مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی
دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن
مسلسل: ۱۹۸۷۵ ■ تیر ۱۴۰۳

الزامات قانونی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور

بسم الله الرحمن الرحيم

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۴/۱۶

شماره مسلسل: ۱۹۸۷۵
کد موضوعی: ۳۱۰

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

عنوان گزارش:
الزامات قانون مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور

نوع گزارش: طرح/لایحه ☐، نظارتی ☐، راهبردی ■

نام دفتر:
مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه برق و هسته‌ای)

مدیر مطالعه:
ایمان رمضانی

تهیه و تدوین کنندگان:
منصور حداد، ایمان رمضانی

ناظر علمی:
حبیب‌اله ظفریان

اظهارنظرکنندگان:
مسعود رضایی، هومن غلامپور ارباستان (دفتر مطالعات زیربنایی)
محمدامین فخیمی جمیل (گروه برق و هسته‌ای)

گرافیک و صفحه آرایی:
نفیسه حاجی‌صفری

ویراستار ادبی:
سیده مرضیه موسوی راد

تاریخ شروع:
۱۴۰۲/۶/۱

واژه‌های کلیدی:
۱. پسماند ویژه
۲. انرژی هسته‌ای
۳. پرتو

دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن

فهرست مطالب

چکیده ۶
خلاصه مدیریتی ۷
۱. مقدمه ۸
۲. کلیاتی پیرامون پسماندهای پرتوزا و نحوه مدیریت آنها ۹
۳. مدیریت پسماندهای پرتوزا در دیگر کشورها ۱۳
۴. مدیریت پسماندهای پرتوزا در ایران ۱۶
۵. الزامات قانونگذاری در حوزه پسماندهای پرتوزا ۱۹
۶. جمع‌بندی ۲۲
منابع و مآخذ ۲۲

فهرست شکل

شکل ۱. نسبت حجم تولید انواع پسماندهای پرتوزا در جهان ۹
شکل ۲. موقعیت دفن انواع مختلف پسماندهای پرتوزا ۱۱
شکل ۳. سازوکار تعیین سیاست‌ها و راهبردهای مهم در مدیریت پسماندهای پرتوزا ۱۲

فهرست جدول

جدول ۱. موقعیت دفن پسماندهای هسته‌ای ۱۰
جدول ۲. حجم پسماندهای پرتوزا جامد ذخیره شده و دفن شده تا سال ۲۰۱۶ ..... ۱۲
جدول ۳. میزان و نحوه مدیریت پسماندهای پرتوزای جامد در مناطق مختلف جهان (سال ۲۰۱۶) ۱۳
جدول ۴. روند افزایش ظرفیت برق هسته‌ای کشور تا افق ۱۴۲۰ ..... ۲۰

الزامات قانونی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور

چکیده

کاربردهای مهم فناوری هسته‌ای در زمینه‌های مختلف انرژی، درمانی، صنعتی و کشاورزی، توجه به این فناوری و موضوعات مرتبط با آن را ایجاب می‌کند. یکی از موضوعات مهمی که در بهره‌مندی و توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای باید مورد توجه، برنامه‌ریزی، قانونگذاری و اقدام قرار گیرد، مدیریت پسماندهای پرتوزاست. بخش زیادی از کاربردهای فناوری هسته‌ای با تولید پسماندهای پرتوزا همراه است که در صورت عدم مدیریت آنها، برای انسان و محیط زیست مضر خواهند بود. پسماندهای پرتوزا با توجه به سطح مخاطرات آنها انواع مختلفی دارند و بسته به نوع پسماند، اقدامات و رویکردهای مدیریت آن متفاوت است. ازآنجایی که جمهوری اسلامی ایران نیز بهره‌برداری از کاربردهای صلح‌آمیز فناوری هسته‌ای را در دستور کار قرار داده، برنامه‌ریزی برای مدیریت ایمن پسماندهای پرتوزا ضروری است. با توجه به خلأهای قانونی موجود در حوزه مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور، در گزارش حاضر مهم‌ترین الزامات قانونگذاری مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا تشریح شـــده‌اند. ازجمله این الزامات می‌توان به هدف‌گذاری راهبردی برای توسعه صنعت هسته‌ای کشور، تعیین راهبردهای اصلی در شیوه‌های دفع پسماندهای پرتوزا، ایجاد نهاد نظارتی مستقل در زمینه ایمنی هســـته‌ای و جرم‌انگاری در زمینه اقدامات مخل مدیریت پسماندهای پرتوزا اشاره کرد.

خلاصه مدیریتی

بیان / شرح مسئله

کاربردهای گسترده و راهبردی فناوری هسته‌ای باعث شـــده تا بهره‌برداری از این فناوری مورد توجه بسیاری از کشورهای دنیا قرار گیرد. **یکی از مهم‌ترین نگرانی‌هایی که در بهره‌برداری از این فناوری مطرح اســـت، نحوه مدیریت پسماندهای پرتوزای ناشی از فعالیت‌های هسته‌ای است.** اگرچه این پسماندها مخاطرات بالقوه‌ای برای جامعه و محیط زیست دارند، اما در صورت مدیریت ایمن آنها، خطر جدی به‌همراه نخواهند داشت و بنابراین مانعی در مسیر توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای قلمداد نمی‌شوند. از آنجایی که ایران نیز به جرگه کشورهای دارای فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای پیوسته، توجه به رعایت الزامات مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور، از اهمیت زیادی برخوردار است.

نقطه‌نظرات / یافته‌های کلیدی

براساس میزان پرتوزایی، پسماندهای پرتوزا به چهار دسته پســـماندهای سطح بالا، پسماندهای سطح متوسط، پسماندهای سطح پایین و پسماندهای بسیار سطح پایین تقسیم می‌شوند. حدود ۹۰ درصد از حجم پســـماندهای پرتوزای تولیدی در جهان، مربوط به پسماندهای سطح پایین و بسیار سطح پایین است که مدیریت آنها چالش‌های جدی به‌همراه ندارد، اما **مدیریت پسماندهای سطح متوسط و سطح بالا (شامل سوخت مصرف‌شده راکتورهای هسته‌ای) که ۱۰ درصد از حجم پسماندهای تولیدی در جهان را تشکیل می‌دهند، نیازمند رعایت الزامات ویژه‌ای است.**

اکثر پسماندهای پرتوزا درنهایت در مخازن زیرزمینی خاصی دفن می‌شوند، اما از آنجایی که سوخت مصرف شده راکتورهای هسته‌ای محتوی مقادیر قابل توجهی سوخت هسته‌ای و برخی مواد ارزشمند دیگر است، طی فرایند بازفراوری قابلیت بازیافت دارد. **با بازفراوری سوخت مصرف شده، حجم پسماندهای سطح بالا کاهش یافته و به میزان قابل توجهی در مصرف سوخت هسته‌ای صرفه‌جویی می‌شود. به همین دلیل این رویکرد مورد توجه بسیاری از کشورهای هسته‌ای قرار گرفته است.**

بررسی تجربه سایر کشـــورها برای سیاستگذاری در زمینه پســـماندهای پرتوزا نشان‌دهنده توجه این کشـــورها به **تعیین سیاست‌ها و راهبردهای کلی برای مدیریت پسماندهای پرتوزا و همچنین پیش‌بینی منابع مالی مطمئن برای این منظور** است. برای مثال در کشور فرانسه که حدود ۷۰ درصد از برق مورد نیاز خود را از طریق انرژی هسته‌ای تأمین می‌کند، سیاست اصلی در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا شامل بازفراوری سوخت مصرف شده و سپس دفن زیرزمینی عمیق پسماندهای سطح بالاست. پسماندهای سطح پایین و سطح متوسط نیز برای دفن نهایی به مخازن سطحی منتقل می‌شوند.

اگرچه مدیریت ایمن پســـماندهای پرتوزا به‌صراحت در اسناد بالادستی کشـــور ذکر نشـــده، اما این مهم در برخی اسناد مرتبط با مسائل زیست‌محیطی قابل برداشت است. نیروگاه اتمی بوشهر، تأسیسات چرخه سوخت هسته‌ای، راکتورهای تحقیقاتی، مراکز پزشکی هسته‌ای و صنایع استفاده‌کننده از مواد پرتوزا، منابع اصلی تولید پسماند پرتوزا در ایران هستند. **طبق اساسنامه شرکت مدیریت پسماندهای پرتوزای ایران، این شرکت متولی اصلی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور است.**

در حوزه قوانین نیز برخی قوانین همچون قانون حفاظت در برابر اشعه، قانون هوای پاک و قانون مجازات قاچاق اسلحه و مهمات و دارندگان سلاح و مهمات غیرمجاز، الزاماتی را در مورد مواد پرتوزا وضع کرده‌اند، اما مشـــخصاً به بحث پسماندهای پرتوزا اشاره نکرده‌اند. به‌طور کلی **بررسی قوانین مرتبط با این موضوع حاکی از وجود برخی خلأهای قانونی در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزاست.** از جمله این خلأها می‌توان به عدم تعیین راهبردهای کلی کشور در زمینه توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای و مدیریت پسماندهای پرتوزا، عدم پیش‌بینی منابع مالی برای تأمین هزینه‌های مدیریت پسماندهای پرتوزا و نبود صلاحیت قانونی لازم برای نهادهای نظارتی به‌منظور نظارت بر ایمنی مدیریت پسماندهای پرتوزا اشاره کرد.

پیشنهاد راهکار تقنینی، نظارتی یا سیاستی

مطابق با توصیه‌های مراجع بین‌المللی و تجارب کشورهای توسعه‌یافته در زمینه استفاده از فناوری هسته‌ای، **مدیریت پسماندهای پرتوزا**

به‌دلیل برخی ملاحظات مهم، نیازمند سیاستگذاری، قانونگذاری و همچنین ایجاد تکالیف، صلاحیت‌ها و مجازات‌های قانونی متناسب است. با توجه به کاستی‌های موجود در حوزه قانونگذاری برای مدیریت پسماندهای پرتوزا و نظر به اهمیت این موضوع در سلامت جامعه، حفظ محیط زیست و رعایت حقوق نسل‌های آینده، مهم‌ترین الزامات قانونگذاری قابل پیشنهاد در حوزه مدیریت پسماندهای پرتوزا شامل هدف‌گذاری **راهبردی برای توسعه صنعت هسته‌ای کشور، تعیین راهبردهای اصلی در شیوه‌های دفع پسماندهای پرتوزا، ایجاد نهاد نظارتی مستقل در زمینه ایمنی هسته‌ای و جرم‌انگاری در زمینه اقدامات مخل مدیریت پسماندهای پرتوزا** هستند.

۱. مقدمه

فناوری هسته‌ای کاربردهای مهم و گسترده‌ای در حیطه‌های مختلف علمی، صنعتی، پزشکی، کشاورزی و انرژی دارد. یکی از کاربردهای بسیار مهم و رایج فناوری هسته‌ای، تولید انرژی است. انرژی هسته‌ای، به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین انرژی در جهان، از چند دهه گذشته تا به امروز مورد توجه بسیاری از کشورها به‌خصوص کشورهای توسعه‌یافته و در سالیان اخیر، مورد توجه کشورهای در حال توسعه قرار گرفته است، به‌گونه‌ای که اکنون در حدود ۱۰ درصد از برق تولیدی در جهان، توسط نیروگاه‌های هسته‌ای تولید می‌شود. این منبع مهم انرژی به‌دلیل مزیت‌های مهمی همچون عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با منابع مرسوم انرژی (زغال سنگ، نفت و گاز)، سهم قابل توجهی از سبد انرژی برخی کشورها را به‌خود اختصاص داده است. به‌نحوی که فرانسه ۷۰/۶ درصد، کره جنوبی ۲۹/۶ درصد، روسیه ۲۰/۶ درصد، آمریکا ۱۹/۷ درصد، انگلستان ۱۴/۵ درصد و چین ۴/۹ درصد از سبد تولید برق خود را به انرژی هسته‌ای اختصاص داده‌اند. طبق پیش‌بینی اغلب مؤسسه‌های بین‌المللی معتبر، تا سال ۲۰۵۰ میزان برق تولیدشده از انرژی هسته‌ای تا حدودی افزایش خواهد یافت و این افزایش عمدتاً در کشورهای آسیایی از جمله چین و هندوستان خواهد بود [۱]. در کنار استفاده نیروگاهی از فناوری هسته‌ای به‌منظور تولید انرژی، جنبه‌های غیرنیروگاهی این فناوری نیز کاربردهای متنوعی در صنعت، پزشکی و کشاورزی دارد. کاربردهایی که به‌صورت مداوم و با پیشرفت علوم هسته‌ای و شناسایی جنبه‌های مختلف قابل استفاده آنها، در حال افزایش و توسعه است.

اغلب کاربرد فناوری هسته‌ای معطوف به فعالیت‌هایی است که یا مستقیماً از مواد پرتوزا استفاده می‌کنند (مانند کاربردهای پزشکی و کشاورزی) یا نتیجه آن تولید گسترده مواد پرتوزاست (مانند تولید برق هسته‌ای). مواد پرتوزا به‌دلیل واپاشی و تولید ذرات پرانرژی، مواد خطرناکی برای انسان و طبیعت به‌شمار می‌آیند. زیرا ذرات حاصل از واپاشی می‌توانند با نفوذ به ساختار بدن انسان، سلول‌های بدن انسان را تخریب و عامل ایجاد بیماری‌های مختلف از جمله سرطان شوند. همچنین می‌توانند گونه‌های زیستی را با آسیب به بافت‌های حیاتی آنها نابود کنند. بنابراین یکی از موضوعات مهم در استفاده از فناوری هسته‌ای، مدیریت مواد پرتوزا به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های آنهاست. مدیریت این مواد تحت عنوان «مدیریت پسماندهای هسته‌ای»[1] یا «مدیریت پسماندهای پرتوزا»[2] در تمامی کشورهای دارای فناوری هسته‌ای به‌عنوان یکی از موضوعات حیاتی مطرح شده و مورد توجه قرار گرفته است.[3]

در گزارش حاضر پس از بیان کلیاتی در مورد انواع پسماندهای پرتوزا، اقدامات و شیوه‌های مهم در مدیریت آنها، به بررسی اجمالی سیاست‌های مدیریت پسماندهای پرتوزا در برخی کشورهای هسته‌ای منتخب پرداخته شده است. سپس اسناد بالادستی، قوانین موجود و اقدامات اجرایی مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا تبیین شده و درنهایت نیازها و الزامات مرتبط با حوزه قانونگذاری مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور ذکر شده است.

1.Nuclear Waste Management

2.Radioactive Waste Management

۳. شایان ذکر است هرچند پسماندهای پرتوزا موادی خطرناک برای انسان و محیط زیست هستند و مدیریت آنها هزینه‌براست، اما آلودگی تولید شده برای تولید برق هسته‌ای در مقایسه با روش‌های دیگر تولید برق همچون استفاده از سوخت‌های فسیلی بسیار کمتر است. همچنین برخلاف سوخت‌های فسیلی، آلودگی حاصل از پسماندهای پرتوزا به‌طور کامل قابل مدیریت و کنترل است و علاوه‌بر آن پسماندهای پرتوزا قابل بازفراوری و استفاده مجدد هستند.

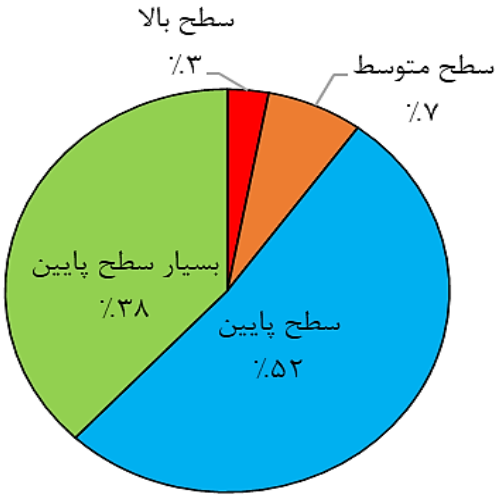
۲. کلیاتی پیرامون پسماندهای پرتوزا و نحوه مدیریت آنها

پسماندهای پرتوزا شامل تمامی موادی هستند که یا خود پرتوزا هستند یا به‌دلیل حضور در کنار مواد پرتوزا، به تشعشات هسته‌ای آلوده شده‌اند و دیگر قابل استفاده نیستند. درواقع بیش از ۶۰ سال تجربه استفاده از انرژی هسته‌ای در کاربردهای صلح‌آمیز نشان داده در صورت مدیریت و دفع صحیح پسماندهای پرتوزا، هیچ مشکل جدی بهداشتی یا زیست‌محیطی ایجاد نشده و این مواد خطر واقعی برای عموم مردم ندارند.[۱] اقدامات و ملاحظات مهمی که در مدیریت پسماندهای پرتوزا در نظر گرفته می‌شود بسته به نوع و حجم مواد متفاوت است. بااین‌حال برخی اقدامات و ملاحظات به‌صورت عام در مورد تمام پسماندهای پرتوزا باید در نظر گرفته شود [۲]. در ادامه ابتدا به معرفی انواع پسماندهای پرتوزا پرداخته شده و سپس اقدامات، سیاست‌ها و راهبردهای مهم در مدیریت پسماندهای پرتوزا تشریح خواهد شد.

۲-۱. انواع پسماندهای پرتوزا

طبقه‌بندی پسماندهای پرتوزا براساس ویژگی‌های مواد پرتوزا انجام می‌شود. پسماندهای پرتوزا را می‌توان براساس نیمه عمر[۲] یا شدت پرتوزایی دسته‌بندی کرد. در تقسیم پسماندهای پرتوزا براساس نیمه عمر،[۳] پسماندهایی که دارای نیمه عمر کمتر از ۳۱ سال باشند را «کوتاه عمر»[۴] و پسماندهایی که نیمه عمری بیش از ۳۱ سال دارند را «بلندعمر»[۵] می‌نامند. براساس شدت پرتوزایی نیز پسماندهای پرتوزا در چهار دسته پسماندهای سطح بالا،[۶] پسماندهای سطح متوسط،[۷] پسماندهای سطح پایین[۸] و پسماندهای بسیار سطح پایین[۹] تقسیم می‌شوند که نسبت حجم تولید هریک در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱. نسبت حجم تولید انواع پسماندهای پرتوزا در جهان



Source: International Atomic Energy Agency (IAEA), Status and rends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, 2022.

۱. این درحالی است که استفاده از سوخت‌های فسیلی با مخاطرات زیست‌محیطی جدی همراه است. برای مثال، اگر حدود ۱۰ درصد برق تأمین‌شده سالیانه توسط انرژی هسته‌ای با گاز (که تا حد زیادی پاک‌ترین سوخت فسیلی در حال سوختن است) جایگزین می‌شد، ۱۳۰۰ میلیون تن کربن دی اکسید بیشتری در جو منتشر می‌شد.

۲. مدت زمانی است که مقدار ماده پرتوزا بر اثر واپاشی به نصف مقدار اولیه خود کاهش یابد.

3. Half life
4. Short Half-Lives
5. Long Half-Lives
6. High-level waste
7. Intermediate-level waste
8. Low-level waste
9. Very low-level waste

پسماندهای سطح بالا به‌دلیل سطح پرتوزایی زیاد، گرمای زیادی تولید می‌کنند و لذا نگهداری آنها الزامات خاصی (ازجمله خنک‌کننده و حفاظ) را می‌طلبد. این پسماندها شامل سوخت مصرف شده راکتورهای هسته‌ای و مواد جداشده از بازفراوری سوخت مصرف شده هستند. پسماندهای سطح بالا تنها ۳ درصد از حجم پسماندهای تولید شده در جهان را تشکیل می‌دهند، اما ۹۵ درصد از کل پرتوزایی پسماندهای جهان مربوط به این نوع پسماند است [۳]. به‌دلیل مخاطراتی که این نوع پسماندها دارند، مدیریت مناسب پسماندهای سطح بالا مستلزم توجه ویژه‌ای است.

پسماندهای سطح متوسط پرتوزایی نسبتاً بالایی دارند، اما گرمایی که تولید می‌کنند به اندازه‌ای نیست که برای ذخیره‌سازی و دفن آنها به تأسیسات خاصی نیاز باشد. بااین‌حال در مقایسه با پسماندهای سطح پایین نیاز به محافظت بیشتری دارند. این پسماندها معمولاً شامل رزین‌ها، روکش فلزی سوخت و همچنین مواد آلوده ناشی از برچیدن راکتورهای هسته‌ای هستند و حدود ۷ درصد از حجم کل پسماندهای پرتوزای جهان را تشکیل می‌دهند و ۴ درصد از پرتوزایی کل پسماندهای پرتوزا مربوط به این پسماندهاست.

پسماندهای سطح پایین نیز بیشتر در کاربردهای پزشکی و صنعتی و در چرخه سوخت هسته‌ای به‌وجود می‌آیند. آنها شامل وسایل و ابزاری همچون کاغذ، پارچه، قطعات، لباس و ملزوماتی است که مقدار اندکی از مواد پرتوزا با نیمه عمر کوتاه را در خود نگه داشته‌اند. برای کاهش حجم این پسماندها، اغلب قبل از دفن، فشرده یا سوزانده می‌شوند. پسماندهای سطح پایین حدود ۵۲ درصد از حجم، و تنها ۱ درصد از پرتوزایی پسماندهای پرتوزای جهان را شامل می‌شوند. این پسماندها در حین جابه‌جایی و حمل‌ونقل نیازی به محافظ ندارند و دفن آنها در تأسیسات نزدیک به سطح زمین امکان‌پذیر است.

پسماندهای بسیار سطح پایین هم حاوی مواد پرتوزا در سطحی هستند که برای افراد یا محیط اطراف مضر تلقی نمی‌شوند. این پسماندها عمدتاً از مصالح ساختمانی تشکیل شده که در طی عملیات بازسازی یا برچیدن سایت‌های هسته‌ای تولید می‌شوند. در سایر صنایع (مانند صنایع غذایی، شیمیایی، فولاد و غیره) نیز این پسماندها درنتیجه وجود پرتوزایی طبیعی در مواد معدنی خاص به‌وجود می‌آیند. بنابراین در اغلب کشورها این پسماندها همچون زباله‌های خانگی دفن می‌شوند.

۲-۲. اقدامات مهم در مدیریت پسماندهای پرتوزا

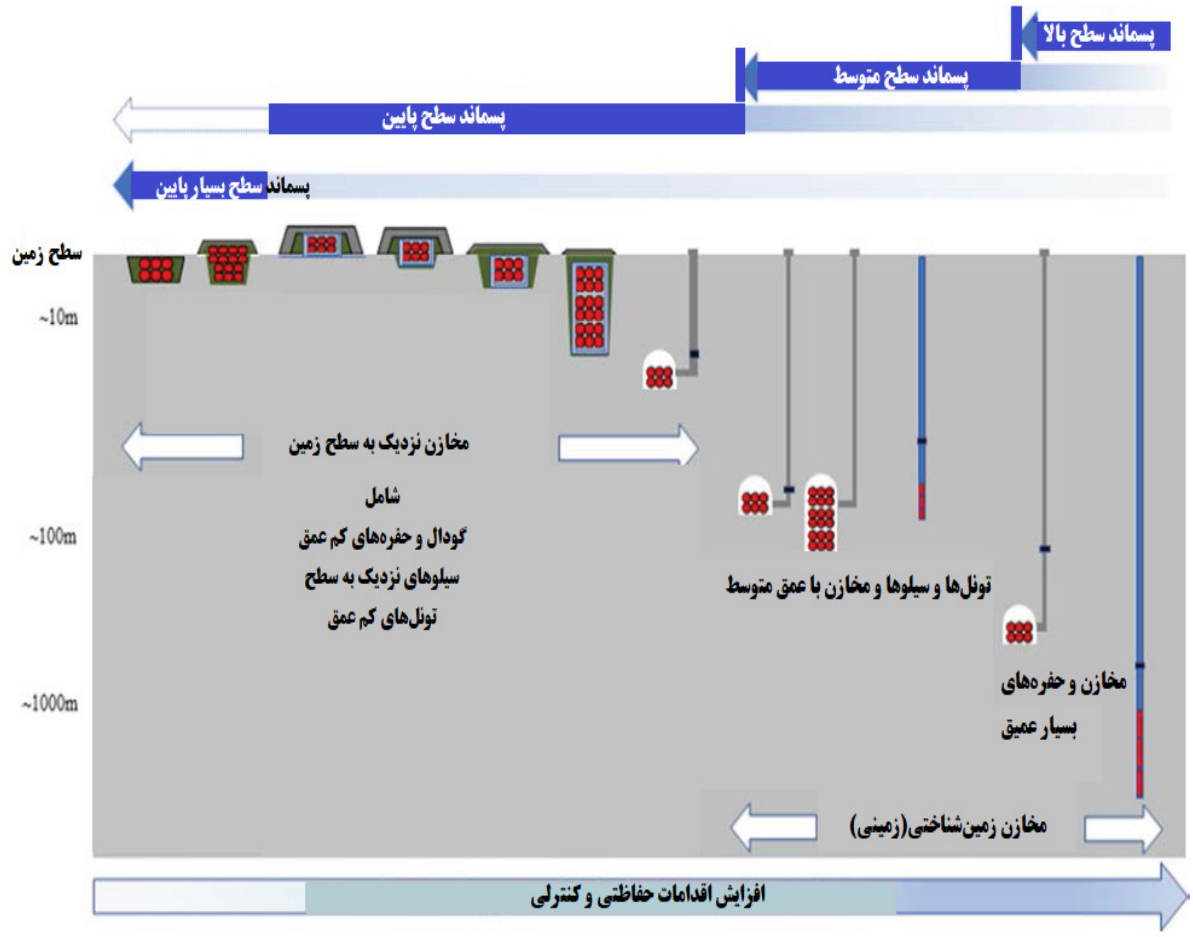
مدیریت پسماندهای پرتوزا شامل اقداماتی است که بتواند تمامی پسماندها را براساس ویژگی‌های خاص آنها مدیریت کند. فرایند مدیریت پسماند شامل جداسازی، تصفیه، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و دفن است. اکثر پسماندهای پرتوزا سطح پایین معمولاً بلافاصله پس از جداسازی برای دفن طولانی مدت به مخازن دفن زیرزمینی منتقل می‌شوند. برای سوخت مصرف شده در راکتورها که به‌عنوان پسماند پرتوزای سطح بالا دسته‌بندی می‌شود، اولین گام ذخیره سازی است تا سطح پرتوزایی آن کمتر شود. در مراحل بعد نیز دفن در اعماق زمین یا بازفراوری امکان‌پذیر است. سوخت‌های مصرف شده‌ای که مستقیما دفن نمی‌شوند، می‌توانند برای بازیافت اورانیوم و پلوتونیم موجود در آن دوباره بازفراوری شوند. پسماندهای پرتوزای سطح متوسط که حاوی رادیو ایزوتوپ‌های با عمر طولانی هستند نیز در مخزن‌های زیرزمینی ذخیره می‌شوند. در برخی کشورها پسماندهای سطح متوسط حاوی ایزوتوپ‌های پرتوزا با عمر کوتاه را در مخازن نزدیک به سطح زمین (مشابه پسماندهای سطح پایین) دفن می‌کنند. با توجه به آنچه گفته شد، خلاصه‌ای از انواع روش‌های متداول دفن پسماندهای پرتوزا در جدول ۱ ذکر شده و همچنین موقعیت دفن انواع پسماند پرتوزا نیز در شکل ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۱. موقعیت دفن پسماندهای هسته‌ای

موقعیت دفن	نوع پسماند	مثال
دفن در سطح زمین یا در عمق حدود ۱۰ متر	پسماندهای سطح پایین یا پسماندهای سطح متوسط کوتاه عمر	• برای پسماندهای سطح پایین در بسیاری از کشورها ازجمله جمهوری چک، فنلاند، فرانسه، ژاپن، هلند، اسپانیا، سوئد، انگلستان و ایالات متحده آمریکا اجرا شده است. • در فنلاند و سوئد برای پسماندهای سطح متوسط و سطح پایین با عمر کوتاه نیز اجرا شده است.
دفن در عمق بین ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر	پسماندهای سطح متوسط با عمر طولانی و پسماندهای سطح بالا (ازجمله سوخت مصرف شده راکتورها)	• اکثر کشورها به بررسی دفن زیرزمینی عمیق پرداخته‌اند و سیاست رسمی در چندین کشور است. • در ایالات متحده برای پسماندهای مربوط به کاربردهای نظامی اجرا شده است. • تأسیسات سایت‌های انتخاب شده در فرانسه، سوئد و ایالات متحده آمریکا در حال ساخت است. • فرایند انتخاب مکان مخزن زیرزمینی در بریتانیا و کانادا آغاز شده است.

مأخذ: تلخیص نگارنده.

شکل ۲. موقعیت دفن انواع مختلف پسماندهای پرتوزا



Source: International Atomic Energy Agency (IAEA), Status and rends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, 2022.

سوخت مصرف شده راکتورهای هسته‌ای حاوی برخی مواد ارزشـــمند مانند اورانیوم و پلوتونیم است که از طریق فرایند بازفراوری قابلیت بازیافت دارند. سالیان متمادی است که سوخت هسته‌ای استفاده شده در راکتورها به‌منظور بازیافت و کاهش حجم پسماند پرتوزای سطح بالا مجدداً بازفراوری می‌شود. چندین کشور اروپایی و همچنین روسیه، چین و ژاپن سیاست‌های مشخصی برای بازفراوری سوخت هسته‌ای مصرف شده دارند.

بازفراوری سوخت مصرف شده باعث صرفه‌جویی در مصرف اورانیوم شده و به‌طور قابل‌توجهی حجم پسماندهای پرتوزای سطح بالا را کاهش می‌دهد. به همین دلیل استفاده از این فناوری مورد توجه بسیاری از کشورهای هســـته‌ای قرار گرفته است. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تخمین می‌زند که از ۳۹۰,۰۰۰ تن مجموع سوخت مصرف شده برای تولید برق هسته‌ای تا کنون، حدود ۳۳ درصد آن بازفراوری شده است. حجم پسماندهای پرتوزای سطح بالا ذخیره‌سازی شده در جهان تقریباً ۲۹,۰۰۰ مترمکعب تخمین زده می‌شود که این حجم تقریباً معادل یک ساختمان با ارتفاع سه متری است که مساحتی به اندازه یک زمین فوتبال را پوشش می‌دهد [۳]. تخمین آژانس بین‌المللی انرژی اتمی از میزان انواع پسماندهای ذخیره‌سازی شده و دفن شده تا پایان سال ۲۰۱۶ در جدول ۲ ارائه شده است. طبق جدول، تاکنون پسماندهای پرتوزای سطح بالا (سوخت مصرف‌شده راکتورها) دفن نشده‌اند[۱] که به‌نظر می‌رسد علت اصلی این مسئله، وجود مواد ارزشمند (ازجمله سوخت اورانیوم و پلوتونیم) در این پسماندها و برنامه کشورها برای بازفراوری احتمالی آنها باشد.

۱. این پسماندها در سطح زمین (در استخرهای سوخت مصرف شده و مخازن خشک) نگهداری و پایش می‌شوند.

جدول ۲. حجم پسماندهای پرتوزا جامد ذخیره شده و دفن شده تا سال ۲۰۱۶ (مترمکعب)

	حجم پسماندهای پرتوزا جامد ذخیره شده	حجم پسماندهای پرتوزا جامد دفن شده	درصد پسماندهای دفن شده به کل پسمانده‌ا
پسماندهای بسیار سطح پایین	۲,۹۱۸,۰۰۰	۱۱,۸۴۲,۰۰۰	٪۸۰
پسماندهای سطح پایین	۱,۴۷۱,۰۰۰	۱۸,۴۹۹,۰۰۰	٪۹۲
پسماندهای سطح متوسط	۲,۷۴۰,۰۰۰	۱۳۳,۰۰۰	٪۵
پسماندهای سطح بالا	۲۹,۰۰۰	۰	٪۰

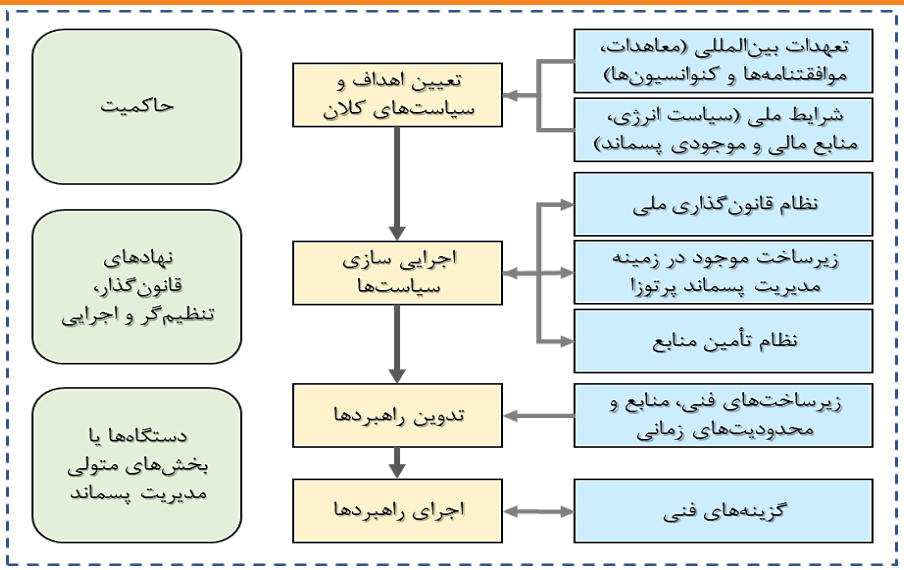
مأخذ: همان.

طی سالیان اخیر برخی روش‌های نوین برای مدیریت پسماندهای پرتوزا نیز در حال توسعه هستند که توجه به آنها برای سیاستگذاری در این زمینه حائز اهمیت است. یکی از این روش‌ها، استفاده از شتاب‌دهنده‌های ذرات[1] برای تبدیل پسماندهای پرتوزای با عمر طولانی به مواد پرتوزا با عمر کوتاه‌تر است. این کار باعث می‌شود مدیریت و دفن نهایی این پسماندها آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر باشد. روش دیگر نیز استفاده از نسل‌های جدید راکتورهای هسته‌ای است که تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف سوخت هسته‌ای داشته و منجر به تولید حجم کمتری پسماند پرتوزا می‌شوند. از جمله این راکتورها، راکتور زاینده سریع[2] است که با مصرف بخشی از پسماند به‌عنوان سوخت، حجم کل پسماندهای پرتوزا را کاهش می‌دهند. این گونه راکتورها اغلب بازفراوری سوخت مصرف شده را به‌همراه دارند که این مهم بر اهمیت بازفراوری سوخت هسته‌ای تأکید می‌کند.

۳-۲. سیاست‌ها و راهبردهای مهم در مدیریت پسماندهای پرتوزا

با توجه به اهمیت مدیریت پسماندهای پرتوزا برای بهره‌برداری ایمن از کاربردهای فناوری هسته‌ای، تعیین سیاست‌ها و راهبردهای هر کشور در این زمینه ضروری است. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نیز بر این موضوع تأکید کرده است. طبق سازوکار پیشنهادی این نهاد، سیاست‌های کلان در زمینه مدیریت پسماند، توسط حاکمیت تعیین شده و مجموعه‌ای از اهداف را مشخص می‌کند که مدیریت ایمن و کارآمد پسماند را تضمین می‌کند. سپس مجریان مربوطه باید راهبردهای مناسبی را برای دستیابی به این اهداف ایجاد کنند [۴]. سازوکار پیشنهادی به‌منظور ایجاد یک راهبرد و سیاست مشخص برای مدیریت پسماندهای پرتوزا در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. سازوکار تعیین سیاست‌ها و راهبردهای مهم در مدیریت پسماندهای پرتوزا



Source: International Atomic Energy Agency (IAEA), Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, 2009.

۱. شتاب‌دهنده‌های ذرات تجهیزاتی هستند که ذرات اتم‌ها را تا سرعت‌های بسیار زیادی شتاب می‌دهند. برخورد این ذرات پرسرعت به مواد مختلف باعث تغییر در ساختار مواد می‌شود.

2. Fast Breeder Reactor

یکی از مواردی که باید قبل از تعیین راهبردهای اساسی در مدیریت پسماند مشخص شود، پیش‌بینی و تأمین منابع مورد نیاز است. هزینه مدیریت و دفن پسماندهای نیروگاه‌های هسته‌ای معمولاً حدود ۵ درصد از کل هزینه برق تولیدی را دربرمی‌گیرد. دولت‌ها برای اکثر تأسیسات هسته‌ای عوارضی را برای مدیریت پسماندهای پرتوزا در نظر می‌گیرند. برای مثال ۰/۱ سنت در هر کیلووات ساعت در ایالات متحده و ۰/۱۴ سنت یورو در هر کیلووات ساعت در فرانسه به‌منظور مدیریت و دفن پسماندهای پرتوزا اختصاص می‌یابد. به‌طور کلی کشورها از سه راهکار مختلف برای تأمین منابع مالی مدیریت پسماندهای پرتوزا استفاده می‌کنند که عبارتند از:

- **لحاظ در صورت‌های مالی:** مبالغی برای پوشش هزینه‌های مدیریت پسماند در صورت‌های مالی شرکت بهره‌بردار از تأسیسات هسته‌ای به‌عنوان بدهی منظور می‌شود تا اطمینان حاصل شود که منابع مالی کافی برای مدیریت پسماند پیش‌بینی شده است.
- **ایجاد صندوق داخلی در شرکت:** منابع مالی مورد نیاز برای مدیریت پسماند در طول عمر عملیاتی تأسیسات هسته‌ای به صندوق خاصی در شرکت بهره‌بردار تزریق می‌شود.
- **ایجاد صندوق در خارج از شرکت:** این صندوق در خارج از ساختار شرکت اداره می‌شود و اغلب توسط دولت یا گروهی از متولیان مستقل اداره می‌شود. قوانین مدیریت این گونه صندوق‌ها نیز متفاوت است. برخی از کشـــورها فقط اجازه می‌دهند از منابع صندوق برای مدیریت پسماند استفاده شود، درحالی که برخی دیگر به شرکت‌های بهره‌بردار اجازه می‌دهند برای سرمایه‌گذاری در طرح‌های خود، بخشی از منابع صندوق را در قالب تسهیلات دریافت کنند.

۳. مدیریت پسماندهای پرتوزا در دیگر کشورها

بررسی تجربه سایر کشورها برای سیاستگذاری در زمینه پسماندهای پرتوزا در کشور حائز اهمیت است. ازاین‌رو در ادامه به بررسی مدیریت پسماندهای پرتوزا در برخی کشورهای هسته‌ای پرداخته می‌شود. در جدول ۳، آمار کلی از میزان پسماندهای موجود در مناطق مختلف جهان و نحوه مدیریت آنها ذکر شده است. ملاحظه می‌شود که اکثر پسماند پرتوزای سطح بسیار پایین و پایین جهان در قاره آمریکا تولید شده‌اند [۵]. در مورد سایر انواع پسماند (سطح متوسط و بالا) هم قاره اروپا رتبه نخست را دارد. مهم‌ترین عامل در این زمینه، میزان توسعه فناوری هسته‌ای در کشورهای هر منطقه است. به‌عبارت‌دیگر، کشورهایی که از بیشترین بهره‌برداری را از کاربردهای مختلف فناوری هسته‌ای انجام می‌دهند، پسماند پرتوزای بیشتری تولید کرده و در کشورهایی که استفاده از فناوری هسته‌ای در آنها چندان توسعه نیافته، تولید پسماندهای پرتوزا کمتر است. در ادامه کلیاتی در مورد مدیریت پسماند در برخی کشورهای منتخب (شامل سیاست‌های اصلی، نهادهای مسئول و منابع مالی) ارائه خواهد شد.

جدول ۳. میزان و نحوه مدیریت پسماندهای پرتوزای جامد در مناطق مختلف جهان (سال ۲۰۱۶) (مترمکعب)

نحوه نگهداری	منطقه	نوع پسماند			
		بسیار سطح پایین	سطح پایین	سطح متوسط	سطح بالا
ذخیره‌سازی در مخازن	آفریقا	۱۴,۰۰۰	۲۵,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰
	آمریکا	۲,۳۰۹,۰۰۰	۳۰۳,۰۰۰	۸۵,۰۰۰	۶,۰۰۰
	آسیا	۳۵۰,۰۰۰	۲۴۹,۰۰۰	۶۹,۰۰۰	۶,۰۰۰
	اروپا	۲۴۵,۰۰۰	۸۹۰,۰۰۰	۲,۵۸۳,۰۰۰	۲۲,۰۰۰
	اقیانوسیه	۰	۴,۰۰۰	۰	۰
دفن در زمین	آفریقا	۰	۱۴,۰۰۰	۰	۰
	آمریکا	۱۱,۰۴۱,۰۰۰	۱۵,۳۹۲,۰۰۰	۹۱,۰۰۰	۰
	آسیا	۸۰۰	۶۷,۰۰۰	۰	۰
	اروپا	۳۶۹,۰۰۰	۳,۰۰۲,۰۰۰	۴۳,۰۰۰	۰
	اقیانوسیه	۴۳۲,۰۰۰	۲۴,۰۰۰	۰	۰

Source: International Atomic Energy Agency (IAEA), Status and rends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, 2022.

فرانسه

حدود ۷۰ درصد از تولید برق فرانسه از نیروگاه‌های هســـته‌ای (حدود ۶۱ گیگاوات ظرفیت) تأمین می‌شود. این کشور سیاست بازفراوری سوخت مصرف شده را دنبال می‌کند. مدیریت پسماندهای پرتوزا در فرانسه طبق قانون برنامه مدیریت مواد هسته‌ای و پسماند[1] مصوب سال ۲۰۰۶ ساماندهی می‌شود که دفن زیرزمینی عمیق را به‌عنوان راه‌حل اصلی برای پسماندهای سطح بالا با عمر طولانی تعیین کرده است. در این کشور طرح ملی مدیریت مواد پرتوزا و پسماند هر سه سال یک‌بار به روز می‌شود. پسماندهای سطح پایین و سطح متوسط کوتاه عمر نیز برای دفن نهایی به مخزن سطحی پسماند آژانس ملی مدیریت پسماند پرتوزا[2] منتقل می‌شوند. علاوه‌بر این، مرکز دفن پسماند موروِیلیرز[3] یک مرکز اختصاصی برای پسماندهای بسیار سطح پایین است که از سال ۲۰۰۳ در حال فعالیت است.

مدیریت پسماندهای پرتوزا در فرانسه به نهادهای مختلفی وابسته است. مجری اصلی این گونه فعالیت‌ها، آژانس ملی مدیریت پسماندهای رادیواکتیو (ANDRA) بوده که ذیل وزارت محیط زیست، انرژی و امور دریایی[4] فعالیت می‌کند. نهاد تنظیم‌گر مربوطه نیز سازمان ایمنی هسته‌ای فرانسه (ASN) است که وظیفه تنظیم مقررات مرتبط با مدیریت پسماند و صدور مجوز را برعهده دارد. کمیسیون ملی ارزیابی پسماندهای پرتوزا (CNE) نیز یک نهاد تحقیقاتی است که وضعیت پسماندهای پرتوزا در کشور فرانسه را پایش کرده و گزارش‌های سالیانه‌ای در این زمینه در اختیار پارلمان و عموم مردم قرار می‌دهد. در فرانسه به‌ازای هر کیلووات ساعت برق هسته‌ای، ۰٫۱۴ سنت یورو برای مدیریت پسماندها و تأمین هزینه‌های برچیدن نیروگاه‌ها در نظر گرفته می‌شود. مثلاً در سال ۲۰۲۰ فرانسه حدود ۳۳۸ تراوات ساعت برق هسته‌ای تولید کرده که هزینه مدیریت پسماند آن حدود ۴۷۳ میلیون یورو خواهد شد.

آمریکا

حدود ۲۰ درصد از تولید برق ایالات متحده از نیروگاه‌های هسته‌ای (با حدود ۹۶٫۸ گیگاوات ظرفیت) تأمین می‌شود. سیاست ایالات متحده از سال ۱۹۷۷ ممنوعیت بازفراوری سوخت مصرف شده راکتورهای غیرنظامی[5] و تلقی همه سوخت مصرف شده به‌عنوان پسماند سطح بالاست که دولت، مسئول دفن این پسماند در مخازن زمینی است. طبق قانون سیاست پسماند هسته‌ای مصوب سال ۱۹۸۲،[6] وزارت انرژی ایالات متحده مسئول دفع پسماندهای سطح بالا و سوخت مصرف شده است. در سال ۲۰۰۲، مجلس سنای آمریکا توسعه یک مخزن دفن پسماند در کوه یوکا[7] را تصویب کرد. این طرح در سال‌های بعد به‌دلیل نگرانی‌های عمومی در رابطه با ایمنی آن متوقف و کمیته‌ای تخصصی برای ارائه پیشنهادهای جایگزین ایجاد شد. تأخیر در ساخت مخزن موجب شد که نیروگاه‌های هسته‌ای نتوانند طبق قانون ۱۹۸۲ سوخت مصرف‌شده خود را دفن کنند، بنابراین خسارت‌هایی برای جبران برخی از هزینه‌های ذخیره‌سازی همچون ساخت مخازن مربوطه متحمل شدند و لذا حدود ۵/۳ میلیارد دلار تا سپتامبر سال ۲۰۱۵ به شرکت‌های تولید برق هسته‌ای از این بابت خسارت پرداخت شد. براساس قراردادهای جدید وزارت انرژی ایالات متحده، شرکت‌های سازنده راکتورهای جدید باید متعهد شوند که سوخت مصرف‌شده را به‌طور نامحدود در محل تولید ذخیره کنند و وزارت انرژی دفن سوخت مصرف‌شده را ظرف ۲۰ سال پس از اولین سوخت‌گیری آغاز خواهد کرد. درنهایت گزارش کمیته تخصصی به کنگره در سال ۲۰۱۲، توسعه ذخیره سازی موقت متمرکز را توصیه کرد و سازمان جدیدی را خارج از وزارت انرژی برای مدیریت سوخت مصرف شده ایالات متحده ایجاد کرد.

کمیسیون تنظیم مقررات هسته‌ای (NRC) و آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA)، نقش تنظیم‌گران اصلی امور مربوط به پسماندهای پرتوزا در ایالات متحده را ایفا می‌کنند. مســـئولیت اصلی در مدیریت پســـماندهای پرتوزا نیز با وزارت انرژی این کشور است. برای تأمین هزینه‌های مدیریت پسماند، مصرف‌کنندگان برق به‌ازای هر کیلووات ســـاعت برق هسته‌ای، ۰/۱ سنت به صندوق پسماند پرتوزا پرداخت می‌کنند. از این محل تا پایان سال ۲۰۱۶، بیش از ۲۱/۲ میلیارد دلار به این صندوق پرداخت شده که حدود ۱ میلیارد دلار در سال می‌شود.

1. Nuclear Materials and Waste Management Program Act
2. National Radioactive Waste Management Agency's (ANDRA's)
3. Centre de Morvilliers
4. Ministry of Environment, Energy and Marine Affairs, (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer).
۵. هدف اصلی این کار، جلوگیری از تشویق سایر کشورها برای بازفراوری سوخت مصرف‌شده، با هدف جلوگیری از گسترش سلاح‌های هسته‌ای است.
6. The Nuclear Waste Policy Act (NWPA)1982
7. Yucca Mountain

آلمان

کشور آلمان از دهه ۱۹۶۰ توسعه شـــتابان نیروگاه‌های هسته‌ای را در دســـتور کار قرار داد، اما با وقوع حوادثی چون چرنوبیل و فوکوشیما، سیاست حذف تدریجی هسته‌ای را در پیش گرفت. تا سال ۲۰۱۱ حدود یک‌چهارم برق این کشور با نیروگاه‌های هسته‌ای تأمین می‌شد، اما در حال حاضر هیچ نیروگاه هسته‌ای در آلمان فعالیت نمی‌کند. بااین‌حال در مدت فعالیت نیروگاه‌های هسته‌ای، میزان قابل‌توجهی پسماند پرتوزا تولید شده و اقدامات مدیریت این پسماندها ادامه دارد. در این کشور شرکت‌های برق هسته‌ای مسئول ذخیره‌سازی موقت سوخت مصرف‌شده هستند و شرکت‌های مشترکی را برای ساخت و راه‌اندازی تأسیسات سطحی خارج از محل نیروگاه هسته‌ای تشکیل داده‌اند، اما دفن نهایی پسماندها به‌عهده دولت فدرال است.

در سال ۲۰۱۶، پارلمان آلمان (بوندستاگ)[1] مصوب کرد که یک صندوق دولتی ۲۳/۶ میلیارد یورویی ایجاد شود تا هزینه ذخیره‌سازی و دفن موقت تمام سوخت‌های مصرف شده و پسماندهای پرتوزا را بپردازد. در مورد نیروگاه‌هایی که پس از این زمان فعالیت کرده‌اند، هزینه‌های مربوطه به مدیریت پسماند برعهده شرکت‌های مربوطه است.

در کشور آلمان، دفتر فدرال تنظیم مقررات مدیریت پسماندهای پرتوزا زیرنظر وزارت محیط زیست، حفاظت از طبیعت، ساختمان و ایمنی هسته‌ای، مجری مدیریت پسماندهای پرتوزا بوده و صدور مجوزهای مربوطه توسط اداره فدرال حفاظت در برابر تشعشع صادر می‌شود.

ژاپن

تا سال ۲۰۱۱، نیروگاه‌های هسته‌ای ژاپن حدود ۳۰ درصد از برق این کشـــور را تأمین می‌کردند. با وقوع حادثه فوکوشیما در سال ۲۰۱۱، بسیاری از نیروگاه‌های هسته‌ای این کشور برای ارزیابی ایمنی از مدار خارج شدند و در حال حاضر سهم انرژی هسته‌ای از سبد تولید برق ژاپن تنها ۶ درصد است. این کشور سیاست بازفراوری سوخت مصرف شده را نیز دنبال می‌کند و در حال راه‌اندازی یک مجتمع بزرگ بازفراوری است. در تمام نیروگاه های هسته‌ای ژاپن، ذخیره‌سازی سوخت مصرف شده در محل نیروگاه انجام می‌شود.

ژاپن در سال ۲۰۰۰، قانون نهایی پســـماندهای پرتوزا[2] را تصویب کرد که دفن عمیق زمینی پســـماندهای سطح بالا را الزامی می‌کند. در همین راستا، سازمان مدیریت پسماندهای هســـته‌ای(NUMO[3]) با مدیریت بخش خصوصی برای پیشبرد طرح‌های دفع پسماند راه‌اندازی شد.

در سال ۲۰۱۶، پارلمان ژاپن لایحه‌ای را با هدف اتخاذ تدابیر لازم برای اجرای مداوم بازفراوری سوخت هسته‌ای مصرف‌شده و ساخت سوخت پلوتونیمی تصویب کرد. این لایحه یک نهاد جدید مســـئول بازفراوری سوخت مصرف‌شده به نام ســـازمان بازفراوری سوخت مصرف‌شده (SFRO[4]) ایجاد می‌کند که وظیفه آن تأمین مالی و انعقاد قرارداد به منظور بازفراوری و ساخت سوخت پلوتونیمی است.

مجری مدیریت پسماند پرتوزا در ژاپن، سازمان مدیریت پسماند هسته‌ای است و سازمان تنظیم مقررات هسته‌ای (NRA[6]) زیر نظر وزارت محیط زیست و همچنین کمیسیون انرژی اتمی ژاپن(JAEC[5]) نقش تنظیم‌گر را ایفا می‌کنند. به‌طور کلی مسئولیت مدیریت پسماندهای پرتوزا نیز برعهده وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت است.

تا سال ۲۰۱۶، ۱۰ شرکت برق هسته‌ای ژاپن منابع مالی را برای بازفراوری سوخت مصرف شده به مرکز تحقیقات و بودجه مدیریت پسماند رادیواکتیو (RWMC)[7] واریز می‌کردند. این هزینه ۰/۵ ین (۰/۴ سنت آمریکا) به‌ازای هر کیلووات ساعت برق هسته‌ای تولید شده بود. کل مبالغ پرداختی به مرکز تحقیقات و بودجه مدیریت پسماند رادیواکتیو تا سال ۲۰۱۵ بالغ بر ۲/۴ تریلیون ین (۲۱ میلیارد دلار) بوده است. از سال ۲۰۱۶ تأسیسات هسته‌ای ژاپن به‌صورت سالیانه مبالغی را به سازمان بازفراوری سوخت مصرف‌شده می‌پردازند تا هزینه‌های مورد نیاز برای بازفراوری سوخت مصرف شده و تولید سوخت پلوتونیمی را پوشش دهند. مبالغ پرداختی براساس میزان برق تولید شده است.

1. Bundestag
2. Final Disposal of Specified Radioactive Waste (The ‘Final Disposal Law’)
3. Nuclear Waste Management Organization
4. Spent Fuel Reprocessing Organization
5. Nuclear Regulation Authority
6. Japan Atomic Energy Commission
7. Radioactive Waste Management Funding and Research Centre

چین

حدود ۵ درصد از برق چین از نیروگاه‌های هسته‌ای (با مجموع ۵۳ گیگاوات ظرفیت) تأمین می‌شود. چین سیاست بلندمدتی برای بازفراوری سوخت دارد. برنامه چین برای پسماندهای سطح بالا، دفن در اعماق زمین است. پیش‌بینی می‌شود مخازن دفن عمیق پسماند در چین تا سال ۲۰۵۰ عملیاتی شوند. همچنین برنامه‌ای برای ساخت یک کارخانه بازفراوری سوخت مصرف شده با همکاری فرانسه پیشنهاد شده است. وزارت حفاظت از محیط زیست (MEP[1]) مسئول اصلی مدیریت پسماندهای پرتوزای تولیدی در چین است. مسئولیت تأمین مالی مدیریت پسماند نیز برعهده سازمان انرژی اتمی چین (CAEA[2]) است. همچنین شرکت ملی هسته‌ای چین (CNNC[3]) از طریق چهار شرکت تابعه (مؤسسه تحقیقات زمین‌شناسی اورانیوم پکن (BRIUG[4])، مؤسسه انرژی اتمی چین (CIAE[5])، مؤسسه حفاظت در برابر تشعشعات چین (CIRP)[6] و شرکت مهندسی انرژی هسته‌ای چین (CNPE[7]) در مدیریت پسماندهای پرتوزا نقش دارد. سازمان ملی ایمنی هسته‌ای (NNSA[8]) هم نقش نهاد تنظیم‌گر را دارد.

به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق هسته‌ای، هزینه‌ای معادل ۲/۶ سنت یوان (۰/۳۷ سنت دلار) برای مدیریت سوخت مصرف شده، بازفراوری و درنهایت دفن پسماند سطح بالا در نظر گرفته شده است. این مبلغ از سال پنجم بهره‌برداری تجاری هر نیروگاه قابل پرداخت است.

۴. مدیریت پسماندهای پرتوزا در ایران

با توجه به نیازهای کشور، جمهوری اسلامی ایران نیز اقدام به بهره‌برداری از کاربردهای فناوری هسته‌ای کرده است. تولید برق پاک یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری هسته‌ای است که برای کشور ما نیز اهمیت خاصی دارد. تنوع‌بخشی به سبد تولید برق کشور یکی از راهکارهای افزایش ظرفیت تولید برق نیروگاه‌ها و کاهش ناترازی در تولید و مصرف گاز طبیعی است که افزایش ظرفیت برق هسته‌ای نقش شایانی در این مورد خواهد داشت. نیروگاه هسته‌ای بوشهر با ظرفیت ۱۰۰۰ مگاوات به‌عنوان تنها نیروگاه هسته‌ای کشور از سال ۱۳۹۰ در حال فعالیت است و علاوه‌بر صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی، مانع از انتشار مقادیر زیادی گازهای آلاینده به محیط زیست شده است. کاربردهای فناوری هسته‌ای به تولید برق محدود نمی‌شود و پرتوهای هسته‌ای کاربرد وسیعی در حوزه‌هایی مانند پزشکی، صنعت و کشاورزی دارند. ازجمله مهم‌ترین زیرساخت‌های مورد نیاز برای این گونه کاربردها، راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی هستند. منابع اصلی تولید پسماند پرتوزا در کشور، نیروگاه اتمی بوشهر، تأسیسات چرخه سوخت هسته‌ای، راکتورهای تحقیقاتی، مراکز پزشکی هسته‌ای و صنایع استفاده‌کننده از مواد پرتوزا هستند. بااین‌حال عمده پسماند پرتوزای سطح بالای کشور، مربوطه به نیروگاه اتمی بوشهر و راکتور تحقیقاتی تهران است. در هر کشور و ازجمله ایران، سیاستگذاری برای مدیریت پسماندهای پرتوزا به چند عامل مهم وابسته است:

- چشم‌انداز و اهداف بلندمدت کشور در بهره‌مندی و توسعه فناوری هسته‌ای که براساس اسناد و سیاست‌های کلان کشور تعیین می‌شود.
- راهبردهای اصلی کشور در نحوه مدیریت پسماندهای پرتوزا که وابسته به مشخصات جغرافیایی، زیست‌محیطی، فرهنگی و اقتصادی، تعاملات بین‌المللی و توانمندی‌های علمی و فناوری کشور است.
- قوانین موجود (همچون قوانین مرتبط با فناوری هسته‌ای یا قوانین زیست‌محیطی و پسمانداری) که ارتباط مستقیمی با مدیریت پسماند پرتوزا دارند.

در این بخش سعی شده اسناد بالادستی و سیاست‌های کلان کشور در زمینه بهره‌مندی از فناوری هسته‌ای و همچنین قوانین موجود و مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا بررسی شود.

1 .Ministry of Environmental Protection
2 .China Atomic Energy Authority
3 .China National Nuclear Corporation
4 .Beijing Research Institute of Uranium Geology
5 .China Institute of Atomic Energy
6 .China Institute of Radiation Protection
7 .China Nuclear Power Engineering Corporation
8 .National Nuclear Safety Administration

۴-۱. سیاست‌های مربوط به مدیریت پسماندهای پرتوزا در اسناد بالادستی کشور

توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای در بیانات متعدد مقام معظم رهبری (مدظله العالی) و همچنین بسیاری از اسناد بالادستی کشور صراحتاً مورد تأکید قرار گرفته است. ازجمله این اسناد می‌توان به سیاست‌های کلی نظام در بخش انرژی، سند نقشه جامع علمی کشور، سند ملی راهبرد انرژی کشور و سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف اشاره کرد که هریک به نوعی لزوم توسعه فناوری هسته‌ای را مورد تأکید قرار داده‌اند. یکی از مهم‌ترین ملاحظات در استفاده از فناوری هسته‌ای، مدیریت پسماندهای پرتوزا است که باید مورد توجه قرار گیرد. در ادامه به سیاست‌های کلی مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا که در اسناد بالادستی مورد تأکید قرار گرفته‌اند، اشاره می‌شود.

قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران

حفاظت از محیط زیست برای نسل امروز و نسل‌های بعد در قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران مورد تأکید قرار گرفته است. مطابق با اصل پنجاهم قانون اساسی، «در جمهوری اسلامی، حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی رو به رشدی داشته باشـــند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد. ازاین‌رو فعالیت‌های اقتصادی و غیر آنکه با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیرقابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است». ازآنجایی که مدیریت ناصحیح پسماندهای پرتوزا منجر به آلودگی جدی محیط زیست شده و زیان‌های قابل‌توجهی حتی برای نسل‌های آینده خواهد داشت، لذا هرگونه فعالیت هسته‌ای بدون مدیریت مناسب پسماندهای پرتوزای تولیدی، بر خلاف قانون اساسی است.

سیاست‌های کلی محیط زیست

در سیاست‌های کلی محیط زیست ابلاغی توسط مقام معظم رهبری، به «رعایت حقوق بین نسلی» و «پیشگیری وممانعت از انتشار انواع آلودگی‌های غیرمجاز و جرم‌انگاری تخریب محیط زیست» اشاره شده است. مدیریت پسماندهای پرتوزا برای دستیابی به این موارد ضروری است. چراکه انتشار مواد پرتوزای خطرناک به محیط زیست، مصداق عدم رعایت حقوق بین نسلی و تخریب محیط زیست است.

سند ملی راهبرد انرژی کشور

در سند ملی راهبرد انرژی کشور مصوب ۱۳۹۶ شورای‌عالی انرژی، صراحتاً به انرژی هسته‌ای به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین انرژی اشاره شده و «استقرار استانداردهای ملی و بین‌المللی ایمنی هسته‌ای و پرتویی و انجام نظارت و ارزیابی‌های لازم» به‌عنوان یکی از راهبردهای بخش انرژی هسته‌ای معرفی شده است. مدیریت پسماندهای پرتوزا بخش مهمی از ایمنی فعالیت‌های هسته‌ای را شامل می‌شود و در استانداردهای مربوطه نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

۴-۲. قوانین مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا

در سال‌های گذشته قوانین مختلفی به تصویب رسیده‌اند که به‌نوعی با مسئله پسماندهای پرتوزا در ارتباط هستند. برخی از این قوانین (مانند قانون سازمان انرژی اتمی و قانون حفاظت در برابر اشعه) مشخصاً مربوط به فعالیت‌های هسته‌ای در کشور هستند و برخی دیگر (مانند قانون هوای پاک و قانون مجازات قاچاق اسلحه و مهمات و دارندگان سلاح و مهمات غیرمجاز) جنبه عام دارند و به‌نوعی به وضع تکالیفی در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا پرداخته‌اند. در ادامه هریک از قوانین مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

قانون سازمان انرژی اتمی

این قانون در سال ۱۳۵۳ به تصویب شـــورای ملی رســـیده اســـت و همچنان به‌عنوان قانون اصلی در بخش فعالیت‌های هسته‌ای کشور، لازم‌الاجراست. این قانون، وظایف و اختیارات و ساختار سازمان انرژی اتمی ایران را شرح می‌دهد. طبق این قانون، توسعه انواع کاربردهای فناوری هسته‌ای برعهده سازمان انرژی اتمی است و در این راستا، بهره‌برداری و تولید سوخت اتمی یا مواد پرتوزا در انحصار این سازمان است. اگرچه در این قانون به‌صراحت به مسئله پسماندهای پرتوزا اشاره‌ای نشده، اما ذیل ماده (۹) قانون، وظایفی برای شورای انرژی اتمی که یکی از ارکان سازمان انرژی اتمی ایران است، تعیین شده که به‌صورت ضمنی با مدیریت پسماندهای پرتوزا مرتبط است. طبق ماده (۹) قانون سازمان انرژی اتمی ایران، وظایف و اختیارات شورای انرژی اتمی به‌شرح زیر است:

- تصویب سیاست و برنامه‌های کلی کشور در زمینه امور مربوط به علوم و فنون اتمی.
- تصویب مقررات و صدور دستورالعمل‌های لازم برای حُسن انجام امور مربوط به علوم و فنون اتمی در کشور.

- تصویب ضوابط و مقررات مربوط به حفاظت در مقابل اشعه اتمی و هسته‌ای و تعیین طرز نظارت در این زمینه.
- صدور اجازه ایجاد تأسیسات اتمی در نقاط مختلف کشور، با توجه به ضوابط و شرایط ایمنی تأسیسات مزبور.
- تصویب سیاست ارتباط و مبادله اطلاعات و همکاری‌های علمی، فنی، صنعتی و بازرگانی با کشورهای خارجی در زمینه امور مربوط.

بنابراین براساس این قانون، مرجع اصلی در زمینه تصویب سیاســـت‌های کلی، تنظیم مقررات و صدور مجوزهای مربوط به امور مدیریت پسماندهای هسته‌ای، شورای انرژی اتمی است که از قرار اطلاع، در سال‌های اخیر جلسات آن تشکیل نشده است. گفتنی است این قانون مصوب پیش از انقلاب اســـلامی بوده و با توجه به تصویب قانون اساسی جمهوری اســـلامی، مرجع تصویب سیاست‌های کلی مقام معظم رهبری (مدظله العالی) است و سیاست مذکور در این ماده را باید در حد سیاست‌های اجرایی مرسوم که توسط دولت و دستگاه‌ها به تصویب می‌رسند تفسیر کرد.

قانون حفاظت در برابر اشعه

به‌منظور ســـاماندهی فعالیت‌هایی که در آنها به‌نحوی از پرتوها استفاده می‌شـــود، قانون حفاظت در برابر اشعه در سال ۱۳۶۸ به تصویب رسید. این قانون تکالیف مختلفی را برای فعالیت‌های مرتبط با پرتوها وضع کرده که ازجمله آنها می‌توان به صدور مجوزها، تعیین الزامات بهره‌برداری و تعیین برخی مجازات‌ها اشاره کرد. اگرچه طبق ماده (۳) قانون، اقدامات مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا نیز به‌صورت ضمنی مشمول قانون حفاظت در برابر اشعه می‌شوند، اما در این قانون الزامات مربوطه به مدیریت پسماندهای ناشی از فعالیت‌های پرتوی، منحصراً مورد توجه قرار نگرفته است. از طرفی، تکالیف قانون اغلب ناظر به آثار پرتوها بر افراد بوده و به آثار زیست‌محیطی آنها کمتر توجه شده است.

قانون هوای پاک

قانون هوای پاک مصوب سال ۱۳۹۶، انتشار پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز در هوای آزاد را به‌عنوان یکی از منابع آلودگی هوا شناخته و در این زمینه تکالیفی را برای سازمان حفاظت از محیط زیست و سازمان انرژی اتمی وضع می‌کند. این تکالیف شامل راه‌اندازی شبکه پایش پرتوها و تعیین حدود انتشار پرتوها می‌شوند. موارد مذکور به‌نحوی با تأسیسات مدیریت پسماندهای هسته‌ای نیز ارتباط دارند، اما با توجه به محدوده شمول و جزئیات آن، این قانون را نیز نمی‌توان تنظیم‌کننده امور مدیریت پسماندهای پرتوزا در نظر گرفت.

قانون مجازات قاچاق اسلحه و مهمات و دارندگان سلاح و مهمات غیرمجاز

در این قانون که در سال ۱۳۹۰ تصویب شـــده، مواد پرتوزا تحت عنوان مواد تحت کنترل تعریف شده و برای قاچاق، خریداری، نگهداری یا حمل غیرمجاز آنها مجازات‌هایی در نظر گرفته شده است. طبیعتاً پسماندهای پرتوزا نیز نوعی ماده پرتوزا بوده و در محدوده شمول این قانون قرار می‌گیرند. بااین‌حال جرم‌انگاری یاد شده مبهم است. زیرا تعریف روشنی از مواد پرتوزا و تعیین نوع و حدود آن انجام نشده و همچنین هیچ‌گونه ضابطه و معیار روشنی برای تسری مجازات محاربه به مرتکب این اعمال تبیین نشده است. از طرفی، مجازات‌های ذکر شده در این قانون صرفاً مربوط به برخی اعمال خاص (قاچاق، خریداری، نگهداری یا حمل غیرمجاز) و قانون در مورد سایر افعال (ازجمله دفع غیر ایمن پسماندها) سکوت کرده است.

قانون مدیریت پسماندها

قانون دیگری که در آن به مدیریت پسماند پرتوزا اشاره شده، قانون مدیریت پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳ است. طبق تبصره «۳» ماده (۲) این قانون، «پسماندهای ویژه پرتوزا تابع قوانین و مقررات مربوط به‌خود می‌باشند» و لذا این قانون رویکرد احاله‌ای به مدیریت پسماندهای پرتوزا داشته است.

۳-۴. اقدامات دولت به‌منظور ساماندهی مدیریت پسماندهای پرتوزا

در حوزه تنظیم مقررات برای ساماندهی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور، دولت نیز اقداماتی انجام داده که براساس بررسی‌های انجام‌شده، مهم‌ترین آنها تأسیس شرکت پسمانداری صنعت هسته‌ای در سال ۱۳۸۵ و ارسال لایحه الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به «کنوانسیون مشترک ایمنی مدیریت سوخت مصرف شده و ایمنی مدیریت پسماند پرتوزا» به مجلس بوده است.

ازجمله مهم‌ترین مقررات مربوط به مدیریت پسماندهای پرتوزا، اساسنامه شرکت پسمانداری صنعت هسته‌ای است که به استناد بند «ی»

تبصره «۱۱» قانون بودجه سال ۱۳۸۵ کل کشـــور،[1] در تاریخ ۱۳۸۵/۰۹/۰۵ به تصویب هیئت‌وزیران رسید و این شرکت ذیل شرکت مادر تخصصی تولید مواد اولیه و سوخت هسته‌ای ایران وابسته به سازمان انرژی اتمی تأسیس شد. اساسنامه این شرکت در تاریخ ۱۴۰۰/۰۲/۰۵ به‌وسیله هیئت‌وزیران اصلاح شـــد. در این اصلاحیه نام شرکت به «شرکت مدیریت پســـماندهای پرتوزای ایران» تغییر یافت. در ماده (۲) اساسنامه این شرکت هدف تأسیس آن انجام فعالیت‌های مرتبط با مدیریت پسماندهای پرتوزا، نگهداری موقت سوخت مصرف شده و ایجاد تأسیسات مدیریت پسماندهای پرتوزا ذکر شده است. همچنین در ماده (۷) اساسنامه، مواردی همچون «بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا»، «بررسی و تدوین خط‌مشی و اتخاذ سیاست های مناسب در زمینه اهداف و موضوع فعالیت شرکت» و «بررسی و اتخاذ تصمیم و ارائه راه‌ها و راهبردهای معقول، منطقی و علمی دفع پسماندهای پرتوزا» از وظایف و فعالیت‌های عمده شرکت برشمرده شده است.

بر این اساس می‌توان گفت شرکت مدیریت پسماندهای پرتوزای ایران متولی اصلی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور است. با وجود این، آنچه از مفاد اساسنامه این شرکت برداشت می‌شود این است که تمام وظایف و اقدامات مهمی که سیاستگذاری و تصمیم‌گیری در مورد برخی از آنها در سایر کشورها در سطوح بالای حاکمیت و در نهادهای قانونگذاری انجام می‌شود، به شرکت و مجمع عمومی آن سپرده شده است. این اقدام برخلاف تجارب بین‌المللی، درواقع به‌نوعی تقلیل موضوع و کم اهمیت شمردن آن است.

اقدام دیگر دولت در راستای مدیریت پسماندهای پرتوزا، ارسال «لایحه الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به کنوانسیون مشترک ایمنی مدیریت سوخت مصرف‌شده و ایمنی مدیریت پسماند پرتوزا» در آذرماه سال ۱۳۹۶ به مجلس شورای اسلامی است. این لایحه در تیر ماه ۱۳۹۸ به تصویب مجلس رسید و علیرغم چند مرتبه ارجاع از شورای نگهبان، به جهت عدم تأمین نظر شورای نگهبان و اصرار مجلس بر مصوبه خود، در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۹ به مجمع تشخیص مصلحت نظام ارسال شد.

کنوانسیون مشترک ایمنی مدیریت سوخت مصرف‌شده و ایمنی مدیریت پسماند پرتوزا، به‌عنوان تنها سند الزام‌آور بین‌المللی موجود در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا، در سال ۲۰۰۱ میلادی اجرایی شد. با توجه به امکان تأثیر متقابل پسماندهای پرتوزا بر کشورهای هم‌جوار، این کنوانسیون با هدف تقویت همکاری‌های بین‌المللی در زمینه ارتقای ایمنی مدیریت سوخت مصرف شده و پسماند پرتوزا در جهان ایجاد شده است. پذیرش کنوانسیون مشترک ایمنی مدیریت سوخت مصرف‌شده و پسماند پرتوزا، تکالیف و حقوقی را برای اعضاء ایجاد می‌کند. از مهم‌ترین تعهدات اعضا ذیل کنوانسیون می‌توان به ایجاد چارچوب‌ها و برقراری الزامات و اقدامات فنی و نظارتی، جهت نیل به اهداف مورد نظر و همچنین گزارش‌دهی به مجامع بازنگری کنوانسیون اشاره کرد. شایان ذکر است که کنترل پایبندی دولت‌ها به تعهدات‌شان به‌واسطه گزارش‌هایی است که ارائه می‌کنند. در مقابل، مهم‌ترین حقی که اعضا به‌واسطه پذیرش کنوانسیون از آن بهره‌مند می‌شوند، استفاده از تجارب سایر اعضای کنوانسیون از طریق شرکت در مجامع و بحث و تبادل نظر حول گزارشات ملی آنهاست.

طبق آنچه از مزایا و معایب و تعهدات و حقوق مرتبط با این کنوانسیون قابل ارزیابی است و با توجه سوابق همکاری‌های بین‌المللی ایران در موضوع هسته‌ای و بالاخص ارتباط با آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و درز اطلاعات محرمانه ایران نشان می‌دهد، پیوستن به این کنوانسیون و پذیرفتن تعهدات آن می‌تواند چالش‌های جدیدی را در مسیر پیشرفت فناوری هسته‌ای به‌وجود آورد و کشور را درگیر برخی تهدیدات امنیتی در داخل و مواجه با مسائل حقوقی بین‌المللی کند. شـــورای نگهبان نیز در اختیار قرار دادن داده‌های کلی مرتبط با تأسیسات به طرف‌های متعاهد مجاور و همچنین ارائه گزارش ملی درخصوص موضوعات مذکور را از جهت ایجاد زمینه برای نفوذ اجانب، مغایر بند «۵» اصل سوم قانون اساسی شناخته است. با توجه به عدم اعلام‌نظر توسط مجمع تشخیص مصلحت نظام، این کنوانسیون همچنان برای ایران لازم‌الاجرا نیست.

۵. الزامات قانونگذاری در حوزه پسماندهای پرتوزا

مطابق با بررســـی‌های انجام شـــده در زمینه قوانین و مقررات مرتبط با پســـماندهای پرتوزا در ایران، می‌توان گفت مسئولیت مدیریت پسماندهای پرتوزا در ایران برعهده سازمان انرژی اتمی قرار گرفته است تا این سازمان از طریق شرکت مدیریت پسماندهای پرتوزای ایران به مدیریت پسماندهای پرتوزا بپردازد، اما همان‌گونه که توصیه‌های مراجع بین‌المللی و تجارب کشورهای توسعه‌یافته در زمینه استفاده از

۱. بند «ی» تبصره «۱۱» قانون بودجه ۱۳۸۵ کل کشور: به شرکت‌هاي مادر تخصصي توليد انرژي اتمي و توليد ســـوخت هسته‌اي اجازه داده مي‌شود به‌منظور انجام وظايف مندرج در اساسنامه خود، شرکت‌هاي فرعي تشکيل دهند. اساسنامه شرکت‌هاي ياد شده مشترکاً توسط سازمان انرژي اتمي، سازمان مديريت و برنامه‌ريزي کشور و وزارت امور اقتصادي و دارايي تهيه و به تصويب هيئت وزيران مي‌رسد.

فناوری هسته‌ای نشان می‌دهد، مدیریت پسماندهای پرتوزا به‌دلیل برخی ملاحظات مهم، نیازمند سیاستگذاری و قانونگذاری و همچنین ایجاد تکالیف، صلاحیت‌ها و مجازات‌های قانونی متناسب اســت. برای مثال، هزینه‌های بالای مدیریت پسماندهای پرتوزا به‌خصوص در صورت حرکت به سمت توسعه تولید برق هسته‌ای، یکی از مواردی است که نمی‌توان با بودجه محدود و فعلی سازمان انرژی اتمی و شرکت مدیریت پسماندهای پرتوزای ایران آن را تأمین کرد و نیازمند جواز قانونی برای تأمین منابع مالی مطمئن برای این منظور است. مخاطرات زیست‌محیطی پسماندهای پرتوزا یکی دیگر از موضوعاتی است که مکان ذخیره و دفن آنها را می‌تواند به محل مناقشه مابین دستگاه‌های حفاظت از محیط زیست، سازمان انرژی اتمی یا حتی کشورهای هم‌جوار مبدل کنند که قانونگذاری برای آن می‌تواند راهگشا باشد. همچنین سیاستگذاری کلان در مورد شیوه مدیریت هریک از انواع پسماندهای پرتوزا و انجام بازفراوری سوخت مصرف شده یا جرم‌انگاری و تعیین مجازات مناسب برای متخلفین از مقررات مدیریت پسماند پرتوزا دیگر مواردی است که می‌تواند موضوع قانونگذاری باشد.[1] در ادامه هریک از محورهای مهمی که لازم است در موضوع مدیریت پسماندهای پرتوزا مورد توجه قانونگذاران قرار گیرد بررسی می‌شود.

۱-۵. هدف‌گذاری راهبردی برای توسعه صنعت هسته‌ای در کشور

ازجمله مهم‌ترین الزامات برای سیاستگذاری در حوزه مدیریت پسماندهای پرتوزا، وجود یک راهبرد کلان برای توسعه صنعت هسته‌ای کشور است. به‌عبارت‌دیگر، تدارک زیرساخت‌های لازم برای مدیریت پسماندهای پرتوزا، مستلزم در دسترس بودن برنامه‌ای برای توسعه بخش‌های مختلف صنعت هسته‌ای کشــور و به‌تبع آن، پیش‌بینی میزان تولید انواع پسماندهای پرتوزاســت. یکی از مراکز اصلی تولید پسماندهای پرتوزای سطح بالا، نیروگاه‌های برق هسته‌ای است. بنابراین مشخص بودن اهداف بلندمدت در توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای، نقش مهمی در سیاستگذاری و قانونگذاری برای مدیریت پسماندهای پرتوزا دارد. در حال حاضر، ظرفیت برق هسته‌ای کشور حدود ۱,۰۰۰ مگاوات است که توسط واحد اول نیروگاه هسته‌ای بوشهر، به‌عنوان تنها نیروگاه هسته‌ای کشور، تأمین می‌شود. در مورد برنامه‌ریزی برای ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای بعدی نیز شایان ذکر است که تاکنون مطالعات پراکنده‌ای در رابطه با سهم بهینه برق هسته‌ای در سبد تولید برق کشور انجام شده که هریک نتایج متمایزی داشته‌اند. سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تاافق ۱۴۲۰ که در سال ۱۳۹۹ به تصویب شورای‌عالی انرژی رسید، افزایش استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای را به‌عنوان یکی از سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی عنوان می‌کند. طبق این سند، افزایش ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای به حدود ۳,۰۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۱۰ و حدود ۸,۰۰۰ مگاوات تاافق ۱۴۲۰ هدف‌گذاری شده است. بر این اساس، روند توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در کشور تا افق ۱۴۲۰ به‌صورت جدول ۴ است. لذا به‌نظر می‌رسد برآورد حداقلی از ظرفیت برق هسته‌ای مورد نیاز کشور، به میزان ۸,۴۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۲۰ باشد. بدین ترتیب می‌توان برآوردی تقریبی از میزان تولید سوخت مصرف شده ناشی از تولید برق هسته‌ای در کشور به‌دست آورد. نیروگاه هسته‌ای مشابه نیروگاه بوشهر، سالیانه حدود ۲۷ تن سوخت مصرف‌شده تولید می‌کند. این بدان معناست که نیروگاه‌های هسته‌ای با مجموع ظرفیت ۸,۴۰۰ مگاوات، سالیانه بیش از ۲۰۰ تن سوخت مصرف‌شده تولید خواهند کرد که مدیریت این میزان پسماند نیازمند تدارک تأسیسات ذخیره‌سازی و دفن مناسب و همچنین پیش‌بینی منابع مالی نسبتاً قابل‌توجهی است.

جدول ۴. روند افزایش ظرفیت برق هسته‌ای کشور تاافق ۱۴۲۰

سال	۱۳۹۷	۱۴۰۰	۱۴۰۶	۱۴۱۵	۱۴۲۰
ظرفیت برق هسته‌ای (مگاوات)	۱,۰۵۰	۱,۰۵۰	۳,۱۵۰	۵,۲۵۰	۸,۴۰۰

مأخذ: سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تاافق ۱۴۲۰.

بنابر آنچه گفته شد، یکی از الزامات قانونگذاری در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا، تعیین هدف‌گذاری کشور در توسعه صنعت هسته‌ای است. با این کار می‌توان برآورد نسبتاً دقیقی از میزان تولید پسماند، زیرساخت‌های مورد نیاز و منابع مالی لازم برای مدیریت پسماندهای پرتوزا به‌دست آورد.

۱. علاوه‌بر آنچه گفته شد، شایان ذکر است یکی از اصولی که امروزه در مدیریت پســماند مورد توجه است، هرم مدیریت پسماند است که طبق آن کاهش پسماند در مبدأ بالاترین ارجحیت را دارد. درخصوص پسماندهای پرتوزا هم کاهش پسماند توسط فرایند بازفراوری می‌تواند محقق شود که لازم است این مهم در حوزه اجرا مورد توجه قرار گیرد.

۵-۲. تعیین راهبردهای اصلی در شیوه‌های ذخیره‌سازی و دفن پسماندهای پرتوزا

یکی از مواردی که در بررسی تجربه قانونگذاری در مورد پسماندهای پرتوزا در دیگر کشورها مشاهده می‌شود، توجه قانونگذاران به تعیین راهبردهای اصلی در مدیریت پسماندهای پرتوزاست. برای مثال، اتخاذ تصمیم برای بازفراوری سوخت هسته‌ای مصرف‌شده، تعیین شیوه‌های اصلی ذخیره‌سازی و دفن و انتخاب مکان‌های آن و نحوه مشارکت‌های بین‌المللی در زمینه پسماندهای پرتوزا، ازجمله مواردی است که اغلب به‌وسیله قانونگذاری تعیین می‌شود. مثلاً قانون سیاست پسماندهای هسته‌ای(NWPA[1]) ایالات متحده، روش‌هایی را برای مکان‌یابی مخازن زیرزمینی دفن پسماند تعیین کرده است یا در فرانسه قانون برنامه مدیریت مواد هسته‌ای و پسماند[2] دفن زمینی عمیق را به‌عنوان راهبرد اصلی در مدیریت پسماندهای سطح بالا در نظر گرفته است. همان‌طور که بیان شد، در ایران نیز قوانین و مقرراتی به‌منظور ساماندهی مواد پرتوزا تصویب شده‌اند، اما همچنان قوانین و مقرراتی که راهبردهای کلی مدیریت پسماندهای پرتوزا را تعیین کنند وجود ندارند.[3] یک راهبرد مهم در این زمینه، توسعه تأسیسات بازفراوری سوخت مصرف شده است که در توافق‌نامه برجام محدودیت‌هایی برای آن در نظر گرفته شده بود. با عدم پایبندی کشورهای مقابل به این توافق و بی‌نتیجه بودن مذاکرات، ایران نیز بسیاری از اقدامات مربوطه را متوقف کرده است. لذا با توجه به اهمیت بازفراوری سوخت مصرف‌شده برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت هسته‌ای، کاهش پسماندها و تولید مواد پرتوزای ارزشمند، توسعه بازفراوری سوخت مصرف‌شده راکتورهای هسته‌ای کشور حائز اهمیت است.

۵-۳. ایجاد نهاد نظارتی مستقل در زمینه ایمنی هسته‌ای

علاوه‌بر تعیین راهبردها و تدوین مقررات مربوطه، مدیریت ایمن پسماندهای پرتوزا در کشور مستلزم وجود یک نهاد نظارتی مستقل از ذی‌نفعان است که صلاحیت قانونی و توانایی نظارت بر مدیریت پسماندهای پرتوزای کشور را داشته‌باشد. در بسیاری از کشورها، وظیفه نظارت بر ایمنی پسماندهای پرتوزا و تدوین دستورالعمل‌های مربوطه، به نهاد نظارتی ایمنی هسته‌ای آن کشور محول شده است. در ایران نیز نظارت بر ایمنی فعالیت‌های هسته‌ای کشور برعهده مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور بوده که ذیل سازمان انرژی اتمی فعالیت می‌کند و از نظر ساختاری و منابع مالی، به این سازمان وابسته است. این نهاد همچنین از صلاحیت قانونی کافی برای نظارت مؤثر بر پسماندهای پرتوزا برخوردار نیست. بنابراین یک راهکار مهم برای ساماندهی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور، ایجاد یک نهاد نظارتی مستقل در زمینه ایمنی هسته‌ای و اعطای صلاحیت‌های قانونی به آن برای نظارت بر مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور است. استقلال نهاد نظارتی از سایر متولیان صنعت هسته‌ای، امکان اعمال فشار یا ایجاد محدودیت ازسوی صاحبان منافع بر نهاد نظارتی و اثرگذاری بر تصمیمات آن را کاهش می‌دهد [۶].

۵-۴. جرم‌انگاری در زمینه اقدامات مخل مدیریت پسماندهای پرتوزا

یکی از موارد بسیار مهمی که باید در قانونگذاری برای مدیریت پسماندهای پرتوزا مورد توجه قرار گیرد، جرم‌انگاری تمامی اقداماتی است که می‌تواند فرایند مدیریت پسماند ازجمله حمل‌ونقل، بسته‌بندی، ذخیره‌سازی و دفن، صادرات، واردات و غیره را دچار اختلال کند. درواقع آثار مخرب پسماندهای پرتوزا بر انسان و محیط زیست، وضع دستورالعمل‌های دقیق برای هریک از فرایندهای مدیریت پسماند و همچنین جرم‌انگاری در تخلف از این دستور العمل‌ها را به الزامی مهم تبدیل کرده که نیازمند توجه قانونگذار است. همان‌طور که اشاره شد، قوانینی همچون قانون حفاظت در برابر اشعه و قانون مجازات قاچاق اسلحه و مهمات و دارندگان سلاح و مهمات غیرمجاز، به‌صورت ضمنی در مورد مدیریت پسماندهای پرتوزا جرم‌انگاری کرده‌اند. نگاه غالب این قوانین ناظر به مواد پرتوزاست. اگرچه پسماندها نیز نوعی ماده پرتوزا محسوب می‌شوند، اما ماهیت خاص آنها باعث می‌شود مواجه با آنها نیازمند رویکردهای ویژه‌ای (خصوصاً در مورد دفن این مواد) باشد. برای مثال، دفن غیرقانونی و غیرایمن پسماندهای پرتوزا هنوز از عنوان مجرمانه مستقلی برخوردار نیست [۷]. علاوه‌بر این، وظایف و تکالیف دولت در زمینه مدیریت پسماندها در این قوانین مشخص نیست. این درحالی است که مدیریت پسماندهای پرتوزا به‌خصوص پسماندهای سطح بالا

1. Nuclear Waste Policy Act 1982
2. Nuclear Materials and Waste Management Program Act 2006
۳. گفتنی است در کشور ما این موارد اغلب در مقررات، ضوابط و مصوبات هیئت‌وزیران تعیین می‌شود. با وجود این به‌دلیل اهمیت ویژه موضوع و پیامدهای وخیم مدیریت ناصحیح پسماندهای هسته‌ای تعیین این رویکردها از طریق قانونگذاری ارجحیت دارد.

به‌دلیل نوع اقدامات و هزینه‌های آن، نیازمند اقدامات ملی و با محوریت دولت اســـت. همچنین به‌نظر می‌رسد مجازات‌های کیفری که در این قوانین پیش‌بینی شده‌اند، تناسبی با پیامدهای جرم ندارند. با توجه به آنچه گفته شد لازم است اعمال مخل مدیریت ایمن پسماندهای پرتوزا تحت عناوین مجرمانه مستقل جرم‌انگاری شده و ضمانت‌های اجرایی متناسبی برای آنها در نظر گرفته شود.

۶.جمع‌بندی

توسعه فناوری هسته‌ای به‌دلیل کاربردهای راهبردی و گسترده آن، مورد توجه بسیاری از کشورهای دنیا قرار گرفته است. بااین‌حال یکی از نگرانی‌هایی که در بهره‌برداری از این فناوری مطرح است، مسئله پسماندهای پرتوزای تولیدی درنتیجه فعالیت‌های هسته‌ای (خصوصاً تولید برق هسته‌ای) است. مخاطرات بالقوه پسماندهای پرتوزا برای انسان و محیط زیست، مدیریت ایمن این پسماندها را به امری ضروری و الزامی در به‌کارگیری فناوری هسته‌ای تبدیل کرده است. پسماندهای پرتوزا با توجه به سطح مخاطرات آنها انواع مختلفی دارند و بسته به نوع پسماند، اقدامات و رویکردهای مدیریت آن متفاوت است. در میان پسماندهای پرتوزا، سوخت مصرف‌شده راکتورهای هسته‌ای بیشتری میزان پرتوزایی را دارد و رویکردهای دفن ایمن آن مستلزم توجه بیشتری است. راهکاری که برای مدیریت سوخت مصرف شده راکتورهای هسته‌ای مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته، بازفراوری سوخت مصرف شده است که ضمن کاهش حجم پسماند، باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف اورانیوم نیز خواهد شد.

بهره‌برداری از کاربردهای صلح‌آمیز فناوری هســـته‌ای در ایران نیز رو به افزایش اســـت و به همین دلیل برنامه‌ریـــزی برای مدیریت ایمن پسماندهای پرتوزا ضروری است. با وجود این، بررسی قوانین مرتبط با این موضوع حاکی از وجود برخی خلأهای قانونی در این زمینه است. قوانین موجود مسئولیت مدیریت پسماندهای پرتوزا در ایران را برعهده سازمان انرژی اتمی و شرکت مدیریت پسماندهای پرتوزای ایران قرار داده است، اما راهبردهای کلی کشور در زمینه توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای و همچنین مدیریت پسماندهای پرتوزا در اسناد بالادستی و قوانین مربوطه تعیین نشده‌اند. از طرف دیگر، منابع مالی برای تأمین هزینه‌های مدیریت پسماندهای پرتوزا پیش‌بینی نشده و نهادهای نظارتی نیز صلاحیت قانونی لازم برای نظارت بر ایمنی مدیریت پسماندهای پرتوزا را ندارند. علاوه‌بر این، اقدامات مخل مدیریت پسماندهای پرتوزا نیز جرم‌انگاری نشده‌اند. با توجه به کاستی‌های قانونی موجود و نظر به اهمیت مدیریت پسماندهای پرتوزا در سلامت جامعه، حفظ محیط زیست و رعایت حقوق نسل‌های آینده، مهم‌ترین الزامات قانونگذاری در حوزه مدیریت پسماندهای پرتوزا شامل هدف‌گذاری راهبردی برای توسعه صنعت هسته‌ای کشور، تعیین راهبردهای اصلی در شیوه‌های دفع پسماندهای پرتوزا، ایجاد نهاد نظارتی مستقل در زمینه ایمنی هسته‌ای و جرم‌انگاری اقدامات مخل مدیریت پسماندهای پرتوزا هستند.

منابع و مآخذ

[۱] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، وضعیت توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای در ایران و جهان ـ برق هسته‌ای، ۱۴۰۱.

[2] International Atomic Energy Agency (IAEA), Options for Management of Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste for Countries Developing New Nuclear Power Programmes, 2018.

[3] International Atomic Energy Agency (IAEA), Status and trends in spent fuel and Radioactive Waste Management, 2022.

[4] International Atomic Energy Agency (IAEA), Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, 2009.

[5] World nuclear association, Radioactive Waste Management, 2022.

[۶] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، مسائل راهبردی بخش انرژی در برنامه هفتم توسعه: ضرورت و الزامات نظام ایمنی هسته‌ای، ۱۴۰۲.

[۷] مشکات، سیدمصطفی. جرائم پسماند در ایران و ایالات متحده امریکا؛ قاچاق و دفع غیرقانونی پسماندهای هسته‌ای، ۱۳۹۸.

گزیده سیاستی

با توجه به توسعه فناوری هسته‌ای در کشور، رفع خلأهای قانونی در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا ضروری است که از جمله آنها می‌توان به عدم تعیین راهبردهای کلی، عدم پیش‌بینی منابع مالی و نبود صلاحیت قانونی لازم اشاره کرد.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاســـداران، روبروی پـــارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۵۸۵۵-۱۵۸۷۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وب‌سایت: rc@majles.ir