گام به گام با پسماندهای پرتوزا

افشین نکدستان: دانشجوی دکتری محیط زیست
نعمت‌الله جعفرزاده: دکتری تخصصی بهداشت محیط

مقدمه

مواد و عناصری که از خود پرتوهای یونیزه ساطع می‌کنند، جزء مواد رادیواکتیو محسوب می‌شوند. مواد رادیواکتیو باعث بروز خطرهای بهداشتی و ناراحتی‌هایی ویژه برای انسان و موجودات محیط زیست می‌گردند؛ بنابراین، جزء مواد خطرناک منظور شده‌اند.

استفاده از مواد پرتوزا در نیروگاه‌های هسته‌ای برای تولید انرژی و کاربرد این مواد در پزشکی، صنایع، تحقیقات و کشاورزی، مانند دیگر صنایع، همراه با تولید پسماندها و ضایعات بلااستفاده می‌باشد. پسماندهای صنایع و بخش‌های غیرهسته‌ای با توجه به درجهٔ سمیت با یک عملیات بسیار ساده جمع‌آوری و دفع می‌شوند؛ اما پسماندهای رادیواکتیو به دلیل خصوصیات منحصر به فرد خود لازم است طبق معیارها و ضوابط مخصوص، پس از انجام یک سلسله عملیات ، نگهداری یا دفع شوند. از میان مشکلاتی که صنعت انرژی هسته‌ای امروزه با آن مواجه است. احتمالاً هیچ کدام به بزرگی مشکل پسماندهای پرتوزا و چگونگی دفع دائمی آنها نمی‌باشد.

مواد رادیواکتیو همواره پس از دفع در زباله‌ها یا فاضلاب‌های شهری و صنعتی از طریق خاک و آب و هوا وارد بدن انسان می‌شوند. چنانچه مقادیر بسیار کمی از آنها از طریق آب، هوا یا از طریق زنجیرهٔ غذایی وارد بدن گردند، با گذشت زمان موجب بروز سرطان یا آثار ژنتیکی در نسل‌های بعدی می‌گردند. شکل ۱ راه‌های مختلف انتقال هسته‌های پرتوزای مصنوعی را از محیط به انسان نشان می‌دهد. مشکل اساسی در مورد پسماندهای رادیواکتیو بالا بودن نیمه عمر

برخی از آنها می‌باشد و در خلال این مدت، باید از محیط زیست و مردم جداً نگهداری شوند.

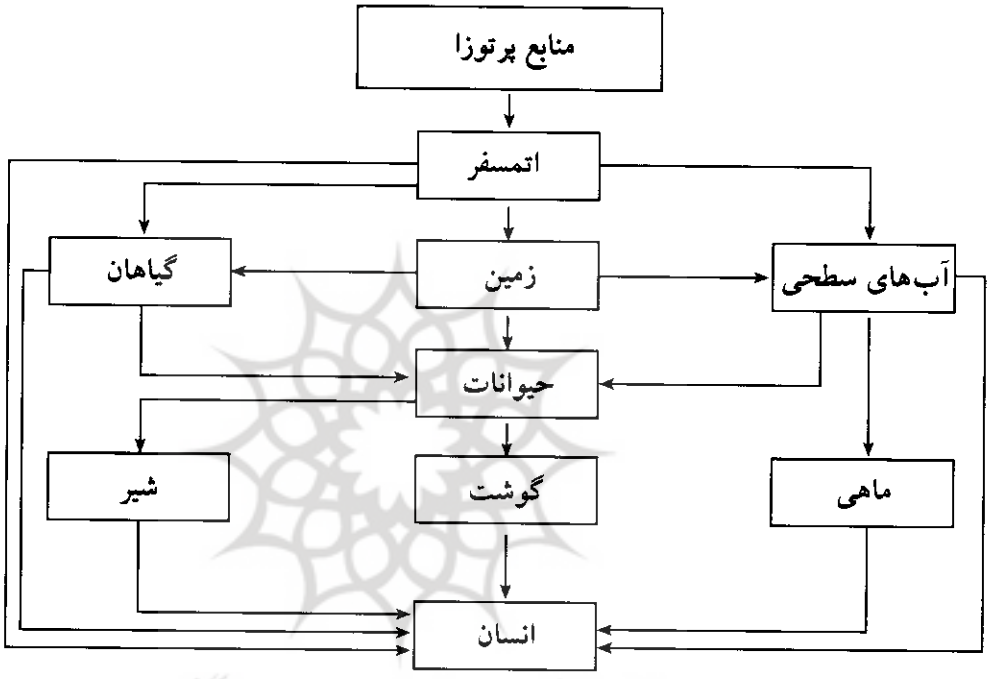
نیمه عمر بعضی از عناصر حاصل از شکاف هسته‌ای به ۳۰ سال و نیمه عمر عناصر ترانس اورانیوم به بیش از هزاران سال می‌رسد. جدول ۱ نیمه عمر برخی از مواد موجود را در پسماندهای رادیواکتیو نشان می‌دهد. جدول مذکور مواد

رادیواکتیو مهم در پسماندهای جامد هسته‌ای را نشان می‌دهد. در زباله‌های جامد هسته‌ای، دو عنصر استرانسیوم ۹۰ (Sr ۹۰) و سزیم ۱۳۷ (Cs ۱۳۷) مهم‌ترین منابع ایجاد گرما و حرارت محسوب می‌شوند. بدین ترتیب باید دقت کرد که انتخاب محل ذخیرهٔ این مواد از نظر پراکندگی گرمای حاصل از واکنش‌های هسته‌ای و نیز تجزیهٔ بعدی مواد رادیواکتیو طبق ضوابط خاص مورد بررسی قرار گیرد.

بیمارستان‌ها، مراکز تهیه و تولید رادیو ایزوتوپ‌ها و مراکز صنعتی و کشاورزی می‌باشند.

۱) تولید سوخت هسته‌ای

در جوابگویی به نیاز روزافزون به نیروی الکتریکی، هرچه بیشتر به سمت انرژی هسته‌ای تمایل داریم. مولد برق هسته‌ای مزیتی بیشتر بر انواع عادی مولدها دارد.



شکل ۱.راه‌های انتقال هسته‌های پرتوزای مصنوعی از محیط زیست به انسان

منابع پسماندهای رادیواکتیو

به طور کلی انسان در معرض دائمی انواع تشعشعات طبیعی و مصنوعی قرار دارد. از مهم‌ترین منابع طبیعی تشعشعات می‌توان به منابع کیهانی و فضایی و تشعشعات طبیعی موجود در پوستهٔ زمین اشاره کرد. منابع مصنوعی شامل پسماندهای پرتوزایی‌اند که در کلیهٔ مراحل چرخهٔ سوخت هسته‌ای تولید می‌شوند. چرخهٔ سوخت هسته‌ای، شامل اکتشاف و استخراج سنگ معدن اورانیوم، تولید سوخت هسته‌ای، کارکرد راکتورها، بازیابی سوخت‌های مصرف شده و برچیدن تأسیسات هسته‌ای می‌باشد. منابع دیگر تولید پسماندهای رادیواکتیو، مراکز تحقیقاتی، در این بخش که شامل خالص‌سازی، غنی‌سازی و ساخت میله‌های سوخت می‌باشد، پسماندهای پرتوزای اولیه تولید می‌شوند. اورانیوم مواد پرتوزای اصلی در پسماندهای این مرحله است اما پلوتونیوم نیز در پسماندها موجود است.

۲) کارکرد راکتور هسته‌ای

در یک راکتور هسته‌ای معمولاً سوخت هسته‌ای به سبب واکنش شکافت، حرارت ایجاد می‌نماید و حرارت حاصل برای تولید بخار و نهایتاً تولید الکتریسیته به کار می‌رود. حرارت تولید شده پیوسته از دستگاه خارج می‌گردد. این عمل معمولاً در بعضی از راکتورها به وسیله آب (برای خنک

جدول ۱ - نیمه عمر برخی از عناصر پرتوزا

نوع مواد پرتوزا	نیمه عمر (سال)
استرانسیوم ۹۰	۲۸/۱
ید ۱۲۹	۱۲×۱۰۶
سزیم ۱۳۷	۳۰
پلوتونیوم ۲۳۸	۸۶/۴
پلوتونیوم ۲۳۹	۲۴۴۰۰
آمریکیو ۲۴۱	۴۸
آمریکیو ۲۴۳	۷۶۵۰

کردن) انجام می گیرد.

در این بخش، ضمن عملیات تصفیه، آب خنک کننده و استخر نگهداری میله های سوخت، رفع آلودگی از دستگاه ها، و انجام تعمیرات روزمره، پسماندهای رادیواکتیو تولید می شوند. پسماندهای حاصل از کارکرد راکتور معمولاً به پاره های شکافت و محصولات پرتوزا آلوده می باشند. پسماندهای حاصل از تصفیهٔ مدار آب خنک کنندهٔ اولیه و گازها به ترتیب، شامل رزین ها و فیلترهای مصرف شده و همچنین تجهیزات آلوده می باشند.

۳) بازیابی سوخت مصرف شده

بر اثر کار راکتورها، سوخت مصرف شده تولید می شود. این سوخت حاوی اورانیوم، پاره های شکافت و دیگر عناصر است. سوخت مصرف شده یا خود به عنوان پسماند تلقی می شود یا بازیابی آن موجب تولید پسماند می گردد.

پسماندهای حاصل از بازیابی سوخت مصرف شده مهم ترین بخش را از پسماندهای پرتوزا تشکیل می دهند؛ یعنی، بیش از ۹۹ درصد که شامل ایزوتوپ های عناصر حاصل از شکافت و عناصر تولید شده پلوتونیوم، اورانیوم و ترانس اورانیوم اند. از پسماندهای جامد تولید شده در این مرحله می توان غلاف میله های سوخت، تجهیزات و دستگاه های آلوده و باقی مانده های نامحلول را در خلال عملیات انحلال نام برد.

۴) تولید سلاح و بمب های هسته ای

هم اینک بیشترین مقدار پسماندهای هسته ای مربوط به تولید پلوتونیوم است که برای تهیه بمب های هسته ای در صنایع نظامی مورد استفاده قرار می گیرد. این پسماندها به حالت خمیری و یا سیال در مخازن مخصوص نگهداری می شوند.

در سال های اخیر موضوع جامد کردن این مواد مورد توجه قرار گرفته است. کم کردن حجم این مواد با توجه به ایجاد تسهیلات در حمل و نقل و کاهش احتمال تصادفات، محاسنی زیاد را در این روش به وجود آورده است. مهم ترین روش های جامد کردن این گونه زباله ها عبارت از خشک کردن تدریجی در دمای ۷۰۰ الی ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی گراد و شفاف و کریستالی کردن آنها می باشد.

۵) استخراج سنگ معدن

سنگ معدن اورانیوم شامل ۲ تا ۵ پوند U_3O_8 در ۱ تن سنگ است. اورانیوم طبیعی مورد استفاده در راکتورها به میزان و غلظت بسیار کم در سنگ معدن وجود دارد.

بازیابی اورانیوم در سنگ معدن به عملیاتی از قبیل اکتشاف، استخراج، کانه آرایی و خردکن نیاز دارد که در هر یک از مراحل فوق مقادیر چشمگیری پسماند رادیواکتیو تولید می شود. پسماندهای این مرحله مقادیر ناچیزی اورانیوم و توریوم دارند و عمدتاً به هسته های دختر از قبیل رادیوم و رادن آلوده می باشند.

۶) فعالیت های پژوهشی و تحقیقاتی

فعالیت های تحقیقاتی شامل راکتورهای تحقیقاتی، شتاب دهنده ها، فعالیت های آزمایشگاهی و غیره می شوند که پسماندهای پرتوزا تولید می نمایند. مقدار و نوع آن پسماندها نیز بستگی به چگونگی فعالیت های تحقیقاتی دارد.

۷) تهیه و تولید رادیو ایزوتوپ ها

مراکز تهیه و تولید رادیو ایزوتوپ ها که تحت عملیاتی مخصوص رادیوایزوتوپ های مورد استفاده در پزشکی و صنایع را تولید می نمایند، نیز پسماند پرتوزا تولید می کنند که نوع و میزان آن بستگی به هسته پرتوزا و روش تولید آن دارد.

عمدتاً مقدار پسماند تولید شده در این نوع فعالیت ها پایین، اما پرتوزایی ویژهٔ آنها ممکن است چشمگیر باشد.

۸) کاربرد رادیو ایزوتوپ‌ها در صنایع

استفاده از چشمه های پرتوزا به صورت باز و بسته در صنایع نیز پسماندهایی به شکل چشمه های بسته مصرف شده تولید می نمایند. نوع و حجم این گونه پسماندهای پرتوزا به کاربری آنها بستگی دارد.

۹) از کار انداختن تأسیسات هسته‌ای

در پایان عمر مفید یک تأسیسات هسته‌ای ضروری است عملیاتی اجرایی انجام گیرد تا این تأسیسات از حالت بهره‌برداری خارج گردند و نهایتاً محل این تأسیسات بدون محدودیت مورد استفاده قرار گیرد. فعالیت هایی که هنگام برچیدن یک تأسیسات هسته‌ای و پاکسازی و رفع آلودگی هسته‌ای به مورد اجرا گذاشته می شوند، منجر به تولید پسماندهایی می شوند که در نوع، میزان پرتوزایی و حجم، بسیار متنوع می باشند.

۱۰) کاربرد رادیوایزوتوپ‌ها در پزشکی و بیمارستان‌ها

استفاده از رادیوایزوتوپ ها و رادیو داروها در پزشکی برای تشخیص و درمان بیماری ها کاربردی وسیع پیدا کرده است که حاصل این فعالیت ها تولید پسماند پرتوزا می باشد.

منابع تولید پسماندهای رادیواکتیو در بیماری ها عبارتند از:

الف) فعالیت های تحقیقاتی که معمولاً از مقدار فراوانی ذره‌های بتا (^{14}C و ^{3}H) استفاده می کنند که پسماند جامد زیاد، اما با درجهٔ پایین رادیواکتیو تولید می نمایند.

ب) آزمایشگاه های کلینیکی که در فعالیت های خود از مواد

جدول ۲-رادیواکتیوهای مورد استفاده در بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی

نام ماده رادیواکتیو	نوع پرتو	نیمه عمر	کاربرد
۳H	ذرهٔ بتا	۱۲۳ سال	تحقیقات
۱۴C	ذرهٔ بتا	۵۷۳۰ سال	تحقیقات
۳۲P	ذرهٔ بتا	۱۴/۳ سال	درمان
۵۱Cr	اشعهٔ گاما	۲۷/۸ روز	در محیط آزمایشگاه
۵۱Co	ذرهٔ بتا	۲۷۰ روز	در محیط آزمایشگاه
۵۹Fe	ذرهٔ بتا	۴۵/۶ روز	در محیط آزمایشگاه
۶۷Ga	اشعهٔ گاما	۷۲ ساعت	عکسبرداری تشخیصی
۷۵Se	اشعهٔ گاما	۱۲۰ روز	عکسبرداری تشخیصی
۹۹Tc	اشعهٔ گاما	۶ روز	عکسبرداری تشخیصی
۱۲۲I	اشعهٔ گاما	۱۳ ساعت	تشخیصی تفهیمی
۱۲۵I	اشعهٔ گاما	۶۰ روز	تشخیصی تفهیمی
۱۳۱I	ذرهٔ بتا	۸ روز	درمان
۱۳۳Xe	ذرهٔ بتا	۵/۳ روز	عکسبرداری تشخیصی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رادیواکتیو استفاده می کنند. این زباله ها دارای درجهٔ اکتیویته پایین هستند.

ج) آزمایشگاه های پزشکی هسته ای که مقدار زبالهٔ تولیدی آنها پایین است؛ اما نسبت به دو گروه فوق رادیواکتیویتهٔ بالاتری دارند. این بخش دو نوع پسماند رادیواکتیو تولید می کند که یکی در تشخیص بیماری ها و دیگری بر اثر رادیوتراپی به وجود می آید. مواد رادیواکتیوی که در رادیوتراپی به کار می روند، عمدتاً I^{131} و I^{133} هستند که برای درمان بزرگی غدهٔ تیروئید و سرطان تیروئید استفاده می شوند. جدول ۲ نشان دهندهٔ انواع مواد رادیواکتیو مورد استفاده در بیمارستان ها و مراکز بهداشتی و درمانی است.

طبقه بندی پسماندهای رادیواکتیو

پسماندهای پرتوزا در تأسیسات مختلف با غلظت های بسیار متفاوت تولید می شوند. به منظور آسان نمودن مدیریت پسماندهای رادیواکتیو، روش هایی متعدد برای طبقه بندی پسماندهای پرتوزا توسعه و تکامل یافته است. طبقه بندی می تواند براساس منبع تولید، درجهٔ سمیت، حالت فیزیکی، پرتوزایی و نیمه عمر هسته های پرتوزای موجود انجام پذیرد.

هدف از طبقه بندی پسماندهای رادیواکتیو گروه بندی یا تقسیم آنها به گونه ای است که جابه جایی، نگهداری، تصفیه، تثبیت، بسته بندی و دفن آنها را آسان نماید، اما در یک طبقه بندی ایده آل باید نکات زیر را مدنظر قرار داد:

- انواع پسماندهای رادیواکتیو را در دامنه ای وسیع بپوشاند
- برای موارد خاص انعطاف پذیر باشند
- تا حدممکن کاربرد بین المللی داشته باشد
- کلیهٔ مراحل مدیریت پسماندهای رادیواکتیو را نشان دهد
- درک آن آسان باشد

۱) طبقه بندی براساس درجهٔ سمیت

مواد پرتوزا از نظر خطر سمیت به چند گروه تقسیم می شوند. سازمان بین المللی انرژی اتمی (IAEA) ایزوتوپ های مختلف رادیواکتیو را برحسب سمیت نسبی در ۴ کلاس با سمیت بسیار بالا، بالا، متوسط و پایین طبقه بندی کرده است. جدول ۳ این طبقه بندی را در هر کلاس با افزایش عدد اتمی نشان می دهد.

۲) طبقه بندی براساس حالت فیزیکی

براساس حالت فیزیکی پسماندهای رادیواکتیو را به سه دسته مایع، جامد و گاز طبقه بندی می نماید. طبقه بندی پسماندهای جامد براساس نوع پرتوزایی (بتا، گاما یا آلفا) یا براساس اشتعال زا بودن و اشتعال زا نبودن طبقه بندی می شوند.

برای سنجش میزان پرتوزایی بتا و گاما در پسماندهای جامد

جدول ۳- طبقه بندی مواد پرتوزا از نظر سمیت طبق پیشنهاد IAEA

کلاس ۱ (با سمیت بسیار بالا)

Sr-90 + Y-90, *Pb-210 + Bi-210 (RaD + E), Po-210, At-211, Ra-226 + percent *daughter products , Ac- 227 *U-232, Pu-239, *Am-241, Cm-242.

کلاس ۲ (با سمیت بالا)

Ca-45, *Fe-59, Sr-89, Y-91, Ru-106 + *Rh-106, *I-131, *Ba-140 + La-140, Ce-144 + *Pr-144, Sm-151, *Eu-154, *Tm-170, *Th-234 + *Pa-234, *natural uranium.

کلاس ۳ (با سمیت متوسط)

*Na-22, *Na-24, P-32, S-35, Cl-36, *K-42, *Sc-47, *Sc-48, *V-48, *Mn-52, *Mn-54, *Mn-56, Fe-55, *Co-58, *Co-60, Ni-59, *Cu-64, *Zn-65, *Ga-72, *As-74, *As-76, *Br-82, *Rb-86, *Zr-95, _*Nb-95, *Mo-99, Tc-98, Rh-105, Pd-103_ Rh-103, *Ag-105, Ag-11, Cd-109 _*Ag-109, *Sn-113, Te-127, Te-129, *I-132, Cs-137_ *Ba-137, La-140, Pr-143, Pm-147,Ho-166, *Lu-177, *Ta-182, *W-181, Re-183,Ir-190, Ir-192, Pt-191,*Pt193, *Au-198, *Au-199, Tl-200, Tl-202, Tl-204, *Pb-203.

کلاس ۴ (با سمیت پایین)

H-3, *Be-7, C-14, F-18, *Cr-51, Ge-71, *Tl-201.

* ساطع کننده گاما

جدول ۴ - طبقه‌بندی پسماندهای جامد رادیواکتیو براساس نوع پرتوزایی

گروه	میزان پرتودهی در سطح پسماند (D) برحسب راد در ساعت (R/h)	توضیحات
۱	$D \leq ۰/۲$	دارای تشعشع بتا و گاما (تشعشع آلفا ناچیز است)
۲	$۰/۲ \leq D \leq ۲$	
۳	$D > ۲$	
۴	میزان پرتوزایی آلفا برحسب کوری بر متر مکعب است. کلیهٔ پسماندهای جامد که پرتوگیری خارجی آنها ناچیز است، ولی آلودگی آنها با پرتوهای آلفا چشمگیر است، در این گروه قرار می‌گیرند.	دارای تشعشع آلفا (تشعشع بتا و گاما ناچیز است)

معمولاً مقدار تشعشع آنها را در سطح خارجی محفظه‌های حاوی آنها اندازه‌گیری می‌نمایند. جدول ۴ طبقه‌بندی پسماندهای جامد رادیواکتیو را براساس خواص فیزیکی (نوع پرتوزایی) نشان می‌دهد.

۳) طبقه‌بندی براساس غلظت و پرتوزایی

۱.۳ پسماندهای رادیواکتیو معاف یا خارج از شمول (ERW)[۲]

پسماندهایی که غلظت هسته‌های پرتوزا در آنها به قدری پایین است که خطرهای رادیولوژیکی آنها اغماض پذیر است و می‌توانند از نظارت‌های مقرراتی معاف گردند؛ به عبارت دیگر، خارج از شمول مقررات هستند.

۲.۳ پسماندهای رادیواکتیو با تراز پایین (LLRW)[۳]

این مواد دارای رادیواکتیویتهٔ کم و در حدی اغماض پذیر هستند. صنایع، بیمارستان‌ها، مراکز تحقیقاتی آموزشی و پزشکی، آزمایشگاه‌های دولتی و خصوصی که دارای مواد رادیواکتیوند، این دسته از ضایعات را تولید می‌کنند. LLRW از نظر فعالیت فقط ۱ درصد و از نظر حجم ۸۵ درصد پسماندهای رادیواکتیو ایالت متحده را شامل می‌شود. ضایعات رادیواکتیو با تراز پایین تحت کلاس‌های A، B و C طبقه‌بندی می‌شوند که جدول ۵ خصائص هر گروه را نشان می‌دهد.

۳.۳ پسماندهای رادیواکتیو با تراز متوسط (ILRW)[۳]

به پسماندهای رادیواکتیوی اطلاق می‌گردد که میزان فعالیت‌شان معمولاً در حد میلی میکرون بر لیتر است که در نیروگاه‌های اتمی هنگام بازیابی از میله‌های سوخت و همچنین در زمان تولید عناصر سوخت اتمی حاصل می‌شوند.

۴.۳ پسماندهای رادیواکتیو با تراز بالا (HLRW)[۴]

مواد زائدی هستند که فعالیت‌شان بیش از ۱ کوری بر لیتر است. این مواد، شامل عناصر سوخت ضعیف شده حاصل از راکتورهای هسته‌ای، پسماندهای تولید شده از فناوری مجدد و پسماندهای ایجاد شده در کارخانجات تولید سلاح‌های هسته‌ای می‌باشد. مهم‌ترین عیب این پسماندها تولید حرارت بسیار بالا و خطرهای فراوان تشعشع می‌باشد.

بسته‌بندی، جمع‌آوری و حمل و نقل ضایعات رادیواکتیو

حمل و نقل مواد پرتوزا عبارت است از مجموعه عملیاتی که جهت جابه‌جایی رادیو ایزوتوپ‌ها، پسماندهای پرتوزا و محموله‌های چرخهٔ سوخت هسته‌ای انجام می‌گیرد.

این مقوله کلیهٔ عملیات طراحی، ساخت، آماده‌سازی بسته‌ها، نگهداری و انبارداری مواد پرتوزا را در طول حمل در شرایط عادی و هنگام سانحه دربرمی‌گیرد. پیش‌بینی شده است سالانه بین ۱۸ تا ۴۰ میلیون بسته مواد رادیواکتیو در

جدول ۵- انواع ضایعات رادیواکتیو با تراز پایین

خصائص	ضایعات کلاس A	ضایعات کلاس B	ضایعات کلاس C
غلظت	غلظت های کم رادیونوکلوئید	غلظت های بالاتر رادیونوکلوئید	بالاترین غلظت رادیونوکلوئید
شکل مواد زائد	نیاز به تثبیت ندارد	نیاز به تثبیت برای ۳۰۰ سال دارد	نیاز به تثبیت برای ۳۰۰ سال دارد
مثال ها	عمدتاً لباس های حفاظتی آلوده شده، کاغذها و سطل های زباله آزمایشگاهی	عمدتاً رزین ها و فیلترهای نیروگاه های هسته ای	عمدتاً اجزای راکتور و ضایعات صنعتی با فعالیت بالا
حفاظت از نشت	بعد از ۱۰۰ سال به حد ایمن مورد قبول می رسد و برای حفاظت به هیچ گونه ترابر اضافه ای نیاز ندارد	بعد از ۱۰۰ سال واپاشی به حد مورد قبول می رسد و نیاز به اخذ تدابیر خاص برای تثبیت دارد	بعد از ۵۰۰ سال واپاشی به حد مجاز می رسد، نیاز به اخذ تدابیر تثبیت و دفن عمیق تر دارد
جداسازی	مواد بی ثبات کلاس A را باید از کلاس B و C جدا کرد	نیاز به جداسازی از کلاس C وجود ندارد	نیاز به جداسازی از کلاس B وجود ندارد

سراسر جهان جابه جا می شود.

تقریباً ۲ میلیون و ۵۰۰هزار بسته به صورت سالانه در ایالت متحده حمل و نقل می گردد. ادارهٔ حمل و نقل آمریکا (DOT) مسئولیت ایمنی حمل و نقل مواد رادیواکتیو را به عهده دارد.

طبق نظر DOT و IAEA از دیدگاه حمل و نقل، مواد رادیواکتیو ساطع کنندهٔ تشعشع یونسازند و فعالیت ویژهٔ بیش از ۰/۰۰۲ میلی کوری بر گرم (mci/g) دارند.

انواع بسته‌بندی مواد رادیواکتیو

در بسته بندی مواد پرتوزا باید شرایط کلی بسته بندی مراعات شود. بسته ها باید به گونه ای طراحی و ساخته شوند که با توجه به وزن، حجم و شکل آن به راحتی و با اطمینان حمل شوند و مقاومت لازم را در برابر شرایط جوی، ضربه و فشار و غیره داشته باشند. باید از امکان خروج مواد پرتوزا از بسته جلوگیری به عمل آید. از نظر مقررات، ۴ نوع بسته بندی برای انتقال مواد پرتوزا وجود دارند که عبارتند از: بسته های آزاد، بسته های صنعتی، بسته های نوع A و بسته های نوع B

الف) بسته های آزاد

بسته هایی هستند که حاوی مقداری محدود از مادهٔ پرتوزا با خطرهای رادیواکتیویتهٔ بسیار محدود می باشند. این محدودیت به نوع مادهٔ پرتوزا بستگی دارد.

در مورد جامدات رادیواکتیو، حداکثر مقدار مواد پرتوزایی را که در این نوع بسته ها می توان حمل کرد، ۳-۱۰ A1 یا A2 می باشد و در صورتی که بسته با پست ارسال شود، مقدار آن یک دهم مقادیر فوق کاهش می یابد.

میزان مادهٔ پرتوزا در سطح خارجی بسته نباید از ۵ میکروسیورت در ساعت تجاوز کند.

از معروف ترین این بسته ها معرف های تشخیصی . درمانی در علم پزشکی اند که اصطلاحاً به آنها کیت گفته می شود، مانند کیت های یُد ۱۲۵ (I^{125}) که پرتوزایی آنها به ندرت از ۵ میکرو کوری تجاوز می کند. بر روی کیت ها کلمهٔ رادیو اکتیو به گونه ای آشکار نوشته شده است.

شکل ۱- بسته های نوع A

ب) بسته‌های صنعتی

این بسته‌ها برای حمل مواد با پرتوزایی ویژهٔ کم یا لوازم آلوده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از متداول‌ترین آنها بشکه‌ها و ظروف ساخته شده از فولاد ضدزنگ است.

بیشترین مواردی که در این ظروف حمل می‌شوند، پسماندهای با پرتوزایی ویژهٔ کم و سوخت‌های مصرف نشده‌اند. برای برخی مواد، مانند سنگ‌های معدنی اورانیوم و توریوم و اورانیوم تهی شده، مقدار مادهٔ پرتوزایی بسته محدودیتی ندارد؛ ولی در مورد موادی، مانند پسماندهای پرتوزا، مقدار پرتوزایی بسته محدود است.

در هر صورت، مقدار مادهٔ پرتوزایی که در این نوع بسته‌ها قرار داده می‌شود، باید به اندازه‌ای باشد که حداکثر میزان مادهٔ پرتوزا در ۳ متری مادهٔ پرتوزا یا وسیلهٔ آلوده یا مجموعه وسایل آماده شده برای هر بسته از ۱۰ میلی‌سیورت در ساعت تجاوز نکنند.

ج) بسته‌های نوع A

بسته‌های نوع A متداول‌ترین نوع بسته در حمل و نقل مواد پرتوزا هستند. در طراحی و ساخت این نوع بسته‌ها مسائل ایمنی و اقتصادی هر دو در نظر گرفته می‌شوند و علاوه بر مقرراتی که در حالت کلی وجود دارد، این بسته‌ها تحت آزمایش‌های خاصی از نظر استحکام و مقاومت قرار می‌گیرند. حداکثر تعداد مادهٔ پرتوزایی که در این بسته‌ها می‌توان حل کرد، برابر A۱ یا A۲ است.

فرض بر این است که این بسته‌ها در حوادث شدید آسیب می‌بینند و بخشی از محتویات آنها بیرون می‌ریزد. در این حالت، خطر پرتوگیری افرادی که در محل حادثه حضور دارند، محدود و آلودگی کنترل‌شدنی است.

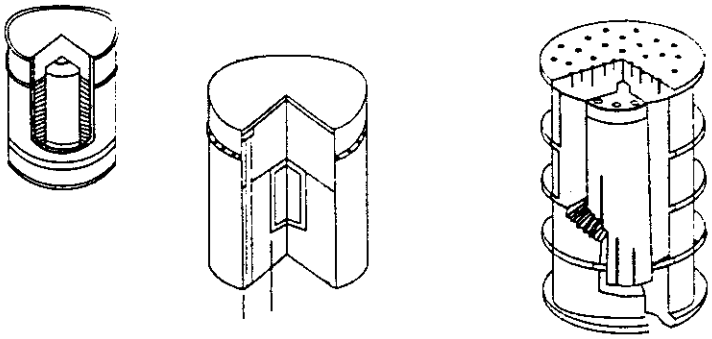
حداکثر پرتوزایی در سطح خارجی بسته نباید از ۲ میلی سیورت در ساعت تجاوز کند. در صورت وجود چن بسته‌هایی در وسیلهٔ نقلیه، میزان مادهٔ پرتوزا در محل سرنشینان اتومبیل نباید بیش از ۰/۰۲ میلی سیورت در ساعت باشد.

از این نوع بسته‌ها جهت حمل رادیوداروها و رادیوایزوتوپ‌های تحقیقاتی استفادهٔ فراوان می‌شود. شکل ۱ انواع بسته‌بندی و حمل و نقل بسته‌های A را نشان می‌دهد که توسط کمیسیون تنظیم‌کنندهٔ مقررات هسته‌ای (NRC) در بخش ۷۱ کد ۱۰ ارائه شده است.

د) بسته‌های نوع B

اگر مقدار مادهٔ پرتوزای موردنظر جهت حمل، بیش از مقدار A۱ و A۲ باشد، لازم است برای جلوگیری از رها شدن مواد در تصادفات شدید از بسته‌های نوع B استفاده گردد. میزان ماده پرتوزا در سطح بسته نباید از ۱۰ میلی سیورت در ساعت تجاوز کند.

بسته‌های نوع B شامل بشکه‌های کوچک جهت حمل چشمه‌ها و چلیک‌های بزرگ جهت حمل پسماندها و سوخت‌های مصرف شده می‌باشد.



شکل ۲- بسته های نوع B

از بسته‌های نوع B بیشتر برای حمل و نقل کنترل شده در مسیرهای بزرگراه و تحت مقررات NRC بخش ۷۱ کد ۱۰ استفاده می‌شود.

بسته‌های نوع B ممکن است توسط واحد قانونی کشور مبدأ تأیید شوند که در این صورت با علامت B(U) مشخص می‌شوند و اگر مقامات مسئول کشور مقصد نیز آن را تأیید کنند، علامت B(M) دارند. شکل ۲ نمونه هایی را از بستهٔ نوع B نشان می دهد.

آزمایش بسته‌ها

به منظور تعیین مقاومت بسته‌ها، آزمایش هایی روی آنها انجام می گیرد. برخی آزمایش ها برای تأیید مقاومت بسته‌ها (هر دو نوع A و B) در شرایط عادی حمل و نقل انجام می گردد. این آزمایش ها عبارتند از: آزمایش دوش آب، آزمایش سقوط آزاد، آزمایش فشار، آزمایش نفوذ، آزمایش مکانیکی، آزمایش حرارت و آزمایش غوطه‌وری

تشعشع خارجی پرتوزا و سطوح آلودگی

سطوح تشعشع نباید در هیچ یک از نواحی خارجی بسته‌بندی پسماند رادیواکتیو از میزانی معین فراتر رود. حداکثر سطوح تشعشع بسته‌بندی مواد رادیواکتیو به شرح ذیل می باشد:

۲۰۰ میلی رم در ساعت در سطح بسته

۱۰ میلی رم در ساعت در ۱ متری بسته

اگر بخواهند بسته ها را با یک وسیلهٔ نقلیهٔ انحصاری حمل کنند، حداکثر سطوح تشعشع به شکل زیر است:

۱۰۰۰ میلی رم در ساعت در سطح دسترسی بسته

۲۰۰ میلی رم در ساعت در سطح خارجی وسیلهٔ نقلیه

۱۰ میلی رم در ساعت در ۲ متری سطح خارجی وسیلهٔ نقلیه

۲ میلی رم در ساعت در مکان هایی از وسیلهٔ نقلیه که فردی در آن استقرار دارد

جمع‌آوری و حمل و نقل پسماندهای رادیواکتیو

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) پسماندهای رادیواکتیو جامد را در ۴ گروه درجه‌بندی و مقرراتی ویژه در زمینهٔ جمع‌آوری و حمل و نقل آنها پیشنهاد نموده است:

۱) پسماندهایی که پرتوزایی آنها از ۰/۲ راد در ساعت کمتر است و مولد اشعه های گاما و بتا می باشند. این پسماندها بدون مقررات ویژهٔ حمل و نقل، دفن شدنی اند.

۲) پسماندهایی می باشند که مواد رادیواکتیو آنها بین ۰/۲ تا ۲ راد در ساعت بیشتر مولد اشعه های گاما و بتااند. برای حمل و نقل این گونه پسماندها باید از ظروفی مخصوص که دارای حفاظ سیمانی یا سربی باشند، استفاده نمود.

۳) پسماندهایی هستند که اشعهٔ گاما و بتا تولید می کنند؛ ولی مقدار اشعهٔ گاما آنها زیاد نیست. شدت رادیواکتیو این مواد بیش از ۲ راد در ساعت است. حمل و نقل این مواد باید

طبق مقررات ویژهٔ بین‌المللی انجام پذیرد.

استفاده از ظروف حفاظدار هنگام حمل و نقل و توجه خاصی به نداشتن کوچک‌ترین مخاطره برای موجودات زنده، هنگام دفن یا پس از آن، الزامی است.

۴) این پسماندها مولد اشعهٔ آلفا و دارای نیمه عمر بسیار طولانی می‌باشد.

پسماندهای جامد که معمولاً شامل اجسامی آلوده مانند حوله، دستمال کاغذی، شیشه، دستکش و فیلترهای مختلف می‌باشند، باید در ظروف ویژهٔ سرپوشیده که به وسیله پا باز و بسته می‌شوند، نگهداری گردند.

در جمع‌آوری پسماندهای پرتوزا رعایت نکات زیر الزامی است:

- محل جمع‌آوری پسماندهای پرتوزا باید از زباله‌های معمولی جدا باشد.
- ظروف نگهداری موقت و وسایل حمل و نقل باید طوری ساخته شده باشند که به آسانی تمیز گردند.
- کیسهٔ داخل ظروف نگهداری حتماً از جنس پلاستیک محکم و ضخیم باشد.
- به کیسهٔ حاوی پسماند و رادیواکتیو کارتی ویژه متصل و مشخصات زباله کاملاً روی آن نوشته و ثبت گردد.
- اگر پرتوزایی بیش از ۵ میلی‌راد در ساعت است، باید از ظروف حفاظدار ویژه استفاده نمود.

تصفیهٔ پسماندهای پرتوزا

پسماندهای رادیواکتیو که در قسمت‌های مختلف تولید می‌شوند، دارای خواص فیزیکی، شیمیایی و رادیولوژیکی متفاوت می‌باشد. برای جلوگیری از پخش و انتشار غیرمتعارف مواد پرتوزا در محیط زیست لازم است پسماندهای پرتوزا متناسب با خواص مختلف‌شان تصفیه گردند تا بتوان آنها را مطابق با معیارها و ضوابط بین‌المللی به شکل ایمن در محیط زیست نگهداری یا دفع نمود.

امروزه روش‌هایی متعدد با هدف اصلی کاهش حجم پسماند در دست می‌باشند. بیشترین حجم پسماندهای جامد که در مراحل مختلف تولید می‌شوند، شامل کاغذهای مصرف شده، لباس و دستکش‌ها، شیرآلات و لوازم فلزی آلوده می‌باشد. روش‌های متداول برای آمایش این پسماندها عبارتند از:

- قطعه قطعه کردن: بعضی تجهیزات آلوده یا قطعات بزرگ پسماندها باید قبل از جداسازی و عملیات دیگر به قطعات کوچک‌تر تبدیل شوند.
- متراکم کردن: با استفاده از دستگاه متراکم کننده، پسماندها توسط یک پرس هیدرولیکی فشرده می‌شوند و حجم آنها به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد که تسهیل در عملیات نگهداری و دفع آنها را نیز موجب می‌گردد.
- سوزاندن: پسماندهای سوزاندنی را پس از جداسازی، در دستگاه‌هایی به نام زباله‌سوز اتمی می‌سوزانند. با این روش، حجم پسماند به میزان فراوانی کاهش می‌یابد و به خاکستری با حجم بسیار کم، اما پرتوزایی بیشتر تبدیل می‌گردد. خاکستر حاصل را باید برای نگهداری مطمئن به مدت طولانی در موادی مناسب، مانند سیمان، قیر، شیشه یا سرامیک ثابت نمود.

تصفیهٔ پسماندهای مایع رادیواکتیو (که در اغلب فعالیت‌های هسته‌ای و آزمایشگاهی در حجم زیاد تولید می‌شوند) به اختصار به شرح زیر انجام می‌پذیرد:

- پسماندهای مایع با پرتوزایی بالا (HLW): روش جامدسازی در سیمان، قیر، مواد پلیمر، شیشه و سرامیک یا پودر کردن از طریق حرارت دادن.
- پسماندهای مایع با پرتوزایی متوسط (MLW): روش تبخیر، تزریق در لایه‌های مناسب زمین (زمین‌شناسی) همراه با مخلوطی از سیمان یا مواد جامد دیگر
- پسماندهای مایع با پرتوزایی پایین (LLW): استفاده از فیلتر، ترسیب شیمیایی به شکل هیدروکسید، کربنات‌ها و فسفات‌ها، روش تبادل یونی و روش تبخیر

دفع نهایی پسماندهای رادیواکتیو

پسماندهای پرتوزای به جا مانده از فعالیت‌های مختلف هسته‌ای را امروزه پس از تصفیه و بسته‌بندی، به منظور کاهش احتمال نشت آنها به محیط زیست و بروز پیش‌آمدهای ناگوار تا آنجایی که ممکن است به طرق مختلف از محیط زیست دور می‌نمایند.

در جهان مطالعات و تحقیقاتی فراوان برای بیان آسان‌ترین، مطمئن‌ترین و کم هزینه‌ترین روش در این زمینه در دست اجرا است.

روش‌های متداول امروزی دفع پسماندهای رادیواکتیو به شرح زیر می‌باشند:

الف) ذخیره یا انبار نمودن موقت و دائم

ب) دفن کردن در زمین

ج) تخلیه در دریا

د) دفع کردن دریخچال‌های قطب شمال

هپ) دفن نمودن در کف اقیانوس‌ها

و) انتقال پسماندها به سایر کرات

حال به شرح مختصر هر یک از روش‌های دفع می‌پردازیم:

الف) ذخیره یا انبار نمودن موقت و دائم

زباله‌های رادیواکتیو برای مدتی در محل‌های ساختهٔ دست بشر یا محل‌هایی که خود به خود در طبیعت موجودند، نگهداری می‌گردند. مراکز نگهداری زباله‌های اتمی باید مورد اطمینان و به یک دیوارهٔ بتونی ضخیم مجهز باشند تا امکان انتشار تشعشعات آنها در محیط اطراف به حداقل برسد. برای ذخیره کردن این گونه زباله‌ها، آنها را در ظروف استوانه‌ای استیل به قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۰۰ سانتی‌متر مستقر و سپس به محل نگهداری ارسال می‌نمایند. موارد زیر مهم‌ترین محل‌های نگهداری پسماندهای جامد هسته‌ای می‌باشند:

- بسترهای ضخیم نمک‌زارها
- صخره‌های کریستالی بسیار سخت، همچون سنگ خارا، که در درجه حرارت بالا شکل گرفته‌اند.
- سنگ‌های رسی حاصل از ته‌نشینی گل رس فشرده شده
- منابع سنگ‌های آهکی و دولومیتی که تحت فشاری ویژه به وجود آمده‌اند
- سنگ‌های سخت و متشکل از مواد آتشفشانی

در مورد ذخیرهٔ دائم پسماندهای رادیواکتیو، می‌توان گفت پس از دقت کافی در انتخاب محل، طبق ضوابط ویژهٔ بهداشتی و ایمنی، نخست چاهی به عمق حدود ۳۰۰۰ متر حفر می‌کنند و پس از آن، کانال‌های متعدد افقی در جهت‌های مناسب به طول ۱۰۰۰ متر در عمق چاه می‌سازند و به‌تدریج مخازن استوانه‌ای شکل حاوی مواد هسته‌ای را در آنها قرار می‌دهند. در پایان، تا ارتفاع سه چهارم این مخازن را از خاک پر می‌کنند و یک چهارم بقیه را بسته به نوع پسماند. با مواد حفاظتی ویژه می‌پوشانند.

یک روش دیگر برای ذخیرهٔ دائم حفر چاه به عمق ۶۰۰۰ متر است که حدود ۲۰۰۰ متر از آن را برای دفن زباله‌های هسته‌ای جای گرفته در مخازن استوانه‌ای اختصاص می‌دهند.

پسماندهای رادیواکتیو را می‌توان پس از کاهش حجم داخل بشکه‌هایی از جنس فولاد یا در بلوک‌های سیمانی قرار داد. در بعضی از کشورها، مثل آلمان، از معدن نمک یا در فرانسه، از غار و معادن متروکه برای انبار نمودن پسماندها استفاده می‌کنند.

ب) دفن کردن در زمین

امروزه دفن پسماندها در داخل زمین مناسب‌ترین روش جهت نگهداری و بهترین روش به ویژه برای پسماندهایی با پرتوزایی کم و متوسط یا با نیمه عمر کوتاه به شمار می‌رود.

چنانچه دفن پسماندهای با پرتوزایی بالا و هسته‌های پرتوزا با نیمه عمر طولانی مدنظر باشد، باید در اعماق زمین دفن شوند؛ در حالی که پسماندهای با پرتوزایی کم را می‌توان نزدیک به سطح زمین دفن کرد.

مهم‌ترین و اساسی‌ترین بخش در دفن پسماندهای رادیواکتیو، انتخاب محل مناسب می‌باشد. در انتخاب محل دفن باید مطالعات زمین‌شناسی، آب‌شناسی، هواشناسی و جمعیت‌شناسی و کاربرد محل در آینده و... انجام گیرد.

از عوامل مهم در انتخاب محل، به جنس طبقات و لایه‌های زمین، پایین بودن سطح آب‌های زیرزمین و دور بودن از مراکز جمعیتی می‌توان اشاره نمود. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، گرانیت و سنگ نمک بهترین حفاظ برای نگهداری پسماندها به مدت طولانی می‌باشند.

ج) تخلیه در دریا

این روش معمولاً در مورد پسماندهای بسته‌بندی شدهٔ جامد با پرتوزایی متوسط و اغلب در کشورهای نزدیک به دریا و دارای محدودیت منطقهٔ جغرافیایی استفاده می‌شود.

دفع زباله‌های اتمی کشور شوروی سابق طی سی سال

گذشته در اقیانوس منجمد شمالی، سبب نگرانی کشورهای اروپایی و سایر کشورهای دنیا در سال ۱۹۹۴ گردید.

در گذشته، بسیاری از کشورها، از جمله بلژیک، هلند، انگلیس و سوئیس، بشکه‌های پسماند و رادیواکتیو خود را مشترکاً در دریا غرق می‌کردند که این روش امروزه مورد اعتراض بسیاری از کشورها و طرفداران محیط زیست قرار گرفته و تقریباً منسوخ شده است.

د) دفع کردن در یخچال‌های قطب شمال

لایه‌های یخ در قطب شمال از ضخامتی بسیار خوب برخوردار هستند. این مناطق به علت دوری از اجتماعات انسانی و فقدان امکانات اکتشاف، اگر خارج از چهارچوب مناطق زلزله‌خیز باشند، محلی مناسب برای دفع زباله‌های هسته‌ای به‌شمار می‌روند.

نقصان درجه حرارت تا حدود بسیار زیاد زیر نقطهٔ انجماد آب و هدایت گرمای مخازن از ویژگی‌های حسن انتخاب این مناطق‌اند.

دفع مواد زائد هسته‌ای در این اماکن به طریق فرو رفتن تدریجی در یخ و استفاده از کابل سیمی انجام می‌شود.

هـ) دفن نمودن در کف اقیانوس‌ها

در این روش با حفر چاه‌هایی در کف اقیانوس‌ها،

جدول ۶ـ حداکثر دوز مجاز معادل برای موجهات شغلی طبق مقررات NCRP و ICRP

مواجههٔ شغلی کل بدن:	
حد سالیانهٔ آینده‌نگر	۵ رم در هر یک سال
حد سالیانهٔ گذشته‌نگر	۱۰.۱۵ رم در هر یک سال
تجمع طولانی مدت	۵ × (N-۱۸) رم که N سن به سال می‌باشد
پوست	۱۵ رم در هر سال
دست‌ها	۷۵ رم در هر سال (۲۵ رم در هر فصل)
ساعد و بازو	۳۰ رم در هر سال (۱۰ رم در هر فصل)
سایر اندام‌ها، بافت‌ها و ساختارها	۱۵ رم در هر سال (۵ رم در هر فصل)
زن باردار (با عنایت به جنین)	۰/۵ در دوره بارداری
حدود دوز در اجتماع یا افرادی که به صورت گاه به گاه با رادیواکتیو مواجهه می‌شوند:	
دانش‌آموزان و دانشجویان	۰/۱ رم در هر سال
انفرادی یا اتفاقی	۰/۵ دم در هر سال
حدود دوز در موارد:	
ژنتیکی	۰/۱۷ رم به صورت متوسط سالیانه
جسمانی	۰/۱۷ رم به صورت متوسط سالیانه
حدود دوز اضطراری ـ نجات زندگی:	
انفرادی (بیش از ۴۵ سال در صورت امکان)	۱۰۰ رم
دست‌ها و بازوها	۲۰۰ رم (در کل ۳۰۰ رم)
خانوادهٔ بیماران رادیواکتیو:	
انفرادی (زیر ۴۵ سال)	۰/۵ رم در هر یک سال
انفرادی (بالای ۴۵ سال)	۵ رم در هر یک سال

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پسماندهای رادیواکتیو را در آنها دفن می کنند. این روش بسیار پیچیده است و نیاز به فناوری پیشرفته دارد و باید عواملی از قبیل: محفظهٔ حاوی پسماند و جنس آن، جنس لایه های زیر اقیانوس، تغییرات درجهٔ حرارت و حرکت آب های زیر اقیانوس و... در نظر گرفته شوند.

و) انتقال پسماندها به سایر کرات

ارسال و انتقال پسماندهای رادیواکتیو به سایر کرات جزء روش های بسیار پرهزینه می باشد.

استانداردهای ایمنی و تشعشع مواد رادیواکتیو

مواد رادیواکتیو جزء مواد خاص خطرناک محسوب می شوند. تماس با این مواد باعث بروز خطرهای بهداشتی و ناراحتی های ویژه و آثار سوماتیکی، ژنتیکی و سرطان زا در انسان و موجودات محیط زیست می گردد.

به منظور رعایت اصول ایمنی تشعشع و حفاظت از مردم و

جدول ۷- حداکثر غلظت مجاز رادیونوکلوئیدها برای مواجهه شغلی

رادیونوکلوئیدها	طبقه*	مقادیر شغلی		
		خوراکی ALI	تنفسی ALI (μci)	تنفسی DAC (μci)
باریوم - ۱۳۱	D- همهٔ ترکیبات	۳×۱۰^{-۳}	۸×۱۰^{۳}	۳×۱۰^{-۶}
بریلیم - ۷	W- همهٔ ترکیبات به جز Yها	۴×۱۰^{۴}	۶×۱۰^{۴}	۹×۱۰^{-۶}
–	Yها - اکسیدها - هالیدها و نیتراتها	–	۵×۱۰^{۴}	۸×۱۰^{-۶}
کلسیوم - ۴۵	W- همهٔ ترکیبات مونوکسید،	۲×۱۰^{-۳}	۸×۱۰^{۲}	۴×۱۰^{-۷}
	دی اکسید، ترکیبات	–	۲×۱۰^{۶}	۷×۱۰^{-۴}
کربن - ۱۴		–	۲×۱۰^{۵}	۹×۱۰^{-۵}
		۲×۱۰^{۳}	۲×۱۰^{۲}	۱×۱۰^{-۶}
سزیوم - ۱۳۷	D- همهٔ ترکیبات	۱×۱۰^{۲}	۲×۱۰^{۲}	۶×۱۰^{-۸}
ید - ۱۳۱	D- همهٔ ترکیبات	۳×۱۰^{۱}	۵×۱۰^{۱}	۲×۱۰^{-۸}
آهن - ۵۵	D- همهٔ ترکیبات به جز Wها	۹×۱۰^{۳}	۲×۱۰^{۳}	۸×۱۰^{-۷}
		۳×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۳}
	W- اکسیدها، هیدروکسیدهاو هالیدها	–	۴×۱۰^{۳}	۲×۱۰^{-۶}
فسفر - ۳۲	D- همهٔ ترکیبات به جز Wها	–	۴×۱۰^{۲}	۲×۱۰^{-۷}
	W- فسفاتهای $Zn^{۲+}$، $S^{۳+}$	–	۱×۱۰^{۴}	۴×۱۰^{-۶}
	$Mg^{۲+}$، $Fe^{۳-}$، $Bi^{۳+}$، و لانتانیدها			
رادون - ۲۲۲	با دخترهای حذف شده	–	۱×۱۰^{-۲}	۳×۱۰^{-۸}
	با دخترهای موجود			
استرنسیوم - ۹۰	D- همهٔ ترکیبات حل‌شونده و $SrTiO_3$	۳×۱۰^{۱}	۵×۱۰^{۱}	۸×۱۰^{-۹}
روی - ۶۵	Y- همهٔ ترکیبات	۴×۱۰^{۲}	۳×۱۰^{۲}	۱×۱۰^{-۷}

* توجه: D، W و Y کلاس‌هایی می‌باشند که زمان ماندگاری را در بدن به ترتیب برحسب روز، ماه و سال نشان می‌دهند.

ALI= محدودیت برداشت سالانه

DAC= غلظت هوای مشتق شده

جدول ۸- ضوابط و استاندارد ترکیبات پرتوزا برای تخلیه آبهای سطحی و ساحلی ،زمین کشاورزی و شبکه فاضلاب

ترکیبات پرتوزا	دفع در آب‌های سطحی	دفع در آب‌های ساحلی	دفع در زمین کشاورزی	تخلیه در شبکهٔ فاضلاب عمومی
(μci / mL)				
تشعشعات آلفا	$۱۰^{-۷}$	$۱۰^{-۷}$	$۱۰^{-۸}$	$۱۰^{-۷}$
(μci / mL)				
تشعشعات بتا	$۱۰^{-۶}$	$۱۰^{-۶}$	$۱۰^{-۷}$	$۱۰^{-۶}$

جدول ۹- حداکثر غلظت مجاز رادیونوکلوئیدها در هوا و آب

رادیونوکلوئیدها	طبقه*	هوا (μci / mL)	غلظت مجاز برای تخلیه آب (μci / mL)	تخلیه در فاضلاب غلظت میانگین ماهیانه (μci / mL)
باریوم - ۱۳۱	D- همهٔ ترکیبات	۴×۱۰^{-۸}	۴×۱۰^{-۵}	۴×۱۰^{-۴}
بریلیم - ۷	W- همهٔ ترکیبات به جز Yها	۳×۱۰^{-۸}	۶×۱۰^{-۴}	۴×۱۰^{-۳}
–	Yها - اکسیدها - هالیدها و نیترات‌ها	۳×۱۰^{-۸}	–	–
کلسیوم - ۴۵	W- همهٔ ترکیبات	۱×۱۰^{-۹}	۲×۱۰^{-۵}	۲×۱۰^{-۴}
	مونوکسید،	۲×۱۰^{۶}	–	–
کربن - ۱۴	دی اکسید،	۳×۱۰^{-۷}	–	–
	ترکیبات	۳×۱۰^{-۹}	۳×۱۰^{-۵}	۳×۱۰^{-۴}
سزیوم - ۱۳۷	D- همهٔ ترکیبات	۲×۱۰^{-۱۰}	۱×۱۰^{-۶}	۱×۱۰^{-۵}
ید - ۱۳۱	D- همهٔ ترکیبات	–	–	–
آهن - ۵۵	D- همهٔ ترکیبات به جز Wها	۲×۱۰^{۱۰}	۱×۱۰^{-۶}	۱×۱۰^{-۵}
		۳×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۳}
	W- اکسیدها، هیدروکسیدهاو هالیدها	۶×۱۰^{-۹}	–	–
فسفر - ۳۲	D- همهٔ ترکیبات به جز Wها	۱×۱۰^{-۹}	۹×۱۰^{-۶}	۹×۱۰^{-۵}
	W- فسفاتهای $Zn^{۲+}$، $S^{۳+}$			
	$Mg^{۲+}$، $Fe^{۳+}$، $Bi^{۳+}$، و لانتانیدها	۵×۱۰^{-۱۰}	–	–
رادون - ۲۲۲	با دخترهای حذف شده	۱×۱۰^{-۸}	–	–
	با دخترهای موجود	۱×۱۰^{-۱۰}	–	–
استرنسیوم - ۹۰	D- همهٔ ترکیبات حل‌شونده و$SrTiO_3$	۳×۱۰^{-۱۱}	۵×۱۰^{-۷}	۵×۱۰^{-۶}
روی - ۶۵	Y- همهٔ ترکیبات	۴×۱۰^{-۱۰}	۵×۱۰^{-۶}	۵×۱۰^{-۵}

* توجه: D، W و Y کلاس‌هایی می‌باشند که زمان ماندگاری را در بدن به ترتیب برحسب روز، ماه و سال نشان می‌دهند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

کارگران در برابر تشعشع رادیواکتیو، حداکثر سطوح مجاز تشعشع داخلی و خارجی توسط انجمن‌های محافظت در برابر اشعه (NCRP) و کمیسیون بین‌المللی محافظت در برابر پرتوها (ICRP)، مطابق جدول ۶، تنظیم شده است.

از طرفی کمیسیون تنظیم‌کنندهٔ مقررات هسته‌ای (NRC)، در بخش ۲۰ کد ۱۰ مقررات فدرال، حداکثر غلظت مجاز مواجهٔ شغلی مواد رادیواکتیو را که از راه تنفسی و خوراکی وارد بدن می‌شوند، مطابق جدول ۷، ارائه نموده است.

استانداردهای زیست محیطی مواد رادیواکتیو

مواد رادیواکتیو از راه‌های مستقیم و غیرمستقیم، از طریق خاک، آب آشامیدنی، غذاهای آبی، گیاهان و محصولات کشاورزی، شیر و گوشت دام‌های آلوده، و گرد و غبار هوای آلوده انسان را آلوده می‌کنند، به عنوان مثال، مواد رادیواکتیو پس از دفع در زباله‌ها یا فاضلاب‌های شهری و صنعتی و تخلیه در اتمسفر، از طریق خاک و آب وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند و به طریق مختلف مورد استفاده گیاهان و حیوانات و انسان قرار می‌گیرند.

اگر سطح رادیواکتیویته کم باشد، می‌توان آن را در فاضلاب، رودخانه، دریاچه یا اقیانوس دفع کرد. برای این کار باید قبل از دفع زبالهٔ رادیواکتیو، آن را برای مدتی نگهداری نمود تا در سطح مجاز اکتیویته واپاشی کند.

سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده (USEPA) برای دفع مواد رادیواکتیو در آب‌های سطحی و ساحلی، دفع در زمین کشاورزی و تخلیه در شبکه فاضلاب شهری، استانداردی را، مطابق جدول ۸، ارائه نموده است.

کمیسیون تنظیم‌کنندهٔ مقررات هسته‌ای (NRC) در بخش ۲۰ کد ۱۰ استانداردهایی را برای تخلیهٔ رادیونوکلوئیدها در (آب و هوا و شبکهٔ فاضلاب)، مطابق جدول ۹، ارائه نموده است.

میزان تخلیه باید به گونه‌ای باشد که مقادیر موجود در هوا یا آب بیشتر از مقادیر قید شده در این لیست نباشند.

پی‌نوشت

1- Exempt Radioactive Waste

2- Low-Level Radioactive Waste (LLRW)

3- Intermidiate - Level Radioactive Waste

4- High-Level Radioactive Waste

منابع

۱.تکدستان، الف، جعفرزاده، ن (۱۳۸۲). «ضوابط و استانداردهای زیست محیطی در ارتباط با بسته‌بندی، حمل و نقل و دفع مواد زائد و رادیواکتیو به محیط زیست».مجموعه مقالات ششمین همایش کشوری بهداشت محیط مازندران.

۲.تکدستان. الف، کوهپایی. ع و جعفرزاده. ن (۱۳۸۲)«بررسی منابع و انواع تشعشعات دریافتی توسط انسان و استانداردهای تشعشع و ایمنی». مجموعه مقالات ششمین همایش کشوری بهداشت محیط، مازندران.

۳.عمرانی. ق (۱۳۷۵).«زباله‌سوزها، بازیافت مواد و روش‌های جمع‌آوری و دفع مواد سمی و خطرناک».مواد زائد جامد، جلد دوم.

۴.غیاثی‌نژاد. م. کاتوزی، م (۱۳۷۹). «حفاظت در برابر اشعه» سازمان انرژی اتمی.

5- David, H. and Liptak. G. (2000). "Hazardous Waste and Solid Waste". Lewis Publishers.

6- IAEA. (1995), "The Principles of Radioactive Waste Management", IAEA. S.S, No 111. Vienna.

7- UNSCEAR. (2000). "Sources and effects of Ionizing Radiation". Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United, Nations Sale Publiscation. E.oo.1x.3. New York 2000.

8- IAEA (1994). "Regulation for the safe transport of Radioactive Material".IAEA.SS. NOST-1.

9- IAEA. (1994)."Classification of Radioactive Waste". IAEA.S.S. No.111-6-1.1. Vienna.

10- IAEA. (1992). "Handling and Treatment of Radioactive aqueous Waste". IAEA, TEC DOC, Vienna.

11- USEPA. (1976). Drinking Water Regulation, Radionucloides". Federal Register. 41:2842.

12- NCRP (1985). "Maximum Permissiblebody Burdens and Maximum-Permissible Concentrations of Radionucloids in Air and Water for Occapation Exposure. NBS Hand book. No. 69.