



استانداردهای ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

برای حفاظت از افراد و محیط زیست

ایمنی پرتوی در پرتونگاری صنعتی

برگردان راهنمای ایمنی تخصصی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

شماره SSG-11

استانداردهای ایمنی آژانس بین المللی انرژی اتمی (SSG-11)

ایمنی در پرتو نگاری صنعتی

راهنمای ایمنی تخصصی

مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

اداره کل حفاظت در برابر اشعه

آبان ۱۴۰۴

استانداردهای ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

راهنمای ایمنی تخصصی در پرتونگاری صنعتی (شماره SSG-11)

این راهنما ترجمه‌ای است از:

Specific Safety Guide No. SSG-11, *Radiation Safety in Industrial Radiography*, Vienna, International Atomic Energy Agency, 2011

که به کوشش جمعی از کارشناسان اداره کل حفاظت در برابر اشعه در مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور انجام شده است. در این راهنما پس از ارائه مقدمه‌ای درخصوص پرتونگاری صنعتی و پیشینه و جایگاه آن، هدف از تدوین راهنما، دامنه کاربرد و ساختار مدرک ارائه شده است. راهنما مشتمل بر این مباحث است: وظایف و مسئولیت‌ها، ارزیابی ایمنی، برنامه حفاظت پرتوی، آموزش و احراز صلاحیت، مونیتورینگ فردی کارکنان، مونیتورینگ محل کار، کنترل چشمه‌های پرتوزا، ایمنی منابع پرتونگاری صنعتی و تجهیزات پرتودهی، پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده، پرتونگاری در سایت، ترابری چشمه‌های پرتوزا، آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری. این راهنما یک ضمیمه (طبقه‌بندی چشمه‌های پرتوزا توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی) و سه پیوست دارد که عبارتند از:

- پیوست الف - نمونه‌ای از ارزیابی ایمنی؛
 - پیوست ب - بررسی اجمالی منابع پرتو و تجهیزات مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی؛
 - پیوست ج - نمونه‌هایی از حوادث پرتونگاری صنعتی.
- در قسمت مراجع، کلیه مدارک مورد استفاده در تدوین این راهنما توسط آژانس، ذکر شده است.

باید توجه داشت این راهنما توصیه‌های آژانس در حوزه پرتونگاری صنعتی است و امکان دارد در جزئیات با ضوابط موجود اداره کل حفاظت در برابر اشعه تطابق نداشته باشد. بدیهی است هنگام اجرای مقررات، ضوابط اداره کل حفاظت در برابر اشعه ملاک عمل قرار می‌گیرد.

استفاده از متن این ترجمه با ذکر منبع آزاد است.

فهرست مطالب

۱	 مقدمه	۱
۱	 زمینه	۱
۱	 هدف	۱
۲	 دامنه کاربرد	۲
۲	 ساختار	۲
۳	 ۲. وظایف و مسئولیت‌ها	۳
۳	 کلیات	۳
۳	 مرکز بهره‌بردار	۳
۵	 مسئول فیزیک بهداشت	۵
۶	 متخصصان واجد صلاحیت	۶
۷	 کارکنان	۷
۸	 کارفرما (متقاضی خدمات پرتونگاری صنعتی)	۸
۹	 ۳. ارزیابی ایمنی	۹
۹	 کلیات	۹
۹	 روش انجام ارزیابی ایمنی	۹
۱۰	 نتایج ارزیابی ایمنی	۱۰
۱۰	 بازبینی ارزیابی ایمنی	۱۰
۱۰	 ۴. برنامه حفاظت پرتوی	۱۰
۱۰	 اهداف و دامنه کاربرد	۱۰
۱۱	 ساختار و محتوا	۱۱
۱۱	 خط مشی و ساختار مدیریت	۱۱
۱۵	 سابقه ارزیابی ایمنی	۱۵
۱۵	 کمیته ایمنی پرتوی	۱۵
۱۶	 ۵. آموزش و احراز صلاحیت	۱۶
۱۶	 کلیات	۱۶
۱۶	 طراحی برنامه آموزشی	۱۶
۱۶	 ساختار و محتوای دوره آموزشی	۱۶
۱۸	 بازآموزی	۱۸

۱۸	 ۶. مونیتورینگ فردی کارکنان
۱۸	 ارزیابی دز فردی
۱۹	 هشداردهنده‌های فردی
۲۰	 دزیمترهای قرائت مستقیم
۲۱	 نگهداری سوابق
۲۱	 بررسی دز
۲۲	 پایش سلامت
۲۲	 ۷. مونیتورینگ محل کار
۲۲	 برنامه مونیتورینگ
۲۳	 انتخاب، نگهداری و کالیبراسیون دزیمترهای محیطی
۲۴	 ۸. کنترل چشمه‌های پرتوزا
۲۵	 ۹. ایمنی منابع پرتونگاری صنعتی و تجهیزات پرتودهی
۲۵	 کلیات
۲۶	 منابع پرتو و دوربین‌های پرتونگاری گاما
۳۲	 مولدهای پرتو ایکس
۳۶	 ۱۰. پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده
۳۶	 کلیات
۳۶	 طراحی و حفاظ‌گذاری
۳۷	 نواحی کنترل‌شده و تحت نظارت
۳۸	 سیستم‌های ایمنی و هشدار در پرتونگاری گاما
۳۹	 سیستم‌های ایمنی و هشدار مولدهای پرتو ایکس
۴۱	 دستورالعمل‌های پرتونگاری
۴۲	 از کاراندازی
۴۳	 ۱۱. پرتونگاری سایت
۴۳	 کلیات
۴۳	 آماده‌سازی برای پرتونگاری سایت
۴۴	 همکاری با کارفرما
۴۴	 مرزبندی ناحیه کنترل‌شده
۴۵	 سیگنال‌های هشدار
۴۵	 اعلان‌ها
۴۵	 گشت‌زنی و مونیتورینگ مرز نواحی

۴۶	 مونیتورینگ
۴۷	 اقدامات احتیاطی تکمیلی برای پرتونگاری سایت با چشمه گاما
۴۹	 اقدامات احتیاطی تکمیلی برای پرتونگاری با مولد ایکس/ شتابدهنده‌ها در سایت
۵۰	 ۱۲. ترابری چشمه‌های پرتوزا
۵۰	 جابه‌جایی در محل کار
۵۰	 جابه‌جایی به سایت دیگر
۵۱	 ۱۳. آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری
۵۱	 کلیات
۵۲	 تدوین برنامه‌های شرایط اضطراری
۵۳	 انواع شرایط اضطراری
۵۳	 محتوای برنامه شرایط اضطراری پایه
۵۵	 تجهیزات شرایط اضطراری
۵۵	 دستورالعمل‌های شرایط اضطراری ویژه
۵۷	 آموزش و تمرین
۵۷	 بررسی‌های دوره‌ای برنامه‌ها و تجهیزات
۵۷	 تهیه گزارش
۵۹	 ضمیمه: طبقه‌بندی چشمه‌های پرتوزا توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی
۶۲	 مراجع
۶۵	 پیوست (الف): نمونه‌ای از ارزیابی ایمنی
۷۰	 پیوست (ب): بررسی اجمالی منابع پرتو و تجهیزات مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی
۷۳	 پیوست (ج): نمونه‌هایی از حوادث پرتونگاری صنعتی

۱- مقدمه

زمینه

۱-۱- پرتوهای یونساز کاربردهای زیادی در صنایع (از جمله تولید برق)، پزشکی و کشاورزی دارند. یکی از قدیمی‌ترین کاربردهای پرتوها در صنعت، استفاده از پرتونگاری جهت انجام آزمون‌های غیرمخرب بر روی تجهیزات است. پرتونگاری صنعتی در زمره روش‌های تأیید یکپارچگی ساختار فیزیکی تجهیزات و سازه‌هایی نظیر مخازن، لوله‌ها، جوش اتصالات فلزی، ریخته‌گری‌ها و سایر ادوات است. یکپارچگی ساختاری چنین سازه‌ها و تجهیزاتی نه تنها ایمنی و کیفیت محصولات بلکه حفاظت کارکنان، مردم و محیط زیست را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۲-۱- انجام پرتونگاری صنعتی^۱ به‌روش ایمن می‌تواند ریسک آن را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهد. اما تجربه نشان داده که وقوع سوانح ناشی از مواجهه با چشمه‌های پرتوزا در این کار، گاهی اوقات ممکن است به پرتوگیری‌های شدید کارکنان منجر شده و اثرات وخیمی در سلامتی آنها داشته باشد (مانند سوختگی‌های ناشی از پرتوگیری) و حتی در موارد معدودی منجر به مرگ شود. در برخی موارد که چشمه‌های پرتوزای مورد استفاده در فعالیت پرتونگاری صنعتی به‌روش صحیح مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، مردم نیز دچار پرتوگیری بالا^۲ شده‌اند. همچنین در سوانحی مانند نشت مواد پرتوزا بر اثر خوردگی و آسیب دیدگی چشمه‌ها، آلودگی افراد و محیط زیست اتفاق افتاده است. پرتونگاری صنعتی به‌طور طبیعی ممکن است در شرایط دشوار کاری مانند کار در فضاها، بسته و کار در سرما یا گرمای شدید انجام شود. کارکردن در چنین وضعیتی می‌تواند منجر به شرایط عملیاتی شود که در آن، اصل ALARA^۳ (هرچه کمتر موجه قابل دستیابی) در پایین نگهداشتن دزهای دریافتی محقق نشود. تمام موارد مطرح شده بیانگر ضرورت ارتقای فرهنگ ایمنی برای مدیریت ارشد مراکز به‌منظور اطمینان از در اولویت قرار دادن ایمنی در همه شرایط است.

۳-۱- این راهنمای ایمنی با فرض این که حاکمیت زیرساخت‌های مؤثر دولتی، قانونی و نظارتی برای پوشش ایمنی پرتوی در پرتونگاری صنعتی را فراهم نموده، تهیه شده است [۴-۱].

۴-۱- این راهنمای ایمنی جایگزین مدرک شماره ۱۳ از مجموعه گزارش‌های ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی^۴ با عنوان "حفاظت و ایمنی پرتوی در فعالیت پرتونگاری صنعتی"^۵ شده است.

۵-۱- اصطلاحات مورد استفاده در این راهنما براساس واژه‌نامه ایمنی آژانس (نسخه ۲۰۰۷) است [۵]، مگر اینکه با تعریف دیگری بیان شده باشند.

هدف

۶-۱- استاندارد ایمنی International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (BSS) [۲] بیانگر الزامات پایه به‌منظور حفاظت از افراد در برابر پرتوها و

^۱ اصطلاح پرتونگاری صنعتی برای اشاره به انجام پرتونگاری صنعتی با منابع پرتو به‌کار رفته و واژه پرتو نیز به‌مفهوم پرتو یونساز است.

^۲ overexposur

^۳ ALARA: As Low As Reasonably Achievable

^۴ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) از این به بعد در این راهنما "آژانس" نامیده می‌شود.

^۵ Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 13, IAEA, Vienna (1999).

ایمنی منابع پرتو است. اجرای این الزامات جهت اطمینان از آن است که تعداد افراد در معرض پرتو، و میزان دز دریافتی طبق اصل ALARA پایین نگهداشته شده و همچنین در پیشگیری از وقوع سوانح یا کاهش پیامدهای ناشی از آنها مؤثر باشد. این راهنمای ایمنی چگونگی انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی در چارچوب BSS و سایر استانداردهای ایمنی آژانس را بیان می‌کند.

۷-۱- راهنمایی‌های ارائه شده در این مدرک، بر اساس BSS و سایر استانداردهای ایمنی آژانس است که در متن به آنها اشاره شده و برای مدیران مراکز بهره‌بردار مجاز به انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی، پرتونگاران، مسئولین فیزیک بهداشت و قانون‌گذاران قابل استفاده می‌باشد. مفاد این راهنما ممکن است برای طراحان و سازندگان تجهیزات پرتونگاری صنعتی نیز مفید باشد.

دامنه کاربرد

۸-۱- در این راهنمای ایمنی توصیه‌هایی به منظور حصول اطمینان از رعایت اصول ایمنی پرتوی در فعالیت پرتونگاری صنعتی به عنوان یکی از روش‌های آزمون غیرمخرب ارائه می‌شود. این توصیه‌ها شامل انجام پرتونگاری صنعتی با استفاده از مولدهای پرتو ایکس و چشمه‌های پرتوزای گاما داخل تأسیسات حفاظ‌گذاری شده ثابت^۱ با کنترل‌های مهندسی مؤثر، و یا خارج از تأسیسات حفاظ‌گذاری شده با استفاده از منابع پرتو متحرک^۲ است (پرتونگاری سایت).

۹-۱- توصیه‌ها و راهنمایی‌های مربوط به تکنیک‌های انجام پرتونگاری صنعتی، مانند تکنیک‌های به دست آوردن یک تصویر خوب، در نشریه دیگری از آژانس ارائه شده است [۶].

۱۰-۱- انجام پرتونگاری گاما زیر آب و نیز پرتونگاری نوترونی چندان مرسوم نیست، چراکه مستلزم ارزیابی‌های ایمنی تخصصی و روش‌های اجرایی ویژه است. در این مدرک راهنمایی‌ها و توصیه‌های ایمنی ویژه برای چنین تکنیک‌هایی ارائه نشده است، هرچند اصول کلی ایمنی شامل آنها نیز می‌شود؛ مانند به کارگیری حفاظ کافی و حصول اطمینان از این که اصل ALARA رعایت شود.

۱۱-۱- توصیه‌ها و راهنمایی‌های مرتبط با استفاده از پرتو برای بازرسی امنیتی افراد و بار، پست، محموله‌ها، وسایل نقلیه و سایر اهداف شناسایی مشابه، در یک راهنمای ایمنی جداگانه از سوی آژانس ارائه شده است.

ساختار

۱۲-۱- در بخش ۲ وظایف و مسئولیت‌های مختلف سازمان‌ها، مراکز و افراد توضیح داده شده است. روش آماده‌سازی مدرک ارزیابی ایمنی و ارتباط آن با برنامه حفاظت پرتوی به ترتیب در بخش‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. در بخش ۵ ضرورت به کارگیری کارکنان آموزش دیده و دارای صلاحیت برای مراکز بهره‌بردار شرح داده شده و در بخش‌های ۶ و ۷ به ترتیب چگونگی و نحوه مونیتورینگ پرتوی کارکنان و محل کار بیان شده است.

۱۳-۱- بخش‌های بعدی شامل جزئیات عملیاتی کنترل صحیح چشمه‌های گاما (بخش ۸)، ایمنی فیزیکی منابع پرتو گاما و ایکس و تجهیزات جانبی آنها (بخش ۹)، استفاده ایمن از منابع پرتو گاما و ایکس در تأسیسات ثابت و در شرایط

¹ fixed shielded facilities

² mobile sources

پرتونگاری سایت (به ترتیب بخش‌های ۱۰ و ۱۱) و ترابری ایمن چشمه‌های پرتوزا (بخش ۱۲) است. آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری درخصوص منابع پرتو مورد استفاده در فعالیت پرتونگاری صنعتی در بخش ۱۳ توضیح داده شده است.

۱-۱۴- خلاصه‌ای از طبقه‌بندی آژانس برای چشمه‌های پرتوزا در ضمیمه انتهایی ارائه می‌شود. نمونه‌ای از ارزیابی ایمنی برای فعالیت پرتونگاری صنعتی در پیوست (الف)، مرور کلی منابع پرتو و تجهیزات پرتونگاری صنعتی در پیوست (ب) و در خاتمه، مروری کوتاه بر نمونه‌هایی از حوادث در پیوست (ج) ذکر شده است.

۲- وظایف و مسئولیت‌ها

کلیات

۲-۱- مسئولیت اصلی رعایت ایمنی پرتوی بر عهده مرکز بهره‌بردار مجاز به انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی است. با این حال وظایف و مسئولیت‌های روزانه درخصوص چگونگی عملکرد ایمن تجهیزات برعهده طیفی از افراد از جمله مدیر ارشد، مسئول فیزیک بهداشت، پرتونگاران و کمک پرتونگاران، متخصصان واجد صلاحیت و برای فعالیت پرتونگاری سایت علاوه بر افراد مذکور، وظایف و مسئولیت‌هایی نیز بر عهده کارفرما و کلیه پیمانکاران مرتبط است. توصیه می‌شود کلیه وظایف و مسئولیت‌های طرفین مرتبط، مورد توافق قرار گرفته و به‌صورت مکتوب مشخص شود.

مرکز بهره‌بردار

فرهنگ ایمنی و مدیریت ایمنی پرتوی

۲-۲- در یک مرکز بهره‌بردار، مدیران، مسئول ایجاد و اجرای تدابیر فنی و سازمانی لازم برای اطمینان از تحقق حفاظت و ایمنی پرتوی و نیز رعایت الزامات قانونی و نظارتی مربوطه هستند. ممکن است در مواردی از افراد ذیصلاح خارج از مرکز، برای انجام وظایف یا اقدامات مرتبط با این مسئولیت‌ها استفاده شود؛ اما مسئولیت اصلی تحقق ایمنی پرتوی و رعایت مقررات همچنان بر عهده مرکز بهره‌بردار می‌باشد.

۲-۳- توصیه می‌شود مدیر ارشد به‌عنوان مسئول کلی نظارت بر ایمنی پرتوی و مسئول تأیید انطباق فعالیت پرتونگاری صنعتی با الزامات قانونی تعیین شود. همچنین مسئولیت‌ها درخصوص ایمنی پرتوی مشخص گردد و کلیه طرفین ذیربط به‌صورت مکتوب موافقت خود را اعلام نمایند. توصیه می‌شود مدیران از تهیه روش‌های اجرایی^۱ به‌منظور حفاظت پرتوی کارکنان، مردم و محیط زیست و پایین نگهداشتن دزهای دریافتی براساس ALARA (اصل بهینه‌سازی) اطمینان حاصل کنند. توصیه می‌شود تمام خط مشی‌ها و روش‌های اجرایی مستند شده و به‌صورت مقتضی در اختیار کلیه کارکنان و واحد قانونی قرار گیرند.

۲-۴- مدیران موظفند در مرکز خود فرهنگ ایمنی را ترویج داده، نگرش پرسشگری و یادگیری درخصوص حفاظت و ایمنی پرتوی را تشویق کرده و در این مسیر به حداقل‌ها بسنده نکنند [۲]. فرهنگ ایمنی قوی به‌واسطه تمهیدات مدیریتی

^۱ procedures

و نگرش پرسشگری و یادگیری مستمر کارکنان رواج می‌یابد و متقابلاً به تقویت یک رویکرد ایمن در عملکرد می‌انجامد. توصیه می‌شود که فرهنگ ایمنی محدود به حفاظت پرتوی نباشد و ایمنی در سایر موارد را نیز شامل شود.

۵-۲- با داشتن فرهنگ ایمنی خوب، در صورت وقوع سوانح، مراکز بهره‌بردار مورد سرزنش قرار نمی‌گیرند. زیرا از اشتباهات خود درس می‌گیرند، نگرش پرسشگری را پرورش می‌دهند و بهبود مستمر ایمنی در فرایندهای کاری را دنبال می‌کنند. در بررسی سوانح می‌توان به عملکرد قابل قبول اکتفا کرد، اما در برخی موارد شاید لازم باشد اقدامات انضباطی نیز انجام گیرد.

برنامه حفاظت پرتوی

۶-۲- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار برنامه‌ای برای حفاظت پرتوی تدوین، مستند و اجرا کنند [۷]. توصیه می‌شود این برنامه شامل اطلاعاتی درمورد نحوه برقراری حفاظت پرتوی، روش ارزیابی ایمنی، تدابیر اتخاذ شده برای اجرای برنامه‌ریزی‌ها و سازوکاری برای بازبینی و به‌روزرسانی آنها باشد. جزئیات بیشتر درخصوص ارزیابی ایمنی و برنامه حفاظت پرتوی به‌ترتیب در بخش‌های ۳ و ۴ بیان شده است.

نظام مدیریت

۷-۲- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار دارای یک نظام مدیریت باشند که در آن، مسئولیت‌های کلیه افراد مرتبط تعریف و الزامات سازمانی، پرسنلی و تجهیزات به‌تفصیل شرح داده شده باشد. توصیه می‌شود این سیستم همواره مورد ارزیابی قرار گیرد و در حال توسعه و بهبود مستمر باشد. بهتر است نظام مدیریت بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی ایجاد شود [۸-۱۰]، سازوکارهایی جهت بازرسی و ممیزی‌های داخلی عادی داشته باشد و در صورت امکان، توسط مجموعه دیگری مورد ممیزی قرار گیرد. همچنین بهتر است در نظام مدیریت، یکپارچگی در اجرای برنامه حفاظت پرتوی پیش‌بینی شده باشد.

منابع و امکانات

۸-۲- مطابق با الزامات قانونی، توصیه می‌شود که مراکز بهره‌بردار جهت انجام فعالیت پرتونگاری ایمن از این موارد اطمینان حاصل کنند: امکانات و تجهیزات مناسب در دسترس است؛ تجهیزات پرتونگاری دارای برجسب علائم ایمنی و هشدار مرتبط هستند؛ پرتونگاران، کمک پرتونگاران و مسئولین فیزیک بهداشت به تعداد کافی حضور دارند و جهت انجام کار ایمن و مؤثر به تجهیزات مناسب (نظیر ابزارهای مونیتورینگ پرتو) مجهز می‌باشند.

اطلاع به واحد قانونی

۹-۲- توصیه می‌شود مرکز بهره‌برداری که قصد انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی را دارد پیش از شروع کار با پرتو، درخواست خود را با جزئیاتی مطابق با الزامات مربوطه به واحد قانونی ارائه دهد. ممکن است برخی از نهادهای نظارتی درخصوص درخواست‌های فعالیت پرتوی به‌طور منظم یا به‌صورت موردی اطلاعات دیگری نیز مطالبه نمایند (مثلاً زمان انجام فعالیت پرتونگاری سایت).

پروانه/مجوز واحد قانونی

۲-۱۰- مرکز بهره‌بردار موظف است برای اقداماتی نظیر دراختیارگیری، انبارداری، استفاده، توزیع یا انتقال منابع پرتو فعالیت پرتونگاری صنعتی از واحد قانونی درخواست پروانه/مجوز نماید. همچنین ممکن است برخی از کشورها برای واردات یا صادرات منابع پرتو مربوط به فعالیت پرتونگاری صنعتی، الزام برای اخذ مجوز داشته باشند. با توجه به اینکه پروانه/مجوز انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی برای مرکز متقاضی می‌تواند در زمان انجام کار محدودیت‌ها و یا ممنوعیت‌هایی به همراه داشته باشد، توصیه می‌شود که متقاضی تا زمان اخذ مجوز، از انجام فعالیت پرتونگاری خودداری نماید.

۲-۱۱- بهتر است مرکز بهره‌بردار متقاضی هنگام ارائه درخواست برای اخذ پروانه/مجوز فعالیت پرتونگاری، مدارک مستند قابل قبولی به واحد قانونی ارائه دهد که بیانگر ایجاد و حفظ سطح کافی ایمنی پرتوی باشد. اگر توجیه ارائه شده مورد قبول واحد قانونی قرار نگیرد، توصیه می‌شود که مرکز بهره‌بردار متقاضی به صورت رسمی دلیل استفاده از پرتوهای یونساز به جای سایر فناوری‌های جایگزین برای انجام آزمون‌های غیرمخرب را ارائه دهد.

۲-۱۲- توصیه می‌شود مدارک مورد نیاز جهت ارائه درخواست پروانه/مجوز حداقل شامل موارد زیر باشد:

- أ) اطلاعات متقاضی پروانه/مجوز؛
- ب) الزامات مرکز بهره‌بردار درخصوص آموزش و احراز صلاحیت کلیه کارکنان مرتبط؛
- ج) اطلاعات فنی درمورد نوع منابع پرتو و تجهیزات مورد استفاده؛
- د) برنامه ارزیابی ایمنی مربوط به شرایط بهره‌برداری و نگهداری از منابع پرتو؛
- ه) جزئیات مربوط به سیستم ایمنی تأسیساتی که منابع پرتو در آن نگهداری می‌شوند یا مورد استفاده قرار می‌گیرند (مانند حفاظ، سیستم‌های قفل هم‌بند و سیستم‌های هشدار خطر پرتو)؛
- و) برنامه حفاظت پرتوی؛
- ز) دستورالعمل‌ها و برنامه‌های شرایط اضطراری.

مسئول فیزیک بهداشت

۲-۱۳- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار حداقل یک نفر را به عنوان مسئول فیزیک بهداشت معرفی نماید تا بر اجرای روزانه برنامه حفاظت پرتوی و انجام وظایفی که در برنامه برای افراد مشخص شده، نظارت داشته باشد. با توجه به الزامات قانونی، وظایف مسئول فیزیک بهداشت می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- أ) نظارت بر انجام عملیات پرتونگاری صنعتی جهت کمک به مرکز بهره‌بردار در رعایت الزامات قانونی ازجمله الزامات مربوط به ترابری ایمن چشمه‌های پرتوزا برای فعالیت پرتونگاری سایت؛
- ب) نگهداری سوابق حسابرسی منابع پرتو؛
- ج) بازرسی، تعمیر و نگهداری^۱ کنترل‌های مهندسی، علائم ایمنی و علائم هشدار خطر پرتو؛
- د) نظارت بر دسترسی افراد به نواحی کنترل شده؛
- ه) استقرار و بازبینی دوره‌ای تمهیدات دزیمتری فردی، ازجمله نگهداری و بازبینی سوابق دز شغلی؛

¹ maintenance

و) حصول اطمینان از آموزش مناسب پرتونگاران درخصوص استفاده از تجهیزات و رعایت حفاظت پرتوی و انجام بازآموزی منظم پرتونگاران؛

ز) حصول اطمینان از استقرار برنامه‌های شرایط اضطراری و اجرای منظم مانور؛

ح) نظارت بر اجرای برنامه مونیترینگ محل کار؛

ط) استقرار، صدور و بازبینی دوره‌ای مقررات داخلی (ازجمله ضرورت صدور مجوزهای کار^۱ به صورت مقتضی)؛

ی) بررسی پرتوگیری‌های غیرعادی و پرتوگیری‌های بالا؛

ک) بررسی و گزارش سوانح ازجمله حوادث.

۲-۱۴- تعداد مسئولین فیزیک بهداشت منصوب شده در یک مرکز بهره‌بردار، به اندازه و تعداد منابع پرتو و نیز به تعداد و نوع فعالیت پرتونگاری که انجام می‌شود بستگی دارد. در مواردی که بیش از یک مسئول فیزیک بهداشت منصوب شده است، توصیه می‌شود وظایف و مسئولیت‌های هریک از آنها به خوبی مشخص گردد. حتی در مراکز کوچکی که فقط از چند کارمند تشکیل شده‌اند، توصیه می‌شود فردی با دانش، آموزش و تجربه کافی به عنوان مسئول فیزیک بهداشت منصوب گردد.

۲-۱۵- توصیه می‌شود مسئول فیزیک بهداشت، کارمند مرکز و واجد صلاحیت لازم برای پذیرش این مسئولیت باشد. همچنین دارای تجربه پرتونگاری بوده و در مرکز جایگاهی داشته باشد که امکان نظارت دقیق بر فعالیت پرتونگاری برای وی فراهم گردد. توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کند که مسئول فیزیک بهداشت از فرصت کافی، تخصص و منابع لازم جهت انجام مناسب وظایف برخوردار است. همچنین به مسئول فیزیک بهداشت این اختیار داده شود که بتواند مانع از انجام فعالیت غیرایمن شود و در مرکز، و به‌ویژه با مدیران ارشد، تعامل مؤثر داشته باشد تا اطمینان یابد که از سطح بالای پشتیبانی برای اجرای تصمیماتی که ممکن است بر ایمنی پرتوی تأثیر بگذارند، برخوردار است.

متخصصان واجد صلاحیت

۲-۱۶- مرکز بهره‌بردار می‌تواند درمورد مسائل مرتبط با ایمنی پرتوی نظیر طراحی تأسیسات پرتونگاری، محاسبات حفاظ، بررسی و نگهداری دزیمترهای محیطی پرتو با متخصص واجد صلاحیت مشورت کند، اما نمی‌تواند مسئولیت رعایت الزامات قانونی را به متخصص واجد صلاحیت واگذار نماید و این مسئولیت همواره بر عهده مرکز بهره‌بردار می‌باشد.

۲-۱۷- متخصصان واجد صلاحیت می‌تواند از کارکنان مرکز بهره‌بردار نباشد و به صورت پاره‌وقت یا برای پروژه‌های خاصی انتخاب شود. از معیار اصلی انتخاب یک متخصص واجد صلاحیت، لزوم داشتن صلاحیت بر اساس مقررات ملی یا گواهینامه‌های مورد تأیید است.

۲-۱۸- جهت اطمینان از انجام کلیه وظایف و اقدامات ضروری، توصیه می‌شود متخصص واجد صلاحیت با مسئول فیزیک بهداشت مرکز همکاری نزدیک داشته باشد.

^۱ work permits

کارکنان

پرتونگاران

۲-۱۹- با وجود آنکه مسئولیت اصلی ایمنی پرتو برعهده مرکز بهره‌بردار می‌باشد، پرتونگاران (و نیز کمک‌پرتونگاران و کارآموزان) به‌منظور اجرای کار ایمن و انجام اقدامات مناسب در راستای محدود کردن پرتوگیری خود، دیگر کارکنان و عموم مردم دارای مسئولیت‌هایی هستند.

توصیه می‌شود پرتونگاران:

أ) از مقررات داخلی (به بخش ۴ مراجعه کنید) و سایر روش‌های اجرایی مرتبط پیروی کنند؛
ب) در تمام طول مدت پرتونگاری و کار با منبع پرتو، دزیمترهای فردی‌شان را در محل صحیحی که آموخته‌اند بر روی لباس خود نصب نمایند (به بخش ۶ مراجعه کنید)؛

ج) از تجهیزات مونیتورینگ پرتو به‌درستی و به‌شیوه‌ای نظام‌مند استفاده نمایند (به بخش ۷ مراجعه کنید)؛
د) درخصوص کلیه مسائل مرتبط با ایمنی پرتو با مسئول فیزیک بهداشت و متخصصان واجد صلاحیت همکاری نمایند؛

ه) در آموزش‌های مرتبط با ایمنی پرتوی شرکت نمایند؛
و) از انجام هرگونه اقدام عمدی که خود یا دیگران را در شرایطی مغایر با الزامات قانونی یا الزامات تعیین شده توسط مرکز بهره‌بردار قرار می‌دهد، خودداری کنند.

۲-۲۰- توصیه می‌شود پرتونگار بلافاصله مسئول فیزیک‌بهداشت را از وقوع هر نوع سانحه یا شرایطی که ممکن است منجر به دریافت دزهایی بیش از دز معمول توسط خود یا سایر افراد شده باشد، مطلع نماید. این شرایط می‌تواند شامل خرابی یا نقص‌های مشاهده شده در سیستم‌های ایمنی و سیستم‌های هشدار خطر پرتو، اشتباه در پیروی از روش‌های اجرایی یا اقدامات نامناسب باشد. توصیه می‌شود گزارش مکتوب تهیه شده پس از وقوع سانحه یا مشاهده شرایط، در اسرع وقت به مسئول فیزیک‌بهداشت ارائه گردد.

۲-۲۱- توصیه می‌شود ایمنی پرتو در روال کار پرتونگاری روزانه کلیه افراد قرار گیرد و این موضوع، معیاری برای فرهنگ ایمنی مرکز بهره‌بردار به‌طور کلی باشد.

پرتونگاران با قرارداد کوتاه‌مدت (کارکنان موقت)

۲-۲۲- توصیه می‌شود مراکز بهره‌برداری که پرتونگاران خویش‌فرما را به‌صورت کوتاه‌مدت استخدام می‌کنند، اطمینان یابند که این پرتونگاران از همان سطح از حفاظت و ایمنی پرتوی مشابه پرتونگاران تمام‌وقت برخوردار هستند. چنین پرتونگارانی (که گاهی کارکنان موقت نامیده می‌شوند) فقط برای مدت کوتاهی (مثلاً چند هفته) برای مرکز بهره‌بردار فعالیت می‌کنند و سپس برای کار نزد کارفرمای دیگری می‌روند.

۲-۲۳- باتوجه به اینکه این نوع شرایط کاری (کار موقت) می‌تواند مشکلات خاصی در رابطه با رعایت مقررات ایجاد کند، توصیه می‌شود مسئولیت‌های مربوط به مرکز بهره‌بردار و پرتونگار موقت به‌صورت کاملاً شفاف در مفاد قراردادها مشخص شود و به‌منظور رعایت الزامات قانونی، بهتر است مراکز بهره‌بردار پیش از شروع فعالیت پرتونگاری، از دز مؤثر تجمعی سالانه کارکنان موقت در زمان استخدام آگاهی داشته باشند.

۲-۲۴- وظایف و مسئولیت‌های مرکز بهره‌بردار و پرتونگاران موقت تابع الزامات قانونی ویژه‌ای است. توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار تخصیص مسئولیت‌های زیر به طرفین ذیربط را با پرتونگار به صورت شفاف مشخص نماید:

- ارائه دزیمتر فردی و ثبت دز دریافتی افراد و نگهداری سوابق (به بخش ۶ مراجعه کنید)؛
- ترتیبات پایش سلامت (به بخش ۶ مراجعه کنید)؛
- ترتیبات مونیتورینگ محل کار (به بخش ۷ مراجعه کنید)؛
- مقررات داخلی (به بخش ۴ مراجعه کنید).

۲-۲۵- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار تأیید کند که پرتونگار دارای صلاحیت‌های مناسب بوده و دوره‌های آموزشی لازم در زمینه ایمنی پرتو و تکنیک‌های پرتونگاری صنعتی را گذرانده است. همچنین توصیه می‌شود تأیید کند که کلیه روش‌های اجرایی و سایر مدارک مرتبط، به زبان مناسب برای پرتونگار ارائه شده است.

کارفرما (متقاضی خدمات پرتونگاری صنعتی)

۲-۲۶- کارفرما، مرکز یا شخصی است که مسئول به‌کارگیری مرکز بهره‌بردار جهت فعالیت پرتونگاری صنعتی می‌باشد. توصیه می‌شود کارفرما برای دریافت خدمات همیشه از مراکز بهره‌برداری که دارای مجوز/پروانه فعالیت پرتونگاری صنعتی از واحد قانونی هستند، استفاده کند.

۲-۲۷- توصیه می‌شود کارفرما برای برنامه‌ریزی و اجرای ایمن فعالیت پرتوی، به مرکز بهره‌بردار فرصت کافی بدهد و امکان انطباق با اطلاعیه‌های از پیش صادر شده توسط واحد قانونی را برای وی فراهم نماید.

۲-۲۸- توصیه می‌شود کارفرما در متن قرارداد با مرکز بهره‌بردار، شرایط یا محدودیت‌هایی درج نکند که مرکز بهره‌بردار را از انجام ایمن فعالیت پرتونگاری باز دارد. همواره الزامات قانونی و الزامات ایمنی بر الزامات تجاری ارجحیت دارند. توصیه می‌شود کارفرما اطمینان حاصل کند که فعالیت پرتونگاری با سایر فعالیت‌های در حال انجام، در مکان تحت اختیار کارفرما هماهنگ شده است تا ریسک‌های ناشی از مخاطرات متداول سایت برای پرتونگاران و پرتوگیری‌های سایر کارکنان به حداقل برسد. اگر بیش از یک مرکز دارای فعالیت پرتونگاری در مکان تحت اختیار کارفرما هم‌زمان کار می‌کنند، توصیه می‌شود بین آنها هماهنگی ویژه‌ای وجود داشته باشد. وجود سیستم اجازه کار^۱ می‌تواند به ارتباط و هماهنگی بین مشاغل مختلف در یک مکان کمک کند.

۲-۲۹- کارفرما مسئول حصول اطمینان از وجود یک محیط ایمن کاری برای پرتونگاران است؛ از جمله فراهم بودن داربست، روشنایی کافی و تمهیدات ایمنی برای کار در لوله‌ها، فضاها محدود، گودال‌ها یا مکان‌های غیرایمن که شاید دسترسی به آن‌ها لازم باشد. کارفرما همچنین مسئول اطلاع‌رسانی مسائل ایمنی مربوط به سایت و یا ارائه آموزش‌های لازم به افرادی است که با پرتونگاران ملاقات می‌کنند.

۲-۳۰- اگر لازم است چشمه‌های پرتوزا به‌طور موقت در مکان تحت اختیار کارفرما نگهداری شوند، توصیه می‌شود کارفرما و مرکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که انبارها از امنیت و ایمنی کافی برخوردار هستند؛ پروانه/مجوزهای لازم از واحد قانونی اخذ شده‌اند و روش‌های اجرایی دسترسی به محل نگهداری چشمه‌های پرتوزا برای کارفرما و مرکز بهره‌بردار به‌صورت واضح تعریف شده است (همچنین به بخش ۷ مراجعه کنید).

^۱ permit-to-work system

۳- ارزیابی ایمنی

کلیات

- ۳-۱- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار برای کلیه منابع پرتو دارای مجوز، ارزیابی ایمنی انجام داده و آنها را مستندسازی نماید. برای منابع پرتو و دستگاه‌های مشابه، انجام یک ارزیابی ایمنی کلی می‌تواند قابل قبول باشد. ارزیابی ایمنی اولیه که گاهی اوقات "ارزیابی رادیولوژیکی مقدماتی"^۱ نیز نامیده می‌شود، ابزار اصلی جهت تعیین اقدامات حفاظتی لازم است و وجود تمام پارامترهای اثرگذاری که بر حفاظت و ایمنی تأثیر دارند را بررسی و تأیید می‌کند. توصیه می‌شود ارزیابی ایمنی مستندسازی شده و به‌طور مستقل در نظام مدیریت مرکز بهره‌بردار مورد بازبینی قرار گیرد.
- ۳-۲- توصیه می‌شود ارزیابی ایمنی قبل از دریافت اولین منبع پرتو در کارگاه یا قبل از اولین استفاده از آن انجام شود. همچنین مرکز بهره‌بردار با برنامه‌ریزی قبلی اطمینان حاصل کند که زمان کافی برای انجام اقدامات حفاظتی و ایمنی ضروری وجود دارد. ممکن است برای جایگزین کردن یک منبع پرتو با منبع پرتو مشابه، ارزیابی ایمنی جدید لزومی نداشته باشد.
- ۳-۳- برای انجام فعالیتی که از قبل در حال انجام بوده اما مورد ارزیابی ایمنی قرار نگرفته، توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار از ارزیابی ایمنی گذشته‌نگر که تأیید می‌کند کلیه تدابیر حفاظتی مرتبط اندیشیده یا اقدامات تکمیلی لازم برای انجام آن فعالیت مشخص شده است، استفاده نماید.

روش انجام ارزیابی ایمنی

- ۳-۴- منابع پرتو در فعالیت پرتونگاری صنعتی دارای آهنگ دز بالایی هستند، بنابراین توصیه می‌شود تحت ارزیابی ایمنی جامع قرار گیرند و ریسک‌های پرتوی ناشی از استفاده عادی از منبع (منابع) پرتو همراه با احتمال و مقدار پرتوگیری‌های بالقوه ناشی از وقوع سوانح پرتوی در ارزیابی ایمنی در نظر گرفته شود. نمونه‌ای از ارزیابی ایمنی فعالیت پرتونگاری صنعتی در پیوست (الف) آمده است.
- توصیه می‌شود ارزیابی ایمنی موارد زیر را دربر بگیرد:
- أ) بررسی آهنگ دز چشمه‌های پرتوزا و مولدهای پرتو ایکس حفاظ‌گذاری شده و بدون حفاظ‌گذاری؛
 - ب) پرتوگیری‌های بالقوه پرتونگاران، سایر کارکنان و مردم برای شرایط عادی کار و نیز سوانح محتمل قابل پیش‌بینی^۲؛
 - ج) محدودیت‌ها و شرایط فنی بهره‌برداری از منابع پرتو؛
 - د) رویه‌ها و دستورالعمل‌های مربوط به حفاظت و ایمنی که ممکن است ساختارها، سیستم‌ها و اجزاء را دچار مشکل کنند یا به شکل دیگری منجر به پرتوگیری‌های بالقوه شوند، و پیامدهای ناشی از این اشکالات؛
 - ه) رویه‌های اثرگذار بر حفاظت و ایمنی به‌واسطه عوامل خارجی؛
 - و) رویه‌های اثرگذار بر حفاظت و ایمنی به‌واسطه خطاهای عملیاتی و عوامل انسانی؛
 - ز) پیامدهای ناشی از هرگونه اصلاحات پیشنهادی برای حفاظت و ایمنی.

^۱ prior radiological evaluation

^۲ reasonably foreseeable incidents

نتایج ارزیابی ایمنی

۳-۵- توصیه می‌شود ارزیابی ایمنی برای تصمیم‌گیری در رابطه با موارد زیر چارچوبی ارائه دهد:

- أ) اقدامات کنترلی مهندسی شده ضروری برای ایمنی؛
- ب) تدوین روش‌های اجرایی برای پرتونگاران (مقررات داخلی)؛
- ج) الزامات و روش‌های اجرایی مربوط به تعیین نواحی کنترل‌شده و تحت‌نظارت؛
- د) کلیه الزامات به‌منظور حفاظت از مردم؛
- ه) اطلاعات مربوط به سوانح محتمل قابل پیش‌بینی، ازجمله اقدامات لازم برای به حداقل رساندن احتمال وقوع اینگونه سوانح و تجهیزات ضروری شرایط اضطراری؛
- و) اطلاعات لازم درخصوص اقدامات ضروری برای محدود کردن پرتوگیری افراد و حفاظت از محیط زیست در یک سانحه (از جمله برنامه‌های آمادگی برای شرایط اضطراری).

بازبینی ارزیابی ایمنی

۳-۶- توصیه می‌شود ارزیابی ایمنی در هریک از شرایط زیر مورد بازبینی قرار گیرد:

- أ) هنگامی که ایمنی در نتیجه تغییر در تجهیزات یا تغییر در روش‌های اجرایی یا در اختیارگیری منبع پرتو جدید یا در اختیارگیری یک منبع پرتو با مشخصات پرتوی متفاوت به خطر بیفتد یا تحت تأثیر قرار گیرد.
- ب) تجربه عملیاتی، بررسی شرایط اضطراری یا سوانح، بررسی خرابی‌ها یا خطاهایی که نشان دهند اقدامات ایمنی فعلی نامعتبر هستند یا به‌طور کامل مؤثر نیستند.
- ج) هرگونه تغییر قابل توجه در دستورالعمل‌ها، استانداردها یا مقررات مرتبط که انجام شده است یا ممکن است انجام شود.

۴- برنامه حفاظت پرتوی

اهداف و دامنه کاربرد

- ۴-۱- برنامه حفاظت پرتوی عامل اصلی در حفظ و توسعه فرهنگ ایمنی یک مرکز است [۷]، لذا توصیه می‌شود این برنامه الزامات قانونی را برآورده کند و ساختار مدیریتی مرکز بهره‌بردار، خط مشی‌ها، مسئولیت‌ها، روش‌های اجرایی و اقدامات سازمانی مرکز را پوشش دهد. همه این موارد جهت کنترل خطرات ناشی از پرتوها، بهینه‌سازی اقدامات حفاظت پرتوی، پیشگیری از پرتوگیری‌ها یا کاهش آنها و کاهش پیامدهای ناشی از وقوع سوانح هستند.
- ۴-۲- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی متناسب با نیازهای مرکز بهره‌بردار بومی‌سازی و تهیه گردد؛ و این برنامه پیچیدگی‌ها و خطرات مرتبط با فعالیت‌هایی که قرار است برای اهداف پرتونگاری انجام شوند را منعکس کند. توصیه

می‌شود این برنامه براساس ارزیابی ایمنی مرکز بهره‌بردار تنظیم شود و هردو وضعیت پرتوگیری برنامه‌ریزی شده^۱ و پرتوگیری‌های بالقوه^۲ را در نظر بگیرد.

۳-۴- اصولی که برای تدوین برنامه حفاظت پرتوی شرح داده شد، در شرایط عادی انجام عملیات پرتونگاری با منابع پرتو ایکس و گاما کاربرد دارند. توصیه می‌شود برای مواجهه با مخاطرات نادر و غیرعادی محل کار، برنامه و اقدامات تکمیلی توسط مراکز بهره‌بردار در نظر گرفته شود.

ساختار و محتوا

۴-۴- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی، اجزای اصلی تأثیرگذار بر حفاظت و ایمنی را پوشش دهد. بهتر است ساختار و محتوای برنامه حفاظت پرتوی با سطح قابل قبولی از جزئیات، مکتوب شود. توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی شامل اجزای ضروری زیر باشد:

- أ) ساختار و خط مشی مدیریت؛
 - ب) تخصیص مسئولیت‌های فردی برای رعایت ایمنی پرتوی؛
 - ج) برنامه آموزشی و مهارت‌های عملی درمورد ماهیت خطرات، حفاظت و ایمنی پرتو؛
 - د) مقررات داخلی و نظارت؛
 - ه) تعیین نواحی کنترل شده یا تحت نظارت؛
 - و) تمهیدات مونیتورینگ کارکنان و محل کار، از جمله تهیه و نگهداری تجهیزات لازم برای تحقق اهداف حفاظت پرتوی؛
 - ز) برنامه پایش سلامت؛
 - ح) سیستم ثبت و گزارش‌دهی کلیه اطلاعات مربوط به کنترل پرتوگیری‌ها، تصمیمات مربوط به اقدامات حفاظت و ایمنی پرتوی شغلی و مونیتورینگ فردی؛
 - ط) برنامه‌های آمادگی برای شرایط اضطراری؛
 - ی) روش‌های بازبینی و ممیزی دوره‌ای عملکرد برنامه حفاظت پرتوی؛
 - ک) تضمین کیفیت و بهبود فرایند.
- ۴-۵- اجزای برنامه حفاظت پرتوی که در ادامه به تفصیل توضیح داده شده‌اند، بسته به مقیاس و پیچیدگی فعالیت‌ها ممکن است در یک مدرک یا مجموعه‌ای از مدارک قرار گیرند.

خط مشی و ساختار مدیریت

۴-۶- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی ساختار مدیریت در ارتباط با ایمنی پرتو را تشریح کند. این ساختار می‌تواند به صورت یک نمودار سازمانی همراه با ذکر نام مدیران ارشد ایمنی پرتوی و متصدیان وظایف مختلف (مثلاً مسئول فیزیک بهداشت) ارائه شود. توصیه می‌شود این نمودار مسیر گزارش‌دهی از پرتونگار تا مدیر ارشد را با کلیه مسئولیت‌ها

¹ planned exposure situations

² potential exposures

به‌طور واضح نشان دهد. اگر مرکز بهره‌بردار بیش از یک مکان برای انجام فعالیت پرتوی داشته باشد، توصیه می‌شود در ساختار مدیریت، افراد مسئول هر مکان مشخص گردد.

۴-۷- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی شامل سیاست‌های مرکز در زمینه ایمنی پرتو، تعهد مدیران مبنی بر رعایت اصل ALARA و همچنین ترویج فرهنگ ایمنی باشد.

تخصیص مسئولیت‌های ایمنی پرتوی

۴-۸- توصیه می‌شود مسئولیت‌های مربوط به ایمنی پرتوی در کل طول عمر منابع پرتو از زمان سفارش و دریافت، هنگام استفاده و نگهداری تا زمان بازگشت نهایی آنها به تأمین‌کننده (یا سایر ملاحظات احتمالی پایان عمر) را دربر بگیرد. توصیه می‌شود مناصبی که مسئولیت‌های مربوط به آنها به هریک از افراد تخصیص داده می‌شود، شامل مدیران ارشد مرکز بهره‌بردار (که مسئولیت اصلی ایمنی را بر عهده دارند)، مسئول فیزیک بهداشت، متخصص واجد صلاحیت، پرتونگاران و سایر کارکنان آنگونه که در بخش ۲ توضیح داده شد، باشد.

۴-۹- در مواردی که مراکز بهره‌بردار فعالیت پرتونگاری را در مکان تحت اختیار کارفرما (مقتضای خدمات) انجام می‌دهند، در صورت مقتضی، مسئولیت رعایت برخی الزامات ایمنی (مثلاً ارائه اطلاعات مربوط به خطرات خاص و الزامات ایمنی سایت) به‌جای مرکز بهره‌بردار بر عهده کارفرما است، توصیه می‌شود حداقل یک نفر از مرکز بهره‌بردار مسئولیت ارتباط با کارفرما را بر عهده بگیرد. توصیه می‌شود فرایند ارتباط با کارفرما شامل شناسایی مخاطرات سایت، بحث در مورد مقررات داخلی و تبادل اطلاعات مربوط به ایمنی باشد.

برنامه آموزشی و مهارت‌های عملی

۴-۱۰- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی شامل مجموعه کاملی از برنامه‌های آموزشی مربوط به حفاظت و ایمنی برای کلیه کارکنانی که مستقیماً در فعالیت معمول پرتونگاری و در عملیات شرایط اضطراری قرار می‌گیرند، باشد (به بخش ۵ مراجعه کنید). بهتر است به‌طور مقتضی برای آگاهی سایر کارکنان، برنامه "آشنایی با پرتو"^۱ نیز در این مجموعه در نظر گرفته شود. "سایر کارکنان" شامل مدیران، پرتونگاران، کارآموزان، کارگران (نظیر افراد نظافتچی)، کارکنان تعمیر و نگهداری که ممکن است ناخواسته در معرض پرتو قرار گیرند و پیمانکاران می‌باشند. توصیه می‌شود در برنامه حفاظت پرتوی حداقل صلاحیت آموزشی و حرفه‌ای همه کارکنان مرتبط، به‌ویژه مسئول فیزیک بهداشت، پرتونگاران و کمک‌پرتونگاران از جهت مطابقت با الزامات قانونی مشخص شده باشد.

۴-۱۱- توصیه می‌شود مقررات مربوط به نگهداری سوابق آموزشی با الزامات و توصیه‌های قانونی مطابقت داشته باشد و در برنامه حفاظت پرتوی تعیین گردد.

مقررات داخلی و نظارت

۴-۱۲- توصیه می‌شود آن دسته از مقررات داخلی که روش‌های اجرایی چگونگی انجام پرتونگاری را تشریح می‌کنند، به زبانی مناسب برای افراد بهره‌بردار، تهیه و تدوین شوند. توصیه می‌شود این مقررات داخلی کلیه وضعیت‌های اجرایی پرتونگاری را که در آن احتمال پرتوگیری وجود دارد، مانند شرایط عادی عملیاتی، تعویض و ترابری چشمه‌های پرتوزا،

^۱ radiation 'awareness'

دربر بگیرد؛ (به بخش‌های ۱۰ و ۱۱ مراجعه کنید). از آنجاکه این مقررات عامل مهمی در کاهش پرتوگیری‌ها هستند، توصیه می‌شود شامل اطلاعات و راهنمایی‌های کافی باشند تا برای پرتونگاران و سایر کارکنان، امکان انجام وظایف به‌طور ایمن و با رعایت الزامات قانونی فراهم شود.

۴-۱۳- توصیه می‌شود مدیریت اطمینان حاصل کند که همه افراد مرتبط با فعالیت پرتونگاری مقررات داخلی را مطالعه کرده، متوجه شده و پذیرفته‌اند. بهتر است نسخه‌ای از این مقررات در اختیار همه پرتونگاران و سایر افراد مرتبط قرار گرفته و یک نسخه از آنها در محل فعالیت موجود باشد. در مراکز کوچک‌تر که فعالیت پرتونگاری محدودی دارند، می‌تواند مجموعه‌ای از مقررات داخلی وجود داشته باشد که کلیه روش‌های اجرایی را پوشش دهد.

۴-۱۴- در مراکز بزرگتر ممکن است مجموعه‌های مختلفی از مقررات داخلی ویژه وجود داشته باشد. چنین مجموعه‌هایی می‌تواند شامل این موارد باشد: روش‌های اجرایی جهت انجام فعالیت پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده^۱، فعالیت پرتونگاری سایت پرتونگاری و روش‌های اجرایی برای تعویض چشمه‌های پرتوزای گاما. همچنین برخی از کارفرمایان می‌توانند مقررات ویژه‌ای برای انجام فعالیت پرتونگاری در مکان تحت اختیار خود تنظیم کنند.

۴-۱۵- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار حداقل یک نفر از کارکنان خود را به‌عنوان مسئول فیزیک بهداشت تعیین کند تا بر اجرای روزانه برنامه حفاظت پرتوی نظارت داشته باشد و وظایفی را که در این برنامه الزام شده است، انجام دهد. جزئیات وظایف مسئول فیزیک بهداشت در بخش ۲ ذکر شده است.

تعیین ناحیه کنترل‌شده یا ناحیه تحت نظارت

۴-۱۶- توصیه می‌شود در برنامه حفاظت پرتوی نحوه مرزبندی نواحی کنترل‌شده^۲ و تحت نظارت^۳ برای انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی بیان گردد. بهتر است نواحی کنترل‌شده برای محدود کردن پرتوگیری‌ها در فعالیت پرتونگاری صنعتی استفاده شده و در برخی موارد ناحیه تحت نظارت به‌ویژه پیرامون تأسیسات پرتونگاری ثابت، تعیین گردد. توصیه می‌شود تعیین این نواحی بر اساس ارزیابی ایمنی و آهنگ دز اندازه‌گیری شده باشد و همچنین راهنمایی‌هایی درخصوص نحوه تعیین نواحی کنترل‌شده به‌ویژه برای انجام فعالیت پرتونگاری سایت ارائه گردد (به بخش‌های ۱۰ و ۱۱ مراجعه کنید).

برنامه مونیتورینگ محل کار

۴-۱۷- توصیه می‌شود در برنامه حفاظت پرتوی دستورالعملی برای انتخاب، کالیبراسیون، نگهداری و آزمون تجهیزات مربوط به اندازه‌گیری آهنگ دز پرتوها در نظر گرفته شده و شامل رویه‌ای برای استفاده از تجهیزات مونیتورینگ در شرایط عادی باشد. توصیه می‌شود این برنامه شامل اطلاعاتی درخصوص بازه‌های زمانی اندازه‌گیری آهنگ دز اطراف تأسیسات ثابت، روش‌های اجرایی مونیتورینگ حین فعالیت پرتونگاری سایت، اطلاعاتی که باید ثبت شود و مدت زمان نگهداری سوابق باشد.

^۱ "اتاق پرتونگاری حفاظ‌گذاری شده" از این پس تحت عنوان "اتاق حفاظ‌گذاری شده" نامیده می‌شود.

^۲ ناحیه کنترل‌شده، ناحیه‌ای است که در آن اقدامات حفاظتی ویژه و تدابیر ایمنی به دلایل زیر انجام گرفته یا مورد نیاز باشد:

- کنترل پرتوگیری‌های عادی یا جلوگیری از گسترش آلودگی در شرایط عادی کار؛
- جلوگیری یا محدود کردن میزان پرتوگیری‌های بالقوه.

^۳ ناحیه تحت نظارت، ناحیه‌ای است که به‌عنوان ناحیه کنترل‌شده تعیین نشده باشد اما شرایط پرتوگیری شغلی در آن کماکان تحت نظارت است. هرچند، در این ناحیه معمولاً نیازی به اقدامات حفاظتی یا مقررات ایمنی ویژه نیست.

۱۸-۴- توصیه می‌شود در برنامه حفاظت پرتوی، کافی بودن تعداد تجهیزات مونیتورینگ پرتوی مناسب که در اختیار پرتونگاران قرار می‌گیرد، بیان شده باشد. حداقل تعداد تجهیزات مونیتورینگ پرتوی برای پرتونگاری سایت، یک دستگاه اندازه‌گیری آهنگ دز عملیاتی به‌ازای هر منبع پرتو در حال استفاده است. هرچند وجود یک دستگاه اندازه‌گیری آهنگ دز به‌ازای هر پرتونگار مناسب‌تر است (به بخش ۷ مراجعه کنید).

۱۹-۴- توصیه می‌شود در برنامه حفاظت پرتوی، سطوح مرجع آهنگ دز (آستانه‌های اقدام) مشخص شود. این سطوح مرجع، حداکثر آهنگ دز قابل قبول در زمان انجام اقداماتی مانند مرزبندی ناحیه کنترل‌شده برای انجام فعالیت پرتونگاری سایت و تعیین محل استقرار اپراتورها را تعیین می‌کنند. توصیه می‌شود این سطوح مرجع آهنگ دز مطابق با الزامات و راهنماهای واحد قانونی باشد.

برنامه مونیتورینگ دز فردی

۲۰-۴- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی، انواع دزیمترهای مورد استفاده کارکنان، دوره‌های استفاده، نحوه ارزیابی و نگهداری سوابق دزهای ثبت‌شده را مشخص کند و همچنین در این برنامه، لزوم داشتن تأییدیه یا مجوز معتبر برای مرکز ارائه‌دهنده خدمات دزیمتری مشخص شده باشد. توصیه می‌شود براساس این برنامه، مسئول فیزیک بهداشت دزهای ثبت‌شده را به‌صورت دوره‌ای ارزیابی کند تا دزهای بیش از حد معمول شناسایی شوند (به بخش ۶ مراجعه کنید) و بررسی نماید که دزها براساس اصل ALARA پایین نگه داشته شده‌اند.

برنامه پایش سلامت

۲۱-۴- توصیه می‌شود در برنامه حفاظت پرتوی، پایش دوره‌ای سلامت پرتونگاران و در صورت لزوم سایر کارکنان، به‌تفصیل مشخص شده باشد و این برنامه شامل الزامات مربوط به ارزیابی‌های اولیه و دوره‌ای کارکنان برای فعالیت مورد نظر باشد. بهتر است در تدوین برنامه پایش سلامت با متخصص واجد صلاحیت و/یا با پزشک ذیصلاح مشورت شود. همچنین این برنامه با الزامات قانونی مطابقت داشته باشد.

برنامه آمادگی برای شرایط اضطراری

۲۲-۴- توصیه می‌شود برنامه حفاظت پرتوی شامل برنامه آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری باشد که در صورت وقوع شرایط اضطراری اجرا شود. توصیه می‌شود این برنامه کلیه شرایط اضطراری قابل پیش‌بینی را پوشش دهد. راهنمای مربوط به آمادگی برای شرایط اضطراری در بخش ۱۳ ارائه شده است.

بازبینی و ممیزی‌های دوره‌ای عملکرد برنامه حفاظت پرتوی

۲۳-۴- ارزیابی منظم برنامه حفاظت پرتوی و اجرای آن، بخش جدایی‌ناپذیری از نظام مدیریت مرکز بهره‌بردار است. توصیه می‌شود در بازبینی دوره‌ای مشکلاتی که لازم است به آنها رسیدگی شود و اصلاحاتی که اثربخشی برنامه حفاظت پرتوی را بهبود می‌بخشند، شناسایی گردد.

۲۴-۴- بخش کلیدی فرایند بازبینی دوره‌ای، مجموعه‌ای از ممیزی‌های عادی محل کار است. ازجمله این موارد، تعیین و احراز صلاحیت افراد متولی انجام کار، دفعات انجام آن، انتظارات تیم ممیزی، گزارش نتایج و پیگیری آنها می‌باشد.

تضمین کیفیت و بهبود فرایند

۴-۲۵- توصیه می‌شود پرتونگاری صنعتی و فعالیت‌های مرتبط با آن طبق نظام مدیریت مستقر، انجام شود. بهتر است نظام مدیریت طوری طراحی شود که تضمین کند کلیه تجهیزات و سیستم‌های ایمنی به‌طور منظم مورد بررسی و آزمون قرار می‌گیرند و هرگونه نقص یا کمبودی به اطلاع مدیریت رسیده و سریعاً برطرف می‌گردد.

۴-۲۶- همچنین توصیه می‌شود مدیریت اطمینان حاصل کند که روش‌های عملیاتی صحیح در حال اجرا هستند. همچنین در برنامه تضمین کیفیت، بررسی‌ها و ممیزی‌های مربوطه را که لازم است انجام شوند و سوابقی را که لازم است نگهداری شوند، مشخص شده‌اند. توصیه می‌شود الزامات قانونی مرتبط در نظر گرفته شده و در محتوا و جزئیات برنامه تضمین کیفیت منعکس گردند.

۴-۲۷- توصیه می‌شود در نظام مدیریت سازوکاری برای جمع‌آوری و بازخورد درس‌های برگرفته از شرایط اضطراری و سوانح (شامل مواردی که در مرکز رخ داده یا گزارشی که از خارج مرکز دریافت شده‌اند) در نظر گرفته شود و روش استفاده از این درس‌ها برای افزایش ایمنی مشخص گردد.

سابقه ارزیابی ایمنی

۴-۲۸- مبنای اصلی برنامه حفاظت پرتوی ارزیابی ایمنی است که ماهیت و میزان خطرات پرتوی را که امکان دارد حین انجام عملیات پرتونگاری صنعتی روی دهد، مشخص می‌کند. توصیه می‌شود گزارش ارزیابی ایمنی بخش جدایی‌ناپذیری از مستندات برنامه حفاظت پرتوی باشد.

کمیته ایمنی پرتوی

۴-۲۹- توصیه می‌شود در شرکت‌های دارای فعالیت پرتونگاری متوسط تا بزرگ یک کمیته ایمنی پرتوی به‌منظور بررسی منظم عملکرد برنامه حفاظت پرتوی ایجاد شود. این کمیته می‌تواند صرفاً به ایمنی پرتوی اختصاص یابد یا مسئولیت‌های مربوط به سایر عوامل ایمنی را نیز بر عهده داشته باشد. توصیه می‌شود این کمیته شامل مدیر(ان) ارشد مسئول ایمنی پرتوی، مسئول (مسئولین) فیزیک بهداشت، پرتونگار(ان) و نمایندگان نیروی کار باشد. توصیه می‌شود مسئولیت‌های کمیته ایمنی پرتوی شامل موارد زیر باشد، اما محدود به آنها نمی‌شود:

- ا) بررسی منظم کلیه جوانب برنامه حفاظت پرتوی؛
- ب) بررسی پرتوگیری‌های شغلی و گزارش حوادثی که توسط مسئول فیزیک بهداشت تهیه شده است؛
- ج) ارائه توصیه‌هایی جهت بهبود برنامه حفاظت پرتوی؛
- د) راهنمایی و هدایت مسئول فیزیک بهداشت جهت انجام وظایف شغلی؛
- ه) تهیه و انتشار گزارش‌های منظم مسائل مربوط به ایمنی پرتوی برای کلیه کارکنان.

۵- آموزش و احراز صلاحیت

کلیات

۵-۱- افرادی که فعالیت پرتونگاری صنعتی انجام می‌دهند، مسئولیت انجام ایمن کار و رعایت کلیه مقررات و استانداردهای ایمنی مربوطه را بر عهده دارند. بنابراین توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند فعالیت پرتونگاری فقط توسط پرتونگاران و کمک پرتونگاران واجد شرایط یا دارای گواهینامه که در زمینه حفاظت و ایمنی صلاحیت داشته و آموزش دیده‌اند، انجام می‌شود.

۵-۲- طرح‌های تأیید شده بین‌المللی برای آموزش و احراز صلاحیت پرتونگاری که از تکنیک‌های آزمون‌های غیرمخرب استفاده می‌کنند، وجود دارد. برخی از این طرح‌ها ممکن است در زمینه ایمنی پرتوی دارای آموزش محدودی باشند. در این‌گونه موارد توصیه می‌شود پرتونگاران در زمینه حفاظت و ایمنی پرتوها به‌طور خاص آموزش تکمیلی ببینند. ممکن است این آموزش‌های تکمیلی به‌جای مرکز بهره‌بردار، توسط سازمان‌های آموزشی تخصصی ارائه شود.

طراحی برنامه آموزشی

۵-۳- دوره‌های آموزشی در زمینه حفاظت و ایمنی می‌تواند از سوی طیف وسیعی از ارائه‌دهندگان آموزش از جمله دانشکده‌ها، دانشگاه‌ها، مؤسسات حفاظت پرتوی و مشاوران آموزشی ارائه شود [۱۱ و ۱۲]. همچنین در برخی کشورها یک مرکز آموزشی متمرکز وجود دارد که ممکن است ملی یا منطقه‌ای باشد و توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی پشتیبانی شود. در این مراکز، دوره‌های آموزشی ایمنی پرتوی ارائه می‌شود که به‌طور خاص برای افراد شاغل در فعالیت پرتونگاری صنعتی طراحی شده است.

۵-۴- توصیه می‌شود پرتونگاران براساس آموزش و تجربه در سطوح مختلفی از صلاحیت رده‌بندی شوند. به‌عنوان مثال در برخی کشورها این سطوح با عناوینی چون کمک‌پرتونگار (یعنی کارآموز) و پرتونگار (یعنی فردی که دارای صلاحیت کامل است) وجود دارند یا به‌عنوان پرتونگار سطح ۱ و پرتونگار سطح ۲ شناخته می‌شوند. همچنین بعضی کشورها دارای پرتونگاران سطح ۳ هستند که این گروه می‌توانند آموزش، آزمون‌ها و ارزیابی سایر پرتونگاران را انجام دهند.

۵-۵- توصیه می‌شود برنامه آموزشی برای سطوح مختلف و متناسب با مسئولیت‌های پرتونگاران تهیه شود و در این برنامه‌ها، معیارهای قبولی در امتحانات کتبی و عملی و نیز مراحل که در صورت عدم قبولی متقاضی در امتحان لازم است دنبال شود، مشخص گردد. توصیه می‌شود جزئیات برنامه آموزشی در برنامه حفاظت پرتوی گنجانده شود. جزئیات بیشتر در خصوص برنامه آموزشی در ادامه ذکر شده است.

ساختار و محتوای دوره آموزشی

۵-۶- توصیه می‌شود هریک از دوره‌های آموزشی حول محور اهداف و مقاصد خاص سازماندهی شود و متناسب با نیازهای مخاطبان باشد. اطلاعات مربوط به ساختار و محتوای دوره‌های آموزشی حفاظت پرتوی ویژه پرتونگاران صنعتی در مراجع [۱۱ و ۱۲] ارائه شده است. در ادامه خلاصه‌ای از موارد ضروری برای آموزش اولیه ایمنی پرتوی برای پرتونگاران صنعتی ذکر می‌گردد.

مفاهیم بنیادی و اندازه‌گیری‌ها

- مفاهیم پایه پرتو؛
- کمیت‌ها و یکاهای پرتو؛
- تجهیزات آشکارسازی پرتو؛
- اثرات بیولوژیکی پرتو.

اصول حفاظت پرتوی

- چارچوب حفاظت پرتوی (توجیه‌پذیری، بهینه‌سازی و محدودیت دز)؛
- الزامات قانونی؛
- تعیین نواحی کنترل‌شده و نواحی تحت نظارت؛
- حدود دز و آستانه‌های بررسی.

حفاظت پرتوی عملیاتی

- خروجی چشمه؛
- اثرات زمان، فاصله و حفاظ؛
- مونیتورینگ فردی؛
- روش‌های کاری جهت محدود کردن دزها و پایین نگهداشتن آنها براساس ALARA؛
- نگهداری چشمه‌های پرتوزا؛
- بهره‌برداری و نگهداری صحیح از تجهیزات پرتونگاری؛
- برنامه حفاظت پرتوی؛
- مقررات داخلی؛
- برنامه شرایط اضطراری؛
- مدیریت حفاظت پرتوی؛
- ترابری چشمه‌های پرتوزا؛
- ملاحظات مربوط به چشمه‌های پرتوزا پس از پایان عمر مفید آنها؛
- حوادث و سایر سوانح مربوط به منابع پرتو در فعالیت پرتونگاری، پیامدهای آنها و درس‌های برگرفته؛
- آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری.

۵-۷- توصیه می‌شود آموزش شامل تمرین‌های عملی باشد، ازجمله اجرای مانور برای شرایط اضطراری (به بخش ۱۳ مراجعه شود) مانند روش‌های بازیابی چشمه پرتوزایی که در تجهیزات گیرکرده است. با این وجود، هرگز توصیه نمی‌شود از چشمه‌های پرتوزای حقیقی در چنین تمرین‌هایی استفاده شود. انواعی از وسایل آموزشی وجود دارند که از انتقال فرکانس رادیویی جهت شبیه‌سازی پرتوهای گسیل‌شده از چشمه‌های پرتوزا استفاده می‌کنند. این دستگاه‌ها می‌توانند چشمه‌های پرتوزای شبیه‌سازی شده را با استفاده از آشکارسازهای فرکانس رادیویی که به‌طور خاص شبیه ابزارهای

اندازه‌گیری آهنگ دز طراحی شده‌اند، شناسایی نمایند. یک روش جایگزین برای اجرای مانور، استفاده از چشمه‌های غیرواقعی^۱ است که در ظاهر شبیه انتهای هلدن نگهدارنده چشمه پرتوزا (ته هلدن^۲) در فعالیت پرتونگاری هستند، اما پرتوزا نیستند.

بازآموزی

- ۵-۸- توصیه می‌شود کارکنان فعالیت پرتونگاری اطمینان حاصل کنند که دانش و مهارت‌های آنها از طریق یک برنامه بازآموزی به‌روز نگه داشته می‌شود و این آموزش‌ها شامل مرور اصول حفاظت و ایمنی، اطلاعات مربوط به تغییر در تجهیزات، خط مشی‌ها، روش‌های اجرایی و تغییرات احتمالی در الزامات قانونی باشد.
- ۵-۹- توصیه می‌شود تعداد دفعات بازآموزی با الزامات قانونی مطابقت داشته باشد. بازآموزی معمولاً در فواصل کمتر از دو سال و نه بیش از پنج سال انجام می‌شود. چنین آموزش‌هایی (بازآموزی‌ها) می‌تواند با بازآموزی دیگر آموزش‌های مربوط به تکنیک‌های پرتونگاری ترکیب شده و برای آنها گواهینامه صادر گردد. با این حال بهتر است تغییرات در مقررات یا اطلاعیه‌های مرتبط با مسائل ایمنی به‌عنوان دستورالعمل‌های مکتوب در اسرع وقت منتشر و در دوره‌های بازآموزی گنجانده شود.

۶- مونیتورینگ فردی کارکنان

ارزیابی دز فردی

- ۶-۱- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اقدامات لازم را برای ارزیابی منظم دز افراد انجام دهند تا اطمینان حاصل شود که دزهای دریافتی افراد مطابق با ALARA پایین نگه داشته شده و از حدود دز کمتر است. همچنین ارزیابی دزها می‌تواند روش‌های درست یا نادرست انجام فعالیت‌ها، تجهیزات معیوب و فرسودگی حفاظ یا فرسودگی سیستم‌های ایمنی مهندسی شده را مشخص کند.
- ۶-۲- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار به‌منظور تهیه دزیمتر مناسب برای کارکنان و ثبت رسمی سوابق دز آنان، با یک مرکز ارائه‌دهنده خدمات دزیمتری قرارداد داشته باشند. توصیه می‌شود دزیمترها توسط کلیه پرتونگاران، کمک‌پرتونگاران و سایر کارکنانی که ممکن است لازم باشد به‌طور منظم وارد نواحی کنترل‌شده شوند، مورد استفاده قرار گیرند. همچنین از دزیمترها برای ورود به نواحی تحت نظارتی که به‌واسطه مقررات ملی همراه داشتن دزیمتر برای ورود به آنها الزامی است، استفاده شود. در صورت وقوع شرایط اضطراری یا سانحه نیز داده‌های مفیدی از دزیمترها به‌دست می‌آید.
- ۶-۳- معمولاً برای ارزیابی دز افراد، از دزیمترهای ترمولومینسانس و فیلم‌بج استفاده می‌شود. در هر دو نوع دزیمتر، از یک قطعه حساس برای ثبت پرتوگیری استفاده می‌شود که پس از استفاده، در آزمایشگاه دزیمتری تخصصی به‌منظور ارزیابی دز، خوانده می‌شود. نوع دیگری از دزیمترها، دزیمتر فردی الکترونیکی است که در آن از یک آشکارساز حالت

¹ 'dummy' sources

² pigtail

- جامد برای قرائت لحظه‌ای دز پرتو (و گاهی آهنگ دز) استفاده می‌شود. در برخی کشورها و در بعضی شرایط، استفاده از دزیتر فردی الکترونیکی به جای دزیتر فردی قرائت غیرمستقیم ترمولومینسانس یا دزیتر فیلم‌بیج، مجاز است.
- ۴-۶- توصیه می‌شود انتخاب نهایی نوع دزیتر مورد استفاده برای پرتونگاران در فعالیت پرتونگاری صنعتی توسط مسئول فیزیک بهداشت، احیاناً با مشورت متخصص واجد صلاحیت دزیتری، انجام شود. علاوه بر اینکه توصیه می‌شود انتخاب دزیتر الزامات فنی مختلف را برآورده نماید، ممکن است تحت تأثیر ملاحظات نظیر در دسترس بودن، هزینه، استحکام و همچنین الزامات قانونی قرار گیرد.
- ۵-۶- جهت حصول اطمینان از این که دزیتر مورد استفاده ارزیابی درستی از دز دریافتی پرتونگار ارائه می‌دهد، پیروی از دستورالعمل‌های زیر توصیه می‌شود:
- أ) کارکنان پرتونگاری در کل مدت انجام کار با پرتو از دزیتر استفاده کنند. همچنین اگر فعالیت پرتونگاری صنعتی در تأسیساتی مانند نیروگاه‌های هسته‌ای انجام می‌شود که امکان پرتوگیری از منابع پرتو دیگری هم در آنجا وجود دارد، ممکن است استفاده از دزیترهای دیگری ضروری باشد.
- ب) دزیترها مطابق توصیه‌های مرکز ارائه‌دهنده خدمات دزیتری مورد استفاده قرار گیرند.
- ج) در دزیترهای ترمولومینسانس و فیلم‌بیج، قطعه حساس برای ثبت اثر پرتوها (کریستال در ترمولومینسانس و فیلم در فیلم‌بیج) به درستی در محفظه نگهدارنده آنها قرار گیرد.
- د) دزیتر فردی فقط توسط شخصی که دزیتر به نام او صادر شده است، استفاده شود.
- ه) احتمال دارد دزیترها نسبت به بعضی شرایط محیطی حساس باشند، لذا باید مراقب بود که به قطعه حساس آسیبی وارد نشود (مثلاً، ممکن است دزیترها در اثر قرار گرفتن در آب، دمای بالا، فشار زیاد و ضربه فیزیکی آسیب ببینند).
- و) هنگامی که پرتونگاران از دزیترها استفاده نمی‌کنند، دزیترها در معرض پرتو قرار نگیرند و در محلی دور از منابع پرتو نگهداری شوند.
- ز) دزیترهای ترمولومینسانس و فیلم‌بیج بلافاصله پس از پایان دوره استفاده از آنها توسط مرکز ارائه‌دهنده خدمات دزیتری قرائت شوند.
- ح) اگر مرکز بهره‌بردار احتمال می‌دهد دزیتر در زمانی که توسط پرتونگار استفاده نشده است، آسیب دیده یا در معرض پرتو قرار گرفته، بهتر است به مرکز ارائه‌دهنده خدمات دزیتری اطلاع دهد.

هشداردهنده‌های فردی

- ۶-۶- هشداردهنده‌های فردی، آشکارسازهای پرتو الکترونیکی کوچکی هستند که در صورت تجاوز دز (و یا آهنگ دز) از مقادیر مشخص، سیگنال هشدار صادر می‌کنند. این هشداردهنده‌ها می‌توانند به صورت یک ابزار تخصصی، صرفاً برای این موضوع طراحی شوند یا به صورت یک دزیتر فردی الکترونیکی با قابلیت صدور سیگنال هشدار باشند. سیگنال هشدار معمولاً به صورت یک آلام صوتی است، اما می‌تواند با یک ارتعاش یا یک سیگنال قابل رؤیت نیز همراه شود (این حالت در صورت بالا بودن سطح صدا در محیط و/یا استفاده از محافظ گوش یا سایر تجهیزات ایمنی، مفید است).
- ۷-۶- این ابزارهای تکمیلی می‌توانند در پایین نگه داشتن دز دریافتی مطابق با ALARA مؤثر باشند. همچنین می‌توانند پرتونگاران را از وجود مشکلات آگاه کنند و بنابراین در پیشگیری از وقوع شرایط اضطراری و سوانح یا کاهش پیامدهای

آنها کمک کنند. لذا توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار برای کلیه پرتونگاران و کمک پرتونگاران، هشداردهنده فردی تهیه نمایند. به‌خصوص اگر فعالیت پرتونگاری با چشمه پرتوزای گاما انجام می‌شود.

۸-۶- در استفاده از هشداردهنده‌های فردی موارد زیر توصیه می‌شود:

أ) هشداردهنده‌های فردی به‌عنوان ابزار کمکی مورد استفاده قرار گیرند. لازم به ذکر است که این تجهیزات، جایگزین دزیمرهای ترمولومینسانس یا دزیمرهای فیلم‌بج نمی‌شوند.

ب) از هشداردهنده‌های فردی به‌عنوان جایگزین دزیمر محیطی برای اندازه‌گیری آهنگ دز استفاده نشود (به بند ۱۴-۶ مراجعه شود).

ج) عملکرد هشداردهنده‌های فردی به‌صورت دوره‌ای و مطابق با دستورالعمل‌های ملی و یا راهنمایی‌های سازنده ارزیابی شود.

۹-۶- برخی از هشداردهنده‌های فردی علاوه بر ارائه یک هشدار صوتی یا نوری، دارای نمایشگری برای نمایش مقدار دز تجمعی و یا آهنگ دز نیز هستند.

دزیمرهای قرائت مستقیم

۱۰-۶- این دزیمرها دز دریافتی را به‌صورت لحظه‌ای نشان می‌دهند و می‌توانند ابزار بسیار مفیدی جهت محدود کردن پرتوگیری‌ها حین انجام پرتونگاری صنعتی، به‌ویژه برای فعالیت‌های خاص، باشند. توصیه می‌شود دزیمرهای قرائت مستقیم توسط مرکز بهره‌بردار تهیه و مطابق با دستورالعمل سازنده مورد آزمون قرار گیرند.

۱۱-۶- دزیمر قلمی^۱، وسیله‌ای است که مقدار دز تجمعی را از طریق انحراف فیبر دارای بار الکتریکی بر روی یک صفحه مدرج نشان می‌دهد. این وسیله نوع ساده‌ای از دزیمرهای قرائت مستقیم است که سال‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما اکنون تا حد زیادی با دزیمرهای قرائت مستقیم الکترونیکی مدرن‌تر جایگزین شده‌اند.

۱۲-۶- دزیمرهای قرائت مستقیم الکترونیکی ممکن است دارای هشدار شنیداری و یا علاوه بر آن مجهز به هشدار نوری باشند تا در صورت تجاوز دز تجمعی یا آهنگ دز از مقادیر مشخص، هشدار دهند. این ویژگی امکان استفاده از این ابزار به‌عنوان هشداردهنده‌های فردی را نیز فراهم می‌آورد.

۱۳-۶- برخی از دزیمرهای قرائت مستقیم الکترونیکی خاص (مانند دزیمرهای فردی الکترونیکی) می‌توانند جهت نگهداری سوابق مونیتورینگ به‌عنوان دزیمر اصلی و جایگزین دزیمرهای ترمولومینسانس یا فیلم‌بج مطابق با اهداف قانونی مورد استفاده قرار گیرند؛ اما این موضوع به الزامات قانونی بستگی دارد.

۱۴-۶- همانند هشداردهنده‌های فردی، دزیمرهای فردی الکترونیکی نیز برای اندازه‌گیری دز دریافتی افراد طراحی و کالیبره شده‌اند و نه برای اندازه‌گیری آهنگ دز محل کار. بنابراین، توصیه می‌شود از این دزیمرها به‌عنوان جایگزین دزیمرهای محیطی در محل کار استفاده نشود.

¹ quartz fibre electroscop

نگهداری سوابق

۱۵-۶- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار سوابق دزهای دریافت شده توسط پرتونگاران و سایر افرادی را که به‌طور منظم وارد نواحی کنترل شده می‌شوند نگهداری کند و همچنین در مواردی که طبق مقررات ملی استفاده از دزیتر برای نواحی تحت نظارت لازم است سوابق نگهداری گردد. توصیه می‌شود این سوابق حاوی جزئیات مربوط به دزهای ثبت شده توسط دزیترهای کارکنان باشد و دز دریافتی در سوانح یا حین اجرای دستورالعمل‌های شرایط اضطراری، جدا از دزهای دریافتی در شرایط عادی کاری ثبت شوند. این سوابق معمولاً مربوط به دزهای قرائت شده از دزیتر اصلی پرتونگار بوده و شامل دزهای اندازه‌گیری شده در دستگاه‌های مکمل مونیترینگ مانند دزیتر قلمی و دزیترهای قرائت مستقیم نمی‌شود.

۱۶-۶- توصیه می‌شود پرتونگاران و سایر کارکنانی که در برنامه مونیترینگ فردی قرار دارند، از مقادیر دزهای فردی ثبت شده مربوط به خود مطلع شوند. همچنین مرکز بهره‌بردار شرایط را به شکلی فراهم کند که سوابق مونیترینگ پرتونگاران در اختیار مسئول فیزیک بهداشت و در صورت لزوم در اختیار پزشک مسئول برنامه پایش سلامت کارکنان و واحد قانونی قرار گیرد.

۱۷-۶- هنگامی که هر یک از کارکنان محل کار خود را تغییر می‌دهد یا ترک می‌کند، توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار خلاصه‌ای از سوابق دز فرد را در اختیار وی و کارفرمای جدید ایشان قرار دهد. در شرایطی که یکی از کارکنان همکاری خود را برای انجام کار پرتونگاری در یک مرکز خاتمه داده یا مرکز را ترک می‌کند و پس از آن برای کار پرتونگاری با کارفرمای دیگری همکاری نمی‌کند، توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار تدابیری جهت نگهداری سوابق پرتوگیری وی اتخاذ نماید. این کار می‌تواند توسط خود مرکز بهره‌بردار یا توسط نهاد دیگری که در مقررات ملی تعیین شده، انجام گیرد.

۱۸-۶- مدت زمان نگهداری سوابق پرتوگیری برای هر پرتوکار در الزامات قانونی ممکن است تعیین شده باشد. به‌عنوان مثال، توصیه می‌شود سوابق تا سن ۷۵ سالگی فرد و حداقل ۳۰ سال پس از پایان کار وی با پرتو، نگهداری شود. به‌منظور تحقق الزامات مربوط به نگهداری سوابق پرتوگیری، توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار اطمینان دهد که محرمانه بودن سوابق به‌طور مناسبی رعایت می‌شود.

بررسی دز

۱۹-۶- توصیه می‌شود در صورتی که دز دریافتی یک پرتونگار، دیگر کارکنان یا مردم از حد دز یا آستانه بررسی تعیین شده توسط واحد قانونی یا تعیین شده توسط مرکز بهره‌بردار تجاوز کرد، مرکز بهره‌بردار نسبت به بررسی و ارزیابی آن اقدام نماید و این تحقیق و بررسی بر علل سانحه‌ای که منجر به پرتوگیری بالا و هرگونه نقص در روش‌های اجرایی یا نقص در سیستم‌های ایمنی که در وقوع سانحه اثرگذار بوده‌اند، متمرکز شود. توصیه می‌شود در گزارش تحقیق، اصلاحات مربوط به نواقص روش‌های اجرایی یا امکانات لازم جهت بهینه‌سازی حفاظ، کاهش احتمال وقوع یک رویداد مشابه و/یا کاهش پیامدها مشخص گردد.

پایش سلامت

۶-۲۰- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار مطابق با الزامات قانونی تمهیداتی جهت پایش سلامت کارکنان مرتبط اتخاذ نماید. اولین اقدام ضروری به این منظور، بررسی آمادگی مناسب و سلامت جسمی برای انجام وظایف تعیین شده و همچنین ارزیابی سازگاری روانی افراد جهت کار با منابع پرتو است. توصیه می‌شود ارزیابی‌های دوره‌ای سلامت به‌منظور اطمینان از حفظ سلامتی افراد با گذشت زمان، انجام گیرد.

۷- مونیتورینگ محل کار

برنامه مونیتورینگ

۷-۱- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار برنامه‌ای برای مونیتورینگ پرتوهای داخل و اطراف محل کار تهیه کند [۱۳] و در آن، کفایت تدابیر موجود برای حفاظت از پرتوهای ناشی از فعالیت پرتونگاری مورد ارزیابی قرار بگیرد. توصیه می‌شود این برنامه شامل اندازه‌گیری سطوح پرتو در موقعیت‌های زیر باشد:

أ) برای پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده:

- اطراف دیوارها، درب‌ها و سایر منافذ اتاق در شرایط مختلف فعالیت پرتونگاری، جهت اطمینان از وجود حفاظ مناسب؛
- ورودی اتاق پس از خاتمه هربار عملیات پرتونگاری، جهت اطمینان از برگشت کامل چشمه پرتوزای گاما به دوربین پرتونگاری یا اطمینان از توقف تابش پرتو ایکس؛
- اطراف محل نگهداری چشمه پرتوزای گاما، جهت اطمینان از وجود حفاظ مناسب در ساختار محل نگهداری چشمه؛

ب) برای فعالیت پرتونگاری سایت:

- اطراف موانع تعیین شده حین پرتودهی آزمایشی (یا اولین پرتودهی، بسته به شرایط)، جهت اطمینان از قرارگیری موانع در محل صحیح؛
- محل استقرار پرتونگار در طول مدت زمان خروج چشمه پرتوزای گاما از دوربین پرتونگاری تا استقرار در محل تعیین شده برای پرتودهی یا زمانی که یک مولد پرتو ایکس فعال است، جهت اطمینان از مناسب بودن سطح پرتوها در این موقعیت؛
- اطراف موانع تعیین شده حین پرتودهی‌های عادی، جهت اطمینان از کمتر بودن آهنگ دز از مقادیر مشخص شده در مقررات ملی و دستورالعمل‌ها، یا تعیین شده توسط مرکز بهره‌بردار؛
- موقعیت پرتونگار حین بازگرداندن چشمه پرتوزای گاما به دوربین پرتونگاری یا پس از اتمام فرایند پرتودهی مولد پرتو ایکس؛
- اطراف دوربین پرتونگاری پس از هر بار پرتودهی، جهت اطمینان از برگشت کامل چشمه پرتوزا به درون حفاظ؛

- اطراف محل نگهداری موقت چشمه‌های پرتوزا در سایت، جهت اطمینان از مناسب بودن حفاظ پرتوی آن محل؛
 - محوطه سایت پس از اتمام فعالیت پرتونگاری، جهت اطمینان از باقی نماندن هیچ‌یک از چشمه‌های پرتوزای گاما در محل؛
 - اطراف وسایل نقلیه مورد استفاده برای ترابری چشمه‌های پرتوزای گاما قبل از حرکت به سمت سایت و قبل از بازگشت از سایت.
- ۲-۷- توصیه می‌شود در برنامه مونیتورینگ مکان‌هایی که لازم است مونیتور شوند، تعداد دفعات انجام آن و سوابقی که لازم است نگهداری شوند، مشخص گردد و این اطلاعات در مقررات داخلی گنجانده و همچنین در برنامه حفاظت پرتوی تشریح شوند. برای هر محل یا موقعیتی که اندازه‌گیری می‌شود، سطوح مرجع (آستانه‌های اقدام) و اقداماتی که در صورت تجاوز از این مقادیر لازم است انجام پذیرد، در برنامه مشخص گردد. توصیه می‌شود سوابق برنامه مونیتورینگ محل کار در اختیار افراد مرتبط از جمله کارکنان و واحد قانونی قرار گیرد.

انتخاب، نگهداری و کالیبراسیون دزیمترهای محیطی

- ۳-۷- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که تجهیزات اندازه‌گیری آهنگ دز به تعداد کافی در اختیار پرتونگاران قرار داشته باشد. اگرچه بسیاری از انواع تجهیزات مونیتورینگ برای اندازه‌گیری سطوح تابش گاما مناسب هستند، اما ممکن است برخی برای اندازه‌گیری دقیق پرتوهای ایکس با انرژی پایین مناسب نباشند که استفاده از آنها می‌تواند منجر به نادیده گرفته شدن مقادیر قابل توجهی از آهنگ دز واقعی شود. توصیه می‌شود اطلاعات و راهنمایی لازم جهت انتخاب تجهیزات مونیتورینگ مناسب از طریق بروشور ارائه شده توسط سازنده دستگاه و متخصصان واجد صلاحیت اخذ شود.
- ۴-۷- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار رویه‌ای برای آزمون یا کالیبراسیون تجهیزات مونیتورینگ پرتو در بازه‌های زمانی مشخص و توسط یک آزمایشگاه تخصصی تدوین نماید و ویژگی‌های عملیاتی تجهیزات مونیتورینگ پرتو در این آزمون‌ها یا در فرایند کالیبراسیون ارزیابی شوند. این ویژگی‌های عملکردی شامل پاسخ به آهنگ دزهای مشخص در انرژی‌های خاص و خطی بودن و رفتار تجهیز مونیتورینگ در آهنگ دزهای بسیار بالا است. توصیه می‌شود تعداد دفعات و نوع آزمون یا کالیبراسیون، و نیز مستندات مربوطه با الزامات تعیین‌شده در قوانین و مقررات ملی و/یا الزامات واحد قانونی مطابقت داشته باشد و همچنین به توصیه‌های سازنده توجه شود.
- ۵-۷- بهتر است بررسی‌های عملکرد عادی تجهیزات مونیتورینگ توسط پرتونگار و مسئول فیزیک بهداشت انجام شود. این بررسی‌ها می‌تواند شامل بررسی فیزیکی از نظر آسیب‌دیدگی، بررسی باتری و صفر کردن درجه یا میزان دز ثبت‌شده در آن باشد. توصیه می‌شود پاسخ دستگاه مونیتورینگ به پرتو قبل از استفاده و مطابق با الزامات قانونی بررسی شود. مثلاً می‌توان این کار را با استفاده از یک چشمه پرتوزا با پرتوایی کم یا با قرار دادن تجهیز مونیتورینگ نزدیک سطح دوربین پرتونگاری در شرایطی که چشمه پرتوزا درون حفاظ آن قرار دارد، انجام داد. ممکن است در برخی کشورها، چنین بررسی‌هایی طبق فرایندهای رسمی واحد قانونی و همراه با ثبت نتایج انجام شود.
- ۶-۷- همچنین توصیه می‌شود شرایط محیطی که تجهیزات مونیتورینگ پرتو در آن استفاده می‌شوند، مورد توجه قرار گیرد. برخی تجهیزات مونیتورینگ برای استفاده در مکان‌های بسیار مرطوب یا بسیار گرم نامناسب هستند و برخی از آن‌ها

برای استفاده‌های طولانی به اندازه کافی مقاومت ندارند. بهتر است در برخی سایت‌های پرتونگاری صنعتی از تجهیزات مونیتورینگ خاصی استفاده شود. به عنوان مثال ممکن است در بعضی از کارخانه‌های شیمیایی پرتونگاران مجبور باشند از تجهیزات مونیتورینگ استفاده کنند که احتمال اشتعال تصادفی مه یا بخارات قابل اشتعال را در مناطقی از کارخانه به حداقل برساند (این ابزارها اغلب تجهیزات مونیتورینگ خود ایمن^۱ نامیده می‌شوند).

۷-۷- برخی از تجهیزات مونیتورینگ پرتو تحت تأثیر تداخل امواج رادیویی قرار می‌گیرند. اگر پرتونگاری در مجاورت مولدهای امواج رادیویی انجام می‌شود بهتر است از تجهیزات مونیتورینگ پرتوی خاص محافظت شده در برابر امواج رادیویی استفاده گردد. همچنین توصیه می‌شود سر و صدای محل استفاده از این تجهیزات نیز مورد توجه قرار گیرد و در صورت لزوم، از هشدارهای شنیداری به اندازه کافی بلند استفاده شود و/یا ابزارها به سیستم لرزش یا سیگنال‌های دیداری (قابل مشاهده) مجهز گردند.

۸- کنترل چشمه‌های پرتوزا

۸-۱- چشمه‌های پرتوزایی که در فعالیت پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توانند باعث وقوع حوادث جدی شوند [۱۴-۱۸]. به طور کلی این چشمه‌ها در طبقه ۲ از طبقه‌بندی چشمه‌های پرتوزای آژانس قرار می‌گیرند [۱۹] (به ضمیمه مراجعه کنید). توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند چشمه‌های پرتوزای گاما فعالیت پرتونگاری تحت کنترل مناسب قرار دارند و این کنترل از شروع زمان دراختیارگیری تا زمانی که سرانجام به تأمین‌کننده اصلی بازگردانده می‌شود، یا تا پایان عمر مفید بهره‌برداری ایمن از آنها، صورت می‌گیرد. توصیه‌های تأیید شده بین‌المللی به کشورها در مورد ایمنی و امنیت چشمه‌های پرتوزای طبقه ۱، ۲ و ۳ در سندی با عنوان "کردارنامه ایمنی و امنیت چشمه‌های پرتوزا"^۲ ارائه شده است [۲۰].

۸-۲- الزام BSS در رابطه با امنیت چشمه‌های پرتوزا (مرجع [۲]، پاراگراف ۲-۳۴) به شرح زیر است:

"امنیت منابع پرتو باید به گونه‌ای تأمین گردد که امکان سرقت یا آسیب به آنها وجود نداشته باشد و از انجام اقدامات مشخص شده در "الزامات عمومی" برای فعالیت‌های پرتوی مندرج در BSS (به پاراگراف ۲-۷ الی ۲-۹ مراجعه کنید) توسط اشخاص حقوقی غیرمجاز با اطمینان از رعایت موارد زیر، جلوگیری شود:

ا) کنترل منبع پرتو بدون رعایت تمام الزامات مرتبط در نظر گرفته شده هنگام اخذ پروانه اشتغال و به‌ویژه در صورت دریافت اطلاعاتی درخصوص عدم کنترل، گم شدن، به سرقت رفتن یا مفقود شدن، بدون اطلاع‌رسانی فوری به [واحد قانونی] و در صورت لزوم به مرکز مسئول مربوطه، از بین نمی‌رود؛

ب) در صورتی که متقاضی دارای پروانه/مجوز معتبر باشد، منبع پرتو به وی واگذار می‌شود؛ و

ج) به منظور حصول اطمینان از اینکه منابع پرتوی قابل حمل در مکان‌های تعیین شده و در شرایط ایمن هستند، به صورت دوره‌ای و در فواصل زمانی مناسب فهرست‌برداری می‌شوند."

۸-۳- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که چشمه‌های پرتوزا فقط از تأمین‌کنندگان مجاز تهیه می‌گردد، و چشمه‌های پرتوزای بلااستفاده به تأمین‌کننده اصلی بازگردانده یا به نهاد مجاز دیگری واگذار می‌شوند. توصیه می‌شود

¹ intrinsically safe monitors

² Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources

واردات و صادرات چشمه‌های پرتوزا با توصیه‌های مندرج در *کردارنامه ایمنی و امنیت چشمه‌های پرتوزا* [۲۰] و راهنمای تکمیلی آن در زمینه کنترل بر واردات و صادرات مطابقت داشته باشند [۲۱].

۴-۸- مراکز بهره‌بردار موظف هستند به‌صورت دوره‌ای فهرستی از منابع پرتو خود تهیه کنند تا اطمینان یابند که منابع در مکان‌های تعیین‌شده و به‌صورت ایمن نگهداری می‌شوند [۲]. توصیه می‌شود منابع پرتو فقط توسط پرتونگاران آموزش‌دیده و تأیید صلاحیت شده از انبار نگهداری خارج، یا به مکان دیگری منتقل شوند. بهتر است برای این اقدام پرتونگاران نام خود، تاریخ، زمان و محل دقیق جابه‌جایی یا انتقال منبع/منابع پرتو را ثبت کنند و این سوابق حداقل یک بار در ماه توسط مسئول فیزیک بهداشت مورد بررسی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که تمام چشمه‌های پرتوزا در مکان مورد نظر، قرار دارند. توصیه می‌شود دوربین‌های پرتونگاری دارای حفاظ اورانیم تهی‌شده^۱ نیز در دستورالعمل‌های حسابرسی گنجانده شوند.

۵-۸- در موارد مشکوک به از دست رفتن کنترل بر چشمه‌های پرتوزا، بهتر است موضوع بلافاصله توسط مرکز بهره‌بردار بررسی شده و طی ۲۴ ساعت (یا همانطور که در الزامات قانونی مشخص شده) به واحد قانونی (و هر مرجع دیگری که ممکن است مرتبط باشد) اطلاع‌رسانی شود.

۶-۸- لازم به ذکر است که *راهنمای امنیت چشمه‌های پرتوزا و جلوگیری از اعمال خرابکارانه* توسط آژانس منتشر شده است [۲۲].

۹- ایمنی منابع پرتونگاری صنعتی و تجهیزات پرتودهی

کلیات

۱-۹- طیف گسترده‌ای از انواع چشمه‌های پرتوزا، تجهیزات پرتودهی و تجهیزات جانبی برای انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی به‌صورت تجاری در دسترس است. توصیه می‌شود تجهیزات مورد استفاده برای انجام فعالیت پرتونگاری از یک سازنده مجاز که دارای یک نظام مدیریتی مانند ISO 9001 [۹] یا استاندارد ملی معادل آن است، تهیه شود تا اطمینان حاصل گردد که ویژگی‌های ایمنی طراحی محصول در خط تولید و برای تولیدات بعدی آن محصول رعایت می‌شود. توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار اطمینان حاصل نماید که اطلاعات مربوط به استفاده ایمن از تجهیزات توسط تأمین‌کننده ارائه شده و این اطلاعات به زبان مناسب برای اپراتورها، در اختیار آنها قرار گرفته است.

۲-۹- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که در تجهیزات مورد استفاده برای اهداف پرتونگاری صنعتی تغییری ایجاد نشده است مگر آنکه پیامدهای ناشی از این تغییر از وضعیت اصلی طراحی در نظر گرفته شده، و ارزیابی ایمنی آنها انجام شده باشد. توصیه می‌شود این ارزیابی ایمنی توسط یک متخصص واجد صلاحیت یا تأمین‌کننده تجهیز بررسی شده و درخصوص ضرورت اخذ مجوز یا تأییدیه تکمیلی از واحد قانونی اعلام شود.

۳-۹- اطلاعات توصیفی درخصوص انواع مختلف سیستم‌های پرتونگاری در پیوست (ب) ارائه شده است. همچنین راهنمایی در مورد مسائل ایمنی مرتبط با تجهیزات در ادامه این بخش آمده است.

¹ depleted uranium

منابع پرتو و دوربین‌های پرتونگاری گاما

۴-۹- در تجهیزات پرتونگاری گاما، از یک چشمه پرتوزای بسته با پرتوزایی بالا استفاده می‌شود که درون دوربین پرتونگاری (تجهیز پرتودهی حفاظدار)^۱ قرار گرفته است. چشمه پرتوزا هنگامی که استفاده نمی‌شود، داخل حفاظ دوربین پرتونگاری قرار می‌گیرد. برای انجام فرایند پرتودهی، چشمه پرتوزا به صورت کنترل از راه دور (مثلاً با کمک کابل‌های هل‌دهنده-کشنده) از حفاظ دوربین پرتونگاری به طور مستقیم به درون گایدتیوب^۲ (لوله هدایت) منتقل می‌شود. در مدت پرتودهی، چشمه پرتوزا داخل گایدتیوب باقی می‌ماند و سپس به درون حفاظ دوربین پرتونگاری بازگردانده می‌شود.

۵-۹- تجهیزات مورد استفاده برای فعالیت پرتونگاری گاما معمولاً از اجزاء مختلفی تشکیل شده است. مانند: مکانیزم باز و بسته کردن از راه دور کابل کنترل (اغلب کرنک^۳ نامیده می‌شود) که به چشمه پرتوزای پرتونگاری (اغلب ته هلدی نامیده می‌شود) داخل حفاظ دوربین پرتونگاری که متصل به گایدتیوب است، مرتبط شده است. طراحی و عملکرد اجزای مختلف با یکدیگر ارتباط دارند. ایمنی نباید به دلیل استفاده از قطعاتی که با مشخصات طراحی اصلی مطابقت ندارند، در معرض خطر قرار گیرد.

چشمه پرتوزای بسته

۶-۹- توصیه می‌شود هنگام انجام پرتونگاری صنعتی با پرتوی گاما، پرتونگاران تنها از چشمه‌های پرتوزای بسته‌ای استفاده کنند که مطابق با استانداردهای بین‌المللی یا معادل ملی آن‌ها هستند. در این استانداردها، شرایط لازم برای چشمه پرتوزای بسته برای انجام عملیات عادی تعیین شده است. لذا توصیه می‌شود تنها چشمه‌های پرتوزای بسته‌ای که معیارهای زیر را دارند، برای اهداف پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار گیرد:

ا) دارای گواهینامه تطابق با الزامات ماده پرتوزا با شکل ویژه^۴ باشد که در مقررات ترابری آژانس [۲۳] تعیین شده است.

ب) طراحی، تولید و آزمایش آن براساس الزامات استاندارد ایزوی مناسب [۲۴] یا یک استاندارد ملی معادل انجام شده باشد؛

ج) دارای گواهینامه قابل قبول مربوط به انجام آزمون نشتی مواد پرتوزا مطابق با استاندارد ایزوی مناسب [۲۵] یا یک استاندارد ملی معادل باشد. این گواهینامه برای هر چشمه پرتوزا به صورت جداگانه قابل ردیابی است.

۷-۹- چشمه‌های بسته‌ای که برای اهداف پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولاً قسمتی از هلدی^۵ هستند که به یک کابل هدایت‌کننده در دوربین‌های پرتونگاری نوع پروجکشن^۶ (هدایت‌گر) متصل می‌شوند. توصیه می‌شود هلدی شرایط زیر را داشته باشد:

ا) در طراحی، تولید و آزمایش، با الزامات استاندارد ایزوی مناسب [۲۶] یا یک استاندارد ملی معادل مطابقت داشته باشد؛

¹ shielded exposure device

² guide tube

³ crank

^۴ یک ماده پرتوزای جامد غیرقابل پخش یا یک کپسول آب‌بندی شده حاوی ماده پرتوزا.

⁵ source assembly

^۶ projection type

ب) با محفظه پرتو دهی، تجهیزات جانبی (مانند گاید تیوب) و تجهیز تعویض چشمه پرتوزا^۱ که همراه آن مورد استفاده قرار می گیرد، تناسب داشته باشد؛

ج) مطابق با استاندارد ISO 361 [۲۷] یا یک استاندارد ملی معادل آن یا حداقل با نماد اشعه^۲ و عبارت "RADIOACTIVE" مشخص شده باشد. همچنین بهتر است شماره سریال دائمی [حکاکی شده] داشته باشد.

۸-۹- توصیه می شود هلدن متناسب با دوربین پرتونگاری مورد استفاده باشد و آزمون های لازم در استاندارد ISO 3999 [۲۶] یا استاندارد ملی معادل آن را برآورده نماید.

۹-۹- برخی از تولیدکنندگان برای چشمه های پرتوزای بسته "عمر کاری"^۳ تعریف می کنند. عمر کاری توصیه شده براساس عواملی مانند نیمه عمر و فرایند کپسوله کردن چشمه پرتوزا تعریف می شود. عمر کاری بیانگر دوره زمانی مشخصی است که چشمه پرتوزا باید یکپارچگی خود را حفظ کند. سازندگان مربوطه توصیه می کنند زمانی که سن چشمه به عمر کاری توصیه شده رسید، کار با منبع پرتو متوقف شود.

۹-۱۰- از طرفی، ارزیابی فیزیکی وضعیت چشمه پرتوزا توسط یک فرد متخصص یا مجرب می تواند ادامه استفاده از آن را تأیید نماید. همچنین ممکن است واحد قانونی برای ادامه استفاده از چشمه پرتوزا پس از رسیدن عمر مفید توصیه شده، انجام برخی آزمون ها را لازم بداند، مانند افزایش تعداد دفعات آزمون نشتی یا ارزیابی توسط یک متخصص واجد صلاحیت با دسترسی به امکانات مناسب.

دوربین های پرتونگاری

دوربین های پرتونگاری / از نوع پروجکشن (هدایت گر)

۹-۱۱- چشمه پرتوزای بسته درون یک دوربین پرتونگاری دارای طراحی خاص نگهداری شده و مورد استفاده قرار می گیرد. این تجهیز دارای سیستم های ایمنی و ویژگی های طراحی شده ای به منظور کاهش ریسک خطای انسانی یا عملکرد نادرست تجهیزات است. انواع مختلف دوربین های پرتونگاری صنعتی در پیوست (ب) ارائه شده است.

۹-۱۲- توصیه می شود دوربین پرتونگاری با الزامات استاندارد ISO 3999 [۲۶] یا یک استاندارد معادل یا الزامات ملی مطابقت داشته باشد. رعایت این موارد اطمینان می دهد که حداقل استاندارد مربوط به ایمنی رعایت شده، و ترکیب دوربین مورد استفاده با چشمه پرتوزای انتخاب شده برای کار در پرتونگاری صنعتی مناسب است.

۹-۱۳- اکثر دوربین های پرتونگاری صنعتی الزامات بسته حمل نوع B(U) را مطابق با مقررات ترابری آژانس [۲۳] برآورده می کنند. راهنمایی های بیشتر در خصوص ترابری ایمن چشمه های پرتوزا در بخش ۱۲ آمده است.

انواع دیگر دوربین های پرتونگاری

۹-۱۴- برخی از انواع دوربین های پرتونگاری که هنوز در حال استفاده هستند به دلیل طراحی قدیمی یا کاربردهای منحصر به فرد یا غیر معمول آنها، با استاندارد ISO 3999 [۲۶] مطابقت ندارند. توصیه می شود مراکز بهره بردار اطمینان حاصل

¹ source changer

^۲ علامت بین المللی خطر پرتو (trefoil : سه پره نشان پرتو)

³ working life

کنند که این قبیل تجهیزات تا زمانی که نتایج ارزیابی ایمنی ضرورت یا عدم ضرورت انجام اقدامات ایمنی بیشتری را برای آنها تعیین نماید، مورد استفاده قرار نگیرند.

۹-۱۵- همچنین در صورت لزوم استفاده از این نوع دوربین‌ها توصیه می‌شود قبل از استفاده، بهره‌بردار از واحد قانونی مجوز ویژه دریافت کند. مثلاً می‌توان به تجهیزات دارای مکانیزم هوای فشرده (سیستم پنوماتیک) اشاره کرد که چشمه پرتوزا را با هوای فشرده (و بدون اتصال کابل کنترل به هلدِر) به داخل گایدتیوب پرتاب می‌کند تا در وضعیت پرتو دهی قرار بگیرد. هرچند در این روش دز دریافتی پرتونگار کمتر است، اما امکان خارج شدن چشمه پرتوزا به بیرون از دوربین پرتونگاری حتی بدون اتصال گایدتیوپ وجود دارد. در چنین دوربین‌هایی مشکلات مرتبط با بازگشت چشمه پرتوزا به درون حفاظ نیز مشاهده می‌شود.

۹-۱۶- نوع دیگری از دوربین‌های پرتونگاری که قبلاً استفاده می‌شده، سیستم "تورچ"^۱ است. استفاده از چنین تجهیزاتی توجیه‌پذیر نیست، زیرا پرتوکاران در معرض سطح بالا و غیرقابل قبولی از پرتو قرار می‌گیرند. با این حال برای روشن شدن موضوع شرح مختصری از ویژگی‌های آن ارائه می‌شود. در سیستم تورچ، چشمه پرتوزا در انتهای یک میله کوتاه که درون دوربین پرتونگاری نگهداری می‌شود، قرار گرفته است. برای انتقال چشمه پرتوزا به وضعیت پرتو دهی، ضروری است میله حاوی چشمه پرتوزا را به صورت دستی از دوربین پرتونگاری خارج نموده و قسمت حاوی چشمه پرتوزا را درون کولیماتور^۲ متصل به قطعه کار قرار داد.

علامت‌گذاری و برچسب‌زنی

۹-۱۷- توصیه می‌شود هر دوربین پرتونگاری همیشه دارای برچسبی با جزئیات زیر بوده و این موارد بر روی آن به وضوح قابل مشاهده باشد:

- أ) نماد بین‌المللی پرتوهای یونساز (نماد اشعه) [۲۷]؛
 - ب) کلمه "RADIOACTIVE" که حروف آن حداقل ۱۰ میلی‌متر ارتفاع داشته باشد همراه با یک هشدار کوتاه به زبان مناسب کشور محل استفاده؛
 - ج) نماد(های) شیمیایی و عدد جرمی رادیونوکلئید(هایی) که دوربین پرتونگاری برای آن(ها) مناسب است (مانند "Ir-192" یا "Co-60")؛
 - د) حداکثر پرتو زایی مجاز چشمه پرتوزا در دوربین پرتونگاری مناسب برای هر رادیونوکلئید؛
 - ه) استاندارد بین‌المللی (ISO 3999 [۲۶]) یا استاندارد ملی معادل که دوربین پرتونگاری و تجهیزات جانبی مربوطه با آن مطابقت دارند؛
 - و) نام سازنده، شماره مدل و شماره سریال دوربین پرتونگاری؛
 - ز) در صورت لزوم، جرم اورانیم تهی‌شده حفاظ دوربین یا علامت "حاوی اورانیم تهی شده"؛
 - ح) نام، آدرس و شماره تلفن بهره‌بردار.
- ۹-۱۸- علاوه بر این موارد، توصیه می‌شود دوربین پرتونگاری به یک برچسب ضدحریق بادوام حاوی اطلاعات مربوط به چشمه پرتو زایی که در آن بارگذاری شده است، مجهز باشد. این اطلاعات عبارتند از:
- نماد شیمیایی و عدد جرمی رادیونوکلئید؛

¹ torch

² collimator

- پرتوژیایی چشمه پرتوزا در یک تاریخ مشخص؛
- شماره شناسایی چشمه پرتوزای بسته؛
- نام سازنده چشمه پرتوزا.

تجهیزات دست دوم^۱

۹-۱۹- توصیه می‌شود مراکز بهره‌برداری که تجهیزات پرتونگاری مستعمل یا دست دوم تهیه می‌کنند اطمینان حاصل نمایند که این تجهیزات و تجهیزات جانبی آنها با آخرین استانداردهای بین‌المللی [۲۶] یا استاندارد ملی معادل تطابق دارند. بهتر است اثبات این تطابق با ارزیابی انجام شده توسط سازنده یا نهاد ذیصلاح دیگری صورت گیرد.

حفاظ از جنس اورانیم تهی شده

۹-۲۰- حفاظ بسیاری از دوربین‌های پرتونگاری (و برخی از کولیماتورها) حاوی اورانیم تهی شده است که چگالی بیشتری از سرب دارد. به این ترتیب دوربین‌ها در مقایسه با شرایطی که فقط با سرب ساخته شوند، دارای حجم کوچکتری خواهند بود. همچنین می‌توانند در صورت نیاز، الزامات مربوط به بسته‌های نوع B(U) در مقررات ترابری [۲۳] را برآورده نمایند. اورانیم تهی شده پرتوزا است یعنی حتی در صورت خالی بودن دوربین پرتونگاری از چشمه پرتوزا به خودی خود تابش دارد. بنابراین توصیه می‌شود چنین دوربین‌هایی در شرایط ایمن نگهداری شده و دارای دستورالعمل‌هایی برای حسابرسی باشند.

۹-۲۱- توصیه می‌شود بهره‌بردارها مشخص کنند کدام یک از دوربین‌های پرتونگاری و کولیماتورها حاوی اورانیم تهی شده هستند. همچنین توصیه می‌شود اطمینان حاصل کنند که هر دوربین پرتونگاری و کولیماتوری که حاوی اورانیم تهی شده است، دارای علامت دائمی [حکاکی شده] باشد که نشان‌دهنده وجود اورانیم تهی شده در ساختار آنها است. برخی از واحدهای قانونی ممکن است برای دوربین‌های پرتونگاری و کولیماتورهای با این شرایط، داشتن مجوز جداگانه‌ای را الزامی نمایند. همچنین بهتر است دورریزی^۲ نهایی این تجهیزات به‌روش مورد تأیید واحد قانونی صورت پذیرد.

تجهیزات جانبی^۳

۹-۲۲- تجهیزات جانبی که همراه دوربین پرتونگاری مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل محفظه‌های کنترل، گایدتیوب‌ها و کولیماتورها هستند. حداقل استانداردهای عملکردی برای تجهیزات جانبی در استاندارد ISO 3999 [۲۶] بیان شده است. توصیه می‌شود تجهیزات جانبی الزامات این استاندارد یا استاندارد ملی معادل آن را برآورده کنند.

۹-۲۳- هر مدل دوربین پرتونگاری دارای تجهیزات جانبی مخصوص به خود است. توصیه می‌شود جهت جلوگیری از وقوع سوانح، تجهیزات جانبی با دوربین پرتونگاری و هلدور مورد استفاده سازگار باشد و هرگونه عدم قطعیتی در مورد سازگاری تجهیزات توسط سازنده(های) مربوطه بررسی گردد.

¹ second-hand equipment

² disposal

³ ancillary equipment

۹-۲۴- تجهیزات جانبی مانند کابل‌های کنترل و گایدتیوب‌ها برای به حداکثر رساندن فاصله بین پرتونگار و چشمه پرتوزا مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور معمول طول کابل‌های کنترل ۷ تا ۱۵ متر و طول گایدتیوب‌ها ۲ تا ۶٫۵ متر است. توصیه می‌شود از دستگاه‌ها با کابل‌های کنترل و گایدتیوب‌هایی که بلندتر از توصیه‌های سازنده هستند، استفاده نشود.

کولیماتورها

۹-۲۵- کولیماتورها برای محدود کردن باریکه پرتو در جهت‌های مشخص استفاده می‌شوند. لذا در صورت امکان استفاده از آنها جهت کاهش میزان پرتو و به تبع آن کاهش دز دریافتی، توصیه می‌شود. کولیماتورها معمولاً از جنس سرب، تنگستن یا اورانیم تهی شده هستند و می‌توانند پرتوها را به‌صورت باریکه‌ای پانورامیک یا جهت‌دار درآورند. توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان یابند که کولیماتورها متناسب با هلدن بوده و چشمه درون آنها گیر نمی‌کند.

کانتینرهای نگهداری و تجهیزات تعویض چشمه پرتوزا

۹-۲۶- توصیه می‌شود از تجهیزات تعویض چشمه پرتوزا برای تعویض چشمه‌های پرتوزای قدیمی و جایگزینی چشمه‌های پرتوزای جدید استفاده شود. جابه‌جایی چشمه‌ها عموماً بین دوربین پرتونگاری که در اختیار بهره‌بردار است و تجهیز تعویض چشمه پرتوزای (که معمولاً کانتینر حمل می‌باشد) مورد استفاده تأمین‌کننده منبع پرتو (که معمولاً توصیه می‌شود پس از تعویض چشمه‌ها به تأمین‌کننده بازگردانده شود)، صورت می‌گیرد. بهتر است امکان نگهداری ایمن چشمه‌های پرتوزای بسته در صورت عدم استفاده در کانتینرهای نگهداری فراهم شده و از دسترسی غیرمجاز به آنها جلوگیری به عمل آید.

۹-۲۷- اگرچه استاندارد مشخصی برای تجهیزات تعویض و کانتینرهای نگهداری چشمه پرتوزا وجود ندارد، اما در صورت امکان توصیه می‌شود سطوح دز و شرایط برچسب‌زنی تعیین‌شده در بخش‌های مرتبط از استاندارد ISO 3999 [۲۶] یا استانداردهای ملی معادل آن را برآورده نمایند. توصیه می‌شود تجهیزات تعویض‌کننده چشمه پرتوزا دارای سیستمی برای حصول اطمینان از عدم خروج تصادفی چشمه پرتوزا از آنها، هنگام برقراری یا قطع اتصال باشند، همچنین مجهز به یک قفل یا به‌صورت یک کانتینر قفل‌دار باشد که با هدف جلوگیری از خروج تصادفی یا غیرمجاز چشمه پرتوزای بسته از محفظه، طراحی شده است. توصیه می‌شود زمانی که چشمه پرتوزا درون کانتینرهای نگهداری یا تجهیزات تعویض چشمه پرتوزا قرار دارد، در حالت قفل نگه داشته شوند (و همیشه کلید آنها برداشته شود)، مگر اینکه تحت نظارت مستقیم یکی از کارکنان مجاز قرار داشته باشند.

۹-۲۸- توصیه می‌شود بهره‌برداران اطمینان حاصل کنند تجهیزات تعویض چشمه‌ای که در ساختار آنها از اورانیم تهی شده استفاده شده است، حتی در حالت "خالی" بودن (فاقد چشمه پرتوزا) به‌دلیل ماهیتشان، به‌عنوان منبع پرتوزا در نظر گرفته شده و تنها به روشی که از سوی واحد قانونی مجاز است، در فرایند پسمانداری قرار گیرند.

نگهداری چشمه‌های پرتوزا

۹-۲۹- توصیه می‌شود محل نگهداری در سایت برای چشمه‌های پرتوزا و دوربین‌های پرتونگاری به‌صورت اتفاقی با قابلیت قفل‌شدن یا انباری با کاربری ویژه و دارای سطح مناسبی از حفاظت و ایمنی باشد و اتاق یا انبار در صورت مقتضی به‌عنوان ناحیه کنترل‌شده یا ناحیه تحت نظارت تعیین شده و دارای شرایط زیر باشد:

- أ) در برابر آتش مقاوم باشد به طوری که در صورت وقوع آتش سوزی در مجاورت آن، احتمال از بین رفتن حفاظ و محفظه نگهداری به حداقل برسد؛
- ب) محل آن از خطرات خوردگی و انفجار دور باشد؛
- ج) از مصالحی ساخته شده باشد که برای کاهش آهنگ دز خارج از اتاق یا انبار به کمتر از سطوح مربوطه تعیین شده توسط واحد قانونی، حفاظ کافی ایجاد نماید.
- توصیه می شود درب محل نگهداری قفل باشد و کلیدهای آن فقط توسط افراد مجاز نگهداری شوند و یک اعلان حاوی نماد اشعه بر روی درب نصب شود.

بازرسی، تعمیر و نگهداری

اقدامات مناسب کلی

- ۹-۳۰- توصیه می شود کلیه تجهیزات پرتونگاری گاما (شامل همه تجهیزات جانبی)، جهت اطمینان از ادامه عملکرد صحیح، تحت بازرسی دوره ای و نیز تعمیر و نگهداری دوره ای قرار گیرند.
- ۹-۳۱- توصیه می شود تعمیر و نگهداری دوره ای فقط توسط سازنده یا افرادی که آموزش ویژه دیده اند، مطابق با دستورالعمل سازنده انجام گیرد. برای حصول اطمینان از مطابقت قطعات جایگزین با مشخصات ایمنی قطعه اصلی، توصیه می شود این قطعات فقط از طریق سازنده اصلی آنها تأمین شود و در صورت لزوم به ایجاد تغییر یا اصلاح در تجهیزات، این موارد منوط به تأیید سازنده یا واحد قانونی باشد.
- ۹-۳۲- توصیه می شود "تمیز نگه داشتن تجهیزات" در مجموعه اقدامات مناسب کلی جای داده شود تا تجهیزات به درستی کار کنند. لذا پس از هر بار استفاده، لازم است گل و لای و آلودگی از تجهیزات پاک شود؛ چراکه می توانند مانع حرکت صحیح و آزاد چشمه پرتوزا در مسیر شود.

بازرسی دوره ای^۱

- ۹-۳۳- توصیه می شود پرتونگاران قبل از شروع کار نسبت به انجام بازرسی دوره ای اقدام نمایند تا وضعیتی را که در صورت اصلاح نشدن می تواند منجر به سانحه شود، شناسایی کنند. بازرسی دوره ای بهتر است شامل موارد زیر باشد:
- أ) بازرسی دوربین پرتونگاری جهت اطمینان از اینکه:
- ۱) اتصالات و چفت و بست ها محکم هستند.
 - ۲) مکانیزم قفل به درستی کار می کند.
 - ۳) سطح پرتو در شرایط طبیعی است.
 - ۴) رابط های اتصال گاید تیوب ها و مکانیزم های کنترلی، ایمن و مطمئن هستند.
 - ۵) سالم بودن محل اتصال هلدر به کابل هدایت کننده، با استفاده از یک ابزار سنجش سائیدگی مانند ابزار سنجش نوع «go/no-go» که توسط سازنده برای بررسی سائیدگی بیش از حد ارائه می شود، تأیید شده است.

¹ routine inspection

ب) بازرسی تجهیزات کنترل از راه دور برای اطمینان از اینکه:

۱) اتصالات محکم هستند.

۲) هیچ نشانه‌ای از لهدگی، پیچ‌خوردگی یا جای ضربه وجود ندارد.

۳) کابل هدایت‌کننده می‌تواند آزادانه حرکت کند.

ج) بازرسی گایدتیوب برای اطمینان از اینکه:

۱) اتصالات محکم هستند.

۲) هیچ نشانه‌ای از لهدگی، پیچ‌خوردگی یا جای ضربه وجود ندارد.

۳) نوک پرتوده‌ی فرسوده نشده است.

۹-۳۴- توصیه می‌شود پرتونگاران تجهیزات جانبی اضافی مورد استفاده (مانند پایه‌های مغناطیسی، گیره‌های انبر و اتصالات کولیماتور) را برای موارد زیر بررسی کنند:

۱) آزادی حرکت؛

۲) شرایط کاری خوب؛

۳) مناسب بودن برای استفاده.

توصیه می‌شود پرتونگاران پیش از انجام فرایند تعویض چشمه پرتوزا، بررسی‌های عملیاتی زیر را انجام دهند تا اطمینان حاصل شود که:

۱) سیستم‌های قفل به‌درستی کار می‌کنند.

۲) اتصالات گایدتیوب و لوله‌های انتقال مطمئن و ایمن هستند.

۳) هیچ مانعی در گایدتیوب یا لوله‌های انتقال وجود ندارد.

برنامه تعمیر و نگهداری

۹-۳۵- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار برنامه‌ای برای تعمیر و نگهداری کلیه تجهیزات مورد استفاده در فعالیت پرتونگاری گاما تنظیم و در آن به‌وضوح بیان کنند که فقط تأمین‌کننده یا کارکنانی که دوره آموزشی ویژه دیده‌اند، مجاز به انجام تعمیرات هستند. بهتر است تعمیر و نگهداری در فواصل زمانی مقتضی و با در نظر گرفتن شرایط محیطی که در آن از تجهیزات استفاده می‌شود (مانند محیط‌های دارای شن، خاک یا آب) انجام گیرد.

۹-۳۶- تعمیر و نگهداری شامل جداسازی کامل تجهیزات و بازرسی دقیق همه اجزاء است. توصیه می‌شود در صورت لزوم، قطعات فرسوده یا آسیب‌دیده تعویض شوند و از روان‌کننده مناسب برای قسمت‌های متحرک استفاده گردد. همچنین سوابق کلیه تعمیرات، از جمله تعویض قطعات، ثبت و نگهداری شود.

مولدهای پرتو ایکس

۹-۳۷- متداول‌ترین نوع مولد پرتو ایکس که در فعالیت پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تیوب پرتو ایکس معمولی است. هرچند در برخی فعالیت‌های خاص از شتابدهنده‌های خطی و سیکلوترون‌ها نیز استفاده می‌شود. توصیه‌های زیر در مورد تیوب‌های پرتو ایکس است اگر چه توصیه می‌شود استاندارد ایمنی مشابهی برای شتابدهنده‌های خطی و سیکلوترون‌ها استفاده شود.

۳۸-۹- مولدهای پرتو ایکس برای انجام پرتو دهی های پانورامیک (باریکه پرتو شعاعی) و پرتو دهی های جهت دار مورد استفاده قرار می گیرند. تیوب پرتو ایکس از طریق کابل به پنل کنترل که بخشی از مجموعه پرتو دهی برای تنظیم و نشان دادن پارامترهای عملیاتی است، متصل می گردد. طول کابل، پارامترهای عملیاتی (کیلوولتاژ و جریان) و حفاظ پیرامون دستگاه می تواند بر دز دریافتی پرتوکار تأثیرگذار باشد. بنابراین توصیه می شود مراکز بهره بردار تنها از مولدهای پرتو ایکسی استفاده کنند که با حداقل استاندارد در حوزه های زیر مطابقت داشته باشد.

ایمنی الکتریکی

۳۹-۹- ایمنی الکتریکی به طور غیرمستقیم به ایمنی پرتو مربوط است، زیرا اشکالات الکتریکی در مولدهای پرتوی ایکس می تواند منجر به بروز حوادث جدی شود که اثرات رادیولوژیکی در پی دارد. توصیه می شود مولدهای پرتو ایکس با مقررات ملی و بین المللی ایمنی الکتریکی مطابقت داشته باشند [۲۸]. مثلاً قسمت های فلزی مولدها از جمله پوشش ها، کابل های اتصال، واحدهای منبع تغذیه (ترانسفورماتورها و ژنراتورها)، تجهیزات کنترلی، مجموعه تیوب، تجهیزات اعلام هشدار و سایر تجهیزات ایمنی که لازم است به صورت الکتریکی به یکدیگر مرتبط باشند، به زمین^۱ متصل شوند. توصیه می شود در مورد مسائل الکتریکی مشاوره صورت گیرد و بازرسی ها و تست ها توسط یک مهندس برق واجد صلاحیت یا مهندس خدمات تخصصی انجام شود.

طول کابل

۴۰-۹- در مواردی که نمی توان فعالیت پرتونگاری را در یک اتاق حفاظ گذاری شده انجام داد، توصیه می شود طول کابل برای مولدهای پرتو ایکس ۳۰۰ کیلو ولت و بالاتر، کمتر از ۲۰ متر نباشد.

کولیماتورها و فیلترهای پرتو

۴۱-۹- توصیه می شود مولدهای پرتو ایکسی که برای فعالیت پرتونگاری جهت دار استفاده می شوند، هر جا که امکان پذیر است به کولیماتور^۲ مجهز شوند تا اندازه باریکه پرتو به کمترین مقدار مناسب برای تکنیک پرتونگاری به کار رفته محدود گردد. بهتر است دستگاه ها دارای فیلترهای پرتو باشند تا فیلتراسیونی متناسب با فعالیت در حال انجام صورت گیرد.

پنل کنترل

۴۲-۹- توصیه می شود پنل کنترل مجهز به موارد زیر باشد:

- ا) برچسب حاوی نماد اشعه، برچسب متنی که نشان دهد هنگام فعالیت دستگاه، پرتوهای ایکس منتشر می شوند و یک برچسب هشدار (به زبان مناسب) مبنی بر این که استفاده غیرمجاز ممنوع است.
- ب) سوئیچ دارای کلید برای روشن و خاموش کردن به منظور جلوگیری از استفاده غیرمجاز، توصیه می شود کلید فقط در شرایطی قابل برداشته شدن داشته باشد که دستگاه در وضعیت "خاموش" یا "آماده به کار"^۳ است (یعنی

^۱ earth bondin

^۲ گاهی مخروط یا دیافراگم نیز نامیده می شود.

^۳ standby

- قفل کردن سیستم در حالت "روشن" ممکن نباشد). بهتر است وضعیت‌های کلید به‌وضوح مشخص باشند.
- ج) چراغ هشدار دارای برچسب "خود ایمن"^۱ که بیانگر آمادگی دستگاه جهت آغاز فعالیت و انتشار پرتو ایکس است.
- د) چراغ مجزای هشدار دارای برچسب "خود ایمن" که هنگام کار و انتشار پرتو ایکس از دستگاه روشن شود.
- ه) زمان‌سنجی که مدت زمان پرتو دهی را کنترل کند یا سوئیچی که وضعیت "روشن" آن جهت تولید پیوسته پرتو ایکس نیاز به فشار دائم پرتونگار داشته باشد.
- و) نشانگرهایی که هنگام تولید پرتو ایکس، ولتاژ را برحسب کیلوولت (kV) و جریان را برحسب میلی‌آمپر (mA) نشان دهند.
- ز) دکمه‌ای با برچسب مشخص که تولید پرتو را به سرعت قطع کند.

سر (هد) تیوب پرتو ایکس

۹-۴۳- بهتر است برای جلوگیری از حرکت ناخواسته حین پرتو دهی، سر تیوب پرتو ایکس بر روی یک پایه مناسب تثبیت یا در موقعیت خود مستحکم شود. توصیه می‌شود پرتوهای نشتی (یعنی پرتوهای که از بدنه دستگاه بیرون می‌آیند، نه از دهانه خروجی پرتو) با طراحی مناسب محدود شده و سطح پرتوها توسط سازنده دستگاه مشخص گردد.

۹-۴۴- قدرت نفوذ پرتوهای نشتی از دستگاه به کیلوولتاژ تنظیم شده بر روی آن بستگی دارد و برای ولتاژهای بالای ۵۰۰ کیلوولت قابل توجه است. توصیه می‌شود داده‌های مربوط به حداکثر آهنگ دز ناشی از پرتوهای نشتی در سطح دستگاه و در فاصله یک متری از هدف (صفحه آند تیوب مولد پرتو ایکس) توسط سازنده دستگاه ثبت شود. مقدار معمول حداکثر آهنگ دز پرتوهای نشتی در فاصله یک متری از هدف تیوب‌های پرتوی ایکس صنعتی تا ۱۰۰ میکروسیورت بر ساعت است.

مولدهای پرتو ایکس پالسی^۲

۹-۴۵- برخی از مولدها پالس‌های پرتو ایکس بسیار کوتاهی ایجاد می‌کنند و مدت زمان پرتو دهی برحسب تعداد پالس‌های مورد نیاز برای پرتونگاری تنظیم می‌شود. این قبیل مولدها اغلب دستگاه‌هایی کوچک، قابل حمل و دارای باتری هستند که برای پرتونگاری مواردی با چگالی کم یا برای ورقه‌های بسیار نازک استفاده می‌شوند. مولدهای پرتو ایکس پالسی بزرگ گاهی اوقات در تأسیسات حفاظ‌گذاری شده کاربرد دارند، جایی که خروجی بالا و زمان پرتو دهی بسیار کوتاه لازم است. توصیه می‌شود برای این نوع دستگاه‌ها همان اقدامات احتیاطی که برای دستگاه‌های مولد پرتوی ایکس معمولی استفاده می‌شود، اجرا گردد و اقدامات احتیاطی تکمیلی که با ارزیابی ایمنی تعیین می‌شود، اعمال شود.

۹-۴۶- لازم به ذکر است اکثر دزیمترهای محیطی برای اندازه‌گیری آهنگ دز مجاور مولدهای پرتو ایکس پالسی مناسب نیستند. زیرا زمان پالس این مولدها بسیار کوتاه و پاسخ‌دهی دزیمترها نسبتاً کند است. بنابراین توصیه می‌شود از دزیمترهای ثبت دز تجمعی مناسب به‌عنوان جایگزین این تجهیزات استفاده گردد.

¹ fail-to-safe

² flash X ray units

بازرسی، تعمیر و نگهداری دستگاه‌های مولد پرتو ایکس

اقدامات مناسب کلی

۹-۴۷- برای اطمینان از تداوم عملکرد مناسب دستگاه‌های مولد پرتو ایکس (از جمله همه تجهیزات جانبی)، توصیه می‌شود این دستگاه‌ها توسط مرکز بهره‌بردار به صورت دوره‌ای مورد بررسی قرار گیرند. علاوه بر آن به صورت رسمی نیز توسط سازنده یا متخصص واجد صلاحیت بازرسی، تعمیر و نگهداری شوند. همچنین توصیه می‌شود جهت حصول اطمینان از اینکه قطعات جایگزین با مشخصات ایمنی قطعه اصلی مطابقت دارند، این قطعات فقط از طریق سازنده اصلی آن‌ها تهیه گردند.

۹-۴۸- وظایف دوره‌ای که توصیه می‌شود توسط مرکز بهره‌بردار انجام شود به شرح زیر است:

- أ) بررسی‌های ایمنی الکتریکی شامل اتصال زمین و بررسی عایق الکتریکی کابل‌ها؛
- ب) تمیز کردن یا تعویض فیلتر سیستم‌های خنک‌کننده؛
- ج) بررسی نشتی پرتو ایکس از تیوب؛
- د) بررسی کابل‌ها جهت حصول اطمینان از وجود شرایط مناسب در آنها از جمله بررسی عدم فرسودگی و سالم بودن روکش‌ها؛
- ه) تعمیر و نگهداری و سایر بررسی‌های دوره‌ای طبق توصیه سازنده؛
- و) بررسی کلیه قفل‌های هم‌بند و سوئیچ‌های قطع اضطراری؛
- ز) بررسی تمامی آشکارسازهای پرتوی نصب شده دائمی درون اتاق حفاظ‌گذاری شده و اطمینان از این که این بررسی در شرایطی انجام می‌شود که هیچ‌کس درون اتاق نیست.

بازرسی دوره‌ای

۹-۴۹- توصیه می‌شود بازرسی دوره‌ای در شروع کار و برای شناسایی شرایطی که در صورت عدم اصلاح آن می‌تواند منجر به سانحه گردد، انجام شود. در این حالت توصیه می‌شود بازرسی شامل بررسی موارد زیر باشد:

- ۱) آسیب قابل مشاهده‌ای در تجهیزات وجود نداشته باشد.
- ۲) بریدگی، شکستگی، پیچ خوردگی یا جدایی در اتصالات کابل‌ها وجود نداشته باشد.
- ۳) مایع سیستم خنک‌کننده نشتی نداشته باشد.
- ۴) همه قفل‌های هم‌بند عملیاتی باشند.
- ۵) همه چراغ‌ها و نشانگرهای هشدار به درستی کار کنند.
- ۶) چفت و بست‌ها محکم و اتصالات رزوه‌دار ایمن باشند.

تعمیر و نگهداری

۹-۵۰- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار برنامه‌ای برای تعمیر و نگهداری دستگاه‌های مولد پرتوی ایکس تهیه و در این برنامه به وضوح مشخص کند که فقط تأمین‌کننده یا کارکنانی که آموزش ویژه دیده‌اند، تعمیر و نگهداری را انجام می‌دهند. بهتر است تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها حداقل سالانه انجام شود و اگر دستگاه‌ها در شرایط محیطی دشوار مانند محیط‌های با رطوبت یا آلودگی زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند یا به طور مکرر جابه‌جا می‌شوند، توصیه می‌شود تعمیر

و نگهداری به دفعات بیشتر انجام شود. تعمیر و نگهداری شامل بازرسی و تست کامل دستگاه‌ها و بازرسی جزئیات همه قسمت‌های آن می‌باشد. در صورت لزوم توصیه می‌شود قطعات فرسوده یا آسیب‌دیده تعویض و آزمایش شوند. همچنین سوابق کلیه تعمیرات، از جمله تعویض قطعات، ثبت و نگهداری شود.

۱۰- پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده

کلیات

۱-۱۰- اتاق حفاظ‌گذاری شده، فضای بسته‌ای است که با استفاده از حفاظ کافی و با هدف حفاظت از پرتوهای یونساز برای افرادی که در مجاورت آن قرار دارند، طراحی و ساخته شده و شامل کنترل‌های مهندسی به منظور جلوگیری یا به حداقل رساندن پرتوگیری بالقوه افرادی است که احتمال دارد هنگام آماده به کار بودن یا پرتودهی منبع پرتو، وارد آن شوند.

۲-۱۰- در صورت امکان، توصیه می‌شود فعالیت پرتونگاری صنعتی درون اتاق حفاظ‌گذاری شده انجام شود. مزیت استفاده از این فضا آن است که سایر فعالیت‌ها در مجاورت آن (اما بیرون از اتاق) می‌توانند بدون وقفه ادامه یابند و همزمان پرتونگاری نیز انجام شود. توصیه می‌شود برای انجام پرتونگاری از اتاق حفاظ‌گذاری شده‌ای که به‌درستی طراحی و ساخته شده و دارای سیستم‌های ایمنی و هشدار مناسبی است که به‌طور منظم مورد آزمون و تعمیر و نگهداری قرار می‌گیرد، استفاده گردد. در این صورت چنین فضایی می‌تواند در پیشگیری از حوادث و پایین نگه داشتن دز پرتو براساس ALARA بسیار مؤثر باشد.

۳-۱۰- توصیه می‌شود قبل از استفاده از اتاق حفاظ‌گذاری شده، آزمون‌های مربوط به راه‌اندازی آن توسط مرکز بهره‌بردار و در صورت لزوم با پشتیبانی سازنده انجام شود تا تطابق اتاق ساخته شده با معیارهای طراحی آن تأیید گردد.

طراحی و حفاظ‌گذاری

۴-۱۰- توصیه می‌شود اتاق حفاظ‌گذاری شده با در نظر گرفتن منابع پرتوی که قرار است در آن مورد استفاده قرار گیرند و کار خاصی که لازم است در آن انجام شود، طراحی گردد. بهتر است طراحی اتاق حفاظ‌گذاری شده به گونه‌ای باشد که قسمت‌های کنترل پرتودهی چشمه پرتوزای گاما یا مولد پرتو ایکس، خارج از آن قرار بگیرد. توصیه می‌شود قبل از شروع عملیات ساخت، نیازهای فوری و نیازهای قابل پیش‌بینی آینده در طراحی در نظر گرفته شود.

۵-۱۰- توصیه می‌شود در طراحی اتاق حفاظ‌گذاری شده نقشه‌ای از تأسیسات و محیط پیرامون آن از جمله دفاتر یا ساختمان‌های مجاور وجود داشته باشد. همچنین در نقشه ابعاد و ضخامت‌ها، تراکم و مواد مورد استفاده در حفاظ کلیه دیوارهای جانبی، قسمت‌های بالا و پایین ناحیه پرتودهی مشخص گردد. توصیه می‌شود ورودی‌ها علامت‌گذاری شوند و مسیرها تا نواحی قابل اشغال احتمالی مجاور، قسمت‌های بالا و پایین ناحیه پرتودهی همراه با اطلاعات مربوط به ضریب اشغال (یعنی تعداد دفعات اشغال و میانگین مدت زمانی که فرد در یک محل می‌ماند) مشخص شوند. توصیه

می‌شود تأسیسات به‌درستی طراحی شوند تا هزینه نصب به حداقل برسد و از اقدامات اصلاحی پرهزینه در صورت عدم دستیابی به سطح قابل قبولی از حفاظت جلوگیری شود.

۶-۱۰- توصیه می‌شود پرتوگیری ناشی از تابش مستقیم و پراکندگی پرتوها با بهره‌برداری از اتاق حفاظ‌گذاری شده با حفاظ مناسب محدود شود. محاسبه جامع ضخامت‌های مورد نیاز برای حفاظ‌سازی، مستلزم استفاده از داده‌های مربوط به قابلیت عبور پرتو از ماده حفاظ به کار رفته است. مشاوره با یک متخصص واجد صلاحیت برای انجام این محاسبات ضروری است. راهنمایی در مورد استفاده از داده‌های عبور پرتو و محاسبات مربوطه، خارج از دامنه کاربرد این مدرک می‌باشد.

۷-۱۰- توصیه می‌شود اتاق‌ها ترجیحاً دارای سقف مجهز به حفاظ باشند. در طرح‌های با سقف ضعیف یا بدون سقف، توصیه می‌شود به بازتابش آسمانی^۱ و به پراکندگی از اجسام بیرون اتاق، مانند سقف‌های بالاتر یا دیوارهای مجاور اتاق حفاظ‌گذاری شده (اگر داخل ساختمان دیگری احداث می‌شود)، توجه ویژه‌ای شود.

۸-۱۰- ممکن است واحد قانونی ضوابطی مانند سطوح مرجع دز یا آهنگ دز برای طراحی اتاق حفاظ‌گذاری شده تعیین کند. ۹-۱۰- باتوجه به اینکه برای این اتاق‌ها ورودی یا منافذی مثلاً برای ورود و خروج کارکنان، برای جابه‌جایی و قراردادن اجسام سنگین توسط جرثقیل‌ها جهت انجام پرتونگاری بر روی آنها، برای لوله‌کشی، برای فنرها (کابل‌های کنترل)، برای تهویه و سایر کانال‌کشی‌ها در حفاظ تعبیه می‌شود، توصیه می‌شود این منافذ با دقت زیادی طراحی شوند تا از نفوذ یا پراکندگی پرتوها جلوگیری شود یا حداقل به کمترین مقدار برسد.

۱۰-۱۰- ضعف در حفاظ پیش‌بینی شده می‌تواند بعد از دوره آب‌بندی، آسیب به حفاظ، جابه‌جایی حفاظ یا نشست ساختمان اتفاق بیفتد. بنابراین بهتر است تکنیک‌های مختلف طراحی مانند ورودی‌های داری پیچ و خم^۲ به‌منظور جلوگیری یا به حداقل رساندن این ضعف‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۱۱-۱۰- توصیه می‌شود نتایج ارزیابی ایمنی^۳ در طراحی انجام شده مورد توجه قرار گیرد و پس از طراحی اتاق حفاظ‌گذاری شده، مگر برای حفظ یا افزایش سطح ایمنی، هیچ تغییری در آن ایجاد نشود. ممکن است تغییر در طراحی اصلی به تست راه‌اندازی و مجوز یا تأییدیه واحد قانونی یا متخصص واجد صلاحیت نیاز داشته باشد.

۱۲-۱۰- توصیه می‌شود تمام اسناد مربوط به طراحی اتاق حفاظ‌گذاری شده برای مراجعات بعدی نگهداری شود. واحد قانونی نیز ممکن است قبل از صدور اجازه استفاده از تأسیسات، نسخه‌هایی از طرح‌ها و مستندات را درخواست کند.

نواحی کنترل‌شده و تحت نظارت

۱۳-۱۰- حین انجام پرتونگاری، آهنگ دز داخل اتاق حفاظ‌گذاری شده بسیار بالا خواهد بود، لذا توصیه می‌شود این فضا به‌عنوان ناحیه کنترل‌شده در نظر گرفته شود؛ با این حال، مواقعی که در آن پرتونگاری انجام نمی‌شود، رویکرد اتخاذ شده در این خصوص به قوانین و مقررات ملی یا محلی بستگی دارد.

۱۴-۱۰- توصیه می‌شود اتاق حفاظ‌گذاری شده طوری طراحی شود که نیازی به تعیین ناحیه کنترل‌شده بیرون از آن نباشد. البته بسته به شرایط، ممکن است پیرامون اتاق به‌عنوان ناحیه تحت نظارت تعیین گردد.

^۱ sky shine

^۲ maze entrances

^۳ برای تأسیساتی که از مولدهای پرتو با انرژی بالا مانند شتاب‌دهنده‌ها و سیکلوترون‌ها استفاده می‌کنند، خطرات احتمالی غیرپرتوی ناشی از گازهای مضر مانند ازن نیز در نظر گرفته می‌شود.

سیستم‌های ایمنی و هشدار در پرتونگاری گاما

قفل‌های هم‌بند درب

۱۵-۱۰- توصیه می‌شود اتاق حفاظ‌گذاری شده دارای سیستم‌های ایمنی مناسب بر روی درب‌های ورودی باشد تا اطمینان حاصل شود که حین پرتودهی با چشمه‌های پرتوزا امکان ورود افراد وجود ندارد. همچنین توصیه می‌شود یک سیستم قفل هم‌بند مکانیکی یا الکتریکی بر روی آنها نصب شود تا اطمینان حاصل شود که امکان پرتودهی منبع پرتو تا زمان بسته شدن درب وجود ندارد.

۱۶-۱۰- علاوه بر این، توصیه می‌شود هنگامی که چشمه پرتوزا در حالت پرتودهی است، سیستمی مانع از باز شدن درب شود یا در صورت باز شدن درب اتاق حفاظ‌گذاری شده، چشمه پرتوزا به‌طور خودکار به درون حفاظ برگردد. در برخی از دوربین‌های پرتونگاری گاما که به‌صورت دستی کار می‌کنند ممکن است همیشه امکان نصب سیستم‌های قفل هم‌بند با این ماهیت وجود نداشته باشد. در این حالت توصیه می‌شود بلافاصله قبل از پرتودهی چشمه پرتوزا، درب اتاق حفاظ‌گذاری شده توسط پرتونگار بسته و قفل شود.

۱۷-۱۰- توصیه می‌شود یک سیستم مونی‌تورینگ پرتو با ویژگی "خود ایمن" نصب شود. در حالت ایده‌آل، بهتر است این سیستم با قفل‌های هم‌بند درب یکپارچه باشد تا اگر پرتوها به بیش از سطح تعیین شده رسیدند، از ورود به اتاق حفاظ‌گذاری شده جلوگیری به‌عمل آید. با این وجود احتمال دارد چنین شرایطی با برخی از دوربین‌های پرتونگاری گاما که با تجهیزات کنترل از راه دور و به‌صورت دستی کار می‌کنند، امکان‌پذیر نباشد.

۱۸-۱۰- توصیه می‌شود سیستم مونی‌تورینگ پرتوی نصب شده هنگام پرتودهی، هشدارهای قابل مشاهده و قابل شنیدن پخش کند. حتی هنگام استفاده از این سیستم‌های خودکار، توصیه می‌شود افرادی که وارد اتاق حفاظ‌گذاری شده می‌شوند جهت حصول اطمینان از قرار گرفتن کامل چشمه پرتوزا درون حفاظ، همیشه یک دزی‌متر قابل حمل که به‌درستی کار می‌کند، همراه داشته باشند.

سیگنال‌ها و اعلان‌های هشدار

۱۹-۱۰- توصیه می‌شود بلافاصله قبل از شروع فرایند پرتودهی، سیگنال پیش‌هشدار با قابلیت دیداری یا شنیداری ایجاد شود. توصیه می‌شود این سیگنال برای افرادی که در داخل یا در محل ورودی اتاق حفاظ‌گذاری شده حضور ندارند، واضح باشد و از نظر مدت زمان آن قدر طولانی باشد تا افراد بتوانند اتاق را تخلیه کنند.

۲۰-۱۰- توصیه می‌شود سیگنال هشدار قابل مشاهده یا قابل شنیدن دومی نیز برای مواقعی که چشمه پرتوزا در موقعیت پرتودهی قرار گرفته، ایجاد شود. بهتر است سیگنال پیش‌هشدار و سیگنال هشدار "منبع در حال پرتودهی" به‌وضوح از یکدیگر قابل تشخیص بوده و هر دو از داخل اتاق حفاظ‌گذاری شده، قابل مشاهده و یا قابل شنیدن باشند.

۲۱-۱۰- ترجیحاً، توصیه می‌شود امکان ایجاد هر دو سیگنال فراهم شود تا هنگام پرتودهی به‌طور خودکار عمل کنند. با این حال، بسته به الزامات قانونی، ایجاد سیگنال پیش‌هشدار به‌صورت دستی و توسط پرتونگار بلافاصله قبل از پرتودهی چشمه پرتوزا نیز می‌تواند قابل قبول باشد. در مواردی که بیش از یک منبع پرتو وجود دارد توصیه می‌شود تجهیزات کنترل پرتودهی و هشدارها متمایز و بدون ابهام باشند.

۱۰-۲۲- توصیه می‌شود اعلان‌های قابل مشاهده که به‌طور واضح مفهوم سیگنال‌های پیش‌هشدار و سیگنال‌های مربوط به "منبع در حال پرتودهی" را توضیح می‌دهند، در مکان‌های مناسب داخل و اطراف تأسیسات نصب شوند. بهتر است اعلان‌ها شامل نماد اشعه و سایر اطلاعات مورد نیاز واحد قانونی باشند. توصیه می‌شود متن اعلان به زبان مناسب نوشته شود که توسط اشخاصی که احتمالاً در مناطق اطراف اتاق حفاظ‌گذاری شده قرار دارند، قابل درک باشد.

۱۰-۲۳- بهتر است اعلان‌ها از موادی ساخته شوند که در شرایط محیطی حاکم، بادوام بوده و اعلان‌های آسیب‌دیده یا غیرقابل خواندن، در صورت لزوم تعویض شوند.

دکمه‌ها یا طناب‌های کششی توقف اضطراری

۱۰-۲۴- توصیه می‌شود دکمه‌ها یا طناب‌های کششی توقف اضطراری با قابلیت راه‌اندازی مجدد دستی نصب شوند تا هر فردی که درون اتاق حفاظ‌گذاری شده قرار دارد بتواند بلافاصله هشدار خطر را به‌کار بیندازد و به‌طور خودکار یا با جلب توجه پرتونگار (مستقر در بیرون اتاق)، پرتودهی را خاتمه دهد یا از شروع آن جلوگیری کند. بهتر است دکمه‌ها و طناب‌های کششی در موقعیتی قرار داشته باشند که بدون عبور از مسیر باریکه پرتوی اصلی بتوان به آنها دسترسی داشت و همچنین دارای برچسب راهنمای استفاده واضحی باشند. توصیه می‌شود شرایط طوری در نظر گرفته شود که افراد داخل اتاق حفاظ‌گذاری شده بتوانند به‌سرعت از آنجا خارج شده یا پشت حفاظ مناسب پناه بگیرند و همچنین در شرایط اضطراری، پرتونگار بتواند بلافاصله پرتوگیری را خاتمه دهد.

سیستم‌های ایمنی و هشدار مولدهای پرتو ایکس

۱۰-۲۵- مولدهای پرتو ایکس جهت انجام پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده استفاده می‌شوند. تابش پرتو تولید شده از مولدهای پرتو ایکس معمولاً دارای قدرتی چندین برابر تابش پرتو منابع گاما است. لذا توصیه می‌شود سیستم‌های ایمنی به‌دقت و به‌درستی نصب شوند تا از پرتوگیری سهوی پرتونگاران و دیگر کارکنان جلوگیری به عمل آید. بهتر است مولدهای پرتو ایکس در شرایط عادی کار، با سیستم‌های ایمنی و سیستم‌های هشدار اتاق حفاظ‌گذاری شده یکپارچه شوند به‌طوری که امکان کار با مولد پرتو ایکس بدون فعال بودن سیستم‌های ایمنی وجود نداشته باشد.

قفل‌های همبند درب

۱۰-۲۶- به‌منظور حصول اطمینان از اینکه هنگام پرتودهی مولد پرتو ایکس هیچ‌کس نمی‌تواند وارد اتاق حفاظ‌گذاری شده یا به آن دسترسی داشته باشد، بهتر است درب ورودی اتاق‌ها مجهز به قفل‌های همبند مناسب باشد. لذا برای ایجاد ارتباط مکانیکی یا الکتریکی بین سیستم کنترل پرتودهی و درب ورودی یا سایر نقاط ورود به اتاق حفاظ‌گذاری شده توصیه می‌شود یک سیستم قفل همبند نصب شود و این قفل تا زمان بسته شدن درب از تولید پرتو ایکس جلوگیری کند و در صورت باز شدن درب، بلافاصله تولید پرتو ایکس متوقف شود. ضمناً با بسته شدن درب، امکان فعال شدن خودکار مولد پرتو ایکس وجود نداشته باشد.

۱۰-۲۷- توصیه می‌شود قفل‌های هم‌بند در ب‌ها مانع از خروج افرادی که در شرایط اضطراری در حال ترک اتاق حفاظ‌گذاری شده هستند، نشوند. سیستم‌های عادی قفل هم‌بند دارای سوئیچ‌های الکتریکی یا سیستم‌های کلید تحت اختیار^۱ می‌باشند. بهتر است سیستم‌های قفل هم‌بند "خود ایمن" باشند^۲ به‌طوری که اگر هریک از اجزای سیستم قفل هم‌بند خراب یا شکسته شد، تولید پرتو ایکس امکان‌پذیر نباشد. در صورت لزوم برای تأمین سطح ایمنی بیشتر توصیه می‌شود تعداد، تنوع و مستقل بودن سیستم‌های قفل هم‌بند در نظر گرفته شود.

سیگنال‌ها و اعلان‌های هشدار

۱۰-۲۸- توصیه می‌شود بلافاصله قبل از شروع فرایند تولید پرتو ایکس، سیگنال پیش‌هشدار با قابلیت دیداری یا شنیداری ایجاد شود. توصیه می‌شود این سیگنال برای افرادی که در داخل یا در محل ورودی اتاق حفاظ‌گذاری شده حضور دارند واضح باشد و از نظر مدت زمان به‌اندازه کافی طولانی باشد تا افراد بتوانند اتاق را تخلیه کنند^۳.

۱۰-۲۹- توصیه می‌شود هنگام تولید پرتو ایکس، یک سیگنال هشدار ثانویه قابل مشاهده یا قابل شنیدن نیز ایجاد شود. بهتر است سیگنال پیش‌هشدار و سیگنال هشدار "دستگاه مولد پرتو ایکس در حال کار" به‌وضوح از یکدیگر قابل تشخیص بوده و هر دو از درون اتاق حفاظ‌گذاری شده قابل مشاهده و یا قابل شنیدن باشند. همچنین توصیه می‌شود سیگنال‌ها طوری انتخاب شوند که با دیگر سیگنال‌های هشدار مورد استفاده در منطقه اشتباه گرفته نشوند.

۱۰-۳۰- توصیه می‌شود تجهیزات ایجاد سیگنال طوری نصب شوند که هنگام آغاز فرایند تولید پرتو ایکس به‌طور خودکار عمل کنند. بهتر است سیستم سیگنال هشدار طوری طراحی و نصب گردد که در صورت خرابی هر یک از اجزای سیستم (مثلاً خرابی لامپ اعلان شرایط)، پرتو ایکس تولید نشود. در مواردی که بیش از یک منبع پرتو وجود دارد، توصیه می‌شود تجهیزات کنترل پرتو دهی و هشدارها متمایز و بدون ابهام باشند.

۱۰-۳۱- توصیه می‌شود اعلان‌های قابل مشاهده که به‌روشنی مفهوم سیگنال‌های پیش‌هشدار و سیگنال‌های "منبع پرتو در حال پرتو دهی" را توضیح می‌دهند، در مکان‌های مناسب، داخل و اطراف تأسیسات نصب شوند؛ توصیه می‌شود اعلان‌ها شامل نماد اشعه و سایر اطلاعات مورد نیاز واحد قانونی بوده و متن اعلان به زبان مناسب نوشته شده باشد که توسط اشخاصی که احتمالاً در مناطق اطراف اتاق حفاظ‌گذاری شده قرار دارند، قابل درک باشد.

۱۰-۳۲- توصیه می‌شود اعلان‌ها از موادی ساخته شوند که در شرایط محیطی حاکم بادوام باشند و اعلان‌های آسیب‌دیده یا غیرقابل خواندن در صورت لزوم تعویض گردند.

دکمه‌ها یا طناب‌های کششی توقف اضطراری

۱۰-۳۳- توصیه می‌شود دکمه‌ها یا طناب‌های کششی توقف اضطراری با قابلیت راه‌اندازی مجدد دستی در سیستم قفل‌های هم‌بند قرار داده شوند تا هر فردی که درون اتاق حفاظ‌گذاری شده قرار دارد بتواند بلافاصله هشدار خطر را به‌کار اندازد

^۱ عملکرد سیستم منوط به استفاده از این کلید و قرار داشتن آن در موقعیت تعریف شده است، طوری که با خارج کردن آن از محل تعیین شده، عملکرد سیستم متوقف می‌شود.

^۲ به‌طور ویژه برای ایمنی در مواقع خرابی طراحی شده باشند.

^۳ در تأسیسات دارای مولدهای پرتو پرنرژی مانند شتابدهنده‌های خطی، می‌توان ابزارهای ایمنی مکمل مانند سیستم‌های "بررسی و قفل" نصب کرد تا اپراتور مجبور شود قبل از شروع فرایند پرتو دهی، خالی بودن اتاق را به‌طور فیزیکی بررسی کند.

و به‌طور خودکار از پرتودهی جلوگیری کرده یا پرتودهی را خاتمه دهد. توصیه می‌شود دکمه‌ها و طناب‌های کششی به‌گونه‌ای قرار گیرند که بدون عبور از مسیر باریکه پرتو اصلی بتوان به آنها دسترسی داشت و همچنین دارای برچسب راهنمای استفاده واضح باشند. توصیه می‌شود شرایط طوری در نظر گرفته شود که افراد داخل اتاق بتوانند به‌سرعت از آنجا خارج شده یا پشت حفاظ مناسب پناه بگیرند و پرتونگار بتواند در شرایط اضطراری بلافاصله پرتودهی را خاتمه دهد.

دستورالعمل‌های پرتونگاری

۳۴-۱۰- توصیه می‌شود پرتونگاری در اتاق حفاظ‌گذاری شده فقط توسط پرتونگاران دارای صلاحیت که به‌طور مناسبی آموزش دیده‌اند، انجام شود و در برنامه آموزشی توضیح تفصیلی وجود داشته باشد تا اطمینان حاصل گردد که اتاق در چارچوب محدودیت‌های طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کلیه سیستم‌ها و اجزای تأسیسات، مطابق مشخصات اولیه نگهداری می‌شوند. همچنین توصیه می‌شود پرتونگاران درک روشنی از سیستم‌های ایمنی نصب شده، سیستم‌های هشدار و روش‌های عملکرد آنها داشته باشند.

۳۵-۱۰- توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که روش‌های عملیاتی و دستورالعمل‌های شرایط اضطراری مکتوب جهت انجام پرتونگاری و به زبان مناسب در اتاق حفاظ‌گذاری شده به‌راحتی در دسترس قرار دارند.

۳۶-۱۰- توصیه می‌شود هیچ نوع عملیات پرتونگاری درون اتاق حفاظ‌گذاری شده انجام نشود، مگر در مواردی که اتاق برای آن فعالیت طراحی شده و ارزیابی ایمنی برای آن انجام شده باشد. هر نوع عملیات پرتونگاری که در طراحی اصلی و ارزیابی ایمنی اتاق حفاظ‌گذاری شده در نظر گرفته نشده است، صرفاً پس از ارزیابی ایمنی جدید و تأیید و ایجاد اصلاحات لازم قابل انجام خواهد بود.

۳۷-۱۰- براساس الزام واحد قانونی، توصیه می‌شود پرتونگاران همیشه از دزیمترهای فردی استفاده کنند. دزیمترهای فردی شامل دزیمترهای ترمولومینسانس، دزیمترهای قرائت مستقیم فردی و دزیمترهای هشداردهنده فردی هستند.

۳۸-۱۰- توصیه می‌شود پرتونگاران برای محدود کردن پرتوگیری‌های خود به سیستم‌های ایمنی نصب شده اکتفا نکنند و هر زمان که وارد اتاق حفاظ‌گذاری شده می‌شوند، دزیمتر محیطی مناسب به‌همراه داشته باشند. در صورتی که آهنگ دزهای اندازه‌گیری شده بالاتر از سطوح از پیش تعیین شده باشد، توصیه می‌شود پرتونگار بلافاصله از اتاق خارج شده، از حضور دیگران در آن محل ممانعت کرده و از مسئول فیزیک بهداشت راهنمایی بخواهد.

۳۹-۱۰- توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری آهنگ دز خارج از اتاق حفاظ‌گذاری شده، دزیمتر محیطی قابل حمل مناسب، موجود باشد (همچنین به بخش ۷ مراجعه کنید) و اندازه‌گیری‌ها در محدوده پیرامون اتاق از جمله محل اپراتور و نواحی اشغال شده مجاور آن انجام و آهنگ دز اندازه‌گیری شده با سطوح مرجع (آستانه‌های اقدام) مقایسه شود. در صورت بالاتر بودن آهنگ دز از سطوح مرجع، توصیه می‌شود فعالیت متوقف، و از مسئول فیزیک بهداشت راهنمایی گرفته شود.

۴۰-۱۰- توصیه می‌شود عملکرد دزیمتر محیطی در ابتدای هر شیفت کاری و ترجیحاً در طول مدت هر شیفت، مطابق با دفترچه راهنمای دستگاه، بررسی شود و این بررسی شامل تست ولتاژ باتری و پاسخ دستگاه به منبع پرتو آزمون (چک سورس) باشد. در صورتی که بررسی‌ها نشان دهد دستگاه دارای خطا می‌باشد، توصیه می‌شود عملیات پرتونگاری تا فراهم شدن یک دستگاه دزیمتر محیطی سالم شروع نشود و در صورت شروع، ادامه نیابد.

۱۰-۴۱- توصیه می‌شود برای به حداقل رساندن پرتوگیری بالقوه، از کولیماتورها و حفاظ اضافی مناسب استفاده شود.

۱۰-۴۲- توصیه می‌شود قبل از انجام هرگونه عملیات پرتودهی، پرتونگار بررسی کند که کسی داخل اتاق حفاظ‌گذاری شده نباشد و بعد درب اتاق را ببندد. بهتر است پرتودهی‌ها توسط پرتونگار صرفاً زمانی آغاز شود که درب اتاق بسته باشد، تمام حفاظ‌ها در محل خود قرار داشته، و سیستم‌های ایمنی و قابلیت‌های هشدار در وضعیت عملیاتی باشند.

۱۰-۴۳- اگر لازم است از اتاق حفاظ‌گذاری شده برای اهدافی که ابتدا در مشخصات طراحی آن در نظر گرفته نشده استفاده شود، مانند پرتونگاری از لوله‌های غیرمعمول بلند با باز نگهداشتن درب اتاق یا استفاده از دوربین پرتونگاری گاما در اتاق حفاظ‌گذاری شده‌ای که مخصوص پرتو ایکس است، توصیه می‌شود از روش‌های اجرایی پرتونگاری سایت پیروی شود. این شرایط ممکن است نیاز به مجوز واحد قانونی داشته باشد.

۱۰-۴۴- توصیه می‌شود ناحیه کنترل‌شده با کمک موانع و اعلان‌ها مشخص شود، آهنگ در اطراف موانع اندازه‌گیری گردد و نظارت مداوم به‌منظور حصول اطمینان از اینکه کسی وارد ناحیه کنترل‌شده نمی‌شود، وجود داشته باشد. اگر غیرفعال شدن قفل‌های هم‌بند به‌طور موقت ضروری باشد، این وضعیت در یک ارزیابی ایمنی ویژه به‌وضوح مشخص شود و مورد توجه قرار گیرد. توصیه می‌شود قبل از استفاده بعدی از اتاق حفاظ‌گذاری شده و برای بازگشت به شرایط عادی استفاده از آن، اتاق مورد بررسی قرار گیرد.

از کاراندازی

- ۱۰-۴۵- زمانی که تأسیسات و تجهیزات یک مرکز دارای فعالیت پرتونگاری صنعتی، دیگر استفاده نمی‌شود و برنامه‌ای برای استفاده مجدد از آنها در آینده قابل پیش‌بینی نیست، توصیه می‌شود مرکز به‌طور رسمی از کاراندازی شود [۲۹ و ۳۰]. در این فرایند طبق چارچوب مقررات ملی به تمامی منابع پرتو رسیدگی و در صورت لزوم، تأییدیه واحد قانونی اخذ گردد. توصیه می‌شود فرایند از کاراندازی شامل موارد زیر باشد:
- ا) چشمه‌های پرتوزای گاما با تأییدیه واحد قانونی به مرکز مجاز دیگری منتقل شوند. در غیر این صورت، مرکز بهره‌بردار چشمه پرتوزا را به تأمین‌کننده اصلی برگرداند یا اقدامات دیگری که مورد تأیید واحد قانونی است، انجام دهد. همچنین سوابق جامع کلیه مجوزهای مربوط به نگهداری، انتقال یا دورریزی چشمه‌های پرتوزا (شامل هرگونه گواهی ارائه شده توسط دریافت‌کنندگان یا تأسیسات دورریزی پسماندهای پرتوزا) توسط مرکز بهره‌بردار نگهداری شود.
 - ب) درخصوص دوربین‌های پرتونگاری حاوی اورانیم تهی‌شده، مطابق با همان روش مربوط به چشمه‌های پرتوزای گاما رفتار شود.
 - ج) مولدهای پرتو ایکس غیرفعال شوند یا با تأیید واحد قانونی به یک مرکز دیگر منتقل گردند.
 - د) چشمه‌های پرتوزای گاما با پرتوزایی کم که ممکن است برای کار با کِرالرها یا پرتوی ایکس خطوط لوله استفاده شوند، مورد توجه قرار گیرند.
 - ه) هنگامی که کلیه منابع پرتو از سایت خارج شدند، مراکز بهره‌بردار به مسئولین مربوطه اطلاع دهند.
 - و) کلیه نمادهای اشعه و اعلان‌ها برداشته شود.
 - ز) برای تأیید اینکه هیچ چشمه پرتوزایی در سایت باقی نمانده و هیچگونه آلودگی وجود ندارد، پایش پرتوی کامل انجام گیرد.

ح) گزارش نهایی فرایند از کاراندازی که شامل پایش پرتو نهایی و جزئیات نگهداری، انتقال یا دورریزی چشمه‌های پرتوزا است، تهیه شده و به واحد قانونی ارسال گردد [۲۹ و ۳۰].

۱۱- پرتونگاری سایت

کلیات

۱۱-۱- در شرایطی که به لحاظ فیزیکی امکان انتقال اشیائی که قرار است بر روی آنها پرتونگاری انجام شود به داخل اتاق حفاظ‌گذاری شده وجود ندارد، توصیه می‌شود کار در شرایط "پرتونگاری سایت" (سایت باز) انجام شود. این روش پرتونگاری بسیار رایج است اما به دلیل عدم امکان انجام اقدامات ایمنی مهندسی شده به‌طور بالقوه خطرناک است.

۱۱-۲- مکان انجام پرتونگاری سایت به‌عنوان مثال ممکن است محل کارفرما (نظیر پالایشگاه، سکوی نفتی یا یک کارگاه ساختمانی)، یک منطقه شهری (نظیر خط لوله گاز یا ساختمان در دست احداث) یا یک فضای باز (نظیر خط لوله‌ای در یک منطقه روستایی یا غیرمسکونی) باشد.

۱۱-۳- توصیه می‌شود فعالیت پرتونگاری سایت فقط در مواردی انجام شود که انجام آن در اتاق حفاظ‌گذاری شده غیرممکن باشد. زیرا ممکن است اشیائی که لازم است پرتونگاری شوند به‌طور دائمی در یک محل ثابت شده یا برای انتقال به اتاق حفاظ‌گذاری شده، بسیار بزرگ یا سنگین باشند. در مواردی که امکان انتقال قطعات کار وجود دارد، بهتر است آنها در یک اتاق حفاظ‌گذاری شده و با رعایت کلیه تمهیدات ایمنی که در بخش ۱۰ شرح داده شده است، پرتونگاری شوند.

۱۱-۴- فعالیت پرتونگاری سایت را می‌توان با دوربین‌های گاما، دستگاه‌های مولد پرتو ایکس یا شتاب‌دهنده‌های متحرک انجام داد.

آماده‌سازی برای پرتونگاری سایت

۱۱-۵- فعالیت پرتونگاری سایت متأثر از شرایط خاص آن سایت است. برنامه‌ریزی جهت انجام عملیات ایمن در سایت شامل در نظر گرفتن مواردی همچون محل، هم‌جواری کارکنان و عموم مردم، شرایط آب و هوایی، زمان انجام کار در شبانه‌روز و همچنین لزوم کار در ارتفاع، در فضاهای بسته یا دیگر شرایط دشوار است. بهتر است قبل از انجام فعالیت پرتونگاری، ارزیابی کاملی از محیط و شرایط کار توسط مرکز بهره‌بردار انجام شود تا مسائل خاص سایت که لازم است مورد توجه قرار گیرند، شناسایی شوند.

۱۱-۶- توصیه می‌شود مراکز بهره‌برداری که فعالیت پرتونگاری سایت انجام می‌دهند، اطمینان حاصل کنند که برای هر منبع پرتو حداقل دو پرتونگار وجود دارد که یکی از آنها مسئولیت فیزیک بهداشت است (مگر اینکه در الزامات قانونی مطلب دیگری ذکر شده باشد).

همکاری با کارفرما

۷-۱۱- در مواردی که فعالیت پرتونگاری به جای مکان مرکز بهره‌بردار در محل تحت اختیار کارفرما انجام می‌شود، بهتر است در خصوص آماده‌سازی و برنامه‌ریزی شرایط انجام عملیات با کارفرما مشورت شود. توصیه می‌شود این هم‌فکری شامل انتخاب مکان و زمان مناسب برای انجام فعالیت پرتونگاری باشد. همچنین اعلان‌ها، سیگنال‌های هشدار و اخطارهای مورد استفاده در کار بین طرفین مطرح شود و مورد بحث قرار گیرد تا از سردرگمی احتمالی در سایت جلوگیری به عمل آید و در عین حال مطابق با الزامات قانونی باشد.

۸-۱۱- توصیه می‌شود کارفرما اطلاعات مربوط به هریک از سیستم‌های آشکارساز پرتو (مانند برخی از انواع آشکارسازهای دود) موجود در محل را که عملکرد آنها می‌تواند تحت تأثیر فعالیت پرتونگاری قرار گیرد، ارائه دهد. توصیه می‌شود پرتونگاران از خطرات ویژه سایت آگاهی داشته باشند و سیستم مجوز کار مربوط به کارفرما را رعایت کنند. همچنین نسخه‌ای از مقررات داخلی و برنامه‌های شرایط اضطراری مرکز بهره‌بردار به کارفرما ارائه گردد.

۹-۱۱- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار و کارفرما در مورد برنامه‌ریزی و زمان‌بندی انجام کار و نیز مدت زمان لازم برای فعالیت پرتونگاری به توافق برسند. همچنین کارفرما برای انجام ایمن کار و رعایت کلیه اقدامات ایمنی ضروری، پرتونگاران را تحت فشار قرار ندهد و به آنها فرصت کافی داده شود.

۱۰-۱۱- توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار نوع منبع پرتوی که قرار است در سایت استفاده شود را به کارفرما اطلاع دهد و اطمینان حاصل کند که محل نگهداری مناسب برای چشمه پرتوزایی که قرار است در طول شب در سایت نگهداری شود، در نظر گرفته شده است (امکان دارد این موضوع نیازمند صدور مجوز جداگانه توسط واحد قانونی باشد).

مرزبندی ناحیه کنترل شده

۱۱-۱۱- توصیه می‌شود فعالیت پرتونگاری سایت درون ناحیه کنترل شده انجام شود و تا زمانی که فعالیت پرتونگاری خاتمه نیافته و آن ناحیه دیگر ناحیه کنترل شده تلقی نمی‌گردد، اجازه انجام هیچ فعالیت دیگری در این ناحیه صادر نشود. توصیه می‌شود مرزهای ناحیه کنترل شده طوری تعیین شوند که از کمتر بودن دزهای احتمالی افراد خارج از این ناحیه از سطوح دز مرجع مربوطه اطمینان حاصل گردد.

۱۲-۱۱- ممکن است واحد قانونی حداکثر آهنگ دز مجاز (آستانه اقدام) در محل موانع یا مرزها را حین انجام فعالیت پرتونگاری سایت ۲۰-۲,۵ میکروسیورت بر ساعت در نظر بگیرد. در صورت امکان توصیه می‌شود برای محدود کردن وسعت ناحیه کنترل شده برای مولدهای پرتوی ایکس و چشمه‌های پرتوزای گاما از کولیماتور و حفاظ‌های موضعی اضافی (به عنوان مثال ورق‌های سربی) استفاده شود.

۱۳-۱۱- توصیه می‌شود مرز ناحیه کنترل شده مشخص شود و در شرایطی که به طور منطقی امکان‌پذیر باشد، مرزبندی با استفاده از روش‌های فیزیکی انجام پذیرد. این روش‌ها می‌توانند شامل استفاده از سازه‌های موجود مانند دیوارها، استفاده از موانع موقت یا محصور کردن ناحیه با استفاده از نوار باشد. جهت اطمینان از عدم دسترسی غیرمجاز به ناحیه کنترل شده توصیه می‌شود مراقبت لازم صورت گیرد.

۱۴-۱۱- توصیه می‌شود در مواردی که پرتونگاری در یک کارخانه صنعتی یا سایت ساختمانی با چندین طبقه انجام می‌شود و در آنجا نردبان، راه‌پله و غیره وجود دارد که ممکن است توسط افراد اشغال شود، مراقبت ویژه به عمل آید. توصیه

می‌شود پرتونگاران اطمینان یابند که از هرگونه دسترسی به نواحی کنترل‌شده در طبقات بالا و پایین محل کار، جلوگیری می‌شود.

۱۱-۱۵- توصیه می‌شود پرتونگاران پنل کنترل دستگاه مولد پرتو ایکس یا تجهیز کنترل از راه دور (کرنک) چشمه پرتوزای گاما را در موقعیتی قرار دهند که دز دریافتی خود را هنگام شروع و خاتمه پرتودهی به حداقل برسانند.

سیگنال‌های هشدار

۱۱-۱۶- توصیه می‌شود از سیگنال‌های هشدار مناسب برای وضعیت‌های "آماده برای پرتودهی" و "پرتو در حال تولید" یا "چشمه پرتوزای گاما در حال پرتودهی" استفاده شود. بهتر است این سیگنال‌ها از یکدیگر قابل تشخیص بوده و شنیداری یا دیداری باشند. به‌طور کلی، سیگنال‌های "پیش‌هشدار" قابل شنیدن هستند (آژیر، سوت یا زنگ)، درحالی که سیگنال‌های "پرتودهی در حال انجام" به‌صورت نورهای قابل دیدن هستند (مثلاً چراغ‌های چشمک‌زن). هنگامی که از چشمه‌های پرتوزا استفاده می‌شود می‌توان به‌صورت دستی این سیگنال‌ها را به‌کار انداخت، اما بهتر است سیگنال‌های مربوط به مولدهای پرتوی ایکس به‌طور خودکار فعال شوند.

۱۱-۱۷- توصیه می‌شود سیگنال‌ها از تمام نقاط اطراف مرز ناحیه کنترل‌شده به وضوح قابل شنیدن و/یا قابل دیدن باشند. ممکن است لازم باشد سیگنال‌های مکملی برای سیستم هشدار در نظر گرفته شود.

اعلان‌ها

۱۱-۱۸- توصیه می‌شود اعلان‌ها در مکان‌های مناسب در مرز ناحیه کنترل شده نصب شوند و این اعلان‌ها حاوی نماد اشعه، هشدارها و دستورالعمل‌ها به زبان مناسب و قابل دیدن باشند. همچنین توصیه می‌شود این اعلان‌ها مفهوم سیگنال‌های "هشدار قبل از پرتودهی" و "هشدار در حال پرتودهی" را توضیح دهند. در برخی موارد ممکن است لازم باشد در محل ورودی سایت اعلان‌های تکمیلی قرار گیرد تا افرادی که وارد سایت می‌شوند از انجام فعالیت پرتونگاری مطلع شوند.

گشت‌زنی و مونیتورینگ مرز نواحی

۱۱-۱۹- توصیه می‌شود قبل از شروع فعالیت پرتونگاری، همه افراد به جز پرتونگاران که مسئول انجام عملیات هستند، محل را تخلیه نمایند. همچنین قبل از شروع پرتودهی، پرتونگاران تأیید کنند که هیچ شخصی در ناحیه کنترل شده نیست و از دسترسی افراد به این ناحیه جلوگیری شده است.

۱۱-۲۰- توصیه می‌شود مرز ناحیه کنترل‌شده به وضوح قابل دیدن باشد، روشنایی خوبی داشته باشد و حین انجام پرتونگاری به‌طور مداوم مورد گشت‌زنی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که هیچ شخص غیرمجازی وارد این ناحیه نمی‌شود. اگر ناحیه وسیع است یا از بعضی محل‌ها تمام آن محوطه قابل دیدن نیست، توصیه می‌شود بیش از یک نفر گشت‌زنی در مرزها را انجام دهد.

۲۱-۱۱- جهت تأیید محل استقرار صحیح موانع در مرزها، توصیه می‌شود آهنگ دز پیرامون موانع با یک پرتودهی آزمایشی (یا در اولین پرتودهی، بسته به شرایط) اندازه‌گیری شده و در صورت لزوم، مرز و علامت‌گذاری ناحیه کنترل‌شده اصلاح گردد.

مونیتورینگ

دزیمر محیطی قابل حمل

۲۲-۱۱- توصیه می‌شود برای انجام عملیات پرتونگاری سایت، حداقل یک دستگاه دزیمر محیطی قابل حمل برای هر چشمه پرتوزای پرتونگاری در دسترس باشد. قبل از شروع فعالیت پرتونگاری و به‌منظور به‌دست آوردن قرائت مرجع، توصیه می‌شود دستگاه پایش پرتو در برابر یک چشمه پرتوزای آزمون یا یک دوربین پرتونگاری مورد بررسی قرار گیرد و با انجام این آزمون در برابر دوربین پرتونگاری حاوی چشمه پرتوزا، ضروری است مشخص شود که دستگاه پایش پرتو به‌درستی کار می‌کند و همچنین تأیید شود که چشمه پرتوزای گاما داخل حفاظ قرار دارد.

۲۳-۱۱- هدف اصلی انجام مونیتورینگ طی فعالیت پرتونگاری، مشخص شدن این موضوع است که آیا چشمه پرتوزای گاما داخل حفاظ خود قرار دارد و/یا انتشار پرتو ایکس پس از هر دفعه پرتودهی متوقف شده است. لذا توصیه می‌شود همیشه با دزیمر محیطی قابل حمل روشن به دستگاه‌های پرتونگاری نزدیک شد، زیرا این احتمال وجود دارد که چشمه پرتوزای گاما در موقعیت پرتودهی گیر کرده باشد، یا تابش پرتو ایکس کامل قطع نشده باشد.

دزیمر و هشداردهنده فردی

۲۴-۱۱- توصیه می‌شود دزیمرهای فردی مانند دزیمرهای ترمولومینسانس (TLD) و دزیمرهای قرائت مستقیم در تمام مدتی که پرتونگاران مشغول انجام فعالیت پرتونگاری سایت هستند، توسط آنها مورد استفاده قرار گیرد. توصیه می‌شود دزیمرهای قرائت مستقیم (به بخش ۶ مراجعه شود) به‌صورت دوره‌ای توسط پرتونگاران ارزیابی شوند تا دزهای دریافتی در حین کار را کنترل کنند.

۲۵-۱۱- هشداردهنده‌های فردی (به بخش ۶ مراجعه شود) به‌ویژه در فعالیت پرتونگاری سایت بسیار مفید هستند. توصیه می‌شود از آنها به‌عنوان ابزار کمکی مهم در شناسایی سوانح احتمالی استفاده شود. می‌توان از قبل هشدار تجهیزات را طوری تنظیم کرد تا در صورت تجاوز آهنگ دز از مقدار تنظیم شده، فعال شوند. در این صورت، پرتونگاران هنگام ورود به ناحیه‌ای با آهنگ دز بالا می‌توانند این هشدارها را به شکل لرزش، سیگنال قابل شنیدن یا قابل دیدن دریافت کنند. ۲۶-۱۱- توصیه می‌شود پرتونگاران در کل مدتی که ممکن است در معرض پرتوهای یونساز قرار بگیرند، از یک هشداردهنده فردی استفاده کنند. نکته مهم آن است که این ابزارها جایگزین دزیمرهای محیطی قابل حمل که ضروری است مورد استفاده قرار گیرند، نمی‌شوند.

اقدامات احتیاطی تکمیلی برای پرتونگاری سایت با چشمه گاما

تجهیزات

۲۷-۱۱- توصیه می‌شود در سایت فقط تجهیزاتی مورد استفاده قرار گیرد که به‌طور خاص برای پرتونگاری با چشمه گاما طراحی شده‌اند و پرتونگار با کلیه تجهیزات، نحوه عملکرد و مشکلات احتمالی آنها آشنا باشد. همچنین توصیه می‌شود پرتونگار درمورد چشمه پرتوزا، از شکل ظاهری و نحوه پرتودهی آن شناخت کافی داشته باشد. این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲۸-۱۱- توصیه می‌شود به‌طور معمول انتخاب نوع رادیونوکلئید مورد استفاده برای پرتونگاری با چشمه پرتوزای گاما متناسب با نوع و اندازه فیزیکی جسم مورد آزمون باشد. اگر مراکز بهره‌بردار چند چشمه پرتوزای گاما دارد، توصیه می‌شود از چشمه پرتوزا با کمترین پرتوایی ممکن برای دریافت تصویر^۱ مطلوب استفاده کند. به‌عنوان مثال، اگر امکان انتخاب بین دو چشمه پرتوزای Ir-192 با پرتوایی‌های ۳۷۰ GBq یا ۳۷۰۰ GBq وجود دارد و هر دو چشمه تصویر مطلوب را تولید می‌کنند، بهتر است از چشمه پرتوزا با قدرت کمتر (۳۷۰ GBq) استفاده شود.

۲۹-۱۱- استفاده از چشمه‌های پرتوزا با پرتوایی کمتر مزایای متعددی دارد، از جمله:

- کوچک‌تر شدن نواحی کنترل‌شده و ساده‌تر بودن مدیریت آنها؛
- پایین‌تر بودن آهنگ دز در محل موانع و در موقعیت اپراتور؛
- ایجاد مشکلات کمتر در صورت گیرکردن چشمه پرتوزا.

توصیه می‌شود استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مانند تقویت تصویر^۲ یا ترکیب فیلم سریع و صفحه حساس^۳ مورد توجه قرار گیرد و در صورت امکان، چنین تکنیک‌هایی جهت کاهش دز دریافتی اپراتورها به‌کار گرفته شوند.

۳۰-۱۱- توصیه می‌شود فعالیت پرتونگاری تنها زمانی انجام شود که دوربین پرتونگاری و تمام تجهیزات ضروری آن موجود بوده و در شرایط کاری مناسبی قرار داشته باشند. بهتر است این تجهیزات شامل موارد زیر باشد:

- أ) دزیمترهای محیطی قابل حمل (شامل باتری‌های اضافی) و دزیمترهای فردی؛
- ب) گایدتیوب‌ها، فنرها (کابل‌های کنترل) و تجهیزات کنترل از راه دور (کرنک‌ها)؛
- ج) کولیماورها و حفاظ‌های موضعی؛
- د) نوارها یا موانع موقتی؛
- ه) اعلان‌ها و سیگنال‌های هشدار؛

و) مجموعه لوازم مواجهه با شرایط اضطراری شامل ابزار جابه‌جایی چشمه پرتوزا از فاصله دور (انبر چشمه‌گیر) و کانتینر حفاظدار اضافی چشمه پرتوزا برای استفاده در شرایط اضطراری؛

ز) سایر تجهیزات جانبی مانند گیره‌ها برای اطمینان از قرارگیری دوربین پرتونگاری یا گایدتیوب در وضعیت ایمن و کمک به تثبیت موقعیت.

۳۱-۱۱- توصیه می‌شود قبل از استفاده از تجهیزات پرتونگاری با پرتو گاما، بررسی‌های زیر انجام شده و این موارد در دستورالعمل‌های اجرایی شرح داده شوند:

¹ radiograph

² image intensification

³ fast film and screen combinations

أ) دوربین پرتونگاری و انتهای کابل‌ها (سر فنرها) را از نظر آسیب‌دیدگی، سائیدگی یا کثیفی بررسی کنید. برای این منظور بهتر است از ابزار سنجش سائیدگی (مانند «go/no-go») که توسط سازنده ارائه می‌گردد، استفاده شود.

ب) پیچ‌ها و مهره‌ها را از نظر استحکام اتصال، و رزوه‌های پیچ و فنرها را از نظر خرابی بررسی کنید.

ج) مطمئن شوید که مکانیزم قفل چشمه پرتوزا به‌درستی کار می‌کند.

د) انتهای هلدرا را از نظر سائیدگی، آسیب‌دیدگی و اتصال مناسب به فنر (کابل کنترل) بررسی کنید. برای این منظور توصیه می‌شود از ابزار سنجش سائیدگی که توسط سازنده ارائه می‌گردد، استفاده شود.

أ) اتصالات بین دوربین پرتونگاری و کابل‌ها را از نظر وجود اتصال ایمن بررسی کنید.

ب) تمام کابل‌ها و گایدتیوب‌ها را از نظر بریدگی، شکستگی، پیچ خوردگی و جدا شدن اتصالات بازرسی کنید.

ج) جزئیات برجسب هشدار و پلاک چشمه پرتوزا را از لحاظ خوانا بودن بررسی کنید.

د) میزان پرتو را نزدیک سطح دوربین پرتونگاری اندازه‌گیری کرده و مطمئن شوید که چشمه پرتوزا درون حفاظ قرار دارد.

ه) عملکرد دزیمتر محیطی را مطابق با دفترچه راهنمای عملیاتی^۱ آن بررسی کنید.

۳۲-۱۱- در صورت مشاهده هرگونه نقص در تجهیزات، توصیه می‌شود تا زمان جایگزینی یا انجام تعمیر از آنها استفاده نشود.

آهنگ دز گذرا (لحظه‌ای)^۲

۳۳-۱۱- آهنگ دز گذرا (لحظه‌ای) در قسمت بیرونی مرز ناحیه کنترل‌شده هنگام عملیات خروج و برگشت چشمه پرتوزا بسیار بالاتر از آهنگ دز حین پرتودهی واقعی چشمه پرتوزای درون کولیماتور است. توصیه می‌شود در حین انجام این فرایندها، به‌ویژه برای تأیید اینکه هیچ شخصی در مرز ناحیه کنترل‌شده قرار ندارد و عملیات خروج و برگشت چشمه پرتوزا به‌سرعت انجام می‌شود، مراقبت لازم انجام گیرد.

نگهداری چشمه‌های پرتوزا در مکان‌های دور از مرکز

۳۴-۱۱- توصیه می‌شود دوربین پرتونگاری حاوی چشمه پرتوزا در صورت لزوم در طول شب یا بین جلسات پرتونگاری، در سایت نگهداری شود. همچنین ضرورت نگهداری منابع پرتو در مرحله برنامه‌ریزی مشخص شده باشد تا هماهنگی‌هایی با اپراتور سایت به‌منظور فراهم نمودن محل نگهداری مناسب مطابق با الزامات قانونی انجام شود.

۳۵-۱۱- توصیه می‌شود محل نگهداری موقت چشمه پرتوزا در سایت یک اتاق قفل‌دار، یک انبار با کاربری خاص یا چاله نگهداری بوده و سطح حفاظتی این مکان‌ها مشابه محل نگهداری دائمی در مقر اصلی مرکز بهره‌بردار باشد. توصیه می‌شود محل نگهداری مناسب از دوربین پرتونگاری در برابر شرایط محیطی موجود محافظت کند و سطح کافی از ایمنی را فراهم نماید. توصیه می‌شود محل نگهداری در برابر آتش مقاوم باشد تا در صورت وقوع حریق در مجاورت آن، احتمال از بین رفتن حفاظ و پوشش ایمنی به حداقل برسد. همچنین در فاصله‌ای دور از هرگونه خطر خوردگی و انفجار قرار داشته باشد.

¹ operating manual

² transient dose rates

۳۶-۱۱- توصیه می‌شود محل نگهداری از مصالحی ساخته شود که حفاظ کافی برای کاهش آهنگ دز در خارج از آن را به کمتر از سطوح تعیین شده توسط واحد قانونی فراهم کند و در صورت لزوم این محل به عنوان ناحیه کنترل شده یا ناحیه تحت نظارت تعیین شود.

۳۷-۱۱- توصیه می‌شود درب محل نگهداری قفل شود و کلیدها فقط در اختیار کارکنان مجاز قرار بگیرد. همچنین اعلان هشدار حاوی نماد اشعه بر روی درب نصب شود.

خاتمه کار و انتقال منابع پرتو از سایت

۳۸-۱۱- در خاتمه عملیات پرتونگاری، توصیه می‌شود پرتونگاران از یک دستگاه مونیتورینگ پرتو استفاده کنند تا اطمینان یابند همه چشمه‌های پرتوزای گاما به طور کامل به دوربین پرتونگاری بازگردانده شده‌اند و هیچ چشمه پرتوزایی جدا نشده یا در وضعیت پرتودهی در سایت باقی نمانده است.

۳۹-۱۱- توصیه می‌شود قبل از ترک سایت، پرتونگار بازرسی چشمی انجام دهد تا اطمینان حاصل نماید که تجهیزات آسیب ندیده‌اند. دوربین‌های پرتونگاری پس از قفل شدن و قرار گرفتن پوشش‌های محافظ در محل‌های مربوطه، آماده ترابری هستند. توصیه می‌شود دوربین پرتونگاری و تجهیزات جانبی آن درون وسیله نقلیه از نظر فیزیکی به طور ایمن قرار داده شوند تا هنگام ترابری آسیب نبینند.

اقدامات احتیاطی تکمیلی برای پرتونگاری با مولد پرتوی ایکس / شتابدهنده‌ها در سایت

۴۰-۱۱- دستورالعمل‌های ارائه شده در این بخش برای استفاده از تکنیک‌ها و دستگاه‌های مولد پرتو ایکس، از جمله شتابدهنده‌ها و پرتونگاری بلادرنگ^۱ قابل استفاده است. معمولاً ولتاژ انتخابی تیوب پرتو ایکس با کیفیت تصویر ارتباط نزدیک دارد. توصیه می‌شود تکنیک پرتودهی (مثلاً قرارگیری منبع پرتو داخل یا خارج قطعه کار، پرتونگاری تک‌دیواره یا دو دیواره) باتوجه به هر دو موضوع کیفیت خوب تصویر و به حداقل رساندن دز افراد مجاور انتخاب شود.

۴۱-۱۱- توصیه می‌شود قبل از به کارگیری دستگاه‌های مولد پرتو ایکس، بررسی‌های زیر انجام و این موارد در دستورالعمل‌های بهره‌برداری شرح داده شوند:

- أ) همه اجزاء دستگاه‌ها را از نظر آسیب قابل مشاهده بررسی کنید.
- ب) تیوب پرتو ایکس و انتهای کابل‌ها را که فاقد پوشش هستند، از نظر آسیب، سائیدگی، کثیفی و رطوبت بررسی کنید.
- ج) پیچ‌ها و مهره‌ها را از نظر استحکام اتصال، و رزوه‌های پیچ را از نظر خرابی بررسی کنید.
- د) تمام کابل‌ها را از نظر بریدگی، شکستگی، پیچ خوردگی و جدا شدن اتصالات بازرسی کنید.
- ه) تنظیمات پارامترهای پرتودهی را از نظر خوانا بودن بررسی کنید.

۴۲-۱۱- در صورت مشاهده هرگونه نقص در دستگاه‌ها بهتر است تا زمانی که جایگزینی ارائه نشده یا تعمیراتی انجام نشده، از آنها استفاده نشود.

¹ real time

۴۳-۱۱- شتابدهنده‌ها، پرتو ایکس با انرژی بسیار بالا تولید می‌کنند. آهنگ دز باریکه پرتو اصلی شتابدهنده می‌تواند از ۵۰ mGy/min (۳ Gy/h) برای یک شتابدهنده قابل حمل تا ۴ Gy/min (۲۴۰ Gy/h) برای یک شتابدهنده متحرک متغیر باشد. آهنگ دز اطراف این نوع دستگاه‌ها بسیار بیشتر از دستگاه‌های مولد پرتو ایکس معمولی است. توصیه می‌شود جهت محدود کردن پرتوگیری پرتونگاران و سایر افراد مجاور، اقدامات کنترلی کامل‌تری در نظر گرفته شود.

۴۴-۱۱- علاوه بر این، توصیه می‌شود از دزیمترهای محیطی قابل حمل مناسب استفاده شود که به‌طور دقیق به ماهیت پالسی میدان تابش پاسخ دهند و تناسب دزیمترهای محیطی قابل حملی که برای پرتونگاری معمولی با پرتو گاما و ایکس مورد استفاده قرار می‌گیرند، قبل از استفاده برای شتابدهنده‌ها تأیید شود.

۱۲- ترابری چشمه‌های پرتوزا

جابه‌جایی در محل کار

۱-۱۲- اگر لازم است دوربین‌های پرتونگاری و چشمه‌های پرتوزای گاما برای عملیات پرتونگاری درون یک سایت جابه‌جا شوند، توصیه می‌شود تا زمان انتقال به محل جدید در محل نگهداری قرار گیرند. تجهیزات جانبی از آنها جدا شده و همه درپوش‌ها (از جمله درپوش جلو و درپوش دوشاخه عقب دوربین پرتونگاری) قبل از جابه‌جایی نصب گردد.

۲-۱۲- توصیه می‌شود چشمه‌های پرتوزا فقط در شرایطی که داخل دوربین‌های پرتونگاری قرار گرفته‌اند، جابه‌جا شوند، دوربین قفل شده و کلید از روی آنها برداشته شود. اگر برای جابه‌جایی دوربین پرتونگاری از وسیله نقلیه یا چرخ دستی استفاده می‌شود، توصیه می‌شود دوربین به‌طور ایمن بر روی وسیله نقلیه یا چرخ‌دستی بسته شود و طی جابه‌جایی در محل کار نیز تحت نظارت باشد.

جابه‌جایی به سایت دیگر

۳-۱۲- اگر لازم است چشمه‌های پرتوزای گاما برای اهداف پرتونگاری سایت به محل کار دیگری حمل شوند، توصیه می‌شود تا زمان جابه‌جایی به سایت جدید در محل مخصوص نگهداری قرار گیرند و همانطور که قبلاً توضیح داده شد، تجهیزات جانبی از آنها جدا و همه درپوش‌های مورد نیاز قبل از حمل نصب گردند.

۴-۱۲- توصیه می‌شود چشمه‌های پرتوزا فقط درون بسته‌های حمل جابه‌جا شوند و این بسته‌ها قفل شده و کلید از روی آنها برداشته شود. بهتر است مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که فرایند ترابری و بسته‌های حمل از مقررات آژانس برای ترابری ایمن مواد پرتوزا [۲۳] یا مقررات ملی معادل آن^۱ پیروی می‌کنند.

۵-۱۲- همچنین توصیه می‌شود در صورت لزوم به اسناد بین‌المللی الزام‌آور برای روش‌های ویژه ترابری توجه شود. مانند دستورالعمل‌های فنی ترابری ایمن کالاهای خطرناک از طریق هوایی [۳۱]، سازمان بین‌المللی هوانوردی غیرنظامی (ICAO) و کد بین‌المللی کالاهای خطرناک دریایی (IMDG) [۳۲] سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO).

^۱ "مقررات ترابری ایمن مواد پرتوزا"، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، شناسه INRA-MA-RE-200-50/01-1-Kho. 1400

۱۲-۶- همچنین موافقت‌نامه‌های منطقه‌ای مانند توافقنامه اروپا درمورد حمل بین‌المللی کالاهای خطرناک از طریق جاده (ADR) [۳۳]، توافقنامه Partial Reach to Facilitate برای ترابری کالاهای خطرناک، امضا شده توسط دولت‌های آرژانتین، برزیل، پاراگوئه و اروگوئه (MERCOSUR /MERCOSUL) [۳۴] و توافقنامه اروپا در مورد حمل بین‌المللی کالاهای خطرناک توسط آبراهه‌های داخلی (ADN) [۳۵] نیز ممکن است اعمال شود.

۱۲-۷- مقررات ترابری آژانس [۳۳] مسئولیت‌هایی برای افرادی که در ترابری مواد پرتوزا نقش دارند، تعیین کرده است: فرستنده محموله (شخص، سازمان یا دولتی که محموله‌ای را برای ترابری آماده می‌کند)، حمل‌کننده (شخص، سازمان یا دولتی که حمل مواد پرتوزا را بر عهده دارد) و گیرنده محموله (شخص، سازمان یا دولتی که محموله را دریافت می‌کند). در بسیاری از موارد برای انجام فعالیت پرتونگاری سایت، مرکز بهره‌بردار هر سه وظیفه را انجام می‌دهد و لازم است مسئولیت‌های مربوط به هر سه وظیفه را برعهده بگیرد.

۱۲-۸- ترابری مواد پرتوزا فعالیت پیچیده‌ای است که مرور جامع‌تر الزامات مربوط به آن، خارج از دامنه کاربرد این راهنمای ایمنی است. راهنمایی درخصوص چگونگی تحقق الزامات مربوط به ترابری در مدرک مرتبط^۱ ارائه شده است [۳۶].

۱۲-۹- لازم به ذکر است راهنمای امنیت در ترابری مواد پرتوزا نیز توسط آژانس منتشر شده است [۳۷].

۱۳- آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری

کلیات

۱۳-۱- منابع پرتو مورد استفاده در فعالیت پرتونگاری صنعتی پرتوهای خروجی زیادی دارند و بالقوه بسیار خطرناک هستند. بیشتر سوانح پرتوی در نتیجه خطای اپراتور یا خرابی تجهیزات اتفاق افتاده و منجر به دریافت دزهای بالا توسط کارکنان یا مردم شده است [۱۴-۱۸].

۱۳-۲- ازجمله شرایطی که موجب وقوع برخی سوانح شده، آسیب دیدن چشمه پرتوزا یا دوربین پرتونگاری است که می‌تواند موجب گیرکردن چشمه پرتوزا در موقعیت پرتودهی، جدا شدن اتصال ته هلدرا از سرفنر کابل کنترل و رها شدن ناخواسته چشمه پرتوزا در محل شود.

۱۳-۳- پرتوگیری‌های بالای شدید زمانی رخ می‌دهند که کارکنان به‌طور فیزیکی با چشمه پرتوزای بدون حفاظ کار کرده‌اند یا چشمه پرتوزای گمشده‌ای توسط یک فرد عادی پیدا شود و با دست لمس گردد. در این شرایط آهنگ دز به اندازه‌ای بالاست که می‌تواند در عرض تنها چند ثانیه یا چند دقیقه آسیب شدیدی به افراد وارد کند. در برخی موارد، سوختگی شدید ناشی از پرتو، منجر به قطع عضو و سایر عواقب جدی در سلامتی می‌گردد.

۱۳-۴- در بسیاری از موارد با رعایت اقدامات احتیاطی زیر می‌توان از وقوع سوانح مربوط به منابع پرتو پرتونگاری صنعتی جلوگیری کرد یا پیامدهای ناشی از آنها را کاهش داد:

ا) درخصوص پرتونگاران توصیه می‌شود:

- به‌درستی آموزش دیده، واجد شرایط و دارای صلاحیت باشند؛
- از مقررات داخلی و سایر دستورالعمل‌های مربوطه پیروی کنند؛

¹ Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material

- قبل، بعد و حین انجام هربار پرتودهی از دزیمرهای محیطی استفاده کنند؛
 - پیش از استفاده از تجهیزات و دزیمرهای محیطی، بررسی‌های منظم و مناسب انجام دهند؛
 - از تجهیزات شرایط اضطراری به‌درستی استفاده کنند؛ و
 - قبل از ترک سایت، پایش محیطی نهایی محل کار را انجام دهد.
- ب) توصیه می‌شود تجهیزات پرتونگاری (از جمله تجهیزات جانبی) با استانداردهای جاری مطابقت داشته باشند.
- ۱۳-۵- هر چند پیشگیری از وقوع سوانح به‌عنوان اولین سطح دفاعی محسوب می‌شوند، با این وجود سوانح همچنان رخ می‌دهند. بنابراین توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار برنامه‌های شرایط اضطراری را از قبل تهیه نمایند تا بتوانند به‌سرعت و به‌طور ایمن برای کاهش عواقب یک سانحه اقدام کنند. توصیه می‌شود به محض اینکه شرایط اضطراری پایان یافت، گزارش آن تهیه شود و این گزارش شامل یک بازبینی با نگاه انتقادی به چگونگی اجرای دستورالعمل‌ها، درس‌های برگرفته جهت جلوگیری از تکرار سوانح مشابه در آینده، و چگونگی بهبود برنامه‌های واکنشی باشد.
- ۱۳-۶- این بخش، به سوانح و شرایط اضطراری احتمالی در پرتونگاری صنعتی اختصاص دارد و توصیه‌هایی برای تدوین برنامه‌های شرایط اضطراری جهت کاهش پیامدهای ناشی از سوانح و شرایط اضطراری ارائه می‌دهد.

تدوین برنامه‌های شرایط اضطراری

- ۱۳-۷- الزامات مربوط به تعهدات و مسئولیت‌ها برای آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری در BSS [۲] و در دو استاندارد ایمنی آژانس آمده است [۳۸ و ۳۹]. راهنمای تدوین و اجرای برنامه‌های شرایط اضطراری و روش گام‌به‌گام ایجاد توانایی یکپارچه برای پاسخ به شرایط اضطراری در سطوح سازمانی، محلی و ملی نیز از سوی آژانس در دسترس است [۴۰]. توصیه می‌شود زمانی که فعالیت پرتونگاری سایت در مکان تحت اختیار کارفرما انجام می‌شود، برنامه‌های شرایط اضطراری با کارفرما در میان گذاشته شود.
- ۱۳-۸- توصیه می‌شود سوانح بالقوه‌ای که می‌توانند بر کارکنان، مردم یا محیط زیست تأثیر بگذارند در ارزیابی ایمنی مرکز بهره‌بردار شناسایی شوند. توصیه می‌شود این موضوع به‌عنوان یک اصل در تهیه برنامه‌ها و دستورالعمل‌های شرایط اضطراری برای پاسخ به چنین رویدادهایی مورد استفاده قرار گیرد. در صورت امکان بهتر است هنگام تدوین برنامه‌ها و دستورالعمل‌های شرایط اضطراری، با یک متخصص واجد صلاحیت مشورت شود.
- ۱۳-۹- تمهیدات آمادگی برای شرایط اضطراری را می‌توان شامل چندین مرحله در نظر گرفت که توصیه می‌شود هریک از این مراحل توسط اپراتور مورد توجه قرار گیرد:
- أ) شناسایی سوانح بالقوه حین پرتونگاری صنعتی و به‌دنبال آن ارزیابی ریسک‌های مرتبط؛
 - ب) تدوین برنامه‌ها و دستورالعمل‌های شرایط اضطراری برای مواجهه با ریسک‌های شناسایی شده؛
 - ج) تعیین مشخصات تجهیزات شرایط اضطراری و تهیه آنها؛
 - د) آموزش چگونگی اجرای برنامه و دستورالعمل‌های شرایط اضطراری، از جمله آموزش استفاده از تجهیزات شرایط اضطراری در صورت لزوم؛
 - ه) انجام تمرینات در فواصل زمانی مناسب جهت آزمودن و ارزیابی امکان اجرای برنامه شرایط اضطراری؛
 - و) بازبینی و به‌روزرسانی دوره‌ای برنامه‌های شرایط اضطراری؛
 - ز) ارائه گزارش‌ها و اطلاعیه‌های سوانح و شرایط اضطراری.

۱۳-۱۰- اجرای برنامه شرایط اضطراری ممکن است مستلزم واکنش سازمان‌های بیرونی و مشاوران متخصص باشد. توصیه می‌شود این برنامه به‌وضوح جزئیات هرگونه واکنش بیرونی را بیان کند و اطمینان حاصل شود که پاسخ‌دهندگان از مسئولیت‌های خود آگاهی کامل داشته و آن را پذیرفته‌اند. توصیه می‌شود به‌طور ویژه ترتیبی اتخاذ گردد تا سیستمی برای برقراری ارتباط فوری و کارآمد بین همه طرف‌های درگیر ایجاد شود و مراکز بهره‌بردار در صورت درخواست پروانه/مجوز فعالیت پرتوی، برنامه‌های شرایط اضطراری و تمهیدات مرتبط خود را به واحد قانونی ارائه دهند.

انواع شرایط اضطراری

۱۳-۱۱- بررسی شرایط اضطراری در فعالیت پرتونگاری صنعتی نشان داده است که از گذشته به طور معمول انواع مختلفی از سوانح با منابع پرتو پرتونگاری صنعتی رخ داده است. توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار انواع سوانح مندرج در پاراگراف‌های ۱۲-۱۳ و ۱۳-۱۳ را در برنامه‌های شرایط اضطراری خود در نظر بگیرند.

۱۳-۱۲- توصیه می‌شود برای تجهیزات پرتونگاری گاما، مرکز بهره‌بردار سوانح زیر را در نظر بگیرد:

- أ) گیرکردن چشمه پرتوزا در گایدتیوب یا داخل کولیماتور یا در آستانه ورودی دوربین پرتونگاری؛
- ب) آسیب فیزیکی تأثیرگذار بر حفاظ؛
- ج) جداشدن اتصال چشمه پرتوزا از کابل هدایت‌کننده و باقی ماندن چشمه پرتوزا در گایدتیوب؛
- د) خارج شدن چشمه پرتوزا از انتهای گایدتیوب؛
- ه) گیر کردن کِراَلر خط لوله در شرایط پرتودهی چشمه پرتوزا در داخل لوله؛
- و) گم شدن چشمه پرتوزا؛
- ز) وقوع آتش‌سوزی؛
- ح) حضور افراد غیرمجاز در ناحیه کنترل‌شده حین پرتودهی.

۱۳-۱۳- توصیه می‌شود برای مولدهای پرتو ایکس، مرکز بهره‌بردار سوانح زیر را در نظر بگیرد:

- أ) تولید پرتو پس از مدت زمان تعیین‌شده خاتمه نیابد؛
- ب) مولد پرتو ایکس به‌طور ناخواسته (سهواً) فعال شود؛
- ج) پرتونگار قادر نباشد تولید پرتوها را که به‌صورت دستی کنترل می‌شود، قطع کند؛
- د) عملکرد سیستم ایمنی یا سیستم هشدار دچار اختلال شود، از جمله عمداً سیستم غیرفعال شود؛
- ه) ایراد در عملکرد دستگاه باعث شده باشد که تولید پرتو ایکس از کنترل خارج گردد؛
- و) آسیب فیزیکی بر حفاظ یا فیلتر تأثیر گذاشته باشد؛
- ز) حین پرتودهی، افراد غیرمجاز در ناحیه کنترل‌شده حضور داشته باشند.

محتوای برنامه شرایط اضطراری پایه

۱۳-۱۴- توصیه می‌شود اپراتورها اطمینان حاصل کنند که شرایط اضطراری محتمل قابل پیش‌بینی که در ارزیابی ایمنی مشخص شده است در برنامه‌های شرایط اضطراری مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای شرایط اضطراری در پرتونگاری

صنعتی، انجام واکنش خاص به نوع رویداد بستگی دارد و ممکن است بسته به تغییر شرایط محل متفاوت باشد؛ مانند زمانی که فرایند پرتونگاری بر روی داربست یا روی یک خط لوله در یک گودال انجام می‌شود.

۱۳-۱۵- توصیه می‌شود در برنامه شرایط اضطراری امکان انعطاف‌پذیری در پاسخ وجود داشته باشد و مراحل ویژه آن قبل از

اجرای برنامه تمرین شوند و تا جایی که امکان‌پذیر است، این برنامه پرتوگیری‌های ناشی از سانحه را محدود کند.

توصیه می‌شود برنامه شرایط اضطراری شامل موارد زیر باشد:

- ا) راهنمایی در مورد زمان اجرای برنامه شرایط اضطراری؛
- ب) در صورت لزوم، آموزش قبلی کارکنان مسئول اجرای دستورالعمل‌ها؛
- ج) مشخصات و اطلاعات تجهیزات موجود پاسخ به شرایط اضطراری؛
- د) داده‌های فنی و داده‌های مربوط به حفاظت رادیولوژیکی برای هریک از شرایط؛
- ه) رویه‌هایی که در مراحل مختلف به‌خصوص برای هر نوع از شرایط اضطراری مشخص شده، لازم است دنبال شوند:

۱) مرحله اولیه، مهار وضعیت،

۲) مرحله برنامه‌ریزی، اجرای برنامه و تمرین مرحله بازیابی،

۳) مرحله بازیابی، به دست آوردن دوباره کنترل وضعیت،

۴) مرحله پس از شرایط اضطراری، بازگشت به وضعیت عادی،

۵) مرحله گزارش‌دهی، تهیه گزارش همراه با ارزیابی دزها،

۶) ارجاع به متخصصان پزشکی در صورت مشاهده پرتوگیری بالا؛

و) تعیین افراد مجاز برای اجرای مراحل مختلف برنامه؛

ز) تعیین همه افراد و سازمان‌هایی که در صورت لزوم در مراحل مختلف برنامه با آنها تماس گرفته می‌شود و نیز

شناسایی شماره‌های تلفن، شماره‌های فکس و آدرس ایمیل‌های مربوطه.

۱۳-۱۶- برای به حداقل رساندن پرتوگیری‌ها و امکان واکنش مناسب توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار موارد حداقلی زیر را انجام

دهد:

ا) محدود کردن دسترسی به نزدیکی منبع پرتو - اطمینان حاصل شود موانع ناحیه کنترل‌شده برای یک موقعیت مشخص در محل درستی قرار داده شده‌اند.

ب) اطمینان حاصل شود که شرایط اضطراری به مسئول فیزیک بهداشت (و در صورت لزوم به متخصص واجد صلاحیت) اطلاع داده شده است.

ج) افراد ضمن حفظ آرامش تا فاصله امنی دور شوند، اقدامات بعدی را برنامه‌ریزی کنند، این اقدامات را بدون منبع پرتو تمرین نمایند و سپس برنامه را برای شرایط واقعی اجرا کنند.

د) از ورود به مناطق دارای آهنگ دز بالقوه بالا اما ناشناخته خودداری شود، مگر به‌همراه یک دستگاه دزیمتر محیطی کاربردی، و ترجیحاً از هشداردهنده فردی و/یا دزیمتر قرائت مستقیم نیز استفاده گردد.

ه) هرگز چشمه پرتوزا لمس نشده و از نزدیک شدن دست‌ها به آن جلوگیری شود.

و) اقدامات انجام شده از حدود صلاحیت یا مهارت شخصی تجاوز نکند.

ز) در صورت لزوم از متخصص واجد صلاحیت یا از تأمین‌کننده منبع پرتو، کمک گرفته شود.

تجهیزات شرایط اضطراری

۱۳-۱۷- توصیه می‌شود اپراتورها اطمینان حاصل کنند که تجهیزات لازم برای مقابله با کلیه موارد شرایط اضطراری محتمل قابل پیش‌بینی به راحتی در دسترس است و با انجام بازرسی‌های منظم اطمینان حاصل شود که همه تجهیزات به درستی عمل می‌کنند.

۱۳-۱۸- برای شرایط اضطراری مرتبط با منابع پرتو پرتونگاری گاما، توصیه می‌شود تجهیزات زیر در دسترس باشند:

- دزیمتر محیطی مناسب و کاربردی برای اندازه‌گیری آهنگ دزهای بالا و پایین؛
- دزیمترهای هشداردهنده فردی و قرائت مستقیم (ترجیحاً دزیمترهای فردی الکترونیکی به جای دزیمترهای قلمی)؛
- دزیمترهای فردی تکمیلی (دزیمترهای ترمولومینسانس و/یا فیلم بج)؛
- اعلان‌ها و موانع؛
- کیسه‌های ساچمه سربی و ورق سربی اضافی؛
- مجموعه ابزار مناسب و تجهیزات بازتابی چشمه پرتوزا (انبر بلند، انبردست، پیچ‌گوشتی، قیچی آهن‌بر، آچار فرانسه، اره آهن‌بر و چراغ قوه)؛
- کانتینر حفاظدار اضافی برای استفاده در شرایط اضطراری؛
- تجهیزات ارتباطی (به عنوان مثال تلفن‌های همراه، فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی)؛
- باتری‌های اضافی برای دزیمترهای محیطی، دزیمترهای فردی الکترونیکی، تلفن‌های همراه و چراغ قوه‌ها؛
- قلم، کاغذ، ماشین حساب و دفترچه ثبت سانحه؛
- کتابچه‌های راهنمای تجهیزات.

۱۳-۱۹- در صورت ایجاد شک به آسیب دیدگی کپسول چشمه پرتوزا، توصیه می‌شود مراقبت بیشتری انجام شود؛ زیرا ممکن است مواد پرتوزا از کپسول حاوی چشمه پرتوزا به بیرون نشت کند و ریسک آلودگی افراد و اشیاء مجاور آن وجود داشته باشد. شناسایی و اندازه‌گیری آلودگی پرتوزا نیازمند مهارت و تجهیزات مونیتورینگ خاصی است که احتمالاً اکثر مراکز متولی انجام پرتونگاری، به آنها دسترسی ندارند. در صورت معلوم شدن یا مشکوک شدن به شکستگی کپسول چشمه پرتوزا، توصیه می‌شود مرکز بهره‌بردار سریعاً از متخصص واجد صلاحیت مشاوره بگیرد.

دستورالعمل‌های شرایط اضطراری ویژه

چشمه‌های پرتوزای گاما

۱۳-۲۰- این بخش، به ارائه راهنمای عملی برای شرایط اضطراری مربوط به چشمه‌های پرتوزای گامای مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی اختصاص دارد. هرچند مراحل کار در کل به ترتیب لزوم انجام فهرست شده‌اند، اما بنابه ضرورت توصیه می‌شود ترتیب مراحل با وضعیت زمان پاسخ به شرایط اضطراری انطباق داده شود. به عنوان مثال توصیه کلی آن است که در هر مورد شرایط اضطراری رادیولوژیکی، اولین اولویت، محافظت از افراد باشد.

توصیه می‌شود پرتونگار (آغازگر پاسخ):

أ) تشخیص دهد که وضعیت غیرعادی به وجود آمده ممکن است باعث ایجاد شرایط اضطراری شود.

- (ب) آرامش خود را حفظ کرده و از چشمه پرتوزای در حال پرتو دهی دور شود. اطمینان حاصل کند که سایر پرتونگاران همجوار درخصوص اینکه ممکن است مشکلی به وجود آمده باشد، آگاه هستند.
- (ج) آهنگ دز پرتو را اندازه گیری کرده و دزی که توسط دزیمترهای قرائت مستقیم اندازه گیری شده را ثبت نماید.
- (د) موانع ناحیه کنترل شده را بر اساس سطوح مرجع آهنگ دز مطابق با راهنما و الزامات قانونی ایجاد یا دوباره مستقر کند.
- (ه) از دسترسی به ناحیه کنترل شده جدید، جلوگیری به عمل آورد.
- (و) ناحیه کنترل شده را بدون مراقبت رها نکند.
- (ز) به مسئول فیزیک بهداشت مرکز بهره بردار و کارفرمای متقاضی فعالیت اطلاع داده و از آنها کمک بگیرد.

توصیه می شود مسئول فیزیک بهداشت:

- (أ) بر اساس دستورالعمل های شرایط اضطراری که از قبل تعیین شده، برنامه عملیاتی مشخصی را برنامه ریزی کند که به واسطه انجام آن، کمترین دز دریافتی وجود داشته باشد.
- (ب) قبل از ورود به ناحیه کنترل شده برای اجرای برنامه شرایط اضطراری، به محلی دور از ناحیه کنترل شده برود و اقدام برنامه ریزی شده را تمرین کند.
- (ج) اقدام برنامه ریزی شده را تا حدی که آموزش، تجهیزات و مجوزها اجازه می دهند، انجام دهد. تحت هیچ شرایطی اجازه ندهد چشمه پرتوزا با دست ها یا سایر قسمت های بدن تماس پیدا کند.
- (د) اگر اقدام انجام شده ناموفق بود، ناحیه کنترل شده را ترک کرده و با حفظ نظارت بر ناحیه کنترل شده، اقدام بعدی را در نظر بگیرد.
- (ه) در صورت لزوم، از یک متخصص واجد صلاحیت یا سازنده، درخواست کمک فنی کند.
- (و) هنگامی که شرایط اضطراری به پایان رسید و منبع پرتو در وضعیت ایمن قرار گرفت، دزهای دریافتی را ارزیابی کرده و گزارش تهیه کند.
- (ز) به منظور ارزیابی دقیق پرتوگیری ها، دزیمترهای فردی را به مرکز خدمات دهنده دزیمتری برگرداند.
- (ح) تجهیزات آسیب دیده یا معیوب را قبل از هرگونه استفاده مجدد، جهت بررسی دقیق و تعمیر برای سازنده یا یک متخصص واجد صلاحیت ارسال کند.
- (ط) گزارش حادثه را تهیه و در صورت لزوم به واحد قانونی ارائه دهد.

مولدهای پرتو ایکس

۱۳-۲۱- توصیه می شود مراحل زیر در مورد وضعیت غیرعادی مربوط به مولد پرتو ایکس انجام شود:

توصیه می شود پرتونگار (آغازگر پاسخ):

- (أ) تشخیص دهد که وضعیت غیرعادی به وجود آمده ممکن است باعث ایجاد شرایط اضطراری شود.
- (ب) جریان برق دستگاه پرتونگاری را قطع کند.
- (ج) برای اطمینان از اینکه تیوب پرتو ایکس تابشی ایجاد نمی کند، پایش پرتوی انجام دهد.

د) تجهیزات پرتونگاری را تا زمانی که جزئیاتی مانند موقعیت، جهت باریکه پرتو و تنظیمات پرتو دهی (ولتاژ تیوب، جریان و زمان) ثبت نشده، حرکت ندهد.

ه) مسئول فیزیک بهداشت را از آنچه اتفاق افتاده، مطلع کند.

و) از مولد پرتو ایکس تا زمانی که توسط سازنده یا متخصص واجد صلاحیت بررسی و تعمیر نشده، استفاده نکند.

توصیه می‌شود مسئول فیزیک بهداشت:

أ) دزهای دریافتی احتمالی را ارزیابی کرده و گزارش تهیه کند.

ب) به منظور ارزیابی دقیق پرتوگیری‌ها، دزیمترهای فردی را به مرکز خدمات‌دهنده دزیمتری برگرداند.

ج) گزارش حادثه را تهیه و در صورت لزوم به واحد قانونی ارائه کند.

آموزش و تمرین

۱۳-۲۲- توصیه می‌شود همه افرادی که در اجرای برنامه‌های شرایط اضطراری مشارکت دارند، برای ایفای مؤثر نقش خود به اندازه لازم آموزش ببینند و آموزش شامل آشنایی با برنامه‌ها و درک آنها، همراه با آموزش‌های ویژه درمورد روش‌های اجرایی بازیابی منبع پرتو و استفاده از تجهیزات شرایط اضطراری باشد.

۱۳-۲۳- توصیه می‌شود کارکنان فقط بخش‌هایی از برنامه‌های شرایط اضطراری را اجرا کنند که برای آنها مجاز است، یعنی آموزش مرتبط را دیده‌اند و تجهیزات مناسب در اختیار دارند. توصیه می‌شود مقررات آموزشی به‌طور دوره‌ای مرور شود تا از مهارت دائمی کارکنان اطمینان حاصل گردد.

۱۳-۲۴- توصیه می‌شود تمرینات شرایط اضطراری برای آزمودن اجزای اصلی برنامه‌های شرایط اضطراری، در فواصل زمانی متناسب با خطر احتمالی برگزار شود؛ و هر درس آموخته شده، در زمان بازبینی برنامه‌های شرایط اضطراری در آن گنجانده شود.

بررسی‌های دوره‌ای برنامه‌ها و تجهیزات

۱۳-۲۵- توصیه می‌شود بررسی برنامه‌های شرایط اضطراری سالانه و به‌طور رسمی انجام شود تا اطمینان حاصل گردد که:

أ) همه افراد و سازمان‌هایی که در صورت لزوم در مراحل مختلف برنامه با آنها تماس گرفته می‌شود، مشخص شده‌اند و شماره‌های تلفن، شماره‌های فکس و آدرس ایمیل‌های مربوطه به‌روز هستند.

ب) تجهیزات شرایط اضطراری به‌راحتی در دسترس بوده و به‌خوبی نگهداری می‌شوند.

۱۳-۲۶- توصیه می‌شود بررسی‌های دوره‌ای شامل مقرراتی برای به‌روز رسانی مراحل مطرح شده در برنامه‌های شرایط اضطراری باتوجه به درس‌های برگرفته از تمرین‌ها یا سوانح و یا شرایط اضطراری رخ داده، باشد.

تهیه گزارش

۱۳-۲۷- هدف اصلی از آمادگی و پاسخ به شرایط اضطراری، کاهش عواقب آن است. با این حال، توصیه می‌شود بررسی منتقدانه حادثه روی داده، از همان درجه اهمیت برخوردار باشد تا بتوان بازخورد لازم را از درس‌های برگرفته دریافت و در جهت

بهبود تجهیزات، تعمیر و نگهداری، رویه‌های عملیاتی و برنامه‌های شرایط اضطراری اقدام کرد. به‌همین منظور توصیه می‌شود گزارش جامعی از هر نوع سانحه یا شرایط اضطراری تهیه گردد.

۱۳-۲۸- توصیه می‌شود گزارشات مربوط به موارد شرایط اضطراری یا سوانح، توسط مسئول فیزیک بهداشت و در صورت لزوم با کمک متخصص واجد صلاحیت تهیه، و به‌صورت مقتضی برای مدیر ارشد و واحد قانونی ارسال شود. اگر شرایط اضطراری ناشی از عملکرد نادرست تجهیزات بوده، بهتر است به تأمین‌کننده اطلاع داده شود تا تجهیزات مورد ارزیابی قرار گیرد و اقدامات لازم انجام شود.

۱۳-۲۹- توصیه می‌شود گزارش سانحه یا شرایط اضطراری شامل موارد زیر باشد:

- أ) شرح سانحه یا شرایط اضطراری با بیشترین جزئیات ممکن درمورد تجهیزات خاص درگیر در موضوع. توصیه می‌شود جزئیات در صورت امکان شامل شماره مدل‌ها و شماره سریال‌ها باشد؛
- ب) شرایط محیطی زمان وقوع سانحه یا شرایط اضطراری، با اشاره به این که آیا این شرایط نقش مهمی در ایجاد شرایط اضطراری یا سانحه، یا تأثیرگذاری بر نتیجه آنها داشته یا خیر؛
- ج) علت خاص وقوع سانحه یا شرایط اضطراری؛
- د) جزئیات اقدامات انجام شده برای به‌دست آوردن دوباره کنترل اوضاع و بازگرداندن شرایط به حالت عادی با اشاره ویژه به هرگونه اقدامی که به‌طور چشمگیری مفید یا مضر بوده است؛
- ه) آموزش و تجربه افراد درگیر در سانحه؛
- و) ارزیابی و خلاصه‌ای از دزهای دریافتی توسط همه افراد درگیر و تحت تأثیر؛
- ز) ارائه توصیه‌هایی با هدف پیشگیری از وقوع سوانح و شرایط اضطراری مشابه در آینده و کاهش عواقب در صورت وقوع سوانح مشابه یا مرتبط.

۱۳-۳۰- توصیه می‌شود یک نسخه از گزارش به واحد قانونی ارسال شود، به‌خصوص در مواردی که این موضوع به‌موجب شرایط پروانه/مجوز یا مقررات ملی الزام شده باشد و درس‌های برگرفته به همه افراد درگیر (از جمله به سازنده در صورت مرتبط بودن) ابلاغ شود و هرگونه بهسازی لازم برای افزایش ایمنی انجام پذیرد.

ضمیمه

طبقه‌بندی چشمه‌های پرتوزا توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

ض-۱ راهنمای ایمنی آژانس درمورد طبقه‌بندی چشمه‌های پرتوزا [۱۹] یک سیستم طبقه‌بندی ویژه برای چشمه‌های پرتوزای مورد استفاده در صنعت، پزشکی، کشاورزی، تحقیق و آموزش است. این سیستم می‌تواند به‌طور مقتضی و در چارچوب ملی، برای چشمه‌های پرتوزا در برنامه‌های نظامی نیز به‌کار رود.

ض-۲ راهنمای ایمنی [۱۹] یک مبنای هماهنگ‌شده در سطح بین‌المللی برای تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک است. این راهنما بر اساس یک روش منطقی و شفاف بنا شده که انعطاف‌پذیری لازم برای استفاده در شرایط مختلف فراهم می‌آورد. تصمیمات مبتنی بر ریسک را می‌توان در یک رویکرد الویت‌محور برای کنترل قانونی چشمه‌های پرتوزا با هدف ایمنی و امنیت اتخاذ کرد.

ض-۳ سیستم طبقه‌بندی بر پایه مفهوم "منابع خطرناک" بنا شده که به‌طور کمی بر اساس "مقادیر D " [۴۱] اندازه‌گیری می‌شود. مقدار D پرتوایی ویژه^۲ رادیونوکلئید موجود در چشمه پرتوزا است که اگر تحت کنترل نباشد، می‌تواند اثرات قطعی و شدیدی در طیفی از سناریوها ایجاد کند. این سناریوها شامل پرتوگیری خارجی از یک چشمه پرتوزای بدون حفاظ و پرتوگیری داخلی حاصل از پخش ماده پرتوزا است.

جدول ض-۱ پرتوایی رادیونوکلئیدهای مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی، مطابق با مقادیر آستانه‌های طبقه‌بندی‌ها

رادیونوکلئید	طبقه ۱		طبقه ۲		طبقه ۳	
	$1000 \times D$		$10 \times D$		D	
	(TBq)	(Ci) ^a	(TBq)	(Ci) ^a	(TBq)	(Ci) ^a
Cobalt-60	3.0×10^1	8.0×10^2	3.0×10^{-1}	8.0	3.0×10^{-2}	8.0×10^{-1}
Caesium-137	1.0×10^2	3.0×10^3	1.0	3.0×10^1	1.0×10^{-1}	3.0
Iridium-192	8.0×10^1	2.0×10^3	8.0×10^{-1}	2.0×10^1	8.0×10^{-2}	2.0
Selenium-75	2.0×10^2	5.0×10^3	2.0	5.0×10^1	2.0×10^{-1}	5.0
Thulium-170	2.0×10^4	5.0×10^5	2.0×10^2	5.0×10^3	2.0×10^1	5.0×10^2
Ytterbium-169	3.0×10^2	8.0×10^3	3.0	8.0×10^1	3.0×10^{-1}	8.0

^a مقادیر اصلی مورد استفاده برحسب یکای TBq (ترا بکرل) است. مقادیر برحسب کوری برای استفاده عملی ارائه شده‌اند و پس از تبدیل گرد شده‌اند.

¹ D values

² specific activity

جدول ض-۲ طبقه‌بندی پیشنهادی برای چشمه‌های پرتوزای مورد استفاده در فعالیت‌های رایج

طبقه	منابع پرتو	A/D ^{a,b}
۱	مولدهای ترموالکتریک رادیوایزوتوپی سامانه‌های پرتودهی چشمه‌های تله‌تراپی چشمه‌های تله‌تراپی چند باریکه ثابت (گاما نایف)	$A/D \geq 1000$
۲	چشمه‌های گاما ویژه پرتونگاری صنعتی چشمه‌های براکی‌تراپی با آهنگ دز بالا/متوسط	$1000 > A/D \geq 10$
۳	سنجشگرهای صنعتی ثابت حاوی چشمه‌های با پرتوایی بالا ^c سنجشگرهای چاه‌پیمایی	$10 > A/D \geq 1$
۴	چشمه‌های براکی‌تراپی با آهنگ دز پایین (به استثنای پلاک چشمی و ایمپلنت‌های دائمی) سنجشگرهای صنعتی که حاوی چشمه‌های با پرتوایی بالا نیستند تراکم‌سنج استخوان حذف‌کننده بارهای الکتریکی ساکن	$1 > A/D \geq 0.01$
۵	چشمه‌های پلاک چشمی براکی‌تراپی و ایمپلنت‌های دائمی با آهنگ دز پایین؛ دستگاه‌های پرتو ایکس فلورسانس؛ دستگاه‌های گیراندازی الکترونی؛ چشمه‌های طیف‌سنجی موزبایر؛ چشمه آزمون PET	$0.01 > A/D$ و $A > \text{سطح معاف}^d$

^a A، پرتوایی چشمه برحسب یکای TBq (ترا بکرل) است. در نسبت دادن این چشمه‌ها به یک طبقه خاص، عواملی دیگری به جز A/D در نظر گرفته شده‌اند (برای اطلاعات بیشتر به پیوست الف مرجع [۱۹] مراجعه کنید).

^b این ستون برای تعیین طبقه چشمه پرتوزا صرفاً براساس مقدار A/D قابل استفاده است؛ مثلاً در مواردی که تأسیسات/ مراکز و فعالیت‌ها شناخته شده نیستند یا ثبت نشده‌اند، یا چشمه‌های پرتوزا نیمه‌عمر کوتاهی دارند و/یا چشمه باز باشند، یا وقتی که چند چشمه کنار هم قرار گرفته‌اند (تجمع چشمه‌ها) [۱۹].

^c در راهنمای ایمنی مثال‌هایی از طبقه‌بندی ارائه شده است [۱۹].

^d مقادیر معاف در جدول I در BSS ارائه شده است. [۲]

چشمه‌های پرتوزای واپاشی کرده

ض-۴ اگر چشمه پرتوایی به سطحی پایین‌تر از آستانه تعیین شده در جدول ض-۱، یا پایین‌تر از سطوحی که به‌طور معمول در فعالیت پرتوی عادی استفاده می‌شود (طبق جدول ض-۲)، واپاشی کند، ممکن است واحد قانونی به بهره‌بردار اجازه دهد تا چشمه پرتوزا را دوباره طبقه‌بندی کرده و براساس نسبت A/D آن را به سطح امنیتی پایین‌تری انتقال دهد.

تجمع چشمه‌های پرتوزا

ض-۵ ممکن است در شرایطی چندین چشمه پرتوزا در مجاورت یکدیگر قرار بگیرند، مانند فرایندهای تولیدی (در یک مکان یا ساختمان) یا در تأسیسات نگهداری (در یک محفظه بسته). در چنین شرایطی، واحد قانونی می‌تواند پرتوایی چشمه‌های پرتوزا را تجمع کرده و بر اساس آن طبقه‌بندی ویژه‌ای برای چنین وضعیتی ارائه دهد تا اقدامات کنترل قانونی لازم به‌کار گرفته شود.

ض-۶ در چنین شرایطی، توصیه می‌شود مجموع پرتوهای رادیونوکلئید بر مقدار D متناظر آن تقسیم شود و نسبت محاسبه شده A/D با نسبت‌های A/D موجود در جدول ض-۲ مقایسه گردد. به این ترتیب می‌توان مجموعه چشمه‌های پرتوزا را بر مبنای پرتوهای شان طبقه‌بندی کرد. اگر چشمه‌های پرتوزای تجمیع شده شامل رادیونوکلئیدهای مختلفی باشد، توصیه می‌شود فرمول زیر برای تعیین طبقه‌بندی مورد استفاده قرار بگیرد:

$$A/D = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n} \text{ تجمیعی}$$

که در آن:

$A_{i,n}$ پرتوهای هر منبع منفرد i ام از رادیونوکلید n ام و
 D_n مقدار D برای رادیونوکلئید n ام است.

ض-۷ توصیه می‌شود مقدار کلی محاسبه شده برای A/D با نسبت‌های A/D ارائه شده در جدول ض-۲ مقایسه شود تا سطح ایمنی لازم برای چشمه‌های پرتوهای که در یک مکان قرار دارند، تعیین گردد. راهنمایی‌های بیشتر در خصوص تجمیع پرتوهای چشمه‌های پرتوزا در مرجع [۱۹] ارائه شده است.

- [١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 1, IAEA, Vienna (2010).
- [٢] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No.115, IAEA, Vienna (1996).
- [٣] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Regulatory Control of Radiation Sources, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-1.5, IAEA, Vienna (2004).
- [٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Generators and Sealed Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.10, IAEA, Vienna (2006).
- [٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, 2007 Edition, IAEA, Vienna (2007).
- [٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Training Guidelines in Non-destructive Testing Techniques: 2008 Edition, IAEA -TECDOC-628, Rev. 2, IAEA, Vienna
- [٧] NTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [٩] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems — Requirements, ISO 9001:2000, ISO, Geneva (2000).
- [١٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [١١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Training in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Safety Reports Series No.20, IAEA, Vienna (2001).
- [١٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Building Competence in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.4, IAEA, Vienna (2001).
- [١٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.3, IAEA, Vienna (1999).

- [١٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Cochabamba, IAEA, Vienna (2004).
- [١٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).
- [١٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [١٧] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Nueva Aldea, IAEA, Vienna (2009).
- [١٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna (1998).
- [١٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA, Vienna (2005).
- [٢٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, IAEA /CODEOC/2004, IAEA, Vienna (2004).
- [٢١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources: Guidance on the Import and Export of Radioactive Sources, IAEA /CODEOC/IMP-EXP/2005, IAEA, Vienna (2005).
- [٢٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Security of Radioactive Sources, IAEA Nuclear Security Series No.11, IAEA, Vienna (2009).
- [٢٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2009 Edition, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2009).
- [٢٤] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — General Requirements and Classification, ISO 2919:1999, ISO, Geneva (1992).
- [٢٥] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, ISO 9978:1992, ISO, Geneva (1992).
- [٢٦] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection — Apparatus for Industrial Gamma Radiography — Specifications for Performance, Design and Tests, ISO 3999:2004, ISO, Geneva (2004).
- [٢٧] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Basic Ionizing Radiation Symbol, ISO 361:1975, ISO, Geneva (1975).
- [٢٨] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Safety of Machinery— Electrical Equipment of Machines — Part 1: General Requirements, IEC Standard 60204-1 ,IEC, Geneva (2005).
- [٢٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Facilities using Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5, IAEA, Vienna (2006).
- [٣٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.2, IAEA, Vienna (1999).

- [۳۱] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air, 2007–2008 edition, ICAO, Montreal 79 (2007).
- [۳۲] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code, 2006 Edition including Amendment 33-06, IMO, London (2006).
- [۳۳] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, INLAND TRANSPORT COMMITTEE, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), 2007 Edition, UNECE, Geneva (2006).
- [۳۴] The MERCOSUR/MERCOSUL Agreement of Partial Reach to Facilitate the Transport of Dangerous Goods, Signed by the Governments of Argentina, Brazil, Paraguay and Uruguay (1994).
- [۳۵] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, INLAND TRANSPORT COMMITTEE, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways (ADN), 2007 Edition, UNECE, Geneva (2006).
- [۳۶] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2008).
- [۳۷] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Security in the Transport of Radioactive Material, IAEA Nuclear Security Series No.9, IAEA, Vienna (2008).
- [۳۸] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-2, IAEA, Vienna (2002).
- [۳۹] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2007).
- [۴۰] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, Updating IAEA -TECDOC-953, IAEA, Vienna (2003).
- [۴۱] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-values), IAEA, Vienna (2006).

پیوست (الف)

نمونه‌ای از ارزیابی ایمنی

مقدمه

الف-۱ ارزیابی ایمنی برای منابع پرتو تحت کنترل در مرکز بهره‌بردار انجام می‌شود تا مشخص گردد چه اقداماتی جهت محدود کردن پرتوگیری کارکنان لازم است. در ارزیابی ایمنی، شرایط کار عادی و احتمال وقوع حوادث در نظر گرفته می‌شود. الف-۲ در ادامه مثالی از یک ارزیابی ایمنی برای یک مرکز فرضی ارائه شده است. این مرکز فرضی با استفاده از پرتو گاما و ایکس در یک اتاق حفاظ‌گذاری شده با کاربری ویژه، آزمون غیرمخرب پرتونگاری انجام می‌دهد. در ارزیابی ایمنی مربوطه، موارد زیر لحاظ شده است:

- أ) عملیات عادی فعالیت پرتونگاری درون اتاق حفاظ‌گذاری شده؛
- ب) شرایط حوادث احتمالی و اقدامات مربوط به پیشگیری از وقوع حوادث و محدود کردن پیامدهای آنها؛
- ج) اقدامات کنترلی جهت محدود کردن پرتوگیری‌ها؛
- د) پرتوگیری‌های بالقوه و دزهای احتمالی حین انجام عملیات پرتونگاری در شرایط عادی.

منابع پرتو پرتونگاری

الف-۳ مرکز بهره‌بردار مجاز به استفاده از منابع پرتو برای پرتونگاری ایکس و گاما در اتاق حفاظ‌گذاری شده است. منابع پرتو مجاز این مرکز عبارتند از:

أ) یک دستگاه مولد پرتوی ایکس (جهت‌دار) که در ولتاژ ۲۵۰ kV و جریان ۴ mA با پرتو خروجی 4 Sv.h^{-1} در فاصله یک متری کار می‌کند؛

ب) یک چشمه پرتوزای Co-60 با حداکثر پرتوزایی ۹۲۵ GBq؛

ج) یک چشمه پرتوزای Ir-192 با حداکثر پرتوزایی ۳,۷ TBq.

افراد در معرض ریسک

الف-۴ افراد در معرض ریسک شامل پرتونگاران و سایر کارکنانی هستند که در مجاورت مکان پرتونگاری کار می‌کنند.

اقدامات موجود برای کنترل پرتوگیری‌ها

الف-۵ اتاق حفاظ‌گذاری شده دارای سیستم‌های ایمنی با کیفیت بالا است، به‌طوری که با باز شدن درب اتاق حین کار، پرتودهی مولد ایکس به‌طور خودکار قطع می‌شود و یا چشمه پرتوزای گاما، به درون حفاظ برگردانده می‌شود. همچنین در صورت باز بودن درب اتاق حفاظ‌گذاری شده، امکان شروع فرایند پرتودهی وجود ندارد.

الف-۶ با وجود سیستم‌های ایمنی و روش‌های اجرایی، اطمینان حاصل شده که در هر زمان فقط یک منبع پرتو قابل استفاده باشد. نمادهای اشعه بر روی همه درب‌ها نصب شده تا خطر احتمالی پرتو را نشان دهد. اتاق حفاظ‌گذاری شده دارای یک ابزار مونیتورینگ ثابت محیطی پرتو همراه با چراغ‌ها و سیگنال‌های هشدار است تا مشخص شود چه زمانی پرتودهی آغاز می‌شود و چه زمانی پرتودهی در حال انجام است.

الف-۷ سوئیچ‌های قطع شرایط اضطراری در اتاق حفاظ‌گذاری شده تعبیه شده‌اند. این سوئیچ‌ها توسط هر شخصی که داخل اتاق پرتونگاری قرار داشته باشد، قابل استفاده است به‌طوری‌که با کمک آنها فرد بتواند مولد پرتو ایکس را متوقف کند یا چشمه پرتوزای گاما را به درون حفاظ برگرداند.

الف-۸ اتاق طوری حفاظ‌گذاری شده که حداکثر میزان آهنگ دز در سطوح خارجی آن کمتر از $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ است. به عبارت دیگر، حداکثر دز سالانه برای فردی خارج از این ناحیه با فرض حداکثر میزان اشغال ۲۵۰ ساعت در سال، کمتر از ۰,۲۵ mSv خواهد بود. این دز تخمینی به‌عنوان دز قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

الف-۹ سیستم‌های ایمنی و روش‌های اجرایی جهت جلوگیری از دسترسی به سقف اتاق حفاظ‌گذاری شده حین انجام پرتونگاری وجود دارد.

دزهای احتمالی ناشی از حوادث

الف-۱۰ موارد زیر به‌عنوان سناریوهای حادثه قابل پیش‌بینی در نظر گرفته می‌شوند:

أ) عدم بازگشت صحیح چشمه پرتوزای گاما به داخل حفاظ خود؛

ب) چشمه پرتوزا رها شده یا جدا شده (در یک موقعیت مشخص)؛

ج) چشمه پرتوزا گم‌شده یا به سرقت رفته؛

د) خرابی سیستم هشدار یا سیستم ایمنی که منجر به ورود افراد به اتاق حفاظ‌گذاری شده حین پرتودهی شود؛

ه) آتش‌سوزی یا آسیب مکانیکی که باعث آسیب به حفاظ دوربین پرتونگاری یا شکستگی کپسول چشمه شود.

الف-۱۱ در هریک از سناریوهای فوق، بدترین حالت قابل پیش‌بینی، قرار گرفتن فرد در نزدیکی چشمه پرتوزای بدون حفاظ یا مولد پرتو ایکس فعال است. جدول الف-۱ دزهای کل بدن را که می‌تواند در نتیجه این امر ایجاد شود، نشان می‌دهد.

جدول الف-۱ آهنگ دز و زمان لازم برای پرتوگیری کل بدن

منبع پرتو (و پرتوزایی)	آهنگ دز در یک متری ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$)	زمان پرتوگیری در یک متری برای تجاوز دز کل بدن از ۲۰ mSv
کبالت - ۶۰ (925 GBq)	۳۲۵	۳,۷ دقیقه
ایریدیم - ۱۹۲ ($3,7 \text{ TBq}$)	۴۸۰	۲,۵ دقیقه
مولد پرتو ایکس در حال کار در ۲۵۰ kV و ۴ mA	۴۰۰۰	۱۸ ثانیه

الف-۱۲ آهنگ دز در فاصله بسیار نزدیک به منابع پرتو مذکور بسیار زیاد خواهد بود به‌طوری‌که:

أ) برای چشمه پرتوزای گاما، اگر دست‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در فاصله ۵ سانتی‌متری از منبع پرتو قرار بگیرند، دز دریافتی آنها تقریباً ۱۱ Gy (برای چشمه پرتوزای کبالت - ۶۰) یا ۱۶ Gy (برای چشمه پرتوزای ایریدیم - ۱۹۲) خواهد بود. این سطح از دز منجر به اثرات قطعی شدید بر روی دست‌ها می‌شود.

ب) برای مولد پرتوی ایکس مذکور، اگر دست‌ها به‌مدت ۵ دقیقه نزدیک پنجره خروجی پرتو دستگاه قرار بگیرند، دز دریافتی آنها تقریباً ۸ Gy (با فرض فاصله کانونی ۲۰ سانتی‌متری از پوست) خواهد بود. این امر منجر به اثرات قطعی شدید بر روی دست‌ها (سوختگی ناشی از پرتو) می‌شود.

الف-۱۳ مرکز بهره‌بردار فرضی اقدامات مختلفی جهت کاهش احتمال وقوع حوادث و کاهش عواقب ناشی از آن، در صورت وقوع، در نظر گرفته است. این اقدامات عبارتند از:

أ) آموزش دوره‌ای ایمنی پرتو جهت کلیه کارکنان مرتبط؛

- ب) تهیه روش‌های اجرایی مکتوب با هدف به حداقل رساندن ریسک خطای انسانی؛
- ج) تعمیر و نگهداری منظم دستگاه مولد پرتو ایکس، دوربین پرتونگاری و تجهیزات کنترل از راه دور؛
- د) بررسی‌های مکرر جهت تأیید موقعیت چشمه‌های پرتوزا؛
- ه) تعمیر و نگهداری منظم کلیه سیستم‌های ایمنی و هشدار و نیز بررسی‌های دوره‌ای عملکرد آنها؛
- و) تهیه آشکارسازهای پرتوی قابل نصب دائمی در اتاق حفاظ‌گذاری شده؛
- ز) تهیه تجهیزات مونیتورینگ پرتوی قابل حمل؛
- ح) اقدامات پیشگیرانه از آتش‌سوزی؛
- ط) تهیه برنامه‌های تفصیلی شرایط اضطراری، آموزش و تمرینات منظم مواجهه با شرایط اضطراری.

اقدامات کنترلی

- الف-۱۴ ارزیابی ایمنی مشروح فوق‌الذکر نشان می‌دهد که اقدامات حفاظتی جهت محدود کردن پرتوگیری‌ها ضروری است. تهیه حفاظ، استفاده از سیستم‌های ایمنی و هشدار، و پیروی از دستورالعمل‌های مکتوب، از جمله اقدامات لازم برای حفاظت در ناحیه کنترل‌شده است. یادآوری می‌شود که فضای داخلی اتاق حفاظ‌گذاری شده به‌عنوان ناحیه کنترل‌شده تعیین می‌گردد.
- الف-۱۵ اقدامات مشخص شده زیر این اطمینان را ایجاد می‌کنند که در محل انجام فعالیت پرتونگاری، دزهای دریافتی پرتونگاران و سایر افراد به‌طور رضایت‌بخشی تحت کنترل خواهد بود.

تعیین نواحی

ناحیه کنترل‌شده

- الف-۱۶ داخل تأسیسات حفاظ‌گذاری شده با توجه به ضرورت انجام اقدامات ویژه جهت کنترل پرتوگیری‌ها و جلوگیری یا محدود کردن میزان پرتوگیری‌های بالقوه، به‌عنوان ناحیه کنترل‌شده تعیین می‌شود. ورود به ناحیه کنترل‌شده محدود به افراد مجازی است که دارای دزیمترهای فردی هستند.

ناحیه تحت نظارت

- الف-۱۷ ناحیه مجاور قسمت بیرونی اتاق و راهروها به‌عنوان نواحی تحت نظارت تعیین می‌شوند. این انتخاب بر این اساس انجام می‌گیرد که هرچند احتمال پرتوگیری‌ها در این نواحی کم است، اما این وضعیت می‌تواند تغییر کند (مثلاً به دلیل تغییر در شیوه‌های کاری یا تخریب حفاظ). بنابراین مناسب است وضعیت این نواحی تحت نظارت قرار داشته باشد.

مقررات لازم جهت محدود کردن پرتوگیری‌ها

- الف-۱۸ مقررات داخلی دقیقی وجود دارد که رویه‌های ضروری برای محدود کردن پرتوگیری‌ها حین انجام فعالیت پرتونگاری را تشریح می‌کنند. همچنین محدود کردن پرتوگیری‌ها با استفاده از تجهیزات پرتونگاری مجهز به سیستم‌های هشدار "خود ایمن" نیز امکان‌پذیر است. با رعایت مقررات داخلی، پرتوگیری تاجایی که میسر باشد، محدود خواهد شد.

تمهیدات برای کارکنان خانم

الف-۱۹ در صورت باردار شدن کارمند خانم در مرکز بهره‌بردار، ضرورت و اهمیت اطلاع‌رسانی این موضوع به مدیریت، به وی اعلام و به‌منظور حفاظت از جنین در برابر پرتو، تمهیدات مناسب اندیشیده می‌شود.

آستانه بررسی دز

الف-۲۰ آستانه بررسی دز، ۲ میلی‌سیورت در سال توسط مدیریت تعیین شده است. در صورتی که همه سیستم‌های ایمنی به‌درستی کار کنند و کلیه دستورالعمل‌ها رعایت شوند، احتمال پرتوگیری اندک بوده و از این آستانه فراتر نمی‌رود. این مقدار تعیین‌شده یک ابزار مدیریتی مفید است و در مقررات داخلی گنجانده می‌شود.

آموزش و احراز صلاحیت

الف-۲۱ همه کارکنان برای درک ماهیت خطرات پرتو و اهمیت پیروی از روش‌های اجرایی تعیین‌شده، در سطح مناسبی آموزش دیده‌اند. به همه کارکنان اطلاع داده می‌شود که این موضوع برای به حداقل رساندن دزهای پرتو و جلوگیری از وقوع سوانح یا کاهش پیامدهای ناشی از سوانح ضروری است. همچنین همه کارکنان در سطح مناسبی از الزامات مقررات ملی مطلع می‌شوند. نیاز به آموزش مجدد توسط مسئول فیزیک بهداشت تحت بررسی قرار می‌گیرد. سوابق تمام آموزش‌های انجام شده نگهداری می‌شود. همه پرتونگاران دارای مدارک معتبر ملی در رابطه با تکنیک‌های پرتونگاری صنعتی هستند و در زمینه ایمنی پرتو، آموزش دیده‌اند.

ارزیابی دز فردی

الف-۲۲ در صورتی که برخلاف روش‌های اجرایی اقدام شود یا حادثه‌ای رخ دهد، کارکنان پرتونگاری احتمال دریافت دزهای بالا را دارند. در نتیجه، تمام کارکنان پرتونگاری تحت مونی‌تورینگ پرتوی فردی قرار می‌گیرند و دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD) که هر دو هفته تعویض می‌شوند، برای آنها صادر می‌گردد. دزیمترها در تمام دوره‌های کاری توسط افراد مورد استفاده قرار می‌گیرند و هنگام عدم استفاده، در مکانی دور از پرتوها نگهداری می‌شوند.

پایش سلامت

الف-۲۳ پرتونگاران به‌صورت سالانه توسط پزشک مورد تأیید واحد قانونی، تحت بررسی‌های پزشکی قرار می‌گیرند. پرتونگاران حق دارند نتایج بررسی‌های پزشکی خود را مشاهده کنند.

مونیتورینگ محل کار

الف-۲۴ مونیتورینگ دوره‌ای محل کار به‌منظور تعیین ناحیه کنترل‌شده و نظارت بر اثربخشی سیستم‌های ایمنی مهندسی شده انجام می‌شود. مونیتورینگ دوره‌ای اطراف نواحی کنترل‌شده و نواحی تحت نظارت یک بار در هفته و هر بار که چشمه پرتوزا تعویض می‌شود، انجام می‌گیرد. در صورت وجود هرگونه تغییر در تکنیک‌های پرتونگاری یا تغییر در جهت باریکه پرتو، مونیتورینگ ویژه انجام می‌شود. سوابق کلیه مونیتورینگ‌ها مطابق با الزامات نظارتی نگهداری می‌شوند.

الف-۲۵ علاوه بر این، امکان نمایش مداوم آهنگ دز توسط تجهیزات اندازه‌گیری پرتو نصب شده در اتاق حفاظ‌گذاری شده وجود دارد.

الف-۲۶ تجهیزات اندازه‌گیری آهنگ دز به‌صورت سالانه توسط آزمایشگاه آزمون^۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند. گواهینامه بررسی این تجهیزات توسط مسئول فیزیک بهداشت نگهداری می‌شود.

حسابرسی چشمه‌های پرتوزا

الف-۲۷ تمامی چشمه‌های پرتوزا به‌طور منحصراً به فرد قابل شناسایی هستند و مکان آنها در هر روز کاری بررسی و ثبت می‌شود. همچنین سوابق مربوط به کلیه تغییرات در چشمه‌های پرتوزا، نگهداری، و چشمه‌های پرتوزای مصرف شده به تأمین‌کننده اصلی بازگردانده می‌شوند.

ارزیابی‌های سیستم ایمنی

الف-۲۸ محدود نمودن پرتوگیری‌ها قویاً به اقدامات کنترلی وابسته است. سیستم‌های ایمنی مهندسی شده به‌عنوان اقدامات کنترلی در نظر گرفته می‌شوند. عملکرد صحیح سیستم‌های ایمنی در ابتدای هر شیفت توسط پرتونگاران بررسی، و سوابق این بررسی‌ها نگهداری می‌شود.

الف-۲۹ همچنین کلیه سیستم‌های ایمنی به‌صورت سالانه توسط یک پیمانکار ارائه‌دهنده خدمات، تعمیر و نگهداری و سوابق مربوط به آنها نگهداری می‌شود.

¹ test laboratory

پیوست (ب)

بررسی اجمالی منابع پرتو و تجهیزات مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی

ب-۱ طیف گسترده‌ای از تجهیزات پرتودهی برای انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی به صورت تجاری در دسترس هستند. این دستگاه‌ها شامل تجهیزات پرتونگاری با پرتو گاما و پرتو ایکس هستند. در این قسمت خلاصه‌ای از مشخصات کلی این تجهیزات بیان شده است.

چشمه‌های پرتوزا و تجهیزات پرتونگاری گاما

چشمه‌های پرتوزا

ب-۲ ایریدیم-۱۹۲ رادیونوکلئیدی است که رایج‌ترین کاربرد آن در فعالیت پرتونگاری صنعتی است. همچنین رادیونوکلئیدهای دیگری وجود دارند که می‌توان از آنها استفاده کرد. انتخاب چشمه پرتوزا به ویژگی‌های ماده‌ای که تحت آزمون غیرمخرب قرار می‌گیرد، بستگی دارد. هلدراهایی که مختص دوربین‌های پرتونگاری هستند از یک کپسول بسته و سیم یا میله تشکیل می‌شود. در جدول ب-۱ رادیونوکلئیدهایی که در فعالیت پرتونگاری صنعتی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند همراه مشخصات آنها ذکر شده است.

جدول ب-۱ رادیونوکلئیدها با بیشترین کاربرد در پرتونگاری صنعتی همراه با مشخصات آنها

رادیونوکلئید	انرژی	خروجی چشمه پرتوزا در یک متری ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ به ازای 37 GBq)	نیمه عمر	ضخامت معمول فولاد تحت آزمون (mm)
Co-60	1.17 و 1.33 MeV	13.0	5.3 سال	50-120
Ir-192	206-612 keV	4.8	74 روز	12-70
Se-75	97-401 keV	2.3	120 روز	8-30
Yb-169	63-308 keV	1.25	32 روز	4-20
Tm-170	51-84 keV	0.25	128 روز	2.5-12.5

ب-۳ چشمه‌های پرتوزای بسته‌ای که درون دوربین پرتونگاری قرار می‌گیرند، مناسب و سازگار با هلدرا یا نگهدارنده چشمه هستند.

انواع دستگاه‌ها و تجهیزات پرتودهی

طبقه‌بندی کلی دوربین‌های پرتونگاری

ب-۴ دوربین‌های پرتونگاری براساس قابلیت جابه‌جایی آنها طبقه‌بندی می‌شوند. دوربین‌های کلاس P و کلاس M به ترتیب قابل حمل^۱ و متحرک^۲ هستند، در حالی که دوربین‌های کلاس F ثابت^۳ می‌باشند:

^۱ portable

^۲ mobile

^۳ fixed

(۱) کلاس P: عبارتند از دوربین‌های پرتونگاری قابل حمل که برای حمل توسط یک یا چند نفر طراحی شده‌اند. جرم دوربین کلاس P از ۵۰ کیلوگرم بیشتر نمی‌باشد.

(۲) کلاس M: عبارتند از دوربین‌های پرتونگاری متحرکی که قابل حمل نیستند، اما طوری طراحی شده‌اند که می‌توانند به راحتی با وسیله مناسبی مانند گاری یا چرخ دستی که برای این منظور تدارک دیده شده، جابه‌جا شوند.

(۳) کلاس F: عبارتند از دوربین‌های پرتونگاری نصب شده و ثابت یا با دامنه حرکتی محدود که در حدود یک محیط کار مشخص، مانند اتاق حفاظ‌گذاری شده، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب-۵ هر سه کلاس دوربین پرتونگاری، معمولاً با چشمه پرتوزا به یکی از دو روش زیر کار می‌کنند.

دوربین‌های پرتونگاری نوع شاتر^۱ (دریچه‌ای)

ب-۶ در این نوع دوربین‌ها، چشمه پرتوزا همیشه درون دوربین پرتونگاری قرار دارد. با باز شدن بخشی از حفاظ (شاتر) یا با حرکت دادن (مثلاً چرخاندن) یک قطعه داخلی از دستگاه که چشمه پرتوزا روی آن نصب شده است، فرایند پرتودهی انجام می‌شود. زاویه فضایی باریکه پرتو معمولاً بیش از ۶۰ درجه نیست. برای محدودسازی بیشتر زاویه باریکه پرتو، می‌توان از کولیماتور اضافی استفاده کرد. چشمه پرتوزا یا به‌طور مستقیم و با دسته‌ای که روی دوربین پرتونگاری می‌باشد، در موقعیت پرتودهی قرار می‌گیرد؛ و یا به وسیله یک ابزار از راه دور، در جای مورد نظر گذاشته می‌شود.

دوربین‌های پرتونگاری نوع پروجکشن^۲ (هدایت‌گر)

ب-۷ در این نوع دوربین‌ها، هلدور متحرک به‌طور فیزیکی و با استفاده از یک کابل جمع‌شونده از داخل دستگاه و از طریق گایدتیوب (لوله هدایت توخالی) به خارج از حفاظ تجهیز منتقل می‌شود. برای قرار دادن چشمه پرتوزا در موقعیت مورد نظر و محدود کردن باریکه پرتو به حداقل اندازه لازم جهت پرتونگاری، نوک پرتودهی گایدتیوب درون کولیماتور قرار می‌گیرد.

ب-۸ انواعی از دوربین‌های پرتونگاری که با عنوان "کانال S" شناخته می‌شوند، به پرتونگار این امکان را می‌دهند که سیستم را فعال و چشمه پرتوزا را در فاصله ایمن در وضعیت پرتودهی قرار دهد. این نوع دوربین‌ها در مقایسه با نوع شاتر (دریچه‌ای)، سطح بالاتری از حفاظت را فراهم می‌کنند. برای چشمه‌های پرتوزا با پرتوایی بالا، استفاده از دوربین‌های پرتونگاری نوع پروجکشن جهت حصول اطمینان از این که دز دریافتی پرتونگاران طبق اصل ALARA کاهش می‌یابد، ضروری است.

ب-۹ برخی از دوربین‌های پرتونگاری از این نوع، به جای استفاده از کابل جمع‌شونده، از هوای فشرده برای قراردادن چشمه پرتوزا در وضعیت پرتودهی استفاده می‌کنند (نوع پنوماتیک). به‌طور کلی چنین دوربین‌هایی فقط به‌عنوان یک بخش از اتاق حفاظ‌گذاری شده با کاربری ویژه استفاده می‌شوند. سیستم‌هایی که برای بازگشت چشمه پرتوزا به داخل حفاظ به فشار هوا یا نیروی جاذبه متکی هستند، ممکن است به‌صورت "خود ایمن" طراحی نشده باشند. همچنین واحد قانونی در برخی کشورها استفاده از آنها را مجاز نمی‌داند.

ب-۱۰ انواع دیگری از تجهیزات پرتونگاری تخصصی شامل تجهیزات کِرالر^۳ برای کار درون لوله و تجهیزات مورد استفاده برای پرتونگاری زیر آب^۴ نیز وجود دارند.

¹ shutter type

² projection type

³ pipe crawler

⁴ underwater radiography

تجهیزات پرتونگاری زیر آب

- ب-۱۱ برای پرتونگاری در زیر آب، از دوربین‌های پرتونگاری با ویژگی‌های ایمنی اضافی نظیر موارد زیر استفاده می‌شود:
- أ) درجه‌بندی عمق، بیانگر حداکثر عمقی که می‌توان با اطمینان از دوربین استفاده کرد.
- ب) آب بندی‌هایی که از ورود گاز یا آب به قسمت‌هایی از تجهیزات که برای مقاومت در برابر این عوامل طراحی شده‌اند، ممانعت کند. دوربین‌های پرتونگاری که برای شرایط مقاومت در برابر آب و گاز طراحی شده‌اند، دارای آب‌بندهایی هستند که باعث می‌شوند تا هنگام بالا آمدن به سطح، آب و گاز از آنها خارج شوند.
- ج) مکانیزمی برای امکان استفاده ایمن از تجهیزات در حالی که غواص خارج از ناحیه کنترل‌شده قرار گرفته است.

تجهیزات کِرالر لوله

- ب-۱۲ تجهیزات کِرالر لوله برای پرتونگاری جوشکاری‌های خطوط لوله استفاده می‌شوند. این ماشین‌ها مجموعه تیوب پرتو ایکس یا چشمه پرتوزای گاما را بر روی گاری متحرکی که در امتداد درونی لوله به آرامی حرکت می‌کند، حمل می‌کنند و از باتری‌های نصب شده بر روی گاری یا یک موتور احتراق داخلی و یا کابل‌هایی است که از یک مولد برق خارج می‌شود تغذیه می‌گردند. کِرالر از خارج لوله توسط پرتونگار و با استفاده از یک منبع کنترل، فعال و کنترل می‌شود. منبع کنترل معمولاً یک چشمه پرتوزای بسته Cs-۱۳۷ با پرتوایی کم است که در یک دستگاه حمل دستی نصب و هم‌راستا شده است. پرتوهای گسیل شده از منبع کنترل، توسط یک آشکارساز نصب شده بر روی کِرالر دریافت می‌شود.
- ب-۱۳ به‌طور معمول، چشمه پرتوزای کنترل در امتداد قسمت بیرونی لوله حرکت داده می‌شود تا کِرالر را در جهت دلخواه، رو به جلو یا برعکس هدایت کند. وقتی چشمه پرتوزای کنترل در مقابل سطح بیرونی لوله نگهداشته می‌شود، کِرالر در مقابل آن متوقف شده و در انتظار باقی می‌ماند. فرایند پرتودهی به‌طور خودکار حدود ۱۰ ثانیه پس از برداشته شدن چشمه پرتوزای کنترل از سطح خارجی لوله شروع می‌شود. برخی از کِرالرها پرتو ایکس مجهز به یک چشمه پرتوزا با پرتوایی کم هستند تا به شناسایی موقعیت کِرالر درون لوله کمک کنند.
- ب-۱۴ منبع پرتونگاری حین پرتودهی داخل لوله‌های خطوط انتقال از دستگاه جدا نمی‌شود. اکثر تجهیزات کِرالر لوله طوری طراحی شده‌اند که در صورت ایجاد مشکل به‌صورت "خود ایمن" عمل کنند. یعنی در صورت قطع منبع تغذیه، چشمه پرتوزا به‌طور خودکار درون حفاظ قرار گرفته و به حالت ایمن می‌رود.
- ب-۱۵ کِرالرها خط لوله معمولاً تمام الزامات ISO 3999 را برآورده نمی‌کنند [ارجوع شود به مرجع II-1 پیوست]. بنابراین توصیه می‌شود مراکز بهره‌بردار اطمینان حاصل کنند که تدابیر اضافی مناسب برای استفاده ایمن از آنها در نظر گرفته شده است.

مرجع پیوست (ب)

[II-1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection — Apparatus for Industrial Gamma Radiography — Specifications for Performance, Design and Tests, ISO 3999:2004, ISO, Geneva (2004).

پیوست (ج)

نمونه‌هایی از حوادث پرتونگاری صنعتی

- ج-۱ در تاریخچه فعالیت پرتونگاری صنعتی حوادثی رخ داده‌اند که منجر به دریافت دزهای بالای پرتو توسط کارکنان و افراد جامعه شده و این پرتوگیری‌ها باعث شده تا افراد پرتودیده دچار آسیب‌های جدی شوند. به‌طوری‌که گاهی اوقات این آسیب‌ها منجر به قطع عضو یا حتی مرگ افراد شده است. حوادث بسیار دیگری نیز وجود داشته‌اند که منجر به صدمات جدی نشده‌اند، اما پتانسیل ایجاد چنین آسیب‌هایی را داشته‌اند و یا باعث پرتوگیری‌های غیرضروری شده‌اند.
- ج-۲ یکی از گزارش‌های ایمنی آژانس [ارجوع شود به مرجع III-1 این پیوست] مروری بر تعدادی از حوادث مربوط به منابع پرتو در پرتونگاری صنعتی است که توسط واحدهای قانونی، انجمن‌های حرفه‌ای و مجلات علمی گزارش داده شده‌اند. در این گزارش آژانس، به سناریوهایی از حوادث رخ داده در پرتونگاری صنعتی، علل اصلی و درس‌های برگرفته از آنها اشاره شده است و پیشنهادهایی به افراد و مقامات مسئول در زمینه حفاظت و ایمنی در پرتونگاری صنعتی ارائه می‌دهد. در ادامه تعداد کمی از حوادث مطرح شده‌اند تا خطرات بالقوه مرتبط با منابع پرتوی مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی، در صورت استفاده نادرست از آنها، مشخص گردد.

حادثه ۱: اخلاف در عملکرد سیستم ایمنی

- ج-۳ یک دستگاه مولد پرتو ایکس جایگزین یک دستگاه قدیمی شد. در آن زمان، قفل همبند درب اتاق حفاظ‌گذاری شده قطع شد و دیگر وصل نشد. یک سال بعد، فرد پرتونگاری جهت انجام اولین پرتودهی، دستگاه مولد پرتو ایکس را برای گرم شدن روشن کرد و سپس وارد اتاق پرتونگاری شد تا ضمن تنظیم محل فیلم، تنظیمات نهایی مربوط به وضعیت قطعه تحت آزمون را نیز انجام دهد. این تنظیمات مستلزم تعیین موقعیت مرکز باریکه با شاقولی بود که باید با انگشت شست در درگاه خروجی باریکه نگه داشته می‌شد. هیچ نشانگری درون اتاق حفاظ‌گذاری شده وجود نداشت که نشان دهد دستگاه مولد پرتو "فعال" است.
- ج-۴ وقتی پرتونگار پس از انجام تنظیمات اشاره شده، به کنار پنل کنترل بازگشت تا پرتودهی را شروع کند، متوجه شد که دستگاه از قبل روشن بوده است. تخمین زده شد که انگشت شست پرتونگار حدود ۵ ثانیه در درگاه خروجی باریکه بوده و منجر به پرتوگیری در حدود ۳,۴ سیورت در انگشت شست و ۲۹ میلی‌سیورت در تمام بدن شده است. پرتوگیری انگشت شست پرتونگار منجر به بروز التهاب و تاول پوست (سوختگی ناشی از پرتو) شد.

رویداد آغازگر

- ج-۵ راه‌اندازی دستگاه مولد پرتو ایکس جدید، بدون اطمینان از اتصال دوباره سیستم قفل همبند.

عوامل مؤثر و روش‌های پیشگیری

- ج-۶ بعد از هر بار تعمیر یا تعویض دستگاه‌های مولد پرتو و برای اطمینان از عملکرد کلیه سیستم‌های ایمنی، توصیه می‌شود روش‌های اجرایی در محل وجود داشته باشد. در این حادثه قبل از استفاده از اتاق حفاظ‌گذاری شده، بررسی‌های روزانه مربوط به قفل‌های همبند توسط پرتونگار انجام نشده بود. این بررسی می‌توانست به پرتونگار هشدار دهد که سیستم قفل همبند کار نمی‌کند. همچنین انجام پایش پرتوی حین انجام کار می‌توانست سطوح تابش را نشان دهد و از پرتوگیری جلوگیری کند. ضمناً پرتونگار سیگنال هشدار پنل کنترل را نادیده گرفته بود.

حادثه ۲: غیرفعال کردن هشدارهای ایمنی

ج-۷ حین انجام پرتونگاری در یک اتاق حفاظ‌گذاری شده، پرتونگار هنگام تعویض فیلم‌ها و انجام تنظیمات مربوط به پرتودهی بعدی، تصمیم گرفت درب اتاق را باز بگذارد تا هوا عوض شود. وقتی برای اولین بار این کار را انجام داد، سوئیچ هشدار "باز بودن درب" را به وضعیت "خاموش" تغییر داد. این اقدام باعث غیرفعال شدن سیستم هشدار تابش پرتوی اتاق حفاظ‌گذاری شده شد.

ج-۸ در پرتودهی بعدی، پرتونگار نتوانست چشمه پرتوزای کبالت-۶۰ با پرتوزایی 3000 GBq (81 Ci) مورد استفاده را به وضعیت ایمن بازگرداند و درحالی که سیستم هشدار تابش پرتو همچنان غیرفعال بود، همراه با کارگر بخش تولید که با پرتونگار کار می‌کرد، بدون استفاده از دزیمتر محیطی و دزیمتر فردی به اتاق حفاظ‌گذاری شده وارد شدند.

ج-۹ پس از ورود، پرتونگار فیلم‌ها را تعویض و کولیماتور چشمه پرتوزا را تنظیم کرد و همراه با کارگر بخش تولید از آنجا خارج شدند. هنگامی که پرتونگار برای ادامه کار سعی داشت با کرنک چشمه پرتوزا را در موقعیت پرتودهی قرار دهد، متوجه شد که چشمه پس از پرتودهی قبلی به درون حفاظ و در وضعیت ایمن برنگشته است و در زمان حضور آنها در اتاق، هردوی آنها در معرض تابش پرتو قرار گرفته‌اند.

ج-۱۰ بررسی مجدد این سانحه نشان داد که احتمالاً چشمه‌های پرتونگار ۹۰ میلی‌سیورت و قسمت‌هایی از دست او که با آن کولیماتور چشمه را تنظیم کرده بود، دزی بیش از ۴۲,۵ سیورت دریافت کرده بود. دز دریافتی چشمه‌های کارگر بخش تولید نیز ۴۰ میلی‌سیورت بوده است.

رویداد آغازگر

ج-۱۱ غیرفعال شدن عمدی قفل هم‌بند و سیستم هشدار تابش پرتوی اتاق حفاظ‌گذاری شده.

عوامل مؤثر و روش‌های پیشگیری

ج-۱۲ بهتر است سیستم هشدار به‌گونه‌ای طراحی شود که با غیرفعال شدن هشدار باز بودن درب، هشدار اصلی تابش پرتو غیرفعال نشود و رویه‌های کاری برای اطمینان از برگشتن چشمه پرتوزا به درون حفاظ و استفاده از همه دزیمترهای مناسب اجرا شود. اگر سیستم هشدار فعال می‌ماند، پرتونگار از بالا بودن سطوح پرتو مطلع می‌شد. حضور کارگر بخش تولید در ناحیه کنترل‌شده، نشان‌دهنده فقدان فرهنگ ایمنی مناسب در مرکز بهره‌بردار است.

حادثه ۳: واکنش نامناسب به خرابی تجهیزات

ج-۱۳ در سال ۱۹۹۴، یک پرتونگار با دوربین پرتونگاری حاوی چشمه ایریدیم-۱۹۲ با پرتوزایی 780 GBq (21 Ci) به‌صورت شبانه کار می‌کرد، درحالی که در قفل‌کردن دوربین مشکل داشت. وی حین کار مشاهده کرد دزیمتر فردی قرائت مستقیم همراهش مقادیر غیرعادی نشان می‌دهد، اما از آنجا که دزیمتر محیطی وی هم خراب بود، هیچ میزان پرتوی را مشاهده نکرد. پرتونگار با چکش به مجموعه قفل ضربه زد تا آن را قفل کند، بعد دوربین پرتونگاری را بدون نظارت در سایت رها کرد تا برای تهیه دزیمتر محیطی دیگری به محل اصلی شرکت برگردد.

ج-۱۴ پرتونگار دوباره به سایت بازگشت و متوجه شد که همان مشکلات قبلی را با مجموعه قفل دوربین پرتونگاری دارد. دزیمتر فردی قرائت مستقیم وی هنوز مقادیر غیرعادی نشان می‌داد و دزیمتر محیطی جدید هم درست کار نمی‌کرد. هنگام مراجعت به شرکت برای آوردن یک دزیمتر محیطی جدید دیگر، ناخواسته دزیمتر فردی قرائت غیرمستقیم ترمولومینسانس خود را در محل اصلی شرکت جا گذاشت و پس از بازگشت، بدون آن به کار در سایت ادامه داد. پس از

قرائت این دزیمر، پرتوگیری ۸,۵ میلی سیورت مشاهده شد که احتمالاً در زمان دستکاری نادرست قفل دریافت کرده بود.

رویداد آغازگر

ج- ۱۵ مواجه شدن با ایرادات مربوط به فرایند قفل دوربین پرتونگاری.

عوامل مؤثر و روش های پیشگیری

ج- ۱۶ پرتونگار هنگام وجود نقص در تجهیزات، از رویه های کاری ایمن پیروی نکرد و به طور مشخص اشتباهات زیر را مرتکب شد:

- تلاش برای تعمیر قفل دوربین پرتونگاری با استفاده از روش های تأیید نشده؛
 - عدم اطمینان از عملکرد صحیح دزیمر محیطی تهیه شده؛
 - عدم توجه به مقادیر غیرعادی قرائت شده از دزیمر فردی قرائت مستقیم؛
 - رها کردن دوربین پرتونگاری بدون مراقبت در سایت کارفرما؛
 - به همراه نداشتن دزیمر فردی قرائت غیرمستقیم ترمولومینسانس برای ادامه انجام کار.
- در صورتی که پرتونگار هریک از این کارهای الزامی را انجام می داد، میزان پرتوگیری وی به حداقل می رسید.

حادثه ۴: پرتوگیری در یک خط لوله

ج- ۱۷ یک پرتونگار مجوز انجام فعالیت پرتونگاری با دستگاه مولد پرتو ایکس را برای خط لوله یک ایستگاه تقویت فشار گاز گرفت. برای انجام کار مانعی نصب شد که به وضوح حدود ناحیه کنترل شده را مشخص می کرد؛ همچنین قبل و در حین پرتودهی، اعلان خطر داده شد.

ج- ۱۸ چند پرتودهی انجام شد و تیوپ پرتوی ایکس هنوز فعال بود که پرتونگار دو مرد را که کمی دورتر و در امتداد خط لوله مشاهده کرد. استعلام ها نشان داد که آنها هم برای انجام کار در آن محل مجوز داشتند و در حال بازرسی داخلی از خط لوله بودند که حین انجام بازرسی های خود، ناخواسته دو بار در مسیر باریکه پرتو ایکس قرار گرفتند.

ج- ۱۹ در شبیه سازی این اتفاق مشخص شد که هریک از بازرسان ۰,۲ میلی سیورت دز دریافت کرده اند.

رویداد آغازگر

ج- ۲۰ ناهماهنگی بین فعالیت هایی که همزمان در سایت انجام می شود.

عوامل مؤثر و روش های پیشگیری

ج- ۲۱ پرتونگار کنترل های لازم را برای نظارت بر ناحیه انجام نداد و منجر به پرتوگیری دو نفر شد. قبل از شروع فعالیت پرتونگاری لازم بود کلیه هماهنگی ها را انجام دهد و اطلاعات مربوطه را از مدیر سایت کسب کند تا امکان کنترل ناحیه در عملیات پرتونگاری در تمام مدت وجود داشته باشد. همچنین کنترل های لازم (موانع و اعلان های خطر) برای نقاط ورودی به ناحیه کنترل شده، به صورت مناسب انجام نشد.

حادثه ۵: مرگ بر اثر پرتوگیری بالا

ج-۲۲ در سال ۱۹۸۴ سانحه خطرناکی اتفاق افتاد که در آن هشت نفر از مردم به علت پرتوگیری بالا از یک چشمه پرتونگاری جان باختند. در این سانحه، چشمه ایریدیم-۱۹۲ با پرتوایی 1100 GBq (30 Ci) از کابل هدایت‌کننده (فتر کرنک) جدا شد و به حفاظ برنگشت.

ج-۲۳ با جدا شدن گایدتیوب از دوربین پرتونگاری چشمه پرتوزا روی زمین افتاد [او پرتونگار متوجه نشد]، درست در محلی که رهگذری یک استوانه فلزی ظریف دید، آن را برداشت و به خانه برد. اگرچه دوربین پرتونگاری دارای نماد اشعه بود، اما روی خود چشمه پرتوزا هیچ علامت خطری مربوط به اشعه وجود نداشت.

ج-۲۴ این چشمه پرتوزا از ماه مارس تا ژوئن ۱۹۸۴ ناپدید شده بود. در این مدت مجموعاً هشت نفر شامل خود رهگذر، اعضای خانواده و نزدیکان وی جان باختند. تشخیص بالینی علت مرگ‌ها، "خونریزی ریه" بود. ابتدا تصور بر این بود که این مرگ‌ها ناشی از مسمومیت است و فقط بعد از درگذشت آخرین عضو خانواده بود که مشکوک شدند شاید مرگ‌ها ناشی از پرتو بوده باشد.

رویداد آغازگر

ج-۲۵ به‌جا ماندن هلدردر محیط کار پس از جدا شدن از کابل هدایت‌کننده (فتر کرنک) و افتادن بر روی زمین.

عوامل مؤثر و روش‌های پیشگیری

ج-۲۶ هیچگونه پایش پرتوی برای اطمینان از بازگشت کامل چشمه پرتوزا به درون حفاظ انجام نشد، در غیر این صورت، مسئله روشن می‌شد و امکان داشت از وقوع سانحه و پیامدهای آن جلوگیری شود. همچنین رهگذر با مشاهده هلدردر، خطر بالقوه برای سلامتی مرتبط با چشمه را تشخیص نداد. لذا اگر چشمه پرتوزا دارای علائم خطر بود، ممکن بود این پیامدها کمتر شود.

حادثه ۶: خرابی قفل دوربین پس از تعمیر غیراصولی

ج-۲۷ در یک رویداد پرتونگاری گزارش شد که جدا شدن مکانیزم قفل یک دوربین پرتونگاری به رخدادی پرتوی منجر شده است. جدا شدن قفل شرایطی ایجاد کرد که چشمه ایریدیم - ۱۹۲ با پرتوایی 3600 GBq (98 Ci) از دوربین بیرون بیفتد. سانحه پس از نیمه‌شب و زمانی اتفاق افتاد که دو پرتونگار در نور کم مشغول کار پرتونگاری بودند.

ج-۲۸ فیلم‌های تهیه‌شده برای ظهور برده شدند و پرتونگار به‌گمان این که کار تمام شده، فیلم‌بج خود را برداشت و به گیره کمد آویزان کرد. با وجود این، او ناچار شد چند پرتونگاری را تکرار کند؛ اما فراموش کرد که دوباره فیلم‌بج را روی سینه نصب کند.

ج-۲۹ پرتونگار برای انتقال دوربین پرتونگاری از محل اول به محل دوم جهت تکرار پرتونگاری، کابل کرنک را با دست چپ و دوربین را با دست راست بلند کرد. پس از چند قدم، کابل هدایت‌کننده از دوربین جدا شد و به زمین افتاد. او به‌گمان این که چشمه پرتوزا از آن جدا شده است، دوربین را پشت کامیون گذاشت. کابل کنترل را از حدود یک متری انتهایش بلند کرد و دستش را به‌سرعت به‌سمت رابط انتهای فتر حرکت داد. او چیزی را که تصور می‌کرد رابط فتر است، در مشت گرفت و تا ۱۵ سانتی‌متری صورتش برد. وقتی فهمید که آنچه در دست دارد چشمه است، آن را پرت کرد؛ به همکارش هشدار داد و از محل فرار کرد.

ج-۳۰ بازبینی سناریو و محاسبه پرتوگیری‌ها نشان داد که پرتونگار، دز تمام‌بدنی برابر با ۶ میلی‌سیورت و نیز دز عدسی چشمی برابر با ۶ میلی‌سیورت دریافت کرده است. بدترین پرتوگیری به انگشتان دست او مربوط می‌شد که ۱۹ سیورت تخمین زده شد.

ج-۳۱ مغزی قفل دوربین پرتونگاری توسط دو پین استوانه‌ای در محل خود نگه داشته می‌شود. یکی از این دو پین مفقود شده بود و شاید مدتی بود که سر جای خود قرار نداشت، درحالی‌که دومی تنها به بدنه دوربین وصل بود و نه به مغزی قفل، این وضعیت امکان می‌داد مغزی قفل، فنر و قطعه متحرک از مجموعه قفل خارج شود. کابل هدایت‌کننده به هلدِر چشمه وصل بود اما وقتی این بخش از قفل از بدنه آن خارج شد، کابل هدایت‌کننده هلدِر چشمه را هم از دوربین بیرون کشید و چشمه در وضعیت پرتودهی قرار گرفت.

رویداد آغازگر

ج-۳۲ پین‌های استوانه‌ای که مغزی قفل را در جای خود نگه می‌داشتند مفقود شده بودند.

عوامل مؤثر و روش‌های پیشگیری

ج-۳۳ پرتونگار با این فرض که چشمه پرتوزا جدا شده، وضعیت را با استفاده از دزیتر محیطی مورد بررسی قرار نداد. یک بازبینی و برنامه تعمیر و نگهداری مناسب می‌توانست نبود پین‌های استوانه‌ای را آشکار و امکان تعمیر و جایگزینی آن‌ها را فراهم کند. در بازدید معمول روزانه، لقی مغزی قفل پیش از انجام پرتونگاری آشکار می‌شد. به‌علاوه، برداشتن فیلم‌بیج پیش از خاتمه فعالیت پرتونگاری و عدم استفاده از تجهیزات مونیتورینگ، تخطی از الزامات قانونی است و فرهنگ ایمنی ضعیف را نشان می‌دهد.

حادثه ۷: پرتوگیری بالا به علت نگهداری نامناسب

ج-۳۴ یک پرتونگار به‌اتفاق کمک خود با چشمه ایریدیوم-۱۹۲ با پرتوزایی ۳۰۰۰ GBq (۸۰ Ci) کار می‌کردند. پس از اتمام عملیات پرتودهی، کمک پرتونگار تجهیزات را از یکدیگر جدا کرد، آنها را در کامیون قرار داد و به پایگاه بازگشت. به‌محض ورود به پایگاه، دوربین پرتونگاری را از کامیون به محل نگهداری منتقل کرد. هنگامی که برای قرار دادن دوربین پرتونگاری بر روی قفسه آن را کج کرد، هلدِر از داخل دوربین روی زمین افتاد. هشداردهنده تابش محل نگهداری، او را از خطر آگاه کرد؛ چشمه با موفقیت بازیابی شد و در وضعیت ایمن قرار گرفت.

رویداد آغازگر

ج-۳۵ بررسی‌ها نشان داد که نگهداری دوربین پرتونگاری به‌درستی انجام نشده بود. ضامن فنری که برای ثابت نگه‌داشتن چشمه پرتوزا در وضعیت ایمن طراحی شده بود، کار نمی‌کرد. ضامن به‌دلیل گرد و غبار در وضعیت قفل‌نشده، گیر کرده بود. به‌علاوه، پرتونگار نه شاتر را در حالت بسته (off) قرار داده بود و نه درپوش گرد و غبار قسمت جلوی دوربین پرتونگاری را نصب کرده بود. مجموعه این عوامل باعث شد تا چشمه روی زمین بیفتد.

عوامل مؤثر و روش‌های پیشگیری

ج-۳۶ مکانیزم قفل به‌دلیل تجمع خاک در وضعیت باز گیر کرد. نگهداری نامناسب و تمیز نکردن تجهیزات باعث خرابی قفل شد. الزامات ایمنی ثانویه مانند تغییر وضعیت شاتر به حالت بسته (off) و نصب درپوش مخصوص گرد و غبار نیز رعایت

نشود. در صورتی که هریک از این مراحل انجام می‌شد، چشمه پرتوزا از دوربین پرتونگاری بیرون نمی‌افتاد. ترکیب این شرایط منجر به سقوط چشمه پرتوزا بر روی زمین شد.

مرجع پیوست (ج)^۱

[III-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna (1998).

^۱ این گزارش با عنوان *درسهای برگرفته از سوانح در پرتونگاری صنعتی* در سال ۱۴۰۱ توسط اداره کل حفاظت در برابر اشعه منتشر شده و در پرتال nrpd.ir جهت استفاده علاقه‌مندان در دسترس است.