الفصل الخامس

٦ ـ إعادة معالجة الوقود النووي المستهلك في المفاعلات:

(أ) أسباب تؤدي إلى تغيير الوقود النووي:

عند تشغيل المفاعلات النووية يحدث للوقود النووي تغيرات تؤثر في تكوينه، حيث يمكن أن يبقى الوقود النووي في المفاعل لمدة تتراوح بين سنتين وثلاث سنوات حيث يتم مع استمرار الأيام العمل استهلاك المادة القابلة للانشطار. وحيث يتم إنتاج مواد منشطرة عديدة ذات قدرات متفاوتة في امتصاصها للنيوترونات وهذا يؤثر بدوره على الاتزان النيوتروني مع مرور الوقت، ويؤدي بالتالي إلى إيقاف التفاعل المتسلسل، كما تتأثر كفاءة المفاعل من حيث الكم الحراري الناتج بهذا الاتزان النيوتروني.

كما أن تكوّن نويات لذرّات ثقيلة مثل نظائر اليورانيوم والبلوتونيوم تؤدي إلى تضاءل قدرة الوقود مع الوقت حتى تصل إلى وضع حرج يتطلب استبدال هذا الوقود بوقود جديد.

كما أنه يتكون المئات من المركبات المنشطرة داخل المفاعل النووي وأخطر هذه المواد على عمل المفاعل هي مادة (كزينون ـ 135) $_{54}Xe^{135}$ و (السماريوم ـ 149) $_{62}Sm^{149}$ لأن مساحة مقطعهما كبيرة جداً، فإنهما يمتصان النيوترونات الحرارية، وهذا ما يؤدي إلى إقلال العطاء الحراري للمفاعل. ونستطيع القول إن الكزينون يحتفظ بقيمة ثابتة أثناء عمل

المفاعل، ولكن عند إيقاف المفاعل يتكون الكزينون بطريقة غير مباشرة نتيجة انحلال (اليود ـ 135) بالتفاعل التالي:

$$\text{(ثابت) Ba} \xrightarrow{\text{بعد } 2,6 \times 10^{6} \text{ سنة}} \underset{\text{سيزيوم}}{\text{Cs}} \xrightarrow{\text{بعد 9,9 ساعة}} \underset{\text{كزينون}}{\text{Xe}^{135}} \xrightarrow{\text{بعد 6,69 ساعة}} \underset{\text{يود}}{\text{I}^{135}}$$
باريوم

كما أن السماريوم هي مادة غير نشطة إشعاعياً ولكنها لها قدرة كبيرة على امتصاص النيوترونات وهي أقل تأثيراً في تسميم المفاعل من (الكزينون ـ 135). إن المواد المنشطرة المتكوّنة، تغيّر من الثبات الميكانيكي للوقود، مما يؤدي إلى تحطيم تغليف الوقود النووي مع الوقت. وهذا السبب كذلك يؤدي إلى وجوب استبدال الوقود النووي بوقود جديد. وتعود أسباب تحطيم التغليف للوقود النووي إلى تكون تركيبات بنائية غير مستقرة مع التغليف وغازات تصاحب عمليات الانشطار، تؤدي في النهاية إلى انتفاخ الوقود وتحطيم غلافه.

(ب) إن احتراق الوقود لا يتجاوز نسبة $(0,5 \times 10^{26})$ انشطار/متر مكعب وتحسب هذه بالمعادلة التالية:

$$N\lambda = F\,Y\,(1 - e\,\lambda\,T_R)\,e^{-\lambda T_c}$$

باعتبار أن التشعيع يتم بمعدل نيوتروني ثابت حيث:

F ـ معدل الانشطار في الثانية.

T_R ـ زمن التشعيع في الثانية.

Tc ـ التراكمات الناتجة عن الانشطار (ذرّة / ذرّة منشطرة / ثانية).

λ ـ ثابت اضمحلال الذرّة المنشطرة.

N ـ عدد ذرّات المواد ذات فترة العمر الطويلة.

(ج) تبريد الوقود المستخدم:

بعد أن يستنفذ كل احتياطي اليورانيوم أثناء التفاعل المتسلسل داخل المفاعل وظهور المشاكل سابقة الذكر يتبين أن قضبان اليورانيوم ملوّثة بكميات كبيرة من شوائب مشعّة للغاية هي نواتج التفاعل النووي. حيث تمتص هذه الشوائب النيوترونات بشراهة كبيرة. مما يبطىء سير التفاعل النووي. ولذا تغير قضبان اليورانيوم قبل احتراق كل (اليورانيوم ــ 235) نهائياً بمدة طويلة[75].

وتكون هذه القضبان (ساخنة) مشعّة للغاية وخطيرة جداً حتى على مسافات بعيدة. لذلك فإن كل عملية تفريغ للمفاعل من القضبان وتبديلها بأخرى جديدة، وكل العمليات التالية لذلك تجري بواسطة أجهزة التحكم عن بعد، بأجهزة آلية. وتبنى بجوار المفاعلات عادة، أحواض كبيرة ومكشوفة مملوءة بالماء (بعمق 4 ــ 5 أمتار) ويتم إسقاط قضبان اليورانيوم المأخوذة من المفاعلات إلى قاع الأحواض بواسطة عربات خاصة حيث يتم تخزين هذه القضبان في هذه الأحواض المصممة لهذا الغرض في موقع المفاعل بمبنى الوقود. وتصمم سعة أوعية التخزين لاستيعاب شحنة كاملة من وقود قلب المفاعل. وتزوّد هذه الأحواض بنظام تبريد للتخلص من الحرارة المتولّدة من الوقود المخزن. وتصمّم مجموعة التبريد بحيث تفي باحتياجات التخلص من الحرارة في الحالات التي يلزم فيها تفريغ وقود المفاعل النووي للفحص أو للصيانة أو في حالات الخطر والطوارىء.

تستمر عملية تخزين الوقود بهذا الشكل بقصد تبريده لمدة حوالي 100 يوم يكون بعدها معظم نواتج الانشطار النووي ذات فترة نصف العمر القصيرة والمتوسطة قد اضمحلت.

(75) جلادكوف، ص 258 ــ 259.

وفي الواقع يوجد عدة أسباب تستوجب تخزين الوقود المستنفذ وأهم هذه الأسباب هي:

1 ـ انحلال (اليود ـ 131) حيث تكون فترة نصف عمره هي (8,05) يوم. وبذلك نتجنب كميات كبيرة من الغازات، أو ذوبان اليود المشعّ أثناء إعادة معالجة الوقود النووي المستنفذ.

2 ـ انحلال (اليورانيوم ـ 237) حيث تكون فترة نصف عمره هي (6,75) يوم. ويفيدنا هذا لأنه يجنّب استخدام طرق التعامل مع الوقود النووي السام عن بعد، ويوفر تكاليف كبيرة وراء هذه التقنية.

3 ـ إن نقصان شدة الإشعاع خلال فترة التخزين يتم فيها تبريد الوقود المشعّ وسحب كميات الحرارة المنبعثة أثناء اضمحلال المواد المنشطرة.

4 ـ انحلال (الكزينون ـ 133) وفترة نصف عمره (5,27) يوم، حيث يعطى غازاً مشعّاً هو (الكريبتون ـ 85) الذي يتصاعد أثناء عملية إعادة معالجة الوقود النووي.

وبعد عملية التبريد يمكن نقل الوقود المستنفذ في أوعية مدرّعة خاصة إلى وحدات إعادة المعالجة.

2 ـ عملية الفصل الكيميائي للمواد النووية:

تستخدم غالباً الطرق المائية لفصل المواد النووية، حيث يكون المنتج النهائي الذي نحصل عليه بهذه الطريقة هو نترات اليورنيل ($UO_2 (NO_3)_2 . 6H_2O$) وهذا بدوره يتحول إلى ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) ثم إلى سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) حيث تجري بعد ذلك عملية تخصيب لليورانيوم قبل إعادة تصنيع الوقود النووي للمرة

الثانية. ويمكن تبسيط شرح عملية استرجاع الوقود النووي بالطرق المائية من خلال شرح العمليات التالية:

(أ) تجهيز أولي للوقود النووي المستهلك من خلال تحويله ألى محلول بعد إزالة التغليف:

ويتم هذا عن طريق تكسير الوقود النووي المستهلك إلى قطع صغيرة. ولإزالة مواد التغليف تستخدم طريقة زيرفلكس (Zirflex) حيث تذاب مادة التغليف التي هي من الزركانيوم في محلول يغلي من فلوريد الأمونيوم ونترات الأمونيوم. حيث يجري التفاعل الآتي[76]:

$$Zr + 6NH_4F + 0.5NH_4NO_3 \longrightarrow (NH_4)_2ZrF_6 + 5NH_3 + 1.5H_2O$$

وتجري هذه العملية بشكل بطيء ولتسريع هذه يمكن إضافة مواد حفازة (Catalyst).

والمواد الحفازة هي المواد التي تشترك في التفاعل من أجل تغيير سرعته أو إثارته وتبقى هذه المواد حتى نهاية التفاعل دون أن يطرأ عليها أي تغيير من الناحية الكيميائية[77]. وتكون المادة الحفازة مثلاً في حالة سبائك اليورانيوم والألمنيوم من كلوريد الزئبق ($HgCL_2$).

(ب) إذابة الوقود النووي:

يمكن تمثيل عملية إذابة الوقود النووي بالتفاعل الكيميائي التالي:

$$UO_2 + 4.5HNO_3 \longrightarrow UO_2(NO_3)_2 + 1.57NO + 0.84NO_2 + 0.0005N_2O + 2.25H_2O + 0.043N_2$$

---

(76) محمود عبد المنعم، ص 139.

(77) الكيمياء الفيزيائية، الجزء الثاني، ف. أ. كيرييف ـ دار مير للطباعة والنشر ـ مترجم، ص 671.

وتجري عمليات الإذابة داخل مفاعل الإذابة[78] (Dissolution Reactor)، ويعمل هذا المفاعل تحت ضغط منخفض، لمنع تسرّب الغازات المتولّدة في هذا المفاعل إلى الأجزاء المحيطة به، وهذا المفاعل مجهّز بجدران كثيفة يزيد سمكها عن المتر لحجز الإشعاعات الهائلة المصاحبة للوقود النووي.

حيث يدخل الوقود النووي من أعلى المفاعل، ويتحرك إلى الأسفل ببطء، عبر وعاء معلق يحتوي على حامض النتريك المركز، وتنتج كمية كبيرة من الحرارة من جرّاء التفاعل بين الوقود النووي وحامض النتريك، ويتم امتصاص هذه الحرارة من خلال إمرار الماء البارد بمواسير مصنوعة بحسابات دقيقة فيتحول الماء إلى بخار ماصاً معظم الحرارة المنطلقة من التفاعل. ويعود السبب في استخدام حامض النتريك هنا كون النترات ومركّباتها هي أفضل صورة مناسبة لعملية الاستخلاص بالمذيبات للمحلول الناتج المسحوب من أسفل المفاعل أو ما يعرف بعملية الفصل بالمذيبات (Solvent extraction) أنظر (شكل رقم 9).

(ج) الفصل بالمذيبات:

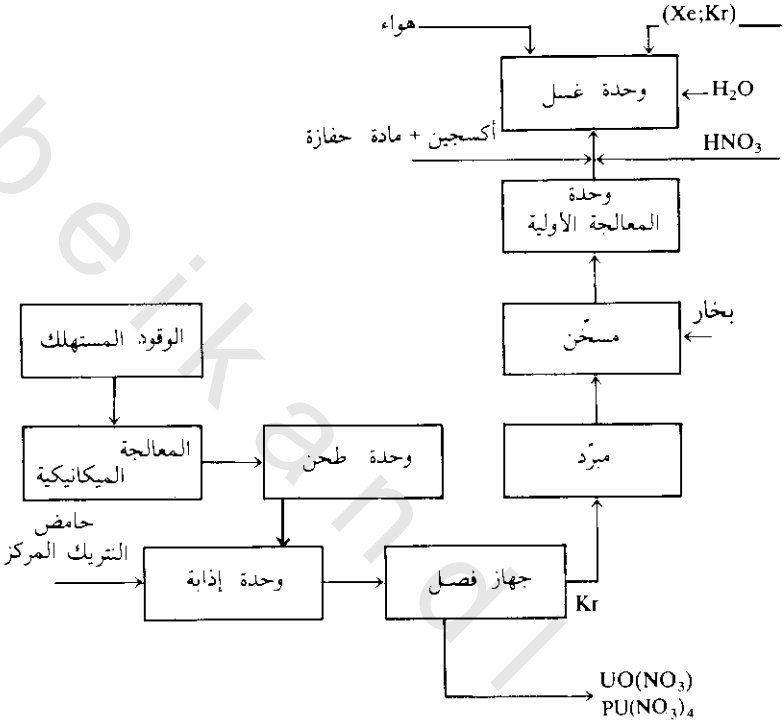
تعتمد عملية الفصل بالمذيبات على أساس أن المادة المطلوب إذابتها وفصلها تذوب في مذيب معين أما المواد الأخرى الغير مطلوبة فلا تذوب بهذا المذيب.

ويتحكم بهذه العملية معامل معروف باسم معامل الانتقاء (Selectivity factor) والذي يمكن التعبير عنه بالآتي:

---

(78) يؤخذ من لائحة المراجع في آخر الكتاب.

المخطط التكنولوجي لعملية الإذابة



شكل رقم (9)

$$\text{معامل الانتقاء} = \frac{\text{المنتج المراد فصله}}{\text{الشوائب}}$$

ويفصل بهذه العملية البلوتونيوم واليورانيوم، حيث تتوزع المواد في برج الفصل على طبقتين لا تمتزج إحداهما بالأخرى وهما طبقة مائية (Aqueous Phase) وطبقة عضوية (Organic Phase)، يعتمد مبدأ الفصل

على كون المادة أو المواد المراد فصلها عن طريق الإذابة تكون كثيفة في طبقة، وقليلة الكثافة في الطبقة الأخرى، وعند رجّ هذه المواد بشكل منتظم في قمع الفصل، يتم فصل المواد عن بعضها. أول المذيبات المستخدمة لهذه الطريقة هو ميثيل إيزوبيوتيل كيتون (Methyl Isobutyl Keton) ويطلق عليه اسم الهكسون (Hexon) وتعرف طريقة الفصل بالهكسون بطريقة ردوكس (Redox).

ويتم في هذه الطريقة تغيير التكافؤ في البلوتونيوم إلى التكافؤ الرباعي والسداسي للوصول إلى أفضل ظروف لفصل هذه المادة حيث يتم أكسدة البلوتونيوم بواسطة بيكرومات الصوديوم إلى بلوتونيوم سداسي التكافؤ وبلوتونيوم رباعي التكافؤ حيث يتم تشكيل طبقتين، طبقة مائية تحتوي على بيكرومات الصوديوم والمواد المنشطرة، وطبقة عضوية تحتوي على اليورانيوم والبلوتونيوم وحامض النتريك، فتنتقل هذه الطبقة الأخيرة إلى برج آخر حيث تغسل هذه المواد بنترات الألمنيوم بإضافة عامل مختزل هو هايدرواكسيل امين (Hydroxyl amine) و فيروسلفمات (Ferrosulfamat) حيث يخرج البلوتونيوم من الطبقة العضوية أما اليورانيوم فيعاد انتزاعه باستخدام حامض النتريك.

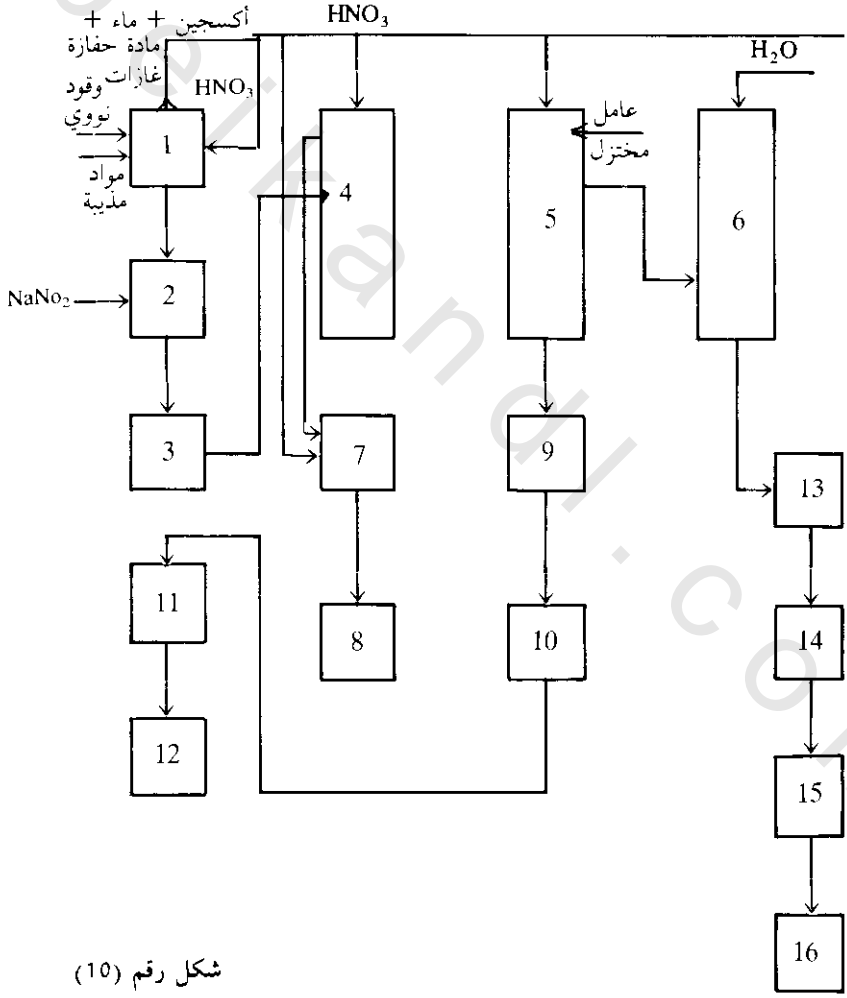
إلا أن تقنية الفصل الأكثر شيوعاً فهي الاستخلاص باستخدام المذيب ثلاثي بيوتيل الفوسفات (Tributyl-phosphate) المعروف بـ (T.B.P.) وهذا ما يعرف بطريقة بيوركس[79] (Purex process)، حيث تجري العمليات التالية:

(79) ترسانة إسرائيل النووية ــ بيتر براي، ص 114.

$$UO_{2_{aq}}^{2+} + 2NO_{3_{aq}}^{-} + 2T.B.P. \longrightarrow UO_2(NO_3)_2 + (T.B.P.)_{2_{org}}$$

$$Pu_{aq}^{4+} + 2T.B.P. + 4NO_{3_{aq}}^{-} \longrightarrow Pu(NO_3)_4 + (T.B.P.)_{2_{org}}$$

$$Zn_{aq}^{4+} + 2T.B.P. + 4NO_{3_{aq}}^{-} \longrightarrow Zr(NO_3)_4 + (T.B.P.)_{2_{org}}$$

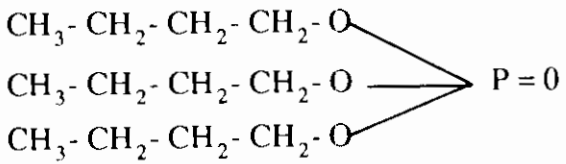


شكل رقم (10)

1 ــ برج الإذابة.
2 ــ مرشح.
3 ــ حوض ضبط المحاليل.
4 ــ وحدة فصل.
5 ــ برج فصل البلوتونيوم.
6 ــ برج فصل اليورانيوم.
7 ــ وحدة استرجاع حامض النتريك.
8 ــ وحدة معالجة النفايات.
9 ــ مبخر.
10 ــ وحدة فصل.
11 ــ وحدة تنقية.
12 ــ وحدة الحصول على بلوتونيوم نقي.
13 ــ مبخر.
14 ــ وحدة فصل.
15 ــ وحدة تنقية.
16 ــ وحدة الحصول على يورانيوم نقي.

شكل رقم (10)

يتم إدخال مواد الإذابة والتي هي ثلاثي بيوتيل فوسفات:



والوقود النووي إلى برج الإذابة رقم (1) كما يتم إدخال حامض النتريك (HNO_3) إلى نفس البرج فتخرج الغازات من قمة البرج والتي تحتوي على كميات كبيرة من أكاسيد النيتروجين، التي تجمع وتعالج بالماء والأكسجين مع وجود عوامل حفازة تتحول مرة ثانية إلى حامض النتريك

ليستخدم مرة ثانية. أما المحلول فيذهب إلى المرشح رقم (2) حيث يتم فصل نترات اليورانيوم ونترات البلوتونيوم عن المحلول وبعض المواد المنشطرة. وبعد ذلك توجه هذه المواد إلى حوض ضبط المحاليل رقم (3) حيث تضاف مادة نتريت الصوديوم ($NaNO_2$) ويوجه المنتج إلى وحدة الفصل رقم (4)، حيث يتم الفصل بمساعدة حامض النتريك فنحصل هنا على غازات النيتروجين حيث تُسترجع إلى حامض النتريك ومواد منشطرة توجه إلى حوض معالجة النفايات. أما المنتج الذي نحصل عليه من أسفل وحدة الفصل (رقم 5) والذي يحتوي على نترات البلوتونيوم ونترات اليورانيوم فيوجه إلى وحدة فصل البلوتونيوم (رقم 5) فَيُضخُ لها حامض النتريك وعامل مختزل مثل (الكالسيوم أو هيدرواكسيل امين (NH_2OH) فيتم فصل نترات البلوتونيوم من أسفل البرج وترسل إلى برج رقم (9) وهو ما يعرف بالمبخر، وبعد ذلك يرسل إلى وحدة فصل (رقم 10) وبعد ذلك إلى وحدة التبادل الأيوني (رقم 11) فنحصل على البلوتونيوم النقي، حيث يجمع في خزان (رقم 12). ومن أعلى الوحدة (رقم 5) فتخرج نترات اليورانيوم، حيث ترسل إلى حوض فصل اليورانيوم (رقم 6) ويضخ كذلك إلى نفس الحوض الماء. ويوجه بعد ذلك المنتج إلى وحدة التبخير (رقم 13) وبعد ذلك إلى وحدة الفصل (رقم 14)، ثم إلى وحدة تنقية اليورانيوم (رقم 15) ثم يجمع اليورانيوم النقي في خزان رقم (16)[80].

إن عملية الفصل الكيماوي لمادة البلوتونيوم هي أقل تعقيداً وإلى حد كبير من عمليات تخصيب اليورانيوم، سابقة الذكر. فمثلاً قامت الهند ببناء معمل لفصل البلوتونيوم لم تتجاوز تكاليفه 7 مليون دولار فقط[81].

---

(80) William Van Cleave, Nuclear Technology and Weapons. In Nuclear proliferation: Phase II-eds. R.M. Lawrence & J. Larus. Lawrence. K.S.: University of Kansas (1974), p. 47.

(81) Shyam Bhatia, India Nuclear Bomb (Sahibabad. India Vikas publishing 1979 p. 104-105).

هـذا وكتب أحـد خبـراء مختبـر أوك ريـدج القـومي وهـو (د. اي. فيرغسون) (D.E. Ferguson) أنه من السهل على أي دولة أن تنتج البلوتونيوم دون الحاجة إلى إقامة منشآت معقدة لإتمام عملية المعالجة.

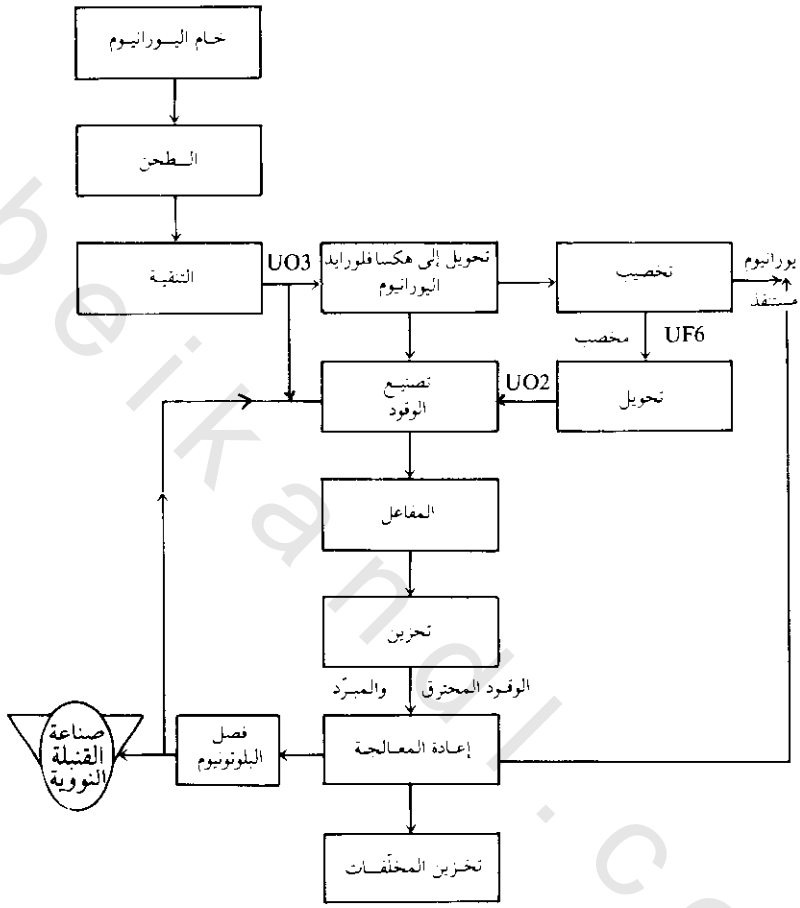
هذا وتستطيع أي دولة في غضون ستة أشهر أن تقيم معملاً لفصل البلوتونيوم عن مخلّفات الوقود النووي[82].

وهكذا نستطيع أن نلخص دورة الوقود النووي من خام اليورانيوم حتى إنتاج القنبلة النووية بالآتي: (انظر شكل رقم ـ 11).

3 ـ الخلايا الحارة

عندما تخرج النظائر من المفاعل النووي وبعد أن تجري لها عملية تبريد توجه إلى ما يعرف بالمختبر الساخن أو الخلايا الحارة، إن استخدام المواد في الأبحاث وإجراء التجارب بالطرق العادية غير ممكن، لذلك لزم إحداث مختبرات خاصة لذلك، حيث يمكن إجراء التجارب على بعض العناصر، دون أن تشكل خطراً على الباحثين. ويتكون مثل هذا المختبر من سلسلة من الغرف متصلة بممرات تمكن من الحركة داخلها. وتفصل أقسام المختبر بعضها عن بعض، بجدران سميكة من الخرسانة المسلحة، أما أبوابها فهي مصنوعة من طبقات من الفولاذ الذي يحتوي على مواد ماصة للنيوترونات.

(82) Ferguson's — report is cited in Thomas O'Toole «Making Plutonium Held Easier than Supposed» washington Post (10 November 1977) p. 16.



شكل رقم (11)

obeikandl.com

في مثل هذه المختبرات، تدرس الخواص المختلفة للنظائر المشعّة في المفاعلات. ويزوّد المختبر بأجهزة آلية وأجهزة توجيه آلي معقّدة بما في ذلك الأجهزة التلفزيونية، لتشكيل النظائر وعمل الأبحاث الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية. ولدراسة القياسات الكثيرة المتعلقة بذلك. بحيث يتم كل ذلك عن بعد خلف الجدران الواقية. وإحدى غرف المختبر هي عبارة عن ورشة ميكانيكية، تصل إليها النظائر في البدء بطريق خاص في صناديق من الرصاص السميك حيث تفتح آلياً وتستخرج منها النظائر، لتحضر منها بالتالي العينات ذات الأشكال والمقاييس المطلوبة.

وبجوار الورشة الميكانيكية، توجد غرفة التوزيع التي يحتفظ فيها بالعينات المحضرة للبحث والدراسة، وبعد ذلك توجه إلى غرفة الأبحاث الخاصة بعلم المعادن لدراسة خواص النظائر.

وهكذا تنقل النظائر من غرفة إلى غرفة ومن جهاز إلى جهاز بواسطة عربة تتحرك في الممرات، أو توجه من غرف العمليات المناظرة للغرف الساخنة. وعندما تحضر أو تختبر عينات غير «ساخنة جداً» تجري المراقبة من غرف العمليات من خلال نوافذ مصنوعة من زجاج رصاصي خاص سميك. ويبطن السطح الداخلي للغرف الساخنة بفولاذ غير قابل للصدأ لتسهيل غسلها وتنظيفها من التلوّث الإشعاعي. وتزوّد غرف العمليات والأقسام الملحقة بها، بأجهزة خاصة لتتبع درجة الإشعاع والتحكم فيها. ويتم التوجيه والتحكم من غرف العمليات بواسطة اليد الآلية.

واليد الآلية تستطيع أن تقوم بجميع الأعمال الدقيقة التي تستعصي على أيدي الباحثين. ومن غرفة العمليات يتابع الباحث المشاهدة بواسطة

البيرسكوب وهو عبارة عن مجموعة من المرايا تمر خلال قنوات منحنية خاصة في الجدران السميكة المسلّحة.

وفي مثل هذا المختبر يمكن تحضير شرائح ميكروسكوبية من العينات «الساخنة» حيث يتم فحصها لتؤكد من خواصها الكيميائية والفيزيائية[83].

4 ـ إنتاج البلوتونيوم بطرق أخرى:

كما أنه يمكن إنتاج البلوتونيوم من (اليورانيوم ـ 238) عن طريق «طبخ» اليورانيوم الطبيعي داخل المفاعل، من خلال قذفه بالنيوترونات حتى يتحول إلى عنصر البلوتونيوم. ولا تخلو هذه الطريقة من المخاطر، إذ يتوجب على المشرفيين من المهندسين والفنيين أن يراقبوا سير العملية بكل دقة ولا يسمحوا (للبلوتونيوم ـ 239) المحصول عليه داخل المفاعل أن يبقى لمدة طويلة، خشية أن يؤدي استمرار تعرضه للقذف بالنيوترونات إلى تحلله وتحوله إلى (بلوتونيوم ـ 240) وهو وقود نووي رديء قابل للانفجار المفاجيء السابق لأوانه. إن عملية توليد (البلوتونيوم ـ 239) ليست بتلك العملية الصعبة إذ أن المفاعلات النووية تقوم بإنتاج البلوتونيوم تلقائياً حتى لو لم نرغب بذلك؛ كما رأينا في عملية إعادة استخدام الوقود النووي وكيفية فصل البلوتونيوم عنه.

5 ـ قدرة المفاعل على إنتاج البلوتونيوم:

إن قدرة أي مفاعل على إنتاج البلوتونيوم تتوقف على كمية وقود اليورانيوم التي يقوم بحرقها. فيقول مثلاً فؤاد جابر في كتابه «الأسلحة النووية

(83) جلادكوف، ص 305.

واستراتيجية إسرائيل»، أنه من كل طن متري من اليورانيوم الطبيعي يحرقه المفاعل «يمكن إنتاج ما بين (300) إلى (1000) غرام من مادة البلوتونيوم الذي يمكن استخدامه في صناعة القنبلة النووية[84].

وتعتمد هذه النسبة في الطن الواحد على فترة إبقاء البلوتونيوم داخل المفاعل، وبناء على هذه الملاحظة يمكن استخلاص معادلة لتقدير القدرات الكامنة لمفاعل نووي ما على إنتاج (البلوتونيوم ـ 239)، استناداً إلى قدرة التفاعل الانشطاري لهذا المفاعل مقاسه بالميغاواط الحراري، حيث توجد معادلة تقول إن المفاعل النووي الذي يحرق اليورانيوم الطبيعي وقوداً له يستهلك سنوياً طن واحد من هذه المادة لكل ميغاوات حراري واحد يولده[85].

نستطيع أن نضع معادلة تحدد كمية البلوتونيوم التي يمكن أن ينتجها المفاعل النووي بالسنة كالآتي:

$$Pu = \frac{Mwt \times D}{1000}$$

حيث أن:

Mwt ـ ميغاوات حراري للمفاعل.

D ـ عدد أيام العمل للمفاعل في السنة.

Pu ـ كمية البلوتونيوم المنتجة بالسنة بالكيلوغرام.

ولتقريب نسبة إنتاج البلوتونيوم من الواقع يمكن درب هذه المعادلة بمعامل قدرة (0,85) أو (0,9).

---

(84) كتاب جابر، ص 88.

(85) بيتر براي، ص 93.

6 ـ مخاطر التعامل مع البلوتونيوم:

إن درجة سمية البلوتونيوم الخطيرة مع إمكانية تشكل كتلة حرجة يعتبران من أشد المخاطر الناتجة عن التعامل مع هذه المادة. وهذا ما يدفع إلى تجهيز إجراءات وقائية خاصة كاستخدام الحواجز الواقية ومعالجة المادة بوسائل التحكم عن بعد، واستخدام حجرات القفازات المغلقة (Glove boxes)، وعزل الكميات التي هي قيد المعالجة عن بعضها البعض، واستخدام تجهيزات المعالجة لتجنب حدوث أي انفلاتات نووية، تجعل من عملية التعامل مع البلوتونيوم عملية كثيرة المتطلبات، لكنها لا تجعل منها عملية صعبة إلى حد غير عادي[86].

7 ـ كيفية التعامل مع المخلّفات النووية:

تنتج المخلّفات النووية من العمليات التالية:

1 ـ بعد عمليات استخلاص اليورانيوم من خاماته.
2 ـ بعد عمليات إنتاج سادس فلوريد اليورانيوم.
3 ـ بعد عمليات تخصيب اليورانيوم.
4 ـ بعد عمليات تصنيع الوقود النووي.
5 ـ أثناء عمليات تشغيل المفاعلات النووية.
6 ـ بعد عملية استرجاع المواد النووية من الوقود النووي المستهلك.

يمكن لهذه المخلّفات أن تكون في الحالات الغازية أو السائلة أو الصلبة. ويمكن تقسيم هذه المخلّفات إلى ثلاثة أقسام:

(أ) نفايات شديدة الإشعاع (High Active Waste) ويرمز لها بـ (HAW) وتكون هذه عندما يبلغ الإشعاع ما يقرب عشرة ألف كوري في المتر المكعب.

(86) مرجع سابق (William Van Cleave) ص 47.

(ب) نفايات متوسطة الإشعاع (Medium Active Waste) ويرمز لها بـ (MAW) وتكون هذه عندما يبلغ الإشعاع ما يقرب من ألف كوري في المتر المكعب.

(ج) نفايات ضعيفة الإشعاع (Low Active Waste) ويرمز لها بـ (LAW) وتكون هذه عندما يبلغ الإشعاع (0,1) كوري في المتر المكعب.

تعالج النفايات الصلبة عن طريق ضغطها لتقليل حجمها ثم إزالة التلوث الإشعاعي عن سطحها ثم حرقها. ثم يتم وضعها وتغليفها في مواد هيدروليكية رابطة كالإسمنت وبعد ذلك تغلف بمواد من أصل بوليميري (مضاعفة الأصل أو السلسلة) وبعد ذلك تغلف بمواد معدنية أو سبائك.

أما بالنسبة إلى النفايات السائلة فيتم معالجتها عن طريق الترسيب الكيميائي وبعد ذلك الترشيح والادمصاص ثم تتحول هذه المواد إلى أجهزة التقطير لفصل مكوّناتها ثم عملية التجفيف والكلسنة. وللتخلص نهائياً من النفايات السائلة توضع هذه المواد في أوعية رابطة إسمنتية وتغلف بمادة البيتومين، وتغلّف بعد ذلك بمادة بولوميرية ثم تغلّف بمواد زجاجية أو سيراميكية.

أما النفايات الغازية يتم معالجتها بتجفيفها أولاً ثم ترشيحها ثم إطلاقها إلى الجو، بعد أن يكون قد جرى لها عملية تنقية، حيث يتم التخلص من الكربتون والكزينون ومن أكاسيد النيتروجين.

8 ـ الشروط التي يجب توفرها في مخزن المخلّفات النووية:

يجب مراعاة الشروط التالية لتخزين المخلّفات النووية وهي:

1 ـ أن يختار موقع التخزين في منطقة مدروسة جيولوجياً وغير معرّضة لهزّات أرضية عنيفة وبعيدة عن مصادر المياه الجوفية.

2 ــ عمل جهاز تبريد يتكلف في تبريد حرارة النفايات المنبعثة تلقائياً من عملية تحوّل النفايات.

3 ــ أن يتضمن الموقع حاجزاً عاكساً أو ممتصاً للأشعة لاستخدامه كدرع حاجز للإشعاع الناتج عن النفايات.

4 ــ أن تبتعد الرطوبة عن هذا الموقع ويكون بالقرب من المؤسسات النووية لسرعة تخزين النفايات.

9 ــ المبادىء الرئيسية للوقاية من الإشعاع في المفاعلات النووية:

إن هدف الوقاية من الإشعاع كما تعرفه اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع هو «تأمين الوقاية من الإشعاع المؤين للأشخاص منفردين، ولذريتهم، وللبشرية بشكل عام، وفي الوقت نفسه إيجاد ظروف ملائمة للإنسان المعرّض للإشعاع المؤين للحفاظ على نشاطه وعمله». إن تأمين الوقاية للإنسان يقود أيضاً إلى تأمين الوقاية للبيئة والكائنات الحيّة فيها.

وتنطلق قواعد الوقاية من أن التأثير الرئيسي للجرعة المنخفضة يتمثل في تعاظم احتمال ظهور السرطان لدى المتعرّض لها أو تأثيرات وراثية تظهر في الأجيال اللاحقة. وتدل بعض النظريات الحديثة للوقاية من أن تلوّث خلية واحدة في جسم الإنسان بإشعاع واحد يمكن أن يؤدي إلى إصابته بالسرطان[87]. وبناء على المفهوم السابق فقد وضعت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع الأسس التالية كأساس ثابت يطبّق في الوقاية في المفاعلات النووية لإبعاد خطر الإصابة الإشعاعية وهي:

(أ) لا يسمح تحت أي شكل من الاشكال استخدام الإشعاع المؤين إذا كان هذا الإشعاع المؤين لا يقدم للإنسان أي فائدة بشكل نظيف.

---

(87) قصة الذرّة ــ مهندس وجيه السمان ــ سلسلة تبسيط العلوم ــ ص 432 ــ 438.

(ب) يجب أن تكون الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الجسم أقل من المستويات المسموح بها.

(ج) يجب أن لا تزيد الجرعة المكافئة (Equivalent Dose) التي يتعرض لها الإنسان عن القيمة المحددة من قبل المنظمات الدولية أو من قبل اللجان المؤهلة علمياً وقانونياً داخل البلد المستخدم للطاقة النووية[88] لذلك تم اعتماد مفهوم المجازفة أو المخاطرة (Risk) التي يتعرض لها الإنسان في حياته العامة، حيث اعتبرت نسبة المخاطرة للعاملين في المحطات النووية مساوية لقيمة المخاطرة التي يتعرض لها العاملون في أي مصنع أو مؤسسة إنتاجية بحيث لا تزيد قيمة هذه المخاطرة عن واحد في العشرة آلاف. أما بالنسبة للسكان القاطنين قرب المفاعلات النووية فيجب أن لا تزيد قيمة المخاطرة، عن قيمة المخاطرة العادية التي يمكن أن تواجه أي إنسان والمقدرة واحد على مليون.

هذا وبعد حادثة تشرنوبل في نيسان 1986، أبدت الجهود الدولية من قبل الوكالة الدولية للطاقة وعدد كبير من الدول والمنظمات الدولية ذات العلاقة بالطاقة النووية إلى الوصول لنتائج للتعاون المشترك في مجال درء الخطر الناتج عن المفاعلات النووية كان أهمها:

«تعميم المعلومات الخاصة بالحوادث النووية وأسبابها والتوقف عن اعتبارها معلومات خاصة بالبلد الذي يقع فيه الحادث» والهدف من هذا التعميم هو التحليل والدراسة للوصول إلى نتائج خاصة تزيد من طبيعة الإجراءات الوقائية. هذا وفي مجال إرساء قواعد ثابتة للسلامة النووية والوقاية من الإشعاع فقد اعتمدت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع المبدأين التاليين.

---

(88) الإشعاع الذرّي ــ دليل وطرق الوقاية ــ الأستاذ محمد جمعة ــ الدكتور صلاح الدين كمال ــ 1984 ــ دار الراتب ــ ص 125 ــ 129.

المبدأ الأول: المنفعة مقابل الضرر. وهذا يعني أن كل منفعة يمكن أن تعود على الإنسان من جرّاء استخدام الإشعاع أو التعرّض له يجب أن تقيم على ضوء الضرر الذي قد ينتج عنها.

المبدأ الثاني: أقل ما يمكن الوصول إليه بشكل معقول (As low as Reasonably Achievable) هذا وقد تبلور اتجاه لكي يمكن تحديد الجرعات الإشعاعية المسموح بها وما يترتب على ذلك من إجراءات لتقسيم السكان إلى ثلاث فئات رئيسية[89]:

(الفئة ـ أ): وتضم العاملين في المنشآت النووية.

(الفئة ـ ب): وهي مجموعة محددة من السكان على مقربة من هذه المنشآت، حيث يكون احتمال تعرضها للإشعاع أكثر من احتمال تعرّض باقي السكان.

(الفئة ـ جـ): وتضم بقية السكان الاعتياديين.

وقد تم تحديد مستوى الجرعات الإشعاعية لكل فئة على النحو التالي:

(فئة ـ أ): الجرعة الإشعاعية الرئيسية العظمى بحيث تكون هذه الجرعة أقصى ما يمكن أن يتعرّض له المنتمون لهذه الفئة دون أن تكون خطرة.

(فئة ـ ب): الجرعة المسموح بها.

(فئة ـ جـ): جرعات متدنية على مستوى الاختبار والفحص.

---

(89) إبراهيم بدران، هاني عبيد، ص 155.

10 ـ كيفية التعامل مع المفاعل بعد انتهاء فترة عمله:

يقدّر عمر المفاعل النووي بما يقارب عشرين عاماً، ويمكن أن تتضاعف هذه المدة إذا توفرت للمفاعل شروط العناية والصيانة الضرورية.

هذا وقد أعارت المنظمة الدولية للطاقة النووية والتي تتخذ من فينا مقراً لها، اهتمامها بكيفية إقفال المفاعلات النووية، حيث حددت ثلاث مراحل للعمل. يختار منها من تعود إليه ملكية المفاعل النووي المنوي إقفاله، أو إيقافه. بشرط أن تستخرج سلفاً النفايات النووية الموجودة داخل المفاعل. على أن تفرغ نسبة 90 % من المواد المشعّة، والموجودة في النفايات ضمن مهلة زمنية تقدّر بعامين من توقف المفاعل[90] (هذا في المرحلة الأولى).

في المقابل ينبغي تفريغ المفاعل تماماً من الوقود المشعّ لتبريده وإرساله لإعادة تحويله.

أما المرحلة الثانية: يتم تفكيك الأبنية والتجهيزات الفرعية الملحقة. في حين تضخ السوائل التي لم تسحب من المفاعل لمعالجتها حسب ما ورد بالنسبة للنفايات السائلة. أما الهيكل الأساسي للمفاعل فَيُعْمَلْ على فك مفاصله، حيث ينتزع ما يسهل تفكيكه من الأجزاء، فيما تختم بأحكام الأجزاء شديدة الإشعاع، أو التي يستعصى فكّها.

المرحلة الثالثة: تتمثل بإخلاء مطلق لا قيد فيه ولا شرط للمفاعل النووي، حيث يتم تفكيك ما لم يفكك بالمرحلة الثانية، وبحيث لا يتعدى خطورة النشاط الإشعاعي المستوى المسموح به دولياً. أما بالنسبة للأبنية المعقّمة من التلوّث فيمكن هدمها، أو إعادة استثمارها.

---

(90) استراتيجيا، عدد 64 ـ يونيو 1987. «حين يحال المفاعل النووي إلى التقاعد ـ النفايات النووية إلى أين»، ص 63.

فمن ناحية تقنية من الثابت أن تفكيك المفاعل النووي ليس بالامر الصعب أو المستعصي. كما أنه من المؤكد ليس هناك ثمة مخاطرة محتملة خلال مرحلة العمل ما دامت النفايات النووية قد فرغت من الداخل. غير أنه يبقى نشاطاً إشعاعياً في الداخل تعقد مهمة المختصين، بسبب بقايا النشاط الإشعاعي المترسبة في جوار الجوف وعلى الأسطح الداخلية للمفاعل. والتي تقتضي معالجتها قبل البدء في التفكيك.

هذا وقد أتاحت الخبرات العالمية إلى استخلاص بعض التوصيات في هذا المجال. إذ ثبت على سبيل المثال بأن تفكيك المفاعل قد يتم دون تعقيد أن وضع المصممون منذ البداية هذا الاحتمال، بحيث يغدو إخلاء أحواض المفاعل وأجزائه الضخمة أمراً يسيراً، فمثلاً إذا تم استخدام الخرق بدلاً من اللحام. أو إذا تم تخفيض نسبة (الكوبلت ـ 59) مما يؤدي إلى الحد من تحولّه إلى (كوبلت ـ 60) بحيث تنخفض تلقائياً نسبة النفايات المشعّة. يبقى موضوع النفايات المسألة المعقّدة التي يطرحها تفكيك المفاعل ولحسن الحظ أن التجهيزات المنتشرة في المفاعل النووي لا تتصف برمتها بالنشاط الإشعاعي، إذ يتألف المفاعل من خلايا وتجمعات حيث يتركز داخلها النشاط الإشعاعي فمثلاً قاعة الآلات ومحطة الضخ ومركز التحويل وبرج التبريد فلا يوجد فيها نشاطاً إشعاعياً يشكل خطراً.

فمثلاً من بين أربعمائة ألف طن من الإسمنت المسلّح التي تغطي مفاعل يعمل على مياه مكيّفة الضغط بقوة (130) ميغاوات هناك فقط بضعة مئات من الأطنان تتصف بالنشاط الإشعاعي وأربعمائة طن أخرى أقل نشاطاً. وإضافة إلى إسمنت يوجد كذلك الحديد والخردة والأنابيب الموجودة في جوف المفاعل، حيث تقدّر وكالة الطاقة النووية حجم هذه المواد الملوّثة يصل من ثمانية آلاف متر مكعب إلى اثني عشر ألف متر مكعب. ومن هنا تبرز أهمية إيجاد مراكز لتخزين هذه النفايات. هذا وقد اقترح مركز تطوير الطاقة الفرنسي لحل مثل هذه المشكلة، بطمر جوف المفاعل داخل بئر

عازل ومحكم الإغلاق مع الإبقاء على الصبغة النووية للموقع. أو يمكن تخفيف النفايات النووية الأقل إشعاعاً عبر إذابة الحديد ومزجه بحديد آخر غير مشعّ، كذلك عبر تفتيت الإسمنت وخلطه بإسمنت غير مشعّ أيضاً.

obeikandl.com