کلیات بهداشت محیط

برگرفته از کتاب سالواتو - 2003

صفحه 79 الی 141

ویژه کاردان و کارشناس بهداشت محیط

بهداشت پرتوها

پرتو عموماً به عنوان یک انرژی که در ماده یا خلاء جریان می‌یابد، تعریف می‌شود.

پرتوهای یون ساز عموماً در پزشکی و درمان، کنترل فرآیندهای صنعتی، تحقیق و موارد متعدد دیگر به کار می‌روند. همچنین از لحاظ مشکلات بهداشت عمومی نیز قابل توجه می‌باشند چرا که تولید یون‌هایی می‌کنند که می‌تواند برای بافت‌های بدن انسان، حیوان و گیاهان مضر باشد و همینطور می‌تواند سبب مشکلات ژنتیکی مانند ناراحتی‌های سوماتیکی شوند.

پرتوهای یونساز توسط فرآیندهای طبیعی در محیط زیست، ماشین‌های تولید کننده اشعه X و مواد رادیواکتیو تولید شده در راکتورهای هسته‌ای و.... به وجود می‌آیند که می‌توانند توسط دتکتورها سنجیده شوند مانند فیلم فتوگرافیک، ابزارهای نیمه رسانا و مواد فلورسانس. حفاظت افراد و تجهیزات از اثرات مضر مواجهه با پرتوهای یون ساز می تواند توسط جداسازی منبع پرتوزا، حفظ فاصله مناسب، کاهش زمان مواجهه و استفاده از حفاظ نظیر سرب، بتون یا دیگر مواد دارای دانسیته زیاد انجام شود.

پرتوهای یون ساز به دو گروه الکترومغناطیس و ذرات تقسیم بندی می‌شوند که اشعه X و γ جزء پرتوهای الکترومغناطیس و پرتوهای α و β، یون‌های سنگین و نوترون ذره ای هستند. برای پرتوها در این حالت طول موج (λ) ، فرکانس (f) و سرعت (v) دارای اهمیت می‌باشد.

λ: طول موج عبارتست از فاصله بین امواج $\lambda f = v$

f: فرکانس عبارت است از تعداد امواج در عبور ثانویه در ثانیه که توسط HZ (هرتز) اندازه گیری می‌شود.

v: سرعت وابسته به نوع محیطی می‌باشد که امواج از آن عبور می‌کنند و در واقع به فرکانس و انرژی پرتو بستگی دارد. سرعت پرتوهای الکترومغناطیس در خلاء وابسته به فرکانس نمی‌باشد به طوری که: $\lambda f = C = ۳\times۱۰^{۸}\ m/s$

طبق تجارب، انرژی (E) یک فوتون با فرکانس مرتبط با امواج الکترومغناطیس افزایش می‌یابد.

h: ثابت پلانک $E = hf$

بنابراین امواج با طول موج کوتاهتر، دارای فرکانس و انرژی بالایی می‌باشند.

روش استاندارد سنجش انرژی پرتوهای یون ساز، الکترون وات (eV) ، هزار الکترون ولت (hev) و ملیون الکترون ولت (mev) می‌باشد.

یک الکترون ولت (ev) عبارتست از انرژی یک الکترون در حین عبور از پتانسیل ۱ ولتی (۱V) و معادل $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۲}erg$. حساسیت یک پرتو به مقدار انرژی عبوری از محیط در واحد زمان بیان می‌شود که عمدتاً ارگ در سانتی متر مربع در ثانیه می‌باشد. در حفاظت پرتوها، سنجش و اندازه گیری پرتوها بر اساس کاهش انرژی پرتو یونساز در ماده و به ویژه بافت‌های انسانی می‌باشد و بر اساس دوز (Dose) در ماده بیان می‌شود که دارای اهمیت است چرا که در ریسک‌های بهداشتی مانند سوزش‌های ناشی از پرتو و سرطانزایی به کار می‌رود.

اتم و یون

هر اتم از یک نوکلئون تشکیل یافته است که می‌تواند یک یا بیشتر از یک پروتون، نوترون و الکترون‌های اطراف را داشته باشد. بار الکترون برابر بار پروتون اما با علامت مخالف می‌باشد. الکترون واضح ترین قسمت یک اتم است.

اولین واحد مهم اندازه گیری مواجهه با پرتو یون ساز در هوا توسط اشعه x و γ، واحد قدیمی (سنتی) رونتگن (R) یا واحد SI ، کلومب (Goulomb) بر کیلوگرم هوا می‌باشد. این واحد قابل کاربرد برای انواع دیگر پرتو مانند N, β, α در هوا یا کاهش انرژی در دیگر مواد نیست.

یک رونتگن (R) برابر است با جذب حدود ۸۶ ارگ (erg) انرژی یونیزاسیون در گرم (یا یک واحد الکترواستاتیک در gr ۰/۰۰۱۲۹۳) در هوای خشک.

اتاق یونیزاسیون اغلب برحسب رونتگن یا میلی رونتگن (mR) در ساعت قرائت دارد که به طور معمول رنج حدود ۱۲-۵ میکرو رونتگن (μR) در ساعت به عنوان یک زمینه قابل سنجش می‌باشد.

واحد مهم بعدی مواجهه، اندازه گیری انرژی جذب شده یا دوز جذب شده می‌باشد که واحد قدیمی (سنتی) آن Rad (Radiation absorbed dose) و واحد SI ، گری (Gy) می‌باشد.

یک راد (Rad) بیانگر انرژی جذب شده erg/gr ۱۰۰ مواد برای هر نوع پرتو یونساز است.

Gy ۱ عبارت است از جذب یک ژول انرژی در کیلوگرم (S/kg ۱) مواد برای هر نوع پرتو عبوری و به عبارتی Gy = ۱۰۰ Rad ۱ می‌باشد.

برای آب و بافت‌های نرم با اشعه x و γ انرژی بیشتر از Mev ۳ می‌باشد. یک مواجهه با ۱ رونتگن دوزی برابر ۰/۹۸-۰/۹۳ راد را جذب می‌کند. وقتی اشعه x از طریق پوست وارد سینه شود تولید مواجهه‌ای در حدود ۰/۰۲— ۰/۰۱ راد می‌کند، اما به محض اینکه اشعه به قسمت‌های عمیق‌تر وارد شود کاهش می‌یابد.

فلورسکوپی سنگین در پزشکی دوز عبوری حدود ۱۰ راد در پوست را ایجاد می‌کند.

در رادیوگرافی، اصطلاح عمومی راد به طور گسترده‌ای با سانتی گری (cGy) جایگزین می‌شود.

Rem و واحد SI، معادل سیورت (Sv) بر اساس اندازه گیری خطر دوز برداشت شده که دارای اثرات بیولوژیکی بر روی بافت‌های مختلف بدن انسان می‌باشد، هستند. این واحدها برای دوزهای مختلف مورد سنجش مانند دوز موثر (effective close) ، دوز معادل (dose equivalent) و دز معادل موثر (effective dose equivalent) به کار می‌روند.

میلی سیورت (mSv) همچنین برای توصیف نوع مواجهه نیز بکار می‌رود.

Person – Rem (رم – فرد) و Person – Sievert (سیورت – فرد) ممکن است برای توصیف مواجهه عمومی توسط پرتو که به طور عمده دوز تجمعی (Collective dose) می‌باشد به کار روند. برای مثال ۵۰۰۰ نفر که هرکدام با یک مقدار زمینه حدود Rem =۰/۰۰۳ Sv = ۳ mSv ۰/۳ قرار بگیرند(؟؟)، میزان مواجهه فرد – رم آنها ۱۵۰۰ می‌باشد.

رادیواکتیویته

اتم‌های با عدد اتمی (Z) مشابه و تعداد نوترون‌های مختلف در هسته را ایزوتوپ می‌گویند.

(N # N, Z = Z)

مانند $^{1}_{1}H$ (هیدروژن)، $^{2}_{1}H$ (دوتریوم) و $^{3}_{1}H$ (تری تیوم) که با هم ایزوتروپ هستند و عدد اتمی آنها ۱ می‌باشد اما تعداد نوترون‌های آنها با هم تفاوت دارد. اکسیژن دارای ۶ ایزوتوپ شناخته شده است و قلع حداقل ۲۳ ایزوتوپ دارد. خواص شیمیایی همه ایزوتوپ‌های یک عنصر برای اهداف تجربی مشابه و خصوصیات هسته‌ای متفاوت می‌باشند. زمانی که نسبت N/Z از حالت پایدار تغییر می‌کند، رادیواکتیویته به وجود می‌آید.

رادیونوکلوئید، ایزوتوپ رادیواکتیو ویژه یک عنصر است.

در طی فروپاشی هسته یک اتم رادیوایزوتوپ (به منظور رسیدن به حالت تعادل) هسته‌های دختر جدید به وجود می‌آیند. رادیواکتیویته خصوصیت قطعی هستک‌ها برای عبور از برانگیختگی دچار تغییراتی در تعداد پروتون‌ها و یا نوترن‌ها می‌شود که معمولاً همراه با انتشار انرژی است. در طی انتشار رادیواکتیویته سه اشعه α, β, γ به طور معمول غالب هستند. تنها تفاوت اشعه x وγ در منبع انتشار آنها می‌باشد به طوری که اشعه x از الکترون‌های اطراف هسته ولی اشعه γ از خود هسته ساطع می‌شود.

اورانیوم ۲۳۸ به Th (توریوم ۲۳۴) و در نهایت به سرب ۲۰۶ تجزیه می‌شود (۱۴ فروپاشی).

اکتیویته و نیمه عمر ($T_{1/2}$)

میزان تخریب (فروپاشی) رادیواکتیویته در یک زمان (t) رخ می‌دهد که معمولاً با A (t) نشان داده می‌شود. اکتیویته (فعالیت) ناشی از خصوصیات اتم‌های موجود می‌باشد N (t). ثابت نسبیت برای هر رادیونوکلوئید که اصطلاحاً ضریب انتقال یا ثابت فروپاشی نامیده می‌شود (λ)، برای (N (t)) اتم‌ها در زمان t رادیواکتیویته به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A(t) = \frac{dN\ (t)}{dt} = hN\ (t) \qquad (۱)$$

اشکال (λ به جای h)

$$A\ (t) = A\ (O)\ e^{-ht} \qquad (۲)$$

اشکال (λ به جای h)

اکتیویته توسط واحد قدیمی کوری (ci or curie)، سیستم متریک (SI) یا بکرل (Becyuerel or B_7) اندازه گیری می‌شود. یک کوری (Ci) عبارت است از ۳/۷ ×$۱۰^{۱۰}$ دز انتگراسیون در ثانیه، و یک بکرل (B۷) عبارت است از یک تجزیه در ثانیه. بنابراین B۷ ۱ Ci = ۳/۷ ×$۱۰^{۱۰}$ می‌باشد (از لحاظ تاریخی کوری مشاهده نمود که فعالیت یک گرم رادیوم خالص تقریباً یک کوری می‌باشد).

یک پیکوکوری یک تریلیون کوری (Ci $۱۰^{-۱۲}$) یا ۲/۲۲ تجزیه در دقیقه و نانوکوری برابر $۱۰^{-۹}$ کوری است. بعضی از رادیونوکلوئیدها از لحاظ شیمیایی سمی هستند و هر چند که میزان اکتیویته آنها در واحد جرم کم باشد ولی ممکن است از لحاظ سمیت شیمیایی مهم باشند. برای مثال $u^{۲۳۸}$ و $Th^{۲۳۲}$ فلز سنگین هستند اما میزان اکتیویته آنها در واحد جرم کم است.

میزان فروپاشی رادیونوکلوئیدها نه تنها توسط ضریب انتقال بلکه توسط نیمه عمر فیزیکی (T½) نیز مشخص می‌شود. نیمه عمر (half-life) عبارت است از مدت زمانی که نیمی از اتم‌های موجود در نمونه خالص رادیونوکلوئید تجزیه یا منتقل شود. اگر فعالیت یک رادیونوکلوئید یک کوری (۱Ci) باشد زمانی که فعالیت آن به ½ ci برسد به آن T½ و اگر ¼ بشود ۲T½ گفته می‌شود که به طور کلی $(½)^{n}$ پس از n نیمه عمر خواهد بود. نیمه عمر ممکن است $۱۰^{-۶}$ ثانیه تا بیلیون سال باشد. اندازه گیری نیمه عمر برای تعیین هویت ویژه رادیونوکلوئید می‌تواند مفید باشد. رابطه ۲ را می‌توان با در نظر گرفتن T¼ به صورت زیر بیان کرد:

$$\lambda\, T½ = Ln\,(۲) = ۰,۶۹۳ \rightarrow T½ = \frac{0.693}{\lambda}$$

علاوه بر نیمه عمر فیزیکی، نیمه عمر بیولوژیکی (biological hall life) نیز دارای اهمیت می-باشد که عبارت است از کاهش (حذف) نیمی از ماده مورد نظر در بافت یا ارگان زنده در اثر فعالیت-های بیولوژیکی.

نیمه عمر موثر (effective half-life) عبارت است از مدت زمانی که ماده رادیوکلوئید در بدن حیوان به نصف مقدار اصلی در اثر ترکیب فعالیت طبیعی تخریب و حذف بیولوژیکی کاهش یابد که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{1}{T\ 1/2}eff = \frac{1}{T\ 1/2}phys + \frac{1}{T\frac{1}{2}bio}$$ یا $$Teff: \frac{T_B \times T_B}{T_P \times T_B}$$ (اصلاح فرمول)

انواع پرتوها

انواع معمول پرتوهای یون ساز عبارتند از، N, β, α, γ, x. انواع و مشخصات پرتوهای منتشر شده توسط رادیونوکلوئیدها در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۷-۱- مواد رادیواکتیو معمول

رادیونوکلوئید	نیمه عمر	نوع پرتو	نوع استفاده	(اکتیویته) فعالیت µci	میزان مواجهه mR/h at ۱m
C-۱۴	۵۷۳۰ y	β	پزشکی Primordial (اصلی)	۵۰	-
CS – ۱۳۷	۳۰ y	β, γ	پزشکی	۱	۰/۰۰۰۳
C۰ – ۶۰	۵/۳ y	β, γ	پزشکی	۱	۰/۰۰۱۳
Au – ۱۹۸	۲/۷ d	β, γ	پزشکی	۱۰	۰/۰۰۲۳
H-۳	۱۲/۳ y	β	چند گانه	۲۵۰	-
I – ۱۳۱	۸/۱ d	β, γ	پزشکی	۱۰	۰/۰۰۲۲
Ir – ۱۹۲	۷۴/۴ d	β, γ	-	۱۰	۰/۰۰۴۸
P - ۳۲	۱۴/۲ d	β	-	۱۰	-
P۰ – ۲۱۰	۱۳۸ d	α	-	۰/۱	-

Ra – ۲۲۶	۱۶۲۰ y	α, β	–	۰/۱	۰/۰۰۰۰۸
Ag – ۱۱۱	۷/۵ d	β, γ	–	۱۰	۰/۰۰۰۲
Na – ۲۴	۰/۶۳ d	β, γ	–	۱۰	۰/۰۱۸۷
Sr – ۹۰	۲۸ y	β	–	۰/۱	–
S – ۳۰	۸۷ d	β	–	۵۰	–

ذره α ، همان اتم هلیوم است که دارای ۲ پروتون و ۲ نوترون همراه با بار الکتریکی مثبت می‌باشد. $^{4}_{2}HC^{++}$ یا $^{4}_{2}\alpha^{2+}$ که انرژی آن در ۳ تا ۵ سانتی‌متر هوا به سرعت ناپدید می‌شود، بنابراین یک ورقه کاغذ قادر است ذرات آلفا را متوقف نماید و به همین دلیل توسط لایه‌های پوست گرفته می‌شود. اشعه آلفا زمانی که از طرق مختلف مانند سیستم گوارشی، تنفسی، تزریق یا زخم‌های باز وارد بدن می‌شود دارای خطر می‌باشد. اشعه آلفا از عناصر سنگین مانند اورانیوم، سرب، پلوتونیوم و رادیوم منتشر می‌گردد. به طور کلی اشعه آلفا دارای برد کم (۳-۵ cm هوا) و نفوذ زیاد (در بدن) می‌باشد و در پرتوگیری داخلی خطرناک‌ترین پرتو می‌باشد.

ذرات β عموماً دارای انرژی بالا بوده و توسط رادیونوکلئویدها با عدد جرمی پایین ایجاد می‌شوند که دارای بار الکتریکی منفی می‌باشند. ^{90}Sr ، ^{131}I ,^{137}Cs نمونه‌هایی هستند که β منتشر می‌نمایند. ذرات β همچنین ممکن است از پوزیترون که بار الکتریکی آن مخالف بار الکتریکی الکترون است تشکیل شده باشند. فلورین ۱۸ (Fluorine – ۱۸) نمونه‌ای از رادیونوکلوئیدهایی است که پوزیترون منتشر می‌کند و اخیراً به طور گسترده‌ای برای انتشار پوزیترون در تصویربرداری توموگرافی (Tomography) (PET) به کار می‌رود. ذرات β دارای یونیزاسیون ویژه کمتر،

کاهش انرژی سریعتر و نفوذ متوسط می‌باشند به طوری که توسط کمتر از چند میلی متر آلومینیوم متوقف می‌شوند. ذرات β موجب آسیب رساندن به بافت‌ها در پرتوگیری داخلی یا خارجی هستند. یک خصوصیت مهم ذرات β این است که برای افزایش نفوذ اشعه x در یک فرآیند که ( ) bremsstrahlung نامیده می‌شود به کار می‌روند. به ویژه هنگامی که ذرات بتا توسط محافظ (Shielding) متوقف می‌شوند، الکترون‌ها سریع ذرات بتا که از توقف به وجود آمده‌اند منجر به تولید اشعه x می‌شوند. بنابراین احتیاط لازم این است که در حین حفاظت از ذرات بتا، از اشعه x ثانویه تولید شده در اثر آن نیز مطمئن شویم.

اشعه های γ و x فوتون می‌باشند و دارای قدرت نفوذ بیشتر از ذرات α و β هستند. بنابراین قدرت یونیزاسیون آنها تا حدودی آنها را از یکدیگر جدا می‌کند. اشعه x تقریباً توسط حفاظ سربی که دارای چند اینچ ضخامت باشد حذف می‌شود.

نوترون‌ها بدون بار هستند و با ساختار اتم در اثر نیروی الکتریکی نمی‌توانند واکنش دهند و بنابراین دارای قدرت نفوذ بالا می باشند. آنها عموماً توسط واکنش‌های هسته‌ای مانند شکافت (fission) یا شکست (Fusion) به وجود می‌آیند اما بعضی از آنها به صورت مصنوعی هستند مانند انتشار از Cf–۲۵۲. نوترون‌ها عموماً توسط انرژی‌شان طبقه‌بندی می‌شوند. نوترون‌های حرارتی دارای کینتیک انرژی مشابه به اتم‌ها و محیط اطراف هستند و می‌توانند توسط هسته‌های اتم برحسب نیاز نوکلوئیدها گرفته شوند. فعالیت نوترون‌های حرارتی شاید معمول‌ترین مکانیسم ناشی از مواد است که می‌توانند رادیواکتیویته بسازند. نوترون‌های سریع دارای انرژی بیشتر از حدود ۰/۱ Mev هستند و عمدتاً در اثر فعل و انفعال و برخورد الاستیک با اتم‌های هسته می‌باشند. نوترون‌ها می‌تواند حضور

گسترده و مشکل زایی در اطراف راکتورهای هسته‌ای و شتاب دهنده ذرات داشته باشند اما به ندرت به عنوان یک منبع مواجهه با اثرات عمومی هستند.

مواجهه داخلی و خارجی با پرتوها

مواجهه با پرتوهای یون ساز می‌تواند ناشی از منابع پرتو خارجی بدن (پرتوگیری مستقیم یا خارجی External) یا ناشی از مواد رادیواکتیو در بدن (پرتوگیری داخلی Internal) باشد. برای جمعیت-های عمومی، پرتوهای زمینه منبع اصلی مواجهه با پرتوگیری خارجی هستند. ماشین‌های تولید کننده اشعه x، عمومی ترین منابع انسان ساخت مواجهه با پرتوگیری خارجی هستند اما در زمان انتشار رادیواکتیویته اشعه‌های γ و β می‌توانند دارای اهمیت باشند. اشعه گاما همانند اشعه‌های α و β در پرتوگیری داخلی رادیونوکلوئیدها دارای اهمیت است. درحالی که اشعه‌های گاما از بدن بدون هیچگونه آسیبی خارج می‌شوند، اشعه (ذرات) α و β مسافت کوتاهی را طی می‌کنند و بنابراین انرژی یونیزاسیون آنها در بدن رسوب می‌کند. اگر چه بیشتر رادیونوکلوئیدهای مورد استفاده در پزشکی سریعاً از بدن دفع می‌شوند، اما باقی ماندن I-۱۳۱ در تیروئید، احتمالاً سبب ایجاد سرطان تیروئید می‌گردد. خوشبختانه نیمه عمر فیزیکی آن تنها ۸/۱۴ روز می‌باشد. رادیوم ۲۲۶، رادون ۲۲۸ و استرنسیوم ۹۰ همگی گرایش به تجمع در استخوان‌ها داشته و در مدت زمانی طولانی در آنجا منتشر می شوند و منجر به افزایش خطر سرطان استخوان و لوسمی می گردند.

مواجهه با پرتوهای داخلی ناشی از تنفس، هضم، تماس پوستی و تزریق رادیونوکلوئیدها می‌باشد. معمول‌ترین منبع مواجهه تنفسی ناشی از رادون طبیعی است (گازی که در نتیجه تجزیه طبیعی اورانیوم، نوریوم و رادیوم در خاک می‌باشد و می‌تواند به زیر سطح زمین (سرداب) نفوذ کند). رادون

۲۲۰ و ۲۲۲ دارای زنجیره طولانی رادیونوکلوئیدهای دختر هستند و پرتوهای ناشی از محصولات دختر آنها می‌توانند به ذرات معلق متصل شده و وارد شش‌ها شوند و باعث ایجاد مشکل گردند. برای مثال مطالعات اپیدمیولوژیک نشان دهنده میزان بروز بالای سرطان ریه در کارگران معادن اورانیوم می‌باشد.

مواجهه داخلی ناشی از هضم ممکن است در اثر حضور رادیونوکلوئیدها در آب یا غذا باشد. برای مثال در بعضی از جوامع مقدار قابل توجهی رادیوم به صورت طبیعی در آب آشامیدنی آنها وجود دارد. استاندارد USEPA سطح رادیواکتیویته در آب آشامیدنی را ۱۵ pci/L برای α، ۵ pci/L برای رادیوم و دوز حداقل ۴ mrem/y را برای رادیواکتیویته‌های فوتون / بتا ساز ناشی از فعالیت های انسان بیان می‌کنند. اورانیوم، k-۴۰ و Ra-۲۲۶ به طور طبیعی در خاک و کود وجود دارند و بنابراین در مواد غذایی مورد مصرف انسان و حیوانات وارد می‌شوند. ، مؤسسه دارو و غذا (FDA) یک راهنما برای سطح رادیونوکلوئیدها در غذا توصیه می‌کند (برای حدود ۳ ماه در بزرگسالان). تماس پوستی و تزریقی با رادیونوکلوئیدها عمدتاً بسیار کم می باشند. رادیونوکلوئیدهای تزریقی عموماً برای اهداف پزشکی یا درمانی به کار می‌روند و دارای نیمه عمرهای مؤثر کوتاه و حداقل دوزها می‌باشند. تیتانیوم m ۹۹، به عنوان یک رادیونوکلوئید مورد مصرف در پزشکی تنها دارای نیمه عمر ۶ ساعت می‌باشد. در تماس‌های پوستی بویژه هنگامی که پوست بلافاصله شستشو شود، میزان مواجهه را می‌توان نادیده گرفت. علاوه بر این استفاده از یک دوز معمول از آب تصفیه شده (آبی که در هرکدام از اتم‌های هیدروژنش دارای تری تیوم باشد) موجب کاهش تماس پوستی می-شود.

منابع مواجهه

منابع مهم مواجهه با پرتوها شامل پرتوهای طبیعی زمینه، رادیواکتیوهای ناشی از آزمایشات هسته-ای یا استفاده از ابزار هسته‌ای، پرتوهای ناشی از ماشین‌های اشعه x و رادیونوکلوئیدهای به کار رفته در پزشکی و درمانی و پرتوهای به کار رفته در صنعت و سایر منابع انسان ساخت (man-made) می‌باشند. برای کمک به درک بهتر و بیشتر دوز اثر پرتوها، بعضی از آنها در جدول زیر با میزان دوزشان دیده می‌شوند.

جدول ۲-۷- بعضی از منابع پرتوها که ممکن است با آنها در تماس باشیم

منبع	دوز
اشعه های کیهانی	۳۰-۱۰۰ mrem/y
مواد رادیواکتیو طبیعی در خاک، آب و هوا	۳۶-۱۱۰ mrem/y
محیط طبیعی: Denver San Francisco	۵۱۰ mrem/y، از جمله اشعه کیهانی ۱۴۵ mrem/y، از جمله اشعه کیهانی
سیستم بازرسی وسائل در فرودگاه	۲/۱ mrem/y
پرتو داخلی، رادون در هوا و آب زیرزمینی	۲۰۰-۲۴۰۰ mrem/y
گازهای طبیعی پخت و پز	۵ mrem/y
گازهای طبیعی هیسترها	۲۲ mrem/y
ساعت‌های رادیولومینس	۴۰-۱۰۴ mrem/y
صفحه ساعت رادیومی	۳ mrem/y

دتکتورهای دود، گاز و آئروسل	۸ mrem/y
اشعه x معمول، پزشکی و دندانپزشکی	۲۰-۵۰۰ mrem/y
آجر، سنگ، بلوک‌های سیمانی خانه‌ها	۸-۱۳ mrem/y
دود سیگار	۸۰۰۰-۱۶۰۰۰ mrem/y
سایر منابع انسان ساخت	۱۰ mrem/y

طبق یک قاعده تجربی، متوسط دوز زمینه طبعی در ایالات متحده ۳ msv (۳۰۰ mrem) در سال، ۲ msv (۲۰۰ mrem) برای رادون در هوای داخل می باشد که وابسته به فاکتورهای موقعیت ژئوگرافیکی است. متوسط مصرف تولیدات پزشکی و اشعه‌های وابسته به آن ۰/۶ msv/y (۶۰ mrem/y) می‌باشد.

پرتوهای زمینه طبیعی

منابع طبیعی پرتوهای یونیزان برای اکثر دوزهای پرتوها که دارای اثرات عمومی هستند، مهم می-باشد. به طور متوسط، تخمین زده می‌شود حدود ۸۰ ٪ پرتوها دارای منابع طبیعی هستند (به استثناء پرتوهای ناشی از دود تنباکو).

رادون، پتاسیم، رادیوم و اشعه‌های کیهانی عمده‌ترین منابع طبیعی زمینه مواجهه با پرتوها می-باشند.

قابل توجه ترین منبع پرتوزای طبیعی، استنشاق رادون و تولیدات ناشی از فروپاشی آن می‌باشد. به طوری که تخمین زده می‌شود بیش از نیمی از مواجهه‌ها با پرتوهای طبیعی یا حدود ۲ msv (۲۰۰ mrem) به طور متوسط، در اثر رادون می‌باشد. بررسی رادون در حال حاضر یکی از بخش-

های بررسی‌ها در منازل می‌باشد و EPA توصیه می‌کند اگر غلظت رادون بیش از ۰/۱۵ Bq/L (۴ Pci/L) هوا شد، در این زمینه اقدامات خاصی انجام شود چرا که رادون ذرات آلفا منتشر می‌کند که می‌تواند از طریق تنفس وارد ریه‌ها شود و در آنجا مستقیماً به بافت ریه صدمه بزند. سطح بالای رادون مانند آنچه که کارگران معادن اورانیوم دریافت می‌کنند موجب افزایش سرطان ریه می‌شود. پتاسیم و رادیوم دو رادیو نوکلوئید طبیعی دیگر هستند که به طور قابل توجهی باعث مواجهه می‌شود. به طور طبیعی ایزوتوپ K-۴۰ رادیواکتیو است و α و β منتشر می‌کند و میزان دوز سالانه آن در حدود ۰/۱۹ msv – ۰/۱۵ (۱۹-۱۵ mrem) می‌باشد چرا که پرتو ناشی از پتاسیم دارای قدرت نفوذ بالایی است. رادیوم نیز به طور طبیعی وجود دارد و اگر خورده شود، می‌تواند در بافت استخوانی تجمع یابد. دوز متوسط سالانه آن حدود (۱۷ mrem) ۰/۱۷ ms می‌باشد اما ممکن است در بعضی از مناطق زمین شناسی بیشتر باشد.

اشعه‌های کیهانی در فضای خارج به طور طبیعی وجود دارند، در سطح دریا، دوز اشعه کیهانی حدود (۳ mrem/y) ۰/۳ msv می‌باشد. اما خود اتمسفر جاذب این نوع اشعه است. دوز این پرتو بستگی قابل توجهی به ارتفاع دارد. به طور مثال در فلات کلرادو میزان دوز اشعه کیهانی حدود ۱ msv/y - ۰/۵ (۱۰۰-۴۰ mrem/y) می‌باشد و پرواز در ۴۰/۰۰۰ فوتی دوزی در حدود ۲۰-۱۵ msv/y (۲۰/۰۰۰ – ۱۵۰۰ mrem/y) را سبب می‌شود.

ماشین‌ها و تجهیزات اشعه x

اشعه x به طور گسترده در تجهیزات و تحقیقات پزشکی کاربرد دارد. اشعه x توسط دندانپزشکی، رادیوگرافی (ثابت یا متحرک)، ماموگرافی و ماشین‌های فلورسکوپی، اسکنر شمارشگر توموگرافی

(CT)، واحد درمان با اشعه x، تجهیزات بازرسی بار در فرودگاه، ابزار شکست (انعکاس) اشعه x، اشعه x صنعتی، وسیله سنجش ضخامت و دیگر تجهیزات تشخیصی تولید می‌شود. به طور متوسط، دوز سالانه ناشی از اشعه x مورد استفاده برای کارهای پزشکی حدود ۰/۴ msv/y (۴۰ mrem/y) تخمین زده شده است.

مواد رادیواکتیو در پزشکی

مواد رادیواکتیو به طور گسترده‌ای در پزشکی به کار می‌روند. حدود $\frac{1}{3}$ تمام بیمارانی که در بیمارستان‌های آمریکا تحت درمان هستند تحت تأثیر ایزوتوپ‌ها قرار می‌گیرد. رادیوایزوتوپ TC-۹۹m که منتشر کننده اشعه γ می‌باشد با نیمه عمر ۶ ساعت و انتشار ۱۴۰ kev گاما، حدود ۸۰ ٪ کل هسته‌های بکار رفته در پزشکی را تشکیل می‌دهد. معمول‌ترین رادیوایزوتوپ‌های به کار رفته در بخش درمان عبارتند از: Ir-۱۹۲, Cs-۱۳۷ و I-۱۲۵ .

مواد رادیو اکتیو در صنایع

مواد رادیو اکتیو همچنین در بسیاری از فرآیندهای صنعتی به کار می‌روند. مانند استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها در صنایع نفت، استریلیزاسیون تجهیزات، پرتوتابی به مواد غذایی برای کشتن باکتری‌ها مضر و... . به طور کلی رادیوایزوتوپ‌های معمولی که در صنعت به کار می‌روند عبارتند از: Ir-۱۹۲, Pr-۱۴۷, Co-۶۰.

محصولات مصرفی

محصولات مصرفی متعددی حاوی مواد رادیواکتیو هستند. رادیوم طبیعی طی سال‌های طولانی برای استفاده در صفحات ساعت و... به کار می‌رود. دوز آن ۳ msv (۳۰۰ mrm/y) می‌باشد و در

موارد جدید این دوز به حدود msv (۰/۱ mrem/y) می‌باشد. بسیاری از دتکتورهای دود دارای حدود µci ۱، امریکیوم می‌باشد که دوز آن msv ۰/۰۱ (۱ mrem) است. لعاب کاری و روکش کاری قلع دارای اورانیوم (دوزی در حدود msv/h ۲/-۰/۱) و توریم می‌باشد.

تنباکو حاوی ۲۱۰ - pb و ۲۱۰ – po به صورت طبیعی می‌باشد. این رادیونوکلوئیدها محصولات تخریب طبیعی رادون هستند که به برگ‌های گیاه تنباکو می‌چسبند و وقتی که افراد سیگار می-کشند، این رادیونوکلوئیدها وارد ریه شده و سبب ایجاد تأثیرات قابل ملاحظه ای در بافت ریه می-شوند. دوز معادل ناشی از سیستم تنفسی بیش از msv ۱۶۰ (۱۶۰۰۰ mrem) در سال است.

نیروی هسته‌ای

در سال ۲۰۰۱، بیش از ۱۰۰ راکتور نیروی هسته‌ای در آمریکا راهبری می‌شد و بیش از ۴۰۰ راکتور نیز در دنیا وجود داشت. تولید سوخت هسته‌ای در پی استخراج و کاربرد اورانیوم می‌باشد که می‌تواند منجر به مواجهه شود. در اطراف این معادن رادون باعث افزایش سرطان ریه می گردد و علاوه بر این زائدات این معادن حاوی غلظت‌های بالایی از مواد رادیواکتیو نظیر اورانیوم و رادیوم می‌باشد. در نیروگاه‌های هسته‌ای کارگران به صورت سالانه در معرض دوزی در حدود msv ۵۰ می‌باشند. دوز تجمعی برای یک راکتور حدود ۳۷۰۰ فرد - سیورت (فرد - رم ۳۷۰/۰۰۰) در مدت ۴۵ سال تخمین زده می‌شود.

دو حادثه مهم هسته‌ای عبارتند از: Three – mile island در پنسیلوانیا و چرنوبیل در اوکراین. حادثه Three mile island منجر به آلودگی بسیار کمی در خارج از محل (off-site) گردید. بیشترین دوز ناشی از این حادثه حدود msv ۰/۷-۰/۲ و دوز تجمعی آن در حدود ۳۳ فرد -

سیورت در مناطق اطراف تخمین زده شد.

اما حادثه چرنوبیل منجر به گسترش دوز تجمعی در حدود $۱۰^{۶}\times$ ۱ – ۰/۵ فرد - سیورت و همینطور سرطان تیروئید در کودکان بلاروسی گردید.

تولید و آزمایش جنگ افزارهای هسته‌ای

منبع دیگر مواجهه با پرتوها آزمایش و ساخت سلاح‌های هسته‌ای می‌باشد. در گذشته سلاح‌های هسته‌ای از اورانیوم بودند اما امروزه سلاح‌ها پلوتونیوم تولیدی راکتورهای هسته‌ای می باشند. از لحاظ تاریخی آزمایشات هسته‌ای (سلاح‌ها) منجر به انتشار قابل ملاحظه‌ای از مواد رادیواکتیو در محیط زیست شده‌اند. آلودگی‌های رادیواکتیو ناشی از انفجار سلاح‌های هسته‌ای شامل I-۱۳۱ (نیمه عمر ۸ روز)، Sr -۹۰ (نیمه عمر ۲۸ سال)، Sr -۸۹ (نیمه عمر ۵۳ روز)، CS -۱۳۷ (نیمه عمر ۳۰ سال) و Ce - ۱۴۴ (نیمه عمر ۲۷۵ روز) می‌باشد. دوز تجمعی آزمایشات انجام شده در اتمسفر از سال ۱۹۹۳ حدود $۱۰^{۶}\times$ ۷ فرد - سیورت تخمین زده می‌شود.

اثرات بیولوژیکی پرتوها

اثرات پرتوهای یون ساز بر روی سلول ها

پرتوهای یون ساز باعث آسیب بیولوژیکی در بافت‌ها می‌شوند که توسط تغییر در ساختار و ساختمان سلول‌ها در حین انتقال انرژی رخ می‌دهد. انتقال انرژی در پرتوپلاسم سلول می‌تواند منجر به تغییرات مستقیم ترکیبات سلول همانند شکست یک یا دو شاخه مولکول DNA یا تغییرات غیر مستقیم مانند تولید رادیکال‌های آزاد شود. پرتوهای دارای انرژی انتقال خطی بالا

(hLET) مانند ذرات α دارای آسیب رسانی زیادی به سلول هستند. پرتوهای Low LET مانند γ و β وقتی که انرژی‌شان را از دست می‌دهند موجب آسیب‌های فراوان در یک ناحیه شده چرا که دارای نفوذ بالایی نیز هستند.

آسیب به DNA می‌تواند منجر به بیماری‌های کلینیکی مانند سرطان یا نقص‌های حین تولد شود. در بسیاری از موارد سلول‌ها می‌توانند DNA آسیب دیده را تعمیر کنند بخصوص اگر یک یا دو رشته از آن آسیب دیده باشد.

تأثیرات بیولوژیکی و حساسیت ارگان‌ها

انواع مختلف پرتوها می‌توانند تأثیرات زیادی در سلول‌های آسیب دیده و دیگر سلول‌ها داشته باشند. علاوه بر این، بعضی ارگان‌ها حساسیت زیادی به آسیب ناشی از پرتوها دارند.

خلاصه‌ای از مشخصات دوزها در جدول ۳-۷ دیده می‌شود. مقادیر توصیه شده فاکتور آسیب (Q) و فاکتور وزنی پرتوها (W_R) برای انواع پرتوها در جدول ۴-۷ و بعضی از مقادیر توصیه شده فاکتور وزنی بافت‌ها (W_T) در جدول ۵-۷ آمده است.

جدول ۳-۷- تعریف مقادیر دوزیمتری

مفهوم دوزیمتری	کمیت دوزیمتری	نشانه	*ICRP ۱۹۹۷/۱۰ CFR۲۰	*ICRP۱۹۹۱	واحد
انرژی جذب شده	دوز جذب شده	D	انرژی جذب شده در واحد جرم	انرژی جذب شده در واحد جرم	Gy یا Rad
انرژی جذب شده	دوز جذب	D_{TR}	-	متوسط دوز جذب	Gy یا Rad

	شده متوسط			شده در واحد جرم در بافت T ناشی از پرتو R	
انرژی جذب شده منطبق بر مشخصات انواع مختلف پرتو	معادل دوز	H	دوز جذب شده (D) در واحد وزنی توسط فاکتور کیفی Q پرتو $H = D \times Q$	-	Rem یا Sv
انرژی جذب شده منطبق بر مشخصات انواع مختلف پرتو	معادل دوز میانگین	H_T	متوسط دوز معادل (H) در بافت T ناشی از تمام پرتوها	-	Rem یا Sv
انرژی جذب شده منطبق بر مشخصات انواع مختلف پرتو	دوز معادل	H_T	-	مجموع وزنی پرتوهای R متوسط دوز جذب شده (D_{TR}) در بافت T $H_T=\Sigma_R D_{TR}.W_R$	Rem یا Sv
انرژی جذب شده منطبق بر انواع مختلف پرتو و	معادل دوز مؤثر	H_E	مجموع وزنی تمام بافت T انسان معادل دوز	-	Rem یا Sv

حساسیت بافت‌های مختلف			$(H_T):H_E =$ $\Sigma_T H_T.W_T$		
انرژی جذب شده منطبق بر انواع مختلف پرتو و حساسیت بافت‌های مختلف	دوز معادل	E	-	مجموع وزنی تمام بافت T انسان معادل دوز $(H_T)\ E = \Sigma_T H_T.W_T$	Rem یا Sv

* ICRP: International Commission on Radiation Protection

جدول ۴-۷ فاکتور وزنی پرتوها

پرتو	فاکتور کیفی / آسیب (Q) ۱۰ CFR ۲۰	فاکتور وزنی پرتو (W_R) ICRP۱۹۹۱
اشعه x, γ ذرات e, β	۱	۱
نوترون‌های حرارتی	۲	-
نوترون‌های سریع، نوترون‌های با انرژی	۱۰	-

ناشناخته، فوتون‌های دارای انرژی بالا		
نوترون‌های با انرژی کمتر از ۱۰kev	-	۵
۱۰-۱۰۰ Kev	-	۱۰
> ۱۰۰ Kev– ۲ Mev	-	۲۰
> ۲ Mev– ۲۰ Mev	-	۱۰
> ۲۰ Mev	-	۵
ذرات α ، ذرات شارژ شده چند گانه، اجزاء شکست، ذرات شارژ شده سنگین	۲۰	۲۰

جدول ۵-۷ فاکتور وزنی بافت‌ها

بافت	فاکتور وزنی پرتو (W_T) ۱۰ CFR ۲۰	فاکتور وزنی پرتو (W_T) ICRP ۶۰ (۱۹۹۱)
گنادها	۰/۲۵	۰/۲
سینه	۰/۱۵	۰/۰۵
مغز قرمز استخوان	۰/۱۲	۰/۱۲
ریه	۰/۱۲	۰/۱۲
تیروئید	۰/۰۳	۰/۰۵
سطح استخوان	۰/۰۳	۰/۰۱
روده بزرگ (کولون)	-	۰/۱۲

معده	-	۰/۱۲
مثانه	-	۰/۰۵
جگر	-	۰/۰۵
مری	-	۰/۰۵
پوست	-	۰/۰۱
سایر	۰/۳	۰/۰۵

اثرات Deterministic (اجباری) و Stochastic

ارتباط بین صدمات ناشی از پرتوها بر سلول‌ها و علائم و عواقب کلینیکی آن پیچیده است، اما نهایتاً تمام اثرات بیولوژیکی بر روی یک ارگانیسم به صورت Deterministic یا Stochastic طبقه-بندی می‌شود. اثرات Stochastic سبب افزایش احتمال سرطان یا بی نظمی‌هایی وراثتی می‌شود. اثرات Deterministic عمدتاً سبب مرگ سلول‌های آسیب دیده می‌شود، که بیشتر در اثر تماس با پرتوهای با سطح بالا به وجود می‌آید بعضی از اثرات Deterministic مواجهه حاد با پرتوهای یون ساز در جدول ۶-۷ لیست شده‌اند. دوز بیشتر از ۵ Gy (۵۰۰Rad) برای تمام بدن عمدتاً کشنده است (اگر اقدام حفاظتی انجام نشود). اما زمان بین مواجهه و مرگ ممکن است بیش از چند ماه به طور بیانجامد، چرا که دوزهای زیاد پرتو، سلول‌های بدن را تخریب نموده و مرگ زمانی رخ می‌دهد که عملکرد ارگان ها کاملاً متوقف شود. بعضی از ارگان‌های ویژه حساسیت ویژه‌ای نسبت به پرتوها دارند. مواجهه حاد و با مقادیر مختلف سیورت (چند صد رم) برای بیضه‌ها یا تخمدان‌ها می-تواند منجر به عقیمی شده و مواجهه زیاد چشم‌ها منجر به آب مروارید (کاتاراکت Cataracts)

می‌گردد.

بهبود یافتن سلول‌ها از مواجهه با پرتو بستگی به میزان دوز پرتو دارد (دوز در واحد زمان). برای مثال مواجهه با ۶ Gy (۶۰۰ Rad) اشعه x برای تمام بدن که معادل ۶ Sv دوز معادل انجام شده در یک روز می‌باشد، بدون انجام مراقبت‌های پزشکی تقریباً به طور قطع در همه افراد طی ۳۰ روز مرگ رخ می دهد.

فاکتور مهم دیگر در تأثیر گذاری بیولوژیکی پرتوها مربوط به آن بخش از بدن است که در معرض پرتو قرار گرفته است. دوزهای بالای پرتو به منظور امر درمان به صورت منطقه‌ای می‌تواند به کار رود (با داشتن یک اثر ناچیز)، به طوری که یک فرد می‌تواند ۱۰۰۰ Rad پرتو در انگشتش دریافت کند. سلول‌هایی که به سرعت تقسیم می‌شوند دارای حساسیت زیادی به پرتوها هستند مانند سلول‌های خونی و ارگان‌های ساخته شده از خون نظیر طحال، گره‌های لنفاوی و مغز استخوان.

جدول ۶-۷- برخی اثرات حاد مواجهه با پرتوهای یون ساز (سندرم حاد اشعه)

مواجهه		اثرات
Gy	Rad	
۰ – ۰/۱۵	۰ – ۱۵	بدون علامت قابل مشاهده
۰/۱۵ – ۰/۵	۱۵-۵۰	اثرات کلینیکی اندک: شکست کروموزومی
۰/۵-۱	۵۰-۱۰۰	سمیت غیرقابل توجه (غیر ویژه): تهوع / استفراغ، لکوپنی موقت

۱-۸	۱۰۰-۸۰۰	سندرم هماتوپوتیک، چهار فاز: (۱) خستگی، سردرد، تهوع / استفراغ؛ (۲) فاز نهفته که با کاهش محتویات لوکوسیت خون و ریزش مو مشخص می شود (۳) فاز رکود مغز استخوان، تخریب بنیاد سلول‌ها در مغز قرمز استخوان که می‌تواند بسیار کشنده باشد (مانند بیش از ۶ گری) (۴) فاز بهبود، با بهتر شدن وضعیت عمومی در حدود ۳ تا ۶ ماه
۸-۳۰	۸۰۰-۳۰۰	سندرم گاستروانتینیال (معدی – رودی): آسیب بنیاد سلول‌ها را در اپیتلیوم روده، تهوع، اسهال، تب، کاهش تعادل الکترولیت و نهایتاً مرگ
> ۳۰	> ۳۰۰۰	سندرم سیستم عصبی مرکزی: تهوع شدید و استفراغ، اسهال، رفتار غیر ارادی، غش و ضعف چرخشی، ناهماهنگی عصبی – عضلانی؛ تشنج، کما، مرگ در ۴۸ ساعت

استانداردها و اصول حفاظت از پرتوها

اصول اولیه حفاظت از پرتو

سازمان‌های ملی و بین المللی که راهنماهای حفاظت از پرتوها را تهیه می‌کنند عبارتند از:

ICRP: کمیسیون بین المللی حفاظت رادیولوژیکال

International Commission on Radiological Protection

ICRU: کمیسیون بین المللی واحدهای رادیولوژیکال و اندازه گیری

International Commission on Radiological Units and Measurements

IAEA: آژانس بین المللی انرژی اتمی International Atomic Energy Agency

ILO: سازمان بین المللی کار International Labor organization

WHO: سازمان بهداشت جهانی World Health Organization

NCRP: انجمن ملی حفاظت پرتو و اندازه گیری

National Council on Radiation Protection and Measurements

CRCPD: کنفرانس مدیریت برنامه کنترل پرتوها

Conference of Radiation Control Program Directors of the States

HPS: انجمن فیزیک بهداشت Health physics society

(تمرین‌ها) روش‌ها و مداخلات

دو نوع طبقه بندی مختلف شرایط حفاظت پرتوها در دسترس می‌باشد که عبارتند از: Practices و Interventions. Practices عبارت است از فعالیت‌هایی که حداکثر مواجهه با پرتوها را توسط ارائه مانع‌های جدید منابع، روش‌ها و جداسازی یا کاهش راه‌های ارتباطی مواجهه با منابع، کاهش می‌دهند و بنابراین به طور کلی کاهش دهنده میزان مواجهه انفرادی هستند. انتشار رادیونوکلوئیدها شامل انتشار طبیعی ناشی از تأسیسات معادن و محل‌های دفع پسماند می باشد.

Interventions عبارتست از فعالیت‌هایی که حداکثر مواجهه را توسط تحت تأثیر قرار دادن فرم شبکه کاهش می‌دهند. این فعالیت‌ها منبع را حذف، روش را اصلاح یا کاهش می‌دهند. رادون در محل زندگی و مواد رادیواکتیو و دیگر منابع طبیعی یا مصنوعی موجود در محیط نمونه‌هایی از

شرایطی هستند که فقط توسط تحت تأثیر قرار گرفتن با intervention می‌باشند.

توجیه (Justification) ، بهینه سازی و کاهش (Limitation)

راهنمایی های پایه‌ای ICRP برای حفاظت از پرتوها که تقریباً برای سراسر جهان بهینه شده‌اند به طور سنتی، پایه تجاربی از قبیل توجیه، بهینه سازی و کاهش گردیده است. تمام فعالیت‌های مرتبط با حفاظت از پرتوها باید دارای توجیه (قانونی) باشند مانند استفاده از اشعه x در پزشکی. توجیه به این معنی است که روش باید رضایتبخش تر و مفید تر باشد تا آسیبی نرسد. برای مثال توجیه پاکسازی محل زائدات، کاهش در مواجهه عمومی و افزایش دیگر منافع اجتماعی مانند کاهش هزینه‌های پاکسازی باشد. اگر فعالیتی توجیه داشت پس باید با حداکثر منافع بهینه شود. بهینه سازی کاربرد Intervention می‌باشد، در صورتی که آنالیز سود – هزینه به صورت واقعی نشان داده شود. از بهینه سازی می‌توان ALARA* (هرچه کمتر بهتر) را مثال زد.

---

* ALARA: As Low As Reasonably Achievable

NCRP راهنمایی‌های را برای ALABA منتشر نموده است. برای Intervention، بهینه سازی به این معنی است که فرم، مقیاس و نتایج مواجهه باید دارای حداکثر سود خالص باشند.

اصول توجیه و بهینه سازی بخش عمده حفاظت از پرتوها می باشند و اغلب منجر به نتایج قابل قبول می‌شوند. هر چند که برای تجارب (تمرین‌هایی) که قابل کنترل هستند ابتدا محدودیت سازی نیز می توان بکار برد. توصیه‌های اخیر NCRP برای کاهش دوز به صورت خلاصه در جدول ۷-۷ گردآوری شده است.

جدول ۷-۷- خلاصه ای از توصیه های دوز محدود کننده

موارد	واحد SI	واحد مرسوم
الف) مواجهه های شغلی		
۱- حداکثر دوز محدود کننده سالانه	۵۰ mSv	۵ rem
۲- حداکثر دوز محدود کننده تجمعی	۱۰mSv× سن	۱ rem × سن در سال
۲- دوز معادل سالانه محدود کننده برای بافت‌ها و ارگان‌ها:		
a- عدسی چشم	۱۵۰ mSv	۱۵ rem
b- پوست، دست‌ها و پاها	۵۰۰ mSv	۵۰ rem
ب) مواجهه عمومی (سالانه)		
۱- دوز مؤثر محدود کننده، مواجهه پی‌درپی	۱ mSv	۰/۱ rem
۲- دوز مؤثر محدود کننده، مواجهه منقطع	۵ mSv	۰/۵ rem
۳- دوز سالانه معادل محدود کننده برای بافت‌ها و ارگان‌ها		
a- عدسی چشم	۱۵ mSv	۱/۵ rem
b- پوست، دست‌ها و پاها	۵۰ mSv	۵ rem

۴- فعالیت درمانی برای منابع طبیعی a- دوز موثر (شامل رادون) b- مواجهه با محصولات تخریب رادون	> ۵ mSv > ۰/۰۰۷ Jh/m^{۳}	> ۰/۵ rem > ۲ WLM*
ج) مواجهه در کارایی تحصیلی و تربیتی (سالانه) ۱- دوز معادل محدود کننده ۲- دوز سالانه معادل محدود کننده برای بافت‌ها و ارگان‌ها a- عدسی چشم b- پوست، دست ها و پاها	۱ mSv ۱۵ mSv ۵۰ mSv	۰/۱ rem ۱/۵ rem ۵ rem
د) مواجهه جنین (ماهانه) ۱- دوز معادل محدود کننده ۲- دوز منفرد قابل چشم پوشی	۰/۵ mSv ۰/۰۱ mSv	۰/۰۵ rem ۰/۰۰۱ rem

* WLM = working level month (۱ WLM = ۳/۵× ۱۰$^{-۳}$ Jh/m^{۳})

آژانس‌های دولتی مسئول در آمریکا برای استفاده از پرتوها و حفاظت

تولید، مدیریت، استفاده و دفع مواد رادیواکتیو و خطرناک در ایالات متحده توسط قوانین کنگره کنترل و هدایت می‌شود و نهایتاً به امضای رئیس جمهور می‌رسد. مانند قانون انرژی اتمی AEA سال ۱۹۴۶ که در سال ۱۹۵۴ اصلاح گردید. AEA اولین مرجع قانون‌گذار مرتبط با مواد هسته‌ای

است و یکی از مهم‌ترین اهداف آن توسعه، کنترل و استفاده ایمن از انرژی هسته‌ای برای اهداف صلح جویانه می‌باشد. دیگر مرجع مرتبط با مدیریت مواد رادیواکتیو، قانون اداره مواد زائد رادیواکتیو با سطح پایین در سال ۱۹۸۰ (Low – Level Radioactive waste policy Act of ۱۹۸۰) ۱۹۸۰ می‌باشد که در سال ۱۹۸۵ توسط قانون خط مشی LLRW بهبود و اصلاح یافت (LLRWPA).

قانون مسئول محیط زیست گسترده، جبران خسارات و پاسخگویی سال ۱۹۸۰ (CERCLA) در سال ۱۹۸۶ با قانون اصلاح بهتر و جواز مجدد (SARA) اصلاح گردید.

LLRWPA: Low Level Radioactive waste policy Amendment Act

CERCLA = The comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act

SARA: Superfund Amendments and Reauthorization

و سایر قوانین دیگر مانند، قانون خط مشی زائدات هسته‌ای سال ۱۹۸۲ (Nuclear Waste Policy Act of ۱۹۸۲) قانون ممانعت از آلودگی سال ۱۹۹۰ (Pollution prevention Act (PPA) (۱۹۹۰ of و قوانین دیگر. سایر آژانس‌های اشاعه دهنده در زیر آورده شده‌اند.

سازمان حفاظت محیط زیست (EpA)[۱]: این سازمان استانداردهای کاربردی محیط زیست را به صورت عمومی گسترش می دهد. EPA همچنین برای اجرای استانداردهای وضع شده قوانین را توسعه می‌دهد و در نهایت نیز وضعیت‌های ویژه محیط زیست و همچنین نشانی و آدرس آلاینده-های زیست محیطی رادیواکتیو را مشخص می‌کند.

www.hseforum.ir

کمیسیون تنظیم کننده مواد هسته‌ای[۲](NRC): NRC به طور عمده مسئول و صاحب اختیار تحت نظر قانون انرژی اتمی (AEA) برای نوشتن و اجرای استفاده های مدنی و مدیریت صحیح که مواد AEA نیز نامیده می‌شوند (به ویژه مواد هسته‌ای، منبع مواد و مواد تولیدی جانبی تعریف شده توسط ۱۰ CFR ۲۰) و نیز صادر کننده مجوز برای استفاده از آنها می‌باشد. این مواد شامل آنهایی هستند که توسط راکتورهای انرژی هسته‌ای، تحقیقات هسته‌ای، آزمایش و ساخت راکتورها، تأسیسات چرخش سوخت، پزشکی، آکادمیک و تأسیسات صنعتی استفاده شده و یا تولید می‌شوند. علاوه بر این، NRC تنظیم کننده قوانین و صادر کننده مجوز حمل و نقل، ذخیره و دفع مواد هسته‌ای و زباله های آنها می‌باشد.

اداره دارو و غذا [۳](FDA): FDA بخش دپارتمان خدمات بهداشتی و انسانی می‌باشد که برقرار کننده استانداردها برای طراحی و ساخت ماشین‌های اشعه x و دیگر محصولات پزشکی الکترونیکی می‌باشد که پرتو منتشر می‌کنند.

---

[۱] Environmental protection Agency

[۲] Nuclear Regulatory Commission

[۳] Food and Drug Administration

بخش انرژی [۱](DOE): این بخش مسئول توسعه، ساخت و آزمایش سلاح‌های هسته‌ای، مدیریت مواد زائد رادیواکتیو تولیدی توسط رادیواکتیوها و ساخت و نگهداری انبار برای مواد زائد رادیواکتیو با سطح بالای غیر نظامی و تولید سوخت‌های هسته‌ای توسط راکتورهای هسته‌ای صنعتی می باشد. DOE دارای استانداردهایی است اما در بعضی از موضوعات، قوانین EPA در تأسیسات را می‌پذیرد

و اجرا می‌کند.

بخش دفاع [۲](DOD): DOD مسئول ایمنی حمل و نقل و نگهداری سلاح‌های هسته‌ای و دیگر جنگ افزارهای مورد استفاده که با انرژی هسته‌ای کار می‌کنند (مانند کشتی‌ها و زیر دریایی‌های هسته‌ای) می‌باشد.

بخش حمل و نقل [۳](DOT): این بخش در همکاری با NRC می‌باشد و بسته بندی و حمل و نقل مواد رادیواکتیو را سرپرستی می‌کند.

سازمان بهداشت کار و بهداشت ایمنی [۴](OSHA): OSHA اجرا کننده و توسعه دهنده قوانین برای حفاظت کارگران ناشی از مواجهه با مواد رادیواکتیو می‌باشد که توسط سازمان‌های دیگر پوشش داده نشده باشند.

آژانس دولتی و محلی (SLG): مسئول حفاظت از پرتوها با رعایت جنبه‌های آن می‌باشد به ویژه

---

[۱] Department of Energy

[۲] Department of Defense

[۳] Department of Transporation

[۴] Occupational Health and safety health administration

[۵] State and Local Government

قوانین ماشین‌های اشعه x و NORM (شامل کانی‌های اورانیوم و توریوم) به عهده آن می‌باشد. قوانین بزرگ مواد پرتوزای یونیزان به همراه کد قوانین فدرال (CFR) در جدول ۸-۷ لیست شده-اند. علاوه بر این SLG منتشر کننده اسناد راهنمایی گوناگون با موضوع حفاظت از پرتوها می‌باشد که بعضی از آنها در جدول ۹-۷ لیست شده‌اند.

جدول ۸-۷- قوانین بزرگ فدرال مرتبط با حفاظت پرتوها

آژانس	عنوان / توصیف	منبع
EPA	- استانداردهای ملی انتشار برای آلاینده‌های خطرناک هوا - انتشار بیماری‌های زایشی از هوا ناشی از رادیونوکلوئیدها برای تأسیسات انتخاب شده - قوانین ملی استاندارد اولیه آب آشامیدنی برای مواد رادیواکتیو در سیستم‌های آب آشامیدنی اجتماع - استانداردهای حفاظت از پرتوهای زیست محیطی برای راهبری تأسیسات هسته‌ای	۴۰ CFR۶۱ ۴۰ CFR۱۴۱ ۴۰ CFR۱۹۰
EPA	- استانداردهای حفاظت پرتوهای زیست محیطی برای مدیریت و دفع سوخت‌های هسته‌ای و زائدات رادیواکتیو با سطح بالا - استانداردهای زیست محیطی و بهداشتی برای اورانیوم و توریوم	۴۰ CFR ۱۹۱ ۴۰ CFR ۱۹۲
DOE	- استانداردهای حفاظت شغلی پرتوها برای تأسیسات DOE	۴۰ CFR ۸۳۵
NRC	- استانداردهایی برای حفاظت در برابر پرتوها - استانداردهای مواجهه شغلی - مجوزهای خانگی مواد جانبی - مجوزهای خانگی برای منابع مواد	۱۰ CFR ۲۰ ۱۰ CFR ۳۰ ۱۰ CFR ۴۰ ۱۰ CFR ۶۱

	- صدور مجوز تجهیزات مورد نیاز برای دفع مواد زائد رادیواکتیو در زمین - بسته بندی و حمل و نقل مواد رادیواکتیو	۱۰ CFR ۷۱
FDA	- بهداشت رادیولوژیکی شامل ماشین های اشعه x و محصولات متنشر کننده میکروویو، رادیوفرکانس‌ها، پرتو (مانند لیزر) و اولتراسوند - قانون استاندارد کیفیت ماموگرافی سال ۱۹۹۲	۲۱ CFR ۱۰۰۰ – ۱۰۵۰ ۲۱ CFR ۹۰۰
FEMA	طرح ریزی و آمادگی اورژانسی رادیولوژیکی	۴۴ CFR ۳۵۱
OSHA	مواد سمی و خطرناک پرتوهای یونیزان	۲۹ CFR ۱۰۱۰, ۱۰۹۶

CFR : Code of Federal Regulation

جدول ۹-۷- اسناد راهنمایی مرتبط با حفاظت پرتوها

آژانس	عنوان	منابع
EPA	- راهنمایی حفاظت پرتوها برای آژانس‌های فدرال در مواجهه شغلی	۵۲ FR ۲۸۲۲-۲۸۳۴

	- مقادیر محدود کننده برداشت رادیونوکلوئیدها و غلظت هوا و فاکتور تبدیل دوز برای تنفس، غوطه وری و هضم؛ گزارش شماره ۱۱ راهنمای فدرال	EPA - ۵۲۰/۰۱ - ۸۸ - ۰۲۰
	- مواجهه خارجی با رادیونوکلوئیدها در هوا، آب و خاک، گزارش شماره ۱۲ راهنمای فدرال - ضریب خطر سرطان برای مواجهه محیطی با رادیونوکلوئیدها، گزارش شماره ۱۳ راهنمای فدرال	EPA - ۴۰۲ - R - ۹۳ - ۰۸۱ EPA - ۴۰۲ - R - ۹۹ - ۰۰۱
EPA	- یک راهنمای شهروندی برای رادون (سپتامبر ۱۹۹۲) - راهنمای حفاظت فعال برای تصادف‌های هسته‌ای - راهنمای ارزیابی ریسک و مواجهه با پرتوها	EPA - ۴۰۲ - K - ۹۲ - ۰۰۱ EPA - ۴۰۰ - R - ۹۲ - ۰۰۱ EPA - ۴۰۲ - R - ۹۶ - ۰۱۶
FDA	آلودگی ناشی از تصادفات رادیواکتیو غذای انسانی و تغذیه حیوانی، توصیه‌ای برای آژانس‌های محلی (آگوست ۱۹۹۸، سیزدهم)	Center for Devices and Radiological Health http://www.fda.gov/cdrh/dmgrp/۸۴.html

روش های حفاظت از پرتوها

سه فاکتور بسیار مهم در حفاظت از پرتوگیری خارجی عبارتند از: فاصله از منبع، زمان در معرض تماس و حفاظها. همچنین در پرتوگیری داخلی و خارجی کنترل آلودگی و مدیریت زائدات نیز دارای اهمیت می‌باشند. این روش‌ها به ویژه برای رعایت اصل ALARA دارای اهمیت می‌باشند.

مسافت

فاصله بیشتر از منبع پرتوزا باعث کاهش پرتو دریافتی می‌شود. این مسئله به ویژه در مورد منابع نقطه‌ای پرتوزا صادق می‌باشد مانند منبع نقطه‌ای انتشار ناشی از اشعه که با قانون عکس مجذور فاصله نیز منطبق می‌باشد، که با افزایش فاصله به توان دو میزان مواجهه کاهش می‌یابد. رابطه آن به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

R_1 و R_2: مسافت‌ها

I_1 و I_2: میزا پرتو دریافتی

برای مثال اگر مسافت ۵ فوتی یک منبع با دوز A واحد در ثانیه به ۱۰ فوت برسد مطابق رابطه بالا میزان پرتو دریافتی $A\frac{1}{4}$ خواهد شد.

زمان مواجهه با پرتو

هنگامی که مواجهه با پرتو لازم و یا غیرقابل اجتناب باشد، زمان مواجهه با پرتو باید در یک حد قابل قبولی کاهش یابد. در موارد شغلی یا شرایط مشابه، مواجهه تجمعی باید به کمتر از حداکثر دوز مجاز کاهش بیابد. این کاهش باید مطابق با جدول ۷-۲ باشد.

حفاظ گذاری

حفاظ گذاری عبارت است از استفاده از مواد مناسب بین منبع پرتو و محیط اطراف. یک حفاظ عمدتاً ترکیبی از سیمان، استیل، سرب و شیشه سرمی می‌باشد. انرژی و نوع پرتو مورد نظر و اشتغال انسانی یا حضور در محیط مواجهه، فاکتورهای اصلی در انتخاب مواد محافظ، اندازه و

ضخامت آنها می‌باشد. اصطلاح half-valuelayer یا HVL برای طراحی ضخامت مواد ویژه که قدرت پرتو عبوری را از بین مواد به مقدار ½ کاهش می‌دهند، به کار می‌رود. شیشه یا پلاستیک عمدتاً برای حذف پرتو بتا به کار می‌روند. در جدول ۱۰-۷ مثال‌هایی برای منابع اشعه x آمده است. میزان (گستره) ذرات α و β در هوا در جدول ۱۱-۷ و ۱۲-۷ نشان داده شده‌اند. بار شغلی عمدتاً به صورت میلی آمپر ثانیه در هفته بیان می‌شود. در مورد لوله مولد اشعه x عبارتست از مجموع تعداد ثانیه‌هایی که لوله در یک هفته راهبری شده است. فاکتور اشتغال عبارتست از زمانی که یک فرد در یک محل که حفاظ (دیوار، کف، ....) برای پرتو گذاشته شده است این لوله کاربردی است. این فاکتور از ۱ (وقتی که افراد در یک فضای همجوار زندگی یا کار می‌کنند) تا ۱/۱۶ (وقتی که افراد ممکن است در یک آسانسور یا راه پله در معرض قرار بگیرند) متغیر است. محاسبه حفاظ گذاری یا تجهیزات موانع توسط استفاده از جداول و گراف‌ها شبیه سازی می‌شود. طبق یک قاعده تجربی ۲ اینچ سرب، ۴ اینچ آهن یا فولاد، ۸ اینچ بتون یا ۲۴ اینچ آب برای کاهش میزان دوز توسط یک فاکتور ۱۰ می‌باشد. برای مثال اگر فاصله از منبع اشعه x از دیوار ۱۴ فوت باشد و حداکثر کیلو وات (kvp) دستگاه ساطع کننده اشعه x ۲۵۰ باشد و work load (بارکار) ۲۰/۰۰۰ میلی آمپر – دقیقه در هفته (mA-min/work) می‌باشد و کسری (بخش) بار شغل ¼ و ضخامت اولیه موانع ۷/۹ میلی متر سرب یا ۱۴/۶ in سیمان برای یک محیط کنترل شده می‌باشد.

جدول ۱۰-۷- ضخامت سرب مورد نیاز برای موانع اولیه ۵ سانتی متری ناشی از یک نقطه اصلی

جریان آند (mA)	ضخامت سرب (mm) ۵۰ kvp	ضخامت سرب (mm) ۷۰ kvp	ضخامت سرب (mm) ۱۰۰ kvp

۲۰	۱/۵	۵/۶	۷/۷
۴۰	۱/۶	۵/۸	۷/۹
۸۰	۱/۶	۵/۹	–
۱۶۰	۱/۷	–	–

جدول ۱۱-۷- رنج ذرات بتا در هوا

انرژی (Mev)	حداکثر گستره اشعه بتا در هوا (m)
۰/۰۱	۰/۰۰۲۲
۰/۰۲	۰/۰۰۷۲
۰/۰۳	۰/۰۱۵
۰/۰۴	۰/۰۲۴
۰/۰۵	۰/۰۳۷
۰/۰۶	۰/۰۵۰
۰/۰۷	۰/۰۶۴
۰/۰۸	۰/۰۸۰
۰/۰۹	۰/۰۹۵
۰/۱۰	۰/۱۱
۰/۱۵	۰/۲۱
۰/۲	۰/۳۶

۰/۳	۰/۶۵
۰/۴	۱
۰/۶	۱/۸
۰/۸	۲/۸
۱	۳/۷
۱/۵	۶/۱
۲	۸/۴
۳	۱۳
۴	۱۶
۵	۱۹

جدول ۱۲-۷- انتشار انرژی و گسترده ذرات آلفا در هوا

رادیوایزوتوپ	انرژی منتشره آلفا (Mev)	گستره انتشار آلفا (cm)
T – ۲۳۲	۳/۹۷	۲/۸
Ra – ۲۲۶	۴/۹۷	۳/۳
Th – ۲۲۸	۵/۴۱	۳/۹
P۰ – ۲۱۸	۵/۹۹	۴/۶
P۰ – ۲۱۶	۶/۷۷	۵/۶

$P_0 - 214$	۷/۶۸	۶/۹
$P_0 - 212$	۸/۷۸	۸/۶

کنترل آلودگی

مواد منتشر کننده ذرات α و β اگر بلعیده یا استنشاق شوند به طور ویژه‌ای دارای خطرات می‌باشند زیرا دارای یونیزاسیون ویژه بالا بوده و در بدن نیز آنقدر پرتو افکنی خواهند نمود تا حذف شوند. خطرات آنها به نوع ماده رادیواکتیو، نوع پرتو منتشر شده، انرژی پرتو، نیمه عمر فیزیکی و بیولوژیکی، حساسیت بافت و ارگان‌ها به رادیونوکلوئید بستگی دارد.

هدف اولیه حفاظت از پرتوها باید نگهداری مواد رادیواکتیو خارج از دسترس بدن باشد که این کار توسط استفاده از تجارب و روش‌های مناسب مانند کاربرد هودهای آزمایشگاهی، فیلترهای هوا، سیستم‌های تخلیه، حذف خشک، پوشش‌های حفاظتی و تنفسی، پایش مناسب و بررسی تجهیزات، ممنوع نمودن خوردن و سیگار کشیدن در جاهایی که مواد رادیواکتیو استفاده و یا جابجا می‌شوند.

ورود به مناطقی که ممکن است در آنجا میزان مواجهه با مواد رادیواکتیو یا پرتوهای ناشی از کار، اشتغال و یا به صورت عمومی قابل توجه باشد، باید کنترل شود. این مناطق ممکن است در بیمارستان‌ها، مراکز پزشکی، دندانپزشکی، کایروپراتیک، آسیب شناسی، پاپزشکی، مؤسسات دامپزشکی، کلینیک‌ها، مؤسسات آموزشی، تجاری، خصوصی یا آزمایشگاه‌های تحقیقاتی یا تجهیزات جابجایی و یا مواد پزشکی مورد استفاده مانند حمل و نقل، ذخیره و... وجود داشته باشند.

مدیریت پسماندها

پسماندهای رادیواکتیو ناشی از استفاده از مواد رادیواکتیو نباید برای محیط زیست و بهداشت

عمومی خطرزا باشند. اصول راهنما باید ممانعت و کنترل کننده گازها، مایعات و جامدات زائد در منبع توسط جداسازی و جمع آوری مشخص، تصفیه، استفاده مجدد و ذخیره یا دفع باشند.

دو طبقه بندی عمومی زائدات رادیواکتیو عبارتند از: زائدات رادیواکتیو با سطح بالا (HLRW) و زائدات رادیواکتیو با سطح پایین (LLRW). دفع HLRW ها به عهده DOE می‌باشد. صدور مجوز تأسیسات دفع HLRW به عهده NRC و به ویژه در بخش ۱۰ CFR قسمت ۶۰ بوده و دفع LLRW نیز به عهده NRC، بخش ۱۰ CFR قسمت ۶۱ می‌باشد.

LLRW ها عمدتاً حاوی پوشش‌ها، فیلترها، رزین‌ها و فلزات رادیواکتیو ناشی نیروگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و تأسیسات تجاری و صنعتی می‌باشد. NRC ، LLW را در سه کلاس تقسیم بندی می‌کند. کلاس A: زائدات کلاس A موادی هستند که سطح رادیواکتیو آنها در طی ۱۰۰ سال به مقدار ایمن کاهش می‌یابد. کلاس B ، موادی با سطح رادیواکتیویته بالاتر هستند که در طی ۳۰۰ سال، اکتیویته آنها به سطح ایمن می‌رسد. کلاس C، زائدات این کلاس موادی هستند که اکتیویته آنها پس از ۵۰۰ سال نیز به سطح ایمن نمی‌رسد. زائدات کلاس A را می‌تواند در خاک به صورت جامد شده یا جذب کانتینر شده دفع نمود. زائدات کلاس B را باید جامدسازی یا در کانتینرهای بدون نقص دفع نمود. زائدات کلاس C را باید جامدسازی یا در عمق حداقل ۱۵ متر (۵۰ فوت) دفع نمود.

پسماندها باید به گونه‌ای فرآوری شوند که حداقل خطر را برای مواجهه عمومی داشته باشند. برای مثال آلاینده‌های آب زیرزمینی باید به حداقل برسند چرا که ممکن است برای اهداف کشاورزی و یا برای آب آشامیدنی بکار روند.

از آنجایی که هرکدام از زائدات مایع، جامد و یا گاز دارای مشخصات مختلفی می‌باشد باید قبل از اینکه فرآوری و یا دفع شوند از یکدیگر مجزا شوند. مایعات باید طوری فرآوری شوند که آلودگی‌های رادیواکتیو آنها حذف شود، این فرآیندها شامل فیلتراسیون، معدنی کردن و... و نیز ذخیره سازی آنها به گونه‌ای که طی زمان خاص، مواد رادیواکتیو آنها کاملاً تجزیه شوند، می باشند. پس از فرآوری از مایعات نمونه برداری به عمل آمده و اگر هنوز استانداردها برآورد نشده باشند باید آنها را در تانک‌های ذخیره به منظور استفاده مجدد و یا انتشار در محیط زیست قرار داد. بعضی از مواد مانند باقی مانده‌های تبخیر با سیمان مخلوط شده و به شکل جامد در می‌آیند. زائدات گازی شکل نیز فیلتر شده و نیز فشرده می‌گردند تا جای کمتری را اشغال نموده و سپس برای طی دوران تجزیه نگهداری می‌شوند و بعد از آن ممکن است پس از تأیید نمونه‌ها (نمونه برداری‌ها) به اتمسفر تخلیه شوند.

در مورد زائدات با سطح بالا، شیشه سازی به عنوان یک روش مهم جامدسازی می‌باشد. در این فرآیند مایعات و لجن‌های دارای رادیواکتیویته بالا با ذرات شیشه مخلوط شده و در حرارت بالایی به شیشه مذاب تبدیل می‌شوند که این شیشه مذاب در درون شیشه مرمر، بلوک‌ها یا کنده ها شکل خواهد گرفت. وقتی این مخلوط سرد شد، عناصر رادیواکتیو در شیشه سخت و پایدار شده‌اند و مانعی برای آنها از لحاظ انتشار در محیط زیست، آب یا هوا به وجود آمده است. هر چند این روش بسیار مؤثر است اما پر هزینه بوده و فقط در مواردی که حجم زائدات را بتوان به یک مقدار منطقی کاهش داد، ترجیح داده می‌شود.

محل‌های دفع پسماندهای رادیواکتیو با سطح پایین باید جداسازی شده و به صورت پایدار برای

۵۰۰ سال باقی بمانند و نیز باید تا ۱۰۰ سال پس از تعطیلی مورد پایش قرار بگیرند.

پایش و بررسی پرسنل و فضا

قوانین و مقررات و شیوه‌های پایش می‌توانند بسیار مفید واقع شوند و شامل کنترل کار تأسیسات و مناطق ذخیره، منابع، دفع پسماندها، شیوه‌های اضطراری و پایش پرسنل می باشند. روش‌های پایش معمول به طور خلاصه در جدول ۱۳-۷ آورده شده است. سیستم پایشی افراد بر اساس تعیین میزان مواجهه آنها به منظور کنترل میزان برداشت خواهد بود. عمدتاً از دوزیمترهایی که میزان مواجهه اشعه‌های x، γ و β را ارزیابی می‌کنند مانند دوزیمتر ترمولومیناس (thermoluminescent, TLDS) ، فیلم بج (Film badges) ، دوزیمتر حلقه انگشتی (finger ring dosimeters) که ممکن است به صورت دوزیمترهای جیبی در محل کاری با سطح دوز بالا به کار می‌روند استفاده می شود. در بعضی از موارد ویژه نیز برای اندازه گیری رادیواکتیویته در بدن یا خارج از آن به کار می‌روند. برای مثال در آنالیز ادرار ممکن است به منظور ارزیابی مواجهه با تریتیم، S-۳۵, C۱۴ یا P-۳۲ یا مواد رادیو اکتیو نیاز به زیست آزمونی تیروئید می‌باشد. سیستم پایش پرسنل باید به گونه‌ای باشد که میزان مواجهه و دوز دریافتی در حدود ۱/۱۰ حداکثر دوز مجاز معادل نشان داده شده در جدول ۷-۷ باشد. خلاصه‌ای از ابزار سنجش پرتوها شامل مشخصات، مزایا و معایب آنها در جدول ۱۴-۷ آورده شده است. این نکته مهم است که این ابزار به صورت مناسبی کالیبره شده باشند. Surgery meter برای تعیین محل‌هایی که بیش از اندازه آلوده شده‌اند به کار می‌رود. Wipe surveys گسترده آلودگی را تعیین می‌کنند (ترتیوم فقط توسط wipe surveys نشان داده می‌شود).

جدول ۱۳-۷- روش‌های پایش پرتوها

مواد مورد پایش	آماده سازی مواد	ابزار مورد استفاده
بدن یا بخشی از آن (اشعه x و γ)	موقعیت مجزا در جلوی دتکتور با مساحت مناسب ناشی از پرتوهای خارجی	آنالیز چندگانه با I-Na برای یک مقدار کمی از انتشار γ، دتکتور ژرمانیوم برای هر مقدار انتشار گاما، دتکتور planar germanium برای انتشار آلفا و x
ادرار، خون یا مدفوع	قرار دادن جامدات در حلال، جداسازی شیمیایی اگر انواع عناصر رادیواکتیو وجود داشته باشند، رسوب لایه نازک بر روی planchet یا مخلوط با مایع سنتیلاسیون	سنتیلاسیون مایع برای انتشار α یا β، آلفا اسپکتروسکوپی برای انتشار α، کنتور گایگر مولر برای ذرات بتای پر انرژی یا انتشار گاما، آنالیزور چندگانه برای γ
پایش افراد برای پرتوگیری خارجی (β,γ)	دوز یمتر جلوی برای تولید ترمولومیناس فیلم گسترده None	دوزیمتر ترمولومیناس فیلم بج دوزیمتر الکترونیکی
آلودگی (انتشار β ,γ)	None	کنتور گایگر مولر

آلودگی (انتشار α)	None	کنتور متناسب

جدول ۱۴-۷- ابزار اندازه گیری پرتوها

سنجشگر	نوع پرتو مورد سنجش	مقدار قرائت شده طبق معیار متعارف	استفاده	حداقل انرژی اندازه گیری شده	وابستگی	مزایا	معایب ممکن
کنتورسنتیلاسیون (Scintillation)	N, γ, x, β	۰/۰۲-۲۰ mR/h	Survey	۲۰ Kev برای اشعه x، متغیر برای β	حداقل برای x یا γ	۱- حساسیت بالا ۲- پاسخ سریع	۱- شکننده (ظریف) ۲- تقریباً گران قیمت
کنتور گایگر – مولر (شامل دتکتور (Packake Gm Geiger – Muller)	γ, x, β	۰/۲-۲۰ mR/h یا ۸۰۰- ۸۰۰۰۰ Counts/min	Survey	۲۰ Kev برای اشعه x ، ۱۵۰ Kev برای β	حداقل برای x یا γ	پاسخ سریع	۱- وابستگی به انرژی قوی ۲- امکان نقص در پاسخ در تماس بالا یا میزان مواجههای بالا ۳- حساس به زمینههای میکروویو ۴- امکان تحت تأثیر قرار گرفتن توسط uv
اتاق یونیزان	γ, x, β	۳-۵۰۰ R/h	Survey	۲۰ Kev برای x ،	حداقل برای x یا γ	وابستگی حداقل به	۱- حساسیت نسبتاً پایین

(Ionization chamber)				متغیر برای β		انرژی	۲- امکان پاسخ آرام
کنتور آلفا Alpha counter	α	۱۰۰ – ۱۰۰۰۰α/min	Survey	متغیر	بالا	فقط برای ذرات α طراحی شده	۱- پاسخ آرام ۲- دریچه ظریف
فیلم Film	N, γ, x, β	۱۰ mR/h و بیشتر	Survey and monitoring	۲۰ Kev برای x ، ۲۰۰ kev برای β	متوسط	۱- ارزان ۲- دوز یکپارچه را تخمین می‌زند ۳- رکورد پایا تهیه می‌کند	۱- توسط گرما، بخار و فشار در قرائت اشتباه می‌کند ۲- تغییرات زیادی بسته به نوع فیلم و دسته فیلم دارد ۳- برای اشعه‌های کم انرژی x بستگی زیادی به انرژی قوی دارد
دوزیمتر و اتاق یونیزان	γ, x	۲۰۰ mR– ۲۰۰ R	Surgery and	۵۰ Kev	پایین	۱- نسبتاً ارزان	۱- برای تخلیه تصادفی به کار می‌رود

جیبی Pocket ionization chamber and dosimeter			Monitoring			قیمت ۲- دوز یکپارچه ای را تخمین می‌زند ۳- اندازه کوچک	
کنتور BF_3	N	۰–۱۰۰۰۰۰ Count/min	Survey	حرارتی	-	فقط برای نوترون طراحی شده است	

پایش و بررسی محیط زیست

برنامه پایش زیست محیطی شامل بررسی مناسب در اطراف تأسیسات هسته‌ای می‌تواند برای کنترل راهبری‌هایی که امکان آلودگی محیط زیست را دارند انجام شود. برنامه باید به همراه بررسی بهداشت و مدیریت تأسیسات انجام شود. صنایع برای پایش انواع زائدات رادیواکتیو تخلیه شده و کمیت آنها در درون خودشان مسئولیت دارند(اینطوری بهتر نیست؟ پایش انواع زائدات رادیواکتیو تخلیه شده از صنایع و تعیین کمیت آنها به عهده خود صنایع می باشد) . پایش بیرونی باید بین صنعت و جاهایی که قوانین تصویب نموده‌اند، انجام شود. حداکثر بارش ذرات رادیواکتیو از منبع پس از انتشار در شعاع ۱ مایلی (۱/۶ km) خواهد بود. این محدوده باید توسط گیاهان حفاظت شود.

مواد رادیواکتیو جامد، مایع و گاز می‌توانند به طور قابل ملاحظه‌ای توسط آب و هوا حمل شده و بر روی گیاهان، حیوانات و افراد تأثیرات نامطلوب بگذارند. نمونه برداری باید از هوا، آب، شیر، غذا، biota، رسوبات، خاک و افراد انجام شود. برای این کار نقشه‌های محیط که نشان دهنده مشخصات توپوگرافی و ژئوگرافی باشد مورد نیاز است و باید شامل هیدرولوژی آب زیر زمینی و سطحی، نوع خاک و سبزیجات، مرکز ثقل افراد، سیستم حمل و نقل، منبع آبرسانی، مناطق تفریحی و... باشد.

در فرآیند سوخت هسته‌ای پتانسیل و توانایی تخلیه I-۱۳۱ ,kr-۸۵ و تریتیوم وجود دارد. ذخیره عناصر سوخت برای حداقل ۱۰۰ روز قبل از فرآوری، انتشار I-۱۳۱ را به حداقل می رساند. انتشار کریپتون بیشتر از راکتور هسته‌ای می‌باشد و نمی‌توان آن را به صورت مؤثر قبل از انتشار در مخزن حذف نمود. ترتیوم قابل حذف نیست و به صورت پسماند مایع یا گاز تخلیه می‌شود.

نمونه برداری در تأسیسات هسته‌ای به منظور انجام پایش می‌تواند شامل هر یک از موارد زیر یا ترکیبی از آنها باشد:

- هوا: اطراف تأسیسات و در بعضی از مسافت‌ها که در بالا ذکر شده است.

- آب: در تصفیه خانه فاضلاب، آب‌های پذیرنده و پایین دست و همچنین آب چاه‌های اطراف

- خاک: فوراً در اطراف تأسیسات و در بعضی از فواصل، شامل گل و لای ته نشین شده

- گونه‌های بیولوژیکی: ماهی، گوزن، احتمالاً گاوها، جوندگان، گیاهان (به ویژه آنهایی که برای مواد غذایی به کار می‌روند)، همچنین در جاهایی که در دسترسی باشد صدف، اردک، پلانکتون و دیگر موجودات زنده

- شیر: ناشی از مزارع تولید شیر در همان نزدیکی

- فضا: فضای داخلی، کانتینرها و لوله‌ها

جدول ۱۵-۷- پیشنهادات نمونه برداری و سنجش را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵-۷ پیشنهادات پایش اطراف راکتورهای هسته ای یا محل‌های فرآوری سوخت

نمونه	تناوب	سنجش	ملاحظات
برداشت آب و پساب	به صورت روزانه، مرکب یا هفتگی گرب (grab)	α و β محلول و معلق جامدات و بررسی γ	¼ نمونه ها مرکب نباید بیش از استاندارد وضع شده توسط NRC باشد، درصورت زیاد شدن سالانه ایزوتوپ‌های کامل ساخته شوند.
آب های پذیرنده	روزانه	مشابه قبلی	-

ماهی، صدف، جریان گل و لای، منابع آبرسانی، پلانکتون	فصل بالادست و پایین دست فاضلابرو	فعالیت γ و β	شناسایی رادیونوکلوئیدها اگر بیش از استاندارد باشند. تعداد نمونه زیاد و در قسمت زیر فاضلابرو (خروجی)
شیر، مزارع مجاور	هفتگی	I-۱۳۱, Sr-۹۰, H_3-Ce۱۳۷	اگر از استاندارد بیشتر شدند باید شناسایی رادیونوکلوئیدها انجام شود
هوای اطراف تأسیسات	پایش مداوم، روزانه	بتای روی ذرات، I-۱۳۱ ،Kr-۸۵	نباید بیش از استاندارد وضع شونده توسط NRC باشد. اگر بیشتر شد پایش زیست محیطی و حذف منبع انجام شود
خاک	سالانه	بتا، Sr-۹۰ و Ce-۱۳۷	نمونه خاک کشاورزی در جهت باد
سبزیجات، حیوانات	فصل رشد	بتا	همانند شیر
بارش رادیواکتیو، مسیر باد	تجمعی (مرکب) روزانه، دو هفته یکبار	بتا	در ارتباط با بارش ذرات رادیواکتیو ناشی از سلاح‌ها یا آزمایشات دیگر

محل (ایستگاه) نمونه برداری معمولاً در محل پایش مستقر می‌باشد. ایستگاه‌های مستقر در فواصل برای نمونه برداری گرب (grab) مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمونه‌های جریان شامل آب، گل و لای و biota می‌باشد.

کاشی، سنگ‌ها یا قطعاتی از آنها برای جمع‌آوری نمونه‌های بیولوژیکی چسبیده به آنها مناسب هستند.

یک ایستگاه پایش دارای نمونه برداری آب متصل، نمونه‌برداری حجیم هوا، فیلتر نیترات نقره، فیلم بج، کاغذ چسبناک، سیلکاژل، باران سنج، اتاق یونیزاسیون و دیگر موارد و تجهیزاتی که نشان دهنده آنالیز ایمنی برای پایش باشند. پایش هوای اطراف راکتورهای آب جوش (boiling – water) توسط توماس (Thomas) تشریح شده است. در شعاع یک مایلی، شبکه ۵۰۰ فوتی حاوی ۵۰ دوزیمتر ترمولومینانس، ⅓ محل‌های پایش هوا برای نمونه‌های ذرات بیماری‌زا از طریق هوا (air borne) ، ید رادیو اکتیو (Radio iodine) ، بارش ذرات سنگین و آب باران خواهد بود. فیلترهای هوا مرتباً توسط لوله G.M حساس به بتا – گاما بررسی می‌شوند و قرائت‌های انجام شده به مرکز کنترل گزارش خواهند شد. علاوه بر این ۴ مرتبه پایش هوا در ۱۰ مایلی مناطق شهری انجام شده و گزارش پیوسته آنها به مرکز کنترل داده خواهد شد. نمونه‌های مرکب هفتگی از ایستگاه در فاصله ۴۰ مایلی از کارخانه جمع‌آوری خواهند شد. پایش هوا توسط نمونه‌هایی از ماهی، ماسل (mussels) ، جلبک و دیگر Biote ها مانند شیر، آب، سبزیجات و خاک تکمیل می‌شود.

راهنمای استفاده پزشکی از منابع رادیواکتیو

آزمایشات و معالجات پزشکی و دندانپزشکی حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای از پرتوها می باشند که می‌تواند فرد را مورد مواجهه قرار دهد. در سال ۱۹۸۹ تخمین زده شد که ۳ میلیون دستگاه که از اشعه x استفاده می‌کنند، ساخته شده است. علاوه بر این، هر ساله بیش از ۶ میلیون آزمایشگاه‌های پزشکی هسته‌ای تأسیس می‌شوند. تربیت و آموزش یکی از بخش‌های پزشکی و دندانپزشکی است

که از تکنیک اشعه x استفاده می‌کنند و بیشتر از سایر منابع پزشکی می‌باشد.

تجهیزات اشعه x تشخیصی (پزشکی)

شرایط راهبری معمول ۱۰۰-۴۰ kvp در جریان بیش از ۱۰۰۰ mA می‌باشد اما معمولاً برای زمان مواجهه تنها مقدار بسیار کمی در ثانیه استفاده می‌شود. ماشین باید با یک کالربیراتور ولتاژ و زمان سنج مجهز باشد. بعضی از انواع مشکلات حفاظت از پرتوها و مشکلات کیفی تصویر که می‌تواند زیاد شوند در زیر آورده شده‌اند.

نقص در حد پرتو اشعه x به بخش از بدن بیمار تابیده می‌شود.

نقص در استفاده از سرب، به عنوان حافظ گردن و گنادهای بیماران و بویژه کودکان

اپراتور نمی‌تواند در طول زمان مواجهه جابجا شده و اقدام به بررسی نماید

سویچ راهبری در خارج از محدوده حفاظت شده قرار داده داشته و قسمتی از بدن اپراتور در مواجهه قرار می‌گیرد.

سویچ مواجهه تایمر، kvp و کنترل میلی آمپر به دقت کار نکند

واحدهای دندانپزشکی در ۱۰۰-۵۰ kvp با جریان ۷ mA راهبری می‌شوند. ولتاژ ماشین باید به صورت مناسب کالیبره شود. ۹۰ kvp نیازمند زمان مواجهه ۰/۵ ثانیه‌ای می‌باشد و اگر ۷۵-۵۰ برسد این زمان ۱/۵ ثانیه خواهد بود. یک فیلم سریع (fast film) میزان مواجهه سطحی پوست را با یک فاکتور تغذیه ۳ برای ماشین به کمتر از ۶۰ kvp کاهش می‌دهد که این میزان برای ۸۰ kvp نیاز به یک فاکتور ۹ دارد. تجهیزات اشعه x فوتوفلورو گرافیک (photo fluoro graphic) نباید برای رادیوگرافی سینه (Chest) بکار رود. به طور تجربی، مواجهه روزانه با

آزمایشات غیر ویژه نباید بیشتر از مقادیر زیر باشد.

آزمایشات	ESEG (میلی رونتگن)
سینه (P/A)	۳۰
جمجمه (جانبی)	۳۰۰
شکم (A/P)	۷۵۰
Cervical spine (A/P) (وابسته به گردن رحم)	۲۵۰
Thoracic spin (A/P) (قفسه سینه)	۹۰۰
Full spin (A/P)	۳۰۰
Lumbo – Sacral spin (A/P)	۱۰۰۰
Retrograde pyelogram (A/P)	۹۰۰
پاها (D/P)	۲۷۰

نکته: این سطوح با استفاده از تجهیزات جدید، اسکرین اشعه x با حساسیت بیشتر تصویر و فیلم-های بهتر کاهش می‌یابد. تعیین مواجهه ورودی به پوست توسط Nationwid Evaluation of X-Ray تحت برنامه‌ای برای بیمارانی که بخش‌های مختلف بدن آنها دارای ضخامت‌های زیر باشد انجام می‌گردد، سر ← ۱۰۰ m ، گردن cm← ۱۳ ، شکم cm← ۲۳ ، قفسه سینه cm← ۲۳ و پا cm← ۸ .

QA: quality assurance

درمان پزشکی با استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها

رادیوایزوتوپ‌ها همچنین برای استفاده در درمان‌های پزشکی به کار می‌روند، بعضی به صورت تزریقی (I-۱۳۱ برای سرطان تیروئید)، بعضی محصور می‌شود در درون ظروف Weld – Sealed مانند منابع مکعبی پرتودهی خارجی (C۰ – ۶۰) بزرها (Ir-۱۹۲) و سوزن‌های توخالی (Ra- Cs – ۱۳۷،۲۲۶) که قبلاً به صورت گسترده به این صورت به کار می‌رفتند درحالیکه هم اکنون اینگونه نیست).

در صنایع FDA استانداردی برای سیستم اشعه x کابین همانند سیستم corry-on baggage حدود پرتو را در ۵ cm به ۰/۵ mR/hr در حداکثر شرایط راهبری و... محدود می‌کند (عقیده بر این است که حداقل ۶ فوت از لوله، تولید کننده اشعه x ، در هر موردی باید فاصله داشت).

حفاظت پرتوهای غیر پزشکی

مدیریت زائدات راکتورهای هسته‌ای

بعضی از انواع رادیونوکلوئیدهای معمول در زائدات راکتورهای هسته‌ای در جدول ۱۶-۷ لیست شده‌اند.

جدول ۱۶-۷ رادیونوکلوئیدهای معمول حاضر در زائدات هسته‌ای.

ماده	منبع	پرتو	نیمه عمر
Kr – ۸۵	محصولات شکافت	γ, β	۱۰ سال
Sr – ۹۰	محصولات شکافت	β	۲۸ سال

I – ۱۳۱	محصولات شکافت	γ, β	۸ روز
Ce-۱۳۷	محصولات شکافت	γ, β	۳۰ سال
C-۱۴	محصولات شکافت	β	۵۷۷۰ سال
Z-۶۵	محصولات فعالسازی نوترون	γ, β	۲۴۵ روز
Co – ۵۰	محصولات فعالسازی نوترون	γ, β	۵ سال
Fe – ۵۹	محصولات فعالسازی نوترون	γ, β	۴۵ روز
H-۳ (تری تیوم)	محصولات فعالسازی نوترون	β	۱۲ سال

سوخت باقی مانده (spent fuel) به عنوان ماده زائد دارای سطح رادیواکتیویته بالا طبقه بندی می‌شود.

منبع عمده انتشار پرتوهای با سطح پایین در راکتورهای هسته‌ای آب خنک کننده (Coolant) می‌باشند که پس از فیلتر شدن و معدنی‌سازی، رزین‌های مورد استفاده آنها به صورت زائدات دفع می‌شوند.

FRERP: Federal Radiological Emergency Response Plan

FEMA: Federal Emergency Management Agency

برای فاز آغازین یک حادثه (تصادف)، راهنمای حفاظت EPA دوز یک تا پنج رم (rem ۵-۱) را برای تخلیه یا پناه گرفتن و راهنمای دوز ۲۵ رم ناشی از ید رادیواکتیو برای مدیریت بد پایدار پیشنهاد می‌کند.

پیشنهاد WHO: ۵۰۰ میلی سیورت (۵۰ رم) دوز پرتو برای تمام بدن در یک زمان کوتاه، در پناهگاه، محل تخلیه و آلودگی زدایی را پیشنهاد می‌کند. سطوح دوز تمام بدن msv ۵۰ تا ۵ ، در سنجش‌های حفاظتی نشان داده شده‌اند. برداشت از مایع و غذا به صورت Bq/kg یا Bq/Lit اندازه گیری می‌شود. به منظور اطمینان از اینکه میزان برداشت شده در سال‌های اول پس از تصادفات زیاد نسبت باید دوز برداشتی از طریق رژیم غذایی بیشتر از msv ۵ در سال‌های اول بعد از تصادف نباشد.

طرح ریزی اضطراری (راکتورهای هسته‌ای) باید شامل اندازه گیری قابل توجه در ۱۰ مایل محل (زندگی مردم) در یک دوره زمان ۱۵ دقیقه‌ای باشد و در شرایط وخیم حادثه اهالی ۱۰ مایلی محل راکتور آسیب دیده باید تخلیه شوند که به طور احتیاط بهتر است این کار برای ۵۰ مایلی صورت بگیرد.

پرتوهای غیر یونیزان Nonionizing Radiation

پرتوهای غیریونیزان عمدتاً شامل صدا و سایر پرتوها می‌باشند که بیشتر آنها جزء طیف الکترومغناطیس می‌باشند. در تمام این شکل‌ها، واکنشی بین مواد برای جابجایی، انعکاس و یا جذب آنها رخ می‌دهد. واحد فیزیکی مواجهه با پرتوهای غیریونیزان عمدتاً وات بر سانتی‌متر مربع (حساسیت پرتو) یا وات بر زاویه واحد جامد (حساسیت رادیان) می‌باشد. برای پرتوهای با فرکانس رادیویی و میکروویو، دوز واحد، میزان جذب ویژه (SAR=Spaceific Absorption Rate) نامیده می‌شود که به صورت وات بر کیلوگرم اندازه گیری می‌شود. SAR به طور قابل توجهی به

فرکانس پرتو، سایز، شکل و ترکیب ماده بستگی دارد.

DHHS: the FDA, Part of the Department of Health and Human Services

پرتوهای الکترومغناطیس غیر یونیزان

اشعه UV (ultra violet light): اشعه یووی (UV یا UVR) ممکن است ناشی از منابع طبیعی (عمدتاً خورشید) یا مصنوعی باشند. منابع مصنوعی شامل لامپ‌های بخار جیوه و سایر محصولاتی که از خاصیت میکروب کشی اشعه UVR استفاده می‌کنند. لامپ‌های ویژه برای درمان بیماری‌های پوستی و تولید ویتامین D بکار می‌روند، درمان با اشعه UV سبب سوختگی یا برنزه شدن می‌گردد. شیشه پنجره و اغلب موارد شفاف (ترانس پرنت) اشعه UVR را جذب می‌کنند، کوارتز و فلورایت (Quartz and Flourite) اجازه عبور به آن را می‌دهند.

اشعه یووی به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

UV-A (۳۲۰ – ۴۰۰ nm): کنفرانس امریکایی بهداشت صنایع دولتی توصیه می‌کند که مواجهه پوست یا چشم با این نوع، نباید بیش از ۱ mW/cm^2 برای دوره زمانی بیشتر از ۱۰۰۰ ثانیه بشود.

UV-B (۲۹۰-۳۲۰ nm) و UV-C< (۲۸۰ nm) اغلب زیان آور می‌باشند. نور خورشید که به اتمسفر نفوذ می‌کند مخلوطی از نوع A و B می‌باشد.

لامپ‌های بخار جیوه می‌تواند در فواصل کمتر از ۳۰ ft به روی چشم و پوست اثرگذار باشند. هرچند این اثرات ممکن است طی ۱۰ تا ۲۰ سال بعد ظاهر شوند (مانند سرطان پوست و...)

نورهای سیاه (Black lights) یا Wood's Lamps حاوی شیشه مخصوصی هستند که uv

کمتر از ۲۵۰ nm و به ویژه طول موج ۳۶۰ nm جیوه را به خوبی جذب می‌کند.

لیزر (Lasers):

Laser: Light amplification by stimulated emission of radiation

در لیزر حساسیت الکتریکی و زمینه‌های مغناطیسی پرتو به شدت قوی می‌شود. لیزر دارای کاربرد متنوع در علوم مختلف، صنایع و پزشکی می‌باشد. پتانسیل خطر بستگی به طور موج در راهبری لیزر دارد و اغلب به صورت nm اندازه گیری می‌شود و قدرت خروجی لیزر اغلب به صورت میلی وات (m W) سنجش می‌شود. راهبری لیزر نزدیک طول موج مرئی می‌تواند سبب صدمه رسیدن به قرنیه چشم، عدسی‌ها یا شبکیه شود. لیزر با طول موج ۲۰۰ تا ۳۱۵ نانومتر به روی قرنیه موثر است، ۳۱۵-۴۰۰ nm بر روی عدسی، ۴۰۰-۱۴۰۰ nm بر روی شبکیه و ۱۴۰۰-۳۰۰۰ nm بر روی قرینه و عدسی اثر می‌گذارد. مواجهه با لیزر uv می‌تواند علاوه بر اینکه برای چشم خطرناک باشد، منجر به افزایش خطر سرطان پوست یا پوست زودرس شود. لیزرهای با قدرت بالا می‌تواند سبب سوختگی پوست و خطرات آتش سوزی شود. در بسیاری از مواردی که لیزر در خارج از طول موج مرئی (مانند uv یا مادون قرمز) به کار می‌رود خطرات بیشتری از اشعه مرئی خواهند داشت.

نهایتاً، پرتو غیر خطرناک لیزر در موارد زیر به کار می‌رود:

شوک الکتریکی، مواجهه شیمیایی، مایعات سرمازا، گازهای فشرده و مواد سمی و گازها.

براساس پتانسیل خطر، لیزرها به صورت زیر طبقه بندی می‌شوند:

- کلاس ۱: لیزر با قدرت خیلی پایین ($< ۰,۵ mW$) به طور قابل ملاحظه‌ای غیرقابل توانا در

تولید سطح پرتو خطرناک می‌باشد و معاف از اغلب بخش‌های لازم می‌باشد.

[Very low power (< ۰,۵ mW)]

- کلاس ۲: لیزر منتشر کننده پرتو مرئی و با قدرت پایین (mW ۱ >) : اگر اشعه لیزر بیشتر از یک چهارم ثانیه به چشم بیاید، می‌تواند دارای خطر برای چشم باشد.

کلاس ۲a: لیزر منتشر کننده اشعه مرئی اما نمی‌تواند خطرناک باشد مگر آنکه به چشم بیش از ۱۰۰۰ ثانیه بتابد.

کلاس ۳: لیزر با قدرت خروجی بیش از mW ۵ اما غیر خطرناک می‌باشد اگر برای یک لحظه به صورت مستقیم به چشم بتابد.

کلاس ۳a: لیزر با قدرت متوسط و با قدرت خروجی ۵ تا ۵۰۰ میلی وات. اگر پرتو مستقیم همانند آینه منعکس شود خطرناک است. انعکاس پخش شده معمولاً غیر خطرناک می‌باشد.

کلاس ۴: لیزر با قدرت بیش از mW ۵۰۰ ، پرتو مستقیم و انتشار آینه‌ای و پخش شده می‌تواند برای پوست و چشم خطرناک باشد. اینگونه لیزر همچنین می‌تواند ایجاد خطر آتش سوزی بنماید.

برای کلاس‌های ۳ و ۴ لیزرها، آموزش ایمنی برای استفاده به طور عمده موردنیاز است. اطلاعات بیشتر درمورد ایمنی لیزر را می‌توان در انتشارات ANSI پیدا کرد.

براساس طبقه بندی FDA درمورد لیزر کلاس ۱، سطح قدرت لیزرهای پزشکی با ۲۰ ٪ ± دقت باید سنجش شود.

میکرو ویو Microwaves:

پرتو میکرو ویو با قدرت بالا می‌تواند سبب اثرات بیولوژیکی نامطلوب حرارتی و غیر حرارتی شود که بستگی به حدود واقعی جذب و دیگر فاکتورها دارد. مکانیسم اولیه بر همکنش میکروویو با بافت، برانگیختگی چرخشی و یا ارتعاشی در ملکول‌ها (مانند آب) که عمدتاً سبب افزایش دمای بدن می-شود، می‌باشد. اثرات غیرحرارتی زمانی رخ می‌دهند که ساختار مولکول‌ها مستقیماً تحت تأثیر قرار بگیرد و سبب تغییرات سلولی بشود.

میکروویو در صنایع برای تست شکستگی (نقص) تجهیزات، در خانه برای کنترل از راه دور تلویزیون و کنترل بازکن درب گاراژ، در راهروها به صورت ثابت در تجهیزات و مراقبت‌های پلیسی و... مایکروویو به کار می‌رود. آونهای میکروویو و دیگر وسائل مشابه از انرژی الکتریکی برای تولید میکروویو با طول موج کوتاه و فرکانس بالا استفاده می‌کنند. FCC استفاده از اون‌ها MHZ ۹۱۵-۲۴۵۰ را پیشنهاد نموده است (FCC= Federal Communication Commission).

میکرو ویو از شیشه، پلاستیک، کاغذ و دیگر مواد شفاف عبور می‌کند. میکرو ویو توسط فلزات منعکس می‌شود اما جذب نیز می‌گردد و انعکاس یا انتقال آنها (میکروویو) از مواد غیر فلزی نظیر آب، غذا و بافت‌های انسانی (چشم‌ها، ارگان‌های داخلی و...) همراه با تولید گرما خواهد بود. ظروف فلزی یا دارای قطعات فلزی از آنجایی که به لوله magnetron مایکروویو آسیب می‌رسانند نباید در اون قرار بگیرند. بعضی از استانداردهای مواجهه با میکروویو در جدول ۱۷-۷ لیست شده اند.

جدول ۱۷-۷ استانداردهای میکروویو

حداکثر مواجهه mW/cm^2	منبع

تحت نظر آزمایشگاهی	۱۰[a]
موسسه استاندارد آمریکا	۱۰[a]
ارتش آمریکا و نیروی هوا (قانون هوا)	۱۰، متوالی
ارتش آمریکا و نیروی هوا (قانون هوا)	۱۰۰-۱۰ متوالی
انگلیس (post office regulation)	۱۰ متوالی
سرویس بهداشت عمومی FDA (PHS)	۱[b]
FDA / PHS	۵ [c]

a: برای ۸ ساعت کار روزانه و ۴۰ ساعت کار هفتگی (OSHA) در ۳۰۰ MHZ تا ۳۰۰ GHZ ، هرچند کمتر از mW/cm^2 ۱ برای مواجهه طولانی توصیه می‌شود.

b: برای اون‌های میکروویو در زمان فروش (حداکثر میزان نشست).

c: نباید بیشتر از mW/cm^2 ۱ برای اون فروشی باشد و نباید بیشتر از mW/m^2 ۵ برای زندگی مفید اون مایکروویو در ۲in (۵cm) درمورد سطح خارجی اون باشد.

در پزشکی از گرمای تولید شده توسط پرتو میکروویو برای درمان استفاده می‌شود، گرما می‌تواند در فاصله in ۲ به مولکول‌ها نفوذ کند. افزایش جریان خون و مواد مغذی از نتایج این عمل می‌باشد. میکروویو همچنین برای تخریب تومورهای سرطانی به کار می‌رود. استفاده غیر مناسب از تجهیزات میکروویو می‌تواند سبب کاتاراکت (آب مروارید) در بیماران و سوختگی‌های شدید پوستی یا بافتی بشود. امواج کوتاه و اولتراسونیک نیز برای درمان‌های پزشکی به کار می‌روند.

زیمنه های الکترومغناطیسی فرکانس رادیوئی و کوتاه (پایین)

اثرات بهداشتی فیلدهای الکترومغناطیس فرکانس کوتاه (EMF_S) توسط ولتاژهای بالا (۵۰۰-۷۶۵ کیلو ولت) خطوط انتقال، سیستم‌های الکتریکی و وسائل خانه ایجاد می‌شود. در بعضی از مطالعات یک زنجیره ارتباطی بین لوسمی و دیگر فرمهای سرطان و EMF_S مشاهده گردیده است. همچنین مشاهده شده که امکان ارتباط بین EMF و سرطان سینه، سقط جنین، افسردگی و خودکشی وجود دارد ولی آلزایمر جزء این دسته تا به حال نبوده است. با افزایش سریع در کاربرد موبایل، پتانسیل اثرات بهداشتی امواج رادیویی در حال افزایش می‌باشد که می‌تواند شبیه به اثرات امواج میکروویو و بالطبع افزایش دما باشد. بیشتر مطالعات انجام شده ارتباط قابل ملاحظه مستقیمی بین امواج کوتاه فرکانس رادیویی و افزایش رشد سرطان مشاهده ننموده‌اند، اما سوالات فراوانی در این زمینه هنوز وجود دارد. بعضی از احتیاطات در زمینه این امواج عبارتند از: نباید ساکنی در ۳۵۰ فوتی محل کریدور هر خط با قدرت kv ۷۶۵ در ایالات نیویورک قرار بگیرد و علاوه بر آن برج آنتهای موبایل کاملاً با استانداردهای حفاظت کارگران و بهداشتی ناشی از اثرات شناخته شده گرمای مواجهه با میکروویو، منطبق باشد.

تصویربرداری مغناطیسی Magnetic Resonance Imaging

یک دستگاه تولید کننده تصاویر سه بعدی MRI برای تصویر برداری از مغز، استخوان، قلب، ماهیچه و دیگر بافت‌ها به کار می‌رود. خطرات این دستگاه (MRI) زمانی که جریان زمینه خیلی شدید باشد (در مگنت اولیه) دیده می‌شود. بهتر است در نزدیکی ماشین MRI هیچ وسیله فلزی

وجود نداشته باشد.

اولتراسوند Ultra Sound

پرتو مکانیکی یا انرژی با سرعت جریان نسبتا آرام در بعضی از محیط‌ها نظیر آب، هوا، خاک و جامدات عبور می‌کنند. شکل غالب انتشار فراصوت توسط ارتعاش ماشین آلات در یک فرکانس معمول کم توسط گوش انسان (HZ ۲۰ و کمتر) شنیده می‌شود، صدای که در رنج شنیداری شنوایی تغییری انسان است، HZ(۲۰KHZ) ۲۰/۰۰۰ – ۲۰ می‌باشد و اولتراسوند در رنج KHZ ۲۰ و MHZ ۱۰ می‌باشد. اولتراسوند برای درمان‌های پزشکی و تمیزسازی دندان‌ها و فلزات به کار می‌رود. از امواج اولتراسونیک در پزشکی برای تصویربرداری از جریان خون، کلیه‌ها و بیماری پروستات و.... استفاده می‌شود. بیشتر تجهیزات پزشکی در فرکانس MHZ ۱۰-۰/۵ راهبری می-شوند. حساسیت تیپیک ناشی از W/cm^2 ۳ و بیشتر برای درمان‌های فیزیکی و حدود W/cm^2 ۰/۱ یا کمتر در تجهیزات اولتراسونیک برای رویت آناتومی داخلی می‌باشد.

تجهیزات اولتراسونیک پر قدرت برای تخریب بافت‌ها یا سلول‌ها و شکستن سنگ کلیه به کار می-رود. FDA توصیه می‌کند یک تایمر با دقت (Accuracy) ۱۰ ± ٪ ویک قدرت سنج با دقت ۲۰ ٪ ± برای اولتراسونیک به کار رود.