الفصل السابع
تصفية محطات الطاقة النووية
سنثيا بولوك
ترجمة د. عيسى شاهين

بعد انقضاء حوالي أربعة عقود من الزمان على دخولنا العصر النووي وبناء ما يقرب من ٣٥٠ محطة للطاقة النووية، لا زال السؤال عن كيفية التخلص من المفاعلات النووية وفضلاتها بطريقة أمينة واقتصادية دون إجابةٍ إلى حد كبير. وخلافاً لتقنيات توليد الطاقة الكهربائية الاخرى، فإنه لا يمكن التخلي ببساطة عن محطات الطاقة النووية بمجرد انتهاء مدة عملها أو تدميرها بالطرق العادية المألوفة. فالنشاط الاشعاعي يتزايد بصورة مستمرة أثناء عمل المحطة، كما أنه يجب عزل جميع الاجزاء والاجهزة الملوثة بأمان عن الناس والبيئة. وبعضُ العناصر المشعة يضمحل بسرعة، غير أن بعضها الاخر يظل خطراً آلاف السنين.

ولا يعرف أحد تكاليف تصفية المئات من وحدات الطاقة النووية العاملة في أرجاء العالم أو تلك التي لا زالت تحت الانشاء. فالتكاليف تتراوح من ٥٠ مليون دولار إلى ٣ بليون لكل محطة. والتهافت الهائل على بناء محطات الطاقة النووية قبل عام ١٩٨٠ يعني أن معظم تكاليف تصفية هذه المحطات سيستوجب الدفع خلال عقدٍ واحدٍ من الزمان ـ من عام ٢٠٠٠ إلى عام ٢٠١٠. وبالرغم من أن المهندسين لا زالوا يناقشون العمر المتوقع للمفاعلات النووية، إلا أن التشغيل الاقتصادي لهذه المفاعلات قد لا يكون ممكنا لأكثر من ٣٠ سنة. فهناك العديد من الصعوبات التقنية، بما فيها القيود التي يفرضها تزايد النشاط الاشعاعي على الصيانة العامة وحتمية تحول وعاء الضغط في المفاعل إلى جسمٍ هشٍ، والتي من المحتمل أن تحد من إمكانات إطالة عمر المحطات النووية.

وفي نهاية القرن الحالي، حيث يحتمل أن يقل النمو في الطلب على الطاقة

(أنظر الباب السادس)، فان تكاليف تصفية المحطات النووية قد تكون أكبر مصروفٍ تجابهه صناعة توليد الطاقة، بل قد تفوق هذه المصاريف تكاليف إنشاء محطات جديدة. واستناداً إلى السياسات الحالية، فإن معظم هذه المصاريف سيجرى دفعها من قبل جيل لم يشترك في قرار بناء الرعيل الاول من محطات الطاقة النووية كما أنه لم يستخدم سوى القليل من الطاقة التي ولدتها هذه المحطات.

ومع أن الطاقة النووية قد غطت ٣٪[١] من احتياجات الكهرباء في العالم خلال العام ١٩٨٤، إلا أنه لم تجرِ تصفية أي من الوحدات التجارية الكبيرة حتى الآن[٢]. فقد انشغل المهندسون النوويون في التحدي الخاص بتطوير وتحسين هذه التقنية الجديدة، ولم يأبهوا بقضايا معالجة وتصريف فضلاتها. ومع اقتراب عدد متزايد من هذه المحطات من عمر التقاعد، فإن قضية معالجة المفاعلات التي انتهت مدة عملها ستستدعي الاهتمام. ولا يوجد حالياً أي بلد من البلدان التي تعتمد على الطاقة النووية قادر على التصدى لهذا التحدي.

إن أقدم المفاعلات النووية التجارية تقترب الان من نهاية عمرها، كما أن بعضها قد أغلق مبكراً بسبب الحوادث أو أخطاء في التصميم. ففي الولايات المتحدة يوجد العشرات من المفاعلات الصغيرة العسكرية والبحثية التي لا تستخدم حالياً، كما أغلقت أربع وحدات تجارية صغيرة وهي تنتظر التصفية، كما أن لجنة التنظيم النووية Nuclear Regulatory Commission تقدر أن عدد الوحدات التجارية الكبيرة التي ستتوقف عن عملها قبل عام ٢٠١٠ سيبلغ ٦٧ محطة. وعلى النطاق العالمي، فإن أكثر من ٢٠ محطة قد أغلقت، ومن المحتمل أن تتقاعد ٦٣ محطة في نهاية هذا القرن، و ١٦٢ محطة أخرى ما بين عامي ٢٠٠٠ و٢٠١٠[٣]. والبلدان التي تحظي ببرنامج نووي متقدم ستبدأ قريباً الاحساس بالضغط الناجم عن معالجة النهاية الخلفية الجديدة والمتسعة لدورة الوقود النووي.

ومن المحتمل أن يستمر عدم اعطاء القضية الهامة الخاصة بتصفية المحطات النووية ما تستحقه من اهتمام وعناية. فشركات الكهرباء والمستهلكون يتهربون من

مواجهة هذه التكاليف الجديدة الباهظة المرافقة لاستخدام الطاقة النووية. كما أن السياسيين يترددون في إثارة هذه المشاكل التي لن تصبح ملحة إلا بعد انتهاء حياتهم السياسية. هذا وتعاني صناعة توليد الطاقة النووية في الكثير من انحاء العالم من ضائقة مالية ولم تعد هذه الصناعة تستحوذ على اهتمام العلماء، وأرباب العمل، وواضعي السياسات.

إن تطوير تقنيات جديدة وصياغة قواعد تنظيمية معقدة للنقل الامين، وللتخزين، والتخلص من الفضلات المشعة، سيكون أمراً يصعب إنجازه في مثل هذه الظروف. ولكن ليس هناك من جدال في أن الصحة العامة والامان وتوفير السيولة المادية لشركات الكهرباء تتطلب أبحاثاً متسارعة في قضايا تصفية المحطات النووية والتخطيط المالي المتعلق بهذه القضايا.

تفكيك المحطات النووية وازالة التلوث الاشعاعي

إن تصفية المحطات النووية هي في الواقع قضية معالجة الفضلات على مقياس جديدٍ أكثر تعقيداً وأغلى كلفةً مما عهدناه حتى الان. فلاحقاً لاقفال محطة نووية، يجب على الشركة أو الهيئة المسؤولة أن تقرر أولا واحداً من سبلٍ ثلاثةٍ يستوجب سلوكها وهي: إزالة التلوث الاشعاعي وتفكيك المحطة مباشرة بعد الاقفال، أو «تخزين» المحطة لمدة ٥٠ ـ ١٠٠ عام ليخف نشاطها الاشعاعي قبل الشروع في تفكيكها، أو مجرد إقامة قبرٍ «دائم» لدفن هذه المحطات فيه. وكل من هذه الخيارات يستوجب إقفال المحطة، وازالة الوقود المستهلك من صلب المفاعل، وتصريف جميع السوائل، وغسل الانابيب. ويستوجب ذلك اعتماد طرق وقائية دقيقة مصاحبة لكل خطوة على الطريق وذلك حفاظاً على صحة الناس والعاملين[٤].

وفي إطار تفكيك المحطة الفوري بعد اقفالها، تجرى جزئياً عملية إزالة التلوث الاشعاعي للتراكيب التي كانت معرضة للاشعاع، ثم تفكك الخرسانة المسلحة والفولاذ المشعين باستخدام تقنيات متقدمة في الحفر والتقطيع، وأخيراً ينقل جميع الحطام الملوث بالاشعاع إلى مكان مخصص لدفن الفضلات. ويصبح عندئذ موقع

المحطة من الوجهة النظرية جاهزاً للاستخدام غير المقيد.

وعلى صعيد آخر، فان المحطات المنوي تخزينها تنظف مبدئياً ولكن التراكيب تظل سليمة وتوضع تحت الحراسة الدائمة منعاً لوصول الجمهور إليها. وبعد مضي ٥٠ سنة على تخزينها، تكون معظم النظائر المشعة القصيرة العمر قد اضمحلت، وتصبح إطالة عمر التخزين أكثر من ذلك طمعاً في مزيد من الوقاية أمراً غير مجد تقريباً، ويقتضي الحال تفكيك المحطةعندئذ. أما الاختيار الثالث، وهو دفن المحطة في قبر دائم، فيقتضي تغطية المفاعل النووي بالخرسانة المسلحة ووضع حواجز تمنع الوصول إلى الموقع. ولقد كان ينظر إلى هذه الطريقة كمخرج سهل ورخيص، إلا أن هذا الخيار لم يعد يعتبر عملياً نظرا لطول عمر مجموعة من النظائر المشعة.

ولقد دلت عملية مسح لثلاثين سلطة لتوليد الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة على أن ٧٣٪ منها قد خططت لتفكيك المحطة وازالة المفاعل مباشرة بعد الاقفال. غير أن سلطات توليد الكهرباء في كندا، وفرنسا، والمانيا الغربية ينوون تخزين مفاعلاتهم النووية لبضعة عقود من الزمن قبل تفكيكها[٦].

وبغض النظر عن الطريقة المختارة، فان عملية تصفية محطات الطاقة النووية تعتبر عملاً هندسياً معقداً، لم يسبق له مثيل. فمستويات الاشعاع العالية في المفاعلات التي أغلقت مؤخراً تضع قيوداً عديدة على فريق العمل الذي يقوم بتصفية المحطة. فالنظائر المشعة التي نصف عمرها قصير (وهو الزمن الذي يحتاجه النظير المشع ليضمحل إلى نصف مستواه الاصلي) تهيمن على الجرعة الاشعاعية مباشرة بعد إغلاق المحطة. وعلى العاملين اتخاذ أوسع الاحتياطات، بما فيها ارتداء ملابس واقية وأجهزة تنفس والمكوث أقصر مدة ممكنة في الاماكن الملوثة. ويجب مراقبة التعرض الاشعاعي بكل عناية، كما أن الالتزام بالتعليمات يقلل إلى حد بعيد من طول فترات العمل المطلوبة. أما الانتاجية المتدنية فهي أمر يستحيل تفاديه، وهي أقل من نصف ما يمكن أن تكون عليه في بيئة غير مشعة[٧].

وكثير من النشاطات خطر لدرجة يستحيل على العمال القيام بها مباشرة. وعلى ذلك فان تقنيات التحكم عن بعد، والمستخدمة غالباً وراء حواجز واقية، هي موضع اهتمام بالنسبة للابحاث الصناعية. فعربات الاستطلاع التي أرسلت إلى داخل المحطة النووية في «Three Mile Island» بعد وقوع الحادث المعروف فيها قد قامت بتحديد المستوى العام للنشاط الاشعاعي وحددت مواقع التلوث الشديد. كما قامت الكاشفات الصغيرة باستكشاف الاماكن التي يصعب الوصول إليها. واستخدمت وحدة جلي وتكنيس لازالة تلوث أرضيات الخرسانة المسلحة. هذا وان أي تقدم في تقنيات إنتاج الانسان الالي سيساعد على تقليل الاخطار أثناء عمليات ازالة التلوث وتفكيك المحطات.

ومعظم النشاط الاشعاعي في المحطات النووية التي تحال على التقاعد يكون على سطح تراكيب ومكونات المحطة. فنوع المادة وطبيعة سطحها تحدد عمق الاختراق ـ ويتراوح المدى بين عدة ملليمترات إلى حوالي ١٥ سنتمتر للخرسانة المسلحة المكشوفة. ومع أنه يمكن ازالة بعض التلوث السطحي باستخدام رشاشات الماء المضغوط ومزيلات التلوث الكيماوية، إلا أن جزءاً قليلاً من المواد يصبح نظيفاً لدرجة تسمح بإعادة تداوله أو التخلص منه بوضعه في الحظائر التجارية لتجميع الخردوات.

هذا وتجدر مراقبة كميات المذيب المستخدمة بكل حذر لان سوائل التنظيف نفسها تصبح مشعة. فالسوائل المنسكبة خلال تشغيل المحطة أو عمليات تنظيفها قد تؤدي إلى تلوث التربة المجاورة. والمحافظة على حجم الفضلات عند حده الادنى هدف صعب المنال: فكل جزء من آلة أو كل أداة يلامس سطحاً ملوثاً يجب إزالة ما أصابه من تلوث أو التخلص منه باضافته إلى كومة الفضلات المشعة.

أما المصدر الاخر للاشعاع الذي يواجه الفريق العامل في تصفية المحطة فهو نواتج التنشيط الاشعاعي فعندما ينشطر الوقود النووي ـ عملية انقسام نواة اليورانيوم ـ فان بعض النيوترونات والجسيمات الاخرى تتسرب إلى التراكيب

المجاورة. وتصطدم هذه النيوترونات بنوى العديد من الذرات، فتغير من تركيبها ويؤدي ذلك إلى أن تصبح بعض العناصر الموجودة في الفولاذ والخرسانة المسلحة المحيطة بالمفاعل النووي عناصر مشعة(٩).

إن مصدر الخطر الاكبر خلال بضعة العقود الاولى التي تعقب اغلاق المحطة النووية، يعود إلى أسرع العناصر اضمحلالاً. وإذ قيس النشاط الاشعاعي بوحدات الكيرى curie ، أو عدد الذرات المشعة التي تضمحل في الثانية، فان الكوبلت والسيزيوم هما النظيران المشعان السائدان من بين العناصر القصيرة العمر في المواد الملوثة بالاشعاع. أما العناصر المشعة الاخرى ذات العمر الاطول فموجودة بكميات أقل وتسيطر على مستويات الاشعاع في المستقبل. وهناك كميات كبيرة نسبياً من نظائر النيكل والنيوبيوم المشعة الطويلة العمر في الفضلات المنشطة إشعاعياً بالنيوترونات والتي من المحتمل أن تجعل الطرق التقليدية للتخلص من الفضلات المشعة بدفنها على أعماق سطحية غير ملائمة في هذه الحالة. ومن أخطر العناصر المشعة المعروفة التي تعيش أطول ما يمكن، هو النيكل ٥٩ ونصف عمره يساوي ٨٠,٠٠٠ سنة. وبصورة عامة فان المواد المنشطة إشعاعياً تفوق في نشاطها الاشعاعي المواد الملوثة بالاشعاع بما يزيد على ١,٠٠٠ مرة(١٠).

بعد إتمام عملية ازالة التلوث الابتدائية، يجب تفكيك المفاعل النووي والانشاءات المحيطة إلى اجزاء أصغر لنقلها ثم دفنها. أما وعاء الضغط الذي يحتوي على مفاعل نووي قدرته ١,٠٠٠ ميجاواط فيكون ارتفاعه أكثر من ١٢ متر وقطره ٤ أمتار وقد يستحيل نقله كما هو. ولكن تقطيعه تعتبر عملية خطرة ومكلفة. فكل قطع يسبب مزيدا من التلوث الهوائي ومزيداً من التعريض الاشعاعي للعاملين. كما أن الحاجة إلى التحكم بهذه العمليات عن بعد والأبقاء على تكوين الغبار الملوث عند حده الادنى سوف يعقد عملية تفكيك المحطة. وأحد التقنيات المستخدمة بنجاح تتضمن إجراء عمليات التقطيع تحت الماء بواسطة لهب قوس

بلازما. ومن الطرق الاخرى قيد التقييم تتضمن استخدام أشعة الليزر، وأدوات أفضل للقطع الميكانيكي كالمناشير ذات الاسنان الماسية، واستخدام المتفجرات لتحطيم جدران الوقاية المبنية من الخرسانة المسلحة.

إن الخبرة العملية في مجال تصفية المحطات النووية تنحصر في المفاعلات النووية الصغيرة جداً. فمحطة Elk River في ولاية مينيسوتا Minnesota والتي قدرتها ٢٢ ميجا واط هي أكبر محطة قد جرى إزالة تلوثها وتفكيكها بصورة تامة. فقد أتمت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة (DOE) في عام ١٩٧٤ مشروع تصفية المحطة الذي استغرق ثلاث سنوات وبلغت تكاليفه ٦,١٥ مليون دولار. فقد قطع المفاعل تحت الماء بواسطة لهب قوس البلازما، وتم التخلص من ٢,٦٠٠ متر مكعب من الفضلات الملوثة بدفنها في مدافن حكومية[١٢]. أما المفاعلات النووية الحالية فقدرتها هي أكثر بخمسين مرة وعمرها أطول بسبع مرات من محطة Elk river وبما أن النشاط الاشعاعي يتراكم بمقدار يتناسب مع حجم المحطة وعمر تشغيلها، فان محطة نووية قدرتها ١,٠٠٠ ميجاواط تستخدم لمدة ٣٠ سنة سوف تكون على مستويات من التلوث أعلى بكثير مما تقدم.

وتجرى حالياً تحت إشراف DOE عملية تصفية مفاعل shippingport الصغير ذى قدرة ٧٢ ميجا واط والذي يقع على بعد ٢٥ ميلاً خارج مدينة بتسبرغ Pittsburgh في ولاية بنسلفانيا. لقد افتتح المفاعل المذكور عام ١٩٥٧ كأول مفاعل للطاقة في الولايات المتحدة. وللمفاعل ثلاثة لباب (cores) مختلفة وأجريت له مؤخراً الجولة الاولى من عملية ازالة التلوث الاشعاعي. وبالبرغم من خبرة التشغيل الفريدة لمفاعل shippingport، فإنه يمكن استخدامه كنموذج أولي ثمين لا يستغنى عنه في عمليات تصفية المحطات النووية. ولكن بدلاً من ذلك، فان DOE تخطط لتغليف وعاء المفاعل الفولاذى الذي يبلغ طوله ١٠ متر من الخرسانة المسلحة، ثم رفع هذه الكتلة الهائلة التي تزن ٧٧٠ طن كما هي وتحميلها بالباخرة مروراً بنهري أوهايو والميسيسبي وخليج المكسيك وقناة بنما، وصعوداً على الساحل الباسفيكي ونهر

كولـومبيا. هذا وسيدفن المفاعل عند نهاية رحلته هذه في خندق أرضي في محطة هانفورد الحكومية لتخزين الفضلات النووية(١٣).

ويقدر أن الابقاء على وعاء الضغط لمفاعل shippingport قطعة واحدة سيخفض التكاليف بما لا يقل عن ٧ مليون دولار، أو ٧٪ من تكاليف التصفية الكلية، وبـالـرغم من ذلـك فان الاجراء المقترح يعتبر تصرفاً غير حصيف. فقد يتعذر مستقبلاً نقل المفاعلات الاكبر قطعة واحدة، كما أن اصعب مهمة ستواجهها فرق التصفية هي عملية تفكيك وعاء الضغط ومحتوياته. إن معالجة هذه القضية الان في shippingport قد يوفر خبرة ومعرفة نادرتين(١٤).

أمـا في اوروبـا، فيجـري حالياً التخطيط لتصفية عدة مفاعلات تجارية. والمشاريع الثلاثة الاولى هي محطة Niederaichbach بقدرة ١٠٠ ميجا واط في المانيا الغـربية، ومفـاعـل Windscale الغـازى المتقـدم بقدرة ٣٣ ميجا واط في المملكة المتحـدة، والمفـاعل الغازي الفرنسي ٢ ـ G بقدرة ٤٥ ميجا واط في Marcoule. وبالرغم من أن مفاعلي فرنسا والمملكة المتحدة صغيران، إلا أن كل منهما قد عمل لمدة ٢٠ سنة وهي مدة طويلة تكفي لتلويث كل منهما لدرجة عالية. أما المفاعل النووي الالماني فهو أكبر من سلفيه إلا أنه لم يمكث في الخدمة أكثر من سنتين عندما أدت صعـوبـات تقنية إلى إغـلاقـه. ولكل من هذه المفاعلات الثلاثة تصميم مختلف، ومن المحتمل اكتشاف مشكلات خاصة بكل منها نظراً لاختلاف تقنيات التصميم(١٥).

كذلـك فإن الخـبرة المكتسبة في المفاعل المعطوب في Three Mile Island مكان حدوث أخطر حادثة في تاريخ الطاقة النووية ـ ستساعد أيضاً في عمليات التصفية مستقبلاً. فقد اتسعت، نتيجة لهذا الحادث وعمليات التنظيف اللاحقة، معرفة الصنـاعـة في مجال تصنيع الانسـان الالي، وتحضـير مزيلات التلوث الكيماوية وتقنيات التقطيع عن بعد، كما أن تبادل هذه المعرفة مع الدول الاخرى ووجود أجـانب في موقع الحادثة قد ضمن تطبيق هذه الدروس على نطاق واسع. إن

مستوى التلوث الاشعاعي في محطة Three Mile Island أعلى بعدة مرات من التلوث الـذي سنجـابهـه في معـظم مفاعلات الطاقة، وستتعدى تكاليف التنظيف في الحادث المشار إليه ١ بليون دولار قبل مجرد التفكير بعملية التصفية نفسها(١٦).

والاعتبارات الملحة في اختيار برنامج التصفية وطرق إزالة التلوث والتفكيك الملائمة يجب أن تكون هي صحة العمال والامان العام. وبالرغم من اضمحلال النشـاط الاشعـاعي إلى عشر قيمته الابتدائية وذلك خلال ٥٠ سنة من إغلاق المحطة، الامر الذي يقلل من تعريض العمال للاشعاع، فان المفاعل النووي يعتبر مصدر كبير للخطر خلال فترة التبريد. ومفاعل Humboldt Bay على الساحل الشمالي الغربي من كاليفورنيا هو مثال جيد على ذلك. فهو يقع في منطقة زلزالية نشطة - وهو غير مصمم لمقاومة الهزات الارضية - وقد أدى ذلك إلى توقيفه عن العمل نهائياً عام ١٩٧٦. غير أنه لا يتوقع البدء في تفكيك هذا المفاعل قبل نهاية القرن الحالي، بالرغم من أن التفكيك الفوري سيجعل الموقع صالحاً لاستخدامات أخرى كما سيحد من التعرض الاشعاعي الخطر للجمهور(١٧).

التخلص من الفضلات:

إذا أخذنا بعين الاعتبار حجم الفضلات المشعة الذي يتجمع حول العالم، فإننـا نشعـر بالانـزعـاج لانعـدام التقـدم في معالجته. فالقليل من الدول لديه مؤسسـات تجارية للتخلص من الفضـلات المشعـة ذات المستـوى الاشعـاعي المنخفض، وليس هنـاك بلد واحـد لديه مخزن دائم للفضلات الخطيرة ذات المستـوى الاشعـاعي المرتفع والوقود المستهلك والنواتج الجانبية لعمليات إعادة معالجة الوقود. إن تفكيك ودفن المحطات النووية التجارية الخطرة التي أحيلت على التقاعد لن يكون ممكناً قبل وجود أماكن أمينة لتخزين الفضلات المشعة.

هناك ١٢,٠٠٠ طن متري من الفضلات المشعة ذات المستوى العالي مخزونة حالياً في الولايات المتحدة بمفردها وسيصل هذا المخزون إلى أربعة أضعافه خلال الخمس عشرة سنـة القـادمة. إن خطورة هذه الفضلات تقتضي عزلها عن البيئة

البيولوجية لمدة ١٠,٠٠٠ سنة على الاقل، وهي مدة تفوق التاريخ الانساني المدون بأكمله. وتعتزم معظم البلدان دفن الفضلات المشعة في مخازن جيولوجية على عمق يتراوح بين ٣٠٠ و ١,٠٠٠ قدم. ومن أقوى الاسباب الداعية لاعتماد طريقة الدفن هي أنها تلغي الحاجة إلى سن أية تشريعات تنفيذية(١٨).

أما أين توضع هذه الفضلات فلا زالت قضية غير متفق عليها في كل من الستة والعشرين دولة المنتجة للطاقة النووية. إن عدم وجود مخازن للفضلات ذات النشاط الاشعاعي المرتفع سيحد من عمليات تصفية المحطات النووية التجارية حتى نهاية القرن الحالي على الاقل. إذ تستحيل تصفية موقع مفاعل نووي تصفية تامة إذا لم يكن هناك مكان لتخزين الوقود المستهلك والموجود في البرك المائية للمحطة النووية.

ويتكون وقود معظم المحطات النووية من قطع صغيرة من أكسيد اليورانيوم - في حجم ممحاة قلم الرصاص - مختومة في أنابيب معدنية طولها ١٢ قدم تحزم معاً في مجمع الوقود. وتتراكم نواتج انشطار ذرات اليورانيوم تدريجياً لدرجة تمنع حدوث الانشطار المتسلسل. ويقتضي ذلك استبدال ربع إلى ثلث وقود المفاعل العادي سنوياً. والوقود المستهلك يكون على درجة عالية من النشاط الاشعاعي ولذلك فإنه يكون ساخناً جداً. ويستدعي ذلك التعامل مع هذا الوقود المستهلك عن بعد ومن خلف جدران الوقاية السميكة.

إن التعرض لعملية الاضمحلال الاشعاعي التلقائي يؤدي إلى المرض الاشعاعي، وأحياناً إلى الموت. هذا وتشتمل الاثار البعيدة المدى، والتي تمتد في حالة وصول النظائر المشعة نفسها إلى الجهاز الهضمي أو الجهاز التنفسي، على الاصابة بالسرطان، والتشوهات الخلقية، والطفرات الوراثية. والسبب في خطورة النظائر المشعة انها تتمثل غذائياً، فتتركز في الاعضاء الحساسة، ثم تضمحل داخل الجسم. فالسترنشيوم، مثلاً، يتجمع في العظام، واليود يتراكم في الغدة الدرقية. وخلافاً للكثير من المواد الكيماوية السامة، فانه لا يمكن في الحال تدمير

النظائر المشعة أو ازالة خصائصها السامة. فالوقود المستهلك الغير معالج يظل أشد خطراً من خام اليورانيوم الاصلي لمدة تقترب من حوالي ٣ مليون سنة[١٩]. ويجب الابقاء على الفضلات ذات المستوى الاشعاعي المرتفع خارج نطاق الدورة الغذائية ومصادر المياه إلى أن تضمحل إلى مستويات غير ضارة.

وعملية إعادة معالجة الوقود المستهلك، والتي اعتبرت يوماً ضرورية لاستمرارية موارد الطاقة النووية على المدى الطويل، لا تمارس حالياً إلا في بلدين ـ هما فرنسا والمملكة المتحدة. والعملية المذكورة تعمل على إطالة عمر موارد اليورانيوم باستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم اللذين لم يضمحلا بعد، غير أن العملية تكلف أضعاف ما تكلفه عملية تعدين اليورانيوم ثم إثرائه. ويقبل كل من المصنع البريطاني في سيلافيلد Sellafield والمصنعين الفرنسيين في ماركول Marcoule ولاهيج La Hague الوقود المستهلك المحلي والاجنبي، على أن يعاد اليورانيوم والبلوتونيوم المستخلص، مع الفضلات ذات النشاط الاشعاعي العالي والتي تحول بالحرارة إلى اسطوانات زجاجية، إلى بلد المنشأ[٢٠]

ومع أن عملية المعالجة المذكورة تخلص المفاعل من الوقود المستهلك، إلا أنها لا تقضي على مشكلة التخلص من الفضلات. وفي الواقع، أن هذه العملية تضاعف هذه المشكلة لانها تزيد من عدد تداول ونقل الوقود. وكثرة الحركة هذه تزيد من خطر الحوادث ومن احتمال استخدام البلوتونيوم في تصنيع الاسلحة النووية أو سرقتها من قبل مجموعات ارهابية.

ولقد اقترحت واختبرت عبر السنين، وفي الولايات المتحدة على وجه الخصوص، عدة أماكن لاستخدامها في تخزين الفضلات ذات النشاط العالي، إلا أن أيا منها لم يقبل بعد كموقع لاستقبال الوقود التجاري المستهلك. وقد تكون المعارضة السياسية عقبة أصعب من الحصول على موقع مناسب من الناحية الجيولوجية. ومن المحتمل أن تكون قضية التخلص من الفضلات صعبة على وجه الخصوص في البلدان ذات الكثافة السكانية العالية، كاليابان والكثير من البلدان

الاوروبية. كما أن بعض البلدان، كهولندا مثلاً ـ حيث توجد معارضة شعبية قوية للتخلص من الفضلات محلياً ـ تأمل بتوفر بعض المواقع الدولية لهذا الغرض، ولربما بإدارة موردى المفاعلات النووية. غير أن احتمال قبول أي بلد لكميات كبيرة من الفضلات الخارجية أمر مستبعد. ولقد تناقلت الانباء أن الصين قد عرضت تخزين الوقود المستهلك لالمانيا الغربية في صحراء غوبي Gobi ، غير أن المفاوضات حول الموضوع ما زالت في بدايتها. والاتحاد السوفياتي هو البلد الوحيد الذي يستعيد الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المرتفع الناتجة عن المفاعلات التي يبيعها، في الغالب، إلى دول أروبا الشرقية(٢١).

وهكذا فان الوسط الجيولوجي الذي يختار كمخزن دائم للفضلات المشعة سيكون محكوماً بالخيارات المتوفرة محلياً. فالسويد تنوى التخلص من فضلاتها ذات النشاط الاشعاعي المرتفع في صخور الغرانيت، وتدرس المانيا الاتحادية إمكانية استخدام مناجم الملح الصخري، وتأمل البلجيك بوضع فضلاتها في الصخور الصلصالية (أنظر جدول ٧ ـ ١) ولا يوجد حالياً وسط واحد يمكن تفضيله بشكل واضح على الخيارات الاخرى الممكنة. فلكل من هذه الاوساط مشاكله الخاصة، بالرغم من امكانية التغلب عليها في معظم الحالات.

وعلى كل دولة أن تقرر فيما إذا كانت تريد مخزنا للوقود المستهلك، أو لعملية إعادة معالجة الفضلات، أو لكليهما معاً. فالوقود المستهلك صلب وموجود داخل قضبان معدنية، بينما الفضلات التي أعيدت معالجتها تكون في الحالة السائلة ويجب تحويلها إلى الحالة الصلبة قبل التخلص منها. لقد طورت فرنسا نظاماً لتحويل السوائل إلى مادة زجاجية، هذا وتعتزم عدة دول، بما فيها اليابان، والمملكة المتحدة، والمانيا الغربية تبني هذه الطريقة. وبموجب هذه الطريقة تحفظ الاسطوانات الزجاجية في صوامع تخزين فوق الارض لعدة عقود من الزمان حتى تبرد ومن ثم تحفظ في مخازن جيولوجية دائمة (٢٢).

جدول ٧ ـ ١ الاوساط الجيولوجية التي اختيرت لمزيد من الدراسة لتخزين الفضلات ذات النشاط العالي أو الوقود المستهلك في البلدان المختلفة.

البلد	غرانيت	صلصال	ملح	بازالت	طف	شيل	ديابيس
بلجيكا		×					
كندا	×						
فرنسا	×	×	×				
اليابان	×				×	×	×
اسبانيا	×		×				
السويد	×						
سويسرا	×						
المملكة المتحدة	×						
الولايات المتحدة	×		×	×		×	
المانيا الغربية			×				

Source: K.M. Harmon,«Survey of Foreign Terminal Radioactive Waste Storage Program», in Proceedings of the 1983 Civilian Radioactive Waste Management Information Meeting, Washingtion D.C., December 12-15,1983 (Springfield, Va.: National Technical Information Service, 1984).

ويخزن الوقود المستهلك حالياً في الولايات المتحدة في مواقع المفاعلات في أحواض ملأى بالماء. ولم يعد هناك متسع لمزيد من التخزين في العديد من المحطات القديمة. ولقد صادق مجلس النواب في الولايات المتحدة عام ١٩٨٢ على التشريع الخاص بسياسة الفضلات النووية (Nuclear Waste Policy Act (NWPA والذي يطلب من الحكومة الفدرالية تطوير منجمين جيولوجيين كمخزنين دائمين على أن يكون الاول منهما جاهزاً للعمل بحلول عام ١٩٩٨ ولقد أصدرت وكالة حماية البيئة معايير تحدد مستويات التسرب الاشعاعي من المدافن التي تقع على

عمق يتراوح بين ٣٠٠ إلى ١,٢٠٠ متر وذلك على مدى ١٠,٠٠٠ سنة. ولقد انحصر اختيار المخزن الاول مبدئياً في واحد من المواقع الثلاثة التالية: هانفورد، في واشنطن، جبل يوكا، في نفادا، او دف سميث كاونتي، في تكساس[٢٣].

ولقد أصبح الاختيار النهائي لموقع التخزين قضية سياسية ساخنة. إذ أقامت الولايات المرشحة لاختيارها مواقع للتخزين مع مجموعات حماية البيئة دعاوى قضائية تتحدى فيها الاسس التي بني عليها الاختيار. ولقد ورد على لسان جيمس مارتن James Martin وهو أحد المحامين العاملين مع صندوق حماية البيئة قوله: «هناك، أولاً، قلق من أن وزارة الطاقة، وهي في عجلة من أمرها لتحديد موقع للتخزين، قد اعتمدت على دراسات مبهمة سابقة للتشريع الخاص بسياسة الفضلات النووية (NWPA) وهي تؤخر تحليل أخطار نقل الفضلات المشعة مع أنه لا يحتمل التأجيل وثانيا، هناك أدلة على تدخل السياسة في عملية اتخاذ القرار. وتشكل هذه العوامل تهديداً خطيراً لنزاهة عملية الاختيار والقبول العام لها»[٢٤].

ولكل من المواقع المقترحة مساوىء. فهناك قلق كبير، مثلا، من أن خزن الفضلات في هانفورد قد يؤدي إلى تلوث نهر كولومبيا المجاور. كما أن مزارعي ولاية تكساس يخشون تلوث الارض من المياه الجوفية التي يعتمدون عليها في ري محاصيلهم. إن الاختيار الامثل للمواقع سيكون أمراً صعبا، ولكن السبيل الوحيد للتأكد من سلامة الاختيار النهائي هو إجراء فحوص مستفيضة في كل من المواقع المقترحة وطرح نتائج هذه الفحوص للاطلاع العلمي.

وهناك عدة دول تدرس امكانية استحداث مرحلة متوسطة لتخزين الوقود المستهلك في أماكن بعيدة عن مواقع المفاعلات. وتمتلك السويد أكثر هذه البرامج تقدماً: فمؤسسة CLAB، المجاورة لمحطةOskarshamn النووية، سوف تخزن الوقود المستهلك الناتج من جميع المفاعلات السويدية لعدة عقود من الزمان قبل التخلص منها بوضعها في مدافن جيولوجية. وفي الولايات المتحدة، تجري دراسة امكانية اعتماد ثلاثة مواقع في ولاية تنسي، بما فيها مفاعل التفريخ المهجور على نهر

كلنتش، لبرنامج تخزين مؤقت تحت المراقبة. وإذا ما تم تبني خطة التخزين هذه فان ذلك سيمكن وزارة الطاقة في الولايات المتحدة من الايفاء بالتزامها بتولى أمر القيود المستهلك التجاري في عام ١٩٩٨ حتى لو لم يكن قد تم إعداد مخزن جيولوجي دائم حتى ذلك التاريخ. إن التخزين المؤقت للوقود سيسمح بمزيد من التبريد، مما يسهل عملية التخلص النهائي فيما بعد، غير أن ذلك سيزيد من عمليات نقل الوقود، كما يجب أن لا يسمح بأن يعيق ذلك عملية تطوير موقع دائم لدفن الفضلات(٢٥).

ولقد كانت السلطة التشريعية في ولاية كاليفورنيا، أول من سن تشريعاً عام ١٩٧٦ يحظر بناء محطات نووية جديدة حتى «توافق الحكومة الفدرالية على تقنية مجربه، وموجوده فعلاً، أو طريقة معتمدة للتخلص من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي العالي». هذا ولم يشتر أي مفاعل جديد في الولايات المتحدة بأكملها منذ عام ١٩٧٨، ويعزي ذلك بصورة رئيسية إلى تدهور اقتصاديات الطاقة النووية، والنمو البطيء غير المتوقع للطلب على الكهرباء، والتعليمات المشددة بعد حادث مفاعل Three Mile Island (٢٦).

ولقد حذت فنلندا، والسويد، وسويسرا، والمانيا الغربية حذو كالفورنيا وشرعت قوانين «اشتراطية» تجعل الاستمرار في استخدام أو بناء الطاقة النووية رهن بتطوير مخططات مقبولة للتعامل مع الوقود المستهلك وفضلات المفاعلات النووية. وتوجد في اليابان تشريعات مشابهة، هذا ولقد شبه أحد المعلقين خلو اليابان من مراكز للتخلص من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي العالي «كالعيش في بيت بدون دورة مياه». وتعتقد وكالة الطاقة الذرية الدولية في جنيف، أن عدم القدرة الحالية على التخلص من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي العالي يعيق تطوير الطاقة النووية في الاقطار النامية(٢٧).

كذلك فان النقص في مراكز التخلص من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المتدني قد يكون عائقاً أمام تصفية المحطات النووية وعلى نفس المستوى من الصعوبة. وبالرغم من كون هذه الفضلات أقل خطورة من سابقتها، إلا أنها

وهو ما يكفي لتغطية ملعب كرة قدم بهذه الفضلات إلى ارتفاع أربعة أمتار. (أنظر جدول ٧ ـ ٢).

جدول ٧ ـ ٢ تقدير الفضلات المشعة ذات النشاط المتدني الناتجة عن تصفية مفاعل نموذجي ذات ماء مضغوط قدرته ١,١٠٠ ميجاواط

المادة	الحجم المعد للدفن (متر مكعب)	أحمال الشاحنات (عدد)
المنشطة اشعاعيا		
معادن	٤٨٤	٢١٦
خرسانة مسلحة	٧٠٧	
الملوثة بالاشعاع		
معادن	٥,٤٦٥	٩٦٧
خرسانةمسلحة	١٠,٦١٣	
المشعة	٦١٨	١٨٠
المجموع	١٧,٨٨٧	١,٣٦٣

Source: R.I. Smith, G.J. Konzek, and W.E. Kennedy, Jr., Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Pressurized water Reactor Power Station, (Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1978).

فتصفية مفاعل نووي واحد من الحجم الكبير ينتج كمية من الخرسانة المسلحة والفولاذ الملوثين تعادل سدس ما ينتج سنوياً في الولايات المتحدة من الفضلات الاشعاعية ذات المستوى المتدني. وتصفية جميع المفاعلات النووية العاملة في الولايات المتحدة ينتج ما يزيد على ١ مليون متر مكعب من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المتدني، وهو ما يكفي لبناء حائط مشع ارتفاعه ثلاثة أمتار وعرضه متر واحد من واشنطن العاصمة إلى مدينة نيويورك. وتحتاج جميع اجزاء

obeikandl.com

المفاعل الملوثة والمنشطة إشعاعياً إلى طريقة خاصة في التداول والتصريف، وتعتبر بعض الفضلات مشعة لدرجة عالية لا تسمح بدفنها في مدافن أرضية سطحية. ولقد حدد العاملون في لجنة التنظيم النووي في الولايات المتحدة « U.S. Nuclear Regulatory Commission » عدة أنواع من فضلات التصفية التي إما لا تتوفر لها حالياً إمكانات التصريف أو أن هذه الامكانات غير مضمونة في الاطار التشريعي أو / والتنظيمي الحالي». (٢٨).

لقد كانت الولايات المتحدة والعديد من الدول الاخرى، حتى الستينات من هذا القرن، تتخلص من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المتدني برميها في البحر. وكانت البلجيك، وهولندا، وسويسرا، والمملكة المتحدة حتى عام ١٩٨٣ مازالت تلقي بالكثير من فضلاتها ذات النشاط الاشعاعي المتدني في البحر، عندما أعلن مؤتمر لندن للتخلص من النفايات London Dumping Convention حذراً على ذلك إلى أن تجرى دراسة علمية تحدد الاثار الناتجة عن ذلك على البيئة البحرية. ولا زالت عملية اعادة معالجة الفضلات المشعة في سيلافيلد Sellafield تضخ يومياً ١,٢ مليون غالون من فضلات الماء المشعة قليلاً في المحيط(٢٩).

وفي حالة التصريف الارضي للفضلات، فإن الطريقة المتبعة عادة تقتضي تعبئة جميع الفضلات بدءاً بالخرسانة المسلحة وانتهاء بملابس العمل، في براميل، وتخزينها إما في موقع المفاعل أو في مخازن خاصة لذلك. وهناك ستة بلدان فقط يتم فيها نقل الحاويات إلى مخازن تجارية للفضلات الاشعاعية ذات المستوى المتدني حيث تدفن في أنفاق محفورة في التربة أو مبنية بالخرسانة المسلحة.

ومع أن الولايات المتحدة تعتبر البلد القيادي في مجال التخلص من الفضلات، إلا أنها لا زالت بعيدة عن تحقيق برنامج فعال طويل الامد في هذا المجال. ففي أواخر السبعينات كانت نصف مواقع تصريف الفضلات الاشعاعية ذات المستوى المتدني فقط مازالت تعمل ـ واحدة في كل من نيفادا، وكارولينا الجنوبية، وواشنطن. ولقد قامت حكومات الولايات الثلاث، بعد أن احتجت

على استخـدام أراضيها كمراكز عامة للتخلص من الفضلات، بمنع أو تحديد استخدام منشآتها وذلك لفترة قصيرة خلال عام ١٩٧٩(٣٠).

ولقد حفز ذلك مجلس النواب على تمرير التشريع الخاص بسياسة التعامل مع الفضلات المشعة ذات المستوى المتدني Low Level Radioactive Waste Policy Act عام ١٩٨٠. والقـانون، الذي كان يهدف إلى تشجيع الولايات على عقد اتفاقيات اقليمية لانشـاء وتشغيل منشـآت تعـاونية لتصريف الفضـلات، لم يعمـل به. فالولايات المسؤولة عن انتاج اكثر من نصف الحجم وما يقرب من ثلاثة أرباع النشاط الاشعاعي الكلي للفضلات ذات المستوى المتدني لم تلتزم بالموعد النهائي وهو ١ كانون ثاني، ١٩٨٦ لتطوير مراكز اقليمية لتصريف الفضلات. فلم تقم المجموعات الاقليمية التي تشكلت باختيار اي موقع جديد. وبدون احداث تغيير سريع في القانون، فان منشآت تصريف الفضلات ذات المستوى المتدني ستغدو مغلقة أمام ثلثي عدد الولايات. وتوقعاً لعملية الاغلاق المذكورة، بادرت حوالي ١٢ مؤسسة لتوليد الكهرباء ببناء منشآت تخزين في مواقع المحطات النووية. ويقدر لهذه المخازن المؤقتة استيعاب الفضلات ذات المستوى المتدني لمدة ست أو سبع سنوات(٣١).

وحتى لو بقيت مراكز تصريف الفضلات الحالية مفتوحة، فانها أصغر من أن تستوعب حجم الفضلات الناتجة عن عمليات التصفية المتوقعة. وفي مركز تخزين الفضلات في بارنول Barnwell، في كارولينا الجنوبية، سيتحدد سقف الاستيعاب بموجب تشريع فدرالي مقترح بمقدار ٣٤,٠٠٠ متر مكعب سنوياً من الفضلات المشعة. وعلى ذلك فان أنفاق التخزين في بارنول والتي عددها ٣٢ لن تستوعب أكثر من فضلات التصفية الناتجة عن اثنين من المفاعلات سنوياً، على فرض إلغاء جميع عقود التصريف المبرمة حالياً(٣٢).

وتعتزم السويد خزن فضلاتها المشعة ذات المستوى المتدني في قاعات وغرف داخل صخور الغرانيت على عمق ٥٠ متراً تحت قاع البحر. وبعض البلدان، بما

فيها المانيا الغربية، تخزن مؤقتاً مثل هذه الفضلات في مخازن فوق سطح الارض، في انتظار توفر مراكز دائمة للدفن مستقبلاً. وهناك مخزن واحد على الاقل سيقام مستقبلاً في المانيا الغربية في أحد مناجم الحديد السابقة. أما في اليابان فتخزن الفضلات المتراكمة ذات المستوى المتدني في مواقع المحطات النووية. وتعمل الامكانات المتوفرة للحرق والانضغاط على الابقاء على حجم الفضلات ضمن الحدود الممكنة في نفس الوقت الذي تجري فيه الابحاث على طرق تصريف الفضلات على الارض وفي البحار(٣٣).

إن نقل الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المتدني والمرتفع إلى مدافنها الدائمة يعتبر جزءاً لا يتجزأ من عملية تصريف الفضلات. وهناك عدة طرق مقترحة للنقل. ففي الولايات المتحدة سينقل معظم الحمل بواسطة القطارات والشاحنات. أما في السويد فستنقل كل الفضلات بواسطة السفن، وفي البلدان الاخرى سيستخدم مزيج من طرق الشحن بواسطة الشاحنات، والقطارات، والسفن. وينقل في الغالب الحجم النسبي الصغير من الفضلات الناتجة حالياً عن المحطات العاملة على طرق تتجنب المرور في المراكز المآهولة. وعندما يتعذر إجراء ذلك، تنقل الفضلات ذات المستوى العالي من الاشعاع خلال الليل تحت حراسة مسلحة. ولقد منعت مدينة نيويورك عام ١٩٧٦ نقل الفضلات المشعة ضمن حدودها. ولقد حذت المدن والتجمعات السكانية على امتداد الولايات المتحدة حذو مدينة نيويورك. وبعد معركة قضائية طويلة، أصدرت وزارة النقل حكمها بعدم شرعية هذه القيود المفروضة(٣٤).

هذا وما زال العديد من البلدان يفتقر إلى أنظمة شاملة تحكم تغليف، ونقل، والتخلص من الفضلات المشعة. أما الابحاث والنشاطات التطويرية فهي تتقدم ببطء في هذا المجال، ويحاول المهتمون بهذه القضايا في العالم جذب الانظار إليها.

إن قرار تطوير الطاقة النووية يجب ان يشتمل ضمناً على تحمل مسؤولية معالجة الفضلات المشعة بطريقة أمينة. وواضح أن سياسة تصفية المحطات

النووية هي اليوم رهينة عدم وجود مراكز للتخلص من الفضلات. ومن المستبعد أن تقوم الهيئات المشرفة على توليد الطاقة الكهربائية بتفكيك المفاعلات ما لم تتأكد من وجود مكان ما يستوعب جميع الفضلات الناتجة.، ومن أن موقع المفاعل سيصبح جاهزاً عندئذ لاستخدامه في أغراض أخرى.

تقدير الكلفة:

إن تقدير كلفة تصفية المحطات النووية يخضع حالياً للتخمين إلى أبعد الحدود: وكما أشرنا سابقاً، فان الارقام المتداولة حالياً تتراوح بين ٥٠ مليون إلى ٣ بليون دولار لكل مفاعل، وإن كان معظمها يقع عند الحد الادني من سلم التقديرات. ولقد استندت بعض توقعات الكلفة هذه على تقديرات نوعية، واستخدم بعضها الاخر قاعدة عامة مبنية على أساس نسبة مئوية ثابتة من تكاليف الانشاء، والقليل منها قد اعتمد على دراسات هندسية تفصيلية مرتبطة بطبيعة الموقع. وفي الحقيقة، إن جميع الارقام المذكورة هي مجرد تخمينات مبنية على العا يد من الفرضيات غير المؤكدة وعلى درجات متفاوتة من التمني.

ولقد طلبت لجنةالتنظيم النووية في الولايات المتحدة U.S- Nuclear Regulatory Commission عام ١٩٧٨من Battelle Pacific Northwest Laboratory تقدير كلفة تصفية المفاعلات ذات قدرة ١,١٠٠ ميجا واط من النوع الذي يعمل بماءٍ مضغوط او ماءٍ يغلي (PWRS, BWRS). (وتعتبر هذه من أكثر انواع المفاعلات شيوعاً في العالم، إذ تكون ٧٢٪ من جميع المفاعلات العاملة ـ ١٦٥ من نوع PWR و ٧٧ من نوع BWR). وتراوحت تقديرات مختبر Battelle من ٦,١٥ مليون دولار إلى ٨٦ مليون، اعتماداً على نوع التقنية التي أنشئت بموجبها المحطة وعدد سنوات تأجيل التصفية بعد إقفال المحطة. ولقد قدر أن التفكيك الفوري لمفاعل من نوع PWR هو الأقل كلفة بينما تفكيك مفاعل من نوع BWR بعد ٣٠ سنة من اغلاقه سيكون الاكثر كلفة. وفي حالة تساوى جميع الاعتبارات الاخرى، فإن تفكيك مفاعل من نوع BWR يكون أعلى كلفة بصورة عامة، لان حجم الفضلات الملوثة الناتجة عن تفكيكه يكون أكبر(٣٥).

هذا وان عدم وجـود تقديرات تفصيلية لكل نوع من المفاعلات، قد أدى بالوكالات التنظيمية ومؤسسات توليد الكهرباء إلى اعتماد تقديرات مختبر Battelle ، ولسنوات عديدة، بالنسبة لتشكيلة واسعة من المنشآت النووية. ولم يؤخذ في ذلك اي اعتبار: للفروق في حجم وتصميم المحطة، ولامكانية توفر مراكز للتخلص من الفضلات المشعة مستقبلاً وبعد هذه المراكز عن المحطة، وللخصائص الفريدة المميزة للموقع كمحدودية المساحة او صعوبة التضاريس الطبيعية. ولكن عندما بدأت كل من مؤسسـات توليد الكهرباء تجري دراسات لتقدير الكلفة الخاصة بموقعها وأخذت التكاليف المختلفة الاخرى، كالتخلص من الفضلات مثلاً، تزداد أكثر مما كان متوقعاً، أصبح من الواضح ان التقديرات الاولية السابقة كانت منخفضة جداً.

وفي عام ١٩٨٤، وبنـاء على تكليف من معهـد ابحاث الطاقة الكهربائية Electric Power Research Institute قام مختبر Battelle بتحديث تقديراته، حيث تبين أن التكـاليف قد ازدادت فعـلاً في السنـوات الست السابقة بمعدلات تفوق كثيراً مستـويات التضخم. ولقـد كان الارتفـاع في تكاليف التخلص من الفضلات أسرعهـا على الاطـلاق. كذلك عدلت الفرضيات لتعكس التشريعات الحالية وأوضاع السوق. وبناء على ذلك فقد ارتفعت تكاليف التصفية الفورية للمحطات النووية بمقدار ٦٩٪ بالنسبة لمفاعلات PWR وبمقدار ١٠٨٪ بالنسبة لمفاعلات BWR امـا التقديرات التي استندت إلى الاختلاف في الموقع، بدلاً من النوع، بالنسبة للمحطات المتساوية في الحجم فقد وصلت إلى ١٢١٠,٥ مليون لمفاعل PWR (وهي أعـلى بمقدار ٣٥٪ من تقديرات مختبر Battelle المحدثة) و ١٣٣,٦ مليون لمفاعلBWRمع استثناء تكاليف إزالة التراكيب غير المشعة(٣٦).

إن أسس تقـدير الكلفـة التي طورها مؤخراً التجمع الصناعي الذري The Atomic Industrial Forum ، وهي مجمـوعـة من العـاملين في المجـال الصنـاعي - التجاري، ادت إلى تقدير كلفة التصفية بمقدار ١٧٠ مليون دولار لكل محطة. وهي زيادة تربو على ستة أضعاف خلال عشر سنوات. وكان التجمع المذكور قد

أصدر تقرير عام ١٩٧٦ يقدر تكاليف تصفية مفاعل من نوع PWR قدرته ١,١٠٠ ميجا واط بما يساوي ٢٧ مليون دولار. هذا وقد توصلت دراسة تفصيلية لتقدير كلفة التصفية امتدت على مدى ثلاث سنوات في سويسرا أن إحالة محطة نووية على التقاعد سيكلف خمس تكاليف انشائها. ويترجم ذلك إلى عدة مئات من ملايين الدولارات بالنسبة للمحطات التي أنشئت مؤخراً[٣٧].

ويتنبأ الاقتصادي دوين تشابمن Duane Chapman في جامعة كورنل Cornell University، وهو محلل اقتصادي مستقل، بأن تكاليف التصفية ستساوي تكاليف الانشاء، بالدولارات الثابتة. ويعادل ذلك، في الولايات المتحدة، حوالي ٣ بليون دولار لمحطة جديدة قدرتها ١,٠٠٠ ميجا واط. ويشير تشابمن إلى الاجراءات والتقنيات المعقدة لعلمية التصفية، وإلى الحجم الهائل للفضلات المشعة، وإلى التبخيس المزمن في تقدير كلفة الانشاءات النووية. هذا ولقد اضافت الابحاث التي أجريت في مؤسسة راند Rand Corporation عنصر تشكيك آخر. فقد استنتج محللو النظم في هذه المؤسسة ان المشاريع الهندسية الكبيرة التي تعتمد على تقنيات جديدة تكلف في المتوسط أربعة أضعاف التقديرات الاولية. ولقد بلغت تكاليف انشاء المحطات النووية مؤخراً في الولايات المتحدة ٥ ـ ١٠ اضعاف التقديرات الاصلية، حتى بعد أخذ التضخم بعين الاعتبار. ولقد أصبح تجاوز الكلفة بمقادير تصل إلى اضعاف التقديرات الاولية هو القاعدة لا الشواذ[٣٨].

وبسبب تجاوزات الكلفة الاجمالية، فإن ما قيمته ٢٠ بليون دولار من المحطات التي كانت قيد الانشاء قد تم هجرها في الولايات المتحدة، كما استثمر أيضاً مبلغ ١٠٠ بليون دولار في محطات نووية قد لا تعمل أبداً. ولقد قدرت كلفة تشغيل المفاعلات النووية في بداية السبعينات بما يقل عن ١ دولار مليون لكل ميجا واط، ولكن هذا التقدير لم يتحقق أبداً في السنوات الاخيرة. فتكاليف الوحدات التي أنجزت مؤخراً قد قاربت في المتوسط ٣ مليون دولار لكل ميجا واط، وفي محطة شورهام Shoreham على Long Island، فان الكلفة قد جاوزت ٥ مليون دولار لكل ميجا واط بالرغم من ان المحطة لم تبدأ بالعمل بعد[٣٩]. إن

تكاليف التصفية المقترحة من قبل الصناعة النووية تستند إلى الفرضية القائلة بأن زيادة الخبرة في مجال معين تؤدي إلى تقليص التكاليف مع الزمن. ولكن يبدو أن خبرة الولايات المتحدة في مجال الانشاءات النووية تتحدى هذه الفرضية. . . فالتكاليف قد تسارعت عبر السنين.

إن تكاليف التصفية لاثنين من مفاعلات الجيل الاول المحالة على التقاعد قد زادت على ١ مليون دولار لكل ميجا واط. (أنظر جدول ٧ ـ ٣). فمحطة Shippingport ،بالرغم من استفادتها من ترتيبات النقل الفريدة والدعم الاتحادي (الفدرالي) للتخلص من الفضلات، فمن المتوقع أن تكلف تصفيتها ٩٨ مليون. . . اي بواقع ١,٣٦ مليون دولار لكل ميجا واط. ويستثنى هذا الرقم تكاليف تفكيك المنشآت غير الملوثة.

ومن غير المحتمل سحب هذه التكاليف مباشرة على أساس كلفة الميجا واط الواحد، ولكن مثل هذا الاقتراح قد لا يكون بعيداً عن الواقع. فبالرغم من وجود بعض الجوانب الاقتصادية التي تخضع لمثل هذا المقياس التناسبي، إلا أن النشاط الاشعاعي الذي يتزايد باستمرار يتناسب مع قدرة المحطة مضروباً في عدد سنين تشغيلها. فكلما كانت المحطة أكبر، كلما كان نشاطها الاشعاعي أكثر، وكلما زادت تكاليف التنظيف والتخلص من الفضلات. فاذا أمكن تقدير كلفة التصفية بناء على حجم المفاعل النووي، فإن خبرة محطة Shippingport تدل عندئذ على أن ـ بالرغم من التوفيرات القصيرة النظر الناتجة عن الابقاء على وعاء الضغط للمفاعل سليماً أثناء النقل ـ تصفية أحد مفاعلات اليوم الكبيره قد يكلف أكثر من ١ بليون دولار.

ويقدر Andre Cregut من لجنة الطاقة الذرية الفرنسية أن سلطات توليد الكهرباء لن تقوم بتصفية محطات للطاقة النووية قبل أن تهبط التكاليف إلى حوالي ١٥٪ من قيمة الاستثمار الابتدائي، بالمقارنة مع ال ٤٠٪ التي يحتمل ان تصل إليها تكاليف التصفية باستخدام التقنيات المتوفرة حالياً. وعند ٤٠٪ من قيمة الاستثمار، فان تكاليف التصفية ستزيد على ١ بليون بالنسبة للمحطات التي بدأت العمل مؤخراً

وفي هذا المجال يظل السؤال عن امكانية تخفيض النفقات هو السؤال الحاسم الذي لا نستطيع الاجابة عليه في الوقت الحاضر(٤٠).

جدول ٧ ـ ٣ تقديرات تكاليف تصفية المحطات النووية المتوقفة عن العمل.

المالك / الموقع	القدرة	التكاليف المقدرة للتصفية	الكلفة لكل ميجاواط	عدد سنوات التشغيل
	(ميجا واط)	(بملايين من دولارات 1985)		
U.S. Atomic Energy Commission, Elk River	٢٤	١١٤	٠,٥٨	١٩٦٢ - ١٩٦٨
UK Atomic Energy Authority, Sellafield/ Windscale	٣٣	٦٤	١,٩٤	١٩٦٣ - ١٩٨١
Pacific Gas & Electric Humboldt Bay - Unit 3	٦٥	٥٥	٠,٨٥	١٩٦٣ - ١٩٧٦
U.S. Department of Energy, Shippingport	٧٢	٩٨	١,٣٦	١٩٥٧ - ١٩٨٢
Commonwealth Edison Co., Dresden - 1	٢١٠	٩٥	٠,٤٥	١٩٦٠ - ١٩٧٨

١. تمت تصفية Elk River في عام ١٩٧٤

SOURCES: R. Mark Pocta, «Report on the Dcommissioning Costs of Pacific, Gas and Electric Company for Humboldt Bay Power Plant Unit No, 3,» California Public Utilities Commission, June 1985; OECD Nuclear Energy Agency, «Compendium on Decommissioning Activities in NEA Member Countries,» Paris, January 1985; «DOE Says Decommissioning Costs on Target Despite Shippingport Increase,» Nucleonics Week, April 25, 1985; Public Citizen/ Environmental Action, «Dismantling the Myths About Nuclear Decommissioning,» Washington, D.C., April 1985.

obeikandl.com

وبما أن تصاميم المفاعلات قد تغيرت كثيراً على مدى السنين، فإن عدداً قليلا جداً من البلدان ـ ولربما فرنسا وكندا فقط ـ سيتمكن من تصميم نظام موحد للتصفية. ولا ينحصر الامر في مجرد تبني البلدان المختلفة لتقنيات مختلفة لبناء المفاعلات، بل إن الصناعة في بعض البلدان قد أحدثت تغييرات في معظم الانظمة المتوفرة في ذلك البلد. وهناك تسعة تعاميم مختلفة ممثلة بين العشرين مفاعلاً التي اغلقت حتى الان. (أنظر جدول ٧ ـ ٤). وكما ان تكاليف الانشاءات النووية قد استمرت في التضاعف في الولايات المتحدة بسبب إصرار كل سلطة لتوليد الكهرباء على تصميم خاص بها، كذلك فإن تقديرات التصفية والخبرة المكتسبة قد لا تكون قابلة للتبادل بين المؤسسات المختلفة العاملة في مجال توليد الطاقة.

إن التخلص من الفضلات المشعة سيكون أهم عامل في تقدير كلفة التصفية، إذ قد يبلغ ٤٠٪ من مجمل التكاليف وذلك بناء على تقديرات بعض المحللين الصناعيين. هذا ولقد زادت كلفة الدفن السطحي في الارض لحاوية سعتها ٥٥ غالونا من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المتدني أكثر من عشرة أضعاف خلال العقد الاخير في الولايات المتحدة. إن تكاليف التخلص من الفضلات قد زادت ثلاثة أضعاف في السنين الخمسة الاخيرة فقط ومن المحتمل أن تستمر هذه الزيادة بانتظام. هذا وستستمر المنشآت الحالية في زيادة أسعارها، كما أن تكاليف إنشاء مراكز جديدة للفضلات ذات المستوى الاشعاعي المتدني والمرتفع ستكون مرتفعة على الاغلب(٤١).

وقد نحتاج إلى مصاريف اضافية لترغيب التجمعات السكانية في قبول الفضلات المشعة. وتقوم المملكة المتحدة بإعادة النظر جدياً في سياسات تحديد مواقع التخلص من الفضلات وذلك في أعقاب المقاومة العنيفة التي أبداها السكان المحليون في مقاومة خطة تهدف إلى استخدام منجم مهجور للملح الصخرى في Billingham في شمال شرق انكلترا. ولقد أقر مؤخرا لويس روبرتس Lewis Roberts ، مدير مؤسسة أبحاث الطاقة الذرية في هارول Harwell ، أن على الوكالة تبني الطريقة الفرنسية واليابانية في تعويض التجمعات السكانية لقبولها تخزين الفضلات المشعة

على أراضيها(٤٢).

وقد ترتفع مصاريف العمل نتيجة للجهود المبذولة لتقليل الجرعات الاشعاعية التي يتعرض لها العاملون. فاستبدال المولدات البخارية في مفاعل Surry في ولاية فرجينيا، مثلاً، احتاج إلى ثلاثة أضعاف ساعات العمل المتوقعة. فالتشريعات الحالية تحدد تعرض العاملين في الصناعة النووية بمقدار Rems ٥ في السنة، وهي تعادل عشرة اضعاف القيمة المسموح بها للاشخاص العاديين. ويرغب العديد من خبراء الصحة العامة في تخفيض هذا السقف، مما سيؤدي إلى زيادة ملحوظة في تكاليف العمل خلال عملية التصفية(٤٣).

إن عدد السنين التي يقضيها المفاعل مخزوناً قبل تفكيكه هو أحد المتغيرات التي تغفل غالباً عند اجراء تقديرات الكلفة. إذ أن اقامة حراسة دائمة في الموقع لمدة عدة عقود من الزمان سيكون أمراً مكلفاً. وستشمل فاتورة النفقات على رواتب موظفي الحراسة، وأجهزة مراقبة الاشعاع، وصيانة منشآت تخزين الوقود وذلك في حالة عدم توفر مخزن للفضلات ذات المستوى الاشعاعي العالي. كذلك فإن تأجيل تصفية المحطات النووية سيؤدي إلى فقدان العاملين الذين عاصروا عمل المحطة وهم بالضرورة أعلم الناس باوضاعها ويقتضي ذلك وجود سجلات دقيقة وكاملة لاطلاع العاملين الجدد في المستقبل على تعقيدات المفاعل وتاريخ عمله. هذا ومن المقرر تصفية سبعة مفاعلات فقط قبل عام ١٩٩٥ من المفاعلات الواردة في جدول ٧ - ٤.

وبازدياد الخبرة في مجال تصفية المحطات وتداول الفضلات، فانه يتوقع أن تصبح التشريعات التنظيمية أشد صرامة. فاذا خفضت مستويات التعرض الاشعاعي للعاملين، واذا أصبحت القيود على مستويات الاشعاع المتبقى أكثر شدة من المتوقع، او إذا شددت القيود على إجراءات النقل والتخلص من الفضلات، فان التكاليف قد ترتفع ارتفاعاً كبيراً.

وبالرغم من اقامة المئات من المحطات النووية في العالم، فان تكاليف تصفيتها

جدول ٧ ـ ٤ مفاعلات الطاقة النووية التي لم تعد تعمل، ١٩٨٥

المفاعل	الموقع	عدد السنوات التي عملت بها المحطة		القدرة ميغاوات	نوع المفاعل
Shippingport	بنسلفانيا	١٩٥٧	٢٥	٧٢	PWR
G-2, Marcoule	فرنسا	١٩٥٨	٢٢	٤٥	GCR
G-3, Marcoule	فرنسا	١٩٥٩	٢٤	٤٥	Gcr
Dounreay	المملكة المتحدة	١٩٥٩	١٨	١٤	Fbr
Dresden - 1	الينوي	١٩٦٠	١٨	٢١٠	BWR
Ikdian Point-1	نيويورك	١٩٦٢	١٢	٢٥٧	PWR
Windscale	المملكة المتحدة	١٩٦٢	١٩	٣٣	AGR
Chinon-Al	فرنسا	١٩٦٣	١٠	٧٠	GCR
Humboldt Bay	كاليفورنيا	١٩٦٣	١٣	٦٥	BWR
JPDR, Tokai	اليابان	١٩٦٣	١٣	١٢	BWR
Agesta	السويد	١٩٦٣	١١	١٢	PHWR
Garigliano	ايطاليا	١٩٦٤	١٤	١٦٠	BWR
Karlsruhe	المانيا الغربية	١٩٦٥	١٩	٥٨	PWR
Gundremingen	المانيا الغربية	١٩٦٦	١١	٢٥٠	BWR
lucens	سويسرا	١٩٦٧	٢	٧	HWGCR
Peach Bottom	بنسلفانيا	١٩٦٧	٧	٤٠	HTGR
Lingen	المانيا الغربية	١٩٦٨	٩	٢٥٦	BWR
Gentilly-1	كندا	١٩٧٠	٩	٢٥٠	CANDU
NPP-AL	تشيكوسلوفاكيا	١٩٧٢	٧	١١٠	HWGCR
Niederaichbach	المانيا الغربية	١٩٧٢	٢	١٠٠	HWGCR

SOURCE: OECD Nuclear Energy Agency, «Compendium on Decommissioning Activities in NEA Member Counteries,» Paris, January 1985; International Atomic Energy Agency, «The Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities» (draft), Annex 2, Vienna, May 1985.

تتراكم بكميات أكبر. فتصفية محطة نووية كبيرة من النوع المألوف بعد تشغيل ٣٠ سنة ينتج ١٨,٠٠٠ مترا مكعباً من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي المتدني ـ

لازالت غير معروفة إلى حد بعيد. وقد تصل هذه التكاليف لجميع المحطات العاملة حالياً إلى عدة مئات البلايين من الدولارات. غير أن الخبرة اللازمة لتوضيح تقديرات الكلفة هذه لازالت مع الاسف مفقودة رغم الحاجة الملحة إليها. وحتى يمكن التعامل مع هذا القدر الهائل من المصروفات فإنه يجب وضع الميزانيات اللازمة لها، وعدم السماح لها بمفاجأتنا.

تكاليف التصفية في المستقبل:

إن عدم وجود تقديرات معتمدة للكلفة يجعل التخطيط المالي لعمليات التصفية أمراً بالغ الصعوبة. غير أنه لا بد من القيام ببعض الاجراءات لضمان وجود ما يكفي من الاموال، في اللحظة المناسبة، للقيام بهذا العمل. فعندما يتوقف مفاعل عن العمل، فإن ايراداته تتوقف أيضاً. ولضمان قدرة الشركة على دفع تكاليف التصفية، يجب توفير الاموال اللازمة خلال فترة عمل المفاعل.

ولقد اقترحت طرق مختلفة لتأمين ذلك، وكما هو الحال بالنسبة لبوالص التأمين، فان المخططات الاكثر ضماناً هي الاكثر كلفة. واحدى طرق ضمان توفر الاموال اللازمة مستقبلاً هي فتح حساب توفير بالفائدة قبل ان يبدأ المفاعل في العمل. وستعمل الفائدة على زيادة الرصيد السنوي. وإذا كانت تقديرات الكلفة صحيحة، أو إذا أودعت أموال اضافية عند تحديث التقديرات، فاننا سنضمن توفر الاموال اللازمة. إن هذه الاستراتيجية هي أكثر الاستراتيجيات كلفة وتتطلب من المستهلكين الدفع مقدماً لمصروف لن تتعرض له الشركة قبل مضي عدة عقود من الزمان(٤٤).

إن إيداع مخصصات شهرية او سنوية في صندوق للتصفية يشكل طريقة أخرى لتأمين الاموال اللازمة. إذ يمكن فرض رسم شهري على المستهلك، يتناسب مع استهلاكه للكهرباء، وتوضع الاموال المتجمعة في حساب للتصفية. وتفضل شركات الكهرباء متابعة الحساب المذكور على الورق فقط في الوقت الذي تستخدم فيه هذه الاموال لاغراض عامة أخرى، بما فيها بناء محطات جديدة، بدلا من

وضعها جانباً لاغراض التصفية مستقبلاً. إن هذه الطريقة تجنب الشركة الاقتراض من الاسواق المالية وتؤدي بذلك إلى تخفيض دفعات الدين المستحق، غير أن بعض المراقبين أطلق اسم «التمويل الوهمي» على هذه الطريقة لان الاموال تتوفر على الورق فقط ولا وجود لها في الواقع(٤٥).

وعندما يحين موعد تصفية المحطة، فان الشركة ستقوم على الاغلب ببيع «سندات تصفية» للحصول على المال اللازم. إن الاقتراض لاغراض غير منتجة سيكون أمراً مكلفاً، إذ أن المستثمرين سيطالبون بعوائد مجزية لتغطية الاخطار المتوقعة. ومن غير المحتمل اعتبار محطة نووية محالة على التقاعد ومشعة لدرجة عالية مشروعاً استثمارياً أميناً، خاصة إذا كان المالك يعاني من ضائقة مالية. فالقيمة الفعلية لسندات شركات الكهرباء، المثقلة بالتزامات نووية، هي حاليا أقل من ٥٠٪ من قيمتها الاسمية، الامر الذي يعكس ثقة المستثمرين بها (٤٦).

ومما لا شك فيه أن مشترى هذه السندات سيتوفرون إذا كان معدل الفائدة مجزياً، وقد يكون من الضروري في النهاية أن تتحمل الحكومة الفدرالية او مجموعة من شركات الكهرباء الاخطار الناجمة عن هذا الاستثمار. كما أن عجز مؤسسات تزويد الطاقة في وشنطن The Washington Public Power Supply System عام ١٩٨٣ عن الايفاء بالتزاماتها تجاه سندات الدين الصادرة عنها والبالغة ٢,٢٥ بليون دولار قد جعل المستثمرين في غاية الحذر. هذا وتجدر الاشارة إلى أن شركات الكهرباء التعاونية والبلدية الممولة كليا بسندات دين معفاة من الضريبة هي التي ستتعرض للاخطار على وجه الخصوص لعدم وجود دعم مقابل من حملة الاسهم، كما هو الحال في شركات الكهرباء الخاصة(٤٧).

وعلى الصعيد الاخر، إذا توفرت الاموال عن طريق فتح حساب للتوفير عندما تبدأ المحطة بالعمل، واذا أدير هذا الحساب من قبل مستثمرين اختصاصيين، واذا سمح لهذا الصندوق أن ينمو لحين الحاجة إليه، فان الاوضاع المالية لشركة الكهرباء لن تكون حرجة عند إحالة المحطة على التقاعد. ويصدق ذلك بصورة خاصة اذا قامت شركة الكهرباء بتقييم مفصل لتكاليف التصفية على فترات منتظمة

خلال عمر المحطة. ولا بد من تعديل قيمة الايداع السنوي بصورة دورية كلما علم المزيد عن تكاليف وتقنيات العملية.

وفي دراسة اجراها الاقتصادي J.J.Siegel من جامعة بنسلفانيا لحساب لجنة التنظيم النووي في الولايات المتحدة U.S.Nuclear Regulatory Commission استنتج منها: «أن أكبر ضمانة لتوفر الاموال اللازمة للتصفية تتحقق بواسطة احتياطي خارجي مخصص لهذه الغاية يشرف عليه مجلس أمناء نيابة عن المستهلكين وشركة الكهرباء. وفي هذه الحالة يستحيل على الشركة توظيف هذه الموجودات لاغراض أخرى وبذلك تتوفر الاموال للتصفية مهما وقع من احداث قانونية كانت أو مالية. اما التمويل الداخلي بدون حساب منفصل فقد جاء في آخر قائمة بدائل التمويل فيما يتعلق بالضمان(٤٨).

وحتى الاموال المتوفرة في الحسابات المخصصة لاغراض التصفية لن تكون كافية، اذا أغلقت المحطة في موعد مبكر. واذا حدث ذلك، وعلى وجه الخصوص كنتيجة لحادث مكلف غير مغطي من قبل شركات التأمين، فإن شركة الكهرباء ستجد نفسها في حالة عجز مالي. ومن الحلول المقترحة لمواجهة مثل هذه الحالات هي وجود بوليصة تأمين ضد الاغلاق المبكر. ويعتبر ذلك استراتيجية صحيحة اذا وجدت الشركات التي ترغب في توفير هذه التغطية.

ومن غير المحتمل أن توفر شركات التأمين التغطية اللازمة ضد الاغلاق المبكر بأسعار مقبولة ما لم يتحسن سجل التشغيل لصناعة توليد الكهرباء. وليس هناك واحد من بين المفاعلات المحالة على التقاعد حالياً قد عمل لمدة ثلاثين سنة، وهو العمر الذي تعتمده شركات الكهرباء في حساباتها. فالمفاعلات النووية أكثر تعقيداً من محطات توليد الكهرباء الاخرى، وهي تخضع في تصميمها لقواعد تنظيمية أكثر، كما تحتوي من الانابيب، والصمامات، والمضخات على عشرة أضعاف ما تحتويه المحطات الاخرى(٤٩). فالعدد الاكثر من القطع وبيئة التشغيل الاقسى تعني عدداً أكبر من احتمالات التوقف الخطيرة. فثلثي المفاعلات التجارية

المحالة على التقاعد حتى الان أنتجت طاقة كهربائية لأقل من ١٥ سنة، كما يبين ذلك جدول ٧ ـ ٤.

وأقل الطرق ضمانة للحصول على تكاليف التصفية هي جمعها من المستهلكين والمساهمين عند الحاجة إليها. إن هذه الاستراتيجية تؤجل حتى اللحظة الاخيرة تحصيل دين قد يبلغ بلايين الدولارات مع عدم وجود أية ضمانة بتوفر هذه الاموال عندئذ. أضف إلى ذلك ان استراتيجية اللحظة الاخيرة هذه غير عادلة على الاطلاق بالنسبة لمستهلكين يطلب منهم الدفع لمشروع لم يستفيدوا منه.

أما البلدا التي تمتلك فيها الدولة مؤسسات توليد الطاقة، كما في فرنسا، فقد اتبع مبدأ تأمين الاموال عند الحاجة إليها. ويفترض مديرو هذه المؤسسات أنهم يستطيعوا طلب الاموال اللازمة من خزينة الدولة عندما يحين موعد تصفية مفاعلاتهم. وفي هذه الحالة، يحمل العبء لدافعي الضرائب في السمتقبل بدلا من المستهلكين. وتقدر ديون شركات الكهرباء الفرنسية حالياً بمبلغ ٣٠ بليون دولار بسبب برنامج انشاء المحطات النووية المتسارع، وقد تتسبب الاموال اللازمة للتصفية في إحداث عجز كبير في ميزانية الدولة(٥٠). أما حكومات العالم الثالث وهي حاليا على حافة الافلاس فستكون تحت ضغط كبير لتأمين نفقات التصفية المطلوبة.

ومن بين المحطات التجارية الاربعة المحالة على التقاعد في الولايات المتحدة، فان واحدة فقط هي التي بدأت بجمع الاموال لاغراض التصفية قبل إغلاقها. فشركة الباسفيك للغاز والكهرباء The Pacific Gas and Electric Company، المالكة لمفاعل Humboldt النووي، قد جمعت ٥٠٠,٠٠٠ دولار خلال السنوات الاربع التي سبقت اغلاق المحطة. إن غياب التخطيط المالي في حالات ثلاث، والتنفيذ المتأخر والعاجز في الحالة الرابعة، قد أدى إلى فرض ايداع دوري إجباري في حساب خارجي في ثماني ولايات هي: كاليفورنيا، كولورادو، مينMaine، مساتشوستس، الميسيسبي، نيوهامشاير، بنسلفانيا، وفرومنت(٥١).

كما اعتمدت ترتيبات مماثلة في أماكن اخرى. ففي السويد، تدفع كل شركة تدير مفاعلا رسماً سنوياً للدولة. وتستثمر هذه الاموال في حسابات منفصلة تستدين منها شركات الكهرباء لدفع نفقات التصفية. وهناك ترتيبات على درجة أقل من الوجهة الرسمية في كل من المانيا الغربية وسويسرا(٥٢).

ومع إن العديد من البلدان لا يخصص جانباً أموالا لاغراض التصفية، إلا أن الاموال اللازمة للتخلص من الفضلات ذات المستوى الاشعاعي المرتفع تجمع حالياً في اثني عشر بلداً من بلدان اوروبا وامريكا الشمالية. وفي جميع الحالات، تدفع هذه الاموال إلى الوكالة الحكومية المسؤولة عن إنشاء مخازن جيولوجية للفضلات. ويتراوح الرسم من ١ إلى ٣ دولارات لكل ١٠٠٠ كيلو واط ـ ساعة من الكهرباء الناتجة عن المفاعلات النووية(٥٣).

وتخصيص أموال لاغراض التصفية هو أمر ضروري لكل بلد قام ببناء محطات نووية. وبغض النظر عن دور الطاقة النووية في مخططات الامة في مجال الطاقة، فان المحطات النووية الحالية يجب تصفيتها في النهاية. وستصبح نفقات التصفية مستحقة أولا في البلدان الرائدة في تطوير هذا المصدر من الطاقة. وستكون مجهوداتها في توفير هذه المصاريف موضع اهتمام. وستتعلم البلدان ذات المفاعلات الاحدث دروساً ثمينة، أما البلدان التي لم تبن بعد مثل هذه المحطات فستكون في وضع أفضل لتقدير الكلفة الحقيقية لتوليد الطاقة النووية.

ولقد بنت الولايات المتحدة أكبر عدد من المفاعلات النووية حتى الان، ويأتي الاتحاد السوفياتي في المرتبة الثانية بفارق كبير. (انظر جدول ٧ ـ ٥). ومعظم مؤسسات توليد الكهرباء في العالم غير مستعدة لمواجهة مصاريف التصفية. وقد بين مسح حديث أجرى على ٣٠ مؤسسة من المؤسسات التي تمتلك محطات نووية لتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة أن ٤٠٪ من الشركات لم تجر دراسات لتكاليف التصفية ترتبط بطبيعة موقع المفاعل، وان ثلثيها يستخدم الاموال التي جمعها للتصفية في أغراض اخرى، وأن ٢٩٪ لا يتوقع لطريقة تمويله الحالية أن توفر له الاموال اللازمة لتغطية المصاريف المطلوبة(٥٤).

جدول ٧ ـ ٥ مفـاعلات الطاقة النووية العاملة في عشرة بلدان رئيسة حسب احصاء عام ١٩٨٤.

البلد	عدد المحطات	القدرة النووية الكلية	النسبة من الأنتاج الكلي المحلي	النسبة من الأنتاج العالمي النووي
		(ميجا واط)	نسبة مئوية	
الولايات المتحدة	٨٤	٦٨,٥٣٦	١٣	٣٤
الاتحاد السوفياتي	٤٤	٢٢,٧٠٦	٨	١١
فرنسا	٣٦	٢٨,٠٢٥	٣٩	١٤
المملكة المتحدة	٣٢	٦,٥٦٩	١٠	٣
اليابان	٢٨	١٩,٠٢٥	١٢	٩
المانيا الغربية	١٩	١٦,١٢٧	١٨	٨
كندا	١٢	٦,٨٢٩	٨	٣
السويد	١٠	٧,٣٥٥	٢٤	٤
اسبانيا	٦	٣,٨٩٠	١٢	٢
بلجيكا	٦	٣,٤٦٧	٢٨	٢
المجموع الكلي	٢٢٧	١٨٢,٥١٩		٨٩

SOURCES: Atomic Industrial Forum (AIF), «International Survey,» Bethesda, Md., April 17, 1985; AIF, «Midyear Report,» Bethesda, Md., July 10, 1985; Eric Sorenson, International Energy Agency, Paris, Private communication, November 8, 1985.

استراتيجية بعيدة المدى:

بعد اكثر من ٣٠ سنة من بدء عمل أول مفاعل نووي للطاقة، فإننا لا زلنا بحاجة إلى صياغة استراتيجية فعالة لتصفية المحطات النووية. وحتى لو توقف الطلب على المفاعلات النووية غداً، فإن على الدول النووية ان تتخلص من أكثر من ٥٠٠ محطة، بما فيها تلك التي تحت الانشاء. فاذا بلغت كلفة تصفية المحطة

دولار. وسينتج عن ذلك جبال من الفضلات المشعة، وستنشأ الحاجة إلى عشرات من مراكز التخلص من الفضلات. ولا شك اننا بحاجة في هذا المجال إلى برامج بحث وتطوير جريئة حسنة التمويل على المستويين الوطني والدولي.

هذا وستغلق في العقود الثلاث القادمة، أكثر من ٣٠٠ محطة نووية. (انظر جدول ٧ - ٦) إن بعض المفاعلات التي أحيلت على التقاعد كبيرة لدرجة كافية وعملت لمدة كافية تسمح باستخلاص دروس ثمينة لاغراض مشاريع التصفية في السمتقبل. ويجب أن يختار واحد من أكبر هذه المفاعلات وأكثرها إثارة للمشاكل ليصبح موضع دراسة دولية، يغطي المالك نصف نفقاتها وتغطي الحكومات ومراكز الابحاث العالمية النصف الاخر مقابل حصولها على المعلومات والخبرة المكتسبة من هذا المشروع. إن ترتيباً مؤقتاً من هذا النوع هو قيد التنفيذ حالياً في محطة Three Mile Island المعطوبة حيث تساهم عدة شركات كهرباء في الولايات المتحدة، ووزارة الطاقة في الولايات المتحدة، وعدد من المشاركين الدوليين في تغطية النفقات من أجل الحصول على المعرفة والخبرة المباشرة عن آخر ما توصلت إليه تقنيات إزالة التلوث الاشعاعي وتصفية المحطات النووية.

إن التخطيط لتصفية المحطات النووية قد تخلف كثيراً عن تقنيات تطوير المفاعلات. فوكالة الطاقة الذرية الدولية The International Atomic Energy Agency (وهي ذراع الامم المتحدة للبحث والمراقبة في مجال الصناعة النووية) لم تعقد اجتماعها الاول في موضوع تصفية المحطات النووية حتى عام ١٩٧٣، بعد ١٩ سنة من بناء المفاعل الاول للطاقة. كما أن الاجتماع الفني الأول باشراف الوكالة لم ينعقد إلا بعد سنتين من ذلك التاريخ. وكانت عندئذ المئات من المحطات النووية قيد التخطيط من قبل شركات الكهرباء والحكومات في العالم أجمع. إن هذا الاهمال المزعج للطرف الخلفي من دورة الوقود النووي قد تكرر من قبل الهيئات الوطنية للطاقة الذرية في كل مكان.

جدول ٧ ـ ٦ مفاعلات الطاقة النووية في العالم والتي بدأت العمل ما بين ١٩٥٠ ـ ١٩٨٤ والسنة المتوقعة لاحالتها على التقاعد

دخول الخدمة	المفاعلات (عدد)	القدرة (ميجا واط)	الاحالة على التقاعد بعد خدمة ٣٠ سنة
١٩٥٠ ـ ٥٤	١	٥	١٩٨٠ ـ ٨٤
١٩٥٥ ـ ٥٩	١٠	٦٠٠	١٩٨٠ ـ ٨٩
١٩٦٠ ـ ٦٤	١٨	١,٩٧١	١٩٩٠ ـ ٩٤
١٩٦٥ ـ ٦٩	٣٤	٨,٦٩,٢	١٩٩٥ ـ ٩٩
١٩٧٠ ـ ٧٤	٧٥	٤٣,٨٢١	٢٠٠٠ ـ ٠٤
١٩٧٥ ـ ٧٩	٨٧	٦٥,٠٠٢	٢٠٠٥ ـ ٠٩
١٩٨٠ ـ ٨٤	١٠٣	٨٨,٥٦٦	٢٠١٠ ـ ١٤
المجموع	٣٢٨	٢٠٨٦٥٧	

SOURCE: Atomic Industrial Forum (AIF), «International Survey,» Bethesda, Md., April 17, 1985; AIF, «Midyear Report,» Bethesda, Md., July 10, 1985.

إن أكبر حجر عثرة أمام جميع البلدان التي تمتلك محطات نووية هو عدم وجود مراكز دائمة للتخلص من الفضلات المشعة. ومع أن المشرفين على تشغيل المفاعلات النووية يتفقون على وجوب تفكيك المحطات النووية بأسرع وقت ممكن بعد إقفالها، إلا أن هذا الخيار سيظل غير متاح حتى نهاية القرن الحالي على الاقل. وليس في مقدور أي بلد حالياً التخلص بصورة دائمة من الفضلات ذات النشاط الاشعاعي العالي المخزونة حالياً في مفاعل واحد. وكما أن مدن اليوم لا يمكن سكناها بدون أعداد هائلة من شاحنات القمامة ومساحات الارض الشاسعة التي تستخدم لتجميعها ومعالجتها، كذلك فان الصناعة النووية الدولية لن تصبح صناعة فاعلة وحيوية بدون استراتيجية سليمة لتصفية المحطات النووية.

ويجب تسهيل عملية اصدار القواعد الفنية التفصيلية حتى تتمكن شركات الكهرباء من التخطيط للمستقبل. فقد بدأت بعض برامج الانشاءات النووية بعشرين٪ فقط من التصاميم الجاهزة، بدلا من الحد الادنى وهو ٤٠٪، لتكتشف فيما بعد نتيجة للتغييرات في التشريعات التنظيمية، أن حتى العشرين في المئة المذكورة كان مبالغ فيها. إن نتائج مثل هذا النوع من التخطيط الفني القاصر في مجال تصفية المحطات النووية لن يكون مكلفاً فحسب بل خطراً أيضاً.

ان المعرفة المبكرة لمتطلبات التصفية ستسمح للمهندسين بادخال تغييرات في التصاميم من شأنها لاحقاً تسهيل عمليات إزالة التلوث الاشعاعي وتفكيك المحطات. ومن الامور البسيطة التي لم تسترع انتباه صانعي المحطات النووية الاولى هي أهمية وضع طبقة واقية على جميع السطوح التي ستتعرض للاشعاع. فمجرد وجود طبقة سميكة من الدهان الذي يمكن ازالته يقلل من التلوث السطحي للانشاءات النووية. هذا وان الخبرة المحدودة بالفضلات المنشطة إشعاعياً بالنيوترونات قد أوضحت الحاجة إلى تقليل كميات الشوائب التي تمتص النيوترونات والتي تستعمل في الخرسانة المسلحة والفولاذ المستخدمين في بناء المفاعلات(٥٧).

ونحتاج حالياً إلى برامج توفير تفصيلية ضخمة لتأمين المال اللازم لعمليات التصفية. إذ يجب انشاء حسابات خاصة بالتصفية لتأمين الاموال اللازمة لتفكيك جميع المفاعلات العاملة والتخلص منها بأمان. كما أنه يجب تعديل أنظمة الضرائب التي تسمح باستنزاف هذه الاموال بمجرد الحصول عليها. إن الواردات المودعة في صناديق أمانات والفوائد العائدة عليها تتضاعف بسرعة أكبر إلى حد بعيد إذا أجلت الضرائب المستحقة لحين صرف هذه الاموال. إن السماح لحسابات التصفية بالنمو السريع يحقق المصلحة العليا لجميع الاطراف.

إن معرفة ما يمكن عمله لجعل عملية التصفية أكثر أمناً وأقل كلفة قد أخذت تتجمع ببطء، ولكنه يجب تقوية المجهودات التي تعمل على توسيع هذه القاعدة

المعرفية. هذا ويجب مقاومة الاغراء الداعي إلى استخدام إجراءات للتخفيف من كلفة تصفية المشاريع الاولى. إذ أن توفير ملايين الدولارات الان قد يعني صرف بلايين الدولارات الاضافية في المستقبل.

obeikandl.com

obeikandl.com

Chapter 7. Decommissioning Nuclear Power Plants

1- Public Citizen/ Environmental Action, «Dismantling the Myths About Nuclear Decommissioning ,» Washington, D.C., April 1985.

2- Atomic Industrial Forum (AIF), «International Survey,» Bethesda, Md., April 17, 1985.

3- Steve Olson, «Nuclear Undertakers,» Science 84, September 1984; reactor inventory numbers from AIF, «International Survey,» from AIF, «Midyear Report,» Bethesda, Md., July 10, 1985, from International Atmic Energy Agency (IAEA), «The Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities» (draff), Annex 2, Vienna, May 1985, and from Nuclear Energy Agency (NEA), «Cmopendium on Decommissiong Activities in NEA Member Countries,» Organisation for Economic Co - operation and Development, Paris, January 1985; retirement date obtained by adding 30 years to date the reactor went into commercial operation.

4- U.S. Nuclear Regulatory Commission, «Decommissioning Criteria for Nuclear Facilities,» Federal Register, February 11, 1985.

5- Taylor Moore, «Decommissioning Nuclear Power Plants,» EPRI Journal, July/ August 1985; Colin Norman, «A Long - Term Problem for the Nuclear Industry,» Science, January 22, 1982.

6-«Survey on Nuclear Decommissioning Methods/ Costs,» presented at American Gas Association (AGA) Depreciation Committee and Edison Electric Institute Depreciation Accounting Committee Conference, Dallas, Tex., February 11- 13, 1985; NEA, «Compendium on Decommissioning,»

7- World Health Organization, Health Implications of Nuclear Power Production (Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1978); Daniel H. Williams and Thomas S. LaGuardia, «Guidelines for Producing Commercial Nuclear Power Plant Decommissioning Cost Estimates,» for AIF, Bethesda, Md., March 1985.

8- M. Lasch et al., «Estimation of Radioactive Waste Quantities Arising During Decommissioning in K.H. Schaller and B. Huber, Decommissioning of Nuclar Power Plants, proceedings of a European Communities Conference, Luxembourg, May 22-24, 1984 (London: Graham & Trotman, for Commission of the European Communities. 1984)

9- For a general discussion of the nuclear fuel cycle and various reactor technologies, see Walter C. Patterson, Nuclear Power (Middlesex, U.K.: Penguin Books, 1983). For a techincal discussion, see R.I. Smith, G.J. Konsek, and W.E. Kennedy, Jr., Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor Power Station (Washington, D.C.: U.S. Nuclear Reg-

ulatory Commission, 1978).

10- E.S. Murphy, «Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor Power Station: Clssification of Decommissioning Wastes,» U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 1984.

11- Smith, Konzek, and Kennedy, Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor; Moore, «Decommissioning Nuclear Power Plants»; Commission of the European Communites, «The Community's Research and Development Programme on Decommissioning of Nuclear Power Plants, Third Anuual Progress Ropert,» Luxembourg, 1984; Tokai Research Establishment,,» «Development of Decommissioning Technonlogy,» Japan Atomic Energy Research Institue, Tokyo, 1985.

12- Smith, Konzek, and Kenndy, Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor; NEA, «Compendium on Decommissioning .

13- Bill Rankin, «Long Odyssey For a Little Reactor,» Energy Daily, May 23, 1985.

14- Ibid; Moore, «Decommissioning Nuclear Power Plants.»

15- NEA, «Compendium on Decommissioning.»

16- John J. Taylor, «Remote Systems for TMI - 2 Surveillance and Characterization,» EPRI Journal, March 1985; «Utility Starts Extracting Wrecked Core From TMI,» Energy Daily, October 29, 1985.

17- Annie Stine, «The Short, Sad Life and Long, Slow Death of Humboldt Bay,» Sierra, September/ October 1984.

18- Office of Technology Assessment (OTA), U.S. Congress, Managing the Nation's Commercial High - Level Radioactive Waste (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1985).

19- Union of Concerned Scientists, The Nuclear Fuel Cycle (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1975); OTA, Managing Commercial High -Level Waste.

20- For an extensive discussion of international fuel reprocessing plans and activities, see Fuel Reprocessning and Waste Management, proceedings of the American Nuclear Society International Topical Meeting, Jackson, Wyo., August 26-29, 1984 (LaGrange Park, ILL.: American Nuclear Society, 1984).

21- Judith Perera, «China and Sudan Want Germany's Nuclear Waste,» New Scientist, September 5, 1985; Karol Szyndzielorz, chief political commentator, Zycie Warszawy (Warsaw), private communication, September 18, 1985.

22- Fuel Reprocessing and Waste Management.

23- OTA, Managing Commercial High - Level Waste; «EPA Issues 10,000 - Year Standard,» Energy Daily, August 16, 1985; Mark Crawford, «DOE States Reheat Nuclear Waste Debate,» Science, October 11, 1985.

24- James, B. Martin, Review of «Managing the Nation's Commerial High - Level Radioactive Waste,» Enviroment, July/ August 1985.

25- «SKB - Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company,» information brochure, Stockholm, 1985; Benjamin S. Cooper, «Monitored, Retrievable Storage: Priority Needed,» Nuclear News, November 1984; Thomas O'Toole, «Clinch River Site Urged For Storing Atomic Waste,» Washington Post, April 26 1985.

26- California legislature quote from Fred C. Shapiro, Radwaste :New York: Random House, Inc., 1981); Christopher Flavin, Nuclear Power: The Market Test (Washington, D.C.: Worldwatch Institute, December 1983).

27- K.M. Harmon, «Survey of Foreign Terminal Radioctive Waste Storage Programs,» in Proceedings of the 1983 Civilian Radioactive Waste Management Information Meeting, Washngton, D.C., December 12-15, 1983 (Springfield, Va.: National Techincal Information Service, 1984); Bob Johnstone, «A Conutry without a 'Nuclear Toilet',» New Scientist, October 3, 1985; «No One is Emptying the Nuclear Dustbins,» New Scientist, October 3, 1985.

28- Approximately 113,000 cubic meters of commercial low - level radioacive waste were produced in the United States in 1984; this encompasses wastes from all sources - medical laboratories to nuclear power plants. Lack of disposal sites is outlined in William J. Dircks, «Disposal Capability for Decommissioning Wastes,» Nuclear Regultory Commission, Washington, D.C., memorandum, March 8, 1985.

29- Luther Carter, nuclear waste analyst, Washington, D.C., private communication, October 15, 1985; Richard L. Hudson, «Atomic - Age Dump: A British Nuclear Plant Recycles Much Waste, Stirs a Growing Outcry», Wall Street Journal, April 11, 1984.

30- Taylor Moore, «The Great State of Uncertainty in Low - Level Waste Disposal,» EPRI Journal, March 1985. For a general discussion of nuclear waste problems in America, see Donald L. Barlett and James B. Steele, Forevermore (New York: W.W. Norton & Co., 1985).

31- Moore, «Uncertainty in Low - Level Waste Disposal»; Bill Paul, «Three States Score Victories in Struggle to Make Others Accept Nuclear Wastes,» Wall Street Journal , October 8, 1985. As of November 1985, several bills to extend the deadline are under consideration by the U.S. congress.

32- U.S. House of Representatives, Committee on Interior and Insular Affairs, «Low - Level Radioctive Waste Policy Amendment Act of 1985,» Washington, D.C., October 22, 1985; Gale Warner, «Low - Level Lowdown,» Sierra, July/ August 1985.

33- David Fishlock, «The Swedish Lesson in Nuclear,» Energy Daily, February 6, 1985; «Radioactive Waste Management Policies,» IAEA Bulletin Vol. 25, No. 4.

34- Natioal Research Council, Social and Economic Aspects of Radioactive Waste Disposal (Washington, D.C.: National Academy Press, 1984); Fishlock, «Swedish Lesson»; Michael Oreskes, «U.S. Refuses to Forbid Trucking Atomic Waste Through New York,» New York Times, September 10, 1985.

35- Share of reactors that are PWRs and BWRs from AIF, «International Survey»; Smith Konzek, and Kennedy, Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor: H.D. Oak et al., Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Boiling Water Reactor Power Station (Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1980).

36- R.I. Smith et al., «Updated Costs for Decommissioning Nuclear Power Facilities,» Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif., May 1985; J.T.A. Roberts, R. Shaw, and K. Stahlkopf, «Decommissioning of Commercial Nuclear Power plants,» in Annual Reviews Inc., Annual Review of Energy, Vol. 10 (Palo Alto. Calif.: 1985).

37- Williams and LaGuardia, «Guidelines for Decommissioning Cost Estimates»; AIF, «An Overview of Decommissioning Nuclear Power Plants,» Bethesda, Md., March 1983; «Swiss Estimate Price of Decommissnioning as 20% Cost of Buliding plant,» Nucleonics Week, February 26, 1981.

38- Daune Chapman, Cornell University, Ithaca, N.Y., private communication, September 12, 1985; Rand Corporation research from Public Citizen, «Dismantling the Myths»; U.S. Department of Energy (DOE), «Nuclear Power Plant construction Activity 1984,» Washington, D.C., July 1985.

39- Investment in canceled and delayed nuclear plants is a Worldwatch Institute estimate based on numerous reports and news articles,; DOE, «Nuclear Power Plant Construction Activity.»

40- A. Cregut, «Decommissnioning Philosophy in France,» presented to International Nuclear Reactor Decommissioning Planning Conference, Bethesda, Md., July 16-18, 1985.

41- Roberts, Shaw, and Stahlkopf, «Decommissioning of Commercial Nuclear Power Plants», Moore, «Uncertainty in Low - Level Waste Disposal.»

42- «U.K. Considers Compensation for Those Near Waste Dumps.» Energy Daily, September 4, 1985.

43- Roberts, Shaw, and Stahlkopf, «Decommissioning of Commercial Nuclear Power Plants»; Public Citizen, «Dismantling the Myths.»

44- R.S. Wood, «Assuring the Availability of Funds for Decommissioning Nuclear Facilities,» U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 1983; John S. Ferguson,» Influence of Accounting Concepts and Regulatory Rules on the Funding of Power Decommissioning Costs,» presented to International Nuclear Reactor Decommissioning Planning Conference.

45- Public Citizen, «Dismantling the Myths.»

46- J.J. Siegel, «Utility Financial Stability and the Availability of Funds for Decommissioning,» U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., September 1984.

47- Chip Brown, «An Ambitious Nuclear Empire Goes Awry,» Washington Post, December 2, 1984; Siegel, «Utility Fincancial Stability »

48- Siegel, «Utility Financial Stability».

49- John Douglas, «Nuclear Power: The Next Generation,» EPRI Journal, March 1985; «Electricity,» Financial Times Energy Economist, August 1985.

50- Cregut, «Decommissioning Philosophy in France»; Jim Harding, Friends of the Earth, private communication, October 8, 1985.

51- Public Citizen, «Dismantling the Myths.»

52- B. Schultz, «The Back - end of the Swedish Nuclear Fuel Cycle,» IAEA Bulletin, Vol. 24, No 2; S. Fareeduddin and J. Hirling, «The Radioactive Waste Management Conference,» IAEA Bulletin, Vol. 25, No. 4.

53- Harmon, «Survey of Radioactive Waste Programs»; Fareeduddin and Hirling, «Radioactive Waste Management Conferece.»

54- «Survey of Decommissioning Methods/ Costs,» AGA Depreciation Committee.

55- The average residential electricity customer in the United States used 8,965 Kliowatt - hours of electricity in 1984, according to unpublished statistics compiled by the Edison Elecric Institute.

56- Roland Krantz, Commonwealth Edison, private communication, October 17, 1985.

57- E.B. Moore, Jr., «Facilitation of Decommissioning Light Water Reactors,» U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., December 1979; A. Bittner et al., «Concepts Aimed at Minimizing the Activation and Contamination of Concrete» in Schaller and Huber, Decommissioning of Nuclear Power Plants.

obeikandl.com