الإجراء يسهم في رفع تكلفة سعر إنتاج الكهرباء من المفاعلات النووية.

جدول 1: نسبة مساهمة بعض الدول في إنتاج اليورانيوم

	tonnes U	percentage of world
Australia	1,243,000	23%
Kazakhstan	817,000	15%
Russia	546,000	10%
South Africa	435,000	8%
Canada	423,000	8%
USA	342,000	6%
Brazil	278,000	5%
Namibia	275,000	5%
Niger	274,000	5%
Ukraine	200,000	4%
Jordan	112,000	2%
Uzbekistan	111,000	2%
India	73,000	1%
China	68,000	1%
Mongolia	62,000	1%
other	210,000	4%
World total	**5,469,000**	

Reasonably Assured Resources plus Inferred Resources, to US$ 130/kg U, 1/1/07, from OECD NEA & IAEA, *Uranium 2007: Resources, Production and Demand* ("Red Book").

فيما يتعلّق بالطاقة النووية بدعوى أنها مصدراً من مصادر الطاقة المتجددة، والنظيفة إلى حد ما، وذلك بفعل تطور التكنولوجيا النووية في العالم، وبالرغم من توافر اليورانيوم بكميات معقولة في بعض دول العالم وعند أعماق قريبة من السطح، كما هي حال الكميات المكتشفة في الأردن (أنظر الجدول 1)، حيث تبلغ حصة الأردن من احتياطي العالم نحو 2 %؛ فإننا ينبغي أن نتنبه إلى أمور ثلاثة أساسية:

الأول، هو حساب تكلفة إنشاء ومن ثم إدارة هذه المراكز وخدمة الديون فيما بعد، ذلك لأن الهيمنة التكنولوجية على الطاقة النووية ستوقعنا في مشكلة التبعية من جديد، وهي مكلفة جداً واحتكاراتها في العالم محدودة، ولا يوجد العديد من البدائل المتاحة فنياً وتكنولوجياً. إن اندفاع الصين وبريطانيا وفرنسا وروسيا والكوريتين صوب هذا الاتجاه محصّن بامتلاك التكنولوجيا الوطنية، فهل يمكننا أن نحصّن أنفسنا وأن نخلق كوادر راقية في غضون سنوات قليلة؟ ألا يذكرنا هذا الاحتكار بصناديق الاقتراض الدولية التي لم ينجُ من مصائدها أحد؟

وثانياً، علينا دراسة مدى تكلفة التأسيس للبنية التحتية التي تتطلب استهلاكاً كبيراً للمياه من أجل التبريد والتشغيل، وتستدعي إقامة أعمال هندسية عظيمة في منطقة المشروع، فضلاً عن بنية تحتية عملاقة تؤدي بالضرورة إلى تغييرات في البيئة الطبيعية: البرية والبحرية والجوية والجوفية؛ وأيضاً لن نهمل أثرها على البيئة الجمالية والاجتماعية والصحية ونحو ذلك.

وثالثاً، علينا أن نتساءل عن مدى تكلفة إنشاء القاعدة العلمية الأكاديمية والعملية (المختبرات) القادرة على تخريج أفواج من الكوادر المؤهلة لإدارة هذه المراكز. وعلينا أن نتساءل عن إمكانية القطع مع استيراد التقانة، أم أنها ستظل احتكاراً لدول الشمال في العالم؟ وهل يمكن لهذه القاعدة العلمية الأكاديمية أن تستقل أيضاً وتنتج أبحاثاً رصينة؟ فنحن لدينا شواهد حالياً عن مستوى البحث العلمي في العالم العربي!

إن فكرة التنوع في مصادر الطاقة فكرة في غاية الأهمية، ولكننا يجب أن نحذر من الاحتكارات الغربية في مجال الطاقة النووية، بحيث لا نعتمد عليها بصورة أساسية. فالتنوع ضروري والطاقة الكهربائية يمكن أن يتم إنتاجها من طاقة الشمس وطاقة الرياح كذلك، مع إدراكنا لبعض العقبات الماثلة أمامنا. والحجة التي نسمعها دوماً أننا بحاجة إلى base line في الإنتاج الكهربائي مرفوضة لأن محطات توليد الكهرباء من الوقود الأحفوري توفر الحد الأدنى المطلوب بصورة مستمرة.

وقد أصبح الإنتاج من هذه التكنولوجيا (طاقة الرياح، مثلاً، وضمن سرعات مرتفعة) متطوراً للغاية بحيث أخذت مؤخراً تنافس مصادر الطاقة التقليدية. ويمكن الاستناد على الخبرات الغربية لفترة قصيرة نسبياً بحيث تصبح بعدها الكوادر المحلية قادرة على إدارة شؤونها بنفسها إدارة تامة وكاملة ومن دون إشراف احترازي من هيئات دولية تنتهك السيادة الوطنية، على عكس الطاقة النووية الذي سيكون الإشراف عليها محتماً لفترات طويلة جداً لغايات ضمان السلامة العامة والأمن الإقليمي والعالمي وما إلى ذلك. وربما تتفاجئ دول الجنوب بعد بضع سنين من الاستثمار أن افتتاح المفاعلات للإنتاج التجاري غير ممكن!

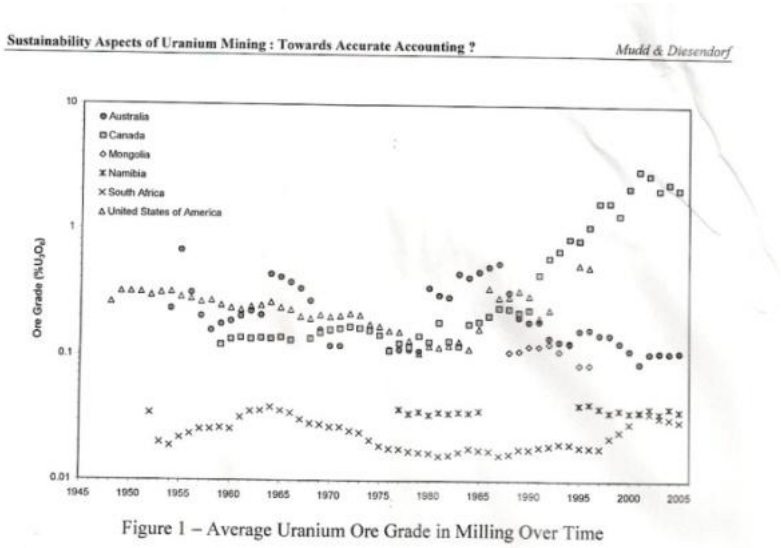
وبناءً عليه، هل تكلفة المفاعلات النووية واضحة المعالم في المدى المنظور؟ وهل تكلفة المخاطر الإشعاعية المحتملة تدخل في حسابات إنشاء المفاعلات أو في تكلفة إنتاج الكهرباء؟ وهل تكلفة إزالة هذه المنشآت في المستقبل محسوبة أيضاً بأسعار المواد والعمالة في ذلك الزمن من التاريخ؟ وهل احتمالية نضوب المادة الخام محسوب أيضاً؟ وهل القدرة على تسديد القروض وفوائدها، في ضوء تراكم العجز في ميزانيات الدول النامية، محسوبة كذلك؟

2- هل الطاقة النووية نظيفة؟

1.2 من جهة تعدين اليورانيوم؟

عندما يدّعي البعض أن الطاقة النووية أقل تلويثاً للجو من باقي مصادر الطاقة، يرد الباحثان المتخصصان لومن وسميث عليهما بالقول إنه عند وجود مادة اليورانيوم الخام بنسبة تركيز قليلة من أكسيد اليورانيوم U_3O_8، أي 0.1 %، مثلاً، فإن مفاعل نووي ينتج غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة أقل من محطة توليد كهرباء تعمل على الغاز وتنتج الطاقة نفسها من الكهرباء، ولكن بعد تسع سنوات على الأقل من تشغيلها. أما إذا تدنت النسبة عن ذلك (أي عن 0.1%)، وعند توافر خامات فقيرة جداً باليورانيوم، فإن المفاعل يكون قد أنتج كميات من غاز ثاني أكسيد الكربون خلال مراحل تصنيعه بما يساوي ما تنتجه محطات توليد الكهرباء التقليدية التي تعمل على الوقود الأحفوري(14).

أما في حال استخدام نوعيات أفضل من اليورانيوم الخام، على الأقل بتركيز 0.2% U_3O_8، فإن الطاقة المبذولة هي أقل بكثير من الكهرباء المنتجة، ولكن المحطة النووية يجب أن تعمل نحو سبع سنوات لتنتج ما تم إنفاقه من طاقة. أما في حال طاقة الرياح فإن إنتاج الكهرباء يتجاوز الطاقة المبذولة بعد 3 – 6 أشهر فقط من الإنتاج. وبالمقابل، وفي حال استخدام خام يورانيوم بتركيز أقل من نحو 0.02 %، فإن مراحل الإنتاج المختلفة تنتج غاز ثاني أكسيد الكربون بما يعادل ما تنتجه محطة توليد الكهرباء التي تعمل بالغاز الطبيعي. وإذا نظرنا إلى الشكل الآتي فإننا ندرك أن إنتاج جنوب إفريقيا وناميبيا تحديداً، فضلاً عن إنتاج بعض دول العالم الأخرى من اليورانيوم، يقع عند أو دون نسبة 0.1%(15). ونعتقد أن خامات الأردن من اليورانيوم تنخرط ضمن هذه المعايير المتدنية، إلى أن يثبت عكس ذلك.

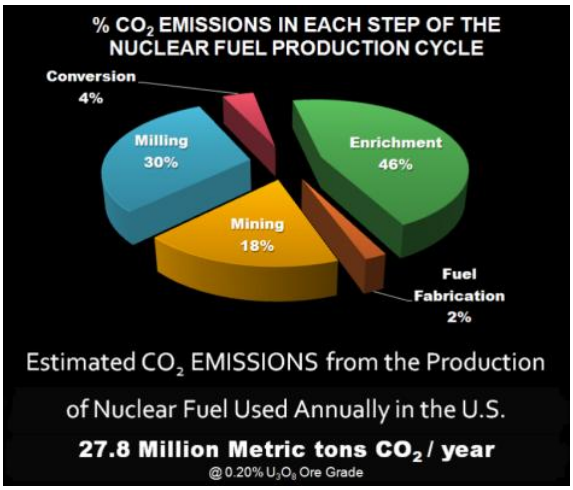


شكل 2: معدل محتوى اليورانيوم في خام اليورانيوم(16)

في نهاية الخمسينيات كان تركيز أكسيد اليورانيوم U_3O_8 في خامات اليورانيوم المتواجدة في مناجم الولايات المتحدة الأمريكية نحو 0.28 %، بينما في التسعينيات تدنى هذا التركيز ليصبح نحو 0.07 – 0.11 %. وهذا يعني أنه بمرور الوقت سوف تنخفض تركيزات أكسيد اليورانيوم في العالم، وبالتالي سوف تزيد صناعة إنتاج الطاقة النووية من إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو، وبالتالي سوف يتعاظم تلويث الغلاف الجوي للكرة الأرضية بالغازات الدفيئة التي اتفق العلماء أنها السبب الرئيس للتغير المناخي الحالي. وتعتبر كندا هي الدولة الوحيدة التي تتحسن فيها نوعية خام اليورانيوم نتيجة الاكتشافات الجديدة في الآونة الأخيرة لنوعيات ممتازة. ولكن، لم تؤثر هذه الاكتشافات كثيراً على معدل التركيز العالمي في العقود الخمسة الأخيرة حيث تراوح بين 0.05– 0.13 %(17).

ومن المعلوم اليوم أن النوعيات الجيدة التركيز من اليورانيوم تتواجد في مناطق محدودة من العالم، في كندا وكازاخستان، ونسبة بسيطة منه من إنتاج أستراليا وروسيا(18). ويصل الإنتاج الأسترالي من اليورانيوم إلى الاتحاد الأوروبي واليابان والولايات المتحدة الأمريكية بكميات كبيرة؛ فإلى أي مدى يمكننا اعتبار إنتاج الطاقة من المفاعلات النووية طاقة نظيفة؟

تؤكد ذلك التخوف أبحاث نشرت في مجلة Australian Science أن إنتاج الكعكة الصفراء U_3O_8 وتحويلها إلى غاز UF_6 وزيادة تركز U-235 وتحويل الغاز إلى مسحوق أكسيد اليورانيوم وكبسه في أنابيب الوقود؛ كلها عمليات تنتج ثاني أكسيد الكربون، فضلاً عن أن إنشاء البنية التحتية للمحطة النووية والأبنية الضرورية لها والتحصينات المرافقة لها وتعدين اليورانيوم وتشغيل المحطة وصيانتها وخزن الوقود وإعادة تدويره وإدارة النفايات وتخزينها لأمد طويل، وكذلك تفكيك المحطة عندما ينتهي عمرها التشغيلي؛ هذه الإجراءَات كلها تؤدي إلى تلويث في الجو.



شكل 3: إنتاج ثاني أكسيد الكربون خلال المراحل المتنوعة لإنتاج الوقود النووي(19)

يبين الشكل 3 كمية إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون نتيجة كل مرحلة من مراحل إنتاج الوقود الذري، بدءَاً من التعدين والتحويل والتخصيب حتى صناعة الوقود النووي. ويلاحظ أن مراحل تخصيب اليورانيوم لا تقل تلويثاً عن مراحل التعدين.

2.2 من جهة النفايات النووية؟

هناك دوماً مخاطر بيئية ناجمة عن احتمال تسرب الإشعاعات مع إدراكنا أن احتمالية حدوثها تتناقص بتطور التكنولوجيا الحديثة، كما حدث في مفاعل تشرنوبل في الاتحاد السوفياتي السابق (أوكرانيا) عام 1986، بالرغم من أن المفاعل النووي كان حديثاً نسبياً، فيما يمكن اعتباره من النوع الأكثر أماناً في العالم آنذاك. وقد تنقلت غيمة الإشعاعات حول مناطق معينة في العالم، إذ لوحظت بعض آثارها في شرقي أوروبا تحديداً، حينما هطلت أمطار ملوثة بالإشعاعات النووية وتلوث الماء والعشب الأخضر غذاء الحيوانات المختلفة وموئل التنوع الحيوي في الطبيعة. وقد عولج مئات الآلاف من الأشخاص الذين تعرضوا للإشعاعات، وما زالت الحالة الصحية للمصابين غير واضحة تماماً.

وهناك مخاطر التخلص من النفايات النووية، كاليورانيوم المشع، الذي ما زالت المنشآت الخاصة قاصرة عن الاحتفاظ به لآلاف السنين في ملاجئ محصنة أو في طبقات جيولوجية عميقة، كما أن مناطق التخلص من النفايات النووية غير محددة تماماً وتلجأ بعض الدول إلى القرصنة ودفنها في الدول الفقيرة أو في أعماق البحار. وهذا يذكرنا بالحوادث الملوثة بالإشعاعات النووية منذ الستينيات، مثل حادثة احتراق السفينة الفضائية Sky-up عام 1964 خلال عودتها إلى الأرض، وتلتها حادثة السفينة الفضائية Cosmos عام 1978، ثم غرق الغواصة النووية قرب سواحل النرويج عام 1989، وغرق أخرى بعد اصطدامها بسفينة في المحيط الهادي عام 1998 وغيرها الكثير من الحوادث العالمية. إذن، إن الصناعة النووية مفتوحة على مخاطر لا حدود لها.

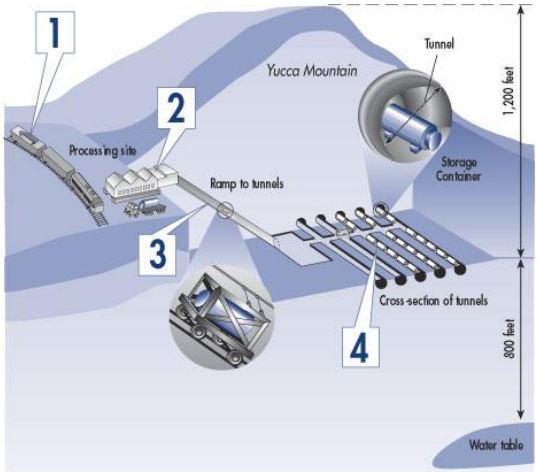
ومن ناحية أخرى، فإن اليورانيوم المستخدم في المفاعلات النووية يتم التخلص منه بعد استخدامه لمدة نحو سنة ونصف السنة، وهو ما زال مشعاً، وبعد أن يتم استخدام نحو 67 % من اليورانيوم 235. ويستخدم بعض اليورانيوم المستنفذ في إنتاج الأسلحة فيما يتم إعادة تأهيل بعضه الأخر للاستخدام من جديد Reprocessing في المفاعلات النووية، بينما يتم ردم البعض الآخر في طبقات جيولوجية عميقة(20).

وفي الحالة الأخيرة، حيث يتم اللجوء إلى دفن النفايات النووية، فإنه لا توجد ضمانات لعدم انتشار التلوث الإشعاعي في باطن الأرض ومن ثم وصوله إلى طبقة البيوسفير Biosphere خلال مئات الآلاف من السنين الضرورية لاستنفاذ قدرته الإشعاعية decay process. لذلك فإن معالجة النفايات النووية مسألة في غاية الأهمية والخطورة، وإن التخلص منها في البحار العميقة وتحت سطح الأرض لا يعني أن ضررها لن يصيبنا في المستقبل.

ففيما يتم تدوير وإعادة إنتاج البلوتونيوم واليورانيوم من النفايات النووية لمحطات توليد الطاقة النووية، فإن البعض الآخر يتم تحويله إلى أكسيدي البلوتونيوم واليورانيوم المستخدمين في بعض المفاعلات الأوروبية. ولكن الباقي يذهب إلى أماكن، إما أن تكون أمينة لفترة من الزمن، أو أنها تكون خطيرة للغاية، كما يحدث اليوم في بئر دونري Dounreay Shaft في اسكتلندا / بريطانيا، أو في أماكن أخرى من العالم.

والدخول في معركة إنتاج الطاقة من المفاعلات النووية يستدعي النظر في الطريقة التي سنتعامل بها مع إدارة النفايات النووية، للسيطرة على الإشعاعات. ففي بريطانيا هناك عدة مكبات للمخلفات النووية، مثل المكبات الضحلة Shallow burials للنفايات المتدنية التلويث Low level Wastes في منطقة Drigg مثلاً، فضلاً عن بئر دونري الشهير في اسكتلندا (بعمق 65 متراً) الذي ما زالت الحكومة البريطانية لا تعلم كيف تحل مشكلته التلويثية، وهو يحاذي البحر وقد بدأت عمليات الحت تقترب منه ليصبح مكشوفاً على البحر. وقد تم التخلص من كميات ملوثة كبيرة فيه في الماضي، وبات يسبب إشكالية سياسية وبيئية معاً سوف تستمر لزمن طويل. وقد شرعت شركة بريطانية في عام 2007 في تنفيذ مشروع حقن المنطقة المحيطة بالبئر من خلال أربعمئة ثقب، وذلك لإغلاق مسامات التربة ومنع حركة الماء منه وإليه. ويتوقع أن ينجز المشروع في غضون 2 – 4 سنوات(21). ولم نسمع عن إنجاز هذا المشروع بعد!

وهناك مناطق دفن مغلقة في مواقع متعددة من العالم، وهي مخازن مغلفة بالاسمنت بسماكات كبيرة أو ببعض أنواع المعادن التي تمنع مرور الإشعاعات النووية من خلالها، وهي منشآت ذات تكلفة بناء عالية. فهل نحن مستعدون لبناء منشآت للتخلص من النفايات النووية، وهل سينتفع منها غيرنا أم ستكون لنفاياتنا وحدنا؟ وهل ستصمد هذه القلاع أمام أنواء الطبيعة (الحركات الأرضية مثلاً)؟ وهل يمكن استعادتها في المستقبل عندما تصبح تكنولوجيا إعادة تدويرها أكثر أمناً وأقل تكلفة؟



شكل 4: رسم تفصيلي للمستودعات المشعة في نيفادا

قررت إدارة أوباما تطوير سياسة أكثر أمناً لخزن النفايات النووية لفترات طويلة جداً، وكذلك قررت إغلاق المستودعات النووية العميقة تحت جبال يوكا Yucca في نيفادا Nevada التي تظهر في الشكل 4 أعلاه[22]. وهذا ما يؤكد على أن مسألة تخزين النفايات النووية ليست بالمسألة البسيطة.

أجريت دراسة في 15 دولة على العاملين في المواقع المشعة (ما عدا العاملين في المناجم)، ونشرت عام 2005، أكدت على زيادة مخاطر إصابة العاملين في تلك المنشآت بالسرطان واللوكيميا حتى عند التعرض لإشعاعات بسيطة. شملت الدراسة 407,000 عامل وموظف الذين تعرضوا لشدة إشعاعات بمعدل 19.4 مللي سيفريت، علماً بأن المسموح به هو 50 مللي سيفريت سنوياً. واتضح زيادة احتمالية الإصابة بالسرطان بنسب متفاوتة وفقاً لشدة الإشعاع[23].

وتتعرض المنشأة النووية لمخاطر الحريق شأنها شأن المنشآت الحيوية الأخرى، وهي ناجمة عن أخطاء يرتكبها الموظفون والعمال والفنيين في أثناء عملهم. أما في المنشآت النووية LUDD فإن مخاطر الانفجار مرتفعة جداً نتيجة تحلل الغازات بالإشعاع radiolysis gas أو بفعل تحلل بعض المواد بفعل الإشعاعات، مثل الهيدروجين والغاز الطبيعي المتواجد في حاويات مضغوطة[24]. هذا ناهيك بمخاطر حدوث خلل فني ما في تزويد المحطة بالطاقة أو المياه أو بفعل عدم إتقان العمل وإسقاط المعدات وتصادم الآليات أو المواد المنقولة داخل المنشأة.

ويقول البعض أنه سوف يتم إعادة استخدام البلوتونيوم الموجود في المستودعات بتطور التكنولوجيا، ولكن هذه التقانة تمر بمشاكل كثيرة اليوم. والمرشح الأفضل هو مفاعلات Mixed Oxide Fuels (MOX) التي تعمل على اليورانيوم والبلوتونيوم معاً، ولكن هذا النظام أيضاً تشوبه مشكلة التكلفة والأمان. فقد أثبتت تجربة بريطانيا لإعادة استخدام اليورانيوم المستنفذ في منشأة سيلافيلد Sellafield أنها ليست عملية مجدية اقتصادياً وأن هناك بعض المشكلات الأمنية إشعاعياً في التعامل مع هذه المادة، حيث تم إعادة شحنة من هذه المواد إلى إنجلترا بعد شحنها في عام 1999 إلى اليابان[25]. وقد اقتحم نشطاء مجموعة السلام الأخضر محطة سيلافيلد احتجاجاً على شدة تلويث هذه النمط من التصنيع وإعادة التدوير. كذلك، تصاعدت الاحتجاجات إثر تسرب كميات كبيرة (83000) لتر من سائل شديد الإشعاع خلال فترة 9 شهور، فيما لم يتم ملاحظة ذلك إلا بعد فوات الأوان. أما في أماكن أخرى من العالم فقد تم إنشاء ثلاثة مصانع لإعادة استخدام الوقود المستنفذ الشديد الإشعاع في الولايات المتحدة الأمريكية، ولم ينجح أي منهم في الإنتاج بسعر معقول، فتم إغلاقها جميعاً[26].

الخلاصة

يمكننا القول إن الطاقة النووية التقليدية مجال هذه الدراسة ليست طاقة مستدامة أو نظيفة، سواء من جهة نضوب المادة الخام خلال عقدين من الزمن عند تشغيل المفاعل، أو من جهة تدني نوعية خامات اليورانيوم التي تطلق غازات دفيئة لا تقل سوءَاً عن كمية الغازات التي تطلقها المحطات الحرارية التي تعمل على مشتقات النفط. كذلك فإن استدامتها مرهونة باستيراد التكنولوجيا واحتكارات القدرة على التخصيب وتسديد القروض ونحو ذلك. فضلاً عن أنها تستنزف مصادر المياه المتاحة وتلويها حرارياً وربما إشعاعياً.

والأهم من ذلك كله هو المخاطر الناجمة عن هذه الصناعة، سواء من ناحية أمنية أو من جهة إطلاق الإشعاعات والملوثات والغازات الدفيئة خلال مراحل التعدين وإنتاج اليورانيوم المخصب ونقله والتعامل مع دفن النفايات المشعة أو إعادة استخدامها، الأمر الذي يجعل من إضافة ثمن هذه المخاطر على سعر وحدة الإنتاج يدحض مقولة تنافسية الطاقة النووية.

تخلص الدراسة إلى أن هناك مصادر نظيفة ومتجددة للطاقة متوافرة اليوم في العالم وستظل كذلك طالما بقينا على وجه هذه البسيطة، وتتمثل في طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الجوفية وطاقة أمواج البحر وطاقة المد والجزر ونحو ذلك[27]. إن طاقة الرياح باتت اليوم عند سرعات مناسبة تنافس في سعرها الطاقة النووية، ولكن بعض الأبحاث العالمية المشبوهة تدعي عكس ذلك لترويج الصناعة النووية وذلك من خلال عدم احتساب تكلفة عامل الأمان والمخاطر التي قد تنجم عنها، وعدم النظر في قيمة الاستدامة السلبية الناجمة عن احتمال نضوب اليورانيوم وتكلفة تفكيك المنشأة النووية عند انتهاء عمرها التشغيلي وقد شاهدنا حجم الضرر النفسي والصحي والمادي الذي نجم عن كارثة مفاعلات فوكوشيما بعد هزة 2011/3/11؛ ولا تحتسب كذلك كميات المياه المستهلكة والتلوث الحراري والغازات الدفيئة التي تطلقها هذه الصناعة ومقدار الضرر الناجم عنها على صعيد عالمي، وبخاصة فيما يتعلق بظاهرة الانحباس الحراري المعاصرة وما ينجم عنها من ظواهر تغير مناخي في غاية الخطورة.

مصادر البحث ومراجعه

(1) D. Jackson, "*Is Nuclear Power Environmentally Sustainable?*" International Journal of Green Energy, 2007, Volume 4, P.163 PP 161 – 172.
(2) www.world-nuclear.org/inf/inf102.htm (visited 31/1/2011).
(3) http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/images/number-of-reactores-01-10-10.jog (visited 17-1-2011).
(4) www.uranium-stocks.net (visited 1/2/2011).
(5) Paul Mobbs, Environmental Investigations, written evidence to House of Commons Environmental Audit Committee (EAC), September, 2005.
(6) د. نزار أبو جابر، *الأردن والتحدي البيئي*، عمّان: دار الشروق، 2010، ص114
(7) House of Lords Hansard, 22nd November 2005, col, 1498.
(8) Mark Diesendorf, *Can nuclear energy reduce CO_2 emission?*, Australian Science, July 2005, PP. 39 – 40.
(9) Colin Challen, Too Little Too Late: The politics of climate change, U. K, Picnic publishing, 2009, P. 145, 150.
(10) Ibid, P. 156.
(11) Ibid, P. 157.
(12) Ibid, P. 158.
(13) Ibid, P. 155.
(14) www.sustainabilitycentre.com.au/Nukes&CO_2.pdf (visited 11-1-2011).
(15) Mudd and Diesendorf, "*Sustainability Aspects of Uranium; Towards Accurate Accounting?*, 2nd International conference on Sustainability, Engineering and Science, Auckland, New Zealond, 20 – 23 February 2007, P. 4.
(16) http://www.nzsses.auckland.ac.nz/conference/2007/papers/MUDD-Uranium-Mining.pdf (Visited 18-1-2011).
(17) Mudd & Diesendorf, op. cit, P. 8.
(18) http://watd.wuthering-heights.co.uk/nuclear/images/uranium-map.gif (Visited: 15-1-2011).
(19) http://www.downtheyellowcakeroad.org/userfiles/image/CO2_EmsnsPieChart_800X679.png (Visited 15-1-2011)
(20) http://icbuw-hiroshima.org/dc/icbuw_leaf_arabic.pdf (visited 19/1/2011).
(21) www.dounreay.com/decommissioning/shaft (visited 19/1/2011).
(22) (http://dailypostal.com/wp-content/uploads/2010/03/yucca-mountain.jpg) visited 15-1-2011.
(23) http://www.mapw.org.au/download/mapw-briefing-paper-nuclear-power-and-public-health-may-2010 (Visited 15-1-2011)
(24) Ibid, P. 35/51.
(25) See article in: "New Scientist", P. 17, issue of the 10th July 2004.
(26) Mark Diesendorf, op. cit, P. 40.
(27) د. أيّوب أبو ديّة، *علم البيئة وفلسفتها*، الطبعة الأولى، أمانة عمّان الكبرى، 2008، ص 154 – 162.