

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 آمنة واقتصادية دون إجابة إلى حد كبير. وخلافاً لتقنيات توليد الطاقة الكهربائية الأخرى، فإنه لا يمكن التخلي ببساطة عن محطات الطاقة النووية بمجرد انتهاء مدة عملها أو تدميرها بالطرق العادية المألوفة. فالنشاط الإشعاعي يتزايد بصورة مستمرة أثناء عمل المحطة، كما أنه يجب عزل جميع الأجزاء والأجهزة الملوثة بأمان عن الناس والبيئة. وبعض العناصر المشعة يضمحل بسرعة، غير أن بعضها الآخر يظل خطراً آلاف السنين.

ولا يعرف أحد تكاليف تصفية المئات من وحدات الطاقة النووية العاملة في أرجاء العالم أو تلك التي لا زالت تحت الإنشاء. 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 - 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 ممكناً لأكثر من ٣٠ سنة. فهناك العديد من الصعوبات التقنية، بما فيها القيود التي يفرضها تزايد النشاط الإشعاعي 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)، فإن تكاليف تصفية المحطات النووية قد تكون أكبر مصروفٍ تجارياً لصناعة 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 الأول 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 تجر تصفية أي من الوحدات التجارية الكبيرة حتى الآن^(٢). فقد انشغل المهندسون النوويون في التحدي الخاص بتطوير وتحسين هذه التقنية الجديدة، ولم يأهوا 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 التصدي لهذا التحدي.

إن أقدم المفاعلات النووية التجارية تقترب الآن 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 ستوقف 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 و ٢٠١٠^(٣). والبلدان التي تحظي ببرنامج نووي متقدم ستبدأ قريباً بالاحساس بالضغط الناجم عن معالجة النفايات 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 وإزالة التلوث الاشعاعي

إن تصفية المحطات النووية هي في الواقع قضية معالجة الفضلات على مقياس جديد أكثر تعقيداً وأعلى كلفةً مما عهدناه حتى الان . فلاحقاً لاقفال محطة نووية، يجب على الشركة أو الهيئة المسؤولة أن تقرر أولاً واحداً من سبل ثلاثة يستوجب سلوكها وهي : إزالة التلوث الاشعاعي وتفكيك المحطة مباشرة بعد الاقفال، أو «تخزين» المحطة لمدة ٥٠ - 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، وإزالة 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 للتركيب التي كانت معرضة للاشعاع، ثم تفكك الخرسانة المسلحة والفلوآز 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، فإن 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 المحطة عندئذ. 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 كمنخرج سهل ورخيص، إلا أن هذا الخيار لم يعد يعتبر عملياً نظراً 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 وإزالة المفاعل مباشرة بعد الاقفال. غير أن سلطات توليد الكهرباء في كندا، وفرنسا، والمانيا الغربية ينوون تخزين مفاعلاتهم النووية لبضعة عقود من الزمن قبل تفكيكها^(٧) .

وبغض النظر عن الطريقة المختارة، فإن 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 الأصلي) 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 الأماكن 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، والمستخدمه 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 أراضي الخرسانة المسلحة . هذا وان أي تقدم في تقنيات إنتاج الانسان الآلي 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 - ويتراوح المدى بين عدة ملليمترات إلى حوالي ١٥ سنتيمتر 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 الأدنى 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 - عملية انقسام نواة اليورانيوم - 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 الأكبر خلال بضعة العقود الأولى التي تعقب اغلاق المحطة النووية، يعود إلى أسرع العناصر اضمحلالاً. وإذ قيس النشاط الإشعاعي بوحدات الكيرى curie، أو عدد الذرات المشعة التي تضمحل في الثانية، فإن الكوبلت والسيزيوم هما النظيران المشعان السائدان من بين العناصر القصيرة العمر في المواد الملوثة بالإشعاع. أما العناصر المشعة الأخرى ذات العمر الأطول فموجودة بكميات أقل وتسيطر على مستويات الإشعاع 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 فإن المواد المنشطة إشعاعياً تفوق في نشاطها الإشعاعي المواد الملوثة بالإشعاع 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 خطيرة ومكلفة. فكل قطع يسبب مزيداً من التلوث الهوائي ومزيداً من التعريض الإشعاعي للعاملين. كما أن الحاجة إلى التحكم بهذه العمليات عن بعد والأبقاء على تكوين الغبار الملوثة عند حده الأدنى سوف يعقد عملية تفكيك المحطة. وأحد التقنيات المستخدمة بنجاح تتضمن إجراء عمليات التقطيع تحت الماء بواسطة هب 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 هب 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 الإشعاعي يتراكم بمقدار يتناسب مع حجم المحطة وعمر تشغيلها، فإن 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 ذي 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 الأولى من عملية إزالة التلوث الإشعاعي. وبالرغم من خبرة التشغيل الفريدة لمفاعل shippingport، فإنه يمكن استخدامه كنموذج أولي ثمين لا يستغنى عنه في عمليات تصفية المحطات النووية. ولكن بدلاً من ذلك، فإن DOE تخطط لتغليف وعاء المفاعل الفولاذي الذي يبلغ طوله ١٠ متر من الخرسانة المسلحة، ثم رفع هذه الكتلة الهائلة التي تزن ٧٧٠ طن كما هي وتحميلها بالباخرة مروراً بنهرى أوهايو والميسيسيبي وخليج المكسيك وقناة بنما، وصعوداً على الساحل الباسفيكي ونهر

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

ويقدر أن الإبقاء على وعاء الضغط لمفاعل shippingport قطعة واحدة سيخفض التكاليف بما لا يقل عن ٧ مليون دولار، أو ٧٪ من تكاليف التصفية الكلية، وبالرغم من ذلك فإن الاجراء المقترح يعتبر تصرفاً غير حسيب. 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).

أما في اوروبا، فيجري حالياً التخطيط لتصفية عدة مفاعلات تجارية. والمشاريع الثلاثة الاولى هي محطة Niederaichbach بقدرة ١٠٠ ميغا واط في المانيا الغربية، ومفاعل Windscale الغازى المتقدم بقدرة ٣٣ ميغا واط في المملكة المتحدة، والمفاعل الغازي الفرنسي ٢ - G بقدرة ٤٥ ميغا 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 الالمانى فهو أكبر من سلفيه إلا أنه لم يمكث في الخدمة أكثر من سنتين عندما أدت صعوبات تقنية إلى إغلاقه. ولكل من هذه المفاعلات الثلاثة تصميم مختلف، ومن المحتمل اكتشاف مشكلات خاصة بكل منها نظراً لاختلاف تقنيات التصميم^(١٥).

كذلك فإن الخبرة المكتسبة في المفاعل المعطوب في Three Mile Island مكان حدوث أخطر حادثة في تاريخ الطاقة النووية - ستساعد أيضاً في عمليات التصفية مستقبلاً. فقد اتسعت، نتيجة لهذا الحادث وعمليات التنظيف اللاحقة، معرفة الصناعة في مجال تصنيع الانسان الآلي، وتحضير مزيلات التلوث الكيماوية وتقنيات التقطيع عن بعد، كما أن تبادل هذه المعرفة مع الدول الاخرى ووجود أجناب 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 الذي سنجابهه في معظم 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 النشاط الاشعاعي 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 للخطر للجمهور^(١٧).

التخلص من الفضلات:

إذا أخذنا بعين الاعتبار حجم الفضلات المشعة الذي يتجمع حول العالم، فإننا نشعر بالانزعاج لانعدام التقدم في معالجته. فالقليل من الدول لديه مؤسسات تجارية للتخلص من الفضلات المشعة ذات المستوى الاشعاعي المنخفض، وليس هناك بلد واحد لديه مخزن دائم للفضلات الخطيرة ذات المستوى الاشعاعي المرتفع والوقود المستهلك والنواتج الجانبية لعمليات إعادة معالجة الوقود. إن تفكيك ودفن المحطات النووية التجارية الخطرة التي أحييت على التقاعد لن يكون ممكناً قبل وجود أماكن آمنة 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 سنة القادمة. إن خطورة هذه الفضلات تقتضي عزلها عن البيئة

البيولوجية لمدة ١٠,٠٠٠ سنة على الأقل، 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 الأقل. 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 السمكية.

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

النظائر المشعة أو ازالة خصائصها السامة . فالوقود المستهلك الغير معالج يظل أشد خطراً من خام اليورانيوم الاصيلي 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 - 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 لأنها 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 النسنين، وفي الولايات المتحدة على وجه الخصوص، عدة أماكن لاستخدامها في تخزين الفضلات ذات النشاط العالي، إلا أن أياً 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 - حيث توجد معارضة شعبية قوية للتخلص من الفضلات محلياً - تأمل بتوفير 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 لمانيا 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 أوروبا الشرقية^(٢١).

وهكذا فإن 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 - 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 مخزناً 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، ومانيا 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 - 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, Washington 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 كمخزين دائمين على أن يكون الاول منها 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 نيفادا، 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 وثانياً، 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، مثلاً، 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 صعباً، 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 لمحطة Oskarshamn 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 القبود 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، ويعزى ذلك بصورة رئيسية إلى تدهور اقتصاديات الطاقة النووية، والنمو البطيء غير المتوقع للطلب على الكهرباء، والتعليقات المشددة بعد حادث مفاعل Three Mile Island^(٢٦).

ولقد حذت فنلندا، والسويد، وسويسرا، والمانيا الغربية حذو كاليفورنيا وشرعت قوانين «اشترائية» 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 - ٢).

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

المادة	الحجم المعد للدفن (متر مكعب)	أحمال الشاحنات (عدد)
المنشطة اشعاعيا		
معادن	٤٨٤	٢١٦
خرسانة مسلحة	٧٠٧	
الملوثة بالاشعاع		
معادن	٥,٤٦٥	٩٦٧
خرسانة مسلحة	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 الملوثن 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

المفاعل الملوثة والمنشطة إشعاعياً إلى طريقة خاصة في التداول والتصرف، 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 الامكانيات 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 برميتها 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 ٢، ١ 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 - واحدة في كل من نيفادا، وكارولينا الجنوبية، وواشنطن. ولقد قامت حكومات الولايات الثلاث، بعد أن احتجت

على استخدام 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. والقانون، الذي كان يهدف إلى تشجيع الولايات على عقد اتفاقيات اقليمية لانشاء وتشغيل منشآت تعاونية لتصريف الفضلات، لم يعمل 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 الامكانيات 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 المأهولة. 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 آمنة. وواضح أن سياسة تصفية المحطات

النوية 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، فإن الأرقام المتداولة حالياً تتراوح بين ٥٠ مليون إلى ٣ بليون دولار لكل مفاعل، وإن كان معظمها يقع عند الحد الأدنى من سلم التقديرات. ولقد استندت بعض توقعات الكلفة هذه على تقديرات نوعية، واستخدم بعضها الآخر 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 الأرقام المذكورة هي مجرد تخمينات مبنية على العايد من الفرضيات غير المؤكدة وعلى درجات متفاوتة من التمني.

ولقد طلبت لجنة التنظيم النووية في الولايات المتحدة U.S- Nuclear Regulatory Commission عام ١٩٧٨ من Battelle Pacific Northwest Laboratory تقدير كلفة تصفية المفاعلات ذات قدرة ١٠٠، ١ ميجا واط من النوع الذي يعمل بهاءً مضغوط أو ماءً يغلي (PWRs, BWRs). (وتعتبر هذه من أكثر أنواع المفاعلات شيوعاً في العالم، إذ تكون ٧٢٪ من جميع المفاعلات العاملة - 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 الأكثر كلفة. وفي حالة تساوى جميع الاعتبارات الأخرى، فإن تفكيك مفاعل من نوع BWR يكون أعلى كلفة بصورة عامة، لأن حجم الفضلات الملوثة الناتجة عن تفكيكه يكون أكبر (٣٥).

هذا وان عدم وجود 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، ولا مكانية 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 مؤسسات توليد الكهرباء تجري دراسات لتقدير الكلفة الخاصة بموقعها وأخذت التكاليف المختلفة الاخرى، كالتخلص من الفضلات مثلاً، تزداد أكثر مما كان متوقفاً، أصبح من الواضح ان التقديرات الاولية السابقة كانت منخفضة جداً.

وفي عام ١٩٨٤، وبناء على تكليف من معهد ابحاث الطاقة الكهربائية Electric Power Research Institute قام مختبر Battelle بتحديث تقديراته، حيث تبين أن التكاليف قد ازدادت فعلاً في السنوات الست السابقة بمعدلات تفوق كثيراً مستويات التضخم. ولقد كان الارتفاع في تكاليف التخلص من الفضلات أسرعها على الاطلاق. 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 اما التقديرات التي استندت إلى الاختلاف في الموقع، بدلاً من النوع، بالنسبة للمحطات المتساوية في الحجم فقد وصلت إلى ٥, ١٢١٠ مليون لمفاعل PWR (وهي أعلى بمقدار ٣٥٪ من تقديرات مختبر Battelle المحدثة) و ٦, ١٣٣ مليون لمفاعل BWR مع استثناء تكاليف إزالة التراكيب غير المشعة^(٣٦).

إن أسس تقدير الكلفة التي طورها مؤخراً التجمع الصناعي الذري The Atomic Industrial Forum، وهي مجموعة من العاملين في المجال الصناعي - 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 ميغا 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 ميغا واط. ويشير تشابمن إلى الاجراءات والتقنيات المعقدة لعلمية التصفية، وإلى الحجم الهائل للفضلات المشعة، وإلى التبخيس المزمّن 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 - 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 ميغا واط، ولكن هذا التقدير لم يتحقق أبداً في السنوات الاخيرة. فتكاليف الوحدات التي أنجزت مؤخراً قد قاربت في المتوسط ٣ مليون دولار لكل ميغا واط، وفي محطة شورهام Shoreham على Long Island، فان الكلفة قد جاوزت ٥ مليون دولار لكل ميغا 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 - 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 ٣٦,١ 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 مضرورياً 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 - بالرغم من التوفيرات القصيرة النظر الناتجة عن الابقاء على وعاء الضغط للمفاعل سلبياً أثناء النقل - 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 = ٣ تقديرات تكاليف تصفية المحطات النووية المتوقفة عن العمل .

عدد سنوات التشغيل	الكلفة لكل ميجاواط	التكاليف المقدرة للتصفية	القدرة	المالك / الموقع
(ميجا واط) (بملايين من دولارات 1985)				

١٩٦٨ - ١٩٦٢	٠,٥٨	١١٤	٢٤	U.S. Atomic Energy Commission, Elk River
١٩٨١ - ١٩٦٣	١,٩٤	٦٤	٣٣	UK Atomic Energy Authority, Sellafield/ Windscale
١٩٧٦ - ١٩٦٣	٠,٨٥	٥٥	٦٥	Pacific Gas & Electric Humboldt Bay - Unit 3
١٩٨٢ - ١٩٥٧	١,٣٦	٩٨	٧٢	U.S. Department of Energy, Shippingport
١٩٧٨ - ١٩٦٠	٠,٤٥	٩٥	٢١٠	Commonwealth Edison Co., Dresden - 1

١ . تمت تصفية Eik River في عام ١٩٧٤

SOURCES: R. Mark Pocha, «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 Cpsts 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.

وبما أن تصاميم المفاعلات قد تغيرت كثيراً على مدى السنين، فإن عدداً قليلاً جداً من البلدان - ولربما فرنسا وكندا فقط - سيتمكن من تصميم نظام موحد للتصفية. ولا ينحصر الأمر في مجرد تبني البلدان المختلفة لتقنيات مختلفة لبناء المفاعلات، بل إن الصناعة في بعض البلدان قد أحدثت تغييرات في معظم الأنظمة المتوفرة في ذلك البلد. وهناك تسعة تصاميم مختلفة ممثلة بين العشرين مفاعلاً التي أغلقت حتى الآن. (أنظر جدول ٧ - ٤). وكما أن 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 الأرض لحاوية سعتها ٥٥ غالوناً من الفضلات ذات النشاط الإشعاعي المتدني أكثر من عشرة أضعاف خلال العقد الأخير في الولايات المتحدة. إن تكاليف التخلص من الفضلات قد زادت ثلاثة أضعاف في السنين الخمسة الأخيرة فقط ومن المحتمل أن تستمر هذه الزيادة بانتظام. هذا وستستمر المنشآت الحالية في زيادة أسعارها، كما أن تكاليف إنشاء مراكز جديدة للفضلات ذات المستوى الإشعاعي المتدني والمرتفع ستكون مرتفعة على الأغلب^(٤١).

وقد نحتاج إلى مصاريف إضافية 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 أبدتها السكان المحليون في مقاومة خطة تهدف إلى استخدام منجم مهجور للملح الصخري في Billingham في شمال شرق انكلترا. ولقد أقر مؤخراً 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 أراضيتها(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 ٥ Rems في السنة، وهي تعادل عشرة أضعاف القيمة المسموح بها للأشخاص 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 ٤ - ٧ .

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 - ٤ مفاعلات الطاقة النووية التي لم تعد تعمل ، ١٩٨٥

نوع المفاعل	القدرة ميغاوات	عدد السنوات التي عملت بها المحطة	الموقع	المفاعل
PWR	٧٢	٢٥	١٩٥٧	بنسلفانيا Shippingport
GCR	٤٥	٢٢	١٩٥٨	فرنسا G-2, Marcoule
Gcr	٤٥	٢٤	١٩٥٩	فرنسا G-3, Marcoule
Fbr	١٤	١٨	١٩٥٩	المملكة المتحدة Dounreay
BWR	٢١٠	١٨	١٩٦٠	النيوي Dresden - 1
PWR	٢٥٧	١٢	١٩٦٢	نيويورك Ikdian Point-1
AGR	٣٣	١٩	١٩٦٢	المملكة المتحدة Windscale
GCR	٧٠	١٠	١٩٦٣	فرنسا Chinon-A1
BWR	٦٥	١٣	١٩٦٣	كاليفورنيا Humboldt Bay
BWR	١٢	١٣	١٩٦٣	اليابان JPDR, Tokai
PHWR	١٢	١١	١٩٦٣	السويد Agesta
BWR	١٦٠	١٤	١٩٦٤	ايطاليا Garigliano
PWR	٥٨	١٩	١٩٦٥	المانيا الغربية Karlsruhe
BWR	٢٥٠	١١	١٩٦٦	المانيا الغربية Gundremingen
HWGCR	٧	٢	١٩٦٧	سويسرا Lucens
HTGR	٤٠	٧	١٩٦٧	بنسلفانيا Peach Bottom
BWR	٢٥٦	٩	١٩٦٨	المانيا الغربية Lingen
CANDU	٢٥٠	٩	١٩٧٠	كندا Gentilly-1
HWGCR	١١٠	٧	١٩٧٢	تشيكوسلوفاكيا NPP-AL
HWGCR	١٠٠	٢	١٩٧٢	المانيا الغربية Niederaichbach

SOURCE: OECD Nuclear Energy Agency, «Compendium on Decommissioning Activities in NEA Member Countries,» 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 متراً مكعباً من الفضلات ذات النشاط الإشعاعي المتدني -

لا زالت 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 حالياً أقل من ٥٠٪ من قيمتها الاسمية، الامر الذي يعكس ثقة المستثمرين بها^(٤٦).

ومما لا شك فيه أن مشتري 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 واشنطن The Washington Public Power Supply System عام ١٩٨٣ عن الايفاء بالتزاماتها تجاه سندات الدين الصادرة عنها والبالغة ٢٥، ٢ بليون دولار قد جعل المستثمرين في غاية الحذر. هذا وتجدر الاشارة إلى أن شركات الكهرباء التعاونية والبلدية الممولة كلياً بسندات دين معفاة من الضريبة هي التي ستعرض 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 تعتمد عليه شركات الكهرباء في حساباتها . فالمفاعلات النووية أكثر تعقيداً من محطات توليد الكهرباء الاخرى ، وهي تخضع في تصميمها لقواعد تنظيمية أكثر ، كما تحتوي من الاناييب ، 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 - 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 المستقبل بدلا من المستهلكين. وتقدر ديون شركات الكهرباء الفرنسية حالياً بمبلغ ٣٠ بليون دولار بسبب برنامج انشاء المحطات النووية المتسارع، وقد تسبب الاموال اللازمة للتصفية في إحداث عجز كبير في ميزانية الدولة^(٥١). أما حكومات العالم الثالث وهي حالياً 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، مين Maine ، مساتشوستس، الميسيسيبي، نيوهامشاير، بنسلفانيا، وفرومنت^(٥١).

كما اعتمدت ترتيبات مماثلة في أماكن أخرى. ففي السويد، تدفع كل شركة تدبير مفاعلاً رسمياً سنوياً للدولة. وتستثمر هذه الأموال في حسابات منفصلة تستدين منها شركات الكهرباء لدفع نفقات التصفية. وهناك ترتيبات على درجة أقل من الواجهة الرسمية في كل من ألمانيا الغربية وسويسرا^(٥٢).

ومع إن العديد من البلدان لا يخصص جانباً مالياً لأغراض التصفية، إلا أن الأموال اللازمة للتخلص من الفضلات ذات المستوى الإشعاعي المرتفع تجمع حالياً في اثني عشر بلداً من بلدان أوروبا وأمريكا الشمالية. وفي جميع الحالات، تدفع هذه الأموال إلى الوكالة الحكومية المسؤولة عن إنشاء مخازن جيولوجية للفضلات. ويتراوح الرسم من ١ إلى ٣ دولارات لكل ١٠٠٠ كيلواط - ساعة من الكهرباء الناتجة عن المفاعلات النووية^(٥٣).

وتخصيص أموال لأغراض التصفية هو أمر ضروري لكل بلد قام ببناء محطات نووية. وبغض النظر عن دور الطاقة النووية في مخططات الأمة في مجال الطاقة، فإن المحطات النووية الحالية يجب تصفيتها في النهاية. وستصبح نفقات التصفية مستحقة أولاً في البلدان الرائدة في تطوير هذا المصدر من الطاقة. وستكون مجهوداتها في توفير هذه المصاريف موضع اهتمام. وستتعلم البلدان ذات المفاعلات الاحداث دروساً ثمينة، أما البلدان التي لم تبين 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 - 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 ثلثها يستخدم الأموال التي جمعها للتصفية في أغراض أخرى، وأن ٢٩٪ لا يتوقع لطريقة تمويله الحالية أن توفر له الأموال اللازمة لتغطية المصاريف المطلوبة^(٥٤).

جدول ٧ - ٥ مفاعلات الطاقة النووية العاملة في عشرة بلدان رئيسة حسب احصاء عام ١٩٨٤ .

البلد	عدد المحطات	القدرة النووية الكلية (ميغاواط)	النسبة من الأنتاج الكلي المحلي	النسبة من الأنتاج العالمي النووي
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. وسيستج 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 وستعلق 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 المستقبل. 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 بإشراف 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 - ٦ مفاعلات الطاقة النووية في العالم والتي بدأت العمل ما بين ١٩٥٠ - ١٩٨٤ والسنة المتوقعة لاحالتها على التقاعد

الاحالة على التقاعد

دخول الخدمة	المفاعلات (عدد)	القدرة (ميغا واط)	بعد خدمة ٣٠ سنة
١٩٥٠ - ٥٤	١	٥	١٩٨٠ - ٨٤
١٩٥٥ - ٥٩	١٠	٦٠٠	١٩٨٠ - ٨٩
١٩٦٠ - ٦٤	١٨	١,٩٧١	١٩٩٠ - ٩٤
١٩٦٥ - ٦٩	٣٤	٨,٦٩,٢	١٩٩٥ - ٩٩
١٩٧٠ - ٧٤	٧٥	٤٣,٨٢١	٢٠٠٠ - ٠٤
١٩٧٥ - ٧٩	٨٧	٦٥,٠٠٢	٢٠٠٥ - ٠٩
١٩٨٠ - ٨٤	١٠٣	٨٨,٥٦٦	٢٠١٠ - 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 حجرة عشرة أمام جميع البلدان التي تمتلك محطات نووية هو عدم وجود مراكز دائمة للتخلص من الفضلات المشعة. ومع أن المشرفين على تشغيل المفاعلات النووية يتفوقون على وجوب تفكيك المحطات النووية بأسرع وقت ممكن بعد إيقافها، إلا أن هذا الخيار سيظل غير متاح حتى نهاية القرن الحالي على الأقل. وليس في مقدور أي بلد حالياً التخلص بصورة دائمة من الفضلات ذات النشاط الإشعاعي العالي المخزونة حالياً في مفاعل واحد. وكما أن مدن اليوم لا يمكن سكانها بدون أعداد هائلة من شاحنات القمامة ومساحات الأرض الشاسعة التي تستخدم لتجميعها ومعالجتها، كذلك فإن 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 الأدنى وهو ٤٠٪، لتكتشف فيما بعد نتيجة للتغيرات 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 ستعرض 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 حين 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 الجهود التي تعمل على توسيع هذه القاعدة

المعرفة . 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 .

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 Atomic Energy Agency (IAEA), «The Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities» (draft), Annex 2, Vienna, May 1985, and from Nuclear Energy Agency (NEA), «Compendium on Decommissioning 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 Nuclear 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 technical 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: Classification 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 Communities, «The Community's Research and Development Programme on Decommissioning of Nuclear Power Plants, Third Annual Progress Report,» Luxembourg, 1984; Tokai Research Establishment,, «Development of Decommissioning Technology,» Japan Atomic Energy Research Institute, 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 Reprocessing 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 Commercial High - Level Radioactive Waste,» Environment, July/ August 1985.
- 25- «SKB - Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company,» information brochure, Stockholm, 1985; Benjamin S. Cooper, «Monitored, Retrieval 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 Radioactive Waste Storage Programs,» in Proceedings of the 1983 Civilian Radioactive Waste Management Information Meeting, Washington, D.C., December 12-15, 1983 (Springfield, Va.: National Technical Information Service, 1984); Bob Johnstone, «A Country 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 radioactive 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 Regulatory 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 Radioactive 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- National 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 Decommissioning as 20% Cost of Building 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, «Decommissioning 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 Financial 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 Conference.»
- 54- «Survey of Decommissioning Methods/ Costs,» AGA Depreciation Committee.
- 55- The average residential electricity customer in the United States used 8,965 Kilo watt - hours of electricity in 1984, according to unpublished statistics compiled by the Edison Electric 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.