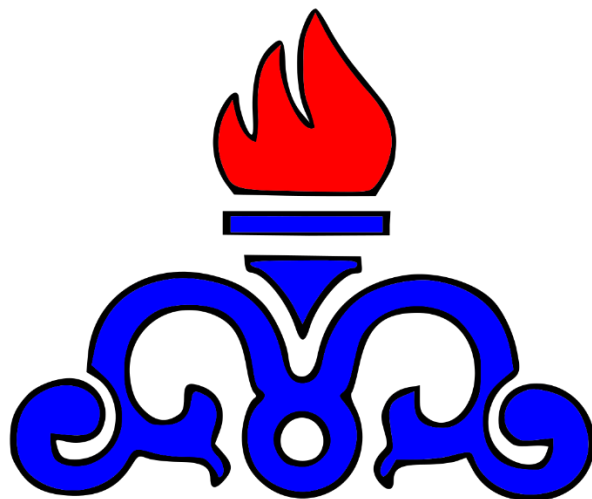




شرکت ملی گاز ایران

امور بهداشت، ایمنی و محیط زیست

دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری

HSE-IN-S-205(0)-98

تدوین این دستورالعمل رافع مسئولیت‌های
قانونی و پیمانی افراد و پیمانکاران نمی‌باشد.

فرم مشخصات دستورالعمل:

عنوان دستورالعمل: دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری			
شناسه دستورالعمل:			
تاریخ	شماره ویرایش	تعداد صفحات	شرح

شماره اصلاحیه	تاریخ	شماره بخش / بخش های تغییر یافته	شماره صفحه / صفحات



برخلاف نگرانی‌های عمومی در مواجهه با پرتوهای یون ساز باید در نظر داشت که نوع بشر در حضور دائمی پرتوهایی که به‌طور طبیعی در محیط زیست وجود دارد تکامل یافته است؛ اما در سال‌های اخیر علاوه بر پرتوهای یون ساز ناشی از منابع طبیعی، منابع تولیدکننده دیگری چون دستگاه‌های رادیولوژی، پزشکی هسته‌ای، رادیوتراپی، نیروگاه‌های هسته‌ای و استفاده از پرتونگاری در صنعت نیز از عوامل مصنوعی پرتوگیری به حساب می‌آید. پرتوها به دلیل میزان انرژی بالا باعث یونیزاسیون اتم‌ها می‌شوند، یونیزاسیون اتم‌ها موجب تخریب ساختار مولکول‌های حساس زیستی می‌گردد، این امر عملکرد طبیعی سلول‌ها را مختل کرده و بافت‌های سازنده اندام‌های بدن را تخریب می‌کند. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که در برخورد با انواع پرتوها وجود دارد عدم احساس آن‌ها توسط حواس پنج‌گانه است. این عدم توانایی باعث شده تا افراد خطرات بالقوه پرتوها را نادیده گرفته، حتی در بعضی موارد ریسک ناشی از آن را برای خود افزایش دهند از جمله مهم‌ترین و قدیمی‌ترین کاربردهای پرتوهای رادیواکتیو کنترل کیفیت و بررسی یکپارچگی ساختار مواد به روش غیر مخرب است که به آن رادیوگرافی صنعتی می‌گویند. بررسی کیفی محصولات نه تنها باعث کاهش هزینه‌ها و مرغوبیت کالا شده بلکه افزایش ایمنی برای کارکنان، مردم و محیط زیست را به همراه دارد. علاوه بر شرایط کاری سخت (مانند کار در فضاها محدود، درجه حرارت بسیار بالا یا هوای بسیار سرد، کار در نیمه‌های شب، کار روی سکوها دریا و در اعماق آب‌ها)، آنچه رادیوگرافی صنعتی را از برخی دیگر مشاغل پرتوی متمایز می‌کند استفاده از منابع ایکس و گامای قوی برای داشتن نفوذ کافی در مواد سخت از دیگر تفاوت‌ها است که در صورت عدم تجربه و علم کافی، اثرات زیان‌بار این پرتوها را تشدید می‌کند. بدیهی است کار با منابع پرتوی قوی در چنین شرایط نامطلوبی امکان رعایت اصول حفاظت در برابر اشعه و نکات ایمنی را جهت نگه‌داشتن میزان پرتوگیری در کمترین مقداری که از لحاظ منطقی قابل دستیابی است برای پرتوکاران مشکل می‌سازد. گرچه به باور متخصصان ایمنی پرتوها، می‌توان پرتونگاری صنعتی را به شیوه‌ای امن، با خطری ناچیز و با خطایی بسیار کمتر از مشاغل دیگر انجام داد؛ با این وجود پرخطرتر بودن رادیوگرافی صنعتی به‌عنوان یکی مشاغل مرتبط با پرتوهای یون ساز غیرقابل انکار است. بنا به تجربه‌های موجود عدم رعایت مقررات و توصیه‌های ایمنی در این حرفه حوادث ناگوار و پیامدهای بهداشتی وخیمی چون قطع عضو، سوختگی‌های شدید، تخریب‌های کروموزومی و حتی مرگ را رقم می‌زند. از این رو قبل از شروع به انجام فعالیت پرتونگاری، ایجاد شرایط لازم و کافی جهت به حداقل رساندن ریسک احتمالی ناشی از کار با پرتو یک ضرورت است.

فهرست مطالب

۱- هدف.....	۹
۲- دامنه کاربرد و محدوده تأثیر	۹
۳- مسئولیت ها و ضمانت اجرا.....	۹
۴- تعاریف	۹
۵- مراجع و مستندات	۱۵
۶- اقدامات	۱۶
۱-۶- مقدمه	۱۶
۲-۶- مخاطرات استفاده صنعتی از پرتوهای رادیواکتیو.....	۱۷
۳-۶- اصول اساسی حفاظت در برابر اشعه	۱۸
۴-۶- ایزوتوپ های مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی	۲۰
۲-۴-۶- ایریدیوم ۱۹۲	۲۱
۳-۴-۶- کبالت-۶۰	۲۲
۴-۴-۶- سزیم ۱۳۷	۲۳
۵-۶- الزامات چشمه های پرتونگاری صنعتی و هلدرها.....	۲۳
۱-۵-۶- معیارهای انتخاب چشمه	۲۳
۲-۵-۶- کپسول سازی چشمه های پرتوزا.....	۲۴
۳-۵-۶- ضوابط لازم برای هلدرها	۲۵
۶-۶- الزامات دوربین های پرتونگاری صنعتی و تجهیزات کمکی آن	۲۶
۱-۶-۶- ضوابط ایمنی حائز اهمیت برای دوربین های پرتونگاری.....	۲۶
۲-۶-۶- تجهیزات کمکی دوربین	۳۱
۷-۶- کولیماتور	۳۳
۸-۶- حفاظ گذاری در برابر پرتوها.....	۳۶
۱-۸-۶- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای آلفا	۳۷
۲-۸-۶- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای بتا	۳۷
۳-۸-۶- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای ایکس و گاما.....	۳۷
۴-۸-۶- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای نوترونی	۳۸
۹-۶- محدوده و مرز نواحی ممنوعه، کنترل شده و تحت نظارت در عملیات پرتونگاری	۳۸



- ۴۱-۹-۲- روش های مرزبندی و مانیتورینگ محل انجام عملیات پرتونگاری.....
- ۴۲-۹-۳- آستانه های اقدام.....
- ۴۳-۱۰-۱- انواع پرتوگیری شغلی.....
- ۴۴-۱۰-۲- وظایف پرتو کاران در اجرای برنامه مانیتورینگ فردی.....
- ۴۵-۱۱-۱- دُزیمتری.....
- ۴۵-۱۲-۱- دزیمتری فردی.....
- ۴۵-۱۲-۱- فیلم بچ.....
- ۴۸-۱۲-۲- دُزیمتر ترمولومینسانس (TLD).....
- ۴۹-۱۲-۳- دُزیمتر جیبی یا قلمی.....
- ۵۰-۱۳-۱- دستورالعمل های فوریت های پرتوی.....
- ۵۰-۱۳-۱- سوانح مربوط به دستگاه های اشعه ایکس و روش های مقابله با آن ها.....
- ۵۱-۱۳-۲- سوانح مربوط به دوربین های پرتونگاری.....
- ۵۲-۱۳-۳- آستانه های پرتوگیری و حدود در سوانح.....
- ۵۲-۱۳-۴- آمادگی و پیشگیری از بروز سوانح.....
- ۵۳-۱۳-۵- تجهیزات مورد نیاز جهت رفع سانحه.....
- ۵۴-۱۳-۶- تفکیک وظایف افراد در هنگام بروز حادثه.....
- ۵۵-۱۴-۱- سوانح متداول در پرتونگاری صنعتی و روش مقابله با آن ها.....
- ۵۶-۱۴-۱- گم شدن چشمه پرتونگاری.....
- ۵۸-۱۴-۲- بیرون افتادن چشمه از تجهیزات پرتونگاری.....
- ۵۸-۱۴-۳- آسیب دیدن هلدنر چشمه.....
- ۵۹-۱۴-۴- آسیب دیدگی هلدنر چشمه (کپسول چشمه سالم است).....
- ۶۰-۱۴-۵- شکستگی کپسول چشمه (از هم پاشیدگی پولک های چشمه).....
- ۶۱-۱۴-۶- نقص در سیستم برگشت چشمه به داخل محفظه.....
- ۶۵-۱۴-۷- سقوط دوربین و یا هلدنر چشمه از ارتفاع.....
- ۶۶-۱۴-۸- درگیر بودن دوربین یا چشمه در حوادث آتش سوزی.....
- ۶۷-۱۴-۹- سانحه به هنگام جابجایی و حمل و نقل دوربین.....
- ۶۷-۱۴-۱۰- نحوه اطمینان از رفع سانحه.....
- ۶۷-۱۵-۱- اقدامات پس از رفع سانحه.....
- ۶۸-۱۶-۱- نحوه اطلاع رسانی سانحه و تلفن های اضطراری.....
- ۶۹-۱۷-۱- دستورالعمل حمل و نقل.....
- ۶۹-۱۷-۱- مواردی که باید توسط پرتونگار در هنگام حمل و نقل کنترل گردد.....
- ۶۹-۱۷-۲- وظایف و مسئولیت های مسئول فیزیک بهداشت.....
- ۷۰-۱۷-۳- وظایف پرتونگاران جهت کاهش دز دریافتی در هنگام حمل و نقل مواد پرتوزا.....

- ۶-۱۷-۴- تمهیدات وسیله نقلیه در حمل و نقل مواد پرتوزا..... ۷۰
- ۶-۱۷-۵- جابه جایی چشمه درون سایت شرکت و کارخانه..... ۷۱
- ۷- پیوست ها..... ۷۳
- ۷-۱- پیوست الف: قانون حفاظت در برابر اشعه (مصوب ۱۳۶۸/۱/۲۰)..... ۷۴
- ۷-۲- پیوست ب: علائم هشدار و برچسب های خطر اشعه..... ۷۹
- ۷-۳- پیوست پ: ساختار و پروسه پیشنهادی آژانس بین المللی انرژی اتمی برای تدوین یا ویرایش دستورالعمل ها و استانداردهای ایمنی..... ۸۱
- ۷-۴- پیوست ت: یکاهای اندازه گیری مورد استفاده در مبحث پرتونگاری..... ۸۳
- ۷-۴-۱- واحد پرتو دهی..... ۸۳
- ۷-۴-۲- دُز پرتو، D..... ۸۳
- ۷-۴-۳- آهنگ دز پرتو، $\frac{dD}{dt}$ ۸۳
- ۷-۴-۴- دُز معادل..... ۸۴
- ۷-۴-۵- معادل دُز..... ۸۴
- ۷-۴-۶- دُز مؤثر، معادل دُز مؤثر..... ۸۴
- ۷-۵- پیوست ث: اصول و مبانی آشکارسازی پرتوهای یون ساز..... ۸۷
- ۷-۵-۱- آشکارسازی ساده..... ۸۷
- ۷-۵-۲- مشخصه های اصلی در آشکارسازهای پرتو..... ۸۷
- ۷-۵-۳- انواع آشکارسازها..... ۸۹
- ۷-۵-۴- آشکارسازهای گازی..... ۸۹
- ۷-۵-۵- آشکارساز یا اتاقک یون ساز..... ۹۱
- ۷-۵-۶- آشکارساز یا شمارشگر تناسبی..... ۹۲
- ۷-۵-۷- آشکارساز یا شمارشگر گایگر- مولر..... ۹۲
- ۷-۵-۸- آشکارسازهای جرقه ای..... ۹۳
- ۷-۵-۹- آشکارسازهای نیمه هادی..... ۹۳
- ۷-۶- پیوست ج: اثرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز..... ۹۵
- ۷-۶-۱- اثرات زیستی مستقیم و غیرمستقیم پرتوهای یون ساز..... ۹۵
- ۷-۶-۲- اثرات بدنی و اثرات ژنتیکی پرتوهای یون ساز..... ۹۶
- ۷-۶-۳- تأثیرات تصادفی و قطعی پرتوهای یون ساز بر روی بافت های زیستی..... ۹۷
- ۷-۶-۴- حساسیت پرتوی سلول..... ۹۷
- ۷-۶-۵- پاسخ اندام ها به پرتو..... ۹۹
- ۷-۷- پیوست چ: مستندسازی در عملیات مرتبط با پرتوهای رادیواکتیو..... ۱۰۲
- ۷-۷-۱- فرم اسقاط دوربین های پرتونگاری صنعتی..... ۱۰۳

صفحه ۵ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
---------------	--	--

- ۱۰۴..... ۲-۷-۷- فرم اظهار حمل و نقل مواد پرتوزا
- ۱۰۵..... ۳-۷-۷- فرم مجوز ورود به سایت برای شرکت های پرتونگاری صنعتی
- ۱۰۸..... ۴-۷-۷- فرم بازرسی و کنترل دوربین
- ۱۰۹..... ۵-۷-۷- نمونه فرم آزمون نشستی پرتو دوربین
- ۱۱۰..... ۶-۷-۷- فرم گزارش سانحه

فهرست اشکال

- شکل (۱-۶) اگرام مخاطرات موجود در پرتونگاری ۱۷
- شکل (۲-۶) راهکارهای در دست رس برای کاهش میزان پرتوگیری باید به کمترین مقدار ممکن ۱۹
- شکل (۳-۶) کپسول حاوی تعدادی دیسک یا قرص فلزی از ایریدیوم-۱۹۲ ۲۱
- شکل (۴-۶) نمای شماتیک چشمه‌های ایریدیوم ۱۹۲ و موقعیت قرص‌های ایزوتوپ در داخل کپسول ۲۱
- شکل (۵-۶) نمونه‌ای از چشمه‌های پرتوگامای کبالت ۶۰ به همراه کپسول و هلد ۲۲
- شکل (۶-۶) چشمه‌های استاندارد سزیم ۱۳۷ ۲۳
- شکل (۷-۶) نمونه‌هایی از Pigtail ها و کانکتورهای اتصال در تجهیزات کمکی دوربین ۲۴
- شکل (۸-۶) هلد چشمه پرتونگاری گاما از جنس آلیاژ مقاوم استیل در قسمت رابط و اتصالات و از جنس تنگستن در قسمت اصلی نگه‌دارنده چشمه ۲۵
- شکل (۹-۶) نمای دوربین‌های خزشی که در پرتونگاری لوله‌ها استفاده می‌شود ۲۶
- شکل (۱۰-۶) نمای شماتیک چشمه مهر و موم شده در داخل لایه محافظ به همراه تجهیزات کمکی ۲۹
- شکل (۱۱-۶) نمای شماتیک ساختار انواع دوربین‌های پرتونگاری؛ الف: دوربین‌های S شکل، ب: دوربین‌های دوار، پ: دوربین‌های انگشتی ۲۹
- شکل (۱۲-۶) دوربین پرتوگاما ۳۰
- شکل (۱۳-۶) کانکتور Dummy ۳۲
- شکل (۱۴-۶) معیار GO/NO-GO برای انجام آزمون‌های مربوط به الزامات تجهیزات کمکی دوربین ۳۲
- شکل (۱۵-۶) مکانیسم شاترهای موجود برای دوربین‌های پرتونگاری؛ الف: مکانیسم لولایی در حالت باز (بالا) و بسته (پایین) - ب: مکانیسم چرخشی در حالت باز (بالا) و بسته (پایین) ۳۳
- شکل (۱۶-۶) انواع کولیماتور ها ۳۴
- شکل (۱۷-۶) کولیماتور از جنس تنگستن و با قابلیت اتصال مستقیم به سرشنگ گاید تیوپ ۳۵
- شکل (۱۸-۶) کولیماتور پانارومیک از جنس تنگستن برای ایریدیوم ۱۹۲ و سلنیم ۷۵ برای تصور برداری‌های ۳۶۰ درجه ۳۵
- شکل (۱۹-۶) کولیماتورهای نصب شده در انتهای گاید تیوپ ها ۳۶
- شکل (۲۰-۶) نمای کلی نحوه اعمال مرزبندی در عملیات پرتونگاری ۴۰
- شکل (۲۱-۶) مرزبندی محل عملیات پرتونگاری ۴۲
- شکل (۲۲-۶) مقادیر تقریبی دز دریافتی توسط گروه‌های مختلف افراد ۴۴
- شکل (۲۳-۶) فیلم‌های مورد استفاده در دزیمترهای فیلم بیج ۴۶
- شکل (۲۴-۶) دزیمتر فردی از نوع فیلم بیج ۴۷
- شکل (۲۵-۶) محل مناسب نصب بیج ۴۷
- شکل (۲۶-۶) محل نصب دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD) ۴۸
- شکل (۲۷-۶) دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD) ۴۹
- شکل (۲۸-۶) نمای داخلی یک دزیمتر قلمی ۴۹
- شکل (۲۹-۶) نمونه‌ای از یک دزیمتر جیبی ۵۰
- شکل (۳۰-۶) نمونه‌ای از محفظه نگهداری (کانتینر) چشمه ۵۳
- شکل (۳۱-۶) نحوه انجام دزیمتری دوربین پرتونگاری ۵۵



- شکل (۳۲-۶) نمونه‌ای از پاراوان های سربی جهت پناه گرفتن افراد در عملیات مقابله با حوادث با سطوح بالای پرتو..... ۶۰
- شکل (۳۳-۶) شمای کلی نحوه قرارگیری پولک‌ها در کپسول چشمه..... ۶۱
- شکل (۳۴-۶) نحوه کار با انبر چشمه گیر..... ۶۴
- شکل (۱-۷) استاندارد اندازه‌های علامت هشدار در موارد کار با پرتوهای یون‌ساز..... ۷۹
- شکل (۲-۷) نمونه‌ای از علامت هشدار خطر وجود پرتو یون‌ساز در محیط..... ۷۹
- شکل (۳-۷) پلاکارد خطر پرتوگیری برای نصب بر روی وسایل نقلیه در هنگام حمل و نقل مواد پرتوزا..... ۸۰
- شکل (۴-۷) نحوه و محل نصب پلاکاردهای اعلام خطر بر روی وسایل نقلیه در هنگام حمل مواد پرتوزا..... ۸۰
- شکل (۵-۷) ساختار استانداردهای ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای حفاظت از افراد و محیط زیست..... ۸۱
- شکل (۶-۷) استانداردهای آژانس بین‌المللی انرژی اتمی..... ۸۲
- شکل (۷-۷) نمای شماتیک یک آشکارساز پرتو از نوع گازی..... ۸۹
- شکل (۸-۷) شدت جریان ناشی از یک پرتو در آشکارساز گازی به صورت تابعی از ولتاژ..... ۹۰
- شکل (۹-۷) آشکارسازهای جرقه‌ای..... ۹۳
- شکل (۱۰-۷) طیف حاصل از چشمه ^{60}Co که به وسیله آشکارساز Ge(Li) و NaI(Tl) ۹۴
- شکل (۱۱-۷) نمودار پاسخ (تخریب) زیستی بر حسب دوز پرتو دریافتی..... ۹۷

فهرست جداول

جدول (۱-۴) ضریب توزین پرتوها با انرژی‌های مختلف.....	۱۲
جدول (۲-۴) ضریب توزین بافت برای اندام‌های مختلف بدن انسان.....	۱۳
جدول (۱-۶) رادیو ایزوتوپ‌های متداول (در چشمه مهر و موم شده).....	۲۰
جدول (۲-۶) آزمون کنترل کیفی سالانه لوله هدایت، اتصالات لوله هدایت، کانال عبور چشمه.....	۲۵
جدول (۳-۶) حداکثر آهنگ دز در سطح و فواصل مختلف از دوربین.....	۲۸
جدول (۴-۶) آزمون کنترل کیفی سالانه محفظه دوربین.....	۳۰
جدول (۵-۶) آزمون کنترل کیفی سالانه کنترل از راه دور.....	۳۲
جدول (۶-۶) مقادیر TVL و HVL مواد مختلف برای حفاظت در برابر پرتو گاما در سطوح متفاوت انرژی.....	۳۸
جدول (۷-۶) مقادیر HVL لایه‌های بتنی و سربی برای حفاظت در برابر پرتو X در سطوح متفاوت انرژی.....	۳۸
جدول (۸-۶) نحوه محاسبه شعاع دایره مرزهای کنترل شده و ممنوعه در اطراف چشمه‌های پرتونگاری.....	۴۱
جدول (۹-۶) آستانه‌های اقدام، مثال‌هایی از برخی علل تجاوز از آستانه‌های اقدام و راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش دز به مقدار مجاز.....	۴۳
جدول (۱۰-۶) جدول تلفن‌های اضطراری.....	۶۸
جدول (۱-۷) ضرایب وزنی یا ضریب کیفی پرتوها.....	۸۴
جدول (۲-۷) ضرایب وزنی بافت، WT، برای بافت و اندام‌های مختلف بر طبق مقررات NCRP و NRC.....	۸۵
جدول (۳-۷) حد دُز توجیه‌پذیر سالانه پیشنهادی NRC.....	۸۵
جدول (۴-۷) دُز مؤثر سالانه منابع طبیعی و مصنوعی.....	۸۶
جدول (۵-۷) دُز اندام و دُز مؤثر ناشی از چند آزمایش رادیولوژی برحسب میلی رم.....	۸۶
جدول (۶-۷) تقسیم‌بندی حساسیت پرتویی سلول.....	۹۹

۱- هدف

هدف از ارائه دستورالعمل حاضر تشریح الزامات لازم جهت انجام صحیح عملیات پرتونگاری و شناسایی شیوه‌های کار ناایمن و بازرسی‌های موردنیاز برای به حداقل رساندن حوادث و صدمات و تأمین سلامت کارکنان در پروژه‌های شرکت ملی گاز ایران است.

۲- دامنه کاربرد و محدوده تأثیر

رعایت این سند در شرکت ملی گاز ایران و زیرمجموعه‌های آن الزامی است.

۳- مسئولیت‌ها و ضمانت اجرا

- مسئولیت ویرایش این سند به عهده امور HSE شرکت ملی گاز ایران است.
- ضمانت اجرایی این سند بر عهده مدیران عامل شرکت‌های تابعه، مدیران مناطق عملیاتی انتقال گاز و مجریان طرح‌های توسعه‌ای شرکت ملی گاز ایران است.

۴- تعاریف

تعاریف عمومی^۱

استاندارد^۲: استاندارد به مجموعه‌ای از قواعد، ضوابط، دستورالعمل‌ها یا روش‌های آزمایش که توسط گروهی واجد صلاحیت تعیین، تدوین، تصویب و منتشر می‌شود، اطلاق می‌گردد. در این مجموعه منظور از استاندارد، مدارکی هستند که بر اساس استانداردهای بین‌المللی یا ملی تهیه شده باشند.

کارفرما^۳: به یکی از شرکت‌های اصلی و یا وابسته به شرکت ملی گاز ایران اطلاق می‌شود.

پیمانکار^۴: به شخص، موسسه و یا شرکتی گفته می‌شود که پیشنهادش برای مناقصه پذیرفته شده است.

سازمان^۵: در این مقررات سازمان شامل هر یک از شرکت‌ها و مناطق عملیاتی تابعه شرکت ملی گاز ایران است که هرکدام به

^۱ تعاریف عمومی در دستورالعمل حاضر منطبق بر بخشنامه‌های ابلاغی وزارت نفت، رویه‌های سازمانی موجود و OSHA تدوین شده است.

^۲ Standard

^۳ Owner

^۴ Contractor

^۵ Organization

لحاظ سازمانی دارای مدیرعامل/ مدیر هستند.

تبصره: با توجه به اینکه در برخی از شرکت‌های تابعه شرکت ملی گاز، فعالیت‌های اجرایی، نظارتی و مدیریت پروژه‌ها از طریق مجموعه‌های پیمانکاری و مشاوره‌ای انجام می‌شود، مدیریت پروژه (MC) و در پروژه‌های فاقد MC دستگاه نظارت به‌عنوان سازمان محسوب می‌گردد که تحت نظر عالی کارفرما (شرکت ملی گاز و شرکت‌های تابعه) فعالیت می‌نمایند.

فرد ذی‌صلاح^۱: بر اساس تعریف OSHA^۲ به افرادی اطلاق می‌شود که قادر به تشخیص خطرات موجود و قابل پیش‌بینی در محیط کار باشند. این مخاطرات شامل موارد بهداشتی و نیز خطراتی که موجب آسیب به نفرات می‌شود است. همچنین لازم است این شخص بتواند در مواجهه با پیشامدهای ناخواسته احتمالی اقدامات اصلاحی مقتضی را انجام دهد. فرد ذی‌صلاح توسط ابلاغیه معتبر، مدت‌دار و معین‌شده توسط سازمان مربوطه مشخص می‌شود.

فرد مجرب^۳: شخصی است که بنا به گواهی مدرکی معتبر، توانایی فنی و تجربه لازم و کافی برای انجام وظیفه یا مسئولیت مشخص را دارد.

حادثه: مطابق تعریف سازمان بین‌المللی کار (ILO^۴) حادثه عبارت است از یک اتفاق پیش‌بینی‌نشده و خارج از انتظار که سبب صدمه و آسیب گردد.

ریسک: به احتمال به وجود آمدن آسیب و صدمه از یک خطر معین، ریسک گویند. طبق تعریف بهداشت حرفه‌ای و سری‌های ارزیابی ایمنی (ISO 45001) ریسک، ترکیب (تابعی) از احتمال و پیامد (های) ناشی از وقوع یک اتفاق خطرناک مشخص است. **خریدار^۵:** یعنی شرکتی که این دستورالعمل بخشی از مدارک سفارش خرید مستقیم آن شرکت است و یا پیمانکاری که این استاندارد بخشی از مدارک قرارداد آن است.

فروشنده و تأمین‌کننده^۶: به مؤسسه و یا شخصی گفته می‌شود که تجهیزات و کالاهای مورد لزوم صنعت را تأمین می‌نماید.

مجری^۷: مجری به گروهی اطلاق می‌شود که تمام یا قسمتی از کارهای اجرائی و یا راه‌اندازی پروژه را انجام دهد.

بازرس^۸: در این استاندارد بازرس به فرد/گروه یا مؤسسه‌ای اطلاق می‌شود که کتباً توسط کارفرما برای بازرسی، ساخت و نصب تجهیزات معرفی شده باشد.

باید^۹: برای کاری که انجام آن اجباری است، استفاده می‌شود.

توصیه^{۱۰}: برای کاری که ضرورت انجام آن توصیه می‌شود، بکار می‌رود.

¹ Authorized Person

² Occupational Safety And Health Administration

³ Qualified Person

⁴ International Labour Organization

⁵ Purchaser

⁶ Vendor And Supplier

⁷ Executor

⁸ Inspector

⁹ Shall

¹⁰ Should

ترجیح^۱: معمولاً درجایی استفاده می شود که انجام آن کار بر اساس نظارت شرکت کارفرما باشد.

ممکن است^۲: برای کاری که انجام آن اختیاری است، بکار می رود.

تعاریف اختصاصی:

استفاده کننده: شخص حقیقی یا حقوقی که از نظر اداری مسئولیت استفاده از چشمه های رادیواکتیو یا دستگاه های مولد پرتو را به عهده دارد. این شخص ممکن است مالک تجهیزات مزبور و یا در استخدام او باشد.

آسیب: کلیه صدمات ناشی از پرتوگیری گروهی از مردم و نسل های بعدی آن ها از منبع پرتو

آلودگی: وجود ناخواسته مواد پرتوزا درون یا روی یک ماده یا بدن انسان یا هر جای دیگر که می تواند زیان آور باشد.

اقدام حفاظتی: مداخله به منظور جلوگیری و یا کاهش دز مردم در شرایط پرتوگیری ممتد و یا اورژانس (سانحه)

تأمین کننده: یک شخص حقیقی یا حقوقی است که تجهیزات پرتونگاری حاوی چشمه یا چشمه های پرتوزا و دستگاه های اشعه ایکس مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی را تحویل مرکز و یا تشکیلات حقوقی دیگری می دهد.

پرتوکار: شخص حقیقی است که برابر مقررات این دستورالعمل واجد صلاحیت علمی و فنی برای تصدی عناوینی چون: شخص مسئول، مسئول فیزیک بهداشت کل، پرتونگار و کمک پرتونگار را داشته باشد.

پرتوهای یون ساز: از دیدگاه حفاظت در برابر اشعه، پرتوهایی که قادر به ایجاد جفت یون در مواد بیولوژیکی می باشند.

پروانه اشتغال: مجوزی است که بر مبنای ارزیابی ایمنی و رعایت مقررات و شرایط ویژه توسط واحد قانونی به دارنده پروانه و یا دارنده مجوز بهره برداری اعطا می گردد.

پرتوزایی^۳: کمیت (A) برای مقداری از یک رادیونوکلئید (عنصر پرتوزا) در تراز انرژی و زمان معین که به صورت زیر تعریف می گردد:

$$A = dN / dt$$

که در آن dN ارزش انتظاری تعداد واپاشی خود به خودی هسته در تراز انرژی معین و در زمان dt است. یکای پرتوزایی در سیستم SI عکس ثانیه است؛ که بکرل (Bq) نامیده می شود.

پرتوگیری^۴: عمل یا شرایط قرار دادن یا قرار گرفتن در معرض تابش پرتو. پرتوگیری می تواند شامل پرتوگیری خارجی (از منابع خارج بدن) یا پرتوگیری داخلی (از منابع داخل بدن) باشد. پرتوگیری را می توان به صورت پرتوگیری عادی یا پرتوگیری بالقوه، یا به صورت پرتوگیری شغلی، پزشکی و مردم و در شرایط مداخله به صورت پرتوگیری اورژانس یا ممتد طبقه بندی نمود.

پرتوگیری عادی: پرتوگیری قابل انتظار در شرایط عادی کار با منابع پرتو، با در نظر گرفتن پرتوگیری های ناشی از سوانح جزئی قابل کنترل.

¹ Will

² May

³ Radioactivity

⁴ Exposure



حد دز: مقدار دز مؤثر یا دز معادل افراد ناشی از فعالیت پرتوی کنترل شده است که نباید از آن تجاوز نماید.

دارنده پروانه کسب: شخص حقیقی یا حقوقی که بر اساس قوانین کشوری مسئولیت و اختیارات لازم جهت انجام امور پرتونگاری را دارد.

دارنده پروانه: متقاضی که پروانه فعالیت پرتویی با منبع خاص به او اعطاشده است و واجد صلاحیت جهت فعالیت پرتویی با منبع به‌ویژه در رابطه با حفاظت و ایمنی باشد.

دزیمتر فردی: به هرگونه وسیله‌ای اطلاق می‌گردد که جهت اندازه‌گیری میزان پرتوگیری پرتو کاران بکار رود: نظیر فیلم‌بج، TLD و دزیمتر قلمی

دز محدودشده: محدودیتی است برای دز دریافتی از هر منبع پرتو و باید با در نظر گرفتن دز ناشی از کلیه منابع پرتو به‌گونه‌ای تعیین گردد که همواره پرتوگیری افراد از حد دز تجاوز ننماید.

دز: معیاری برای بیان دریافت یا جذب پرتو که برحسب مورد، توسط کمیت‌هایی نظیر دز جذبی، دز عضو، دز معادل، دز مؤثر و... بکار می‌رود. در اغلب موارد، عبارات مکمل مربوط به دز در صورت غیرضروری بودن حذف می‌گردند.
دز معادل: کمیت $H_{T,R}$ که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot w_R$$

که در آن $D_{T,R}$ میانگین دز جذبی از پرتو R در بافت T و w_R ضریب وزنی پرتو R است.

جدول (۴-۱) ضریب توزین پرتوها با انرژی‌های مختلف

نوع و محدوده انرژی	ضریب توزین پرتو w_R
فوتونها (در تمام انرژی‌ها)	۱
الکترون‌ها (تقریباً در تمام انرژی‌ها)	۱
نوترون‌های با انرژی کمتر از 10keV و نوترون‌های حرارتی	۵
نوترون‌های با انرژی 10keV تا 100keV	۱۰
نوترون‌های با انرژی 100keV تا 2MeV	۲۰
نوترون‌های با انرژی 2MeV تا 20MeV	۱۰
نوترون‌های با انرژی 20MeV و بیشتر	۵
پروتون‌های با انرژی 2MeV و بیشتر	۵
ذرات آلفا، پاره‌های شکافت و هسته‌های سنگین	۲۰

در صورتی که میدان پرتو ترکیبی از پرتوها با مقادیر مختلف w_R باشد. دز معادل برابر است با:

$$H_{T,R} = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

یکای دز مؤثر J/kg است که سیورت (Sv) نامیده می‌شود.

دز مؤثر: کمیت E که به‌صورت مجموع حاصل ضرب دزهای معادل هر بافت در ضریب وزنی بافت مربوطه تعریف می‌شود:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

که در آن H_T دز معادل در بافت T و w_T ضریب وزنی بافت T است.



جدول (۴-۲) ضریب توزین بافت برای اندام‌های مختلف بدن انسان

نوع بافت یا عضو	ضریب توزین بافت w_T
غدد تناسلی	0.20
مغز استخوان	0.12
روده بزرگ	0.12
ریه	0.12
معدة	0.12
مثانه	0.05
سینه	0.05
کبد	0.05
مری	0.05
تیروئید	0.05
پوست	0.01
سطح استخوان	0.01
سایر اعضا	0.05

دزیمر محیطی: وسیله‌ای است که جهت اندازه‌گیری آهنگ دز در محیط کار با پرتو بکار می‌رود.

دستگاه پرتو ساز: به دستگاهی اطلاق می‌گردد که با روشن شدن شروع به پرتو دهی نماید.

دوره مقدماتی: دوره مقدماتی آموزش حفاظت در برابر اشعه ویژه مراکز پرتونگاری صنعتی یا معادل آن که مورد تأیید واحد قانونی باشد.

دوره ویژه مسئولین: دوره آموزش حفاظت در برابر اشعه ویژه مسئولین مراکز پرتونگاری صنعتی یا معادل آن که مورد تأیید واحد قانونی باشد.

دوربین پرتونگاری: به وسیله‌ای اطلاق می‌گردد که چشمه پرتوزای استاندارد در داخل حفاظ آن قرار گرفته و با متعلقات و تجهیزات ایمنی مناسب، ضمن نگاهداری ایمن چشمه در هنگام کار امکان انتقال آن را به نقطه پرتو دهی و به صورت کنترل از راه دور فراهم می‌نماید.

ریسک: واژه‌ای است برای بیان وقوع یا احتمال بروز خطرات جانی و مالی و یا اثرات زیان‌آور ناشی از پرتوگیری.

سانحه: روش کار معین و مشخص شده‌ای برای اجرای فعالیت‌های مرتبط که می‌توان توسط آن به‌طور خلاصه تعریف کرد که چه کاری، توسط چه کسی، در چه زمانی، از چه مواد، تجهیزات، دستگاه‌ها، منابع، مدارک مورد استفاده، در کجا و چگونه انجام شده و چگونه کنترل و ثبت شده است.

سایت ثابت (اتاق پرتونگاری): یک اتاق پرتونگاری ثابت برای انجام عملیات پرتونگاری طراحی و ساخته شده به نحوی که دیوارها، کف و سقف آن توسط حفاظ پوشانیده شده است به‌طوری که منطقه تحت کنترل به داخل اتاق محصور می‌گردد و هدایت عملیات پرتونگاری از خارج از اتاق انجام می‌شود.

سایت باز: سایت‌های پرتونگاری خارج از محدوده تحت اختیار دارنده پروانه و فاقد هرگونه حفاظ محصورکننده دائمی است. در این سایت جهت محدود کردن میدان پرتو، باید تا حد امکان از کولیماتور استفاده شود.



شخص قانونی: هر سازمان، بنیاد، مؤسسه، شرکت تعاونی، دفتر و انجمن اعم از دولتی، سیاسی، اجتماعی، حقوقی و یا هر فرد دیگری که بر اساس قوانین کشوری مسئولیت و اختیارات لازم جهت فعالیت‌های پرتوی را داشته باشد.

شخص مسئول: شخص حقیقی است که برابر مقررات این دستورالعمل واجد صلاحیت علمی و فنی و شرایط لازم برای تصدی و نظارت بر کلیه امور مربوط به کار با اشعه در محدوده پروانه مربوطه باشد.

شناسنامه دوربین: سندی است که از طرف واحد قانونی برای کلیه دوربین‌های پرتونگاری موجود در کشور صادر می‌شود و مشخصات دوربین، شماره هلد، تاریخ و نتایج آزمایش‌های کنترل کیفی، قدرت چشمه‌های بارگذاری شده و میزان نشتی اندازه‌گیری شده در آن درج شده است.

قانون: به قانون حفاظت در برابر اشعه اطلاق می‌گردد.

قفل ایمنی: قفل مجهز به یک سویچ یا ابزار دیگر که به وسیله آن تجهیزات پرتونگاری در هنگامی که درب محافظ باز می‌شود و یا در هنگام بروز و ایجاد سانحه به‌طور خودکار خاموش می‌گردد.

قواعد کار با پرتو (به اختصار از کلمه مدرک استفاده خواهد شد): مجموعه‌ای از مقررات و استانداردها که بر اساس قوانین، آئین‌نامه‌ها، استانداردها، توصیه‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، عمدتاً در ارتباط با منابع یا انجام فعالیت‌های پرتویی تهیه شده و بایستی در مراکز کار با پرتو رعایت گردد.

قوانین: مستنداتی هستند که توسط مجلس شورای اسلامی تصویب شده باشند.

آئین‌نامه: مستنداتی است که توسط واحد قانونی تهیه و به تصویب هیئت دولت رسیده شده باشند.

مقررات: مستنداتی است که به موجب قانون و آئین‌نامه‌ها تهیه شده و لازم‌الاجرا می‌باشند.

کارفرمای محلی: کارفرمایی است که عملیات پرتونگاری بنا به درخواست و در محل موردنظر وی و برحسب توافق با دارنده پروانه^۱ اشتغال یا دارنده مجوز شروع بکار انجام می‌پذیرد.

کارکنان: افرادی که به‌طور تمام‌وقت، پاره‌وقت یا قراردادی در استخدام کارفرما هستند و وظایف و حقوق ایشان در رابطه با حفاظت در برابر اشعه مرتبط با شغلشان مشخص است.

کپسول چشمه: ماده پرتوزایی که درون یک محفظه مسدود جای گرفته یا ذرات آن کاملاً به هم متصل و جامد باشند به‌طوری که در اثر فرسایش و اشتباهات قابل پیش‌بینی مواد پرتوزا در کاربرد موردنظر نشت نکنند.

گواهینامه کنترل کیفی: سندی است رسمی مبنی بر ثبت بودن نتایج آزمایش‌های کنترل کیفی که توسط یکی از مؤسسات معتبر مورد تأیید واحد قانونی و بر اساس استانداردهای معتبر بین‌المللی صادر شده باشد.

مسئول فیزیک بهداشت کل: شخص حقیقی است که برابر آیین‌نامه مربوطه واجد صلاحیت علمی و فنی و شرایط لازم برای تصدی مسئولیت حفاظت در برابر اشعه در محدوده پروانه مربوطه باشد.

مسئول سایت: شخص دارای قدرت اجرایی در سایت باز که مجوز عملیات پرتونگاری را با رعایت ضوابط ایمنی برای حفاظت کارکنان عادی از پرتوگیری ناشی از عملیات پرتونگاری صادر می‌نماید.

منابع پرتو: به دوربین‌های پرتونگاری صنعتی، دستگاه‌های مولد پرتو و چشمه‌های پرتوزا که در پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اطلاق می‌گردد.

ناحیه ممنوعه: به هر ناحیه‌ای اطلاق می‌گردد که آهنگ دز در آن بیش از 2mSv/h باشد. حضور کلیه افراد در این ناحیه ممنوع است. فقط در موارد خاص و در صورتی که اطمینان حاصل شود که مجموع دز از $50\mu\text{Sv}$ تجاوز نخواهد کرد حضور پرتو کاران با برنامه‌ریزی دقیق و صحیح در آن بلامانع است.

ناحیه کنترل شده: هر ناحیه‌ای که در آن معیارهای حفاظتی ویژه و مقررات ایمنی به دلایل زیر انجام گرفته و یا مورد نیاز باشد:

الف- کنترل پرتوگیری یا جلوگیری از گسترش آلودگی در شرایط عادی کار.

ب- جلوگیری یا محدود کردن گستره پرتوگیری‌های بالقوه.

واحد قانونی: در مفهوم امور حفاظت در برابر اشعه است.

هلدن: وسیله‌ای است جهت نگاهداری چشمه به شکل بسته و ایمن باقابلیت انعطاف‌پذیری.

افراد ذی صلاح: بر اساس تعریف OSHA^۱ به افرادی اطلاق می‌شود که قادر به تشخیص خطرات موجود و قابل پیش‌بینی در محیط کار باشند. این مخاطرات شامل موارد بهداشتی و نیز خطراتی که موجب آسیب به نفرت می‌شود است. همچنین لازم است این شخص بتواند در مواجهه با پیشامدهای ناخواسته احتمالی اقدامات اصلاحی مقتضی را انجام دهد.

سازمان: در این مقررات سازمان شامل هر یک از شرکت‌ها و مناطق عملیاتی تابعه شرکت ملی گاز ایران است که هرکدام به لحاظ سازمانی دارای مدیرعامل/مدیر هستند.

- **تبصره:** با توجه به اینکه در برخی از شرکت‌های تابعه شرکت ملی گاز، فعالیت‌های اجرایی، نظارتی و مدیریت پروژه‌ها از طریق مجموعه‌های پیمانکاری و مشاوره‌ای انجام می‌شود، مدیریت پروژه (MC) و در پروژه‌های فاقد MC دستگاه نظارت به‌عنوان سازمان محسوب می‌گردد که تحت نظر عالی کارفرما (شرکت ملی گاز و شرکت‌های تابعه) فعالیت می‌نمایند.

۵- مراجع و مستندات

[۱] سازمان انرژی اتمی، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت در برابر اشعه.

[۲] سازمان انرژی اتمی ایران، نظام هسته‌ای ایران، امور حفاظت در برابر اشعه؛ قواعد کار با پرتو در رادیوگرافی صنعتی، شماره شناسه INRARP6CP05

[۳] سازمان انرژی اتمی ایران، نظام هسته‌ای ایران، امور حفاظت در برابر اشعه؛ ضوابط ترابری ایمن مواد پرتوزا، شماره شناسه INRA-RP-RE-100-07/3-Aza

[۴] آیین نامه و مقررات حفاظت در مقابل خطر پرتوهای یون ساز، مجموعه آیین نامه‌های حفاظت و بهداشت کار، وزارت کار و امور اجتماعی.

[۵] سازمان انرژی اتمی ایران، نظام هسته‌ای ایران، امور حفاظت در برابر اشعه؛ راهنمای به کارگیری علائم ایمنی و هشدار دهنده پرتو، شماره شناسه INRA-RP-RG-100-00/12-0-sha

[6] "Radiation Safety in Industrial Radiography", IAEA Specific Safety Guide No SSG- 11.

[7] "Geological disposal of radioactive waste", IAEA Specific Safety Guide No WS-R-4.

[8] "Fundamental safety principles", IAEA Specific Safety Guide No SF-1.

[9] "Workplace Monitoring for Radiation and Contamination", IAEA Practical Radiation Technical Manual, IAEA, 2005.

[10] "Guidelines on Implementation of the Basic Safety Standards to Practice of Radiotherapy." Draft for Review, IAEA, 2003.

[11] ISO 2855, Radioactive materials — Packagings — Tests for contents leakage and radiation leakage.

[12] ICRU 51:1993, Quantities and units in radiation protection dosimetry.

[13] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Sealed Radioactive Sources — General Classification, ISO/TC 85/SC 2/WG 11N 31E, ISO, Geneva.

[14] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, ISO/TC 85/SC 2N 390, ISO, Geneva.

[15] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 3999, Apparatus for Industrial Gamma Radiography – Specifications for Performance, Design and Tests, ISO/TC 85/SC 2N 78, ISO, Geneva.

[16] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, Radiological Safety Standards for the Design of Radiographic and Fluoroscopic Industrial x ray Equipment, ANSI PB-270 970.

[17] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Recommendation for Data on Shielding from Ionizing Radiation, Part 1: 1966, Shielding from Gamma Radiation, BS 4094, BSI, London.

[18] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Recommendation for Data on Shielding from Ionizing Radiation, Part 2: 1971, Shielding from X Radiation, BS 4094, BSI, London

[19] INTERNATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Structural Shielding Design and Evaluations for Medical Use of X-rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV, NCRP Rep. No. 49, Washington, DC.

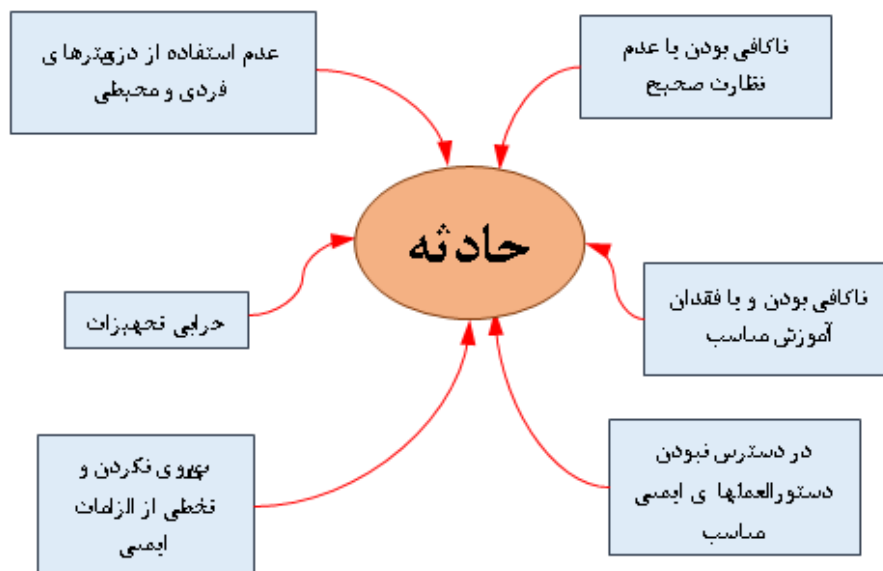
۶- اقدامات

۶-۱- مقدمه

با پیشرفت چشم‌گیر مباحث ارزیابی و آزمون‌های غیر مخرب به‌خصوص پرتونگاری صنعتی به دلیل وسعت محدوده کاربرد و

دقت بالا در نمایش بهتر عیوب قطعات در صنایع نفت و گاز به خصوص در نواحی جنوب کشور (ذخایر پارس جنوبی)، مباحث ایمنی در این رشته کاری نیز روزبه روز به درجه بالاتری از اهمیت دست پیدا می کند. مباحث ایمنی در این خصوص دارای شاخه هایی از قبیل ایمنی دستگاه ها و تجهیزات پرتونگاری نگهداری و تعمیرات آن ها، ایمنی در زمینه حفاظت در برابر اشعه، ایمنی در روش و شرایط کار، ایمنی در نقل و انتقالات حامل های مواد پرتوزا، ایمنی در فضاهای خاص کاری و ایمنی در وقوع حوادث و شبهه حوادث است. همچنین با توجه به اصل اساسی مزیت پیشگیری بر درمان مجریان این صنعت پرمخاطره می بایست با ایجاد فضای فرهنگ سازی شده ای نسبت به آموزش افراد و ارتقای سطح کارکنان در شرایط اضطراری و سوانح نسبت به حفظ ایمنی و سلامت خود و دیگران اقدام کنند. در این دستورالعمل به موضوعاتی پرداخته شده که انتظار می رود منجر به کاهش میزان پرتوگیری پرتو کاران در زمان سانحه پرتویی و حفظ سه مشخصه ایمنی، سلامت و محیط زیست شود. استفاده از معیارهای حفاظتی به منظور حصول اطمینان از عدم تجاوز از حدود دز مشخص شده در استانداردهای پایه حفاظت در برابر اشعه و رعایت اصل ALARA در رادیوگرافی صنعتی الزامی است. مقررات فوق مبین ضوابط فیزیکی برای رادیوگرافی صنعتی مانند رادیوگرافی در آزمون های جوشکاری خط لوله، روش های اجرائی استفاده از تجهیزات رادیوگرافی صنعتی و ضوابط مراقبت های پرتویی است. آگاهی و استفاده از این مجموعه، عملیات ایمن رادیوگرافی صنعتی با شرایط گوناگون کاری را در پروژه های شرکت ملی گاز ایران تضمین خواهد کرد.

۶-۲- مخاطرات استفاده صنعتی از پرتوهای رادیواکتیو



شکل (۶-۱) دیاگرام مخاطرات موجود در پرتونگاری

۳-۶- اصول اساسی حفاظت در برابر اشعه

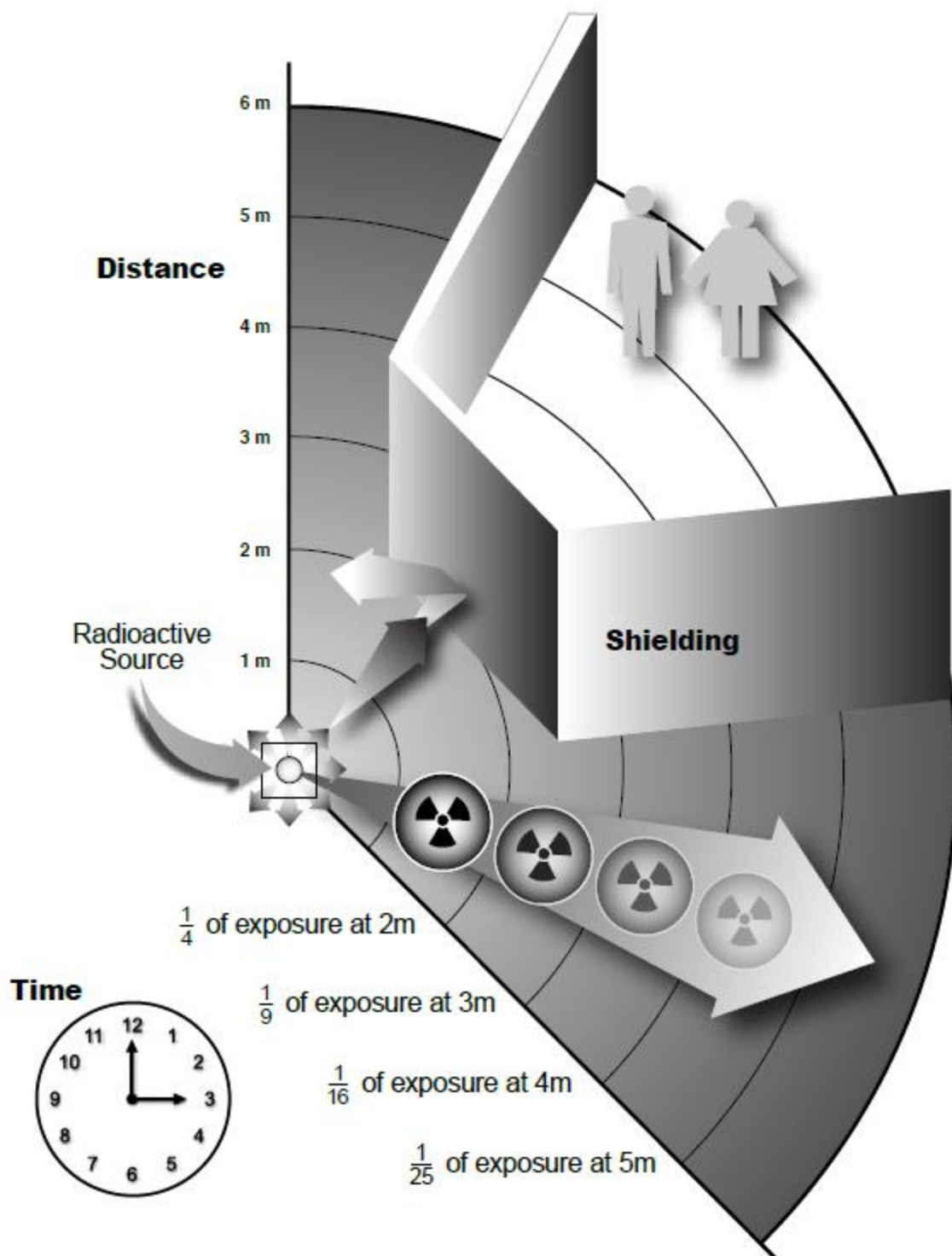
با توجه به کاربردهای گسترده پرتوهای یون ساز در صنایع و پزشکی لازم است چگونگی کار با این گونه پرتوها را بر اساس دستورالعمل ها و با استفاده از فنون ویژه تحت کنترل درآوریم طوری که میزان پرتوگیری تا حد ممکن کمتر و موجه باشد. مفاهیم ایمنی پایه برای مبحث پرتونگاری به شرح زیر است:

توجیه پذیری فعالیت^۱: نباید هیچ گونه استفاده از پرتوها انجام پذیرد مگر آنکه فواید حاصل از آن به طور معتنابهی از خطر ناشی از پرتوگیری افراد یا جامعه بیشتر باشد.

بهینه سازی حفاظت^۲: علاوه بر مقررات کلی این مدرک در زمینه بهینه سازی ایمنی پرتو، دارندگان پروانه ثبت و اشتغال، در صورت لزوم با همکاری تأمین کنندگان، باید ضوابط واحد قانونی را در رابطه با طراحی و عملکرد تجهیزات و منابع رعایت کنند. بهینه سازی پرتوگیری پزشکی باید توسط کلیه افرادی که در عملیات پرتو پزشکی مشارکت دارند نیز انجام پذیرد. پرتوگیری باید به کمترین مقدار ممکن کاهش یابد، درواقع هدف از بهینه سازی حفاظت از پرتو در مشاغل صنعتی مرتبط رسیدن به «کمترین مقداری که از لحاظ منطقی قابل دستیابی باشد (ALARA^۳)» است.

حدود دز فردی^۴: نباید دز دریافتی گروه های مشخص افراد از حدود تعیین شده توسط واحد قانونی تجاوز نماید.

1 Justification
2 Optimization
3 As Low As Reasonably achievable
4 Dose Limits



شکل (۲-۶) راهکارهای در دست رس برای کاهش میزان پرتوگیری باید به کمترین مقدار ممکن

۴-۶- ایزوتوپ‌های مورد استفاده در پرتونگاری صنعتی

به اتم‌هایی که عدد اتمی آن‌ها برابر اما عدد جرمی متفاوت دارند ایزوتوپ گویند. ایزوتوپ‌های یک عنصر از لحاظ خواص شیمیایی یکسان و غیرقابل تجزیه هستند ولی از لحاظ خواص فیزیکی متفاوت‌اند. به ایزوتوپ‌های ناپایدار یک عنصر رادیو ایزوتوپ گویند که امروزه در پزشکی هسته‌ای، صنعت و ... کاربرد فراوان دارند.

نیمه عمر^۱: مدت زمانی که لازم است تا نصف اتم‌های یک ماده رادیواکتیو تجزیه (استحاله) شوند را یک‌نیمه عمر گویند (نیمه عمر فیزیکی)؛ اما نیمه عمر مؤثر مدت زمانی است که نیمی از ماده رادیواکتیو، هم از طریق فیزیکی و هم از طریق بیولوژیکی از دست برود. پس نیمه عمر مؤثر از نیمه عمر فیزیکی و بیولوژیکی (دفع از بدن) کمتر است.

اکتیویته^۲ و واحدهای آن: حاصل ضرب تعداد اتم‌های رادیواکتیو (N) و ثابت استحاله (λ) را گویند. ثابت استحاله همان تعداد اتم‌هایی است که در واحد زمان تجزیه می‌شوند:

$$A = N \cdot \lambda, \lambda = \Delta N / \Delta t (1-6)$$

کوری واحد استحاله است و آن تعداد اتم‌های تجزیه شده رادیوم در یک ثانیه است که برابر 3.7×10^{10} است. **بکرل** واحد بین‌المللی اکتیویته است و عبارت است از یک استحاله در واحد زمان.

جدول (۱-۶) رادیو ایزوتوپ‌های متداول (در چشمه مهرموم شده)

ایزوتوپ	حالت فیزیکی	نیمه عمر	نوع انتشار رادیواکتیو
سزیم ^{137}Cs	جامد (پودری)	۳۰/۱ سال	بتا، گاما
کبالت ^{60}Co	جامد (فلزی)	۵/۳ سال	بتا، گاما
ایریدیوم ^{192}Ir	جامد	۷۴ روز	بتا، گاما
کریپتون ^{85}Kr	گاز	۱۰/۸ سال	بتا، گاما
رادیوم ^{226}Ra	جامد	۱۶۰۰ سال	آلفا، گاما
استرانسیم ^{90}Sr	جامد	۲۸/۸ سال	بتا

ایزوتوپ‌های مورد استفاده در صنعت در اکتیویته‌های اسمی مشخص در دسترس هستند. انتخاب هر ایزوتوپ با هر مقدار اکتیویته بنا به مورد استفاده فرق می‌کند. برای انتخاب اکتیویته و ایزوتوپ در عملیات رادیوگرافی صنعتی باید جنس قطعه،

1 Half Life

2 Activity

3 Cesium-137

4 Cobalt-60

5 Iridium-192

6 Krypton-85

7 Radium-226

8 Strontium-90

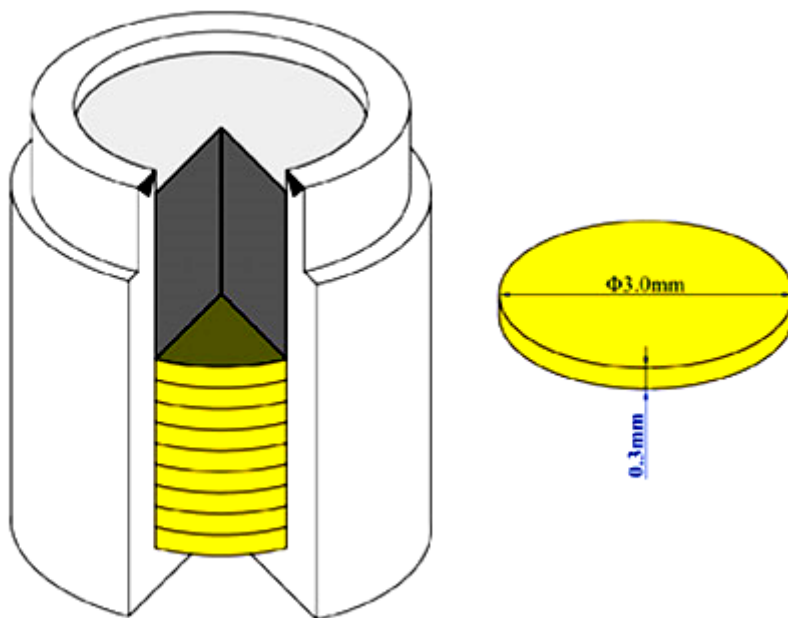
ابعاد قطعه و تصویربرداری مدنظر قرار گیرد.

۶-۴-۲- ایریدیوم ۱۹۲

ایریدیوم-۱۹۲ برای تولید چشمه‌های آب‌بندی‌شده^۳ رادیواکتیوی که یک پرتو متمرکز اشعه گامای ایریدیوم-۱۹۲ را روی ماده هدف آزمایشی فرود می‌آورد، به کار می‌رود. این چشمه‌ها عموماً با استفاده از فولاد ضدزنگ جوش شده تولید شده و یک کپسول حاوی تعدادی دیسک یا قرص فلزی از ایریدیوم-۱۹۲ را به وجود می‌آورند. محدوده اکتیویته ویژه این چشمه‌ها از مرتبه چند صد کوری بر گرم است.



شکل (۶-۳) کپسول حاوی تعدادی دیسک یا قرص فلزی از ایریدیوم-۱۹۲



شکل (۶-۴) نمای شماتیک چشمه‌های ایریدیوم ۱۹۲ و موقعیت قرص‌های ایزوتوپ در داخل کپسول

۶-۴-۳- کبالت-۶۰

کبالت-۶۰ یکی از ایزوتوپ‌های عنصر کبالت است که در پرتونگاری صنعتی دارای اهمیت فوق‌العاده ایست. نیمه‌عمر این ایزوتوپ از کبالت 1925.20 روز (± 0.25 روز) است. احتمال یافتن کبالت-۶۰ در طبیعت به دلیل ناپایداری بسیار ناچیز است. کبالت ۵۹ در طبیعت وجود دارد و فلزی پایدار است (رادیواکتیو نیست). وقتی کبالت ۵۹ در یک میدان نوترونی قرار بگیرد، با دریافت یک نوترون به کبالت ۶۰ تبدیل خواهد شد که ایزوتوپ همدیگرند. کبالت ۶۰ که رادیواکتیو است دارای نیمه‌عمر ۵,۲۷ سال است که با انتشار یک بتای منفی و پس از آن تولید اشعه گاما، به عنصر پایدار نیکل ۶۰ تبدیل می‌شود. در این واپاشی، کبالت ۶۰ یک الکترون (بتای منفی) با انرژی 315 keV و دو اشعه گاما با انرژی‌های 1.17 MeV و 1.33 MeV منتشر می‌کند. یک گرم کبالت ۶۰ حدود ۵۰ کوری اکتیویته دارد؛ که این مقدار می‌تواند قدرت یونیزه‌کنندگی‌ای حدود ۰.۵ سیورت بر دقیقه را برای بدن داشته باشد. دوزی معادل ۴ تا ۵ سیورت برای کل بدن، می‌تواند در طول ۳۰ روز نصف انسان‌ها را از بین ببرد؛ که می‌توان به‌وسیله یک گرم، تنها در طول چند دقیقه به اثر ذکرشده رسید.

از کبالت-۶۰ به‌عنوان چشمه پرتوگاما برای کاربردهای صنعتی به‌خصوص برای پرتونگاری ظرف‌های با ضخامت جدار بسیار بالا یا قطر داخلی بزرگ استفاده می‌شود.



شکل (۵-۶) نمونه‌ای از چشمه‌های پرتوگامای کبالت ۶۰ به همراه کپسول و هلدِر

۴-۴-۶- سزیم ۱۳۷

سزیم-۱۳۷ یکی از خطرناک‌ترین رادیونوکلئیدهای شکافت هسته اورانیم ۲۳۵ با نیمه‌عمر حدود ۳۰ سال است این عنصر در صورت وارد شدن به محیط زیست می‌تواند به مدت بیش از ۳۰۰ سال زیستگاه موجودات را به خطر بی اندازد. از چشمه‌های استاندارد سزیم ۱۳۷ به‌عنوان چشمه‌های استاندارد گاما در رادیوگرافی استفاده می‌شود. این چشمه‌ها برای تصدیق کردن استانداردهای کاری، کالیبره کردن تجهیزات اندازه‌گیری فوتون، تأیید روش‌های اندازه‌گیری و کنترل دقت اندازه‌گیری نشر فوتون به کار می‌رود. کاربرد عمده آن برای آزمایش و کالیبراسیون ابزارها، طیف‌سنج‌ها، رادیومترها، محفظه‌های یونیزاسیون و شمارنده‌های سنتیلاسیون است. از این چشمه‌ها به‌طور ویژه جهت آزمایش و کالیبراسیون طیف‌سنج‌های مورد استفاده در بررسی‌های زیست‌محیطی، استفاده می‌شود. توضیح: چشمه موردنظر به شکل یک کپسول گرد و داری سطح صاف از آلومینیم تهیه می‌شود که ۲۵ میلی‌متر قطر و ۳ میلی‌متر ضخامت دارد. قسمت فعال چشمه کمتر از ۳ میلی‌متر قطر داشته و مابین دو فویل پلی‌آمید و با ضخامت مجموع 10 ± 100 میکرومتر قرار داده می‌شود.



شکل (۶-۶) چشمه‌های استاندارد سزیم ۱۳۷

۵-۶- الزامات چشمه‌های پرتونگاری صنعتی و هلدرها

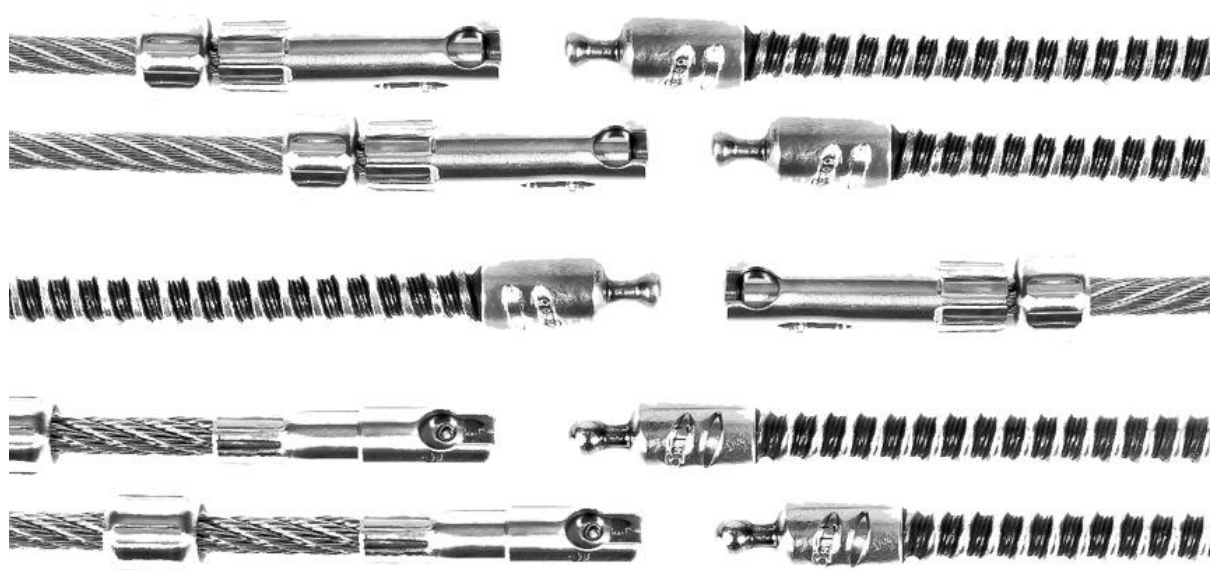
در ادامه الزامات مربوط به چشمه‌های پرتونگاری صنعتی و تجهیزات مربوطه تشریح می‌شود.

۶-۵-۱- معیارهای انتخاب چشمه

در انتخاب چشمه پرتوزا به‌منظور استفاده در پرتونگاری صنعتی باید تناسب پرتوژائی، نوع و انرژی پرتوهای چشمه با کاربرد موردنظر و رعایت اصل حداقل پرتوگیری ممکن رعایت گردد.

□ ماده تشکیل‌دهنده چشمه باید دارای چنان ویژگی‌های شیمیائی و فیزیکی باشد که در طول عمر مفید آن:

- خوردگی و افزایش فشار داخلی چشمه حداقل باشد.
- در صورت آسیب دیدن کپسول، احتمال پخش آن حداقل باشد.
- کلیه چشمه‌ها باید به صورت بسته^۱ باشند در غیر این صورت باید نسبت به اخذ مجوز مخصوص از واحد قانونی اقدام شود.



شکل (۶-۷) نمونه‌هایی از Pigtails و کانکتورهای اتصال در تجهیزات کمکی دوربین

۶-۵-۲- کپسول سازی چشمه‌های پرتوزا

- خارجی‌ترین کپسول چشمه بسته به تنهائی یا به همراه کپسول‌های داخلی تر باید:
- از آزاد شدن و پخش شدن مواد پرتوزا تحت شرایط عادی کار جلوگیری نماید.
 - از هرگونه آلودگی سطحی به مواد پرتوزا عاری باشد.
 - به استثنای زمانی که به صورت دائم در درون یک هلدر قرار داده می‌شود به آسانی پاک نشود، مانند حکاکی، کلماتی مانند «Danger Radioactive» بر روی آن نوشته شده باشد و همچنین دارای مدرک مشخص کننده نوع چشمه باشد. ضمناً باید بتوان اطلاعات زیر را از روی مدارک کتبی همراه با کپسول به دست آورد.
- نوع ماده رادیواکتیو
 - پرتوزائی چشمه و تاریخ اندازه گیری آن

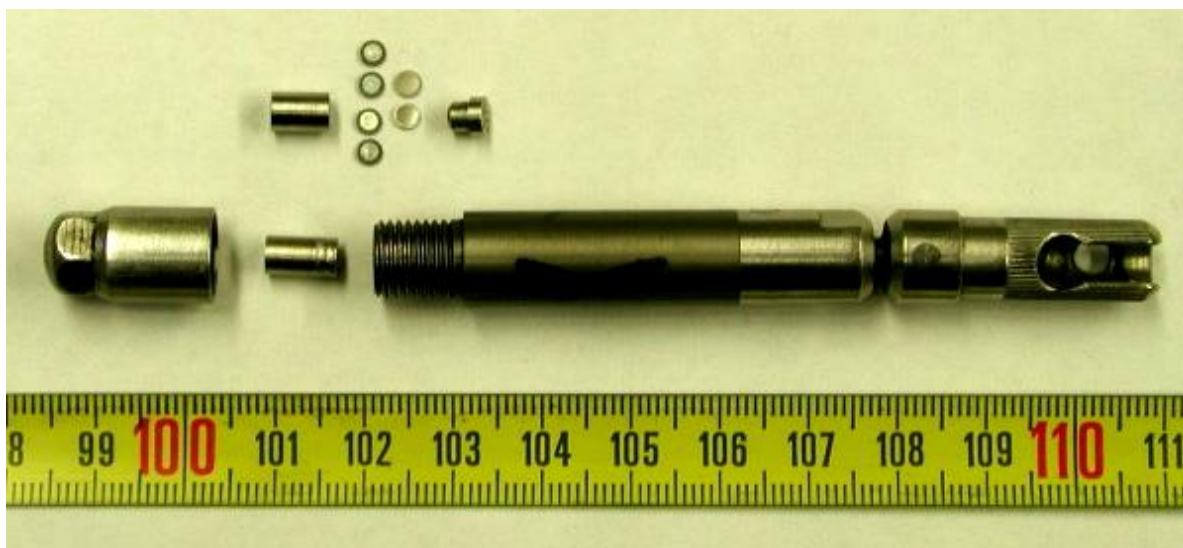
- نام و آدرس تهیه کننده و سازنده
- شماره سریال چشمه

جدول (۶-۲) آزمون کنترل کیفی سالانه لوله هدایت، اتصالات لوله هدایت، کانال عبور چشمه

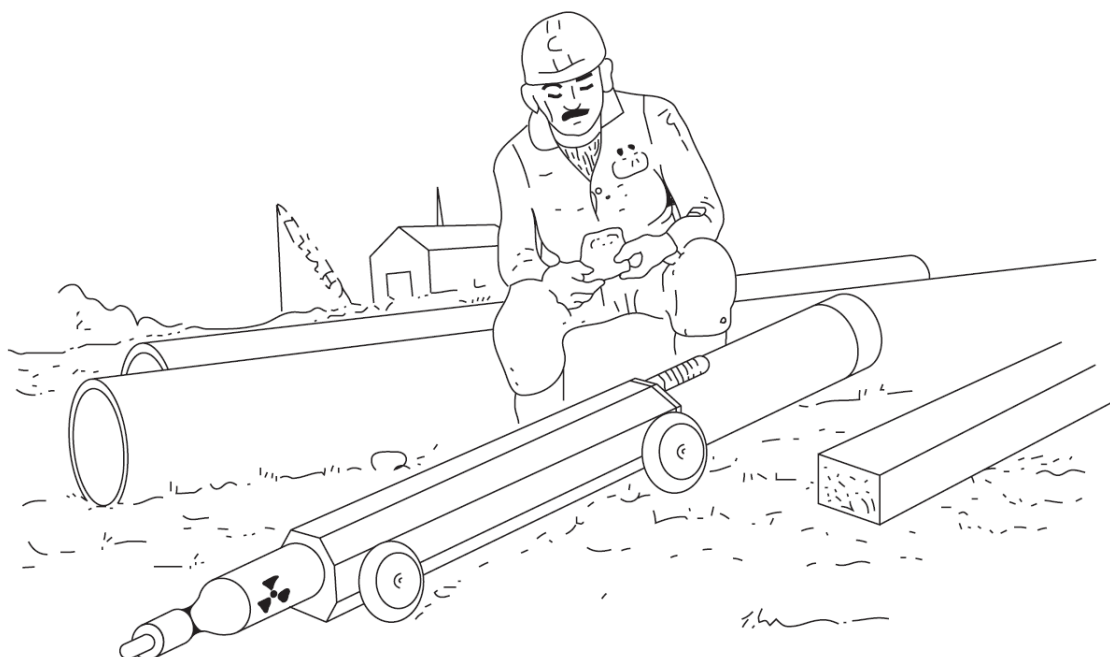
۱	کانال عبور چشمه	هرگونه آلودگی برطرف گردد، از نظر فرسودگی بررسی شود
۲	لوله هدایت	از نظر فرسودگی، خوردگی، پارگی، خمیدگی، لهیدگی و آسیب بررسی شود
۳	اتصالات لوله هدایت	هرگونه آلودگی برطرف گردد، از نظر فرسودگی بررسی گردد
۴	لوله هدایت، اتصالات لوله هدایت، کانال عبور چشمه	مجدداً بسته شوند، هرگونه مشکل حرکتی بررسی گردد
۵	بررسی نهایی	یک نگاه دارنده چشمه باید قابلیت حرکت روان داخل لوله هدایت از محل اتصال تا مکان پرتو دهی را داشته باشد.

۶-۵-۳- ضوابط لازم برای هلدرها

- هلدرها باید به گونه ای ساخته شده باشند که بتوان آن را به منظور بازرسی توسط افراد صلاحیت دار از سیستم پرتونگاری جدا نمود.
- هلدرها باید به گونه ای ساخته شده باشد که از رها شدن چشمه پرتوزا در شرایط استفاده نرمال و بروز اشتباهات محتمل جلوگیری نماید.
- در صورتی که قرار گرفتن کپسول چشمه در درون هلدرا منجر به پنهان ماندن نوشته های روی کپسول گردد، باید مدرک سازنده، تعیین شده توسط واحد قانونی بر روی هلدرا درج گردد.



شکل (۶-۸) هلدرا چشمه پرتونگاری گاما از جنس آلایژ مقاوم استیل در قسمت رابط و اتصالات و از جنس تنگستن در قسمت اصلی نگاه دارنده چشمه



شکل (۹-۶) نمای دوربین های خزشی که در پرتونگاری لوله ها استفاده می شود

۶-۶- الزامات دوربین های پرتونگاری صنعتی و تجهیزات کمکی آن

در ادامه الزامات ایمنی دوربین های پرتونگاری صنعتی و تجهیزات کمکی آن تشریح می شود.

۶-۶-۱- ضوابط ایمنی حائز اهمیت برای دوربین های پرتونگاری

- دوربین باید مجهز به درپوش جلو و عقب باشد و مکانیسمی تعبیه شده باشد که امکان اتصال محکم درپوش ها را ایجاد نماید.
- مواد خورنده، گردوغبار، شن و ماسه، شرایط و نوسانات ناگهانی محیطی مانند حرارت و رطوبت که در طی عمر مفید دستگاه حضور دارند نباید بر روی عملکرد دستگاه به نحوی تأثیرگذار باشند که عملکرد ایمنی آن مختل شود.
- مکانیسم کنترل چشمه باید مجهز به یک سیستم قفل دارای کلید باشد به نحوی که فقط زمانی بتواند قفل گردد که چشمه به موقعیت ایمن خود در داخل دوربین برگشته باشد.
- سیستم قفل دوربین باید به نحوی ساخته شده باشد که:
 - الف: فشارهای قوی معمول ناشی از عملکرد اپراتور و تجهیزات را تحمل نماید. همچنین کلید می بایست مقاومت کافی را هنگام بیرون آوردن از قفل داشته باشد.
 - ب: امکان قفل شدن بدون کلید وجود داشته باشد و یا کلید در حالت باز «Open» از سیستم قفل خارج

نشود.

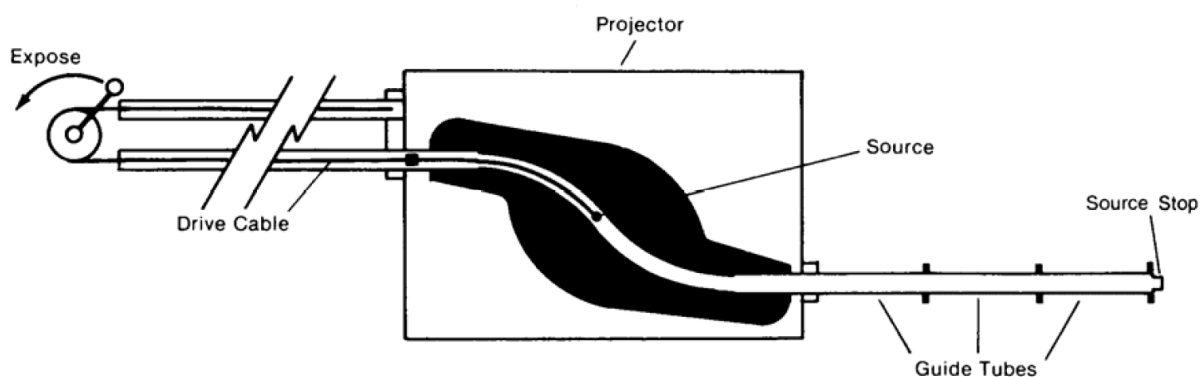
- ج: امکان برگشت هلدنر حتی هنگامی که قفل خراب شده است وجود داشته باشد.
- د: دارای سیستم ایمنی خودکار باشد. این سیستم باید زمانی که چشمه به موقعیت ایمن خود در داخل دوربین برمی گردد به طور خودکار مسیر کانال دوربین را مسدود نماید. همچنین آزاد کردن سیستم خودکار ایمن باید فقط با یک عمل و نیروی ارادی صورت گیرد.
- ه: امکان قفل کردن دوربین فقط زمانی وجود داشته باشد که هلدنر به موقعیت ایمن خود در داخل دوربین برگشته باشد.
- امکان خارج نمودن هلدنر باید زمانی وجود داشته باشد که:
- الف: کابل کرنک به هلدنر وصل باشد
- ب: اتصالات کرنک به سیستم قفل دوربین وصل باشد
- ج: اتصال گاید تیوب به دوربین وصل باشد.
- باید امکان جدا نمودن اتصال کرنک به سیستم قفل وجود نداشته باشد مگر اینکه هلدنر به موقعیت ایمن خود در داخل دوربین برگشته باشد.
- باید شاخصی وجود داشته باشد که نشان دهد هلدنر به موقعیت ایمن برگشته است. رنگ سبز شاخص باید حداقل از فاصله ۵ متری قابل رؤیت باشد.
- بدون اینکه قسمتی از بدن در مقابل پرتو قرار گیرد باید امکان قفل و باز نمودن دوربین وجود داشته باشد.
- باید امکان اتصال گاید تیوب وجود داشته باشد بدون اینکه قسمتی از بدن درجایی قرار گیرد که آهنگ دز بیش از 2mSv/h باشد.
- شیلد اورانیوم دوربین باید توسط پوششی مناسب محافظت گردد به نحوی که:
 - الف: پرتوهای بتا را جذب نماید.
 - ب: خوردگی را محدود سازد.
 - ج: از انتشار آلودگی جلوگیری نماید.
 - د: در ماکزیمم اکتیویته بارگذاری شده حداکثر آهنگ دز در فواصل مختلف برای دوربین ها نباید از مقادیر مندرج در جدول زیر تجاوز نماید.

جدول (۳-۶) حداکثر آهنگ دز در سطح و فواصل مختلف از دوربین

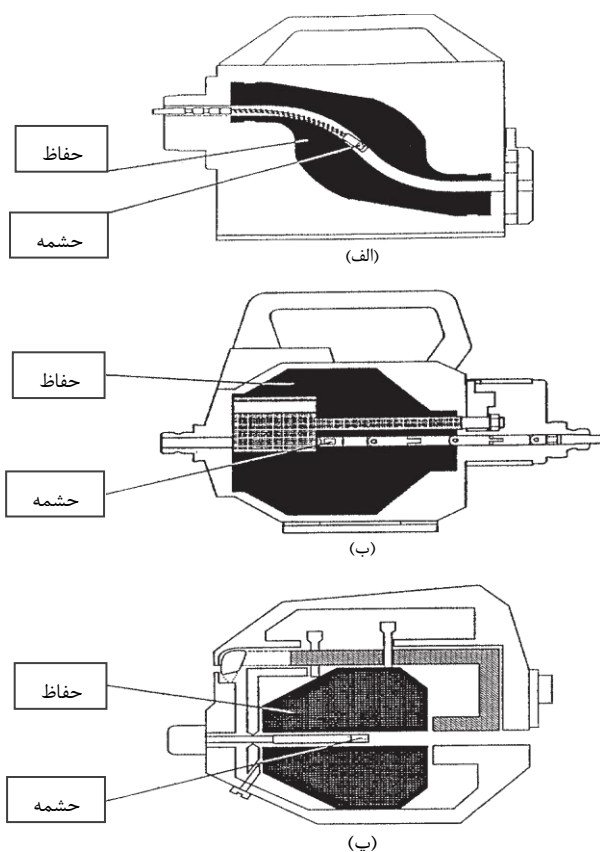
حداکثر آهنگ دز بر حسب $\mu\text{Sv/h}$			طبقه بندی دوربین
۱ متری	۵ سانتی متری	روی سطح	
۲۰	۵۰۰	۲۰۰۰	«P» قابل حمل
۵۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	«M» متحرک
۱۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	«F» ثابت

**توجه: برای تعیین حداکثر آهنگ دز باید دریچه خروج پرتو بسته و مکانیسم خروج چشمه در حالت قفل و چشمه در موقعیت ایمن خود قرار داشته باشد و کپ های جلو و عقب نیز وصل شده باشند.

- باید حفاظ خارجی دوربین ها از جنسی باشد که نقطه ذوب آن کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی گراد نباشد.
- دوربین باید تحمل تغییرات دمای محیطی ۱۰ - تا ۴۵ + درجه سانتی گراد را داشته باشد به نحوی که هیچ اشکالی در صحت عملکرد مکانیسم ایمنی آن به وجود نیاید.
- همواره شرایط محیطی استفاده از تجهیزات (از جمله دما و رطوبت) باید در انتخاب تجهیزات مورد استفاده در پرتو نگاری مد نظر قرار گیرد.
- اجزاء دوربین باید ساختاری داشته باشند که تابش اشعه نتواند باعث زوال آن ها شود.
- دسته دوربین باید تحمل ۲۵ برابر وزن خود دوربین را داشته باشد. همچنین می بایست دوربین طوری طراحی شود که اگر یک نیروی عمودی جهت بلند کردن آن اعمال شود هیچ گونه خرابی و یا تنشی به ساختار کانتینر چشمه وارد نشود.
- باید دوربین به نحوی طراحی شده باشد که برای باز نمودن اجزاء آن وسیله خاصی به کار رود یا حتماً پوشش خاصی برداشته شود.
- هرگونه اتصال به روش جوش یا به شکل لحیم اشکال دارد مگر اینکه بر اساس استانداردهای مربوطه و ضوابط مورد تأیید واحد قانونی باشد.
- دوربین باید مجهز به دسته و یا وسیله مناسب برای حمل ایمن توسط فرد باشد.
- دوربین باید مجهز به یک پلاک بادوام و مقاوم در برابر آتش که علامت خطر اشعه کلمه «Caution» نوع رادیو ایزوتوپ، حداکثر قدرت بارگذاری، شماره سریال دوربین، نام کارخانه سازنده بر روی آن درج شده است، باشد. اطلاعات باید بر روی پلاک حک شده و پلاک روی شیلد خارجی به شکل واضح و آشکار نصب گردد.



شکل (۶-۱۰) نمای شماتیک چشمه مهر و موم شده در داخل لایه محافظ به همراه تجهیزات کمکی



شکل (۶-۱۱) نمای شماتیک ساختار انواع دوربین های پرتونگاری؛ الف: دوربین های S شکل، ب: دوربین های دوار، پ: دوربین های انگشتی

جدول (۴-۶) آزمون کنترل کیفی سالانه محفظه دوربین

عملکرد بررسی شود	سیستم قفل	۱
عملکرد بررسی شود	مکانیسم ایمنی نگه دارنده	۲
عملکرد بررسی شود	انتهای اتصالات	۳
از نظر جنس و ابعاد، وزن، وجود آسیب، ترک، خوردگی بررسی شود.	حفاظ	۴
از نظر وجود آسیب بررسی شود	بدنه دوربین	۵
از نظر جنس و استحکام در محل قرارگیری بررسی شود	پیشانی تنگستنی (در مورد دوربین های کانال مستقیم)	۶
از نظر وجود آسیب و خوانا بودن علائم بررسی شود	پلاک مشخصات دستگاه	۷
بررسی شود	قسمت های دیگر (دستگیره، پایه، رنگ های مشخصه)	۸
مجدداً بسته شود، محکم بودن پیچ ها بررسی گردد، بررسی عملکردی انجام شود	محفظه دوربین	۹
آزمایش عملکرد انجام شود	آزمایش نهایی	۱۰



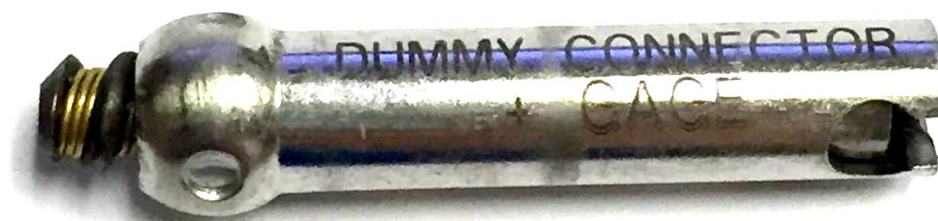
شکل (۴-۶) دوربین پرتوگاما

۶-۶-۲- تجهیزات کمکی دوربین^۱

- لوله هدایت کننده باید به نحوی فراهم شود که حرکت آزادانه هلدِر چشمه در داخل آن میسر باشد. همچنین نوک پرتودهی باید به گونه ای طراحی شده باشد که بیرون افتادن هلدِر چشمه هنگام رسیدن آن به انتهای لوله هدایت و نوک پرتودهی با نیروی متعارف و در شرایط معمول کار و غیر عمد امکان پذیر نباشد.
- پوشش گاید تیوب باید به گونه ای مناسب و بسته باشد که امکان ورود گردوغبار و شن و نفوذ رطوبت در آن وجود نداشته باشد.
- برای لوله های انعطاف پذیر باید امکان حرکت چشمه بدون گیرکردن و فشار مضاعف در صورت وجود انحنای مکرر در مسیر حرکت هلدِر چشمه وجود داشته باشد.
- نوک پرتودهی باید در محل پرتودهی به نحوی ثابت قرار گیرد که حرکت کابل و چشمه بر روی محل و موقعیت آن تأثیر نگذارد و قابلیت قرار گرفتن و اتصال مناسب در کولیماتور را داشته باشند.
- اتصال کابل به هلدِر جهت حرکت چشمه باید طوری طراحی شود که تحمل شرایط سخت و نیروهای مضاعف اپراتوری را داشته و اتصالات هلدِر و کابل تحت شرایط معمول عملی و غیر عمد به سادگی جدا و یا پاره نشوند.
- طول سیستم لوله کنترل از راه دور (کرنک) نباید کمتر از ۷/۵ متر باشد و جهت به حداقل رساندن پرتوگیری پرتو کاران باید طول کافی نسبت به شرایط پرتودهی و قدرت پرتو زایی و نوع چشمه در نظر گرفته شود. در صورت امکان کرنک باید به سامانه ای مجهز باشد که موقعیت چشمه را در هر زمان نسبت به موقعیت ایمن آن در دوربین نشان دهد.
- اگر از سیستم الکتریکی جهت حرکت دادن چشمه به موقعیت پرتودهی استفاده می شود باید مکانیسمی وجود داشته باشد که در صورت فقدان برق یا ایجاد اشکال به هر دلیلی امکان برگشت چشمه به دوربین وجود داشته باشد.
- دوربین های رادیوگرافی مانند دوربین تورچ که فاقد سیستم کنترل از راه دور برای خارج نمودن چشمه از دوربین می باشند نباید استفاده گردد مگر اینکه قبلاً توسط واحد قانونی جهت استفاده مورد تأیید قرار گرفته باشند.

جدول (۵-۶) آزمون کنترل کیفی سالانه کنترل از راه دور

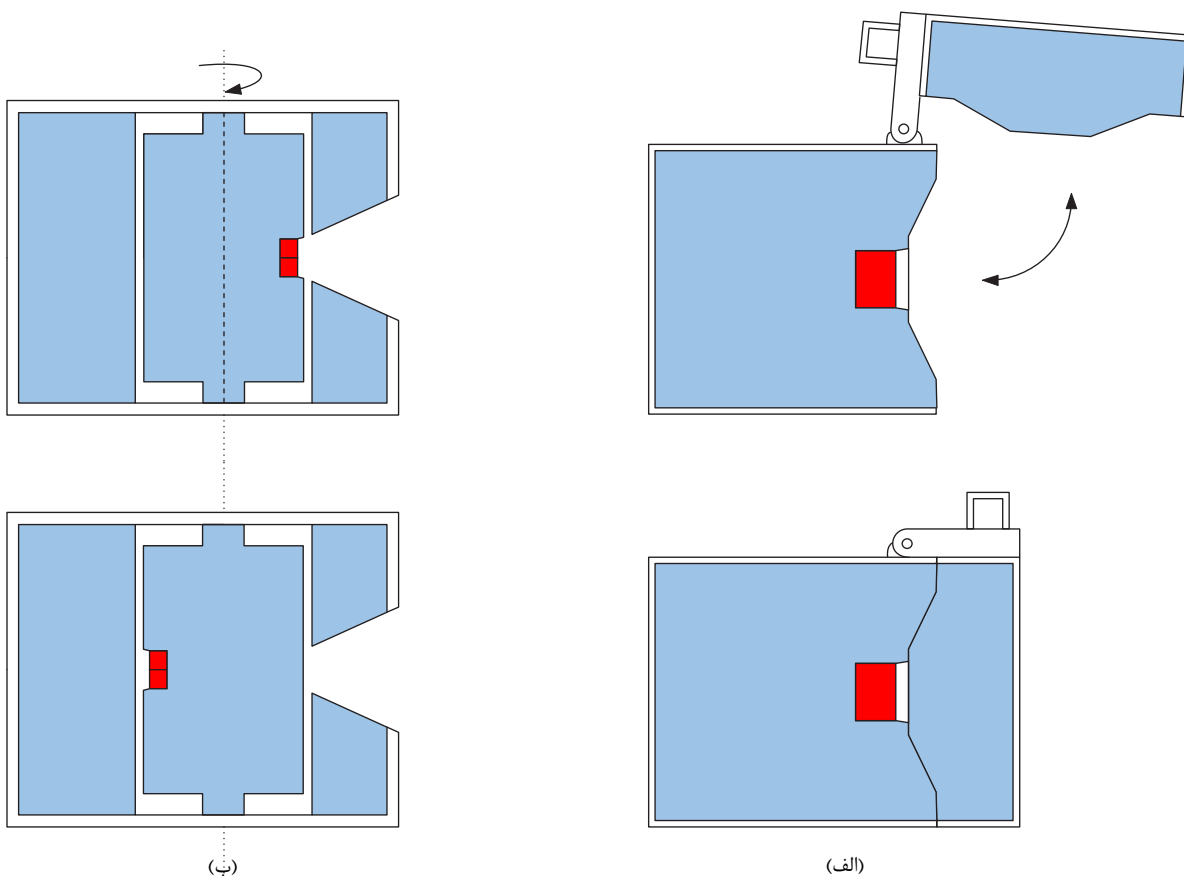
۱	اتصال کنترل از راه دور	هرگونه آلودگی برطرف گردد، از نظر فرسودگی بررسی شود
۲	فنر و سر فنر	از نظر فرسودگی، خوردگی، پارگی و طول بررسی شود؛ انتهای سردفتر از نظر فرسودگی و استحکام جایگاه بررسی شود. از نظر گیج استفاده شود.
۳	پوشش فنر	از نظر فرسودگی، خوردگی، پارگی، خمیدگی، لهیدگی و آسیب بررسی شود
۴	گیربکس و دسته کرنک	پاک شود، از نظر فرسودگی بررسی گردد، گیربکس روان کاری شود، قسمت‌های فرسوده یا کل گیربکس تعویض شود.
۵	کلیه قسمت‌های دیگر	بازرسی ظاهری شود
۶	کنترل از راه دور	مجدداً بسته شود، پیچ‌ها و چرخ‌دنده از نظر استحکام بررسی شود
۷	بررسی نهایی بررسی کننده	طول فنر کنترل شود (بررسی عملکردی انجام شود)



شکل (۶-۱۳) کانکتور Dummy



شکل (۶-۱۴) معیار GOND.GD برای انجام آزمون‌های مربوط به الزامات تجهیزات کمکی دوربین



شکل (۶-۱۵) مکانیسم شاترهای موجود برای دوربین‌های پرتونگاری؛ الف: مکانیسم لولایی در حالت باز (بالا) و بسته (پایین) - ب: مکانیسم چرخشی در حالت باز (بالا) و بسته (پایین)

۶-۷- کولیماتور

کولیماتور^۱ وسیله‌ای است که امکان تضعیف یا حذف بخشی از پرتو دریافتی در ورودی را بسته به جهت بردار حرکت امواج نسبت به دستگاه و انرژی امواج، دارا است. امواج پرتو خروجی از کولیماتور، دارای الگوی حرکتی هماهنگ و نسبت به هم موازی‌تری نسبت به امواج ورودی می‌باشند.

¹ Collimator



شکل (۶-۱۶) انواع کولیماتور ها

در پرتونگاری به اشعه ایکس بخشی از تابش های اشعه ایکس که به شکل نا موازی به کولیماتور می رسند را فیلتر می نماید که موجب افزایش تفکیک پذیری تصاویر می گردد. اندازه این فیلترسازی بسته با فاصله سرچشمه تابش و ساختار فیزیکی موازی کننده دارد. معمولاً در پرتونگاری با اشعه ایکس جنس کولیماتورهای استفاده شده از فلزاتی همچون تنگستن است.



شکل (۶-۱۷) کولیماتور از جنس تنگستن و با قابلیت اتصال مستقیم به سرشلنگ گاید تیوپ

در پرتونگاری با اشعه گاما معمولاً کولیماتورها از جنس سرب بوده و در طیف‌نگاری اشعه گاما اندازه انرژی گذرنده از موازی‌سازهایی از جنس سرب تا حد ۱٪ انرژی دریافتی، کاهش می‌یابد. بسته به مورد استفاده، کولیماتورها در شکل‌های متنوعی برای انجام پرتونگاری صنعتی در دسترس هستند. زاویه مورد نیاز جهت تصویربرداری عامل مهمی برای انتخاب کولیماتور مناسب است.



شکل (۶-۱۸) کولیماتور پانارومیک از جنس تنگستن برای ایریدیوم ۱۹۲ و سلنیم ۷۵ برای تصور برداری‌های ۳۶۰ درجه

موازی‌سازها موجب افزایش جدایی‌پذیری طیف‌های مختلف پرتو می‌گردند و در برابر میزان شار انرژی سیگنال را کاهش می‌دهند که در کاربردهای ثبت از فاصله زیاد، لزوم به‌کارگیری آشکارسازهایی با حساسیت بالاتر را ایجاد می‌نماید.

علاوه بر دلایل فنی برای استفاده از کولیماتورها، از لحاظ الزامات ایمنی نیز استفاده از کولیماتورها حائز اهمیت است، چراکه تجهیزات مذکور با محدود کردن دامنه انتشار پرتوها شرایط مناسب تری را برای استفاده بهینه از پرتوها به وجود می آورند.



شکل (۶-۱۹) کولیماتورهای نصب شده در انتهای گاید تیوپها

۶-۸- حفاظ گذاری در برابر پرتوها

حفاظ گذاری^۱ در برابر پرتوها برحسب نوع پرتو دسته بندی می شود؛ بنابراین انواع حفاظ گذاری شامل موارد زیر می شود:

۱. حفاظ گذاری در برابر پرتوهای آلفا
 ۲. حفاظ گذاری در برابر پرتوهای بتا
 ۳. حفاظ گذاری در برابر پرتوهای ایکس و گاما
 ۴. حفاظ گذاری در برابر پرتوهای نوترون
- در ادامه به بررسی هر یک پرداخته می شود.

¹ Shielding

۶-۸-۱- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای آلفا

پرتوهای α در اثر برخورد با مولکولهای هوا به سرعت انرژی از دست می دهند؛ بنابراین نیازی به حفاظ برای مهار آنها نیست. درواقع این ذرات به دلیل جرم بالای خود در برابر یک برگه کاغذ نیز متوقف می شوند.

۶-۸-۲- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای بتا

دو عامل مؤثر در طراحی حفاظ برای پرتوهای بتا برد بیشینه پرتوهای β و تابش ترمزی است. مسافتی که پرتوهای بتا به طور مستقیم در ماده طی می کنند تا متوقف شوند را برد بیشینه پرتوهای بتا می نامند و به تابشی که از متوقف شدن پرتوهای بتا در ماده حاصل می شود تابش ترمزی می گویند؛ بنابراین حفاظ مناسب برای جلوگیری از نشت تابش بتا باید حداقل دولایه باشد. درواقع مناسب ترین حفاظ برای مهار پرتوهای β از دولایه تشکیل می شود: لایه نخست ماده ای با عدد اتمی کوچک مانند پلاکسی گلس یا پلاستیک با ضخامت زیاد، برای متوقف کردن پرتوهای بتا و لایه دوم ماده ای با عدد اتمی بزرگ مانند سرب برای تضعیف پرتوهای x که از برخورد ذرات بتا در لایه نخست تولید شده است.

۶-۸-۳- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای ایکس و گاما

اشعه ایکس تک انرژی و یا اشعه گاما در عبور از حفاظ به صورت نمایی تضعیف می گردد:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (۶-۲)$$

I_0 شدت قبل از حفاظ، I شدت عبوری پس از حفاظ، μ ضریب تضعیف خطی و x ضخامت ماده استفاده شده در حفاظ است.

پرتوهای X و Γ هنگام عبور از مواد، در اثر پدیده یون سازی جذب شده و یا انرژی از دست می دهند.

تعریف لایه نیمه کننده (HVL^1): ضخامتی از ماده است که شدت پرتو را به نصف مقدار اولیه اش کاهش می دهد.

شدت پرتو (آهنگ دز) پس از عبور از n لایه HVL :

$$I_0/I = 2^n \quad (۶-۳)$$

تعریف لایه یک دهم کننده (TVL^2): ضخامتی از ماده است که شدت پرتو را به یک دهم مقدار اولیه اش کاهش می دهد.

شدت پرتو پس از عبور از n لایه TVL :

$$I_0/I = 10^n \quad (۶-۴)$$

1 Half Value Lear
2 Tenth-Value Layer

HVL و TVL به نوع ماده بستگی دارند. در جدول زیر مقادیر HVL و TVL برای مواد رایج مورد استفاده آورده شده است.

جدول (۶-۶) مقادیر HVL و TVL مواد مختلف برای حفاظت در برابر پرتو گاما در سطوح متفاوت انرژی

منبع پرتو		سرب (cm)		آهن (cm)		سیمان (cm)	
		HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
تکنسیم ۹۹		0.02					
ید ۱۳۱		0.72	2.4			4.7	15.7
سزیم ۱۳۷		0.65	2.2	1.6	5.4	4.9	16.3
ایریدیم ۱۹۲		0.55	1.9	1.3	4.3	4.3	14.0
کیالت ۶۰		1.1	4.0	2.0	6.7	6.3	20.3

جدول (۶-۷) مقادیر HVL لایه‌های بتنی و سربی برای حفاظت در برابر پرتو X در سطوح متفاوت انرژی

HVL, mm (inch)		پیک ولتاژ (kVp)
سرب	بتن	
0.06 (0.002)	4.32 (0.170)	50
0.27 (0.010)	15.10 (0.595)	100
0.30 (0.012)	22.32 (0.879)	150
0.52 (0.021)	25.0 (0.984)	200
0.88 (0.035)	28.0 (1.102)	250
1.47 (0.055)	31.21 (1.229)	300
2.5 (0.098)	33.0 (1.299)	400
7.9 (0.311)	44.45 (1.75)	1000

۶-۸-۴- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای نوترونی

نوترون‌ها بار الکتریکی ندارند. بیشینه انتقال انرژی وقتی رخ می‌دهد که نوترون با هسته اتم هیدروژن برخورد کند. با افزایش عدد جرمی میزان کند کنندگی آن‌ها کوچک می‌شود و بنابراین برای حفاظ گذاری در برابر نوترون‌ها از مواد هیدروژن دار مانند آب یا پارافین استفاده می‌شود. جذب نوترون در حفاظ تولید گاما می‌کند. از این رو حفاظ چشمه‌های نوترونی نیز همانند حفاظ در برابر پرتوهای بتا از دولایه تشکیل می‌شود. لایه نخست از مواد هیدروژن دار همچون پارافین یا آب جهت جذب نوترون‌ها و لایه دوم از مواد با جرم اتمی بالا همچون سرب که از نشت اشعه گامای حاصل از برخورد نوترون‌ها با لایه اول جلوگیری می‌کند.

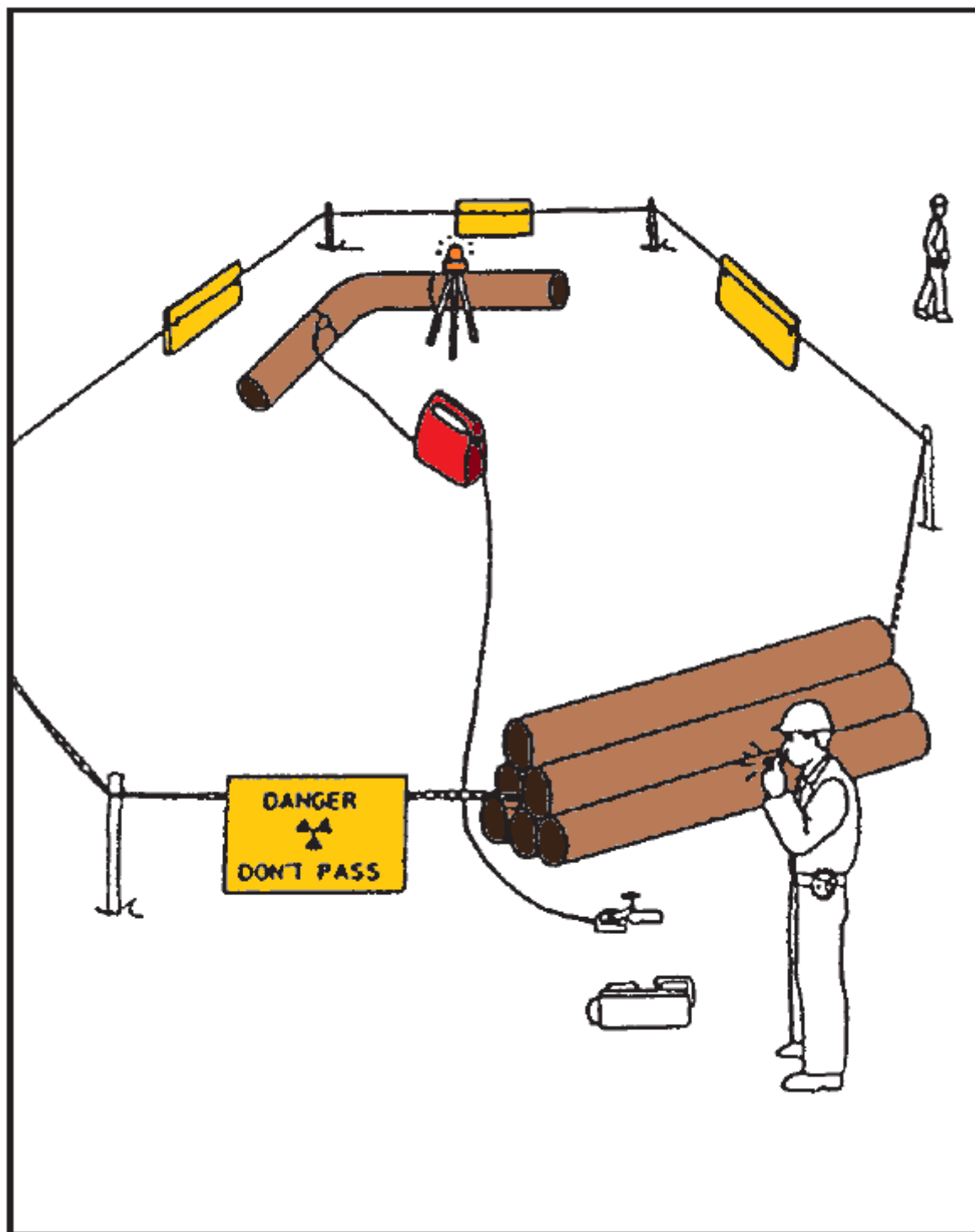
۶-۹- محدوده و مرز نواحی ممنوعه، کنترل شده و تحت نظارت در عملیات پرتونگاری

ناحیه ممنوعه: محلی که بیش از ۲ میلی سیورت در ساعت آهنگ پرتودهی داشته باشد، ناحیه ممنوعه بوده و حضور کلیه افراد در این ناحیه ممنوع است. حضور پرتونگاران با برنامه‌ریزی صحیح و دقیق، فقط در موارد خاص، در صورتی که امکان حاصل شود که مجموع حجم پرتو دریافتی از ۵۰ میکرو سیورت تجاوز نمی‌کند، بلامانع است.

ناحیه کنترل شده: اطراف منطقه‌ای که آهنگ پرتودهی در آن از ۷/۵ میکرو سیورت در ساعت تجاوز می‌کند باید توسط موانع فیزیکی به عنوان مرز ناحیه کنترل شده مشخص شود؛ در این منطقه حضور افراد غیر پرتونگار ممنوع است.

ناحیه تحت نظارت: باید اطراف منطقه‌ای که آهنگ پرتودهی آن بین ۲/۵ تا ۷/۵ میکرو سیورت بر ساعت است، به وسیله علائم مشخص شود. ایجاد موانع فیزیکی در این حالت روی مرز ضرورت ندارد اما پرتونگاران باید مراقب باشند که افراد حاضر در این ناحیه به طور ناگهانی وارد ناحیه کنترل شده نشوند.

ناحیه آزاد: اطراف مناطقی که آهنگ پرتودهی آن کمتر از ۲/۵ میکرو سیورت بر ساعت است ناحیه آزاد فرض می‌شود.



شکل (۶-۲۰) نمای کلی نحوه اعمال مرزبندی در عملیات پرتونگاری



۶-۹-۲- روش های مرزبندی و مانیتورینگ محل انجام عملیات پرتونگاری

برای انجام مرزبندی و مانیتورینگ مکانی که در آن عملیات پرتونگاری انجام می شود، مراحل زیر توسط پرتونگار به ترتیب انجام شود:

- در صورتی که پرتونگاری با دستگاه ایکس قابل حمل (پرتابل) انجام می شود. پس از باز کردن کابل دستگاه و ایجاد حداکثر فاصله بین محل میز کنترل و لامپ اشعه ایکس لازم است با دزیمتر محیطی روشن، جایی که آهنگ دز $25\mu\text{Sv/h}$ است به عنوان مرز ناحیه کنترل شده مشخص گردد.
- در صورتی که پرتو زایی چشمه مورد استفاده در عملیات پرتونگاری برابر A (برحسب کوری) باشد، در این صورت ناحیه ممنوعه و ناحیه کنترل شده به صورت کراهی به مرکز چشمه با شعاع R_t و R_c از روابط جدول زیر محاسبه می شود:

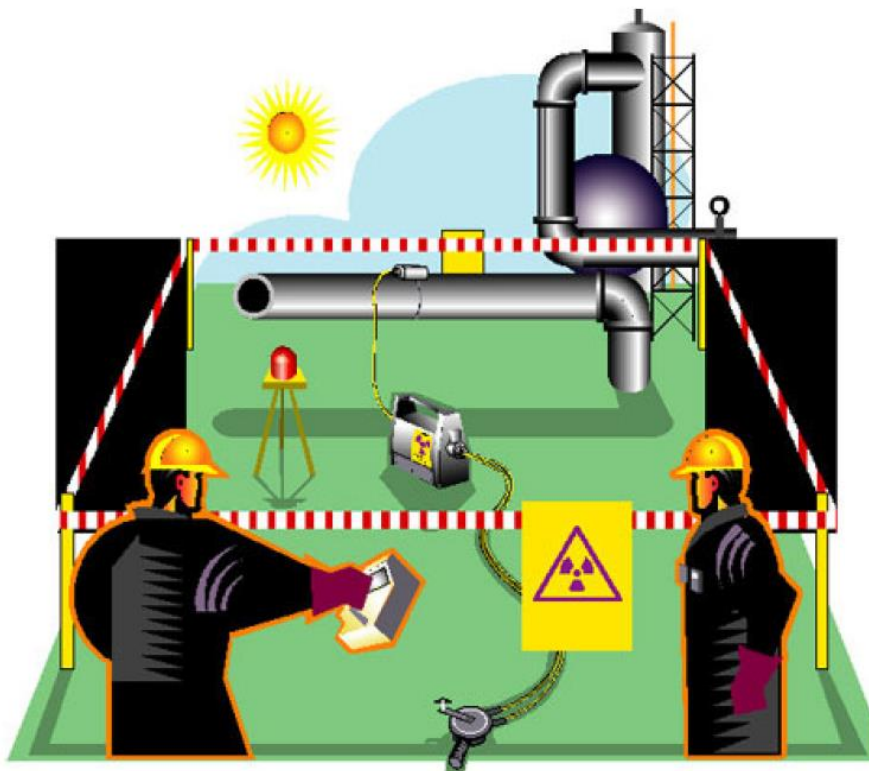
جدول (۶-۸) نحوه محاسبه شعاع دایره مرزهای کنترل شده و ممنوعه در اطراف چشمه های پرتونگاری

نوع چشمه	شعاع ناحیه ممنوعه (برحسب متر)	شعاع ناحیه کنترل شده (برحسب متر)
ایریدیوم ۱۹۲	1.6vA	14√A
کبالت ۶۰	2.6√A	23√A
سلنیم ۷۵	√A	9√A

- در مرز ناحیه ممنوعه، علامت خطر پرتوگیری با عبارت «ناحیه پرتو دهی بالا، ورود مطلقاً ممنوع» نصب گردد.
- در طول مدت پرتو دهی هیچ یک از پرتو کاران اجازه ورود به این منطقه را ندارند، مگر در موارد اضطراری با هماهنگی مسئول فیزیک بهداشت.
- به علت بالا بودن آهنگ دز در ناحیه ممنوعه، کنترل صحت مرزبندی به وسیله دزیمتر محیطی در هنگام پرتو دهی ممنوع است و مرز ناحیه ممنوعه صرفاً با انجام محاسبه تعیین می شود.
- ناحیه کنترل شده باید از افراد عادی تخلیه شود و پس از تعیین مرز ناحیه مذکور با استفاده از فرمول بالا، در اولین پرتو دهی یکی از پرتونگاران در بیرون مرز ناحیه کنترل شده قرار گیرد و در حالی که دزیمتر محیطی خود را روشن کرده، به داخل مرز ناحیه کنترل شده وارد شود تا جایی که آهنگ دز به $25\mu\text{Sv/h}$ برسد. (در این حالت مرز ناحیه کنترل شده واقعی مشخص می شود) این مرز باید به گونه ای محصور گردد که از ورود افراد عادی و غیر پرتوکار به آن ممانعت به عمل آید. در مرز ناحیه کنترل شده و در جهات مختلف که امکان ورود افراد غیر پرتوکار به این ناحیه وجود دارد، علامت خطر پرتوگیری با عبارت «ورود افراد متفرقه ممنوع» نصب گردد.
- در صورتی که به علت حضور اجباری افراد، ایجاد ناحیه کنترل شده مطابق با فرمول امکان پذیر نباشد، باید با استفاده از حفاظ یا کولیماتور، شعاع این ناحیه را تا جایی کاهش داد که بر اساس محاسبات مکتوب و با تأیید مسئول بهداشت، اطمینان حاصل گردد که آهنگ دز در مرز ناحیه از $25\mu\text{Sv/h}$ بیشتر نخواهد شد. باید در نظر داشت که

تحت هیچ شرایطی نباید دز دریافتی سالانه مردم از 1mSv تجاوز نکند.

- در حین عملیات پرتونگاری باید مرز ناحیه کنترل شده مرتباً بررسی شود و در صورت تغییر نسبت به اصلاح آن اقدام گردد.



شکل (۶-۲۱) مرزبندی محل عملیات پرتونگاری

- در صورت وجود طبقات مختلف در محل انجام عملیات پرتونگاری، مرز ناحیه کنترل شده در طبقات پایین و بالا بر مبنای 25μSv/h و محاسبات فوق انجام می شود.

۳-۹-۶- آستانه های اقدام

آستانه های اقدام و مثال هایی از علل تجاوز از آستانه های اقدام در جدول زیر ارائه شده است.

صفحه ۴۳ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
----------------	---	--

جدول (۹-۶) آستانه‌های اقدام، مثال‌هایی از برخی علل تجاوز از آستانه‌های اقدام و راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش دز به مقدار مجاز

مورداندازه‌گیری	آستانه اقدام	مثال‌های از علل تجاوز از آستانه‌های اقدام	راهکارهای پیشنهادی	فرد انجام دهنده
دوربین پرتونگاری صنعتی	آهنگ دز در سطح دوربین 2mSv/h در فاصله ۵ سانتیمتری و یک متری به ترتیب $500\mu\text{Sv/h}$ و $20\mu\text{Sv/h}$	آسیب هسته دوربین	قرار دادن ورقه سربی و کیسه ساچمه سربی روی دوربین و ارسال به مرکز ارائه‌دهنده خدمات کنترل کیفی	اندازه‌گیری توسط پرتونگار (در حضور و تأیید کارفرما) و ارسال به مرکز توسط مسئول فیزیک بهداشت
		جابجایی هلدردر کانال دوربین	کنترل قفل و درپوش‌های عقب و جلو، کنترل کانال دوربین، در صورت عدم کاهش آهنگ دز باید به مرکز ارائه‌دهنده خدمات کنترل کیفی ارسال گردد.	
		باز بودن شاتر	کنترل شاتر و قفل دوربین، در صورت عدم کاهش آهنگ دز باید به مرکز ارائه‌دهنده خدمات کنترل کیفی ارسال گردد.	
		خرابی قفل	به مرکز ارائه‌دهنده خدمات کنترل کیفی ارسال گردد.	
محل نگهداری دائم/موقت	در سطوح خارجی محل نگهداری دوربین $25\mu\text{Sv/h}$	آسیب هسته دوربین	قرار دادن ورقه سربی و کیسه ساچمه سربی روی دوربین و ارسال به مرکز ارائه‌دهنده خدمات کنترل کیفی	مسئول فیزیک بهداشت
		تغییر حفاظ محل نگهداری	اصلاح حفاظ بر اساس طراحی انجام‌شده	
		افزایش تعداد منابع از مقدار مجاز	کاهش تعداد منابع پرتو به تعداد مجاز	
وسيله نقلیه	در محل سرنشین $20\mu\text{Sv/h}$	افزایش نشی سطح دوربین	قرار دادن ورقه سربی و کیسه ساچمه سربی روی دوربین و ارسال به مرکز ارائه‌دهنده خدمات کنترل کیفی	اندازه‌گیری توسط پرتونگار ارسال به مرکز توسط مسئول فیزیک بهداشت
		تغییر محل استقرار دوربین	انتقال دوربین به محل اولیه	
حین عملیات پرتونگاری	در مرز ناحیه کنترل‌شده $25\mu\text{Sv/h}$	تجاوز آهنگ دز در مرز ناحیه کنترل‌شده	اصلاح مرز ناحیه کنترل‌شده	پرتونگار

۹-۱۰- انواع پرتوگیری شغلی

پرتوگیری، به‌طور کلی بر اساس خصوصیت شرایط کار به ۴ دسته تقسیم می‌شود:

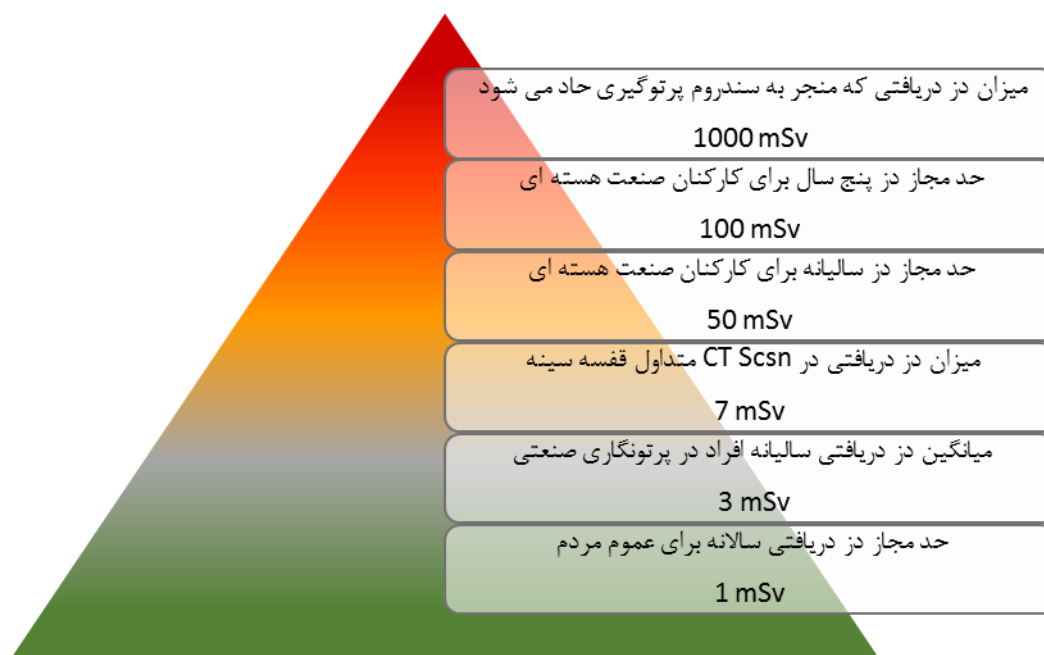
پرتوگیری عادی: قابل پیش‌بینی و کنترل است.

پرتوگیری بالقوه: بسته به شرایط محل کار ممکن است پیش بیاید اما قابل کنترل است.

پرتوگیری اورژانس: برنامه‌ریزی نشده است و به دلیل شرایط خاصش نیاز به مداخله جهت به حداقل رساندن پرتوگیری‌های بالا دارد.

پرتوگیری مزمن: به افزایش پرتوهای محیطی مانند پرتو تابی رادون مربوط است. توجه شود که پرتوگیری حاصل از پتاسیم-

۴۰، پرتوهای کیهانی و سایر رادیونوکلوئیدهای طبیعی معمول به‌عنوان پرتوگیری شغلی محسوب نمی‌شوند.



شکل (۶-۲۲) مقادیر تقریبی دز دریافتی توسط گروه‌های مختلف افراد

۶-۱۰-۲- وظایف پرتو کاران در اجرای برنامه مانیتورینگ فردی

کلیه کارکنان باید در مراحل کنترل دز مشارکت فعال داشته باشند. از پرتو کاران انتظار می‌رود:

- ۱- از قوانین و مقررات حفاظتی پیروی کنند
- ۲- از تجهیزات مانیتورینگ، لباس و ابزار مناسب استفاده کنند.
- ۳- به کارفرما راجع به سابقه شغلی و فعلی به منظور اهداف حفاظتی اطلاعات کافی را بدهند.
- ۴- اطلاعات، دستورالعمل‌ها و آموزش‌ها را بپذیرند و بکار گیرند.

ملاحظات ویژه در برنامه مانیتورینگ فردی

هر پرتوکار باید دارای یک دزیمتر اندازه‌گیری دز تجمعی باشد.

درجایی که احتمال نوسانات و تغییرات شدید در آهنگ دز و نیز احتمال پرتوگیری بالا وجود دارد، بهتر است به منظور کنترل دز، هر پرتوکار یک دزیمتر جیبی اضافی قرائت مستقیم و یا یک وسیله هشداردهنده صوتی به همراه داشته باشد.

شرایط کار و ارتباط آن با استفاده از دزیمتر فردی

ناحیه کنترل شده: در این ناحیه در شرایط عادی کار، احتمال پرتوگیری مستقیم از دستگاه‌های پرتو ساز یا مواد پرتوزا وجود دارد. استفاده از دزیمتر فردی در این ناحیه اجباری است.

ناحیه تحت نظارت: در این ناحیه معمول کارکنان با منابع پرتو، کار نمی‌کنند. استفاده از دزیمتر فردی در این ناحیه اجباری نیست.

۱۱-۶- دزیمتری

انرژی جذب شده در بافت (دز پرتو)، عامل مهمی در احتمال بروز و شدت اثرات بیولوژیک پرتو است. در صورت اطلاع از میزان پرتوی ورودی اپراتور، دز جذبی قابل اندازه گیری است. در تخمین خطرات واقعی، دو عامل مهم دیگر، یعنی اثرات بیولوژیک نسبی پرتو و حساسیت بافت نیز با اهمیت است.

۱۲-۶- دزیمتری فردی

دزیمتری شامل تجهیزات، روش ها و اندازه گیری و اصول اساسی فیزیکی و شیمیایی است که برهم کنش پرتو با ماده را تعیین می کنند. آنچه در دزیمتری به مفهوم خاص آن، مدنظر است تعیین کمیت اساسی آن یعنی انرژی جذب شده در واحد جرم جسم تحت تابش و یا به اصطلاح دز جذبی است. برهم کنش پرتو با ماده، در سطح مولکولی و اتمی منجر به اثر قابل مشاهده ای می شود که به طور مستقیم با دز جذبی جسم تحت تابش ارتباط دارد.

دزیمتری مانیتورینگ فردی مجموعه عملیات منظمی است که برای مشخص کردن میزان پرتوگیری شغلی افراد، برحسب کمیت های دز مؤثر یا دز معادل، انجام می گیرد.

هدف دزیمتری فردی تعیین و کنترل پرتوگیری شغلی افراد به منظور رعایت اصل حد دز است.

انجام منظم دزیمتری فردی منجر به دستیابی به اهداف دیگری همچون کنترل شرایط ایمنی محیط کار نیز می شود.

دزیمتر ایدئال باید از ویژگی های همچون پاسخ سریع، قابلیت تشخیص انواع پرتوهای یون ساز، اندازه گیری دقیق دز پرتوهای یون ساز با انرژی های keV تا MeV و مستقل از زاویه تابش. بعلاوه باید کوچک، سبک، کاربری آسان، محکم، ارزان و مستقل از تغییرات شرایط محیط (مثلاً گرما، رطوبت، فشار و منابع پرتوهای غیر یون ساز) باشد. متأسفانه یک چنین دزیمتری وجود خارجی ندارد. به همین منظور استفاده از طیف متنوعی از دزیمترهای فردی ضروری به نظر می رسد. سه نوع دزیمتر فردی مهم در پرتونگاری تشخیصی و بهداشت صنعتی با مزایا و معایب خاص خود عبارت اند از:

الف: فیلم بچ

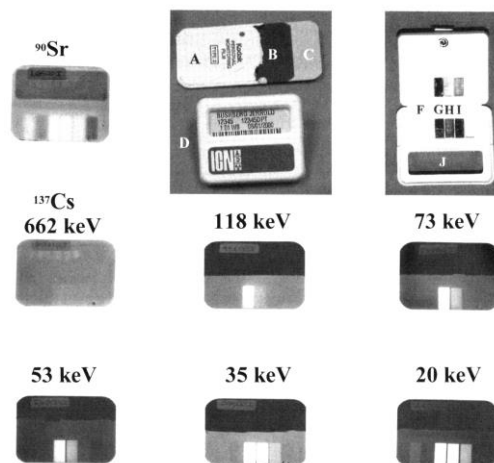
ب: دزیمتر فسفری (مثلاً، دزیمتر ترمولومینسانس TLD)

پ: دزیمتر جیبی

۱۲-۶-۱- فیلم بچ^۱

از قدیمی ترین و ساده ترین وسایل دزیمتری فردی است؛ که از یک قاب پلاستیکی که روی آن چند فیلتر فلزی از جنس و دانسیته های مختلف تعبیه شده، تشکیل شده است. فیلم بچ عمومی ترین دزیمتر مورد استفاده در پرتونگاری تشخیصی و رادیوگرافی صنعتی است. این دزیمتر شامل یک فیلم کوچک (شبیه فیلم رادیوگرافی دندان) درون لفافه کاغذی است که داخل حفاظ پلاستیکی مخصوصی بنام بچ قرار گرفته و روی لباس نصب می شود. امولسیون این فیلم مشابه فیلم پرتونگاری در

قسمت‌هایی از فیلم که تحت تابش پرتو قرار گرفته است، احیاء شده و به نقره فلزی سیاه‌رنگ تبدیل می‌شود؛ که شدت سیاهی رنگ با شدت پرتو متناسب است. با افزایش دز جذبی، فیلم سیاه‌تر می‌شود که با دانسیتومتر میزان سیاهی قابل‌اندازه‌گیری است.



شکل (۶-۲۳) فیلم‌های مورد استفاده در دزیمترهای فیلم‌بج

امولسیون فیلم حاوی دانه‌های برمید نقره که عدد اتمی مؤثر آن بیش از عدد اتمی بافت است، در نتیجه، دز فیلم معادل دز بافت نمی‌شود. با انتخاب چندین فیلتر فلزی بر روی فیلم (معمولاً سرب، مس و آلومینیوم) و استفاده از نسبت دانسیته نوری فیلم زیر فیلترها، محدوده انرژی پرتو مشخص و امکان تبدیل دز فیلم به دز بافت فراهم می‌شود. فیلم‌بج دارای منطقه‌ای بدون فیلتر فلزی یا پوشش پلاستیکی است که مستقیماً مورد تابش قرار می‌گیرد. این قسمت (پنجره باز) برای آشکارسازی پرتوهای بتای پرنانرژی و متوسط است. اکثر فیلم‌بج‌ها قادر به اندازه‌گیری دزهای ۱۰ mrad تا ۱۵۰۰ rad پرتوهای گاما و ایکس هستند. معمولاً فیلم داخل بج همراه برای پردازش به مؤسسه طرف قرارداد ارسال و گزارش پرتوگیری تقریباً دو هفته بعد دریافت می‌شود. فیلم ظاهر شده، معمولاً نزد مؤسسه، نگهداری و امکان ثبت دائمی پرتوگیری فراهم می‌شود. گزارش دزیمتری شامل دز سطحی یعنی دز پوست و دز عمقی مربوط به پرتوهای نفوذی است. فیلم‌بج سبک، ارزان، کوچک و دارای کاربری آسان‌اند. ولی امولسیون فیلم متأثر از گرما و رطوبت است و دزیمتری را مشکل یا غیرممکن می‌سازد. فیلم‌بج معمولاً روی نقطه‌ای از بدن نصب می‌شود که دارای بیشترین پرتوگیری یا حساسیت پرتوی است. اکثر رادیولوژیست‌ها یا فن‌آوران پرتوشناسی و بهداشت صنعتی فیلم‌بج را روی کمر بند یا لبه جیب پیراهن خود نصب می‌کنند. معمولاً هنگام فلورسکپی، فیلم‌بج در نزدیکی یقه و روی روپوش سربی نصب می‌شود تا دز تیروئید و عدسی چشم اندازه‌گیری شود، زیرا بخش اعظم بدن با روپوش سربی محافظت می‌شود. پرتو کاران حامله معمولاً برای اندازه‌گیری دز جنین فیلم‌بج دیگری در محل کمر بند نصب می‌کنند (زیر روپوش سربی). مزایای فیلم‌بج آن است که اطلاعات آن قابل نگهداری است. ولی عیب آن عدم دسترسی سریع به نتایج پرتوگیری است. دزیمتری معمولاً ماهانه یا سه ماه یکبار انجام می‌شود.



شکل (۶-۲۴) دزیمر فردی از نوع فیلم بیج



شکل (۶-۲۵) محل مناسب نصب بیج

۶-۱۲-۲- دُزیمتر ترمولومینسانس (TLD)^۱

بعضی دُزیمترها حاوی فسفرهای ذخیره‌ای‌اند، یعنی الکترون‌های برانگیخته از پرتوهای یون‌ساز، در حالت تحریک باقی می‌مانند؛ و اگر توسط حرارت، از دام برانگیختگی رها شوند با انتشار نور به تراز پایین‌تر سقوط می‌کنند. دُزیمترهای ترمولومینسانس (TLD) دُزیمترهای فردی و محیطی بسیار دقیق‌اند؛ البته در مقایسه با فیلم‌بج گران‌تر و در پرتوشناسی صنعتی رواج بیشتری دارند. بلور لیتیم فلوراید (LiF) معمول‌ترین بلور TLD برای دُزیمتری فردی است. محدوده پاسخ این دُزیمتر ۱ mrem تا 10^5 rem است و قابلیت استفاده مکرر دارد. مزیت دیگر آن نزدیکی عدد اتمی مؤثر آن با بافت‌های بدن است؛ بنابراین، در محدوده بزرگی از انرژی دُز آن مشابه دُز بافت است. در TLD ثبت دائمی دُز نداریم زیرا برای خواندن دُز نیاز به گرم کردن بلور و خروج انرژی جذبی آن است. از TLD به‌عنوان دُزیمتر اندام در بهداشت صنعتی و دُزیمتری سطح بدن استفاده می‌شود؛ یک انگشت حلقی بلور TLD بیشترین دُز جذبی را در جریان آماده‌سازی تجهیزات ثبت می‌کند. برای دُزیمتری در فواصل زمانی طولانی (مثلاً یک‌فصل) بازهم TLD دُزیمتر مناسبی است.



شکل (۶-۲۶) محل نصب دُزیمترهای ترمولومینسانس (TLD)

1 Thermoluminescent Dosimeter



شکل (۶-۲۷) دُزیمترهای ترمولومینسانس (TLD)

۳-۱۲-۶- دُزیمتر جیبی یا قلمی

مهم‌ترین عیب دُزیمترهای TLD و فیلم‌بج، عدم امکان قرائت هم‌زمان آن‌هاست در حالی که در دُزیمترهای جیبی، دُز جذبی یا پرتو تابی به‌طور هم‌زمان قرائت می‌شود. نوع آنالوگ دُزیمتر جیبی (اتاقک یون‌ساز جیبی) دارای یک رشته نازک کوارتز است که روی فریم متصل به الکترود مثبت، در اتاقک هوا معلق است. در اثر نیروی دافعه کولنی رشته نازک کوارتز از فریم دور می‌شود و حرکت آن توسط عدسی نوری که برحسب رونتگن یا میلی سیورت مدرج شده، قابل مشاهده است.



شکل (۶-۲۸) نمای داخلی یک دُزیمتر قلمی



در اثر برخورد پرتو، هوای داخل آشکارساز یونیزه می‌شود، بنابراین مقداری از بار مثبت هوای اتاقک، خنثی و نیروی دافعه کولنی آن کاهش می‌یابد در نتیجه، رشته کوارتز به فریم نزدیک می‌شود. این جابجایی به شکل حرکت خط نازکی روی صفحه مدرج قابل مشاهده است (شکل ۲ مقابل). اتاقک‌های یونی جیبی نوعاً برای آشکارسازی فوتون‌های با انرژی بیش از ۲۰ keV به کار می‌روند. عمومی‌ترین مدل آن‌ها، از صفر تا ۲۰۰ mR یا صفر تا ۵ R مدرج شده‌اند. این دُزیمترها، کوچک (به اندازه خودکار) و دارای کاربری آسان‌اند اما در اثر ضربه صحت و دقت آن کاهش می‌یابد. این دُزیمترها دارای قابلیت استفاده مکررند ولی امکان ثبت دائمی دُز ندارند.



شکل (۶-۲۹) نمونه‌ای از یک دُزیمتر جیبی

پرتوگیری به صورت مقدار بار الکتریکی ناشی از پرتوهای یون‌ساز در واحد جرم هوا و برحسب کولن بر کیلوگرم (C/kg) تعریف می‌شود. رونتگن واحد قدیمی $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ است. دُز پرتوگیری در هوا قابل محاسبه است به طوری که هر رونتگن پرتو تابی منجر به ۰.۸۷۶ rad دُز جذبی در هوا می‌گردد و یا به طور تقریبی هر رونتگن معادل یک راد دُز جذبی در هواست.

۶-۱۳- دستورالعمل‌های فوریت‌های پرتوی

در این قسمت نکات لازم جهت آمادگی، پیشگیری و مقابله با سوانح پرتوی و همچنین اقدامات پس از رفع سانحه آورده شده است.

۶-۱۳-۱- سوانح مربوط به دستگاه‌های اشعه ایکس و روش‌های مقابله با آن‌ها

سوانح متداول در رابطه با دستگاه‌های اشعه ایکس شامل مواردی می‌شود که در ادامه می‌آید

۶-۱۳-۱-۱ قطع نشدن پرتودهی پس از پایان عملیات پرتونگاری

علت بروز این سانحه عدم کارکرد صحیح سیستم قطع و وصل دستگاه یا خراب بودن تایمر آن است و با صدای مکرر هشداردهنده و آهنگ دز بالای محیط، همراه است. در صورت بروز این سانحه ابتدا باید برق دستگاه قطع گردد. سپس فرد با دزیمتر روشن به دستگاه نزدیک شود و کابل‌های اتصال میز کنترل و لامپ اشعه ایکس را قطع کند. دستگاه جهت تعمیر به مرکز مجاز ارائه‌دهنده خدمات و تعمیرات ارسال گردد و پس از تعمیر کنترل شده و سپس به کار گرفته شود.

۶-۱۳-۱-۲ پرتوگیری ناخواسته ناشی از ورود ناگهانی افراد به ناحیه کنترل شده

پس از خروج سریع فرد و یا قطع منبع پرتو با استفاده از مشخصات دستگاه و زمان حضور فرد و همچنین فاصله تقریبی وی از باریکه اصلی اشعه ایکس میزان پرتوگیری برآورد گردد. سپس با توجه به میزان پرتوگیری اقدامات مقتضی انجام می‌شود.

۶-۱۳-۲ سوانح مربوط به دوربین‌های پرتونگاری

در سوانح مربوط به دوربین‌های پرتونگاری باید موارد زیر موردتوجه قرار گیرند:

۶-۱۳-۲-۳ پیش‌بینی سوانح و روش‌های مقابله با آن‌ها

در صورت ملاحظه هرگونه حالت غیرعادی جهت هدایت چشمه به داخل دوربین و یا کانتینر اقدامات زیر به ترتیب انجام پذیرد:

- ۱- چنانچه سانحه در اثر تصادف اتومبیل رخ داده باشد، اولین اقدام باید کمک به مصدومان سانحه باشد.
- ۲- محل تخلیه شود و در صورت نیاز مرزبندی جدید ایجاد شود، به‌طوری‌که آهنگ دز روی مرز از $25\mu\text{Sv/h}$ بیشتر نباشد.
- ۳- در صورت مرزبندی جدید، روی مرزها علامت‌گذاری شود و تابلوی خطر پرتوگیری و تابلو ورود ممنوع نصب گردد.
- ۴- افرادی که احتمال پرتوگیری داشته‌اند شناسایی شوند.
- ۵- موضوع به مسئول فیزیک بهداشت اعلام شود.
- ۶- تجهیزات لازم آماده و جهت رفع سانحه برنامه‌ریزی شود.
- ۷- برای مشخص کردن مکان چشمه برنامه‌ریزی شود. در صورت نامشخص بودن مکان آن، چشمه به نوک پرتودهی منتقل گردد.
- ۸- تلاش لازم جهت انتقال چشمه به دوربین یا کانتینر انجام شود.
- ۹- زمان پرتوگیری پرتونگاران شرکت‌کننده در عملیات توسط یک نفر کنترل گردد.
- ۱۰- برنامه و زمان‌بندی عملیات به‌گونه‌ای باشد که پرتوگیری پرتونگاران از دز مؤثر 4mSv و برای دز معادل دست و پا و پوست از 500mSv تجاوز نکند.
- ۱۱- پرتونگاران برای کاهش پرتوگیری باید از هر وسیله ممکن نظیر کیسه سربی، بلوک سیمانی، انبر و حتی چوب بلند و

یا شن و خاک استفاده نمایند.

۱۲- پرتونگاران در صورت عدم موفقیت در اجرای موارد فوق، باید با حفظ مرزبندی و هماهنگی با مسئولین ایمنی سایتها تا رسیدن مسئول فیزیک بهداشت منتظر بمانند.

۱۳- مسئول فیزیک بهداشت به محض رسیدن به محل سانه موظف است مرزها را کنترل نماید. اگر چشمه قبلاً به کانتینر منتقل شده باشد، حفاظ کانتینر را نیز کنترل نماید و اگر انتقال چشمه به کانتینر ممکن نباشد، در صورت امکان، حفاظ موقت (مانند جعبه حمل دوربین همراه با کیسه ساچمه سربی و موارد مشابه) برای چشمه طراحی و تهیه شود و سپس چشمه را به محل امن منتقل نماید. در غیر این صورت از کارشناسان واحد قانونی کمک بگیرد.

۱۴- مسئول فیزیک بهداشت بر اساس آهنگ دز و زمان حضور و یا با استفاده از قرار دادن دزیمتر در شرایط مشابه، پرتوگیری افراد را تخمین بزند.

۱۵- دزیمتر TLD افرادی که در طول سانه احتمال پرتوگیری بیش از 4mSV داشته‌اند، بلافاصله جهت قرائت به مرکز خدمات دهنده ارسال گردد.

۱۶- از ادامه پرتونگاری افرادی که احتمالاً بیش از 50mSv پرتوگیری داشته‌اند تا مشخص شدن پرتوگیری واقعی جلوگیری گردد و جهت انجام آزمایش‌های پزشکی این افراد اقدام گردد.

۱۷- گزارش کامل چگونگی بروز سانه، نحوه مهار و پرتوگیری افراد تهیه و ثبت گردد. یک نسخه از گزارش به واحد قانونی ارائه شود.

۶-۱۳-۳- آستانه‌های پرتوگیری و حدود در سوانح

- در هنگام وقوع سانه، محل تخلیه گردد و مرزبندی جدید ایجاد شود، به‌طوری‌که آهنگ دز روی مرز از 25μSv/h بیشتر نباشد.
- برنامه و زمان‌بندی عملیات مقابله با سانه حتی‌الامکان به‌گونه‌ای باشد که دز مؤثر افراد شرکت‌کننده در عملیات از 4mSv و دز معادل دست، پا و پوست آن‌ها از 500mSv تجاوز نکند.
- در صورت برآورد پرتوگیری بیش از مقادیر بالا هرگونه اقدام پس از هماهنگی و تأیید مسئول فیزیک بهداشت انجام گیرد.

۶-۱۳-۴- آمادگی و پیشگیری از بروز سوانح

به‌منظور پیشگیری از بروز سانه و آمادگی جهت مقابله با سوانح پرتوی باید اقدامات زیر انجام گیرد:

- انجام آزمایش‌های کنترل کیفی روزانه بر روی دوربین و هلدنر چشمه توسط پرتونگار به‌منظور جلوگیری از بروز نقص فنی در تجهیزات
- بازرسی سرزده حداقل هر سه ماه یک‌بار از سایت‌ها توسط مسئول فیزیک بهداشت، به‌منظور اطمینان از رعایت اصول حفاظت در برابر اشعه در سایت‌ها

- کنترل روزانه تجهیزات مانیتورینگ فردی و محیطی توسط پرتونگاران
- هماهنگی با حراست و ایمنی سایت‌ها باهدف تقویت عوامل مؤثر در ایمنی سایت و همکاری در شرایط وقوع سانحه توسط شخص مسئول
- آموزش روش‌های مقابله و تمرین هر شش ماه یک‌بار به پرتونگاران صنعتی شامل آشنایی با انواع سوانح متداول، روش‌های مقابله، تجهیزات اضطراری، علل بروز سوانح، دوربین پرتونگاری صنعتی و نقاط ضعف و قوت آن توسط مسئول فیزیک بهداشت
- آماده نمودن تجهیزات اضطراری

۶-۱۳-۵- تجهیزات موردنیاز جهت رفع سانحه

این تجهیزات که به همراه دستورالعمل فوریت‌های پرتوی موردنیاز خواهند بود، عبارت‌اند از:

- ۱- انبر چشمه گیر
- ۲- کانتینر موقت
- ۳- ورق، دستکش و کیسه ساچمه سربی
- ۴- کپسول آتش‌نشانی
- ۵- نوار و علائم خطر جهت مرزبندی و چراغ چشمک‌زن
- ۶- جعبه‌ابزار شامل تجهیزات برش
- ۷- دزیمترهای فردی و محیطی
- ۸- هشداردهنده
- ۹- چراغ‌قوه



شکل (۶-۳۰) نمونه‌ای از محفظه نگهداری (کانتینر) چشمه

۶-۱۳-۶- تفکیک وظایف افراد در هنگام بروز حادثه

وظایف افراد درگیر در سانحه به شرح زیر است:

۶-۱۳-۴- وظایف پرتونگار در هنگام بروز حادثه

- اندازه گیری آهنگ دز در اطراف ناحیه کنترل شده و علامت گذاری ناحیه جدید پس از وقوع سانحه
- جلوگیری از ورود افراد به ناحیه جدید
- جمع آوری اطلاعات مرتبط با افراد پرتودیده (نظیر اطلاعات فردی)
- برنامه ریزی جهت بازیابی چشمه و آماده نمودن وسایل لازم توسط گروه پرتونگاری با همکاری یکدیگر و هماهنگی با مسئول فیزیک بهداشت
- اطلاع دادن به مسئول ایمنی کارگاه یا مسئول سایت
- کاهش سطح پرتودهی توسط مواد مختلف نظیر بلوک های بتونی، صفحات سربی و کیسه های ساچمه سربی
- انتقال سریع چشمه با رعایت توصیه های ایمنی و حفاظتی به داخل حفاظ
- تماس با مسئول فیزیک بهداشت و گروه های فوریت های اضطراری در صورت احتمال گسترش سانحه

۶-۱۳-۵- وظایف مسئول فیزیک بهداشت پس از وقوع سانحه

به طور کلی مسئولیت مقابله با سانحه و کاهش پرتوگیری پرتو کاران بر عهده مسئول فیزیک بهداشت است. وظایف افراد درگیر در سانحه باید قبل از وقوع سانحه پیش بینی گردد و به نحو مقتضی به افراد تفهیم و تمرین های دوره ای در نظر گرفته شود. در هنگام وقوع سانحه در صورتی که مسئول فیزیک بهداشت بتواند در محل سانحه حضور داشته باشد، باید کلیه عملیات در حضور و با هدایت وی انجام گیرد و در غیر این صورت از آنجاکه مسئولیت ارائه توصیه های لازم از لحظه وقوع سانحه تا زمان اطمینان از کنترل کامل سانحه بر عهده مسئول فیزیک بهداشت است، باید اطمینان حاصل نماید که کسی می تواند کلیه وظایف زیر را انجام دهد.

وظایف مسئول فیزیک بهداشت پس از وقوع سانحه به شرح زیر است:

۶-۱۳-۶- وظایف مسئول فیزیک بهداشت قبل از انتقال چشمه

- کنترل وضعیت طناب، علائم هشدار دهنده و مرزها
- جلوگیری از ورود افراد به منطقه خطر
- برآورد تقریبی پرتوگیری و زمان بندی حضور افراد درگیر در عملیات رفع سانحه
- بازگرداندن چشمه به داخل دوربین یا کانتینر با توجه به برآورد پرتوگیری افراد

۶-۱۳-۷- وظایف مسئول فیزیک بهداشت بعد از انتقال چشمه

کنترل قفل ها و محفظه چشمه

جلوگیری از ادامه کار افراد پرتودیده

ارسال دزیمترهای فردی به مرکز ارائه دهنده خدمات دزیمتری

کسب اطلاع از مراحل سانحه و تهیه گزارش

اعزام افراد سانحه دیده و افراد درگیر در رفع سانحه جهت انجام آزمایش‌ها و معاینات پزشکی

تکمیل فرم سانحه و ارسال گزارش کامل سانحه به همراه نتایج آزمایش‌های پزشکی و دزیمتری فردی به واحد قانونی

اعزام افراد سانحه دیده و افراد درگیر در رفع سانحه جهت انجام آزمایش‌ها و معاینات پزشکی به واحد قانونی (در صورت الزام واحد قانونی)



شکل (۶-۳۱) نحوه انجام دزیمتری دوربین پرتونگاری

۶-۱۴- سوانح متداول در پرتونگاری صنعتی و روش مقابله با آنها

برخی سوانح متداول در پرتونگاری صنعتی عبارت‌اند از:



- گم شدن چشمه پرتونگاری
 - بیرون افتادن چشمه از تجهیزات پرتونگاری
 - آسیب به هلدر چشمه و یا کپسول چشمه
 - گیر کردن هلدر چشمه به دلیل معایب مختلفی که منجر به بروز نقص در سیستم برگشت چشمه به دوربین و عدم کارایی آن گردد
 - سقوط دوربین
 - درگیر شدن کپسول چشمه، هلدر چشمه و یا دوربین پرتونگاری صنعتی
- روش‌های کنترل این سوانح باید با هماهنگی مسئولین شرکت انجام شود، این روش‌ها در زیر آمده است:

۶-۱۴-۱- گم شدن چشمه پرتونگاری

گم شدن چشمه پرتونگاری معمولاً به دلیل سرعت دوربین حاوی چشمه یا بیرون افتادن هلدر در هنگام انبارداری، استفاده و یا حمل و نقل اتفاق می‌افتد. کم بودن غیرمنتظره آهنگ دز در سطح دوربین پرتونگاری و همچنین نبودن هلدر داخل دوربین دال بر گم شدن آن می‌تواند باشد.

۶-۱۴-۸- جستجوی منطقه

جمع‌آوری اطلاعات: در دست رس بودن اطلاعات زیر برای جستجوی مناسب منطقه از طریق تماس با مسئولین ذی‌ربط و پرسنل پرتونگاری ضروری است:

- مشخصات ماده پرتوزای گم‌شده
 - محل استفاده چشمه موردنظر
 - مشخصات دوربین پرتونگاری حاوی چشمه
 - در صورت گم شدن حین جابه‌جایی، مسیر حرکت چشمه
 - نام پرتونگار و مسئول فیزیک بهداشت سایت
 - تاریخی که متوجه مفقود شدن چشمه شده‌اند
 - نام اولین فردی که متوجه مفقود شدن چشمه شده است
 - اقداماتی که برای پیدا کردن چشمه انجام شده است
 - مشخصات شرکت‌های پرتونگاری مجاور که در سایت مشغول به کار هستند.
- صحت اطلاعات فوق و سایر اطلاعات جمع‌آوری شده، باید با مطالب مندرج در دفتر ثبت گزارش روزانه مقایسه و تأیید گردد.
- عملیات جستجو: با کمک یک دزیمتر محیطی، مناطق مشکوک مانند اطراف انبار و مسیرهای محتمل، اتاق انبار و محل استفاده چشمه، آخرین محلی که چشمه در آنجا استفاده شده است، برای اندازه‌گیری سطح پرتوی بیشتر از مقدار زمینه



جستجو شود. به علاوه، جستجوی در نزدیکی چاله‌ها، دیوارها، مناطق جمع‌آوری و دفن زباله‌های شهری و نهرهای آب ادامه یابد و در انتها با استفاده از تیم‌های دیگر، بنگاه‌های خریدوفروش انواع ضایعات فلزی در منطقه موردنظر بازرسی شود.

اطلاعیه عمومی: در اطراف منطقه‌ای که چشمه مفقود شده است باید پلاکارد حاوی تصویر چشمه گمشده، تصویر دوربین حاوی چشمه و مشخصات ظاهری از قبیل ابعاد، وزن و علائم مندرج بر روی دوربین و خطرات چشمه، تهیه و نصب گردد.

ارسال نامه محرمانه با بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها: در صورتی که پس از طی مدت ۸ الی ۱۰ روز از مفقود شدن چشمه، عملیات کاوش چشمه مفید واقع نشد، به مراکز درمانی ارسالی گردد. باید به کلیه بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در سرتاسر منطقه، در مورد مفقود شدن چشمه آماده‌باش داده شود و اطلاعات مربوط به موارد گزارش شده از صدمات ناشی از پرتوگیری در منطقه گردآوری شود.

ارسال نامه به نیروی انتظامی: در موارد سرقت دوربین یا چشمه برای پیدا کردن مظنون باید از نیروی انتظامی درخواست کمک کرد و از طریق آن‌ها در مورد مفقود شدن چشمه اقامه دعوی نمود.

۶-۱۴-۹- روش‌های بازیابی چشمه

شناسایی محلی: در صورتی که محل حدودی گم‌شدن چشمه مشخص شده باشد، مکان دقیق چشمه با حرکت دزیمتر محیطی و انجام اندازه‌گیری مشخص می‌شود.

در هنگام کاوش برای پیدا کردن چشمه، افراد باید به دزیمتر محیطی، دزیمتر فردی قرائت مستقیم، دزیمتر قرائت غیرمستقیم (دزیمتر ترمولومینسانس) و نیز هشدار صوتی مجهز باشند.

مهار چشمه در نواحی با آهنگ دز پایین: در نواحی با آهنگ دز حدود 10mSv/h یا کمتر، از فاصله دوم‌تری، چشمه با استفاده از یک انبر برداشته شود و به سرعت به داخل کانتینر سربی قرار گیرد.

عملیات مهار چشمه در نواحی با آهنگ دز بالا: در نواحی با آهنگ دز بیشتر از 10mSv/h ، روی چشمه باید به وسیله کیسه ساچمه سربی و ورقه‌های سربی پوشانده شود تا سطح پرتو کاهش یابد. یک حفاظ موقت در پشت کیسه ساچمه سربی قرار داده شود و با استفاده از انبر چشمه برداشته شود و داخل کانتینر سربی مناسب برای نوع چشمه قرار گیرد. باید دقت شود که در هیچ موردی، درگیری افراد درگیر در مهار سانه از ۴ میلی سیورت بیشتر نشود. در عملیات مهار سوانح، استفاده از دزیمتر فردی و تجهیزات هشداردهنده ضروری است.

تقسیم کار بین پرتونگاران درگیر در سانه: جهت مدیریت و کنترل پرتوگیری افراد، عملیات جستجو و مهار چشمه توسط اعضای یک گروه و به طور نوبتی انجام پذیرد.

کاوش چشمه در زیر خاک: پس از تعیین محل دقیق چشمه، با استفاده از یک بیل با طول حداقل ۲ متر، مقداری از خاک روی محل احتمالی چشمه برداشته و بر روی یک صفحه کاغذی بزرگ در فاصله دورتر ریخته شود. سپس از فاصله دور آهنگ دز در مجاورت خاک برداشته شده اندازه‌گیری شود. این عملیات به دفعات تکرار شود تا چشمه پیدا شود. پس از پیدا شدن چشمه با استفاده از یک انبر دو متری، چشمه داخل کیسه پلاستیکی که قبلاً درون کانتینر سربی تعبیه شده است قرار گیرد.

کاوش چشمه در آب‌های کم عمق: در صورتی که آب صاف باشد و چشمه از سطح آب دیده شود، چشمه به کمک یک انبر دو

متری برداشته و داخل یک محفظه سربی قرار داده شود.

در مواردی که آب گل آلود باشد ابتدا با کمک دزیمتر محیطی محل احتمالی چشمه تعیین شود. سپس با استفاده از یک بیل با طول دسته حداقل ۲ متر، چشمه از کف آب خارج شود و به کمک یک انبر بلند دو متری به داخل کانتینر سربی هدایت گردد.

کاوش چشمه در آب های عمیق (چاه عمیق، بستر رودخانه، دریا): عملیات بازیابی چشمه باید تنها در حالتی انجام

پذیرد که:

- سطح میدان پرتو بالاتر در حد هشدار باشد
- منطقه قابل کنترل و محصور کردن نباشد
- از آب برای آشامیدن استفاده شود
- چشمه دارای نیمه عمر بالا باشد.

با توجه به نکات ذکر شده باید تصمیم گرفته شود که چشمه رها شده در آب باقی بماند و یا عملیات جستجو برای پیدا کردن چشمه انجام پذیرد. در صورتی که تصمیم گرفته شود که چشمه در بستر رودخانه و دریا و یا چاه عمیق باقی بماند، باید اطمینان حاصل گردد که چشمه در بستر رودخانه و یا دریا حرکت نمی کند، امکان آلودگی وجود ندارد و پرتوگیری ناشی از تشعشعات حاصل از چشمه از حدود پرتوگیری مردم تجاوز نمی کند. در صورتی که تصمیم به کاوش و بازیابی چشمه گرفته شود، عملیات جستجو باید با اطلاع و کمک گرفتن از نیروهای آتش نشانی و تحت نظر متخصصین حفاظت در برابر اشعه انجام پذیرد.

۶-۱۴-۲- بیرون افتادن چشمه از تجهیزات پرتونگاری

ابتدا باید مکان تقریبی چشمه مشخص گردد. برای این منظور استفاده از دزیمتر محیطی مناسب ضروری است. در صورتی که این اتفاق در شب و در شرایط کافی نبودن روشنایی اتفاق افتاده باشد باید مرزبندی اطراف محل انجام شود و سپس جستجو در روشنایی روز انجام شود. در عملیات جستجو تعویض نفرات موجب کاهش پرتوگیری هریک از افراد درگیر در عملیات می گردد. پس از مشخص شدن مکان دقیق چشمه، به کمک یک انبر چشمه به داخل کانتینر موقت منتقل می شود.

۶-۱۴-۳- آسیب دیدن هلدن چشمه

در صورتی که به نوک هلدن آسیب وارد شده باشد، ممکن است کپسول چشمه از هلدن خارج شده باشد. در صورت وارد آمدن آسیب به کپسول چشمه، امکان خارج شدن پولک های چشمه و پراکنده شدن آن در اطراف وجود دارد. لذا قبل از شروع عملیات برای بازیابی چشمه، ابتدا نوع آسیب وارد شده به هلدن چشمه مشخص گردد.

با کمک وسایل مانیتورینگ فردی و دزیمتر محیطی، به منظور طراحی عملیات برای مهار سانحه، از یک فاصله ایمن، میزان آهنگ پرتو در محیط تخمین زده شود. سپس نوع آسیب وارد شده (اینکه آیا تنها هلدن چشمه آسیب دیده و یا به کپسول چشمه نیز آسیب وارد شده است) مشخص گردد. برای تشخیص آسیب دیدگی کپسول، ابتدا باید اطمینان حاصل شود که

کپسول از لوله هدایت (گاید تیوپ) خارج شده است. سپس یک فیلتر یا دستمال کاغذی مرطوب داخل کانال لوله هدایت وارد شود و پس از بیرون آوردن آن، آهنگ دز آن اندازه گیری شود. آهنگ دز باید در مکانی که آهنگ دز آن در سطح زمینه است اندازه گیری شود. چنانچه آهنگ دز در اندازه گیری بالاتر از سطح زمینه محیطی باشد، نشان دهنده آسیب دیدگی کپسول است. در صورتی که کپسول هلدنر چشمه آسیب دیده باشد، امکان خارج شدن پولک ها و پراکنده شدن آن در اطراف وجود دارد و از این رو ناحیه خطر ممکن است گسترش یافته باشد.

عملیات بازیابی بسته به آسیب دیدن کپسول و یکپارچه بودن آن انتخاب شده و باید مطابق رویه ذکر شده پیش برده شود.

۶-۱۴-۴- آسیب دیدگی هلدنر چشمه (کپسول چشمه سالم است)

□ **سطح پرتو کم:** به کمک یک دزیتر محیطی با گستره اندازه گیری وسیع، محل دقیق هلدنر آسیب دیده که کپسول چشمه درون آن است پیدا شود و یا در صورتی که کپسول چشمه به طور سالم و یکپارچه از هلدنر خارج شده باشد، محل استقرار کپسول چشمه مشخص شود. در صورتی که سطح پرتو کمتر از 10mSv/h باشد از فاصله دو متری، کپسول چشمه و یا هلدنر آسیب دیده با یک انبر ابتدا در یک کانتینر پلاستیکی و سپس در داخل یک کانتینر سربی مناسب قرار داده شود.

□ **سطح پرتو متوسط:** در صورتی که میزان پرتو در فاصله دو متری بیشتر از 10mSv/h باشد، باید با استفاده از ورقه های سربی، کیسه های ساچمه سربی باروکش پارچه ای و پرده سربی برای هلدنر و یا کپسول چشمه حفاظ تهیه شود و بدین ترتیب سطح پرتو منطقه پایین آورده شود. عمل فوق باید از یک فاصله ایمن و با استفاده از انبرهای کنترل از راه دور مانند گیره های بلند انجام پذیرد.

□ **سطح پرتو بالا:** ابتدا برای کپسول چشمه و یا هلدنر، بر اساس روش ارائه شده برای سطوح پرتو متوسط حفاظ مناسب فراهم گردد و سپس مهار چشمه بر اساس دستورالعمل ارائه شده برای سطوح پرتو پایین با پناه گرفتن در پشت پاراوان متحرک سربی و یا حصار سربی جهت کاهش دز فردی انجام پذیرد.

در تمامی روش های ذکر شده در سه قسمت قبل، انجام کلیه مراحل به طور صحیح و قدم به قدم الزامی است تا اطمینان حاصل گردد که مقدار دز دریافتی توسط هر یک از افراد تا حد ممکن قابل دستیابی کاهش یافته است و در هیچ حالتی پرتوگیری یک نفر از 4mSv تجاوز نمی کند.



شکل (۶-۳۲) نمونه‌ای از پاراوان های سربی جهت پناه گرفتن افراد در عملیات مقابله با حوادث با سطوح بالای پرتو

۶-۱۴-۵- شکستگی کیسول چشمه (از هم پاشیدگی پولک های چشمه)

تشخیص و بازیابی پولک های چشمه: ابتدا منطقه آلوده با اندازه گیری به وسیله یک دزیتر محیطی با گستره اندازه گیری وسیع مشخص شود و سپس با استفاده از یک دزیتر محیطی با گستره اندازه گیری وسیع که به یک میله بلند متصل است، محل دقیق پولک های چشمه تعیین گردد. به منظور جلوگیری از آلودگی، یک پوشش (مانند کیسه نایلونی) بر روی آشکارسازها کشیده شود.

پس از مشخص نمودن منطقه عملیات، با توجه به تعداد پولک های مفقود شده و اکتیویته آنها، تعداد کارکنان مورد نیاز تخمین

زده شود و افراد انتخاب گردند.

در صورتی که پولک‌ها از نظر اندازه کوچک باشند، می‌توان آن‌ها را با استفاده از سطوح چسب‌دار برداشت. برای مثال استفاده از یک نوار چسب که به یک گیره بلند متصل باشد، مناسب است. پولک‌های چسبیده شده به نوار چسب همراه با نوار چسب به‌طور یکجا به کانتینر پلاستیکی منتقل شوند و این کار باید مشترک توسط چند نفر تکرار گردد تا کلیه ذرات پراکنده شده جمع‌آوری گردند و در داخل کانتینر پلاستیکی قرار گیرند. سپس کانتینر پلاستیکی به کانتینر سربی انتقال داده شود.

شمارش: با در نظر گرفتن قدرت چشمه، باید دقیقاً تعداد پولک‌های پراکنده شده تعیین گردد تا اطمینان حاصل شود که تمام پولک‌های منطقه جمع‌آوری شده است.

بررسی آلودگی: ساییده شدن پولک‌های چشمه بر روی انبر و یا سایر قطعات، ممکن است سبب ایجاد آلودگی در محل سانحه گردد. به همین دلیل باید با استفاده از شمارشگرهای آلودگی و دزیمتر محیطی بسیار حساس، منطقه از نظر آلودگی کنترل گردد. کلی مواردی که احتمال داده می‌شود آلوده باشند (نظیر لباس یا کفش افراد در آن ناحیه) باید به‌دقت در بسته‌های پلی‌اتیلن (پلاستیک مقاوم) بسته‌بندی گردند و جهت رفع آلودگی و ایمن‌سازی به آزمایشگاه‌های مجهز ارسال گردند.



شکل (۶-۳۳) شمای کلی نحوه قرارگیری پولک‌ها در کپسول چشمه

۶-۱۴-۶- نقص در سیستم برگشت چشمه به داخل محفظه

عدم کارایی سیستم برگشت چشمه به داخل محفظه به دلیل بروز یکی از نقایص زیر است:

۶-۱۴-۱۰-۱- ایجاد انحنای لوله هدایت

الف: انحنای لوله هدایت در هنگام خارج کردن چشمه:

- در این حالت بدون وارد کردن فشار به آرامی سعی در برگرداندن چشمه به داخل کانتینر شود.
- با انجام دزیمتری از برگشت چشمه به داخل کانتینر اطمینان حاصل گردد.
- کنترل از راه دور و لوله هدایت از دوربین جدا شود و نسبت به تعمیر لوله هدایت اقدام گردد.
- قبل از استفاده مجدد از دوربین باید حرکت فنر کنترل از راه دور و حرکت روان آن در لوله هدایت اطمینان حاصل شود.

ب: انحنای لوله هدایت در هنگام برگرداندن چشمه به داخل:

- در این حالت بدون اعمال زور برای برگرداندن چشمه به داخل کانتینر، چشمه به آرامی به انتهای لوله و نوک پرتو دهی هدایت گردد، به طوری که حداکثر فاصله از محل چشمه وجود داشته باشد.
- مقدار پرتو به وسیله دزیمتر محیطی اندازه گیری شود.
- روی نوک پرتو دهی به وسیله صفحات سربی و کیسه سربی پوشانده شود تا مقدار پرتوگیری افراد درگیر در مهار سانه در نزدیکی لوله هدایت و کانتینر دوربین به حداقل برسد.
- محل انحنای لوله هدایت جستجو شود و محل دقیق انحنای لوله با استفاده از متر و یا از روی تعداد دورهای کنترل از راه دور تعیین گردد و پس از باز کردن انحنای لوله، چشمه به داخل کانتینر برگردانده شود.

۶-۱۴-۱۱- صدمات جدی لوله هدایت

- در مواقعی که برگرداندن چشمه به داخل کانتینر با مشکل مواجه باشد، باید بدون وارد آوردن فشار، چشمه به انتهای لوله هدایت و نوک پرتو دهی هدایت شود.
- روی آن با صفحات سربی و کیسه ساچمه پوشانده شود تا سطح پرتو دهی در اطراف دوربین و لوله هدایت کم شود. محل تقریبی قسمت آسیب دیده باید به کمک متر و یا از روی تعداد دورهای کنترل از راه دور تعیین شود. باید تلاش شود تا آسیب وارده تعمیر شود، به نحوی که فرم استوانه ای لوله هدایت ایجاد گردد و امکان برگشت بدون آسیب رساندن به فنر مهیا شود. سپس یک پوشش استوانه ای پلاستیکی برای قسمت مزبور تهیه شود و چشمه به داخل دوربین برگردانده شود.

۶-۱۴-۱۲- گیر کردن هلدیچ چشمه درون لوله هدایت به نحوی که نتواند هیچ گونه حرکتی داشته باشد

گیر کردن هلدیچ چشمه درون لوله هدایت به دلیل خرابی لوله هدایت، له شدن شدید آن، سقوط جسم سنگین بر روی لوله هدایت و یا وجود یک جسم خارجی در داخل لوله هدایت اتفاق می افتد. اگر هنگام بیرون آمدن چشمه فرایند حرکت به سختی انجام شود، باید با دقت و آرامی چشمه به داخل دوربین برگردانده شود و پس از بازبینی و کنترل لوله هدایت در صورت خراب نبودن آن مجدداً شروع به کار گردد. در صورتی که در هنگام برگشت، گیر کردن به نحوی باشد که هیچ گونه حرکتی امکان پذیر نباشد، ابتدا باید مکان چشمه با توجه به تعداد دور کرنک مشخص شود. سپس آن محل با کیسه ساچمه سربی پوشانده شود

تا آهنگ دز کاهش یابد. در مرحله بعد لازم است آن قسمت از لوله هدایت که چشمه در آن گیر کرده است جدا شود. این کار همواره به وسیله دستگاه برش با ایجاد دو برش در فاصله ۱۰ سانتی متری از طرفین محل گیر کردن انجام می شود. پس از برش، قسمت بریده شده به داخل کانتینر منتقل شود و با کیسه ساچمه سربی پوشانده شود. سپس مجموعه به سازمان انرژی اتمی منتقل گردد.

۶-۱۴-۶-۱۳- باقی ماندن چشمه درون لوله هدایت به علت اتصال فنر کنترل از راه دور به هلدِر یا جدا شدن چشمه

عدم اتصال کنترل از راه دور به دلایل زیر ممکن است رخ بدهد:

الف) آسیب دیدگی ته هلدِر که منجر به عدم اتصال صحیح و سبب پاره و شکسته شدن اتصال می گردد و یا سر فنر آسیب دیده یا خوردگی دارد.

ب) خارج شدن کپسول چشمه از هلدِر که ممکن است سبب بروز مشکلات زیر گردد

□ رها شدن هلدِر چشمه

□ آسیب به قسمت برجسته دم هلدِر که ممکن است که با کنترل از راه دور چفت می شود

□ شکستگی قسمت نوک یا دم هلدِر

در هر دو مورد بالا، ممکن است پس از بستن کامل کنترل از راه دور، مشاهده گردد که نتایج اندازه گیری های محیطی بالا است. لذا، قبل از هرگونه اقدامی ابتدا باید مشخص گردد که عدم اتصال کابل کنترل از راه دور به دم هلدِر ناشی از آسیب دیدگی دم هلدِر و یا خارج شدن کپسول چشمه از هلدِر است. روش های زیر برای روشن نمودن موقعیت به کار می رود:

ابتدا کابل کنترل از راه دور حرکت داده شود تا چشمه به انتهای لوله هدایت در قسمت نوک پرتودهی بررسی. کابل کنترل از راه دور برگردانده شود و بر روی چشمه کیسه ساچمه سربی و صفحات سربی قرار داده شود. مقدار پرتودهی در اطراف دوربین با استفاده از یک دزیمر محیطی مناسب اندازه گیری گردد و در صورت بالا بودن میدان پرتو، بر روی چشمه حفاظ اضافی قرار داده شود.

فرد با همراه داشتن TLD، دزیمر قلمی و هشداردهنده با احتیاط بسیار زیاد به پشت دوربین نزدیک شود و اتصال قسمت عقب جدا گردد، در صورت مشاهده دم هلدِر، کپسول چشمه از هلدِر خارج شده است. در این حالت جهت کنترل رهاشدگی هلدِر، پس از هدایت چشمه به نوک پرتودهی و قرار دادن کیسه ساچمه سربی بر روی آن، مقدار پرتودهی محیط کنترل گردد و در صورت بالا بودن مقدار پرتودهی، بر روی پرتودهی حفظ اضافی قرار گیرد.

پس از برگرداندن کامل فنر به داخل دوربین، لوله هدایت و کابل کنترل از راه دور از دوربین جدا شود. در نزدیک دوربین یک صفحه بزرگ سفید بر روی زمین پهن شود و در صورتی که کانال دوربین از نوع S باشد، یک عدد کانتینر سربی جهت قرار دادن چشمه در آن در نزدیک صفحه قرار داده شود و در صورتی که کانال دوربین مستقیم باشد، تویی دور قفل چرخانده شود و کانال دوربین در حالت باز نگه داشته شود تا امکان دسترسی به کانال دوربین وجود داشته باشد.

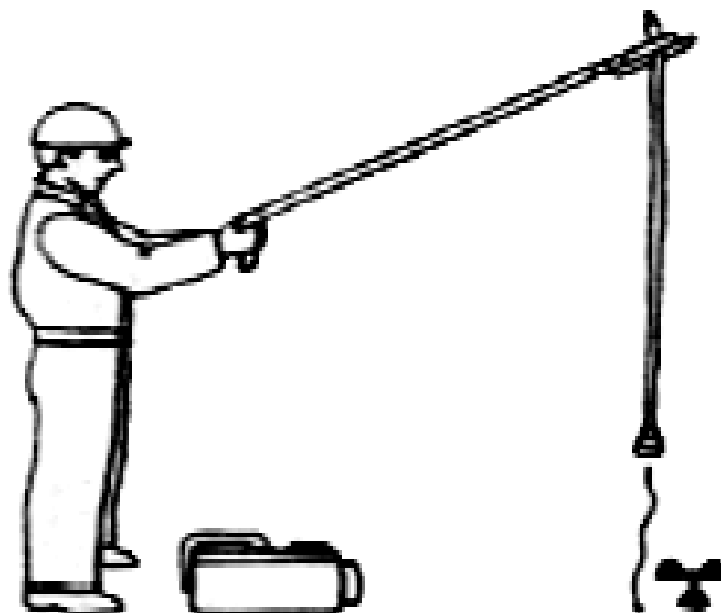
در صورتی که بیشتر از یک لوله هدایت به دوربین وصل باشد، لوله هدایت اضافه شده از انتهای آن جدا شده و سر لوله هدایت

اصلی که چشمه در انتهای آن قرار دارد، با انبر گرفته شود و با استفاده از یک انبر دیگر انتهای لوله هدایت بلند شود و هلدردر چشمه بر روی کاغذ انداخته شود. بلافاصله هلدردر داخل کانتینر سربی و یا در صورت امکان در داخل دوربین قرار داده شود و در صورت نیاز بر روی آن حفاظ اضافی قرار گیرد. روش فوق باید مرحله به مرحله و در حداقل زمان انجام شود و به منظور به حداقل رساندن پرتوگیری افراد درگیر در مهار سانه، عملیات مهار سانه باید توسط یک تیم انجام شود و پرتو کاران به طور چرخشی در عملیات مشارکت داشته باشند.

در حالتی که کپسول چشمه از هلدردر جدا شده باشد، مراحل فوق تا قرار گرفتن کپسول چشمه بر روی کاغذ سفید دنبال شود و سپس چشمه با یک انبر متناسب در داخل یک ظرف پلاستیکی قرار داده شود و ظرف حاوی چشمه به سرعت در درون حفاظ سربی قرار گیرد، آنگاه کانتینر سربی حاوی چشمه به سرعت به داخل انبار منتقل گردد. در صورتی که کپسول چشمه آسیب دیده باشد، در ابتدا باید مطمئن شد که تنها کپسول چشمه آسیب دیده و خود چشمه بدون آسیب دیدگی است و به طور کامل و یکپارچه در اطراف رها شده است. در این حالت نیز جهت کنترل سانه از روش های ذکر شده در بالا استفاده شود.

۶-۱۴-۶- جدا شدن لوله هدایت از دوربین

در این حالت، طول حرکت فنر کنترل از راه دور بیشتر از طول حرکت فنر در حالت عادی است و نشانه ای است از این که کابل کنترل از راه دور از کنترل خارج گردیده و فاقد کارایی لازم برای برگرداندن چشمه به داخل دوربین است.



شکل (۶-۳۴) نحوه کار با انبر چشمه گیر

جدا شدن لوله هدایت از دوربین با دلیل رها شدن فنر کنترل از راه دور و حرکت آزاد فنر کنترل از راه دور به جلو و عقب با راحتی مشخص می گردد. همچنین با یک مشاهده نظری از راه دور، می توان بروز چنین سانه ای را تأیید نمود. در این حالت

فتر کنترل از راه دور از قسمت انتهایی دوربین بیرون آمده است. برای کنترل سانحه، قسمت اتصال پوشش فتر به گیربکس کنترل از راه دور باز شود و انتهای فتر به کمک یک انبردست از داخل پوشش بیرون کشیده شود و سپس فتر توسط دست به آرامی و دقت کشیده شود. در خلال این عملیات، در صورتی که برحسب تصادف اتصال مابین هلدن و فتر کنترل از راه دور شکسته شود، با استفاده از انبر کابل کنترل از راه دور و هلدن چشمه در کانتینر چشمه قرار داده شود و ظرف به انبار منتقل شود.

۶-۱۴-۷- سقوط دوربین و یا هلدن چشمه از ارتفاع

سقوط دوربین پرتونگاری و یا هلدن چشمه از ارتفاع ممکن است منجر به بروز سوانح زیر شود:

- ایجاد اشکال در عملیات اجرایی به دلیل آسیب دیدگی دوربین
- ایجاد آسیب در حفاظ دوربین
- شکستگی هلدن چشمه
- شکستگی کپسول حاوی چشمه و رها شدن چشمه
- آسیب دیدگی لوله هدایت به نحوی که برگشت چشمه به داخل کانتینر را با مشکل مواجه نماید
- آسیب دیدگی لوله هدایت به نحوی که سبب ایجاد اشکال در اتصال لوله هدایت گردد
- گم شدن هلدن

در صورت سقوط دوربین پرتونگاری در خلال استفاده در سایت پرتونگاری، ابتدا منطقه محصور گردد. سپس، سطح پرتوگیری اندازه گیری شود و از فاصله دور آسیب های احتمالی ایجاد شده در دوربین بررسی گردد.

در صورتی که دوربین در حال کار سقوط کند، فرد باید از پشت به دوربین نزدیک شود و در صورتی که امکان بستن کانال دوربین وجود داشته باشد، دوربین قفل شود و آهنگ پرتو در محل اندازه گیری شود. سپس حفاظ دوربین بررسی گردد. در صورت سالم بودن و حفظ یکپارچگی حفاظ دوربین به انبار چشمه منتقل شود. اگر حفاظ دوربین آسیب دیده باشد، هلدن و یا چشمه از داخل دوربین خارج و در محفظه سربی قرار داده شود. سپس دوربین جهت تعمیر به محل ایمن منتقل گردد. در صورت عدم کارایی شاتر دستگاه (شاتر دستگاه به طور کامل کار نکند)، فرد باید با استفاده از دستک های مکانیکی از پشت به دوربین نزدیک شود و هلدن دوربین را خارج کند و در کانتینر سربی قرار دهد. اگر هلدن چشمه مچاله شده باشد، شاتر دوربین بسته شود و همراه با هلدن مربوطه در یک کانتینر سربی قرار داده شود و به انبار منتقل گردد.

در هنگام سقوط گیربکس کنترل از راه دور از ارتفاع و یا افتادن جسم سنگین بر روی دوربین یا کابل کنترل از راه دور در خلال استفاده از دوربین و در صورت کارایی کنترل از راه دور، سعی شود چشمه با استفاده از گیربکس کنترل از راه دور به داخل دوربین هدایت گردد. از آنجایی که مقاومت و پایداری دوربین های پرتونگاری با مکانیسم کنترل از راه دور در انواع سوانح پرتونگاری مورد آزمایش قرار گرفته و تأیید شده است، در این گونه سوانح به عملکرد ایمنی دستگاه آسیب وارد نمی شود و کوشش برای برگرداندن چشمه به داخل دوربین اغلب موفقیت آمیز است.

در صورت وارد آمدن آسیب جدی به لوله هدایت، ممکن است به دلیل گیرکردن هلدن چشمه در لوله هدایت و یا انفصال

انتهای هلدنر به کابل کنترل از راه دور، برگشت آن به داخل دوربین امکان پذیر نباشد. لذا مهار و کنترل سانحه در این حالت مشابه روش های مذکور است.

در صورتی که بر اثر ضربه ناشی از سقوط، کپسول چشمه شکسته شود و پولک ها پراکنده گردد، از روش توضیح داده شده برای گم شدن پولک های چشمه استفاده و سانحه مهار شود. رعایت اصول مربوط به اندازه گیری سطح پرتو در محیط و حصاربندی مناطق تحت تأثیر حادثه الزامی است.

در حوادث ذکر شده و سوانح مشابه حتی اگر هلدنر چشمه سالم و بدون آسیب دیدگی به نظر برسد، ضروری است هلدنر قبل از استفاده مجدد، به منظور بررسی و آزمایش کپسول درون آن به مرکز تولیدکننده چشمه ارسال گردد.

۶-۱۴-۸- درگیر بودن دوربین یا چشمه در حوادث آتش سوزی

۶-۱۴-۸-۱۵- دوربین پرتونگاری در انبار

کلیه اقدامات لازم برای جلوگیری از سرایت آتش به انبار انجام شود و در صورت امکان دوربین سریعاً از محل انبار به یک اتاق امن منتقل گردد. لازم است به مأموران آتش نشانی توصیه های لازم در مورد مهار آتش از یک فاصله ایمن داده شود.

۶-۱۴-۸-۱۶- دوربین در محاصره آتش

ابتدا منطقه محاصره شود و سطح پرتو در اطراف اتاق انبار و دوربین با استفاده از یک دزیتر محیطی با دامنه اندازه گیری گسترده که مجهز به میله بلند باشد، اندازه گیری شود تا از درگیر شدن دوربین و چشمه در حریق اطمینان حاصل شود. در صورت وارد شدن آسیب به هسته دوربین، انتظار می رود سطح پرتو در منطقه افزایش یابد.

۶-۱۴-۸-۱۷- دوربین آسیب دیده

در صورتی که احتمال ذوب شدن هلدنر چشمه و یا کپسول چشمه در داخل دوربین وجود داشته باشد، با اندازه گیری سطح پرتو منطقه از بروز سانحه اطمینان حاصل شود و سپس با روش های ذکر شده عملیات بازیابی و مهار انجام پذیرد. اگر هلدنر چشمه و کپسول آسیب دیده و پولک ها رها شده باشند، باید با رعایت پروتکل های ارائه شده عملیات بازیابی و مهار انجام شود.

۶-۱۴-۸-۱۸- آتش سوزی در خلال عملیات پرتونگاری

در صورتی که قبل از سرایت آتش به دوربین، سانحه آتش به دوربین، سانحه آتش سوزی تشخیص داده شود، باید بلافاصله با رعایت موازین ایمنی دوربین به جای امن منتقل گردد. اگر دوربین درگیر آتش شده باشد، باید تا حد امکان و به سرعت آتش مهار گردد. پس از مهار آتش با استفاده از یک دزیتر مجهز به دسته بلند اندازه گیری شدت پرتو محیطی انجام شود. سپس با استفاده از پروتکل های مربوطه ارائه شده اقدامات مربوط به مقابله با سانحه انجام شود.

تذکر مهم: در کلیه حالات فوق، باید به کارکنان آتش نشانی، هشدار لازم در مورد وجود چشمه پرتوزا داده شود.

۶-۱۴-۹- سانحه به هنگام جابجایی و حمل و نقل دوربین

سوانح محتمل در حین حمل و نقل مواد پرتوزا عبارتند از:

- ❑ تصادف وسیله نقلیه حامل دوربین با جعبه حمل بدون آسیب دیدگی جدی محموله
 - ❑ تصادف وسیله نقلیه حامل دوربین یا جعبه حمل همراه با آسیب دیدگی محموله بدون رهاسازی مواد پرتوزا
 - ❑ تصادف وسیله نقلیه حامل دوربین یا جعبه حمل همراه با رهاسازی مواد پرتوزا
 - ❑ تصادف منجر به مفقود شدن دوربین حامل چشمه پرتوزا
 - ❑ وقوع آتش سوزی در حین تصادف
 - ❑ آسیب دیدگی شدید سرنشینان منجر به رهاسازی و کاهش کنترل بر روی دوربین حاوی چشمه
- اولین اصل در مقابله با این سوانح مرزبندی اطراف منطقه سانحه است. در صورت وجود دزیمتر محیطی، آهنگ دز ۲۵ میکرو سیورت در ساعت به عنوان معیار مرزبندی در نظر گرفته شود. در صورت عدم آشنایی یا عدم وجود دزیمتر محیطی، معیار ۳۰ متر برای مرزبندی در اطراف منطقه سانحه در نظر گرفته شود.
- در صورت عدم وقوع آتش سوزی در حین تصادف پس از مرزبندی وضع ظاهری دوربین بررسی شود و در صورت عدم آسیب دیدگی دوربین، به وسیله یک دزیمتر محیطی آهنگ دز روی سطح دوربین اندازه گیری شود. اگر آهنگ دز کمتر از ۲ میلی سیورت بر ساعت باشد، می توان دوربین را به محل امن منتقل کرد. در صورت نشت پرتو بیش از حد فوق، باید ابتدا دوربین توسط لایه یا پوشش مناسب و به صورت موقت حفاظ سازی شود، سپس به مرکز ارائه خدمات مجاز منتقل گردد. در صورتی که چشمه آسیب دیده باشد و سبب رها شدن پولک های چشمه گردد، باید با استفاده از پروتکل ارائه شده عملیات کنترل انجام شود.

۶-۱۴-۱۰- نحوه اطمینان از رفع سانحه

برای اطمینان از رفع سانحه، با کمک دزیمتر محیطی و بازرسی چشمی از بازگشت هلدنر چشمه به داخل دوربین پرتونگاری یا کانتینر حمل اطمینان حاصل گردد. در صورت نیاز به بریدن لوله هدایت و قرار گرفتن قسمتی از لوله هدایت درون جعبه حمل دوربین، پس از پوشاندن این قسمت توسط کیسه ساچمه سربی یا ورق سربی، با کمک دزیمتر از کاهش دز اطمینان حاصل گردد.

۶-۱۵- اقدامات پس از رفع سانحه

پس از رفع سانحه اقدامات زیر انجام گیرد:

- ۱- مرزبندی جمع آوری و شرایط به حالت عادی برگردانده شود.
- ۲- با توجه به پرتو زایی چشمه، زمان درگیری در عملیات، فاصله و حفاظ به کار گرفته شده در حین عملیات، نتیجه دزیمتر فردی قرائت مستقیم و با کمک دزیمتر محیطی، برآوردی از پرتوگیری افراد به عمل آید و دزیمتری TLD

- ایشان برای قرائت به مرکز مربوطه ارسال شود. در صورت امکان، افراد با پرتوگیری بیش از ۴ میلی سیورت برای انجام آزمایش های پزشکی به مرکز درمانی اعزام گردند.
- ۳- در صورت هرگونه تماس با چشمه پرتوزا و امکان بروز آثار قطعی، بلافاصله افراد برای انجام آزمایش های پزشکی و درمان اولیه لازم به مرکز درمانی اعزام شوند.
- ۴- در صورت احتمال پرتوگیری بیش از ۵۰ میلی سیورت تا قبل از برآورد پرتوگیری افراد سانه دیده و اطمینان از رعایت حدود از ادامه کار آنها ممانعت به عمل آید.
- ۵- گزارش سانه به همراه نتایج آزمایش پزشکی و نتایج قرائت TLD افراد درگیر در سانه به دفتر حفاظت در برابر اشعه ارسال گردد.
- ۶- در صورت توصیه دفتر حفاظت در برابر اشعه، آزمایش های تکمیلی، بر اساس این توصیه ها انجام شود.
- ۷- اگر اشکال دستگاه یا هلدنر چشمه موجب بروز سانه باشد، ابتدا دستگاه مورد آزمایش کنترل کیفی قرار گیرد و پس از اطمینان از رفع عیب دستگاه مورد استفاده قرار گیرد.
- ۸- یک نمونه از گزارش سانه در بایگانی شرکت نگهداری شود. علت بروز سانه به دقت بررسی گردد و اقدامات لازم برای جلوگیری از تکرار آن انجام شود.
- ۹- تجربیات برگرفته از سانه توسط مسئول فیزیک بهداشت به سایر پرتونگاران آموزش داده شود.

۶-۱۶- نحوه اطلاع رسانی سانه و تلفن های اضطراری

- دفترچه تلفن شامل شماره تلفن های افراد یا مراکز مورد نیاز مطابق جدول زیر همواره همراه تیم پرتونگاری باشد.
- نسخه ای از دفترچه تلفن به مسئول محوطه و مسئول اجرای کار داده شود.

جدول (۶-۱۰) جدول تلفن های اضطراری

عنوان	نام و نام خانوادگی	شماره تماس اضطراری یا ذکر کد شهرستان
دارنده پروانه پرتونگاری از سازمان انرژی اتمی		
مسئول ایمنی و فیزیک بهداشت		
شخص مسئول پرتونگاری		
کشیک دفتر حفاظت در برابر اشعه (سازمان انرژی اتمی)		۰۲۱۸۸۲۲۱۱۲۵
نزدیک ترین آتش نشانی		۱۲۵
نزدیک ترین مرکز نیروی انتظامی		۱۱۰
نزدیک ترین مرکز درمانی		۱۱۵
حراست محل انجام رادیوگرافی		

- وسیله ارتباطی مؤثر و کارآمد بنا به شرایط منطقه در کیف تجهیزات همراه پرتونگاران باشد.
- در صورت بروز سانه با مسئول فیزیک بهداشت تماس گرفته شود.



- در صورت گم شدن دوربین بلافاصله با مرکز نیروی انتظامی و ایمنی و حراست سایت تماس گرفته شود.
- در صورت بروز سوانحی که احتمال گسترش دارد با امور حفاظت در برابر اشعه تماس گرفته شود.
- در صورت بروز آتش در محل با نزدیک ترین آتش نشانی یا ایمنی سایت تماس گرفته شود.

۱۷-۶- دستورالعمل حمل و نقل

در این قسمت روش های مناسب جهت حمل و نقل ایمن دوربین های پرتونگاری حاوی یا خالی از چشمه های پرتونگاری صنعتی ارائه می شود.

۱-۱۷-۶- مواردی که باید توسط پرتونگار در هنگام حمل و نقل کنترل گردد

- چشمه در موقعیت ایمن خود در دوربین قرار گیرد، دوربین قفل شود و کلید از آن خارج گردد. همچنین درپوش های جلو و عقب متصل گردد.
- حداکثر دز روی سطح دوربین اندازه گیری گردد. (آستانه اقدام ۲ میلی سیورت بر ساعت در سطح دوربین است)
- کرنک و لوله هدایت از نظر عملکرد کنترل شوند.
- ته هلدرا از نظر ظاهری کنترل شود.
- تجهیزات حفاظتی و اورژانس آماده و کنترل شود
- از سلامت وسیله نقلیه اطمینان حاصل شود.

۲-۱۷-۶- وظایف و مسئولیت های مسئول فیزیک بهداشت

تکمیل فرم مربوط به اظهار حمل و نقل مواد پرتوزا، جمع آوری اطلاعات و انجام موارد زیر از جمله وظایف و مسئولیت های مسئول فیزیک بهداشت در خصوص حمل و نقل است.

- شرح منابع پرتو موجود در محموله (مثلاً ایریدیوم ۱۹۲)
- مقدار پرتوزایی به ذکر دیمانسیون
- نوع بسته ها
- برچسب گذاری بر روی بسته ها
- بررسی شرایط نگهداری، بارگیری و بستن بسته ها روی وسیله نقلیه
- کنترل پلاکاردها و علائم هشداردهنده بر روی وسیله نقلیه
- آمادگی ۲۴ ساعته جهت مقابله با شرایط اضطراری و ارائه راهنمایی های لازم به پرتونگاران در این خصوص

□ ارزیابی پرتوگیری کارکنان در طی عملیات حمل و نقل به وسیله مانیتورینگ فردی یا مانیتورینگ محیطی

۶-۱۷-۳- وظایف پرتونگاران جهت کاهش دز دریافتی در هنگام حمل و نقل مواد پرتوزا

با انجام موارد زیر توسط پرتونگاران، دز دریافتی در حد کمترین مقدار قابل دستیابی پایین نگه داشته شود:

- استفاده از چرخ دستی جهت انتقال دوربین ها از محل نگهداری تا محل بارگیری (به منظور حفظ فاصله ایمن)
- نگهداری دوربین ها در محل نگهداری موقت یا دائم تا نزدیک ترین زمان ممکن به زمان بارگیری
- افزایش فواصل تفکیک میان دوربین ها و اشخاص، فراتر از حداقل الزامات، در صورت امکان
- به حداقل رساندن زمان حضور کارکنان در مجاورت دوربین ها

۶-۱۷-۴- تمهیدات وسیله نقلیه در حمل و نقل مواد پرتوزا

بر حسب نوع وسیله حمل و نقل تمهیداتی که در ادامه ذکر می گردد باید رعایت گردند

۶-۱۷-۴-۱۹- حمل با ماشین

برای حمل و نقل دوربین پرتونگاری حاوی چشمه پرتوزا با ماشین باید پرتونگار از انجام موارد زیر اطمینان حاصل نماید:

- بر روی ماشین حمل و نقل، پلاکارد «خطر پرتوگیری» نصب شود.
- دوربین حاوی چشمه درون جعبه ای با ویژگی های زیر حمل و نقل شود:
 - از مواد محکم و مقاومی ساخته شده باشد
 - دارای اندازه متناسبی با دوربین باشد
 - حاوی درپوش جلو و عقب باشد
 - مجهز به در و قفل مناسب باشد
 - مجهز به دسته مقاوم جهت حمل باشد
 - دو طرف آن و روی در جعبه بر حسب مخصوص بسته بندی مواد پرتوزا چسبانده شود
- استفاده از اتومبیل های متعلق به سیستم حمل و نقل عمومی ممنوع است و وسیله نقلیه حتماً اختصاصی شرکت مربوطه باشد
- به همراه وسیله نقلیه حمل مواد آتش زا ممنوع است
- دستورالعمل فوریت های پرتو در محل سرنشین وسیله نقلیه نصب گردد
- حداقل یک نفر پرتوکار واجد صلاحیت مجهز به دزیمتر TLD، دزیمتر قرائت مستقیم و دزیمتر محیطی باید همراه وسیله نقلیه باشد.
- دوربین حاوی چشمه پرتوزا باید در داخل وسیله نقلیه به گونه ای محکم و ثابت گردد که در وقایع محتمل (نظیر

ترمزهای شدید و تصادف‌های معمول) امکان جابجا شدن دوربین وجود نداشته باشد.

□ دوربین حاوی چشمه پرتوزا باید در قسمتی مجزا نسبت به سرنشینان قرار داده شود و در تمام مراحل حمل و نقل در حالت قفل قرار گیرد. همچنین در حمل با ماشین لازم است پیوسته در طول مسیر حرکت چشمه تحت مراقبت و نظارت باشد.

□ حمل و نقل دوربین حاوی چشمه توسط وسایلی نظیر اتوبوس مسافربری و موتورسیکلت ممنوع است.

□ وظایف راننده ماشین عبارت‌اند از:

- قبل از شروع به حرکت از سالم بودن وسیله نقلیه اطمینان حاصل نماید.
- از حمل مواد قابل اشتعال یا انفجار به همراه دوربین حاوی چشمه اجتناب کند.
- از ترک کردن ماشین حاوی دوربین پرتونگاری پرهیز کند.
- از پارک نمودن ماشین حاوی دوربین در اماکن پرتردد پرهیز کند.
- در صورت خراب شدن ماشین حاوی دوربین، بلافاصله شرکت را در جریان موضوع قرار دهد و از رها کردن ماشین خراب اجتناب نماید.
- سرعت مطمئنه را رعایت و از رانندگی در جاده‌های پرخطر پرهیز کند.
- در صورت بروز سانحه در حمل و نقل، ضمن انجام مرزبندی اولیه، مأموران نیروی انتظامی، آتش‌نشانی یا اورژانس پزشکی را در جریان وجود دوربین حاوی چشمه پرتوزا قرار دهد و بلافاصله با شرکت مربوطه تماس حاصل نماید.

۶-۱۷-۴-۲۰- حمل با هواپیما

جهت حمل و نقل دوربین حاوی چشمه توسط هواپیما، پس از تکمیل فرم اظهار مواد پرتوزا توسط مسئول فیزیک بهداشت، مسئولین و خدمه پرواز را از وجود محوله مطابق پروتکل‌های ایمنی پرواز آگاه شوند. پرتونگار باید به موقع و بدون تأخیر جهت تحویل دوربین حضور داشته باشد.

۶-۱۷-۴-۲۱- حمل با قطار

جهت حمل با قطار باید دوربین در قسمت بار قرار داده شود و حمل‌ان در قسمت مسافر ممنوع است. همچنین در زمان رسیدن به مقصد باید یک نفر برای تحویل دوربین حضور داشته باشد. مسئولین قطار باید نسبت به حمل مواد پرتوزا آگاه باشند.

۶-۱۷-۵- جابه‌جایی چشمه درون سایت شرکت و کارخانه

جهت جابه‌جایی چشمه درون سایت موارد زیر باید رعایت شود:



- به جز برای جابه‌جایی‌های خیلی کوچک، برای تنظیم کردن موقعیت پرتودهی باید در کلیه موارد قبل از جابه‌جایی چشمه، دوربین قفل شود و درپوش جلو و عقب وصل گردد.
- برای انتقال دوربین حاوی چشمه در سایت، ضمن جدا نمودن لوله هدایت و اتصالات، باید دوربین به حالت قفل درآید و کلید آن برداشته شود و درپوش‌های جلو و عقب نصب گردند. همچنین توسط یک دزیمتر محیطی از قرار گرفتن چشمه در موقعیت ایمن در داخل دوربین اطمینان حاصل شود، به نحوی که آهنگ دز بعد از قفل شدن دوربین به کمتر از ۲ میلی سیورت بر ساعت، کاهش پیدا کند.
- جهت حمل در مسافت‌های نسبتاً طولانی درون سایت، از جعبه مخصوص حمل استفاده شود.
- در صورت حمل با دست با توجه به بالا بودن آهنگ دز باید:
 - زمان به حداقل ممکن کاهش یابد.
 - مسافت حمل بین چند پرتوکار تقسیم گردد.
- دوربین حاوی چشمه پرتوزا باید به گونه‌ای حمل و نقل گردد که پرتوگیری پرتوکار تا حد امکان کاهش یابد.

۷- پیوست‌ها

- ۷-۱- پیوست الف: قانون حفاظت در برابر اشعه (مصوب ۱۳۶۸/۱/۲۰)
- ۷-۲- پیوست ب: علائم هشدار و برچسب‌های خطر اشعه
- ۷-۳- پیوست پ: ساختار و پروسه پیشنهادی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای تدوین یا ویرایش دستورالعمل‌ها و استانداردهای ایمنی
- ۷-۴- پیوستت: یکاهای اندازه‌گیری مورد استفاده در مبحث پرتونگاری
- ۷-۵- پیوست ث: اصول و مبانی آشکارسازی پرتوهای یون‌ساز
- ۷-۶- پیوست ج: اثرات بیولوژیکی پرتوهای یون‌ساز
- ۷-۷- پیوست چ: مستندسازی در عملیات مرتبط با پرتوهای رادیواکتیو



۷-۱- پیوست الف: قانون حفاظت در برابر اشعه (مصوب ۱۳۶۸/۱/۲۰)

فصل اول - کلیات

ماده ۱- اهداف

با توجه به گسترش روزافزون کاربرد اشعه (پرتوها) در امور مختلف و ضرورت حفاظت کارکنان، مردم، نسل‌های آینده و محیط در برابر اثرات زیان‌آور اشعه، مقررات ذیل تدوین گردیده است.

ماده ۲- تعاریف

- ۱- «اشعه» یا «پرتوها» شامل اشعه یون‌ساز و غیر یون‌ساز است.
- ۲- «منابع مولد اشعه» به مواد پرتوزا (رادیواکتیو) اعم از طبیعی و یا مصنوعی و یا مواد و اشیاء حاوی آن و یا دستگاه‌ها و تأسیسات مولد اشعه اطلاق می‌گردد.
- ۳- «کار با اشعه» هرگونه کار یا فعالیتی است که در ارتباط با منابع مولد اشعه انجام شود.
- ۴- «واحد قانونی» در مفهوم «سازمان انرژی اتمی ایران» است.
- ۵- «شخص مسئول» شخص حقیقی است که برابر آئین‌نامه مربوطه واجد صلاحیت علمی و فنی و شرایط لازم برای تصدی و نظارت بر کلیه امور مربوط به کار با اشعه در محدوده پروانه مربوطه باشد.
- ۶- «مسئول فیزیک بهداشت» شخص حقیقی است که برابر آئین‌نامه مربوطه واجد صلاحیت علمی و فنی و شرایط لازم برای تصدی مسئولیت حفاظت در برابر اشعه در محدوده پروانه مربوطه باشد.

ماده ۳- شمول مقررات

مقررات این قانون شامل کلیه امور مربوط به حفاظت در برابر اشعه در سطح کشور از جمله موارد زیر است:

- ۱- منابع مولد اشعه
- ۲- کار با اشعه
- ۳- احداث، تأسیس، راه‌اندازی، بهره‌برداری، از کار اندازی و تصدی هر واحدی که در آن کار با اشعه انجام شود.
- ۴- هرگونه فعالیت در رابطه با منابع مولد اشعه شامل واردات و صادرات، ترخیص، توزیع، تهیه، تولید، ساخت، تملک، تحویل، اکتشاف، استخراج، حمل‌ونقل، معاملات، پیمانکاری، نقل‌وانتقال، کاربرد و یا پسمان‌داری.
- ۵- حفاظت کارکنان، مردم و نسل‌های آینده به‌طور کلی و محیط در برابر اثرات زیان‌آور اشعه.

فصل دوم - پروانه و مسئولیت‌ها

ماده ۴- انجام هرگونه فعالیت در ارتباط با موارد مندرج در بندهای ۱، ۲، ۳ و ۴ از ماده ۳، غیر از موارد مستثنا به‌موجب آئین‌نامه‌های مربوطه مستلزم اخذ پروانه کسب از واحد ذی‌ربط و پروانه اشتغال از واحد قانونی است.

تبصره - مجوز کار با اشعه در مورد مؤسسات پزشکی صرفاً برای متخصصین گروه پزشکی توسط کمیسیون مرکب



از دو نفر متخصص امور حفاظت در برابر اشعه از واحد قانونی و دو نفر کارشناس از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موردبررسی و تأیید قرارگرفته و از طرف واحد قانونی داده خواهد شد. صدور پروانه نهایی تأسیس واحد کار با اشعه از سوی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی خواهد بود.

ماده ۵- دارنده پروانه کسب مکلف است حداقل یک فرد واجد شرایط به عنوان شخص مسئول و یک فرد واجد شرایط به عنوان مسئول فیزیک بهداشت را به واحد قانونی معرفی تا پروانه اشتغال بنام آنان اخذ گردد.

تبصره - در موارد خاص (مانند واحدهای تشخیصی با اشعه ایکس با فعالیت محدود) و طبق آئین نامه های مربوط، مسئولیت شخص حقیقی دارنده پروانه کسب، شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت می تواند توأماً به عهده یک یا دو شخص حقیقی واجد شرایط باشد.

ماده ۶- دارنده پروانه اشتغال مکلف است منحصراً در محل و در حدود و شرایط مندرج در پروانه و دستورالعمل های مربوطه فعالیت نماید.

ماده ۷- هرگونه تغییر در وضعیت حقوقی دارنده پروانه کسب در ارتباط با منابع مولد اشعه و نیز هرگونه تغییر کمی و کیفی در ارتباط با منابع مزبور مستلزم اخذ مجوز از واحد قانونی است.

تبصره - در خصوص مؤسسات پزشکی پس از اخذ مجوز از واحد قانونی، صدور پروانه کار جدید از سوی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی خواهد بود.

ماده ۸- دارندگان پروانه و یا قائم مقام قانونی آنها و نیز کلیه افرادی که به لحاظ وظیفه شغلی با منابع مولد اشعه در ارتباط می باشند مکلف اند موارد زیر را بلافاصله به واحد قانونی اطلاع دهند:

- ۱- تعلیق و یا تعطیل بهره برداری از منابع مولد اشعه.
- ۲- مفقود شدن و یا سرقت منابع مولد اشعه.
- ۳- هرگونه حادثه، اخلاص، عیب و یا تغییرات در رابطه با منابع مولد اشعه که احتمال افزایش مخاطرات بالقوه پرتوگیری افراد را در برداشته باشد.
- ۴- سوانح پرتوگیری و نیز پرتوگیری مشکوک افراد.

ماده ۹- کلیه افرادی که به کار با اشعه گمارده می شوند باید تحت معاینات و آزمایش های پزشکی لازم قبل و بعد از استخدام و به صورت دوره ای طبق آئین نامه مربوطه قرارگرفته و مدارک لازم را در اختیار واحد قانونی قرار دهند.

ماده ۱۰- گماردن افراد زیر به کار با اشعه ممنوع است:

- ۱- افراد کمتر از ۱۸ سال سن غیر از موارد مستثنا به موجب آئین نامه مربوطه.
- ۲- افرادی که در نتیجه آزمایش های پزشکی مورد تأیید واحد قانونی کار با اشعه برای سلامتی آنان زیان آور تشخیص داده شده باشد.

ماده ۱۱- در انجام هرگونه فعالیت مربوط به موارد مندرج در ماده ۳ دارنده پروانه کسب، شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت مکلف اند:

- ۱- کلیه مقررات، استانداردها، آئین نامه ها و دستورالعمل های حفاظت در برابر اشعه را رعایت نمایند.



۲- کلیه تدابیر و تجهیزات حفاظتی لازم را طبق مقررات مربوط پیش‌بینی، تأمین و به اجرا درآورند.

۳- از پرتوهای غیرضروری اجتناب نمایند.

ماده ۱۲- کلیه افرادی که به کار با اشعه اشتغال دارند مکلفاند وسایل حفاظت در برابر اشعه پیش‌بینی شده را شخصاً بکار گرفته و مقررات و دستورالعمل‌های مربوطه را به اجرا درآورند.

فصل سوم - نظارت و بازرسی

ماده ۱۳- واحد قانونی در جهت حسن اجرای مقررات این قانون، نظارت بر کلیه امور مندرج در ماده ۳ این قانون و بازرسی در زمینه‌های مزبور را به عهده دارد.

ماده ۱۴- دارنده پروانه کسب، شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت مکلفاند توصیه‌ها و دستورالعمل‌های ابلاغ شده توسط واحد قانونی و بازرسین مربوطه را به اجرا درآورند.

ماده ۱۵- در مواردی که اجرای امور مربوط به مفاد ماده ۱۴ و یا حفاظت افراد و اموال در برابر اشعه مستلزم ارائه خدمات از طرف واحد قانونی باشد، اشخاص ذینفع مکلفاند بهاء خدمات ارائه شده را طبق تعرفه مقرر در آئین‌نامه مربوطه به حساب خزانه‌داری کل واریز نمایند.

تبصره - در مورد مؤسسات پزشکی که منجر به صرف هزینه یا ارائه خدمات توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی می‌شود آئین‌نامه مربوطه توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تهیه می‌گردد.

ماده ۱۶- دارنده پروانه و یا هر شخصی که به نحوی از انحاء منابع مولد اشعه را برابر مفاد این قانون در اختیار و یا تحت نظر داشته و یا به‌عنوان شخص مسئول و یا مسئول فیزیک بهداشت انجام وظیفه نماید مکلف است در حوزه فعالیت شغلی خود تسهیلات لازم برای اعمال نظارت بازرسی واحد قانونی را فراهم نموده و اطلاعات و مدارک موردنیاز را در اختیار واحد قانونی قرار دهد.

ماده ۱۷- واحد قانونی مکلف است در اجرای مقررات این قانون، در صورت وقوف بر وجود اشکالات یا تخلفاتی در کار با اشعه یا بهره‌برداری از منابع مولد اشعه پس از ابلاغ کتبی مدت‌دار به وزارت و یا مؤسسه مربوطه و در صورت عدم رعایت توصیه‌ها، دستور توقف و یا تعطیل بهره‌برداری از منابع مربوطه را صادر نموده و یا پروانه صادره را لغو نماید و در صورت لزوم با اخذ مجوز لازم از مرجع ذیصلاح اقدام به لاک و مهر آن بنماید.

فصل چهارم - جرائم و مجازات‌ها

ماده ۱۸- موارد زیر جرم محسوب و مرتکب حسب مورد با رعایت شرایط و امکانات خاکی و دفعات و مراتب جرم و مراتب تأدیب از وعظ و توبیخ و تهدید و درجات تعزیر به مجازات مشروحه ذیل محکوم خواهد شد:

۱- عدم استفاده از وسایل حفاظتی پیش‌بینی شده و همچنین عدم رعایت دستورالعمل‌های حفاظتی توسط کارکنان با اشعه جرم محسوب و متخلف به جریمه نقدی از ده هزار ریال تا صد و پنجاه هزار ریال محکوم خواهد شد.



۲- گماردن افراد بدون انجام آزمایش های پزشکی لازم قبل از استخدام و یا بدون مراقبت ها و آزمایش های دوره ای پزشکی در مدت اشتغال بکار با اشعه جرم محسوب و متخلف به جریمه نقدی از ده هزار ریال تا پانصد هزار ریال محکوم خواهد شد.

۳- گماردن افرادی بکار با اشعه که به موجب ماده ۱۰ این قانون کار با اشعه برای آنان ممنوع اعلام شده است جرم محسوب و متخلف به جریمه نقدی از سی هزار ریال تا یک میلیون ریال محکوم خواهد شد.

۴- کوتاهی در اعلام موارد مذکور در مواد ۷ و ۸ و ۹ این قانون توسط اشخاص نامبرده در موارد یادشده جرم محسوب و متخلف به جریمه نقدی از سی هزار ریال تا دو میلیون ریال محکوم خواهد شد.

۵- متخلف موارد زیر به جزای نقدی از سی هزار ریال تا پنج میلیون ریال و یا به حبس تعزیری از یک ماه تا شش ماه و یا به هر دو مجازات محکوم خواهد شد:

الف - بهره برداری از منابع مولد اشعه و یا کار با اشعه بدون اتخاذ تدابیر حفاظتی و تدارک تجهیزات حفاظتی توصیه شده توسط واحد قانونی.

ب - بهره برداری از منابع مولد اشعه و یا کار با اشعه بدون نظارت شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت.

ج - اخلال در امر نظارت و بازرسی واحد قانونی و ندادن اطلاعات لازم و یا ارائه اطلاعات ناقص و یا کذب به واحد قانونی و نیز هر اقدامی که موجب انحراف تشخیص واحد قانونی گردد.

۶- ایجاد اختلال در کار با اشعه و یا منابع مولد اشعه جرم محسوب و متخلف به جزای نقدی از پانصد هزار تا پانزده میلیون ریال و حبس تعزیری از یک ماه تا سه سال و یا به هر دو مجازات محکوم خواهد شد.

۷- عدم رعایت حدود و شرایط مقرر در پروانه یا تغییر در شرایط مزبور جرم محسوب و متخلف به مجازات نقدی از یک میلیون ریال تا پنج میلیون ریال و یا به حبس تعزیری از شش ماه تا دو سال و یا به هر دو مجازات محکوم خواهد شد.

۸- نداشتن پروانه معتبر در مواردی که به موجب ماده ۴ این قانون داشتن پروانه الزامی اعلام گردیده است جرم محسوب و متخلف به مجازات نقدی از یک میلیون ریال تا ده میلیون ریال و یا به حبس تعزیری از شش ماه تا سه سال و یا به هر دو مجازات محکوم خواهد شد.

۹- بهره برداری از منابع مولد اشعه که توسط واحد قانونی به نحوی ممنوع اعلام شده است جرم محسوب می شود و متخلف به مجازات نقدی از یک میلیون ریال تا پانزده میلیون ریال و یا به حبس تعزیری از شش ماه تا سه سال و یا به هر دو مجازات محکوم خواهد شد.

ماده ۱۹- در مواردی که جرائم موضوع این قانون به لحاظ انطباق با عناوین قانونی دیگر مستلزم مجازات شدیدتر باشد مقررات قانون مجازات اشد درباره مرتکب اعمال خواهد شد.



ماده ۲۰- به افرادی که به طور مستمر به کار با اشعه اشتغال داشته باشند، مزایای زیر بر مبنای مقدار و شرایط بالقوه پرتودهی محیط کار به تشخیص واحد قانونی و طبق آئین نامه های مربوطه تعلق می گیرد:

- ۱- کاهش ساعات کار هفتگی تا میزان ۲۵٪ ساعات کار مقرر برای سایر کارکنان.
 - ۲- افزایش میزان مرخصی استحقاقی سالیانه تا یک ماه در سال برای مدت اشتغال به کار با اشعه. استفاده از مرخصی استحقاقی سالیانه در این گونه موارد در طول هر سال اجباری است.
 - ۳- افزایش مدت خدمت مورد قبول تا یک سال به ازای هر یک سال کار با اشعه. حداکثر این افزایش تا ده سال و منحصرأ از نظر بازخرید، بازنشستگی، از کارافتادگی و تعیین حقوق وظیفه قابل احتساب است.
 - ۴- پرداخت تا پنجاه درصد حقوق و مزایا به عنوان فوق العاده کار با اشعه.
- تبصره -** در مورد بند ۲ این ماده بجای استفاده از مرخصی فرد ذینفع می تواند درخواست اشتغال در محلی غیر از محیط کار با اشعه بنماید.

ماده ۲۱- وزارتخانه ها، نهادهای انقلاب اسلامی، مؤسسات، سازمان ها و شرکت های دولتی و یا وابسته به دولت و مؤسساتی که شمول قانون بر آنها مستلزم ذکر نام است و نیز کلیه مأمورین انتظامی موظف اند در اجرای این قانون با واحد قانونی همکاری نمایند.

ماده ۲۲- واحد قانونی مسؤولیت حسن اجرای مقررات این قانون را به عهده داشته و مکلف است با بکار گماردن متخصصین واجد صلاحیت علمی و فنی و از طریق تهیه و تدوین ضوابط، مقررات، استانداردها و دستورالعمل های لازم و به کارگیری امکانات تخصصی، آموزش و پژوهش و ارائه خدمات در سطح علمی پیشرفته روز تدابیر مقتضی را اتخاذ نماید.

ماده ۲۳- این قانون از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و از تاریخ مزبور کلیه قوانین و مقررات مغایر لغو و کان لم یکن تلقی می گردد. دولت مکلف است آئین نامه های مربوطه را بر اساس پیشنهاد واحد قانونی تصویب و جهت اجرا ابلاغ نماید. کلیه اشخاص حقیقی و حقوقی مشمول این قانون مکلف اند حداکثر ظرف شش ماه از تاریخ اجرای قانون وضعیت خود را با مقررات آن منطبق نمایند.

تبصره - در خصوص مؤسسات پزشکی کشور آئین نامه های مربوطه توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و واحد قانونی تهیه و تدوین و پس از تصویب هیئت وزیران قابل اجرا خواهد بود.

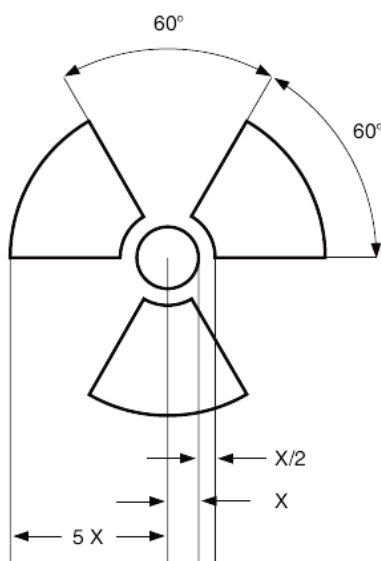
قانون فوق مشتمل بر بیست و سه ماده و شش تبصره در جلسه علنی روز یکشنبه مورخ بیستم فروردین ماه یک هزار و سیصد و شصت و هشت مجلس شورای اسلامی تصویب و در تاریخ ۱۳۶۸/۱/۳۰ به تأیید شورای نگهبان رسیده است.

رئیس مجلس شورای اسلامی - اکبر هاشمی رفسنجانی

۲-۷- پیوست ب: علائم هشدار و برچسب‌های خطر اشعه

رنگ: زمینه علائم خطر اشعه باید به رنگ زرد و خود علامت و نوشته‌های مرتبط به رنگ سیاه باشد.

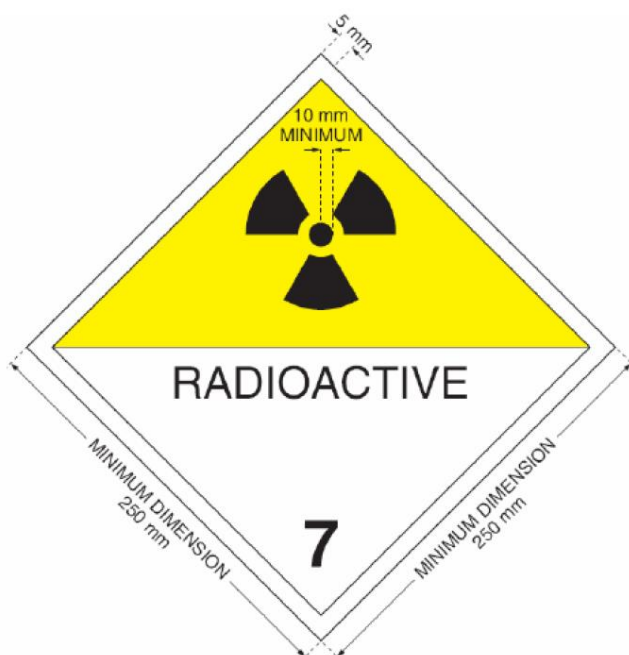
اندازه و مشخصات: شکل و اندازه علامت خطر اشعه باید بر اساس نمونه زیر و با اندازه‌های متناسب با مقادیر ارائه شده طراحی گردد.



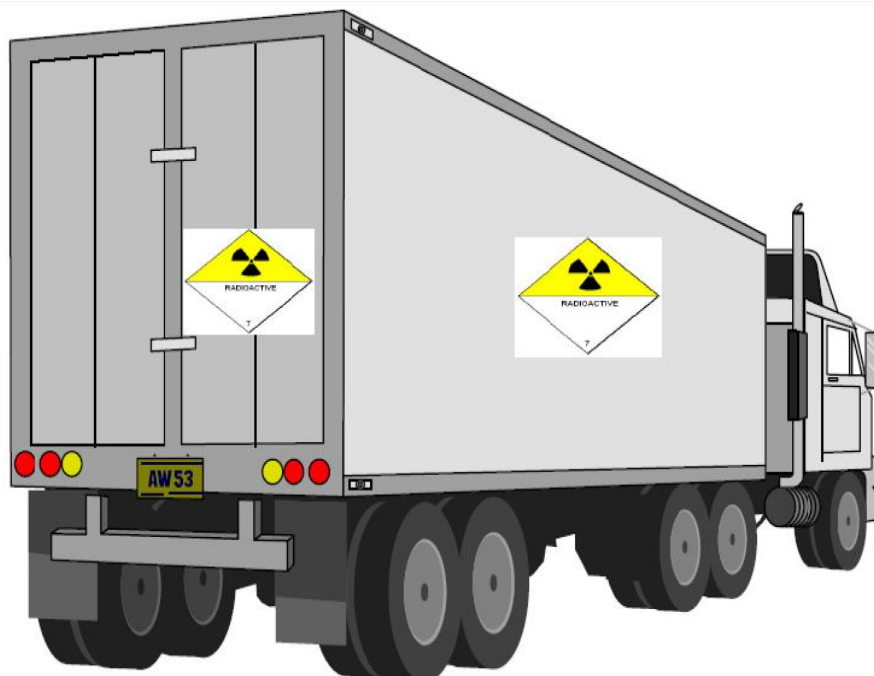
شکل (۱-۷) استاندارد اندازه‌های علامت هشدار در موارد کار با پرتوهای یون‌ساز



شکل (۲-۷) نمونه‌ای از علامت هشدار خطر وجود پرتو یون‌ساز در محیط



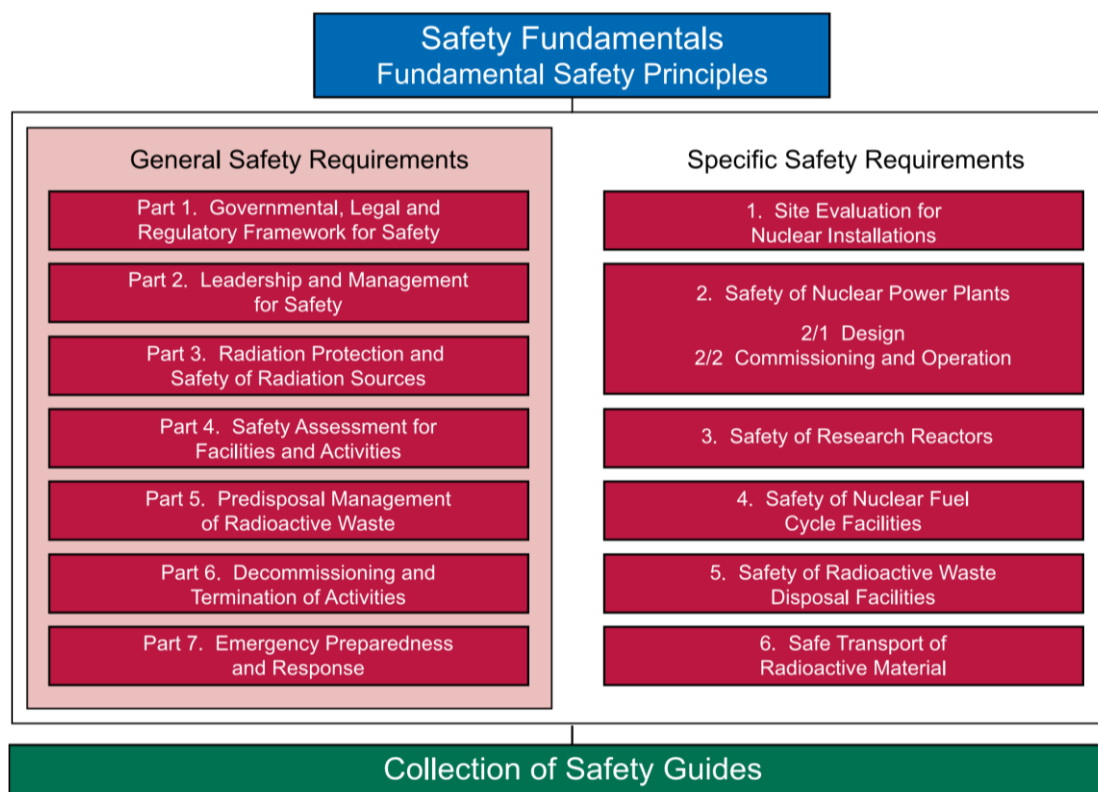
شکل (۷-۳) پلاکارد خطر پرتوگیری برای نصب بر روی وسایل نقلیه در هنگام حمل و نقل مواد پرتوزا



شکل (۷-۴) نحوه و محل نصب پلاکاردهای اعلام خطر بر روی وسایل نقلیه در هنگام حمل مواد پرتوزا

۷-۳- پیوست پ: ساختار و پروسه پیشنهادی آژانس بین المللی انرژی اتمی برای تدوین یا ویرایش دستورالعمل ها و استانداردهای ایمنی

آماده سازی و بازبینی استانداردهای بین المللی ایمنی برای امور مربوط انرژی اتمی و مواد پرتوزا در یک تعامل مدون بین دبیرخانه آژانس بین المللی انرژی اتمی و کمیته های استانداردهای ایمنی شامل بازرسی برای امنیت هسته ای (NUSSC^۱)، ایمنی تابش (RASSC^۲)، ایمنی ضایعات رادیواکتیو (WASSC^۳)، انتقال ایمن مواد رادیواکتیو (TRANSSC^۴) و آمادگی اورژانسی و پاسخ (EPReSC^۵) و همچنین در مورد یک رابطه ایمنی با امنیت (NSGC^۶) انجام می شود.



شکل (۷-۵) ساختار استانداردهای ایمنی آژانس بین المللی انرژی اتمی برای حفاظت از افراد و محیط زیست

- 1 Nuclear Commission On Safety Standards
- 2 Radiation Commission On Safety Standards
- 3 Waste Commission On Safety Standards
- 4 Transport Commission On Safety Standards
- 5 Emergency Preparedness And Response Standardsn Committee
- 6 Nuclear Security Guidance Committee



شکل (۶-۷) استانداردهای آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

۷-۴- پیوست: یکاهای اندازه گیری مورد استفاده در مبحث پرتونگاری

بدیهی است برای محاسبه دُز پرتو، نیاز به درک معنای دُز پرتو، تغییرات زمانی دُز پرتو و یکاهای اندازه گیری آن است. لذا برای آشنایی کافی در این پیوست یکاهای مربوط به پرتونگاری توضیح داده شده است.

۷-۴-۱- واحد پرتودهی

خسارات ناشی از منابع خارجی برحسب پرتودهی اندازه گیری می شود. پرتودهی توانایی پرتوهای ایکس یا گاما در یون سازی هواست. رونتگن (R) واحد پرتودهی در سیستم قدیمی و برابر است با مقدار پرتوی ایکس یا گاما که در هر سانتیمتر مکعب هوا در شرایط استاندارد یک کولن بار از هر نوع تولید کند. در تعریف دیگر یک رونتگن برابر با پرتودهی ایکس یا گاما است که در یک کیلوگرم هوا $10^{-4} \times 2/54$ کولن بار از هر نوع تولید کند. واحد پرتودهی در سیستم SI که با XU نشان داده می شود مقدار پرتوی ایکس یا گاما است که در هر کیلوگرم هوا یک کولن بار از هر نوع تولید کند؛ بنابراین: هر XU برابر با ۳۸۷۶ رونتگن است.

$$(1-7) R = 3876 \text{ (کیلوگرم / کولن) } XU$$

۷-۴-۲- دُز پرتو، D

دُز پرتو یا به عبارت دقیق تر دُز جذبی پرتوهای یون ساز، مقدار کل انرژی پرتو جذبی در یک گرم ماده است. واحد قدیمی آن راد 1 RAD است. یک راد برابر با انرژی جذب شده 100 erg در یک گرم ماده یا بافت است. با معلوم بودن مقدار انرژی جذب شده برحسب erg/g و از تقسیم آن به ۱۰۰ دُز جذبی راد به دست می آید (یعنی، $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$). در سیستم SI یکای گری (Gy)، جایگزین راد می شود. یک گری معادل ۱۰۰ راد، یا یک راد مساوی 10^{-2} گری یا یک سانتی گری است. یک گری انرژی جذب شده یک ژول از پرتوهای یون ساز در هر کیلوگرم ماده است.

۷-۴-۳- آهنگ دز پرتو، $\frac{dD}{dt}$

آهنگ دز پرتو، مقدار انرژی جذب شده در واحد زمان و واحد جرم بافت است. یکای آن ممکن است به صورت های مختلف راد یا (mGy) در دقیقه، راد یا (cGy) در ساعت، راد یا (Gy) در روز بیان می شود. هنگام مقایسه خطرات پرتو، عامل نوع پرتو کاملاً مؤثر است. این مطلب توسط NCRP در تعریف واژه جدید دُز معادل مطرح شده است. NRC هنوز واژه قدیمی معادل دُز را که قدری متفاوت است و در زیر توضیح داده می شود، به کار می برد.



۷-۴-۴- دُز معادل

اثرات بیولوژیک در واحد دُز جذبی بافت، تابع نوع پرتو است (اشعه X و γ در مقایسه با ذرات پروتون و آلفا)؛ بنابراین ضریب وزنی W_R برای هر نوع پرتو بر مبنای این اختلافات تعریف شده است. دُز ضربدر ضریب وزنی پرتو، دُز معادل نامیده می شود. برای تشخیص آن از دُز جذبی، D، واحد آن در سیستم قدیمی رم (rem) و در سیستم جدید SI سیورت (SV) نامیده و با حرف H نشان داده می شود:

$$(۷-۲) \text{ (راد یا گری)} H = W_R \times D \text{ (رم یا سیورت)}$$

برای پرتوهای مورد استفاده در رادیوگرافی صنعتی و بهداشت صنعتی (پرتوهای X و γ ، الکترون و پوزیترون)، W_R مساوی یک است؛ بنابراین، دُز (D) و دُز معادل (H) دارای مقادیر مشابه ولی واحدهای متفاوت راد و رم (گری و سیورت) می باشند. برای ذرات نوترون و آلفا، W_R دارای مقادیر بیشتر (۵ تا ۲۰) می باشند.

جدول (۷-۱) ضرایب وزنی یا ضریب کیفی پرتوها

نوع پرتو	گستره انرژی پرتو	ضریب وزنی پرتو W_R
فوتون (ایکس، گاما)	تمام انرژی ها	۱
الکترون و میون	تمام انرژی ها	۱
نوترون	انرژی کمتر از ۱۰ keV	۵
" "	انرژی بین ۱۰ تا ۱۰۰ keV	۱۰
" "	انرژی بیش از ۱۰۰ keV تا ۲ MeV	۲۰
" "	انرژی ۲ تا ۲۰ MeV	۱۰
پروتون	انرژی بیش از ۲۰ MeV	۵
ذرات آلفا	به جز پروتون های برگشتی با انرژی بیش از ۲ MeV	۵
	پاره های شکافت، هسته های سنگین	۲۰

۷-۴-۵- معادل دُز

در قوانین NRC از معادل دُز استفاده می شود که با معادله ای مشابه معادله (۱) تعریف می شود ولی به جای ضریب وزنی پرتو (W_R) از ضریب کیفی پرتو (Q_R) استفاده می شود. برای پرتوهای مورد استفاده صنعت، Q_R نیز یک است. تفاوت دیگر این که در معادله بالا، D متوسط دُز یک بافت است، در حالی که برای محاسبه معادل دُز، دُز یک نقطه در بافت در نظر گرفته می شود. در بهداشت صنعتی برای تمام مقاصد عملی، این دو واژه جایگزین یکدیگر می شوند.

۷-۴-۶- دُز مؤثر، معادل دُز مؤثر

تخمین ریسک مربوط به تابش دهی یکنواخت کل بدن است؛ بنابراین خطرات تابش دهی بخشی از بدن یا تابش دهی غیر هموزن باید به طور مقتضی محاسبه شود. برای این منظور ضریب بافت، W_T مورد استفاده قرار می گیرد که تفاوت حساسیت

بافت‌های مختلف به پرتو (روی سن و جنس یک جمعیت داده شده متوسط گیری می شود) را نشان می دهد.

جدول (۷-۲) ضرایب وزنی بافت، WT، برای بافت و اندام‌های مختلف بر طبق مقررات NCRP و NRC

NRC	گزارش ۱۱۶ NCRP	
۰/۲۵	۰/۲	گنادها
۰/۱۲	۰/۱۲	مغز استخوان قرمز
۰/۱۲	—	کولون
۰/۱۲	۰/۱۲	ریه
۰/۱۲	—	معدده
۰/۰۵	—	مئانه
۰/۰۵	۰/۱۵	پستان
۰/۰۵	۰/۰۳	تیروئید
۰/۰۱	۰/۰۱	پوست
۰/۰۱	۰/۰۳	سطح استخوان
۰/۰۵	۰/۰۳	بقیه بافت‌ها

ضرایب بافت پیشنهادی NCRP در جدول ۲- آورده شده است. مقررات NRC هنوز ضرایب وزنی قدیمی را به کار می برد، این ضرایب نیز در جدول ۲- نشان داده شده است. با استفاده از ضرایب وزنی بافت NCRP، دُز مؤثر E، برای شرایطی معلوم (پرتودهی) به دست می آید. با این حال، با استفاده از ضرایب وزنی بافت NRC معادل دُز مؤثر یا (ede) تعیین می شود. دُزهای مؤثر یا (edes) برای مقایسه خطرات ناشی از پرتودهی در شرایط مختلف نظیر پرتودهی از اشعه زمینه در برابر پرتودهی از روش‌های پزشکی به جامعه امریکاست. پرتودهی با دُز مؤثر بالاتر باعث خطرات نسبتاً بیشتری می گردد. معادل دُز مؤثر (ede، در موردی که ضرایب وزنی بافت NRC استفاده می شود) به صورت زیر تعریف می شود: که از جمع روی تمام اندام‌های تابش دیده T به دست می آید.

$$E = \sum W_T \cdot H_T \quad (۷-۳)$$

جدول (۷-۳) حد دُز توجیه پذیر سالانه پیشنهادی NRC

پرتو کاران (پرتوگیری شغلی)	حد دُز (میلی سیورت)
حد معادل دُز مؤثر کل	۵۰*
عدسی چشم	۱۵۰
پوست، دست‌ها، پاها	۵۰۰
اندام و بافت‌های دیگر	۵۰۰
جنین - رویان (پرتوکار باردار)	۵
عموم مردم	۱

* حد دُز مؤثر پرتو کاران در ایران مشابه اروپا ۲۰ میلی سیورت در سال است

جدول (۴-۷) دُز مؤثر سالانه منابع طبیعی و مصنوعی

منابع	دُز مؤثر سالانه (mSv)
اشعه زمینه (تمام انواع اشعه)	۳
دخانیات (Po - ۲۱۰)	۲/۸
رادیولوژی و رادیوگرافی صنعتی	۰/۵۴
فقط رادیوگرافی	۰/۱۴
محصولات مصرفی	۰/۰۷
شغلی	۰/۰۰۹

جدول (۵-۷) دُز اندام و دُز مؤثر ناشی از چند آزمایش رادیولوژی برحسب میلی رم

آزمایش	مغز استخوان فعال	پستان ها	روی و جنین	تیروئید	دُز مؤثر
ریه	۴	۹	-	۲	۴
CT ریه	۵۹۰	۲۱۰۰	۶	۲۳۰	۷۸۰
جمجمه	۲۰	-	-	۴۰	۱۰
CT سر	۲۷۰	۳	-	۱۹۰	۱۸۰
شکم	۴۰	۳	۲۹۰	-	۱۲۰
CT شکم	۵۶۰	۷۰	۸۰۰	۵	۷۶۰
مهره کمری	۱۴۰	۷	۳۵۰	-	۲۱۰
لگن	۲۰	-	۱۷۰	-	۱۱۰
CT لگن	۵۶۰	۳	۲۶۰۰	-	۷۱۰
باریم انما با پرتونمایی	۸۲۰	۷۰	۱۶۰۰	۲۰	۸۷۰
مموگرافی (با مشدد)	-	۲۰۰	-	-	۱۰

۷-۵- پيوست ث: اصول و مبانی آشکارسازی پرتوهای یون ساز

در اثر برخورد پرتوی پرنرژي با ماده، تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاصی در آن پدید می آید. این تغییرات موقتی یا دائمی، اساس آشکارسازی پرتوهای پرنرژي را تشکیل می دهد. البته، این تغییرات عموماً ناچیز و نامحسوس است؛ بنابراین، روش های بسیار پیچیده ای برای آشکارسازی ابداع شده است. آشنایی با اصول و مبانی آشکارسازی پرتوهای یون ساز به فهم هرچه بهتر شیوه عملکرد آشکارسازها کمک شایانی می کند. در اینجا به شرح انواع آشکارسازها و تشریح مبانی کارکرد آنها می پردازیم.

۷-۵-۱- آشکارسازی ساده

آیا پرتو وجود دارد؟ معمولاً در مواردی نظیر آلودگی فردی یا محیطی، این سؤال مطرح می شود.

۷-۵-۱-۲۲- کمیت پرتو

چه مقدار پرتو یا رادیواکتیویته وجود دارد؟ به طور مطلق یا نسبی باید به این سؤال اساسی پاسخ داد. همچنین در مواردی لازم است آهنگ رادیواکتیویته یا آهنگ شمارش به صورت تابعی از زمان اندازه گیری شود.

۷-۵-۱-۲۳- انرژی پرتو

در روش های آنالیز مواد، فیزیک هسته ای و شناسایی نواحی آلوده به مواد رادیواکتیو اطلاع از میزان انرژی پرتو برای شناسایی عنصر یک نیاز اساسی است.

۷-۵-۱-۲۴- ماهیت پرتو

به طور کلی در بهداشت صنعتی نوع پرتوی به کاررفته، معلوم است. با این حال، در بروز آلودگی ها، ممکن است نیاز به تشخیص نوع پرتو باشد. یک آشکارساز نمی تواند به تمام این سؤالات پاسخ دهد. مثلاً آشکارساز گایگر مولر می تواند هر پرتویی را که با آن برخورد می کند و نه انرژی آن را، اندازه بگیرد. آشکارسازهای جرقه ای می توانند هم انرژی و هم برخورد پرتو را تشخیص دهند. اتاقک یون ساز نمی تواند به عنوان شمارشگر یا تعیین کننده انرژی پرتو به کار رود؛ ولی در بسیاری از شرایط، نظیر اندازه گیری مقدار پرتو دهی، مفید خواهد بود. میزان اکسپوژر یا پرتو دهی به انرژی و تعداد پرتوهای برخوردکننده با آشکارساز بستگی دارد.

۷-۵-۲- مشخصه های اصلی در آشکارسازهای پرتو

برای انتخاب یک آشکارساز مناسب نیاز مبرم به آشنایی با مشخصه های اصلی در آشکارسازهای پرتو است. در ادامه پیوست حاضر مشخصه های اصلی در آشکارسازها را مورد بررسی قرار می دهیم.

۷-۵-۲-۲۵- کارایی ذاتی یا حساسیت

حساسیت (E_i) یک آشکارساز، توانایی آن در ثبت هرچه بیشتر پرتوها است و به صورت نسبت تعداد پرتوهای آشکار شده (α, β) (γ) به تعداد پرتوهای ورودی به حجم حساس آشکارساز، تعریف می شود. حساسیت ۰/۵ یا (۵۰٪) به این معنی است که فقط



نیمی از پرتوهای ورودی به حجم حساس آشکارساز، ثبت می‌شوند و نیم دیگر با حجم حساس برهمکنش نمی‌کنند. در رادیوگرافی صنعتی کارایی بالای آشکارساز که سبب کاهش زمان تصویرگیری یا کاهش دُز اپراتور و یا هردو می‌شود، مفید است. حساسیت یک آشکارساز اصولاً به ضریب تضعیف خطی، μ (linear) و ضخامت حجم حساس آشکارساز بستگی دارد.

۷-۵-۲-۲۶- زمان مرده یا زمان بازیافت

زمان مرده یا زمان بازیافت، معرف توانایی و دقت عمل یک آشکارساز در مواجهه با آهنگ شمارش مقادیر زیاد رادیواکتیویته است. در بسیاری از آشکارسازها فرصت کوتاه و محدودی بین برخورد پرتو به آشکارساز و پاسخ آشکارساز و ثبت اتفاق وجود دارد. این فرصت، زمان مرده یا زمان بازیافت آشکارساز نامیده می‌شود. اگر پرتوی دوم در حالی برسد که پردازش پرتوی اول تمام نشده باشد، چه اتفاقی در برهمکنش با آشکارساز می‌افتد؟

آشکارسازها به این سؤال دو نوع پاسخ می‌دهند. در نوع اول وقتی پرتوی دوم در زمان مرده آشکارساز برسد، آشکارساز برای مدت زمان بیشتری، مساوی زمان رسیدن پرتوی دوم غیر حساس خواهد بود. برای مثال، اگر زمان مرده یک آشکارساز ۱۰۰ میکروثانیه باشد و پرتوی دوم ۳۰ میکروثانیه پس از پرتوی اول برسد، آشکارساز به مدت $130 = 100 + 30$ میکروثانیه غیر حساس خواهد شد، به شرط آن که در این فاصله پرتوی سومی نرسد. در غیر این صورت، بسته به زمان رسیدن پرتوی سوم زمان مرده افزایش می‌یابد و همین‌طور برای پرتوهای بعدی ادامه می‌یابد؛ بنابراین، بسیاری از پرتوها تابع آهنگ شمارش که معرف متوسط فاصله زمانی دو پرتوی پیاپی است، بدون ثبت در آشکارساز از بین می‌روند.

در نوع دوم مدت غیر حساس بودن آشکارساز تابع زمان رسیدن پرتوی دوم نیست. پرتوی دوم و دیگر پرتوهای رسیده در زمان غیر حساس آشکارساز، شمارش نمی‌شوند.

به‌طور ایدئال، آشکارساز باید تا حد ممکن است زمان مرده کمتری داشته باشد تا بدون از دست دادن مقدار قابل‌توجهی شمارش، قادر به ثبت آهنگ‌های شمارش بالا باشد. به‌هرحال، برای آهنگ شمارش‌هایی که در رادیوگرافی برای دُزهای روزمره، پیش می‌آید، آشکارساز با زمان مرده $10 \mu\text{sec}$ قابل قبول است. ولی در تصویربرداری دینامیک قلب که نیاز به آهنگ شمارش بالاست، زمان مرده ۲ تا ۳ میکروثانیه مناسب است.

۷-۵-۲-۲۷- قدرت تفکیک انرژی^۱

توانایی یک آشکارساز در تفکیک دو پرتو با انرژی‌های نزدیک به هم را قدرت تفکیک انرژی می‌نامند. اگر قدرت تفکیک یک آشکارساز، 20 keV باشد، این آشکارساز، قادر به تفکیک دو پرتوی γ با اختلاف انرژی کمتر از 20 keV نیست. قدرت تفکیک انرژی یک آشکارساز به‌عنوان میزان خطای یک آشکارساز در تعیین انرژی پرتوی γ یا x نیز محسوب می‌شود.

۷-۵-۲-۲۸- ملاحظات دیگر

در آشکارسازها عموماً از قطعات الکترونیکی استفاده می‌شود که غالباً متأثر از تغییرات ولتاژ برق شهر یا دمای محیط هستند؛ بنابراین، پاسخ آشکارساز باید کمتر تابع این عوامل باشد، به‌علاوه در صورت نیاز، قابل حمل باشد، کار با آن ساده و گران‌قیمت

^۱Energy Resolution

نباشد.

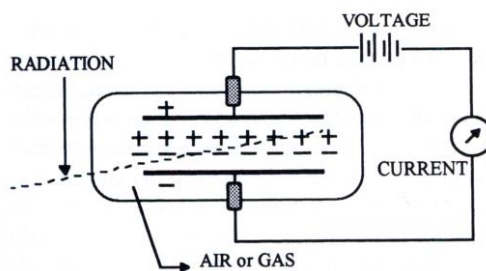
۷-۵-۳- انواع آشکارسازها

مهم‌ترین آثار الکتریکی پرتوها در محیط ایجاد یون است. مهم‌ترین کاربرد یونش ناشی از برخورد پرتو با ماده را می‌توان در آشکارسازهای گازی مشاهده کرد. دتکتور گازی از یک محفظه گازی تشکیل شده که دو الکتروود در آن قرار گرفته است. اگر اشعه وارد آن شود در مسیر خود گاز را یونیزه می‌کند و یونها جذب الکتروودها می‌گردند؛ و باعث ایجاد جریان الکتریکی در مدار خارجی می‌شود. تشخیص و اندازه‌گیری جریان الکتریکی به ما اطلاعاتی در مورد اشعه یون‌ساز می‌دهد. انواع مختلف آشکارسازها عبارت‌اند از: آشکارساز گازی، جرقه‌ای، نیمه‌هادی، فیلم رادیوگرافی، کالری متری، شیمیایی و ...

۷-۵-۴- آشکارسازهای گازی

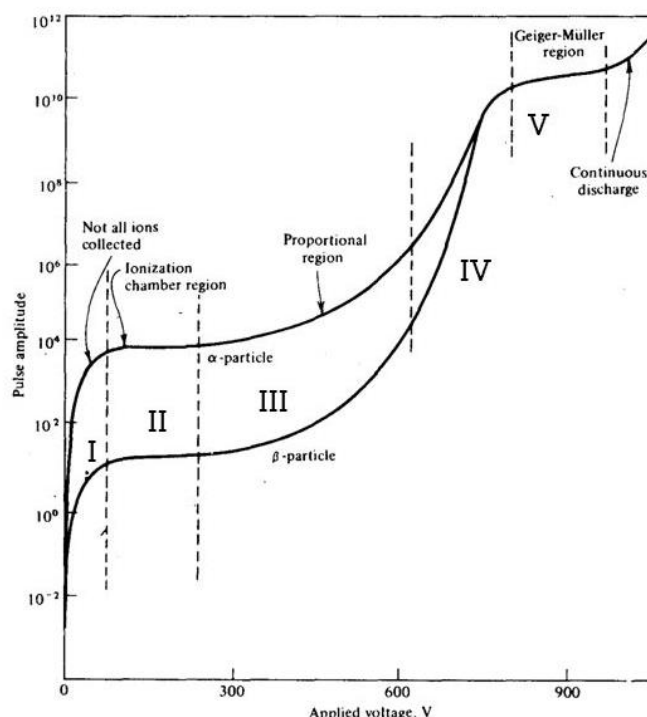
مهم‌ترین ویژگی پرتوهای پرانرژی، یون‌سازی در ماده است. به‌طور کلی به‌جز در گازها و چند جامد نیمه‌هادی، امکان اندازه‌گیری یون‌های تولیدی در مواد وجود ندارد. اساس سه نوع آشکارساز گازی (اتاقک یون‌ساز، شمارشگر تناسبی و شمارشگر گایگر مولر) اندازه‌گیری یون‌های تولیدی از پرتو در حجم کوچکی از گاز است.

سازوکار آشکارسازهای گازی: برای تشریح سازوکار آشکارسازهای گازی، بیایید ببینیم وقتی یک پرتو یا ذره شتاب‌دار، در حجم گازی حاوی دو الکتروود با اختلاف پتانسیل V ، یون‌سازی می‌کند، چه اتفاقی رخ می‌دهد. اگر ولتاژ بین دو الکتروود صفر باشد، جفت یون تولیدی، بازترکیب شده، به اتم یا مولکول خنثی تبدیل می‌شود. در نتیجه جریان الکتریکی نخواهیم داشت؛ ولی تحت تأثیر میدان الکتریکی، ناشی از اختلاف پتانسیل الکتروودها، تعدادی جفت یون به‌طرف الکتروودها رفته، جریان الکتریکی لحظه‌ای تولید می‌شود. شدت جریان تولیدی به عواملی نظیر ولتاژ آند-کاتد (V)، فاصله بین دو الکتروود، نوع گاز، حجم، فشار، دمای گاز، شکل و موقعیت الکتروودها بستگی دارد. باین‌حال ولتاژ بین دو الکتروود، مهم‌ترین عامل است.



شکل (۷-۷) نمای شماتیک یک آشکارساز پرتو از نوع گازی

شدت جریان ناشی از یک پرتو در آشکارساز گازی به‌صورت تابعی از ولتاژ در شکل ۶-۱ نشان داده شده است. در این رابطه، پنج ناحیه جداگانه وجود دارد که نیاز به توضیح دارد. البته در صورت عدم یون‌سازی پرتو باوجود ولتاژ، جریان الکتریکی نخواهیم داشت.



شکل (۷-۸) شدت جریان ناشی از یک پرتو در آشکارساز گازی به صورت تابعی از ولتاژ

ناحیه ۱ - باز ترکیب: ولتاژ به حدی ناچیز است که جفت یون‌های تولیدی پرتو باز ترکیب شده، اتم‌ها و مولکول‌های خنثی تولید می‌شود. با افزایش ولتاژ، به تدریج جفت یون‌ها با الکترودها برخورد کرده، جریان الکتریکی تولید می‌شود.

ناحیه ۲ - کفه یون سازی: در این ناحیه ولتاژ به قدر کافی زیاد است که تمام جفت ناشی از پرتو یا ذره شتابدار جذب الکترودها شده و پدیده باز ترکیب بسیار ناچیز است. به دلیل جمع‌آوری تمام جفت یون‌های تولیدی، با افزایش ولتاژ مقدار جریان تغییر محسوسی نمی‌کند. البته مقدار جریان تولیدی یک پرتو یا ذره منفرد کمتر از آن است که آشکار شود، بنابراین برهمکنش تعداد زیادی از پرتوها قابل ثبت و آشکارسازی است.

ناحیه ۳ - ناحیه تناسبی: با هم ولتاژ افزایش داده می‌شود. این ولتاژ نه تنها برای جذب تمام جفت یون‌های اولیه به الکترودها کافی است بلکه انرژی کافی به جفت یون‌های اولیه نیز می‌دهد تا هنگام عبور از اتم و مولکول‌های خنثای گاز، جفت یون‌های ثانویه تولید کنند. تولید تعداد جفت یون‌های ثانویه به انرژی جفت یون‌های اولیه و به عبارت دیگر به ولتاژ اعمال شده، بستگی دارد. در نتیجه، با افزایش ولتاژ، جریان ناشی از پرتو افزایش می‌یابد. اکنون شدت جریان برای آشکارسازی پرتو یا ذره منفرد که با حجم گاز برخورد کند، به قدر کافی زیاد هست. جریان تولیدی با انرژی پرتو متناسب است ولی با افزایش بیشتر ولتاژ این نسبت غیر خطی می‌شود.

ناحیه ۴ - کفه GM: ولتاژ به حدی افزایش یافته است که جفت یون‌های اولیه ناشی از پرتو یا ذره شتابدار، انرژی بسیار زیادی برای تولید جفت یون‌های ثانویه و حالت برانگیختگی کسب می‌کنند؛ در نتیجه مولکول‌های خنثای گاز، بیشتر یونیزه و



برانگیخته می شوند. بازگشت مولکول ها از حالت برانگیخته تولید نور فرابنفش می کنند که موجب یون سازی بیشتر می شود؛ در نتیجه حجم گاز به حالت تخلیه موقت رسیده، شدت جریان تولیدی کم و بیش مستقل از ولتاژ و انرژی پرتو می گردد.

ناحیه ۵: ولتاژ به حدی زیاد است که برای تخلیه الکتریکی به پرتو نیازی نیست. تحت این میدان الکتریکی قوی، الکترون ها از لایه های اتمی بیرون کشیده شده، اتم ها و مولکول ها یونیزه می شوند و تخلیه الکتریکی بی نیاز از پرتو به وجود می آید. در این ناحیه امکان آشکارسازی پرتو وجود ندارد.

۷-۵-۵- آشکارساز یا اتاقک یون ساز

اتاقک یون ساز یکی از قدیمی ترین آشکارسازهای گازی برای اندازه گیری مقدار پرتو است. ولتاژ اعمال شده به این آشکارساز در ناحیه ۲ شکل ۶-۱ واقع است. در این ناحیه تغییرات جزئی در ولتاژ اعمال شده تأثیر قابل توجهی در شدت جریان ایجاد نمی کند؛ بنابراین اتاقک یون ساز بسیار پایدار و معتبر است. این آشکارسازها در ابعاد و اشکال مختلف ساخته می شوند. حساسیت ضعیف برای پرتوی x یا γ و عدم تفکیک انرژی، مهم ترین عیب آن ها است. به علت کمی جریان الکتریکی ناشی از یک پرتو یا ذره، به عنوان شماره کننده، استفاده نمی شود؛ بنابراین، استفاده اساسی آن در دزیمتری پرتو در رادیولوژی تشخیصی و درمانی است. دزیمتر اتاقک یون ساز فارمر برای دزیمتری مطلق در کلیه مراکز رادیوتراپی به طور گسترده استفاده می شود. در رادیوگرافی به عنوان دز کالیبراتور برای اندازه گیری رادیواکتیویته در حد میلی کوری تا کوری استفاده می شود. گاهی نیز برای دزیمتری فردی پرتوکار به صورت دزیمتر جیبی مورد استفاده قرار می گیرد و بالاخره اتاقک یون ساز با حجم حساس بزرگ برای مانیتورینگ محیطی نیز بکار می رود.

۷-۵-۵-۲۹- دز کالیبراتور

معمولاً دز کالیبراتور اتاقک های یون ساز استوانه ای شکل حاوی گاز نادر، نظیر آرگون با فشار زیاد (تقریباً ۲۰ اتمسفر) است. فشار زیاد چگالی را افزایش می دهد و موجب افزایش حساسیت اتاقک یون ساز می شود. حفره استوانه ای کوچکی در طول محور وجود دارد که نمونه رادیواکتیو برای شمارش، درون آن در نزدیکی مرکز اتاقک قرار می گیرد. این شکل هندسی، سبب افزایش حساسیت آشکارساز می شود. دیوارهای خارجی اتاقک کاملاً حفاظ گذاری شده، به طوری که تابش های خارج از اتاقک سبب حداقل تداخل می شوند. اصول و عمل یک دز کالیبراتور بسیار ساده است. جریان الکتریکی ناشی از منبع رادیواکتیو در اتاقک یون ساز با آرایش هندسی خاص، با مقدار رادیواکتیویته چشمه تناسب مستقیم دارد. با این حال، رادیونوکلئید های مختلف با مقدار اکتیویته یکسان جریان الکتریکی متفاوتی تولید می کنند. این اختلاف عمدتاً ناشی از تفاوت در فراوانی انتشار (n_i) و انرژی پرتوی γ است؛ بنابراین، قبل از این که از اتاقک یون ساز به عنوان یک دز کالیبراتور استفاده شود، برای هر رادیونوکلئید، باید کالیبره شود. با تعیین ضرایب کالیبراسیون و از ضرب جریان ناشی از رادیواکتیویته نامعلوم به ضریب کالیبراتور، مقدار رادیواکتیویته نامعلوم یک رادیونوکلئید به سادگی تعیین می شود.

۷-۵-۵-۳۰- ضریب اطمینان

برای اطمینان از درستی عمل دز کالیبراتور، باید صحت و خطی بودن آن هر سال اندازه گیری شود. برای اطمینان، با



اندازه‌گیری اکتیویته یک چشمه استاندارد حاوی رادیونوکلوئید با طول عمر بلند نظیر ^{137}Cs یا ^{57}Co کنترل و تصحیح روزانه انجام می‌شود. اکتیویته اندازه‌گیری شده نسبت به رادیواکتیویته چشمه استاندارد نباید بیش از ۱۰٪ اختلاف داشته باشد. همچنین ضرایب کالیبره فقط برای آرایش هندسی خاص، حجم معین و ظرف خاصی از چشمه معتبر است. اگر شکل یا نوع ظرف حاوی چشمه یا حجم چشمه به‌طور محسوس تغییر کند، ضرایب کالیبره تغییر نموده، اندازه‌گیری باید تکرار شود.

۷-۵-۶- آشکارساز یا شمارشگر تناسبی

این آشکارسازها در ناحیه (۳) شکل (۶-۱) کار می‌کنند که یون‌های اولیه به دلیل تولید یون‌های ثانویه تقویت (تقریباً یک میلیون بار) شده‌اند؛ بنابراین شدت جریان الکتریکی کافی توسط پرتویی که باید شمارش شود، تولید می‌شود. شدت جریان بالانرژی پرتو متناسب است. از این رو آشکارساز تناسبی برخلاف اتاقک یون‌ساز برای شمارش تک پرتو و تعیین انرژی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. کار با شمارشگر تناسبی به مهارت کافی نیاز دارد. پایداری به زمان و تغییرات ولتاژ آن به‌خوبی اتاقک یون‌ساز نیست. شمارشگرهای تناسبی کاربرد عمومی ندارد

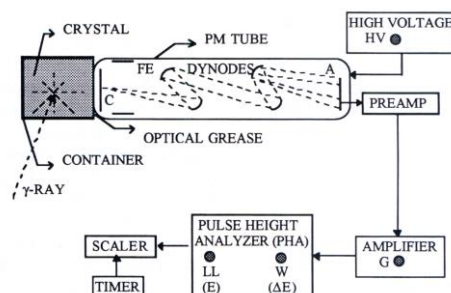
۷-۵-۷- آشکارساز یا شمارشگر گایگر-مولر

ولتاژ آشکارسازهای GM در ناحیه (۴) شکل (۶-۱) قرار دارند. در این حالت با ورود پرتو، گاز آشکارساز تخلیه الکتریکی شده، شدت جریانی کم‌وبیش مستقل از انرژی پرتو و ولتاژ اعمالی تولید می‌شود. چگونه می‌توان فرآیند تخلیه بار الکتریکی ناشی از پرتو را متوقف کرد تا آشکارساز برای پرتوی بعدی آماده شود؟ این کار به‌طور شیمیایی با افزودن قدری هالوژن یا ترکیبات آلی آن به‌عنوان ناخالصی به گاز انجام می‌شود. این ناخالصی‌ها که فرو نشان^۱ شیمیایی نامیده می‌شوند نور فرابنفش تولیدی هنگام تخلیه بار و انرژی جفت یون‌های ثانویه را جذب می‌کنند. مولکول‌های فرو نشان با جذب انرژی و تجزیه خود، تخلیه بار الکتریکی را متوقف می‌سازند، ولی در مدت کوتاهی، بیشتر مولکول‌های فرو نشان بازترکیب شده به‌صورت اولیه بازمی‌گردند؛ بنابراین تعداد کمی از مولکول‌های فرو نشان تجزیه می‌شوند. فرونشانی تخلیه بار بین ۵۰ تا ۲۰۰ میکروثانیه طول می‌کشد. در این مدت شمارشگر گایگر به پرتوی دیگری پاسخ نمی‌دهد؛ بنابراین، این مدت تقریباً زمان مرده آشکارساز است. حداکثر آهنگ شمارش شمارشگرها معمولاً هزار شمارش در ثانیه است. آشکارساز گایگر حساس‌ترین آشکارساز گازی است و به شکل‌ها و اندازه‌های مختلف ساخته می‌شود، کار با آن‌ها ساده و در برابر تغییرات دما و ولتاژ کاملاً پایدارند، ولی قادر به اندازه‌گیری انرژی پرتو نمی‌باشند. برای آشکارسازی پرتوی بتا، پنجره کوچکی از لایه نازک آلومینیومی میلار (Mylar) در انتها یا یک‌طرف آشکارساز تعبیه شده است. هنگام آشکارسازی پرتوی X یا γ این پنجره معمولاً بسته می‌شود. این شمارشگرها قابل حمل و کاربری آسان دارند. استفاده اساسی این آشکارسازها در مانیتورینگ محیطی و کارهای حفاظت از پرتو X و γ است.

^۱Quencher

۷-۵-۸- آشکارسازهای جرقه‌ای

مواد متنوعی به عنوان فسفرهای جرقه‌ای شناسایی شده‌اند که تحت تأثیر پرتوی پرنرژی، نور تولید می‌کنند. این خاصیت در ابزاری به نام دکتور جرقه‌ای برای آشکارسازی پرتو مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مشاهده نور تولیدی باید نور قادر به خروج از ماده آشکارساز باشد. در مایعات این نیاز مسئله مهمی نیست ولی برای جامدات باید از تک‌بلورها استفاده کرد، زیرا نور در مرز ریزبلورها جذب و پراکنده می‌شود، در نتیجه مقدار قابل توجهی نور قبل از آشکارسازی هدر می‌رود. دو ماده دیگر ترمولومینسانس و فتولومینسانس نیز به عنوان آشکارساز پرتو به کار می‌رود. این مواد فوراً پس از برخورد پرتو تولید نور نمی‌کنند و انرژی پرتو را برای مدتی در خود ذخیره می‌سازند. سپس انرژی ذخیره با حرارت (ترمولومینسانس) یا تحت تابش نور لیزر (فتولومینسانس) به صورت نور رها می‌شود. آشکارسازهای ترمولومینسانس برای نمایش پرتو مورد استفاده قرار می‌گیرد. آشکارسازهای فتولومینسانس در رادیولوژی تشخیصی به خصوص در رادیولوژی دیجیتال به کار می‌روند. در شکل مقابل به طور شماتیک یک شمارشگر جرقه‌ای، نمایش داده شده است که شامل ماده جرقه زن (کریستال)، افزونگرفتونی (PMT شامل صفحه فتوکاتد (C) و تعدادی داینود (FE) برای تبدیل نور مرئی به جریان تقویت شده‌ای از الکترون‌ها، پیش تقویت کننده، تقویت کننده و قسمت‌های الکترونیکی نظیر انتخابگر ارتفاع پالس و سرعت شمار یا شمارنده برای جمع‌آوری و تحلیل خودکار داده‌هاست.



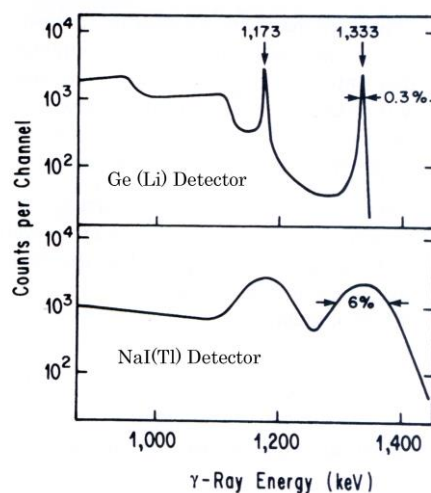
شکل (۷-۹) آشکارسازهای جرقه‌ای

تعداد مواد جرقه زن (سینتیلاتور) بسیار زیادند. آنتراسن، نفتالین، انواع پلاستیک‌ها، بلور هالیدهای قلیایی نظیر NaI(Tl)، یا CsF و تنگستات سرب نمونه‌ای از مواد جرقه زن هستند.

۷-۵-۹- آشکارسازهای نیمه‌هادی

معمولاً در یک جامد، جفت یون‌های تولیدی پرتوی یون‌ساز، مشابه یک گاز قابل اندازه‌گیری نیست. ولی تحت شرایطی و برای دسته‌ای از مواد به نام نیمه‌هادی‌ها امکان اندازه‌گیری جفت یون‌ها فراهم می‌شود. دو تا از معمول‌ترین آشکارسازهای نیمه‌هادی، Ge(Li) و Si(Li) هستند که از نیمه‌هادی ژرمانیم و سیلیسیم با مقدار کمی لیتیم ساخته شده‌اند. Ge(Li) برای آشکارسازی پرتوهای x یا γ استفاده می‌شود و Si(Li) اصولاً برای آشکارسازی پرتوهای ذره‌ای به کار می‌رود. مزیت اصلی

آشکارساز Ge(Li) نسبت به آشکارساز جرقه‌ای، قدرت بالای تفکیک انرژی آن است. یک آشکارساز Ge(Li) می‌تواند قدرت تفکیک انرژی ۱٪ در مقایسه با آشکارساز NaI(Tl) با قدرت تفکیک ۱۰٪ برای پرتوی‌های گامای ^{137}Cs داشته باشد. عیب اصلی آشکارسازهای Ge(Li) که سبب محدودیت جدی آن‌ها در کاربرد صنعتی گردیده، حساسیت پایین، نیاز به نگهداری در برودت ۷۷ درجه کلوین (دمای اتاق حدود ۳۰۰ کلوین است) و عدم دسترسی به ابعاد بزرگ آن است. در شکل فوق طیف حاصل از چشمه ^{60}Co که به وسیله آشکارساز Ge(Li) و NaI(Tl) به دست آمده، نشان داده شده است.



شکل (۷-۱۰) طیف حاصل از چشمه ^{60}Co که به وسیله آشکارساز Ge(Li) و NaI(Tl)

۷-۶- پیوست ج: اثرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز

استفاده از عناصر پرتوزا در پزشکی، داروسازی، کشاورزی و همچنین استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق و مزایای بی‌نظیر آن در مقایسه با انرژی‌های فسیلی، جوامع را ناگزیر در مسیر استفاده از این منابع و این انرژی قرار داده است؛ اما استفاده از این منابع همواره با مخاطراتی نیز همراه بوده است. سلول‌های بدن در مواجهه با این پرتوها آسیب‌پذیرند. این موضوع زمانی پیچیده‌تر می‌شود که بدنیم سلول‌های اعضای مختلف بدن آسیب‌پذیری متفاوتی از خود نشان می‌دهند. اثرات زیستی پرتوهای یون ساز بر میناهای مختلفی به صورت متفاوتی دسته‌بندی می‌شود.

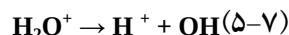
۷-۶-۱- اثرات زیستی مستقیم و غیرمستقیم پرتوهای یون ساز

انتقال انرژی از پرتوهای یون ساز با روش برانگیختگی، یون سازی و برخوردی‌های حرارتی در کمتر از 10^{-10} ثانیه صورت می‌گیرد. صدمات ناشی از پرتو در یک اندام همیشه با تغییرات شیمیایی در سطح اتمی یا مولکولی آغاز می‌شوند. برای مثال، اثرات قابل مشاهده نظیر شکست کروموزومی، مرگ سلولی، سرطان‌زایی و بیماری‌های حاد تشعشعی همه دارای منشأ تغییرات شیمیایی ناشی از پرتو در مولکول‌های حیاتی هستند. تغییرات زیست‌شناسی ناشی از پرتو بعد از یک دوره تأخیر از دقیقه تا هفته‌ها و حتی سال‌ها بسته به سیستم زیست‌شناسی و دُز اولیه، ظاهر می‌شوند. کسری از انرژی پرتو سبب تغییرات شیمیایی و بخش اعظم انرژی به صورت گرما، جذب ماده می‌شود. گرمای تولیدی در مقایسه با گرمای ناشی از سوخت‌وساز ناچیز است. برای مثال، دُز فوق کشنده 1000 Gy سبب افزایش دما یک درجه سانتی‌گراد در بافت می‌شود. اثرات زیستی پرتوهای یون ساز بر اثر نوع برهم‌کنش پرتو در بافت‌های بدن به دودسته اثرات مستقیم و اثرات غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. در این تقسیم‌بندی مکانیسم اثر این پرتوها مدنظر قرار می‌گیرند.

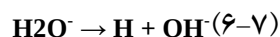
تأثیر مستقیم: پرتوها پس از ورود به بافت، مستقیماً باعث ایجاد یونش و برانگیختگی مولکول‌های DNA می‌شوند. این موضوع منجر به ممانعت از انتقال صحیح اطلاعات اصلی موجود در ژن به نسل بعد می‌گردد. چون این جهش‌های نقطه‌ای به سلول‌های نسل‌های متوالی انتقال می‌یابند، واضح است که برای آن دسته از اثرات زیست‌شناختی تابشی که از جهش‌های نقطه‌ای حاصل می‌شوند، هر دز تابشی کوچک نیز ممکن است تغییری در بار ژن ایجاد نماید که این تغییرات نیز به‌طور پیوسته از نسلی به نسل بعد منتقل می‌شوند. مطالعه اثرات مستقیم تابش بر روی بافت زنده حیوانات مشخص کرده است که در دزهای پایین تابشی تا ۲۵۰ میلی سیورت، احتمال جهش به شدت پایین است به همین دلیل آستانه بررسی‌ها از دز تابشی بالاتر از ۲۵۰ میلی سیورت شروع می‌گردد.

تأثیر غیرمستقیم: قسمت عمده بدن ما را آب تشکیل داده است. واکنش آب با پرتوهای یون ساز موجب تشکیل رادیکال‌های آزاد در سلول می‌گردند که از لحاظ شیمیایی سمی هستند. هنگامی که آب خالص تحت تابش قرار گیرد خواهیم داشت:

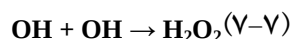




ولی الکترون موجود به وسیله یکی از مولکول های خنثای آب جذب می شود.



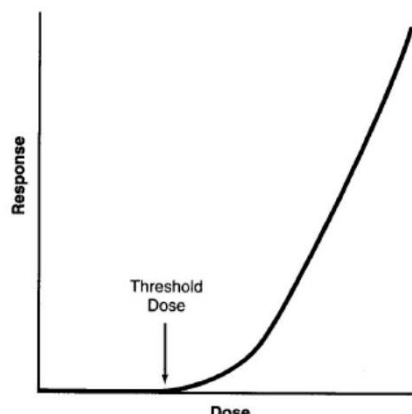
یون های H^+ و OH^- نتیجه ای را به دنبال ندارند، زیرا تمامی مایعات بدن از پیش حاوی مقادیر زیادی از این دو یون هستند. رادیکال های آزاد OH و H با رادیکال های متناسب با خود و یا با سایر مولکول های موجود در محلول ایجاد واکنش می نمایند. ولی چنانچه مقدار تابش پرتو زیاد باشد رادیکال های آزاد OH به قدری نزدیک به هم تشکیل می شوند که قبل از باز ترکیب با رادیکال های آزاد H می توانند با یکدیگر ترکیب شوند و پراکسید هیدروژن تولید کنند.



پراکسید هیدروژن ترکیب نسبتاً پایداری است و چون یک عامل اکسید کننده قوی است، به مولکول ها و سلول هایی که در مجاورت آن قرار دارند به شدت آسیب می رساند. در مبحث اخیر مشخص می شود که پرتوهای یون ساز نه به صورت مستقیم بلکه با ایجاد مواد دیگری حتی سلول هایی را که مستقیماً در معرض تابش نبوده اند را نیز تهدید می کند.

۷-۶-۲- اثرات بدنی و اثرات ژنتیکی پرتوهای یون ساز

اثرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز به دودسته اثرات بدنی و اثرات ژنتیکی تقسیم می شوند. اثرات بدنی به اثراتی گفته می شود که توسط شخص پرتودیده احساس و تحمل می گردند (در زمان حیات وی پدیدار می گردند). ولی اثرات ژنتیکی تا زمان نسل های بعدی شخص نمایان نمی شوند؛ اما سؤالی که در این مبحث وجود دارد این است که چگونه می توان اثرات پرتوهای یون ساز را در پرتوگیری حاد و یا مزمن که در بدن انسان ایجاد می شوند را تفسیر نمود؟ دانشمندان بر این باورند که در دزهای پایین، سلول های بدن می توانند بسیاری از صدمات وارد شده به بدن توسط پرتوها را دوباره بازسازی نمایند. در دزهای پایین مطابق نمودار، تأثیر پرتو (احتمال ایجاد سلول های سرطانی) به صورت خطی با افزایش دز افزایش می یابد.



شکل (۷-۱۱) نمودار پاسخ (تخریب) زیستی برحسب دوز پرتو دریافتی

در دزهای بیشتر از ۱۰۰ میلی سیورت در ساعت، مکانیسم دفاعی سلول‌ها شانس برای بازسازی تمام صدمات ندارند. در این حالت شیب اثرات به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد. این در حالی است که دز مرگ‌آور در پرتوگیری‌های حاد بالاتر از ۸/۵ سیورت اتفاق می‌افتد.

۷-۶-۳- تأثیرات تصادفی و قطعی پرتوهای یون‌ساز بر روی بافت‌های زیستی

کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز موسوم به ICRP اثرات بدنی پرتوهای یون‌ساز را به دودسته اثرات تصادفی و اثرات قطعی تقسیم کرده است. در اثرات تصادفی با افزایش دُز، احتمال اثر و نه وخامت اثر، افزایش می‌یابد. سرطان ناشی از پرتو و اثرات ژنتیکی ماهیت تصادفی دارند. برای مثال، احتمال بروز لوسمی توسط دُز ۱ Gy بیش از ۰/۰۱ است ولی در صورت بروز لوسمی افزایش دُز در وخامت اثر، نقشی ندارد. اعتقاد بر این است که اثرات تصادفی فاقد آستانه دُز هستند، زیرا به لحاظ تئوری آسیب به چند و یا حتی یک سلول می‌تواند منجر به اثرات تصادفی شوند؛ بنابراین، پرتوگیری خفیف نیز ممکن است هرچند به مقدار کم سبب افزایش ریسک شود. فرض اساسی این است که مخاطره با دُز افزایش می‌یابد و هیچ آستانه دُزی وجود ندارد که کمتر از آن، احتمال خطر صفر باشد، اثرات قطعی به عوارضی از پرتو که بر اثر شدت و نوع پرتو میزان آن تغییر می‌کند اطلاق می‌گردد. بدیهی است در این خصوص می‌توان آستانه‌ای را مدنظر قرارداد.

۷-۶-۴- حساسیت پرتوی سلول

هرچند پرتوهای یون‌ساز سبب القای یک سری اثرات زیست‌شناسی می‌شوند، ولی معمولاً بررسی مرگ سلول ناشی از پرتو (اغلب از دست دادن قابلیت تکثیر تعریف می‌شود) در اندازه‌گیری اثرات زیست‌شناسی نسبی انواع پرتوها و شرایط مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گاهی در استفاده از قابلیت تکثیر به عنوان شاخص اثر زیست‌شناسی محدودیت وجود دارد برای مثال فقط در سلول‌های تکثیر پذیر (سلول‌های پایه‌ای) کاربرد دارد و در سلول‌های تخصصی غیر قابل تقسیم (مثل، سلول‌های عضلانی و عصبی) غالباً مرگ

سلول، فقدان اعمال متابولیک تعریف می شود.

۷-۶-۴-۳۱- انتقال خطی انرژی

انتقال خطی انرژی^۱ عامل مهمی در رادیوبیولوژی است و به صورت انرژی انتقالی (dE_{local}) از ذره باردار به اتم‌هایی که در نزدیکی مسیر کوتاه عبور ذره، dx ، قرار دارند، نسبت به مسافت dx تعریف می شود، یا

$$LET = \frac{-dE_{local}}{dX} \quad (۷-۸)$$

۷-۶-۴-۳۲- عوامل مؤثر در حساسیت پرتوی سلول

حساسیت پرتوی سلول متأثر از عوامل مختلف است که سبب افزایش یا کاهش اثرات یا رابطه موقتی بین پرتوگیری و پاسخ می شود. این عوامل به دودسته عامل شرایط و عامل ذاتی تقسیم می شوند. عامل شرایط، فیزیکی یا شیمیایی است که در زمان پرتوگیری یا قبل از آن حضور داشته اند. بعضی از شرایط مهم عبارتند از اکسیژن، سرعت دُز و LET که در رابطه پاسخ-دُز مؤثرند. حساسیت ذاتی به پرتو، مشخصه سلول و شامل عوامل زیست‌شناسی، نظیر سرعت میتوز، درجه تخصصی و فاز سلول است.

۷-۶-۴-۳۳- عامل شرایط

نشان داده شده است، سرعت دُز برای پرتوهای با LET کم در میزان صدمات یک سری اثرات زیست‌شناسی نظیر انحراف کروموزومی، جلوگیری از تکثیر و مرگ سلول، مؤثر است. به طور کلی، سرعت دُز بالا در تولید صدمات زیست‌شناسی مؤثرتر از سرعت دُز پائین است. دلیل اول این که قابلیت ترمیم در صدمات ناشی از پرتوهای با سرعت دُز بالا، محدود است. برای ترمیم صدمات زیر حد کشندگی که به کاهش صدمه و افزایش درصد بقا، منجر می شود، سلول‌ها در پرتوگیری با سرعت دُز پایین، نسبت به سرعت دُز بالا، فرصت بیشتری دارند.

به هر حال، در یک سرعت دُز ثابت، صدمات سلولی ناشی از پرتوی با LET زیاد، بیش از پرتوگیری با LET کم است. برای دُز معین وقتی پرتوگیری در یک دوره زمانی به طور منقطع داده شود، صدمات کاهش می یابند. این روش معمولاً در پرتودرمانی سلول‌های سرطانی بکار می رود. بافت‌های سالم، در فاصله بین دُزها (نوعاً روز یا هفته‌ها) از سازوکار ترمیم استفاده نموده صدمات زیر حد کشندگی خود را ترمیم می کنند.

افزایش غلظت اکسیژن در زمان پرتوگیری سبب افزایش مرگ سلول‌های هیپوکسیک تومور (مقاوم به پرتو) می گردد. اثر حضور اکسیژن در سلول پستانداران در محیط کشت برای پرتوهای نظیر ایکس به مراتب بیشتر از پرتوهای آلفا است.

^۱Linear Energy Transfer (Let)



۷-۶-۴-۳- عامل ذاتی

در سال ۱۹۶۸ توسط روبین^۱ با معرفی پنج گروه سلول، حساسیت پرتویی، تعریف گردید.

جدول (۶-۷) تقسیم‌بندی حساسیت پرتویی سلول

مشخصات	مثال‌ها	حساسیت پرتویی
تقسیم سریع، غیر تخصصی، بین تقسیمات تغییر نمی‌کند	سلول‌های پایه اپیدرم، اریتروبلست‌ها.	بسیار حساس
فعلانه تقسیم‌بندی، بین تقسیمات تغییر می‌کند.	سلول‌های پوششی، فیبروبلاست	نسبتاً حساس
تقسیم نامنظم دارد	سلول‌های پارانشیمال کبد، لنفوسیت**	حساسیت متوسط
به‌طور طبیعی تقسیم نمی‌شود ولی قابلیت تقسیم حفظ می‌شود.	سلول‌های عضلانی، اریتروسیت‌ها،	نسبتاً مقاوم
تقسیم نمی‌شود، تخصصی است.	سلول‌های عصبی	بیشترین مقاومت

** لنفوسیت‌ها، اگرچه در کلاس نسبتاً مقاوم قرار دارند ولی حقیقتاً به پرتو بسیار حساس‌اند.

۷-۶-۵- پاسخ اندام‌ها به پرتو

کمیت تحقیقات ملی / آکادمی ملی علوم در زمینهٔ اثرات زیست‌شناسی پرتوهای یون‌ساز (BEIR^۲)، پاسخ اندام‌ها به پرتو را به شرحی که در ادامه می‌آید بررسی می‌کند.

اولین اثرات زیست‌شناسی پرتوهای یون‌ساز، سرخی یا آریتمای پوست گزارش شده است. اثر پرتو بر پوست به‌طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته و مشخص شده است، میزان خسارت پوست فقط تابع کمیت، کیفیت و سرعت دز پرتو نیست بلکه به تمرکز و سطح تابش گیری نیز وابسته است. در پرتوشناسی تشخیصی مشاهده این اثرات بسیار بعید است. اثر پرتو بر پوست یک اثر قطعی و دارای آستانه دز تقریبی یک گری است، بنابراین این اثرات در دزهای کمتر از این حد، ظاهر نمی‌شوند. ریزش موقتی مو تقریباً ۳ هفته پس از پرتوگیری ۳ تا ۶ گری رخ. سرخی پوست بین ۱ تا ۲ روز پس از دز حد ۲ تا ۶ گری پرتوی ایکس، ظاهر و پس از چند روز برطرف می‌شود. دزهای بیشتر، باعث سرخی شدید و پایداری می‌شوند. تقریباً پس از ۱۵ گری پرتوگیری حاد در مدت چند هفته، ممکن است به دنبال سرخی پوست، پوسته‌شدن خشک به وجود آید. پس از دز نسبتاً زیاد ۲۰ گری به‌صورت حاد، پس از سرخی شدید، آماس پوست و پوسته‌شدن مرطوب اتفاق می‌افتد که با آدم، هیپوپلاسیای درم، التهاب سلول، صدمه عروق و ریزش دائمی مو، مشخص می‌شود.

1 Rubin & Casarett

2 Biological Effect Of Ionization Radiation



۷-۶-۵-۳۵-اندام‌های تناسلی

به‌طور کلی غدد جنسی به پرتو حساس‌اند. بیضه‌ها حاوی سلول‌های حساس (مثلاً اسپرماتوگونیا) و مقاوم به پرتو (مثلاً اسپرماتوزوآی بالغ) هستند. اثرات اولیه پرتو بر سیستم تناسلی مرد پس از پرتوگیری حاد $2/5$ و 5 گری به ترتیب نازایی موقت و دائمی است. این اثرات به پرتوشناسی تشخیصی مربوط نمی‌شوند زیرا در این روش‌ها دُز جذبی به‌ندرت از $0/1$ گری تجاوز می‌کند.

حساسیت پرتویی تخمک‌های درون تخمدان بر اساس اندازه آن‌ها (کوچک، متوسط و بزرگ) متفاوت است. برای ایجاد ناباروری دائمی نوعاً دُزهای بیش از 6 گری لازم است. با این حال نازایی با دُزهای کم $3/2$ گری نیز گزارش شده است. اثر مهم دیگر القای جهش ژنتیکی و اثرات آن در نسل‌های بعدی است.

۷-۶-۵-۳۶-اثر بر چشم

عدسی چشم حاوی سلول‌های حساس به پرتوست که می‌تواند صدمه‌دیده یا نابود شوند. عدم سیستمی برای دفع سلول‌های آسیب‌دیده و تجمع آن‌ها در یک محل، موجب کاتارکت^۱ (آب مروارید) می‌شود. شدت کدورت یا احتمال آن متناسب با دُز است. دُز حاد 2 گری در بعضی و بیش از 7 گری در همه افراد منجر به کاتارکت می‌شود. امروزه در رادیوگرافی صنعتی کاتارکت ناشی از پرتو به‌ندرت اتفاق می‌افتد، حتی با بیشترین پرتوگیری به چشم در پرتونگاری صنعتی امکان رسیدن به دُز آستانه در تمام مدت زندگی پرتو کاران در شرایط عادی وجود ندارد؛ اما ممکن است در اثر حوادث پیش‌بینی‌نشده چشم‌ها در معرض دزهای بالای پرتو قرار گیرند.

۷-۶-۵-۳۷-سندروم پرتوگیری حاد

چنانچه قبلاً بحث شد، بدن متشکل از سلول‌هایی با مقاومت پرتویی متفاوت است و دُز حاد، صدمات سلولی بیشتری نسبت به همان میزان دُز که در مدت طولانی جذب شود، تولید می‌کند. اگر کل بدن تحت پرتوگیری زیاد قرار گیرد، پاسخ بالینی خاصی به‌عنوان سندروم پرتوگیری حاد بروز می‌کند. این سندروم‌ها، پاسخ‌های سامانه‌ای به پرتو است و با صدمات ناشی از پرتوگیری سطوح محدود نظیر ریزش مو یا زخم‌های پوست، کاملاً متفاوت است. سندروم‌ها با مراحل اولیه از یک ساعت تا چند هفته پس از پرتوگیری که مدت‌زمان پیشرفت صدمه در بافت‌ها و اندام‌هاست، ظاهر می‌شوند. مرحله اولیه با مقاومت پرتویی اندام‌ها، مرتبط است. سندروم‌ها بر اساس دُز آستانه بروز به سندروم‌های خونی، گوارشی و عصبی دسته‌بندی می‌شوند. سندروم فقط وقتی اتفاق می‌افتد که پرتوگیری به‌صورت حاد، کل بدن (بخش بزرگی) و دُز ناشی از پرتوهای خارجی و پرنفوذ ایکس و گاما یا نوترون باشد. تظاهر علائم اولیه نوعاً 6 ساعت پس از پرتوگیری شروع می‌شوند. اگر دُز کل بدن بیشتر از $0/5$ تا 1 گری شود تظاهر علائم اولیه شامل بی‌اشتهایی، تهوع، استفراغ و اسهال سریع‌تر و شدیدتر آغاز می‌شود.

۷-۶-۵-۳۸-سندروم خونی

مغز استخوان که حاوی سلول‌های پایه خونی است دارای بیشترین حساسیت پرتوی است. با این حال، به‌جز لنفوسیت‌ها، دیگر

1 Cataract

سلول های بالغ خون نسبتاً به پرتو مقاوم اند. پرتوگیری از پشت بدن به بیشترین آسیب منجر می شود زیرا مغز استخوان فعال در مهره ها، ناحیه پشت دنده ها و لگن قرار دارد. سندروم خونی اولین تظاهر بالینی حاد است که از دُز حاد ۰/۵ تا ۱۰ گری ناشی می شود. با مراقبت های کامل پزشکی در دُزهای کمتر از ۲ گری تقریباً همیشه بهبودی حاصل می شود درحالی که دُزهای بیش از ۸ گری غالباً منجر به مرگ می شوند، مگر درمان های مؤثری نظیر پیوند مغز استخوان با موفقیت انجام شوند. بهترین تخمین دُز کشنده نیمی از افراد در مدت ۶۰ روز (3 LD50/60) تا ۴ گری است. خونریزی ناشی از کاهش پلاکت، عفونت ناشی از کاهش سلول های سفید و آنمی از علل مرگ سندروم خونی است.

۷-۶-۵-۳۹- سندروم گوارشی

در دُزهای بالاتر، تظاهرات بالینی سندروم گوارشی مشاهده می شود؛ آثاری که سریع تر و شدیدتر از سندروم خونی است و با آن همپوشانی دارند. در دُزهای بیش از ۱۲ گری این سندروم مسئول اصلی مرگ بیمار است. علائم اولیه آن شامل، تهوع، استفراغ شدید و اسهال شدید است. صدمات شدید سلول های پایه کریپت روده موجب کاهش قابلیت تکثیر آن ها می شود در نتیجه اعمال روده ضعیف و توان جذب الکترولیت ها و غذا از بین می رود، در همین زمان راهی برای ورود فلورها (میکروب های معده ای) به جریان خون باز می شود. به طور کلی، آسیب شناسی گوارشی شامل زخم مخاطی و خونریزی، قطع جذب و ترشحات طبیعی، تغییر فلورهای روده ای و اختلال حرکات سیستم گوارشی است. مرگ ناشی از سندروم گوارشی حتمی است؛ و اگر هیچ مراقبت پزشکی انجام نگیرد، مرگ ۳ تا ۱۰ روز پس از پرتوگیری اتفاق می افتد و با مراقبت های جدی پزشکی، بیمار پس از ۲ هفته می میرد.

۷-۶-۵-۴۰- سندروم عصبی

۲ تا ۳ روز پس از دُز فوق کشنده ۵۰ گری، مرگ اتفاق می افتد. مرگ در این مرحله ناشی از شوک قلبی عروقی با کاهش شدید سرم و الکترولیت ها در بافت های فاقد رگ است. علت مرگ قبل از هر تغییر قابل مشاهده دیگر، افزایش فشار داخل جمجمه و نبود اکسیژن مغز است.

**۷-۷- پیوست چ: مستندسازی در عملیات مرتبط با پرتوهای رادیواکتیو**

به دلیل ماهیت خطرناک پرتوها مستندسازی در عملیات مرتبط با آنها حائز اهمیت است. در فرایند مستندسازی باید علاوه بر مشخص بودن هدف سند، بر دقت و کامل بودن آن تأکید گردد. لازم است همواره محدوده زمانی تهیه سند و نیز مدت زمان اعتبار آن مشخص باشد. اگر در سند دسترسی خاصی تصریح شده است، ضروری است نسبت به مشخص بودن نوع دسترسی، افراد شامل دسترسی و نیز مدت زمان مجاز دسترسی مبادرت شود. تعاریف باید کاملاً واضح و بدون ابهام باشد و وثوق آنها توسط مراجع ذیصلاح تأیید شده باشد. برای قابل قیاس بودن مدارک حتماً یکاهای مورد استفاده به صراحت ذکر گردد و تعبیر به گونه ای انتخاب شود که مصادیق مفاهیم مورد نظر با دامنه قابل قبولی مطابق و منعکس کننده کلیه امور مربوطه باشد. لازم است تمامی مطالب اسناد توسط مقامات و افراد دی ربط به واسطه مهر و امضاء معتبر تأیید و تصدیق شود. تعداد نسخه های سند مطابق با نیاز بوده و تدابیر لازم جهت معتبر سازی آنها انجام شود. در صورت بازبینی حتماً مشخصات افراد دخیل در فرایند بازبینی با ذکر سمت درج شود. حتی المقدور جهت استفاده بهینه از اسناد جامع و مانع بودن آنها مورد بررسی قرار گیرد. جهت حفظ وحدت رویه سازمانی ارائه قالب های پیش آماده شده توسط مراجع ذیصلاح ضروری است، لذا در پیوست حاضر برای سهولت فرم های مربوط به مستندسازی های ضروری آورده شده است.

صفحه ۱۰۳ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
-----------------	--	--

۷-۷-۱- فرم اسقاط دوربین های پرتونگاری صنعتی

۱- اظهار اسقاط دوربین پرتونگاری صنعتی

این جانب/این جانبان دارندگان حق امضاء در شرکت اظهار می دارند دوربین پرتونگاری صنعتی با مشخصات ذیل در تاریخ جهت اسقاط به سازمان انرژی اتمی ایران تحویل می گردد.

نام شرکت	
نوع دوربین	
مدل	
شماره سریال	
شماره شناسه واحد قانونی	

مهر و امضاء شرکت تاریخ

۲- تأیید اصالت دوربین پرتونگاری صنعتی جهت اسقاط

بدین وسیله گواهی می شود دوربین پرتونگاری با مشخصات اظهار شده در بند الف که جهت اسقاط به همراه نامه شماره مورخ به شرکت پارس ایزوتوپ ارسال شده است با مشخصات ارائه شده، انطباق کامل دارد.

قسمت مورد بازدید	انطباق دارد	انطباق ندارد	توضیحات
نوع دوربین			
مدل			
شماره سریال			
شماره شناسنامه			
هسته با مشخصات کارخانه سازنده			

نام و نام خانوادگی و امضاء نماینده شرکت پارس ایزوتوپ

۳- صورت جلسه اسقاط دوربین پرتونگاری صنعتی

این جانبان نماینده شرکت پارس ایزوتوپ نماینده شرکت پسمان داری صنعت هسته ای ایران تأیید می نمایم که دوربین پرتونگاری صنعتی به مشخصات بند الف در تاریخ جهت اسقاط به شرکت پسمان داری صنعت هسته ای ایران تحویل گردید.

نام و نام خانوادگی و امضاء نماینده شرکت پارس ایزوتوپ

نام و نام خانوادگی و امضاء نماینده شرکت پسمان داری صنعت هسته ای ایران



شرکت ملی گاز ایران
بهداشت، ایمنی و محیط زیست

دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری

HSE-IN-S-205(0)-98

صفحه ۱۰۴ از ۱۱۲

۷-۲-۲- فرم اظهار حمل و نقل مواد پرتوزا

۱- درخواست کننده:

نام مرکز: مبدأ حمل (آدرس و تلفن):

۲- مقصد:

نام شرکت: کشور: آدرس و تلفن:

۳- نوع حمل:

داخلی ☐ بین المللی ☐ زمینی ☐ هوایی ☐ دریایی ☐ ریلی ☐
مرز خروجی: مسیر حمل و توقفگاه های موقت:

۴- شرایط حمل:

وسیله نقلیه: پلاکارد و علامت خطر ☐ تجهیزات دزیمتری و اورژانس ☐
پرتوکار مسئول: شماره همراه: تاریخ ورود به کشور:

۵- مشخصات بسته:

شماره گواهینامه کانتینر: شماره سریال: A ☐ B(U) ☐ B(M) ☐
نوع بسته بندی: جنس: ☐ سربی ☐ اورانیوم ☐ غیره، نام ببرید. ☐
ابعاد (سانتی متر): وزن (کیلوگرم):

۶- مشخصات مواد پرتوزای داخل بسته:

(در صورت خالی بودن کانتینر، مشخصات مواد پرتوزای داخل کانتینر در هنگام ورود به کشور)
نام شیمیایی مواد پرتوزا: میزان پرتوزایی (با ذکر واحد):
شماره سریال چشمه: شماره واحد قانونی:
حالت فیزیکی: ☐ جامد ☐ مایع ☐ گاز
وضعیت چشمه: ☐ باز ☐ بسته

۷- مشخصات بسته هنگام حمل:

آیا کانتینر بسته بندی شده و آماده حمل است؟ ☐ بله ☐ خیر
آیا برچسب های قبلی برداشته شده است؟ ☐ بله ☐ خیر
آیا برچسب ها و علائم مناسب روی بسته نصب شده است؟ ☐ بله ☐ خیر
آیا مواد پرتوزا داخل بسته وجود دارد؟ ☐ بله ☐ خیر

۸- نتایج اندازه گیری ها:

مشخصات دزیمتر: تاریخ کالیبراسیون: اندازه گیری کننده: آهنگ در زمینه در محیط:
حداکثر آهنگ در سطح کانتینر: در فاصله یک متری کانتینر:
فاقد هرگونه آلودگی سطحی است ☐ مقدار آلودگی در صورت وجود:

۹- تعیین طبقه و شاخص حمل:

شاخص حمل (TI):
طبقه بندی بسته:
☐ طبقه I (برچسب سفید برای بسته هایی با حداکثر آهنگ در $5 \mu\text{Sv/h}$ ، $Ti=0$)
☐ طبقه II (برچسب زرد با دو خط قرمز برای بسته هایی با حداکثر آهنگ در 5 mSv/h ، $Ti<1$)
☐ طبقه III (برچسب زرد برای بسته هایی با حداکثر آهنگ در 2 mSv/h ، $Ti<10$)
☐ بسته خاص (شرح دهید). شماره UN:

توضیحات:

کلیه موارد توسط این جانب کنترل شده و مورد تأیید است و مسئولیت هرگونه عدم تطابق احتمالی بر عهده این شرکت خواهد بود.
نام و نام خانوادگی مسئول فیزیک بهداشت: تاریخ: امضاء:
نام و نام خانوادگی شخص مسئول: تاریخ: امضاء:

مهر شرکت

صفحه ۱۰۵ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
-----------------	--	--

۷-۳-۷-۳- فرم مجوز ورود به سایت برای شرکت های پرتونگاری صنعتی

نام و نام خانوادگی نماینده کارفرما: تاریخ تکمیل فرم:

محل تکمیل فرم:

نوع بازرسی: ☐ برنامه ریزی شده ☐ سرزده ☐ با اعلام قبلی

۱- مشخصات و وضعیت مرکز:

نام مرکز:

آدرس و شماره تلفن سایت:

۲- مشخصات پرتو کاران (ردیف اول مشخصات سر تیم و در ردیف های بعدی مشخصات اعضای دیگر نوشته شود)

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	شماره TLD	شماره سریال دزیتر قرائت مستقیم	تاریخ کالیبراسیون	شماره سریال هشداردهنده	توضیحات

۳- مشخصات منابع پرتو

ردیف	مدل دوربین	شماره سریال دوربین	شماره شناسنامه دوربین	شماره هلدی	حداکثر آهنگ بر روی سطح دوربین	مطابقت محل فعلی دوربین با آخرین اظهارنامه ارسالی

آیا فرم کنترل کیفی دوربین وجود دارد؟

۴- دستگاه های مولد اشعه ایکس

ردیف	کارخانه سازنده	مدل	شماره سریال	ماکزیمم ولتاژ	ماکزیمم جریان	سالم است		در حال کار است
						بله	خیر	

۵- مشخصات دزیترهای محیطی

نوع و مدل	شماره سریال	تاریخ کالیبراسیون	وضعیت کارکرد	
			سالم	خراب

صفحه ۱۰۶ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
-----------------	---	--

۶- مشخصات محل نگهداری موقت

شرایط	بله	خیر	توضیحات
آیا علائم خطر اشعه و مشخصات منبع پرتو و تلفن‌های اضطراری در محل نصب شده است؟			
آیا دور از دسترس افراد غیرمجاز است؟			
آیا شرایط داخلی انبار از نظر شرایط فیزیکی و محیطی مناسب است؟			
آیا تجهیزات اورژانس و اطفاء حریق در دسترس است؟			
* آیا آهنگ دزد در محل دسترسی افراد عادی زیر حد مجاز است؟			
آیا آدرس و مشخصات محل نگهداری با مشخصات ارائه شده در اظهارنامه مربوطه مطابقت دارد؟			

* آهنگ دزد در بیرون محل نگهداری باید کمتر از ۲۵ میکرو سیورت در ساعت باشد و مقدار پرتوگیری افراد عادی همواره کمتر از ۱ میلی سیورت در سال گردد.

۷- تعیین مرزبندی ناحیه کنترل شده

مقدار آهنگ دزد در مرز ناحیه کنترل شده	
آیا مرز ناحیه کنترل شده مناسب است؟	
آیا مرز ناحیه کنترل شده علامت گذاری شده است؟	

۸- آگاهی پرتونگار و ثبت مانیتورینگ محیطی

موضوع	بله	خیر	توضیحات
آیا پرتونگار از اقدامات لازم به هنگام تجاوز آهنگ دزد آستانه اقدام آگاهی دارد؟			
آیا پرتونگار از آهنگ دزد روی دوربین مطلع است؟			(ثبت می شود؟)
آیا پرتونگار از آهنگ دزد در محل نگهداری دوربین مطلع است؟			(ثبت می شود؟)
آیا پرتونگار از شعاع تقریبی ناحیه ممنوعه اطلاع دارد؟			

۹- مانیتورینگ فردی

موضوع	بله	خیر	توضیحات
آیا نتایج دزد روزانه و هفتگی ثبت می شود؟			
آیا نتایج هفتگی پرتوگیری پرتونگران به تأیید مسئول فیزیک بهداشت کل یا نماینده دائمی وی می رسد؟			
آیا آستانه های دزد بررسی می شود؟			
آیا اقدامات لازم در صورت تجاوز از آستانه بررسی هفتگی صورت می پذیرد؟			

۱۰- لیست تجهیزات اورژانس قابل دسترس در سایت

نوع وسیله	موجود است		مناسب است		توضیحات
	بله	خیر	بله	خیر	
دستورالعمل اورژانس					
طناب یا نوار خطر اشعه					
علائم خطر اشعه					
انبر چشمه گیر					
کیسه ساچمه سربی (۲ عدد) به ازای هر منبع پرتو					
کپسول آتش نشانی					
کانتینر اضطراری حمل دوربین					
کانتینر اضطراری حمل چشمه					



۱۱- حمل و نقل

موضوع	بله	خیر	توضیحات
آیا از وسیله نقلیه عمومی بدون اخذ مجوز از واحد قانونی استفاده شده است؟			
آیا / آستانه های اقدام در مورد وسیله نقلیه رعایت شده است؟			
آیا فرم حمل و نقل مواد پرتوزا وجود دارد؟			
آیا پرتوکار در وسیله نقلیه حضور دارد؟			
آیا تجهیزات اورژانس مشابه بند ۱۰ در وسیله حمل و نقل وجود دارد؟			
آیا دزیمتر محیطی در وسیله حمل و نقل وجود دارد؟			
آیا دستورالعمل حوادث قابل پیش بینی در وسیله نقلیه حضور دارد؟			
آیا دستورالعمل اورژانس در وسیله حمل و نقل وجود دارد؟			

۱۲- وضعیت عملکرد

شرح	بله	خیر	توضیحات
آیا تجهیزات و دستورالعمل اورژانس کامل است؟			
آیا مرزبندی و علامت گذاری کاملاً مناسب است؟			
آیا حمل و نقل کاملاً ایمن انجام می شود؟			
آیا محل نگهداری دوربین کاملاً مناسب است؟			
آیا مدارک و مستندات کامل است؟			
آیا گروه پرتوکار حائز شرایط حفاظتی کامل است؟			
آیا سیستم بایگانی مدارک و مستندات کارآمد است؟			

۱۳- نکات حائز اهمیت:

امضاء شخص مسئول شرکت پیمانکار رادیوگرافی:

نام و نام خانوادگی: سمت: تاریخ: ساعت:

امضاء نماینده شرکت کارفرما:

نام و نام خانوادگی: سمت: تاریخ: ساعت:

محل خدمت:

صفحه ۱۰۸ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
-----------------	--	--

۷-۷-۴- فرم بازرسی و کنترل دوربین

نام بازرسین: تاریخ بازرسی:

شماره سریال دوربین:

(انجام این آزمون ها توسط یک نگه دارنده چشمه خالی صورت می پذیرد)

۱	شماره دوربین	☐ موجود است ☐ موجود نیست
۲	صفحه علامت خطر اشعه	☐ موجود است ☐ موجود نیست
۳	کپ یا محافظ جلوی دوربین و عملکرد آن	☐ مناسب ☐ معیوب
۴	پوشش مخزن برای اتصال کابل کنترل	☐ مناسب ☐ معیوب ☐ غیر قابل استفاده
۵	زنجیره درپوش محافظ نگه دارنده چشمه	☐ مناسب ☐ معیوب ☐ غیر قابل استفاده
۶	کنترل دوربین در وضعیت قفل شده (الف) برداشت کلید (ب) چرخش قفل (ج) پرتو دهی نگه دارنده چشمه	☐ ممکن ☐ غیر ممکن ☐ ممکن ☐ غیر ممکن ☐ ممکن ☐ غیر ممکن
۷	کنترل دوربین در وضعیت Unlock: قفل فقط می تواند به طرف حالت اتصال (CONNECT) چرخانده شود	☐ بله ☐ خیر
۸	قفل در وضعیت «CONNECT» (الف) کانکتور dummy (ب) کانکتور dummy به طور محکم قرار گرفته است	☐ موجود است ☐ موجود نیست ☐ بله ☐ خیر
۹	کنترل از راه دور	☐ مناسب ☐ معیوب ☐ غیر قابل استفاده
۱۰	لوله هدایت	☐ مناسب ☐ معیوب ☐ غیر قابل استفاده
۱۱	اتصال کل لوله هدایت به محل نگهداری چشمه	☐ مناسب ☐ معیوب
۱۲	عملکرد کرنک و حرکت pigtail داخل لوله هدایت	☐ روان ☐ معیوب ☐ غیر قابل استفاده
۱۳	عملکرد ابزار کنترل	☐ مناسب ☐ معیوب
۱۴	چرخش قفل، بدون کشیدن pigtail به طور کامل به داخل محل نگهداری چشمه	☐ ممکن ☐ غیر ممکن
۱۵	انعطاف پذیری کرنک (مخصوصاً در انتهای سر فتر)	☐ مناسب ☐ معیوب
۱۶	ابعاد سر فتر (بازرسی با معیار GO/NO-GO) (الف) اندازه سر (ب) اندازه گردنه (سر فتر نباید از بیرون پوشیده شود تا از سوانحی که ممکن است در نتیجه جدا شدن اتصال در طول عملکرد به وجود آید اجتناب گردد.)	☐ مناسب ☐ معیوب ☐ مناسب ☐ معیوب
۱۷	پیچش و انقباض سر فتر با کنترل از راه دور (پیچش و انقباض سر فتر با کرنک باید توانایی تحمل کششی ۱۰۰۰ نیوتن (۱۰۰ کیلوگرم) را در نوک کرنک داشته باشد.)	☐ مناسب ☐ معیوب
۱۸	شماره سریال دوربین روی مکان های زیر حکاکی شده است: (الف) کنترل از راه دور (ب) لوله هدایت	☐ بله ☐ خیر ☐ بله ☐ خیر
۱۹	طول اضافی کرنک در انتها یک متر بیشتر از طول کامل لوله هدایت است (سه تیوب هر کدام با طول ۷) (تمام سه لوله هدایت باید برای بازرسی عملی قابل دسترسی باشند)	☐ بله ☐ خیر ☐ بله ☐ خیر
۲۰	Pigtail تشخیص معیار GO/NO-GO را قبول می کند	☐ بله ☐ خیر
۲۱	Pigtail فقط زمانی که اتصال مناسب مابین کرنک و Pigtail ایجاد شده است می تواند خارج شود	☐ بله ☐ خیر
۲۲	برداشت Pigtail از قسمت عقب، یعنی از میان قفل	☐ ممکن ☐ غیر ممکن
دوربین: ☐ مورد تأیید قرار گرفت ☐ مورد قبول واقع نشد		
دلایل عدم پذیرش:		
۱-		
۲-		
۳-		

نام و امضاء فرد انجام دهنده آزمون: تاریخ آزمون:

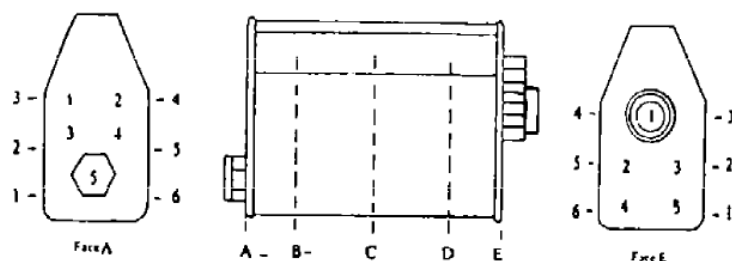
۷-۷-۵- نمونه فرم آزمون نشتی پرتو دوربین

TEST REPORT ON TECH OPS 660 CAMERA

INSTITUTION

ACTIVITY C: Ir-192 ON

TESTED ON BY



At 5 cm FROM SURFACE

	mR/hr				
	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					
OTHER POINTS					

MONITOR USED

	mR/hr	
	5 cm from surface	1 m from surface
Avg.		
Max.		

REMARKS

امضاء شخص مسئول شرکت پیمانکار رادیوگرافی:

ساعت:

تاریخ:

سمت:

نام و نام خانوادگی:

ساعت:

تاریخ:

امضاء نماینده شرکت کارفرما:

نام و نام خانوادگی:

سمت:

۷-۷-۶- فرم گزارش سانحه

۱- مشخصات سانحه

ساعت وقوع سانحه:	تاریخ تکمیل فرم:
محل وقوع سانحه:	تاریخ وقوع سانحه:
شرح سانحه (چگونگی پی بردن به سانحه و علت وقوع): 	
افراد درگیر در سانحه:	
افراد درگیر در عملیات مقابله با سانحه:	

۲- مشخصات منبع پرتو

نام دوربین	مدل	شماره سریال	نوع چشمه	میزان پرتو زایی چشمه در شرایط سانحه	سریال هلدنر

صفحه ۱۱۱ از ۱۱۲	دستورالعمل الزامات ایمنی پرتونگاری HSE-IN-S-205(0)-98	 شرکت ملی گاز ایران بهداشت، ایمنی و محیط زیست
-----------------	--	--

نوع دستگاه اشعه ایکس	مدل	شماره سریال	ولتاژ دستگاه	جریان دستگاه در شرایط سانحه	مدت زمان کارکرد دستگاه در شرایط سانحه

۳- برآورد پرتوگیری افراد سانحه دیده و افراد درگیر در عملیات مقابله

امضاء	برآورد پرتوگیری			شماره TLD	افراد درگیر در سانحه
	فاصله افراد تا منبع، زمان حضور و نتایج مانیتورینگ محیطی (محاسبه)	دزیمتر فردی مستقیم	دزیمتر فردی		

۴- شرح عملیات مقابله با سانحه:

۵- اظهار نظر مسئول ایمنی:

۶- راهکارها و تجربه های پیشنهادی جهت جلوگیری از تکرار حوادث مشابه:

—
—
—

امضاء شخص مسئول شرکت پیمانکار رادیوگرافی:

ساعت:

تاریخ:

سمت:

نام و نام خانوادگی:

ساعت:

تاریخ:

امضاء نماینده شرکت کارفرما:

نام و نام خانوادگی:

سمت:
