المحتـــويات

	الصفحة
نهج جمهورية ألمانيا الاتحادية في مجال السلامة النووية وتجارب التشغيل الحديثة (أ. بيركهوفر؛ أ. يا نس ؛ ب. أ. غوتشوك) جمهورية ألمانيا الاتحادية	١
التنفيس المرشح لغرف الاحتواء في المفاعلات السويدية (أ. تيرين) السويد	١٨
طريقة بحث عمليات الحوادث في محطات القوى النووية (ف. ب. نستورنكو؛ غ. أ. شاروفاروف؛ أ. غ. شاشكوف) جمهورية بييلوروسيا الاشتراكية السوفياتية	٣٨
ديناميات عمليات الحوادث في محطات توليد القوى النووية التي تعمل بمبرد يتفكك (ف. ب. نستورنكو؛ غ. أ. شاروفاروف؛ أ. غ. شاشكوف) جمهورية بييلوروسيا الاشتراكية السوفياتية	٤٨
السلامة النووية في محطات توليد القوى النووية الاسبانية اسبانيا	٦١
السلامة النووية في النمسا (غ. سونيك) النمسا	٧٥
تقييم مخاطر الإشعاعات : الوضع الراهن والاتجاهات المستقبلية (ر. غ. كوديهي؛ ب. ب. بوكر؛ ف. ف. هان؛ ب. أ. موغنبرغ؛ ر. أ. مكليلان) . الولايات المتحدة الأمريكية	٧٧
البحث والتطوير في معهد الحماية من الإشعاعات والبيئة (معهد PRYMA) التابع لمركز بحوث الطاقة البيئية والتكنولوجية (CIEMAT) اسبانيا	١٠٦

V.87-92939 (EX)

الحماية من الإشعاعات في البرازيل ١١٠
(ل.س. دى فريتاس، ر.ن. آلفيز)
البرازيل

البحوث والتعليم والتدريب في مجال الحماية من الإشعاعات ١٢٢
في بلجيكا (المقرر : ر. كيرشمان)
بلجيكا

« أرغوس » : أداة حاسبة الكترونية للسرعة ١٣٣
في اتخاذ القرارات في حالة الطوارىء النووية
(أ. فالمود. لارسن؛ ج. ليبرت؛ ج. جنسن)
الدانمرك

سلامة المفاعلات المائية : النهج الفرنسي ١٣٦
(م. كينيار)
فرنسا

نهج نظم أونتاريو هايدرو في إدارة المواد المشعة ١٤٨
(ت. ج. كارتر، ب. ك. م. راو)
كندا

مبادىء أساسية بشأن تحديد جرعات الإشعاع ١٧٢
والمراقبة ونظم الإنذار
(ب. فيشيتيل)
النمسا

الحماية من الإشعاعات في السويد : ١٧٦
المبادىءوالتطبيق
(ى. أ. سنيس)
السويد

نهـج جمهوريـة ألمانيـا الاتحـادية
في مجال السلامة النووية وتجارب التشغيل الحديثة

أ. بركهوفر؛ أ. يانس؛ ب. أ. غوتشوك
Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH
كولونيا / ميونيخ

(جمهورية ألمانيا الاتحادية)

المحتويـات

تطور محطات القوى النووية ووضعها الحالي في جمهورية ألمانيا الاتحادية
. التطور
. الوضع الراهن
. الأداء

تجربة التشغيـل
. نظام الإبلاغ
. حالات التعرض
. إحصاءات الوقائع غير العادية والاتجاهات
. التقييم والتغذية الارتجاعية
. تجديد المعدات

مفهوم السلامـة
. جوانب عامة
. التكرارية والميكنة الآلية
. التدرج في التقييد و الحماية بواسطة نظم التحكم
. الوقاية من الأحداث العارضة والحوادث

استخدام الأساليب الاحتمالية وأهداف السلامة الموجهة إلى تقليل المخاطر
. استخدام التقييم الاحتمالي للمخاطر في الترخيص واتخاذ القرارت
. دراسات المخاطر الشاملة
. أهداف السلامة

نظرة شاملة وآفاق المستقبل

تطور محطات القوى النووية
ووضعها الحالي في جمهورية ألمانيا الاتحادية

التطـــور

كان عام ١٩٥٥ نقطة تحول تاريخية أساسية : ففي ذلك العام، انعقد في مدينة جنيف أول مؤتمر دولي للأمم المتحدة بشأن الاستخدام السلمي للطاقة النووية، ووقعت جمهورية ألمانيا الاتحادية معاهدة باريس، وقبلت الالتزام بأن تستخدم الطاقة النووية للأغراض السلمية فقط. وكان هذا هو العام الذي بدأت فيه التحضيرات الأولى في جمهورية ألمانيا الاتحادية لاستخدام الطاقة النووية. وبعده بخمس سنوات، أصبح قانون الطاقة الذرية، الذي سنّته جمهورية ألمانيا الاتحادية، نافذ المفعول (كانون الثاني/يناير ١٩٦٠)، وتم تجهيز أول محطة قوى نووية تجارية في مدينة كاهل في عام ١٩٦٠. وهكذا يتم إنتاج الكهرباء في جمهورية ألمانيا الاتحادية بواسطة الطاقة النووية منذ أكثر من ٢٥ سنة.

وبدأ تطوير محطات القوى النووية التجارية المبرّدة بالماء الخفيف ببناء محطات بتراخيص من البائعين في الولايات المتحدة. وسرعان ما أقيمت مشاريع ألمانية مستقلة. ونتج عن ذلك إدخال سريع لمفاعلات الماء الخفيف، لكل من مفاعلات الماء الغالي ومفاعلات الماء المضغوط، بتصميمات ألمانية بحتة.

وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن المرافق العامة الكبري في ألمانيا الاتحادية هي وحدها التي تتولى تشغيل محطات القوى النووية أو تتحمل مسؤولية تشغيلها، وبذا تقوم بتوفير ما يلزم من موارد، وخبرة عملية، وبنية أساسية. كما أن جميع محطات القوى النووية في جمهورية ألمانيا الاتحادية هي أساساً مشاريع تسليم المفتاح. وعادة ما يكون وضع التصميم والتخطيط متقدماً إلى حد كبير قبل أن يبدأ البناء. ومن المهم أيضاً ملاحظة أن الترخيص يمنح عادة لكل من المرفق والبائع. ويقوم البائع بتشغيل المحطة أثناء التجهيز، علي مسؤوليته الخاصة، وذلك ابتداء من أولى مراحل الحرج ومروراً بمختلف خطوات القوى حتى بلوغها مستوى الطاقة الكاملة قبل قيام المرفق بتشغيلها تجارياً وتسليمها نهائياً. وباستثناء وحيد، يوجد بائع واحد لا أكثر. وقد أظهر البائعان قدرتهما على البناء وعلى تشغيل محطات القوى النووية بكفاءة.

وقد شهدت محطات القوى النووية تطوراً كبيراً ومرت بعملية نضوج عظيمة. وزاد حجم المحطات وتم تطويع مفهوم السلامة لكي يساير خطى التقدم في العلم والتكنولوجيا.

ويجدر ذكر الخطوات التالية : محطات طاقتها ٣٠٠ ميغاوات كهربائي تعمل بقدرة ٦٠٠و٩٠٠ ميغاوات كهربائي من طاقتها طراز مفاعلات الماء الغالي والماء المضغوط في الفترة ١٩٦٦-١٩٦٨، ثم في الفترة ١٩٧٢-١٩٧٩، على التوالي؛ وتلي ذلك المحطات من طراز بيبليس بقدرة ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي بمفاعل ماء مضغوط في الفترة ١٩٧٤-١٩٧٨، و ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي بطراز مفاعلات الماء الغالي في ١٩٨٤ - ١٩٨٥، وطراز بريكونفوى بقدرة ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي بمفاعل ماء مضغوط في الفترة ١٩٨١-١٩٨٤.

الوضع الراهن

بذلت جهود ضخمة في جمهورية ألمانيا الاتحادية من أجل التوحيد القياسي والتعاون الوثيق والإسراع في منح التراخيص. ولهذا الغرض، تم في عام ١٩٨٢ إنشاء مشروع كونفوى. وينفذ هذا المشروع من خلال ثلاث محطات كونفوى يجري بناؤها حالياً. وخفضت فترة البناء بنحو ٢٠٪ من الفترة التي استغرقها بناء محطات قوى بريكونفوى (ماقبل كونفوى). ويجري التجهيز والتشييد في الموقع وفق الجدول الزمني أو قبله. وفي اثنتين من المحطات الثلاث، انتهى العمل في هياكل المباني وجرت تجارب ناجحة لاختبار معدلات الضغط والتسرب في وعاء الاحتواء الأولي. وسوف تكتمل اختبارات الضغط لأجهزتها الأولية في فصل الربيع الجاري. والفارق الزمني لمحطة كونفوى الثالثة، بالمقارنة بكل من محطتي كونفوى الأخريين سيكون ستة أشهر أو سنة. ومن المفروض أن يبدأ التشغيل التجاري لاثنتين من محطات كونفوى في عام ١٩٨٨، والمحطة الثالثة في عام ١٩٨٩.

وفي المجموع، توجد حالياً ٢١ وحدة عاملة بقدرة كهربائية صافية إجمالية تناهز ١٩٠٠٠ ميغاوات. وهناك ٤ وحدات قيد الإنشاء بقدرة صافية إضافية تقارب ٤٠٠٠ ميغاوات كهربائي. وباحتساب المحطات التي يجري إنشاؤها أيضاً، تبلغ حصة مفاعلات الماء الغالي ومفاعلات الماء المضغوط نحو ٣٠٪ و ٦٧٪ على التوالي، مما يبين أن أنواع المفاعلات الأخرى مثل المفاعلات المبرّدة بالغاز والمفاعلات المولدة السريعة لا تمثل سوى نسبة صغيرة من الطاقة النووية الإجمالية. وستزيد حصة الطاقة النووية في توليد الكهرباء في جمهورية ألمانيا الاتحادية من أكثر قليلاً من ٣٠٪ حالياً إلى نحو ٤٠ في المائة في عام ١٩٩٠ . ولا يمكن التنبؤ في الوقت الحاضر بما إذا كانت ستنفذ مشاريع محطات قوى نووية جديدة في المستقبل.

وقد أوقف جزئياً تشغيل خمس محطات بيانية كانت تعمل بالفعل بعد ٢٠ سنة بل و ٢٥ سنة من التشغيل الناجح. وهذه المحطات في مراحل متفاوتة من إنهاء تشغيلها. وصدر مؤخراً ترخيص بتفكيك محطة واحدة بصورة كاملة.

ويبين الشكل ١ مواقع مرافق دورة الوقود النووي بجمهورية ألمانيا الاتحادية. ويرد في الجدول ١ تجميع لمحطات القوى النووية في جمهورية ألمانيا الاتحادية.

الأداء

يعد أداء محطات القوى النووية مرضياً جداً من الناحية الاقتصادية. وفي السنوات الأخيرة، كانت وحدات جمهورية ألمانيا الاتحادية دائماً في مصاف أعلى المستويات العالمية لمحطات القوى النووية.

فهناك ٣ وحدات نووية بجمهورية ألمانيا الاتحادية، أنتجت كل منها أكثر من ١٠ ملايين كيلووات/ساعة في عامي ١٩٨٤ و ١٩٨٥، وحققت وحدتان نفس الرقم في ١٩٨٦، على التوالي. وتتضح أيضاً جودة الأداء من عوامل متوسط القدرة التي بلغت نسبتها ٨٢,٨٪ و٨٣,٤٪ و٨٠,٤٪ في الأعوام الثلاثة الأخيرة، أي في ١٩٨٤ و ١٩٨٥ و ١٩٨٦. وفي جمهورية ألمانيا الاتحادية، حققت ١٢ وحدة من أصل ١٩ وحدة تشغيلاً يزيد بنسبة ٨٠٪ على طاقتها في ١٩٨٦، وفي الأعوام السابقة، حققت هذه النسبة ١٤ وحدة من ١٨ وحدة (١٩٨٥)، و ٩ وحدات من ١٧ وحدة (١٩٨٤). وفي الأعوام الثلاثة الأخيرة، كانت وحدة واحدة فقط، وهي محطة نموذجية تؤدي اختبارات محددة،

تعمل بأقل من ٥٠٪ من طاقتها. ولم يمكن التوصل إلى درجات إتاحة عالية في مفاعلات الماء الغالي إلا مؤخراً، بعد الانتهاء من تنفيذ تدابير مكثفة لإعادة التجهيز (تبديل أغلب الأنابيب الأولية).

وفي الأعوام الثلاثة الأخيرة، بلغت نسبة عدم إتاحة الطاقة بسبب أوقات التوقف غير المتوقعة أقل من ٣٪ في المتوسط، وكانت هذه النسبة في عدد ملموس من الوحدات أدنى من ١٪. ونجم أكثر من ٧٠٪ من حالات التوقف الإجباري في محطات مفاعلات الماء الخفيف عن مشاكل مولدات البخار والأجهزة التقليدية مثل المولدات التوربينية، والأجهزة الرئيسية لازالة الحرارة، وأجهزة التغذية بالماء والتكثيف. أما حالات التوقف التي سبّبتها أعطال في المكونات النووية فقد كانت أقل.

ومما يبين أيضاً الاتجاه صوب أداء تشغيلي محسّن، ذلك العدد الصغير نسبياً لحالات التوقيف الطارئ للمفاعلات. وقد وصلت المحطات إلى مستوى نحو ١,٥ حالة توقيف طارئ (في المتوسط) لكل محطة وفي كل عام من الأعوام الخمسة الأخيرة.

تجربـــة التشغيـــل

نظـام الإبلاغ

يجري تأمين إتاحة المعلومات على الصعيد الوطني أساساً بواسطة نظام نمطي للإبلاغ. ومنذ ١٠ سنوات، وافقت السلطات المختصة على إنشاء مكتب مركزي للإبلاغ في جمهورية ألمانيا الاتحادية، تمت إقامته فيما بعد داخل شركة سلامة المفاعلات GRS), mbH). ويطلب من الحاصلين على تراخيص الإبلاغ عن الوقائع غير العادية طبقاً لمجموعة دقيقة للغاية من معايير الإبلاغ. ويتم تجميع هذه الوقائع، وفقاً لصلتها بالسلامة ودرجة التعجيل المطلوبة باتخاذ الإجراءات الإدارية اللازمة، في فئات مختلفة :

الفئة ف (S = sofort = فورية) وهي الوقائع غير العادية التي تتطلب تدابير فورية من السلطة المختصة. وتشمل هذه الوقائع تلك الأحداث التي تظهر عيوباً حادة ذات صلة بالسلامة.

الفئة ع (E = eilig = عاجلة)، وهي الوقائع غير العادية التي ينبغي توضيح أسبابها والعمل على إزالتها في الوقت المناسب. وهذه، على سبيل المثال، وقائع ذات أهمية أمنية محتملة دون أن تقتضي مع ذلك إجراءات فورية.

الفئة م (N = normal = معتادة)، وهي وقائع ذات أهمية عامة يجب إبلاغ السلطة بها. وهي كقاعدة وقائع تتجاوز التشغيل المعتاد دون أن تكون لها أهمية فورية أو محتملة من زاوية السلامة.

الفئة ت (V = Vorsorge = تحوط) وهي وقائع حدثت أثناء فترة إنشاء المحطة قبل إعدادها نهائياً للتشغيل ويجب إبلاغ السلطة المختصة بها بالنظر إلى مرحلة التشغيل اللاحقة للمحطة.

ويجري تصنيف الحدث وفقاً لتقدير (مبدئي) لدى وقوعه.

وحسب فئة الحدث غير العادي، يجب الإبلاغ عنه فوراً أو في غضون أسبوعين من وقوعه. ويتم تخزين كل الأحداث في مصرف بيانات. وفي الوقت الحاضر، يحتوي مصرف البيانات على نحو ٢٥٠٠ وثيقة.

ويتم الحصول على الخبرة من الخارج من خلال المشاركة في أعمال التعاون الدولي. وتشارك جمهورية ألمانيا الاتحادية في شبكة الإبلاغ عن الحوادث بالوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA - IRS) من خلال الشبكة التابعة لوكالة الطاقة النووية (NEA - IRS). وإلى جانب ذلك، توجد ترتيبات ثنائية مع عدد من البلدان.

حالات التعرض

من زاوية السلامة، تعدّ تجربة تشغيل محطات القوى النووية في جمهورية ألمانيا الاتحادية ايجابية. ففي السنوات العشر الأخيرة، لم تقع حوادث أدت إلى مخاطر علي سلامة المحطات أو العاملين أو البيئة. كما أن أياً من الوقائع غير العادية التي أبلغ عنها لا يمكن اعتبارها ذات خطورة من زاوية السلامة تؤدي إلى خسائر في المقومات الأساسية للسلامة. وخلال الأعوام الستة الأخيرة، لم يصنف إلا حدث واحد كحدث له خطورة إشعاعية ممكنه تدخل في دائرة أعلى فئات الإبلاغ. ففي تلك الحالة كان هناك تجاوز للحد المسموح به في الانبعاث اليومي. ورغم ذلك، فإن النشاط الإشعاعي السنوي الذي انبعث كان أقلّ من المقادير المرخص بها إلى حد بعيد. وقد أظهرت عمليات القياس الرقابي في المناطق المحيطة بالمحطة أنه لم تكن هناك زيادة في التعرض للإشعاعات.

وفضلاً عن ذلك، تجدر الاشارة إلى أن الجرعات القصوى التي تعرض لها الجمهور، حتى بسبب الأحداث غير العادية التي وقعت حتى الآن في جمهورية ألمانيا الاتحادية لم تتجاوز في أي وقت من الأوقات الحدود الموضوعة لمقادير الانبعاث أثناء التشغيل المعتاد (أنظر التذييل)، وبذا تكون درجتها أقل من درجة التغير في الإشعاع الطبيعي في البيئة.

وقد خفضت دائماً مقادير الانبعاث التشغيلي للنويدات المشعة من خلال المخلفات الغازية والسائلة من كل محطة مفردة. ورغم الزيادة الكبيرة في الناتج الإسمي للقوى الكهربائية وفي عدد محطات القوى النووية العاملة، فقد ظلت الانبعاثات التراكمية ثابتة إلى حد كبير على مر السنين مما يبين انخفاضها بدرجة عالية بالنسبة إلى الطاقة الكهربائية المنتجة. وقد حسبت الجرعات التي يتعرض لها الجمهور نتيجة للانبعاثات المعتادة على أساس افتراضات تشاؤمية. فالجرعات ضئيلة جداً، بل هي أقل كثيراً من المقادير المسموح بها. وتبلغ الجرعات السنوية النمطية المحسوبة بالفعل في أسوأ الحالات ١,٠ ميكرو سيفرت، واقل من ذلك. وتمثل هذه الجرعات نسبة ضئيلة للغاية (أقل من ٠,١٪) من الإشعاع الطبيعي السنوي في البيئة.

إحصائيات الوقائع غير العادية والاتجاهات

سجلت في السنوات الأخيرة من ١٠ إلى ٢٠ واقعة غير عادية في المتوسط تتطلب الإبلاغ لكل سنة ولكل محطة. وتدخل معظم الأحداث الطارئة عادة ضمن أدنى فئات الإبلاغ (نحو ٨٠٪). ويدخل خمس الأحداث المبلغ عنها تقريباً ضمن فئة الابلاغ الوسطى. وفي الأعوام الثلاثة الأخيرة، لم ترفع تقارير عن أي حدث يقع ضمن أعلى الفئات، ولم يقع سوى حدث واحد من هذا النوع في الأعوام الستة الأخيرة.

ولم تسبب أغلبية الأحداث تقييداً لإنتاج الطاقة (٧٠٪ أو أكثر)، واكتشف جزء كبير منها أثناء التفتيش الدوري، أو أثناء إجراء الصيانة أو أعمال الإصلاح. وتتسبب أعطال المكونات عادة في ٣٠٪ من الأحداث. وينجم نفس العدد عن أخطاء في الاصلاح، أو الصيانة، أو طرق التشغيل، أو ظروف التشغيل. وتمثل الأخطاء في التصميم أو الصناعة نسبة أصغر من ذلك بقدر يسير (نحو ٢٠٪ في المجموع).

والأغلبية الساحقة من الأعطال يجري تصحيحها بأعمال إصلاح، وبدرجة أقل عن طريق تعديلات، وهذا يبين أن السبب في أغلب الحالات هو مجرد طول مدة الاستعمال و البلى العادي وليس سببها وجود عيوب في التركيب.

التقييم والتغذية الارتجاعية

من البديهي أن تتوقف فعالية التغذية الارتجاعية على التفاصيل التقنية التي تنشرها مرافق الخدمات، وكذلك على الجهد الذي يبذل في تقييم الخبرة المكتسبة. وقد تبين من واقع تجربتنا أنه يجب تكريس قوى عاملة كافية عالية التأهيل وبشكل مستمر لأداء هذه المهمة. وفي جمهورية ألمانيا الاتحادية، يجري التقييم على المستوى الاتحادي بواسطة شركة سلامة المفاعلات (GRS) نيابة عن وزارة البيئة وحماية الطبيعة وسلامة المفاعلات. وتجدر الإشارة إلى ان التراخيص تحتاج هي أيضاً إلى مقدرة كافية على التحليل حتى يمكن الاستفادة من المعلومات المتعلقة بالخبرة المكتسبة من تشغيل محطات أخرى.

كما أن التقييم الدقيق شرط أساسي لإعداد مدخلات ذات قيمة للتعاون الدولي. وفي جمهورية ألمانيا الاتحادية، تقوم شركة سلامة المفاعلات بتقييم الخبرة الألمانية وكذلك الخبرة الأجنبية وبإعداد التقارير من أجل التبادل الدولي.

وتوزع المعلومات علي الصعيدين الوطني والدولي عن طريق تقارير دورية وأخرى مخصصة. وكلّ السلطات المعنية بالسلامة النووية، وهيئاتها الاستشارية، ومرافق الخدمات العامة، وبائعي المحطات النووية، والمنظمات ذات الخبرة، وصانعي المكونات (اذا كانوا معنيين بذلك) يدخلون في عملية تبادل المعلومات. ومن أجل التبادل الدولي، ترفع التقارير إلى الشبكات الدولية للإبلاغ عن الحوادث. وفضلاً عن ذلك، يجري تبادل مباشر للمعلومات مع عدد من البلدان.

وأهم دور أساسي تقوم به التغذية الارتجاعية هو بطبيعة الحال اتخاذ إجراءات مناسبة تأسيساً على الخبرة المكتسبة. وفي رأينا أن الاهتمام الدائم بالخبرة المكتسبة من التشغيل والمناقشات التقنية المستمرة أهم من

اللوائح الرسمية. وقد أدخل في جمهورية ألمانيا الاتحادية عدد كبير من التحسينات نتيجة للخبرة المكتسبة من التشغيل.

تجديد المعدات

تفهم عملية تجديد المعدات في جمهورية ألمانيا الاتحادية على أنها تحسين عملي لحالة المحطة الفعلية. وعادة ما تتخذ القرارات لكل حالة على حدة، مع مراعاة كاملة لكل الجوانب ذات الصلة. وبدراسة الخبرة المكتسبة من التشغيل والاستفادة من نتائج البحث والتطوير، يجري تحسين سلامة المحطات باستمرار. وهنا أيضاً أدت الخبرة المكتسبة في المحطات الأجنبية إلى اتخاذ تدابير في المحطات الألمانية.

وقد نفذت المرافق الأغلبية الساحقة من تدابير تجديد المعدات طوعياً بعد مناقشات في المجال العلمي-التقني. وقد أحرز النجاح على الدوام حتى الآن في إقناع المرافق بضرورة مثل هذه التدابير، كما حدث في كثير من الأحيان أن اقترحت المرافق تدابير لتجديد المعدات نتيجه لأبحاثها الخاصة، وقدمت المرافق الطلبات التي كانت تستدعي الحصول على ترخيص بذلك.

ومما يدعو إلى السرور مبادرة قامت بها المرافق في تنفيذ الاستنتاجات الجديدة التي تتصل بالسلامة. فهي تؤدي إلى نتائج أسرع مما يمكن تحقيقه بأحكام مفروضة.

وقد تم تنفيذ عدد كبير من التعديلات في المحطات. ومن أمثلة ذلك، نذكر مايلي:

- أظهرت عمليات التفتيش في مفاعلات الماء الغالي عيوباً في أنابيب البخار الرئيسية وفي أنابيب التغذية بالماء. كما أنه بالمقارنة بفترة البناء، أمكن في السنوات الأخيرة إتاحة مواد ذات خصائص رفيعة المستوى واستحدثت تقنيات صنع مثلى. وتم تبديل عدد كبير من أنابيب البخار الرئيسية وأنابيب التغذية بالماء في مفاعلات الماء الغالي الألمانية.

- في السنوات الأخيرة، أولي اهتمام أكبر لتكرارية النظم وتوزيعها الفراغي واستقلالية النظم المتكررة من أجل تحقيق الرقابة على الأحداث الخارجية. وأعيد تجهيز أغلب مفاعلات الماء المضغوط القديمة بنظام طوارىء محصن.

- في أحد مفاعلات الماء المضغوط القديمة، أظهرت خبرة التشغيل المكتسبة أن درجة الهشاشة التي يتعرض لها حوض الضغط في المفاعل نتيجة الإشعاع قد ترتفع في نهاية فترة تشغيله بأكثر مما تقتضيه المتطلبات الحالية. وغيرت كيفية التشغيل كتدابير وقائية لمواجهة الهشاشة الناتجة عن الإشعاع. وإضافة إلى ذلك، تم تعديل نظام الحقن تحت الضغط العالي لتفادي الكلال القصيف في حالة تذبذبات الماء البارد.

- أدى تسرب النتروجين من المراكم من خلال صمامات منع تسرب غير محكمة إلى تعطل مضخة حقن خاصة

بالسلامة عن العمل أثناء أحد الاختبارات وتم تغيير ترتيب الأنابيب في عدة محطات.

- تم تركيب صمامات واقية متنوعة من أجل سلامة التشغيل من خلال التحكم وكذلك صمامات تنفيس، وذلك استناداً إلى الخبرة المكتسبة في كل من المحطات الألمانية والأجنبية التي تواجه آثار نفس هذه الأسباب.

- اصبح من الواضح أن أعطال أنابيب مولدات البخار ليست من الأحداث النادرة تماماً؛ ذلك أنه يمكن للبخار الملوث أن ينطلق في البيئة من خلال صمامات التنفيس في حالة عطل الأنابيب وتلف حوض التبريد. ولذلك اتخذت تدابير مختلفة، مثل زيادة نقاط التنبيه في صمامات التنفيس الجانبي الثانوية، وأدخلت تعديلات في إجراءات التشغيل، وذلك بغية تقليل حالات انبعاث النويدات المشعة الممكنة إلى البيئة.

مفهـوم السلامـــــة

جوانب عامـة

تصمّم محطات القوى النووية بحيث تراعي حالات الخلل والحوادث بغية ضمان إيقافها مؤقتاً عن العمل بصورة مأمونة، وتأمين إمكانية تبريد قلب المفاعل، وإزالة الحرارة المتبقية، واحتواء نواتج الانشطار. ويشبه مفهوم سلامة المفاعلات في جمهورية ألمانيا الاتحادية بشكل جوهري مثيله في البلدان الأخرى. وهو يقوم على أساس وجود حواجز مادية لاحتواء المواد المشعة الخطرة وعلى مبدأ الدفاع في العمق لحماية تماسك الحواجز ضد عواقب الأحداث والحوادث.

ورغم ذلك، فإن جمهورية ألمانيا الاتحادية تنفرد بخصائص معينة بالنسبة لبلدان أخرى.

فالخصائص الكامنة للتغذية الارتجاعية بالمحطة، والتكرار في الأجهزة، وإذا أمكن التنويع، وخاصة الفصل المادي بين المعدات المتصلة بالسلامة، هي كلها عناصر حيوية في مفهومنا للسلامة. كما أن درجة الأتمتة العالية ومعيار العطل الواحد والإصلاح من المسائل الهامة في هذا الصدد.

التكرارية والأتمتة

يوجد تكرار في النظم الفرعية المتعلقة بالسلامة، وهي ليست منفصلة عن بعضها وظيفياً وحسب، ولكن مادياً أيضاً، وتجري حمايتها من الناحية الإنشائية. ونحن نتصور أننا نتفادى بذلك قدر الإمكان التشابك بين الأجهزة الفرعية المتكررة، بما في ذلك أجهزتها المساعدة مثل أجهزة التحكم الآلي والإمداد بالطاقة. وبسبب مفهوم معالجة العطل الواحد إلى جانب افتراض عملية إصلاح جهاز فرعي متكرر آخر، فإنه يوجد جهازان مكرران آخران لمواجهة وقوع أي حدث (تخطيط النظام " n+2 ").

وهذه أدوات تصميم قيمة لمكافحة الأعطال التي تحدث مع الأساليب الشائعة للتشغيل. ويمكن فضلاً عن ذلك إجراء عمليات تفتيش الخطوط أثناء العمل على أساس كل خط على حدة بمزيد من التعمق دون تداخل مع تدابير السلامة الآلية الضرورية.

وهناك نظم متكررة لمراقبة السلامة، مستقلة عن النظم الأخرى. وتراقب نظم المراقبة المذكورة كل الوظائف المتصلة بالسلامة. وهناك ما يسمى بدوائر الأولوية، وهي تكفل أن تكون لإشارات نظم مراقبة السلامة الأسبقية على الإشارات الأخرى، وخاصة على ضوابط التشغيل، والعمليات اليدوية.

والتدابير اليدوية التي تتخذ لمواجهة الأحداث ليست مطلوبة إلا بعد فترة ٣٠ دقيقة. وتبدأ تدابير السلامة اللازمة آلياً خلال الثلاثين دقيقة الأولى على الأكثر من وقوع الحادثة. وتنتقل محطة الطاقة آلياً إلى حالة متابعة مأمونة. وفعالية التدابير اليدوية موضحة في غرفة التحكم. ويحدث كذلك كلما تطلب الأمر مثل هذه الإجراءات أن تصدر الإشارة اللازمة في غرفة التحكم في النظام، ولوحة حماية المفاعل، وعلى وحدات إعلانات الحاسبة الالكترونية.

ونتيجة لمفهوم الأتمتة بعيد الأثر، غدت المهمة الرئيسية للعاملين المسؤولين في غرفة التحكم هي رصد حالة المحطة. ويساعد مثل هذا التخطيط على تفادي الأخطاء البشرية، وخاصة في حالات الإجهاد الشديد. وهو خطوة إلى الأمام صوب مفاعل أكثر كفاءة في مواجهة الأخطاء.

التدرج في التقييد والحماية بواسطة نظم المراقبة

وإضافة إلى ذلك، وبغية تخفيض عمليات نظم مراقبة السلامة وأعباء عمل القائمين بالتشغيل، تم تطبيق مبدأ الدفاع في العمق فيما يتعلق بحماية المفاعل. ويتميز هذا المفهوم بهيكل هرمي لضوابط التشغيل الآلي، وبنظم التقييد ونظام الحماية.

والمستوى الأول للدفاع هو التحكم الآلي. فيتم التحكم في المتغيرات الرئيسية للعملية، مع إدخال أطواق عازلة، بحيث تبقى ثابتة أو عند قيم تفرضها عليها التحميلات المعنية.

ويتحقق خط الدفاع التالي بما يسمي بنظم التقييد. ويوجد منها نوعان مختلفان : تقييد الحالة وتقييد الحماية. ويكفل النوع الأول عدم تجاوز قيم العمليات الحدود الموضوعة في تحليلات السلامة. أما النوع الثاني فهو مصمم من أجل تدابير مضادة للحماية في حالة وقوع أحداث محددة. وتعطى تدابير التقييد الأسبقية على ضوابط التشغيل وتسبق إجراءات الحماية التي تؤمنها نظم السلامة.

وتمثل إجراءات الحماية بنظم السلامة المستوى الثالث في هذا المفهوم المتدرج. وتبدأ هذه الإجراءات في الحالات التي لا يمكن مواجهتها بضوابط التشغيل أو بوحدات التقييد. وتبطل الإجراءات على هذا المستوى كل الإجراءات على المستويين السابقين.

وبهذا المفهوم الهرمي، أمكن تحقيق استجابة أكثر ملاءمة ومرونة على حالات الخلل والأحداث الطارئة.

وتبين قلة عدد حالات توقيف المفاعلات الطارئ وعدد حالات التشغيل المفاجيء لنظم السلامة فعالية هذا المفهوم في مجمله.

ورغم هذا، تتاح للعاملين في نوبات إجراءات للتشغيل تمكنهم من السيطرة على الأحداث العارضة يدوياً. ويجري تدريب العاملين ويعاد تدريبهم بصفة دورية. وهنا، كإجراء داعم، تعطى لاستخدام وسائل السلامة في المحطة بمرونة الأهمية الواجبة لمعالجة الحوادث في حالة تتابع غير متوقع للحدث أو تعاقب لم يدرس قبل ذلك في التصميم. وهذا الاستخدام لاحتياطات السلامة الكامنة في التصميم الحالي هو جزء من فلسفة السلامة الألمانية.

الوقاية من الأحداث العارضة والحوادث

يعطي مفهوم السلامة الألماني أولوية لتدابير الوقاية من الأحداث العارضة والحوادث، وتكملها تدابير إضافية لتخفيف ما ترتبه الحوادث من آثار.

ولذلك يجهز مفاعل الماء المضغوط الألماني عادة بغرف احتواء كروية كاملة الضغط (جافة) من الصلب تستطيع أن تتحمل تراكم الضغط بعد حوادث فقدان وسائل التبريد. وليس من الضروري وجود نظم رش لتقييد ضغط الاحتواء في حالة التصريف الكامل للكتلة والطاقة في الدارة الأولية. وتؤمن توصيلات غرفة الاحتواء بالخارج بوسائل عازلة متكررة. وتحاط غرفة الاحتواء بإطار خرساني يبلغ سمك جداره نحو مترين. ويمكن إفراغ التسربات من غرفة الاحتواء إلى الطوق بين غلاف الصلب والإطار الخرساني وتصفيتها لإطلاقها بطريقة محكومة من خلال المدخنة. ويحمي الإطار الخرساني أيضاً من الأحداث الخارجية الافتراضية مثل سقوط الطائرات وموجات الصدمات التي تبعثها انفجارات كيميائية. وتستخدم كأساس للتصميم أحمال ارتطام من طائرة نفاثة سريعة الطيران بما في ذلك الاهتزازات المستحثة.

وتوضع أيضاً أجهزة ضرورية لإزالة حرارة الانحلال، وإيقاف المفاعل عن العمل، وتنزيل المستوى إلى ما دون درجة الحرج في المدى الطويل، في مبنى منفصل محمي أيضاً ضد الصدمات الخارجية. ويكفي المبرّد المخزون والإمداد المتاح بالطاقة للمحافظة على المحطة في حالة مأمونة لمدة ١٠ ساعات على الأقل بغير إجراءات يدوية.

ويشمل هذا النظام المحصن غرفة تحكم في الطوارىء تسمح بتحكم كامل في إيقاف العمل بالأجهزة وبجهاز إزالة الحرارة المتبقية في حالة عدم استعداد غرفة التحكم الرئيسية نتيجة لأحداث خارجية.

وفضلاً عن ذلك، وبالنظر إلى المتطلبات الملحة للغاية في جمهورية ألمانيا الاتحادية التي تحتم أيضاً حماية محطات القوى النووية من الأحداث الخارجية، تركب أجهزة وظائف حيوية مثل الإمداد بالطاقة وبالماء في حالات الطوارىء مع تكرار أكبر وتنويع أكبر مما يحدث في بلدان أخرى. وهكذا، فبالإضافة إلى النظام الرئيسي للتغذية بالماء، تم تركيب جهاز إضافي للتغذية بالماء يمكن أن يعمل بمصدر طاقة خاص للطوارىء. وإضافة إلى

ذلك، يوجد بالفعل نظام كامل مستقل للتغذية بالماء في حالات الطوارىء بأربعة خطوط مستقلة مادياً ووظيفياً، ولكل منها نظام إمداد مستقل بالماء والطاقة، تخصص لمولدات بخارية مختلفة. وبهذه الطريقة، لم يمكن فقط زيادة الموثوقية بإزالة الحرارة عن طريق نظم ثانوية لمواجهة الأحداث الخارجية، وإنما أيضاً بإمكانية معالجة حالات التسرب البسيطة وأعطال التشغيل العابرة.

ومن الأمثلة النموذجية الأخرى لمبدأ الوقاية مايسمى بمفهوم "السلامة الأساسية" الذي استحدث لتفادي حوادث فقدان المبرد. ويقوم هذا المفهوم على خصائص المواد عالية النوعية، وخاصة بتخفيض محتويات المعادن من الشوائب والعناصر الأخرى، وبتطبيق تقنيات الصنع المثلى. كذلك يتم تقليل وصلات اللحام مع وضع هذه الوصلات خارج مناطق الإجهاد الزائد. ويرمي هذا المفهوم إلى تحقيق صلابة عالية ومطيلية للجدران الحاجزة للضغط إلى جانب زيادة إمكانية اختبار الأنابيب ومقاومتها للتصدعات التي لا يحتمل اكتشافها والتي لم تكتشف بعد.

ولا يشمل مفهوم السلامة الاساسية المبرّد الأولي والأجهزة المرتبطة به وحسب، وإنما أيضاً ما يتحمل الضغط من جدران الأنابيب، والتركيبات، والصمامات، والوصلات الضاغطة، ومضخات الأجهزة الخارجية ذات الأهمية بالنسبةللسلامة.

وقد اتاح التحسين الذي تحقق بفضل مفهوم السلامة الأساسية تعديل فلسفة الحوادث التي تعزى إلى فقدان المبرد: ويمكن اعتبار ١٠٪ من القطاع المستعرض لأنبوب المبرّد الرئيسي (0.1A) بأنه سعة قطع تمثيلية للتصميم من حيث رد الفعل وقوى النفث على الجدران، والأنابيب والمكونات.

وقد نتج عن هذا النهج استبعاد كوابح ارتجاج الأنابيب غير الضرورية، التي كانت تعرقل تكرار التفتيش الدوري. كما أن تعرض العاملين للإشعاعات في هذا النوع من العمل قد انخفض بدرجة ملموسة.

ومن ناحية أخرى، وللمحافظة خاصة على أن تكون حواجز السلامة مستقلة، تم الإبقاء على افتراض الانقطاع من الطرفين (2A) كأساس للتصميم، لتحقيق كفاءة نظم تبريد قلب المفاعل (ECC)، وعلاوة على ذلك، لبيان أن أسلوب الاحتواء ووسائل الاحتفاظ به تحدّ من إطلاق المواد المشعة تحت الظروف السائدة من الضغط والحرارة بدرجة كافية أيضاً في حالة حدوث تلف إضافي لأغلفة قضبان الوقود.

استخدام الأساليب الاحتمالية
وأهداف السلامة الموجهة إلى تقليل المخاطر

استخدام التقييم الاحتمالي للمخاطر في الترخيص واتخاذ القرارات

أصبح النهج الاحتمالي لتحقيق سلامة المفاعلات الآن مقبولاً على نطاق أوسع. فهذه الطرائق تستخدم حالياً في العالم كله لتقييم السلامة التقنية الذي يستكمل تحليل السلامة التقليدي.

وفي جمهورية ألمانيا الاتحادية، غدا تطبيق المنهجية الاحتمالية في إصدار التراخيص أداة ثابتة برهنت على قيمتها تماماً، وإن كانت أداة غير رسمية ومجرد وسيلة عملية. وتقتصر عمليات التقييم الاحتمالي على بنود محددة تتعلق بالأحداث الناتجة عن أسس التصميم ووظائف السلامة لمواجهة هذه الأحداث، وهي تتعلق في الأغلب بالقدرة على تبريد قلب المفاعل، وإلى حدّ أقل بعزل غرفة الاحتواء.

ولم توضع حتي الآن مبادىء توجيهية رسمية أو أهداف كمية للسلامة. وتستخرج الأرقام الكمية من الممارسة الفعلية. وتستخدم هذه الأرقام لأغراض الإرشاد. ولاينحصر الهدف الرئيسي في مجرد تقييم النتائج الكمية؛ فالقضية الأساسية هي تحديد نقاط الضعف وبلوغ المستوى الأمثل بغية تحقيق مفهوم متوازن للسلامة.

ونظراً لما يحيط بالطرائق الاحتمالية التحليلية من شكوك، فإنه ينبغي دائماً النظر إلى معدلات التواتر بالغة الانخفاض بحذر كبير. وهذا ما يحدث دائماً عندما يتعين دراسة سيناريوهات حوادث بعيدة الاحتمال للغاية.

وكثير من الخبراء يعربون عن رأي مفاده أن تقييد تطبيق النهج الاحتمالي يغدو بديهياً في مثل هذه الحالات، وذلك لأن جذوره تمتد، إلى حد بعيد، في فجوة المعرفة.

ولذلك يستخدم التقييم الاحتمالي للمخاطر في عملية مازالت المناهج التقليدية تحتفظ فيها بقيمتها المتفوقة المستمرة.

دراسات المخاطر الشاملة

ثمة جانب آخر وهو أن الحوادث الخطيرة التي تتجاوز حدود التصميم كانت ولاتزال موضع دراسات استقصائية في برامج البحوث المتعمقة. وفي هذا الصدد، تجرى في جمهورية ألمانيا الاتحادية دراسات كاملة للمخاطر. كما اكتملت أو لاتزال تجرى دراسات للاحتمالات تخص كل محطة بالتحديد وتقتصر على مسائل مختارة.

وتقوم الصناعة والسلطات والهيئات القانونية بتحليل نتائج تلك الدراسات بعناية. والواقع أنه تم الاتفاق على إجراء تغييرات في التصميم أو التشغيل وسوف يتفق على تغييرات أخرى.

وتجرى في جمهورية ألمانيا الاتحادية دراسات استقصائية لتدابير مواجهة الحوادث، وسوف تتخذ إجراءات طوارىء داخلية لدعم بنود التصميم التي تستخدم حدود السلامة في التصميم الحالي، وخاصة لتفادي انصهار قلب المفاعل في ظروف غير مواتية، ووسائل الاحتفاظ بالمواد الانشطارية في غرفة الاحتواء. كذلك تجرى دراسة تدابير محددة تتخذ في حالة حوادث انصهار قلب المفاعل لتصريف الضغط بالترشيح في غرفة الاحتواء بشكل محكوم في مفاعلات الماء الخفيف.

وسوف تساعدنا نتائج المرحلة باء من دراسة المخاطر الألمانية في عملية اتخاذ القرارات.

وهكذا تستخدم دراسات المخاطر بطريقة عملية لتحسين سلامة محطات القوى النووية والوصول بها إلى المستوى الأمثل.

أهـداف السلامـــة

المقصود بأهداف السلامة الموجهة إلى تفادي المخاطر مجموعة من المعايير الكمية يمكن على أساسها الحكم على مستوى سلامة محطة ما، باستخدام منهجيات احتمالية. أما الشكل الملائم لهذه المعايير وكيفية تحديدها فلاتزال موضع مناقشات جدالية.

وقد بحثت نهج مختلفة حتى الآن. ومازالت المقترحات موضع نقاش. ونحن في جمهورية ألمانيا الاتحادية لم نقترب بعد من صياغة سياسة لأهداف السلامة بنفس درجة بلدان أخرى.

نظرة شاملة وآفاق المستقبل

شهد العقد الثالث لاستخدام الطاقه النووية في جمهورية ألمانيا الاتحادية للأغراض السلمية مرحلة تدعيم وعملية نضج عظيمة. وتجارب التشغيل في جمهورية ألمانيا الاتحادية هي تجارب ايجابية. وقد ثبت أن الطرائق التي تستخدم لتحقيق سلامة المفاعلات مرضية. ولذلك يمكن توقع أن تبقى مبادىء السلامة الأساسية في جمهورية ألمانيا الاتحادية بشكلها الحالي لفترة طويلة أخرى.

ومع ذلك، فإن هندسة السلامة لن تظل جامدة. ذلك أنه يوجد في جمهورية ألمانيا الاتحادية مطلب أساسي هو تكييف السلامة النووية باستمرار مع حالة التقدم في العلم و التكنولوجيا.

وتوجد في الوقت الحاضر خطط عملية للتوسع في مفهوم السلامة بحيث يشمل الحوادث الخطيرة. وتجري مناقشة التدابير التي ترمي إلى التدخل أثناء وقوع الحادث حتى لو تجاوز ذلك أساس التصميم.

ولابد من النظر إلى تلك التدابير في جمهورية ألمانيا الاتحادية نظرة عملية إذا ما أريد، بجهد معقول، تحقيق تخفيض كبير في المخاطر المتبقية، وهي مخاطر صغيرة بالفعل.

وفي هذا السياق، يمكن تمييز الحالات التالية:

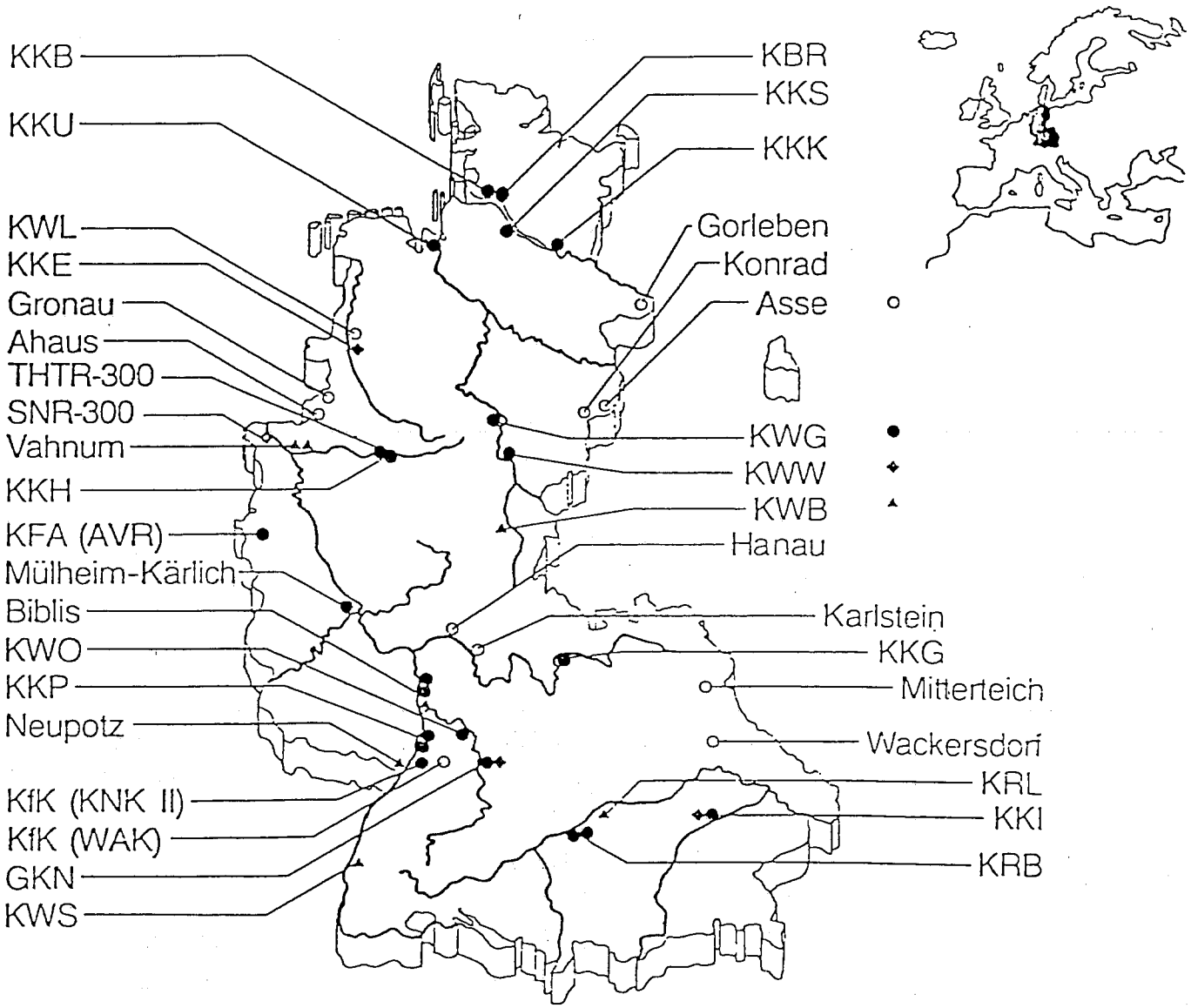
- التحقق من عدم تجاوز حدود تصميم قلب المفاعل حتى لو كانت حالة المحطة في مجموعها قد اجتازت بالفعل حدود التصميم؛
- كفالة القابلية للتبريد الكامل وطويل الأجل وكذلك في المواقف التي ترتفع فيها حرارة قلب المفاعل ويحدث تلف خطير فيه؛
- تأمين عزل غرفة الاحتواء في حالة الطوارىء مع زيادة الضغط الداخلي؛
- تعزيز تقليل احتمال عطل الاحتواء الذي يرجع إلى احتراق الهيدروجين في مفاعلات الماء الخفيف.
- زيادة تخفيف عواقب الحوادث الافتراضية لانصهار قلب المفاعل النووي بتصريف ضغط غرفة الاحتواء بالترشيح بشكل محكوم في مفاعلات الماء المضغوط.

وفي آب/أغسطس ١٩٨٦، طلبت لجنة سلامة المفاعلات من بائعي المحطات والقائمين بتشغيلها في كل محطات القوى النووية الألمانية أن يقدموا معلومات عن بنود محددة بالمحطات. وبدأ تقديم النتائج المبدئية للمداولات في نهاية ١٩٨٦. والمفروض أن ينتهي المشروع أساساً في أواخر عام ١٩٨٧.

وتقوم الفلسفة الأساسية على استخدام مرن لنظم السلامة والتشغيل القائمة مع المراعاة الواجبة للحقائق الجديدة التي يتم التوصل إليها في بحوث السلامة النووية.

وفي مجال اتخاذ القرارات، فإن المعلومات التي قدمت أثناء تقييم حادث تشيرنوبل والأبحاث المتعلقة بظاهرة انصهار قلب المفاعل ضمن إطار المرحلة باء من دراسة المخاطر الألمانية، بالإضافة إلى النتائج المبدئية لدراسة المخاطر فيما يتعلق بالمحطات الأخرى، قد لعبت جميعاً دوراً هاماً.

وقد اتخذت القرارات الأولى. وتم تجهيز محطة قوى نووية بالفعل بالوسائل اللازمة لتصريف ضغط غرفة الاحتواء بشكل محكوم.



الشكل ١ : مواقع محطات القوى النووية ومرافق
دورة الوقود النووي في جمهورية ألمانيا الاتحادية

(كانون الأول/ديسمبر ١٩٨٦)

الجدول ١ :

محطات القوى النووية في جمهورية ألمانيا الاتحادية (كانون الأول/ ديسمبر ١٩٨٦)

١ - مفاعلات الماء المضغوط		صافى القوى الكهربائية ميغاوات	تاريخ بدء التشغيل التجارى
Obrigheim	(KWO)	٣٤٠	١٩٦٨
Stade	(KKS)	٦٤٠	١٩٧٢
Biblis A		١١٤٦	١٩٧٤
Biblis B		١٢٤٠	١٩٧٦
Neckarwestheim 1	(GKN 1)	٧٩٥	١٩٧٦
Unterweser	(KKU)	١٢٣٠	١٩٧٨
Grafenrheinfeld	(KKG)	١٢٣٥	١٩٨١
Grohnde	(KWG)	١٣٠٠	١٩٨٤
Philippsburg 2	(KKP 2)	١٢٦٨	١٩٨٤
Mülheim-Kärlich	(KMK)	١٢٢٧	١٩٨٦
Brokdorf	(KBR)	١٣٠٧	١٩٨٦
Isar 2	(KKI 2)	١٢٨٥	١٩٨٨ (*)
Emsland	(KKE)	١٢٤٢	١٩٨٨ (*)
Neckarwestheim 2	(GKN 2)	١٢٣٠	١٩٨٩ (*)
٢ - مفاعلات الماء الغالي			
Würgassen	(KWW)	٦٤٠	١٩٧٢
Brunsbüttel	(KKB)	٧٧١	١٩٧٦
Isar 1	(KKI 1)	٨٧٠	١٩٧٧
Philippsburg 1	(KKP 1)	٨٦٤	١٩٧٩
Krümmel	(KKK)	١٢٦٠	١٩٨٣
Gundremmingen B	(KRB B)	١٢٤٤	١٩٨٤
Gundremmingen C	(KRB C)	١٢٤٤	١٩٨٥
٣ - مفاعلات الحرارة المرتفعة المبردة بالغاز			
Jülich	(AVR)	١٣	١٩٦٦
Uentrop	(THTR-300)	٢٩٦	١٩٨٦
٤ - مفاعلات التبريد السريع المبردة بالمعدن السائل			
Karlsruhe	(KNK 11)	١٧	١٩٧٨
Kalkar	(SNR-300)	٢٩٥	١٩٨٦ (*)

(*) تحت الإنشاء.

القسم ٤٥ – حدود الجرعات للمناطق غير المشمولة بالحماية من الإشعاع

وفقاً للفقرة ١ من القسم ٢٩، يقوم المسؤول عن الوقاية من الإشعاع بتخطيط التقييم التقني وبتشغيل منشآته أو مرافقه بطريقة تؤدي إلى جعل تعرض الناس للإشعاع الناجم عن انطلاق مواد مشعة في الهواء أو الماء من هذه المنشآت أو المرافق أقل ما يمكن عملياً، وإلى جعله لا يتجاوز في كل حالة ٣/٥٠٠ أو، في حالة الغدة الدرقية من خلال سلسلة الأغذية ٣/١٠٠٠ من القيم المحددة في التذييل العاشر، الخانة (٢). ويحتسب هذا التعرض للإشعاع على أساس أسوأ نقاط الإصابة ومع أخذ كل مسارات التعرض ذات الصلة في الاعتبار بما في ذلك سلسلة الأغذية؛ ويقوم الوزير الاتحادي المسؤول عن سلامة المفاعلات والوقاية من الإشعاعات بوضع كل افتراض وإجراء يطبق لتحديد درجة التعرض للإشعاع عن طريق مراسيم يصدرها بموافقة المجلس الاتحادي. وفي حالة إسهام منشآت أو مرافق أخرى، في هذه المواقع أو في مواقع أخرى، في تعريض البشر للإشعاعات في النقاط المحددة، تتولى السلطة المسؤولة تأمين عدم تجاوز القيم الإجمالية المحددة في الجملة الأولى.

التذييل العاشر

حدود الجرعات لأجسام الأشخاص المعرضين مهنياً

جـزء الجسـم	الفئة (ألف ×) الأشخاص المعرضون مهنياً في سنة تقويمية	الفئة (باء ×) الأشخاص المعرضون مهنياً في سنة تقويمية
(١)	(٢)	(٣)
١ – الجسم كله نقي العظم الغدد التناسلية الرحم	٥٠ ملي چول/كلج (٥ ريم)	١٥ ملي چول/كلج (١,٥ ريم)
٢ – الأيدي، والسواعد، والأقدام، والأطراف السفلى والكواحل، بما في ذلك الجلد	٦٠٠ ملي چول/كلج (٦٠ ريم)	٢٠٠ ملي چول/كلج (٢٠ ريم)
٣ – الجلد إذا كان الجزء الوحيد المتعرض للإشعاع ، باستثناء جلد الأيدي والسواعد، والأقدام، والأطراف السفلى والكواحل.	٣٠٠ ملي چول/كلج (٣٠ ريم)	١٠٠ ملي چول/كلج (١٠ ريم)
٤ – العظام ، الغدة الدرقية.	٣٠٠ ملي چول/كلج (٣٠ ريم)	١٠٠ ملي چول/كلج (١٠ ريم)
٥ – أعضاء أخرى.	١٥٠ ملي چول (١٥ ريم)	٥٠ ملي چول (٥ ريم)
×) للأشخاص تحت ١٨ سنة، أنظر الفقرة ٢ من القسم ٤٩.		

الحدود المشار إليها في البنود من ١ إلى ٥ من الجدول فيما يتعلق بأجزاء الجسم وأعضائه تشمل حد الجرعة بالنسبة للجسم كله، المشار إليه في الفقرة الفرعية ١ .

التنفيس المرشح لغرف الاحتواء في المفاعلات السويدية

انغمار تيرين
الشركة العامة للكهرباء بالسويد
AB ASEA-ATOM, Västeras

(السويد)

المحتويـــات

١. مقدمة وتلخيص
٢. المعايير والمتطلبات التنظيمية
٣. التطبيقات
٣-١ مبادئ التصميم العامة
٣-٢ مفاعلات الماء المضغوط
٣-٣ مفاعلات الماء الغالي
٤. تصميم المرشحات
٥. استنتاجات
٦. المراجع

الشكل ١. الرسم التخطيطي لنظام التنفيس المرشح (FILTRA) لغرف الاحتواء
٢. نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية – فيلترا
٣. رسم تخطيطي لنظام التنفيس المرشح لغرفة الاحتواء
٤. شكل غرفة الاحتواء بالمحطة رينغالز -٢
٥. التطورات النموذجية في الضغط في سيناريو حادث خطير
في مفاعل ماء مضغوط سويدي رينغالز ٢ – ٤
٦. الشكل العام لغرفة الاحتواء بالمحطة رينغالز -١
٧. الشكل العام لغرفة الاحتواء – محطة فورسمارك ٣
٨. الرسم التخطيطي لنظام التنفيس المرشح لغرفة الاحتواء
الذي ينتظر استخدامه في المحطات رينغالز -١ وفورسمارك ١-٣
٩. التطورات النموذجية في الضغط في سيناريو حادث خطير
في مفاعل ماء غالي سويدي – رينغالز ١ أو فورسمارك ١-٣
١٠. التنفيس المرشح لغرفة الاحتواء مع استخدام نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية

التنفيس المرشح لغرف الاحتواء في المفاعلات السويدية

١. مقدمة وتلخيص

تمتلك السويد ١٢ وحدة قوى نووية عاملة من مفاعلات الماء الخفيف – ٩ من طراز آسيا–أتوم ASEA-ATOM من مفاعلات الماء الغالي و٣ من طراز وستنجهاوس من مفاعلات الماء المضغوط. وفي مفاعلات الماء الغالي، توجد نظم احتواء كابتة للضغط، بينما تستخدم مفاعلات الماء المضغوط غرف احتواء كبيرة وجافة. والسويد في وضع فريد من حيث اعتمادها بدرجة كبيرة جداً على القوى النووية في الأجل القريب (حوالي ٥٠ ٪ من إجمالي توليد القوى)، رغم أنها قررت باستفتاء شعبي (في ١٩٨٠) وبقرار من الحكومة أن تتخلى عنها في الأجل الطويل. وقررت الحكومة السويدية الانتهاء من الإلغاء التدريجي للقوى النووية في السويد بحلول عام ٢٠١٠ .

وبعد حادث ثري مايل آيلند في عام ١٩٧٩، عينت الحكومة السويدية لجنة لسلامة المفاعلات كي تعيد تقييم مخاطر القوى النووية وتتقصّى الإجراءات التي يجب اتخاذها من أجل تعزيز السلامة في محطات القوى النووية السويدية. وأكدت هذه اللجنة في توصياتها على أهمية استمرار العمل للوقاية من الحوادث. ورغم ذلك، اقترحت اللجنة أيضاً إجراء بحوث استقصائية أخرى بغية تخفيف عواقب حوادث انصهار قلب المفاعل التي يصاحبها فقدان القدرة على الاحتواء. وفي هذا الصدد، ورد ذكر تخفيض تلوث الأراضي على وجة التحديد. وقد بدا للجنة أن التنفيس الجوي لغرف الاحتواء في مفاعلات الماء الخفيف يتيح إمكانية تخفيض ملموس في الانبعاثات موضوع البحث، وأوصت بإجراء دراسة جدوى بشأن مفاهيم التنفيس المرشح لغرف الاحتواء (١).

وفي وقت مبكر من عام ١٩٨٠، قدم المعهد السويدي للحماية من الإشعاعات تقريراً عنوانه " تخطيط أكثر فعالية للطوارئ "، تضمن دراسة لعواقب حوادث انصهار قلب المفاعل، وكذلك توصيات بشأن تحسين التخطيط للطوارئ، وتتعلق بمستويات متفاوتة في طموحها. وركز التقرير الاهتمام على العواقب طويلة الأجل لأي حادث كبير في محطة قوى نووية. وأبدى تشككه في قيمة استخدام التقديرات الاحتمالية لمخاطر الحوادث كأساس لقرارات تتعلق بالسياسة العامة؛ وبذا تضمن تشديداً أكبر على تخفيف تلك العواقب (٢).

وقد استجابت الصناعة النووية السويدية لتوصيات لجنة سلامة المفاعلات. وفي شباط/فبراير ١٩٨٠، بدأ العمل في مفاهيم التنفيس المرشح لغرف الاحتواء لمعرفة إمكانية تنفيذها في المحطات العاملة، وذلك في شكل مشروع أطلق علية اسم فيلترا FILTRA، قامت برعايته هيئة التفتيش على القوى النووية وكذلك المرافق النووية السويدية. وتم الجزء الرئيسي من أعمال البحث والتطوير بمعرفة شركة آسيا – أتوم ASEA-ATOM (مفاهيم التصميم) وشركة ستودسفيك انرجي تكنيك Studsvik Energiteknik (ظواهر انصهار القلب).

وفي آذار/مارس ١٩٨١، صدر تقرير مرحلي عن المرحلة الأولى من مشروع فيلترا FILTRA (٣). وأوضح أن احتمالات تحقيق تخفيض المخاطر بواسطة مفاهيم التنفيس المرشح قوية إلى حد كبير، وأن من الممكن إيجاد حلول للتصميم العملي. ورغم ذلك، اعتبر أن القيام بأعمال تجريبية وإعداد النماذج شرط أساسي لعملية اتخاذ القرار.

ولم تنتظر الحكومة إجراء بحوث أخرى. وفي شباط/فبراير ١٩٨١، أمرت بتركيب نظام ترشيح في محطة بارسيبيك بحلول سنة ١٩٨٥. ونتيجة لهذا القرار، تسارع العمل في مجال التنفيس المرشح وتركز على التنفيذ في وحدتي مفاعل الماء الغالي، ويعمل كل منهما بقدرة ٥٧٠ ميغاوات كهربائي، في بارسيبيك.

ويظهر نظام فيلترا FILTRA لمحطة بارسيبيك في الشكل رقم ١. وبإيجاز، يتم توصيل قنوات تخفيف الضغط بالبئر الرطب (حيز التكثيف) لكل غرفة احتواء وتوصيلها حتى غرفة ترشيح كبيرة، تشترك فيها الوحدتان. ويتكون المرشح من هيكل خرساني مملوء بحوالي ١٠٠٠٠ (عشرة آلاف) متر مكعب من الحصى.

وفي حالة حادث انصهار لقلب المفاعل، يؤدي ارتفاع زائد في ضغط غرف الاحتواء يتجاوز الضغط حسب التصميم، إلى انكسار قرص قابل للتمزق موضوع بجوار جدار غرفة الاحتواء على مدخل قناة التنفيس. ويمر البخار، والغازات، والذرات المتطايرة من خلال حوض ماء البئر الرطب الذي يعمل كمدخل للمرشح لإزالة اليود وبعض المواد الانشطارية الأخرى. ثم تدفع الكميات المتبقية من المواد المتطايرة لانصهار القلب إلى طبقة الحصى. وتعمل هذه الوحدة كمكثف للبخار، ووفقاً لتجارب واسعة النطاق، فإنها ستحتفظ بما يقارب ١٠٠ في المائة من كل النواتج الانشطارية فيما عدا الغازات الخاملة. ولكن هذه الأخيرة ستتعطل بدرجة كبيرة قبل انطلاقها في النهاية من خلال المدخنة.

وفي القرار الذي اتخذته الحكومة في عام ١٩٨١، اختارت موقع بارسيبيك وحده لتنفيذ مشروع فيلترا FILTRA بسبب قربه من مراكز التجمعات السكانية (مالمو بالسويد وكوبنهاغن بالدنمارك) . ومع ذلك، طلبت الحكومة أيضاً اتخاذ تدابير توفر مستوى معادلاً من السلامة في ١٠ محطات أخرى على أن تنفذ تلك التدابير قبل عام ١٩٨٩.

ومنذ عام ١٩٨١، واصلت الهيئات التنظيمية، وهي هيئة التفتيش السويدية للقوى النووية (SKI) والمعهد القومي للحماية من الإشعاعات (SSI)، والمرافق العامة، بحوثها المشتركة في إطار مشروع راما (RAMA) (تحليل تخفيف آثار حوادث المفاعلات). واستهدف العمل تحسين فهم ظاهرة انصهار قلب المفاعل، وتميز بتفاعله الكبير مع الأعمال المشابهة في بلدان أخرى. وأثبت العمل المستمر أن التنفيس المرشح لغرف الاحتواء يعد من التدابير الرئيسية لتخفيف أثر الحوادث. كما توصل أيضاً إلى تصميم معدل للمرشح يشمل حوض مياه بحجم معتدل بدلاً من طبقة الحصى الكبيرة للغاية في مشروع فيلترا FILTRA، الذي نفذ في بارسيبيك – ويجري امتصاص الذرات المتطايرة واليود العنصري، التي تنبعث نتيجة حدوث تلفيات خطيرة في الوقود، داخل حوض المياه. ويجبر الضغط الدافع، الناجم عن قوى الاحتواء، البخار والغازات الملوثة فتتدفق من خلال نظام من المنافث الفنتورية في الحوض. ويؤدي تكون قطيرات الماء في المنافث الفنتورية إلى تعزيز كبير لامتصاص الجسيمات. كما تعزز إضافة أملاح الثيوكبريتات ترشيح اليود. ويبلغ الحجم الإجمالي للمرشح من ٣٠٠ إلى ٤٠٠ متر مكعب، بما في ذلك عازل رطوبة من الحصى موضوع بين جهاز التنقية والمدخنة.

وفي الوقت الحاضر، تقوم المرافق (SSPB and OKG AB) بتنفيذ مشاريع تنفيس وترشيح غرف الاحتواء. ومنحت عقود الترشيح لشركتي ASEA - ATOM و FLÄKT INDUSTRI اللتين قامتا بتطوير التصميم المحدد. وتسمى المرشحات FILTRA - MVSS (نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية). وستلحق مرشحات من النوع الموصوف بغرف احتواء مفاعلات الماء المضغوط الثلاثة بالإضافة إلى الوحدات السبع لمفاعلات الماء الغالي.

وتشمل عملية رفع مستوى تدابير تخفيف آثار حوادث قلب المفاعل الخطيرة في تلك المفاعلات ما يلي :

- تخفيف ضغط غرفة الاحتواء والترشيح على النحو الموصوف أعلاه؛
- تحسين التعويل على رش غرفة الاحتواء؛
- إجراءات لإغراق غرفة الاحتواء (حتى قمة القلب).

وتعتبر السلطات والمرافق السويدية الجولة الحالية من التعديلات بمثابة خطوة كبيرة في منع وقوع الحوادث الخطيرة. وبوجه خاص، تعد نظم التنفيس المرشح من الجوانب الهامة في سلامة هذه المحطات. كما تعتبر المرافق أن محطات القوى النووية وسائل مأمونة لإنتاج القوى، ويمكن الاعتماد عليها واقتصادية، وأنه يمكن، تقنياً، الاستمرار في تشغيلها إلى مابعد عام ٢٠١٠.

ويحدد القسم التالي من هذه الورقة إطار المعايير والمقتضيات التنظيمية لتخفيف آثار الحوادث الخطيرة. ويلي ذلك وصف للتطبيقات على مفاعلات الماء الغالي ومفاعلات الماء المضغوط، بما في ذلك أسس التصميمات للمعدات التي سيجري تركيبها. كما يرد وصف موجز لنظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية. وأخيراً، يرد تلخيص للاستنتاجات الرئيسية للمشاريع الجارية.

٢. المعايير والمتطلبات التنظيمية

الهيئتان التنظيميتان اللتان تشاركان في إصدار التراخيص لمحطات القوى النووية والحماية من الإشعاعات هما هيئة التفتيش السويدية للقوى النووية (SKI) والمعهد القومي للحماية من الإشعاعات (SSI)، على التوالي. وقد توصلتا، في قيامهما بمهمتهما في تفسير قرار الحكومة بشأن نظم التنفيس - الترشيح، إلى معايير السلامة العامة التالية :

١ - لن يؤدي حادث انحلال لقلب المفاعل إلى أي وفيات نتيجة لحدة الإشعاع.

٢ - يتم التشديد على التدابير التي تمنع تلوث الأراضي الذي يعوق استغلال الأراضي.

٣ - ينبغي أن تكون المقتضيات المتعلقة بالحد من انبعاث المواد المشعة متساوية بالنسبة لكل المحطات بغض النظر عن موقعها.

٤ - لا تنطبق المقتضيات الناجمة عن هذه المعايير على الحالات المستبعدة للغاية (مثل الكارثة التي يؤدي إليها تصدع وعاء ضغط المفاعل).

وفيما بعد، فسرت هذه المعايير على أنها تعني عدم انطلاق أكثر من ٠,١٪ من مخزون قلب المفاعل من المواد المشعة (مع استبعاد الغازات الخاملة ومركبات اليود العضوية).

وفي عام ١٩٨٥، قامت السلطات، في تعقيبها على المعايير العامة، بالتشديد من جديد على أهمية الوقاية من الحوادث، والاستعداد للطوارئ، والمحافظة على سلامة غرف الاحتواء. وأوضحت فائدة التدابير التي تؤمن

إمكانية تخفيف ارتفاع ضغط غرفة الاحتواء، وأشارت إلى أن ملء غرفة الاحتواء بالماء حتى قمة قلب المفاعل سيحسن من تبريد غرفة الاحتواء ويمكن أن يوفر وسيلة لتبريد القلب ولتحقيق ظروف مستقرة بعد وقوع الحادث. ولوحظ وجود إمكانية خاصة لتصميم غرف احتواء لكبح الضغط، من حيث أن أي حادث يرجع إلى فقدان المبرّد (LOCA) يكون مصحوباً بضياع وظيفة الاحتواء لابد وأن يؤدى إلى تزايد ضغط سريع. وربما لا يؤدي تصريف هذا الضغط الزائد في الغلاف الجوي مباشرة إلى تعرض أكبر من اللازم، حيث أن المفروض هو أن يكون البخار المنطلق نظيفاً بدرجة كافية.

وقد استندت هذه المبادئ التوجيهية والملاحظات جزئياً إلى التحليل ومناهج التصميم البديلة التي قدمتها المرافق.

كما قدمت السلطات مباديء توجيهية محددة فيما يتعلق بالمفاضلة بين التشغيل الآلي والتشغيل اليدوي، والحاجة إلى أجهزة لرصد الانبعاثات، وغيرها من المتطلبات المبدئية. والمفروض أن تستكمل التدابير التي يتخذ قرار بشأنها قبل انتهاء عام ١٩٨٨.

٣. التطبيقات

بعد وقت قصير من بدء العمل التحليلي الذي جرى في إطار مشروع راما (RAMA)، اكتشف أن تدابير تخفيف آثار الحوادث يجب أن تتقيد بظروف كل محطة بالتحديد. وسرعان ما بدأت المرافق دراسات بخصوص كل محطة أدت إلى التصميمات التي يجري تنفيذها حالياً. وقد دعم التحليل بحسابات شاملة تستخدم العديد من رموز استجابات الاحتواء ومواصفات الانبعاثات المشعة. واستخدم برنامج MAAP، بشكل خاص، على نطاق واسع(٤).

٣-١ مبادىء التصميم العامـــة

كانت بعض مبادىء التصميم مشتركة بين كل المحطات العشر التي بحث وضعها، رغم أنها تخرج بعض الشيء عن المبادىء التي طبقت في حالة بارسيبيك.

وستزود كل المحطات بوسائل تخفيف الضغط الموصولة بمرشحات نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية. وسوف تشترك محطتا أوسكارشامن ١و٢ في وحدة ترشيح واحدة؛ وكل الوحدات الأخرى ستكون لديها مرشحاتها الخاصة، أنظر الشكل ٢.

وتشمل معايير التصميم الرئيسية البنود التالية:

١- الحد الأقصى للانبعاثات ١ , ٠٪ من مخزون قلب المفاعل (مع استبعاد الغازات الخاملة ومركبات اليود العضوية).

٢- قد لا يتخذ أي إجراء من جانب المشغّل خلال ٨ ساعات من وقوع الحادث.

٣- من الضروري توفير حماية ضد انفجار الهيدروجين.

٤- يطبق معيار العطل الوحيد للمكونات الأساسية. ولا يعتبر القرص القابل للتمزق من المكونات التي تحتاج لتكرارية وربما ظهرت استثناءات أخرى فيما بعد.

٥- يتم تصميم الهياكل والمعدات الجديدة للمحافظة على وظائفها الخاصة بسلامة المحطة أثناء زلزال يعادل ١٥ , ٠ من وحدات تسارع الجاذبية الأرضية.

٦- يتم تغطية مجموعة محددة من الأحداث المتسلسلة، بما في ذلك ضياع كل قدرة التيار المتردد لكل محطة. وتمثل هذه المجموعات المحددة الأغلفة لكل الاحتمالات المعقولة.

٧- يتم تخفيف ضغط غرفة الاحتواء بوسائل آلية بالإضافة إلى إجراءات تبدأ يدوياً.

٨- يتم توفير وسائل لملء غرف الاحتواء بالماء حتى قمة قلب المفاعل.

٩- يتم رفع درجة التعويل على رش غرفة الاحتواء.

١٠- يتم توفير المقاييس لرصد البارامترات الهامة الخاصة بالعمليات والنظم بالإضافة إلى مقدار الإشعاعات المنبعثة.

ويبين الشكل ٣ مبدأ تخفيف الضغط ونظام الترشيح. وينفتح خط التنفيس تلقائياً من خلال قرص قابل للتمزق عند ارتفاع ضغط غرفة الاحتواء (أعلى قليلاً من ضغط التصميم) ويفتح صمامات عزل. ويمر البخار والغازات غير القابلة للتكثف إلى جهاز غسل الغاز حيث تتبدد الحرارة، ويتكثف البخار، ويتم امتصاص المواد المشعة. ويمكن فتح خط مواز بإجراء يدوي لتخفيف الضغط بشكل محكوم.

وكما ذكر أعلاه، يشمل تسلسل الأحداث ضياع كل قدرة التيار المتردد (انقطاع التيار الكهربائي)، بما في ذلك ضياع كل أجهزة مولدات الديزل الموجودة في الموقع. وكي يمكن المحافظة على القدرة على حقن رذاذ الماء داخل غرفة الاحتواء في هذه الحالة المتصورة، توصل أنابيب إضافية بنظام نفاثات الرش في غرفة الاحتواء. ويمكن توفير الماء لخطوط الرش الإضافية من نظام إطفاء الحريق بالماء الذي يمكن تشغيله بالمضخات الموجودة في الموقع بالإضافة إلى وسائل فرق الإطفاء. ورغم ذلك، لا يمكن اعتماد البديل الأخير إلا بعد مرور بعض الوقت على وقوع الحادث.

وبذا يمكن التعويل على نظام الرش بدرجة تكفي لتأمين الرذاذ لغرفة الاحتواء، وهو ضروري للأغراض التالية:

- تخفيض ضغط غرفة الاحتواء؛
- تبريد جو غرفة الاحتواء؛
- غسل المواد المشعة واخراجها من جو غرفة الاحتواء؛
- ملء غرفة الاحتواء بالماء حتى قمة قلب المفاعل.

وترتبط وظيفة الرش بالمياه بعامل إزالة تلوث يبلغ ١٠ على الأقل فيما يتعلق بالإشعاعات المحمولة جواً.

٣-٢ مفاعلات الماء المضغوط (PWR)

توجد ثلاث وحدات من مفاعلات الماء المضغوط في رينغالز ذات غرف احتواء واسعة جافة (الشكل ٤). وتغطي مبادىء التصميم المقدمة في القسم السابق أغلب البنود التي تتميز بها مفاعلات الماء المضغوط المذكورة.

وينجم عن تسلسل الحوادث التي صممت الترتيبات من أجل تخفيضها انقطاع لكل قدرة التيار المتردد (AC) وتوقف مضخة التغذية بالمياه الموصولة بالمولد التوربيني الإضافي. وهذا التصور يغطي أغلب الحوادث المتسلسلة الممكنة الأخرى، وهي موضع دراسات أخرى، بما في ذلك دراسة فقدان إمكانية إيقاف المفاعل وتلك التي تتعلق بصمامات التخفيف التي تفتح لدى وقف العمل.

ويصور الشكل ٥ تاريخ ضغط غرفة الاحتواء في مسلسلة انقطاع التيار الكهربائي مع بدء رش غرفة الاحتواء عند نقطتين مختلفتين من الزمن.

٣-٣ مفاعلات الماء الغالي (BWR)

توجد ثلاث وحدات من مفاعلات الماء الغالي في أوسكارشامن، وسوف تشترك الوحدتان الأوليان في جهاز ترشيح واحد من طراز الغسيل متعدد المنافث الفنتورية. ويوجد مفاعل ماء غالي واحد في رينغالز، وثلاث وحدات في فورسمارك - وكلها بأجهزة ترشيح خاصة بها. وتحتوي مفاعلات الماء الغالي في رينغالز ١ وأوسكارشامن ١ و ٢ على دارات خارجية لإعادة التوزيع بينما توجد بالوحدات الأخرى مضخات داخلية.

وتوجد بكل الوحدات غرف احتواء كابحة للضغط مشابهة للوحدات الموجودة في مفاعل الولايات المتحدة من طراز مارك ٢ (Mark 2). وفي الوحدات الأقدم المزودة بمضخات خارجية (الشكل ٦)، يغطي حوض كبح الضغط كل منطقة القاع في غرفة الاحتواء، بينما يكون الحوض في منطقة محيطة على شكل حلقة في المحطات المزودة بالمضخات الداخلية (الشكل ٧).

وتشمل تسلسلات الحوادث في مفاعلات الماء الغالي، التي يعتقد أنها تغطي الاحتمالات المعقولة ما يلي :

- توقف كل التيار المتردد (AC) (انقطاع التيار)؛
- حادث يعزى إلى فقدان المبرّد يكون مصحوباً بتدهور وظيفة إخماد الضغط.

ويؤدي تسلسل انقطاع التيار الكهربائي إلى انصهار قلب المفاعل. ومن أجل حماية أرضية البئر الجاف الأسفل والوقاية من اختراق الإشعاع لجدار غرفة الاحتواء في هذه المنطقة في المحطات المزودة بالمضخات الداخلية، تجرى ترتيبات لملء هذا المجال بالماء من حوض الإخماد. ويمكن أن تبدأ عملية نقل

الماء آليا أو بوسائل يدوية لدى توفير معلومات للقائم بالتشغيل توضح احتمال قرب وقوع حادث خطير.

ويمكن أن تسبق سلسلة حادث يعزى إلى فقدان المبرّد وتعطل إخماد الضغط (AD في دلالة WASH 1400) – إذا لم يتخذ إجراء مضاد – انصهار قلب المفاعل، لأن سلامة غرفة الاحتواء تكون مهددة. ويقوم المنهج المتبع في هذه الحالة على افتراض تدهور إخماد الضغط نتيجة لتسرب على الحدود بين البئر الجاف والبئر الرطب. ويعني الحد الأقصى للتسرب انكساراً محيطياً لأنبوب هابط واحد يؤدي إلى حوض إخماد الضغط. وعندئذ يؤدي الحادث المفترض الذي يعزى إلى فقدان المبرّد إلى زيادة سريعة جداً في الضغط. وتتم مواجهة هذا الحدث بتوفير قناة تخفيف واسعة (قطرها ٦٠٠ ملم) من أعلى غرفة الاحتواء مع تجهيزها بقرص قابل للتمزق (الشكل ٨). وحيث أن المفترض أن يبدأ الحادث الذي يعزى إلى فقدان المبرد من ظروف تشغيل معتادة، فإن البخار المطلوب تخفيفه لا يكون ملوثاً بدرجة كبيرة. وبالتالي يمكن السماح للقرص القابل للتمزق بأن يفتح إلى الجو الخارجي مباشرة. وهو ينفتح عند درجة كبيرة نسبياً من الضغط (أكبر من ضغط التصميم) حتي لا يبدأ عمله بطريقة عارضة فجائية. وبعد تخفيف الضغط، يغلق الخط مرة أخرى بصمامات مركبة في الأنبوب المفتوح. وقد حسبت الجرعة الناجمة التي يتعرض لها الأشخاص خارج الموقع بحيث لا تتجاوز الجرعة السنوية المسموح بها أثناء تشغيل المحطة المعتاد.

أما تسلسل الأحداث التي لا يترتب عليها انهيار السلامة فإنها لم تشمل في الاحتمالات التي بحثت، بالنظر إلى أن إدخال قضبان التحكم المزدوج الوظيفة، وتوقيف المضخات، ونظم حقن البورون التي تبدأ يدوياً تمكن من التعويل للغاية على وظيفة إيقاف المفاعل عن العمل.

ويصور الشكل ٩ تاريخاً نمطياً لضغط غرفة الاحتواء في أعقاب سلسلة انقطاع التيار الكهربائي.

٤. تصميم المرشحات

تم تصميم مفهوم نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية (FILTRA - MVSS) واستخدامه الأمثل في وحدة مدمجة ومتماسكة يمكن وضعها في مكان قريب للغاية لكل من غرف احتواء كل مفاعل. ولكي تعمل كوسيلة حماية ضد زيادة ضغط غرفة الاحتواء، فهي تشمل أيضاً نظاماً مناسباً لتخفيف الضغط. وقامت شركتا فلاكت أندوستري، وآسيا–أتوم بتصميم الطريقة، وكذلك بتطوير نظام الغسيل الذي وقع علية الاختيار.

وتشمل فكرة الغسيل متعدد المنافث الفنتورية خطوات العمل الرئيسية التالية :

- نظام تخفيف الضغط؛
- نظام غسيل متعدد المنافث الفنتورية؛
- حوض لعزل اليود؛
- نظام لعزل الرطوبة؛
- نظام للخدمة؛
- وعاء ضغط خرساني.

ونظام تخفيف الضغط موصول مباشرة بنظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية. ويوجه الغاز و/أو البخار من غرفة الاحتواء صوب غرفة التوزيع داخل وعاء الضغط. ويوزع الوسط بعد ذلك من هذه الغرفة إلى عدد من المنافث الفنتورية (أنظر الشكل ١٠).

ويقوم نظام التوزيع بتشغيل العدد اللازم من المنافث الفنتورية بشكل تلقائي، بما يتفق والضغط الفعلي في غرفة احتواء المفاعل. وقد وضع تصميم النظام كله بحيث يكون تحكمه الذاتي كاملاً ومستقلاً عن أي نوع من وحدات التحكم العاملة أو القوى الاحتياطية.

ويصنع المبنى الذي يضم نظام الغسيل المتعدد المنافث الفنتورية من الخرسانة. ويبطن الجدار الداخلي لوعاء الضغط بالصلب غير القابل للصدأ. ويمكن تصميم الغلاف الخرساني إمّا كوعاء من الخرسانة المسلحة التقليدية أو على شكل وعاء من الخرسانة سابقة الإجهاد، وهذا يتوقف على معايير التصميم ذات الصلة.

ويوضع نظام تخفيف الضغط في قاعة في الجزء العلوي من البناء. وتحتوي هذه القاعة على كل من أجهزة نظام تخفيف الضغط وأجهزة نظام عزل الرطوبة.

ويمكن أيضاً أن يضم إلى وحدة نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية عدد من الوظائف الداعمة، مثل وظائف تصريف محتويات الوعاء وملئه بالماء وتسخين أو تبريد ماء الحوض، وأخذ عينات من ماء الحوض. وسيكون تشغيل صمامات هذه الوظائف من وراء حاجز يقي من الإشعاعات.

ويمكن لمفهوم نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية أن يناسب معالجة آثار احتراق الهيدروجين بغير تعديلات رئيسية في التصميم.

وتوفر المنافث الفنتورية أداة رئيسية لإزالة الجسيمات واليود العنصري. ويمتص الماء في تيار الغاز عند المنافث، وتتشكل قطيرات الماء بحجم وسرعة ملائمين. ويزيد هذا التصميم من أثر تفاعل الماء مع الجسيمات بدرجة عظيمة، وتسهم ظواهر طبيعية عديدة في ارتفاع معدل الامتصاص. ويزيد احتجاز اليود بدرجة أكبر عند إضافة محلول الثيوكبريتات إلى ماء الحوض.

ولما كان المطلوب لبيان مواصفات الانبعاثات المشعة معامل إزالة تلوث إجمالي مقداره ١٠٠٠، ولما كانت وظيفة رش غرفة الاحتواء (أنظر القسم ٣) تغطي معاملاً مقداره ١٠، فالمفروض أن يتم تصميم نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية بحيث ينتج معامل إزالة تلوث مقداره ١٠٠. ورغم ذلك، ففي حالة مفاعلات الماء المضغوط، توجد بعض التسلسلات التي قد لا يكون رش غرفة الاحتواء متوفراً فيها لعدة ساعات. ويمكن تعويض هذه الحالة باقتضاء معامل إزالة تلوث لنظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية مقداره ٥٠٠ في تطبيقات مفاعلات الماء المضغوط.

٥. استنتاجـــات

من الناحية العملية، تعتبر القواعد التنظيمية السويدية الجديدة أن حوادث تدهور حال قلب المفاعل، بما في ذلك انصهار القلب، هي أحداث تعزى إلى أساس التصميم. وقد صممت التدابير التي تنفذ حالياً في كل محطات القوى النووية السويدية بحيث تخفف من عواقب هذه الحوادث بحيث لا تؤدي إلى فاجعة كبرى وإلى تلوث شديد للأراضي. وتتمثل تدابير التخفيف الرئيسية في تنفيس ضغط غرفة الاحتواء الزائد من خلال مرشحات، وتحسين التعويل على نظام رش غرفة الاحتواء، وإجراءات لإغراق غرفة الاحتواء حتى قمة قلب المفاعل.

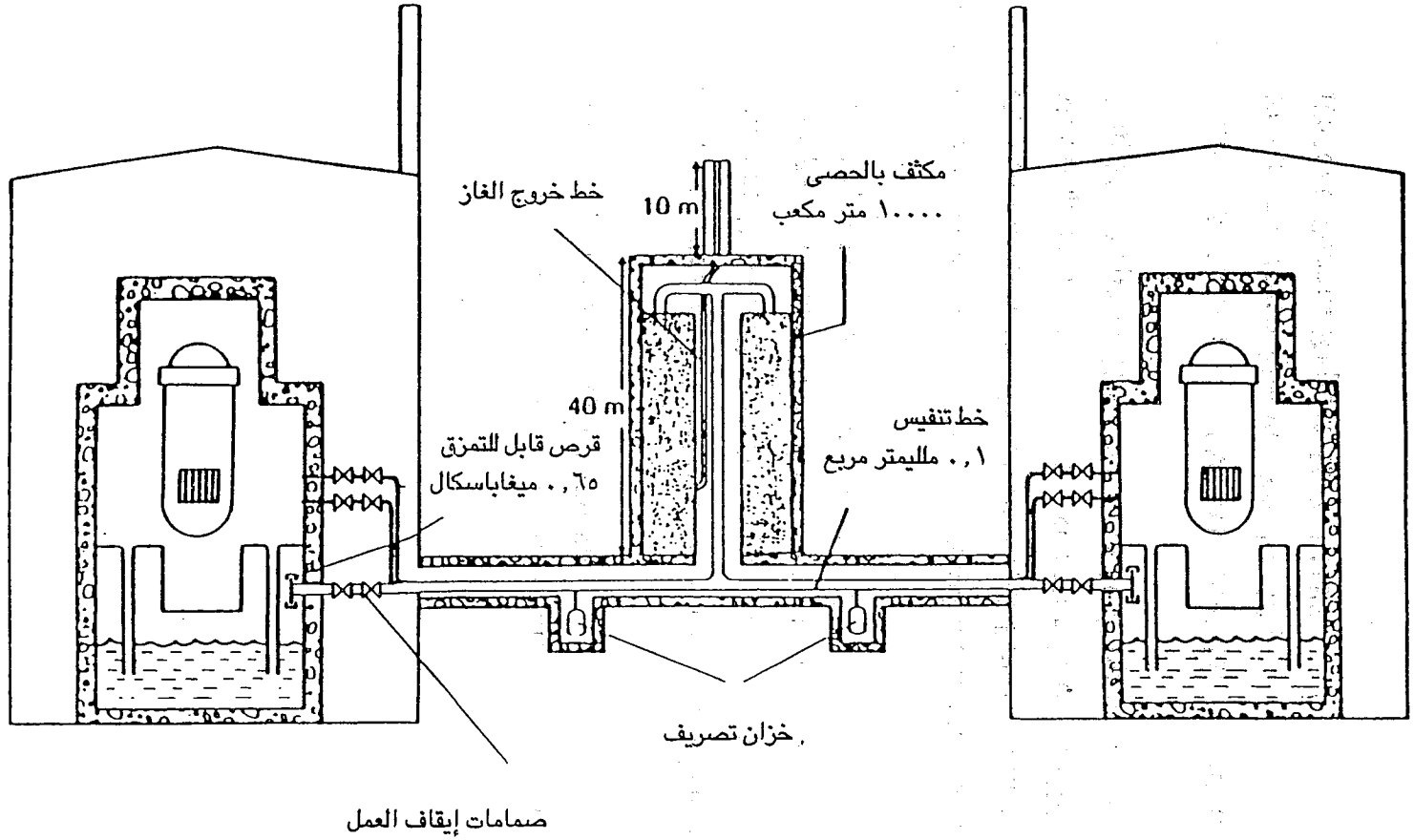
المـراجـــع

1. Swedish Reactor Safety Commission, "Safe Nuclear Power?", Stockholm (1979), SOU 1979:86.

2. L I Tirén, "Safety Considerations for Light Water Reactor Nuclear Power Plants: A Swedish Perspective", Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, 1983. DE83015638, ORAU/IEA-83-7 (M).

3. K Johansson et al., "Design Considerations for Implementing a Containment Vent-Filter Plant at Barsebäck, Sweden", Internat. Meeting on Thermal Nucl. Reactor Safety, Chicago, Aug. 29 - Sept 2, 1982, Session 30 (Log no 255).

4. Fauske & Associates, "MAAP-Modular Accident Analysis Program. User's Manual Vol I & II", IDCOR Techn. Report 16.2-3 (1983).

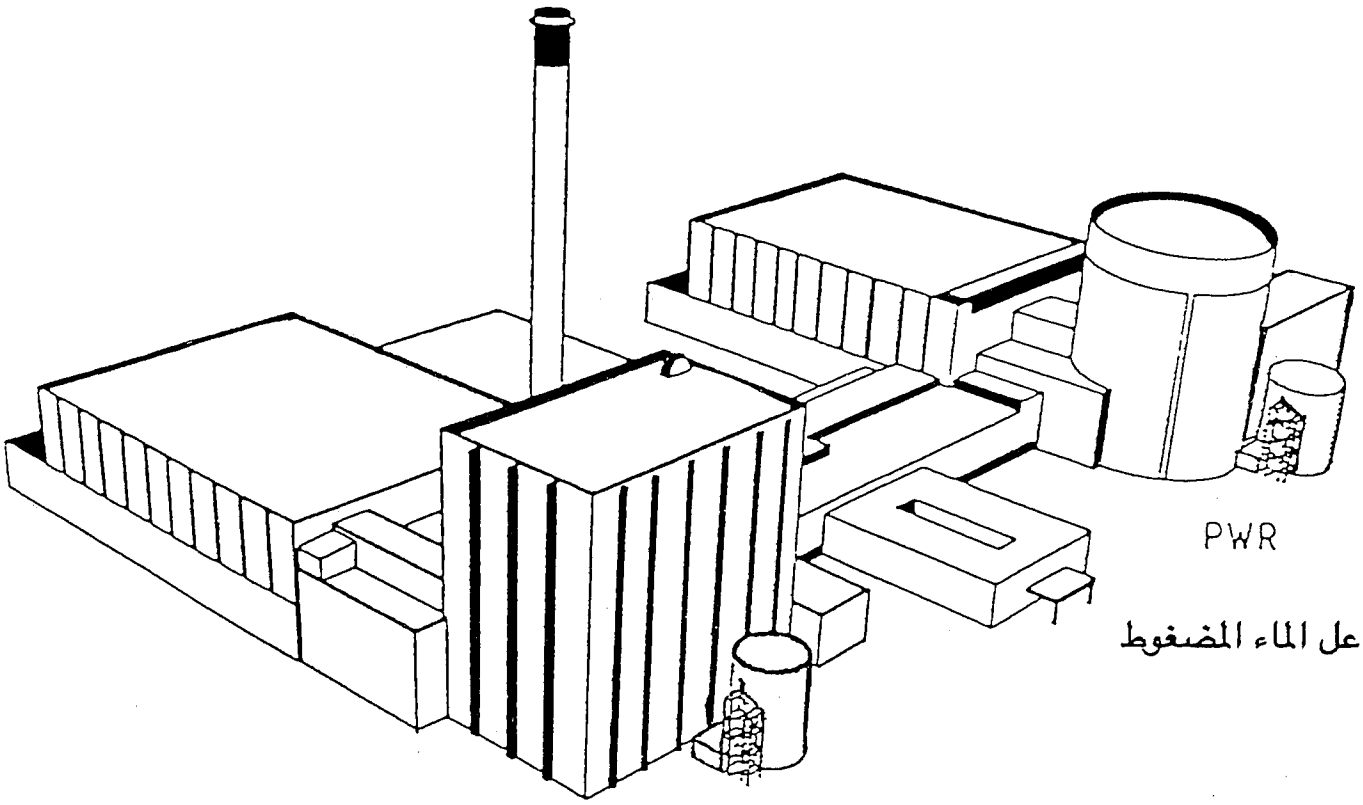


محطة القوى النووية بارسيبيك (السويد)
الرسم التخطيطى لنظام التنفيس المرشح (FILTRA) لغرف الاحتواء.

الشكل ١

FILTRA - MVSS

نظام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية – فيلترا

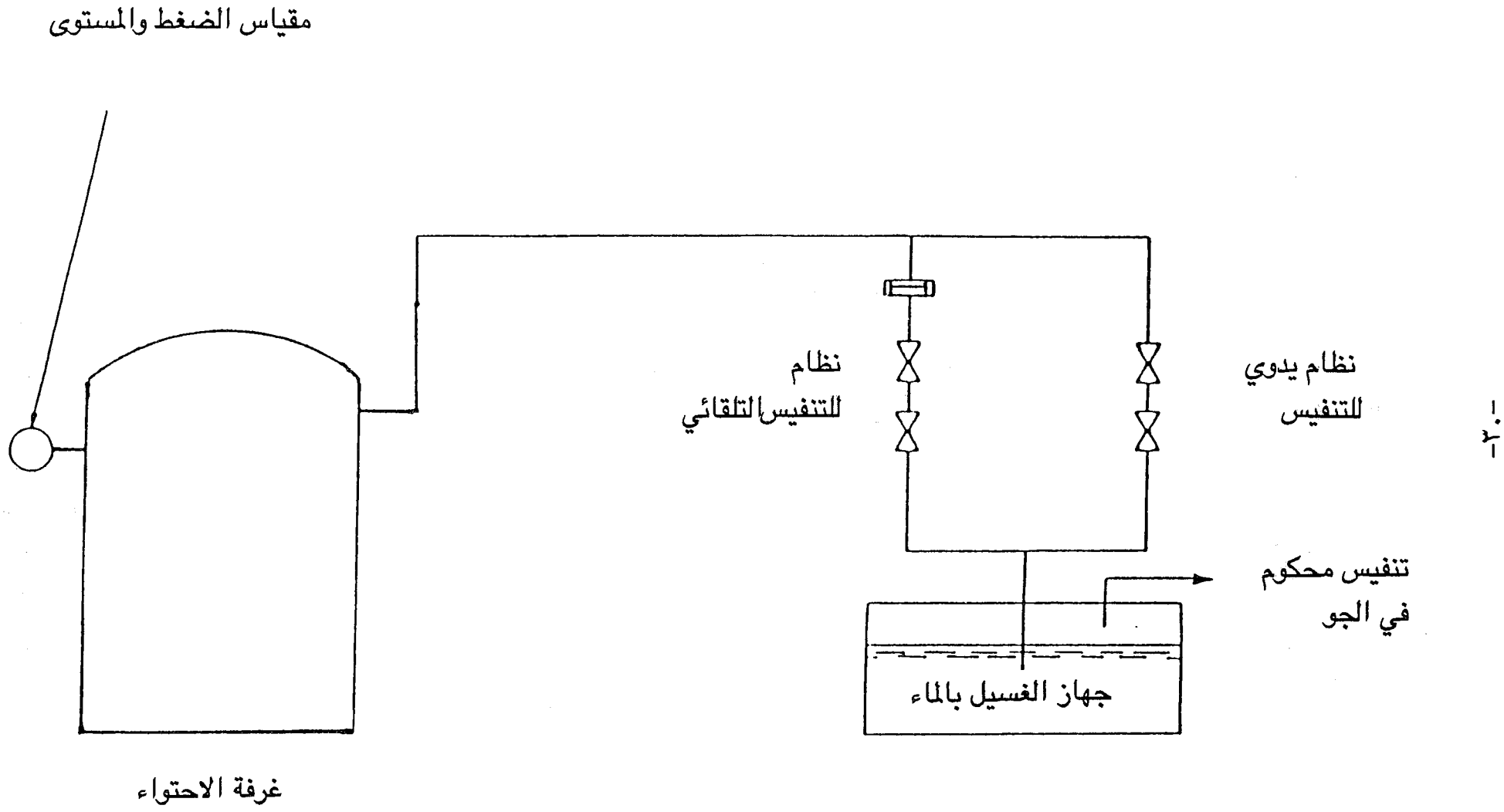


مفاعل الماء المضغوط

مفاعل الماء الغالي

ASEA-ATOM - Fläkt Industri AB

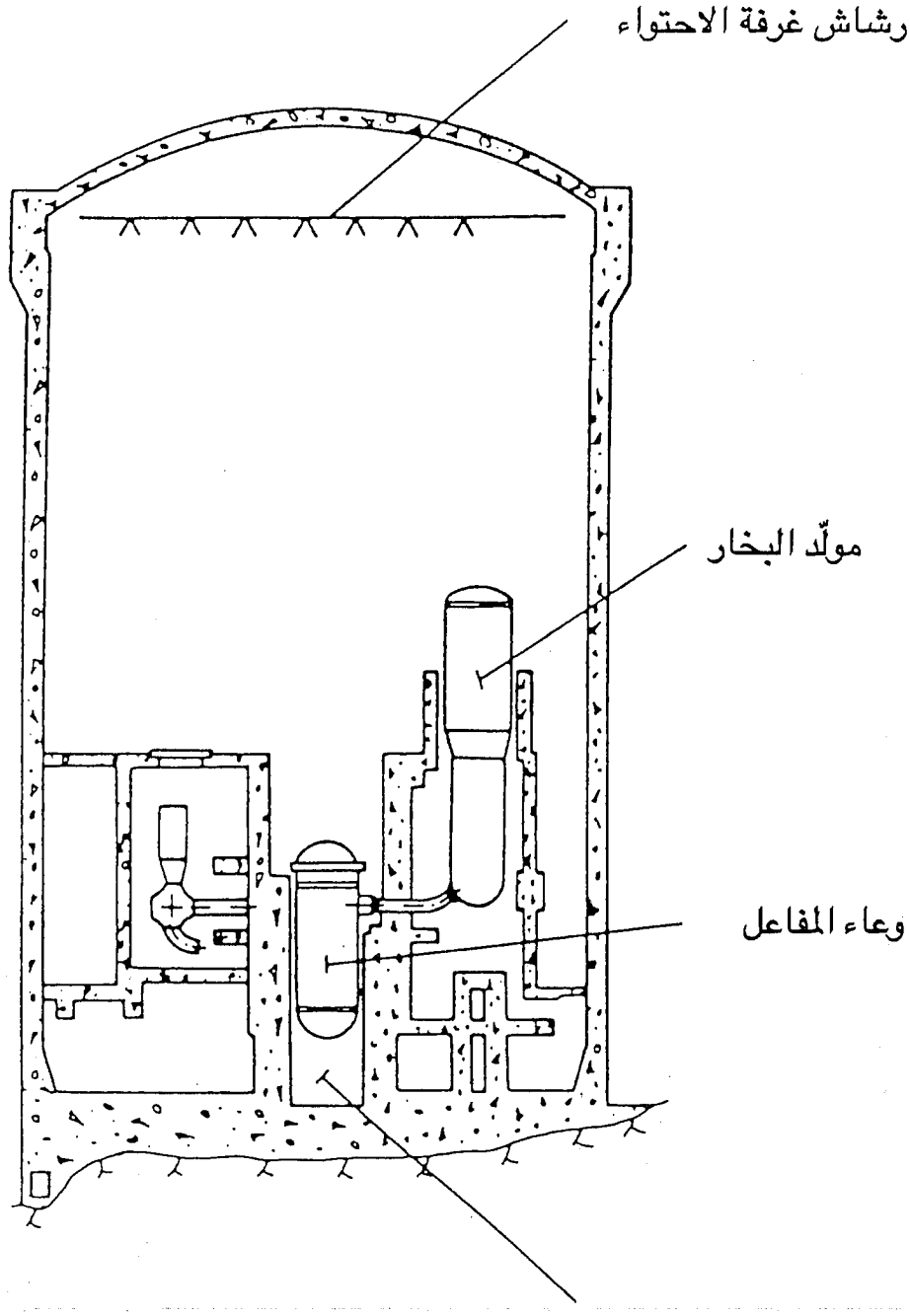
الشكل ٢



رسم تخطيطي لنظام التنفيس المرشح لغرفة الاحتواء

الشكل ٣

ASEA-ATOM



RINGHALS 2

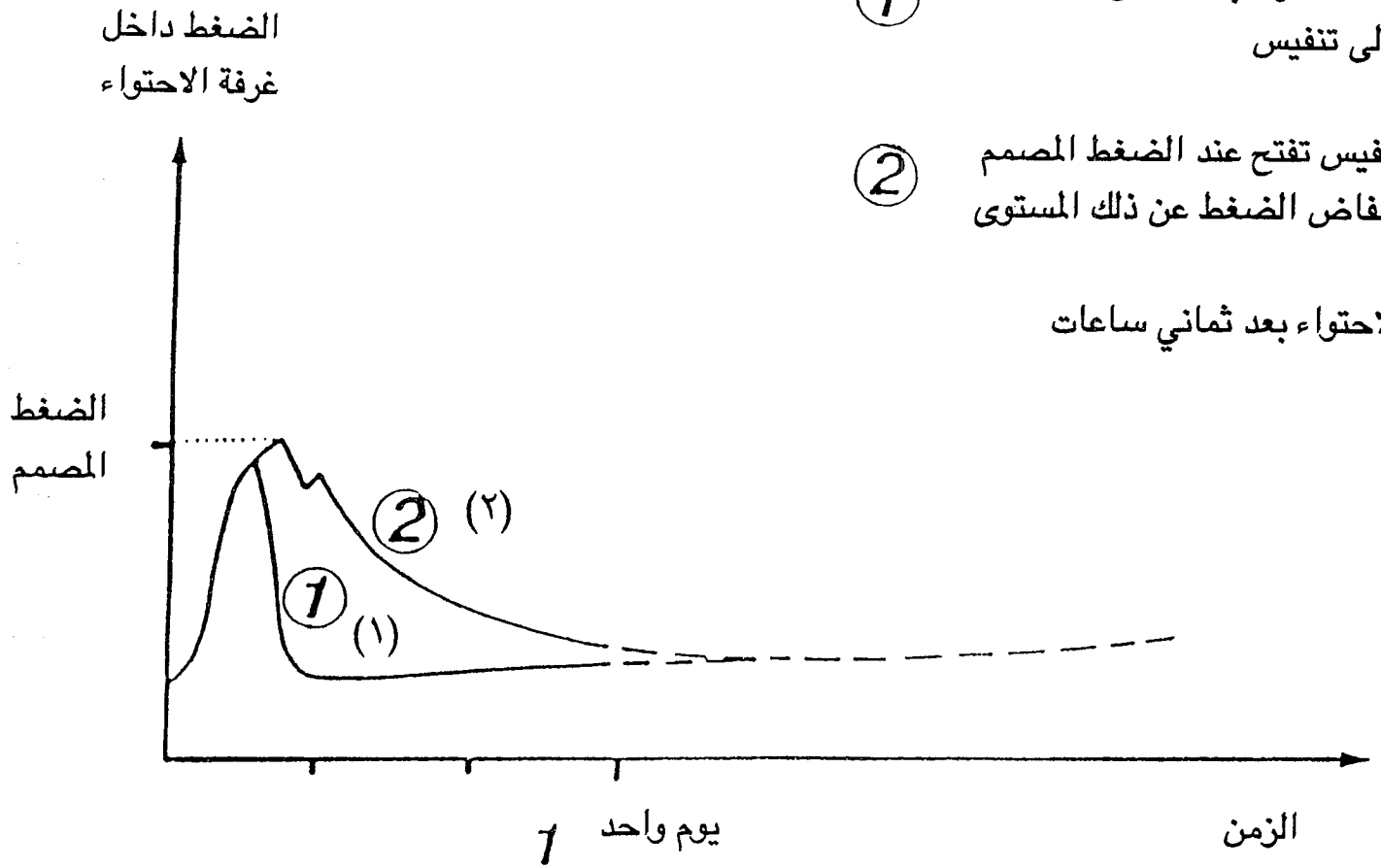
الشكل ٤

شكل غرفة الاحتواء بالمحطة رينغالز – ٢

(١) يبدأ رش غرفة الاحتواء بعد خمس ساعات
بدون الحاجة إلى تنفيس

(٢) صمامات التنفيس تفتح عند الضغط المصمم
وتغلق عند انخفاض الضغط عن ذلك المستوى

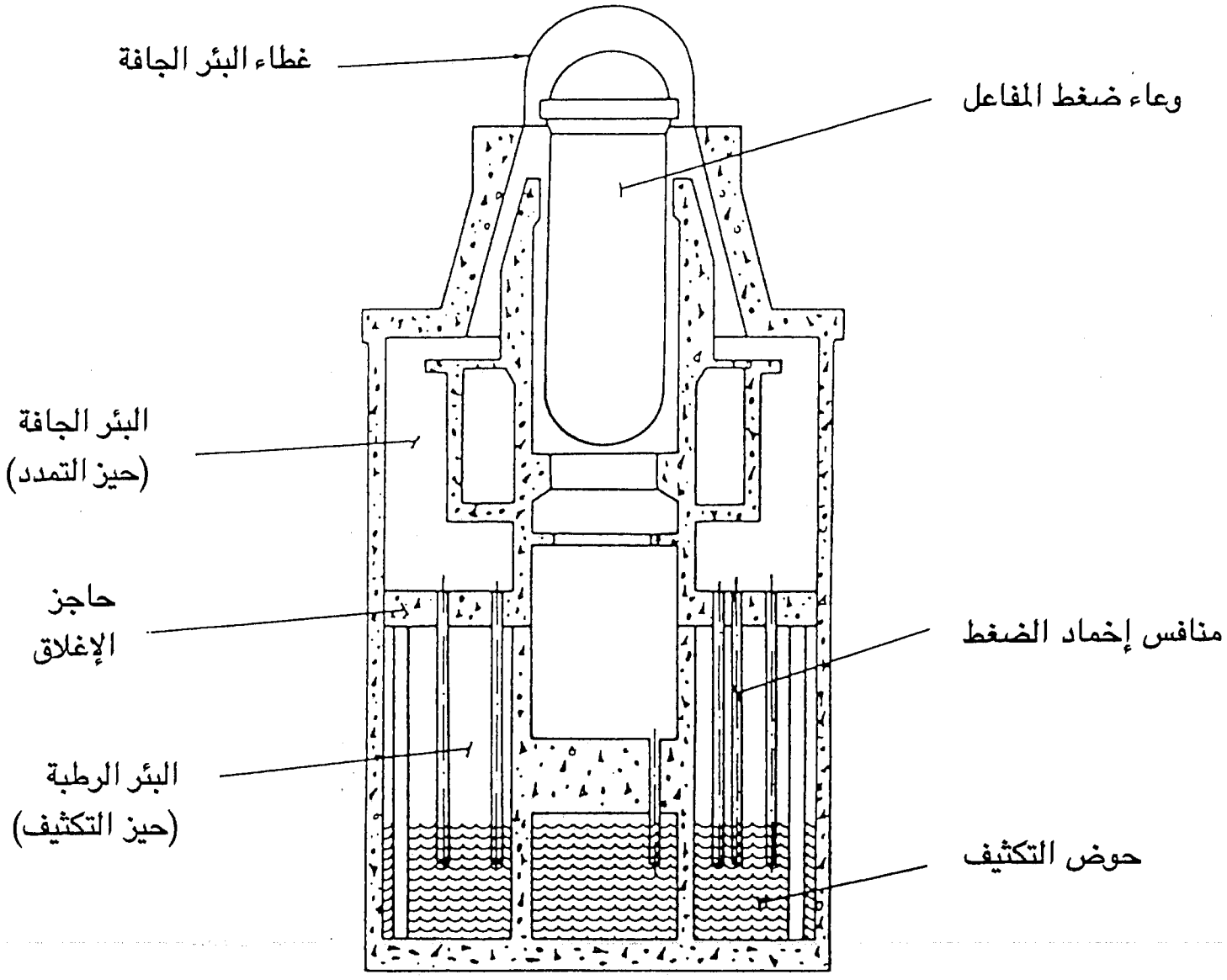
يبداء رش غرفة الاحتواء بعد ثماني ساعات



التطورات النموذجية في الضغط في سيناريو حادث خطير
في مفاعل ماء مضغوط سويدي رينغالز ٢ – ٤

الشكل ٥

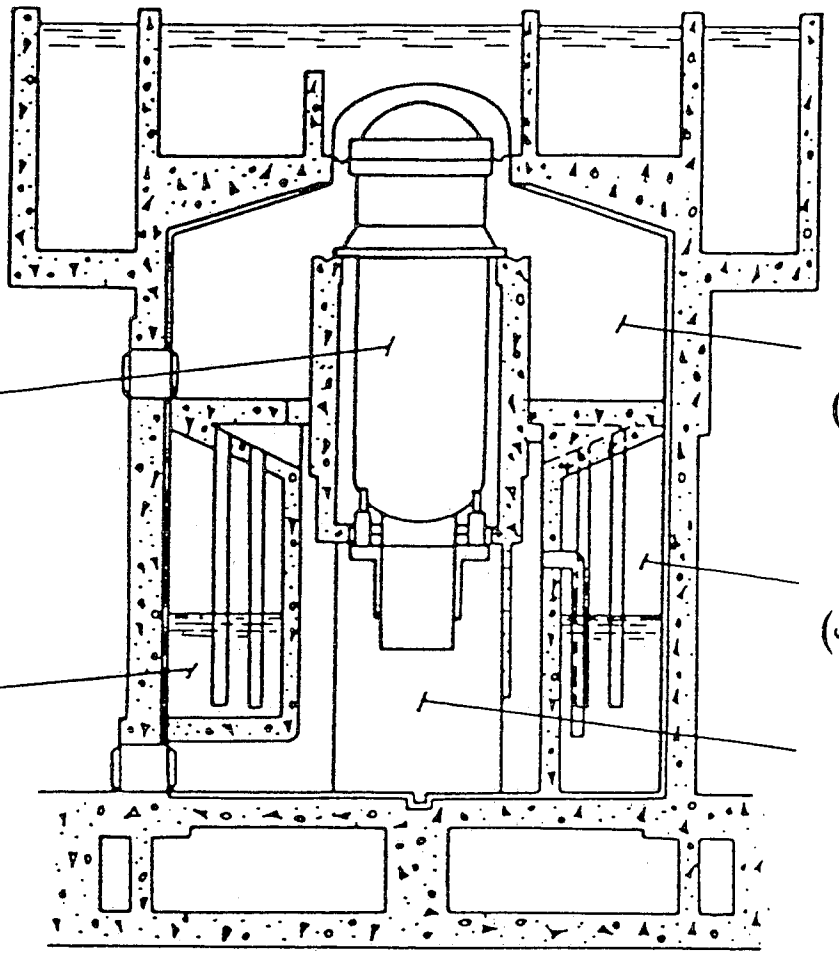
ASEA-ATOM شركة آسيا-أتوم



RINGHALS 1 الشكل ٦

الشـكل العـــام لغرفة الاحتواء بالمحطة رينغالز - ١

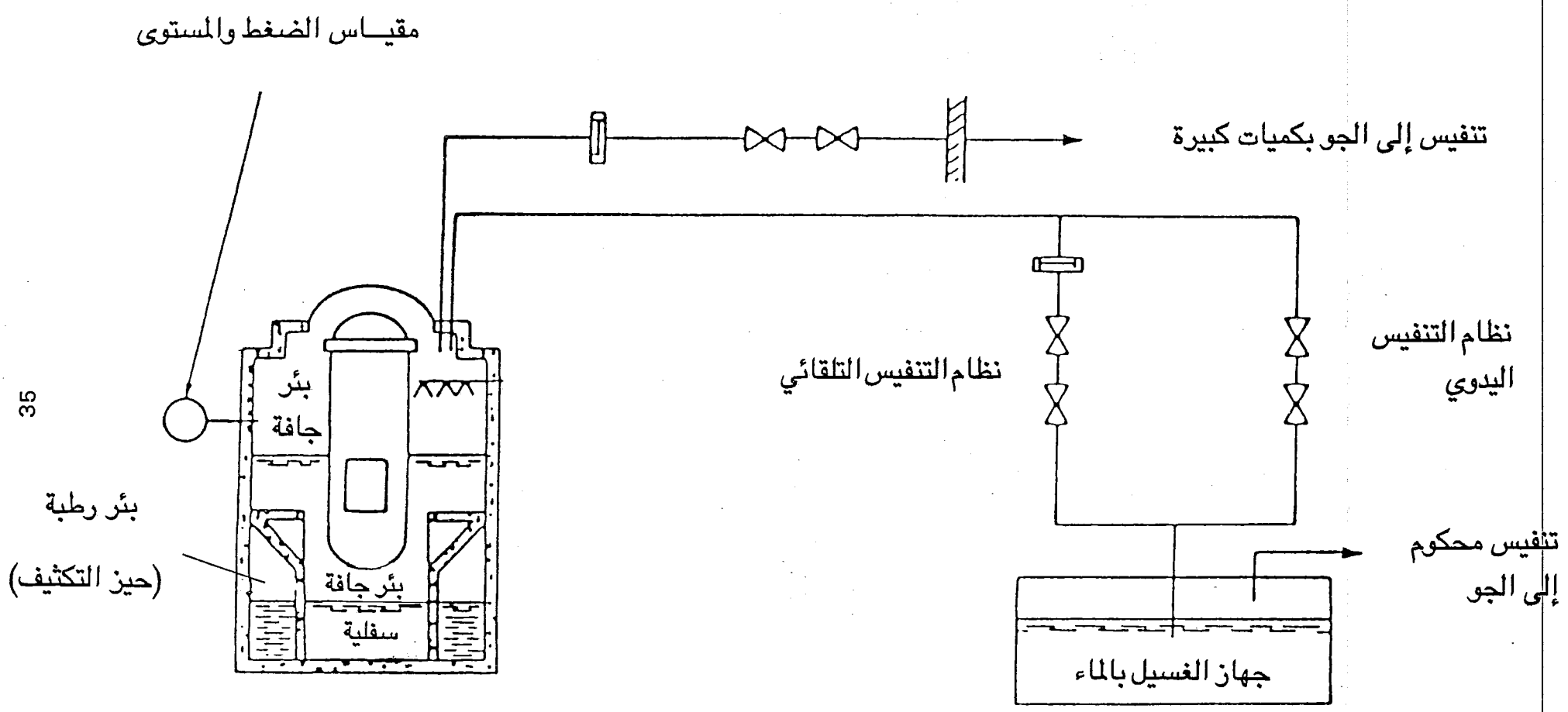
ASEA-ATOM شركة آسيا-أتوم



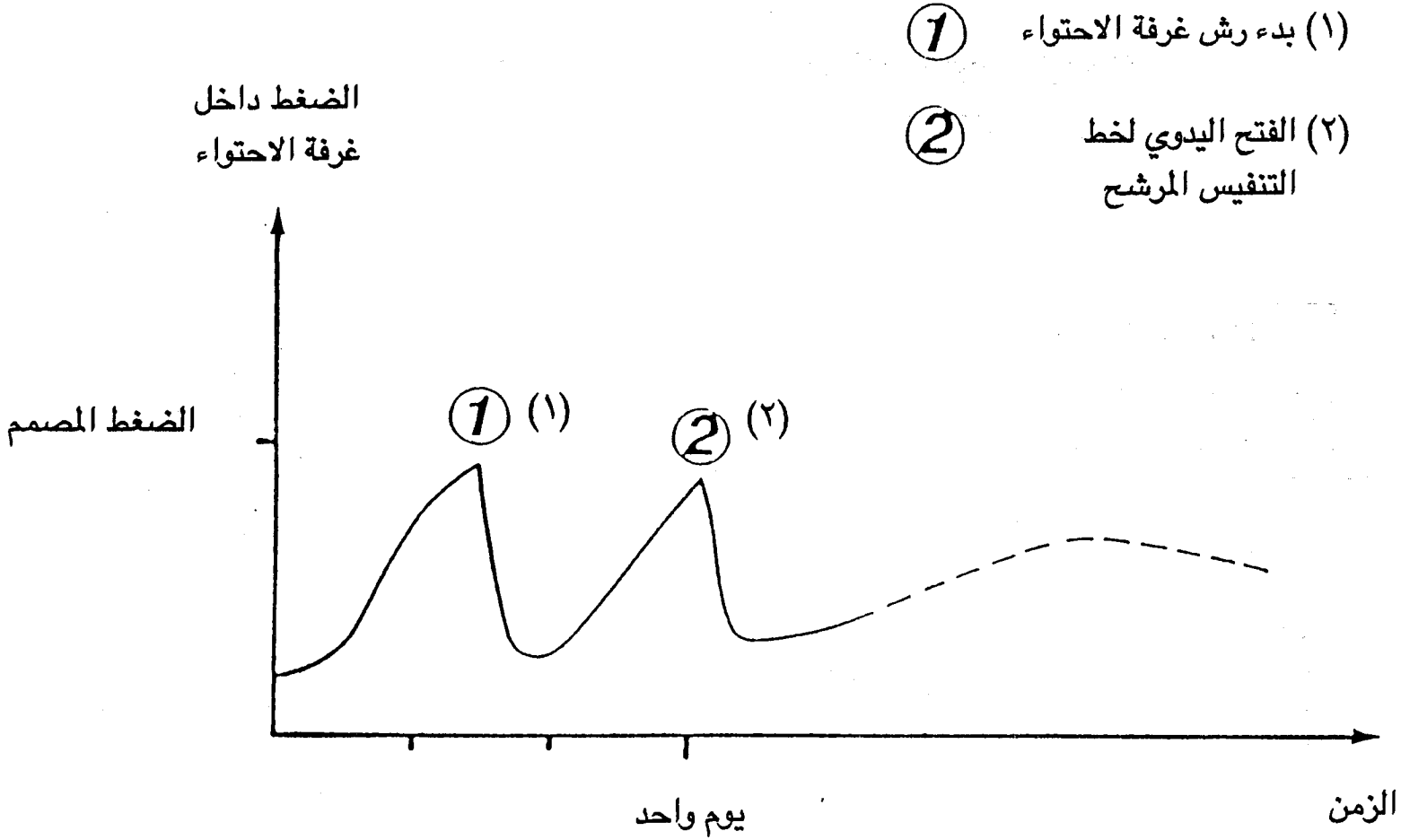
FORSMARK 3

الشكل ٧

الشكل العـــام لغرفة الاحتـــواء – محطة فورسمارك ٣



الرسم التخطيطي لنظام التنفيس المرشح لغرفة الحتواء
الذي ينتظر استخدامه فى المحطات رينغالز –١ وفورسمارك ١ – ٣
الشكل ٨



التطورات النموذجية في الضغط في سيناريو حادث خطير
فى مفاعل ماء غالي سويدي – رينغالز ١ أو فورسمارك ١ – ٣

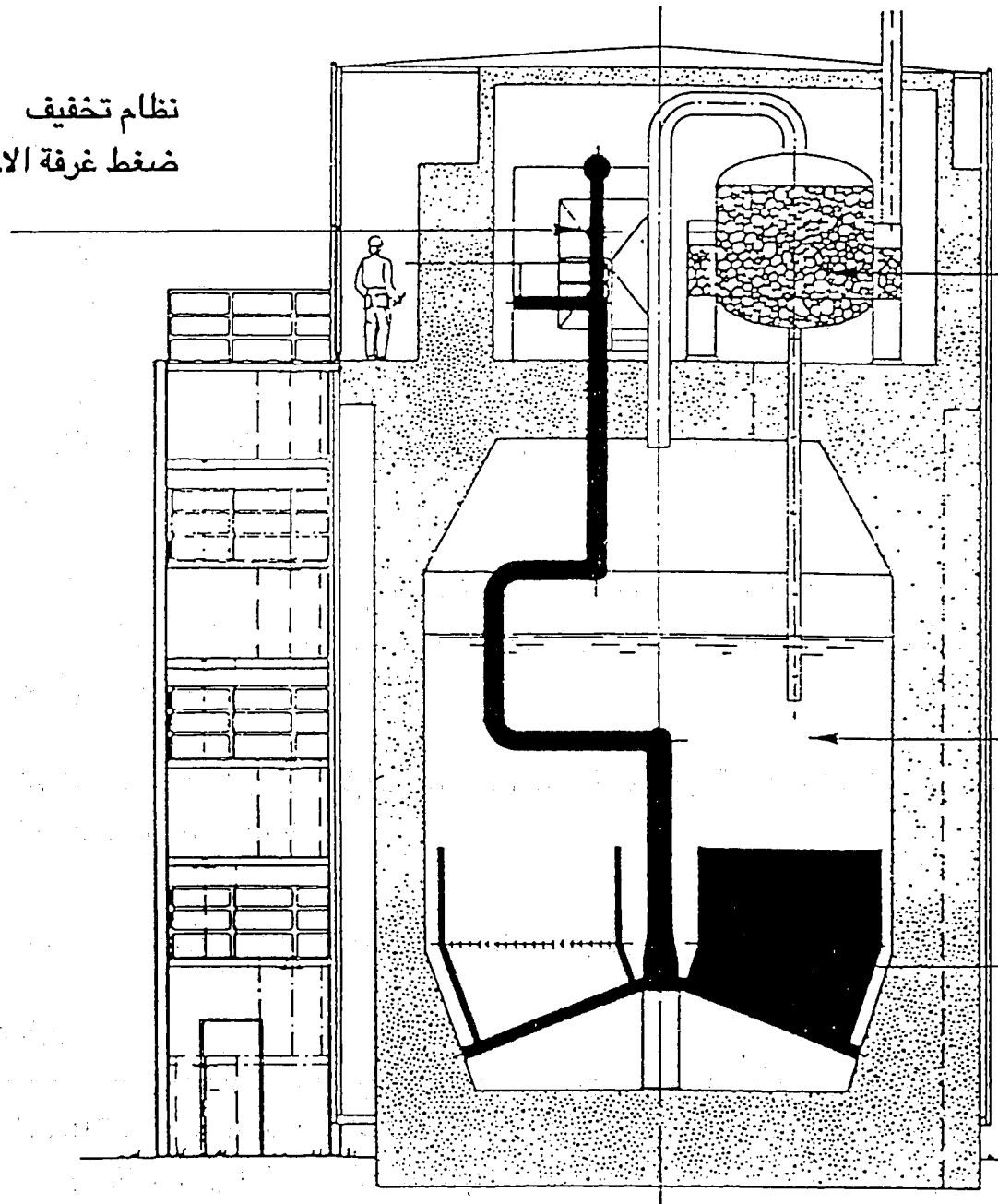
الشكل ٩

FILTRA - MVSS

التنفيس المرشح لغرفة الاحتـواء

مـع

استخدام نظـام الغسيل متعدد المنافث الفنتورية



الشكل ١٠

طريقة بحث عمليات الحوادث في محطات القوى النووية

ف. ب نستورنكو؛ غ. أ. شاروفاروف؛ أ. غ. شاشكوف

(جمهورية بييلوروسيا الاشتراكية السوفياتية)

يتزايد في الوقت الحاضر إجراء دراسات لعمليات الحوادث بواسطة محاكاة الحاسبات الالكترونية. ذلك أن تعقيد الوصف الرياضي للتداخل الفراغي لعمليات النيوترنات الفيزيائية، والتبادل الحراري، وعلوم ديناميكا السوائل، مع أخذ إمكانية تدمير عناصر فردية في الاعتبار أن يجعل من المستحيل إيجاد حلول لهذه المهام عموماً من أجل محطات القوى النووية حتى بمساعدة الوسائل التقنية الحديثة.

وبالتالي، يتزايد تطبيق دارسات عمليات الحوادث التي تتعلق بعناصر فردية من محطات القوى النووية. وفي هذا الصدد، يفترض عموماً أن الظروف المبدئية والحدّية مستقلة عن عملية تشغيل عنصر معين في نظام دائري (١-٥).

ويقترح التقرير الحالي طريقة لتقصي الحوادث بمحطات القوى النووية تقوم على أساس تقسيم العملية إلى مراحل منفصلة وتمثل النتائج التي يتم التوصل إليها في كل مرحلة الظروف المبدئية والحدّية للمرحلة التالية. وتبنى نماذج رياضية محددة لكل مرحلة.

ويبين الشكل ١ دراسات المراحل لعمليات حوادث محطات القوى النووية. ويقوم النموذج الرياضي على معادلة نقل معممة في شكل بلا أبعاد كما يلي:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -div\, C\, \bar{w}_s + K_{BH} J_{BH} + K J - K_H div J_{H\,i} \qquad (I)$$

حيث تكون

C – عنصراً، وخاصية معممة، تحدد الطاقة، والكثافة، وكمية التحرك....إلخ؛

و KBH, K, Km – معايير لتحديد الكم؛

و Ws – السرعة النسبية للسطح المقيد؛

و JBH – القوة الحجمية النوعية النسبية للمصدر الخارجي؛

و J – القوة الحجمية النوعية النسبية للمصدر الداخلي؛

و JH – التدفق النسبي للمواد نتيجة لعمليات جزيئية.

وفي المرحلة الأولى، يجري تحديد أسلوب تشغيل ممكن لمحطة القوى النووية. وأسلوب تشغيل ممكن – هو مجموعة من معدلات تشغيل محطة القوى النووية، لا تتجاوز البارامترات فيها الحدود المسموح بها. ولهذا الأسلوب بعينه، ينبغي تحديد النظام الأمثل، في حدود معينة، لتشغيل محطة القوى النووية.

وتحقيقاً لهذا الغرض، استحدثت طريقة موحدة لتقصي مجموعة واسعة من المهام. وهذه الطريقة تقوم على أساس افتراض أن أي تركيبات تعمل كنظام يتكون من العناصر القياسية التالية: مفاعل، توربينات، مولدات تجديد، مكثفات، خلاطات، مضخات، وخصائص عديدة حرارية وفيزيائية للمبرد. وباختيار العناصر المذكورة أعلاه، يمكن الحصول على أي رسم بياني تكنولوجي للمرفق تقريباً. وتوصف خصائص العناصر رياضياً بطريقة لا تجعلها متوقفة على نوع محدد من العناصر، مما يسمح باستخدامها بشكل متعدد أثناء حساب معدلات تشغيل متغيرة. وقد سمح هذا النهج في وصف المرفق بتطوير منوال رياضي لوضع شفرة للحاسبة الالكترونية الرقمية (٦).

ويحتاج الحساب إلى البيانات المبدئية التالية:

١) الرسم البياني التكنولوجي وتسلسل توصيلات العناصر؛
٢) الضغط، والحرارة، ومعدل تدفق المبرّد المرتبط بالمعدل المحسوب، ويمكن الحصول عليه من حساب الدورة الحرارية الديناميكية؛
٣) مسطحات وهندسة المفاعل، ومولدات التجديد والمكثفات؛
٤) قيم عشوائية بالوحدة لمعدلات التشغيل المتغيرة.

ونتيجة لحساب المرفق لمعدلات التشغيل المتغيرة، يمكن الحصول على المعلومات التالية لأساليب التشغيل المختلفة:

١) المعاملات الفعلية، وهي البيانات المبدئية لتحديد كفاءة قوى أي مرفق؛
٢) درجات الحرارة، والضغط ومعدلات تدفق المبرّد في كل وحدات المرفق؛
٣) درجة حرارة غلاف عنصر الوقود على طول القناة؛
٥) تغيرات المفاعلية نتيجة لآثار الحرارة والكثافة؛
٦) مستوى ارتفاع الحرارة الشديد للمبرد عند مخرج مولد التجديد؛
٧) مستوى جفاف المبرّد عند مدخل التوربين؛
٨) مستوى البرودة الزائدة للمبرد عند مدخل المضخة.

وعلى أساس معدلات التشغيل المتغيرة التي يتم الحصول عليها، يجري اختيار برامج مختلفة لأسلوب تشغيل ممكن. ويبين الشكل ٢ أسلوباً ممكناً لتشغيل محطة قوى نووية بمبرد يتفكك. كما يظهر الرسم البياني التكنولوجي لمثل هذه المحطة في نفس هذا الشكل. ويقوم المكثف بإمداد مولد تجديد كامل التدفق بمبرد سائل حيث يتبخر ويجري تسخينه إلى درجات مرتفعة للغاية ثم تتم تغذيته للمفاعل. ومن المفاعل، يتدفق المبرّد إلى توربين ضغط عال، ثم مولد تجديد، فتوربين ضغط منخفض وأخيراً إلى مكثف وبعدها تقفل الدورة الحرارية الديناميكية. ويعتبر المستوى الأدنى لتسخين البخار إلى درجات مرتفعة عند مدخل المفاعل، والحد الأقصى لضغط المبرّد وحرارته عند مخرج المفاعل عوامل مقيدة.

ويعتبر معدل التشغيل الذي يوفر القيمة القصوى لكفاءة القوى المعدل الأمثل. ويمثل هذا العامل نسبة وسطاً بين القوى المنتجة والقوى المستهلكة لفترة زمنية محددة، ويأخذ في اعتباره زمن تشغيل محطة القوى النووية بمعدلات مختلفة.

$$\eta_{эн} = \frac{\int_0^T N_n \, d\tau}{\int_0^T \frac{N_n}{\eta} \, d\tau} \qquad (2)$$

وهكذا، فإن المفروض أن تؤدي دراسة المرحلة الأولى إلى تعريف للظروف المبدئية للحالة المبدئية قبل وقوع حادث وإلى تقييم الهوامش للبارامترات التي تحدد العملية.

وفي المرحلة الثانية، تتم دراسة ديناميات عملية الحادث في دائرة محطة القوى النووية مع مراعاة التحكم في التشغيل ونظام المقاييس. ويستخدم لهذا الغرض نموذج رياضي ذو بعد واحد لقناة الوقود. ويمكن تغطية الحاجة إلى مراعاة آثار العناصر المرتبطة بالمبرد بالمعادلة التالية :

$$\beta = \frac{G_\varphi M \Delta t_2}{C_g Q} \; ; \qquad (3)$$

التي تعرّف الكسر الحراري الذي تأخذه القناة. وفي هذه المعادلة، فإن C تمثل السعة الحرارية للعنصر، و M كتلته، و Ste التغير في درجة الحرارة، و T الثابت الزمني، و Q الكمية الحرارية للوحدة. ويقدم النموذج الرياضي للمرحلة الثانية بالطريقة التالية. وشكل المعادلات الرئيسية لهذا النموذج كما يلي :

$$\rho G_\varphi \frac{\partial T}{\partial \tau} + \rho G_\varphi w \frac{\partial T}{\partial x} - \left(\frac{\rho}{\rho G_\varphi T}\right)_0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + w \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) = K_q Q + \qquad (4)$$
$$+ \left(\frac{C J_{бн} h_{бн}}{w \rho G_\varphi T}\right)_0 J_{бн} h_{бн} - \left(\frac{C J_{бн} h}{w \rho G_\varphi T}\right)_0 h J_{бн} \; ;$$

$$\rho \frac{\partial w}{\partial \tau} + \rho w \frac{\partial w}{\partial x} + E_u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \zeta \frac{\rho w^2}{2 \frac{d_э}{C}} = \left(\frac{C J_{бн} w_{бн}}{\rho w^2}\right)_0 J_{бн} w_{бн} - \qquad (5)$$
$$- \left(\frac{C J_{бн}}{\rho w}\right) J_{бн} w \; ;$$

$$F \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \frac{\partial F}{\partial \tau} + \rho w \frac{\partial F}{\partial x} + F \frac{\partial \rho w}{\partial x} = F K_{бн} J_{бн} \; ; \qquad (6)$$

$$C_{cr}\rho_{cr}\frac{\partial T_{cr}}{\partial \tau} = \left(\frac{q_{cr}\tau}{C_{cr}\rho_{cr}T_{cr}}\right)_0 q_{cr} - \left(\frac{q\tau}{C_{cr}\rho_{cr}T_{cr}}\right) q \qquad (7)$$

ويوفر هذا النموذج الرياضي إمكانية إجراء دراسات بشأن حالات التسرب عند نقاط مختلفة من الرسم البياني التكنولوجي، وبشأن انقطاع التيار، وأعطال التحكم وأجهزة القياس وغيرها من حالات الحوادث.

ويبين تحليل المعيار β للعناصر المختلفة أن الأحواض، والأنابيب المحارية، وخطوط الأنابيب معتدلة الطول ليس لها تأثير هام على حرارة المبرد. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تأثيرها يقل مع زيادة معدلات تشغيل محطات القوى النووية. ونتيجة لهذة الدراسات، يمكن أن نحصل على التغيرات في البارامترات في الوحدة التي يقع فيها الحادث، في المفاعل مثلاً، وعلى الظروف الحدّية في بارامترات المبرّد للوحدة التي يقع فيها الحادث بسبب تأثير دائرة محطة القوى النووية والتحكم وأجهزة القياس، والأوضاع الحدّية للأنابيب الفرعية، والأغلفة، والأوعية وغيرها من المكونات. ويمكن للنتائج التي يتم التوصل إليها أن يكون لها تأثير على التغيرات في برنامج المعدلات المتغيرة والوضع المبدئي، أي على نتائج المرحلة الأولى.

وفي المرحلة الثالثة، تجري دراسة تفصيلية لديناميات الوحدة ولكل من المكونات. وفيما يخص الوحدة، يجري استخدام نماذج رياضية فراغية أكثر تفصيلاً، تأخذ في اعتبارها تفاعل القنوات والمجالات الحرارية لعناصر الوقود. وتستخدم طريقة العناصر المحدودة لقياس المجالات الحرارية في الأنابيب الفرعية، والأوعية، والأغلفة وفي غيرها من العناصر بأي شكل عام. ويفترض أن للكثافة، ولمعامل التوصيل الحراري، والسعة الحرارية، والمصدر الداخلي ودرجة الحرارة قيماً متوسطة(٧).

وقد توضح النتائج التي يتم الحصول عليها ما يتعلق بالوحدة التي يقع فيها الحادث من افتراضات وكذلك العناصر التي استخدمت أثناء إعداد نموذج محطة للقوى النووية، أي توضيح نتائج المرحلة الثانية. وعلى أساس النهج المقترح، يمكن الحصول على البيانات التالية:

١-ديناميات تطور عمليات الحادث.
٢-أكثر النقاط ضعفاً في وحدات وعناصر الحادث.
٣-الزمن اللازم للوصول إلى القيم الحرجة للبارامترات.
٤-البارامترات التي ينبغي أن تقوم عليها حماية المفاعل في حالات الطوارىء.
٥-المبادىء التوجيهية لبرامج القواعد، وتصميم الوحدات والمواد.
٦-قواعد وخطوات الحماية في حالة الطوارىء.

كما تمثل البيانات التي يتم التوصل إليها الظروف المبدئية لتقصي عمليات حادث يؤدي إلى التدمير.

وكمثال لذلك، يبين الشكل ٣ النتائج التي يمكن الحصول عليها فيما يتعلق بحادث يسبب خسائر في العمل بنسبة ١٠٠٪ في المولد التوربيني. وكما يتضح من البيانات المعطاة، يتحول المرفق إلى معدل توازن جديد، بينما يزيد الضغط في المكثف نتيجة لتراكم حرارة إضافية. ويبين الشكل ٤ النتائج المتعلقة بديناميات التغيرات في

الضغط، وبمعدل تدفق المبرد، والحرارة عند مدخل المفاعل أثناء فقدان محطة القوى النووية لكل طاقتها. وفي هذة الحالة لم يؤخذ توقف المضخة في الاعتبار. وبعد "٦" ثوان، ظل معدل تدفق المبرّد عند نسبة ٥٠٪ من قيمته الإسمية بسبب تراكم المبرد.

ومع أخذ الأثر الكبير لنتائج تقصي معدلات الحوادث على السلامة النووية في الاعتبار، من ناحية، ومن ناحية أخرى أن هذه الدراسات تقوم في بلدان أخرى على طرائق مختلفة، يكون من المستصوب وضع توجيه دولي موحد لدراسات عمليات حوادث محطات القوى النووية تؤدى إلى تحديد النطاق اللازم لدراسات علميات الحوادث، وإلى توصيات فيما يتعلق بالنماذج الرياضية، والأساليب والبرامج، والخصائص الفيزيائية والحرارية الفيزيائية المشتركة لمبردات محطات القوى النووية وموادها.

المـراجـــع

1. Nucl. Technol., 1981, 54, No. 3, 398-409.

2. Nucl. Eng. and Des., 1982, 71, No. 1, 33-43.

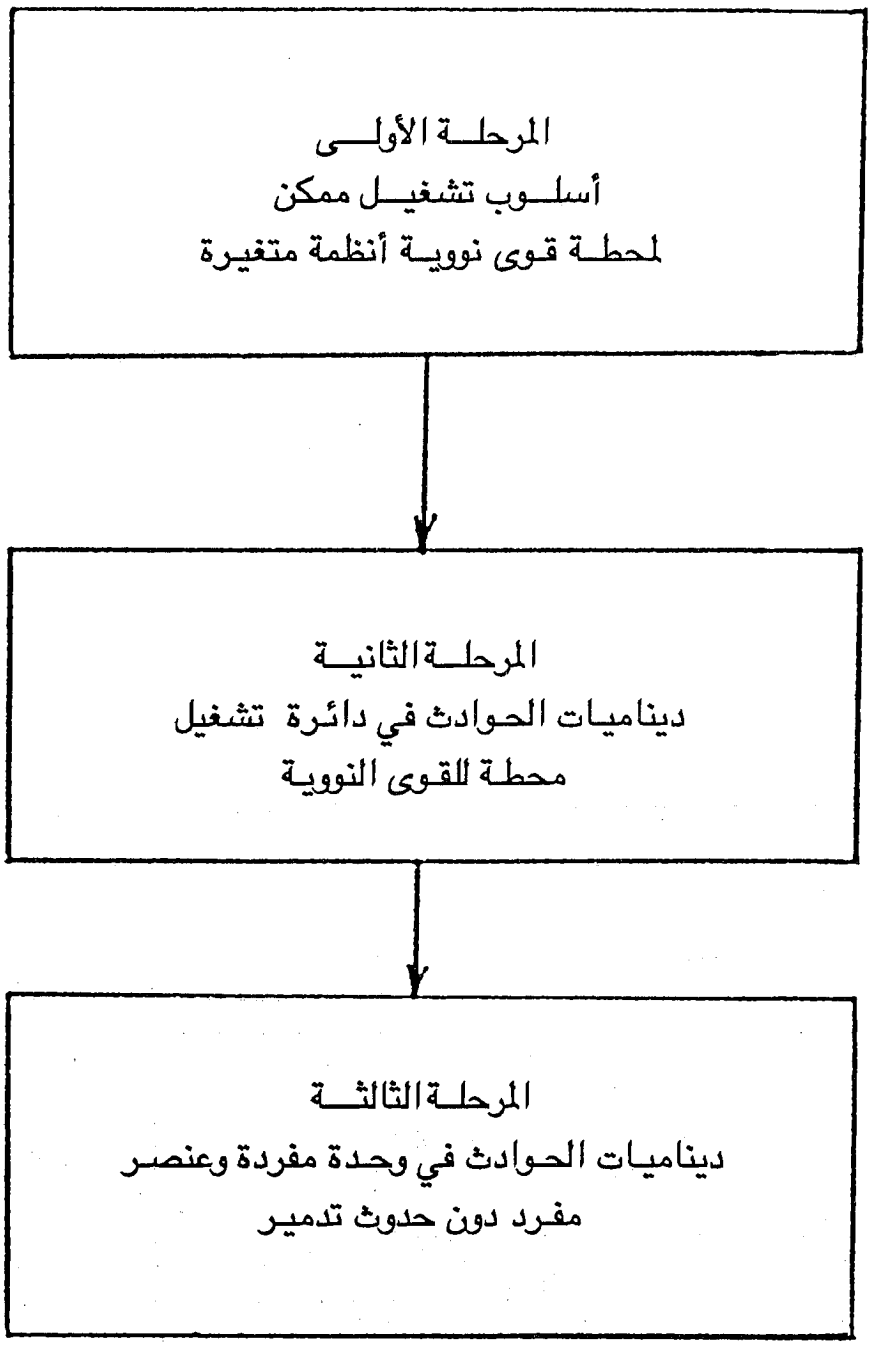
3. Nucl. Technol., 1983, 60, No. 2, 278-290.

4. Trans. Amer. Nucl. Soc., 1984, 47, 314-315.

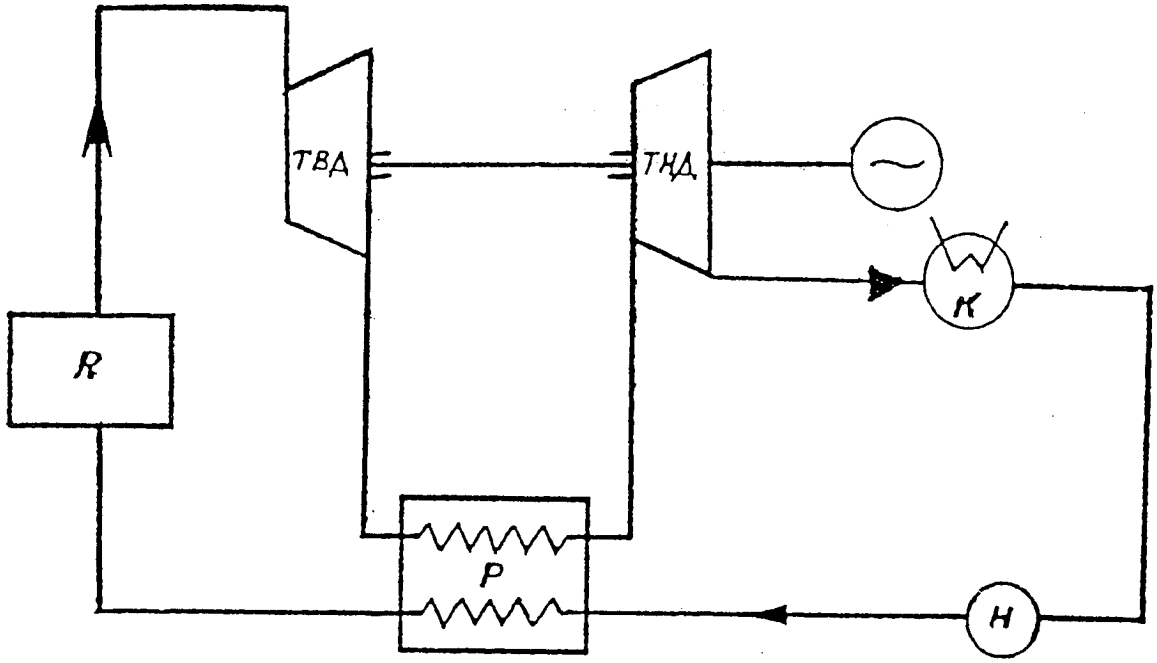
5. Nucl. Eng. and Des., 1985, 85, No. 1, 71-82.

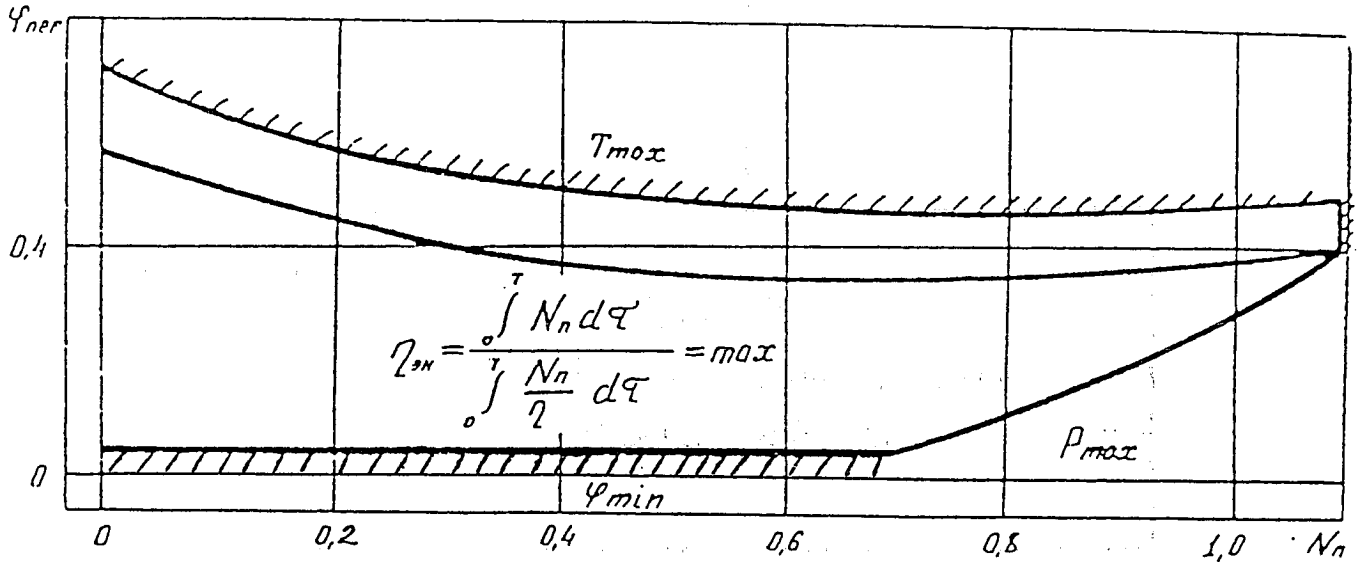
6. SHAROVAROV, G.A., Dynamics of nuclear power plants with dissociating coolant. - Minsk: Nauka i tekhnika, 1980. - 239 pp.

7. SHAROVAROV, G.A., Physics of non-steady-state processes in nuclear power plants. - Minsk: Nauka i tekhnika, 1985. - 206 pp.



الشكل ١ مراحل في دراسات عمليات الحوادث في محطات القوى النووية





الشكل ٢ الرسم البياني التكنولوجي وأسلوب التشغيل الممكن
لمحطة قوى نووية

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + \rho c_p W \frac{\partial T}{\partial x} - \left(\frac{P}{\rho c_p T}\right)_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \tau} + W \frac{\partial P}{\partial x}\right) =$$

$$= K_q q + \left(\frac{\varepsilon \mathcal{J}_{вн} h_{вн}}{W \rho c_p T}\right)_0 \mathcal{J}_{вн} h_{вн} - \left(\frac{\varepsilon \mathcal{J}_{вн} h}{W \rho c_p T}\right)_0 h \mathcal{J}_{вн}; \qquad (1)$$

$$\rho \frac{\partial W}{\partial \tau} + \rho W \frac{\partial W}{\partial x} + Eu \frac{\partial P}{\partial x} + \xi \frac{\rho W^2}{2 \frac{d_э}{\ell}} =$$

$$= \left(\frac{\varepsilon \mathcal{J}_{вн} W_{вн}}{\rho W^2}\right)_0 \mathcal{J}_{вн} W_{вн} - \left(\frac{\varepsilon \mathcal{J}_{вн}}{\rho W}\right)_0 \mathcal{J}_{вн} W; \qquad (2)$$

$$P \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \frac{\partial F}{\partial \tau} + \rho W \frac{\partial F}{\partial x} + F \frac{\partial \rho W}{\partial x} = F K_{вн} \mathcal{J}_{вн}; \qquad (3)$$

$$C_{ст} \rho_{ст} \frac{\partial T_{ст}}{\partial \tau} = \left(\frac{q_{ст} \tau}{C_{ст} \rho_{ст} T_{ст}}\right)_0 q_{ст} - \left(\frac{q \tau}{C_{ст} \rho_{ст} T_{ст}}\right) q; \qquad (4)$$

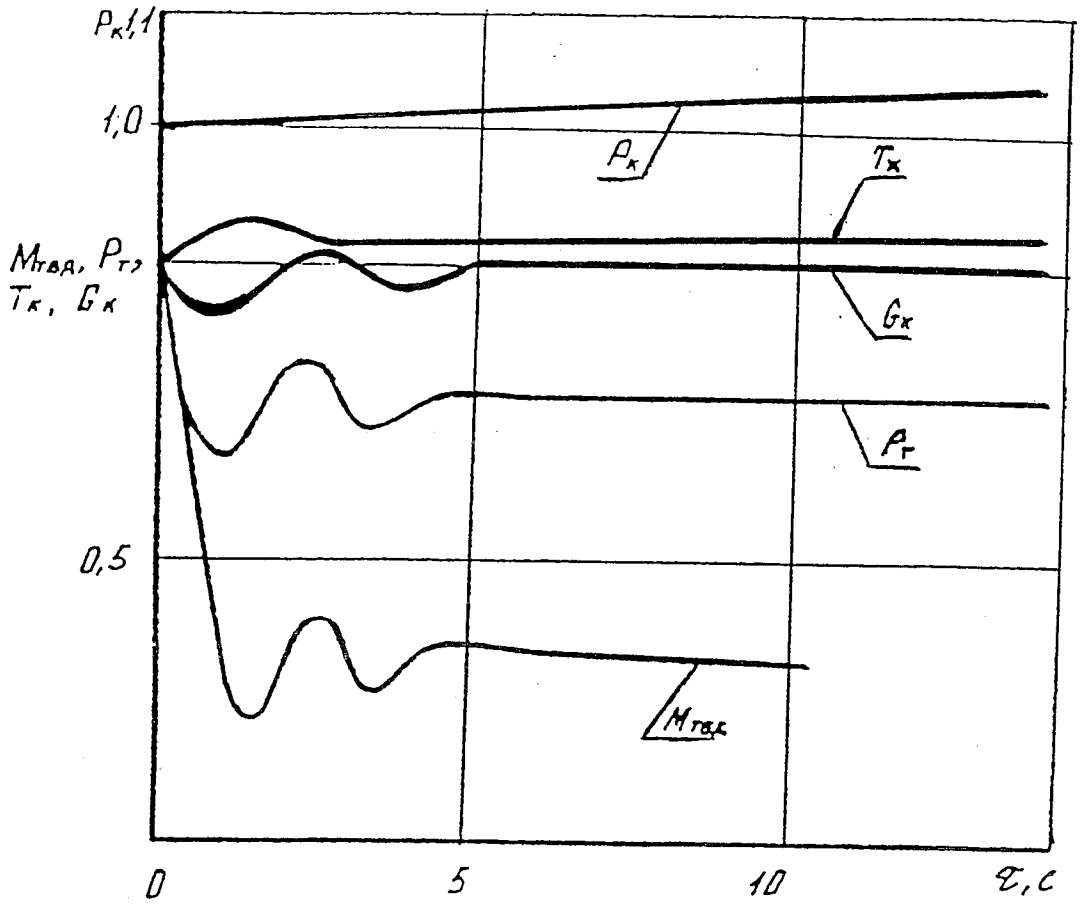
$$\frac{\partial n}{\partial \tau} = \frac{\rho^x \beta}{\ell} n \psi(x) + \sum_{i=1}^{6} \lambda_i C_i; \qquad (5)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial \tau} = \frac{\beta_i}{\ell} n \psi(x) + \lambda_i C_i; \qquad (6)$$

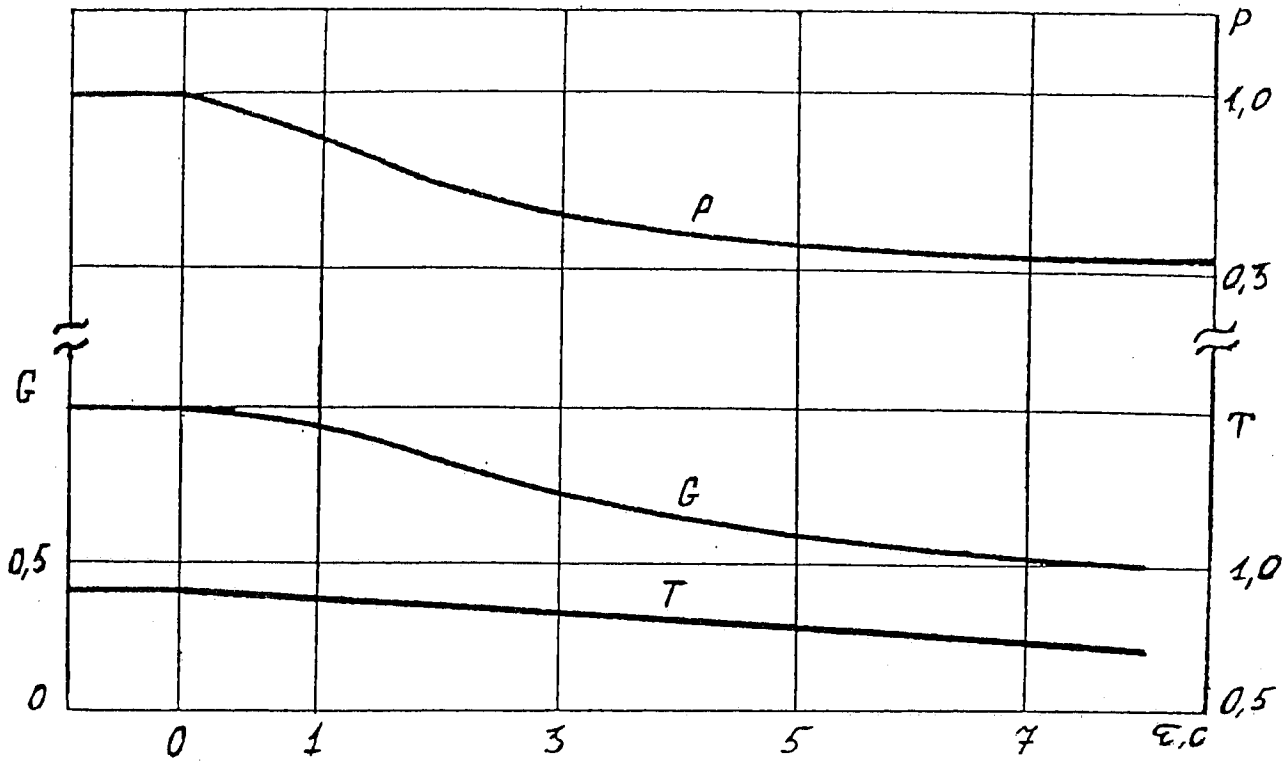
$$q_T(\tau, x) = N_0 n + A \cdot F_0 \left\{ \sum_{i=1}^{i=15} A_i \exp(\chi_i \tau) - \right.$$

$$\left. - \sum_{i=1}^{i=15} A_i \exp\left[\lambda_i (\tau + T_{обл})\right] \right\} \qquad (7)$$

الشكل ٢أ المعادلات الرئيسية للنماذج الرياضية لمرحلة معينة



الشكل ٣ التغيرات في البارامترات الرئيسية لمحطة قوى نووية
أثناء فقدان التحميل عند المولد التوربيني (العنفي)



الشكل ٤ التغيرات في معدل تدفق المبرد، والضغط، ودرجة الحرارة، عند مدخل المفاعل أثناء فقدان قدرة محطة للقوى النووية

ديناميات عمليات الحوادث في محطات القوى النووية التي تعمل بمبرد يتفكك

ف. ب. نستورينكو؛ غ. أ. شاروفاروف؛ أ. غ. شاشكوف

(جمهورية بييلوروسيا الاشتراكية السوفياتية)

تتميز محطات القوى النووية التي تعمل بمبرد يتفكك، مقارنة بمحطات القوى النووية الأخرى، بعدة اختلافات جوهرية تؤثر في ديناميات عملية الحادث. وتتعلق هذة الاختلافات قبل أي شيء آخر بالتخطيط التكنولوجي للمحطة وبدورتها الحرارية الدينامية. ويظهر التخطيط التكنولوجي في الشكل ١ . ويقوم المكثف بتغذية مولد تجديد كامل التدفق بمبرد سائل، ينتقل بعدها كبخار إلى المفاعل حيث يجرى له إحماء إضافي. ويغذي البخار المحمى توربين الضغط العالي وبعده مولد التجديد حيث يحدث انتقال للحرارة إلى المبرّد البارد. ويخرج البخار من مولد التجديد ليغذي توربين الضغط المنخفض ومن بعده المكثف. والسمة الرئيسية لهذا التخطيط التكنولوجي هي الجمع بين المفاعل الذي يبرد بالغاز ودورة حرارية دينامية تعمل بالغاز والسائل في محطة ذات دارة واحدة. ويستحيل تحقيق هذا الجمع في حالة استخدام بخار الماء حيث أن تبخيره يحتاج إلى حرارة عالية كما أن إعادة التوليد بتدفق كامل مستحيلة أيضاً.

وينتج عن استخدام دورة الغاز والسائل توليد مقادير كبيرة من المبرّد السائل في دارة تكنولوجية بأقصى ضغط في الدورة. وهذا يوجد ظروفاً أساسية ملائمة للحفاظ على استمرار الدورة عبر قلب المفاعل في حالة انقطاع التيار الكهربائي في اسلوب عمل محطة القوى النووية بسبب التدفق السلبي للمبرد من حيز الضغط المرتفع إلى حيز الضغط المنخفض، أي التكثيف. وهذه السمة ضرورية للمفاعلات التي تبرد بالغاز حيث أن قدرة المبرّد على إحداث تراكم في الحرارة داخل قلب المفاعل صغيرة، والثابت الزمني يكون في حدود كسور من الثانية. وينبغي أيضاً الإشارة إلى انخفاض قيم الثوابت الزمنية لقضبان الوقود (١,٥ إلى ٢ ثانية). ولذلك فإن المهمة الأساسية لتأمين السلامة في محطات القوى النووية التي تبرد مفاعلاتها بالغاز تكمن في الحفاظ على استمرار مرور المبرّد عبر قلب المفاعل.

وفي محاكاة عمليات الحادث، تبرز مسألة انطباق معاملات نقل الحرارة الاستاتية لحساب العمليات الدينامية. واستناداً إلى البحوث النظرية والتجريبية، ظهر أن الخطأ الدينامي في أغلبية العمليات غير الثابتة بمبرد يتفكك لا يتجاوز ١٠ إلى ١٥٪. ويبين الشكل (٢) أن معامل انتقال الحرارة غير الثابت يتوقف على معدل التغير في درجة حرارة غلاف قضيب الوقود في حالة المبرّد المثالي الذي يتفكك.

ولإعداد نماذج التوربينات في دارة محطات القوى النووية، عادة ما تستخدم التوابع المحسوبة أو التجريبية

الاستاتية أو العلاقة المبسطة مثل معادلات فروجل Frugel [1]. ورغم ذلك، يمكن لاستخدام التوابع الاستاتية أن يؤدي إلى أخطاء في ظروف محددة. ويبين الشكل ٣ تغير انخفاض الضغط النسبي في التوربين ودرجة الحرارة النسبية عند مخرج التوربين بقيمة ثابتة مقدارها $\frac{\sqrt{T}}{P}$ مع تغير بنسبة ٢٠٪ في درجة الحرارة خلال ١٠ ثوان. كما تبين بيانات التوربينات في عدد مختلف من المراحل. وتدلل هذه البيانات على أن تراكم الحرارة يمكن أن يؤثر كثيراً في ديناميات عمليات الحادث. وبالتالي لا يمكن استخدام التوابع الاستاتية إلاّ بعد تقييم الخطأ الديناميي.

ولنبحث الآن عملية حوادث الديناميات الناجمة عن توقف عبور المبرّد من خلال قلب المفاعل. ويبين الشكل ٤ تباين درجات الحرارة في مركز الوقود وعند سطح الغلاف بعد توقف فجائي لمرور المبرّد وتشغيل جهاز السلامة بعده بثانية واحدة. فنتيجة لانخفاض قدرة المبرّد على تحقيق تراكم في الحرارة، ترتفع درجة الحرارة بسرعة في القنوات. وفي البداية، ترتفع درجة حرارة الغلاف بسرعة أكبر كثيراً بسبب انتقال الحرارة من مركز قضيب الوقود إلى الغلاف وبسبب انعدام إزالة الحرارة عن الغلاف عملياً. وكما يمكن ملاحظته من البيانات المقدمة، فإن من الضروري التعجيل بإعادة مرور المبرّد نظراً لأنه يمكن أن يحدث تلف في قضيب الوقود في نحو دقيقتين.

وقد أظهرت دراسة عمليات الحوادث الناجمة عن التسرب أنه يحدث في حالة التسرب من التوربين الخلفي للدارة الرئيسية (الشكل ٥) انخفاض تدريجي في تدفق المبرّد بدءاً من القيمة الاسمية. ويصبح معدل انخفاض الضغط ٢,٢ بار في الثانية. أما معدل تدفق المبرّد خلال ٢٠ ثانية من بداية التسرب فينخفض إلى ٥٠٪ من القيمة الاسمية(٢).

وفي حالة انقطاع واحد من خطوط البخار الستة الرئيسية عند مخرج المفاعل، تحدث زيادة فجائية في معدل تدفق المبرّد يتبعها انخفاض سريع في الزمن. وحتى في هذه الحالة،تصبح نسبة تدفق المبرّد بأمان خلال ٢٠ ثانية ٥٠٪ من القيمة الاسمية. ورغم ذلك ففي حالة دراسة حادث طارىء، يتبين أن الضغط ينخفض بدرجة كبيرة ما بين غرفتي المفاعل العليا والسفلى. ويمكن لهذا الانخفاض في الضغط أن يؤدى إلى تشويه وتدمير لعناصر المفاعل الهيكلية، بالإضافة إلى انضغاط عناصر الوقود الذي يسببه التواء غلاف مجموعة الوقود.

واستبعاداً للظواهر المذكورة أعلاه في خط أنابيب البخار عند مخرج المفاعل، يستصوب تركيب أجهزة لتقييد معدل التدفق. ويبين الشكل ٥ الارتباط الزمني بين بيانات تدفق المبرّد خلال قلب المفاعل وتركيب أجهزة تقييد معدل التدفق. وكما يظهر من البيانات، فإن المعدل المبدئى لتدفق المبرّد من خلال قلب المفاعل ينخفض كثيراً ويعقبه تناقص أكثر تدرجاً في الزمن.

وحالات انقطاع خطوط أنابيب الدائرة الرئيسية عند مدخل المفاعل هي أشد الحالات خطورة، ويرجع ذلك إلى سرعة انخفاض معدل تدفق المبرّد في هذه الحالة من خلال قلب المفاعل مع ظهور سريانه في الاتجاه العكسي في نفس اللحظة تقريباً. و علاوة على ذلك، تحدث تذبذبات واسعة للضغط في المفاعل. وبغية منع السريان العكسي لمائع التبريد عبر المفاعل، يكون من الضروري زيادة عدد خطوط أنابيب التغذية. والمفروض أن يتوافر منها العدد الضروري بحيث لا يؤدي عطل في أحدها إلى سريان عكسي وإلى انخفاض غير مقبول في معدل التدفق.

وبذلك يمكن في حالات انقطاع خطوط أنابيب الدائرة الرئيسية أن يظل سريان المبرّد في الدائرة ثابتاً لفترة زمنية طويلة، بما يمكن معه اتخاذ تدابير لإيقاف المفاعل عن العمل وتوصيل أجهزة التبريد التي يلجأ إليها في حالات الطوارىء. ويوفر احتياطي المبرّد في الدائرة باستخدام دائرة حرارية دينامية تعمل بالغاز والسائل، بينما يؤدي الانخفاض الكبير بين الحد الأقصى والحد الأدنى للضغط في الدائرة إلى توليد قوى دافعة لتدفق المبرد بشكل طبيعي. ويصل معدل زيادة الضغط في دورة الغاز والسائل مع مبرد يتفكك إلى نحو ٧٠ بار عند انخفاض الضغط حتى ١٦٠ بار في محطات القوى النووية ذات المفاعلات السريعة. وتقل هذه القيم بدرجة كبيرة في حالة المبردات الأخرى والدوائر ذات الدارتين.

وهذه الجوانب المميزة تهيىء ظروفاً ملائمة لتدفق المبرّد بشكل طبيعي في حالة انقطاع التيار عن مضخة التوزيع الرئيسية وعن كل محطة القوى النووية.

ويبين الشكل ٦ طبيعة التغيرات في درجات الحرارة لمثل هذا الحادث. وما يبين هنا هو تغير درجة حرارة المبرّد عند مدخل المفاعل والتغيرات في درجات حرارة الوقود والغلاف. وتهبط درجة حرارة المبرّد عند مدخل المفاعل بسبب انخفاض الضغط في جزء الدائرة الواقع بين المضخات والمفاعل وبسبب الانخفاض الحاد في سخونة قالب مولد التجديد فهذا يؤدي إلى خفض معدل التدفق على جانب التسخين. وفي أول الأمر، تنخفض درجة حرارة الوقود والغلاف بحدة نتيجة لزيادة معدل التدفق وبعدئذ تبدأ في الارتفاع.

ويتبين من تحليل الحالات الطارئة في المفاعلات التي تبرّد بالغاز أن من الضروري الحرص على استمرارية سريان المبرّد في قلب المفاعل تحت كل ظروف الحوادث.

وفي هذا الصدد، ينبغي لنظام تبريد الطوارىء (ECS) أن يفي بالمتطلبات الرئيسية التالية:

* المحافظة على استمرارية سريان المبرّد عند الانتقال إلى التبريد بنظام تبريد الطوارىء؛
* إزالة الحرارة المتبقية والتبريد حتى المعدلات المسموح بها؛
* تحديد موقع النواتج الانشطارية في حالة تسرب عناصر الوقود.

ويبين الشكل ٧ الرسم البياني لنظام تبريد الطوارىء، الذي يلبي المتطلبات الواردة أعلاه. فأثناء تشغيل معتاد لمحطة قوى نووية، يتم تسخين النظام ويظل في حالة استعداد. وفي حالة الطوارىء، يفتح صمام التشغيل السريع "٥" بإشارة الحماية في حالة الطوارىء ويغلق صماما الإيقاف "٩،٢" لإغلاق الدائرة الرئيسية. ويتدفق المبرد المتراكم في مولد التجديد–المبخر "٤" من خلال المفاعل "١" بسبب الفارق في درجات الضغط وينساب عبر الصمام "٥" إلى الدائرة الرئيسية ذات الضغط الأقل، إلى المكثف مثلاً. وبالمثل، يكفل الحفاظ على استمرارية سريان المبرّد في المفاعل عند لحظة الانتقال إلى التبريد بواسطة نظام تبريد الطوارىء (ECS) وأثناء التدفق السلبي للمبرد، تبدأ المضخة "٧" عملها، ويجري تشغيل المكثف "٦" ، وبعد ذلك يقفل الصمام "٥". ويتحول نظام التبريد إلى دورة غاز–سائل. ويسري المبرّد خلال دائرة مغلقة (مضخة – مولد تجديد – مضخة مكثفة). وعندما تهبط درجة حرارة مكونات المفاعل إلى القيم التي يستحيل عندها حدوث صدمات حرارية، يضغط المبرّد من خارج مولد التجديد–المبخر "٤" إلى الدائرة (غير موضحة بالشكل ٧) ويتم التبريد بالسريان الطبيعي في طور

سائل.

ويبين الشكل ٨ إمكانية تشغيل نظام تبريد الطوارىء عند ضغط يتجاوز الحد الحرج وبطاقة حرارية متبقية قدرها من ٥,٠ إلى ٥٪ (Nnom).

والقيود هي : ارتفاع درجة الحرارة إلى أقصاها، وارتفاع معدل تدفق المبرّد إلى الحد الأقصى بعد طرد الهواء، وإحماء المبرّد في مولد التجديد.

وقد فحصت معايير التحكم التالية في أسلوب التشغيل الممكن : ضغط ثابت للمبرد؛ درجة حرارة ثابتة للمبرد عند مخرج المفاعل؛ معدل تدفق ثابت للمبرد.

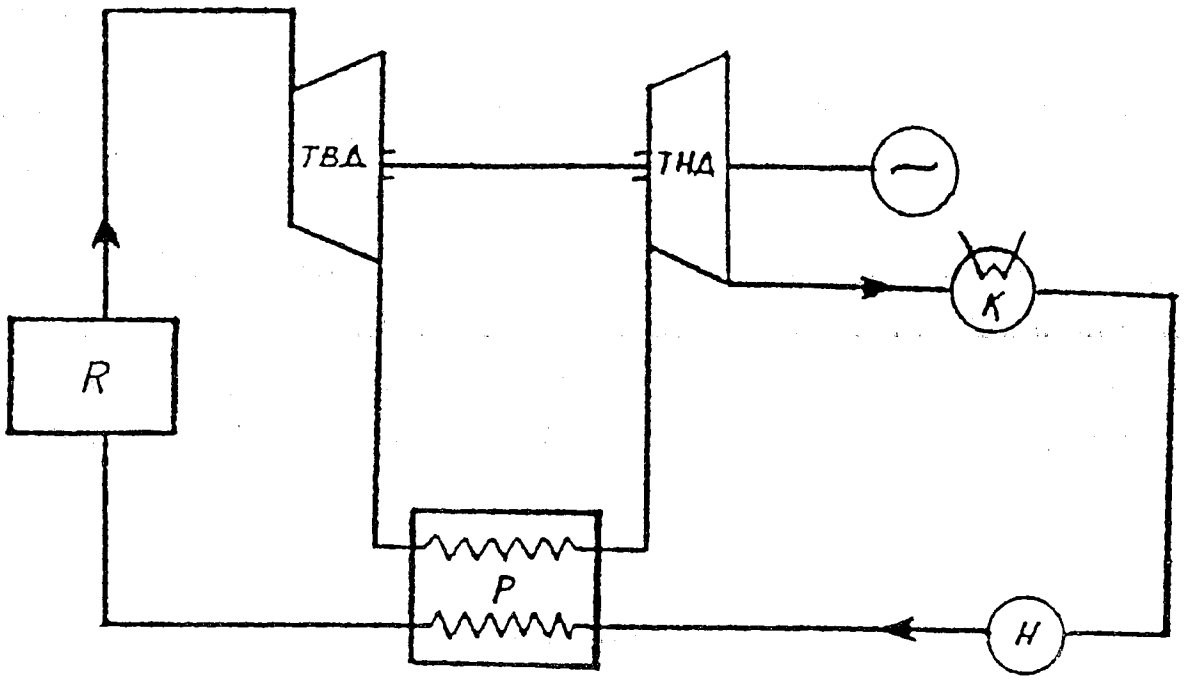
ويبين الشكل ٨ أيضاً التغير في البارامترات الرئيسية لنظام التبريد لتحقيق معايير التحكم المذكورة. ويتضح من البيانات أن أبسط أسلوب لمعيار التحكم هو الحفاظ على معدل تدفق ثابت للمبرد في الدائرة. ويمكن تصميم عملية التبريد بطريقة تجعل معدل تغير درجة حرارة مكونات المفاعل لايزيد على القيم المسموح بها ويمكن تشغيل نظام تبريد الطوارىء لفترة زمنية طويلة في دائرة الغاز والسائل دون حاجة إلى الانتقال إلى مبرد سائل.

المـراجـــع

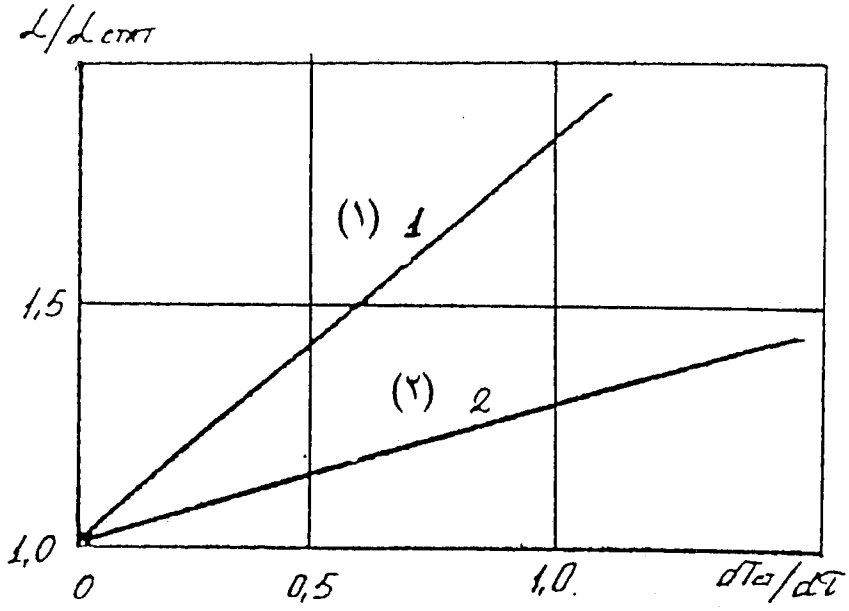
1. SHAROVAROV, G.A. Dynamics of nuclear power plants with dissociating coolant. - Minsk.: Nauka i tekhnika, 1980. - 238 pp.

2. SHAROVAROV, G.A., BERNATSKAYA, A.M., ZENICH, T.S., NICHIPOR, V.V. Dynamic characteristics of nuclear power plant equipment and emergency cooling systems. - Proceedings of Byelorussian SSR Academy of Sciences, physics and energy series, 1982, No. 3, pp. 43-47.

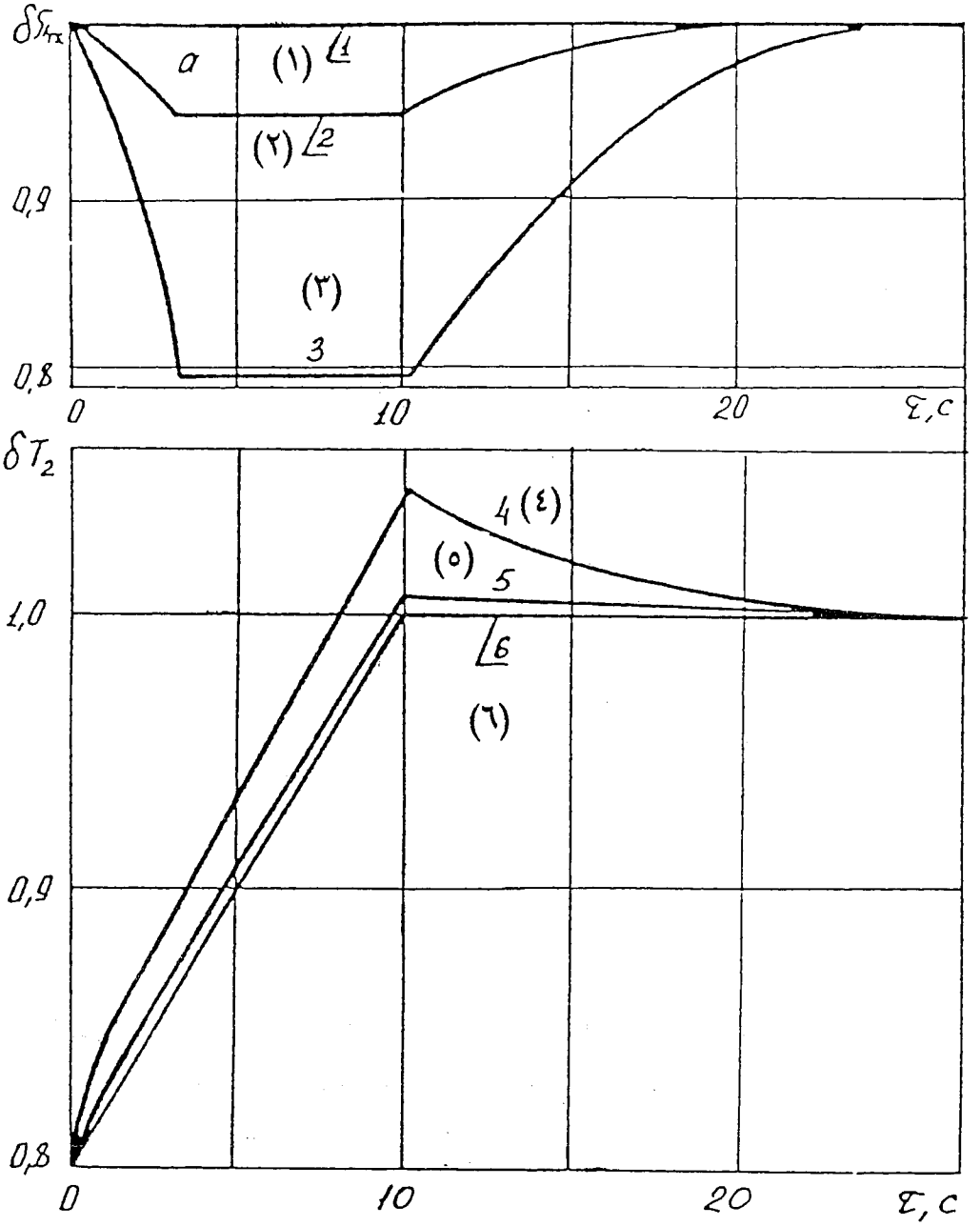
3. SHAROVAROV, G.A. The physics of non-steady-state processes in nuclear power plants. - Minsk.: Nauka i tekhnika, 1985. - 203 pp.



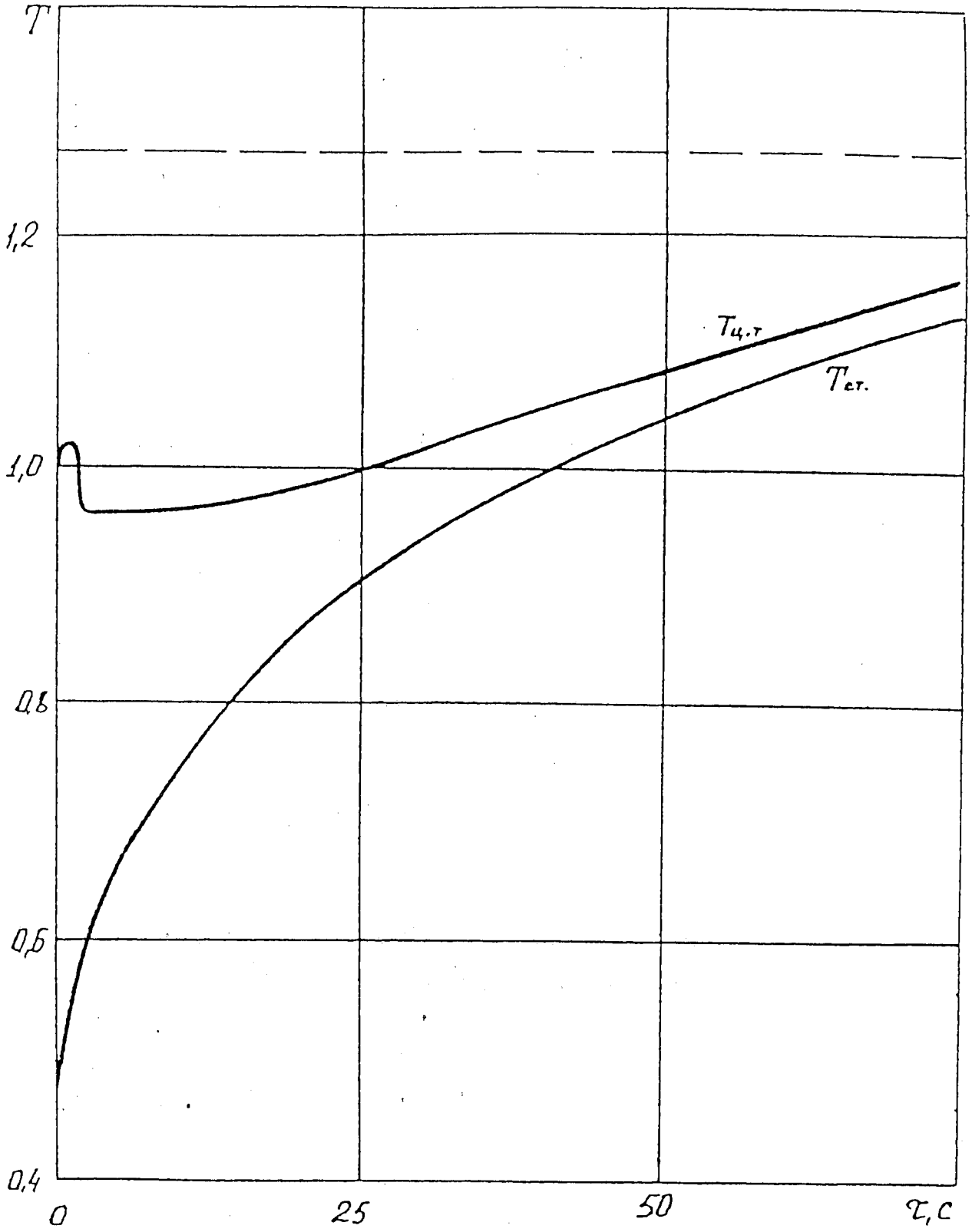
الشكل ١ التخطيط التكنولوجي لمحطة قوى نووية



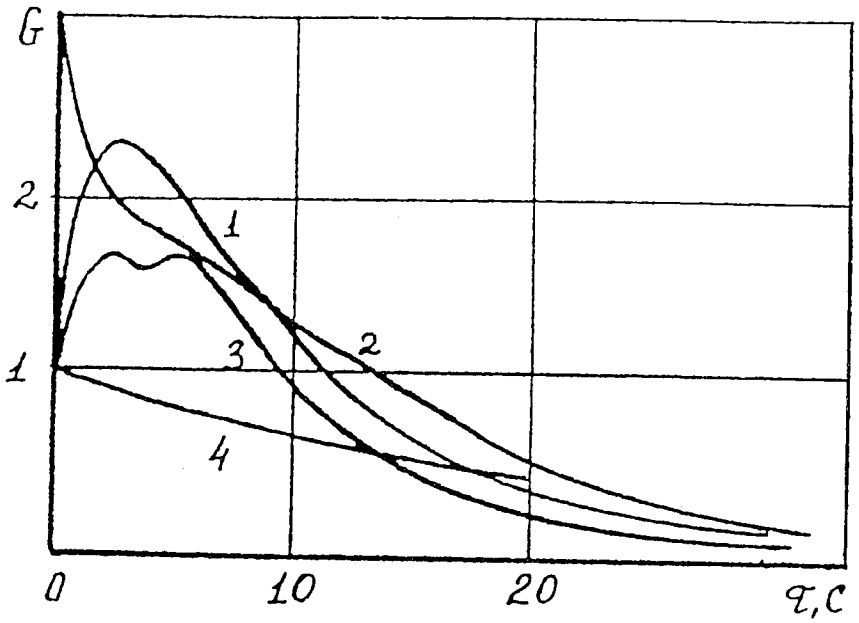
الشكل ٢ العلاقة بين معامل الانتقال الحراري غير الساكن
ومعدل تغير حرارة غلاف قضيب الوقود :
(١) غاز خامل، (٢) مبرد متفكك.



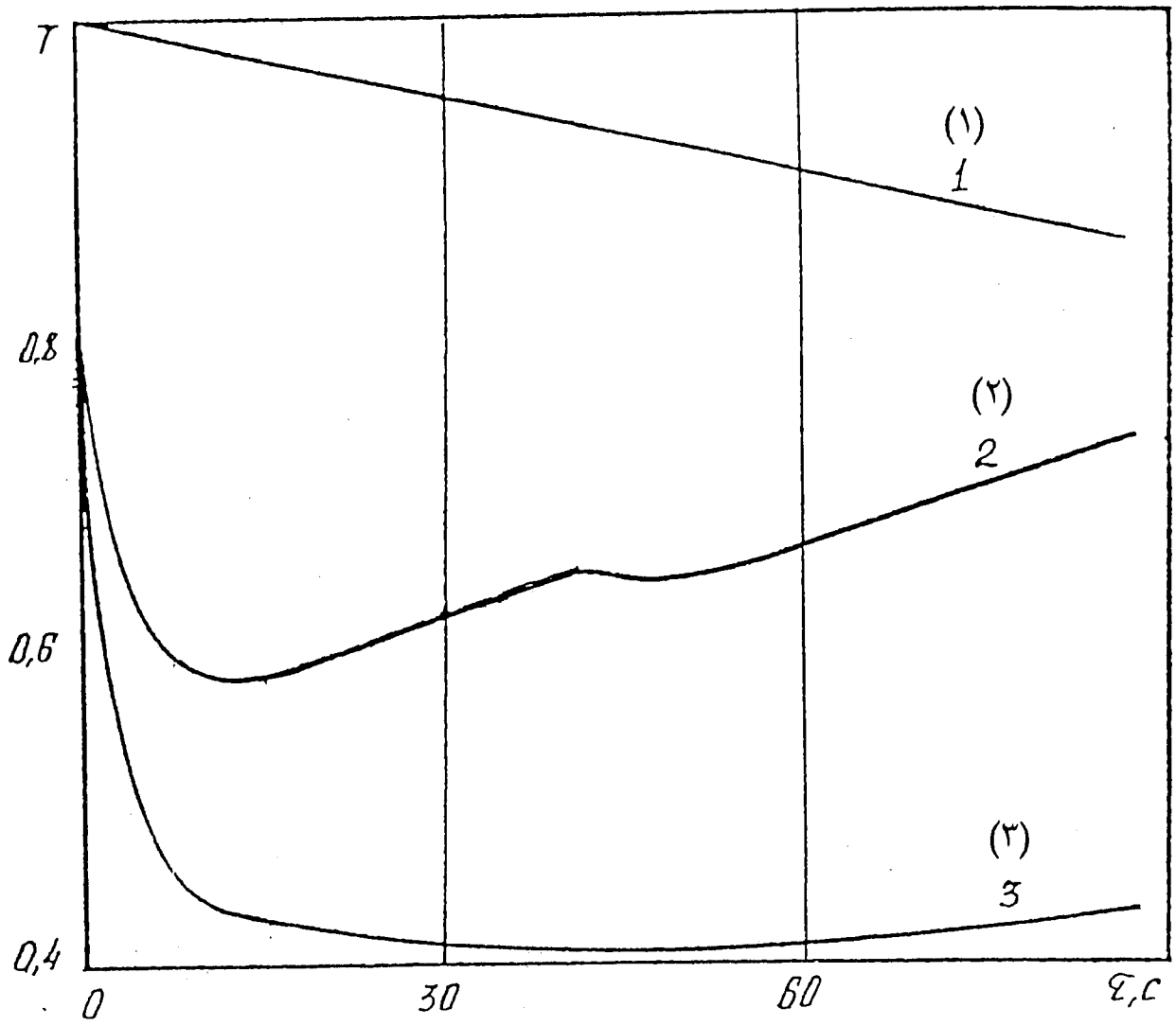
الشكل ٣ العلاقة بين معدل انخفاض الضغط الكلي النسبي (a)
والحرارة النسبية للمخرجات
والتغير الخطي فى حرارة المدخلات :
(١) : Z = ٦ ؛ (٢) و (٥) : Z = ٨ ؛
(٣) و (٤) : Z = ١٠ ؛ (٦) : وفقاً للعلاقات الإحصائية



الشكل ٤ التغير في درجة الحرارة في مركز الوقود وعند سطح الغلاف بعد توقف كامل لدورة المبرد.

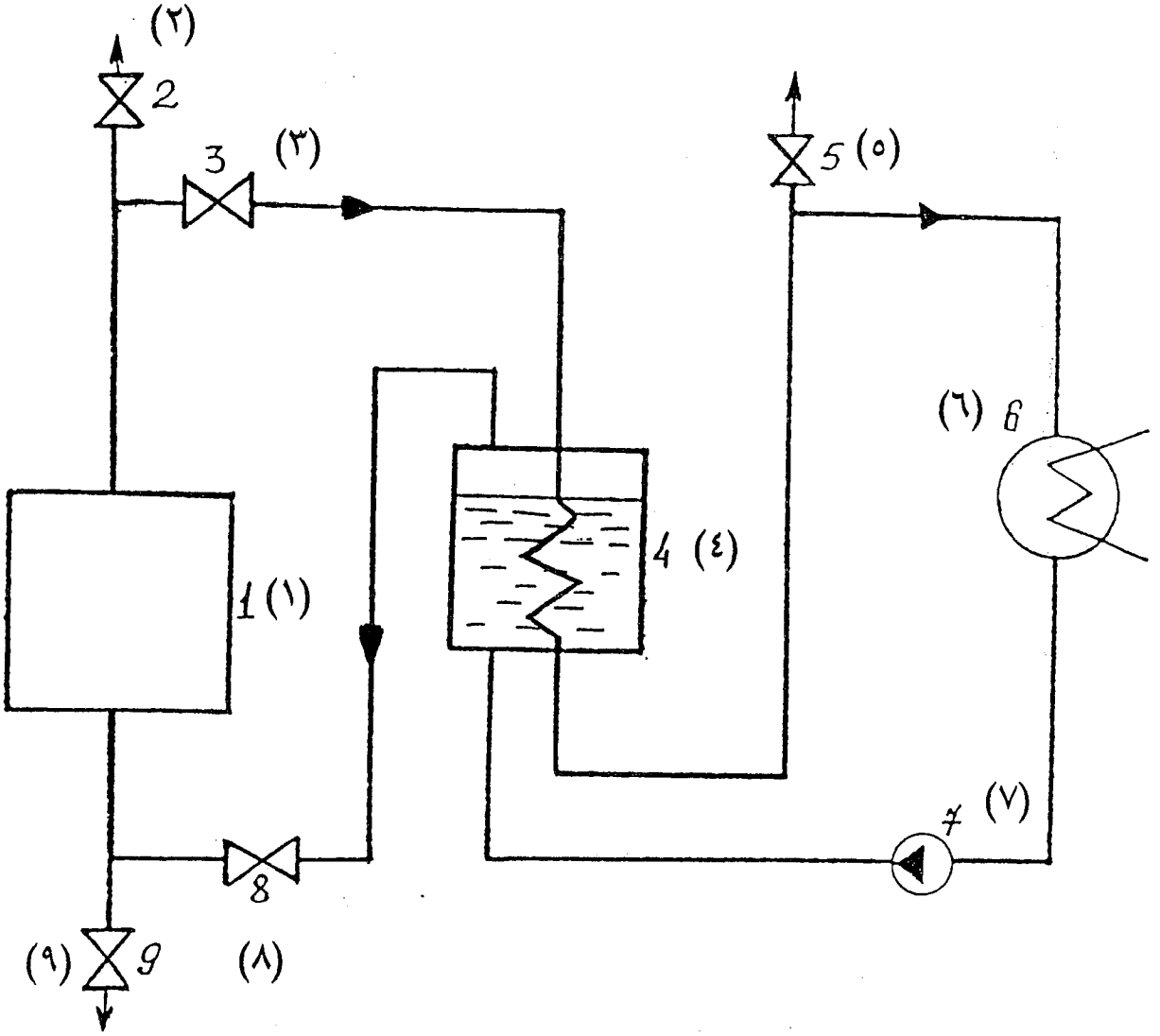


الشكل ٥ اعتماد معدل التدفق النسبي للمبرد على الزمن
في أعقاب انقطاع خط أنابيب مخرج المفاعل.



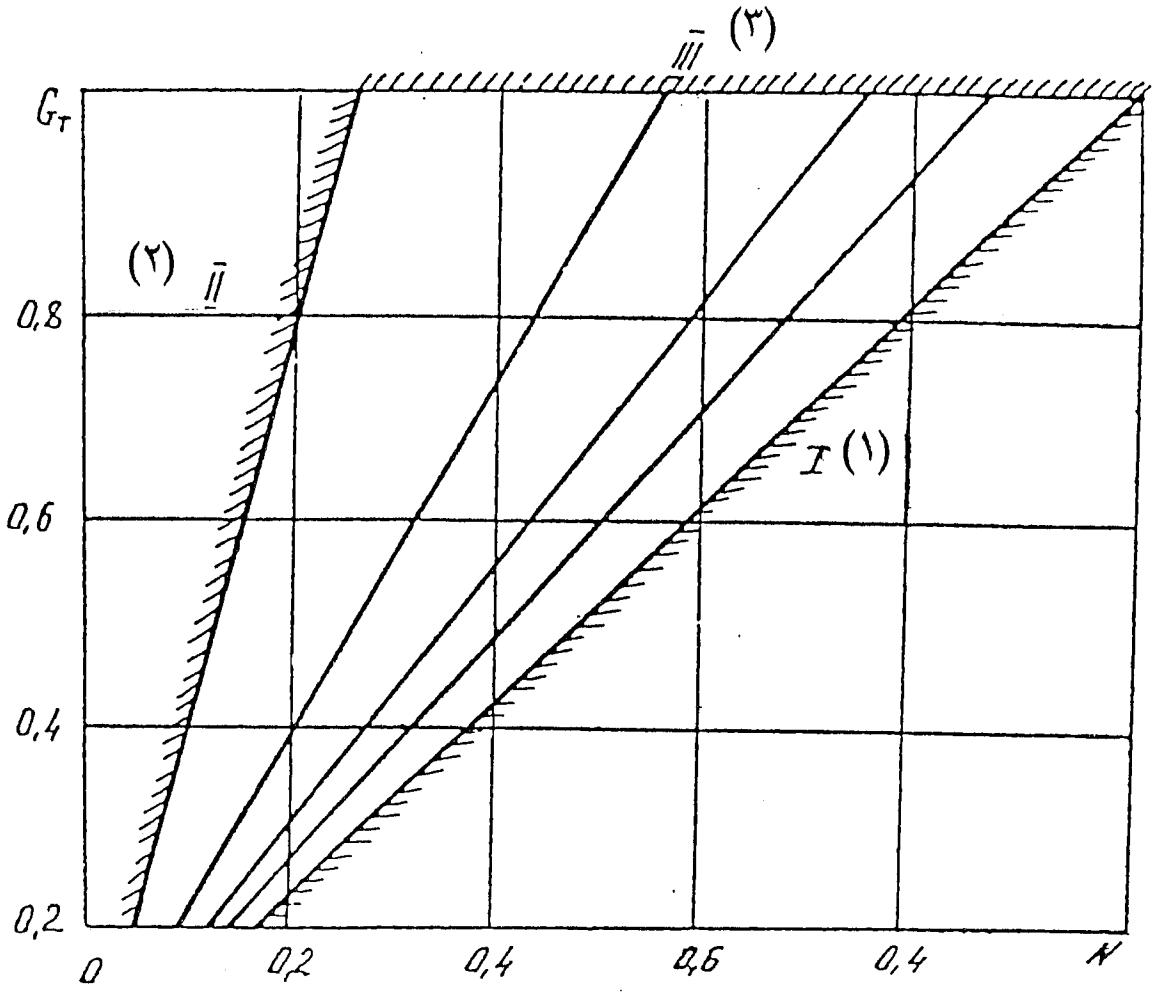
الشكل ٦ تغيرات درجات حرارة الغلاف والوقود والمبرد
عند مدخل المفاعل :

(١) – معدل التدفق في المفاعل في حالة عدم وجود جهاز تقييد لمعدل التدفق؛
(٢) – معدل التدفق في حالة التسرب في حالة عدم وجود جهاز تقييد لمعدل التدفق؛
(٣) – معدل التدفق في المفاعل في حالة انقطاع خط الأنابيب بعد التوربينات (العنفات)



الشكل ٧ الرسم التخطيطي لمراحل نظام تبريد الطوارىء :

(١) – المفاعل؛ (٢) ، (٩) – صمامات إيقاف الدائرة الرئيسية عن العمل؛
(٣) ، (٨) – صمامات إيقاف نظام التبريد عن العمل؛
(٤) – وحدة استرجاع – مبخر؛
(٥) – صمام تشغيل سريع؛ (٦) – مكثف؛ (٧) – مضخة.



الشكل ٨ أسلوب تشغيل ممكن لنظام التبريد في حالة الطوراي:

I – الحرارة القصوى للمبرّد في النظام؛

II – المعدل الأدنى لإحماء المبرّد؛

III – الضغط الثابت. ١– ٣ – الحرارة الثابتة للمبرّد،

١ – = ٠,٨٩٤ ؛ ٢ – ٠,٧٦١ ؛ ٣ – ٠,٦٢٨

Blank page

Page blanche

السلامة النووية في محطات القوى النووية الاسبانية

مجلس السلامة النووية (اسبانيا)

المحتويـــات

مقدمة

الإطار القانوني

عملية إصدار التراخيص لمحطات القوى النووية

وضع محطات القوى النووية وخصائصها

مستوى السلامة النووية لمحطات القوى النووية

١- مقدمـة

يضيف هذا التقرير، في ضوء القانون الذي نظم إنشاء مجلس السلامة النووية (٨٠/١٥) الصادر في ٢٢ نيسان/أبريل، واللوائح التي تنظم المرافق النووية و المرافق التي تحتوي على مصادر مشعة (المرسوم ٧٢/٢٨٦٩) الصادر في ٢١ تموز/ يوليه، الإطار القانوني وعملية إصدار التراخيص الخاصين بمحطات القوى النووية، بالإضافة إلى آليات مجلس السلامة النووية ومسؤولياته ووظائفه في تأمين تشييد محطات القوى المذكورة وتشغيلها بأمان.

والجانب الثاني الذي يتناوله هذا التقرير هو الوضع التقني والقانوني لمحطات القوى النووية الاسبانية المختلفة، مع وصف موجز للمرحلة التي بلغتها، ولأدائها أثناء التشغيل وعمليات إعادة التقييم التي أجريت لها كلما اقتضى الأمر ذلك.

٢- الإطـار القانونـي

يجري تنظيم الأنشطة النووية في اسبانيا من زاويتي العملية الإدارية والسلامة النووية ضمن إطار قانوني تحدده أربعة قوانين ومراسيم أساسية:

- القانون الذي ينظم الطاقة النووية (٦٤/٢٥) الصادر في ٢٩ نيسان/أبريل؛
- اللوائح التي تنظم المرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة: المرسوم ٧٢/٢٨٦٩ الصادر في ٢١ تموز/يوليه (RINR)؛
- قانون إنشاء مجلس السلامة النووية (٨٠/١٥) المؤرخ في ٢٢ نيسان/أبريل؛
- النظام الأساسي لمجلس السلامة النووية: المرسوم ٨٢/١١٥٧ الصادر في ٣٠ نيسان/أبريل.

وقد جعل قانون الطاقة النووية من وزارة الصناعة (حالياً وزارة الصناعة والطاقة) الجهة المسؤولة عن العملية الإدارية لإصدار تراخيص للمرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة. وفي ذلك الحين، كانت الهيئة الفنية المسؤولة عن التقييم هى مجلس السلامة النووية (JEN) التابع لوزارة الصناعة. ويدخل القانون الخاص بإنشاء مجلس الطاقة النووية تغييرات هامة على عملية إصدار التراخيص للمرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة، ومن بينها ما يلي:

- حدد القانون أن مجلس السلامة النووية منظمة مستقلة تابعة للإدارة المركزية للدولة؛
- يقع تحليل السلامة ضمن اختصاص مجلس السلامة النووية وحده وتقارير المجلس الخاصة بإصدار التراخيص إلزامية مع تخويل المجلس سلطة الرفض أو الموافقة المشروطة؛
- من الناحية الإدارية، تقع عملية إصدار التراخيص للمرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة، التي تنظمها اللوائح التي تنظم المرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة (RINR)، ضمن اختصاص وزارة الصناعة والطاقة، التي يتعين عليها أن ترسل إلى مجلس السلامة النووية طلباً بتقييم الأمور ذات الصلة بالسلامة.

٣- عملية إصدار التراخيص لمحطات القوى النووية

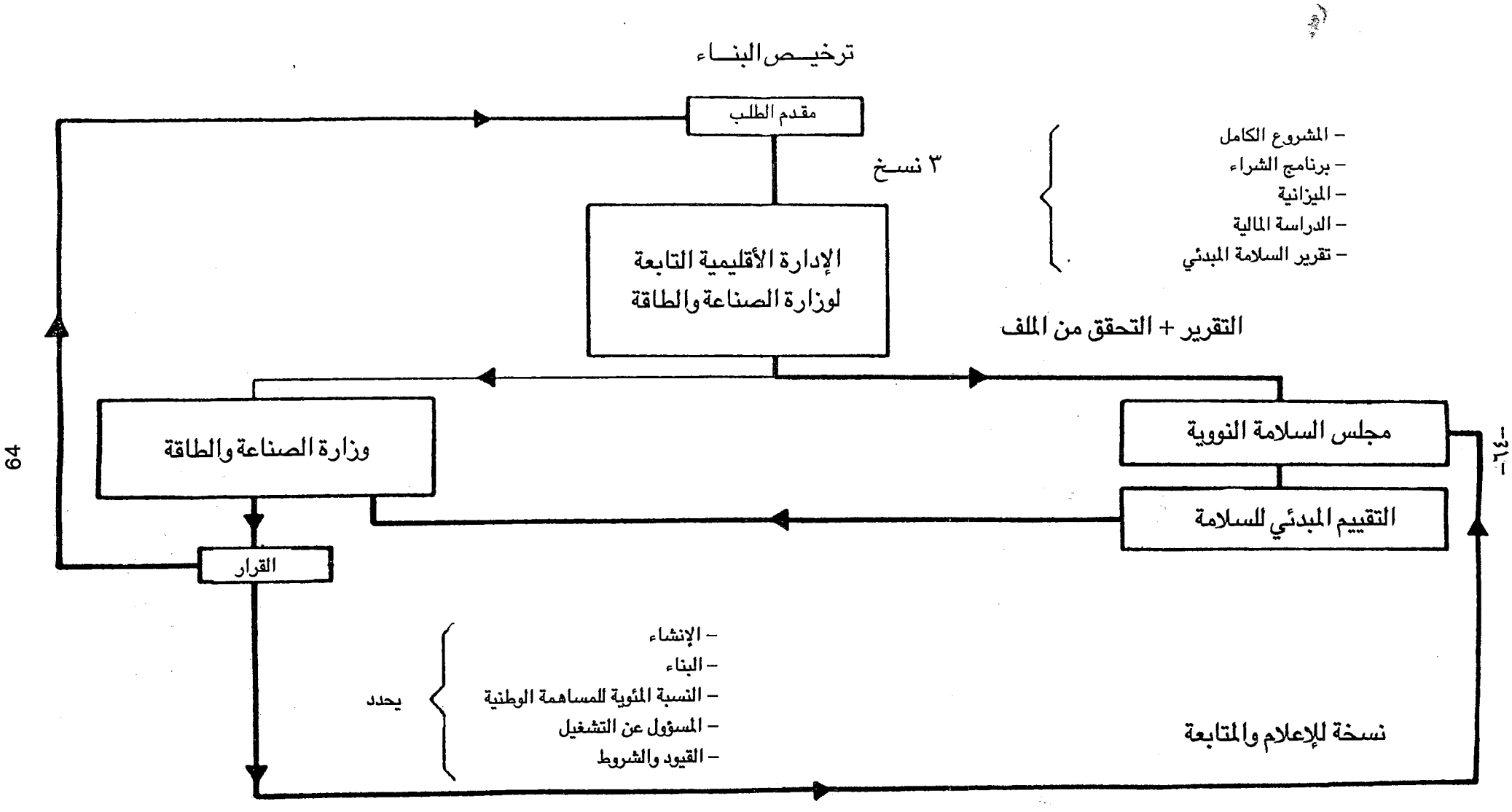
يرد في اللوائح التي تنظم المرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة، الصادرة في عام ١٩٧٢، والتي وصلت حالياً إلى مرحلة متقدمة للغاية من التنقيح، تعريف للعملية الإدارية المتعلقة باصدار التراخيص للمرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة. والصيغة الجديدة لتلك اللوائح، التي من المفروض أن تنشر في السنة الحالية، ستأخذ في الاعتبار توجيهات الجماعات الأوروبية والتشريعات الاسبانية الحديثة التي صدرت بشأن اعتماد تنظيم أنشطة الشركات التي تقدم خدمات ومساعدات تقنية، وتوحيدها قياسياً، وتغطيتها، مما يمكن أن يلجأ إليه مقدم الطلب لدعم طلب كل ترخيص.

ووفقاً للوائح التي تنظم المرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة (RINR) فإن التراخيص أو الأذونات المطلوبة لكل محطة قوى نووية هي كما يلي:

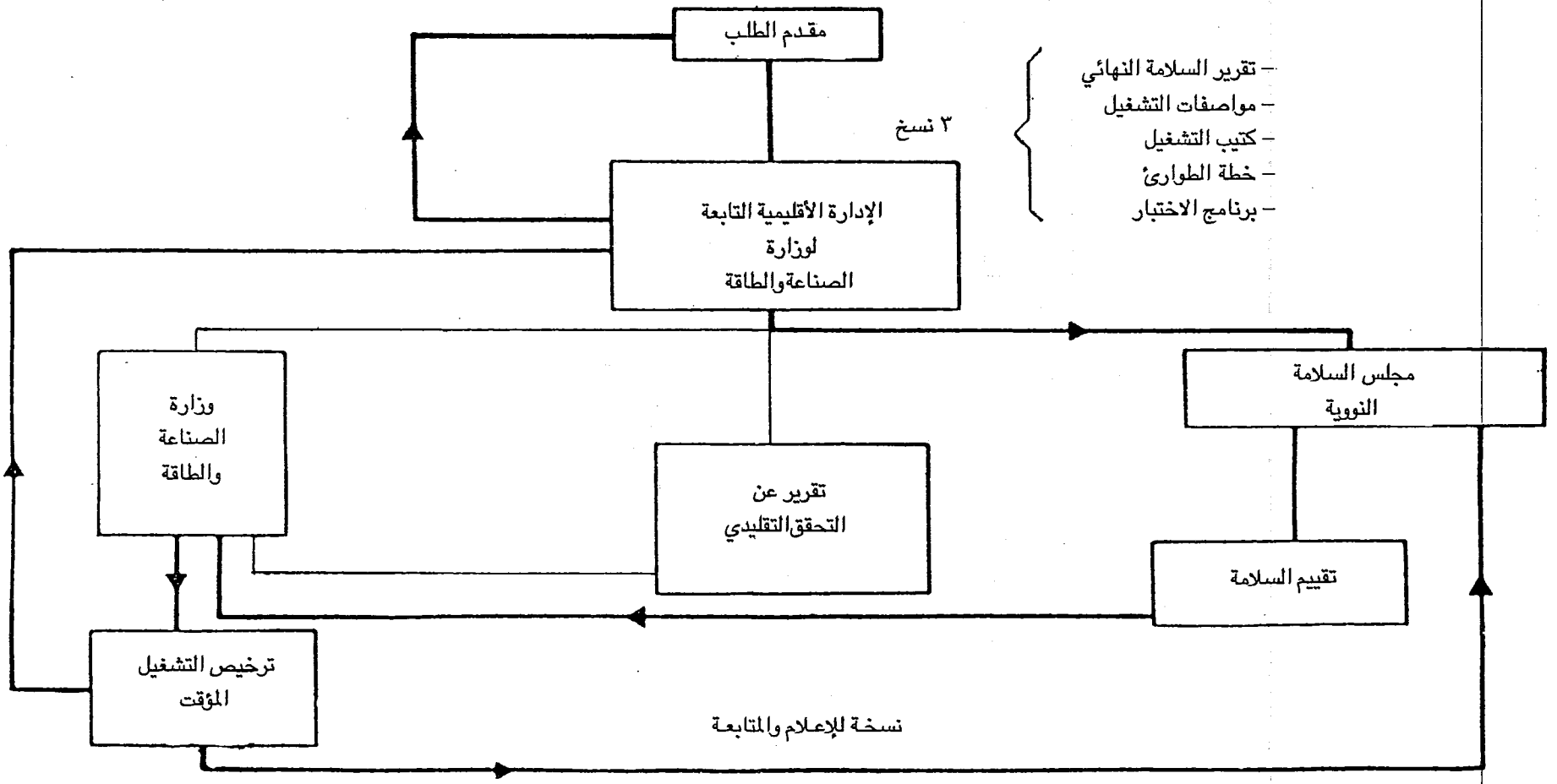
- الترخيص المبدئي؛
- التشييد؛
- التفتيش السابق للتشغيل؛
- التخزين المؤقت للمواد النووية؛
- التشغيل المؤقت أو بدء التشغيل؛
- التعديلات (عند الاقتضاء)؛
- التشغيل النهائي؛
- وقف التشغيل.

وفضلاً عن ذلك، وطبقاً للوائح التي تنظم المرافق النووية وتلك التي تحتوي على مصادر مشعة أيضاً، ينبغي استصدار ترخيص لصنع مكونات مختلفة لمحطة القوى النووية تتصل بسلامتها، كما يجب لموظفين معينين بالمحطة (المسؤولون عن النوبات والقائمون بتشغيل غرفة التحكم، وكذلك رئيس قسم الحماية من الإشعاعات) أن يحصلوا على الترخيص اللازم الذي يصدره مجلس الطاقة النووية (مجلس السلامة النووية حالياً).

ويمكن تلخيص العملية التي يجب اتباعها للحصول على مختلف التراخيص في شكل خرائط تسلسل الأعمال التالية:

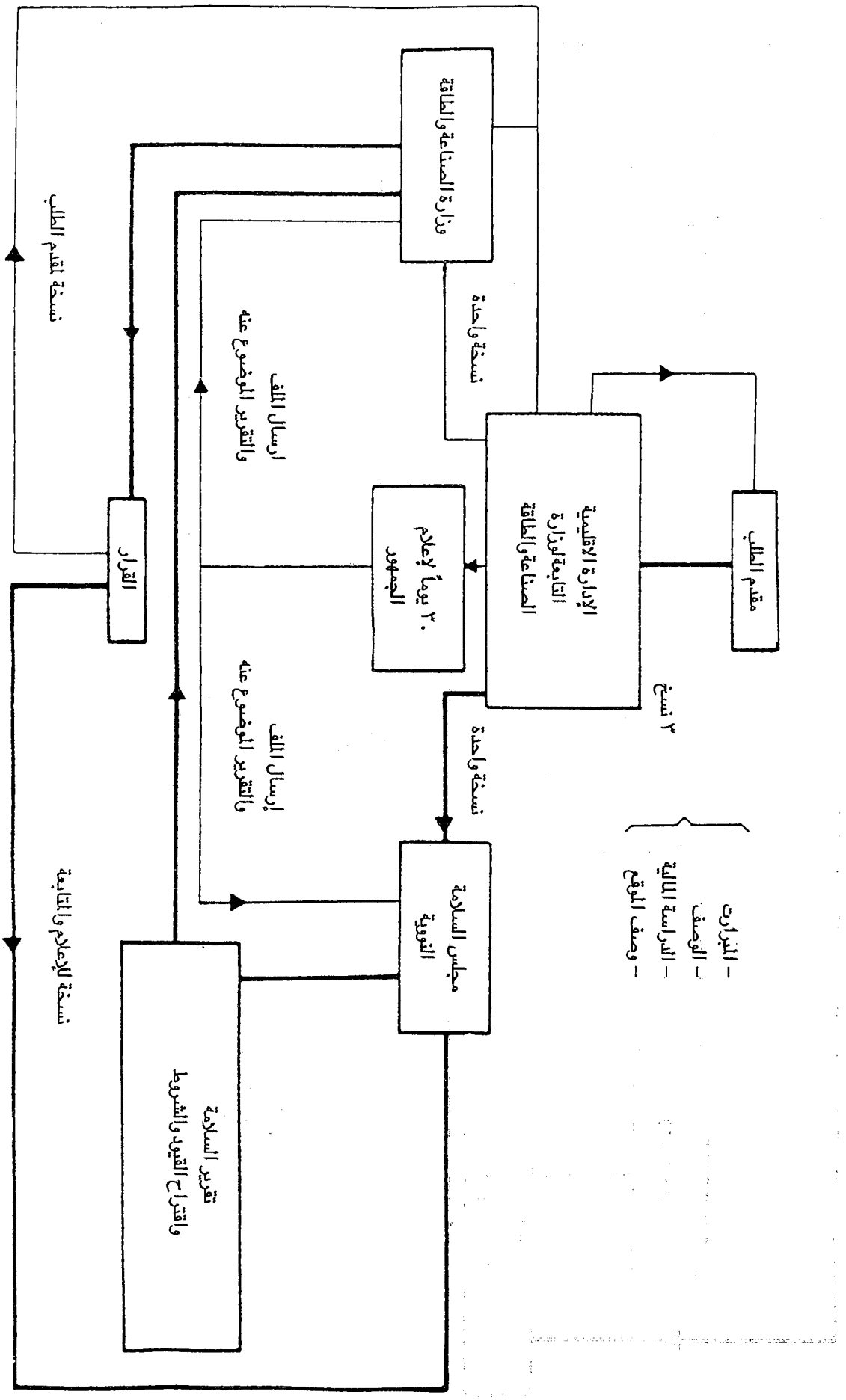

ترخيص البناء
مقدم الطلب
٣ نسخ
- المشروع الكامل
- برنامج الشراء
- الميزانية
- الدراسة المالية
- تقرير السلامة المبدئي
الإدارة الأقليمية التابعة
لوزارة الصناعة والطاقة
التقرير + التحقق من الملف
وزارة الصناعة والطاقة
مجلس السلامة النووية
التقييم المبدئي للسلامة
القرار
يحدد
- الإنشاء
- البناء
- النسبة المئوية للمساهمة الوطنية
- المسؤول عن التشغيل
- القيود والشروط
نسخة للإعلام والمتابعة

ترخيص التشغيل المؤقت
(المرافق النووية والمرافق التي تحتوي على مواد مشعة – الفئة الأولى)



ترخيص التشغيل

(المرافق النووية والمرافق التي تحتوي على مواد مشعة – الفئة الأولى)



٤- وضع محطات القوى النووية وخصائصها

تمثل مجموعة محطات القوى النووية التي دخلت حالياً مرحلة التشغيل أو البناء ثلاثة أجيال متميزة تدخل في إطار البرنامج النووي :

الجيل الأول :
محطات القوى التي وضعت خططها في الستينات، واكتمل بناؤها قبل نهاية هذا العقد أو في أوائل السبعينات. ويشمل هذا الجيل محطة "خوسيه كابريرا" التي بدأ تشغيلها في ١٩٦٩؛ ومحطة "سانتا ماريا دي غاروبا"، التي بدأ تشغيلها في عام ١٩٧١، ومحطة "فانديلوس الأولى" التي بدأ تشغيلها في عام ١٩٧٢.

الجيل الثاني :
محطات القوى التي وضعت خططها في السبعينات، وبدأ بناؤها في تلك الفترة نفسها وكان مزمعاً أن يتم تشغيلها قبل نهاية العقد. وأدت التأخيرات في البناء إلى عدم دخول المحطة الأولى حيز التشغيل التجاري حتى عام ١٩٨١. ويشمل هذا الجيل محطتي القوى النووية"ألماراز الأولى والثانية"، اللتين بدأ تشغيلهما في عامي ١٩٨١ و١٩٨٣ على التوالي، ومحطتي "أسكو الأولى والثانية"، اللتين بدأ تشغيلهما في عامي ١٩٨٢ و١٩٨٥، ومحطة "كوفرينتيس" التي بدأ تشغيلها في عام ١٩٨٤. وقد أوقف بناء وحدتي "ليمونيز الأولى والثانية"، اللتين تنتميان إلى هذا الجيل أيضاً.

الجيل الثالث :
وهو محطات القوى النووية التي رخص ببنائها بعد إقرار خطة الطاقة الوطنية في تموز/يوليه عام ١٩٧٩؛ وقد وضعت خططها في أواخر السبعينات وبدأ البناء في عام ١٩٧٩ ويشمل هذا الجيل محطتي "تريللو الأولى" و"فانديلوس الثانية"، اللتين يزمع البدء في تشغيلهما في وقت مبكر من عام ١٩٨٨، ومحطتي "فالديكا باريللوس الأولى والثانية" ومحطة "تريللو الثانية"، التي أوقف بناؤها.

ويبين الجدول المرفق الخصائص التقنية لمحطات القوى المذكورة.

اسم ونوعية المحطة	خوزية كابريرا (مفاعل ماء مضغوط)	س . م . غارونا (مفاعل ماء غالى)	فانديلوس الأولى (مفاعل مبرد بالغاز)	آيماراز أولى وثانية (مفاعل ماء مضغوط)	أسكو أولى وثانية (مفاعل ماء مضغوط)	كوفرينتيس (مفاعل ماء غالى)	ليمونيز أوليوثانية (مفاعل ماء مضغوط)	فالديكا أولى وثانية (مفاعل ماء غالى)	تريللو أولي وثانية (مفاعل ماء غالي)	فانديلوس الثانية (مفاعل ماء مضغوط)
القـــدرة										
– الحرارية (ميغاوات حرارى)	٥١٠	١٣٨٠	١٦٧٠	٢٦٩٦	٢٦٩٦	٢٨٩٤	٢٦٩٦	٢٨٩٤	٣٠١٠	٢٧٨٥
– الكهربائية الإجمالية (ميغاوات كهربائى)	١٦٠	٤٦٠	٥٠٠	٩٣٠	٩٣٠		٩٣٠		١٠٤١	٩٨٢
– الكهربائية الصافية (ميغاوات كهربائى)	١٥٣	٤٤٠	٤٨٠			٩٧٤		٩٧٤		٩٣٠
المفاعل										
– نوعية الوقود	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	يورانيوم طبيعى ثانى أكسيد كربون غرافيت	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط	ثاني أكسيد يورانيوم ماء مضغوط
– المبرد	ماء	ماء	١٩٠٠	٢٩٨,٨	٢٩٨,٨	٥٤٤	٢٩٨,٨	٥٤٤	٤٨٧,٨	٣٩٨,٨
– المهدئ	ماء	٤٧٧,٥	٣٦٢٠	١٢٩٩,٢	١٢٩٨	٢٠٩٠	١٢٩٨	٢٠٩٠	١١٠٣,٩	١٢١٧,٧
– القطر الداخلى للوعاء (سم)	٢٨٩	١٨٤٤,٧	٣٠,٤	١٧٤	١٧٣,٨	٨٧,٨٨	١٧٣,٨	٨٧,٨٨	١٧٢,٥	١٤٤,٧
– الارتفاع الداخلى الكلى للوعاء (سم)	٨٧٤	٨٧,٩	٢٢٠	٢٩١	٢٩١	٢١٥	٢٩١	٢١٥	٢٩٢	٢٩٠
– ضغط تصميم الوعاء (كلغم / سم٢)	١٧٥	١٨٣	٦١٠×٣٢,٧	٦١٠×٤٧,٦	٦١٠×٤٧,٦	٦١٠×٣٨,٣٣	٦١٠×٤٧,٦	٦١٠×٣٨,٣٣	٦١٠×٥٣,٧٨	٦١٠×٤٨,٧٦
– درجة حرارة المبرد عند مدخل الوعاء (درجة مئوية)	٢٨١	٦١٠×٢١,٧٧								
– معدل التدفق الإجمالى عبر قلب المفاعل (كلغم / ساعة)	٦١٠×١٧,٠٣									
قلب المفاعل والوقود										
– قطر قلب المفاعل (سم)	١٨٥,٨	٣٦٨,٢	١٢٧٠	٣٠٤	٣٠٤	٤٢٩,٥	٣٠٤	٤٢٩,٥	٣٤٥	٣٠٤
– مادة الوقود	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	أنبوب يورانيوم طبيعى	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم	كريات ثانى اكسيد يورانيوم
– عدد عناصر الوقود	٦٩	٤٠٠	٤٦٠٨٠(١)	١٥٧	١٥٧	٦٢٤	١٥٧	٦٢٤	١٧٧	١٥٧
– تركيب قضبان الوقود	١٤×١٤	٨×٨	(٢)٩٠٠	١٧×١٧	١٧×١٧	٨×٨	١٧×١٧	٨×٨	١٦×١٦	١٧×١٧
– طول الوقود النشط (سم)	٢٤٣	٣٦٨,٩	سبيكة سلسيم-زيركونيوم	٣٦٦,١	٣٦٦	٤٢٣	٣٦٦	٣٧٥,٩	٣٤٠	٣٦٢
– مادة الغلاف	سبيكة زيركونيوم – ٤	سبيكة زيركونيوم – ٢	٠,١٨	سبيكة زيركونيوم – ٤	سبيكة زيركونيوم – ٤	سبيكة زيركونيوم – ٢	سبيكة زيركونيوم – ٤	سبيكة زيركونيوم – ٢	سبيكة زيركونيوم – ٤	سبيكة زيركونيوم – ٤
– سمك الغلاف (سم)	٠,٠٦١٧	٠,٠٨١		٠,٠٥٦	٠,٠٥٧	٠,٠٨١	٠,٠٥٧	٠,٠٨٦	٠,٠٧٢٥	٠,٠٠٥١٧٥
– مادة القناة (مفاعلات الماء الغالي)		سبيكة زيركونيوم – ٤				سبيكة زيركونيوم – ٤		سبيكة زيركونيوم – ٤		
شروط تصميم قلب المفاعل										
– كثافة قدرة قلب المفاعل (كيلوات / لتر)	٧٨,٧	٤٠,٦	١,٠٤	١٠١,٢	١٠١,٢	٥٢,٤	١٠١,٢	٥٢,٤	٩٣	١٠٩,٢
– مسطح انتقال الحرارة (م٢)	٩٥١,٢	٣٦٠٠	٦٤ ٢١٢	٤٥١٥,١	٤٥١٥	٥٥١٥	٤٥١٥	٥٥١٥	٤٧٩٦	٤٥١٥,٨٧
– متوسط تدفق الحرارة (سعر حرارى / ساعة – م٢)	٣١٠×٤٢,٧	٣١٠×٧٤٤,٩		٦١٠×٥٠٠,٦	٦١٠×٥٠٠,٦	٦١٠×٤١٩,٤	٦١٠×٥٠٠,٦	٦١٠×٤٣٢,٧	٦١٠×٥٢٧,٩	٦١٠×٥١٤,٦
– أقصى تدفق الحرارة (سعر حرارى / ساعة – م٢)	٣١٠×٧٩,١	٣١٠×١٠٨٤,٦	٦١٠×٨٨٨	٦١×١١٦١,٤	٦١×١١٦١,٤١	٦١×٩٨٠,٩	٦١٠×٥٠٠,٦	٦١٠×٩٦٠,٢	٦١٠×١٤٠٩,٢	٦١٠×١١٩٤,٣
– الحد النسبى للقدرة الحرجة (حد الأمان الغليان)	١,٩٣	١,٠٦		١,٣٠	١,٣٠	١,٠٦	١,٣٠	١,٠٦	١,٣	١,٣
– متوسط عامل التفريغ للمبرد داخل عنصر الوقود أثناء الدورة (مفاعلات الماء الغالى)		٤٠٪						٤٣٪		
– أقصى معدل لتوليد الحرارة الخطية (وات / سم)	٥٣٥	٤٤٠		٤٠٠,٣	٦٢٩,٣	٤٢٩,٦	٦٢٩,٣	٤٢٩,٦	٥٨٢,١٤	٤١٣,٣٨
نظام التحكم										
– عدد قضبان التحكم	٢٧٢	٩٧	٧٢ رمادى + ٦٣ أسود	٤٨حزمة	٤٨حزمة	١٤٥	٤٨حزمة	١٤٥	٥٢حزمة	٤٨حزمة
– تشكيل قضبان التحكم	عنكبوتى	عنكبوتى	انبوبى – مزدوج	عنكبوتى	عنكبوتى	شكل صليب	عنكبوتى	شكل صليب	عنكبوتى	عنكبوتى
– شبكة مصبوبات قضبان التحكم	١٤×١٤	٣٦٥,٨	مركزى سداسى	٢٤ / حزمة	٢٤ / حزمة	١٩ انبوبا فى كل جناح	٢٤ / حزمة	١٩ انبوبا فى كل جناح	٢٠قضيباً	٢٤ / حزمة
– مادة قضبان التحكم	فشة ٨٠ – أنديم ١٥ – كاديوم ٥	كريد الباريوم ك ٢ با ٤	كريد الباريوم ك ٢ با ٤	فشة ٨٠ – انديم ١٥ – كاديوم	فشة ٨٠ – انديم ١٥ – كاديوم	كريد الباريوم ك ٢ با ٤	فشة ٨٠ – انديم ١٥ – كاديوم	كريد الباريوم ك ٢ با ٤	فشة ٨٠ – انديم ١٥ – كاديوم ٥	فشة ٨٠ – انديم ١٥ – كاديوم
– نوعية المحرك	مغناطيس	مائى	كهربائى	مغناطيسى	مغناطيسى	مائى	مغناطيسى	مائى	مغناطيس	مغناطيسى
– نظام مراقبة قدرة المفاعل	سم قابل للاحتراق	بالتغير في معدل أعادة التوزيع وقضبان التحكم	قضبان التحكم والتغير من تركيز المبرد	قضبان سم قابل للاحتراء	قضبان سم قابل للاحتراء	قضبان تحكم ، تدفق	قضبان سم قابل للاحتراء	قضبان تحكم ، تدفق	قضبان تحكم	قضبان سم قابل للاحتراء
دوائر تدفق المبرد الأولى										
– النوع	أنشولة مغلقة	مضخات أعادة توزيع ونفث	مروحة توربينية مع مبادل	انشولة مغلقة	انشولة مغلقة	مضخات اعادة توزيع ونفث	انشولة مغلقة	مضخات اعادة توزيع ونفث	انشولة مغلقة	انشولة مغلقة
– وضع الدوائر	داخل غرفة الاحتواء	البئر الجاف	حرارى داخل غرفة الاحتواء	داخل الاحتواء فى درجة ١٢٠ م	داخل الاحتواء فى درجة ١٢٠ م	البئر الجاف	داخل الاحتواء فى درجة ١٢٠ م	البئر الجاف	داخل الاحتواء فى درجة ١٢٠ م	داخل الاحتواء فى درجة ١٢٠ م
– عدد الدوائر	١	٢	١	٣	٣	٢	٣	٢	٣	٣
– قطر الأنابيب (سم)	٦٩,٨	٦١		٦١,٨٥	٦١,٨	٥٠,٨	٦٦,٨	٥٠,٨	٧٥	٨٦,٣٦
– سعة المضخة (م٣ / دقيقة لكل وحدة)	٢٩٥,٢	١٢١,١	٢٢٧٠	٣٥٦	٣٥٦	١٢٤,٦	٣٥٦	١٢٤,٦	٤٢٨	
– عدد مضخات النفث (مفاعلات الماء الغالى)		٢٠				٢٠		٢٠		
– موقع مضخات النفث (مفاعلات الماء الغالى)		داخل غرفة الاحتواء				داخل غرفة الاحتواء		داخل غرفة الاحتواء		
– ضغط مضخات النفث (مفاعلات الماء الغالى) (كلغم / سم٢)		٧٠,٣								

اسم ونوعية المحطة	خوزية كابريرا (مفاعل ماء مضغوط)	س . م . غارونا (مفاعل ماء غالي)	فانديلوس الأولى (مفاعل مبرد بالغاز)	أيماراز أولى وثانية (مفاعل ماء مضغوط)	آسكو أولى وثانية (مفاعل ماء مضغوط)	كوفرينتيس (مفاعل ماء غالي)	ليمونيز أولى وثانية (مفاعل ماء مضغوط)	فالديكا أولى وثانية (مفاعل ماء غالي)	تريللو أولي وثانية (مفاعل ماء مضغوط)	فانديلوس الثانية (مفاعل ماء مضغوط)
مولدات البخار			مبادل أنبوب واحد في لوحات رأسية	أنابيب رأسية	أنابيب رأسية		أنابيب رأسية		أنابيب رأسية	أنابيب رأسية
* النوع	حرف U			حرف U	حرف U		حرف U		حرف U	حرف U
* العدد	١		١	٣	٣		٣		٣	٣
* معدل تدفق البخار للوحدة (كلغم / ثانية)	٣٦٨		٦٠٤,٤	٥٠٠	٥٠٠		٥٠٠		٥٥٠	٥١٢,٩
* مسطح انتقال الحراره (م٢)	٣٠٧ ٢		١٣٢ ٨٣٣	٤٤٥٩٣	٤٤٥٩٢		٤٤٥٩٢		٥٣٨٦	٤٤٨٧
* درجة حراره مدخل المياه (درجة مئوية) (أولية)	٣١٦		٨٧,٧(٢)	٣٤٣	٣٤٣		٣٤٣		٣٢٥,٧	٣٢١,٨٩
* درجة حرارة مخرج البخار (درجة مئوية)	٢٥٩		٢٨٨,٨	٢٨٤,٢	٢٨٤		٢٨٤		٢٨٤,٥	٢٨٢,٢٢
نظام أجهزة قياس محطة القوى										
* موقع نظام الكشف عن النيوترونات	في الخارج	داخل قلب المفاعل	أجهزة الكشف خلف غلاف مانع التسرب	في الخارج	في الخارج	داخل قلب المفاعل	في الخارج	داخل قلب المفاعل	في الخارج	في الخارج
* نطاقات أجهزة القياس النووية (فوق القدرة العيارية)										
** مدى بدء التشغيل	٤ ×١٠-٢ ٤ ×١٠*	المصدر حتى ٠,٠١ ٪	خيناكيلوات-١٢ ميغاوات	١٠-١ ×١٠*	١٠-١ -١٠*	خرج درجة الحرج	١٠-١ -١٠*	خرج درجة الحرج	٥,١٠-٣-٤ ١٠	١٠-١ -١٠*
** المدى المتوسط	٢٥٠-٢.٥ ×١٠ ١٠	٠,٠٠٠١ ٪-١٠ ٪	١٢-٣٠٠ ميغاوات	٢١٠ ×١٠ ١٠*	٢١٠ -١٠ ١٠*	درجة الحرج - ١٠ ٪ من القدرة	٢١٠-١٠ ١٠*	درجة الحرج - ١٠ ٪ من القدرة	٢١٠-٣١٠ ١٠	٥ ×٢١٠ -١١ ١٠*
** مدى انتاج القدرة	٢٥٠٠-٢.٥ ×١٠ ١٠	١-١٢٥ ٪	١٠٠-١٨٠٠ ميغاوات	٧١٠ ×١٠ ١٠*	٧١٠ ×١٠ ١٠*	١-١٢٥ ٪ من القدرة	٧١٠-١٠ ١٠*	١-١٢٥ ٪ من القدرة	٧٥,١٠-٧١٠ ١٠	٥ ×٧١٠ -١١ ١٠*
نظام حماية المفاعل										
* عدد القنوات (مجموعة الإشارات)	٤	٤ (٢ × لو)	٢	٣,٢ أو ٤	٣,٢ أو ٤	٤ (٢ معيارى)	٣,٢ أو ٤	٤ (٢ معيارى)	٣,٢ أو ٤	٣,٢ أو ٤
* عدد القنوات التى تتطلبها حالات الطوارئ	٢	٢ (١ × لو)	٢ من ٣	١ من ٢,٢ من ٢,٣ من ٤	١ من ٢,٢ من ٢,٣ من ٤	٢ (١ معيارى)	١ من ٢,٢ من ٢,٣ من ٤	٢ (١ معيارى)	١ من ٢,٢ من ٤	١ من ٢,٢ من ٢,٣ من ٤
* عدد قنوات وظائف الحماية الأخرى	٢ - ٦	٢	٢ من ٣	١ من ٢,٢ من ٣ أو ٢ من ٤	١ من ٢,٢ من ٣ أو ٢ من ٤	٤	١ من ٢,٢ من ٣ أو ٢ من ٤	٤	٤	٣,٢ أو ٤
* عدد أجهزة الاستشعار لكل متغير قيد المراقبة فى كل قناة	٢ - ٦	٢	٢ من ٣	١ لكل قناة	١ لكل قناة	٢,١، أو ٤	١ لكل قناة	٢,١، أو ٤	١ لكل قناة	١ لكل قناة
* أسلوب منع رفع قضبان التحكم بطريق الخطا	بالأغلاق	بالإغلاق الآلي (RBM)	بالاغلاق	بالأغلاق الآلي أواليدوي	بالأغلاق الآلى واليدوي		بالأغلاق الآلى واليدوى		بالأغلاق الآلى	بالأغلاق الآلى
الاحتـــــواء										
(أولـــى ، وثانـــوى)	أولى	أولى وثانوي	وعاء	أولى	أولى	أولى وثانوي	أولى	أولى وثانوي	أولى	أولى
* الاحتواء الأولى	بالمبنى	بئر جافة ورطبة	وعاء	بالمبنى	بالمبنى	ابار جافة ورطبة وإحتواء	بالمبنى	ابار جافة ورطبة وإحتواء	بالمبنى	بالمبنى
** ضغط تصميم البئر الجاف (مفاعلات الماء الغالي)		٦٢				٣٠		٣٠		
** ضغط تصميم البئر الرطب (مفاعلات الماء الغالي)		٦٢				١٥		١٥		
** ضغط مبنى الاحتواء (مفاعلات الماء المضغوط)	٣٢			٥٠	٥٤		٥٥		٧٦,٨	
** معدل التسرب فى تصميم الاحتواء الأولى	٠,١/d ٪	٠,٥/d ٪		١-٠,١ ٪/ ٢-٠,١٥ ٪	٠,١٠ ٪ ٦,٥ مم (٠,٢٦ بوصة)	٠,٥ ٪	٠,١٠ ٪	٠,٤ ٪	٠,٢٥ ٪	٠,٦٢٥
** تخانة صلب الاحتواء الأولى (بالبوصة)	٠,٢٥	٢-٥/٨		٠,٢٩٣	٠,٣٦	١,٥	٠,٣٠٢	١,٥	١,٠٨	١١٥ أسطوانة
** تخانة خرسانة الاحتواء الأولى (بالسنتيمتر) (سم)	٩١,٥		١٠ (غلاف مانع للتسرب) جدران ٤٢٥ أرضية وسقف ٥٠٠	١٤٠ أسطوانة ٧٥ قبة لوح خرسانى ٣٥٠	١٥٠ أسطوانة ١٠٠ قبة لوح خرسانى ٢٧٥	٢٢٧ (فى الجزء السفلى فقط)	١١٤ أسطوانة ١٠١ قبة لوح خرسانى ٥٢٣			٩٥ قبة لوح خرسانى ٣٠٠

(١) اسطوانة يورانيوم طبيعي تحتوي على غرافيت
(٢) طول ١٥ عنصراً مستنداً (مخروطياً)
(٣) المياه لإنتاج البخار (ثانوي)

(*) نيوترونات
سم٢ × ثانية

٥- السلامــة في محطات القوى النوويــة

ان تطوير مقتضيات السلامة، الذي لم يتوقف أبداً، هو نتيجة للتقييم والاستنباط المستمر للمعايير والإجراءات التي تستخدم لتأمين التشغيل المأمون لمحطات القوى النووية. وقد تم تحديد ما تدعو الحاجة إليه لتحسين مستوى السلامة في أي مرفق نووي على أساس نتائج مستمدة مما يلي:

- بحوث السلامة النووية؛
- الخبرة العملية في كل من المرافق المحلية والأجنبية؛
- تقييم المرافق من حيث المعايير الحالية التي تطبقها البلدان المتقدمة؛
- تقييم المرافق على أساس استخدام تقنيات جديدة توفر وجهات نظر مختلفة فيما يتعلق بالسلامة في أي مرفق.

وتجدر الإشارة إلى أن مجلس السلامة النووية يتابع الأنشطة التي تجري في المجالات الأربعة المذكورة أعلاه، وذلك بالمشاركة في برامج البحوث الدولية*وفي تشجيع إجراء بحوث على الصعيد الوطني، والتعاون مع الهيئات التي تقوم بتحليل الأحداث التي تقع في محطات القوى في الخارج وتحليل الأحداث في المرافق الاسبانية، وتقييم المرافق التي جرى تشغيلها سنوات عديدة من حيث المعايير المطبقة حالياً في البلدان المتقدمة، واستخدام وسائل مثل تحليل السلامة على أساس الاحتمالات.

وينبغي في هذا الصدد الإشارة إلى أن بعضاً من أهم التغييرات التي حدثت في محطات القوى النووية الاسبانية قد نتجت عن أنشطة تشمل تقييم المرافق من حيث معايير السلامة النووية الحالية (مثل التعديلات العامة في محطة خوسيه كابريرا)، وتجربتنا الذاتية في التشغيل (استبدال نظام إعادة التوزيع في محطة سانتا ماريا دي غارونا)، واستخدام تقنيات جديدة مثل تحليل السلامة على أساس الاحتمالات.

وما من شك في أن أحد المصادر بالغة الأهمية للتعلم وتحسين الأمور هو الخبرة المحلية والأجنبية في التشغيل، التي لا تكتسب وحسب من الأحداث التي كان لها تأثير هائل على الرأي العام، وإنما أيضاً من الأحداث التي كان تأثيرها ضئيلاً أو منعدماً ولكنها تبرز مشاكل السلامة التي لم تبحث من قبل.

وتقتضي خصائص تشغيل محطات القوى النووية أن يتم إبلاغ مجلس السلامة النووية بأي أحداث تقع، حتى لا يكون المسؤول عن التشغيل وحده قادراً على تحليل العواقب المترتبة عليها وإنما أيضاً حتى يستطيع مجلس السلامة النووية أن يعيد النظر في أهم تلك الاحداث.

---

* فيما يلي بعض البرامج الدولية التي يشارك فيها مجلس السلامة النووية :
PISC- برنامج التفتيش على المكونات المصنوعة من الصلب
IPIRG - فريق البحوث الدولي المعني بسلامة الأنابيب
LACE - تجارب احتواء الهباء الجوي في مفاعلات الماء الخفيف
LOFT- اختبار فقدان السائل

ومجلس السلامة النووية عضو في منظمات دولية مثل نظام الإبلاغ عن الحوادث (IRS) التابع لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA). وبالإضافة إلى ذلك، وقّع المجلس اتفاقيات تعاون، ويحتفظ بعلاقات وثيقة مع هيئات في بلدان أخرى تضطلع بنفس المهام والمسؤوليات.

ويشارك القائمون بتشغيل محطات القوى النووية الاسبانية في أعمال منظمات مثل المعهد الأمريكي لعمليات القوى النووية (INPO)، مما يسمح بتبادل خبرات محددة بين محطات القوى في بلدان مختلفة. كما يجري تبادل للخبرات من خلال منظمات مثل الاتحاد الدولي لمنتجي وموزعي الطاقة الكهربائية (UNI PEDE) وفي شكل اتصالات مباشرة بين المؤسسات.

وفضلاً عن تحليل خبرة التشغيل على أساس دائم، هناك حاجة إلى دراسة أكثر تفصيلاً للأحداث الخطيرة نظراً لأن عدد وأهمية الدروس التي يمكن استخلاصها من هذه الحالات كبيران للغاية.

وقد أجري هذا النوع من التحليل بالفعل في الماضي، ومن الأمثلة الواضحة على ذلك تحليل حادث ثري مايل آيلاند – في عام ١٩٧٩. ومن المهم مع ذلك الإشارة إلى أنه رغم التحسينات العديدة التي أدخلت في ضوء الدروس المستفادة من هذا الحادث، مازالت توجد مواضيع لم يمكن بعد التوصل إلى نتيجة نهائية بشأنها، بالنظر إلى تعقيد التحليلات اللازمة وأهمية تأمين بذل أقصى الجهود في المجالات التي تكون فيها فوائد السلامة أعظم ما يمكن.

كما أن حادث تشرنوبيل قد أدى إلى تعلم عدد من الدروس في مجالات السلامة النووية، والحماية من الإشعاعات والتخطيط للطوارىء، وهي المجالات التي تقتضي تقصّياً متعمقاً أكبر للتأكد مما إذا كانت هناك حاجة إلى إجراء أي تغييرات في أي من هذه المجالات الثلاثة.

وفي هذا الإطار، بدأت محطات قوى الجيل الأول – خوسيه كابريرا وسانتا ماريا دي غارونا – وهي على وشك الانتهاء من عملية إعادة تقييم وتعديل أخذت في اعتبارها :

– خبرة التشغيل الاسبانية والمعالم المحددة لمحطة القوى؛

– المواضيع التي جرى تحليل لها في برنامج التقييم المنهجي (SEP) نفذته محطات قوى الجيل الأول في الولايات المتحدة؛

– النقاط المستخلصة من حادث ثري مايل آيلاند.

وقد أفضى هذا البرنامج إلى تغييرات هامة مثل التحسينات التي أدخلت على نظم تبريد قلب المفاعل في الطوارىء ونظام الطاقة الداخلي في محطة خوسيه كابريرا النووية، أو التعديلات في نظام الاحتواء، وفي مكافحة الحريق، والطاقة في محطة سانتا ماريا دي غارونا.

وقد بدأت محطة فانديلوس الأولى برنامجاً لإعادة التقييم والتحسين في ربيع عام ١٩٨٦، وينتظر أن يستمر هذا البرنامج حتى نهاية عام ١٩٨٩، آخذاً في الاعتبار كلا من خبرة التشغيل الاسبانية وخبرة محطة القوى المرجعية،

وهي في هذه الحالة بالذات محطة سان لوران ديزو الفرنسية، بالإضافة إلى المواضيع ذات الصلة في برنامج التقييم المنهجي (SEP)، وكذلك المواضيع التي تستند إلى حادث ثري مايل آيلاند.

وفي حالة محطات القوى من الجيل الثاني التي يجري تشغيلها حالياً، فإنها سوف تضطر إلى أن ترسل إلى مجلس السلامة النووية، كل ستة أشهر، تقريراً عن وضعها يبين مدى ما وصلت إليه في تلبية متطلبات الجهاز التنظيمي في البلد الذي نشأ فيه المشروع أصلاً (في هذه الحالة بالذات المجلس الوطني للمفاعلات في الولايات المتحدة). وقد أجريت التغييرات، اللازمة أو يجري تنفيذها حالياً كلما اقتضى الأمر ذلك. وهذا ما حدث فيما يتعلق بالتعديلات الناجمة عن حادث ثري مايل آيلاند، وبتحسينات نظام تخفيف آثار الأحداث التي لا يترتب عليها انهيار السلامة (ATWS)، أو بالتغييرات الضرورية لتفادي حالات انفجار الهيدروجين في غرفة الاحتواء .

ويتابع مجلس السلامة النووية تشغيل محطات القوى من خلال المعلومات التي يقدمها القائمون بالتشغيل وفقاً لما تنص عليه مواصفات التشغيل، وكذلك عمليات التفتيش المتخصص المتعلقة بأمور محددة. وتزيد عمليات التفتيش أثناء فترة التجارب الخاصة بمرحلة الاختبار النووي السابقة للتشغيل أو أثناء وقف العمل من أجل إعادة التحميل أو الصيانة. وفضلاً عن ذلك، يوجد مفتش مقيم في الموقع بكل محطات الجيل الثاني وبعض محطات الجيل الأول. ويعتزم مجلس السلامة النووية، في العام الحالي ١٩٨٧، أن يضع بشكل دائم في كل من محطات القوى العاملة مسؤولاً عن السلامة النووية والحماية من الإشعاعات للتحقق مما إذا كانت تلك المحطات تلبي بالفعل الحدود والشروط التي يضعها مجلس السلامة النووية.

وتلخص الجداول المرفقة أهم بيانات التشغيل لمحطات القوى الاسبانية خلال عام ١٩٨٦، بالإضافة إلى تطور مجلس السلامة النووية من حيث موارده وأنشطته.

بيانات تشغيل محطات القوى النووية لعام ١٩٨٦

	فى كابريرا	غارونا	فانديلوس ١	ألماراز ١	ألماراز ٢	آسكو ١	آسكو ٢*	كوفرينتس
متوسط عامل التحميل (٪)	٧٩,٥٦	٨٨,٥٣	٧٩,٥٦	٦٩,٦٣	٧٤,٨٧	٦٨,٣٩	٦٩,٢٣	٧٤,١٩
إيقاف المفاعل عن العمل لأغراض التزويد بالوقود والصيانة (أيام)	٣٦	٩ (في ١٩٨٦) + ٦ شهور (في ١٩٨٥)	٢٠	١٤ (فى ١٩٨٦) + ٥١ (فى ١٩٨٥)	٦٦	١٠٠	—	٤٦
متوسط عامل التشغيل	٨٦,٧٢	٩٣,٣	٩١,٣٥	٧٤,٢	٨٢,١	٧١,١٧	٧٥,٨٣	٧٨,٥٨
عدد أعطال المفاعل(غير المقررة)	٢	٦	٩	٣	٩	٢	١٤	٤

* أول سنة من التشغيل (فترة الاختبار النووي)

تطوير موارد مجلس السلامة النووية (CSN) وأنشطته

	١٩٨١	١٩٨٢	١٩٨٣	١٩٨٤	١٩٨٥	١٩٨٦	١٩٨٧
الميزانية (بملايين البيزيتا)	٧٢	٤٢٥	٧٢٠	٨٨٢	١١٣٦	١٤٦٨	٢٠١٥
التفتيش على المحطات تحت البناء	٤٦	٦٨	٨٧	٩٦	٣٨	٩٠	
التفتيش على المحطات أثناء التشغيل	٥٤	٢٠	١٠١	١٢٩	١٦٢	١٠١	
القدرة القائمة [ميغاوات (كهربائي)]	٢٠٥١	٢٠٥١	٣٩١١	٤٤٨٥	٥٨١٥	٥٨١٥	
الطاقة النووية المنتجة (ميغاوات / ساعة)	٩٥٨٦	٨٨٧١	١٠٦٦١	٢٣٠٨٦	٢٨٠٤٥	٣٧٤٦٠	
إجمالى القدرة المنتجة (ميغاوات / ساعة)	١١١٢٣٢	١١٤٥٦٩	١١٧١٩٦	١٢٠٠٤٢	١٢٧٢١٦	١٢٨٥٦٠	
النسبة المئوية للقوى النووية من إجمالى الإنتاج (٪)	٨,٦	٧,٦	٩,٠	١٩,٢	٢٢,٠	٢٩,١٣	
العاملون التقنيون فى مجلس السلامة النووية (**)		٣٤+٤٦	٢٠+٨٠	٢٩+٩٨	٣٠+١١٨	٢٣+١١٧	١٧٨*

* رقم تقديرى لعام ١٩٨٧.

** الموظفون + العاملون المستخدمون

السلامـــــة النوويـــة في النمســـــا

جيرالد سونيك
نائب رئيس المعهد الخاص بسلامة المفاعلات
مركز البحوث النمساوي زايبرسدورف

(النمسا)

السلامة النووية في النمسا ؟ في بلد ينكر الطاقة النووية ؟ إننا مع ذلك نرى أن السلامة النووية تشكل موضوعاً هاماً لكل بلد يريد حماية صحة مواطنيه – وليس فقط للذين يملكون محطات كهرباء نووية في حالة تشغيل.

وأود أن أعرض فيما يلي مثلاً يبين كيف يمكن لبلد صغير لديه موارد محدودة جداً أن يطور خبرته الماهرة في هذا المجال.

والنمسا، بوصفها بلداً محايداً يقع جغرافياً بين الشرق والغرب، تشعر بأن عليها التزاماً خاصاً بتعزيز التعاون الدولي. فلابد من التعاون أيضاً بالنسبة لأي بلد صغير. والتعاون لا يعني وحسب الأخذ من المجتمع الدولي، بل يعني العطاء أيضاً. وتميل بعض البلدان أحياناً إلى إغفال العطاء. وقد تكون المؤازرة شيئاً جيداً ولكن التعاون أفضل كثيراً وأكثر فاعلية. ولكن التعاون لن يكون فعالاً مع ذلك إلا عندما يكون الجميع على استعداد للمشاركة مشاركة فعلية.

والوكالة الدولية للطاقة الذرية بطبيعة الحال هي مركز هام للتعاون الدولي، ونحن نرى أن الكم الهائل من العمل الذي أنجزته كان أعظم ما يكون فائدة للسلامة النووية.

ولكل من اللجنة المعنية بسلامة المنشآت النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والاتفاقات الثنائية أهمية كبيرة بالنسبة لنا أيضاً، كما يتبين مما يلي.

ذلك أن تحقيق هدف حماية الصحة يحتاج إلى خبرة عامة في مجال السلامة النووية مع تركيز خاص على قياس الجرعات وسلامة المفاعلات. ولذلك فإن مركز البحوث النمساوي زايبرسدورف في النمسا يعمل مع عدد من المعاهد الأخرى بنشاط في مجالات السلامة النووية التالية :

قيـــاس الجرعـات

يجري حالياً في إطار شبكة مختبرات المعايرة الثانوية المشتركة بين الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الصحة العالمية، استحداث وصنع نظم لقياس الجرعات.

وتقدم لـ ١٤٠٠٠ عامل المشتغلين في مجال الإشعاعات في النمسا خدمة رصد للموظفين تستخدم أجهزة قياس الجرعات بالتألق الحراري (TLD).

وقد شملت مراقبة عينات الأغذية....إلخ. لرصد الإشعاعات بعد حادث تشرنوبيل أكثر من ٧٠ ٠٠٠ عينة.

أمـــان المفاعـــلات

لابد من أن تجرى أبحاث في سلامة المفاعلات النووية من أجل توفيرالخبراء للحكومة بصورة خاصة، بل ولإعلام الجمهور بشأن سلامة محطات القوى النووية من مختلف التصميمات وسلامة مصانع معالجة الوقود المستهلك.

وهذا ما يحدث في إطار الوكالة الدولية للطاقة الذرية واللجنة المعنية بسلامة المنشآت النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، بالإضافة إلى بعض أشكال التعاون الثنائي مع بلدان مثل الولايات المتحدة وجمهورية ألمانيا الاتحادية وهنغاريا وإسرائيل وجمهورية الصين الشعبية.

ولذلك فإن النمسا عضو في اللجنة التقنية المعنية ببحوث سلامة المفاعلات الحرارية التابعة للوكالة وتتعاون مع الوكالة في مجال الكتب الإرشادية والدورات التدريبية.

وهي تسهم في شبكة المختبرات التحليلية التابعة لإدارة الضمانات بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، كما أنها أعطت الدفعة الأولى للمشروع الاقليمي لأوروبا والشرق الأوسط المعني بتحليل السلامة بالاستعانة بالحاسب الإلكتروني.

كما لعبت النمسا دوراً هاماً في أول تمرين قياسي على المشكلات للوكالة الدولية للطاقة الذرية في كل من مرحلتي التجهيز بالمعدات وفي الممارسة نفسها. وقد أتاح هذا إمكانية التعرف على سلامة المفاعلات المبردة والمهدأة بالماء [مفاعلات (WWER - 440)]، ويقع بعض هذه المفاعلات بالقرب من الحدود النمساوية.

ولدينا بطبيعة الحال تجربة مع سلامة مفاعلات الماء الغالي بسبب عملنا في مجال إصدار الترخيص لمحطة القوى النووية النمساوية GKT، التي يعرف تماماً ما وصلت إليه من مصير يرثى له.

وأخيراً وليس آخراً، فإننا نشارك بنشاط في البرنامج التجريبي لاختبار فقدان المبرد، التابع لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في ايداهو فولز، بالولايات المتحدة، الذي ألمنا بفضله بمتطلبات سلامة مفاعلات الماء المضغوط.

لقد أردت بهذا أن أبين كيف يمكن للنمسا أن تكون مثلاً، وكيف يمكن لبلد صغير أن يصبح كفؤاً في مجال السلامة النووية، وكيف يمكن أن يحاول أن يكون عضواً جديراً بالاحترام في المجتمع الدولي. وأردت أيضاً أن أبين أن النمسا يمكن أن تكون شريكاً، سواء في إطار الوكالة أو في الاتفاقات الثنائية. وبالرغم من أن النمسا ليست بالتأكيد ممن يلعبون دوراً أساسياً في مجال السلامة النووية الدولية، فإنها تبذل قصارى جهدها حتى تكون ولو في الصفوف الخلفية منهم.

تقييم مخاطر الإشعاعات :
الوضع الراهن والاتجاهات المستقبلية

ر. غ. كوديهي؛ ب. ب. بوكر؛ ف. ف. هان؛ ب. ا. موغنبرغ، ر. و. ماكليلان
معهد لوفليس (Lovelace) لبحوث التسمم بالاستنشاق
P.O. Box 5890, Albuquerque, NM 87185

(الولايات المتحدة الأمريكية)

مقدمـــة :

إن تقييم المخاطر، في مفهوم هذا التقرير، هو عملية تحديد خصائص الآثار الصحية الضارة المحتملة التي يمكن أن تنتج عن التعرض لعوامل فيزيائية أو كيميائية في البيئة تؤذي الصحة والتقدير الكمي لهذه الآثار. ومفهوم تقييم المخاطر ليس جديداً؛ فقد كان دائماً أحد العوامل الحياتية التي تواجهها جميع الكائنات الحية منذ زمن سحيق. وفي الأزمنة السابقة، كانت تقديرات الأفراد للمخاطر سهلة نسبياً ونوعية في طبيعتها. وهذا يرجع إلى أن ضخامة أغلب المخاطر وعواقبها كانت من الجسامة بحيث كان من السهل تصورها وتفاديها. والآن غدا واضحاً أنه لا يمكن التوصل إلى مجتمع آمن أو خالٍ من المخاطر تماماً. فكل مجتمع يقبل التعرض لدرجة معينة من المخاطر كجزء عادي من أنشطتنا اليومية. ووفقاً لهذا الرأي، نادت التشريعات والأوامر الإدارية بشكل متزايد بموازنة المخاطر والتكاليف والمزايا بدلاً من السعي الشاق إلى السلامة المطلقة. ويتطلب هذا النهج الآن تقييم المخاطر كمياً بدلاً من تقييمها نوعياً.

والتشديد المتزايد على الموازنة بين المخاطر والتكاليف والمزايا عند وضع قواعد للعوامل التي يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان قد أعطى دفعة لاستحداث نهج لتقييم المخاطر أكثر رسمية. فقد قامت مؤخراً لجنة مشتركة بين الأكاديمية الوطنية للعلوم والمجلس الوطني للبحوث بالولايات المتحدة باستعراض تقييم المخاطر الذي تجريه الحكومة وقدمت توصيات بشأن إدارة هذه العملية.(١) ويرد النهج الموصى به في الشكل ١. وهنا يلعب تقييم المخاطر دوراً مركزياً في تحديد أهم المخاطر الصحية التي قد تستدعي درجة ما من المعالجة الإدارية، وكذلك في تحديد الثغرات والمعلومات التي ينبغي أن تولى اعتبار الأولوية في مجال البحوث. كما توضح التفاعلات بين علم الأوبئة وعمليات القياس الميداني والتقييم وتحديد خصائص المخاطر، والقرارات والإجراءات.

أجرى هذا البحث تحت إشراف وزارة الطاقة بالولايات المتحدة،
عقد رقم DE - AC04 - 76EV01013

ولا يتناول هذا التقرير سوى تقييم المخاطر، ويترك إدارة المخاطر وتفاصيل البحث العلمي لوثائق أخرى تقدم في هذا المؤتمر. والنهج المستخدم هنا في استعراض تقييم المخاطر يركز أساساً على التعرض للإشعاعات الناجم عن انطلاق مواد مشعة إلى البيئة حيث يمكن أن يستنشق الناس أو يبتلعوا هذه المواد. وتنطوي عملية تقييم المخاطر على سلسلة من المراحل يوضحها الشكل ٢. وفي المرحلة الأولى، يجب تحديد خصائص مصدر المادة المشعة من حيث حجمها، وإمكانية انطلاقها، وبارامتراتها الفيزيائية والكيميائية العديدة التي تحدد انتشارها في البيئة. وفي المرحلة الثانية، يجب عمل إسقاط حسابي للانتشار في البيئة بغرض التنبؤ بدرجات التركيز، والأشكال الفيزيائية والكيميائية للنويدات المشعة التي قد يتعرض لها الناس، وحجم السكان المعرضين. وثالثاً، تستخدم نماذج قياس الجرعات لتقدير كميات النويدات المشعة التي ابتلعت من البيئة، وتراكمها في أعضاء الجسم، وما ينجم عنها من جرعات إشعاعية للأنسجة المعرضة للخطر. وأخيراً، يحتاج الأمر إلى معرفة العلاقة بين الجرعة والأثر لتقدير المخاطر الصحية التي يتعرض لها الأفراد ومجموع السكان. وينبغي إتمام كل خطوة من خطوات تقييم المخاطر باستخدام أفضل الأحكام العلمية. وهذا يعني أنه ينبغي للنماذج الحسابية أن تستخدم قيم البارامترات التي يمكن تبريرها على أساس علمي عوضاً عن القيم التي تؤدي إلى اسقاطات رياضية للمخاطر تتسم بالتحفظ أو بالمبالغة. ويمكن إدخال الإسقاط المتحفظ في مرحلة لاحقة من إدارة المخاطر يمكن أن يكون التحفظ فيها واضحاً بجلاء ومعترفاً به كمسألة حكم.

ولعل أكثر الصفات المطلوبة في تقييم المخاطر هي مصداقية المنهجية وسهولة فهمها. ولكي تكون مصدّقة علمياً، ينبغي أن تستغل كل إمكانية لإثبات صحة كل خطوة من خطوات حسابات تقييم المخاطر باستخدام القياسات السابقة لنفس المواد أو المواد المشابهة لها عند انتقالها من خلال البيئة ومنها إلى البشر. وقد تأتي هذه البيانات من دراسات عن الحوادث، أو اختبارات البيئة، أو الفحوص المخبرية. ولكي يكون تقييم المخاطر موثوقاً به لدى متخذي القرارات والجمهور، يجب أن يجرى بطريقة تمكن من إبلاغه للخبراء العلميين وغير العلميين على السواء، وأن يعترف باتساقه مع المعارف العامة المتعلقة بأحداث مشابهة. وهذا ما يشكل في أغلب الأحيان عقبة أمام العلماء والجمهور، وإحدى العقبات التي يمكن أن تجعل الجهود المثبتة علمياً عاجزة عن تحقيق أهدافها.

الحاجـــة إلى تقدير المخاطر

هناك تطبيقات عديدة لتقدير المخاطر عند تقييم القضايا المتعلقة بتطوير التكنولوجيا النووية اليوم. وتتضمن هذه التطبيقات (أ) استحداث مبادىء توجيهية لمراقبة التعرض للإشعاعات؛ (ب) إعداد بيانات عن الآثار على الصحة والبيئة؛ (ج) الإرشاد بشأن تخفيف المخاطر؛ (د) اتخاذ قرار في حالة المقاضاة؛ (هـ) تحديد الاحتياجات من البحوث. والتطبيقان الأولان احتماليان من حيث أنه لم تحدث خسائر حتى الآن نتيجة لتطبيق نتائج تقييم المخاطر. أما التطبيقان التاليان فهما عموماً استعادة لأحداث وقعت بحيث يستخدم تقييم المخاطر كأساس لقرارات تتخذ بشأن مخاطر حدثت أو يرجح أنها حدثت في الماضي. ومن السهل استنتاج أن تقييمات المخاطر المحتملة أقل إثارة للجدل عموماً وأن ترجيح نجاحها في تحقيق أهدافها أكبر من ترجيح نجاح تقييمات المخاطر المسترجعة. وكثيراً ما تكون الخلافات مؤشراً إلى الحاجة إلى استحداث معايير مقبولة لأداء تقييمات المخاطر، ولاسيما في المواقف التي يثور بشأنها خلاف كبير ويجب فيها اتخاذ قرارات في الوقت المناسب.

وقد كان أنجح استخدام لتقييم المخاطر هو استخدامه في استحداث مبادىء توجيهية لمراقبة تعرض الناس للإشعاعات في مواقع العمل أو في البيئة العامة. ويمكن مشاهدة أمثلة واضحة لهذه الاستخدامات في حدود التعرض للإشعاعات الأيونية التي وضعتها اللجنة الدولية للحماية من الإشعاعات (ICRP) (٣،٢). وهذه المبادىء التوجيهية الاحتمالية تنطبق على الأفراد والمجموعات السكانية، وأهدافها موجهة بوضوح إلى وقاية الناس الذين يمكن أن يتعرضوا للإشعاعات أو لمصادر إشعاعية تستخدمها صناعات قائمة.

وقد استخدمت تقييمات المخاطر بنجاح أيضاً في إعداد بيانات عن الآثار على الصحة والبيئة. وقد تكون هذه التقييمات لمرافق وأحداث منفردة، أو بشكل أعم، للتكنولوجيات المبتكرة حديثاً. ولأن هذه التقييمات تقوم على احتمالات مستقبلية أيضاً، فإنه يوجد ميل إلى التفاؤل عند اختيار قيم بارامترات المخاطر التي ستستخدم في الحسابات المطلوبة. وإذا لم يكن للتفاؤل ما يبرره، فإنه سرعان ما تكتنفه الشكوك، وخاصة إذا نما الشعور بأن هناك تقاسماً غير متكافىء للمخاطر والمزايا فيما يخص مجموع السكان المعرضين للخطر، أو إذا وقع حادث معاكس لم يقدره التقييم الأصلي كما ينبغي.

كما استخدمت تقييمات المخاطر في وضع توجيهات لمحاولات التخفيف من مخاطر الطبيعة أو من تلك التي يسببها الإنسان. ومن الأمثلة الحديثة على ذلك تقييم التقنيات التي تستهدف تقليل التعرض للرادون في البيئة المغلقة وتنظيف مناطق واسعة من الأراضي الملوّثة بالإشعاعات. ويمكن استخدام هذه التقييمات في توجيه الموارد المتاحة نحو إجراءات تتناول في المقام الأول أشد العوامل أهمية، التي تسبب مخاطر للأفراد أو للمجموعات السكانية.

ويمكن أيضاً أن يتوقف حل نزاعات معينة على تقييم المخاطر. وهذا هو الأرجح عندما يتعلق الأمر بحالات تعرض للإشعاعات تتسبب في أمراض لا تنفرد في اختلافها من حيث نوعها عن الأمراض الفورية أو في أمراض يمكن أن تسببها الإشعاعات أو التعرض لعوامل سامة أخرى في البيئة. وعندئذ يصبح من الضروري افتراض السبب المرجح من بين الأسباب المحتملة المتعددة التي أدت إلى المرض. وفي حالات أخرى، استخدم تقييم المخاطر في تحديد ما إذا كانت الممتلكات قد أصابها التلف إلى درجة حدثت معها خسائر للمنتفعين الفعليين منها أو لمن يحتمل انتفاعهم بها في المستقبل. وكثيراً ما تدور هذه المناقشات عندما تنطلق مواد إشعاعية في البيئة وتلوث مناطق مجاورة. وفي هذه الظروف التي تسترجع فيها أحداث الماضي، يمكن التشكك في كل جانب من جوانب تقييم المخاطر، ويرجح أن تختلف إسقاطات المخاطر التي تقدمها الأطراف المتنازعة حسب كبر حجمها. وقد أدى هذا الموقف إلى جعل الكثيرين من المسؤولين عن تقصي الحقائق يتشككون جدياً في القيمة العلمية للنهج التي كثيراً ما تستخدم في تقييم المخاطر .

وأخيراً، فإن تقييم المخاطر يستخدم في معرفة ما يوجد من ثغرات في المعلومات وتحديد أهميتها بالنسبة إلى شواغل المجتمع كأساس لوضع أولويات البحث. وهو تطبيق هام يربط بين جوانب عديدة من إدارة المخاطر واتخاذ القرار بالاستناد إلى البحوث، كما هو مبين في الشكل ١. وبالرغم من أن هذا لا ينبغي أن يشكل الأساس الوحيد لوضع أولويات البحث في علوم الصحة والبيئة، فهو يوفّر إحدى وسائل ترتيب أولويات البحوث التي تستهدف مواضيع تطبيقية للغاية تتعلق بالمخاطر .

تقييـم التعرض للإشعاعـات

إن الإجراءات المستخدمة في تقدير حجم تعرض الناس للإشعاعات تتوقف على أساليب التعرض وعلى الأماكن التي حدث فيها التعرض. وبالنظر إلى أن التعرض أصبح أكثر تعقيداً وأنه يحدث في أماكن بعيدة عن مصادر الإشعاعات، فعادة ما يزداد عدم التيقن في تقدير التعرض والجرعة. وبالنسبة للتعرض الذي يحدث في مواقع العمل، توفر أجهزة رصد خارجية للإشعاعات تقييماً دقيقاً لجرعة الإشعاعات المتلقاة. وإذا كان التعرض يشتمل على نويدات مشعة مترسبة في الداخل، فسيحتاج الأمر في هذه الحالة إلى عمليات قياس للنشاط الإشعاعى من خلال عينات اختبار حيوي مصحوبة بنماذج رياضية لتقدير النمط الزمني لتراكم الجرعة في أعقاب التعرض (٣). وفيما يتعلق بتعرض الجمهور الذي يحدث في مواقع بعيدة عن مصادر الإشعاعات وفى مناطق غير مراقبة وليست بها أجهزة رصد، تتطلب تقييمات التعرض استخداماً أوسع لوضع نماذج للانتشار في البيئة ولقياس الجرعات، ويرد استعراض لهذه التقنيات وللشكوك المحيطة بها فى تقارير أخرى (٤،٦).

ويرد في الشكل ٣ عرض بياني لعملية تقدير الانتشار في البيئة، وللامتصاص، وللجرعة التي تتلقاها أعضاء جسم الاشخاص الذي يتعرضون للإشعاعات. وهذا يتضمن التشعع الخارجي والنويدات المشعة المترسبة في الداخل، كما أن له مرحلة يزداد فيها التعرض بسرعة وبشكل حاد، ومرحلة تعرض ممتدة يمكن أن تبقى لسنوات طويلة بعد حادث الانطلاق الأصلي. ويفترض أن تفضي نتيجة تقييم جرعة التعرض إلى تقدير الجرعات الفعلية التي تلقتها الأنسجة والأعضاء المهددة بالتحديد. وهذه الجرعات التي تلقتها الأعضاء، لا التعرضات، هي الأكثر ارتباطاً بالمخاطر التي تهدد الصحة في المرحلة التالية من تقييم المخاطر. ذلك أن العلاقة بين الجرعة والأثر تنشأ من حالات تعرض سابقة لمجموعات بشرية أخرى ويمكن أن تنطوى هذه العلاقة على نماذج تعرّض مختلفة بشكل ملحوظ. ومع ذلك، فإن تعادل الجرعات التي تلقاها الناس والتي يجري بشأنها تقييم المخاطر مع الجرعات التي تستخدم في إيجاد العلاقة بين الجرعة والأثر يعد من العوامل الحاسمة في هذا الشأن .

العلاقة بين الجرعة والأثر

لعل إحدى السمات الرئيسية لتقييم مخاطر التعرض للإشعاعات المؤينة هى إيجاد علاقة متناسبة بين الجرعة والأثر. ولأغراض هذه المناقشة، يمكن تجميع آثار التعرض للإشعاعات المؤينة فى ثلاث فئات عامة : الآثار المبكرة، والسرطان، والآثار الوراثية. وتسبب المستويات العالية جداً من التعرض الحادّ تلفاً كبيراً في أنسجة الجسم وربما تؤدي إلى فقد وظيفة أحد أعضاء الجسم وإلى وفاة مبكرة. وهذا ينتج في أغلب الأمر عن التعرض لإشعاع خارجي، ولكن يمكن أن يكون أيضاً نتيجة لترسب داخلي كبير للنويدات المشعة، ولا سيما عن طريق الاستنشاق. ومثال ذلك، هذا النوع من التعرض الذي حدث لأشخاص كانوا على مقربة من حادث المفاعل النووى تشيرنوبيل، ويرجح أن ذلك أسهم إلى حد كبير في الإصابات التي تكبدها بعض الأفراد (٧). وفي الوقت الحاضر، يجب أن تستنتج العلاقة بين الجرعة والأثر، بالنسبة لحالات تعرض مركبة من التشعع الخارجي والنويدات المشعة المترسبة داخلياً، من دراسات في مختبرات تستخدم الحيوانات (٨).

وفيما يتعلق بحالات التعرض للإشعاع التي ليست من الضخامة بحيث تسبب إصابات حادة أو وفاة، فإن مرض السرطان هو أكبر المخاطر الصحية الجسدية طويلة الأجل. وأنواع السرطان التي تسببها الإشعاعات المؤينة

هي نفس الأنواع التي تحدث بشكل تلقائي أو نتيجة للتعرض لمواد سرطانية. وبالتالي، لا يمكن تحديد حالات السرطان الفردية التي تسببها الإشعاعات بصورة واضحة؛ وإنما يمكن تحديدها فقط بقياس ازدياد حدوثها بين مجموعة كبيرة من السكان مكونة من أفراد أصيبوا بالإشعاعات. ويمكن أن يشكّل هذا مهمة صعبة إذا ما أخذ في الاعتبار أن نسبة مجموع الوفيات التي يسببها السرطان حالياً في معظم البلدان تتجاوز ٢٠ ٪ ، وأن بعض أنواع السرطان الأكثر انتشاراً هي تلك التي تعد ناجمة عن الحساسية إزاء تأثير الإشعاعات المؤينة. وبالتالي، فبالنسبة لأفراد محددين أصيبوا بأنواع من السرطان ناشئة عن الإشعاع، لا يمكن تقدير الجزء من مجموع المخاطر المحسوبة التي ينبغي أن تعزى إلى التعرض للإشعاعات، والجزء الذي يمكن عزوه إلى أسباب أخرى. وهذا الموضوع يثير جدلاً كبيراً في كثير من الأحيان.

وتنتج الأضرار الوراثية عن تلف في الخلايا التناسلية لا يؤدي إلى القضاء على هذه الخلايا أو على إمكانية تكاثرها. ويمكن أن تنتج الخلايا التالفة ذرية مصابة بأمراض وراثية تكون هنا أيضاً مشابهة في نوعها لتلك التي تحدث تلقائياً أو كنتيجة للتعرض لمواد سامة كيميائياً. ونادراً ما ترفع دعاوي إصابات وراثية في نزاع بشأن الإصابة بالإشعاعات حتى لو كانت عوامل الخطر اللازمة للتنبؤ بمعدل حدوثها مساوية في حجمها لتلك العوامل بالنسبة لحالات السرطان التي تسببها الإشعاعات .

والمصادر الرئيسية للمعلومات العلمية المتعلقة بالآثار الصحية للإشعاعات المؤينة على الناس مستمدة من دراسات عن (أ) مجموعات السكان المعرضة لتفجيرات بالأسلحة النووية أو لسقط نووي؛ (ب) مرضى تحت إشراف طبي تلقوا علاجاً بالأشعة، و(جـ) العاملين في مجال الإشعاعات (٩و١٠). وتجدر ملاحظة أن هذه الأعداد من السكان تشتمل على آلاف كثيرة من الأفراد، ولكن لوحظ فعلياً أن الزيادة في عدد من ماتوا بالسرطان كانت طفيفة. وعلى سبيل المثال، قدّر أن من بين مجموعة قوامها ١٠٩٠٠٠ يابانى أجرت مؤسسة بحوث آثار الإشعاع باليابان بشأنهم دراسة مستمرة لمدى الحياة، أن الزيادة في عدد وفيات السرطان ما بين عامي ١٩٥٠ و١٩٧٨ كانت ٢٥٠ وفاة بهذا المرض فقط من مجموع ٤٧٥٦ وفاة بالسرطان (١١). وحتى عام ١٩٧٨، بلغ العدد الإجمالى للوفيات ٢٣٥٠٢ . ويبين الجدول ١ عدد الوفيات بسبب أنواع من السرطان كل منها على حدة.

كذلك لوحظ في دراسات تناولت أكثر من ٢٠٠٠٠ من عمال مناجم اليورانيوم في الولايات المتحدة وكندا ، نحو ٣٠٠ حالة سرطان رئوي فقط قبل عام ١٩٨٠ بينما كان من المتوقع حدوث ١٠٠ حالة سرطان رئوي تلقائية (٩). وبالتالي فإن الزيادة الطفيفة في وفيات السرطان التي يمكن عزوها إلى الإشعاع قد ظهرت بين هؤلاء السكان محل الدراسة، مما جعل من الصعب أو من المستحيل استنباط عوامل محددة لمخاطر الموقع أو أخذ العوامل المتغيرة في الحسبان مثل السن عند التعرض، أو السن عند الوفاة، أو نوع الإشعاع، أو التأثر الوراثي، أو التعرض لعوامل كيميائية مثل دخان السجائر .

وهناك أنواع مختلفة من النماذج الرياضية تطبق عند وصف الآثار الحادة وخطر الإصابة بالسرطان على الأجل الطويل بسبب التعرض للإشعاعات المؤينة. وتنتج الإصابات الحادة التي يسببها الإشعاع عن الجرعات الكبيرة المتلقاة على فترات زمنية قصيرة، وكثيراً ما تظهر الآثار في خلال أيام أو أسابيع. وتتضمن هذه الآثار تدميراً واسع النطاق للخلايا المكونة للدم في النخاع العظمي، والخلايا التي تبطن الجهاز المعدي المعوي، والخلايا التي تتألف منها الرئة والكبد والغدة الدرقية والجلد. ومن السهل تحديد حالات التعرض التي تسبب هذه الإصابات لأنها لا تحدث إلا في حالات الحوادث شديدة الخطورة. وكثيراً ما توصف هذه الإصابات بأنها غير عشوائية

لأنها تحدث نتيجة لتدمير واسع النطاق في الخلايا ولأن الجرعات الإشعاعية يجب أن تتجاوز عتبة محددة تزداد بعدها حدة الآثار وتواترها حسب الجرعة المتلقاة. ويوضح الشكل ٤ هذا النوع من العلاقة .

وعلى العكس من ذلك، تسمى الآثار السرطانية والوراثية الناجمة عن التشعع بالآثار العشوائية. ذلك أنها قد تبدأ بإصابة في خلايا مفردة أو في مجموعات صغيرة من الخلايا من منطلق احتمالي، حتى بجرعات منخفضة جداً. وبعد ما تحدث هذه الآثار، لا تعود خطورة الأثر مرتبطة بالجرعة .

وهناك نموذجان رياضيان عامان هما الأكثر استخداماً لتصوير خطر السرطان المستحث بالإشعاع، وهما نموذج الخطر المطلق، ونموذج الخطر النسبي (الشكل ٥). ويفترض نموذج الخطر المطلق أن تزايد خطر السرطان في حالة تعرض معينة (الحالات الزائدة سنوياً) يبدأ بعد فترة كمون ويظل قائماً بمستوى ثابت أو متغير طوال الفترة التي تظهر فيها أعراض المرض. وفترة الكمون هي الوقت الذي يمر ما بين بداية حدوث السرطان عن طريق الجرعة الإشعاعية وظهوره من الناحية الاكلينيكية عند الفرد المصاب. وفترة ظهور المرض هي الوقت الذي يمر ما بين أول وآخر ظهور لأنواع السرطان المستحثة بأية جرعة إشعاعية. وترد هذه المفاهيم أيضاً في الشكل (٦). ويفترض نموذج الخطر النسبي أن ازدياد خطر السرطان بعد انتهاء فترة كمون المرض تكون مضاعفة لمعدل حدوث السرطان التلقائي طوال فترة ظهور المرض. ويتوافق هذان النموذجان حسابياً كل مع الآخر عند تطبيقهما على مجموعة واحدة من البيانات الوبائية على مدى نفس فترة الملاحظة. ويجب أن يبين كل من النموذجين نفس العدد الزائد من حالات السرطان على مدى نفس الفترة محل الدراسة وكلاهما ينبئ بنفس زيادة الخطر لمجموعة أخرى من السكان إذا ما أصابها الإشعاع بنفس الطريقة وإذا كانت الدراسة تتناولها في نفس هذه الفترة الزمنية. ومع ذلك، يمكن أن تختلف تنبؤات النموذجين بشكل ملحوظ عند تجاوز الفترة الزمنية التي تغطيها قاعدة بياناتهما الوبائية، كما تبين الخطوط المتقطعة في الشكل ٥ . ولم يمكن تحديد ما إذا كان أيهما أكثر ملاءمة. ونظراً لأن معظم أخطار السرطان تزداد بشكل ملحوظ عند كبار السن، فكثيراً ما يتنبأ نموذج الخطر النسبي بحدوث زيادة تتراوح ما بين ٣ و ٤ أمثال في حالات السرطان عما ينبئ به نموذج الخطر المطلق عند عمل إسقاطات مدى الحياة (٩). ولهذه المسأله أهمية خاصة عند وضع إسقاطات مخاطر التشعيع في الرحم، التي يعتقد أنها أكبر في وحدة الجرعة حتى من المخاطر الناجمة عن تعرض البالغين. وليس من المعروف طول المدة التي يمكن أن تستمر خلالها المخاطر الأكبر للتشعيع في الرحم طوال حياة شخص ما .

وتختفي الفروق الكمية بين تنبؤات نموذجي الخطر المطلق والخطر النسبي عندما تصبح فترات الكمون الملائمة للسرطان ومواعيد ظهوره والعلاقة بين السن والحساسية له معروفة. وفيما يتعلق باللوكيميا (ابيضاض الدم) وسرطان العظام، تدوم فترة الكمون من ٢ إلى ٥ سنوات ، وتدوم فترة الظهور (الاستبانة) قرابة ٣٠ سنة بعد التشعع (٩). والمعلومات أقل بشأن أنواع السرطان الأخرى التي يمكن أن تصل فترات كمونها إلى ٢٠ سنة أو أكثر وفترات ظهورها تتجاوز كثيراً ٣٠ سنة.

وثمة فرق آخر هام بين نموذجي الخطر المطلق والخطر النسبي، وهو اختلاف أنماط تنبؤاتهما بازدياد خطر السرطان. فنموذج الخطر النسبي يتنبأ بأن النسبة الأكبر من السرطانات المستحثة بالإشعاع سوف تحدث عند السكان الأكثر تعرضاً لخطر الإصابة بالسرطان خلاف أنواع السرطان التي يسببها الإشعاع. وتتضمن الفئة المعرضة للخطر بدرجة عالية السكان الذين تزيد عندهم القابلية الوراثية للسرطان عن المتوسط، ومدخني السجائر وأولئك المعرضين لعوامل أخرى مسببة للسرطان. ويشير نموذج الخطر المطلق إلى وجود نمط موحّد

لزيادة خطر السرطان عند سكان تعرضوا للإشعاع بصرف النظر عن العوامل الأخرى التي تغير من درجة الخطر. وهذه الاختلافات الهامة بين نموذجي الخطر المطلق والخطر النسبي يمكن بل وينبغي بحثها بإجراء مزيد من الدارسات المختبرية والوبائية .

وتقترن علاقة رياضية بين الجرعة والأثر باستخدام نموذج الخطر المطلق أو الخطر النسبي الناجم عن الإشعاع. وتربط هذه العلاقة بين زيادة خطر حدوث سرطان ومقدار جرعة الإشعاع المتلقاة. وهناك أيضاً أمثلة عديدة لعلاقات رياضية مختلفة تستخدم لربط الجرعة بالآثار المحتملة، وهي مبينة في الشكل ٤؛ وأكثر الأشكال المستخدمة شيوعاً هي العلاقات الخطية ودون الخطية. وفي إطار نطاق الجرعة لأى مجموعة من الملاحظات (الدراسات الوبائية، أو الدراسات القائمة على حيوانات المختبرات)، لا يكاد أن يكون هناك اختلاف أو لا يوجد هذا الاختلاف بين أعداد السرطانات التي يمثلها كل تعبير رياضي. ومع ذلك تظهر اختلافات هامة من حيث التنبؤات النموذجية لمخاطر الإصابة بالسرطان خارج نطاق الجرعة التي تقدمها البيانات الأصلية. ولهذا أهمية كبيرة في منطقة الجرعة المنخفضة. فهنا تتنبأ الدالّة الخطية بخطر أكبر وتتنبأ الدالة دون الخطية بخطر أقل. والدالة الخطية هي الأكثر استخداماً نظراً لأن احتمال تقليلها من شأن خطر الاصابة بالسرطان بجرعات منخفضة يكون أصغر. كما يبدو أنها أنسب للإشعاعات العالية القيمة للانتقال الخطي للطاقة التي تتوافر بيانات بشأنها في منطقة الجرعة المنخفضة. وتلقي الدالات دون الخطية (أى الدالات الخطية التربيعية) مزيداً من القبول لأنها أكثر مرونه لتطبيق معلومات الجرعة والأثر على كل درجات الجرعة ولأن عملية التطبيق تتكيف آليا مع الأهمية النسبية للمكونات الخطية وغير الخطية. ذلك أن الخلط بين الإشعاعات المنخفضة والعالية القيم للانتقال الخطي للطاقة، والخلط بين الدالة الخطية والدالة غير الخطية يمكن أن يجمع بينهما بطرق شتى لوضع إسقاطات مخاطر تزايد السرطان .

وفي حالات نادرة، قد ينخفض عدد حالات السرطان الناتجة لكل وحدة جرعة بالفعل مع زيادة الجرعة(١٢،١٣). ويمكن أن يعزى ذلك إلى قصر العمر بسبب أمراض أخرى خلاف السرطان، أو بسبب «جرعة متخلفة» تنتج من قتل الخلايا، أو استمرار تراكم الجرعة إلى ما بعد النقطة التي حدث عندها السرطان. وعلى أي حال فإن العلاقة بين الجرعة والأثر قد تظهر في صورة منحنى فوق خطي كما هو مبين في الشكل ٤.

توسيع القاعدة المحدودة للبيانات البشرية

حتى الآن، ركزت المناقشة على العلاقة بين الجرعة والأثر، المستمدة من دراسات بشأن مجموعات سكانية بشرية. وهذه الدارسات توفر أكثر المعلومات مباشرة عن تقييم حالات تعرض بشرية أخرى تتناول نفس عوامل وأساليب التعرض أو عوامل وأساليب مشابهة للغاية. وهي تتيح معلومات كافية عن المخاطر التي يتعرض لها الإنسان من أجل تقييم حالات التعرض الخارجية الحادة لدخول الإشعاع المنخفض القيمة للانتقال الخطي للطاقة (أى أشعة جاما والأشعة السينية)، وتشعيع المسالك الهوائية المركزية للجهاز التنفسي، والعظام والكبد بأشعة الفا، وتشعيع الغدة الدرقية بأشعة بيتا وجاما المنطلقة من اليود المشع المرسّب .

وبالنسبة لأنواع هامة أخرى من التعرضات، لا توجد معلومات بشأن العلاقة بين الجرعة والأثر عند الإنسان. وتشمل هذه التعرضات استنشاق الأكتينات الباعثة لأشعة الفا والمواد الانشطارية الباعثة لأشعة بيتا وجاما،

والتعرضات الخارجية الحادة والممتدة للنيوترونات والتعرضات الخارجية للإشعاعات النافذة المنخفضة القيمة للانتقال الخطي للطاقة. وحتى عهد قريب، كان يعتقد أن تعرضات الباقين على قيد الحياة من اليابانيين بعد تفجير القنبلة الذرية كانت تشتمل على عنصر نيوتروني ملموس يمكن على أساسه إظهار العلاقة بين الجرعة والأثر (٩). ومع ذلك يسود اليوم اعتقاد بأن التعرض للنيوترون ربما كان يشكل جزءاً صغيراً للغاية من التعرض الإجمالي بحيث لا يكون مفيداً لهذا الغرض. ولذلك لا توجد علاقات بين الجرعة والأثر مقبولة عموماً بالنسبة للتعرضات النيوترونية استناداً إلى الدارسات التي تجرى حالياً على البشر. ومع ذلك، فهناك كثير من الدراسات المختبرية بشأن آثار التعرض للنيوترون على الحيوانات، والخلايا والنظم دون الخلوية. ولذلك فإن بيان العلاقة بين الجرعة والأثر بالنسبة للنيوترونات وبعض الأنواع والأساليب الأخرى للتعرض للإشعاعات سوف يتوقف على تجميع نتائج الدراسات التي تجرى على الإنسان والحيوان والدراسات التي تجرى في غير الحي بالمختبرات على النحو المشار إليه في الشكل ٧ .

ومن المهم ملاحظة أنه يمكن أن تكون هناك فوارق هامة بين التعرضات الخارجية للإشعاع والتعرضات التي تنتج عن النويدات المشعة المترسبة داخلياً. والفوارق في معدلات الجرعة المتلقاة موضحة في الشكل ٨. وفي هذا الصدد، يشير التشعيع الخارجي إلى تعرض واحد حاد تنقل الجرعة أثناءه بمعدل عال على مدى فترة زمنية قصيرة جداً. وفي حالة النويدات المشعة المترسبة داخلياً، قد يكون التعرض قصيراً أو مزمناً، ولكن الجرعة تكاد أن تكون بطيئة دائماً عندما تكون مدة النصف الحيوية والمادية للاحتفاظ بالمادة المشعة طويلتين. ونظراً لأن هناك فوارق في فعالية الإشعاع في احداث آثار صحية تتوقف على الجرعة الإجمالية، ومعدل الجرعة، والسن وقت التعرض، والسن عند الوفاة وعوامل تغيير أخرى، لذلك يجب تعديل العلاقة بين الجرعة والأثر التي تم التوصل إليها استناداً إلى معلومات بشأن التعرضات الحادة للإشعاع حتى يمكن أن تأخذ في الحسبان بطء الجرعة عند تقييم مخاطر مثل هذه التعرضات. ويمكن عمل ذلك باستخدام المعلومات المستمدة من الدراسات المختبرية .

وقد استخدمت أيضاً الدراسات المتعلقة بالحيوانات الكاملة وبتسمم الخلايا وتلف الكروموزومات وتحولات حمض د ن أ لتحديد الفعالية البيولوجية النسبية لمختلف أنواع الإشعاعات. وقد تبين أن أشعة ألفا العالية القيمة للانتقال الخطي للطاقة والنيوترونات أكثر فعالية بعشر مرات إلى عشرين مرة في إحداث هذا التلف من أشعتي بيتا وجاما المنخفضة القيمة للانتقال الخطي للطاقة. وإلى حد ما تعتبر الفعالية الحيوية النسبية نسبة سمية، وقد أدى استخدام هذه المعلومات إلى صياغة نظام له صلة بعوامل نوعية الإشعاع (Q) لاستخدامه كوسيلة تنظيمية عند التعامل مع مختلف أنواع الإشعاعات (٢). وهذه تستخدم كمضاعفات للجرعة العالية القيمة للانتقال الخطي للطاقة المقاسة أو المحسوبة بغرض الحصول على جرعة فعالة أعلى وجديدة تكون مساوية من حيث الأثر لنفس المقدار من الإشعاع المنخفض القيمة للانتقال الخطي للطاقة. وعندئذ يمكن تطبيق هذه الجرعة الفعالة مع العلاقة بين الأثر والجرعة المنخفضة القيمة للانتقال الخطي للطاقة للتنبؤ بالخطر الناجم عن الإشعاعات العالية القيمة للانتقال الخطي للطاقة.

وقد استنبط نوع آخر من نسبة السمية من دراسات أجريت في حيوانات المختبرات وفي البشر لتوضيح الاختلافات في توزيع الجرعة الإشعاعية لترسب النويدات المشعة في العظام. وفي هذه الحالة، حسبت نسب السمية لسرطان العظام بالمقارنة بين الخطر الناجم عن النويدات المشعة التي تترسب على سطح العظام والنويدات المشعة التي تترسب داخل الهيكل العظمي. ونظراً لأن البلوتونيوم يترسب أساساً على سطح العظام بالقرب من الخلايا المعرضة للخطر، فقد تبين أنه أكثر فعالية في إحداث سرطان العظام من الراديوم الذي

يترسب في جميع أنحاء الهيكل العظمي. وأدى ذلك إلى استخدام عامل توزيع الجرعة (N)، وهو مضاعف للجرعة المحسوبة للعظام من أشعة ألفا التي تنبعث عن نويدات مشعة خلاف الراديوم. وتستخدم هذه الجرعة الفعالة مع العلاقة بين الجرعة والأثر التي استنبطت من دراسة البشر المعرضين للراديوم بغرض التنبؤ بخطر سرطان العظام الذي تحدثه النويدات المشعة الأخرى التي تنبعث منها أشعة ألفا.

وتوفر الدراسات المختبرية التي تستخدم حيوانات كاملة وسيلة لإيجاد العلاقة بين الجرعة والأثر بالنسبة لأمراض مثل السرطان. ولكن هناك أيضاً اختلافات هامة بين الحيوانات والبشر. وأكثر هذه الاختلافات أهمية هي (أ) طول العمر، (ب) الخصائص الفسيولوجية التي تؤثر في امتصاص النويدات المشعة، (جـ) الخصائص الأيضية التي تؤثر في إزالة التلوث، (د) الحساسية للسرطان المستحث بالإشعاع. ويمكن أن تظهر اعتبارات أخرى من حالات تجريبية، ولا سيما إذا كانت مستويات التعرض المستخدمة في الدراسات المختبرية أعلى من تلك التي تعرض لها هؤلاء الناس.

ولتفسير بعض هذه الاختلافات، ويمكن تركيب مجموعات مفيدة من المعلومات عن السمية عن طريق تجميع نتائج من الدراسات المختبرية والوبائية (١٤،١٥). فقد تتضمن هذه الدراسات معلومات عن المادة المحددة التي يجري تقييمها وعن مواد تتصل بها ذات تأثيرات حيوية مشابهة. ويشار إلى هذه الآثار كمواد بديلة أو كعوامل مادية. ويبين الجدول ٢ عينة لمجموعة من البيانات اللازمة لتقييم خطر سرطان الرئة على البشر الذين يستنشقون جسيمات مشعة تحتوي على أشعة جاما أو على أشعة بيتا – جاما التي تنبعث من نويدات مشعة. والصف الأعلى من تلك البيانات مستمد من دراسات وبائية، وهو يوضح عدد سرطانات الرئة المتوقعة أثناء حياة سكان تلقوا جرعة إشعاعية جماعية قدرها مليون راد. ولم يتم قياس أخطار سرطان الرئة الناجم عن التشعيع إلا عند الناس الذين تعرضوا لأشعة سينية خارجية، ولتفجيرات أسلحة ذرية، وللرادون ونتاجه. وقد استخدمت دراسات كثيرة حيوانات المختبرات لتقييم العوامل غير المعروفة لخطر السرطان على البشر. ويتضمن المثل الوارد في الجدول ٢ دراسات أجريت على كلاب وفئران.

ويمكن تقييم خطر سرطان الرئة بالنسبة للناس الذين يتعرضون لاستنشاق جسيمات مشعة من كل عنصر من عناصر هذه المجموعة إذا كنا نعرف (أ) الفعالية النسبية لأشعتي ألفا أو بيتا، مقارنة بأنواع أخرى من التعرض للإشعاع، عندما تستنشق في شكل جسيمات؛ (ب) الحساسية النسبية للناس، مقارنة بحساسية الفئران والكلاب لسرطان الرئة المستحث بالإشعاع. ويمكن تقدير الفعاليات النسبية لمختلف التعرضات الإشعاعية بحساب متوسط نسبة العناصر في العمود الأول أو الثاني من المجموعة إلى العناصر في أي عمود آخر. وبالمثل، يمكن تقدير الحساسية النسبية للبشر مقارنة بحيوانات المختبرات بحساب متوسط نسبة العناصر في الصف الأعلى من المجموعة إلى العناصر في أي صف آخر.

ويمكن بعدئذ استخدام كل عنصر من عناصر المجموعة للتوصل إلى تقدير خطر الإصابة بسرطان الرئة الذي يصيب البشر بسبب استنشاق جسيمات مشعة بضربها في العوامل المناسبة للفعالية النسبية وللحساسية النسبية. وباستخدام هذا الأسلوب، قدر أن عامل الخطر المتوسط للإصابة في حياة الإنسان بسرطان الرئة الناجم عن استنشاق الجسيمات التي تحتوي نويدات مشعة تنبعث منها أشعة ألفا يبلغ نحو ٣٢٠٠ إصابة بسرطان الرئة لكل مليون راد. وتناهز أعلى قيمة فردية ٧٠٠٠ إصابة بسرطان الرئة لكل مليون راد، أي نحو ضعف القيمة المتوسطة. وإذا عكسنا ترتيب العمودين الأولين في الجدول ٢ وكررنا حساب النويدات المشعة التي

تنبعث منها أشعة بيتا، حصلنا على عامل خطر حياتي متوسط يبلغ ٤٣٠ إصابة بسرطان الرئة لكل مليون راد، وهنا أيضاً تبلغ أعلى قيمة نحو ضعف القيمة المتوسطة. ويظهر الشكل ٩ توزيع عوامل الخطر المذكورة. وترد تفاصيل أخرى لاستخدام الدراسات المختبرية على هذا النحو في مكان آخر مع مثال لتطبيقها على التعرضات الكيميائية التي تسبب السرطان (١٤).

توزيع المخاطر بالنسبة للأفراد

ليس المقصود من المناقشة الواردة أعلاه تناول العلاقة بين الجرعة والأثر التي تستخدم في تقدير خطر الإشعاعات بشكل تفصيلي؛ وإنما القصد منها هو مجرد توضيح بعض النواحي المعقدة في تقييم الخطر الذي يهدد السكان المعرضين لتلك الإشعاعات وتظهر صعوبات إضافية عند الانتقال من تقييمات المجموعات الكبرى من السكان إلى تقييمات الأفراد. فالأفراد ينفردون بخصائص يمكن أن تغير خطر إصابتهم من التعرض أو بخصائص يمكن أن تصمد أمام الخطر وتخفض بالفعل من احتمال ظهور خطر الإشعاع. ولعل أفضل مثال تكشّف عن ذلك هو أثر تدخين السجائر على خطر الإصابة بسرطان الرئة المستحث بالإشعاع نتيجة استنشاق الرادون(١٦).

ويوضح الشكل ١٠ التعبير الرياضي الذي استحدثه ويتمور ومكميلان للتنبؤ بخطر الإصابة بسرطان الرئة. وهو يستخدم نموذج الخطر النسبي أو المضاعف ويحتوي على مصطلح يغطي التعرض للإشعاعات من ناتج الرادون المستنشق بوحدات المستوي العملي الشهري (WLM) وعلى مصطلح يغطي التعرض لدخان السجائر بمقياس عدد علب السجائر المدخنة مدى الحياة. وفي حساب العينة الذي يرد في الشكل ١٠، يقدر أن التدخين يزيد من خطر سرطان الرئة بمقدار ٤,٧ مثلاً ويضاعف التعرض لنتائج الرادون هذا الخطر بمقدار ٢,٥ مثلاً. ورغم أن التعرض الإشعاعي المفترض قد يؤدي إلى مايزيد على ضعف الخطر لعامل المناجم المدخن، فهو لا يسبب أكثر من ٢٠ ٪ من الخطر الكلي. فالتعرض لدخان السجائر وحده مسؤول عن ٤٠ ٪ من الخطر الكلي، وأما نسبة ٤٠٪ المتبقية فهي تعزى إلى معاملات التفاعل. ومن الصعب التوصية بكيفية استخدام هذا النوع من المعلومات في توزيع نسبتي الخطر بين التدخين والإشعاع؛ ومع ذلك، فهذه مسألة تتعلق بالسياسة العامة أكثر مما تتصل بالعلم.

وفي قانون العقاقير غير المغرية للمنتجين (العقاقير اليتيمة) (Orphan Drug Act) لعام ١٩٨٣، طلب كونغرس الولايات المتحدة من وزير الصحة والخدمات الإنسانية أن ينشر جداول معلومات بغية تقدير احتمال حدوث حالات السرطان لدى أشخاص بسبب سابق تعرضهم للإشعاع (٧). وقد ركز الاهتمام في البداية على حالات سرطان الغدة الدرقية التي نشأت لدى أشخاص تعرضوا لليود المشع من سقط الأسلحة النووية ، ولكن تجاوز الاهتمام ذلك ليشمل حالات سرطان أخرى يسببها الإشعاع. واستخدمت عمليات حسابية مشابهة في النزاعات القضائية بشأن الإصابة بسبب الإشعاع اقتضى الأمر فيها تقديم الدليل على ما إذا كان السرطان الذي نشأ لدى شخص قد حدث، في غالب الأمر، نتيجة تعرض سابق للإشعاع. ويلجأ الآن عموماً إلى هذا التطبيق من أجل حساب الحصة المحددة للأسباب التي يمكن إرجاعها إلى الإشعاع .

وقد تم تقدير الحصة المحددة التي يمكن إرجاعها إلى الإشعاع باستخدام حسابات نموذجي الخطر المطلق أو

الخطر النسبي. وعند استخدام النموذج المطلق، يعبّر عن الحصة المحددة التي يمكن ارجاعها إلى التعرض للإشعاع بمايلي :

$$\text{الحصة المحددة للإشعاع} = \frac{\text{حالات السرطان الإضافية لكل وحدة من السكان لكل وحدة من الجرعة} \times \text{الجرعة}}{\text{حالات السرطان المتوقعة لكل وحدة من السكان} + \text{حالات السرطان الإضافية لكل وحدة من السكان لكل وحدة من الجرعة} \times \text{الجرعة}}$$

والمفروض أن يشتمل خطر السرطان المتوقع على كل عوامل أنماط الحياة التي تسهم في إصابة فرد ما بمرض السرطان، رغم أن كثيراً من هذه العوامل جرت تغطيتها بالفعل بشكل عام بواسطة البيانات الوبائية. وينبغي إيلاء اعتبار خاص للعوامل الوراثية، وللتعرضات للعلاج بالأشعة، وللعوامل الأخرى المسببة للسرطان ولعامل السن، وموقع الإقامة والتدخين والعادات الغذائية. وباستخدام نموذج خطر السرطان النسبي، يمكن التعبير عن التسبب الجزئي بما يلي :

$$\text{الحصة المحددة للإشعاع} = \frac{\text{الزيادة الجزئية في الخطر لكل وحدة جرعة} \times \text{الجرعة}}{١ + \text{الزيادة الجزئية في الخطر لكل وحدة جرعة} \times \text{الجرعة}}$$

ويفترض هذا النموذج أن الإشعاعات، ببساطة، تضاعف خطر إصابة الفرد بسرطان يرجع إلى جميع الأسباب الأخرى أياً كانت. وعندما تتجاوز الحصة المحددة التي ترجع إلى الإشعاع نسبة ٥ في المائة باستخدام أي من طريقتي الحساب، فإنه يمكن الدفع بأنه يمكن عزو السرطان، في غالب الأمر، إلى التعرض للإشعاعات.

وتوصي جداول مخاطر السرطان الإشعاعية، التي قدمها وزير الصحة والخدمات الإنسانية مؤخراً إلى الكونغرس الأمريكي، باستخدام حسابات نموذج الخطر النسبي (المتضاعف) في تقييم كل الحالات ماعدا سرطان الرئة الذي يصيب المدخنين (١٨). ورغم ذلك، يصعب استخدام حساب نموذج الخطر المطلق لهذا الغرض لأن استخدامه يقتضي توافر معلومات محددة عن نمط حياة فرد متعرض لايسهل تقديمها في جداول بسيطة. وحساب نموذج الخطر النسبي أبسط استخداماً، ولكن لم يمكن التدليل على إمكانية تطبيقه على حسابات مخاطر الإشعاعات بغض النظر عن سابق تعرض فرد ما لعوامل أخرى مسببة للسرطان. كما أنه من غير الواضح كيف يمكن إدخال مخاطر السرطان الذي تسببه عوامل متعددة ضمن العلاقات اللازمة لحساب الحصة المحددة. وحتى إن أمكن التدليل على صحة فرضيات نموذج الخطر النسبي، فإن الناس الذين تؤدي عوامل أساليب حياتهم إلى ازدياد مستوى الخطر التلقائي للإصابة بالسرطان يسهمون في زيادة احتمال إصابتهم فعلياً بالسرطان. ونتيجة لنهج الحصة المحددة، يمكن لأصحاب العمل أن يتفادوا تعيين المدخنين، والنساء

والأفراد الذين تجاوزوا سن الأربعين في وظائف تنطوي على تعرض للإشعاعات.

وقد يكون لمثل هذه السياسة تأثير كبير على ممارسات التوظيف بقليل من المسوغات العلمية أو بدون مسوغات علمية على الإطلاق. ويمكن لها أيضاً أن تمثل طريقة جديدة لتحديد إجراءات تحكم حقيقي في التعرضات الإشعاعية لأنه سيكون في مقدور أصحاب العمل عندئذ أن يتفادوا النزاعات القضائية بشأن السرطان الناجم عن الإشعاع عن طريق عدم السماح بأن يتعرض مستخدموهم لتراكم جرعات أكبر مما يمكن معه تقدير أنه يضاعف الخطر التلقائي للإصابة بأكثر أنواع السرطان حساسية للإشعاعات. ولكن للأسف أن عدم التيقن الأساسي في تقدير مخاطر السرطان بسبب الإشعاع كبير للغاية، وقد تكون كل عملية حساب الحصة المحددة لمخاطر السرطان التي تعزى إلى الإشعاع غير دقيقة أكثر من اللازم بحيث لايمكن استخدامها في إيجاد حل لأغلب المنازعات القضائية.

وفي فترة لاحقة، أعادت لجنة تابعة لمجلس البحوث الوطني بالولايات المتحدة النظر في النهج الذي يستخدم الحصة المحددة (١٩). وأعربت هذه اللجنة عن قلقها لأن حساب الحصص المحددة لأنواع السرطان الحساسة للإشعاعات معقد وغير واضح بالنسبة لكل الحالات. كما أنها أبرزت الحاجة إلى وضع تقديرات لمدى عدم التيقن فيما يتعلق بالحصص المحددة لأن هذا التقدير ربما يضع قيوداً واضحة على استخدام هذه الحصص في حلّ النزاعات المتصلة بالإصابة بالإشعاعات.

اتجاهات المستقبل في تقييم المخاطر

يجب سدّ عدة فجوات هامة في المعلومات في المستقبل القريب إذا أريد لتقييم المخاطر أن يلعب دوراً أكثر أهمية في حلّ الشواغل والمناقشات العامة المتعلقة بمشاكل مخاطر الإشعاعات. وهذا يقتضي توفير معلومات جديدة في المجالات التالية :

١ – إظهار خصائص المخاطر التي تهدد صحة الإنسان بسبب التعرض للنيوترونات ولنطاق أوسع من النويدات المشعة المترسبة داخلياً،

٢ – إظهار خصائص التفاعلات بين مختلف أنواع التعرض للإشعاعات المؤينة وامتزاج الإشعاعات المؤينة بالمواد السامة كيميائياً.

٣ – إثبات صحة نماذج رياضية ملائمة لإظهار خصائص المخاطر الصحية الناجمة عن التعرضات الشديدة والمزمنة للإشعاعات.

٤ – وضع مبادئ توجيهية مقبولة عموماً لإجراء تقييمات المخاطر وتقدير الحصص المحددة للإشعاعات بوصفها أحد أسباب الإصابة بالسرطان.

وبالرغم من أن هذا التقرير قد ركّز أساساً على المشاكل المرتبطة بإجراء تقييمات للمخاطر في حالة التعرضات العارضة أو المحتملة للإشعاع، وأن مهمة إجراء هذه التقييمات بطريقة يمكن الدفاع عنها علمياً قد تبدو بالغة الصعوبة أو حتى مستحيلة، فإنه لا يمكن التعويل على بدائل تقييم المخاطر. ومن ثم ينبغي للمتخصصين من العلميين ورجال السياسة عموماً أن يميزوا جوانب القوة والضعف في مثل هذه النهج، وأن يتفقوا بعد ذلك على مجموعة معقولة من المعايير يمكن قبولها من أجل تطبيق أسلوب تقييم المخاطر في كل من المجالات الموصوفة في بداية هذا التقرير.

المراجع

1. National Research Council Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health. Risk Assessment in the Federal Government; Managing the Process, National Academy Press, Washington, DC, 1983.
2. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford, 1977.
3. International Commission on Radiological Protection. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30, Pergamon Press, Oxford, 1979.
4. U. S. Department of Energy Office of Nuclear Energy. Models and Parameters for Environmental Radiological Assessments (C. W. Miller, ed.), Technical Information Center, U. S. Department of Energy, Washington, DC, 1984.
5. Little, C. A. and C. W. Miller. The Uncertainty Associated with Selected Environmental Transport Models, Oak Ridge National Laboratory Report, ORNL 5528, 1979.
6. Cuddihy, R. G., R. O. McClellan and W. C. Griffith. Variability in Target Organ Deposition Among Individuals Exposed to Toxic Substances, Toxicol. Appl. Pharmacol. 49: 179-187, 1979.
7. USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy. The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences, Information Compiled for the IAEA Experts Meeting, Vienna, August, 1986.

8. Scott, B. R. and F. F. Hahn. Early Occurring and Continuing Effects. In Health Effects Model for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis (compiled and edited by J. S. Evans, D. W. Moeller and D. W. Cooper), NUREG/CR-4214, 1985.

9. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, National Research Council. The Effects of Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: 1980, National Academy Press, Washington, DC, 1980.

10. United National Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations, New York, 1977.

11. Kato, H. and W. J. Schull. Studies of the Mortality of A-Bomb Survivors; 7. Mortality, 1950-1978: Part 1 Cancer Mortality, Radiat. Res. 90: 395-432, 1982.

12. Cuddihy, R. G. Risks of Radiation Induced Lung Cancer. In Critical Issues in Setting Radiation Dose Limits, NCRP Proceedings No. 3, pp. 133-152, 1982.

13. National Council on Radiation Protection and Measurements. Evaluation of Occupational and Environmental Exposures to Radon and Radon Daughters in the United States, NCRP Report No. 78, 1984.

14. Cuddihy, R. G., B. B. Boecker, F. F. Hahn and R. O. McClellan. Human Risk Relationships Derived from Epidemiology and Laboratory Studies, Inhalation Toxicology Research Institute Annual Report, LMF 107, pp. 363-371, 1983.

15. DuMouchel, W. H. and J. E. Harris. Bayes and Empirical Bayes Methods for Combining Cancer Experiments in Man and Other Species, Department of Economics, Massachusetts Institute of Technology, Technical Report No. 24, 1981.

16. Whittemore, A. S. and A. McMillan. Lung Cancer Mortality Among U. S. Uranium Miners; A Reapprisal, J. Nat. Can. Inst. 71: 489, 1983.

17. Orphan Drug Act, Public Law No. 97-414, Sec. 7, 96 Stat 2059, 1983.

18. U. S. Department of Health and Human Services. Report of the National Institutes of Health Ad Hoc Working Group to Develop Radioepidemiological Tables, NIH Publication No. 85-2748, 1985.

19. U. S. National Research Council, Oversight Committee on Radio-epidemiologic Tables. Assigned Share for Radiation as a Cause of Cancer, National Academy Press, Washington, DC, 1984.

20. McClellan, R. O. Health Effects from Internally Deposited Radionuclides Released in Nuclear Disasters, in the Control of Exposure of the Public to Ionizing Radiation in the Event of Accident or Attack, Proceedings of a Symposium Sponsored by the National Council on Radiation Protection and Measurements held in Reston, Virginia, April 27-29, 1981.

21. McClellan, R. O. Health Effects of Diesel Exhaust: A Case Study in Risk Assessment, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 47: 1-13, 1986.

الجـــــدول ١

ملخص وفيات السرطان بحسب الموقع ما بين ١٩٥٠ و ١٩٧٨ فى العينة اليابانية لدراسات طول العمر التي أجرتها مؤسسة بحوث آثار الإشعاعات (١١)

نـوع السـرطـــان	الوفيـات الإجمـاليـة	الوفيـــات الإضافيـة
لوكيميا (ابيضاض الدم)	١٨٠	٩١ (٥٠)أ
كل أنواع السرطان باستثناء اللوكيميا	٤٥٧٦	١٦٠ (٥,٣)
المرىء	١٥٦	٨ (٥,١)
المعدة	١٧٥٤	٤٢ (١٠)
القولون	١٥٧	١٦ (١٠)
أعضاء أخرى بالجهاز الهضمي	٥٩٥	٢٤ (٤,٠)
الرئة	٤٥٩	٣٢ (٧,٠)
الثدي (عند النساء)	١٢٨	١٥ (١٢)
المسالك البولية	١٠٤	٨ (٧,٧)
السرطان النخاعي المتعدد	٢٠	٦ (٣٠)
كل الأسباب	٢٣٥٠٢	

(أ) تمثل الأرقام الواردة بين قوسين الوفيات الإضافية بالسرطان كنسب مئوية من إجمالى الوفيات بحسب الموقع.

الجـــــدول ٢

ملخص مخاطر سرطان الرئة على مدى العمر لدى من يتعرضون للإشعاع الخارجي والنشاط الإشعاعي المستنشق من الناس والحيوانات .

سرطان الرئة لكل مليون راد

	الجسيمات المستنشقة		أشعة سينية	الـــــرادون
	ألـفـا	بيتـا	خارجية	والجسيمات المتولدة عنه
الأشخـاص	؟أ	؟	١٤٠ (١٠٠) ب	١٠٠٠
الجـــرذان	١٧٥٠	٢٢٠	١٣٠	١٥٠٠
الكـــلاب	٦٣١	٨٠	٦٠	٦٠

(أ) قيمة مجهولة ينبغي تقديرها من عناصر أخرى في الجدول ، كما هو موضح في النص.

(ب) يشير العدد الموضوع بين قوسين إلى الناجين من القنبلة الذرية الملقاة على اليابان وتعرضوا أساساً لأشعة غاما.

عنـــاوين الأشـــكال

الشكل ١ – رسم بياني تخطيطي للعلاقات بين البحوث العلمية، وتقييم المخاطر وإدارة المخاطر. وهو مقتبس من تقرير أعدته الأكاديمية الوطنية للعلوم بالاشتراك مع المجلس الوطني للبحوث بالولايات المتحدة (١).

الشكل ٢ – مجمل الخطوات المستخدمة في تقييم تعرضات البشر، وجرعات الإشعاع، والمخاطر الصحية التي تنجم عن إطلاق مواد مشعة في البيئة.

الشكل ٣ – العلاقات الزمنية التي تربط مستويات النشاط الإشعاعي في البيئة، والامتصاص أو التعرضات الخارجية للناس، والجرعة للأنسجة المهددة والآثار الصحية المحتملة – مقتبس من McClellan et al (٢٠).

الشكل ٤ – مقارنة الأشكال الرياضية المختلفة للعلاقات بين الجرعة والأثر التي تؤكد إمكانية التقدير الاستقرائي من منطقة الجرعة العالية حيث تتوافر معلومات عن الآثار إلى منطقة الجرعة المنخفضة التي ربما لا تتوفر عنها أي معلومات.

الشكل ٥ – أنماط مخاطر السرطان الزائدة الناجمة عن التعرض للإشعاعات المؤينة والمتنبأ بها باستخدام نماذج الخطر الثابت والخطر المطلق والخطر النسبي.

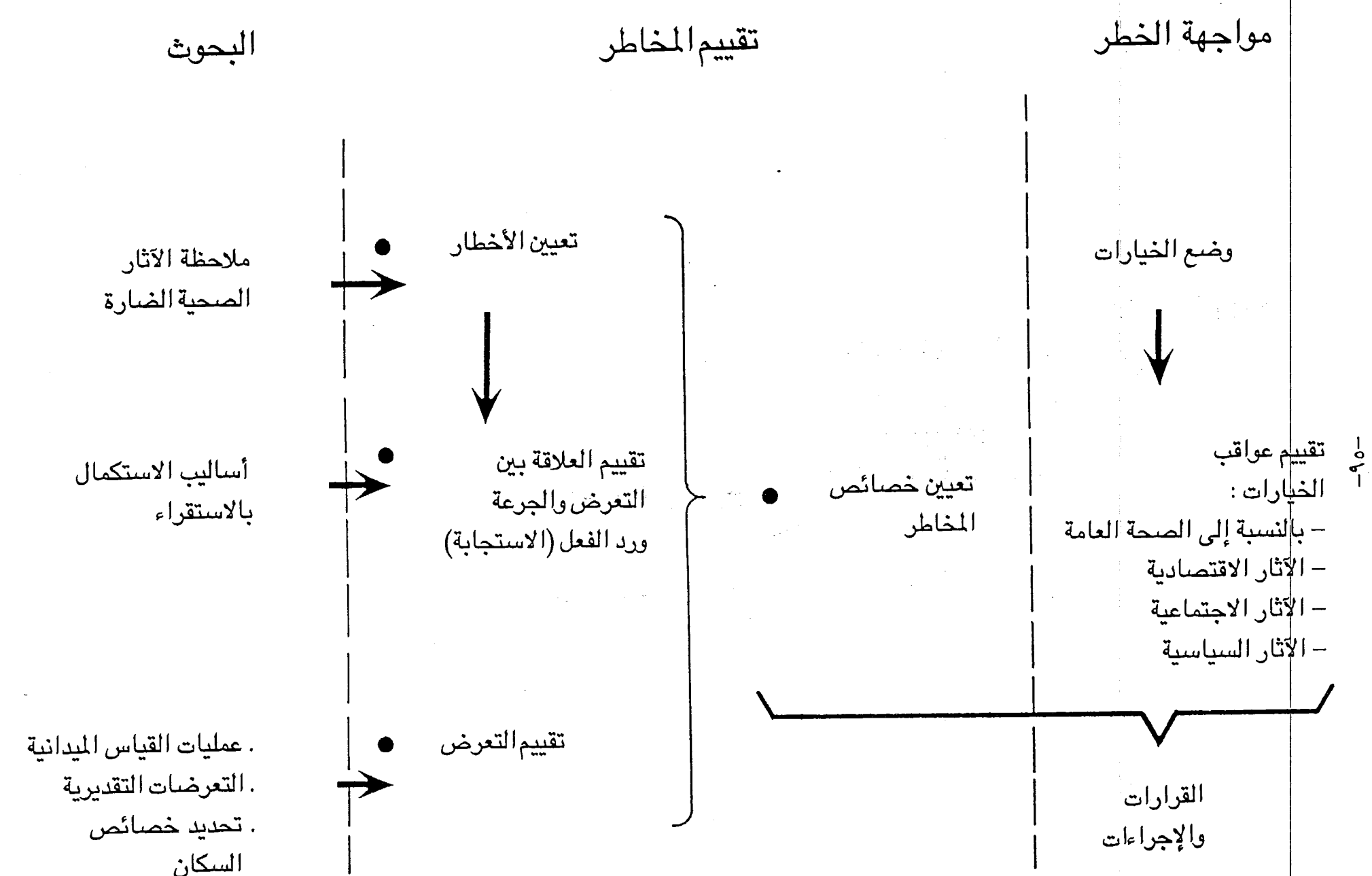
الشكل ٦ – تصوير العلاقة الزمنية بين تولد السرطان، ومرحلة الكمون، وظهور السرطان. ويوضح الشكل أيضاً مستوى التغير الحيوي مع تقدم الآثار الصحية.

الشكل ٧ – كثيراً ما يقتضي الأمر مصادر معلومات متعددة عند إجراء تقييمات المخاطر – تصوير منقول عن ماكليلان McClellan (٢١) .

الشكل ٨ – ملخص للعلاقات الزمنية بين التعرض، والجرعة والعمر لحالات التشعيع الخارجي الحاد والنويدات المترسبة داخلياً. وقد استمدّت أغلبية البيانات المتعلقة بالآثار على صحة البشر من دراسات تتناول التشعيع الخارجي، بينما لا تتوافر سوى بيانات قليلة جداً عن النويدات الداخلية.

الشكل ٩ – توزيع عوامل مخاطر سرطان الرئة المحسوبة لأفراد يستنشقون جسيمات تحتوي على نويدات تنبعث منها أشعة ألفا وبيتا–غاما. وتشمل عملية الحساب بيانات موضحة بالجدول ٢ .

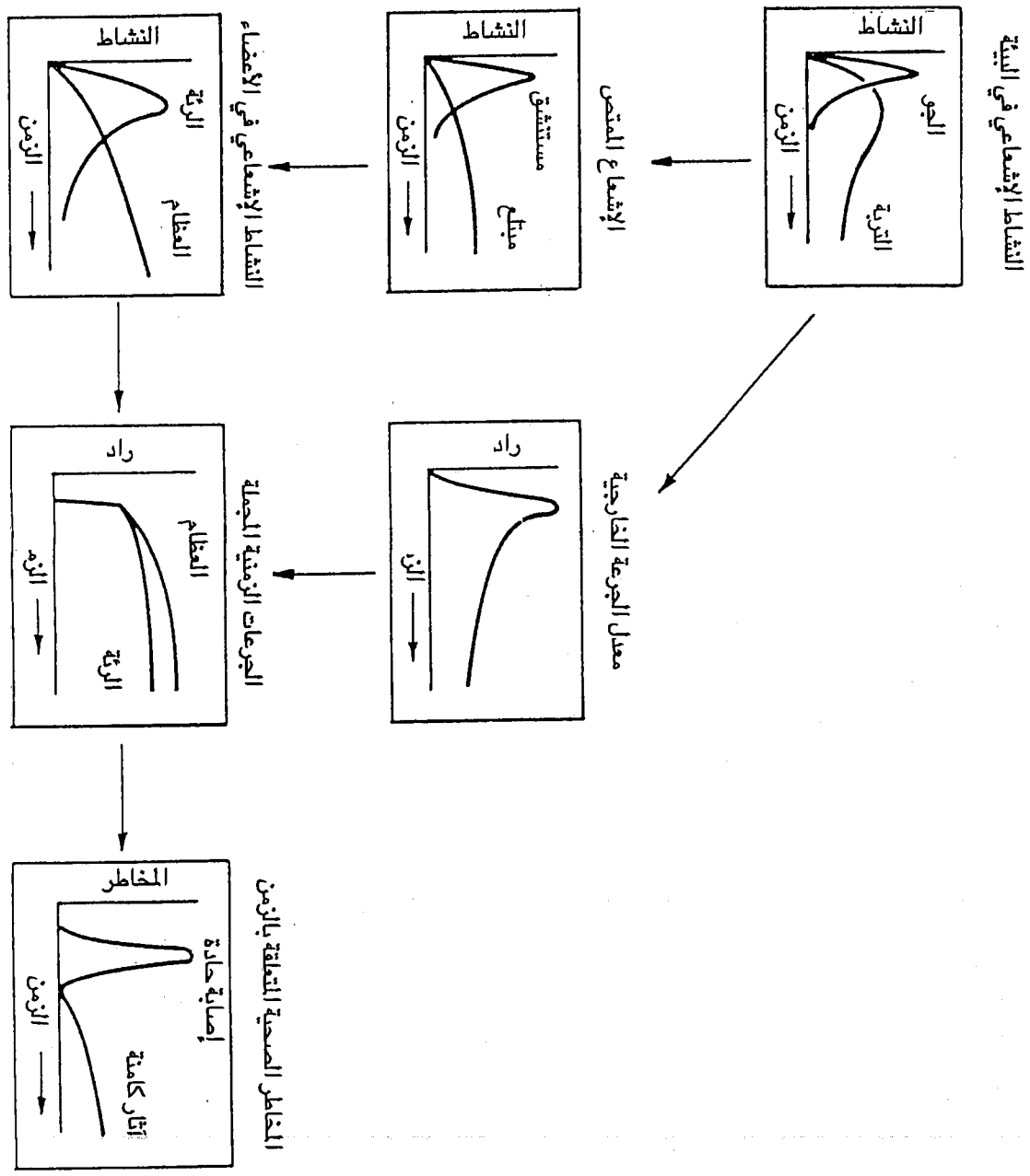
الشكل ١٠ – حساب عينة لمخاطر سرطان الرئة لمدخن سجائر يتعرض أيضاً لاستنشاق الجسيمات المتولدة عن الرادون. وتستخدم في الحساب معادلة ويتمور وماكميلان Whittemore and McMillan (١٦).


البحوث
تقييم المخاطر
مواجهة الخطر
ملاحظة الآثار
الصحية الضارة
تعيين الأخطار
وضع الخيارات
أساليب الاستكمال
بالاستقراء
تقييم العلاقة بين
التعرض والجرعة
ورد الفعل (الاستجابة)
تعيين خصائص
المخاطر
تقييم عواقب
الخيارات :
– بالنسبة إلى الصحة العامة
– الآثار الاقتصادية
– الآثار الاجتماعية
– الآثار السياسية
. عمليات القياس الميدانية
. التعرضات التقديرية
. تحديد خصائص
السكان
تقييم التعرض
القرارات
والإجراءات

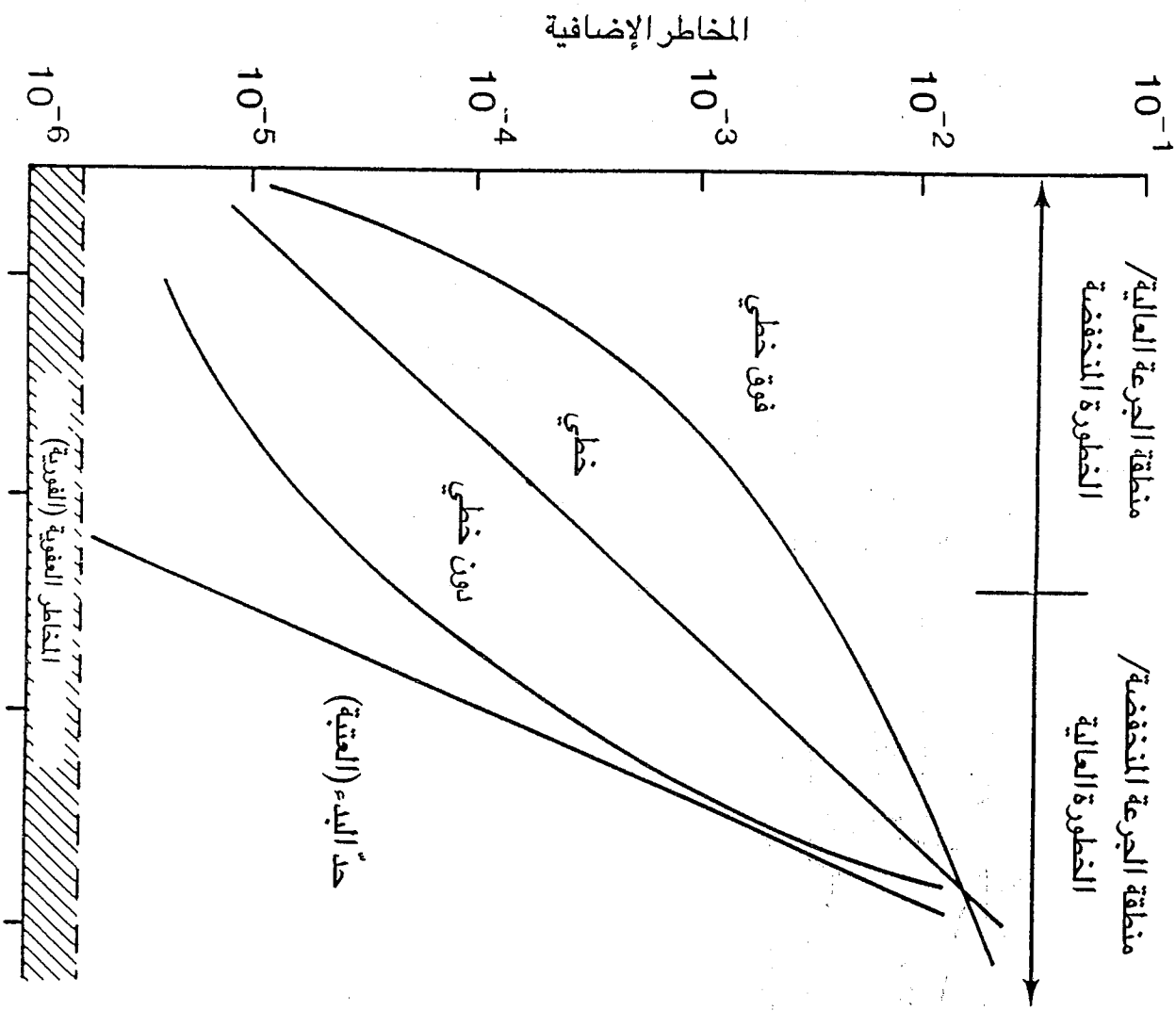
الشكل ١

تحديد خصائص مصدر الإشعاع
(نماذج النقل)
بيئة التعرض
(نماذج التعرض - الجرعة)
الجرعة في الأنسجة الحساسة
(نماذج الاستجابة للجرعة)
المخاطر الصحية

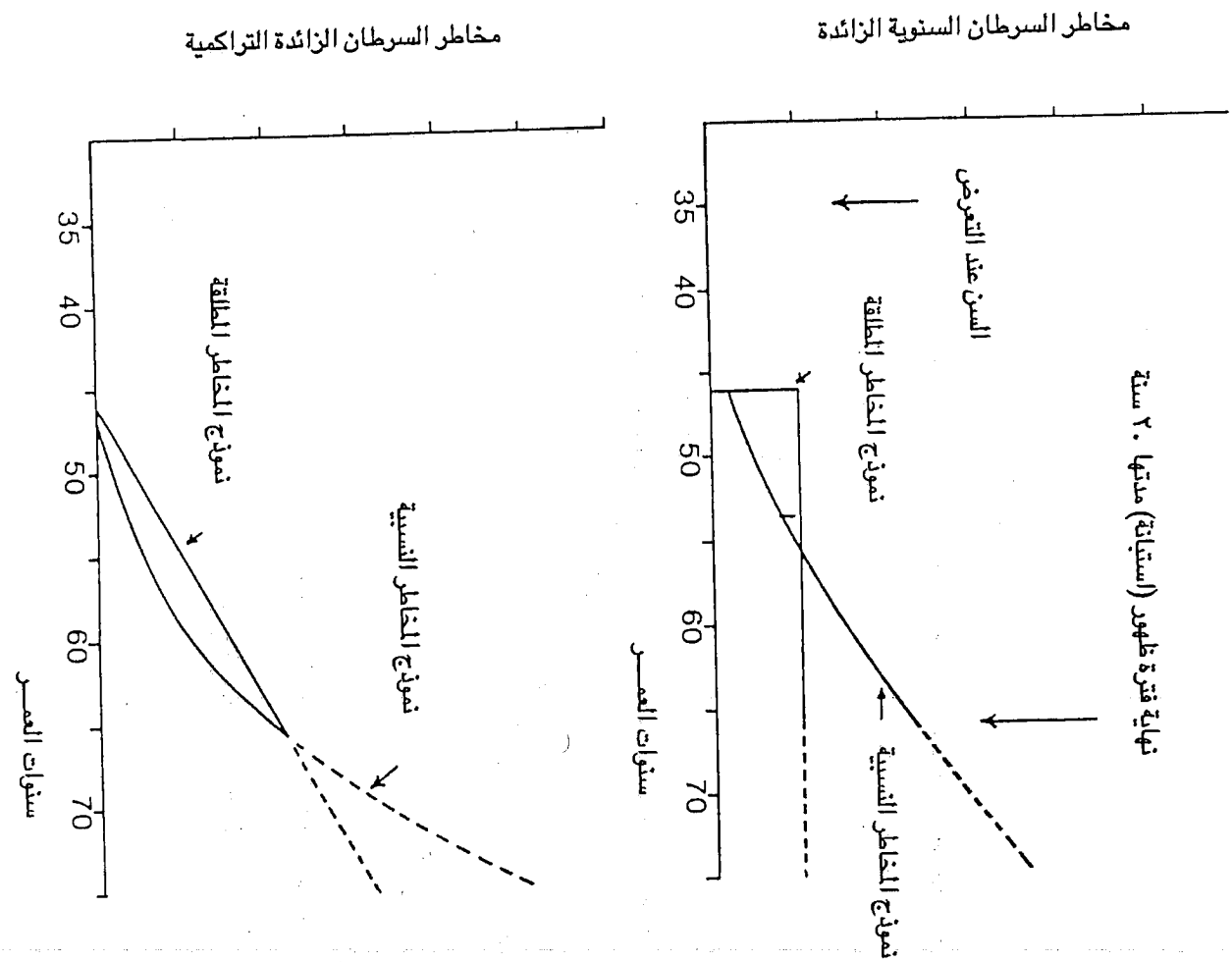
الشكل ٢


النشاط الإشعاعي في البيئة
النشاط
الجو
التربة
الزمن
الإشعاع المتص
النشاط
مستنشق
مبتلع
الزمن
النشاط الإشعاعي في الأعضاء
النشاط
الرئة
العظام
الزمن
معدل الجرعة الخارجية
راد
الز
الجرعات الزمنية المجملة
راد
العظام
الرئة
الزم
المخاطر الصحية المتعلقة بالزمن
المخاطر
إصابة حادة
آثار كامنة
الزمن

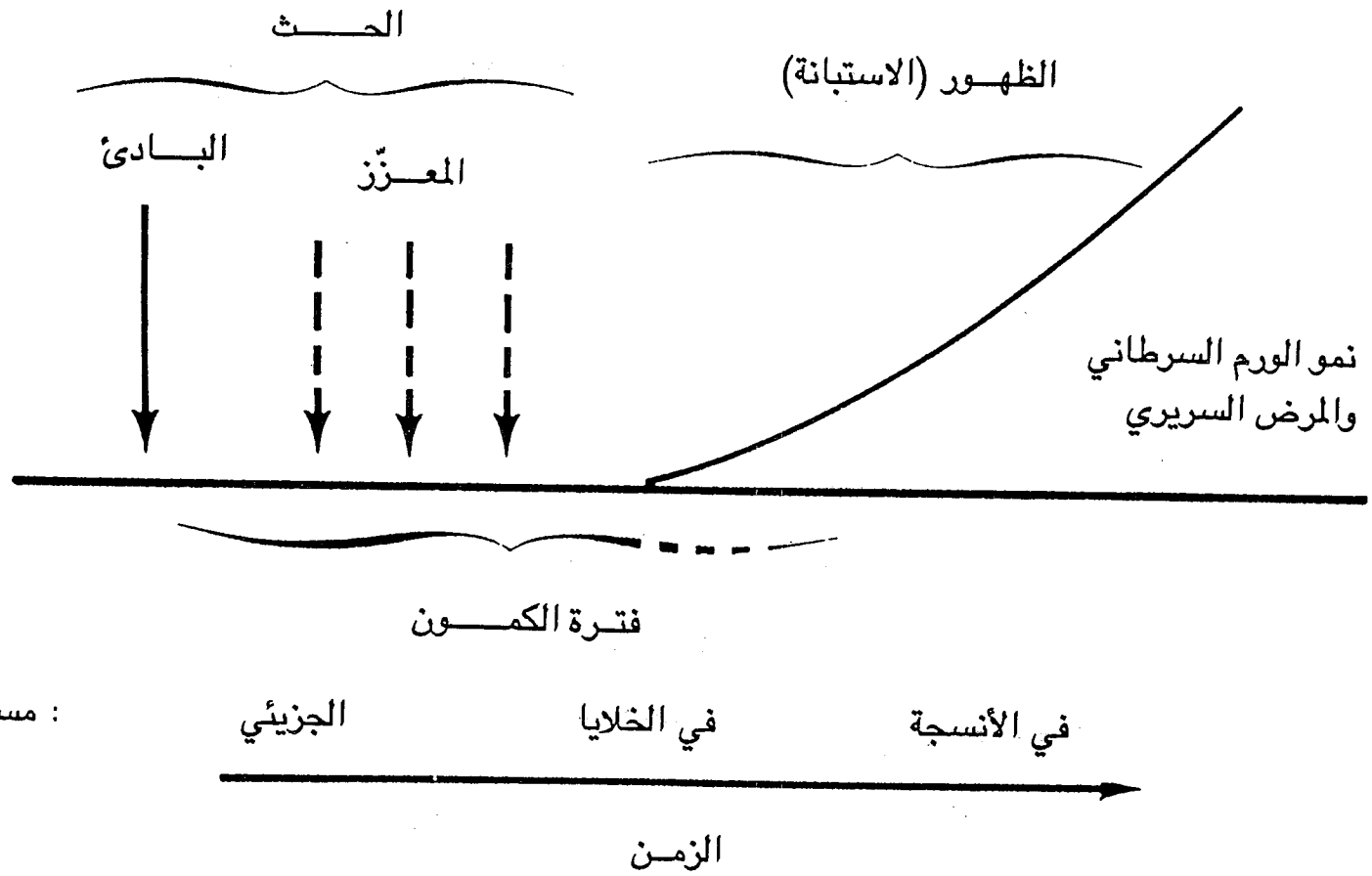
الشكل ٣


المخاطر الإضافية
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
منطقة الجرعة العالية/ الخطورة المنخفضة
منطقة الجرعة المنخفضة/ الخطورة العالية
فوق خطي
خطي
دون خطي
حدّ البدء (العتبة)
المخاطر الغفلية (الفوردية)
0.1
1
10
100
الجرعة النسبية

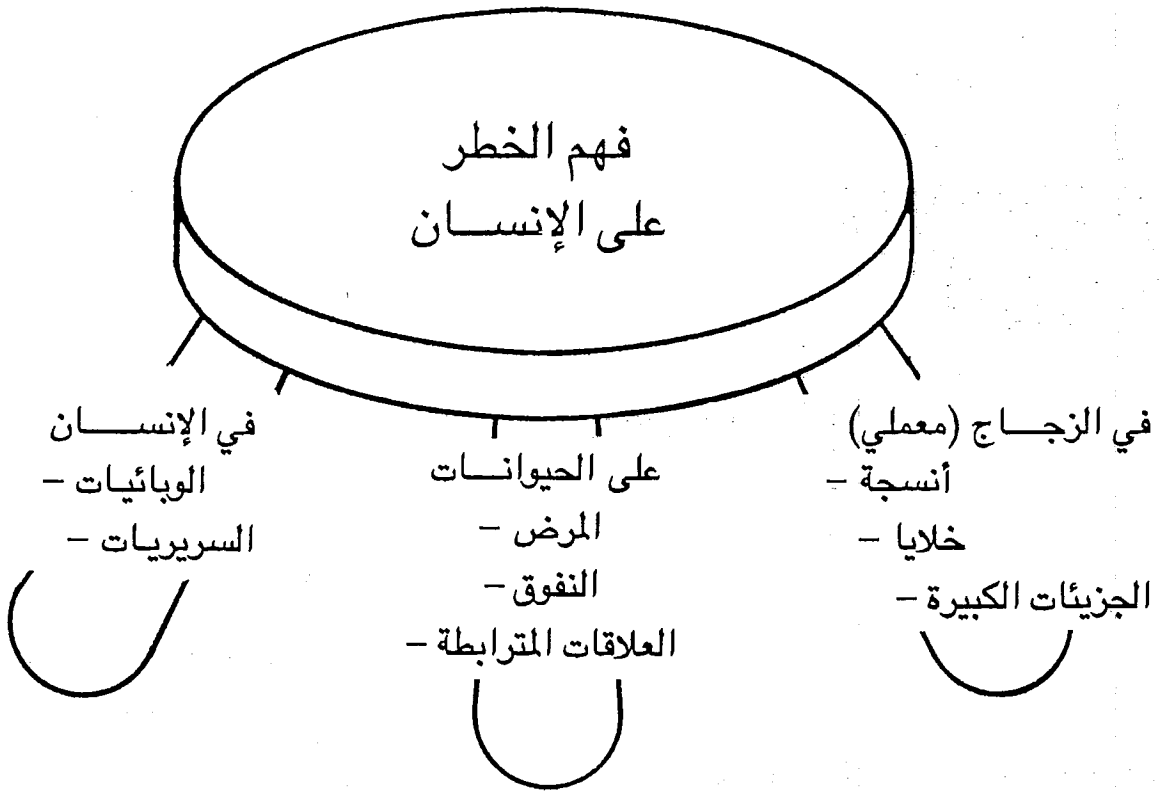
الشكل ٤


مخاطر السرطان السنوية الزائدة
نهاية فترة ظهور (استبانة) مدتها ٢٠ سنة
السن عند التعرض
نموذج المخاطر المطلقة
نموذج المخاطر النسبية
35
40
50
60
70
سنوات العمر
مخاطر السرطان الزائدة التراكمية
نموذج المخاطر النسبية
نموذج المخاطر المطلقة
35
40
50
60
70
سنوات العمر

الشكل ٥


الحـــث
الظهـور (الاستبانة)
البـادئ
المعـزّز
نمو الورم السرطاني
والمرض السريري
فتـرة الكمـــون
مستوى التأثير :
في الأنسجة
في الخلايا
الجزيئي
الزمـن

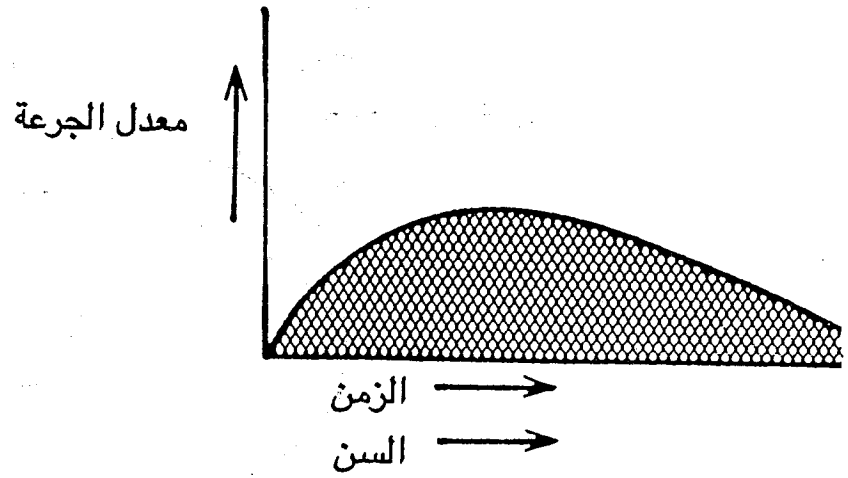
الشكل ٦


فهم الخطر
على الإنسان
في الإنسان
الوبائيات –
السريريات –
على الحيوانات
المرض –
النفوق –
العلاقات المترابطة –
في الزجاج (معملي)
أنسجة –
خلايا –
الجزيئات الكبيرة –

الشكل ٧

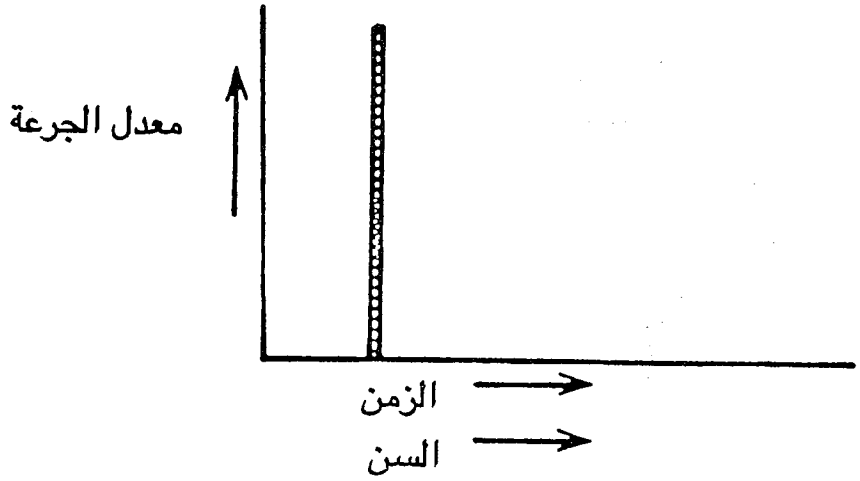
النويـــدات المشعـــة

التعرض – قد يكون مزمناً
الجرعة – يغلب أن تكون مزمنة وغير متماثلة

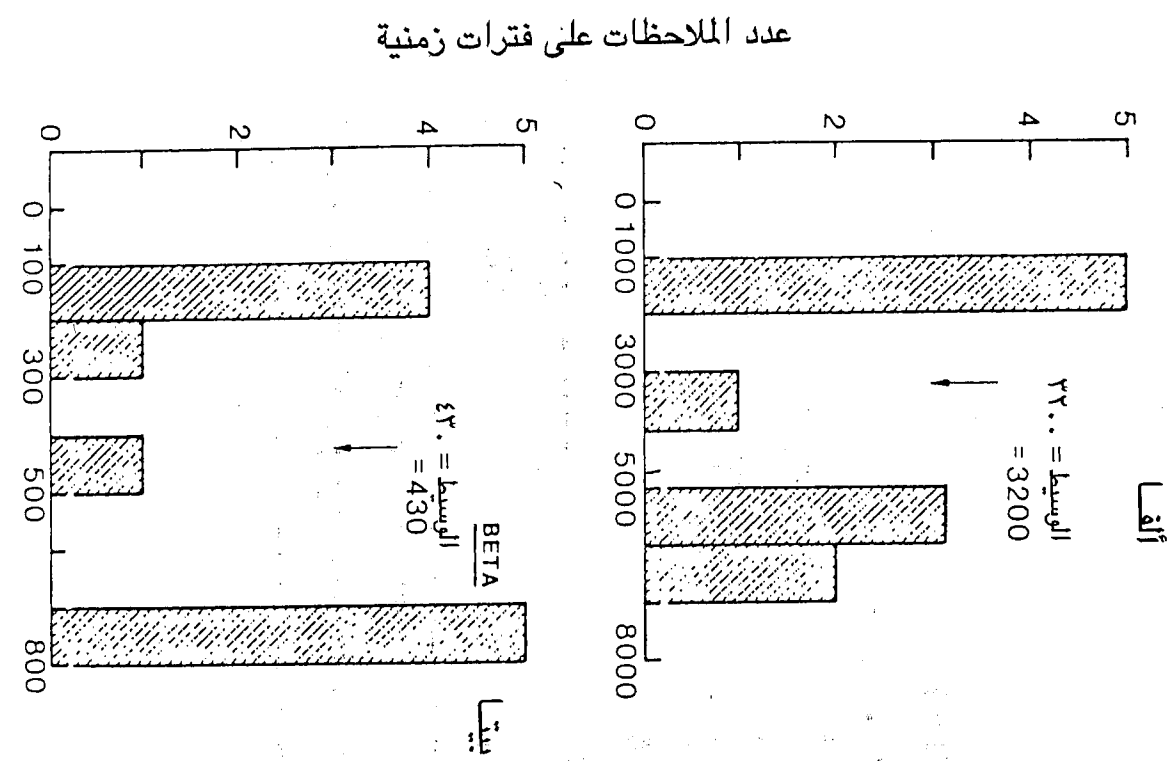


التشعع الخارجـــي

– التعرض وامتصاص الجرعة يحدثان فى وقت واحد
– الجرعة – متماثلة نسبياً
– أغلبية البيانات تتعلق
بالأفراد المتعرضين للإشعاع



الشكل ٨

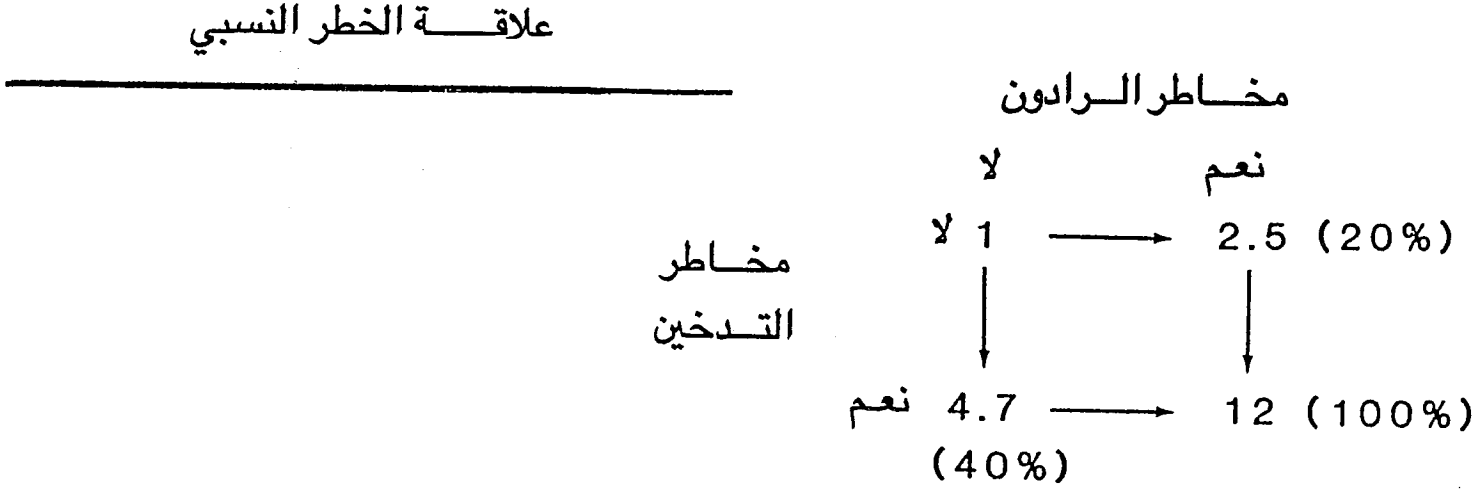


عدد حالات السرطان على مدى الحياة لكل مليون شخص

الشكل ٩

سرطان الرئة = [١ + ٠,٠٠٠٣١ x وحدات المستوى العملي الشهري (WLM)] [١ + ٠,٠٠٠٠٥١ x عدد علب السجائر المدخنة]

بافتراض أن ٥٠٠ تعرض لوحدات WLM لنويدات الرادون الوليدة يعادل
تدخين ٧٣٠٠ علبة سجائر



الشكل ١٠

اتفاق حق الطبع والنشر

عنوان الصحيفة :

عنوان البحث : تقييم مخاطر الإشعاعات : الوضع الراهن والاتجاهات المستقبلية

اسماء وجهات عمل

المؤلفين الرئيسين : ر. غ. كوديهي، ب .ب . بوكر؛ ف. ف. هان؛ ب. أ. موغنبرج؛ ر. و. ماكليلان، معهد لوفليس لبحوث التسمم بالاستنشاق، معهد البحوث الطبية الحيوية والبيئية،
P.O.Box 5890, Albuquerque, NM 87185

بيان حكومة الولايات المتحدة التعاقدي

هذا المخطوط المقدم حرّره متعاقد، هو معهد لوفليس للبحوث الطبية الحيوية والبيئية، التابع لحكومة الولايات المتحدة، بموجب عقد وزارة الطاقة رقم DE-ACO4-76EV01013. وبناء عليه، تحتفظ حكومة الولايات المتحدة بترخيص غير حصري ودون مقابل لطبع أو استنساخ الشكل المطبوع لهذا الإسهام العلمي، أو بحق السماح لآخرين بذلك، لأغراض حكومة الولايات المتحدة.

التاريخ ١٩ آذار/مارس ١٩٨٧

التوقيع

ريتشار كوديهي

البحث والتطوير في معهد الحماية من الإشعاعات والبيئة (معهد بريما) التابع لمركز بحوث الطاقة البيئية والتكنولوجية CIEMAT

(اسبانيا)

مقدمـــة

يضطلع معهد بريما PRYMA بالمسؤولية عن برنامج في مجال التفاعل بين الطاقة والبيئة، في إطار مركز بحوث الطاقة البيئية والتكنولوجية.

والهدف الأساسي من هذا البرنامج هو تحقيق أقصى درجة ممكنة من الاتساق بين النشاط الصناعي ونوعية البيئة، أو بتعبير أبسط، بين الإنتاجية والنظام البيئي.

وينصبّ تركيز هذا البرنامج على تسهيل التزام المنشآت النووية بصورة أفضل باللوائح البيئية التي تتعلق بها. والمفروض بديهياً أن يؤدي هذا إلى حماية أكبر للجمهور وبيئته.

ويدعم الالتزام بتلك اللوائح عن طريق أنشطة تستهدف تحقيق مستوى أمثل من المعايير والعمليات، وتعزيز فهم أفضل للبيئة وللطريقة التي تجيب بها على مايفسد نظامها، وإتاحة طرائق قياس فعالة، والإعداد من أجل مواجهة حالات الحوادث، والإسهام في تدريب العاملين.

خطـوط العمـــل

تم تنظيم برنامج عمل معهد بريما وفق خطوط عمل خمسة :

- السلوك البيئي للنويدات المشعة طويلة الأمد؛
- الأثر البيئي للطاقة النووية؛
- الحماية الداخلية من الإشعاعات؛
- الكيمياء الفيزيائية الجوية وآثار الملوثات؛
- الآثار الحيوية للعناصر الضارة بالبيئة.

وتمثل الخطوط الثلاثة الأولى برنامجاً فرعياً للحماية من الإشعاعات، بينما يختص الخطان الأخيران بمواضيع تتعلق بالملوثات التقليدية، دون استبعاد الملوثات ذات الطبيعة الإشعاعية.

وفيما يلي مناقشة لهذه الخطوط المختلفة.

السلوك البيئي للنويدات المشعة طويلة الأمد

تتابع أنشطة هذا المشروع هدفين : فهي من ناحية ترمي إلى اكتساب فهم أفضل للسلوك البيئي للنويدات المشعة التي لها، نظراً لطول أمدها وسميتها، أهمية كبيرة فيما يتعلق بإدارة النفايات المشعة، ومن ناحية أخرى، إلى مواجهة المتطلبات الوطنية الاجتماعية للرصد الإشعاعي في مناطق يوجد بها بعض من هذه النويدات المشعة. وهذان الهدفان متكاملان، فالأثر المرجو من هذه الدراسات هو بلوغ رصد أفضل. وفضلاً عن ذلك، يشمل هذا الخط مسألة الاستراتيجيات التي يجب اتباعها لإصلاح المناطق الزراعية بعد تلوثها بالنويدات المشعة.

ويقوم هذا الخط من العمل على ثلاثة مشاريع فرعية :

- المتابعة الإشعاعية ورصد التلوث بعناصر عددها الذري أعلى من اليورانيوم في بالوماريس (منطقة أليريا)، وهذا يتضمن دراسة لسلوك البلوتونيوم والأمريكيوم في بيئة أرضية، بمعاونة من وزارة الطاقة بالولايات المتحدة وعدد من المختبرات الأمريكية وبالاشتراك مع مجلس السلامة النووية (CSN) في اسبانيا؛

- سلوك البلوتونيوم والأمريكيوم في بيئة بحرية ضمن إطار برنامج البحث والتطوير للحماية من الإشعاعات التابع للجماعة الاقتصادية الأوروبية؛

- استراتيجيات إصلاح التربة الزراعية بعد التلوث الإشعاعي في أعقاب حادث تشرنوبيل وبالتعاون مع مختبرات أوروبية مختلفة (RISO في الدانمارك، RIVM في هولندا، وCEA في فرنسا) تحت رعاية الجماعة الاقتصادية الأوروبية.

الأثر البيئي للطاقة النووية

هذا الخط يغطي كل المواضيع المتصلة بالبيئة في مجال الحماية من الإشعاعات، مع العمل على التزام منشآت دورة الوقود النووي التابعة للمنظمات ذات الصلة بمهامها، وهي : ENUSA,CC NN,ENRESA ومجلس السلامة النووية (CSN). كما يتضمن التعاون مع السلطات الاقليمية والمحلية، والتعاون في مجال الرصد وفي دراسات محددة.

ويقوم هذا الخط من العمل على ثلاثة مشاريع فرعية :

- بحث الأثر الإشعاعي في التخلص النهائي من النفايات المشعة ذات النشاط العالي؛ والمسائل المتعلقة بوضع النماذج، وبتحديد البارامترات والسيناريوهات، وبتحليل المعايير ومتابعة الموضوع دولياً؛ وكل هذا بمثابة دعم لإدارة منظمة ENRESA؛

- وضع خطط ودراسات رصد الإشعاعات، والتصميمات، وتقييم البيانات دعماً للعمليات من أجل جميع منشآت دورة الوقود ومساعدة للسلطات؛

- الاستعداد لمواجهة الطوارئ من خلال استحداث وتكييف إجراءات مخصصة، ولاسيما من أجل تشغيل المرافق المتنقلة.

الحماية الداخلية من الإشعاعات

يشمل هذا الخط مواضيع الحماية من الإشعاعات أثناء التشغيل وحماية الأشخاص المتعرضين، وفق المشاريع الفرعية الرئيسية التالية :

- وضع منهجية للحماية من الإشعاعات أثناء تشغيل المرافق وتفكيكها وإيقافها عن العمل، حيث أنه بالإضافة إلى الدعم المقدم للمرافق العاملة، تولى عناية خاصة لاكتساب خبرة في أعمال التفكيك، مع الاستفادة لهذا الغرض من الخبرة المكتسبة في إعادة تحويل وإغلاق عدد من مرافق مركز بحوث الطاقة البيئية والتكنولوجية (CIEMAT)؛

- عمل دراسات عن الحماية من الإشعاعات داخل المباني وعن قياس الجرعات الشخصية الخارجية والداخلية.

الكيمياء الفيزيائية الجوية وآثار الملوثات

رغم أن هذا المشروع يعنى عموماً بتوليد الطاقة واستهلاكها، فهو يغطي أيضاً الدراسات الجوية في المنشآت النووية التي تحتوي على مصادر مشعة.

ويستند هذا الخط فلسفياً إلى أهمية ظواهر الأرصاد الجوية في الطبقات الوسطى التي تؤثر عليها الظروف المحلية بطريقة حاسمة. وهذا المفهوم ضروري لتحديث طرق تقريب الانتشار الجوي التي استخدمت حتى الآن في الحقل النووي، خاصة وأن صحتها محل شك كبير.

الآثار الحيوية للعناصر الضارة بالبيئة

يعنى هذا الخط أيضاً بكل العناصر الضارة، ولكنه يشمل البيولوجيا الإشعاعية. و هو يشمل بالتحديد الآثار على جهاز تكوين الدم مع الاهتمام خاصة بظاهرتين :

- وجود عوامل خلطية مستحثة بالإشعاع وتغير من ديناميات ذلك الجهاز؛

- وجود ببتيدات سكرية (glucopeptides) تؤدي إلى تغيير استجابة ذلك الجهاز للإشعاع، على أمل أنها ستؤدي إلى التمكين من القيام بإجراءات وقائية أو تصحيحية.

وبالإضافة إلى ذلك، يدرس هذا الموضوع على المستوى الجزيئي من خلال دراسة توليد الطفرات والتعبير الوراثي.

الحماية من الإشعاعات في البرازيل

ل. س. دى فريتاس، ر. ن. آلفيز
اللجنه الوطنية للطاقة النووية

(البرازيل)

مقدمـــة

وفقاً لما عرض في الجلسة الأولى للجنة الثانية، اختارت البرازيل أن تستعد لتوليد الطاقة النووية بسبب احتياجاتها من الكهرباء في المستقبل وتوافر احتياطيات كبيرة لديها من اليورانيوم. ونجاح أي برنامج نووي لا يتوقف على اتقان التكنولوجيا وحسب، وإنما أساساً على ضمان السلامة. كما أن البرازيل تستخدم الطاقة النووية استخداماً واسعاً في الطب والصناعة، كما ورد وصفه أمس في الجلسة الثالثة للجنة الثانية. ولذلك أنشيء برنامج للحماية من الإشعاعات في إطار مجال السلامة النووية ويتفرع هذا البرنامج إلى شقين، كما يلي:

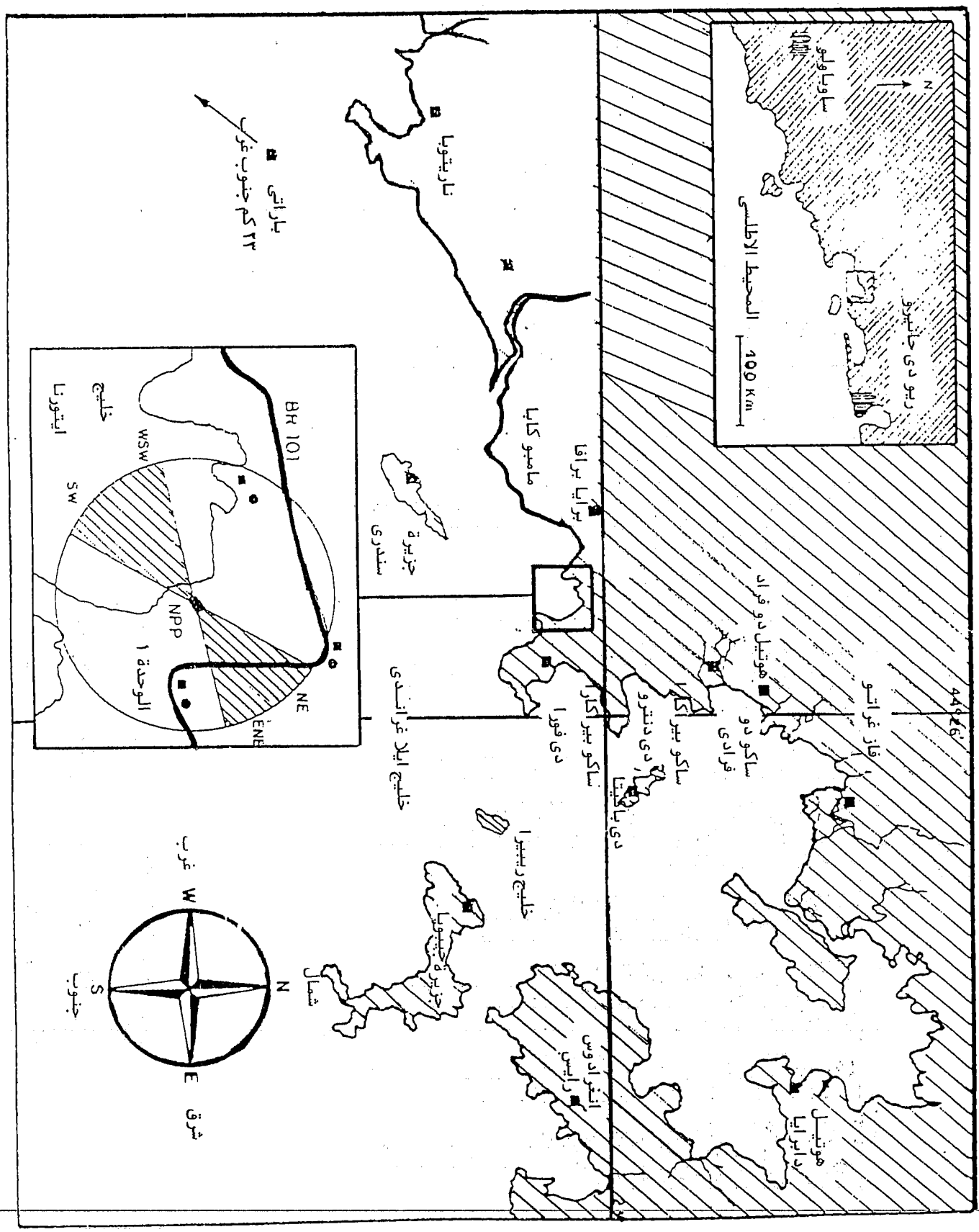
- نظام للوائح التنظيمية، يتسق مع التوصيات والقواعد الدولية التي تصدر عن هيئات مثل اللجنة الدولية للحماية من الإشعاعات (ICRP)، والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO)، إلخ . . . . . ؛

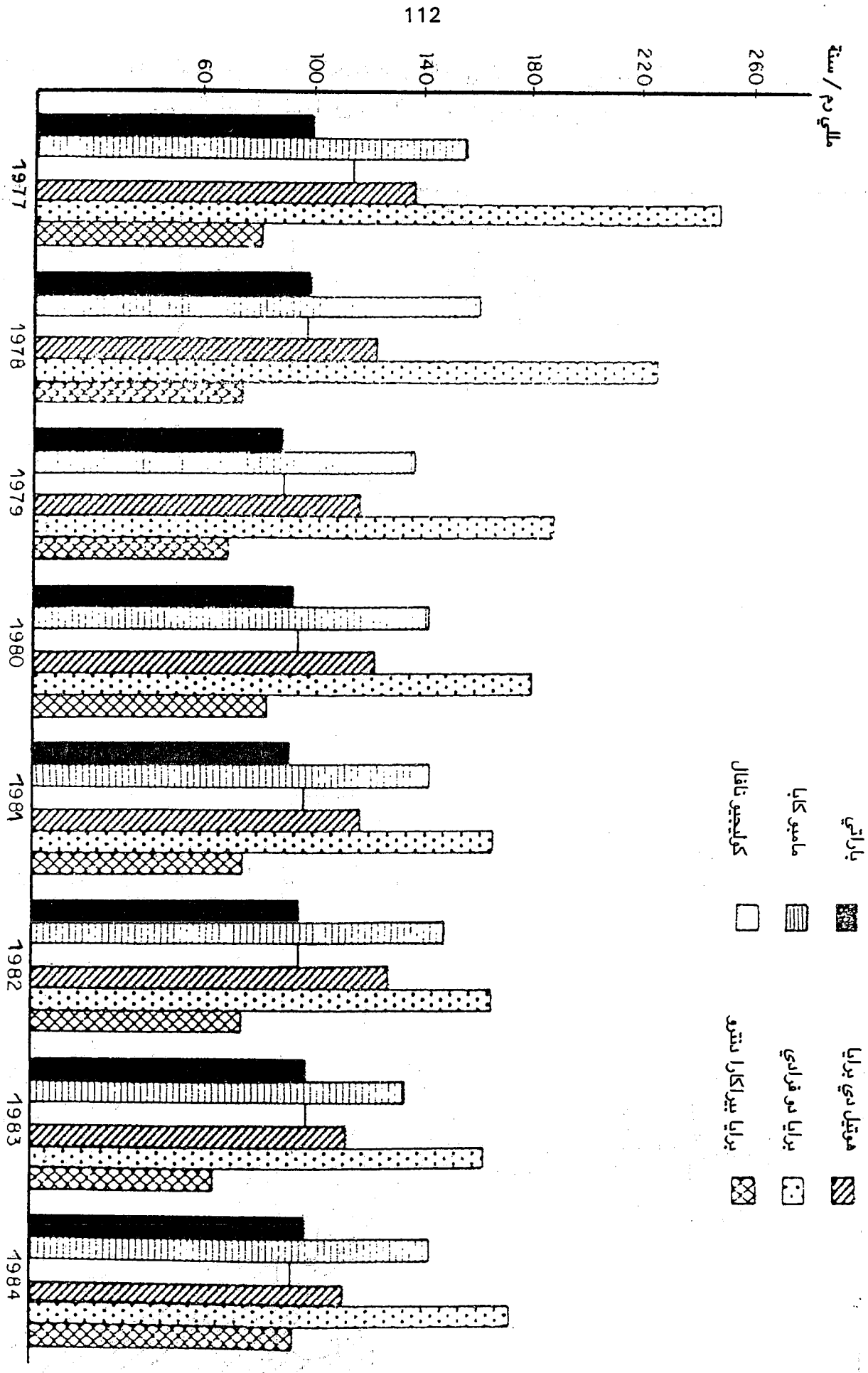
- هيكل تقني وعلمي مناسب لدعم هذا النظام.

وتوجد على رأس النظام الأول الهيئة الوطنية التنظيمية المسؤولة عن الطاقة النووية، وهي اللجنة الوطنية للطاقة النووية(CNEN). وسوف تقدم أعمالها في هذا الميدان يوم الثلاثاء، أثناء الجلسة السادسة للجنة الثانية. أما الفرع الثاني فهو يتمثل أساساً في أنشطة معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD) التابع للجنة الوطنية للحماية من الإشعاعات (CNEN). ويضطلع معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD) بالمسؤولية عن حماية الإنسان والبيئة من الإشعاعات ويستعين كثيراً بعلم قياس الإشعاعات المؤينة. ويضمن هذا النظام موثوقية طرق قياس الإشعاعات وتوحيدها في كل أنحاء البلد ويمكن القول بأنه يقتفي أثر النظام القياسي الدولي.

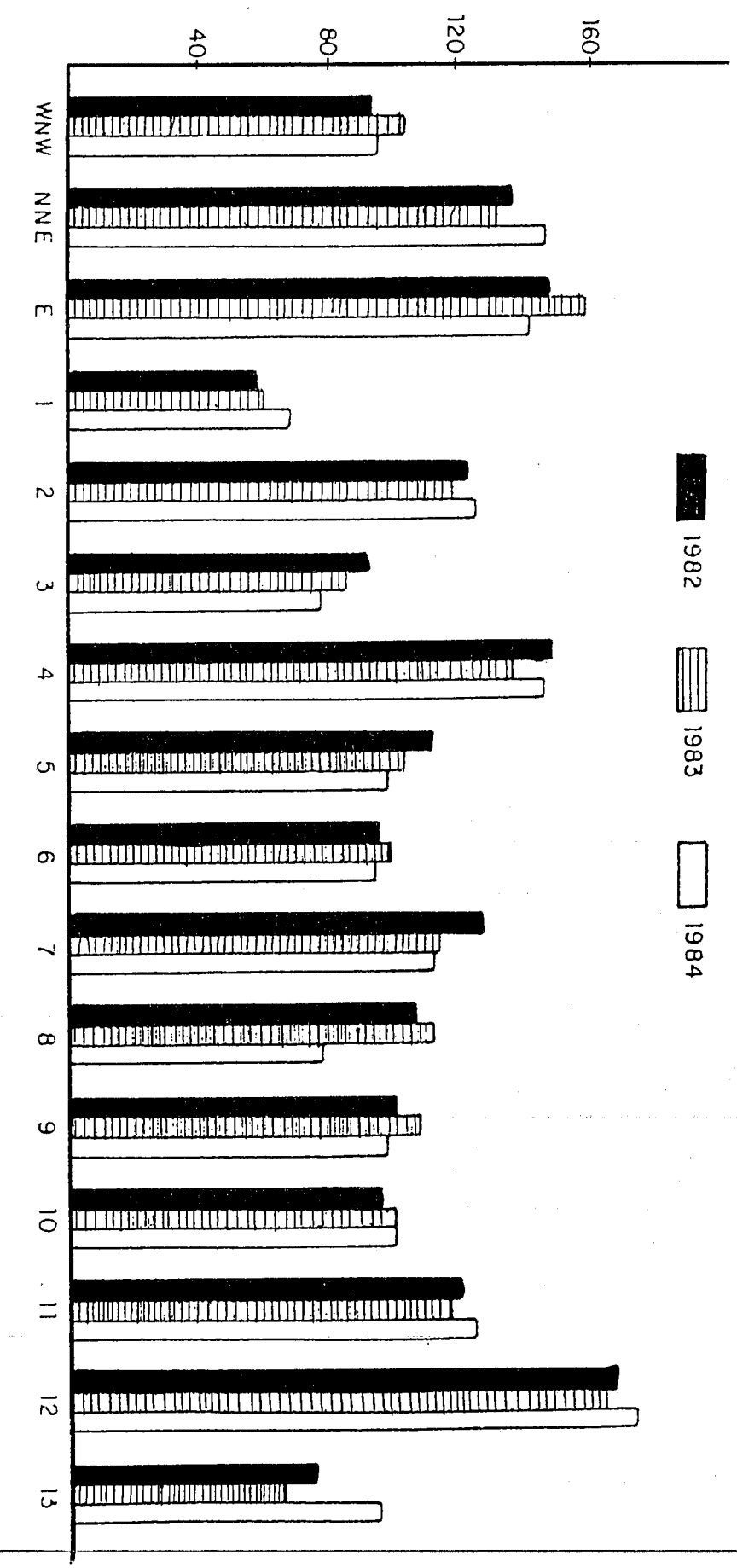
وينتمي معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD) إلى شبكة مختبرات المعايرة الثانوية لقياس الجرعات (SSDL) التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الصحة العالمية، ويمر قسم علم القياس بالمعهد بآخر مراحل الاعتراف الرسمي به بوصفه المختبر الوطني لقياس الإشعاعات المؤينة. ويقوم فرع شبكة مختبرات المعايرة الثانوية لقياس الجرعات (SSDL) في ريو دى جانيرو بالاشراف على مختبرين إقليميين آخرين

الشكل ١ – الموقع الجغرافي المحدد لمحطة آنغرا للقوى النووية وتوزيع محطات قياس الجرعات
بطريقة التألق الحراري TLD (▪) وغرف التأين (•)

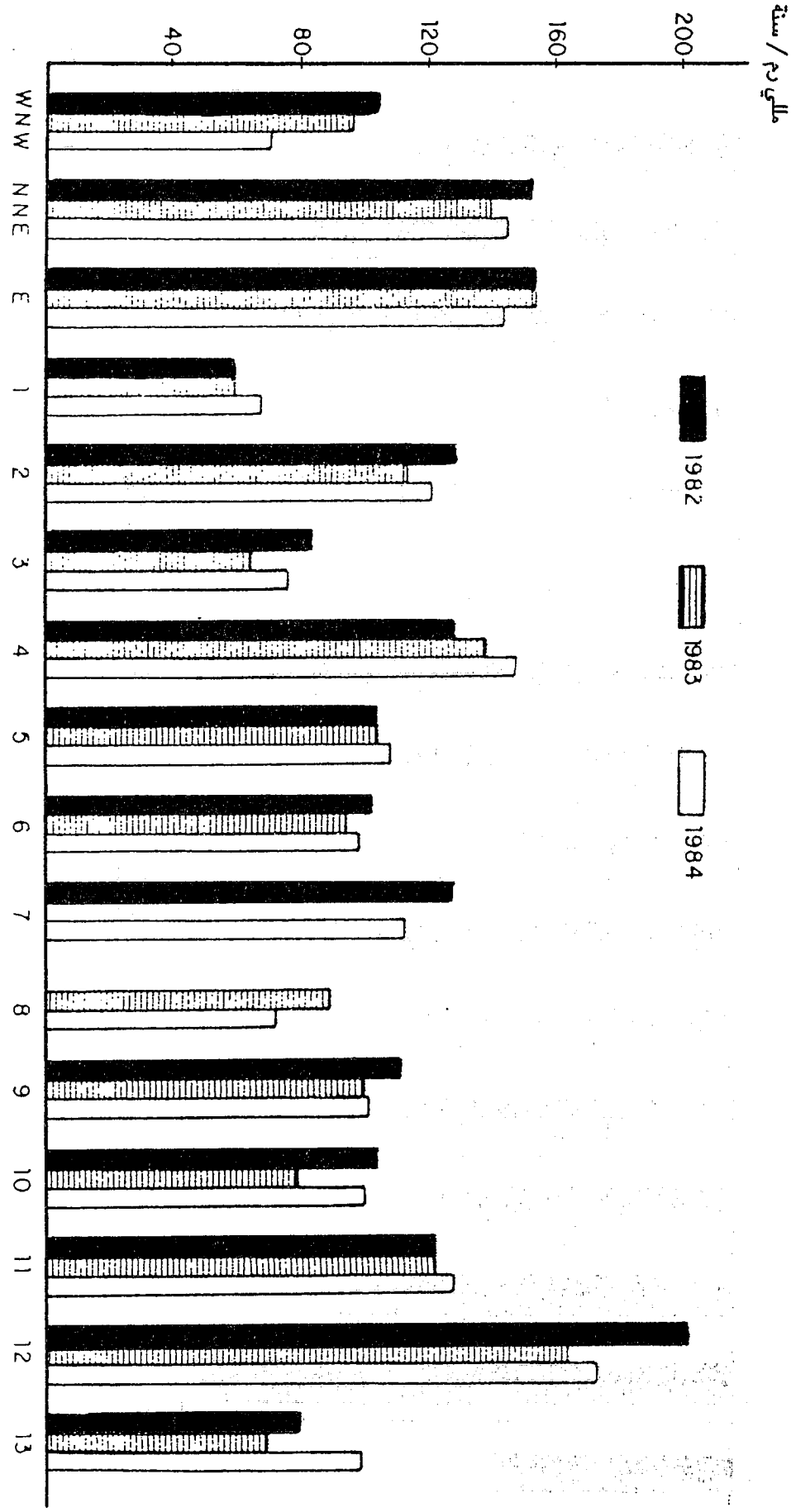




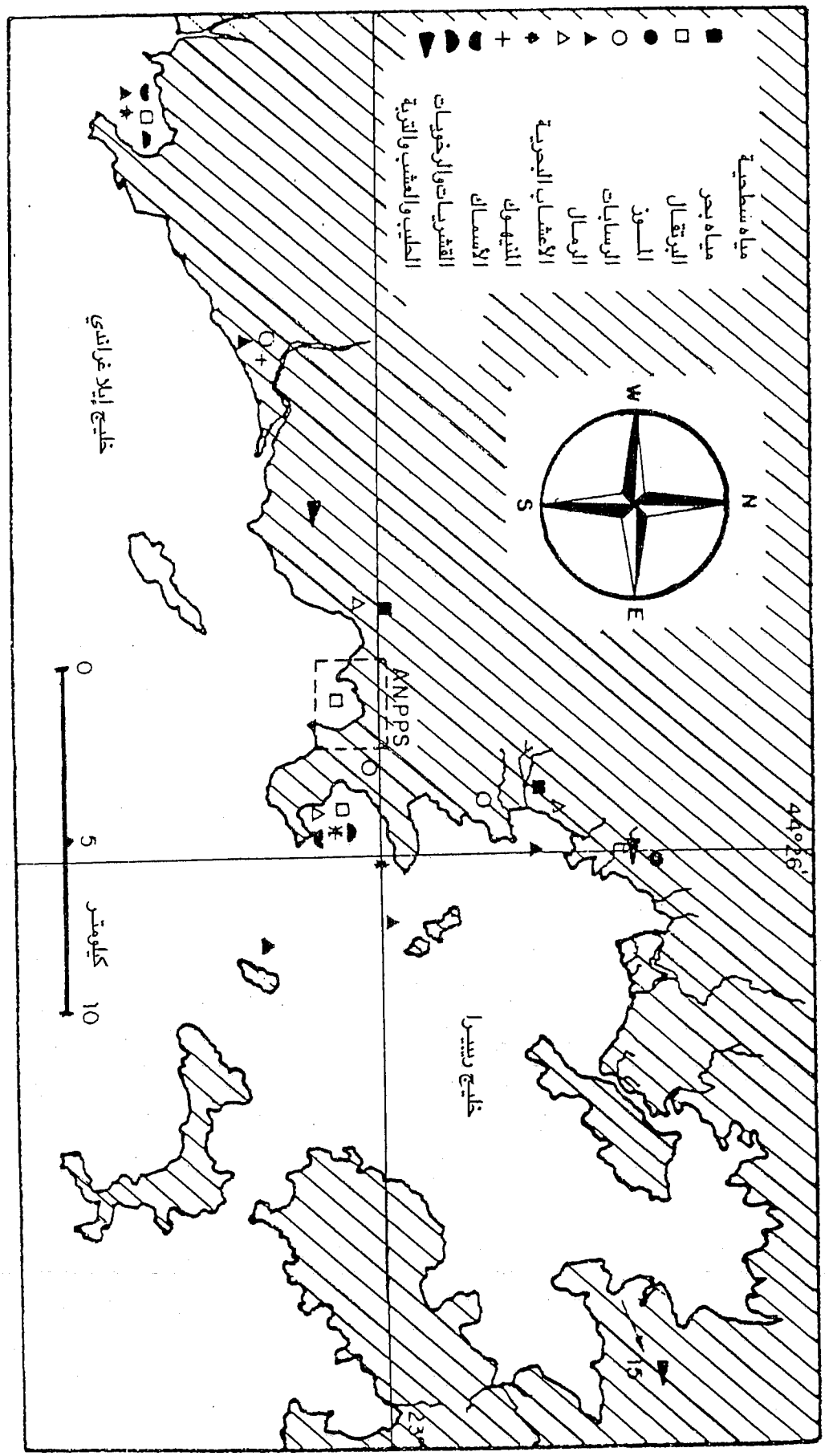
الشكل ٢ : النتائج السنوية لقياسات الجرعة بطريقة التألق الحراري الكبريتات الكلسيوم في ست محطات للقياس من ١٩٧٧ إلى ١٩٨٤



الشكل ٣ : النتائج السنوية لقياسات الجرعة بطريقة التألق الحراري لكبريتات الكلسيوم في جميع محطات القياس من ١٩٨٢ إلى ١٩٨٤.
رقمت المحطات تبعاً لوصف البرنامج.



الشكل ٤ : النتائج السنوية لقياسات الجرعة بطريقة التألق الحراري لفلوريد الليثيوم في جميع محطات القياس من ١٩٨٢ إلى ١٩٨٤. رقمت المحطات تبعاً لوصف البرنامج. لم تتوفر نتائج للمحطة رقم ٧ في عام ١٩٨٣ وللمحطة رقم ٨ في عام ١٩٨٢.


مياه سطحية
مياه بحر
البرتقال
الموز
الرسابات
الرمال
الأعشاب البحرية
النيهوك
الأسماك
القشريات والرخويات
الحليب والعشب والذرية
W
N
S
E
خليج إيلا غراندي
خليج ريبيرا
AN_PPS
44°26'
0
5
10
كيلومتر

الشكل ٥

يساعدانه على تلبية ما يطلبه البلد في مجال المعايرة. وقد تم تنفيذ برنامج موسع لمراقبة الجودة، وهذا البرنامج يقوم بالمقارنة بين كل العناصر على كل من الصعيد الداخلي والوطني والدولي لكفالة دقة عوامل المعايرة، والتعرض للإشعاعات، ونشاط المصادر المرجعية للنويدات المشعة المقدمة إلى مستخدميها.

ولما كانت مناقشة تقرير كامل لأنشطة الحماية من الإشعاعات ستكون طويلة للغاية، فسنكتفي هنا بعرض بضعة أمثلة.

حمـاية البيئة

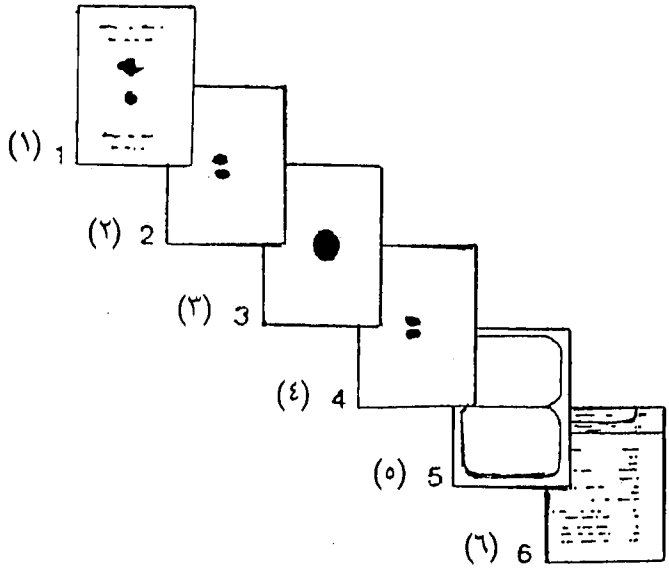
يجب على مقدم الطلب، في إطار عملية إصدار ترخيص لبناء منشآت القوى النووية ومنشآت دورة الوقود الصناعية، أن يقدم برنامجاً بيئياً ينبغي تنفيذه في المرحلة السابقة للتشغيل ثم، كإجراء روتيني، أثناء مرحلة التشغيل. وفي الوقت نفسه، تقوم اللجنة الوطنية للحماية من الإشعاعات (CNEN) بتنفيذ برنامج مراجعة مستقل من خلال معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD).

وكمثال على ذلك، سنقدم برنامج الرصد البيئي لموقع محطة القوى النووية في أنغرا، الذي بدأ تنفيذه في أيلول/ستمبر ١٩٧٩ بالاشتراك بين معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD) / واللجنة الوطنية للحماية من الإشعاعات (CNEN).

ويبين الشكل ١ الموقع الجغرافي لمحطة القوى النووية وتوزيع المحطات التي تحتوي على غرفة لقياس التأين وجهاز لقياس الجرعات بطريقة التألق الحراري، وقد استخدمت لقياس الإشعاعات مباشرة. وترد النتائج في الأشكال من ٢ إلى ٤ .

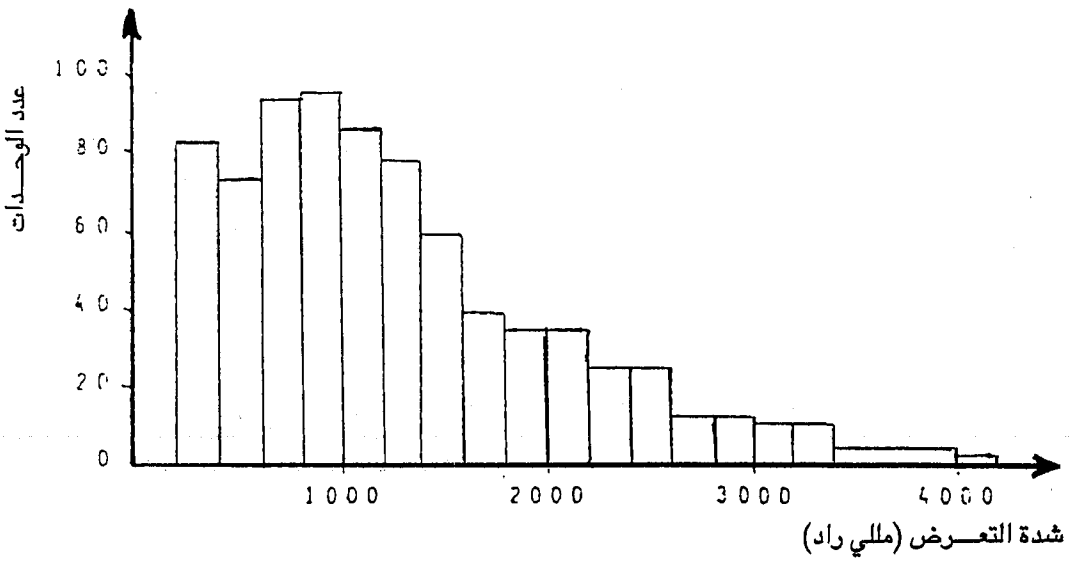
وقد حددت مستويات تركز النويدات المشعة الطبيعية والاصطناعية في الأوساط الأولية مثل الهواء والمياه السطحية، ومياه البحر، وفي أوساط تراكمية مثل التربة، والرمال والعناصر المترسبة، وفي مؤشرات مثل الحشائش والأعشاب البحرية، وفي المنتجات المحلية الرئيسية بما في ذلك النتاج البحري (الأسماك والصدفيات والقشريات)، والألبان، والموز، والمنيهوت والبرتقال. ويبين الشكل ٥ نقاط أخذ العينات. وقد شملت عمليات القياس قياس حجم نشاط أشعتي ألفا وبيتا والقياس الطيفي لأشعة غاما. واستخدمت تقنيات خاصة لقياس تركز نشاط التريتيوم في مياه البحر والمياه السطحية وتركز اليود ١٣١ في الهواء والألبان.

وبالرغم من الاستمرار في تحسين حدود الاكتشاف الدنيا من أجل قياس النواتج الانشطارية والتنشيطية باستخدام القياس الطيفي لأشعة غاما أثناء فترة التشغيل، فإن النويدات المشعة الاصطناعية الوحيدة التي أمكن اكتشافها هي فلز السيزيوم ١٣٧ التي يعزى وجودها في الألبان والعشب والأسماك والمنيهوت إلى السقط في كل أرجاء العالم. ومن ناحية أخرى، لم تختلف مستويات الإشعاع المباشر عن تلك التي لوحظت في الفترة السابقة للتشغيل. ولذلك أمكن استنتاج أن تشغيل الوحدة رقم ١ من محطة القوى النووية أنغرا لم يسفر عن أي أثر إشعاعي على البيئة. والبيانات المقدمة مستمدة من دراسات أجريت أثناء فترة الرصد ١٩٨٢ - ١٩٨٤ .



(١) غطاء أمامي
(٢) قياسان للجرعة بطريقة التألق الحراري
(٣) مرشح من الألمونيوم بسمك ٣ مم
(٤) قياسان للجرعة بطريقة التألق الحراري
(٥) فيلم حساس للتصوير بالأشعة
(٦) غطاء خلفي

الشكل ٦ : البطاقة البريدية لقياس الجرعة المستخدمة في الطب الإشعاعي للفم والأسنان.



الشكل ٧ : توزيع تعرض مداخل الجلد لفحوص منطقة الطواحن العليا
كما حدد باستخدام الحافظة البريدية.

مراقبة النوعيـة في أشعة الأسنـان

نقدم هذا الموضوع كمثال للجهود التي يبذلها معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD) من أجل تخفيض التعرض وحساب الجرعة التي يتلقاها السكان.

ولأن الأشعة التي تعالج بها الأسنان والتصوير الفلوري مسؤولان عن ١٥x٦١٠ و١٢x٦١٠ صورة بالأشعة سنوياً في البرازيل، على التوالي، فهما يعدان من المصادر الكبيرة لتعرض السكان. وقد أعدت مجموعات بطاقات بريدية لكل من هاتين العمليتين التقنيتين حتى يمكن إجراء استقصاءات واسعة النطاق. والقصد من النظام البريدي لعلاج الأسنان بالأشعة، الذي سيعرض فيما بعد، هو تحقيق الأهداف التالية :

- معايرة تعرضات مداخل الجلد لأغراض فحوص الأسنان؛
- التوصل إلى تحقيق الجودة في تجهيز صور الأشعة داخل الفم في عيادات الأسنان؛
- جمع بيانات بغرض تقييم الجرعة السكانية في علاج الفم والأسنان بالأشعة.

وقد صمّمت مجموعتا بطاقات بريدية، إحداهما لتقييم جودة تجهيز الصور، والأخرى، وهي الموصوفة أدناه، لتقييم إتساع المجال، وتعرض المدخل، والقيمة النصفية لطبقة الشعاع. وتتكون المجموعة البريدية (الشكل ٦) من ست طبقات من الورق المقوى ١٠ سنتيمتر x ١٢ سنتيمتر، وتحتوي على : غطاء أمامي، ومن مقياسين للجرعة بالتألق الحراري (TLDs)، ومرشح ألومنيوم ٣ ملليمترات، ثم من مقياسين آخرين للجرعة بالتألق الحراري، وفيلم للتصوير بالأشعة وغطاء خلفي. ويتلقى أطباء الأسنان هذه البطاقات، ويملأون استبياناً بتفاصيل المعدات التقنية، ويشعّعون المجموعة كما لو كانوا يصوّرون بالأشعة منطقة الضروس العليا، ثم يعيدون المجموعة إلى معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD)، حيث يجري تحميض الفيلم وقراءة بيانات مقياس الجرعة بالتألق الحراري. وتبين نتائج معاينة نحو ٨٠٠ من أنابيب الأشعة السينية (X-ray) مايلي :

- أن التعرض عند المدخل يتراوح من ٢٠٠ مللي رونتجن إلى ٤٠٠٠ مللي رونتجن، والقيمة المتوسطة ١٣٠٠ مللي رونتجن (الشكل ٧)؛

- تراوح حجم مجال الشعاع عند المدخل من ٤,٥ سم إلى ١١ سم، بينما ينبغي أن يكون الحجم القياسي للمجال ٦ سم.

وهذا البرنامج يساعد أطباء الأسنان على معرفة وتصحيح المشاكل المتعلقة بمعداتهم وبالتقنيات التي يطبقونها، ومن ثم على تخفيض درجة تعرض المرضى.

قياس الإشعاعات التي سببها حادث تشرنوبيل

أ – رصد الطائرات والسفن القادمة من نصف الكرة الشمالي

بدأ رصد مستويات تلوث السفن والطائرات القادمة من نصف الكرة الشمالي بحيث بلغ مجموع عدد الرحلات التي أجري بشأنها رصد للتلوث ٢٥ رحلة جوية دولية و ١٩ رحلة جوية وطنية. وجمعت عينات المسحات والماء الناتج عن إذابة الصقيع من على أجسام الطائرات التجارية. وفيما يتعلق بالسفن، مسحت منطقة مساحتها متر مربع من الجدار الخارجي لأبراج التهوية، وفحصت الشحنة.

وكانت النظائر المشعة التي اكتشفت هي : الزركونيوم ^{95}، والموليبدنوم ^{99}، والروثنيوم ^{103}، والروثنيوم ^{106}، واليود ^{131}، والتلوريوم ^{132}، والسيزيوم ^{134}، والسيزيوم ^{137}، والباريوم ^{140}، والسيريوم ^{141}، والسيريوم ^{144}. وكان أكبر نشاط تم قياسه هو ٥٢٥ بيكريل من اليود ^{131} في اللتر من ماء ذوبان الثلج من الطائرات.

كما تم تحليل الفحم والكبريت الواردين كبضائع على متن سفينتين كانتا في ميناء غدانسك في بولندا في وقت الحادث. وكان الفحم ملوثاً بالروثنيوم ^{103} (٢,٢ بيكريل/كلغم)، واليود ^{131} (١,٧ بيكريل/كلغم) والسيزيوم ^{137} (٠,٩ بيكريل/كلغم)، وكان الكبريت ملوثاً بالروثنيوم ^{103} (١,٠ بيكريل/ كلغم)، واليود ^{131} (٠,٣ بيكريل/كلغم)، والسيزيوم ^{134} (٠,٣ بيكريل/كلغم)، والسيزيوم ^{137} (٠,٥ بيكريل/كلغم).

وحتى الآن، لم يكتشف تلوث في نصف الكرة الجنوبي. وتتفق حدود الكشف مع الإمكانيات المعتادة للأساليب الفنية للكيمياء الإشعاعية المتبعة في رقابة البيئة.

ب – رصد الأفراد

جرى رصد للمواطنين البرازيليين الذين كانوا في رحلات عبر بلدان أوروبا الشرقية والغربية وقت الحادث وبعده بفترة قصيرة بجهاز الرصد الكلي للجسم في معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات (IRD) بواسطة جهاز كشف ٨ بوصات x ٤ بوصات طراز NaI (T1) (الشكل الهندسي للجسم كله) وجهاز كشف phoswich موضوع فوق الغدة الدرقية. ولوحظ امتصاص بعض نواتج الانشطاري (يود ^{131}، ويود ^{132}، وسيزيوم ^{137}) في نحو ستين شخصاً حتى شهر تموز/يوليه ١٩٨٦ . كما فحصت الأمتعة الشخصية. وأكد تحليل عينات البول النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام جهاز الرصد الكلي للجسم. وتراوح مكافئ الجرعة الفعالة الفردية من صفر إلى ٣,٤ x 10^{-5} سيفرت (٣,٤ ملي رم) . وقد سبق أن قدمت هذه النتائج في العام الماضي أثناء الاجتماع

السنوي الحادي والثلاثين لجمعية فيزيائيات الصحة في الولايات المتحدة الأمريكية.

جـ – تحليل المواد الغذائية المستوردة

في أعقاب حادث تشرنوبيل، طلبت وزارة الزراعة رصد كل المواد الغذائية المستوردة، وتم تحليل أكثر من ٦٠٠ عينة غذائية في معهد الحماية من الإشعاعات وقياس الجرعات في السنة الماضية. وتغطي البيانات المقدمة في الجدول الفترة من أيار/مايو ١٩٨٦ إلى آذار/مارس ١٩٨٧. ويجري استخدام هذه البيانات حالياً في دارسة لأثر تناول هذه المواد الغذائية على الجرعة السكانية.

الرقابة على المواد الغذائية المستوردة (أيار / مايو ١٩٨٦ - آذار / مارس ١٩٨٧)

المواد الغذائية (عدد الأحمال)	بلد المنشأ	نشاط السيزيوم ١٣٤ (بيكريل / كيلو غرام)		نشاط سيزيوم ١٣٧ (بيكريل / كيلوغرام)	
		الأدنى	الأقصى	الأدنى	الأقصى
لحم بقري (٩٦)	أيرلندا، إيطاليا، بولندا، جمهورية ألمانيا الاتحادية، الدانمرك، ، فرنسا، المملكة المتحدة، هنغاريا، هولندا، الولايات المتحدة، يوغوسلافيا، اليونان	—	—	أقل من ٠,٤	٨,٤ ± ٠,٨
لحم خنزير مملح (٣)	هنغاريا	أقل من ٠,٥	—	أقل من ٠,٧	—
لحم خنزير (٥)	السويد، هنغاريا	أقل من ٠,٧	١,٣ ± ٠,٦	أقل من ٠,٨	٣,٠ ± ٠,٦
سمك البقلة (٢٤)	النرويج	أقل من ٠,٨	١,٥	أقل من ١,١	٨,١ ± ١,٣
مسحوق الحليب (٢٤٧)	أيرلندا، بلجيكا، تشيكوسلوفاكيا، جمهورية ألمانيا الاتحادية، الدانمرك، فرنسا، النمسا، نيوزيلندا، هولندا، الولايات المتحدة	أقل من ٠,٩	٧٧٢ ± ٧٩	أقل من ٠,٩	١٦٤١ ± ٧٩
جبن (٢١)	بلجيكا، جمهورية ألمانيا الاتحادية، سويسرا، النمسا، هولندا	أقل من ٠,٧	١٣,١ ± ١,٣	أقل من ٠,٨	٢٧,٩ ± ٢,٠
قمح (١)	فرنسا	—	١,٢ ± ٠,٥	—	١,٧ ± ٠,٥

البحوث والتعليم والتدريب
في مجال الحماية من الإشعاعات في بلجيكا

المقرر : ر. كيرشمان، مركز دراسة الطاقة النووية CEN/SCK, Mol

(بلجيكا)

مقدمـــة

أبرز التقرير العام (١) الذي قدمته بلجيكا أن تطوير الطاقة النووية للأغراض السلمية في بلجيكا يصحبه اهتمام دائم باستمرار الرقابة على الآثار التي قد تحدث، بغية الحدّ، ما أمكن ذلك، من العواقب السيئة التي تؤذي صحة السكان والبيئة.

وحماية السكان والعمال من مخاطر الإشعاعات المؤينة تغطيها أيضاً لوائح عامة حددها مرسوم ملكي (٢). والتحقق من تطبيق اللوائح العامة هو المهمة الرئيسية لدائرة الحمايةمن الإشعاعات المؤينة (SPRI) التي أنشئت في إطار الإدارة الصحية التابعة لوزارة الصحة العامة والأسرة. كما تقع على دوائر الرصد البدني التابعة للمحطات النووية مسؤولية تأمين تطبيق أحكام اللوائح التنظيمية المذكورة في المحطات من الفئات الأولى إلى الثالثة، وفقاً لطبيعتها. وفي هذه المحطات بالذات، يدير دوائر الرصد البدني خبراء معتمدون مستوفاة فيهم الشروط التي تحددها اللوائح العامة.

وتعتمد بلجيكا بشدة على القوى النووية لتوليد الكهرباء، وسيظل هذا الوضع دون تغيير في العقود القادمة. وبالنظر إلى أن الحماية من الإشعاعات في المحطات النووية هي أحد الأركان الهامة في سلامة العاملين، فمن المنطقي أن يركز القائمون بتشغيل المحطات عنايتهم على تدريب العاملين في هذا المجال.

وأخيراً، يتطلب تطوير الطاقة النووية استمرار بذل كل جهد، لا في مجال الرصد فقط، وإنما أيضاً في مجالات البحوث، وخاصة بحوث البيولوجيا الإشعاعية والبيولوجيا البيئية، بغية التوصل إلى تقييم صحيح لمستوى الجرعة الناجمة عن التعرض للإشعاعات المؤينة ولتوصيل الدراية التقنية المكتسبة.

أولاً – التدريب والتعليم

١ – ١ الجامعـات

(أ) تنظيم دورات للحماية من الإشعاعات في إطار البرامج الدراسية الأساسية لطلبة كليات الطب الذين يرغبون في التخصص. ومع ذلك، فإن التعليم المتعلق بالحماية من الإشعاعات لا يقدم لبعض فئات من يمارسون مهنة الطب، ومن المقرر التوسع في التدريب الحالي على الحماية من الإشعاعات حتى يغطي كل الذين يشتغلون بمهنة الطب بما في ذلك طب الأسنان، الذين يستخدمون الإشعاعات المؤينة والنظائر المشعة. ويوصى أيضاً بتنظيم حملة لتوفير المعلومات عن الحماية من الإشعاعات للعاملين بمهن متصلة بالطب والموظفين المساعدين الذين لم يتلقوا من قبل تعليماً جامعياً في العلوم الطبية.

(ب) دورات الدراسات العليا

تقوم بعض الجامعات بتدريس المعارف اللازمة لاستخدام التقنيات النووية ولتدريب الخبراء في مجال الحماية من الإشعاعات الطبية والبدنية. وليس القصد من هذا التقرير هو إعطاء قائمة بدورات الدراسات العليا هذه. ولكن سنكتفي بالإشارة إلى أن المواضيع التي تدرّس تشمل مبادىء عن كل من الفيزياء الذرية والنووية، وعن الإشعاعات، بالإضافة إلى أساسيات الحماية من الإشعاعات، وعلم الأمراض الإشعاعية والبيولوجيا الإشعاعية (الصحة والحماية من الإشعاعات).

وفضلاً عن ذلك، يجري إعداد دورة مشتركة بين الجامعات للخريجين بشأن الحماية من الإشعاعات من حيث تطبيقها على البيئة.

١ – ٢ التدريب على الحماية من الإشعاعات في محطات القوى النووية

١ – ٢ – ١ مقدمـة

إن الحماية من الإشعاعات في محطات القوى النووية هي أحد الجوانب الهامة للسلامة الشخصية.

وتدريب العاملين هو أحد المواضيع التي يجب معالجتها لأنه حقل متخصص لا يغطى في المعاهد الدراسية ومميز عن الدراسات المتخصصة.

١ – ٢ – ٢ فئات العاملين

يمكن تقسيم العاملين المطلوب تدريبهم إلى مجموعتين رئيسيتين :

– العاملون المنتمون إلى الشركة القائمة بتشغيل المحطة؛
– العاملون من الشركات الأخرى.

(أ) العاملون الذين تستخدمهم جهة التشغيل :

توجد عدة فئات مختلفة :

– المهندسون في دائرة "الرصد" المسؤولون عن الحماية من الإشعاع، بين مهام أخرى؛
– المهندسون في دوائر "الإنتاج" المسؤولون عن تشغيل الوحدات؛
– المهندسون في دوائر "الصيانة" العاملون في مجال صيانة المعدات؛
– العاملون في مجال الحماية من الإشعاعات (دوائر "الرصد") المسؤولون عن الرصد اليومي؛
– العاملون في دائرتي "الإنتاج" و"الصيانة" الذين يقومون بتشغيل وصيانة هاتين الدائرتين على التوالي.

ويجب أن يكون التدريب على الحماية من الإشعاعات لمختلف هذه الفئات متناسباً مع مسؤولياتها ووظائفها المحددة.

(ب) العاملون من المؤسسات الأخرى :

يستخدم هؤلاء العاملون على أساس "دائم" (مثل عمال النظافة)، أو أثناء عمليات إصلاح الوحدات. وهم في حاجة إلى تلقي قدر يسير من المعلومات بشأن الحماية من الإشعاعات.

١ – ٢ – ٣ التدريب على الحماية من الإشعاعات

(أ) العاملون بالمحطة :

نورد فيما يلي موجزاً لأنواع التدريب الذي يقدم لكل فئة من فئات العاملين.

* مهندسو "الرصد" :

هؤلاء مهندسون مدنيون (خريجون جامعيون). ومالم تكن دراستهم أو خبرتهم السابقة في الحقل

النووي واسعة، فإنه يجب أن يقضوا سنة إضافية في دراسة الطاقة النووية في إحدى الجامعات البلجيكية. وتغطي هذه الدراسة المتخصصة الحماية من الإشعاعات بالتفصيل، ويتعلق البحث الذي يتعين عليهم تقديمه في نهاية تلك السنة بهذا المجال عموماً.

وهناك فضلاً عن ذلك، دورات تقدمها شركة الكهرباء الفرنسية Electricité de France (أسبوعان) أو المحطة نفسها (أسبوع واحد) لاستكمال تدريبهم على تطبيقات "محطة الطاقة".

وهناك أخيراً دورات تدريب تقني لتمكينهم من زيادة تحسين تدريبهم على المستوى العملي و/أو دورات تنشيطية.

* مهندسو "الإنتاج" :

يقدم التدريب الأساسي في محطة الطاقة مهندسو التشغيل المتخصصون. والدورات التي تنظمها شركة الكهرباء الفرنسية إجبارية، وهي مطابقة لتلك التي يتلقاها مهندسو "الرصد".

* مهندسو "الصيانة" :

يتلقى هؤلاء تدريباً مطابقاً لتدريب مهندسي "الإنتاج".

* العاملون في مجال الحماية من الإشعاعات :

بالإضافة إلى التدريب الأساسي الذي يقدم لكل العاملين(أنظر الفقرة التالية)، هناك دورات داخلية وتدريب عملي على أعلى مستوى لتعليم هؤلاء العاملين وتحديث معارفهم.

* العاملون في الخدمات الأخرى :

تقدم هيئة معتمدة التدريب الأساسي لهؤلاء. وهناك دورات تنشيطية منتظمة من خصائصها قضاء وقت في المواقع التي يقدم بها التعليم.

(ب) العاملون من المؤسسات الأخرى :

هؤلاء يتولى أصحاب عملهم تدريبهم. ومع ذلك تعرض على جميع المستخدمين مقسمين إلى مجموعات صغيرة أشرطة فيديو تشرح الملامح الخاصة لموقع تيهانج (الدخول إلى المنطقة الموضوعة تحت المراقبة والخروج منها، وارتداء الملابس وخلعها، والتشعيع والتلوث، والمواقع الخاصة، ومقاييس الجرعات، ووضع الشارات، وإشارات الانذار، إلخ...)، وتعقب ذلك أسئلة وأجوبة. وكل هذا يتم قبل السماح لهم بدخول المرافق.

١ - ٣ الدورات الأساسية وأنواع التدريب الأخرى

ثمة طريقة أخرى لتعزيز تطوير تقنيات الحماية من الإشعاعات ونقل المعرفة، هي قبول مختبرات البحوث والمؤسسات للمتدربين، إلى جانب تنظيم فترات للتدريب المتخصص (الرصد البدني، البيولوجيا الإشعاعية، الأيكولوجيا الإشعاعية، علم القياس النووي، إلخ...).

وعلى سبيل المثال، كان ١٥٦ متدرباً من ٣٤ بلداً يعملون أثناء الفترة ١٩٨٥ - ١٩٨٦ في مختبرات مركز دراسة الطاقة النووية CEN / SCK، ومن بين هؤلاء، اشترك ٢٢ متدرباً من ١٢ بلداً في عمل يتعلق بالحماية من الإشعاعات.

ثانياً - البحـــوث

يشمل برنامج البحوث الذي ينفذ في بلجيكا في مجال الحماية من الإشعاعات مشاريع حيوية (الآثار الجسدية والوراثية للإشعاعات المؤينة)، وبرامج تتعلق بسلوك النويدات المشعة في البيئة (الانتشار، والارتحال، والانتقال)، بالإضافة إلى تطوير نظم القياس النووي وقياس الجرعات. وتجدر ملاحظة أن البحوث في البيولوجيا الإشعاعية والأيكولوجيا الإشعاعية تحتاج إلى دعم بترتيبات خاصة، مثل تربية حيوانات المختبرات والأنواع الأكبر (المزارع التجريبية)، وكذلك زراعة النباتات في صوبات زجاجية وفي رقع زراعية اختبارية.

وفيما يتعلق بمسألة مقلقة هي مسألة الاستمرارية في مجال الحماية من الإشعاعات، وبوجه أخص، البيولوجيا الإشعاعية والأيكولوجيا الإشعاعية، فإن إستمرار أنشطة بحوث معينة عالية المستوى يجعل من الممكن تعزيز واختبار القدرات الموجودة لدى الباحثين من الشباب.

٢ - ١ الانتقال والانتشار - النظم الأيكولوجية :

إن الغرض من هذه الأنشطة هو الحفاظ على المعرفة المكتسبة في مجال الانتشار الجوي، ومسارات الجسيمات وتقييم الجرعات. وهذا الهدف شرط أساسي لا تتحقق بدونه الاستجابة السريعة في حال وقوع حادث والقدرة على تقييم الموقف. وتجرى دراسات متنوعة تغطيها أساساً عقود مع لجنة الجماعات الأوروبية ومن ثم يتم تنسيقها وتكاملها في كل أنحاء أوروبا.

وتعالج البحوث المتعلقة بالتمثيل الغذائي للنويدات المشعة، الموجودة في نفايات المرافق النووية، السلوك الحيوي للتكنتيوم والعناصر الأثقل من اليورانيوم وانتقال التريتيوم (في شكله العنصري والعضوي) والكربون-١٤ إلى الثدييات. وتتلقى هذه البحوث دعماً مالياً من لجنة الجماعات الأوروبية.

٢ - ٢ الآثار البدنية للإشعاعات المؤينة

يشمل هذا العنوان البحوث في مجال الآثارالعشوائية والآثار غير العشوائية (التي تحدث في حال تجارز عتبة معينة).

وتغطي البحوث في الآثار العشوائية ثلاثة جوانب : تسبب الإشعاعات في اللوكيميا (ابيضاض الدم) وفي سركوما العظام (الغرن العظمي)؛ وآثار التعرض لأشعة غاما وللنيوترونات من حيث تسببها في سرطان الكبد؛ وتأثير التقدم في السن على تسبب الإشعاعات في السرطان، سواء كان مصحوباً بعامل كيميائي مسبب للسرطان أم لا.

أما البحوث في الآثار غير العشوائية فهى تتناول مقارنة الآثار الضارة التي يحدثها التعرض الداخلي للإشعاعات على جهاز تكوين الدم والجهاز اللحمي الضام، والآثار المتأخرة للتعرض للإشعاعات قبل الولادة على الجهاز العصبي المركزي؛ والآثار المبكرة والمتأخرة للتعرض حوالي الولادة أو لتعرض البالغين للإشعاعات على جهازي تكوين الدم والمناعة؛ وآثار الإشعاعات على النباتات.

وهذه البحوث مغطاة بعقود مع لجنة الجماعات الأوروبية ومن ثم تشكل جزءاً من نظام منسق ومتكامل - أو بعقد مع صندوق البحوث الطبية العلمية (FRSM).

٢ - ٣ الآثار الوراثية للإشعاعات المؤينة :

الهدف من إجراء بحوث في الآثار الوراثية للإشعاعات المؤينة هو المساعدة على تحسين المعرفة في حقول مختلفة: تقييم معدل حالات انحراف الكروموزومات الذي يحدث في الخلايا اللمفاوية في مجرى الدم في أعقاب تعرض لجرعات منخفضة من الأشعة السينية (X-rays)؛ والانحراف الهيكلي في الكروموزومات في الخلايا البدنية للثدييات بسبب الإشعاعات؛ والدراسات المورفولوجية والخاصة بالخلايا الوراثية لحساسية الأجنة لجرعات الإشعاعات المنخفضة.

وتتلقى هذه البحوث دعماً مالياً من لجنة الجماعات الأوروبية.

٢ - ٤ التعرض للإشعاعات - قياس الجرعات

الهدف من هذه الدراسات والبحوث هو تقدير الجرعة الناتجة عن تعرض السكان في بلجيكا للإشعاعات من مصدر طبيعي و/أو اصطناعي. وهناك برنامج مخصص للرصد الإشعاعي حول المرافق النووية، ينفذ بموجب عقد بين وزارة الصحة العامة (دائرة الحماية من الإشعاعات المؤينة SPRI)، ومركز دراسات الطاقة النووية (CEN / SCK) التابع للمعهد الوطني للعناصر المشعة (IRE).

الخلاصـــــة

يبذل حالياً جهد كبير في ميدان الحماية من الإشعاعات، ويبرر ذلك ضخامة حجم البرنامج النووي في بلجيكا.

ويتعين على الجامعات أن تلعب دوراً هاماً، لا في حقل التعليم وحسب، وإنما أيضاً في إعلام الجماهير. ويجب التشديد على أنه لا يمكن، إذا ما أريد للتعليم أن يكون مفيداً، أن يفصل عن البحوث. ويمكن للبحوث أن تكون مفيدة أيضاً لموضوع الحماية من الإشعاعات، وذلك بتشجيع الباحثين من الشباب على بحثه لضمان استمرارية الاهتمام به، وهي ضرورية.

المراجع

1. "The Belgian Nuclear Industry and Associated Research and Development Programmes", general report.

2. Ministry of Employment and Labour and Ministry of Public Health and the Family - 28 February 1963 - Royal Decree governing general regulations for the protection of the population and workers against the hazards of ionizing radiation. Moniteur Belge, 16 May 1953, 5206-5291.

3. Official Journal of the European Communities - Directive 84/466/Euratom. Council Directive of 3 September 1984 amending Directive 80/836/Euratom with regard to basic standards for the health protection of the population and workers against the hazards resulting from ionizing radiation, L265, 5 October 1984.

4. J. L. Garsou - Radiation Protection Training of Medical and Paramedical Personnel: the current situation and proposals. Bulletin of the Belgian Radiation Protection Association, Vol. 11, No. 1 (1986), 19-30.

5. L. de Thibault de Boesinghe - The Importance of Radiation Protection in the Training of Doctors and Paramedical Personnel. Bulletin of the Belgian Radiation Protection Association, Vol. 11, No. 1 (1986), 31-40.

قائمة المختصرات الانكليزية

CCE Commission des Communautés Européennes
(Commission of the European Communities)

CEN/SCK Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire
(Centre for Nuclear Energy Research)

FRSM Fonds de Recherche Scientifique Médicale
(Scientific Medical Research Fund)

IRE Institut National des Radioéléments, Fleurus
(National Radioisotope Institute, Fleurus)

IRSN Institut Royal des Sciences Naturelles
(Royal Natural Sciences Institute)

KUL Katholieke Universiteit Leuven
(Louvain Catholic University)

RUG Rijksuniversiteit Gent
(Ghent Royal University)

SPRI Service de Protection contre les Radiations Ionisantes, Bruxelles
(Ionizing Radiation Protection Service, Brussels)

UCL Université Catholique de Louvain
(Louvain Catholic University)

UEL Université de l'Etat de Liège
(Liege State University)

ULB Université Libre de Bruxelles
(Brussels Free University)

المرفـــق ١

برنامج التدريب العام للعاملين في الحماية من الإشعاعات في محطة تيهانج للطاقة النووية

١ – موجز للمخاطر الإشعاعية في المحطة.

٢ – الغرض من الحماية من الإشعاعات وموقف العمال من المخاطر.

٣ – النشاط الإشعاعي، والتناقص التلقائي، وعمر النصف.

٤ – طبيعة الإشعاع.

٥ – الأثر على المادة : التأيّن، والامتصاص.

٦ – مفهوما الجرعة ومعدل الجرعة.

٧ – الآلية الأساسية للإشعاع.

٨ – التلوث السطحي والجوي.

٩ – آثار الإشعاع على الإنسان، ومعايير الحماية.

١٠ – تقييم المخاطر.

١١ – القياس والتفسير.

١٢ – معدات الحماية.

ملحوظـــة : هذه الدورات يقدمها مهندس متخصص من هيئة معتمدة.

المرفـــق ٢

برنامج التدريب التكميلي للعاملين في الحماية من الإشعاعات في محطة تيهانج للقوى النووية

١ – أساسيات الرياضيات.

٢ – أساسيات الفيزياء النووية.

٣ – المبادىء العامة للكشف عن الإشعاعات.

٤ – الكشف عن الإشعاعات.

٥ – الأنماط المختلفة لأجهزة الكشف.

٦ – غرف التأين، وعدادات القياس النسبي.

٧ – عدادات جايجر–ميللر للاستخدام أثناء التعرض للاشعاعات والتلوث.

٨ – تقنيات قياس أشعات ألفا وبيتا وغاما.

٩ – البيولوجيا الإشعاعية.

١٠ – الدروع الواقية.

١١ – وحدات ومعدلات الجرعات.

١٢ – تقييم المنطقة المراقبة.

١٣ – مصدر المواد المشعة.

١٤ – مخارج المنطقة المراقبة.

١٥ – التصوير بأشعة غاما في المحطة.

١٦ – وضع اللافتات بالمواقع.

١٧ – أداء أدوات الحماية من الإشعاعات وتمارين عملية.

١٨ – إزالة التلوث عن الجسم، والإجراءات في حالة وقوع حادث (ثلاث ساعات).

ملحوظـــة:
يقدم هذه الدورات مهندسون وخبراء من المحطة (عاملون متخصصون) بمساعدة من القسم الطبي (طبيب وممرضات) ومن معلمين من الخارج (مستشارون في التصميم أساساً).

المرفـق ٣

برنامج التدريب الإضافي للمهندسين
في محطة تيهانج للقوى النووية

١ – أساسيات الفيزياء النووية. العناصر الأساسية للنشاط الإشعاعي.

٢ – أصل مصادر التشعيع والتلوث في محطة قوى نووية.

٣ – الآثار الحيوية للإشعاع المؤين.

٤ – تفاعل الإشعاع مع المادة. مقدمة إلى نظرية قياس النشاط الإشعاعي.

٥ – قياس النشاط الإشعاعي : المباديء والأساليب التقنية؛ أجهزة القياس في الموقع، الأداء العملي.

٦ – قياس النشاط الإشعاعي : النظام الثابت.

٧ – قياس الجرعات التي يتلقاها العاملون : قياس الجرعات الخارجي، تصوير الجسم كله بأشعة غاما.

٨ – تشريعات ومعايير الحماية من الإشعاعات.

٩ – النفايات المشعة : الاستغلال، والأحكام القانونية.

١٠ – الوقاية والسياسة في الحماية من الإشعاعات : مبدأ ألارا ALARA (مبدأ التعرض بأدنى حد يعقل تحقيقه مع مرعاة الظروف الاقتصادية والاجتماعية)، المواد والأدوات الخاصة.

١١ – دور الطب الصناعي في محطة قوى نووية.

١٢ – نقل المواد المشعة.

١٣ – تعليمات الحماية من الإشعاعات. المبادىء العامة التي تقوم عليها الحماية الفردية والجماعية.

١٤ – رد الفعل في حالة حادث إشعاعي يقع لشخص.

١٥ – تقنيات إزالة التلوث عن الجسم : تفتيش منطقة إزالة التلوث.

١٦ – خطة الطوارىء في حالة وقوع حادث إشعاعي. التدريبات التمثيلية على الانطلاق المفاجيء للإشعاعات والتقديرات.

ملحوظـــــة: هذه الدورات يقدمها :
– مهندسون من المحطة متخصصون في مجالات البرنامج؛
– أطباء من القسم الطبي؛
– طبيب أخصائي من شركة كهرباء فرنسا (EDF)؛
– مهندسون من هيئة معتمدة؛
– ممثل وزارة الصحة العامة.

"أرغوس "ARGOS" : أداة حاسبة الكترونية للسرعة في اتخاذ القرارات في حالة الطوارىء النووية

أ. فالمود. لارسن، ج. ليبرت
مختبر رايزو الوطني، روسكيلد،
ج. جنسن، الوكالة الدانمركية لحماية البيئة، كوبنهاغن

(الدانمرك)

يمثّل الوقت في حال وقوع حادث طارىء نووي واحداً من أعظم العوامل أهمية.

ويحتاج خبراء الاستعداد للطوارىء إلى وقت لتقييم المعلومات المتاحة التي كثيراً ما تكون شحيحة في بداية الحادث الطارىء. وتحتاج أفرقة الرصد إلى وقت لأخذ القياسات اللازمة لمستويات النشاط الإشعاعي والإشعاعات في حال وجودها – بل إن عدم وجودها له أهمية أيضاً.

وثمة حاجة إلى وقت لنقل هذه القياسات من أفرقة الرصد إلى مركز التقييم التقني. وهنا أيضاً توجد حاجة إلى وقت لتحويل هذه القياسات إلى أسس للتقييم يمكن فهمها.

كذلك يحتاج متخذو القرارات إلى وقت لاختيار التدابير التي يقررون اتخاذها:

"١" يجب إعلام الجمهور في أقرب وقت ممكن – ولكن بماذا؟

"٢" أي تدبير للحماية مثل: إصدار أمر يجعل السكان يحتمون في منطقة معينة، أو أمر بإجلاء كل السكان إلى منطقة معينة، يجب أن يقوم على أساس أكبر قدر من المعلومات.

وثمة أمر جلي، وهو أن للوقت أهمية عظمى في جميع هذه المجالات المعقدة التي تنطوي على عواقب خطيرة، سواء على الصعيد الوطني أو الدولي.

وقد قمنا في الدانمرك بتطوير أداة حاسبة الكترونية نرى أنها مفيدة، وخاصة من حيث:

"١" توفير الوقت؛
"٢" تقديم الملاحظات؛

وذلك بأسهل طريقة يفهمها متخذو القرارات.

وكان الأساس الذي استندنا إليه في تطويرنا لنظام ARGOS هو خطة الطوارىء الدانمركية لمحطة القوى النووية السويدية في بارسيبيك، التي تبعد ٢٠ كيلومتراً عن ساحل كوبنهاغن، عاصمة الدانمرك. يوجد مفاعلان للماء الغالي، يولد كل منهما ٦٠٠ ميغاوات كهربائي، شمالي مدينة مالمو بالسويد. وفي حالة حدوث إنذار، ترسل على الفور أفرقة رصد عديدة سواء من الدانمرك أو السويد.

ومن الدانمرك أيضاً، ترسل فوراً طائرة هليكوبتر لإجراء قياسات على مسافات تصل إلى ٥ كيلومترات من المحطة. ويطلب في الحال الترخيص بهذه الرحلة الجوية من السلطات السويدية.

ولتوفير الوقت، طورنا نظام حاسبة الكترونية يزيل العديد من مصادر الأخطاء وسوء الفهم في نظام اتصالات يتكون، لولا ذلك، مما يلي :

"١" تسجيل القياسات كتابة؛

"٢" نقل الرسائل شفهياً بالهاتف أو اللاسلكي؛

"٣" تسجيل الرسالة كتابة؛

"٤" ما قد يلزم من رسائل أخرى، شفهية وكتابية؛

"٥" نقل الأرقام يدوياً إلى خرائط الحائط ورسم المنحنيات؛

"٦" تقييم على أساس رسوم بيانية يدوية.

ولم نستطع بعد إلغاء البندين "١" و "٢"، ولكن سيكون ذلك في مقدورنا في القريب العاجل.

وقد توصلنا الآن إلى حذف البنود "٣" و"٤" و"٥" بواسطة استخدام أربعة أطراف موصّلة بجهاز الحاسبة الالكترونية لنقل البيانات بشكل مباشر من أربعة أماكن. ويمكن الآن تنفيذ البند "٦" على أساس منحنيات متساوية الكثافة ترسمها الحاسبة الالكترونية على خريطة خاصة.

وتوجد حاسبتان الكترونيتان متماثلتان :"١" في مركز تنسيق الطوارىء في كوبنهاغن؛ "٢" في مركز التقييم التقني في رايزو. وقد وضع طرف توصيل في هيلليرود وهناك آخر مع السلطات السويدية في مدينة مالمو. وتجمع صور الجرعات المتساوية مع توزيع السكان وبذا يمكن للنظام أن يحسب الجرعه الجماعية المتوقعة في المنطقة المعرّضة في أوقات مختارة.

والآن، بعد حادث تشرنوبيل، تقرر وضع خطة استعداد للطوارىء النووية موضع التنفيذ على مستوى البلد، وذلك قبل حلول أول كانون الثاني/يناير ١٩٨٨.

وبالرغم من أن الدانمرك نفسها لاتملك محطات قوى نووية، فإنه توجد من حولها عدة محطات في بلدان مجاورة : السويد، جمهورية ألمانيا الديموقراطية، جمهورية ألمانيا الاتحادية.

ونحن الآن بصدد إنشاء عشر محطات دائمة للإنذار المبكر، مهمتها اكتشاف انبعاثات النشاط الإشعاعي من صنع الإنسان، حتى الصغيرة منها. وستربط هذه المحطات بحاسبة الكترونية سيجرى وضعها في مكتب البحوث في رايزو. وفي حالة حدوث إنذار- لايعلن إلا بعد قيام خبراء مؤهلين بتقييم الموقف - يتصل هذا الجهاز بنظام أرغوس ARGOS الذي يقوم بدوره بعرض الموقف في البلد كله لتقييمه. ويمكن بعدئذ إبلاغ الموقف على المستوى الدولي للسلطات الأخرى من خلال نظام أرغوس.

سلامة المفاعلات المائية : النهج الفرنسي

م . كينيار
معهد الحماية والسلامة النووية (IPSN)

(فرنسا)

يعطي هذا التقرير فكرة عامة عن "الفلسفة" الفرنسية للسلامة وما يترتب عليها من نهج تحليلي تقني للمشاكل المتعلقة بسلامة مفاعلات الماء المضغوط (PWRs).

وتجدر الإشارة إلى أن برنامج القوى النووية الفرنسي يقوم على أساس تصميم سلسلة من الوحدات القياسية وتشييدها وتشغيلها، مع كون التعديلات الوحيدة فيها هي التعديلات التي يرجع السبب في إجرائها إلى المواقع المختارة للوحدات المختلفة في السلسلة نفسها. وبعد وحدتي فيسنهايم (Fessenheim) ووحدات بوجي (Bugey) الأربع، أصبح ممكناً بفضل الخبرة المكتسبة التخطيط على التوالي، لسلسلة وحدات قدرتها ٩٠٠ ميغاوات كهربائي (CP1 ثم CP2) وسلسلة وحدات قدرتها ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي (P4 ثم P'4) ، وسلسلة وحدات قدرتها ١٤٠٠ ميغاوات كهربائي (N4) .

وقد أقيمت الوحدات الأولى وفقاً لطراز المرافق الأمريكية التي كانت قيد الإنشاء في ذلك الحين (بيفر فالي Beaver Valley) بالنسبة لوحدتي فيسنهايم ونورث آنا (North Anna) بالنسبة لوحدات بوجي. وفي تلك المرحلة، اعتمدت شركة كهرباء فرنسا (EDF) والسلطات المسؤولة عن السلامة بدرجة كبيرة، ولكن مع التعديلات المناسبة للظروف الفرنسية، على اللوائح الأمريكية (10 CFR 50 والكتيبات التنظيمية) في الأمور التي تتعلق بسلامه الوحدات الفرنسية أو بتحليل سلامتها.

وهذا النهج الأصلي جرى توسيعه تدريجياً عن طريق استحداث نهج احتمالية وأخذ الحوادث الخطيرة في الاعتبار. وقد استفادت الجوانب المختلفة، التي سيجري وصفها أدناه بمزيد من التفصيل، من التوحيد القياسي للوحدات، الذي يكفل بشكل خاص أن تستخدم التغذية الارتجاعية من الخبرة المكتسبة بشكل موسع في تحسين السلامة.

* * *

تستند الوقاية من الحوادث في المقام الأول إلى منهج جبرى، الهدف منه هو اثبات أنه يمكن احتواء المواد المشعة بصورة كافية في مختلف الحالات التي يعتبر حدوثها ممكنا (حالات التشغيل المعتاد والطوارىء والحوادث). ويتحقق هذا الاحتواء من خلال "حواجز"، وتنجم المواقف المعنية عن تطبيق مفهوم "الدفاع في العمق".

ويقوم الحفاظ على احتواء المواد المشعة على أساس "حواجز" توضع بين تلك المواد والعمال أو أفراد الجمهور. وفي مفاعلات الماء المضغوط التي بنيت في فرنسا، يميز باستمرار بين ثلاثة "حواجز" أساسية : الأوعية التي تحتوي على الوقود، وغلاف الدائرة الأولية المكيّفة الضغط، واحتواء نظام الإمداد بالبخار النووي. ويجري فحص سلوك هذه "الحواجز" تحت كل الظروف المناظرة لتشغيل المحطة المعتاد والحالات التي تقع فيها أحداث أو حوادث تعتبر متوقعة. ولا يمكن لنواتج مشعة أن تنطلق إلا في حالة فقدان موانع التسرب في كل الحواجز.

ويغطي مفهوم "الدفاع في العمق" الذي يستخدم في تعريف المواقف التي تعتبر متوقعة ما يلي :

تخطيط المرافق، وتشييدها، وتشغيلها، لتأمين قدرة المحطة الذاتية على المقاومة؛

تركيب أجهزة تحكّم أو حماية قادرة على إعادة المحطة إلى أسلوب تشغيلها المعتاد في أي حالات يمكن توقعها لحادث طارىء مؤقت أو حدث؛

التحوط اللازم للحوادث التي يمكن أن تقع رغم التدابير الوقائية المعتمدة في إطار البندين السابقين، وتخطيط نظم حماية قادرة على الحدّ من عواقب مثل هذه الحوادث.

وفيما يتعلق بتطبيق هذا المفهوم، ينبغي ملاحظة النقاط التالية :

(١) لا يلغي كون أن أحد المكونات أو الأجهزة قد صمّم لمواجهة موقف معين إمكانية أن يتعطل في هذا الموقف نفسه. وإذا ما اعتبرت عواقب مثل هذا التعطل غير مقبولة، وجب اتخاذ تدابير إضافية للحدّ منها أو منعها. وبناء على ذلك، يتخذ كل تدبير وقائي لضمان تحمل الدوائر المضغوطة لأقصى درجات الإجهاد التي يمكن أن تتعرض لها؛ وفي الوقت نفسه، يؤخذ تمزقها في الاعتبار في بحوث الحوادث. ولا يمكن أن تستثنى من هذه القاعدة إلا حالة يتم فيها تعزيز كاف للجانب الوقائي : فعندئذ يستبعد التصدع الفجائي للوعاء في مفاعلات الماء المضغوط بفضل ما اتخذ من احتياطات عند التصميم والصنع والتفتيش طوال حياة المحطة، بحيث يمكن اكتشاف العيوب التي يمكن أن تؤدي إلى أعطال أشد جسامة في الوقت المناسب (وهذه النقطة تخضع أيضاً للوائح محددة تفحصها السلطات بعناية شديدة).

(٢) لما كان من المتعذر فحص جميع حالات الحوادث التي تعتبر متوقعة، فقد اتفق القائمون على التشغيل والسلطات المسؤولة عن السلامة على بحث قائمةمحدودة من حالات الحوادث، موضوعة بحيث تمثل المخاطر الكامنة؛ وتختار كل حالة وتدرس على اعتبار أن عواقبها أخطر من عواقب حوادث مشابهة يفترض أنها تمثلها (منهج "ذروة الحادث").

(٣) يجب تحديد الأعطال التي يمكن أن تشكك في التدابير التي اتخذت لمنع الحوادث وفي الوسائل التي استخدمت للحدّ من عواقبها؛ وقد اعتمدت تدابير لضمان ألا يؤدي عطل إلى عواقب غير مقبولة. وبناء على ذلك، فإن الانقطاع الكامل للإمداد الخارجي والداخلي بالكهرباء قد يسبب فقدان التبريد الأولي (التسرب من وصلات المضخات الأولية)، بينما لن تستطيع أجهزة الحماية (بغير تيار كهربائي) أن تعمل في مثل هذه الظروف. وبالمثل، قد يكون اندلاع حريق سبباً في تعطيل "أسلوب العمل المعتاد".

وعندئذ تثور مسألة معرفة المدى الذي يمكن الذهاب إليه والتحقق من حالات الحوادث التي يجب أن تكون ماثلة في الأذهان وقت تصميم المحطة. ويمكن القول بصفة عامة، وكما ذكر أعلاه، إن المنهج الجبري يسمح بوضع قائمة تقليدية بحالات مصنفة وفقاً لمعدل تواترها، على أن تكون عواقب هذه الحالات، في كل فئة، أقل مع ذلك من القيم التي تتزايد طردياً مع انخفاض احتمال حدوث هذه الحالات.

وفي هذه المرحلة من تقريرنا، ينبغي التأكيد على أن اللوائح الفرنسية تقتضي استصدار تراخيص، لكل موقع، من أجل التخلص من النفايات المشعة الغازية والسائلة؛ وتحدد هذه التراخيص، على أساس كل حالة بعينها، الحد الأقصى الإجمالي للنشاط الذي يرخص بالتخلص من نفاياته، مع وضع حدود معينة للنشاط بالنسبة لبعض المواد المشعة. ومن ناحية أخرى، لا تعيّن اللوائح الفرنسية حدوداً لمكافئات الجرعات التي يرجح أن يتلقاها أفراد الجمهور في حالات الحوادث؛ وتحتسب العواقب الإشعاعية لمثل هذه الحالات (ظروف تشغيل عادية وحالات ناجمة عن أحداث خارجية) دون الاستناد إلى حدود مكافئات الجرعات، ولكنها تقدم وتعتبر مقبولة في سياق إجراءات الترخيص المحددة لكل محطة تقوم فيها الوزارة المسؤولة عن الصحة العامة بدور في هذا الشأن.

وقد حددت شركة كهرباء فرنسا الحدود التالية في تصميم مرافقها، وقبلتها السلطات المسؤولة عن السلامة :

فئة التواتر	التواتر التقديري (السنوي)	الحد الأقصى للعواقب من حيث الإشعاعات
١	١	مقيدة بتراخيص للتخلص من النفايات المشعة
٢	$١ - ٢^{-٢٠}$	٠,٥ ريم (لكل الجسم)
٣	$٢^{-١٠} - ٤^{-١٠}$	١,٥ ريم (الغدة الدرقية)
٤	$٤^{-١٠} - ٦^{-١٠}$	١٥ ريم (لكل الجسم) ٤٥ ريم (الغدة الدرقية)

ويحتوي المرفق على القائمة التقليدية لظروف التشغيل المختارة للوحدات التي تبلغ قدرتها ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي.

* * *

وقد أضيف إلى المنهج الجبري الأصلي تطوير المناهج الاحتمالية. ومن الناحية التاريخية، أدخل منهج من هذا النوع للمرة الأولى لمعالجة التدابير المعتمدة فيما يتعلق بالأحداث التي تقع خارج الموقع بغية جعل الحالات

الناجمة عن الأحداث المختارة التي تعزى إلى التصميم أقرب إلى القائمة التقليدية لحالات الحوادث التي تقع داخل الموقع.

وثمة مثال على ذلك، وهو قبول السلطات الفرنسية، على أساس دراسة لاحتمال سقوط طائرة على محطة قوى نووية تعمل بمفاعلات ماء مضغوط، أنه يمكن تصميم مجموعة مختلفة من الوحدات بطريقة تسمح بفكرة سقوط طائرة "عامة" (مع مراعاة وجود مقذوف "صلب"، تمثله طائرة من طراز CESSNA 210 تزن ١,٥ طن ومقذوف "لين" تمثله طائرة نفاثة من طراز LEARJET 23 تزن ٥,٧ طناً)، مع استبعاد الطائرات الحربية والتجارية؛ وقد أدى هذا إلى رفض مواقع معينة.

ومع ذلك، حدث في عام ١٩٧٧ بينما كانت تجرى دراسة الاختيارات الرئيسية التقنية للوحدات التي تبلغ قدرتها ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي، أن حدّدت السلطات الفرنسية المسؤولة عن السلامة هدفاً احتمالياً شاملاً، بالعبارات التالية :

"بصورة عامة ينبغي أن يكون تصميم المرافق لوحدة تشمل مفاعل ماء مضغوط بحيث لا يتجاوز الاحتمال الكلي للوحدة الذي يؤدي إلى عواقب غير مقبولة، 10^{-6} في السنة.

"وبالتالي يجب عند استخدام منهج احتمالي لتقدير ما إذا كان ينبغي أخذ مجموعة من الأحداث في الاعتبار عند تصميم مثل هذه الوحدة، أن تراعى في الواقع دراسة تلك الأحداث إذا كان الاحتمال الذي يمكن أن يؤدي إلى عواقب غير مقبولة يزيد على 10^{-7} في السنة، مع عدم تجاوز هذه القيمة في حالة مجموعة الأحداث المعنية ما لم يمكن اثبات أن حسابات الاحتمال التي أجريت كانت تميل إلى التشاؤم.

"وعلاوة على ذلك، يبدو أن من الضروري لشركة كهرباء فرنسا أن تستمر في جهودها التي ترمي إلى استخدام النهج الاحتمالية لأكبر عدد ممكن من الأحداث في أقرب وقت ممكن.

"وينبغي لشركة كهرباء فرنسا أن تدرس عند تطبيقها لما ذكر، وفي كل حالة على حدة، ما إذا كان حدوث عطل متزامن للأجهزة المتكررة في النظم المتعلقة بالسلامة ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار عند تصميم الوحدات التي تشتمل على مفاعل ماء مضغوط... ويمكن استخدام فرضيات ومناهج حسابية واقعية لمثل هذه الدراسات."

ويستدعي هذا النص عدة ملاحظات :

(١) الهدف الكلي هنا محدد من حيث "العواقب غير المقبولة"؛ ووفقاً لذلك، ذكر أعلاه أن هذه "العواقب غير المقبولة" لا يرد تعريف لها في أي وثيقة تشريعية أو تنظيمية - وإنما يجب في الواقع أن تقيم من منطلقات سياسية، مع مراعاة الآثار المرتبطة بالمواقع وإمكانات اتخاذ إجراءات لحماية السكان.

(٢) ان احتمال 10^{-6} في السنة هو قيمة "مستهدفة" للوحدة، وليس مطلوباً من شركة كهرباء فرنسا أن تثبت بلوغ هذا الهدف؛ ومع ذلك اعتبر الهدف معقولاً، مع مراعاة النتائج المنشورة في التقرير WASH-1400 وللتحسينات التي أدخلت على تصميم الوحدات الفرنسية مقارنة بمحطات مفاعلات الماء المضغوط التي وردت

دراستها في هذا التقرير. ومع ذلك فإن مبررات التصميم المختارة لتفادي أي مخاطر غير مقبولة تقوم، بداية، على أساس دراسات جبرية، لا على أساس تحليل احتمالي كلي.

وقد أوضحت السلطات المسؤولة عن السلامة بجلاء، في رسالة وجهتها إلى شركة كهرباء فرنسا في عام ١٩٧٨، إطار الدراسات الاحتمالية المطلوبة من شركة كهرباء فرنسا على النحو التالي :

" أود أن أؤكد... على أن رغبتي في ضمان استخدام المنهج الاحتمالي لأكبر عدد ممكن من مجموعات الأحداث لا تعني ضمناً الاستخدام المباشر لهذه المناهج في تصميم الوحدات التي تحتوي على مفاعل ماء مضغوط. ويمكن إجراء التحققات الاحتمالية بسهولة في فترة لاحقة لإظهار سلامة التدابير المزمع اتخاذها، ويمكن لتلك الدراسات فضلاً عن ذلك تحسين تعريف المعايير الجبرية المستخدمة، عند الاقتضاء، في تصميم وحدات لاحقة.

"وما ورد في رسالتي... (في عام ١٩٧٧)... لا يعني أيضاً أن سلامة وحدة مفاعل ماء مضغوط يمكن الآن اثباتها بتحليل احتمالي شامل. ومن المفروض من ناحية أخرى أن يؤدي استخدام المناهج الاحتمالية إلى تبرير أفضل، أي إلى تحسين تعريف وتصنيف الحالات المدروسة عند تصميم وحدة من ذلك النوع".

(٣) وتستخدم القيمة 10^{-7} في السنة بشكل أكثر مباشرة من منطلق تشغيلي، ويستخدم المنهج المشار إليه أعلاه في حالة الأحداث التي تقع خارج الموقع هذه القيمة عندما يبحث، مثلاً، عدة مجموعات من أحداث سقوط الطائرات : فاحتمال سقوط طائرة "عامة" على محطة قوى يبلغ في فرنسا حداً يجعل محطات مفاعلات الماء المضغوط تعتمد تدابير حماية مستمرة ضد حادث سقوط طائرة من هذا النوع، أينما كان الموقع؛ ومن ناحية أخرى، فإن احتمال سقوط طائرة تجارية على محطة قوى ضئيل في فرنسا، مع استبعاد المناطق المحيطة بالمطارات، ولذلك لا توجد حاجة إلى اعتماد تدابير من هذا القبيل؛ وأما فيما يتعلق بالطائرات الحربية، فإن هذا الأمر يبحث بالنسبة لكل موقع مقترح لمحطة قوى، بحيث يضمن أن الموقع مقبول حقيقة. كما أن القيمة 10^{-7} في السنة تجعل من الممكن معالجة مشاكل الجمع بين الأحداث التي تقع خارج الموقع وظروف التشغيل التقليدية.

وتجدر الإشارة مع ذلك إلى أن القيمة 10^{-7} في السنة لاتعتبر قيمة "حدّية" يجب عند تجاوزها اعتماد الجوانب الهامة في التصميم بصورة نهائية. وأما تقرير ما إذا كان ينبغي اعتماد هذه الجوانب فيبحث بالنسبة لكل حالة على حدة عن طريق دراسة نقدية للفرضيات الموضوعة وبأخذ أمرين هامين في الاعتبار :

(أ) الهدف الكلي بالنسبة للمخاطر : فمثلاً، من أجل البقاء في مجال الأحداث الخارجية، يمكن قبول درجة تعرض أعلى فيما يتعلق مثلاً بحوادث سقوط الطائرات في نظير درجة تعرض أقل للانفجارات؛ ويجب أن يوضع في الاعتبار عدد مجموعات الأحداث التي يكون احتمال إفضائها إلى عواقب غير مقبولة أكبر من 10^{-7} في السنة؛

(ب) تكلفة التدابير التي يتعين تنفيذها كمقابل للاستفادة المتوقعة من زاوية السلامة؛

(٤) وعلى عكس المنهج الجبري التقليدي الذي تجرى دراساته على أساس فرضيات وحسابات متشائمة، فإن المنهج الاحتمالي، إذا أريد له أن ينجح تماماً وأن يتيح اتساقاً أكبر في التدابير التي تعتمد لمنع أي مخاطر غير مقبولة، يجب أن يستند إلى قيم واقعية بقدر الإمكان، سواء لتقدير الاحتمالات أو لتقييم العواقب.

وقد أمكن لنا بفضل استخدام المناهج الاحتمالية أن نبين الحاجة إلى تدابير إضافية تستهدف تحقيق مستوى مرضٍ من السلامة في حالات معينة لا ترد في القائمة التقليدية لظروف التشغيل. وقد طلب من شركة كهرباء فرنسا، في رسالة ١٩٧٧ المقتبس منها أعلاه، أن تولي عناية خاصة لاحتمالات وعواقب مايلي :

(أ) عطل نظام التوقيف الطارىء أثناء الأعطال التي تستدعي تشغيل هذا الجهاز؛

(ب) عطل أحد الأجهزة في إزاحة الحرارة التي يحدثها المفاعل إلى "مصدر التبريد" أو من "مصدر التبريد"؛

(جـ) انقطاع الإمداد بالتيار الكهربي تماماً وفي نفس الوقت.

وكانت نتيجة هذه الدراسات أن وضعت بالفعل موضع التنفيذ تدابير إضافية في مختلف مجموعات الوحدات، مع مراعاة مرحلة بنائها. ومن الأمثلة التي توضح هذه النقطة حالة عطل تحدث في وقت واحد في نظم الإمداد بالتيار الكهربي.

وتزود محطات مفاعلات الماء المضغوط بالقوى الكهربية من أربعة مصادر مستقلة : مصدران خارجيان من شبكة توزيع كهرباء فرنسا، ومصدران داخليان يتكون كل منهما من مولد يعمل بزيت الديزل؛ وتوجد إلى جانب ذلك إمكانية لتحويل المولدات التوربينية بحيث تقوم بإمداد نظمها الذاتية المساعدة بالقوى الكهربية.

وتقوم مصادر القوى هذه بتغذية خطي توزيع القوى المستقلين (الخط ألف والخط باء) لأجهزة السلامة والحماية بواسطة لوحتي تحكم تعرفان باسم "لوحتي الدعم" (٦,٦ كيلو فولت LHB،LHA)؛ وقد خصصت وحدة توليد للخط ألف والأخرى للخط باء.

وبعد إجراء الدراسات المذكورة أعلاه، أصبح من الواضح أنه في حالة الوحدات التي تعمل بقدرة ٩٠٠ ميغاوات كهربائي، يمكن لانقطاع كل نظم القوى الكهربية في وقت واحد أن يؤدي إلى عواقب خطيرة. ويتمثل هذا النوع من الأعطال في توقف حقن الماء في وصلات المضخة الأولية، بما يعني فقدان تكامل الدائرة الأولية خلال فترة ثلاث ساعات تقريباً. ويبلغ الاحتمال المناظر نحو ٢ x ١٠-٥ في السنة، مع مراعاة الحالات المبدئية المختلفة الممكنة في الوحدة : وينتج نصف هذا الاحتمال عن تعطل مصادر القوى بالمعنى الحقيقي للتعطل، والنصف الآخر عن تعطل لوحتي التحكم LHA وLHB.

وقد أدى هذا الموقف بشركة كهرباء فرنسا إلى بحث تدابير إضافية متنوعة يمكن من خلالها تقليل احتمال وقوع حادث خطير. وبهذه الطريقة، يمكن لاستخدام توربين غاز مركب في الموقع ولتطبيق أساليب إعادة القوى إلى لوحات التحكم بقدرة ٦,٦ كيلو فولت بواسطة مولد من وحدة مجاورة أن يخفضا إلى حد كبير من احتمال وقوع حادث خطير ينجم عن تعطل متزامن لمصادر القوى (إلى نحو ١٠-٧ في السنة). ومع ذلك فإن احتمال وقوع

حادث خطير بسبب تعطل متزامن لكل مصادر القوى لا ينخفض إلا بعامل يقارب ٢ فقط، وذلك لأن إصلاح لوحتي الدعم اللتين يفترض أنهما تعطلتا لايمكن عادة أن يتم بسرعة.

وبغية زيادة الوقت المتاح للقائم بالتشغيل في مثل هذه الحالة، يجب ضمان حقن الماء في وصلات المضخة الأولية بحيث يمكن تفادي فقدان تكامل الدورة الأولية حتى مرحلة إيقاف المفاعل عندما لا يعود حقن الماء ضرورياً. وقد اكتشف أنه يمكن تحقيق ذلك بواسطة مضخة موجودة (مضخة اختبار) بشرط أن تكون متصلة بوحدة توليد توربينية تغذى بالبخار من مولدات البخار.

ويجري حالياً إدخال مجموعة الأجهزة اللازمة لتنفيذ التدابير التي ورد وصفها أعلاه في الوحدات التي تعمل بقدرة ٩٠٠ ميغاوات كهربائي (الإجراءH3)؛ وبهذه الطريقة، لايتجاوز احتمال حادث خطير x٥ ١٠-٦ في السنة، وذلك لأن الحلقة الرئيسية في تسلسل الأحداث، التي تتمثل في تعطل متزامن في لوحتي التحكم، تدوم أكثر من قدرة مولد البخار في نظام التغذية الخاص بالطوارىء على الاحتفاظ بالماء، مع عمل الماء على إزالة الحرارة المتبقية.

وبغية تقليل احتمال حدوث حادث خطير إلى حد أبعد أيضاً، فإن الأمر لايحتاج إلا إلى إيجاد طريقة لإمداد مولدات البخار بالماء. والمفروض أنه يمكن تحقيق ذلك عن طريق التغذية بالجاذبية من خزان إمداد مولد بخار الطوارىء واستخدام مضخة استخراج مكثّفة. ويمكن عندئذ تقليل احتمال حادث خطير إلى نحو ١٠-٧ في السنة.

ومن هذا المثال، يمكن تبين كيف استطعنا بالتأملات المبنية على المنهج الاحتمالي من تقليل المخاطر المرتبطة بتعطل متزامن لإمدادات القوى في وحدة تعمل بقدرة ٩٠٠ ميغاوات كهربائي إلى قيمه مقبولة دون تغيير جوهري في التصميم الأوّلي الموضوع على أساس قائمة تقليدية لظروف التشغيل.

ومن الواضح أن البيانات المستمدة من هذه الدراسات كانت ماثلة في الأذهان أثناء تصميم الوحدات التي تعمل بقدرة ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي والوحدات من طراز N4 ، دون أي حاجة إلى تعديل القائمة التقليدية لظروف التشغيل. وهذا هو السبب، فيما يتعلق بهذه الوحدات القياسية، في أن مجموعة التدابير الموصوفة أعلاه (بما في ذلك التغذية الارتجاعية بالجاذبية لخزان إمداد مولّد بخار الطوارىء بالمياه) قد أدمجت في تصميم الوحدات المناظرة، وفي أن احتمال وقوع حادث خطير ناتج في حالة وحدة تعمل بقدرة ١٣٠٠ ميغاوات عن التعطل المتزامن لكل أجهزة التغذية بالقوى لم يزد على نحو ١٠-٧ في السنة منذ بدء تشغيلها؛ وفيما يتعلق بالمجموعة من طراز N4 ، يجري حالياً بحث إدخال عدة تحسينات جديدة.

ويمكن القول بشكل أعم أن الدراسات المتعلقة باحتمالات وعواقب التعطل الكامل للأجهزة المتكررة الخاصة بالسلامة قد أثبتت أن من الضروري لبلوغ هدف السلامة شاملاً أن تعتمد تدابير، بالإضافة إلى الأجهزة الآلية الموجودة بالفعل في التصميم الأصلي.

فمثلاً، تم وضع وتحديد إجراءات تشغيلية خاصة تعرف باسم إجراءات H (حيث يمثل حرف H "ما يتجاوز أساس التصميم"، ولكن قد يكون من الأصح أن نقول "عند حد أساس التصميم"). وقد وصف الإجراء H أعلاه،

ولكن ينبغي هنا توضيح أن هناك خمسة إجراءات H في المجموع :

H1 : فقدان مصدر البرودة الخارجي؛

H2 : تعطل كامل لأجهزة إمداد مولدات البخار بالماء(الإمداد المعتاد وإمداد الطوارىء)؛

H3 : تعطل كامل لمصادر القوى (في الخارج والداخل)؛

H4 : إجراءات طوارىء متبادلة بواسطة أجهزة رش غرفة الاحتواء؛ وحقن طوارىء بضغط منخفض أثناء مرحلة إعادة الدوران؛

H5 : حماية مواقع ضفاف الأنهار من الفيضان الذي يتجاوز الفيضان المرجعي (حالة تحدث كل ألف سنة).

وقد صمم إجراء إضافي هو U1 ، لزيادة تحسين الوقاية من حوادث انصهار قلب المفاعل باتباع منهج يشمل حالة نظام التبريد من أجل الإمداد بالبخار أثناء حادث عندما لا تكون هناك فكرة عن تسلسل الأحداث الذي أدى إلى هذا الموقف.

على أنه بالرغم من كل الاحتياطات المذكورة أعلاه التي تتخذ لتفادي تدهور قلب المفاعل، فإننا لا نستطيع أن نستبعد تماماً إمكانية وقوع حوادث خطيرة تشمل انصهار قلب المفاعل وفقداً جزئياً أو كبيراً، بعد شيء من التأخير، لما يحتويه الوعاء من مادة مشعة. وفي هذا الصدد، نستطيع دائماً تقريباً في أي موقف معين أن نتخيل موقفاً آخر أكثر سوءاً بافتراض عطل إضافي؛ ومن الواضح تماماً أنه كلما تدرّجنا في دراسة مواقف أكثر فأكثر خطورة، فإن احتمال حدوثها يميل إلى الصفر. وعلى ذلك، ما هي النقطة التي ينبغي التوقف عندها؟ وهل من الضروري لأغراض حماية السكان واعتماد تدابير لتحقيقها أن نحدد عتبة احتمالية جديدة وأن نعين الحدود القصوى للانبعاثات المشعة التي تقابلها؟

ويمكن توجيه نقطتي نقد إلى هذا النهج، وهما أنه :

(١) كلما كان احتمال وقوع أحداث أقل، كان عدم التيقن من حساب احتمالها أكبر، بحيث لايعود للحساب ذاته مغزى كبير؛
(٢) وقبل كل شيء، فإن حساب شروط المنشأ أثناء مثل هذه الحوادث يصرف عن مسألة أكبر هي دراسة التحكم في مجرى هذه الحوادث بسلسلة من الإجراءات المناسبة.

وفي المنهج الفرنسي المتبع حيال الحوادث الخطيرة، لايحاول تصنيف الحوادث الخطيرة بأي طريقة دقيقة، ويستخدم مصطلح " سمة الانبعاث المشع "بمعناه الضيق : حيث يكون " سمة الانبعاث " خاصية لانبعاث نمطي تتسم بها فئة من الحوادث؛ وهو يؤخذ في الاعتبار لتحديد الإجراء الذي يتقرر اتخاذه حيال هذه الفئة من الحوادث، بغرض حماية السكان إلى أقصى حد، كجزء من إعداد خطط الطوارىء (خطة طوارىء للموقع في

محطة القوى وخطة إجراءات خاصة خارج الموقع).

ونتيجة للدراسات التي أجريت على المفاعلات المائية فرنسية التصميم، أمكن تحديد ثلاث مواصفات (سمات) مرجعية للانبعاثات تقابل فئات الحوادث الثلاث الرئيسية، وكلها تغطي انصهار قلب المفاعل تماماً. وفيما يلي هذه المواصفات، مرتبة ترتيباً تنازلياً وفقاً لخطورتها :

- سمة الانبعاثS_1، للحوادث التي يقع فيها تصدع مبكر لوعاء الاحتواء (بعد عدة ساعات من بداية الحادث)، ومن الأمثلة النموذجية لهذه الحوادث أسلوب العمل α (ألفا) وفقاً للمصطلح المستخدم في تقرير WASH 1400 ؛

- سمة الانبعاث S_2، للحوادث التي تؤدي إلى انبعاثات خارج غرفة الاحتواء إلى الجو مباشرة نتيجة فقدان متأخر لموانع التسرب؛ بعد فترة يوم أو عدة أيام (مثال : أسلوب δ "دلتا")؛

- سمة الانبعاث S_3، للحوادث التي تؤدي إلى انبعاثات غير مباشرة بسبب وجود مسارات انتقال مع احتجاز بين غرفة الاحتواء والهواء الخارجي (مثال : أسلوب ε "أبسيلون").

وقد قيمت مستويات الانبعاثات المقابلة على أساس المعلومات الواردة في تقرير WASH 1400. وكانت المستويات بالنسبة للسمات (المواصفات) الثلاثة المذكورة هي، على التوالي : بضع عشرات في المائة، وعدة نقاط في المائة، وعدة نقاط في الألف من المواد الانشطارية التي يحتوي عليها قلب المفاعل للمواد المتطايرة، فضلاً عن الغازات الخاملة التي تنبعث كلها تقريباً في الحالات الثلاث جميعاً.

مواصفات الانبعاثات المشعة ونسب النشاط المنطلقة من قلب المفاعل

نوع عطل الاحتواء	سمة الانبعاث S_1 مبكر	سمة الانبعاث S_2 متأخر	سمة الانبعاث S_3 متأخر
غازات خاملة	٪٨٠	٪٧٥	٪٧٥
عضوية	٪٠,٦	٪٠,٥٥	٪٠,٥٥
غير عضوية	٪٦٠	٪٢,٧	٪٠,٣
سيزيوم	٪٤٠	٪٥,٥	٪٠,٣٥
سترونشيوم	٪٥	٪٠,٦	٪٠,٠٤

وفيما يتعلق بالحوادث التي تنطبق عليها سمة الانبعاث S_1، يسعى المنهج الفرنسي إلى بيان أنه يمكن بالنسبة للمفاعلات الفرنسية التي توجد فيها نظم احتواء واسعة أن تستبعد هذه الحوادث، امّا لأسباب مادية (استحالة وصف تتابع الأحداث على أساس واقعي)، أو أيضاً لأن احتمال حدوثها بعيد للغاية : وهذا يتعلق بأسلوبي α و δ اللذين يطبقان في حالة تصدع وعاء الاحتواء في أعقاب انفجار بخاري وانفجار هيدروجيني.

وبالإضافة إلى ذلك، وضعت السلطات العامة في فرنسا خططاً خاصة لإجراءات الطوارىء بعد دراسة الإمكانات المعقولة لإجلاء السكان واحتوائهم. وقد أدت هذه الفكرة إلى التفكير في امكانية تنفيذ الإجراء التالي : احتمال إجلاء السكان إلى مسافة ٥ كيلومترات واحتواء الأفراد الآخرين حتى ١٠ كيلومترات خلال فترة من ١٢ إلى ٢٤ ساعة بعد بدء الحادث.

ويتضح من مقارنة نطاق هذه التدابير بالمستوى المفترض للانبعاثات المشعة وجود مواد مواءمة بينهما إذا لم تتجاوز الانبعاثات حدود سمة الانبعاث S_2.

ويبقى الآن تناول حالة الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى انبعاثات من خلال الجزء الموجود فوق الأرض من وعاء الاحتواء بعد تأخير يستغرق نحو يوم أو أكثر من يوم : وينطبق هذا بشكل خاص على زيادة الضغط في غرفة الاحتواء إلى أعلى من قيمة التصميم (الأسلوب δ "دلتا")، أو إلى تسرب خطير من غرفة الاحتواء (الأسلوب β "بيتا") ولهذا الغرض، جرت دراسة تدابير لتحسين آخر حاجز في غرفة الاحتواء؛ وتلك إجراءات طوارىء تعرف باسم U (يو)، وبواسطتها يمكن الحدّ من عواقب الحوادث، أياً كانت أسبابها، عن طريق استخدام أجهزة بسيطة.

ويمكن القول بشكل أدق ان الإجراء U2 ينص على اتخاذ تلك الإجراءات في حالة اكتشاف خطأ في عزل غرفة الاحتواء أثناء حادث.

والقصد من الإجراءات U4 هو تفادي أي انبعاث مباشر للمواد المشعة من خلال وسائل التصريف الموضوعة داخل الكتل الخرسانية الكبيرة الموجودة تحت بئر الوعاء، ويسمح الإجراء U5 بمرور انبعاثات مرصودة ومرشحة من خلال جهاز ترشيح خاص بأسرع من انبعاثات الهباء بعامل قدره ١٠ (تسوية ضغط غرفة الاحتواء). وهكذا يمكن خفض سمة الانبعاث S_2 إلى مستوى سمة الانبعاث S_3.

ومجموعة التدابير الموصوفة أعلاه تجعل في وسعنا معالجة مسألة الحوادث الخطيرة من منطلق مقبولية عواقبها. ومنذ حادث تشرنوبيل، استمر التفكير في موضوع التصرف في حال وقوع حادث وفي أعقاب حادث.

* * *

إن الهدف من مجموعة الإجراءات الموصوفة أعلاه، انطلاقاً من منهج جبري تقليدي، هو زيادة الاتساق بين جميع التدابير التي تعتمد بضمان سلامة المرافق. وتجري حالياً عمليات تقييم شاملة لكي نستطيع أن نقيم بمزيد من الدقة نواحي القوة والضعف، إن وجدت، في الوحدات التي تعمل بقدرة ٩٠٠ ميغاوات كهربائي و ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي.

ويظل الرصد في كل الحالات ضرورة حتمية من أجل اكتشاف أي انحراف في مستوى سلامة المرافق. ولذلك يكرس جهد كبير، لم يتناوله هذا البحث صراحة، لدراسة التغذية الارتجاعية بغية الخروج منها بمعلومات صحيحة، وخاصة لاكتشاف الأحداث التي تنذر بحوادث خطيرة.

مرفق

قائمة تقليدية بظروف تشغيل
مختارة لوحدات قدرة ١٣٠٠ ميغاوات كهربائي

* متوسط تواتر الأحداث التي يفترض أن تظل عواقبها محدودة للغاية :

سحب غير متحكم فيه لقضبان التحكم من مفاعل دون القيمة الحرجة

رفع غير متحكم فيه لمجموعة قضبان التحكم من مفاعل يعمل بقوته

خطأ في وضع أو سقوط قضيب أو مجموعة قضبان

تخفيف غير متحكم فيه لحامض البوريك

فقدان جزئي للتدفق الأولي

بدء تشغيل أنشوطة خاملة

فقدان كامل لدورة توربين التحميل

فقدان ماء التغذية العادي

تشغيل خاطىء لماء التغذية العادي

توقف الإمداد الخارجي بالكهرباء

زيادة مفرطة في الحمل

سوء توقيت فتح صمام ضغط (انخفاض الضغط المؤقت في الدائرة الأولية)

سوء توقيت فتح صمام دائرة ثانوية

سوء توقيت البدء في الحقن أو في التزويد بحامض البوريك.

* حوادث نادرة للغاية يفترض أن تكون عواقبها محدودة نسبياً :

فقدان المبرّد الأولي (انقطاعات قصيرة)

سوء توقيت فتح صمام الضغط (تخفيض ممتد لضغط الدائرة الأولية)

انقطاع طفيف في أنابيب الدائرة الثانوية

فقدان كامل للتدفق الأولي

خطأ في وضع مجموعة الوقود داخل المفاعل

رفع مجموعة قضبان تحكم تعمل بقوة كاملة

صدع في خزان دائرة الرصد الكيميائي و الحجمي

صدع في خزان التخزين لدائرة معالجة النفايات الغازية

* الحوادث الخطيرة والافتراضية التي يجب مع ذلك قبول عواقبها :

حادث في تداول الوقود

عطل كبير في الدائرة الثانوية (بخار أو ماء)

توقف مروحة مضخة محرك أولي

لفظ مجموعة قضبان تنظيم

فقدان ممكن للمبرّد الأولي

تصدع كامل في أنبوب مولد البخار.

نهج نظم أونتاريو هايدرو في إدارة المواد المشعة

ت. ج. كارتر* وب. ك. م. راو**
أونتاريو هايدرو، تورونتو، أونتاريو

(كندا)

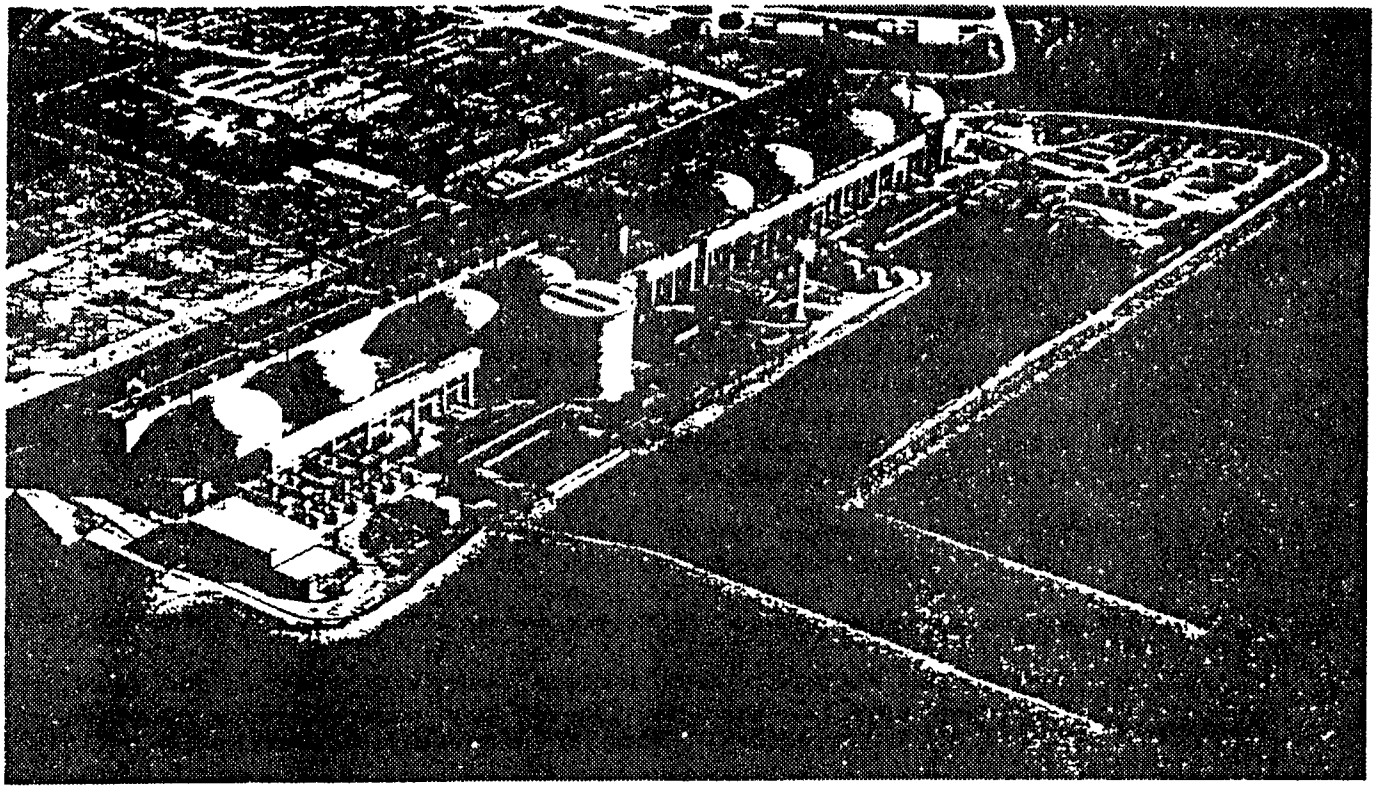
مقدمة

أونتاريو هايدرو مرفق إقليمي كبير يخدم أكثف مقاطعات كندا تصنيعاً، أي مقاطعة أونتاريو. وتقوم أونتاريو هايدرو، ضمن شبكة تضم ٨٠ محطة توليد مائية ونفطية ونووية، بتشغيل ١٣ وحدة نووية من طراز كاندو CANDU (CANadian Deuterium Uranium) في مجمعين رئيسيين لمحطتين متعددتي الوحدات (الشكل ١). ويجري حالياً بناء سبع وحدات نووية أخرى، أربع منها في موقع ثالث متعدد الوحدات في دارلينغتون. وتستخدم أونتاريو هايدرو منهجاً متعدد النظم في تطوير كل صغيرة وكبيرة في أساليب ووسائل إدارتها للمواد المشعة. ويلبي هذا المنهج أهدافاً سياسية واسعة حددتها أونتاريو هايدرو فيما يتعلق بإدارة المواد المشعة لضمان معيار مقبول لصحة وسلامة العاملين والجمهور، وتقليل الحاجة إلى تحويل موراد بشرية ومادية في الحاضر والمستقبل. وبالنظر إلى أن هدفها الرئيسي هو الإمداد بالكهرباء بأقل تكلفة ممكنة مع توفير مستويات عالية من السلامة والجودة، فإن اتباع منهج سليم في اتخاذ القرارات في مجال إدارة المواد المشعة يعد أمراً بالغ الأهمية في إدارة دورة حياة هذه المواد، ضمن برنامج الهيئة لتوليد القوى النووية بقدرة ١٤٣٠٠ ميغاوات كهربائي (طاقة كهربائية صافية).

---

*مهندس إدارة مواد مشعة، في أونتاريو هايدرو، كندا.
[700 University Avenue, Toronto, Ontario M5G 1x6, Canada]

**كبير أخصائيي التصميم، قسم إدارة المواد المشعة، أونتاريو هايدرو، كندا
[700 University Avenue, Toronto, Ontario M5G 1x6, Canada].



الشكل ١ – محطتا بيكرينغ ألف وباء لتوليد القوى (ثماني وحدات CANDU)

طبيعـة المواد المشعـة

تتنوع المواد المشعة المتولدة عن برنامج أونتاريو هايدرو لتوليد القوى النووية CANDU، سواء من حيث خصائصها الفيزيائية أو مخاطرها الإشعاعية :

(أ) المواد عالية الإشعاع: إن أكبر كمية من الإشعاعات المنتجة في المحطات النووية (٩٩,٩ ٪) محتواة داخل الوقود المشعع، الذي يتولد نتيجة لعملية الانشطار. وينطلق من محطة نموذجية ذات أربع وحدات من طراز CANDU، مثل تلك الموجودة في محطة توليد بيكرينغ A (GS)، نحو ٣٥٠ طناً من الوقود المشعع كل سنة.

(ب) نفايات المفاعلات الروتينية : وهي تشمل نفايات نظام التجهيز ونفايات تنظيف المرفق الملوثة من مناطق المحطة التي توجد بها إشعاعات. وبالرغم من أن جزءاً فقط من النفاية هو الذي يكون ملوثاً بالإشعاعات بالفعل، فإن من الأسهل معاملة كل هذه النفايات على أنها مشعة. وتنتمي هذه النفايات إلى فئتين أساسيتين: فئة منخفضة الإشعاع وأخرى متوسطة.

وتشمل النفايات منخفضة الإشعاع ٩٥ في المائة من حجم كل نفايات المفاعل المختلفة، وتتضمن المواد الناتجة عن التنظيف مثل الورق وألواح البلاستيك، وأغطية الأرضيات المؤقتة، والملابس الواقية المستخدمة (قفازات من المطاط والأردية من البلاستك)، والمماسح والخرق وغيرها من أدوات النظافة.

وتنشأ النفايات متوسطة الإشعاع الأكثر خطورة من أجهزة تشغيل المفاعل، وتتكون من شوائب وجسيمات في السوائل مرت من خلال المفاعل وأصبحت مشعة. وتستخدم راتينجات التبادل الأيوني العضوية والمرشحات في تنظيف السوائل الموجودة في أجهزة تشغيل المفاعل، وتتطلب تغييراً دورياً. ويمكن للأجزاء المعدنية، مثل الأنابيب، والصمامات وغيرها من المعدات الصلبة، ونفايات السوائل المتجمدة، أن تدخل ضمن الفئات منخفضة أو متوسطة الإشعاع.

وحجم هذه النفايات صغير نسبياً بالمقارنة مع حجم النفايات الصناعية المعتادة الأخرى. فمثلاً، تنتج محطة بحجم توليد بيكرينغ GS A (٢٠٦٠ ميغاوات كهربائي) نحو ١٠٠٠ متر مكعب سنوياً.

(جـ) النفايات غير الروتينية : وهي تشمل أجهزة مراقبة التفاعلية وقياس معدل التدفق، مثل قضبان التحكم في المنطقة السائلة، وقضبان الإيقاف عن العمل وكاشفات معدل التدفق. وهذه بالغة الإشعاع.

(د) نفايات المنتجات الثانوية : وهي نفايات تنجم عن عمليات استعادة المنتجات الثانوية. وتعتبر أونتاريو هايدرو أكبر منتج كوبالت – ٦٠ في العالم، وهو من النظائر المشعة المستخدمة على نطاق واسع في علاج السرطان وتعقيم الإمدادات الطبية والمنتجات الزراعية. ورغم أن الكوبالت – ٦٠ هو المنتج الثانوي الوحيد الذي يتم تسويقه حالياً، فإنه يجري حالياً استحداث نظم من أجل استعادة منتجات ثانوية أخرى قابلة للتسويق مثل التريتيوم والكربون – ١٤. وتتكون النفايات المشتقة عن إنتاج المنتجات الثانوية من نفايات صلبة بها نسبة عالية من التريتيوم مثل المناخل الجزيئية ومرشحات الكربون والنفايات المائية مثل سائل التحليل الكهربي، وزيوت المضخات، وكذلك نفايات ملوثة للكوبالت – ٦٠ والكربون – ١٤.

(هـ) نفايات مكونات قنوات الوقود المشعة ونفايات إزالة التلوث : يجري حالياً تجديد وحدتين في محطة توليد بيكرينغ GS A، ويشمل ذلك استبدال كل قنوات الوقود في قلبي المفاعل. وسيخرج من كل وحدة ٣٩٠ مجموعة من مكونات قنوات الوقود المشعة التي تشمل أنابيب الضغط ووصلات نهايات قنوات الوقود. وهذه المكونات تكون قوية الإشعاع عند إيقاف الوحدة عن العمل بسبب تأثير النويدات المشعة قصيرة الأجل (زيركونيوم – ٩٥، ونيوبيوم – ٩٥، وحديد – ٥٥) وتتطلب معالجة مؤقتة في مواقع المحطات. وتجري إعادة تركيب أنابيب المفاعلات بعد عملية إزالة تلوث موسعة، مما يولد كميات كبيرة من نفايات إزالة التلوث متوسطة الإشعاع، مثل نفايات الراتنج (كوبالت – ٦٠) الناتجة عن عملية كانديكون (عملية إزالة التلوث الكندي – CANadian DECONtamination)

(و) نفايات وقف التشغيل : بالرغم من أن أياً من مفاعلات أونتاريو هايدرو لن يوقف تشغيله لعقود عديدة، فإنه يتوقع أن يؤدي تفكيك الهياكل النووية في المستقبل إلى وجود كميات كبيرة من المكونات المشعة، ومن نفايات إزالة التلوث، ومن المواد التركيبية الملوثة متوسطة الإشعاع.

منهج النظم في إدارة المواد المشعة

ظلت نظم إدارة كل المواد المذكورة أعلاه تتطور طوال الخمسة عشر عاماً الأخيرة في أونتاريو هايدرو. ورغم أن معظم الأنشطة المتعلقة بالإدارة المؤقتة، مثل تحديد خصائص النفايات، وجمعها، وتصنيفها، وتجهيزها وتخزينها ونقلها، قد تطورت بالفعل، فإنه يجري بحث خطط لإدارة الوقود المشعع ومختلف النفايات على الأجل الطويل بحيث يمكن للهيئة الاضطلاع بمسؤولياتها النهائية عن هذه المواد.

وفي كل مرحلة من مراحل التطوير كانت تجرى دراسات تفصيلية، وتبحث البدائل، وتستعرض الدروس المستفادة من التجربة الماضية وتستوعب، كما تتخذ قرارات بشأن مكونات النظام الجديد (مثل المرافق والعمليات والإجراءات). ويلاحظ في هذا السياق أن نهج النظم يتضمن محاكاة تامة ومنتظمة للبدائل التي يتم تحديدها عند كل نقطة اتخاذ قرار، وهذا يسمح بتقييم شامل لكل مسارات الإجراءات البديلة المتاحة واختيار أنسب بديل، مع دراسة عنصري التكلفة والسلامة فيه ومختلف الآثار المرتبطة به، وبذا يكفل عملياً وبصورة كافية تحقيق هدف السياسة العامة الذي يتمثل في تقليل المتطلبات من الموارد وضمان أن تسفر إدارة المواد المشعة عن آثار مقبولة على الصحة والسلامة. ولم يترك لنا نهج النظم أثراً مستمراً في شكل قرارات سليمة في مجال إدارة المواد المشعة فحسب، وإنما وفّر أيضاً قاعدة بيانات تتكون من مجموعة من الدراسات المترابطة تستند إليها القرارات وتشمل : الخبرة في مجال توليد القوى النووية وممارسات التشغيل؛ والجمع والمعالجة، والعزل، والتعبئة، والنقل؛ والتجهيز، وضغط الحجم، والتخزين المؤقت؛ وبناء المرافق وتشغيلها؛ ومتطلبات نظام التخلص من النفايات. وقد برهنت قاعدة البيانات هذه على قيمتها الكبرى في الارتقاء بصياغة القرارات لمواجهة الاحتياجات المستقبلية.

وقد وفّر هذا النهج اتجاهات رئيسية لإدارة المواد المشعة على مدى الخمسة عشر عاماً الأخيرة، أي منذ عام ١٩٧١ عندما قامت أونتاريو هايدرو، أثناء تجارب تشغيل محطة توليد بيكرينغ GS A، بإنشاء مرفق مركزي لتصريف النفايات في موقع مشروع بروس لتطوير القوى النووية Bruce Nuclear Power Development (BNPD) (الشكل٢)، وهو يشمل الآن برنامجاً شاملاً لدراسة وتصميم المرافق والنظم، وعمليات تقييم للسلامة وإصدار التراخيص؛ وعمليات تقييم بيئية واجتماعية؛ وتقييم للمواقع ولمسارات النقل؛ ودراسات عن الجمهور والمجتمع، كثيراً ما تجرى بالتعاون مع شركة كندا للطاقة الذرية Atomic Energy of Canada Ltd.، ومع الجامعات والقطاع الخاص.

ولعل أفضل وسيلة لتحقيق التوازن بين الاعتبارات التقنية واعتبارات السلامة من ناحية، والاحتياجات الاجتماعية والسياسية من ناحية أخرى، هي تطبيق هذا النهج المتكامل.

منهجية نهج النظم

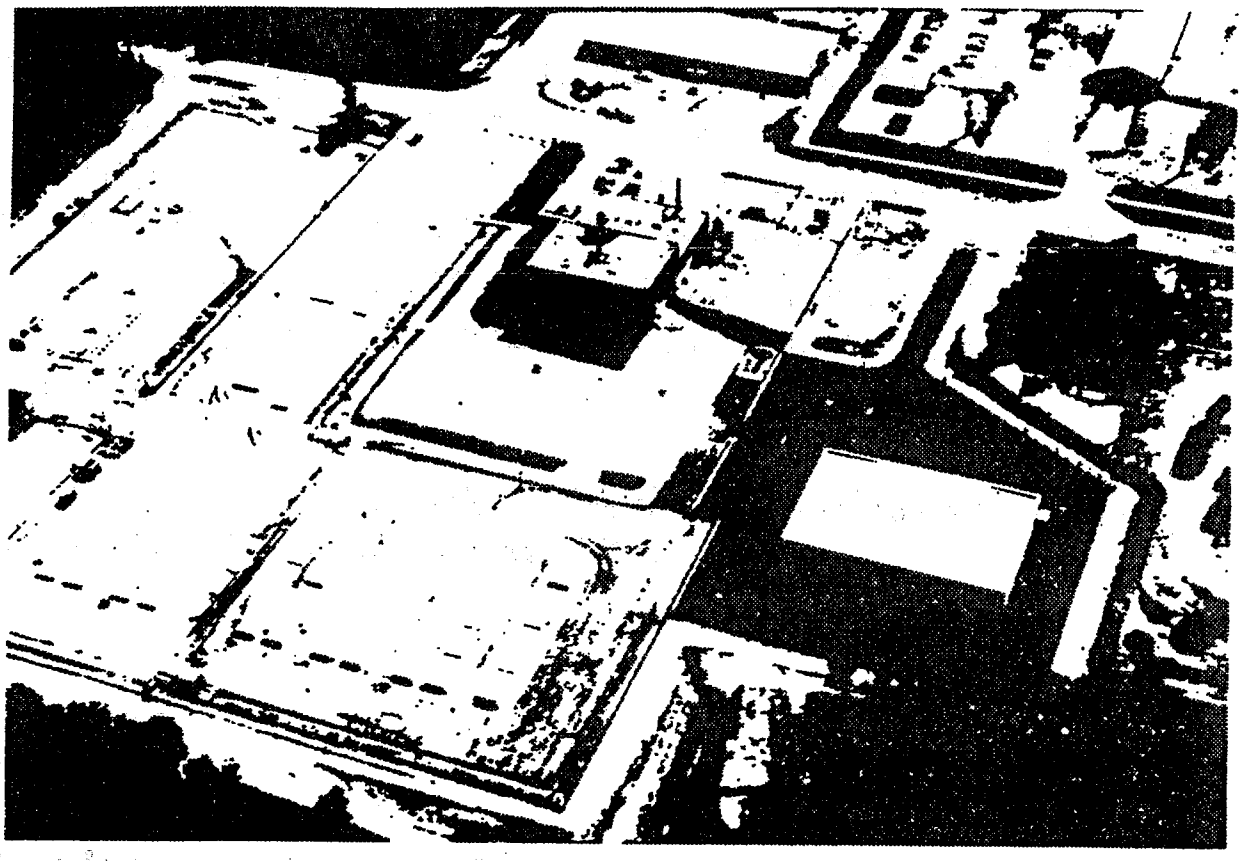
بالرغم من أن نهج النظم يشتمل، من زاوية نقل التكنولوجيا النووية، على عدد من المجالات التي تحتاج إلى تكييف مع الاحتياجات المحددة للبلد المعني، مثل احتياجاته في مجال المرافق الأساسية، وفي المجالات التنظيمية

والصناعية والاجتماعية–السياسية، فإن هذا النهج واسع النطاق. وتتمثل منهجيته في إطار واسع تدور داخله عملية متكررة (الشكل ٣) تتكون من :

(أ) تحليل النظم : تقييم وانتقاء البدائل، وأخذ كل الأنشطة والعمليات في الاعتبار، من حيث ترابطها من ناحية الجدوى والسلامة وحماية البيئة، إلخ . . .؛

(ب) اختيار الموقع : تقييم واختيار المواقع ومسارات النقل من زاوية تدفق المواد، ومن النواحي الجيولوجية والتقنية والاجتماعية – البيئية؛

(جـ) هندسة المرافق : تقييم وتطوير المعلومات الهندسية والمعلومات المتعلقة بالمشروع من أجل الحصول على نظم.



الشكل ٢ – موقع عمليات النفايات المشعة في محطة بروس للقوى النووية

تحليـل النظـم

يتمثل تحليل النظم في تقييم منطقي لبدائل الإدارة يقوم على أساس المعلومات المتعلقة بحجم النفايات وتوقعاتها، وخصائص النفايات، وبدائل المعالجة، والآثار المترتبة على السلامة والتراخيص، والقيود الاقتصادية والموقعية وغيرها من القيود التي تؤثر على إدارة دورة حياة النفايات. وهو عملية مستمرة تساعد صانعي القرارات في وضع البرامج، وبعدئذ في تحديد إمكانات التحسين وتخفيض التكاليف.

ويمكن أن تتألف أي عملية نموذجية تدريجية ومتكررة لتحليل النظم في مرفق لإدارة المواد المشعة مما يلي :

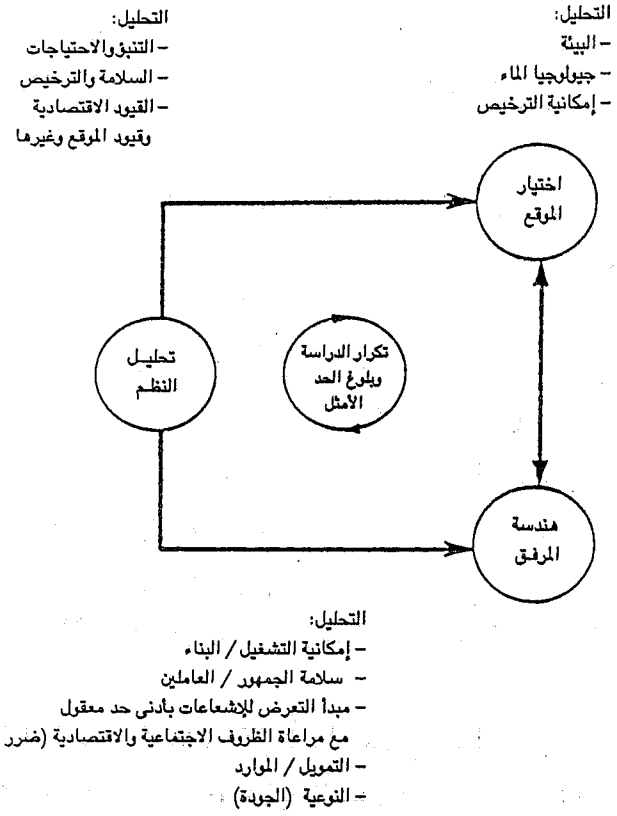
(أ) *التوقعات والاحتياجات* : إن التوقعات فيما يتعلق بحجم النفايات في الأجل القريب والمستقبل صعبة بعض الشئ بسبب عوامل عدم التيقن في نمو توليد القوى، وعوامل عدم التيقن من عمليات المحطة (مثل حالات انقطاع التيار الكهربائي وتعطل الأجهزة، إلخ .....) والتحسينات التي تدخل عموماً على المحطات في مجال عزل النفايات، وفي مجال تداول النفايات داخل المحطة ومعالجتها. وينبغي مع ذلك إعادة النظر في التوقعات بشكل مستمر للوقوف على احتياجات المرافق، ولمعرفة التواريخ التي استمر فيها العمل، والبيانات التي أدخلت عند تصميم المرافق. ويمكن لبعض ظروف تشغيل المحطة أن تحدث آثاراً غير مباشرة على مجموعة واسعة من القيم المحددة للنفايات (مثل أثر نسبة العيوب في الوقود على العمليات والصيانة وكمية النفايات ومستويات النشاط). ويمكن لوجود أنواع مختلفة من النفايات أن يؤثر على تركيب تسلسل عربات النقل واستخدام الأفراد في تداول النفايات وتجهيزها. وكثيراً ما يطلق على هذا الجزء من تحليل النظم اسم "التوقعات وتقييم الاحتياجات"، وكثيراً ما تطبق فيه تقنيات حسابية تفصيلية. ثم تستخدم التوقعات وتقييمات الاحتياجات بعد ذلك في وضع تقييمات للتدفق الشامل للمواد تشكل الأسس التي تستند إليها دراسة استراتيجيات بديلة، وتصميمات للمرافق، وبدائل للنقل، إلخ، والعلاقات المتداخلة فيما بينها.

وثمة مثال على أداة معقدة لتحليل النظم على هذا النحو استحدثت في أونتاريو هايدرو، واستخدمت في مجال محاكاة وتحديد تكلفة استراتيجيات إدارة الوقود المشعع. وبحلول عام ١٩٩٢، سيكون برنامج أونتاريو هايدرو لتوليد القوى النووية متكوناً من ٢٠ وحدة تنتج أكثر من ٠٠٠ ١٤ ميغاوات كهربائي. وبحلول عام ٢٠٠٠، ستكون أونتاريو هايدرو قد ولّدت ٠٠٠ ٧٠٠ ١ حزمة وقود. وقد وضعت شفرة للحاسبة الإلكترونية سميت "سكوف" SCUFF (٢) [System Costing of Used Fuel Facilities] لتوفير أداة لإعداد نماذج لاستراتيجيات إدارة الوقود المشعع ومعالمها العديدة الممكنة. وتتيح شفرة "سكوف" تقييم المتغيرات الممكنة لبرنامج توليد القوى النووية ولمراحل التخزين والنقل والتصريف. وتشمل المخرجات الرئيسية من شفرة "سكوف" تنبؤات بشأن : إنتاج الوقود المشعع؛ قوائم جرد المخزونات وتدفقات الوقود؛ والجداول الزمنية لعمليات التخزين والنقل والتصريف وشروطها؛ وتحليلات تفصيلية للتكلفة لكل مرحلة.

ودعماً لعمليات المحاكاة الحسابية هذه، كثيراً ما تجمع بيانات عن البحث، والتطوير، وبيانات إحصائية وتشغيلية في نظم قواعد بيانات. ويجري حالياً تشغيل مثل هذا النظام الذي يشار إليه باسم مركز بيانات إدارة الوقود المشعع [Irradiated Fuel Management Data Center] (IFMDC) بقسم إدارة المواد النووية في أونتاريو هايدرو.

(ب) تقييم *السلامة والبيئة والترخيص*. يوفر تحديد حجم المواد المشعة ووصف خصائصها معلومات كمية عن مواصفات (سمات) الانبعاثات وتلزم لتحليل النظم من حيث الجوانب المتعلقة بالسلامة وإصدار التراخيص. وتشمل هذه التقييمات تعيين كل مسارات المواد المشعة المتحملة بالنسبة للعاملين والجمهور واستعراض تقييم الجرعات والمخاطر من حيث الحدود التنظيمية وأهداف أونتاريو هايدرو في مجال الحماية من الإشعاعات. وكثيراً ما تكون المسارات الإشعاعية من المرفق إلى البشر معقدة بسبب تعدد المسارات المباشرة للتعرض للإشعاعات المحمولة جواً والمنقولة عن طريق المياه الجوفية. ولا تشمل هذه التقييمات المخاطر المرتبطة بإدارة دورة حياة المواد المشعة في المرفق ذاته فقط، وإنما تشمل أيضاً كل أنشطة " النظم " ذات الصلة، مثل جمع النفايات وعزلها وتعبئتها ونقلها من المرفق وإليه. وقد توفرت الآن بفضل الحاسبة الالكترونية عدة نماذج للمسارات، تمثل أحدث ما توصل إليه العلم، وقد أمكن الحصول عليها وتطويرها كذلك داخل الهيئة ذاتها من أجل محاكاة المسارات الإشعاعية.

وتتناول عمليات التقييم البيئي لهذه النظم الآثار المحتملة لبناء وتشغيل المرفق، بالإضافة إلى الأنشطة المرتبطة بذلك مثل النقل. وتستعرض الآثار على البيئة بالاستناد إلى معايير موضوعة على أساس المبادئ التوجيهية التنظيمية للحماية البيئية. وتعطي هذه المعايير عدداً كبيراً من المجالات مثل نوعية الهواء؛ ونوعية الماء؛ وحماية الأحياء المائية؛ وحماية النباتات والحيوانات البرية؛ وحماية المواقع الطبيعية و التاريخية؛ والقدرة على استخدام الأرض، والآثار على الموارد غير المتجددة؛ إلخ... ويجري أيضاً تقييم عدد من عوامل الآثار الاجتماعية في المجالين الديموغرافي والاقتصادي مثلاً، والآثار على البيئة الاجتماعية، والخدمات



الشكل ٣ : نهج النظم

العامة، والتخطيط المحلي والإقليمي، وبصفة عامة، كل الآثار التي تحدثها المرافق على المجتمع والجمهور.

(جـ) *التحليلات الاقتصادية* :تجرى تحليلات اقتصادية تفصيلية للبدائل بغية انتقاء أفضلها من الناحية المالية. وهذه البدائل يلزم وصفها من حيث :

(١) التدفقات المادية، أي الكميات والأنواع المطلوب تداولها كدالّة زمنية.

(٢) مدى تطور الجداول الزمنية لبناء وتشغيل وتراجع المرافق لمواكبة التدفقات المادية.

(٣) مدى تطور لوازم بدائل النقل.

(٤) التحقق من كل المواد المتبقية اللازمة لتشغيل أي بديل.

ومن الضروري أيضاً بلوغ درجة مثلى لكل بديل من حيث تخفيض التكلفة عن طريق تقليل القدرات العاطلة إلى أدنى حد ممكن، والتوزيع الزمني للمصروفات، والنهوض بمختلف أنشطة البناء والتشغيل والإغلاق إلى المستوى الأمثل بغية تحقيق الكفاءة الإقتصادية.

وتقيّم الخصائص المالية للبدائل في أونتاريو هايدرو على أساس أربعة معايير مالية رئيسية:

- الكفاءة الاقتصادية الداخلية؛
- القدرة على التحمل؛
- الأثر على المؤسسة؛
- عدم التيقن.

الكفاءة الاقتصادية الداخلية، وتقاس بالقيمة الصافية الحالية (Net Present Value) لكل بند بديل من المصروفات. وكلما انخفضت القيمة الصافية الحالية، كلما زادت مساهمتها في تحقيق الكفاءة الاقتصادية الداخلية.

القدرة على التحمل، وتقاس بالموارد المالية المطلوبة في الأجل القصير علاوة على الموارد المطلوبة في الأجل الطويل، وهي معيار هام وخاصة في أوقات القيود الاقتصادية. وكلما انخفضت الموارد المطلوبة في الأجل القصير، كلما ازدادت قدرة البديل على التحمل.

الأثر على المؤسسة، ويقاس بالمتطلبات من الدخل (أي الأثر على معدلات القوة الإجمالية)، وبمتطلبات الميزانية الأصلية من أجل استحداث مبادرات جديدة، وبالتغيرات المطلوبة للبيانات المالية للمؤسسة، والآثار على الأهداف المالية (نسبة الديون إلى رأس المال السهمي)، وعلى السياسات والاستراتيجيات.

عدم التيقن، ويؤخذ في الاعتبار عند تقييمه التباين في التقييم الاقتصادي الذي يعزى إلى عدد من العوامل الممكنة مثل الافتقار إلى تقديرات يمكن التعويل عليها، والتغيرات المحتملة في التكنولوجيا، واللوائح، إلخ ...

وخلاصة القول أن تحليل النظم يوفر، من ناحية، قاعدة بيانات شاملة تقيم فيها البيانات من منظورات تقنية، واقتصادية، ومن منظور السلامة البيئية والاجتماعية، كما يمثل، من ناحية أخرى، أداة قوية لصياغة القرارات تستخدم في اتخاذ القرارات الرئيسية المتعلقة بالإدارة.

اختيار الموقع

ويتمثل "مركز البرنامج" التالي في اختيار الموقع. وتزداد عملية اختيار موقع مرافق إدارة المواد المشعة تعقيداً باستمرار بسبب تزايد الرغبة في اشراك الجمهور والمجتمع في عمليات اتخاذ القرار.

وفي ١٩٧١، كان موقع بروس لتطوير القوى النووية (BNPD) اختياراً طبيعياً لموقع المشروع الخاص بالإدارة المركزية للنفايات بسبب قربه من محطات توليد بروس (التي كان يزمع إنشاؤها) وبذلك يمكن الاستفادة من الموارد المرتبطة بهذه المحطات مثل البنية الأساسية للإنشاء، وتجمع قوى عاملة مدربة وماهرة في تداول النفايات المشعة، وبرامج فيزيائيات الصحة، وبرامج رصد الإشعاعات البيئية. وتسهم هذه العوامل في تقليل تكلفة عمليات تصريف النفايات والنقل بالنسبة للنظام كله إلى أدنى حدّ ممكن. وتتوافر في الموقع خصائص أخرى ملائمة مثل توافر أراض لتنميتها في المستقبل، والبعد عن المراكز السكانية الكبرى، والبعد عن مصادر المياه التي يستخدمها عامة الناس أو التي يسهل الوصول إليها، وإنخفاض نشاط الهزات الأرضية، وامكانية الوصول العملي والمحكوم على مدار السنة، وجودة الموقع من حيث الجيولوجيا المائية.

وبالنسبة لبرامج تحديد المواقع الجديدة، كتلك التي قد تتطلبها إقامة مرافق جديدة، توجد قدرات لتطوير منهجية اختيار الموقع، والتقييم البيئي، وتعيين الخصائص الجيولوجية المائية وعمل دراسات محددة في مجال سلامة الموقع وإصدار التراخيص.

(أ) *منهجية اختيار الموقع.* لعل اختيار الموقع هو أصعب عناصر تخطيط مرفق ما وأكثرها إثارة للخلاف بسبب موقف الجمهور السلبي من استضافته في مجتمعه (ظاهرة ترديد "ليس في ساحتي"). ونظراً لما يثيره اختيار الموقع من جدال، سيكون من الضروري، عند نقطة معينة مناسبة، كشف عملية اختيار الموقع أمام الناس وإعادة النظر فيها وفقاً للوائح. ولذلك يجب أن تجرى العملية المتبعة بعد تفكير وإمعان، وأن تكون منطقية، ومرنة بدرجة كافية حتى تحتوي على البيانات الجديدة وتزيل دواعي القلق، ويمكن الدفاع عنها بسهولة في مواجهة أسئلة الجمهور على أي مستوى من التفاصيل. ومن الناحية التقنية، يجب أن تبحث العملية المستخدمة في اختيار موقع مرفق ما نظام إدارة النفايات من كل جوانبه، بما في ذلك عمليات النقل والتجهيز والإعداد والتخزين والإشراف، والضمانات، ورصد السلامة وأجل تشغيل المرفق وإغلاقه. كما ينبغي أن يؤكد في هذه العملية على كافة أهداف التقليل من تكاليف البرنامج إلى أدنى حد ممكن،

وكذلك من المخاطر الصحية التي يمكن أن يتعرض لها الناس، مع رفع مستوى حماية البيئة إلى أقصى حدّ.

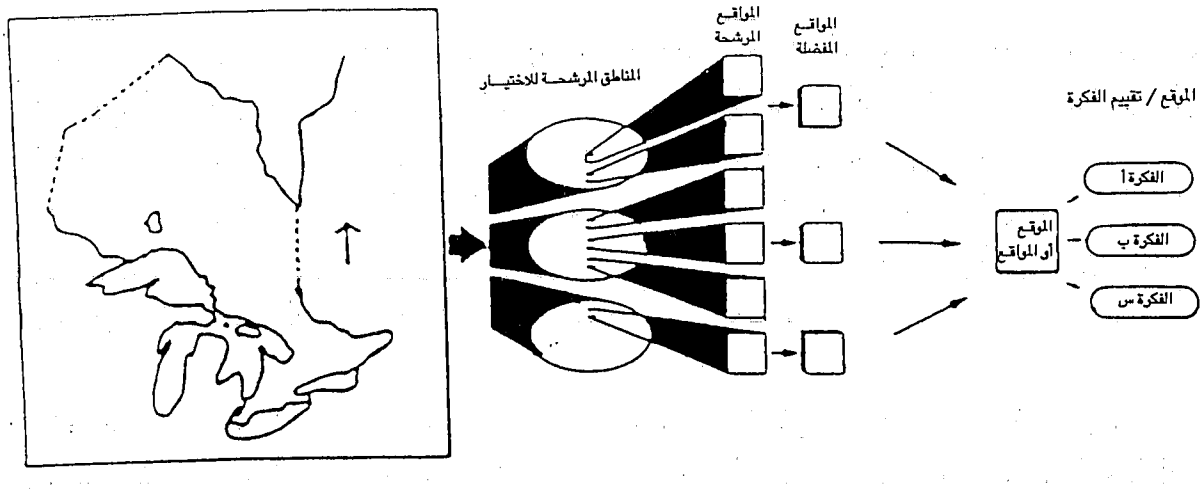
وبشكل عام، يتبع منهج اختيار الموقع، الذي نجم عن تحديد موقع محطة توليد القوى وخط التوصيل، إجراء يستند إلى فرز دراسات المناطق وتقييمها باستخدام مجموعة من المعايير التقنية – الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. وتستخدم معايير وبيانات أكثر تفصيلاً في كل المراحل المتعاقبة لعملية الفرز.

وهذه العملية (الشكل ٤) تشمل :

(١) تعيين " إقليم مرشح ".
(٢) تعيين " مناطق مرشحة " داخل ذلك الإقليم.
(٣) تعيين مواقع مرشحة داخل المناطق المرشحة.
(٤) تقييم المواقع المرشحة من أجل تعيين الموقع أو المواقع المفضلة.
(٥) تقييم الموقع أو المواقع المفضلة التي يمكنها استضافة بدائل نظرية للمرفق.

وفي المراحل الابتدائية للعملية، تتضمن المعايير مسائل أوسع مثل النقل، والجيولوجيا المائية، والاستبعاد من المناطق المبنية والأراضي المخصصة (المناطق المخصصة للهنود، والحدائق العامة، إلخ ....) ومع تقدم عملية الفرز، تحشد معايير أكثر تفصيلاً في المجالات التقنية والاقتصادية، والاجتماعية – المجتمعية، والبيئة الطبيعية، واستخدام الأرض والنقل.

(ب) *التقييم البيئي*.يقتضي قانون التقييم البيئي لمقاطعة أونتاريو (ويشار إليه باسم قانون E A– Environment Assesment Act of Ontario) من مقدمي المشاريع المقترحة عرض تقييم بيئي على وزير البيئة. وتخضع أونتاريو هايدرو لهذا القانون عند اختيارها مواقع لمرافق جديدة.



الشكل ٤ – منهج اختيار الموقع

والأهداف من عملية التقييم البيئي (٣) هي :

(١) تحديد وتقييم كل الآثار البيئية الهامة المحتملة للمشاريع المقترحة في المرحلة التي تكون فيها الحلول البديلة متاحة لصانعي القرار، بما في ذلك التدابير التصحيحية وبديل عدم المضي في المشروع؛

(٢) ضمان أن يولي مقترحو المشروع والحكومات والهيئات التي تشترط موافقتها على المشروع كامل الاعتبار لوسائل تفادي أو تخفيف أي آثار تضر البيئة قبل الموافقة على البدء في المشروع.

ويفرض القانون فضلاً عن ذلك شروطاً أخرى من أهمهاإشراك الهيئات العامة. وتشترط الأحكام الأساسية للقانون مايلي :

- تقديم بلاغ علني واف عن الأحداث الرئيسية في العملية قبل وقوع هذه الأحداث؛

- إمكانية الوصول إلى المعلومات بالاحتفاظ بملف تسجيل علني يحتوي كل المعلومات ذات الصلة التي تتعلق بالمشروع واستعراض الحكومة له؛

- ترتيب جلسات استماع رسمية يمكن أن يطلبها أي فرد من الجمهور.

وتشجع وزارة البيئة أيضاً مقترحي المشروع، قبل عرض التقييم البيئي، ورغم أن القانون لا يطلب ذلك، على المشاركة في " استعراض تشاوري قبل عرض التقرير " حيث تقوم الوزارة والهيئات الحكومية المعنية وكذلك الجمهور بالمساعدة في فهم جوانب التقييم البيئي، من حيث تحديد مجالات الاهتمام والشواغل، وكذلك البدائل المخففة للآثار، وإن أمكن، المشاركة بصورة مباشرة في اتخاذ قرارات المشروع (مثل تحديد الموقع واختيار البدائل، إلخ ...). وتؤكد التجربة أن أفضل توقيت لحلّ أكبر المشاكل أو الخلافات الرئيسية هو أثناء التشاور الذي يسبق تقديم التقييم البيئي. وقد يؤدّي هذا إلى تفادي تنظيم جلسات الاستماع أو التخفيف من توتر جو المواجهة الذي تعرف به جلسات الاستماع.

(جـ) *الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية*. تمر عملية اختيار الموقع عبر سلسلة من مراحل البحوث الجيولوجية والجيولوجية المائية التي تستبعد واحداً بعد الآخر المواقع الأقل ملاءمة وتركز على المواقع الأنسب. ومع تقدم تلك البحوث عبر كل مرحلة تتطور الأنشطة من جمع بيانات أولية ووصفية إلى أنشطة جمع بيانات أكبر كماً وأكثر تحديداً. وأثناء المرحلة النهائية التي يتأكد فيها الموقع، تصبح أنشطة البحوث الهيدرولوجية المائية للموقع تفصيلية للغاية. وتستخدم نتائجها بعد ذلك في تطوير المواصفات الهندسية والتقديرات التفصيلية للتكاليف من أجل التصميم النهائي للمرفق.

ولا ينتهي تأكيد المرفق ببحوث ميدانية، وإنما تستمر طوال فترة إنشاء المرفق وتشغيله، وإيقافه عن العمل، وإحكام إغلاقه ومراقبته. فتجري مثلاً أثناء أعمال حفر أساسات المرفق مشاهدات للتربة أو الصخور لتحديد دقة البحوث السابقة المتعلقة بالموقع، وبناء على ذلك يمكن إجراء تغييرات في التصميم. وفي بعض الحالات، قد يكون من المفيد إجراء البحوث في موقع العمل عند كشف التربة أو الصخور أثناء حفر

الأساسات. وبعد إغلاق المرفق، تجيء فترة رصد لتقييم أداء المرفق وللتأكد نهائياً من سلامة اختيار الموقع وصحة تصميم المرفق.

وعند الفرز الجيولوجي للمواقع، توضع معايير في مجالات خصائص المياه الجوفية والسطحية، والخواص الجيولوجية الكيميائية، والجيولوجية الميكانيكية، وتشكّل الصخور، إلخ... وتصبح المعايير الجيولوجية هامة بشكل خاص للمرافق التي تعتمد على حواجز جيولوجية كدعامة أساسية للسلامة.

وتحتوي مقاطعة أونتاريو على مجموعات من صخور القاعدة العلوية من العصرين القديم (Paleozoic) وما قبل الكمبري (Pre Cambrian)، وتشمل سهولاً من الطفل والركام الجليديين التي تتكون من أنواع متماسكة من التربة. وعلى مرّ السنين، أمكن الحصول على قاعدة بيانات تفصيلية وعلى خبرة جماعية بدعم من قسم علوم الأرض في جامعة واترلو.

وقد أجرت أونتاريو هايدرو بحوثاً في طائفة من تقنيات بحث الموقع في السنوات العديدة الماضية، لا لدعم موقع عمليات النفايات في موقع بروس لتطوير القوى النووية (BNPD) وحسب، ولكن عموماً من أجل دعم مختلف أنشطة توليد القوى ونقلها التي تجرى بالمرفق. وتشمل هذه التقنيات (أ) تقنيات أخذ عينات من التربة لتحديد طبقات الأرض؛ (ب) عمليات قياس لمنسوب المياه ولمستوى التوصيل بواسطة مقاييس ضغط الماء الجاري؛ (جـ) تحليل عينات المياه الجوفية للأيونات الرئيسية، وشوائب العناصر وللنظائر الموجودة طبيعياً بغية تحديد عمر المياه الجوفية وأصلها؛ (د) اختبارات هيدرولوجية إقليمية باستخدام تقنيات ضخ الآبار؛ (هـ) اختبارات استشفافية لتقدير قيم الموقع من حيث قيم انتشار النويدات المشعة ومعامل توزيعها (Kd) في التربة، (و) عمليات قياس مجموعات مختبرية لمعاملات التوزيع لاستكمال الدراسات الاستشفافية. (ز) دراسات مختبرية لإيجاد القالب الكمي للعمليات الهيدروجيولوجية الكيميائية التي تؤثر على هجرة النويدات المشعة في الأوساط الجيولوجية. ولا تزال هذه التجربة تدعم بحوث الموقع الجارية في محطة بروس لإدارة النفايات وتساعد على الحصول على قاعدة بيانات شاملة بشأن جيولوجيا مقاطعة أونتاريو.

(د) *نماذج سلامة خاصة للموقع*

تعدّ نماذج تقييم الأداء، التي تستخدم فيها بيانات جيولوجية وهيدرولوجية محددة للموقع، عنصراً هاماً في تقييم المواقع والمرافق، وخاصة تلك التي تتضمن تخزيناً وتصريفاً جيولوجيين. وكثيراً ما تستخدم نماذج الحاسبة الالكترونية التي تقوم علي تقنيات العناصر المحددة في تقييم أداء الفكرة العامة للمشروع. وتسمح هذه النماذج الرياضية بتقييم الأهمية النسبية لمختلف البارامترات الهيدروجيولوجية والهندسية الخاصة بالموقع والتي تؤثر في انطلاق وهجرة النويدات المشعة من النفايات.

كثيراً ما يلقى مسار المياه الجوفية اهتماماً كبيراً أثناء دراسات إعداد نماذج تقييم الأداء. ويتميز تجمع النويدات المشعة في المياه وانطلاقها فيما بعد إلى بيئة المياه الجوفية باحتمال حدوث كبير بالمقارنة بسيناريوهات الانطلاق الأخرى. وللتنبؤ بهجرة النويدات المشعة خلال الطبقات دون السطحية، يجب استخدام نماذج رياضية خاصة بالموقع تحاكي انتقال الحرارة أفقياً، وعملية التشتيت والعملية الجيولوجية

الكيميائية التي تؤثر في النويدات المشعة. وبغية استخدام هذه النماذج، تستخدم توزيعات سرعة المياه الجوفية والبيانات التي تصف الخصائص المتعلقة بقدرة التشتيت والامتصاص للمواد الجيولوجية التي يحصل عليها من التوصيف المائي الجيولوجي كمدخلات في النماذج.

هندسة المرافق

تستخدم هندسة المرافق المعلومات المتولدة عن تحليل النظم ودراسات اختيارالموقع لتوليد بدائل لتصميم المرافق والعمليات. ويمكن عند الاقتضاء اللجوء إلى الدعم الصناعي والمساعدة الاستشارية من شركات كبيرة في القطاع الخاص، مثل شركة لندن النووية (London Nuclear)، التي تملك تكنولوجيا إزالة التلوث المعروفة باسم CANDECON. وتتطلب دواعي التشغيل والبناء، وسلامة الجمهور والعاملين، والأهلية للترخيص، والالتزام بمبدأ التعرض (للإشعاعات) بأدنى حد يعقل تحقيقه مع مراعاة الظروف الاقتصادية والاجتماعية، والنواحي الاقتصادية، اتباع منهج التكرار أثناء عملية التصميم. ويجب أن تؤخذ في الاعتبار متطلبات المؤسسة من حيث التقييمات المالية، والجودة، وإعداد الميزانيات وتدبير الموارد. وبصورة عامة، فإن تصميم النظم كوحدات " نمطية " يمكن تكرارها حسب الحاجة يقلل من المستلزمات النقدية ذات الاستخدام الوحيد ويزيد من إمكانية تحمل أعبائها.

وعندما تكتمل دراسة البدائل وتتخذ قرارات بشأن الحصول على النظم، يبدأ تناول الهندسة المبدئية والتصميم التفصيلي للبديل الموصى به. وتشمل هذه العملية، إلى الدرجة التي يقتضيها الأمر، تحضير ما يلي :

(أ) مواصفات أداء المشروع التي تحتوي على مستلزمات النظام ومواصفات أداء المحطة؛

(ب) كتيبات تصميم السلامة التي تحدد إطار إجراء تصميم سلامة المرفق؛

(جـ) مستلزمات المشروع البيئية، وبيان معايير التصميم البيئية التي يجب اتباعها، استناداً إلى لوائح البيئة، وأي شروط أخرى تفرضها الوزارات الحكومية نتيجة لعملية التقييم البيئي، على أساس تحليلها للتقييم البيئي والشواغل التي يبديها الجمهور ويتم الإبلاغ عنها؛

(ء) مستلزمات المشروع من حيث الموثوقية وإمكانات الاستمرار؛

(هـ) مستلزمات التصميم ومواصفاته، وخطط هندسة الجودة؛

(و) التصميم التفصيلي.

دراستان إفراديتان لمنهج النظم

يمكن الآن وصف حالتين أجرت فيهما أونتاريو هايدرو دراستين متعمقتين باستخدام منهج النظم، وهما: (١) دراسة تحديد موقع تخزين الوقود المشعّع، و(٢) دراسة نظم إدارة المكونات المشعة.

تحديد موقع تخزين الوقود المشعّع

يجري حالياً تخزين الوقود المشعع الذي يتولد عن محطات توليد القوى النووية التابعة لأونتاريو هايدرو في أحواض مملوءة بالماء في المحطات. ويستخدم هذا الأسلوب من التخزين عالمياً بعد أن أثبت أنه أسلوب مأمون، واقتصادي، ويمكن التعويل عليه. وفيما بعد، سيجرى تصريف الوقود المشعع مباشرة، إمّا كنفاية أو بإعادة تجهيزه لاستعادة المادة الانشطارية المتبقية في الوقود. ولم يتخذ بعد في كندا قرار بشأن إعادة تجهيز الوقود المشعع. ويتمثل مفهوم التصريف، الذي تجرى دراسته في كندا حالياً، في إخماد نشاط الوقود المشعع أو نشاط النفاية قوية الإشعاع الناتجة عن إعادة التجهيز، وذلك في حاويات معمرّة توضع في تجويف محفور على عمق ١٠٠٠ متر تحت سطح الأرض في صخر جوفي ناري من العصر قبل الكمبري. وإلى أن يتم التصريف، سيستمر الوقود المشعع في التراكم وسيقتضي ذلك مرافق تخزين إضافية. ويمثل تخزين الوقود المشعع في أحواض مائية أسلوب إدارة ممتازاً لعقود عديدة قادمة.

وقد أجرت دراسة نظم تفصيلية (٥) تقييماً للبدائل المتاحة لأونتاريو هايدرو، في الفترة الانتقالية، لتحديد مواقع المرافق تخزين الوقود المشعع.

والبدائل الرئيسية لتحديد الموقع التي بحثت هي :

(أ) إطالة مدة تخزين الوقود المشعع في مواقع المحطات.

(ب) تخزين الوقود المشعع في موقع مركزي، مع وضع المرفق في :

(١) موقع مستقل،
(٢) موقع موجود بالفعل، مثل موقع بروس لتطوير القوى النووية (BNPD).
(٣) موقع التصريف.

واستعرضت الدراسة بتعمق مايلي :

(أ) التصميمات المرجعية للمرافق المطلوبة.

(ب) تدفقات المواد بين أماكن المنشأ (محطات التوليد)، وأحواض التخزين والوجهة النهائية (المستودع) : تطوير استراتيجية لنقل الوقود المشعع بين المرافق.

(جـ) جدوى تحديد مواقع المرافق وهندسة السيناريوهات المختلفة : تقييم أثر السيناريوهات على مرافق أونتاريو هايدرو القائمة من حيث إمكانية البناء والحدود فيما بينها والمرافق العاملة.

(ء) أثر السيناريوهات على سلامة الجمهور، والسلامة المهنية، وعلى جودة البيئة والمجتمعات.

(هـ) الفارق في التكاليف بين السيناريوهات المختلفة.

وأوصت الدراسة بأن تخطط أونتاريو هايدرو للاستمرار في تخزين الوقود المشعع في الموقع (أي في المحطات) إلى حين اتخاذ قرار بشأن ما إذا كان سيعاد تجهيز الوقود أم لا؛ وإذا ما تقرر عدم إعادة تجهيز الوقود المشعع، فإنه ينبغي الاستمرار في تخزينه في موقع المحطة إلى حين توفر مرفق للتصريف.

وتواصل دراسات النظم تقييم عدد من الطرق المؤدية إلى تقليل التكلفة وتقييم المزايا علي الأجل الطويل؛ وتشمل هذه الطرق تقنيات متنوعة للتخزين النمطي الجاف ونظماً متكاملة لتداول الوقود من التخزين إلى التصريف بمجرد الانتهاء من الترتيب لذلك. ومع ذلك، لم يتم التوصل إلى أي قرارات، سواء بشأن تغيير الاتجاه من التخزين بالموقع إلى النظم المركزية أو تغيير فكرة أحواض المياه إلى فكرة التخزين الجاف للوقود. وأقر مع ذلك بأن تكلفة إخماد نشاط الوقود المشعع ونفاية الوقود المشعع، والتعبئة وإقامة مرفق للتصريف ستكون مرتفعة، كما أن الدراسات الاقتصادية تفيد بأن التكاليف الإجمالية لإدارة الوقود المشعع، بما في ذلك إطالة مدة التخزين ومتطلبات النقل، ستستمر في الانخفاض إلى حد كبير، وذلك بتأجيل التصريف إلى عام ٢٠٥٠ علي الأقل. كما أقر أيضاً بأن التخزين المركزي الممتد يعادل في مزاياه التخزين المحلي في مواقع المحطات النووية المختلفة، كما أنه مفيد من حيث الوصول بتصميم المرفق المركزي إلى الحد الأمثل ومن حيث إزالة آثار التخزين المؤقت وتكلفة البناء عن كاهل المحطات.

نظم إدارة المكونات المشععة

ما الذي يمكن عمله في تركيبات قناة وقود مشعع طولها ٧ أمتار وتصل معدلات جرعتها إلى ١٥٠ سيفرت / ساعة (١٥٠٠٠ رونتجن/ساعة) بعد إخراجها من المفاعل؟ ذلك أن برنامج إحلال قناة وقود الوحدتين ١ و ٢ لمحطة بيكرينغ GS A أدى إلى توليد ٧٨٠ من هذه التركيبات بالإضافة إلى ٧٨٠ توصيلة نهاية وتركيبة مشععة بطول ٢ متر خلال الفترة من ١٩٨٥ إلى ١٩٨٧. وقبل البدء في برنامج الإحلال المذكور، قيمت مرافق أونتاريو هايدرو المكلفة بنقل وتخزين هذه المواد بأنها غير كافية بسبب ارتفاع النشاط الإشعاعي، والأبعاد المادية والحجم الإجمالي الكلي للتركيبات. وربما كان من الممكن استخدام أحواض الوقود المشعع الموجودة بالفعل في بيكرينغ لتخزين التركيبات، ولكن إلى جانب ما ينشأ عن ذلك من تعارض مع التشغيل اليومي المعتاد، فإن التخزين في تلك الأحواض لن يكون ممكناً قبل أوائل التسعينات عندما سيكون تخزين الوقود المشعع في حاجة إلى كل المساحة

المتبقية من الأحواض. كما أن التأخير في برنامج إحلال الأنابيب سيزيد من قصر الوقت المتاح للتخزين في الأحواض.

ولذلك ظهرت الحاجة إلى وسائل جديدة لنقل التركيبات ومناولتها وتجهيزها وتخزينها. وقد بحثت سيناريوهات عديدة مختلفة لإدارة المكونات المشعة مع مراعاة عوامل من بينها :

(أ) السلامة المهنية والسكانية؛

(ب) المواءمة مع ممارسات أونتاريو هايدرو الحالية؛

(جـ) المواءمة مع سياسات أونتاريو هايدرو في إدارة النفايات؛

(ء) أهداف تكلفة الفرد – ريم؛

(هـ) المواءمة مع برنامج الإحلال الشامل؛

(و) التكلفة؛

(ز) المرونة لمراعاة التغيرات المستقبلية في اللوائح المتعلقة بالتخزين؛

(ح) المشاكل الإنمائية؛

(ط) مزايا أخرى لا تتصل بالتكلفة مباشرة.

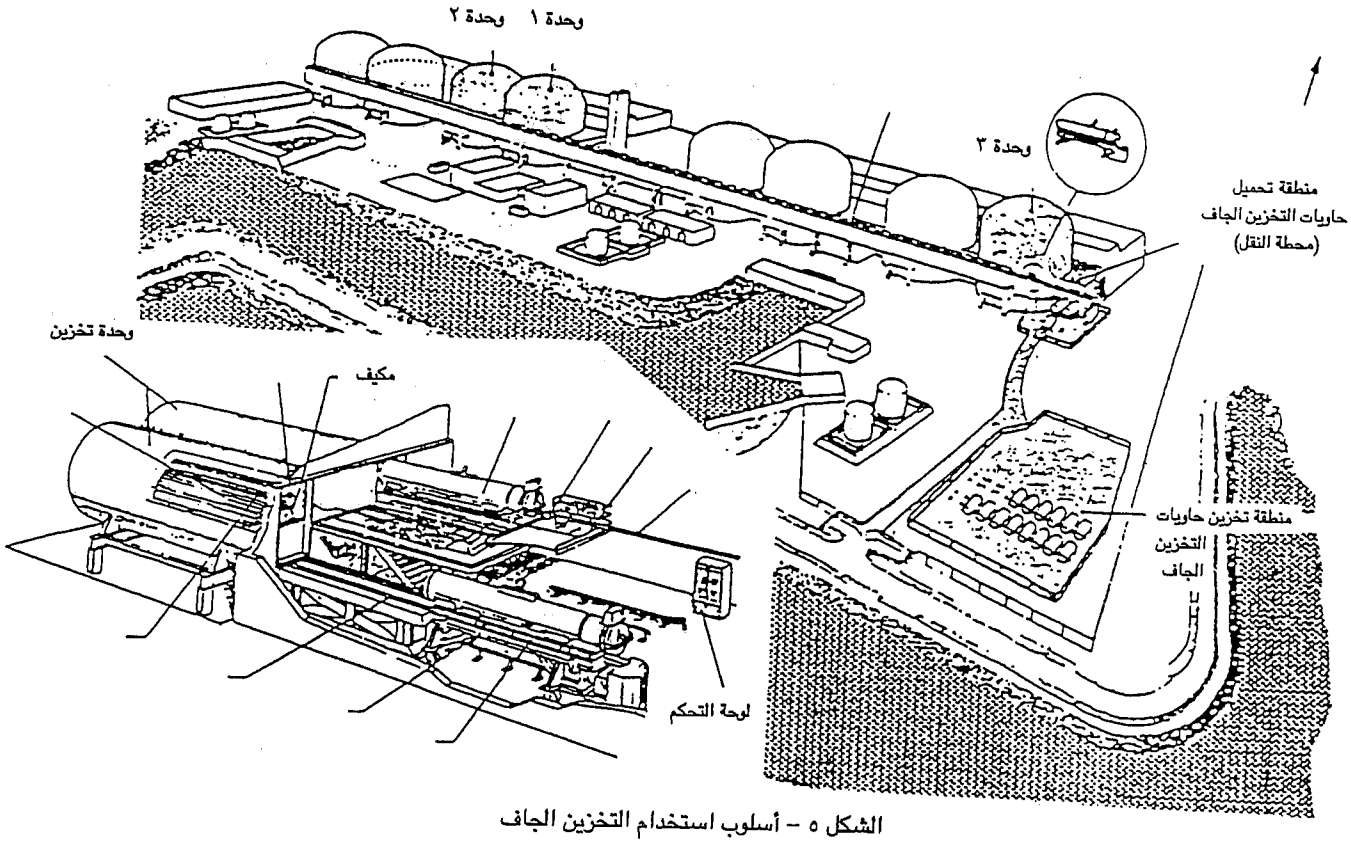
وقد اشتملت سيناريوهات الإدارة على سبعة بدائل بالموقع وخارج الموقع مع إنقاص الحجم وبدونه. وشملت طرائق التخزين أحواض مياه جديدة بالموقع، ومرفقاً أفقياً جديداً في شكل مستودع، ومرفقاً رأسياً للتخزين مشابهاً للنوع الذي يستخدم في تخزين راتنجات التبادل الأيونى في موقع بروس لتطوير القوى النووية (BNPD)، واستخدام الأحواض الموجودة بالفعل مثل أحواض الوقود المشعع وأحواض صيانة آلة التزويد بالوقود.

ووقع الاختيار أخيراً على مستودعات كبيرة مغطاة بطبقة خرسانية أطلق عليها اسم «وحدات التخزين الجاف» (DSM's) * بوصفها الطريقة المثلى للتخزين، مع استراتيجية تخزين مؤقت بالموقع. ويشمل هذا النظام (٦) صندوقاً اسطوانياً لقناة الوقود من أجل مناولة التركيبات من واجهة المفاعل إلى وحدات تحويل وتخزين جاف، تمثل كل منها حاوية سعتها ١٥٣ ميغاغرام ومغطاة بطبقة من الخرسانة والصلب، ويمكن تحويلها أو نقلها، ومصممة لمناولة المكونات المشعة من جانب إلى آخر عبر مراحل مختلفة (من التخزين إلى التصريف) من تصريف تلك المواد.

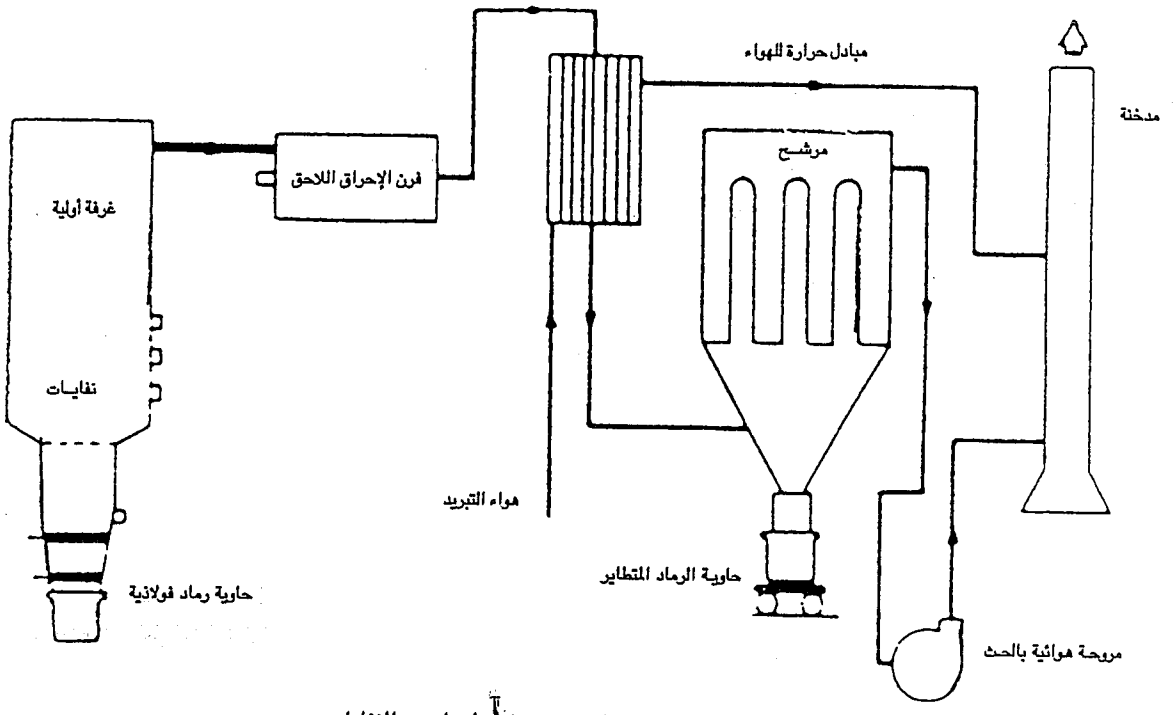
---

* Dry Storage Modules

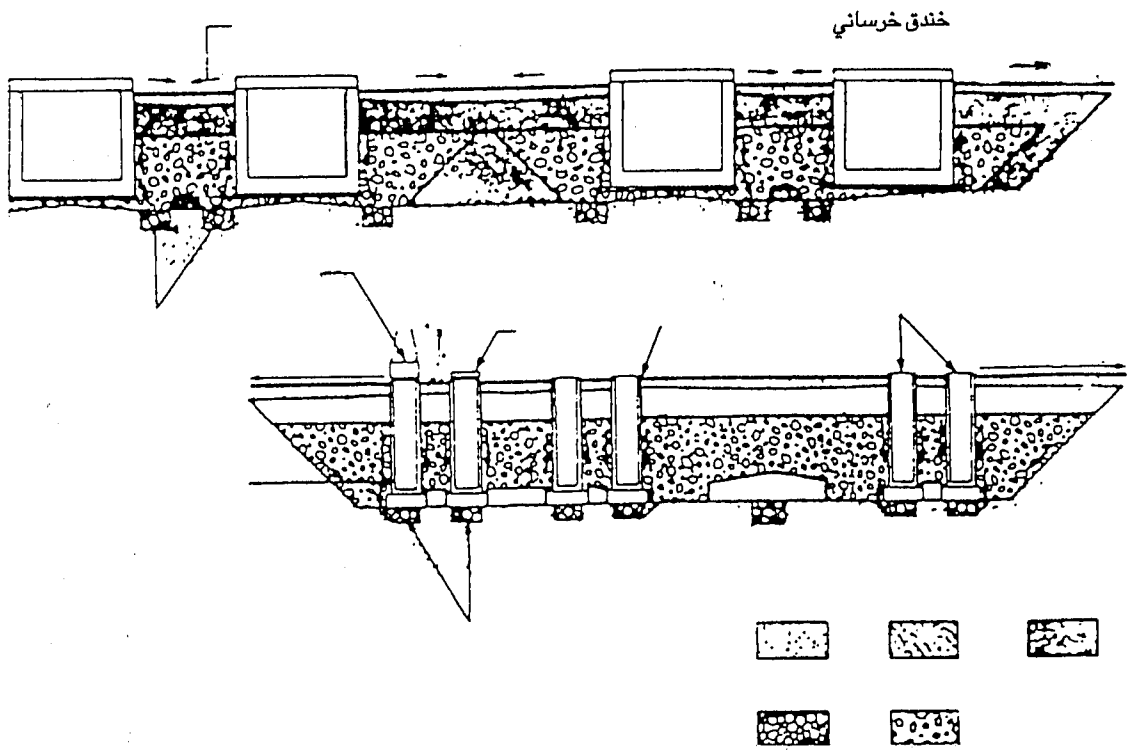
محطة بيكرينج للتوليد



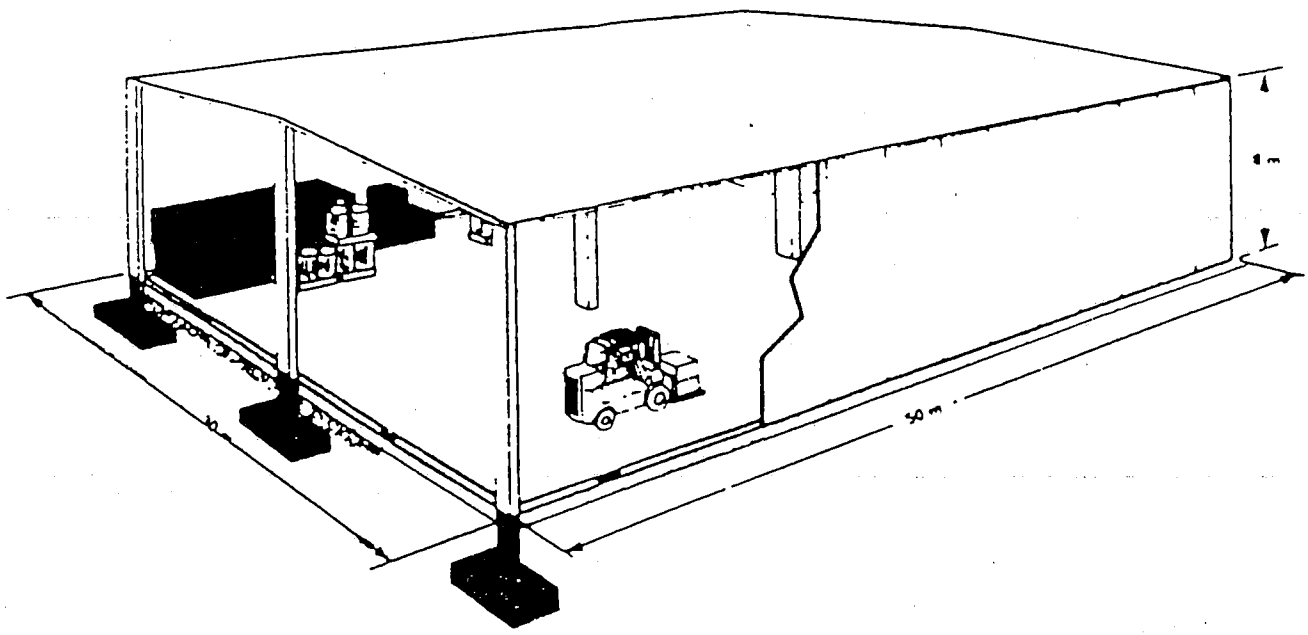
الشكل ٥ – أسلوب استخدام التخزين الجاف



الشكل ٦ – رسم تخطيطي لحرق النفايات



الشكل ٧ – الخنادق والآبار المبطنة بالقرامید



الشكل ٨ – مبني التخزين فى الدور السفلي

استعراض مسار القرارات في إدارة
النفايات المشعة في أونتاريو هايدرو

يمكن الآن تلخيص بعض القرارات الرئيسية وما تسفر عنه من مرافق في المسار الطويل لإدارة النفايات المشعة في أونتاريو هايدرو، وذلك على الأقل في مجالين رئيسيين لم يناقشا من قبل في هذا التقرير :

النفايـات الصلبـة

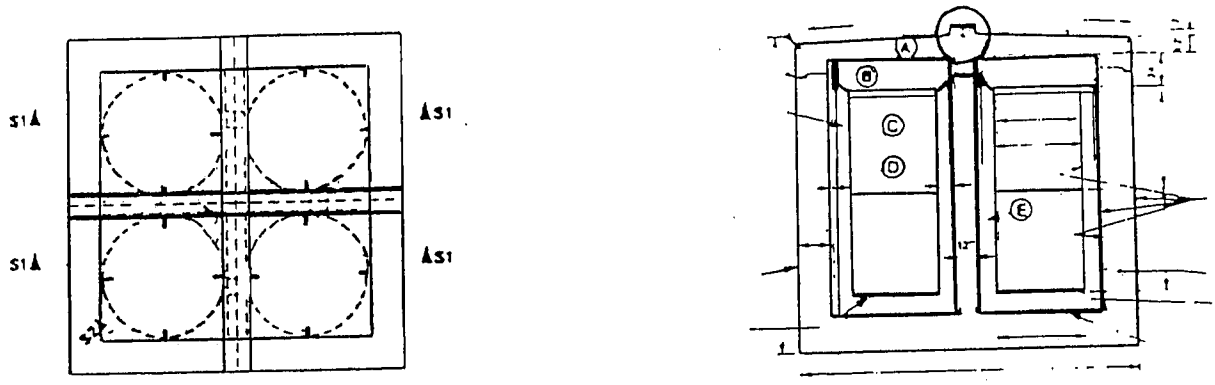
بالنسبة للنفايات الصلبة غير الوقود المشعع، وهي في الأغلب من نفايات الصيانة منخفضة الإشعاع، أكدت الدراسات أن هناك حاجة كبيرة إلى إنقاص حجمها إلى حد كبير؛ ومن ثم قدّر أن أكثر المرافق اقتصاداً هو المرفق المركزي للتجهيز والتخزين. وقد استحدث في عام ١٩٧٧ نموذج أولي لفرن إحراق من أجل تجهيز أكثر من نصف النفايات الإجمالية إلى جانب نظام لتدميج وحزم النفايات المتبقية القابلة للتدميج. وتنقل هذه النفايات، التي تصل حالياً إلى نحو ٥٠٠٠ متر مكعب سنوياً، بالطرق البرية إلى المرافق المركزية لإدارة النفايات، باستخدام رزم أونتاريو هايدرو من طراز LSA ، النموذج ألف والنموذج باء، التي صنعت خصيصاً لكي توائم خصائص النفايات.

وقد كانت هذه المرافق الكائنة في موقع بروس فعالة من حيث إبقاء الكميات الكلّية لنفاياتنا عند مستويات يمكن معها تصريفها، وتخزن هذه النفايات في مرافق تخزين منشأة هندسياً تحت الأرض وفوق الأرض. وتجري في الوقت الحاضر أيضاً دراسات لزيادة ضغط هذه الأحجام بواسطة التدميج الشديد والإخراج من التصنيف، أي بواسطة نظم أفضل لفصل النفايات التي يمكن تصريفها بوصفها نفايات غير مشعة.

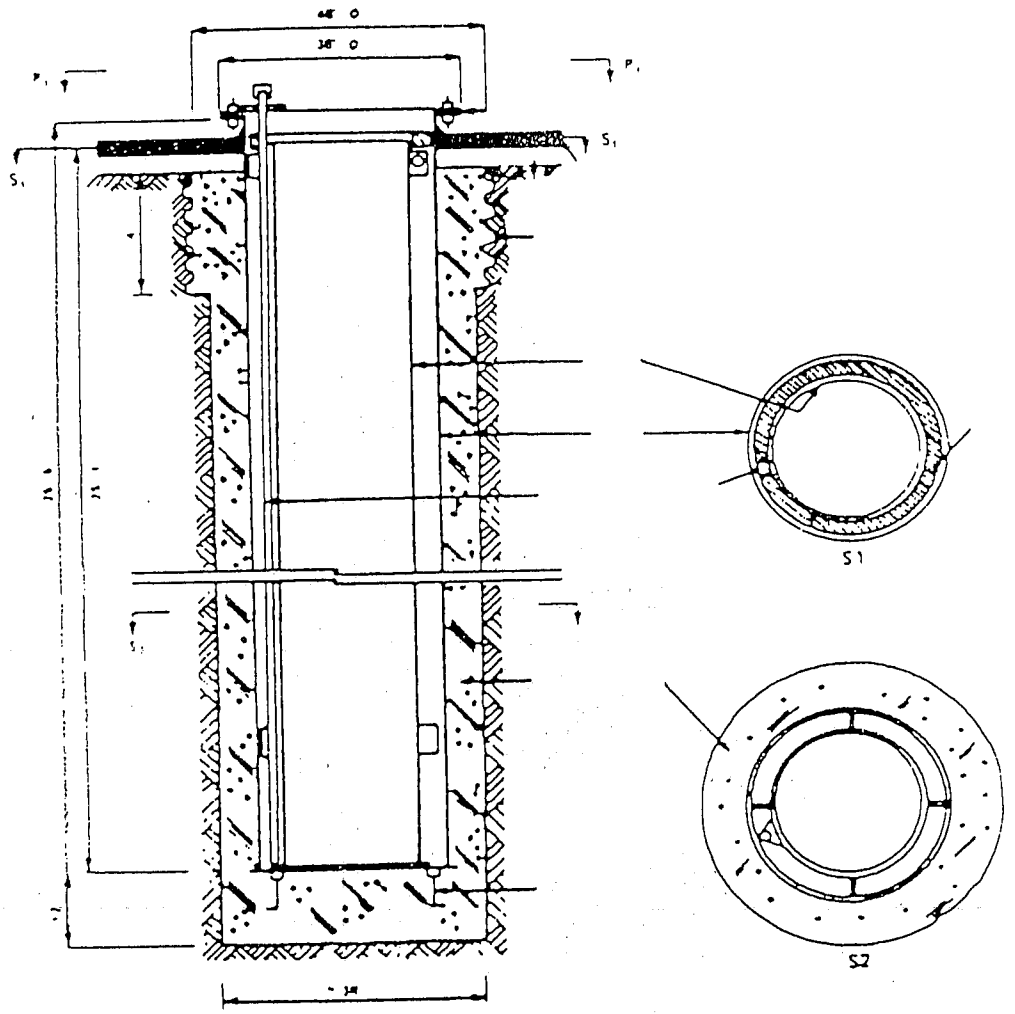
وتشير دراسات النظم حالياً إلى الحاجة إلى إعادة توجيه برنامج إدارة النفايات المشعة صوب التصريف في السنوات القادمة. والغرض من ذلك هو تحسين إدارة النفايات المشعة في مواجهة برنامج التوليد النووي الآخذ في النمو، وكذلك لمواجهة مسؤوليات الهيئة فيما يتعلق بتصريف النفايات المشعة على الأجل الطويل.

وربما كانت المرافق التي يجري تشغيلها حالياً هي " أبرز " المناطق للعيان في إدارة النفايات المشعة بأونتاريو هايدرو، وهي تعتبر سابقة لمشاريع تسليم المفتاح تمثل نقلاً للتكنولوجيا. وقد تطورت هذه النظم والمرافق من مجرد نهج نظم متبع إلى اتخاذ قرارات.

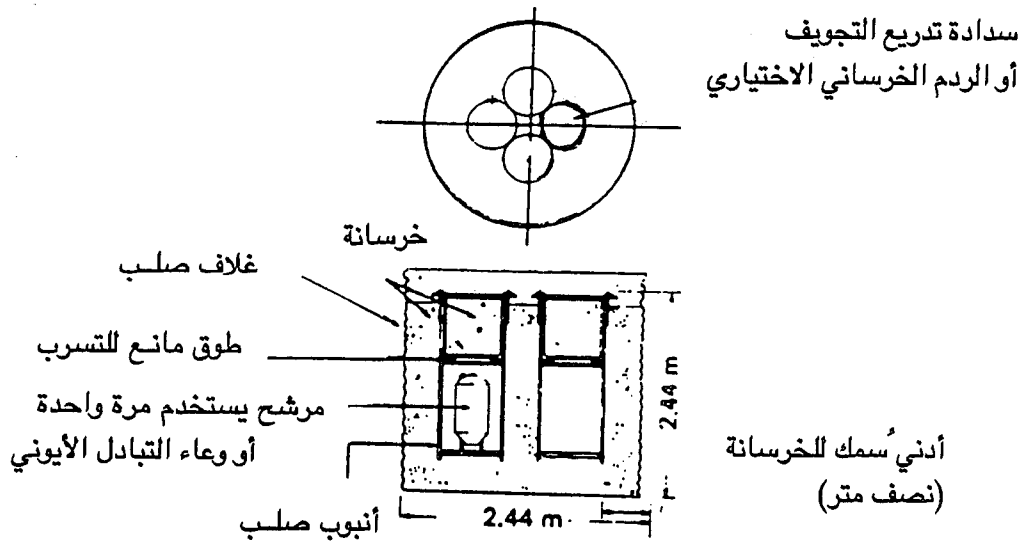
وتشمل المرافق الرئيسية : مرفقاً لضغط الحجم، يتكون من فرن إحراق كبير من نوع أفران الانحلال الحراري المفرغة من الهواء (الشكل ٦)، ومن مدمّج وآلة حزم بالات، ومرافق تحت الأرض في شكل خنادق خرسانية وفجوات مغطاة بالقرميد للنفايات قليلة ومتوسطة الإشعاع (الشكل ٧)؛ وتستخدم مباني التخزين (الشكل ٨) لتخزين النفايات منخفضة المستوى فوق الأرض؛ و"خلايا رباعية" لتخزين مكونات النفايات قوية الاشعاع، مثل



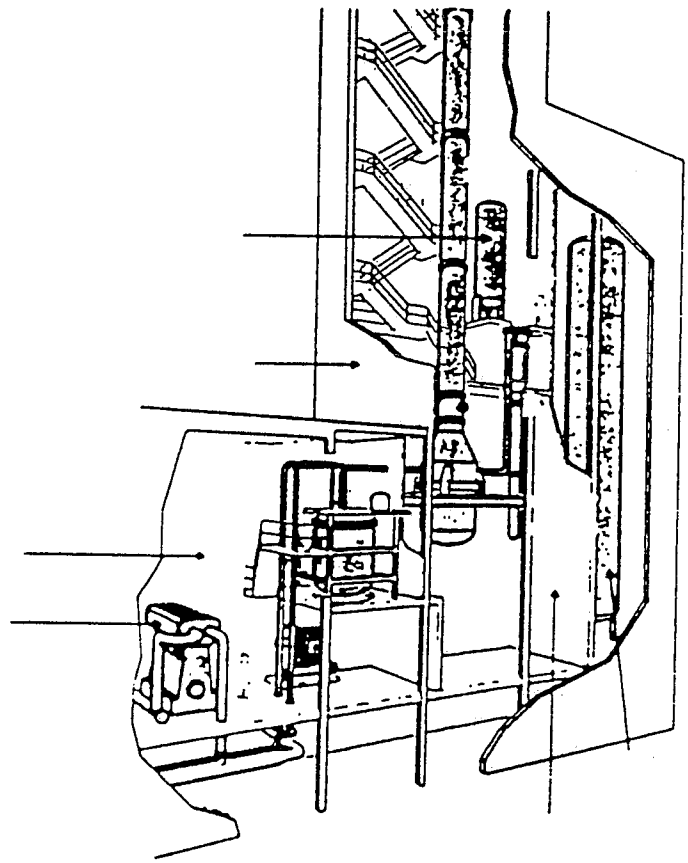
الشكل ٩ – الخليـة الرباعيـة



الشكل ١٠ – حاويـة التخزين في باطن الأرض



الشكل ١١ – كابت الإشعاع



الشكل ١٢ – مرفق إزالة التريتيوم

الراتينجات، فوق الأرض (الشكل٩)؛ ووحدات تخزين جاف (DSM's : Dry Storage Modules) يمكن تحويلها أو نقلها، وهي حاويات خرسانية لنفايات قلب المفاعل قوية الإشعاع التي تنتج عن إحلال الانابيب، وقد نوقشت من قبل في الدراسة الافرادية، ورزم نقل مصنوعة حسب الطلب بالموقع وخارج الموقع، بما يتفق مع لوائح النقل الوطنية ومع لوائح الوكالة الدولية للطاقة الذرية عند تطبيقها.

وقد تطورت فلسفة تصميم هذه المرافق على مدى خمسة عشر عاماً (٧)، وذلك إلى حد كبير نتيجة للاستعراضات التي تستند إلى نهج نظم في كل مرحلة من اجتياز مرافق جديدة وللتغذية الارتجاعية لهذه العملية عبر السنين.

وقد جرى تشغيل عدة مرافق تخزين وتجهيز جديدة في الماضي القريب، من بينها : "١" حاويات التخزين تحت الأرض، التي توفر سعة تخزينية للنفايات متوسطة الإشعاع، ويجرى تطويرها لتقليل الحفر والتبطين بالخرسانة المطلوبين لإنشاء المرفق إلى أدنى حد ممكن، باستخدام تقنيات لثقب الحفر رأسياً (الشكل١٠)؛ "٢" قالب التخزين (Radblock)، وهو تصميم مرن آخر لتصريف النفايات المشعة متوسطة الإشعاع (الشكل١١) يجرى تطوير نموذجه الأولي؛ وقالب التخزين (Radblock) هو هيكل خرساني مسلح يمكن حمله وسابق الصبّ، توجد فيه أربعة أو خمسة تجاويف داخلية توضع فيها مكونات النفايات. وتكفل الخرسانة الوقاية من الإشعاعات كما توفر الاحتواء الهندسي للنفاية، بينما يستخدم النظام كله للتخزين والنقل والتصريف.

التريتيوم

وكانت إزالة التريتيوم من المجالات الأخرى التي تقرر فيها تفضيل نظام تصريف مركزي. والواقع أن كندا من كبار منتجي التريتيوم أيضاً(٨). وينتج هذا النظير للهيدروجين في مفاعلات أونتاريو هايدرو النووية بقذف الديوتيريوم في الماء الثقيل بالنيوترونات. والتريتيوم مادة مشعة ويتراكم تركيزه مع مرور الزمن في جهازي التهدئة والتبريد ويساهم في جرعة الإشعاعات التي يتعرض لها العاملون في المحطة.

وقد طورت تكنولوجيات لإزالة التريتيوم من جهازي المفاعل المذكورين، ولكن هذه المادة التي تزعج مشغلي المحطة هي أيضاً وقود اندماجي، وهي تتيح إمكانية التطوير التجاري. ولن تنتج مجموعه كاندو CANDU أبداً من التريتيوم ما يكفي لإمداد المفاعلات الاندماجية التجارية بالوقود؛ فهذه المفاعلات تقوم بانتاج وقودها ذاتياً ومع ذلك سيكون التريتيوم مطلوباً بكميات كبيرة للمفاعلات الاندماجية التجريبية المتقدمة وكذلك لبدء تشغيل المفاعلات الاندماجية التجارية عندما يتم بناؤها.

وقد برر تعقيد النظم (التبادل الوسيط/التقطير منخفض الحرارة) (الشكل ١٢) المطلوبة لإزالة التريتيوم اتخاذ قرار بإقامة مرفق مركزي لإزالة التريتيوم، ويجرى بناؤه فى الوقت الحاضر في محطة توليد دارلينغتون. وسيجرى تسويق التريتيوم الناتج من هذا المرفق فى شكل وقود من أجل بحوث الاندماج وغيرها من التطبيقات التجارية السلمية. وسيتم إنتاج التريتيوم كناتج ثانوي فى شكل صلب ملفوف كملح تريتيوم معدني في وحدات يمكن أن يصل حجمها إلى ٥٠٠ ٠٠٠ كوري.

الخلاصـــة

أحرزت أونتاريو هايدرو نجاحاً كبيراً أثناء تطويرها لنظم إدارة المواد المشعة على أساس استخدام "منهج النظم" في اتخاذ القرارت.

وتنفذ حالياً برامج بموارد كبيرة لكي تتغلب هذه المؤسسة على تحدّيات تطوير مرافق جديدة لمواجهة احتياجات برنامج لتوليد القوى النووية بقدرة ١٤٣٠٠ ميغاوات كهربائي.

وتكمن القوى الرئيسية لمنهج النظم في قدرته على توفير الدعم اللازم للقرار، وكثيراً ما يحدث هذا فى وجه مجموعة كبيرة من البدائل المختلفة.

وفي نظام واسع مثل نظام إدارة المواد المشعة في مرفق يستهدف توليد الطاقة النووية، يتطلب منهج النظم "١" استعراضاً مستمراً للخبرة المتراكمة؛ "٢" قاعدة لبيانات البحث الإنمائي للمساعدة على اتخاذ قرارات مستنيرة؛ "٣" وهذه النقطة هي الأهم : عملية متكررة من تحليل النظم واختيار الموقع، وهندسة المرافق، بحيث يمكن الخروج منها بقرارت مثلى، تتفق والبيئات التقنية والاجتماعية.

إقرار بالفضـــل

رغم أن المسؤولية الكلية عن تطوير نظم تصريف المواد المشعة تقع على عاتق إدارة تصريف المواد المشعة، فقد أسهمت إدارات عديدة في تطوير منهج النظم، مثل إدارة البحوث فى أونتاريو هايدرو، وإدارة الدراسات البيئية والتقييمات، وإدارة الهندسة الجيولوجية التقنية والهيدرولوجية، ومختلف إدارات العمليات والمشاريع والتصميم. وهذا إقرار بفضل هذه المساهمات.

المراجـــع

(1) Ontario Hydro 1984 Annual Report, copies available from Ontario Hydro Head Office, 700 University Avenue, Toronto M5G 1X6.

(2) J.M. Cipolla, "SCUFF: A Computer Code for Simulating and Costing Used Fuel Management Strategy", Paper Presented at the International Topical Meeting on High Level Nuclear Waste Disposal, Washington, USA - September 24 - 26, 1985.

(3) Guidelines for the Implementation of the Environmental Assessment Act in Ontario Hydro - Generation. Ontario Hydro Environmental Studies and Assessments Report No. 84113, June 1984.

(4) R.J. Heystee and P.K.M. Rao "Canadian Experiences in Characterizing Two Low-Level and Intermediate Level Radioactive Waste Management Sites", Ontario Hydro Design and Development Division Report No. 84132, April 1984. Presented at the IAEA Seminar on the Site Investigation Techniques and Assessment Methods for Underground Disposal of Radioactive Wastes, Sofia, Bulgaria, February 1984.

(5) "Management of Irradiated Fuel: Storage Siting Options", Ontario Hydro Design and Development Report No. 79418, December 1979.

(6) I.E. Wall and Z.S. Beallor "Management of Irradiated Components For The Pickering Units 1/2 Retube", Paper presented at the CNS/CNA Conference, Ottawa, June 1985.

(7) T.J. Carter and P.K.M. Rao "Fifteen Years of Radioactive Waste Management at Ontario Hydro", Paper Presented at Waste Management '85, Symposium on Waste Management at Tucson, Arizona, March 24-28, 1985. See Proceedings, Vol 2 pp 445-451.

(8) "Fusion Energy and Canada's Role", Canadian Fusion Fuels Technology Project (CFFTP) publication, copies available from Dr. T.S. Drolet, Canadian Fusion Fuels Technology Project, Ontario Hydro.

مبادىء أساسية بشأن تحديد جرعات الإشعاع والمراقبة ونظم الإنذار

بيتر فيشيتيل، دكتور في الفلسفة
وزارة الصحة وحماية البيئة ، فيينا

(النمسا)

نتيجة لتوصيات اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاعات (ICRP-Publ. No. 26/1977) والوكالة الدولية للطاقة الذرية (المعايير الأساسية للسلامة من أجل الحماية من الإشعاعات، طبعة ١٩٨٢)، وما حدث من تطور جديد فى هذا الميدان، غدا اجبارياً على كل الدول، في حالة تعاملها مع مصادر إشعاعات مؤينة، مثل أجهزة الأشعة السينية، والعناصر المشعة، والمواد الانشطارية، ومصانع المفاعلات النووية، ومنشآت تخزين النفايات النووية، ووحدات إعادة تجهيز الوقود، ومحطات معالجة النفاية، ومحطات التصريف النهائي للنفاية في جوف الأرض، ومسارعات الجسيمات، إلخ.، أن يكون لديها تشريع حازم لإصدار التراخيص في ميدان الحماية من الإشعاعات وأن تراقب، مستعينة بما يكفي من مؤسسات وعاملين وأساليب وأدوات، مايلي:

(أ) نوعية كل مصادر الإشعاع؛

(ب) مدى ومعدلات مجالات الإشعاع المعتمدة على أجهزة التشخيص والعلاج الطبية الخاصة بقياس جرعات الإشعاع التي يتلقاها المرضى والعاملون؛

(جـ) مدى ومعدلات جرعات مجالات الإشعاع، معتمدة على أجهزة الأشعة السينية وأشعة غاما غير الطبية الخاصة بقياس جرعات الإشعاع التي يتلقاها العاملون؛

(د) المختبرات التي تتعامل مع مواد مشعة؛

(هـ) مشاريع المحطات النووية قبل وأثناء الإنشاء، بما في ذلك عمليات الرقابة على كل جوانب السلامة بالموقع، وإنشاءات البناء، وكل النظم والوثائق المستعملة من أجل التشغيل المأمون، وجوانب الحماية البدنية وأشكال تخزين النفايات المشعة وتجهيزها وتصريفها النهائي، ومن أجل تفكيك المكونات المشعة لهذة المحطات الملوثة والمنشطة، وتخزينها وتصريفها النهائي؛ وأخيراً وليس آخراً، مستوى أداء العاملين؛

(و) الإجراءات المتعلقة بالإبلاغ المبكر وتدابير الحماية في حالة وقوع حوادث؛

(ز) معدل الجرعة الخارجية بما في ذلك المستوى الأساسي الطبيعي، والإشعاع النوعي للنويدات في الهواء، والمياه، والتربة، والأغذية، والمنتجات الزراعية، في المناطق المجاورة للمحطات النووية وفي شبكة رقابة موزعة على كل أنحاء الدولة؛

(ح) وظيفة كل نظم السلامة في المحطة ونظم الإنذار في المحطات والمناطق المجاورة لها؛

(ط) كل جوانب التشغيل المأمون بما في ذلك مستوى العاملين؛

(ى) مكافئات الجرعات ومكافئات الجرعة الفعالة المتخلفة نتيجة الإشعاعات الخارجية والتلوث الخارجي بالاستنشاق وبامتصاص المواد المشعة فيما يتعلق بما يلي :

"١" الأفراد اللازمين للتشغيل، والصيانة، والتدريب، وللعمل كمساعدين وفي حالات الطوارىء، والعاملين في المكاتب؛

"٢" أفراد الجمهور والمجموعات الحرجة من السكان؛

"٣" كافة سكان الدولة.

(ك) شروط النقل المأمون للمواد المشعة، وتدابير الحماية البدنية في حالة نقل مواد انشطارية وفي حالة نقل مكونات يمكن استخدامها في إنشاء وتطبيق تركيبات الانشطار الحرجة؛

(ل) أن كل المواد الانشطارية تخضع حقيقة وبصورة دائمة لمراقبة الضمانات التي تتولاها الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

وفي محاولة الحصول علي مزايا أكبر للدولة باستخدام الإشعاع المؤين، يجب أن يراعى أن المخاطر التي سيتعرض لها السكان ستزداد كذلك.

واستخدام الإشعاع المؤين يبدو مقبولاً إذا كانت المزايا التي ستعود منه على مجموعة معينة من السكان تفوق المخاطر (بالنسبة لهذه المجموعة أيضاً) وإذا لم تكن هناك وسائل أخرى ذات مخاطر أقل لتحقيق نفس الغرض. ولكن هذه الفلسفة ليست صحيحة إلا إلى حدّ معين لأن الناس لن يقبلوا مخاطر تتزايد باستمرار من أجل الحصول علي مزايا تتزايد باستمرار. وبالتالي يجب وضع حدود، لا للآثار غير العشوائية وحسب، وإنما أيضاً للآثار العشوائية أيضاً علي السكان أو على المجموعات الحرجة، مثل مجموعة الأشخاص المتعرضين مهنياً، فيما يتعلق بالآثار البدنية والوراثية.

ومن الضروري في هذا الصدد ألا يغيب عن البال أن مخاطر الإشعاع ليست بالمخاطر الوحيدة، وإنما يمكن أن تظهر أيضاً، بعد اتخاذ قرار بإنشاء محطات نووية ما، مخاطر مالية واقتصادية واجتماعية وثقافية، وأنواع شتى من التبعية. ولذلك ينبغي بحث مايلي :

(أ) ما إذا كانت المزايا أكبر حقيقة من كل هذه المخاطر؛

(ب) وما إذا كانت المخاطر أكبر مما يجب.

وفيما يتعلق بمخاطر الإشعاع وبمراقبة الجرعات الإشعاعية، يجب تحديد مجموع * مايلي :

(أ) مكافئات الجرعات أو جرعات الجسم كله أو المكافئات الفعلية للجرعات المتلقاة من الإشعاعات الخارجية؛

(ب) الجرعات المرتبطة بفعل نشاط دخول المواد المشعة عن طريق الجهاز الهضمي (دخول من خلال الفم)؛

(جـ) الجرعات المرتبطة بفعل نشاط دخول المواد المشعة عن طريق الجهاز التنفسي (دخول بالاستنشاق).

ويحدث الارتباط بين المقادير المقبولة للجرعات التي يتلقاها أفراد الجمهور، بدخولها عن طريق الفم والاستنشاق والإشعاع الخارجي، بما في ذلك تأثير الإشعاعات في أعقاب الحوادث النووية، وفقاً للمعادلة التالية :

$$\frac{\sum H_{wb\ dose\ equiv.}}{0.5\ millisievert} + \sum_{i} \frac{A_{i,\ oral}}{1/100\ ALI_{i,oral}} + \sum_{n} \frac{A_{n,\ inhal}}{1/100\ ALI_{n,inhal}} \leq 1$$

حيث $\sum H_{wb}$ مكافىء الجرعة = مجموع كل مكافئات الجرعات التي يتلقاها الجسم كله خلال عام واحد بأجزاء من المللي سيفرت

$\sum_{i}$ = مجموع حصيلة النظائر المشعة السامة المختلفة الداخلة بالامتصاص

A_i عن طريق الفم = مجموع مدخلات النشاط خلال عام واحد بالامتصاص فيما يخص النظير المشع المأخوذ بالفم
الوحدة : بيكريل

---

* بعد حادث تشرنوبيل، بدا أنه لم يعد من السليم وضع حدود بالنسبة للبند (ب) وحده.

ALI_i عن طريق الفم = حدود النشاط السنوي على الدخول بالامتصاص فيما يتعلق بالنظير المشع المأخوذ بالفم لدى العاملين المهنيين
الوحدة : بيكريل

$\sum_n$ = مجموع حاصلات النظائر المشعة السامة الداخلة بالاستنشاق

A_n استنشاق = مجموع مدخلات النشاط خلال عام واحد بالاستنشاق فيما يتعلق بالنظير المشع المأخوذ بالاستنشاق
الوحدة : بيكريل

ALI_n استنشاق = حدود النشاط السنوي على الدخول بالاستنشاق فيما يخص النظير المشع المأخوذ بالاستنشاق بواسطة العاملين المهنيين
الوحدة : بيكريل

وفيما يتعلق بدخول النويدات المشعة عن طريق الفم واستنشاق النويدات، يجب مراعاة الاختلافات من حيث حجم العضو وخصائص التمثيل الغذائي لدى الرضع والأطفال.

ويجب النظر إلى التأثير علي الجلد وعن طريق الجلد بشكل مستقل عن المعادلة المذكورة أعلاه.

وفيما يتعلق بالعمال المهنيين، ينبغي النظر في جعل قيم حدود الجرعات السنوية التي يتلقونها أقل من قيم الحدود الموصى بها حالياً (نحو خمس أو ثلاثة أخماس القيم الحالية).

وفي عام ١٩٧٨، قررت النمسا عدم إنتاج الكهرباء بواسطة مفاعلات قوى نووية؛ ومع ذلك يجرى تشغيل ثلاثة مفاعلات لأغراض البحوث.

ويوجد لدى النمسا نظام رصد حديث لقياس معدلات جرعات الإشعاعات الخارجية بشكل دائم.

ويقوم نظام اتصالات سلكية ولاسلكية بتوصيل هذه البيانات إلى وحدات مركزية تسجل فيها المعلومات.

وتقوم معاهد كثيرة تابعة للجامعات، ومستشفيات، وصناعات، باستخدام مواد مشعة، وأجهزة الأشعة السينية وأشعة غاما، ومسارعات، في المجالين الطبي وغير الطبي.

ولدى النمسا خبرة واسعة في التطبيقات الطبية والتقنية للإشعاعات المؤينة، ويسعدها أن تقدم هذه المعرفة إلى دول أخرى بناء على طلبها.

الحماية من الإشعاعات في السويد : المبادىء والتطبيق

يان أولوف سنيس
المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات، استوكهولم

(السويد)

قانون الحماية من الإشعاعات

صدر القانون الحالي الخاص بالحماية من الإشعاعات في عام ١٩٥٨، وبذلك حلّ محل القانون الذي كان نافذاً منذ عام ١٩٤١. وهو ينظم قواعد الحيازة والعمل في مجال المواد المشعة وأجهزة الأشعة السينية أو غيرها من النبائط التقنية المصممة من أجل إرسال إشعاع مؤين، والعمل في المنشآت النووية والاتجار في المواد المشعة ونقلها. كما يمكن لأحكام هذا القانون أن تنطبق كلياً أو جزئياً علي الإشعاع غير المؤين.

والمقصود بالقانون السويدي الحالي الخاص بالحماية من الإشعاعات، أساساً هو حماية العاملين. ويتوقع أن يقرر البرلمان في عام ١٩٨٧ بشأن قانون جديد للحماية من الإشعاعات، يغطى بمزيد من الوضوح كل مجالات الحماية من الإشعاعات، مثل حماية المرضى وحماية البيئة.

تعيين الأطراف المسؤولـة

المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات في استوكهولم (NIRP) هو الهيئة التي عينتها الحكومة لتكون مسؤولة عن الحماية من الإشعاعات. وهذا المعهد يتولي إصدار التراخيص، ووضع القواعد التنظيمية، وإجراء التفتيشات، وقياس درجات التعرض المهني وعمل القياسات البيئية. ومن ثم فإن له دوراً مزدوجاً من حيث أنه يصدر الشروط والقواعد ويشرف على الالتزام بها. ومع ذلك فإنه يركز بصورة رئيسية على الرقابة الذاتية، أي أنه يتعين على كل جهة تحصل علي ترخيص، وفقاً لحجم منشأتها وحسب الظروف، أن تنظم وتتولى إشرافاً ذاتياً مناسباً، عن طريق التعلم والقياس ..إلخ، إلى جانب نظام لإبلاغ الهيئة المسؤولة عن الحماية من الإشعاعات بالنتائج، وبالانحرافات الهامة عن الأوضاع القياسية، وبالأحداث والحوادث التي تقع. أما الهيئة فهي تصدر قواعد عامة،

وتجرى اختبارات على أساس العينات، وتفحص التقارير وتقوم بعمليات تفتيش غير منتظمة. ويقتضي هذا التوزيع للأدوار ثقة متبادلة، وقد طبق بنجاح كبير جداً في السويد.

وتتولى معالجة أمور الحماية من الإشعاعات هيئة واحدة، هي المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات، وان كان هذا المعهد يتعاون مع هيئات أخرى مثل هيئة التفتيش على القوى النووية السويدية، والمجلس الوطني للصحة والشؤون الاجتماعية، والمجلس الوطني لحماية البيئة، والمجلس الوطني للسلامة والصحة المهنيتين، إلخ..، وذلك في مجال الاهتمامات المتبادلة. ويوجد في مجلس المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات ممثلون لهذه الهيئات، ولمنظمات أصحاب العمل، فضلاً عن سياسيين نشطين، وذلك لضمان قاعدة اجتماعية راسخة للقرارات التي تتخذ بشأن السياسات والأمور الهامة.

مبادىء الحماية من الإشعاعات

تقوم مبادىء الحماية من الإشعاعات في السويد علي أساس التوصيات الرئيسية للجنة الدولية للحماية من الإشعاعات (ICRP) وهي :

– التبرير – لايعتمد أي تطبيق عملي ما لم يسفر إدخاله عن ميزة ايجابية صافية؛

– بلوغ الحد الأمثل – الحرص على أن تظل كل حالات التعرض عند أدنى حد يعقل تحقيقه، مع أخذ العوامل الاقتصادية والاجتماعية في الحسبان.

– حدود الجرعة – لا يتجاوز مكافىء الجرعة التي يتلقاها الأفراد الحدود التي أوصت بها اللجنة بالنسبة للظروف المناسبة.

ولا يمكن تقييم الفائدة الإجمالية إلا من منظور اجتماعي واسع. وفي حالات معينة، تكون هذه التقييمات ذات طابع سياسي أساساً، ويجب إجراؤها على مستوى أعلى من الهيئة المسؤولة عن الحماية من الإشعاعات. وهذا ما يحدث فى حالة القوى النووية مثلاً. وفي حالات أخرى، يكون من الضروري استشارة هيئة حكومية أو جهة أخرى ذات خبرة ولها اختصاص في هذا المجال من الاهتمام. وعند تقييم تبرير التعرض الصحي، تضطلع السلطة الطبية أو الطبيب المعالج للأفراد بهذه المسؤولية. وفي حالة مشاريع البحوث، يكون من الضروري استشارة المجلس العلمي الذى قدم المنح لإجراء تلك البحوث.

وينبغي أن يشمل إجراء التبرير كل الجوانب السلبية والإيجابية لعملية يزمع تنفيذها. وهذا يعني مثلاً ضرورة أن يشمل أي مشكلة يمكن أن تظهر بسبب تصريف النفايات. ولم يكن هذا متبعاً دائماً في الماضي.

أما بلوغ الحد الأمثل في الحماية من الإشعاعات فيعني ضرورة مواصلة تحسين حدود الحماية إلى درجة لا تعود فيها التحسينات ممكنة أو معقولة.

وبلوغ الحد الأمثل هو أهم مبادىء الحماية من الإشعاعات. وينبغي أن تطبقه السلطات وكذلك مستخدمو مصادر الإشعاع. على أن إجراء وضع الحد الأمثل بدقة ليس دائماً بالأمر السهل. ولذلك فإنه كثيراً ما يكون من الضروري في الأشغال العملية المتعلقة بالإشعاعات أن تطبق قواعد اجتهادية بسيطة يستند فيها إلى مناقشات اللجنة الدولية للحماية من الإشعاعات بشأن الحد الأمثل.

وهناك طرائق متنوعة لبلوغ الحد الأمثل – وثمة طريقة شائعة يطلق عليها اسم التحليل التفاضلي لفوائد التكلفة، وهو يعني المقارنة بين تكلفة الحماية وتكلفة الضرر، أي جرعة الإشعاع التي يتلقاها الإنسان. وهذا يعني بدوره أن التعبير عن الضرر يجب أن يكون في شكل وحدات نقدية، الأمر الذي يفترض مسبقاً وجود اعتبارات سياسية. ويتحدد في نهاية هذه العملية إلى أي مدى يستحق منع زيادة معينة في الجرعة الإشعاعية الاستثمار فيه بالموارد الإجمالية للمجتمع ومستوى طموحه في ميدان الحماية من الإشعاعات. وإذا كان التعبير عن الجرعة الجماعية في شكل وحدات فرد/سيفرت، فإن "القيمة" النقدية لوحدة فرد/سيفرت، حسب تطبيقها في بلدان مختلفة، تتراوح من نحو ١٠٠٠ إلى ٠٠٠ ٢٠ دولار أمريكي. أما ما يدفع عملياً للاقتصاد في قيمة فرد/سيفرت فإنه يختلف باختلاف المهن. وهو أقل في المستشفيات فيما يتعلق بحماية المرضى عنه، مثلاً، في الصناعة النووية، التي تتسم في السويد، كما هي الحال في بلدان أخرى، بمستوى مرتفع جداً من الطموح فى مجال الحماية. ويوصي في السويد بأنه من المناسب تحديد قيمة قدرها ٠٠٠ ٢٠ دولار أمريكي للفرد/سيفرت لبلوغ الحد الأمثل للحماية من الإشعاعات.

والحدود المطبقة في السويد هي تلك التي حددتها اللجنة الدولية للحماية من الإشعاعات، وهي مثلاً ٥٠ مللي سيفرت في السنة للعمال و١ مللي سيفرت فى السنة للجمهور (٥ مللي/سيفرت $^{-1}$ أ في سنة واحدة).

ومن أجل وضع خطة للحماية من الإشعاعات في ممارسات مختلفة يمكن أن تشعع الجمهور بتعرض مباشر لهذه الممارسات، مثل استخدام السلع الاستهلاكية؛ أو بصورة غير مباشرة بالانبعاثات من الممارسة، مثل انبعاثات القوى النووية، فإن من المهم أن يستخدم فقط كسر بسيط من الحدود الإجمالية التي تبلغ ١ مللي سيفرت، أي مثلاً ١,٠ مللي سيفرت من القوى النووية. وبذلك يمكن تفادي التعرضات التي تتجاوز ١ مللي سيفرت بسبب إضافة عدة تعرضات أخرى. وكثيراً ما يكون تعرض العاملين الحقيقي أقل كثيراً من ٥٠ مللي سيفرت، وفي حدود ٥ مللي سيفرت فى السنة الواحدة. كما أن تشعيع الجمهور بانبعاثات المواد المشعة من مرافق القوى النووية مثلاً صغير جداً، بعامل يقل عن ١٠ إلى ١٠٠ من ١ مللي سيفرت في السنة الواحدة.

التطبيق العملي والمشاكل

الطب

يعتبر التعرض الطبي فى السويد ثاني أعلى تعرض للسكان، فهو يبلغ نحو ١ملي سيفرت في السنة الواحدة. أما التعرض الطبيعي فهو أعلى منه بنحو أربعة أمثال. وبالنظر إلى أهمية التعرض الطبي، تعطى الأولويات فى المستشفيات لحماية المرضى قبل حماية العاملين، رغم انخفاض الجرعات التي يتلقاها العاملون .

ومازال التصوير بالأشعة في أمراض النساء والولادة بابر الراديوم يمثل مشكلة تسبب التعرضات المهنية المرتفعة نسبياً، وخاصة تعرض اليدين. ومازالت تطبق تقنية ما بعد التحميل التي تستخدم فيها نويدات أخرى. وفي حالة المرضى من الأطفال الذين يعالجون بالإدخال أو الحقن، يسمح للوالدين بالبقاء مع الطفل، الأمر الذي قد يؤدي إلي تلقي الوالدين جرعات في حدود عدة ملليمترات سيفرت.

وتقع على الاخصائيين الفيزيائيين مسؤولية حماية العاملين من الإشعاعات، بينما تقع على الطبيب مسؤولية حماية المرضى وفحصهم وعلاجهم، وإن كان يتلقى المساعدة اللازمة من الاخصائي الفيزيائي. وتقوم لجنة خاصة بالمستشفى تتكون من أطباء ومن متخصصين فيزيائيين في الصحة، ومن صيادلة، بصورة دائمة، بفحص الأساليب والنويدات الجديدة في مجال الطب النووى واقرارها قبل تطبيقها.

والطبيب هو عادة الذي يحكم على صحة مبررات استخدام الأشعة. ومع ذلك فإن السلطات المركزية هي التي تحكم على صحة مبررات الفحوص الكبيرة بالأشعة مثل فحوص الفصل الكتلي التي يستخدم فيها الكشف بالأشعة السينية على الثدي.

ويعني بلوغ الحد الأمثل في الطب تحقيق توافق بين النتيجة الطبية، والجرعة المعطاة للمريض وتكلفة العلاج باستخدام الإشعاع وبدونه، وتكلفة الحماية. وهذا ليس بالعملية السهلة ولا يمثل مجرد بلوغ حد أمثل للحماية. فقد يؤدي هذا أحياناً إلى زيادة الجرعة للمريض بغية الحصول على وضوح أكبر للصورة المأخوذة بالأشعة السينية مثلاً، وكل هذا لصالح المريض. ومع ذلك فإن تحسين هذه التقنية أدى عموماًإلى نقص متوسط الجرعة للصورة الواحدة في الفحوص التشخيصية التي تستخدم فيها الأشعة السينية.

البحوث

كثيراً ما يتميز الأداء في مجال الإشعاعات بمعاهد البحوث بمرونة وتنوع كبيرين. وأحياناً ما يستند في الحماية من الإشعاعات إلى كفاءة وحكم العلماء، ولكن الأمور لا تسير على هذا النحو باستمرار. فقد يسيء العلماء أيضاً تقدير مشاكل الحماية من الإشعاعات أو يغفلونها. وفي المعاهد الكبرى للبحوث، هناك أفرقة وموظفون معينون خصيصاً للاضطلاع بمسؤولية الحماية من الإشعاعات. ونادراً ما تقوم هيئة مركزية للحماية من الإشعاعات بتبرير أعمال بحوث معينة، ولكن يقرر ذلك مقدم المنح العلمية أو الأستاذ المسؤول. ويجب كذلك الاعتراف

بالمخاطر المحتملة للتلوث الداخلي في كثير من معاهد ومختبرات البحوث ودراستها.

الصناعة (باستثناء صناعة القوى النووية)

يمكن ذكر أربعة مجالات للتطبيق :

١- الأجهزة الثابتة والمثبتة ذات النشاط المعتدل (10^{7} إلى 10^{10} بيكريل). وفي هذه الحالة، يكون عنصر السلامة الإشعاعية مشمولاً، أي أنه يوجد من الاشتراطات التقنية المفروضة على المصدر والأجهزة ما لايقتضي معه الأمر مهارة كبيرة في استخدام الجهاز بطريقة آمنة. وتقلل التعرضات العادية إلى أدنى حد ممكن بالأتمتة، والابتعاد والتدريع. ويقوم خبراء مؤهلون بخدمة الأجهزة واستبدالها، وعادة ما يأتي بهم متعهد الأجهزة. ويتم التفتيش على الأنواع المختلفة من الأجهزة في المعهد الوطني، للحماية من الإشعاعات وتضطلع جهة الصنع بعملية التفتيش. وإذا رغب مستخدم الأجهزة خدمتها بنفسه أو إزداد تعقيد التطبيق، فإنه توجد دورات خاصة لتحسين المهارات. ومن أمثلة الأجهزة المذكورة أجهزة قياس التخانة ومؤشرات المستوى التي يستخدم فيها الكريبتون – ٨٥ أو الكوبالت – ٦٠، على التوالي .

٢- معدات التصوير بأشعة غاما ذات النشاط العالي (10^{11} إلى 10^{12} بيكريل). وبعض هذه الأجهزة ثابت، ويستخدم في مختبر خاص له حوائط سميكة واقية ومجهز بمعدات آلية مؤمنة ضد التعطل. ومع ذلك ينقل الكثير من هذه الأجهزة إلى أماكن عمل مختلفة من أجل الفحوص التي تجرى بالتصوير بأشعة غاما، وهنا يقتضي الأمر الكثير من الكفاءة والتنظيم في الحماية من الإشعاعات. والمخاطر المحتملة للحوادث كبيرة، ولكن من حسن الحظ أنه لم يقع حادث خطير بعد في السويد. وإن كانت قد وقعت أحداث وحوادث نتيجة لفرط ارتفاع تعرض الأيدي.

٣- المصادر التي تنبعث منها أشعة غاما لتعقيم الأدوات الطبية. ويستخدم نشاط شديد الارتفاع (10^{15}–10^{16} بيكريل). وتعني مقتضيات السلامة الضرورية غير العادية وجود درجة كبيرة من الأتمتة مع عدم وجود تعرض مهني. ويجري المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات عمليات تفتيش وبحوث خاصة عند حدوث تغير في المصدر وتغييرات أخرى في المعدات.

٤- تقصي شوائب العناصر باستخدام النشاط المنخفض للنويدات قصيرة العمر مثل الصوديوم – ٢٤ لتقصي حالات التسرب، وتتبّع العمليات الصناعية،إلخ. وتوضع شروط على التركيز الصغير جداً للشوائب التي يمكن تنشيطها في مفاعل لنويدات أخرى غير النويدة محل الاهتمام، كما يشترط عدم تأثر نظام إنتاج الأغذية ومياه الشرب، وعدم تعرض عامة الناس نتيجة لعمليات التقصي هذه لأكثر من التعرض المعتاد.

السلع الاستهلاكيـة

توضع في السويد قيود على استعمال السلع الاستهلاكية المشعة. ويجب التحقق جيداً من صحة المبررات، كما يجب أن يكون النشاط منخفضاً وأن تكون السلامة عنصراً متضمناً فى المصدر والتصميم وألا يكون هناك أي بديل غير مشع (مثل البطاريات) يمكن له المنافسة. وبهذه الشروط، يجري استخدام عدد كبير من كاشفات الدخان التي تحتوي على كميات صغيرة من الأمريكيوم -٢٤١ في السويد. وبعد استخدامها يمكن تصريفها كنفاية غير نشطة في نظام الفضلات العام. وهناك استخدامات أخرى للسلع الاستهلاكية المشعة ولكنها محدودة جداً.

القوى النوويـة

يوجد بالسويد ١٢ مفاعل قوى نووية في ٤ مواقع هي : فورسمارك ٣، ورينغالز ٤، وبارسيبيك ٢، وسيمبرفارب ٣، وتبلغ قدرتها الكلية نحو ٩ جيغاوات كهربائي. ويوجد بكل موقع تنظيم خاص لتخطيط ومراقبة الحماية من الإشعاعات، وتتولاه الشركة بنفسها. ومن حيث المبدأ، ينبغي فصل هذا التنظيم عن التنظيم التجاري والإنتاجي. ويسمّى شخص أوعدة أشخاص للاضطلاع بمسؤولية الحماية من الإشعاعات في كل موقع مفاعل ويقومون بالعمل كموظفي إتصال مع المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات. وتوضع اشتراطات كبيرة على مهارتهم ويضع المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات اللوائح العامة، وعلى الشركة أن تعطي تعليمات أكثر تفصيلاً بشأن التشغيل اليومي المعتاد. وترسل الشركة تقارير، على أساس منتظم (كل شهر أو كل ثلاثة أشهر)، إلى المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات بشأن التعرضات المهنية والانبعاثات الإشعاعية التي تم قياسها. وفى حالة تجاوز الجرعات قيماً معينة (١٠ مللي سيفرت فى الشهر) أو تجاوز الانبعاثات الإشعاعية قيماً معينة، تقوم الشركة بإبلاغ المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات في أقرب وقت ممكن. ويجرى من وقت لآخر تفتيش على نظم قياس الجرعات والتحكم في الشركة يستند فيه إلى مقارنات واختبارات.

وقد حدد المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات مستوى طموحاً للتعرض المهني معبراً عنه بأنه الجرعة الجماعية الاجمالية السنوية لكل جيغاوات من القوى الكهربائية القائمة، وهي ٢ سيفرت للفرد لكل جيغاوات كهربائي قائم. والواقع أن التعرض المهني الحقيقي في محطات القوى النووية السويدية قريب جداً من مستوى الطموح المذكور.

وتعين الشركة لنفسها حدها الأمثل للحماية من الإشعاعات. ولكن إذا كان هناك مع ذلك عمل خاص تتجاوز الجرعة الجماعية المتوقعة له ١,٠ سيفرت للفرد، فإنه ينبغي إبلاغ المعهد الوطني للحماية من الإشعاعات لمناقشة المشاكل العملية والتحسينات الممكنة.

وقد استخدمت إجراءات الحد الأمثل في اختيار النظم التي تقلل من الانبعاثات المشعة المحمولة جواً. ويتم التوصل إلى الحد الأمثل بتحليل تفاضلي لفوائد التكلفة. وينبغي أن تكون الجرعات بالنسبة للمجموعة الحرجة من الناس أدنى من ١,٠ ملليمتر سيفرت أ$^{-١}$ لكل موقع بغض النظر عن عدد المفاعلات. ومن الناحية العملية، تقل الجرعات الحقيقية بمرة إلى ثلاث مرات عن قيمتها. وتقاس الانبعاثات في الهواء والمياه باستمرار.

وتراقب البيئة بأخذ عينات من الحليب، والنباتات، والأسماك، والمياه بصورة منتظمة، وذلك بواقع مرة في الشهر إلى مرة كل ستة أشهر. وتجمع العينات بمعرفة المعهد القومي للحماية من الإشعاعات أو خبراء الإشعاعات البيئية بالمجلس الوطني لحماية البيئة. وتقوم الشركة بقياسها بينما تقوم السلطات بعملية فحصها.

ويوجد في كل مجتمع لديه موقع للقوى النووية مجلس للسلامة مشكل من الساسة المحليين، ومن واجب هذا المجلس ومن حقه الحصول على معلومات من الشركة ومن السلطات المسؤولة عن الإشراف بشأن مسائل السلامة المتعلقة بالمحطة والحماية من إشعاعاتها.

وتتولى الشركات المعنية التصرف في النفايات المشعة التي تخلّفها محطات القوى النووية. ويتم إحراق أو دفن (على عمق قليل تحت سطح الأرض) النفايات منخفضة النشاط بالموقع بكميات ودرجات تركيز صغيرة بحيث لايزيد الأثر على البيئة على جزء صغير من الأثر الذي تحدثه الانبعاثات المعتادة من مفاعلات القوى النووية وبحيث لا يكون من الضروري القيام برقابة مؤسسية بعد ١٠٠ سنة. أما النفايات متوسطة وعالية النشاط، فتدفن على عمق كبير في الصخر، كتصريف جيولوجي. وفيما يلي بعض معايير الحماية من الإشعاعات في هذا الشأن :

– ينبغي أن يشمل تقييم العواقب الإشعاعية كل الناس بغض النظر عن الزمان والمكان؛

– ينبغي أن تشمل العواقب كل الجرعات بغض النظر عن قيمتها؛

– ينبغي أن تتماثل الجهود التي تبذل لتفادي الجرعات بغض النظر عن زمان ومكان حدوثها؛

– ينبغي أن تكون جرعة مجموعة حرجة كسراً صغيراً فقط من ١ مللي سيفرت سنوياً؛

– من الصعب تقييم الجرعات والعواقب بعد ١٠ ٠٠٠ سنة بسبب عدم معرفة البيئة ولأنه قد لاتكون للتقييم قيمة تذكر. ومع ذلك هناك حد أدنى يقتضيه الأمر وهو أن تكون الجرعات والعواقب مقبولة بافتراض أن البيئة لن تتغير؛

– يمكن تحقيق أساس للحكم عن طريق المقارنة مع تدفق العناصر المشعة الطبيعية خلال البيئة عن طريق تعرض الصخور للعوامل الجوية، ونقلها بالمياه إلى الغلاف الحيوي لتنتهي أخيراً في البحر.

وفي الوقت الحاضر، يجري تخطيط الطوارىء والاستعداد لها كما يلي :

– يتم التخطيط أساساً للحوادث النووية في محطات القوى النووية السويدية؛

– تقسم مساحة تخطيط الطوارىء حول محطة القوى النووية إلى مناطق مختلفة بتخطيط خاص للطوارىء. وتمتد منطقة الإنذار المركزية من ٥ إلى ١٠ كيلو مترات، ومنطقة الطوارىء من ١٢ الى ١٥ كيلو متراً، ومنطقة قياس الإشعاعات إلى حوالي ٥٠ كيلو متراً من المحطة؛

– توجد في منطقة قياس الإشعاعات استعدادات لإجراء القياسات بأدوات متنقلة، ولتقديم معلومات إلى المزارعين؛

– وبالإضافة إلى ذلك، يوجد في منطقة الطوارىء : (١) شبكة دائمة لمواقع قياس بطريقة التألق الحراري (TLD)، (٢) أقراص يود تعطى مقدماً لكل أسرة؛ (٣) نظام إنذار لإشارات الإنذار الهاتفية؛ (٤) كتيب معلومات يعطى لكل أسرة؛ (٥) خطط لإخلاء السكان؛

– وبالإضافة إلى ذلك، يوجد فى منطقة الإنذار المركزية نظام دائم له صفارات إنذار لإرسال إشارات الإنذار إلى خارج المحطة؛

– تضطلع السلطة الإدارية المختصة في البلد بمسؤولية التخطيط المحلي والإجراءات التي تتخذ في حالة وقوع حادث. ويوجد فريق استشاري بالمعهد الوطني للحماية من الإشعاعات باستكهولم يضم أخصائيين للحصول على معلومات، وجمع البيانات، وحساب العواقب والاتجاهات، وإسداء المشورة للسلطة الإدارية في البلد؛

– تجرى تدريبات وتمرينات على أساس منتظم للعاملين المعنيين (ومثال ذلك تمرين كبير كل ٤ سنوات لكل موقع).

وبعد حادث تشرنوبيل، سيجري إدخال تغييرات على استعدادات الطوارىء، تنصب أساساً على حصول كل البلدان التي لا توجد لديها محطة قوى نووية، هي أيضاً، على نوع ما من الاستعدادات لكي تستطيع معالجة انتشار الانبعاثات التي تنطلق من موقع الحوادث وما ينجم عنها من تلوث للتربة إلى مسافات بعيدة. ويجري حالياً تنفيذ تحسينات لنظم القياس، ولنظامي التعليم والاتصالات.