



الزامات قانونی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شماره مسلسل: ۱۹۸۷۵
کد موضوعی: ۳۱۰



مرکز پژوهش‌های
مجلس شورای اسلامی

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۴/۱۶

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 رضانی

تهیه و تدوین کنندگان:
منصور حداد، ایمان رضانی

ناظر علمی:
حبیب‌اله ظفریان

اظهار نظر کنندگان:
مسعود رضایی، هومن غلامپور ارباستان (دفتر مطالعات زیربنایی)
محمد امین فخمی جمیل (گروه برق و هسته‌ای)

گرافیک و صفحه آرایی:
نفیسه حاجی صفری

ویراستار ادبی:
سیده مرضیه موسوی راد

تاریخ شروع:
۱۴۰۲/۶/۱

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



فهرست مطالب

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

فهرست شکل

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

فهرست جدول

جدول ۱. موقعیت دفن پسماندهای هسته‌ای.....	۱۰
جدول ۲. حجم پسماندهای پر توزا جامد ذخیره شده و دفن شده تا سال ۲۰۱۶.....	۱۲
جدول ۳. میزان و نحوه مدیریت پسماندهای پر توزای 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. از آنجایی 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 شده‌اند. از جمله 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 هسته‌ای و جرم‌انگاری در زمینه اقدامات مخل مدیریت پسماندهای پرتوزا اشاره کرد.

خلاصه مدیریتی

بیان / شرح مسئله

کاربردهای گسترده و راهبردی فناوری هسته‌ای باعث شده تا بهره‌برداری از این فناوری مورد توجه بسیاری از کشورهای دنیا قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌هایی که در بهره‌برداری از این فناوری مطرح است، 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 به همراه 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.

نقطه‌نظر / یافته‌های کلیدی

بر اساس میزان پرتوایی، پسماندهای پرتوزا به چهار دسته پسماندهای سطح بالا، پسماندهای سطح متوسط، پسماندهای سطح پایین و پسماندهای بسیار سطح پایین تقسیم می‌شوند. حدود ۹۰ درصد از حجم پسماندهای پرتوزای تولیدی در جهان، مربوط به پسماندهای سطح پایین و بسیار سطح پایین است که مدیریت آنها چالش‌های جدی به همراه 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 در نهایت در مخازن زیرزمینی خاصی دفن می‌شوند، اما از آنجایی که سوخت مصرف‌شده راکتورهای هسته‌ای محتوی مقادیر قابل توجهی سوخت هسته‌ای و برخی مواد ارزشمند دیگر است، طی فرایند بازفرآوری قابلیت بازیافت دارد. با بازفرآوری سوخت مصرف‌شده، 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 کشورها برای سیاستگذاری در زمینه پسماندهای پرتوزا نشان‌دهنده توجه این کشورها 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 بازفرآوری سوخت مصرف‌شده 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 پسماندهای پرتوزا به‌صراحت در اسناد بالادستی کشور ذکر نشده، 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 مشخصاً به بحث پسماندهای پرتوزا اشاره نکرده‌اند. به‌طور کلی بررسی قوانین مرتبط با این موضوع حاکی از وجود برخی خلأهای قانونی در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا است. 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

به دلیل 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 محل 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 به دلیل 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 به دلیل واپاشی و تولید ذرات پرتوزایی، 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»^۱ یا «مدیریت پسماندهای پرتوزا»^۲ در تمامی کشورهای دارای فناوری هسته‌ای به‌عنوان یکی از موضوعات حیاتی مطرح شده و مورد توجه قرار گرفته است.^۳ 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 در نهایت 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 هر چند پسماندهای پرتوزا موادی خطرناک برای انسان و محیط زیست هستند و مدیریت آنها هزینه‌بر است، 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 علاوه بر آن پسماندهای پرتوزا قابل بازفرآوری و استفاده مجدد هستند.

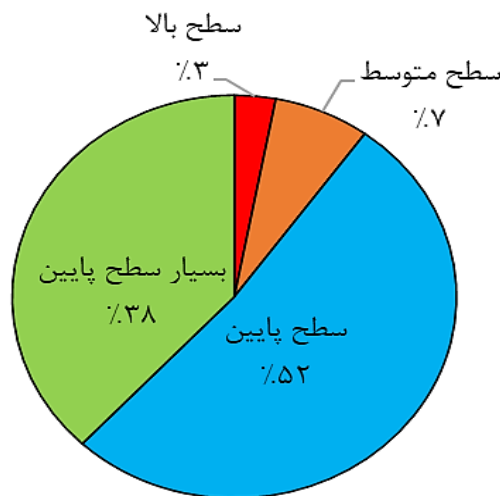
۲. کلیاتی پیرامون پسماندهای پرتوزا و نحوه مدیریت آنها

پسماندهای پرتوزا شامل تمامی موادی هستند که یا خود پرتوزا هستند یا به دلیل حضور در کنار مواد پرتوزا، به تشعشعات هسته‌ای آلوده شده‌اند و دیگر قابل استفاده نیستند. در واقع 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. با این حال برخی اقدامات و ملاحظات به صورت 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 بر اساس ویژگی‌های مواد پرتوزا انجام می‌شود. پسماندهای پرتوزا را می‌توان بر اساس نیمه عمر^۲ یا شدت پرتوزایی دسته‌بندی کرد. در تقسیم پسماندهای پرتوزا بر اساس 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 «بلند عمر»^۵ می‌نامند. بر اساس 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 هر یک در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱. نسبت حجم تولید انواع پسماندهای پرتوزا در جهان



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

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

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 به دلیل سطح پرتوزایی زیاد، گرمای زیادی تولید می‌کنند و لذا نگهداری آنها الزامات خاصی (از جمله خنک‌کننده و حفاظ) را می‌طلبد. این پسماندها شامل سوخت مصرف شده راکتورهای هسته‌ای و مواد جدا شده از بازفرآوری 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]. به دلیل 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. با این حال 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 به وجود می‌آیند. آنها شامل وسایل و ابزارهای 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 حمل و نقل 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 در نتیجه وجود پرتوزایی طبیعی در مواد معدنی خاص به وجود می‌آیند. بنابراین در اغلب کشورهای این پسماندها همچون زباله‌های خانگی دفن می‌شوند.

۲-۲. اقدامات مهم در مدیریت پسماندهای پرتوزا

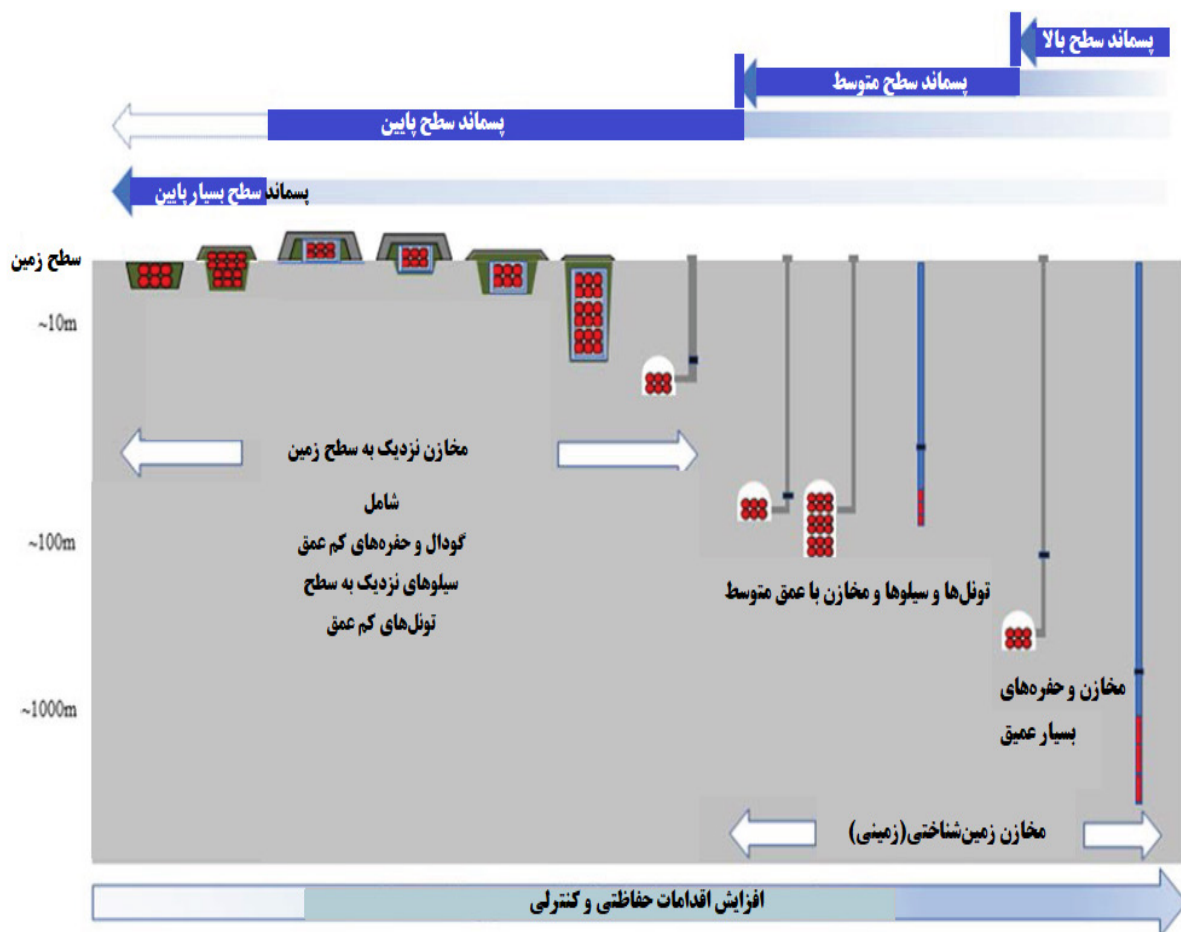
مدیریت پسماندهای پرتوزا شامل اقداماتی است که بتواند تمامی پسماندها را بر اساس ویژگی‌های خاص آنها مدیریت کند. فرایند مدیریت پسماند شامل جداسازی، تصفیه، ذخیره‌سازی، حمل و نقل و دفن است. اکثر پسماندهای پرتوزا سطح پایین معمولاً بلافاصله پس از جداسازی برای دفن طولانی مدت به مخازن دفن زیرزمینی منتقل می‌شوند. برای سوخت مصرف شده در راکتورها که به عنوان پسماند پرتوزای سطح بالا دسته‌بندی می‌شود، اولین گام ذخیره‌سازی است تا سطح پرتوزایی آن کمتر شود. در مراحل بعد نیز دفن در اعماق زمین یا بازفرآوری امکان‌پذیر است. سوخت‌های مصرف شده‌ای که مستقیماً دفن نمی‌شوند، می‌توانند برای بازیافت اورانیوم و پلوتونیم موجود در آن دوباره بازفرآوری شوند. پسماندهای پرتوزای سطح متوسط که حاوی رادیوایزوتوپ‌های 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 از جمله 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 (از جمله 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 trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, 2022.

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

بازفرآوری سوخت مصرف شده باعث صرفه‌جویی در مصرف اورانیوم شده و به‌طور قابل توجهی حجم پسماندهای پرتوزای سطح بالا را کاهش می‌دهد. به همین دلیل استفاده از این فناوری مورد توجه بسیاری از کشورهای هسته‌ای 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 بازفرآوری 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 مصرف شده راکتورها) دفن نشده‌اند^۱ که به نظر می‌رسد علت اصلی این مسئله، وجود مواد ارزشمند (از جمله سوخت اورانیوم و پلوتونیم) در این پسماندها و برنامه کشورها برای بازفرآوری 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 (متر مکعب)

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

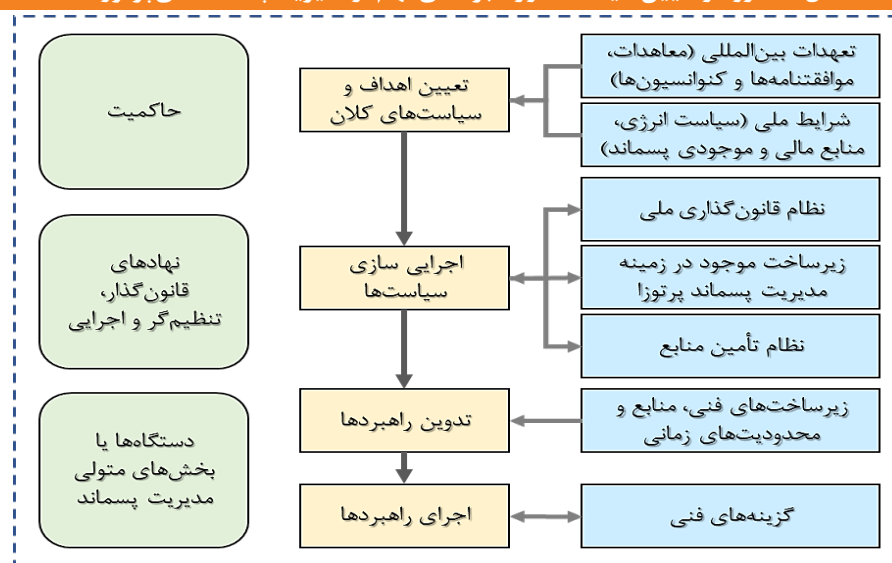
مأخذ: همان.

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^۱ 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^۱ است که با مصرف بخشی از پسماند به‌عنوان سوخت، حجم کل پسماندهای پرتوزا را کاهش می‌دهند. این گونه راکتورها اغلب بازفرآوری سوخت مصرف شده را به همراه دارند که این مهم بر اهمیت بازفرآوری 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 ساز و کار 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]. ساز و کار پیشنهادی به‌منظور ایجاد یک راهبرد و سیاست مشخص برای مدیریت پسماندهای پرتوزا در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. ساز و کار 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 اتمی را تا سرعت‌های بسیار زیادی شتاب می‌دهند. برخورد این ذرات با سرعت 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 در بر می‌گیرد. 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 به منظور مدیریت و دفن پسماندهای پرتوزا اختصاص می‌یابد. به طور 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 کشورها فقط اجازه می‌دهند از منابع صندوق برای مدیریت پسماند استفاده شود، در حالی 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. از این رو 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. به عبارت دیگر، کشورهایی که از بیشترین بهره‌برداری رآزر 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)

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

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

فرانسه

حدود ۷۰ درصد از تولید برق فرانسه از نیروگاه‌های هسته‌ای (حدود ۶۱ گیگاوات ظرفیت) تأمین می‌شود. این کشور سیاست بازفرآوری سوخت مصرف شده را دنبال می‌کند. مدیریت پسماندهای پرتوزا در فرانسه طبق قانون برنامه مدیریت مواد هسته‌ای و پسماند^۱ مصوب سال ۲۰۰۶ ساماندهی می‌شود که دفن زیرزمینی عمیق را به عنوان راه حل 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^۲ منتقل می‌شوند. علاوه بر این، مرکز دفن پسماند مورویلیرز^۳ 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^۴ فعالیت می‌کند. نهاد تنظیم‌گر مربوطه نیز سازمان ایمنی هسته‌ای فرانسه (ASN) است که وظیفه تنظیم مقررات مرتبط با مدیریت پسماند و صدور مجوز را بر عهده 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 به ازای 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 بازفرآوری سوخت مصرف شده راکتورهای غیر نظامی^۵ و تلقی همه سوخت مصرف شده به عنوان پسماند سطح بالاست که دولت، مسئول دفن این پسماند در مخازن زمینی است. طبق قانون سیاست پسماند هسته‌ای مصوب سال ۱۹۸۲^۶، 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^۷ را تصویب کرد. این طرح در سال‌های بعد به دلیل نگرانی‌های عمومی در رابطه با ایمنی آن متوقف و کمیته‌ای تخصصی برای ارائه پیشنهادها جایگزین ایجاد شد. تأخیر در ساخت مخزن موجب شد که نیروگاه‌های هسته‌ای نتوانند طبق قانون ۱۹۸۲ سوخت مصرف شده 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 مصرف شده را به طور نامحدود در محل تولید ذخیره کنند و وزارت انرژی دفن سوخت مصرف شده را ظرف ۲۰ سال پس از اولین سوخت‌گیری آغاز خواهد کرد. در نهایت 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. مسئولیت اصلی در مدیریت پسماندهای پرتوزا نیز با وزارت انرژی این کشور است. برای تأمین هزینه‌های مدیریت پسماند، مصرف‌کنندگان برق به ازای هر کیلووات ساعت برق هسته‌ای، ۰/۱ سنت به صندوق پسماند پرتوزا پرداخت می‌کنند. از این محل تا پایان سال ۲۰۱۶، بیش از ۲/۲ 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 بازفرآوری سوخت مصرف شده، 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 شتابان نیروگاه‌های هسته‌ای را در دستور کار قرار داد، اما با وقوع حوادثی چون چرنوبیل و فوکوشیما، سیاست حذف تدریجی هسته‌ای را در پیش گرفت. تا سال ۲۰۱۱ حدود یک چهارم برق این کشور با نیروگاه‌های هسته‌ای تأمین می‌شد، اما در حال حاضر هیچ نیروگاه هسته‌ای در آلمان فعالیت نمی‌کند. با این حال در مدت فعالیت نیروگاه‌های هسته‌ای، میزان قابل توجهی پسماند پرتوزا تولید شده و اقدامات مدیریت این پسماندها ادامه دارد. در این کشور شرکت‌های برق هسته‌ای مسئول ذخیره‌سازی موقت سوخت مصرف شده هستند و شرکت‌های مشتری را برای ساخت و راه‌اندازی تأسیسات سطحی خارج از محل نیروگاه هسته‌ای تشکیل داده‌اند، اما دفن نهایی پسماندها به عهده دولت فدرال است.

در سال ۲۰۱۶، پارلمان آلمان (بوندستاگ)^۱ 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 بر عهده شرکت‌های مربوطه است.

در کشور آلمان، دفتر فدرال تنظیم مقررات مدیریت پسماندهای پرتوزا زیر نظر 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 کشور 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 بازفرآوری سوخت مصرف شده را نیز دنبال می‌کند و در حال راه‌اندازی یک مجتمع بزرگ بازفرآوری است. در تمام نیروگاه‌های هسته‌ای ژاپن، ذخیره‌سازی سوخت مصرف شده در محل نیروگاه انجام می‌شود.

ژاپن در سال ۲۰۰۰، قانون نهایی پسماندهای پرتوزا^۲ را تصویب کرد که دفن عمیق زمینی پسماندهای سطح بالا را الزامی می‌کند. در همین راستا، سازمان مدیریت پسماندهای هسته‌ای (NUMO^۳) 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 بازفرآوری سوخت هسته‌ای مصرف شده و ساخت سوخت پلوتونیومی تصویب کرد. این لایحه یک نهاد جدید مسئول بازفرآوری سوخت مصرف شده به نام سازمان بازفرآوری سوخت مصرف شده (SFRO^۴) ایجاد می‌کند که وظیفه آن تأمین مالی و انعقاد قرارداد به منظور بازفرآوری و ساخت سوخت پلوتونیومی است.

مجری مدیریت پسماند پرتوزا در ژاپن، سازمان مدیریت پسماند هسته‌ای است و سازمان تنظیم مقررات هسته‌ای (NRA)^۵ زیر نظر وزارت محیط زیست و همچنین کمیسیون انرژی اتمی ژاپن (JAEC)^۶ نقش تنظیم‌گر را ایفا می‌کنند. به طور کلی مسئولیت مدیریت پسماندهای پرتوزا نیز بر عهده وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت است.

تا سال ۲۰۱۶، ۱۰ شرکت برق هسته‌ای ژاپن منابع مالی را برای بازفرآوری سوخت مصرف شده به مرکز تحقیقات و بودجه مدیریت پسماند رادیواکتیو (RWMC)^۷ واریز می‌کردند. این هزینه ۰/۵ ین (۰/۴ سنت آمریکا) به ازای 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 به صورت سالیانه مبالغی را به سازمان بازفرآوری سوخت مصرف شده می‌پردازند تا هزینه‌های مورد نیاز برای بازفرآوری سوخت مصرف شده و تولید سوخت پلوتونیومی را پوشش دهند. مبالغ پرداختی بر اساس 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 بازفرآوری 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 بازفرآوری سوخت مصرف شده با همکاری فرانسه پیشنهاد شده است. وزارت حفاظت از محیط زیست (MEP^۱) مسئول اصلی مدیریت پسماندهای پرتوزای تولیدی در چین است. مسئولیت تأمین مالی مدیریت پسماند نیز بر عهده سازمان انرژی اتمی چین (CAEA)^۲ است. همچنین شرکت ملی هسته‌ای چین (CNNC)^۳ از طریق چهار شرکت تابعه (مؤسسه تحقیقات زمین‌شناسی اورانیوم پکن (BRIUG)^۴، مؤسسه انرژی اتمی چین (CIAE)^۵، مؤسسه حفاظت در برابر تشعشعات چین (CIRP)^۶ و شرکت مهندسی انرژی هسته‌ای چین (CNPE)^۷) در مدیریت پسماندهای پرتوزا نقش دارد. سازمان ملی ایمنی هسته‌ای (NNSA)^۸ 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، بازفرآوری و در نهایت 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. تنوع بخشی 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 به عنوان تنها نیروگاه هسته‌ای کشور از سال ۱۳۹۰ در حال فعالیت است و علاوه بر 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. از جمله 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. با این حال عمده پسماند پرتوزای سطح بالای کشور، مربوط به نیروگاه اتمی بوشهر و راکتور تحقیقاتی تهران است. در هر کشور و از جمله 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. از جمله 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 هر یک 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 باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد. از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیر آنکه با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیر قابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است». از آنجایی که مدیریت ناصحیح پسماندهای پرتوزا منجر به آلودگی جدی محیط زیست شده و زیان‌های قابل توجهی حتی برای نسل‌های آینده خواهد داشت، لذا هر گونه فعالیت هسته‌ای بدون مدیریت مناسب پسماندهای پرتوزای تولیدی، برخلاف قانون اساسی است.

■ سیاست‌های کلی محیط زیست

در سیاست‌های کلی محیط زیست ابلاغی توسط مقام معظم رهبری، به «رعایت حقوق بین نسلی» و «پیشگیری و ممانعت از انتشار انواع آلودگی‌های غیر مجاز 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 شورای عالی انرژی، صراحتاً به انرژی هسته‌ای به عنوان یکی از منابع مهم تأمین انرژی اشاره شده و «استقرار استانداردهای ملی و بین‌المللی ایمنی هسته‌ای و پرتویی و انجام نظارت و ارزیابی‌های لازم» به عنوان 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 به نوعی 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 غیر مجاز) جنبه عام دارند و به نوعی به وضع تکالیفی در زمینه مدیریت پسماندهای پرتوزا پرداخته‌اند. در ادامه هر یک از قوانین مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

■ قانون سازمان انرژی اتمی

این قانون در سال ۱۳۵۳ به تصویب شورای ملی رسیده است و همچنان به عنوان 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 بر عهده 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 به صراحت 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 به صورت ضمنی با مدیریت پسماندهای پرتوزا مرتبط است. طبق ماده (۹) قانون سازمان انرژی اتمی ایران، وظایف و اختیارات شورای انرژی اتمی به شرح زیر است:

- تصویب سیاست و برنامه‌های کلی کشور در زمینه امور مربوط به علوم و فنون اتمی.

- تصویب مقررات و صدور دستورالعمل‌های لازم برای حسن 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 سیاست‌های 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 اسلامی بوده و با توجه به تصویب قانون اساسی جمهوری اسلامی، 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

به منظور ساماندهی فعالیت‌هایی که در آنها به نحوی از پرتوها استفاده می‌شود، قانون حفاظت در برابر اشعه در سال ۱۳۶۸ به تصویب رسید. این قانون تکالیف مختلفی را برای فعالیت‌های مرتبط با پرتوها وضع کرده که از جمله 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 به صورت ضمنی مشمول قانون حفاظت در برابر اشعه می‌شوند، اما در این قانون الزامات مربوطه به مدیریت پسماندهای ناشی از فعالیت‌های پرتوی، منحصرأ 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 غیر مجاز

در این قانون که در سال ۱۳۹۰ تصویب شده، مواد پرتوزا تحت عنوان مواد تحت کنترل تعریف شده و برای قاچاق، خریداری، نگهداری یا حمل غیر مجاز آنها مجازات‌هایی در نظر گرفته شده است. طبیعتاً پسماندهای پرتوزا نیز نوعی ماده پرتوزا بوده و در محدوده شمول این قانون قرار می‌گیرند. با این حال 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 غیر مجاز) و قانون در مورد سایر افعال (از جمله 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 به خود می‌باشند» و لذا این قانون رویکرد احاله‌ای به مدیریت پسماندهای پرتوزا داشته است.

۳-۴. اقدامات دولت به منظور ساماندهی مدیریت پسماندهای پرتوزا

در حوزه تنظیم مقررات برای ساماندهی مدیریت پسماندهای پرتوزا در کشور، دولت نیز اقداماتی انجام داده که براساس بررسی‌های انجام شده، 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.

از جمله 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 کشور،^۱ در تاریخ ۱۳۸۵/۰۹/۰۵ به تصویب هیئت وزیران 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 به وسیله هیئت وزیران اصلاح شد. در این اصلاحیه نام شرکت به «شرکت مدیریت پسماندهای 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 سیاست‌های 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 بر شمرده 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، در واقع به نوعی تقلیل موضوع و کم‌اهمیت شمردن آن است.

اقدام دیگر دولت در راستای مدیریت پسماندهای پرتوزا، ارسال «لایحه الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به کنوانسیون مشترک ایمنی مدیریت سوخت مصرف شده و ایمنی مدیریت پسماند پرتوزا» در آذرماه سال ۱۳۹۶ به مجلس شورای اسلامی است. این لایحه در تیرماه 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 مصرف شده 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 مصرف شده و پسماند پرتوزا، تکالیف و حقوقی را برای اعضاء ایجاد می‌کند. از مهم‌ترین تعهدات اعضاء ذیل کنوانسیون می‌توان به ایجاد چارچوب‌ها و برقراری الزامات و اقدامات فنی و نظارتی، جهت نیل به اهداف مورد نظر و همچنین گزارش دهی 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 اعضاء به‌واسطه پذیرش کنوانسیون از آن بهره‌مند می‌شوند، استفاده از تجارب سایر اعضاء 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 بالخصوص 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 به وجود آورد و کشور را درگیر برخی تهدیدات امنیتی در داخل و مواجهه با مسائل حقوقی بین‌المللی کند. شورای نگهبان نیز در اختیار قرار دادن داده‌های کلی مرتبط با تأسیسات به طرف‌های متعاقد مجاور و همچنین ارائه گزارش ملی در خصوص 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 مصلح نظام، این کنوانسیون همچنان برای ایران لازم‌الاجرا نیست.

۵. الزامات قانونگذاری در حوزه پسماندهای پرتوزا

مطابق با بررسی‌های انجام شده در زمینه قوانین و مقررات مرتبط با پسماندهای 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 «۵» تبصره «۱۱» قانون بودجه سال ۱۳۸۵ کل کشور؛ به شرکت‌های مادر تخصصی تولید انرژی اتمی و تولید سوخت هسته‌ای اجازه داده می‌شود به‌منظور انجام وظایف مندرج در اساسنامه خود، شرکت‌های فرعی تشکیل دهند. اساسنامه شرکت‌های یاد شده مشترکاً توسط سازمان انرژی اتمی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و وزارت امور اقتصادی و دارایی تهیه و به تصویب هیئت وزیران می‌رسد.

فناوری هسته‌ای نشان می‌دهد، مدیریت پسماندهای پرتوزا به دلیل برخی ملاحظات مهم، نیازمند سیاستگذاری و قانونگذاری و همچنین ایجاد تکالیف، صلاحیت‌ها و مجازات‌های قانونی متناسب است. برای مثال، هزینه‌های بالای مدیریت پسماندهای پرتوزا به خصوص 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 هر یک از انواع پسماندهای پرتوزا و انجام بازفرآوری سوخت مصرف شده یا جرم‌انگاری و تعیین مجازات مناسب برای متخلفین از مقررات مدیریت پسماند پرتوزا دیگر مواردی است که می‌تواند موضوع قانونگذاری باشد.^۱ در ادامه هر یک 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

از جمله مهم‌ترین الزامات برای سیاستگذاری در حوزه مدیریت پسماندهای پرتوزا، وجود یک راهبرد کلان برای توسعه صنعت هسته‌ای کشور است. به عبارت دیگر، تدارک زیرساخت‌های لازم برای مدیریت پسماندهای پرتوزا، مستلزم در دسترس بودن برنامه‌ای برای توسعه بخش‌های مختلف صنعت هسته‌ای کشور و به تبع آن، پیش‌بینی میزان تولید انواع پسماندهای پرتوزا است. 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 هر یک نتایج متمایزی داشته‌اند. سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰ که در سال ۱۳۹۹ به تصویب شورای عالی 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 تا افق ۱۴۲۰ هدف‌گذاری شده است. بر این اساس، روند توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در کشور تا افق ۱۴۲۰ به صورت جدول ۴ است. لذا به نظر 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 به دست آورد. نیروگاه هسته‌ای مشابه نیروگاه بوشهر، سالیانه حدود ۲۷ تن سوخت مصرف شده تولید می‌کند. این بدان معناست که نیروگاه‌های هسته‌ای با مجموع ظرفیت ۸,۴۰۰ مگاوات، سالیانه بیش از ۲۰۰ تن سوخت مصرف شده تولید خواهند کرد که مدیریت این میزان پسماند نیازمند تدارک تأسیسات ذخیره‌سازی و دفن مناسب و همچنین پیش‌بینی منابع مالی نسبتاً قابل توجهی است.

جدول ۴. روند افزایش ظرفیت برق هسته‌ای کشور تا افق 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 تا افق 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 به دست آورد.

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

۲-۵. 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 بازفرآوری سوخت هسته‌ای مصرف‌شده، تعیین شیوه‌های اصلی ذخیره‌سازی و دفن و انتخاب مکان‌های آن و نحوه مشارکت‌های بین‌المللی در زمینه پسماندهای پرتوزا، از جمله مواردی است که اغلب به وسیله قانونگذاری تعیین می‌شود. مثلاً قانون سیاست پسماندهای هسته‌ای (NWPA^۱) ایالات متحده، روش‌هایی را برای مکان‌یابی مخازن زیرزمینی دفن پسماند تعیین کرده است یا در فرانسه قانون برنامه مدیریت مواد هسته‌ای و پسماند^۲ دفن زمینی عمیق را به عنوان راهبرد اصلی در مدیریت پسماندهای سطح بالا در نظر گرفته است. همان‌طور که بیان شد، در ایران نیز قوانین و مقرراتی به منظور ساماندهی مواد پرتوزا تصویب شده‌اند، اما همچنان قوانین و مقرراتی که راهبردهای کلی مدیریت پسماندهای پرتوزا را تعیین کنند وجود ندارند.^۳ یک راهبرد مهم در این زمینه، توسعه تأسیسات بازفرآوری سوخت مصرف‌شده 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 بازفرآوری سوخت مصرف‌شده برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت هسته‌ای، کاهش پسماندها و تولید مواد پرتوزای ارزشمند، توسعه بازفرآوری سوخت مصرف‌شده راکتورهای هسته‌ای کشور حائز اهمیت است.

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

علاوه بر 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 داشته باشد. 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 بر عهده 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 از سوی صاحبان منافع بر نهاد نظارتی و اثرگذاری بر تصمیمات آن را کاهش می‌دهد [۶].

۴-۵. 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 از جمله حمل‌ونقل، بسته‌بندی، ذخیره‌سازی و دفن، صادرات، واردات و غیره را دچار اختلال کند. در واقع آثار مخرب پسماندهای پرتوزا بر انسان و محیط زیست، وضع دستورالعمل‌های دقیق برای هر یک از فرایندهای مدیریت پسماند و همچنین جرم‌انگاری در تخلف از این دستورالعمل‌ها 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، به صورت 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 مواجهه 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]. علاوه بر این، وظایف و تکالیف دولت در زمینه مدیریت پسماندها در این قوانین مشخص نیست. این در حالی است که مدیریت پسماندهای پرتوزا به خصوص 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 به دلیل اهمیت ویژه موضوع و پیامدهای وخیم مدیریت ناصحیح پسماندهای هسته‌ای تعیین این رویکردها از طریق قانونگذاری ارجحیت دارد.

به دلیل نوع اقدامات و هزینه‌های آن، نیازمند اقدامات ملی و با محوریت دولت است. همچنین به نظر 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 به دلیل کاربردهای راهبردی و گسترده آن، مورد توجه بسیاری از کشورهای دنیا قرار گرفته است. با این حال یکی از نگرانی‌هایی که در بهره‌برداری از این فناوری مطرح است، مسئله پسماندهای پرتوزای تولیدی در نتیجه 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 به کارگیری 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 مصرف شده 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، بازفرآوری سوخت مصرف شده است که ضمن کاهش حجم پسماند، باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف اورانیوم نیز خواهد شد.

بهره‌برداری از کاربردهای صلح‌آمیز فناوری هسته‌ای در ایران نیز رو به افزایش است و به همین دلیل برنامه‌ریزی 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 بر عهده 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. علاوه بر 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 - 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 آمریکا؛ قاچاق و دفع غیر قانونی پسماندهای هسته‌ای، ۱۳۹۸.



گزیده سیاستی

باتوجه 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 پاسداران، روبروی پارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

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

وبسایت: rc@majles.ir