بسم الله الرحمن الرحیم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
مرکز سلامت محیط و کار

دانشگاه علوم پزشکی تهران
پژوهشکده محیط زیست

راهنمای
شرایط بهداشت کار و کنترل تشعشعات یونیزان در صنایع فلزی
(فولاد، خودروسازی، ماشین سازی)

الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار

مرکز سلامت محیط و کار
پژوهشکده محیط زیست
بهار ۱۳۹۵

شابک: ۷-۳۹-۶۹۳۷-۶۰۰-۹۷۸

نام کتاب: راهنمای شرایط بهداشت کار و کنترل تشعشعات یونیزان در صنایع فلزی (فولاد، خودرو سازی، ماشین سازی)

تهیه کننده پیش نویس: مهندس بیژن صمیمی

ناشر: پژوهشکده محیط زیست

تاریخ و نوبت چاپ: بهار ۹۵ نوبت اول

سرشناسه: صمیمی، بیژن، ۱۳۴۸-

عنوان و نام پدیدآور: راهنمای شرایط بهداشت کار و کنترل تشعشعات یونیزان در صنایع فلزی (فولاد، خودرو سازی، ماشین سازی): الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار/ تهیه کننده راهنما بیژن صمیمی؛ [به سفارش] وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرکز سلامت محیط و کار، دانشگاه علوم پزشکی تهران، پژوهشکده محیط زیست.

مشخصات نشر: تهران: وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشتی، ۱۳۹۵.

مشخصات ظاهری: ۱۸۸ ص.: مصور (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی).

شابک: ۷-۳۹-۶۹۳۷-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه.

عنوان دیگر: الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار.

موضوع: تشعشع یونیزه کننده- - پیش بینی های ایمنی

موضوع: Ionizing radiation - - Safety measures

موضوع: تشعشع یونیزه کننده- - جنبه های بهداشتی

موضوع: Ionizing radiation - - Health aspects

موضوع: بهداشت صنعتی- - دستنامه ها

موضوع: Industrial hygiene - - Handbooks, manuals, etc.

شناسه افزوده: ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز سلامت محیط و کار

شناسه افزوده: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران. پژوهشکده محیط زیست

شناسه افزوده: ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. معاونت بهداشتی

رده بندی کنگره: ۱۳۹۵ ۲ر۸ص/QC ۷۹۵

رده بندی دیویی: ۵۳۹/۷۲۲

شماره کتابشناسی ملی: ۴۵۳۶۳۱۸

- عنوان: راهنمای شرایط بهداشت کار و کنترل تشعشعات یونیزان در صنایع فلزی (فولاد، خودروسازی، ماشین سازی)
- کد الزامات: ۱-۱۷-۰۸-۲۰۵۰۲۰۲
- تعداد صفحات: ۱۸۸

مرکز سلامت محیط و کار:

شهرک قدس ـ بلوار فرحزادی ـ بلوار ایوانک ـ ساختمان مرکزی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ـ بلوک A ـ طبقه ۱۱ـ واحد شمالی

تلفن: ۸۱۴۵۴۱۲۰

http://markazsalamat.behdasht.gov.ir

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران:

تهران ـ خیابان کارگر شمالی ـ نرسیده به بلوار کشاورز ـ پلاک ۱۵۴۷ـ طبقه هشتم

تلفن : ۸۸۹۷۸۳۹۹-۰۲۱ ، دورنگار : ۸۸۹۷۸۳۹۸-۰۲۱

http://ier.tums.ac.ir

تهیه کننده راهنما:

آقای مهندس بیژن صمیمی

از سرکار خانم مهندس فریده سیف آقایی که در تهیه این راهنما همکاری داشتند صمیمانه سپاسگزاری می گردد.

فهرست:

۱– مقدمه	۱
۲– کلیات	۱
۳– استاندارد پایه حفاظت در برابر اشعه	۱
۴– اصطلاحات و تعاریف	۷
۵– اهمیت و جایگاه این نوع مشاغل در اقتصاد و نیروی کار کشور	۱۰
۶– کاربردهای منابع پرتو درصنعت	۱۱
۶–۱ رادیوگرافی صنعتی	۱۱
۶–۲ سنجشگرهای یا کمیت سنج های پرتوی	۱۷
۶–۲–۱ ضخامت سنج پرتوی	۱۹
۶–۲–۲ سطح سنج پرتوی	۲۰
۶–۲–۳ چگالی سنج پرتوی	۲۳
۶–۲–۴ رطوبت سنج پرتوی	۲۵
۶–۲–۵ آنالایزر مواد با اشعه X	۲۶
۷– منابع پرتو مورد استفاده در صنعت	۳۲
۷–۱ دستگاه های پرتوساز	۳۲
۷–۱–۱ دستگاه تولید اشعه ایکس ترمزی	۳۳
۷–۱–۲ دستگاه تولید پرتو ایکس مشخصه KX	۳۵
۷–۲ چشمه های پرتوزا	۳۶
۷–۲–۱ چشمه های α	۳۸
۷–۲–۲ چشمه های β	۳۹
۷–۲–۳ چشمه های γ	۴۰
۷–۲–۴ چشمه های نوترونی	۴۱
۸– اثرات پرتوهای یونساز در افراد در معرض: آثار احتمالی و قطعی	۴۲
۸–۱ تقسیم بندی اثرات بیولوژیکی	۴۲
۸–۲ اثرات عمومی‌پرتوهای یونساز بر سلول	۴۴
۸–۲–۱ اثرات مستقیم	۴۴
۸–۲–۲ اثرات غیرمستقیم	۴۵

۹– شیوه های کنترل مهندسی و حفاظتی در محیط یا شاغل ۴۹
۹–۱ روشهای کنترل مبدا ۴۹
۹–۱–۱ انتخاب چشمه پرتوزا ۵۰
۹–۱–۲ انتخاب دستگاه اشعه ایکس و نکات حفاظتی آن ۵۱
۹–۱–۳ نکات ایمنی در طراحی و ساخت کانتینر، حفاظ چشمه ۵۸
۹–۱–۴ امنیت و نگهداری از منابع پرتو ۶۰
۹–۱–۵ پسماندازی منابع پرتو ۶۳
۹–۱–۶ دورریزی چشمه های پرتوزا ۶۵
۹–۲ روشهای کنترل مقصد ۶۶
۹–۲–۱ مونیتورینگ فردی ۶۶
۹–۲–۲ طبقه بندی افراد در معرض پرتوگیری و انواع پرتوگیری ۸۰
۹–۲–۳ آموزش ۸۱
۹–۲–۴ معاینات پزشکی ۸۵
۹–۳ روشهای کنترل مسیر ۱۰۰
۹–۳–۱ تعیین نواحی کار ۱۰۰
۹–۳–۲ مونیتورینگ محیطی ۱۰۱
۹–۳–۳ بکارگیری علائم ایمنی ۱۱۰
۹–۳–۴ تدوین و بکارگیری دستورالعملهای حفاظت و ایمنی ۱۱۸
۹–۳–۵ حفاظ گذاری یا ایمن نمودن محیط کار ۱۲۴
۹–۳–۶ حمل و نقل ایمن مواد پرتوزا ۱۳۱
۱۰– برنامه شرایط اضطراری ۱۳۴
۱۱– رفع آلودگی بدن ۱۴۱
۱۲– مجموعه قوانین و دستورالعمل ها، شیوه نامه ها و مستندات احتمالی موجود و مرتبط ۱۴۴
۱۳– چک لیست ارزیابی خطرات خاص مشاغل صنعتی ۱۴۵
۱۴– چک لیست های بازرسی از مراکز کار با پرتو در صنعت ۱۴۶
پیوست ها ۱۶۳
مراجع ۱۷۹

پیشگفتار

در صنایع خودرو سازی، کارخانجات فولاد، ماشین سازی، پتروشیمی، سیمان و لوله سازی تکنولوژی هسته ای و منابع محصور رادیواکتیو کاربرد گسترده ای دارند که از آن جمله می توان به موارد بهینه سازی و کنترل فرآیندهای صنعتی، تشخیص مشکلات در عملکرد تأسیسات، آزمایش اجزاء صنعتی، بکارگیری آزمون های غیر مخرب و آنالیز ترکیبات و ساختار مواد اشاره نمود.

اساسی ترین رکن از ارکان بهداشت و حفاظت در برابر پرتوهای یونیزان آگاهی از مقدار اشعه موجود در محیط و تعیین میزان پرتو دریافتی است تا در نهایت تدابیر متناسب با آن اتخاذ شود. عدم رعایت نکات ایمنی در طول کار با پرتوهای یونساز می تواند خطرات جبران ناپذیری را برای پرتوکاران، مردم، محیط زیست و حتی نسل های بعد به همراه داشته باشد، لذا تدوین راهنما و اعمال آیین نامه ها و استانداردهای حفاظت در برابر پرتو جهت استفاده بهینه و ایمن این پرتوها در زمینه های مختلف صنعتی و تشخیصی – درمانی امری لازم و ضروری می باشد.

این راهنما براساس استاندارد پایه حفاظت در برابر اشعه تدوین گردیده است و هدف اصلی این مستند، ضمن آشنایی اولیه با کاربرهای رایج پرتوها در صنایع ایران، ارائه راهنمایی های لازم در خصوص بکارگیری ایمن منابع پرتو در کاربردهای صنعتی به منظور پیشگیری از آثار قطعی و کاهش آثار احتمالی پرتوگیری ناشی از این کاربردها است.

در راستای ارتقاء سطح آگاهی متخصصین بهداشت حرفه ای و طب کار بهره گیری از آخرین دستاوردهای علمی از مهمترین راهکارها محسوب می شود بهمین مناسبت مرکز سلامت محیط و کار با استفاده از تجارب و علم متخصصین و اساتید محترم اقدام به تهیه و تدوین رهنمودهای تخصصی بهداشت حرفه ای و طب کار نموده است که قابل استفاده برای همکاران در سراسر کشور، سایر ارگان ها و دستگاه های اجرایی و همچنین عموم جامعه بوده است در این خصوص بمنظور حصول به هدف فوق، راهنمای حاضر تحت عنوان «راهنمای شرایط بهداشت کار و کنترل تشعشعات یونیزان در صنایع فلزی (فولاد، خودرو سازی، ماشین سازی)» تدوین و منتشر گردیده است که بدینوسیله از همه متخصصین، کارشناسان و صاحبنظران ارجمند دعوت می شود تا با ارائه نظرات و پیشنهادات خود این مرکز را در برطرف نمودن نقاط ضعف احتمالی و کاربردی بودن آن براساس نیازهای جامعه یاری نمایند. به منظور دسترسی بیشتر کاربران این راهنما بر روی تارگاه های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (وبدا)، معاونت بهداشتی، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز سلامت محیط و کار قرار خواهد گرفت. در انتها وظیفه خود می دانم از زحمات کلیه دست اندرکاران تهیه و تدوین این راهنما صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

دکتر خسرو صادق نیت

رئیس مرکز سلامت محیط و کار

۱– مقدمه

با توجه به اســتفاده روزافزون از مواد پرتوزا و دســتگاه های پرتوســاز در صنایع مختلف، رسیدگی به مســئله حفاظت و ایمنی در برابر پرتوها و بررســی حوادث ناشــی از این روش ها برای کارکنان مرتبط، امری حیاتی است.

امروزه تکنولوژی هســته ای دارای کاربردهای متعــدد در علوم و فنون مختلف از قبیل تولید برق، مقاصد نظامی، صنعت، پزشکی، کشاورزی و پژوهشی و در پاره ای اوقات اجتناب ناپذیر، می باشد. همانند دیگر مظاهر تکنولوژی، تکنولوژی هســته ای نیز با محدودیتها و عوارضی مواجه می باشــد. ارتباط بین سلامت کارگر، نوع کار و محیط کار موضوع ایمنی و بهداشت شغلی را در بر می گیرد. در این مدرک سعی شده هر یک از این عوامل در کاربرهای صنعتی پرتوها، دقیقا مورد بررسی قرار گیرد و روشهای مناسبی جهت به حداقل رساندن آثار مخرب پرتوها در حین استفاده از آنها، ارائه گردد.

۲– کلیات

هدف اصلی از تدوین این مستندات، ضمن آشنایی اولیه با کاربردهای رایج پرتوها در صنایع ایران، ارائــه راهنمایی های لازم در خصوص بکارگیری ایمن منابع مختلف پرتو در کاربردهای صنعتی به منظور پیشگیری از آثار قطعی و کاهش آثار احتمالی پرتوگیری ناشی از این کاربردها است.

۳– استاندارد پایه حفاظت در برابر اشعه

۳-۱ توجیه پذیری

هیچگونه فعالیت پرتوی یا منابع آن مجاز نیســت مگرآنکه ســود حاصل ازآن در مقایســه با اثرات زیانباری که ممکن اســت برای افراد یا جامعه داشــته باشــد با در نظر گرفتن موازین اقتصادی و اجتماعی آشکار باشد.

فعالیت های زیر توجیه پذیر نیستند:

افزودن مواد پرتوزا در مواد غذائی و آشــامیدنی (به جز برای اهداف پزشکی)، آرایشی، اسباب بازی و جواهر و زینت آلات

۳-۲ بهینه سازی

در رابطه با پرتوگیری از هر منبع پرتو در فعالیت پرتوی، حفاظت و ایمنی باید طوری بهینه گردد که:

دز فردی، تعداد افراد پرتودیده و احتمال پرتوگیری هر چه کمتر و قابل توجیه باشد. (به استثنای پرتوگیری بیمار در رادیوتراپی)

اصولا مسیرهای پرتوگیری عبارتند از:

الف- پرتوگیری خارجی، ناشی از پرتوگیری مستقیم از منابع پرتو خارج یا آلودگی بدن، تجهیزات و اماکن.

ب- پرتوگیری داخلی، ناشی از ورود مواد پرتوزا به داخل بدن از طریق استنشاق، بلع، زخم باز و پوست.

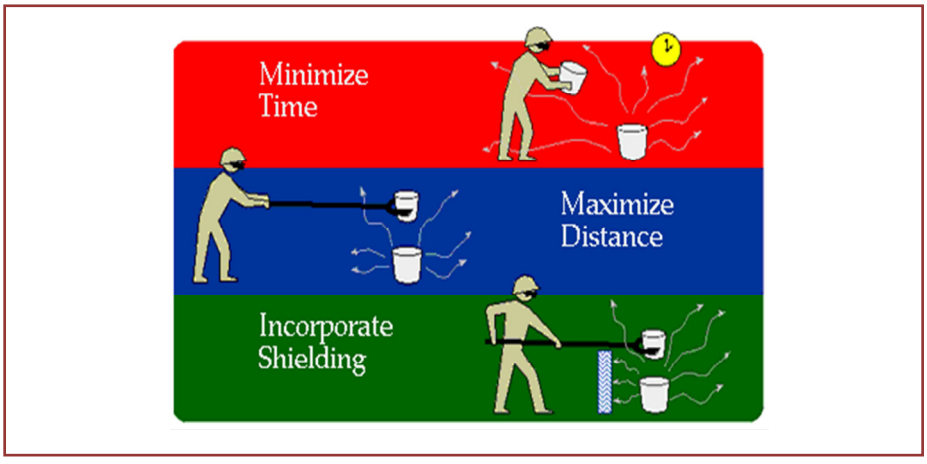
با توجه به خصوصیات منابع پرتوزای رایج در صنایع مورد بحث، مهمترین مسیر پرتوگیری، به صورت مستقیم از منابع پرتو خارج از بدن انسان یا پرتوگیری خارجی، می باشد و امکان پرتوگیری داخلی، تقریبا وجود ندارد. فقط در صورت آسیب دیدن کپسول چشمه های پرتوزا امکان آلودگی بدن یا تجهیزات و پرتوگیری از طریق آلودگی خارجی وجود دارد لذا در بخش آخر کتاب، به صورت خلاصه روش های رفع آلودگی بدن ارائه شده است.

جهت کاهش پرتوگیری خارجی ناشی از چشمه های بسته یا دستگاه های اشعه ایکس، روش های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

افزایش فاصله بین منبع پرتو و افرادی که در معرض آن قرار دارند. (عامل فاصله)

ایجاد حفاظ مناسب بین منبع پرتو و افرادی که در معرض آن قرار دارند. (عامل حفاظ)

به حداقل رساندن زمان پرتوگیری افراد (عامل زمان)



شکل ۱- روش های کاهش پرتوگیری خارجی

خلاصه روش‌های فوق در زیر ذکر می‌گردد:

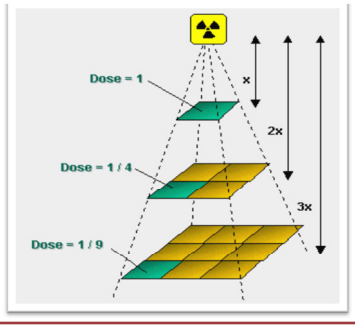
۳-۲-۱ عامل فاصله

با افزایش فاصله از منبع پرتو آهنگ دز چشمه کاهش می یابد. اگر اندازه منبع پرتوکوچک باشد (مانند: سنجشگرها)، آهنگ دز متناسب با عکس مجذور فاصله کاهش می یابد. در رابطه زیر I_1 و I_2 آهنگ دز در فاصله های به ترتیب d_1 و d_2 از منبع پرتو هستند:

$$I_1 = I_2 X d_2^2 / d_1^2$$

براساس رابطه بالا، اگر آهنگ دز معادل در فاصله یک سانتی متری ۱۰۰ mGy/h باشد در فاصله ۱۰ سانتی متری این مقدار معادل ۱ mGy/h و در فاصله ۱ متری معادل ۰/۰۱ mGy/h خواهد بود. استفاده از این قانون در کاهش دز دریافتی از منابع پرتو بسیار مفید خواهد بود. به این ترتیب ملاحظه می شود که ضخامت محل نگهداری چشمه و یا کانتینر آن، با توجه به مواد ویژه حفاظ، از نقشی تعیین کننده در مقدار پرتوهای منتشره در نقاط مختلف سطح آن برخوردار است. حتی با افزایش فاصله (بدون حفاظ‌گذاری) و با قرار دادن منبع پرتو در درون محفظه ای از قبیل یک چهارچوب یا حصار فلزی می توان در برخی موارد آهنگ دز را در سطح حصار به حد لازم براساس ضوابط این دستورالعمل کاهش داد بدون آنکه الزامی به استفاده از حفاظ سازی باشد.

به علاوه استفاده از انبر چشمه گیر که دارای دسته های بلند هستند در جابجایی منابع پرتو می تواند مانع از نزدیک شدن دست ها و بدن به منبع پرتو و در نتیجه مانع پرتوگیری زیاد آنها شود. در مجموع، حفظ فاصله مناسب از منبع چشمه اغلب مقرون به صرفه ترین روش کاهش پرتوگیری است.



شکل ۲- کاهش آهنگ دز به نسبت عکس مجذور فاصله

۳-۲-۲ عامل حفاظ

برای حفاظ گذاری مناسب در برابر هر نوع پرتو، موارد خاصی وجود دارد که به گونه آشکاری پرتوها را جـذب و یـا آنها را تضعیف مـی کنند که در نهایت منجر به کاهش میزان پرتو می شـود. برای حفاظ گذاری در برابر پرتوهای گاما موادی که دارای عدد اتمی بزرگ هسـتند مفیدتر و موثرترند. به این ترتیب سـرب، تنگستن و اورانیوم تهی شده در ساخت کانتینرهای اینگونه چشمه ها به کار می روند. در مواردی که محدودیت حجم و وزن برای حفاظ وجود ندارد اسـتفاده از موادی با عدد اتمی پایین تر از قبیل سـیمان کاملا توجیه پذیرخواهد بود. اشعه ایکس تک انرژی و یا اشعه گاما در عبور از حفاظ به صورت نمایی تضعیف می گردد:

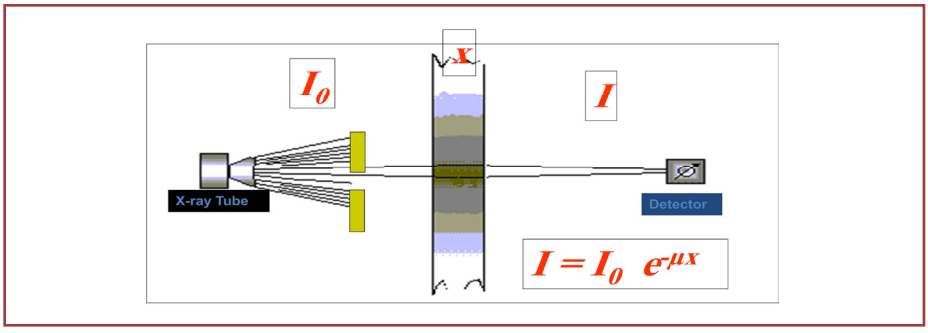
$$I = I_o e^{-\mu x}$$

I= شدت عبوری پس از حفاظ

I_o= شدت قبل از حفاظ

μ= ضریب تضعیف خطی

x= ضخامت ماده حفاظ x



شکل ۳- کاهش شدت پرتو با توجه به ضخامت و ضریب کاهش خطی حفاظ

پرتوهای α در اثر برخورد با مولکول های هوا به سـرعت انرژی از دسـت می دهند. بنابراین نیازی به حفاظ برای مهار آنها نیست.

برای حفاظ گذاری پرتوهای بتا، استفاده از موادی که دارای عدد اتمی کمتر هستند مانند: ورقه های شیشـه ای فلزی و پرسـپکس ارجحیت دارند مثلا پرسـپکس اگر طوری قرار داده شود که بتواند پرتوهای بتا را جذب کند می تواند موجب کاهش شـدت تابش ترمزی تولید شـده گردد. اینگونه مواد باید در برابر مقادیر بالای پرتودهی مقاوم باشند.

دو عامل مؤثر در طراحی حفاظ β:

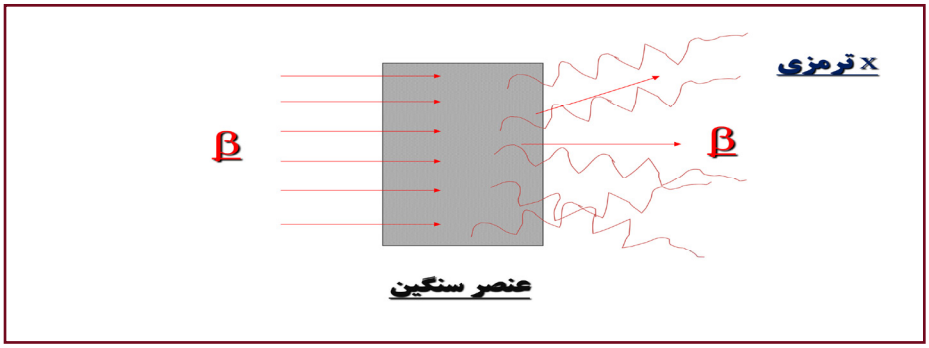
۱) برد بیشینه پرتوهای β (مسافتی که پرتوهای بتا به طور مستقیم در ماده طی می کنند تا متوقف شوند.)

۲) تابش ترمزی

مناسب ترین حفاظ برای مهار پرتوهای β از دو لایه تشکیل می شود:

لایه اول: ماده ای با عدد اتمی کوچک مانند پلاکسی گلاس یا پلاستیک با ضخامت زیاد، برای متوقف کردن پرتوهای بتا (الکترون ها).

لایه دوم: ماده ای با عدد اتمی بزرگ مانند سرب برای تضعیف پرتوهای x تولیدی.

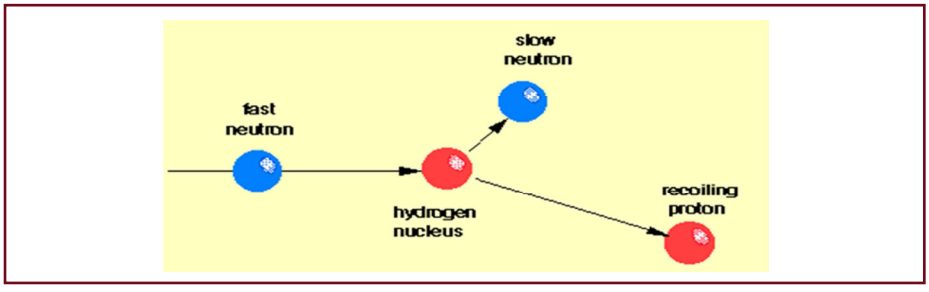


شکل ۴- تابش ایکس ترمزی در نتیجه برخورد با حفاظ سنگین

حفاظ گذاری در برابر پرتوهای نوترونی با توجه به نکات زیر انجام می شود:

✓ نوترون ها بار الکتریکی ندارند.

✓ بیشینه انتقال انرژی وقتی رخ می دهد که نوترون با هسته اتم هیدروژن برخورد کند.



شکل ۵- برخورد نوترون سریع به هیدروژن و تبدیل به نوترون حرارتی

✓ با افزایش عدد جرمی میزان کندکنندگی آنها کوچک می شـود. بنابراین برای حفاظ گذاری در برابر نوترون ها از مواد هیدروژن دار مانند آب یا پارافین استفاده می شود.
✓ جذب نوترون در حفاظ تولید گاما می کند.

حفاظ چشمه های نوترونی از دو لایه تشکیل می شود:

۱) لایه ای از مواد هیدروژن دار
۲) لایه ای از مواد سنگین مانند سرب

۳-۲-۳ عامل زمان

در صورتی که میزان پرتودهی در محل حضور افراد بیش از حد دز تعیین شده در این دستورالعمل باشد زمان پرتوگیری افراد بایستی به نحوی کاهش یابد که دز دریافتی توسط هر فرد بیش از حد دز تعیین شده نباشد. با توجه به آهنگ دز محیطی اندازه گیری شده یا محاسبه شده و زمان حضور در یک شرایط مشخص می توان دز دریافتی افراد را تعیین نمود.

آهنگ دز × زمان پرتوگیری= دز کل

از ایـن رابطه می تـوان دریافت که هر چه زمان افزایش یابد، پرتوگیری به طور مسـتقیم افزایش می یابد. (البته تصحیح پرتوزایی با توجه به گذشت زمان را باید در نظر داشت)

۳-۳ دز محدود شده

به جز پرتوگیری پزشکی، برای بهینه سازی حفاظت و ایمنی باید دز محدود شده اعمال گردد. دز محدود شده باید از مقادیر تعیین شده توسط واحد قانونی و از حد دز تجاوز نکند. دز موثر مردم با در نظر گرفتن پرتوگیری از سایر منابع از حد دز تجاوز نکند.

- دز نباید از حدهای مشخص شده در ICRP60 و استانداردها تجاوز نماید.
- حدهای دز، حدهای مجاز برای دز نیست.
- حدهای دز، برای پیشـگیری از اثرات قطعی و محدود کردن اثرات آماری (در سـطح قابل قبول) تعیین شده اند.

برای پرتوگیری پزشکی حد دز بکار نمی رود.

جدول ۱- حدود دز

حد دز پرتوگیری شغلی	حد دز پرتوگیری مردم	حد دز برای محصلین یا کارآموزان در سنین ۱۶-۱۸ سال
میانگین دز موثر در ۵ سال متوالی 20 mSv/y	دز موثر سالیانه 1 mSv/y	دز موثر سالیانه 6 mSv/y
دز موثر سالیانه 50 mSv/y	دز موثر تا 5 mSv در یک سال می تواند قابل قبول باشد مشروط بر اینکه میانگین پرتوگیری سالیانه از 1mSv/y تجاوز نکند.	
دز معادل در عدسی چشم 150 mSv/y	دز معادل در عدسی چشم 15 mSv/y	دز معادل در عدسی چشم 50 mSv/y
دز معادل در دست، پا و پوست 500 mSv/y	دز معادل در دست، پا و پوست 50 mSv/y	دز معادل در دست، پا و پوست 150 mSv/y

۴- اصطلاحات و تعاریف

آستانه بررسی: مقداری از یک کمیت مانند دز موثر، ورود مواد پرتوزا به بدن یا آلودگی در واحد سطح یا حجم است که برای مقادیر بیشتر از آن، باید بررسی لازم انجام پذیرد.

آستانه اقدام: آستانه اقدام مقداری است بر حسب آهنگ دز که اگر از آن تجاوز شود باید اقدامات حفاظتی لازم جهت کاش آهنگ دز یا غلظت پرتوزایی انجام گیرد.

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

الکترون ولت: انرژی که باید به یک الکترون داد تا از اختلاف پتانسیل یک ولت عبور کند. اغلب برای بیان مقدار انرژی الکترون از این یکا استفاده می شود.(eV). سایر یکاها: keV، MeV و..... یک الکترون ولت= $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ ژول یک. جهت بیان انرژی در کاربردهای پرتوی از الکترون ولت استفاده می شود.

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

استاندارد: استاندارد به مجموعه ای از قواعد، ضوابط، دستورالعمل ها یا روش های آزمایش که توسط گروه واجد صلاحیت تعیین، تدوین، تصویب و منتشر می شود، اطلاق می گردد. در این مجموعه منظور از استاندارد، مدارکی هستند که براساس استانداردهای بین المللی یا ملی تهیه شده باشند.

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

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

پرتوزائی: کمیت A، برای مقداری از یک رادیونوکلئید (عنصر پرتوزا) در تراز انرژی و زمان معین که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$A= dN/dt$$

که در آن dN ارزش انتظاری تعداد واپاشی خود به خودی هسته در تراز انرژی معین و در زمان dt می باشند. یکای پرتوزائی در سیستم SI عکس ثانیه ($1/s$) است که بکرل (Bq) نامیده می‌شود. واحد قدیمی تر کوری (Ci) است. $1Ci=3/7\times10^{-10}Bq$

پرتوگیری (Exposure): 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 شغلی: پرتوگیری کارکنان به هنگام کار با منابع پرتو.

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

پرتوکار: به شخص حقیقی اطلاق می گردد که با منابع پرتو به طور فیزیکی در ارتباط باشد.

پسمان پرتوزا: پسمان پرتوزا یا زباله اتمی به موادی گفته می شود که حاوی و یا آلوده به مواد پرتوزا در غلظت های بیش از میزان متعارفی که توسط مقامات قانونی تعیین می شود بوده و هیچگونه استفاده بعدی برای آنها در نظر گرفته نشده و رفع آلودگی از آنها اقتصادی و مقرون به صرفه نمی باشد.

چشمه بسته: ماده پرتوزائی که درون یک محفظه مسدود جای گرفته یا ذرات آن کاملا بهم متصل و جامد باشد به طوری که در اثر فرسایش یا اشتباهات قابل پیش بینی، مواد پرتوزا در کاربرد مورد نظر نشت نکند.

دارنده پروانه: به شخص حقیقی یا حقوقی اطلاق می شود که براساس قوانین کشور مسئولیت و اختیارات لازم جهت انجام فعالیت خاصی را داشته باشد.

دزیمتر فردی: به هرگونه وسیله ای اطلاق می شود که جهت اندازه گیری میزان پرتوگیری

پرتوکاران بکار رود. نظیر: فیلم بج، TLD و دزیمتر قلمی

دزیمتر محیطی: وسیله‌ای است که جهت اندازه گیری آهنگ دز در محیط کار با پرتو بکار می رود.

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

دستگاه پرتوساز: دستگاه های تولید کننده پرتو ایکس که در امور غیر پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد. هر لامپ پرتو ایکس در محدوده موضوع این مجموعه به تنهایی به عنوان یک دستگاه محسوب می گردد.

دارنده پروانه: متقاضی که پروانه فعالیت پرتوی با منبع خاص به او اعطا شده است و واجد صلاحیت جهت فعالیت پرتوی با منبع به ویژه در رابطه با حفاظت و ایمنی باشد.

دز: معیاری برای بیان دریافت یا جذب پرتو که بر حسب مورد، توسط کمیت هایی نظیر دز جذبی، دز عضو، دز معادل، دز موثر و ... بکار می رود. در اغلب موارد، عبارات مکمل مربوط به دز در صورت غیر ضروری بودن حذف می گردند.

دز معادل: کمیت $H_{T,R}$ که به صورت زیر تعریف می شود:

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

که در آن $D_{T,R}$ میانگین دز جذبی از پرتو R در عضو یا بافت T و w_R ضریب وزنی پرتو R است. در صورتی که میدان پرتو ترکیبی از پرتوها با مقادیر مختلف w_R باشد. دز معادل برابر است با:

$$H_T = \sum_R w_R \bullet D_{T,R}$$

یکای دز معادل J/kg است که سیورت (Sv) نامیده می شود.

دز موثر: کمیت E که به صورت مجموع حاصلضرب دزهای معادل هر بافت در ضریب وزنی بافت مربوطه تعریف می شود.

$$E = \sum_T w_T \bullet H_T$$

که در آن H_T دز معادل در بافت T و w_T ضریب وزنی بافت T است. از تعریف دز معادل رابطه زیر حاصل می شود:

$$E = \sum_T w_T \bullet \sum_R w_R \bullet D_{T,R}$$

کــه در آن w_R ضریــب وزنی پرتو R و $D_{T,R}$ میانگین دز جذبــی از پرتو R در عضو یا بافت T است. یکای دز موثر J/kg است که سیورت (Sv) نامیده می شود.

حفاظــت و ایمنــی: حفاظت افراد جامعه در برابر پرتوهای یونســاز یا مــواد پرتوزا، ایمنی منابع و راه هــای دســتیابی به حفاظت و ایمنی از قبیل به‌کارگیری دســتگاه هــا و روش ها جهت کاهش پرتوگیری مردم و ریســک آنها به "هرچه کمتر موجه شــدنی" و کمتر از دز محدود شــده و ایجاد تدابیر لازم جهت پیشگیری از سوانح و تعدیل عواقب آن.

سانحه پرتوی: مطابق با استاندارد پایه حفاظت در برابر اشعه هرگونه وضعیت ناخواسته در نتیجه نقص فنی، خطای کاری و یا ســایر اشــتباهات که پیامد آن از نقطه نظر حفاظت و ایمنی به علت پتانسیل پرتوگیری غیر عادی قابل اغماض نباشد سانحه پرتوی تلقی می شود.

کپســول چشــمه :ماده پرتوزایی که درون یک محفظه مســدود جای گرفته یا ذرات آن کاملاً به هم متصل و جامد باشــند به طوری که در اثر فرسایش و اشتباهات قابل پیش بینی مواد پرتوزا در کاربرد مورد نظر نشت نکنند.

نیمه عمر: مدت زمانی است که طی آن پرتوزایی یک رادیوایزوتوپ به نصف مقدار اولیه اش می رسد.

۵– اهمیت و جایگاه این نوع مشاغل در اقتصاد و نیروی کار کشور

هدف ســاخت و سازهای پیشرفته، تولید محصولات کیفی و تا حد امکان اقتصادی است که تا حد امکان با بکارگیری انواع فرآیندها، جهت به حداقل رســانیدن آثار مضر برای محیط زیســت تهیه می شوند. این فرآیندها دارای حداکثر بازدهی در استفاده از انرژی و مواد و حداقل تولید محصولات پسماند است. پرتوها در موارد زیر دارای کاربرد صنعتی می باشند:

- بهینه سازی و کنترل فرآیندهای صنعتی
- تشخیص مشکلات در عملکرد تاسیسات
- آزمایش اجزاء صنعتی با بکارگیری آزمونهای غیر مخرب
- آنالیز ترکیبات و ساختار مواد

با توجه به مجوزهای صادره توســط مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور به عنوان واحد قانونی صدور پروانه اشتغال و مجوز کار با منابع پرتو، در حال حاضر:

- حدود ۳۰۰ مرکز در زمینه پرتونگاری صنعتی فعال هســتند و در این مراکز حدود ۶۰۰ دوربین پرتونگاری صنعتی حاوی چشــمه ایریدیم ۱۹۲ با مجموع پرتوزایی حدود ۶۰۰۰۰ کوری و حدود

۱۰۰ دستگاه اشعه ایکس مشغول به کار هستند. صنایع پتروشیمی، نفت و گاز، خودروسازی، لوله سازی و ماشین سازی بیشترین استفاده کنندگان این کاربرد می باشند.

• حدود ۱۱۰ مرکز دارای انواع کمیت سنج پرتوی هستند در این مراکز انواع منابع پرتو به عنوان قسمتی از سیستم ضخامت سنج، سطح سنج، رطوبت سنج و دانسیته سنج به کار گرفته می شوند. صنایع شیمیایی، پتروشیمی، پالایشگاه، کارخانجات تولید سیمان، صنایع تولید نوشابه، کارخانجات فولاد، مس و تقریباً عموم صنایع، به نوعی از این کاربرد بهره مند می شوند.

• حدود ۱۲۰ مرکز از آنالایزرهای اشعه ایکس و نوترون آنالایزر استفاده می کنند.

• بیش از ۴۰۰۰ پرتوکار در کاربردهای مختلف پرتوها در صنعت تحت برنامه مونیتورینگ فردی قرار دارند.

با عنایت به موارد بالا ضروریست ضمن آشنایی با این کاربردها و منابع پرتو رایج در آنها، با اصول اولیه حفاظت و بهداشت در هریک از این کاربردها نیز آشنا شد. این مسئله منجر به بکارگیری ایمن این منابع و کاربردها و حرکت در جهت بهینه سازی فعالیت پرتوی می باشد.

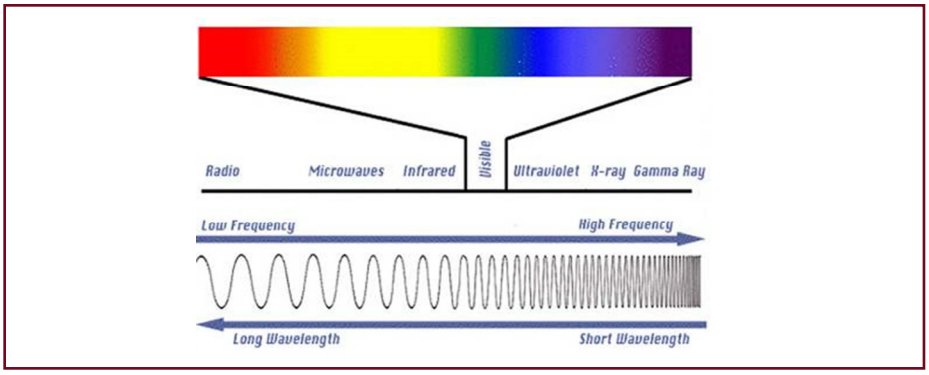
۶- کاربردهای منابع پرتو درصنعت

در این قسمت سعی شده است که کاربردهای پرتوی رایج در صنایع فولاد، خودروسازی، ماشین سازی، پتروشیمی، سیمان، لوله سازی ایران مورد بحث قرار گیرد. بدیهی است با توجه به گستردگی فنون و علوم پرتوی و نیاز مندیهای صنعت، کاربردهای متنوع دیگری نیز در سایر کشور ها رایج است.

۶-۱ رادیوگرافی صنعتی

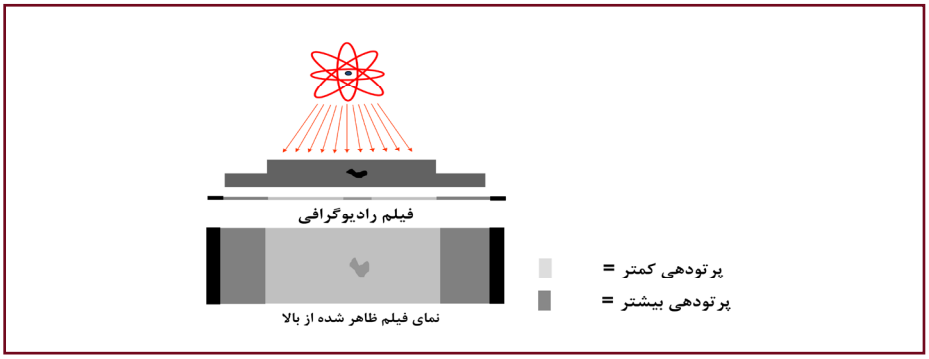
رادیوگرافی صنعتی یکی از رایج ترین آزمون های غیر مخرب، جهت بررسی عیوب داخلی قطعات ساخته شده یا کنترل فرآیندهای اتصال قطعات نظیر جوشکاری می باشد. این روش در کارخانجات صنعتی به عنوان قسمتی از فرآیند کنترل کیفی قطعات در حال تولید یا تولید شده، بکارگرفته می شود. همچنین جهت اطمینان از سلامت خطوط لوله کاربرد وسیعی دارد. کاربرد این روش را در صنایع لوله سازی، صنایع ماشین سازی، خودروسازی، لاستیک سازی، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع شیمیایی، صنایع قالب سازی و ریخته گری فلزات و صنایع الکترونیک به راحتی می توان مشاهده نمود. پرتو مورد استفاده در پرتونگاری از جنس امواج الکترومغناطیسی با طول

موج بسیار کوتاهتر نسبت به نور مرئی می باشد. منبع تولید این پرتو می تواند چشمه های پرتوزا یا دستگاه اشعه ایکس باشد.



شکل ۶- طول موج و فرکانس امواج الکترومغناطیسی

در ایـن روش قطعه مـورد آزمایش بین منبع پرتـو و فیلم رادیوگرافی قرار می گیرد. قسـمتهای ضخیمتـر و یا دارای چگالی حجمی بیشـتر فوتونهای بیشـتری را جذب نمـوده و در نتیجه فیلم رادیوگرافی در این قسـمتها دارای دانسـیته نوری پایین تری نسـبت به قسمتهای نازکتر یا دارای چگالـی حجمـی کمتر می باشـد. به عنوان جایگزیـن فیلم می توان از صفحات حسـاس به پرتو (فلوروسـکوپی) یا سیسـتم های آشکارساز و پردازش تصویر اسـتفاده نمود. تفاوت ظاهری تصویر بوجـود آمـده را می تـوان در نگاتیو بـودن تصویر فیلـم و پوزیتیو بودن تصاویر بدسـت آمده در فلوروسکوپی دانست.



شکل ۷- فرآیندایجاد تصویر عیب درپرتونگاری صنعتی

شکل ۸- انواع تصاویر پرتونگاری صنعتی

همانطــور که قبلا ذکر شــد، منابــع پرتو مورد اســتفاده در رادیوگرافی صنعتی بــه دوگروه اصلی دستگاه های تولید اشعه ایکس و چشمه های پرتوزا تقسیم می گردند. البته از شتاب دهنده ها نیز به عنوان منبع پرتو در پرتونگاری اســتفاده می گردد لیکن با توجه به محدود بودن مراکز استفاده کننده، در این مقوله به بررسی مشخصات آنها پرداخته نمی شود.

الف- دستگاه اشعه ایکس

دستگاه های اشعه ایکس می توانند به صورت ثابت و قابل حمل یا متحرک مورد استفاده قرار گیرند. این تجهیزات قابلیت تولید طیف وســیعی از انرژی را دارند. انتخاب دســتگاه اشــعه ایکس با توجه شرایط قطعه، دسترسی به منبع نیرو (برق)، کیفیت تصویر مورد نیاز کارفرما خواهد بود. به عنوان یک اصل کلی، کار با دســتگاه های اشــعه ایکس در شرایط سایتی که دستگاه به مکان پرتونگاری منتقل می گردد، دشــوار بوده و برای شرایطی که امکان جابجایی قطعه وجود دارد ایده آل به نظر می رســد. انرژی یا کیلوولتاژ دستگاه با توجه به ضخامت و جنس قطعه انتخاب می گردد. از لحاظ

ایمنی، با توجه به نیاز به جریان برق، جهت تولید اشعه ایکس، با قطع جریان برق خطر پرتوگیری از بیـــن مـــی رود. لذا حمل یا نگهداری آن در حالت خاموش یا بدون اتصال به جریان برق، از لحاظ خطر پرتوگیری بدون خطر بوده و الزام خاصی را نمی طلبد. در خصوص روش تولید اشـــعه ایکس به صورت خلاصه در قسمت بعد توضیح داده شده است.

شکل ۹- دستگاه اشعه ایکس پرتونگاری صنعتی

ب- چشمه های گاما

با توجه به موارد زیر استفاده از چشمه های گاما جایگزین استفاده از دستگاه های اشعه ایکس در صنعت می باشند:

- قدرت نفوذ پرتوهای گاما بسیار بالاتر از محدوده توانایی دستگاههای ایکس معمول است.
- قابلیت جابجایی دوربین ها زیاد است.
- نیاز به برق و خنک کننده ندارد.

• جهت برخی تکنیکهای پرتونگاری مناسب ترند.
• با توجه به عملکرد مکانیکی تجهیزات حامل چشـمه های گاما، امکان خرابی این تجهیزات کمتر است و در صورت نیاز به تعمیر از پیچیدگی کمتری برخوردار است.
• کار و تنظیم دستگاه جهت پرتونگاری ساده است.

شکل ۱۰- دوربین پرتونگاری صنعتی

چشـمه های گامای رایج در صنایع ایران، ایریدیم ۱۹۲، کبالت ۶۰ و سـلنیم ۱۷۵ می باشـند که بـا توجـه به ضخامت و جنس قطعات مورد آزمایش از آنها اسـتفاده می گردد. در جدول زیر انواع چشمه های رایج و مشخصات آنها ذکر شده است.

جدول ۲- انواع چشمه های پرتوزای رایج در رادیوگرافی صنعتی کشور ایران

چشمه	پرتوزایی	نیمه عمر	ضخامت فولاد قابل آزمایش (mm)
^{192}Ir	3.7 TBq	74 days	10 - 70
^{60}Co	1.8-3.7 TBq	5.2 years	50 - 150
^{75}Se	1.48 TBq	120 days	4 - 28

با توجه به پرتوزایی چشمه های مورد استفاده در رادیوگرافی کار با این چشمه ها بسیار خطرناک بوده و تقریبا بیشتر سوانح منجر به آثار قطعی پرتوها، هنگام کار با این چشمه ها رخ داده است. رعایت نکات ایمنی و حفاظتی در کلیه مراحل بکارگیری، حمل یا نگهداری چشمه های گاما الزامی است.

شکل ۱۱- چشمه پرتوزای پرتونگاری صنعتی و کپسول آن

این چشمه ها درون تجهیراتی به نام نگهدارنده چشمه قرار می گیرند تا ضمن حفظ چشمه اصلی امکان بکارگیری و جابجایی آن فراهم آید. هرگونه برخورد تماس این چشـــمه ها با قسمتی از بدن یا دست موجب بروز آسیب های جدی نظیر سوختگی شدید و در مراحل بالاتر حتی منجر به قطع انگشـــتان دست گردد. میزان آسیب بستگی مســـتقیم به زمان تماس، نقطه تماس و نوع چشمه و پرتوزایی آن خواهد داشت.

شکل ۱۲- انواع نگهدارنده چشمه در پرتونگاری صنعتی

چشمه های گاما جهت حمل و بکارگیری در تجهیزاتی به نام پروژکتور یا دوربین که در واقع نقش حفـاظ قابـل حمل را بازی می کنند، قرار می گیرند. تجهیـزات جانبی تحت عنوان لوله هدایت و کنترل از راه دور، ضمن اتصال به دوربین و نگهدارنده چشمه، مکانیسم ایجاد نیرو جهت حرکت و هدایت چشمه پرتوزا تا مکان پرتونگاری را بر عهده دارند. لازم به ذکر است می توان از سیستمهای الکترومکانیکی نیز جهت حرکت نگهدارنده چشمه استفاده نمود.

شکل ۱۳- دوربین پرتونگاری صنعتی

۲-۶ سنجشگرهای یا کمیت سنج های پرتوی

سنجشـگرهای پرتوی به صورت کلی به دو شـکل ثابت و متحرک مورد اسـتفاده قرار می گیرند. هر دوگونه بر حسـب واکنش و موقعیت قرار گرفتن چشـمه و آشکارسـاز مربوطه به سـه نوع زیر تقسیم بندی می شوند:

- کمیت سنج ها با خاصیت انتقالی پرتو
- کمیت سنج ها با خاصیت پس پراکنی پرتو
- کمیت سنج های واکنشی

مزایای عمده روش کمیت سنجی پرتوی نسبت به روش های دیگر عبارت است از:

- کنترل فرآیندهای با درجه حرارت بسیار زیاد
- کنترل فرآیندهای شیمیایی خطرناک و زیان آور
- کنترل فرآیندهای تولید با سرعت بالا
- کنترل محیط های غیر قابل دسترس و بسته

• اندازه گیری های دقیق و حساس
• کنترل موادی که در ارتباط مستقیم باعث پوسیدگی و خرابی تجهیزات می گردند.

الف- کمیت سنج ها با خاصیت انتقالی پرتو

در این نوع سنجشگر پرتوی، چشمه پرتوزا در یک طرف و آشکارساز در طرف دیگر شی مورد اندازه گیری قرار می گیرند. پرتو منتشر شده از چشمه از شی عبور کرده و پس از تضعیف به آشکار ساز می رسد. چشمه پرتوزای مورد استفاده معمولا از نوع گاما یا بتا می باشد.

• قدرت معمول چشمه های بتا در این روش ۴۰ مگا تا ۴۰ گیگا بکرل می باشد.
• قدرت معمول چشمه های گاما در این روش ۰/۴ تا ۴۰ گیگا بکرل می باشد.
• شدت پرتوی دریافتی توسط آشکارساز متناسب با عکس چگالی یا ضخامت شی می باشد.

ب- کمیت سنج ها با خاصیت پس پراکنی پرتو

در این نوع سنجشگر پرتوی چشمه پرتوزا و آشکارساز در یک طرف شی مورد اندازه گیری قرار می گیرند. پرتو منتشر شده از چشمه به شی برخورد کرده و برخی از پرتوهای پس پراکنده شده به آشکار ساز می رسد، در نتیجه حفاظت آشکارساز در برابر پرتوهای اولیه چشمه بسیار مهم می باشد. چشمه پرتوزای مورد استفاده معمولا از نوع گاما یا بتا می باشد.

• قدرت معمول چشمه های بتا در این روش ۴۰ تا ۲۰۰ مگا بکرل می باشد.
• قدرت معمول چشمه های گاما در این روش تا ۱۰۰ گیگا بکرل می باشد.
• شدت پرتوی دریافتی توسط آشکارساز متناسب با چگالی یا ضخامت شی می باشد.

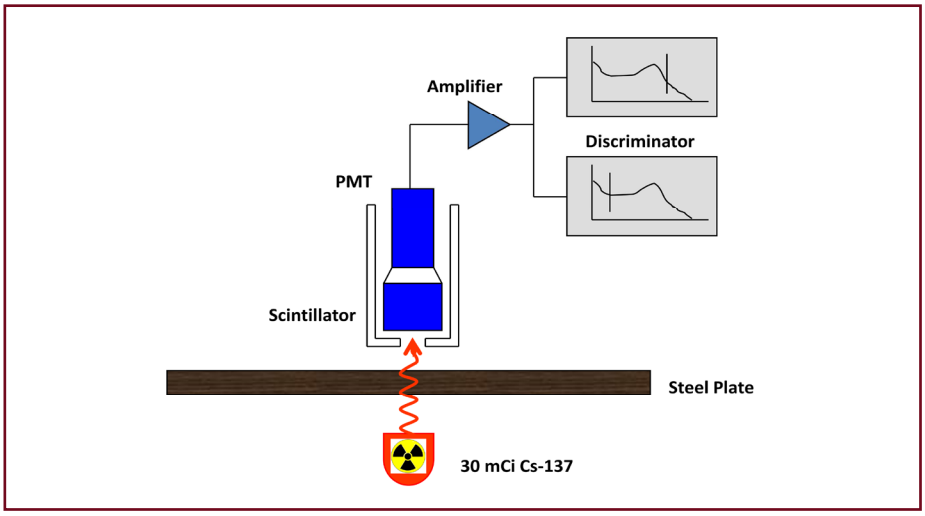
ج- کمیت سنج های واکنشی

از یک چشمه ضعیف گاما یا منبع ایکس جهت تحریک اتم های ماده مورد آزمایش استفاده می شود. اتم ها بر اثر برخورد فوتون ها تحریک شده و در نتیجه تابش ایکس مشخصه روی می دهد. تابش های ایکس توسط یک آشکارساز شمارش می گردند. با توجه به تفاوت انرژی تابش ایکس مشخصه عناصر مختلف با یکدیگر، می توان به نتایج دقیقی از درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده ماده مورد آزمایش دست یافت.

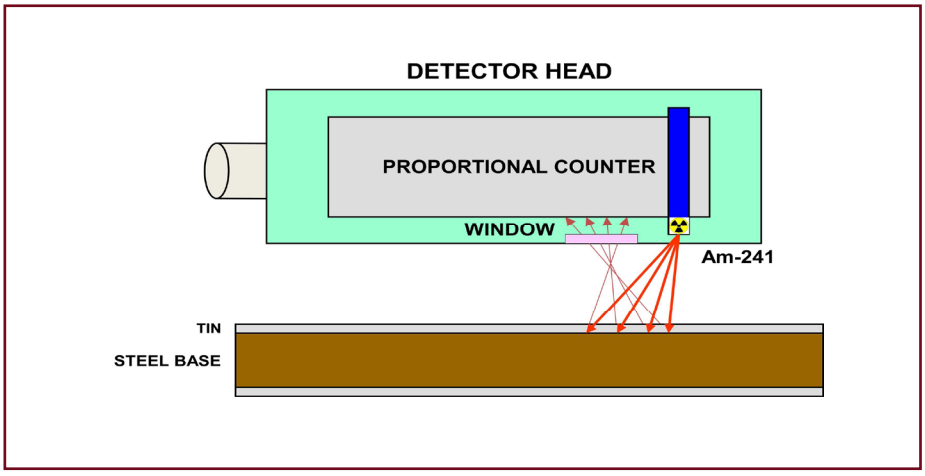
۶-۲-۱ ضخامت سنج پرتوی

در اندازه گیری ضخامت محصولات ورقه ای مانند کاغذ، فولاد، آلومینیوم، لاستیک، پلاستیک، پوشش ها و آبکاری ها کاربرد دارند.

• هم براساس خاصیت انتقالی و هم پس پراکنی پرتوها طراحی و ساخته می شود.



شکل ۱۴- روش کمیت سنجی براساس خاصیت انتقالی پرتو



شکل ۱۵- روش کمیت سنجی بر اساس خاصیت پس پراکنی پرتو

• معمــولاً در انــدازه گیری ضخامت مواد ســبک مانند کاغذ و لاســتیک یا ضخامــت های کم از چشمه های بتا نظیر پرمتیم ۱۴۷، کریپتون ۸۵ و استرانسیم ۹۰ استفاده می شود.
• معمولاً در اندازه گیری ضخامت مواد سنگین مانند فولاد یا ضخامت های بالا از چشمه های گاما نظیر سزیم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ یا مولدهای ایکس استفاده می شود.

شکل ۱۶- کاربرد روش پس پراکنی در ضخامت سنجی

۶-۲-۲ سطح سنج پرتوی

ســطح سنجهای پرتوی از اثر تضعیف شدت پرتوهای گاما به طور ساده و ویژه و در مقیاس بزرگی بهره می برند.
• براساس خاصیت انتقالی پرتوها طراحی و ساخته می شود.
• معمولا از چشــمه های گاما نظیر ســزیم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ و برای سنجش پرشدگی بطری ها از چشمه آمرسیم ۲۴۱ استفاده می شود.
سطح سنجها از نظر شکل چشمه و آشکارساز معمولا در سه شکل زیر بکار می روند:
• چشمه نقطه ای– آشکارساز نقطه ای: برای اندازه گیری یک سطح مشخص
• چشمه نقطه ای– آشکارساز میله ای: برای اندازه گیری پیوسته سطح
• چشمه میله ای– آشکارساز نقطه ای: برای اندازه گیری پیوسته سطح

از این سیستمها برای مونیتورینگ یا کنترل سطح ماده در مخازن و یا هاپرها در صنایع پالایش و فرآوری شیمیایی، استفاده می شود. تاسیسات بزرگ از گیجهای مختلفی که به صورت آنلاین بوسیله اتاقهای عملیات مرکزی تغذیه اطلاعاتی می شوند استفاده می کنند. در صنعت غالبا نیاز است که موقعیت سطح یک مایع در یک مخزن هنگامی که بالاتر از حد مشخص شده تانک قرار می گیرد، ثبت شود. برای این کار نوع پیشرفته ای از گیج توسعه یافته است که در آن باریکه تابش در یک مسیر عمودی و با زاویه پراکنش حدود ۲۰ درجه تکسو می گردد. آشکارساز مورد استفاده برای این کار از نوع یونزاسیون خطی بوده و خروجی آن سنجه ای از طولی است که در معرض تابش قرار می گیرد و ارتفاع مایع را مشخص می کند. برای گسترش محدوده ای از ارتفاع که باید مونیتور شود می توان از چندین چشمه استفاده نمود. با ارسال خروجی آشکارساز به مدار متصل به سیستمهای پمپ کننده و دریچه ها سطوح مایع در محدوده از پیش تعیین شده به صورت خودکار کنترل می شود.

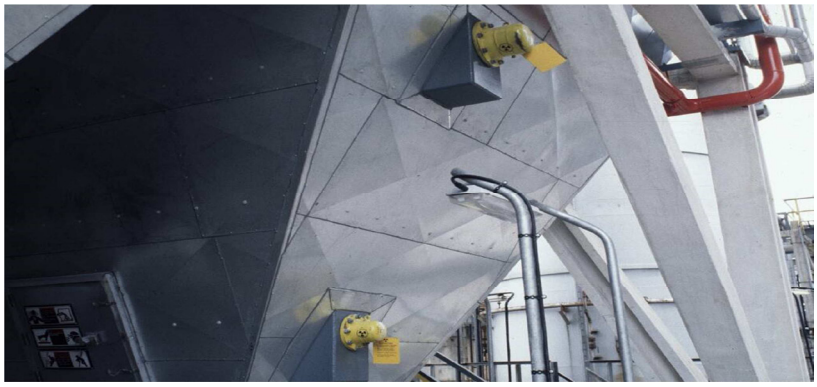
در حال حاضر استفاده از سطح سنج های قابل حمل، برای اندازه گیری ارتفاع ماده مذاب در کارخانه های فولاد رایج شده است.

سطح سنج پرتوی در اندازه گیری سطح مواد یا میزان پرشدگی ظروف در مواردی مانند موارد زیر کاربرد دارد:

• مخازن و راکتورها در فرآیندهای شیمیایی در پالایشگاه ها و صنایع پتروشیمی

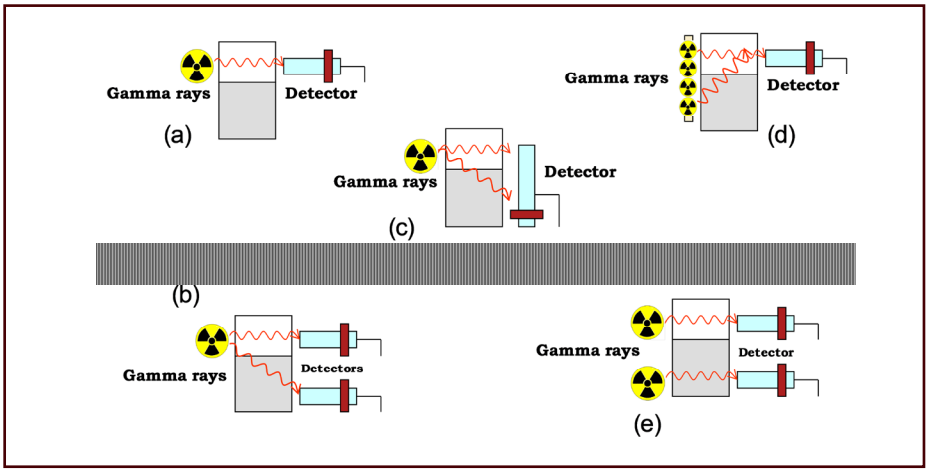
شکل ۱۷- چشمه نقطه ای– آشکارساز میله ای: برای اندازه گیری پیوسته سطح

- کوره های ذوب شیشه در صنعت شیشه
- کوره ها، پاتیل ها و قالب های ریخته گری در صنعت فولاد و سایر فلزات
- مخازن و سیلوهای نگهداری مواد جامد مانند سیمان



شکل ۱۸- چشمه نقطه ای– آشکارساز نقطه ای: برای اندازه گیری یک سطح مشخص

- پرشدگی بطری ها و قوطی ها در خط تولید مواد غذایی



شکل ۱۹- انواع چینش چشمه پرتوزا و آشکارساز در سطح سنجی پرتوی

۶-۲-۳ چگالی سنج پرتوی

این گیج ها در اندازه گیری چگالی یک ماده که بین چشمه و آشکارساز قرار می گیرد استفاده می شود. اساس کار این گیج مبتنی بر تضعیف یک باریکه پرتو گاما تکسو شده است. ارتباط بین شدت پرتو گامای اندازه گیری شده پس از عبور از نمونه I_t شدت اولیه I_0 و ضخامت $t(cm)$ ماده مورد نظر با رابطه زیر داده می شود.

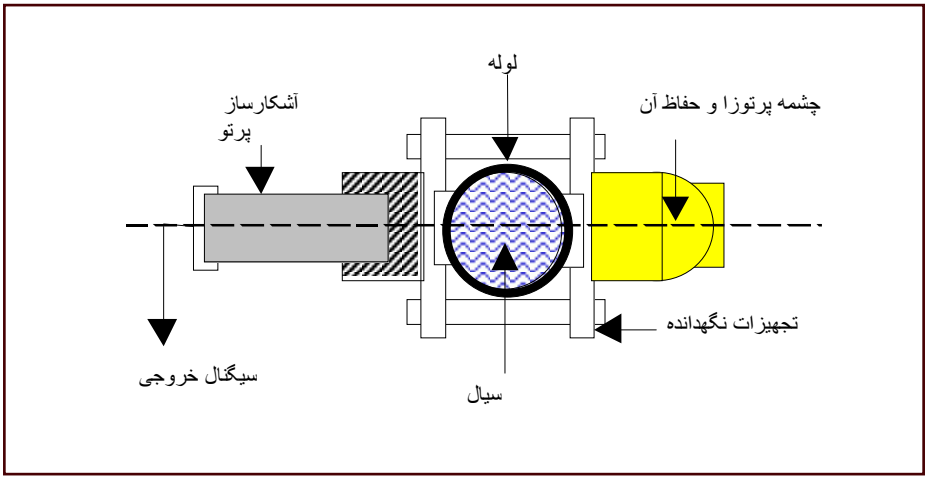
$$I_t = I_0 \exp(-\mu_m x \rho x t)$$

که در آن ضریب تضعیف جرمی μ_m (cm^2/g) به ضریب خطی μ_t (cm^{-1}) و چگالی ρ (g/cm^3) ماده توسط رابطه زیر مرتبط است.

$$\mu_m = \mu_t/\rho$$

اندازه گیری چگالی مواد یا میزان انتقال مواد جامد توسط سیالی مانند هوا یا آب در مواردی مانند موارد زیر کاربرد دارد:

- غلظت محلولها و ترکیبات در فرآیندهای شیمیایی در صنایع پتروشیمی



شکل ۲۰- چگالی سنج پرتوی

- میزان توتون در نخ های سیگار و پرشدگی قوطی های سیگار
- غلظت شربتها و ترکیبات خوراکی در صنایع غذایی

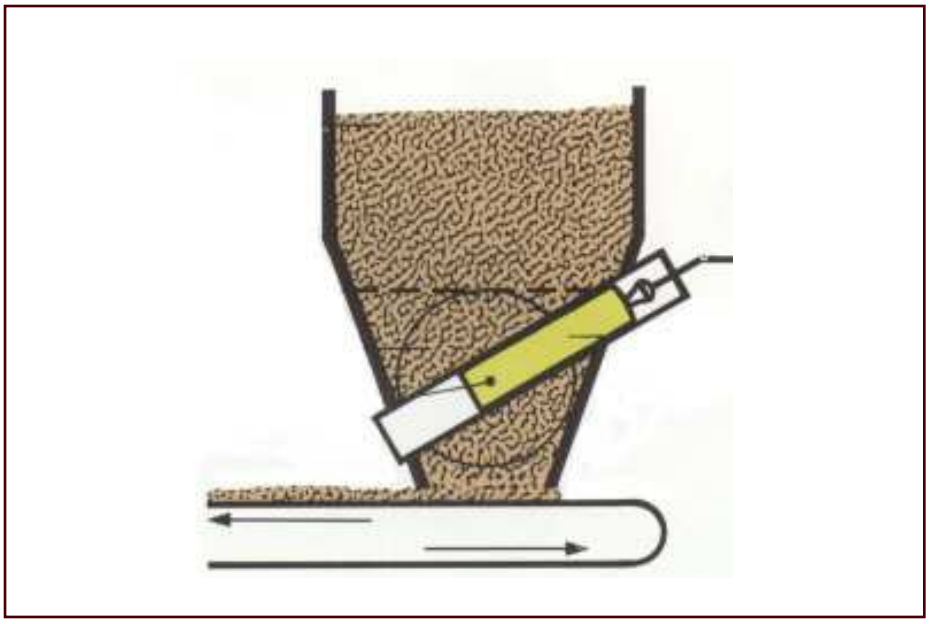
شکل ۲۱- اندازه گیری پیوسته چگالی در صنایع

- میزان انتقال پودر مواد اولیه آماده پخت به کوره، در صنعت سیمان
- میزان گل و لای استخراج شده از کف کانالها در لایروبها
- غلظت دوغاب در حال انتقال در صنایع ساخت قطعات سیمانی
- معمولا از چشمه های گاما نظیر سزیم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ استفاده می شود.

شکل ۲۲- اندازه گیری چگالی در خروجی چاه نفت

۶-۲-۴ رطوبت سنج پرتوی

یکـی از مسـائل مهم در ارتباط با الزامـات کنترل و ارتقای کیفیت در برخـی فرایندهای صنعتی مسـئله اندازه گیری رطوبت یا مواد نمناک در فرآوری کالا اسـت. این مسـئله تنها با اندازه گیری پیوسته رطوبت امکان پذیر است. با توجه به امکان خوردگی، آلودگی و حساسیت تخریب مکانیکی الکترودها و همچنین مشکلاتی نظیر هندسی اندازه گیری و محدودیتهای حجمی و وزنی، روشهای متداولی نظیر اندازه گیری رسـانایی، نفوذپذیری نسبی الکتریکی، تعیین جرم قبل و بعد از خشک شـدن، روشهایی مناسـب برای اندازه گیری رطوبت در صنایع بزرگ نیستند. برای تعیین پیوسته رطوبت می توان براساس کند شدن و پراکندگی نوترونها در مواد حاوی اتمهای هیدروژن، اطلاعات مفیدی از میزان رطوبت (آب) در مواد مورد اندازه گیری بدسـت آورد. نوترونهای سریع در برخورد با هیدروژن قسـمت اعظم انرژی خود را از دسـت می دهند و کند می شـوند. با استفاده از چشمه نوترونی Am241-Be با پرتوزایی حدود ۴ تا ۱۰ GBq می توان شار نوترون سریع جهت واکنش برخورد با هیدروژن را فراهم نمود. با کمک آشکارسـازهای حساس به نوترون کند میزان هیدروژن و از آنجا میزان رطوبت مشخص می گردد.



شکل ۲۳- رطوبت سنجی پیوسته سیمان

رطوبت سنجی هسته ای در ساخت بتون، تراشیدن سنگ معدن، مخلوط کردن مواد سرامیکی، ساخت شیشه، ریخته گری و حالت دهی فلزات و نیز مواد ساختمانی، در فرایندهای سریع، پیوسته و قابل اعتماد، بدون نمونه برداری و تماس در انواع مخلوط ها و غلظت ها به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

۶-۲-۵ آنالایزر مواد با اشعه X

دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس اغلب جهت شناسایی کمی و کیفی عناصر براساس خواص فلورسانس و پراش اشعه ایکس در صنایع سیمان، مس، فولاد، سرامیک و کاشی سازی، چینی سازی ... به‌کار می روند. تجهیزاتی که به این منظور طراحی شده اند معمولاً دارای اجزای زیر هستند:

- اتاقک داخلی حفاظت شده؛
- تیوپ اشعه ایکس؛
- کلیماتور پرتو (جمع کننده)؛
- حفاظ ها و قطعات اضافی؛
- قفل های ایمنی روی در و قطعات داخلی؛
- میز کنترل[1] شامل:

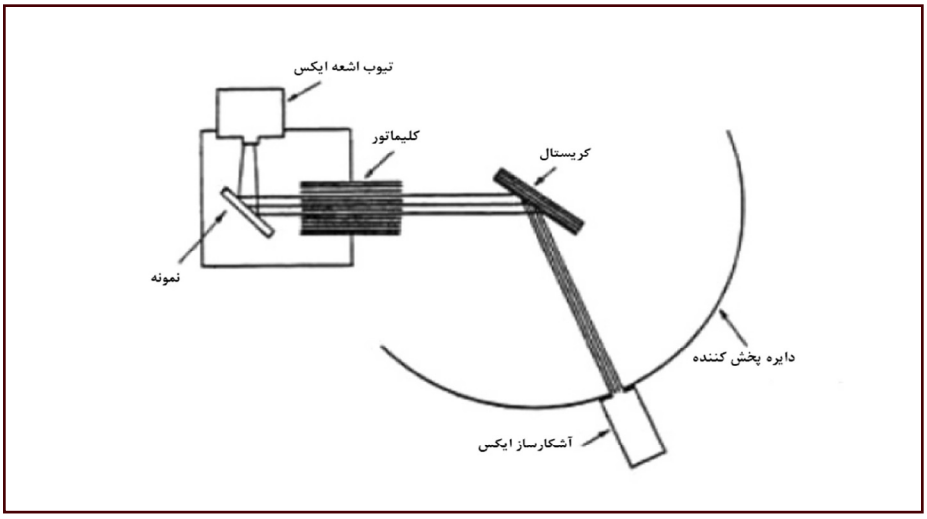
- کلید اعمال ولتاژ به دو سر تیوب.
- سوییچ خاموش/ روشن برای تولید اشعه ایکس.
- چراغ نوری برای تعیین وضعیت روشن بودن[2].
- چراغ خطر نوری نشان دهنده وضعیت پرتودهی سیستم[3].

۶-۲-۵-۲ آنالایزر مواد به‌روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF)

در این روش پرتو ایکس به عنصر یا نمونه مورد مطالعه می تابد و در اثر برانگیختگی اتم های آن پرتو ایکس ثانویه ایجاد می شود. تعیین طول موج ایکس ثانویه مبنای کیفی عناصر و شدت پرتوها

[1] control panel
[2] power-on
[3] x-ray-on

متناسب با فراوانی یا غلظت عناصر موجود در نمونه است. این روش در مطالعات کانی شناسی و متالوگرافی کاربرد دارد (خصوصاً در زمینه شناسایی نوع آلیاژ فلزی در کاربردهای صنعتی و شناسایی عناصر موجود در فلزات، نمونه های سنگ، سفال و شیشه، خاکستر، خشت و غیره).



شکل ۲۴- تصویر شماتیک از سیستم XRF

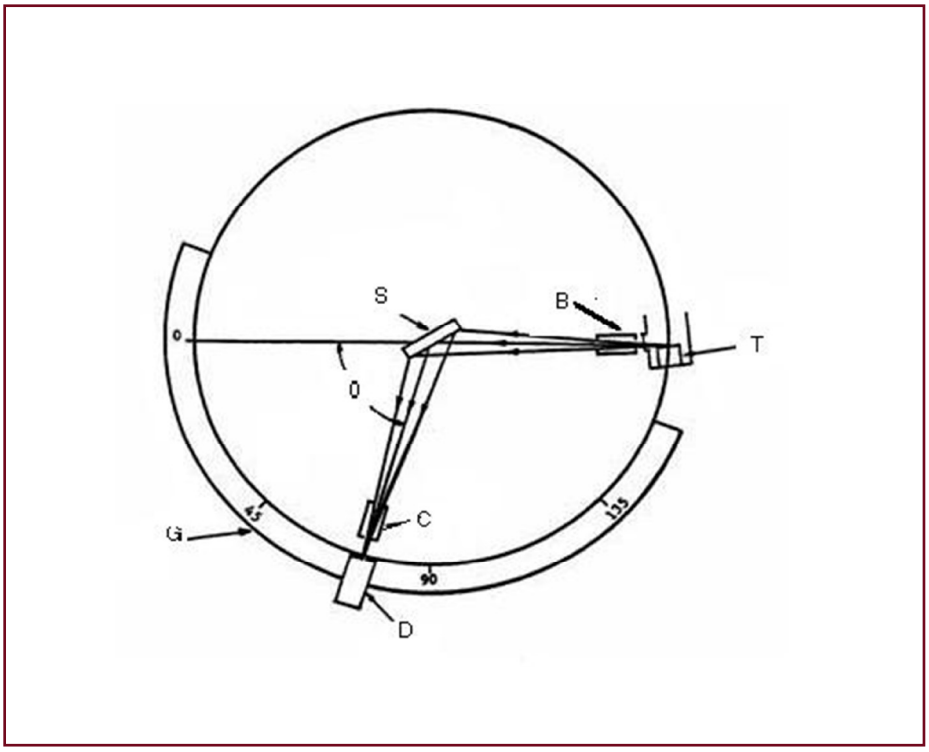
شکل ۲۵- فرایند آنالیز با اشعه ایکس فلورسانس

۶-۲-۵-۲ آنالایزر مواد به‌روش پراش پرتوی ایکس (XRD)

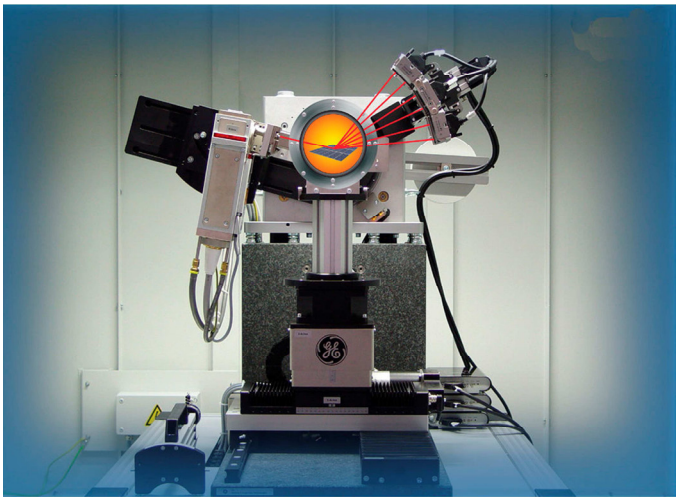
دستگاه XRD جهت شناسایی و تجزیه کیفی و همچنین شناسایی فازهای ساختمان داخلی بلورها استفاده می شود و اساس کار آن روی پراش پودر ماده مورد نظر است. در این روش پرتو

ایکس به اتم های صفحات بلوری نمونه پودری مورد آزمایش تابیده و در زوایای مختلف و براساس مشخصهٔ جنس ماده پراشیده می شود و پس از عبور از میان گونیومتر (زاویه سنج) مسیر آن توسط آشکارسازی مورد بررسی قرار گرفته و شدت پراش آن اندازه‌گیری می گردد. گونیومتر شامل شاتر، فیلترهای کاهش شدت نور، محفظه یا اتاقک نمونه و مکانیزمی جهت چرخش نمونه در یک قوس متناسب با بیم پرتوی ایکس است.

کاربردهای این روش عبارتند از: کریستالوگرافی- تعیین بافت- آنالیز تنش پسماند- بررسی و شناسایی سریع فازهای تشکیل دهنده مواد مختلف (عایق، نیمه رسانا و رسانا) به صورت جامد، لایه نازک و پودری- تعیین فازهای کریستالی موجود در فلزات، مواد سرامیکی، مینرالی، زئولیت ها، سیمان، مواد نیمه رسانا و ابررسانا، رنگ های معدنی و مواد شیمیایی و دارویی غیرآلی به صورت کیفی و کمی.



شکل ۲۶- تصویر شماتیک از سیستم XRF



شکل ۲۷- سیستم XRF

۶-۲-۵-۳ آنالایزر قابل حمل مواد به روش فلورسانس اشعه ایکس

این دستگاه ها از نوع XRF هستند و در هنگام تولید اشعه ایکس در دست قرار می گیرند. با فشار دادن ماشـــه با انگشت، اشعه تولید می شود و پس از انجام آنالیز نمونه مورد نظر (که معمولاً کمتر از ۳۰ ثانیه طول می کشد) به محض برداشتن انگشت، اشعه قطع می گردد. از آنجا که اشعه تولید شـــده با عبور از عدســـی در محل دریچهٔ خروجی کانونی می گردد دز دریافتی در اطراف دستگاه و در محل انگشت بر روی ماشه کم است، در حالیکه میزان دز در جلوی دریچه بسیار بالا و تا فاصلهٔ بیش از یک متر از آن نیز قابل توجه اســـت. به طور مثال برای یک نوع از این دســـتگاه ها (با ولتاژ ۳۵ کیلوولت و جریان ۲ میکروآمپر) در مکان های مختلف در شرایط استاندارد تابش میزان آهنگ دز عبارتند از:

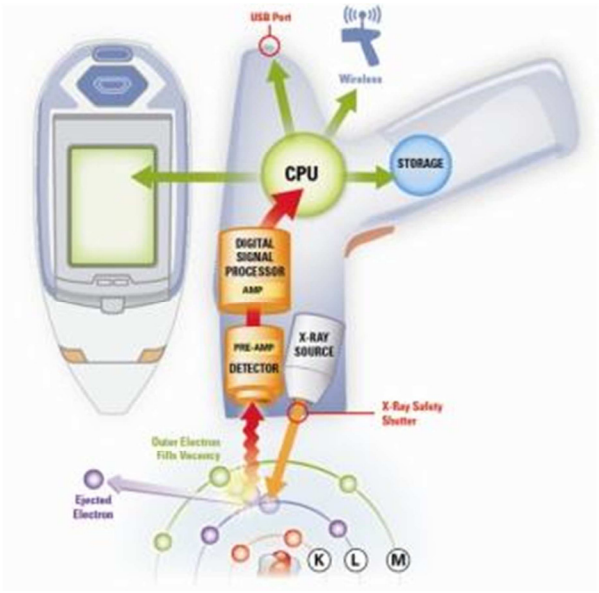
- در محل انگشت روی ماشه: ۰/۵ میکروسیورت بر ساعت
- در محل خروج اشعه از دریچه: ۲۸۱/۶ میلی سیورت بر ساعت
- در فاصله ۳۰ سانتی متری از دریچه: ۲۰/۸ میلی سیورت بر ساعت
- در فاصله ۹۰ سانتی متری از دریچه: ۰/۲۴ میلی سیورت بر ساعت
- در فاصله ۱۲۰ سانتی متری از دریچه: ۰/۱۴ میلی سیورت بر ساعت

آنالایــزر قابل حمــل XRF با جایگزینــی مولدهای پرتو ایکس با چشــمه هــای رادیوایزوتوپ و سیســتم های فیلتر پرتو ایکس برای کاربردهای میدانی توسعه یافته اند. شدت پایین تر تابش آنها بوســیله مزیت قابلیت حمل بودن جبران می گردد. اســاس این روش جهت سنجش مس دو عامل انتخاب چشمه و بکارگیری فیلتر موازنه می باشد:

الف- انتخاب یک چشمه جهت بهینه نمودن گسیل پرتوهای ایکس مشخصه KX
انرژی پرتو ایکس گســیل شده بوســیله چشمه ایزوتوپی و انرژی که تمایل به تولید پرتوهای KX مــس دارد باید بزرگتر و نزدیک به انرژی ۹KeV (انرژی لبه جذب K مس) باشــد. در این حالت می توان از پلوتونیوم ۲۳۸ با نیمه عمر ۸۷ سال گسیلنده پرتو ایکس در محدوده ۱۲-۱۷KeV و یا کادمیم ۱۰۹ با نیمه عمر ۱/۲ سال و گسیلنده پرتو ایکس در محدوده ۲۲-۲۵KeV استفاده نمود.

ب- بکارگیــری فیلترهای موازنه جهت به حداقل رســاندن تداخل با قلــه های (پیک های انرژی) ناخواسته
اگرچه انتخاب صحیح چشــمه، بهره پرتوهای XRF مربوط به لبه K را افزایش می دهد، تداخل دیگر عناصر نیز در این طیف قابل اهمیت است. به علت استفاده از آشکارساز یدید سدیم با قدرت تفکیک پایین، این تداخل به راحتی قابل تشخیص نیست، در ضمن پنجره آشکارساز باید به اندازه کافی نازک باشد تا بتواند پرتو ایکس مورد نظر را با شدت کافی عبور دهد.
فیلترهای موازنه جهت به حداقل رساندن اثرات گسیلنده های اضافی بکارگرفته می شوند.

شکل ۲۸- دستگاه آنالایزر قابل حمل XRF

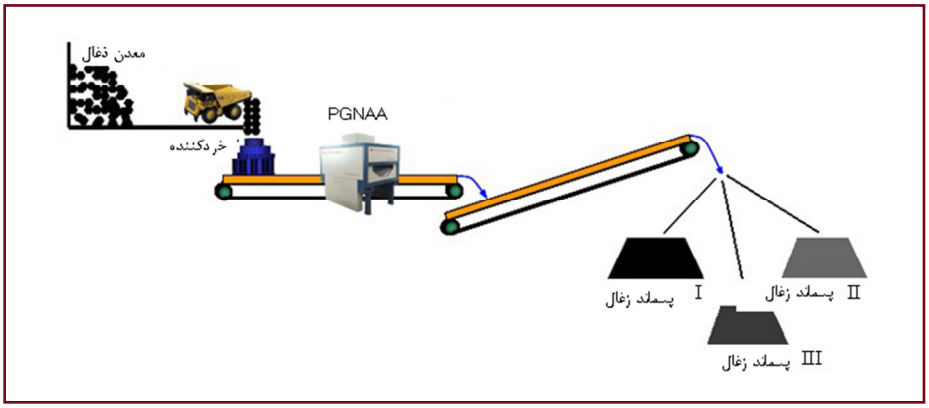


شکل ۲۹- فرآیند آنالیز با اشعه ایکس فلورسانس در دستگاه های قابل حمل

۶-۲-۵-۴ آنالایزر مواد به روش فعال سازی نوترونی گامای آنی PGNAA

این دستگاه ها حاوی چشمه نوترون می باشند که جهت آنالیز کمی و کیفی مواد از لحاظ جنس و ساختار ماده مورد نظر به‌کار می روند. اصول عملکرد این دستگاه ها براساس آشکارسازی پرتوهای گامای ناشی از فعال سازی عناصر موجود در ماده مورد نظر به وسیله چشمه نوترون می باشد. دستگاه های آنالیز مواد به روش فعال سازی نوترون به مجموعه وسائل و تجهیزات، شامل چشمه نوترون، محفظه چشمه، آشکارساز گاما و کنترل کننده های آن اطلاق می گردد. برای این منظور سه نوع چشمه نوترونی مورد استفاده قرار می گیرند. راکتورهای هسته ای با شار نوترونی بسیار بالا، شتاب دهنده های نوترونی با شار نوترونی متوسط و چشمه های نوترونی قابل حمل با شار نسبتاً پایین. متداولترین چشمه های مورد کاربرد در صنعت بخصوص صنایع سیمان، چشمه های قابل حمل نوترونی می باشند. چشمه های نوترون یا از طریق واکنش برخورد ذرات آلفای آمرسیم ۲۴۱ یا پلوتونیوم ۲۳۹ با اتمهای عناصر سبک مانند بریلیم و یا از طریق شکافت خودبخودی مانند کالیفرنیم ۲۵۲ شار نوترون لازم را فراهم می آورند. استفاده از چشمه کالیفرنیم ۲۵۲ در صنایع

ایران رواج بیشـــتری دارد. با توجه به آشکارســازی آنلاین گامای آنی ایجاد شده در نتیجه واکنش نوترون با مواد می توان به ســرعت نوع مواد تشکیل دهنده و درصد وزنی آن را مشخص نمود. این روش برای مونیتورینگ پیوســته ترکیب عنصری زغال سنگ و خاکســتر زغال مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۰- بکارگیری دستگاه آنالایزر به روش فعال سازی نوترونی گامای آنی در خط تولید زغال سنگ

منابع پرتو مورد اســتفاده در صنعت به طور کلی به دو دسته دستگاه های پرتو ایکس ساز (ترمزی و مشــخصه)، نظیر دســتگاه آنالیز مواد به روش فلورسانس اشــعه ایکس، (XRF)، دستگاه آنالیز مواد به روش پراش پرتوی ایکس (XRD)، دســتگاه اشعه ایکس مورد کاربرد پرتونگاری صنعتی، و چشــمه های پرتوزا، نظیر کبالت ۶۰، سزیم ۱۳۷، ایریدیم ۱۹۲ و سایر چشمه های تابش کننده ذرات بتا، نوترون، آلفا یا پرتوهای گاما تقسیم می گردند.

۷– منابع پرتو مورد استفاده در صنعت

۷-۱ دستگاه های پرتوساز

اصولاً ۳ نوع دستگاه پرتوساز در صنایع ایران بکار گرفته می شوند.

۱- دستگاه تولید اشعه ایکس ترمزی، که در کاربرد پرتونگاری صنعتی رایج است.

۲- دستگاه تولید اشعه ایکس مشخصه یا فلورسانس، که در کاربرد آنالیز مواد کاربرد دارد.

۳- شتاب دهنده های ذرات و فوتون، که در پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد.

با توجه به فراوانی کاربرد موارد ۱ و ۲ در صنایع ایران، در این قسمت به روش تولید اشعه ایکس ترمزی و مشخصه پرداخته می شود.

۷-۱-۱ دستگاه تولید اشعه ایکس ترمزی

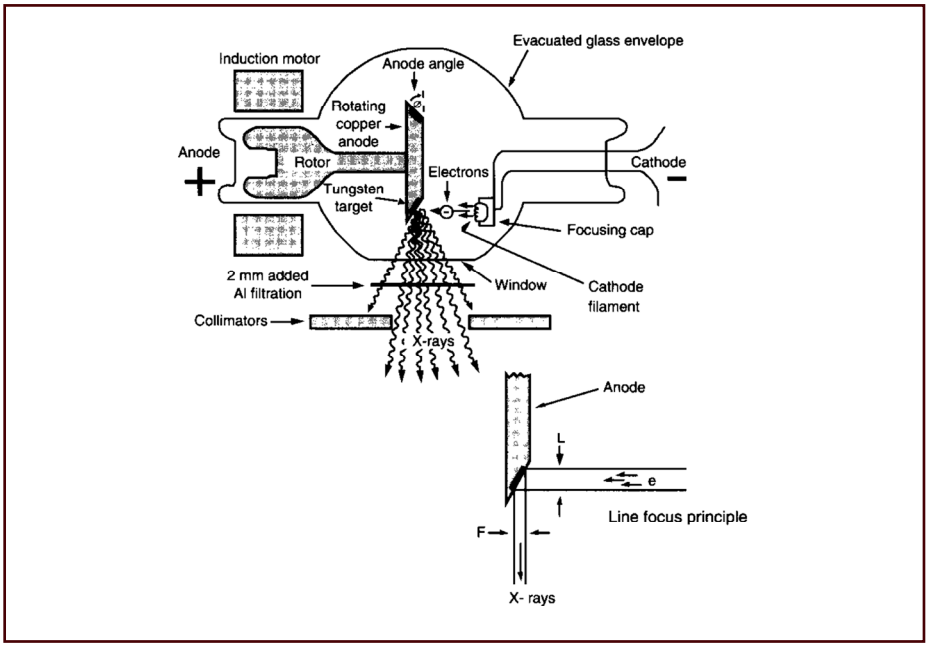
یکی از منابع پرتو مورد استفاده در صنعت منبع تولید پرتو ایکس ترمزی می باشد. رایج ترین کاربرد این پرتوها را می توان در پرتونگاری صنعتی یافت.

دستگاه اشعه ایکس پرتونگاری به عنوان منبع پرتو جهت ایجاد تصویر از وضعیت داخلی قطعات و جوشکاری ها در صنایع ماشین سازی، خودروسازی، پتروشیمی، لوله سازی، صنایع نفت و گاز و سایر صنایع شیمیایی، کاربرد دارد و شامل قسمت های زیر می باشد:

- لامپ اشعه ایکس
- خنک کننده لامپ
- میز کنترل
- مولد ولتاژ بالا (High Voltage)
- کابلهای اتصال

شکل ۳۱- دستگاه اشعه ایکس و ملحقات آن

۱. اشعه ایکس در نتیجه بمباران یک هدف تنگستنی با الکترونهای پر انرژی در یک محفظه خلاء تولید می شود.



شکل ۳۲- فرایند تولید اشعه ایکس

۲. اشعه ایکس تولید شده دارای یک طیف گسترده طول موج می باشد.

۳. طول موجهای بزرگتر (اشعه ایکس نرم) به سرعت در مواد جذب می شوند.

۴. توزیع انرژی در بیم اولیه پرتو متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر تیوپ می باشد. این انرژی در رادیوگرافی صنعتی از ۳۰ Kev تا ۳۰ Mev متغیر است.

۵. اختلاف پتانسیل تیوپهای عادی در رادیوگرافی صنعتی تا ۴۲۰ KV می باشد. اختلاف پتانسیل بیشتر در شتاب دهنده های خطی تولید می گردد.

۶. منبع الکترون

- در یک تیوپ اشعه ایکس منبع الکترون قسمتی ازکاتود می باشد.
- کاتود شامل یک سیم پیچ (فیلمان) تنگستنی می باشد.
- فیلمان با یک جریان الکتریکی ۱ تا ۵ آمپر و ولتاژ ۴ تا ۱۲ ولت گرم می شود.

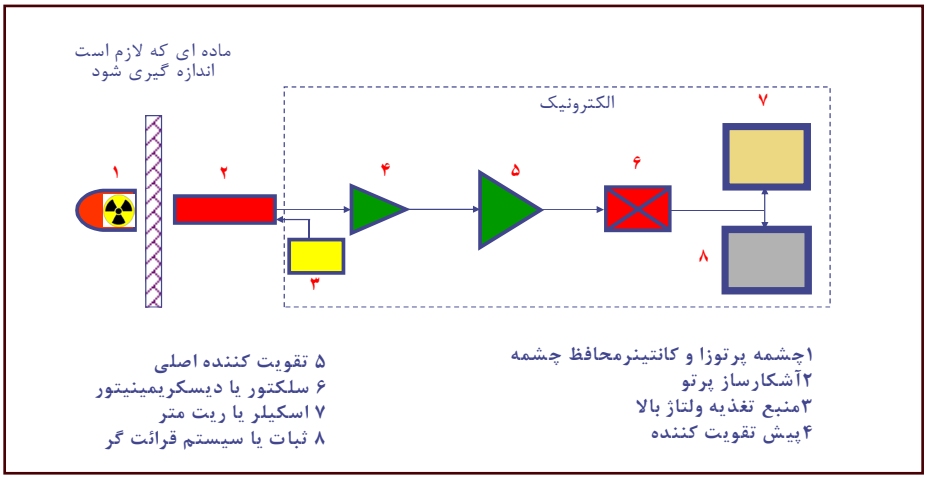
• جریان تیوپ بین کاتد و آند حدود ۰/۱٪ جریان فیلمان می باشد.
• جریان تیوپ در رنج میلی آمپر است و می تواند مستقیماً اندازه گیری شود.
۷. شدت اشعه ایکس تولید شده توسط جریان تیوپ کنترل می شود.
۸. سرپوش کانونی کننده با توجه به دارا بودن بار الکتریکی منفی دسته پرتو الکترونی را همگرا می نماید.
۹. الکترونها با توجه به اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند به سمت آند (قطب مثبت) حرکت می کند.
۱۰. آند از جنس تنگستن بوده و در نتیجه برخورد الکترون به آند X ترمزی و مشخصه ایجاد می کند.
۱۱. پایه آند گرما را به خارج از آند انتقال می دهد.
با توجه به موارد فوق الذکر نوع اشعه ایکس مورد کاربرد در کاربرد پرتونگاری صنعتی، اشعه ایکس ترمزی می باشد.
نکته با اهمیت در ارتباط با دستگاه اشعه ایکس، نیاز دائم به جریان برق برای تولید اشعه ایکس است و لذا در صورت قطع جریان برق، اصولا خطر پرتوگیری تهدید محسوب نمی شود. لذا در حین حمل و نقل یا نگهداری آن لازم است تنها نکات امنیتی رعایت شده و از دسترسی افراد غیر مجاز، دور نگه داشته شود.

۷-۱-۲ دستگاه تولید پرتو ایکس مشخصه KX

پرتو ایکس فلورسانس (مشخصه) در نتیجه انتقال الکترونها از لایه های خارجی به لایه های داخلی اتمهای خود گسیل می شوند. این تابش ها دارای انرژی حدود فاصله انرژی دو تراز است که در طی انتقال آزاد می شوند. اندازه گیری انرژی های پرتو ایکس فلورسانس یک روش عملی برای تجزیه شیمیایی است. چرا که این انرژی ها تابعی از تعداد Z عنصر است که از آن گسیل شده اند. الکترونها در لایه های خود با انرژی پیوندی قابل اندازه گیری و دقیق در حال حرکت هستند و از لایه های پایین تر به بالاتر این انرژی ها کاهش می یابد. چنانچه الکترونی از لایه K کنده شود بوسیله الکترونی از یک لایه خارجی پر می شود، در آن هنگام اختلاف در انرژی های پیوندی بین دو تراز به صورت پرتوهای ایکس فلورسانس آزاد می شود. این پرتوها از آن نظر فلورسانس خوانده می شوند که در حالت برانگیختگی زیاد پابرجا نیستند (۱۰-۱۲ ثانیه). انرژی اشعه ایکس تولید شده در دستگاه های تولید اشعه ایکس فلورسانس در حد ۳۰ تا ۷۰ کیلوالکترون ولت می باشد.

۲-۷ چشمه های پرتوزا

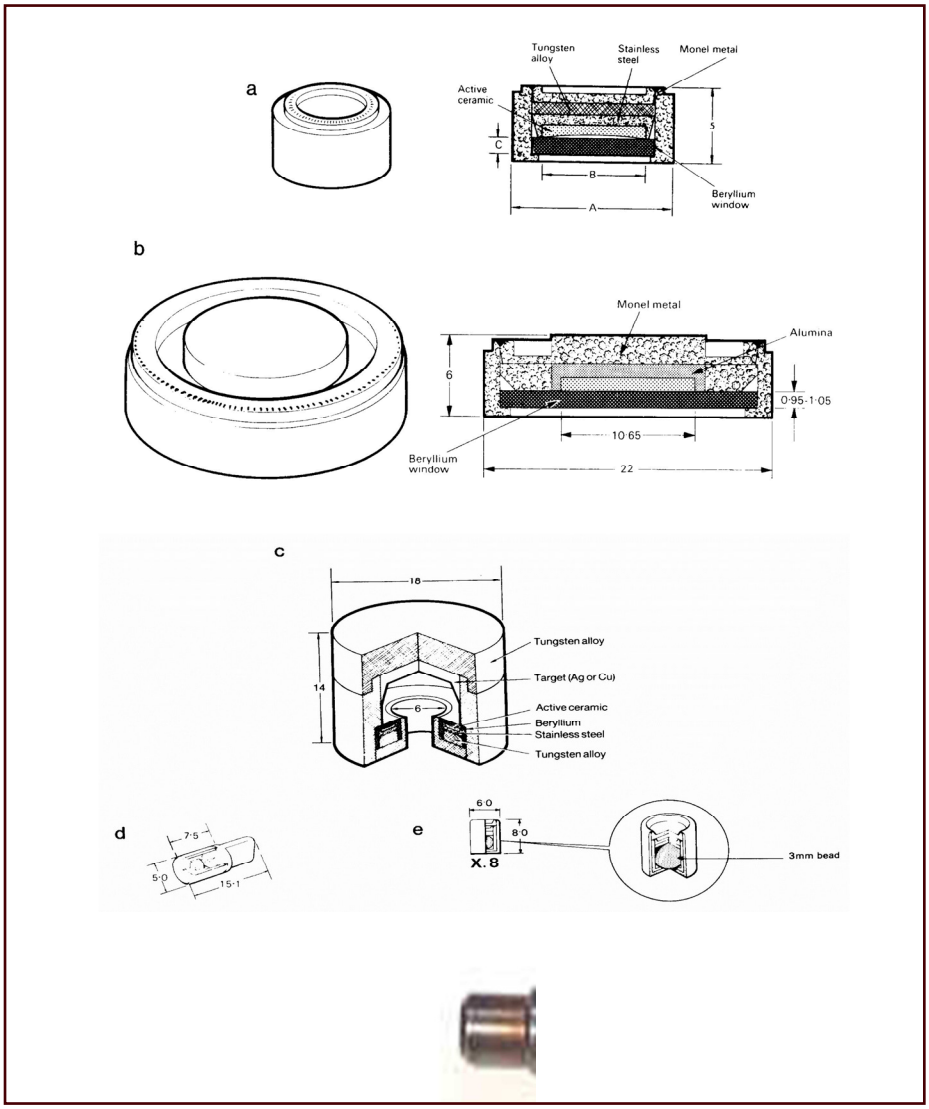
امروزه، علی رغم کاربردهای متنوع دستگاه های پرتوساز و ایمنی نسبتا بالا و قابلیت کنترل مناسب اینگونه تجهیزات، اســتفاده از انواع چشمه های پرتوزا در صنایع رایج و تا حدی غیر قابل جایگزین اســت. چشــمه های پرتوزا با توجه به نوع کاربرد در دو شــکل بســته (Sealed Source) و باز (Unsealed Source) مورد اســتفاده قرار می گیرند. با توجه به شرایط محیطی کار در صنعت، عمدتاً اســتفاده از چشــمه های پرتوزای به شکل بسته رایج می باشد. این نوع چشمه ها درون یک محفظه قرار گرفته تا از تماس مســتقیم مواد پرتوزا با محیط اجتناب گردد و اصولا از پرتو آن و نه مواد پرتوزا آن استفاده می گردد. با توجه به آزمایشهای متعددی که بر روی این چشمه ها صورت می پذیرد، امکان نشــت مواد پرتوزا از داخل محفظه به حداقل ممکن کاهش یافته اســت. معمولا سیســتم هایی که با چشــمه های پرتوزا کار می کنند از ۴ قسمت تجهیزات الکترونیک، آشکارساز پرتو، چشمه پرتوزا وکانتینر محافظ چشمه پرتوزا تشکیل می گردند. هماهنگی بین این قسمت ها به کارکرد صحیح دستگاه منجر می گردد. اصولا با توجه به نیمه عمر چشمه های پرتوزا لازم است این سیســتم ها در فواصل زمانی مشخص کالیبره گردند تا به اصطلاح افت پرتوزایی چشمه پرتوزا با تنظیم سیســتم الکترونیک جبران گردد. بدیهی اســت این امر تا زمانی که شــدت کافی پرتو در آشکارســاز تامین گردد ادامه خواهد یافت و با کاهش شــدید پرتوزایی امکان کالیبراسیون سیستم الکترونیک از بین می رود و لازم است چشمه ضعیف با چشمه قوی جایگزین گردد.



شکل ۳۳- شمای سیستم سنجشگر پرتوی

چشمه ها از اجزای زیر تشکیل شده اند:

ماده پرتوزا، یک یا دو نوع نگهدارنده که بخشـــی یا کل پرکننده را احاطه می کند، پوشش خارجی که در بردارنده مواد فوق الذکر اســـت و کپســـول بدون هوا که با جوشـــکاری یا سایر روش ها بسته می شود.



شکل ۳۴- انواع چشمه های پرتوزا و کپسول آنها

✓ کپسول چشمه های پرتوزا بایدیکی از الزامات استاندارد ملی آمریکا (NBC Hand book 126 N542. 1977)، یا

✓ استاندارد ISO 2919، یا استاندارد دیگر که توسط واحد قانونی مناسب تشخیص داده شود را برآورده سازد:

ویژگیهای اصلی این نوع چشمه عبارتند از:

- مشخصات ماده پرتوزای پرکننده
- پرتوزایی یا شار ذرات یا جریان یونیزاسیون حاصله
- شدت در چشمه های α,β,γ و گسیل نوترون از چشمه های نوترونی
- ابعاد خارجی پرکننده پرتوزا و کپسول
- الزامات اضافه که مربوط به کاربردهای خاص است (مقاومت خوردگی، مقاومت حرارتی، پایداری، عدم نشت...)

طبقه بندی چشمه ها براساس نوع کاربرد و نوع پرتو عبارت است از: چشمه های α، چشمه های β, چشمه های γ, چشمه های نوترونی و سایر چشمه ها برای استفاده خاص.

۷-۲-۱ چشمه های α

در طراحی و بکارگیری چشمه های α لازم است پرتوهای خروجی غیر α از محفظه چشمه وجود نداشته و یا حداقل باشند. با توجه به یونیزاسیون شدید این ذرات در فاصله کوتاه، برد آن کم می باشد. به علت شباهت انرژی ذرات α و نیمه عمر ایزوتوپهای تابش کننده آنها، تنها چند چشمه معدود وجود دارد که به طور متداول استفاده می شود. با توجه به برد کم ذرات α یکنواختی ماده پرکننده پرتوزا بسیار مهم است. به همین دلیل این نوع چشمه به صورت آبکاری با فلز یا پودر متالورژی تهیه می شود. به منظور کپسول سازی مناسب، معمولا ماده پرکننده پرتوزا با یک پنجره از جنس ورقه فلزات نادر با ضخامت μm پوشانده می شود. ایزوتوپهای رایج گسیلنده ذرات α عبارتند از:

Po210 با نیمه عمر ۱۳۸/۴ روز و انرژی ۲/۳ مگا الکترون ولت، برد نفوذ ذرات در هوا و آلومینیم به ترتیب ۳۸mm و $59\ g/m^2$ است.

Am241 با نیمه عمر ۴۵۸ روز و انرژی ۵/۵۳ مگا الکترون ولت، برد نفوذ ذرات در هوا و آلومینیم به ترتیب ۴۱mm و $63\ g/m^2$ است.

حداکثر مقدار پرتوزایی در واحد سطح چشمه های فوق الذکر تا $100\ GBq/m^2$ می تواند باشد.

۷-۲-۲ چشمه های β

از مهمترین خصوصیات این نوع چشمه می توان موارد زیر را ذکر نمود:

• تابش هر پرتو یا ذره ای به جز β نامطلوب است.

• نیمه عمر رادیوایزوتوپهای مورد کاربرد در صنعت نباید خیلی کوتاه بوده تا نیاز به کالیبراسیون روزمره وجود نداشته باشد و هزینه بکارگیری تا حد امکان کاهش یابد. همچنین نباید آنچنان طولانی باشد که از نقطه نظر پسمانداری و نگهداری با مشکل مواجه شود.

• پنجره و جنس کپسول چشمه باید به نحوی باشد که پرتو β را به سادگی عبور دهد ولی مانع عبور سایر پرتوها گردد.

• ماده پرکننده پرتوزا باید به نحو مناسب تثبیت و کپسول سازی گردد، تا از نشت مواد پرتوزا به خارج از کپسول جلوگیری شود.

جهت تولید چشمه Kr85، گاز منجمد به دیواره نازک مس یا استوانه نیکلی که هوا را محکم نگه داشته منتقل می گردد. بعد بسته شده در جعبه فولادی ضد زنگ قرار داده می شود. در روش دیگر Kr85 در زغال اکتیو یا مقید شده به هیدروکینون به عنوان اندرون گیر به صورت جامد جذب می شود. از این چشمه جهت ضخامت سنجی استفاده می شود. انرژی پرتو بتای کریپتون ۸۵ 0.67MeV می باشد.

ساخت چشمه Sr90-Y90 به دلیل ذرات پرانرژی β و خطرات پرتوگیری حاد، نیاز به طراحی خاص دارد. Sr90 در شیشه هایی با نقطه ذوب بالاتر و با ترکیب شیمیایی خاص ساخته می شود. فرآوری همراه با پخت و حرارت دهی بعد از آن باعث همگن شدن چشمه پرتوزا می گردد. Ru106 معمولا بر روی صفحات پلاتین یا نقره آبکاری می شود لذا در اثر برخورد پرتو β با پلاتین، تولید پرتو ترمزی اجتناب ناپذیر است. دو ایزوتوپ تشکیل شده در واپاشی Ru106 یعنی Rh106 و $Rh106^{m}$ گاماهای پرانرژی تابش می نمایند.

Pm147 با رزین های تبادل یونی یا سایر روش ها از پودر متالورژی جاگذاری می شود. چشمه های Tl204 نیز با روش آبکاری با فلز یا پودر متالورژی تهیه می شوند. در تولید این چشمه با توجه به پرتوزایی ویژه کم و حساسیت زیاد به اکسید شدگی، رسیدن به درجه یکنواختی مطلوب بسیار مشکل است. جهت جلوگیری از اکسیدشدگی استفاده از پوشش حفاظتی ضروری است. از این چشمه جهت ضخامت سنجی و اندازه گیری پوشش آبکاری فلزات، استفاده می شود.

۷-۲-۳ چشمه های γ

رایج ترین چشمه های پرتوزای مورد استفاده در صنعت چشمه های گاما هستند. این چشمه ها در گستره وسیعی از پرتوزایی، و انرژی طراحی می شوند. با توجه به ثابت دز قابل قبول و نیمه عمر حدود ۵/۳ سال و انرژی نسبتاً بالا (1.17Mev, 1.33) چشمه های Co60 در میان چشمه های شناخته شده γ, بیشترین مصرف را در صنعت دارند. قسمت فعال چشمه استوانه ای است که از آلیاژی با ۵۰٪ نیکل و ۵۰٪ کبالت و یا فلز کبالت تشکیل شده است. چشمه های Fe55 با انرژی ضعیف حدود 5.9 KeV در کاربرد آنالیز با اشعه ایکس مورد استفاده قرار می گیرند. لایه فعال Fe55 معمولا با روش آبکاری روی قرص مسی نشانده می شود. مقدار معمول پرتوزایی در حدود 100 MBq است. یکی دیگر از چشمه های رایج در صنعت چشمه Cs137 است. این چشمه با نیمه عمر حدود ۳۰ سال و انرژی 666 KeV به صورت قرص های سرامیکی حاوی نمک سزیم طراحی می گردند. کار با این چشمه به دلیل نیمه عمر بالا از نظر اقتصادی مطلوب است و سیستمهای الکتریکی و تجهیزاتی که با این چشمه کار می کنند دارای دوره کالیبراسیون طولانی هستند. رایج ترین شکل استفاده از سزیم ۱۳۷ به صورت نمک کلرید سزیم می باشد. چشمه های Ir192 با نیمه عمر ۷۴ روز و انرژی متوسط 400 KeV بیشترین کاربرد را در رادیوگرافی صنعتی دارند. از الزامات ساخت چشمه های Ir192 پرتوزایی بالا و ابعاد کوچک قسمت فعال است که برآوردن این الزامات با استفاده از راکتورهای شار نوترونی بالا نیز آسان نیست. ابعاد این چشمه حدود 3×3 mm می باشد و به علت چگالی حجمی بالا اثر خود جذبی موجب کاهش پرتوزایی واقعی این چشمه ها تا حدود ۳۰٪ می گردد.

چشمه Am241 در حین واپاشی آلفا، گاما گسیل می کند. انرژی این چشمه حدود 60 KeV و نیمه عمر آن ۴۵۸ سال می باشد.

خواص اشعه ایکس و گاما

۱. نامرئی هستند.

۲. با حواس پنجگانه قابل درک نمی باشند.

۳. می توانند موجب خاصیت فلورسانس در مواد گردند.

۴. امواج الکترومغناطیسی هستند و با سرعت نور حرکت می کنند.

۵. برای سلولهای زنده مضر هستند.

۶. می توانند موجب یونیزاسیون شوند.
۷. به صورت مستقیم حرکت می کنند.
۸. از قانون عکس مجذور فاصله تبعیت می کنند.
۹. قابلیت نفوذ در مواد مختلف را دارند.
۱۰. بر روی فیلم پرتونگاری تاثیر می گذارند.
۱۱. در هنگام عبور از مواد می توانند جذب یا پراکنده شوند.

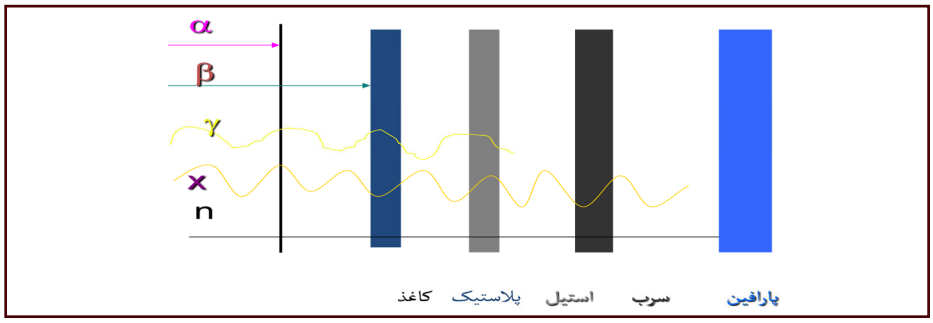
۷-۲-۴ چشمه های نوترونی

از چشمه های نوترونی به دو صورت استفاده از گامای آنی واکنش نوترون- گاما و اثر کندکنندگی و پراکندگی نوترون در برخورد غیرالاستیک با اتمهای هیدروژن استفاده می شود. جهت تولید شار نوترون می توان از چشمه هایی نظیر کالیفرنیم ۲۵۲ که به صورت خود به خود نوترون ساطع می نمایند یا واکنش ذرات آلفا ساطع شده از رادیوایزوتوپهای سنگین نظیر آمرسیم ۲۴۱، پلوتونیم ۲۳۹، پولونیوم ۲۱۰ با عناصری نظیر بور یا برلیم و تولید نوترون استفاده نمود. اصولاً پرتوزایی چشمه های نوترونی به صورت کوری بر گرم یا شار نوترون برحسب نوترون بر ثانیه بیان می گردد. چشمه آمرسیم ۲۴۱- برلیم رایج ترین چشمه جهت کاربرد رطوبت سنجی خاک و چاه پیمایی هسته ای و چشمه کالیفرنیم ۲۵۲ رایج ترین چشمه جهت کاربرد PGNAA در کارخانجات تولید سیمان و معادن ذغال سنگ می باشد.

کالیفرنیم ۲۵۲ دارای نیمه عمر ۲/۶۵ سال است و ۱ mg از آن 2.3×10^{9} نوترون برثانیه گسیل می کند.

در گذشته از چشمه رادیوم ۲۲۶ نیز به عنوان چشمه ساطع کننده آلفا استفاده می شد لیکن در حال حاضر با توجه به تولید گاز رادن ۲۲۲ در نتیجه به واپاشی رادیوم ۲۲۶ و افزایش پرتوگیری داخلی افراد، استفاده از این چشمه ممنوع می باشد.

Source Reactor	Reaction Fission	Average Neutron Energy (MeV) **Fission spectrum**
^{24}Na+Be	(γ,n)	**0.83**
Ra+Be	(α,n)	**5.0**
Po+Be	(α,n)	**4.0**
^{252}Cf	Spontaneous fission	**Fission spectrum**
Pu+Be	(α,n)	**4.0**



شکل ۳۵- مقایسه میزان نفوذ پرتوهای مختلف

۸– اثرات پرتوهای یونساز در افراد در معرض: آثار احتمالی و قطعی

انسان همواره در معرض تابش پرتوهای کیهانی، منابع زمینی پرتوها و ... بوده است. میزان این نوع پرتوگیری از پرتوزائی طبیعی در نقاط مختلف متفاوت است اما در مجموع و به طور متوسط منجر به دریافت ۲mSv در سال برای هر فرد می گردد. البته باید در نظر داشت مناطق محدودی نیز وجود دارند که میزان تشعشع منابع زمینی در آنجا بیشتر است. اثرات پرتوها جزئی از عوامل فیزیکی زیان آور در محیط کار محسوب می گردند.

در سه دهه ی اخیر اطلاعات بسیاری در مورد اثرات بیولوژیکی پرتوهای یونساز بر انسان بدست آمده است. هنگامی‌که این آثار در فرد پرتو دیده ظاهر شود، اثرات مذکور سوماتیک (جسمی) و در صورتی که در فرزندان و نسل فرد پرتو دیده مشاهده شود اثرات ارثی خوانده می شوند.

در گذشته عوامل گوناگون دیگری نیز موجب آسیب دیدگی بافت ها و اندام های انسان می شده است. به عنوان مثال بسیاری از کارگرانی که برای رنگ آمیزی عقربه های ساعت از ترکیبات رادیوم استفاده می کردند به سارکومای استخوان و معدن کاران شاغل در معادن اورانیوم غالباً به سرطان ریه مبتلا می گشتند. در تمام موارد فوق، اثرات ایجاد شده ناشی از پرتو، موید دریافت دزهایی به مراتب بالاتر از دز ناشی از تابش طبیعی زمینه است.

۸-۱ تقسیم بندی اثرات بیولوژیکی

اثرات ناشی از پرتوگیری با پرتوهای یونساز به دو دسته تقسیم می گردند:

الف- اثرات احتمالی (Stochastic effects)

ب- اثرات قطعی (non –Stochastic effects)

الف- اثرات احتمالی

اثرات احتمالی اثراتی هستند که احتمال وقوع آنها با افزایش دز دریافتی بیشتر می شود. این اثرات همان گونه که از نامشان پیداست به صورت تصادفی پدیدار گشته و حتی ممکن است در شخصی که در معرض تابش پرتوها قرار نگرفته نیز مشـاهده گردد. مثلاً اگر شخصی پرتوگیری نکرده باشد احتمال بروز سـرطان خون (لوسـمی) در وی صفر نیسـت اما با افزایش پرتوگیـری احتمال بروز سرطان خون افزایش می‌یابد. برای بروز این اثرات معمولاً آستانه دز وجود ندارد و براساس مطالعات و بررسـی های انجام شده مشخص گردیده کـه وقوع بیماری های بدخیمی مانند لوسمی ممکن اسـت سالها پس از پرتوگیری ظاهر شوند. اثرات جهش زایی نیز از اثرات احتمالی پرتوها محسوب شده و حتی ممکن است در نسل های بعد هم ظاهر شود. به نظر می رسد ناهنجاری های ناشی از این جهش ها بیشتر در نسل اول و یا دوم فرد پرتو دیده مشاهده می شود.

منحنی احتمالی بروز این اثرات به صورت تابعی خطی از دز می باشد. با توجه به این منحنی حتی برخورد یک فوتون اشعه گاما نیز ممکن است باعث بروز سرطان گردد.

در واقع اصل هرچه کمتر موجه شـدنی "ALARA" با توجه به خطی بودن منحنی پاسـخ- دز اثرات احتمالی وضع شده است.

به طور کلی ویژگی های اثر ات احتمالی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- آستانه دز برای بروز این اثرات وجود ندارد.

۲- احتمال بروز این اثرات با افزایش دز بیشتر می گردد.

۳- تندی دز ارتباطی با بروز اثرات احتمالی ندارد.

ب- اثرات قطعی

اثرات قطعی زمانی ظاهر می شـوند که میزان پرتوگیری فرد از حد آسـتانه بیشتر باشد. این اثرات بر هر عضو یا بافت به گونه ی خاصی تاثیر می گذارند. به عنوان مثال اثر آن بر پوسـت به صورت سـرخی و التهاب پوسـت (اریتما)؛ در چشم به صورت آب مروارید و در غدد تناسلی آسیب سلولی منجر به ناباروری ایجاد می کند. در بسـیاری از این موارد برای بروز یک اثر به یک حداقل دز و یا دز آستانه نیاز است. اگر فردی دز بالاتر از آستانه دریافت کند ظهور اثر آن در زمان نسبتاً کوتاهی رخ داده و اثر آن نمایان تر و بیشتر خواهد بود. اما اگر دز دریافتی کمتر از دز آستانه باشد بسیاری از اثرات ایجاد شده موقت و گذرا بوده و سپس بافت یا اندام مورد نظر به شرایط نرمال باز می گردد.

ویژگی های اثرات قطعی به صورت خلاصه عبارتند از:

۱- قبل از بروز یک اثر مشخص مقدار دز بایستی از آستانه معین تجاوز کند.

۲- هرچه مقدار دز بیشتر باشد اثر آن بیشتر و نمایان خواهد بود.

۸-۲ اثرات عمومی پرتوهای یونساز بر سلول

به طور کلی پرتوها به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سلول اثر می گذارند.

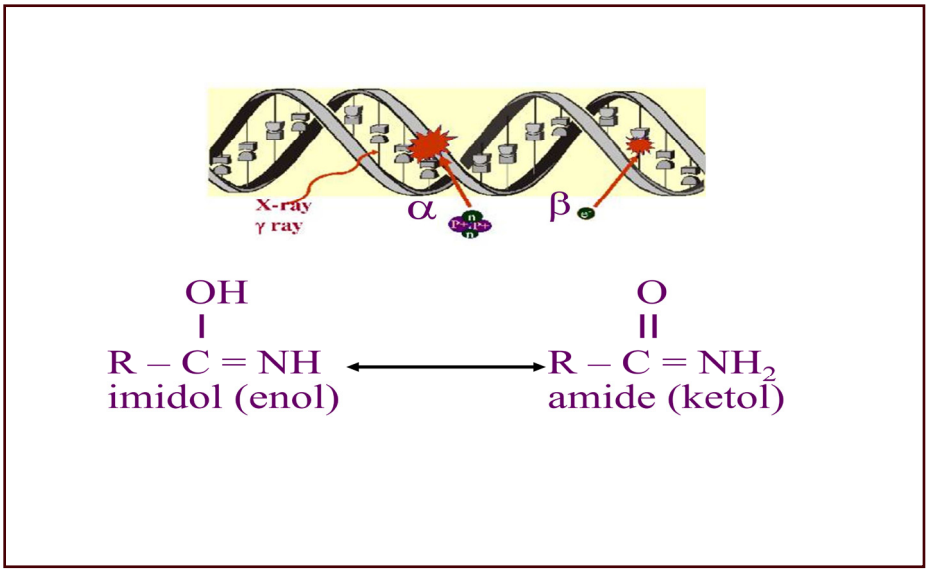
۸-۲-۱ اثرات مستقیم

الف- ایجاد وقفه در تقسیم سلولی.

ب- جهش (موتاسیون) ژنی.

ج- شکست کروموزومی یا تغییر ترکیب و ساختمان کروموزوم های آسیب دیده که منجر به تولید سلول های غیرطبیعی می گردد.

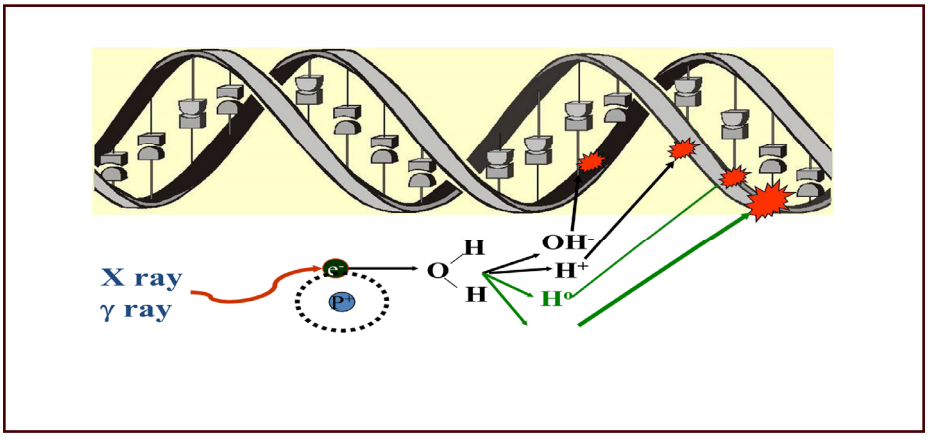
د- مرگ سلولی که علت آن از دست دادن اعمال اختصاصی و بهم خوردن نسبت ترکیبات داخلی سلول و همچنین نداشتن ظرفیت برای تولید مواد جدید می باشد.



شکل ۳۶- شکست کروموزومی در نتیجه برخورد مستقیم پرتوها

۸-۲-۲ اثرات غیرمستقیم

از آثار غیرمستقیم پرتوها اثر رادیوشیمیایی آن بر سلول است که موجب تغییر در اجزای شیمیایی سلول و تولید مولکول های یونیزه می گردد.



شکل ۳۷- تغییر در اجزاء شیمیایی سلول در نتیجه برخورد پرتوها

اثراتی که پس از پرتوگیری با پرتوهای یونساز در انسان ظاهر می شوند به لحاظ زمان بروز اثرات یکسان نیستند این اثرات ممکن است زودرس یا تاخیری باشند. اگر پرتوگیری با دز زیاد در مدت زمان بسیار کم رخ دهد، پرتوگیری حاد و اثرات ناشی از آن را اثرات زودرس می نامند. مانند سرخی پوست (اریتما) و چنانچه پرتوگیری در دراز مدت با دز کم رخ دهد اثرات آن ممکن است در درازمدت مشاهده گردد که در این صورت آن را پرتوگیری مزمن و اثر ناشی ازآن را اثر تاخیری می نامند نظیر بروز سرطان در افراد پرتودیده.

۸-۲-۲-۱ اثرات زودرس پرتوها

الف- اثرات پوستی

این اثرات بر روی پوست به سه شکل زیر ظاهر می شوند:

۱- سرخی ملایم پوست (اریتما): در این حالت در ناحیه پرتودیده پوست سرخی ملایمی ایجاد می شود که شبیه سوختگی ناشی از آفتاب است. این حالت بعد از دریافت دزی حدود ۴ گری ایجاد شده و در مدت ۷ روز برطرف می‌شود.

شکل ۳۸- سرخی ملایم پوست در نتنیجه پرتوگیری

۲- اثر تاول مرطوب: این اثر به صورت التهاب و سرخی شدید پوست است که منجر به تولید تاول می‌گردد. این حالت را می توان به ســوختگی درجه دو پوست تشبیه نمود. چنین حالتی در نتیجه دریافت دز بالای ۵ گری ایجاد می شــود. بازیابی و ترمیم در این حالت بســیار کند بوده و حدود ۶ هفته به طول می انجامد.

شکل ۳۹- تاول مرطوب در نتنیجه پرتوگیری

۳- مرگ سلولی: این اثر وضعیت بسیار شدید و دردناک آزردگی پوست است که با دزی حدود ۱۵ گری یا بیشتر ایجاد می شود. این حالت بسیار شبیه به سوختگی درجه سه پوست است و التیام و ترمیم آن به سختی صورت گرفته و بهبودی کامل ممکن است تا چند سال به طول بیانجامد.

شکل ۴۰- مرگ سلول های پوست در نتیجه پرتوگیری

ب- اثر بر روی عناصر خونی

دریافت دزی در حدود ۰/۲۵ گری منجر به کاهش گلبول های سفید و دز بالاتر از ۰/۵ گری به کاهش پلاکت های خون منجر می گردد. در دز ۲ گری فعالیت مغز استخوان کاهش یافته و در ۴ تا ۶ گری توقف کامل فعالیت مغز استخوان رخ می دهد.

ج- اثر بر روی سلول های جنسی

برخورد پرتو به سلول های جنسی در انسان باعث کاهش تعداد آنها و احتمالاً سبب عقیمی کامل می گردد.

د– اثر برجنین

اثرات پرتو بر روی جنین به ســن جنین بستگی دارد. هرچه جنین جوانتر باشد میزان تاثیرگذاری پرتو بر آن بیشــتر خواهد بود و این اثر به ویژه در چهار هفته اول رشــد جنین محسوس است. این اثرات می تواند موجب سقط جنین، عقب ماندگی ذهنی، لوسمی، ناهنجاری کلیه، ناهنجاری های اسکلتی، کوتاهی قد و ... گردد.

شکل ۴۱- اثرات پرتو بر روی جنین

در برخی موارد سقط جنین ممکن است در اثر بهم خوردن تعادل هورمونی ناشی از پرتوگیری رخ دهد. اعضای مختلف جنین به خصوص سلسله اعصاب مرکزی، چشم و .... بیشتر از افراد بالغ، به پرتو حساس هستند که می توان آن را به توسعه سریع و فعالیت متابولیکی جنین مربوط دانست. در شــرایطی که تمام بدن تحت تأثیر پرتو با دز بالا قرار گیرد ممکن اســت اثرات ذکر شــده به هر یــک از اعضای بدن یک جا بروز کند. اثر عمومی پرتو بر اعضای مختلف بدن تقریباً متفاوت بوده و در بعضی اعضاء شــدید و در برخی ممکن اســت خفیف تر باشد. اگر دز دریافتی تمام بدن کمتر از حدود ۰/۲۵ گری باشد ممکن است اثر بالینی مشاهده نشده و تنها با انجام آزمایش های اختصاصی از جمله بررسی های کروموزومومی قابل تشخیص باشد.

در دز حــدود ۱ گری در فرد پرتودیده علائم بالینی مشــاهده می شــود که ایــن علائم در دزهای مختلف در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول ۳- علائم پرتوگیری در دزهای مختلف

نوع علامت	محدوده دز (گری)
بی اشتهایی	۰/۶-۱/۳
تهوع	۱/۲-۱/۷
استفراغ	۱/۷-۲/۷
اسهال	۲/۴-۳

۸-۲-۲-۲ اثرات تأخیری پرتوها

اثرات تأخیری اغلب به شکل های زیر ظاهر می شوند:

الف- اثرات ژنتیکی

عوامل مختلفی مانند عوامل شیمیایی، عوامل فیزیکی و پرتوها می توانند موجب بهم خوردن ترکیبات DNA شوند که این اختلال در محتوای اطلاعاتی سلول های بدن بی نظمی ایجاد می نماید. همچنین این تغییرات در DNA می تواند موجب جهش (موتاسیون) گردد که در این صورت امکان بروز نارسایی های ژنتیکی متعددی در آینده وجود دارد.

ب- اثرات سرطان زایی

بروز انواع مختلف سرطان به خصوص سرطان تیروئید، سرطان ریه از جمله اثرات تأخیری پرتوها می باشند.

۹- شیوه های کنترل مهندسی و حفاظتی در محیط یا شاغل

شیوه های کنترل مهندسی به سه گروه کنترل در مبدا، کنترل مسیر و کنترل در مقصد تقسیم می گردند. بر این اساس معیارهای حفاظتی در هر یک از گروه های فوق به شرح ذیل می باشند:

۹-۱ روشهای کنترل مبدا

این روش ها مرتبط با خود منبع پرتو، تجهیزات وابسته و حفاظت از آن می باشد و شامل قسمتهای زیر است:

انتخاب منبع پرتو، انتخاب دستگاه اشعه ایکس، نگهداری و کنترل کانتینر و حفاظ چشمه، امنیت و نگهداری از منابع پرتو، پسمانداری چشمه های پرتوزا و دورریزی چشمه های پرتوزا می باشد.

۹-۱-۱ انتخاب چشمه پرتوزا

جهت انتخاب یک ماده پرتوزا باید ضوابط زیر رعایت گردند:

• با توجه به پرتوزایی، نیمه عمر، انرژی و نوع پرتوهای گسیل شده از این مواد، باید جهت استفاده در یک مورد خاص، مناسب باشند. به ویژه، نیمه عمر تا حد ممکن کوتاه بوده و از عمر مفید پیش بینی شده سیستم بیشتر نباشد. اگر بکارگیری یک ماده پرتوزا با نیمه عمر کوتاه، عملی نیست باید با واحد قانونی مشورت شود.

• نباید پرتوزایی بیش از حد مورد نیاز برای طول عمر مفید سنجشگر انتخاب گردد. پرتوزایی انتخاب شده بستگی دارد به:

• کمترین حد فاصله مورد قبول بین چشمه و آشکارساز در صورتی که از سنجشگر با خاصیت انتقالی پرتو استفاده شود. (که در آنها چشمه و آشکارساز در دو طرف دستگاه قرار گرفته اند)

• کوتاه ترین مسیر پرتو، بین چشمه و آشکارساز در سنجشگرهایی که از خاصیت پراکندگی پرتوها استفاده می کنند.

• بهترین نوع آشکارساز برای شرایط کاری مورد نظر،

• اثر کلیه مواد بین چشمه و آشکارساز که پرتوها از آن عبور می کنند. (intra-beam)

• نباید جزء موادی با سمیت پرتوی خیلی بالا (جدول ۲) باشد، مگر آنکه:

• جهت تولید نوترون در سنجشگری خاصی استفاده شود، و یا

• هیچ ماده پرتوزا دیگری که از نظر نوع و انرژی مناسب بوده و جهت استفاده در سنجشگری خاصی به سهولت قابل دسترسی باشد، موجود نباشد.

• در صورتی که استفاده از یک یا چند ماده پرتوزا (مندرج در جدول ۲) ضروری به نظر برسد، باید تاییدیه قبلی از واحد قانونی دریافت شده باشد.

جدول ۴– مواد رادیواکتیو با سمیت پرتوی بسیار بالا

Pb210	Po210	Ra226	Ra228	Ac227	Th228	Th230	Pa231	U232
U233	U234	Np237	Pu238	Pu239	Pu240	Pu241	Pu242	Am241
Am243	Cm242	Cm243	Cm244	Cm247	Cm246	Cf249	Cf250	Cf252

• باید از نظر شـکل فیزیکی و شـیمیایی به گونه ای باشـد که در تمام طول عمر مفید سنجشـگر که طی آن مورد اسـتفاده قرار می گیرد، خوردگی و تراکم فشـار داخلی کمترین مقدار بوده، و در صورت شکسته شدن کپسول نگهداری چشمه، پراکندگی و انحلال مواد پرتوزا کمترین مقدار باشد.

۹-۱-۲ انتخاب دستگاه اشعه ایکس و نکات حفاظتی آن

۹-۱-۲-۱ انتخاب دستگاه اشعه ایکس ترمزی (ویژه پرتونگاری صنعتی و سنجشگرهای پرتوی)

• مشخصات دستگاه اشعه ایکس از قبیل حداکثر انرژی، حداکثر آهنگ دز، حداکثرکیلو ولتاژ موثر و حداکثر جریان باید متناسب با کاربرد مورد نظر انتخاب شود.

برای طراحی و ساخت دستگاه باید ضوابط زیر رعایت گردد.

• تیوب اشعه ایکس باید درون یک حفاظ مناسب به گونه ای حفاظ گردد که از عبور پرتو در تمام جهـات به غیر از جهت مورد نظر برای انجام پرتونـگاری جلوگیری نماید. حفاظ باید به قدر کافی و به نحوی طراحی گردد که در شـرایط ماکزیمم ولتاژ و جریان، آهنگ دز در فاصله یک متری از سطح حفاظ در کلیه جهت ها غیر از جهت بیم اصلی از ۵۰۰۰ μSv/h تجاوز نکند.

• بـرای رادیوگرافـی در مکان های باز (open site) در صورت امکان باید از فیلتراسـیون جهت کاهش پرتوهای پراکنده استفاده نمود.

• کنترل دسـتگاه باید مجهزبه یک کلید جهت جلوگیری از اسـتفاده افراد غیر مجاز وجود داشته باشد. امکان برداشتن کلید باید فقط در حالت خاموش بودن (OFF POSITION) وجود داشته و حالتهای عملکرد کلید خاموش و روشـن (ON و OFF) آن باید روی پنل کنترل دسـتگاه به وضوح مشخص باشد.

• سـوئیچ ON و OFF دسـتگاه باید روی پنل کنترل دستگاه به شـکل فیزیکی دو کلید مجزا بـوده و حالتهای عملکرد کلید و حالت ON و OFF آن باید روی پنل کنترل دسـتگاه به وضوح مشخص باشند.

• دستگاه باید مجهز به سیستمی باشد که بتواند بعد از اتمام زمان تنظیم شده بر روی پنل کنترل پرتودهی را به طور خودکار قطع نماید.

• یک لامپ قرمز چشـمک زن باید روی پانل دسـتگاه به گونه ای تعبیه شـده باشـد که با شروع پرتودهی دسـتگاه به طور خودکار فعال شود. همچنین باید لامپ فوق باید از فاصله ۱۰ متری نیز قابل رویت باشـد. یک قفل ایمنی باید به نحوی تعبیه شـده باشد که اگر لامپ فوق به گونه ای از

مدار خارج شود و یا از کار افتد امکان پرتودهی وجود نداشته باشد.

• پنل کنترل باید به تجهیزات نشـانگری مجهز باشـد که مقدار عددی انرژی الکترون و آهنگ دز خروجی را برای شتاب دهنده و ماکزیمم کیلو ولتاژ و میلی آمپر را برای تیوپ های معمولی ایکس نشان دهد. برای دستگاه هایی که در سایت های باز مورد استفاده قرار می گیرند مقدار نشان داده شده بر روی نشانگر باید به وضوح در نورآفتاب قابل رویت باشد.

• برای رادیوگرافی در سـایت های باز باید پنل کنترل به یک یا چند لامپ چشـمک زن راه دور مجهز باشند که با روشن شدن دستگاه به طور خودکار شروع بکار نماید. از لامپ فوق می توان برای مشخص نمودن مرز ناحیه کنترل شده و مشخص بودن وضعیت پرتودهی دستگاه نیز استفاده نمود.

• طول کابل اتصال پنل کنترل به لامپ اشعه ایکس در رادیوگرافی سایت باز نباید کمتر از مقادیر زیر باشد. مگر اینکه در اتاق رادیوگرافی کاملا بسته مورد استفاده قرار گیرند.

- ۷ متر برای کیلو ولتاژ کمتر از ۱۰۰ kVp
- ۱۰ متر برای کیلو ولتاژ کمتر از ۲۰۰ kVp
- ۱۵ متر برای کیلو ولتاژ کمتر از ۲۵۰ kVp
- ۲۰ متر برای کیلو ولتاژ بیشتر از ۲۵۰ kVp

• برای دستگاههای اشعه ایکس فلورسکوپی حفاظ دستگاه باید به گونه ای طراحی و ساخته شود که تحت هیچ شـرایطی در زمان پرتودهی، آهنگ دز کلیه نقاط قابل دسترس بیش از ۲۵ µSv/h نباشد.

• تجهیزات و مونیتور نشان دهنده تصویر باید در موقعیتی غیر از جهت بیم اولیه قرار گیرند و نباید در هیچ شـرایطی امکان قرار گرفتن شـخص یا قسمتی از بدن شخص در حین پرتودهی در مقابل بیم پرتو وجود داشته باشد.

۹-۱-۲-۲ طراحی و ساخت دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس

• این دسـتگاه ها باید به گونه ای طراحی و سـاخته شـوند که تنها زمانی تیوب اشعه ایکس آماده پرتودهی گردد که حفاظ ها دارای نقص نبوده و کلیه قفل های ایمنی داخلی آماده به کار و فعال باشند.

• هر یک از شـکاف های خروجی پرتو این دسـتگاه ها باید مجهز به یک کلیماتور باشد. این حفاظ کلیماتور باید به طریقی طراحی و ساخته شده باشد که بتواند کلیه پرتوهای پراکنده و نشتی ناشی

از کلیماتور و شاتر را در فاصله ۵ سانتی متری حفاظ تا ۲۵ µSv در ساعت تضعیف کند و از شدت آن بکاهد.

• شـاترها باید به گونه ای طراحی شـوند که در هنگام کار دستگاه، جا به جا کردن یا تعویض آنها بدون استفاده از ابزار خاص غیرممکن باشد.

• شـاترها و محفظهٔ تیوب اشـعه ایکس به گونه ای طراحی و سـاخته شـوند که توسط مکانیسم عملکرد قفل ایمنی داخلی در هنگام جا به جا کردن و تعویض آنها، لامپ اشـعه ایکس خاموش و تخلیه انرژی انجام گیرد.

• حفاظ تیوب باید طوری طراحی و متصل شـود که تنها با اسـتفاده از ابزار خاص قابل جدا شدن باشد و در ضمن با وجود قفل ایمنی داخلی محفظه لامپ، جدا شدن حفاظ باعث خاموش شدن و تخلیه کامل انرژی لامپ گردد.

• هر شاتر باید به طریقی به چراغ هشدار دهنده متصل گردد که امکان روشن شدن آن در وضعیت باز بودن شاتر وجود داشته باشد.

• قفل و یا هر سیسـتم ایمنی اضافی دیگر باید به گونه ای طراحی یا سـاخته شـود که فقط افراد صلاحیت دار بتوانند از آن استفاده نمایند.

• شـاترهای خروجی پرتو در تیوب اشـعه ایکس باید به گونه ای طراحی و ساخته شوند که آهنگ دز پرتوهای نشتی و پراکنده در هر نقطه و در فاصله ۵ سانتی متری از شاتر از ۲۵ µSv در ساعت تجاوز ننماید.

• حفـاظ تیوب اشـعه ایکس باید ضخامت و اسـتحکام کافی در مقابل حـوادث احتمالی از جمله شکستگی یا تغییر شکل هنگام استفاده معمولی را داشته باشد.

• هر یک از شـکاف های خروجی اشـعه باید دارای حفاظ و یک شـاتر مناسب باشد به طوری که هنگام باز شدن، بلافاصله پرتو ناشی از تیوب اشعه ایکس متوقف و انرژی تیوب تخلیه گردد.

• کلیه دستگاه های آنالیز اشعه ایکس باید مجهز به سیستم قفل ایمنی داخلی باشند به طوری که با قابلیت اطمینان بالا، به موقع عمل نمایند. اگر اتصالات الکتریکی از قبیل میکروسـوئیچ ها مورد استفاده قرار می گیرند، برای اطمینان از عملکرد قفل ایمنی داخلی، به ازای هر قفل ایمنی داخلی باید یک میکروسوئیچ دوقلو مورد استفاده قرار گیرد.

• دسـتگاه های آنالیز اشـعه ایکسـی که فقط قسـمتی از آنها در حفاظ قرار دارد باید به گونه ای طراحی و ساخته شده باشند که قسمتی از دستگاه که امکان پرتوگیری سهوی عضوی از بدن کاربر

از پرتو اولیه آن وجود دارد، به حد کافی و مطمئن، محصور و حفاظ گذاری شـده باشـد. همچنین اگر به هر دلیلی، هنگام ناقص بودن موانع یا حفاظ های شـکاف، ورودی شـاتر بازمانده باشد، پرتو خروجـی نباید به سـمت مـکان های پرتردد باشـد. در غیر این صورت، موانع ثابت و مناسـب در مکان های مطلوب قرار داده شوند تا در این ناحیه ها اشخاص از پرتو ایمن باشند.

• کلیه دسـتگاه های آنالیز اشعه ایکس باید مجهز به یک لامپ هشداردهنده قرمز باشند که نشان دهنده وضعیت پرتودهی دسـتگاه اسـت به طوری که هنگام روشن شـدن دستگاه، نور این لامپ حداقل تا فاصله ۲ متری از اطراف دستگاه به سادگی قابل رؤیت باشد.

• آهنگ دز در پنج سـانتی متری هر نقطه از سـطح محفظه تیوب در هنگام بسته بودن شکاف ها (روزنه ها) نباید از ۲۵ μSv در ساعت تجاوز نماید.

• علائم هشداردهنده از قبیل برچسب های خطر اشعه و چراغ ها نصب شوند.

• در صورت نقص در حفاظ دستگاه های آنالیز اشعه ایکس باید سیستم هشداردهنده مناسب وجود داشته باشد که خطرات ناشی از کار با دستگاه ها را نشان دهد.

• حفاظ دستگاه ها، که کلیه قسمت های دستگاه از جمله کلیماتورها، شاترها و محفظه لامپ اشعه ایکس را در بر می گیرند، باید مانع دسترسی و نزدیک شدن به پرتو ایکس اولیه باشند.

• آهنگ دز در فاصله ۵ سـانتی متری هر نقطه قابل دسترسـی از سطح قسمت حفاظ سازی شده نباید از ۲۵ μSv در ساعت تجاوز نماید.

۹-۱-۲-۳ نکات ایمنی در طراحی و ساخت دوربین پرتونگاری صنعتی

• باید دوربین مجهز به درپوش جلو و عقب باشـد و مکانیزمی تعبیه شـده باشـد که امکان اتصال محکم درپوش ها را ایجاد نماید.

• مواد خورنده، گرد و غبار، شن و ماسه، شرایط و نوسانات ناگهانی محیطی مانند حرارت، رطوبت و ... که در طی عمر مفید دسـتگاه حضور دارند نباید بر روی عملکرد دسـتگاه تأثیر به نحوی تأثیرگذار باشند که عملکرد ایمنی آن مختل شود.

• شاتر یا مکانیزم 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 داخل دوربین برگشته باشد.

• سیستم قفل دوربین باید به نحوی ساخته شده باشد که:

الف) فشـارهای قوی معمول ناشـی از عملکرد اپراتور و تجهیزات را تحمـل 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 هلدر حتی موقعی 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 بر می 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 هلدر به موقعیت ایمن خود در داخل دوربین برگشته باشد.

• امکان خارج نمودن هلدر باید زمانی وجود داشته باشد که:

الف) کابل کرنک به هلدر وصل باشد و

ب) اتصالات کرنک به سیستم قفل دوربین وصل باشد و

ج) اتصال گاید تیوب به دوربین وصل باشد.

• باید امکان جدا نمودن اتصال کرنک به سیستم قفل وجود نداشته باشد مگر اینکه هلدر به موقعیت ایمن خود در داخل دوربین برگشته باشد.

• شاخصی باید وجود داشته باشد که نشان دهد هلدر به موقعیت ایمن برگشته است. رنگ سبز شاخص باید حداقل از فاصله ۵ متری قابل رویت باشد.

• باید امکان قفل و باز نمودن دوربین وجود داشته باشد بدون اینکه قسمتی از بدن در مقابل بیم پرتو قرار گیرد.

• باید امکان اتصال گاید تیوپ وجود داشته باشد بدون اینکه قسمتی از بدن در جایی قرار گیرد که آهنگ دز بیش از ۲ mSv/h باشد.

• حفاظ 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.

• در ماکزیمم اکتیویته بارگذاری شده حداکثر آهنگ دز در فواصل مختلف برای دوربین ها نباید از مقادیر مندرج در جدول ۱ تجاوز نماید.

جدول ۵- طبقه بندی دوربین های پرتونگاری صنعتی براساس استاندارد ایزو ۳۹۹۹

طبقه بندی دوربین	حداکثر آهنگ دز بر حسب µSv/h		
	روی سطح	۵ سانتی متری	۱ متری
"P" قابل حمل	۲۰۰۰	۵۰۰	۲۰
"M" متحرک	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰
"F" ثابت	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰

توجه: برای تعیین حداکثر آهنگ دز باید دریچه خروج پرتو بسته و مکانیزم 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+) را داشته باشد به نحوی که هیچ اشکالی در صحت عملکرد مکانیزم ایمنی آن بوجود نیاید.
- اجزاء دوربین باید ساختاری داشته باشند که تابش اشعه نتواند باعث زوال آنها شود.
- دسته دوربین تحمل ۲۵ برابر وزن خود را داشته باشد همچنین می باید دوربین طوری طراحی شود که اگر یک نیروی عمودی جهت بلند کردن آن اعمال شود هیچگونه خرابی و یا استرس به ساختار کانتینر چشمه وارد نشود.
- باید دوربین به نحوی طراحی شده باشد که برای باز نمودن اجزا آن وسیله خاصی به کار رود یا حتماً پوشش خاصی برداشته شود.
- هر اتصال به روش جوش یا به شکل لحیم اشکال دارد مگر اینکه براساس استانداردهای مربوطه و ضوابط مورد تائید واحد قانونی باشد.
- دوربین باید طوری طراحی و ساخته شود که تحمل فرایندهایی مانند نوسانات، ارتعاشات، تندی و شتاب تحمیل شده طی حمل و نقل و کار با دستگاه را داشته به طوری که در عملکرد راحت و آسان دریچه و مکانیزم کنترل چشمه، نقصان و زوالی بوجود نیاید.
- دوربین باید طوری ساخته شود که مواد بکارگرفته شده از لحاظ فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر سازگار و همخوان باشند. همچنین باید این سازگاری بین کپسول چشمه و دیگر اجزاء وجود داشته 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 خط اشعه کلمه"Caution"، نوع رادیوایزوتوپ، حداکثر قدرت بارگذاری، شـماره سریال دوربین، نام کارخانه سازنده بر روی آن درج شـده است، باشد. اطلاعات باید بر روی پلاک حک شده و پلاک روی حفاظ خارجی به شکل واضح و آشکار نصب گردد.

• تجهیزات جانبی دوربین باید، ضوابط مربوطه در استاندارد ISO3999 را برآورده نماید.

دوربین ها و تجهیزات جانبی آنها باید به صورت دوره ای، پس از هر نقص فنی یا سانحه، در زمان واگـذاری یا بارگـذاری و روزمره مورد آزمایش های مختلف کنترل کیفـی قرار گیرند تا از صحت عملکرد آنها در حین کار اطمینان حاصل گردد.

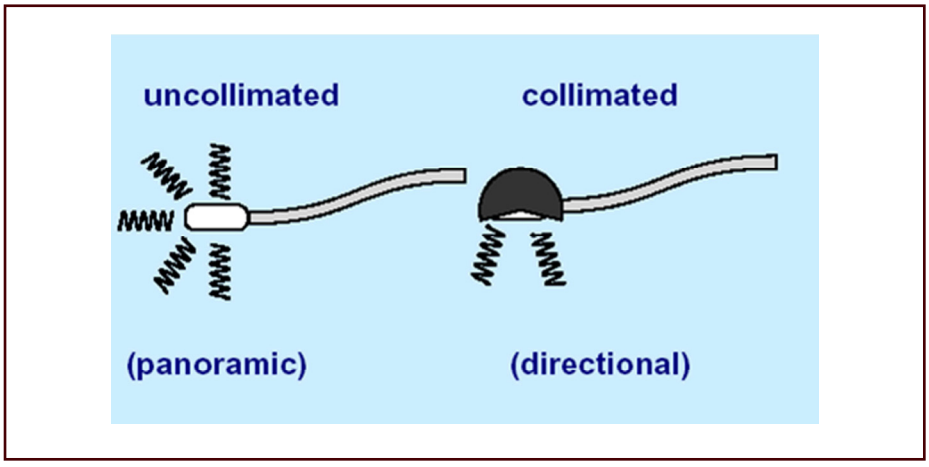
۹-۱-۲-۴ به کارگیری محدود کننده (کالیماتور)

کالیماتور وسـیله ای اسـت از جنس عناصر سنگین نظیر سـرب، اورانیم تهی شده یا تنگستن، که با محدود سـازی بیم پرتو، حفاظت بیشـتر کارکنان در مجاورت منبع پرتو را موجب می شود. این وسیله دارای بیشترین کاربرد در پرتونگاری صنعتی با چشمه های پرتوزا است. کالیماتور موجب:

• باعث کاهش پرتوگیری افراد می شود.

• باعث کاهش پرتوهای پس پراکنده شده و بدین ترتیب موجب افزایش کیفیت تصویر می گردد.

• کاهش فاصله ایمنی و در نتیجه کنترل بهتر بر روی نواحی کنترل شده.



شکل ۴۲- تاثیر کالیماتور در محدود کردن بیم پرتو

۹-۱-۳ نکات ایمنی در طراحی و ساخت کانتینر، حفاظ چشمه

کانتینر یا حفاظ عبارتند از مجموعه تجهیزاتی که موجب کاهش آهنگ دز در اطراف چشمه پرتوزا شـــده و علاوه بر این از بروز آســـیب برای چشمه پرتوزا پیشـــگیری می نماید. کانتینرها باید امکان حمل چشـــمه را فراهم آورده و از اســـتحکام کافی برخوردار باشـــند. در عین حال لازم است امکان خروج چشمه پرتوزا از کانتینر به خارج تحت کنترل بوده و در صورت لزوم افراد واجد صلاحیت با امکانات مناسب قابلیت دسترسی به چشمه پرتوزا را داشته باشند.

شکل ۴۳- کانتینر چشمه سطح سنج پرتوی

کانتینر چشمه باید از نظر طراحی و ساخت دارای ویژگی های زیر باشد:

- یک شـــاتر یا هرگونه مکانیســـم دیگـــری جهت کنترل چشـــمه به صورت دســـتی، الکتریکی یا پنوماتیک به کانتینر متصل باشـــد. در غیر این صورت مورد تایید بودن آن باید به تشـــخیص واحد قانونی برسد.
- شـــاتر یا مکانیســـم کنترل چشـــمه و کلیه ملحقات آن باید به نحوی طراحی و ســـاخت یا درون محفظه قرار داده شده باشند که:
- در نتیجه انجام تست های ویژه اینگونه کانتینرها نتایج قابل قبولی بدست دهند.
- عملکرد آن تحت تاثیر عوامل نامساعد محیطی نظیر رطوبت، گرد و خاک، گرما، ارتعاش و مواد خورنده به طور نامطلوبی تغییر نکند.

• شاتر یا مکانیسم کنترل چشمه را باید بتوان در وضعیت قطع پرتودهی (beam off) توسط قفل مناسب ایمن نمود. هر دو وضعیت قطع پرتودهی و پرتودهی (beam on) واضح و قابل تشخیص باشند و همچنین:

• اگر از یک نشـانگر مکانیکی برای این منظور استفاده می شود باید در برابر آسیب های مکانیکی مقـاوم باشـد. علامت های قطع پرتودهی و پرتودهی باید از نوعی باشـند کـه در اثر گرد و خاک، خوردگی و ... به سادگی پاک نشوند.

• اگر از نشانگر الکتریکی استفاده می شود باید چراغ یا علائم مجزایی برای نشان دادن وضعیت های قطع پرتودهی و پرتودهی وجود داشته باشند.

• اگر ماده ای که به عنوان حفاظ قرار گرفته دارای نقطه ذوب پایین تر از ۸۰۰ درجه سانتی گراد باشـد باید در محفظه فلزی با نقطه ذوب بالاتر از ۸۰۰ درجه سـانتی گراد به طور کاملاً بسته قرار گیرد.

• بایـد بتواند تغییرات پیش بینی شـده برای شـرایط کاری مورد نظر را بـدون آنکه در کیفیت و سهولت کار شاتر یا مکانیسم کنترل چشمه و... خللی ایجاد شود، تحمل کند. همچنین موادی که در ساخت آن مورد استفاده قرار گرفته اند دچار ترک و شکنندگی نگردند.

• در صورت اسـتفاده از تجهیزات پیش بینی شـده برای بلند کردن کانتینر، ساختمان آن آسیب نبیند.

• اتصالات جوشکاری، لحیم کاری و غیره باید براساس استانداردهای مربوطه و ضوابط مورد تایید واحد قانونی باشد.

• باید در برابر هرگونه لرزش، تشدید ناشی از لرزش و شتاب محتمل مقاوم باشد و دچار آسیب یا تغییر در کیفیت و سهولت عملکرد شاتر، سیستم کنترل چشمه و سایر قسمت ها نشود.

• باید مواد تشـکیل دهنده آن از نظر فیزیکی و شـیمیایی با هم و با ماده پرتوزایی که در کانتینر قرار داده می شود سازگار باشد. باید رفتار این مواد تحت تأثیر اشعه در نظر گرفته شده باشد.

• اگر وزن آن بین ۱۰ تا۵۰ کیلوگرم باشـد باید امکانات مناسـبی برای حمل دستی داشته باشد. در صورتی که وزن آن بیشتر از ۵۰ کیلوگرم باشد باید دارای امکانات مناسبی برای حمل مکانیکی باشد.

• باید برچسـب مناسبی داشته باشـد که روی آن علامت خطر اشعه و عبارت «احتیاط» درج شده باشد. علائم باید سیاه و در زمینه زرد باشند. برچسب باید مقاوم و حاوی اطلاعات زیر باشد:

- نام ماده پرتوزا
- پرتوزایی چشمه و تاریخ اندازه‌گیری آن
- ماکزیمم آهنگ دز در یک متری کانتینر (در حالت بسته بودن شاتر) و تاریخ اندازه گیری آن
- نام و آدرس سازنده یا فروشنده
- شماره شناسایی کانتینر

• برچسب های ذکر شده در دو بند قبل باید فلزی بوده و عبارات ذکر شده روی آن حکاکی یا چاپ شده باشد. جنس فلز بکار رفته باید با در نظر گرفتن آثار طولانی مدت خوردگی و عوامل نامساعد محیطی انتخاب شود.

• قفل کانتینر باید به نحوی طراحی و ساخته شده باشد که بازشدن یا برداشتن آن با ابزار دستی رایج امکان پذیر نباشد.

۹-۱-۴ امنیت و نگهداری از منابع پرتو

۹-۱-۴-۱ امنیت منابع پرتو

امنیت منبع پرتو در کلیه مراحل حمل و نقل، بهره برداری و نگهداری موقت از آنها باید تأمین گردد. بدین منظور اقدامات زیر صورت می پذیرد.

۱. کلیه کانتینرهای حاوی چشمه در محل مناسب نگهداری شده که مجهز به قفل بوده و علائم خطر اشعه در اطراف آن وجود دارد. کلید محل در اختیار شخص مسئول یا فرد مورد نظر شخص مسئول می باشد.

شکل ۴۴- امنیت مواد پرتوزا در مراحل مختلف

۲. کانتینرهای حاوی چشـــمه در زمان نگهداری قفل شـــده و کلید قفل کانتینر در اختیار شـــخص مسئول یا فرد مورد نظر شخص مسئول می باشد.
۳. کانتینرهای حاوی چشـــمه در زمان نگهداری داخل یک جعبه مناســـب قفل دار قرار می گیرند. کلید آن در اختیار شخص مسئول یا فرد مورد نظر شخص مسئول می باشد.
۴. کلیه نقل و انتقالات کانتینرهای حاوی چشمه و منابع پرتو در دفتر شرکت و با اجازه مسئولین صورت می پذیرد.
۵. در خارج از محل نگهداری یک فرم جهت ثبت ورود و خروج کانتینرهای حاوی چشمه و منابع پرتو نصب شـــده اســـت. پس از هر جابجایی لازم است فرم تکمیل و به تایید جابجاکننده برسد در پایان هر ماه فرم جمع آوری شـــده و پس از تایید شـــخص مســـئول ضمن مطابقت با دفتر نقل و انتقالات، بایگانی می گردد.
۶. جهـــت اطمینـــان از امنیت منابع و کاهش پرتوگیری افراد، در محل نگهداری به جز کانتینرهای حاوی چشمه، هیچ چیز دیگری نگهداری نمی شود.
۷. کانتینرهای حاوی چشمه، توسط وسیله نقلیه مسقف یا در صندوق عقب ماشین حمل می گردد. فرم حمل و نقل همواره قبل از حمل تکمیل شده و همراه وسیله نقلیه می باشد.
۸. در حین حمل هر کانتینرهای حاوی چشمه بایستی دارای یک جعبه حمل دردار با ویژگی های زیر باشد:
الف- مقاوم و از جنس موادی نظیر: فولاد بوده، ابعاد آن متناســـب با ابعاد دوربین و کاملاً ســـالم و بدون عیب باشد.
ب- ساختمان داخلی آن به نحوی باشد که دوربین پس از قرار گرفتن در آن کاملاً ثابت بماند.
ج- مجهز به قفل مناسب باشد.
د- مجهز به دسته مقاوم جهت حمل باشد.
۹. کانتینرهای حاوی چشمه در وضعیت بسته و قفل شده قرار گرفته باشد و موارد زیر رعایت گردد:
الـــف- حداکثر آهنگ دز در فاصله ۵ ســـانتیمتری و یک متری کانتینرهای حاوی چشـــمه باید به ترتیب کمتر از $\mu Sv/h$ ۵۰۰ و $\mu Sv/h$ ۱۰ باشد.
ب- عملکرد شاتر و قفل باید صحیح باشد.
ج- درپوش های کانتینرهای حاوی چشمه نصب شده باشد.
د- برچســـب های کانتینرهای حاوی چشمه در وضعیت کاملاً ســـالم و خوانا بوده و کلیه اطلاعات

مربوطه مطابق استاندارد بر روی آن نوشته باشد.

ه- آلودگی سطح نباید از $4Bq/cm^2$ بیشتر باشد.

۱۰. کانتینرهای حاوی چشمه باید داخل جعبه قرار داده شده و در جعبه قفل شود.

۱۱. فرم تکمیل شده مواد پرتوزا باید به جعبه متصل گردد.

۱۲. در حین حمل از هرگونه توقف در اماکن شلوغ پرهیز شده و در صورت لزوم همواره یک نفر بر وسیله نقلیه نظارت خواهد داشت.

۱۳. در حین حمل همواره کانتینرهای حاوی چشمه مورد بازبینی قرار می گیرد.

۱۴. همواره قبل از حمل و پس از رسیدن به مقصد با کمک دزیمتر محیطی و بررسی آهنگ دز سطحی کانتینرهای حاوی چشمه از وجود چشمه درون آن اطمینان حاصل می گردد.

۱۵. نقل و انتقالات کانتینرهای حاوی چشمه به اطلاع امور حفاظت در برابر اشعه برسد.

۱۶. در صورت سرقت منابع پرتو، مراتب بلافاصله به اطلاع واحد قانونی و مسئولین رسیده و اقدامات لازم با هماهنگی نیروی انتظامی، جهت بازیابی آن صورت می گیرد.

۹-۱-۴-۲ نگهداری از مواد پرتوزا

کانتینرهای حاوی چشمه پرتوزا که بلافاصله پس از دریافت از آنها استفاده نمی گردد یا آنهایی که هنوز حاوی مواد پرتوزا بوده و از سرویس خارج و جمع آوری گردیده اند، باید به طور ایمن نگهداری شوند. جهت نگهداری لازم است:

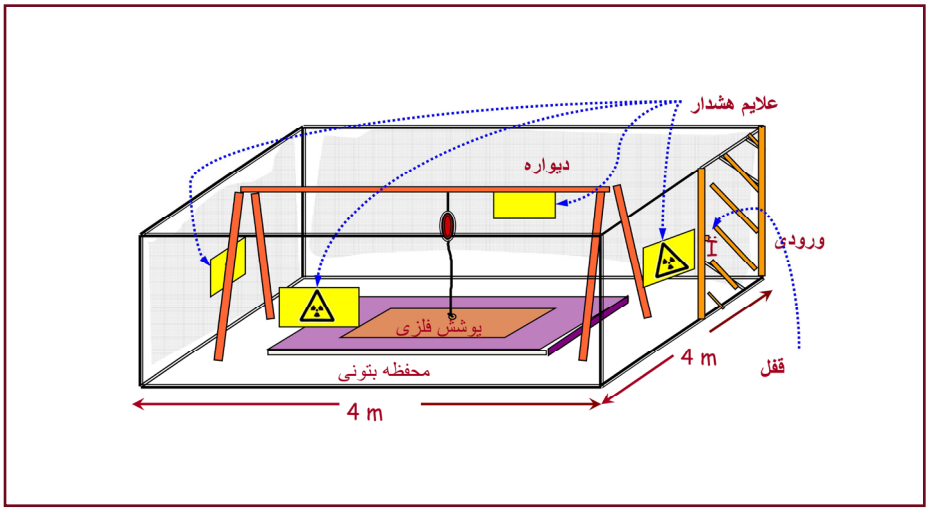
- مکانیسم کنترل چشمه یا شاتر باید قفل شده و یا به طور ایمن در وضعیت قطع پرتودهی قرار گیرد.
- مسئول فیزیک بهداشت بوسیله مونیتورینگ مناسب باید مطمئن شود که پرتوی ناشی از سنجشگر بوسیله مکانیسم کنترل چشمه یا شاتر در وضعیت قطع پرتودهی بطور مناسب تضعیف شده است.

انبار نگهداری از مواد پرتوزا باید الزامات زیر را برآورده سازد:

- به طور محکم و با مصالح ساختمانی بادوام ساخته شود.
- آهنگ دز در هیچ یک از نواحی قابل دسترس در خارج از انبار نباید از ۲۵ میکروسیورت بر ساعت تجاوز نماید.
- انبار باید در محلی باشد که پرتوگیری ناشی از آن در محل های اشغال شده براساس اصل

"هرچه کمتر موجه شدنی" (ALARA) باشد.

- انبار باید از دسترس افراد متفرقه مصون بوده و همیشه قفل و تحت کنترل نگهداری شود.
- انبار باید دارای علامت خطر اشـــعه مناسب باشد که بر روی آن کلمه احتیاط به طور واضح درج شـــده باشد. علامت خطر اشعه باید به رنگ ســـیاه و در زمینه زرد رنگ طراحی شده باشد. اینگونه علامت ها باید دارای شماره تماس مسئول فیزیک بهداشت باشد که بتوان در موقع ضرورت با آنها تماس برقرار نمود. توضیحات بیشتر در قسمت علائم ایمنی ارائه شده است.
- انبار نباید در مجاورت مواد قابل انفجار، اشـــتعال، خورنده و همچنین فیلم رادیوگرافی قرار داده شود.



شکل ۴۵- شمای محل نگهداری مواد پرتوزا

۹-۱-۵ پسماندداری منابع پرتو

هرگونه اســـتفاده از مواد پرتوزا منجر به تولید پســـمان پرتوزا خواهد شد. پسمانهای پرتوزا درست مانند مواد پرتوزا برای کارکنان، جامعه و محیط زیســـت خطرناک می باشـــند. مدیریت پسمانهای پرتوزا به مجموعه کلیه عملیات اجرائی و اداری که در آمایش، تثبیت، حمل و نقل، نگهداری و دفن پســـمانها بکار گرفته می شـــود اطلاق می شود. هدف از مدیریت پسمانهای پرتوزا دور کردن آنها از محیط زیست و نگهداری ایمن آنها می باشد.

شکل ۴۶- نگهداری موقت پسمان های پرتوزا

پسـمانهای پرتـوزا با توجه بـه منبع تولید، درجه سـمیت، حالت فیزیکی، پرتوزائـی و نیمه عمر هسته های پرتوزا به صورت زیر طبقه بندی می گردند:

• پسمان های معاف یا خارج از شمول: پسمان هایی هستندکه غلظت هسته های پرتوزا در آنها به قدری کم استکه خطرات رادیولوژیکی آنها قابل اغماض بوده و می توانند از نظارت های مقرراتی معاف گردند به عبارت دیگر خارج از شمول مقررات می باشند. (۰/۱Bq/g تا ۱۰۰۰۰ Bq/g)

• پسـمان های با پرتوزائی کم و متوسط: پسـمان هایی هستند که رعایت اقدامات حفاظتی برای کارکنان و افراد جامعه در کوتاه مدت و یا درازمدت ضروری است.

• پسـمان های با سـطح پرتوزائی بالا: این پسمان ها دارای غلظتهای بالائی از هسته های پرتوزا با نیمه‌عمر کوتاه و بلند می باشند. (۵۰۰۰۰ تا ۵×۱۰^{۱۷} بکرل بر مترمکعب)

جهت پسـمانداری چشمه های پرتوزای بلا استفاده (یا چشمه هایی که عمر مفیدشان پایان یافته است و از کارایی لازم جهت کاربرد مورد نظر برخوردار نیستند) به دو شیوه زیر عمل می کنیم:

۱- بازگرداندن چشمه پرتوزا به شرکت تولید کننده آن

بدین منظور لازم اســت در قراردادهای اولیه خرید تعهد شــرکت فروشنده، مبنی بر تقبل پسمان چشمه پرتوزا و عودت به مبداء، ذکر گردد.

۲- عقد قرارداد با شــرکت مدیریت پســماندای صنعت هســته ای ایران (وابسته به سازمان انرژی اتمی ایران)

جهت ارســال پسمانهای پرتوزا به شرکت مدیریت پسماندای صنعت هسته ای ایران لازم است در زمان ورود چشمه پرتوزا به کشور قرارداد لازمه با این شرکت عقد گردد.

شرکت مدیریت پسماندای صنعت هسته ای ایران پسمان های پرتوزای تولید شده از فعالیت های مختلف هســته ای را پس از انجام آمایش و بسته بندی به منظور کاهش احتمال نشت مواد پرتوزا موجود در آنها، تا آنجا که امکان پذیر اســت از محیط زیســت دور می نماید. مطالعات و تحقیقات زیادی در جهان در دســت اجرا اســت تا بتوانند آسانترین، مطمئن ترین و کم هزینه ترین روش را در این زمینه ارائه دهند.

برای این منظور روش های زیر به کار می رود:

۱- دفن در پسمانگور

۲- تخلیه در دریا

۳- دفن زیر بستر اقیانوس ها

۴- دفن در گنبدهای نمکی

۵- فرستادن به سایر کرات

رایج ترین روش در ایران دفن در پسمانگور می باشد.

۹-۱-۶ دورریزی چشمه های پرتوزا

اصولاً چشــمه های رایــج در صنایع از لحــاظ خصوصیات فوق الذکر به نحوی هســتند که امکان دورریــزی آنهــا در طبیعت وجود ندارد. در صورت نگهداری موقت به منظور تلاشــی و اســتحالهء رادیونوکلیدهــای موجود در پســمانهای با اکتیویته کم و نیمه عمــر کوتاه (تا حد معاف)، می توان نسبت به دورریزی آنها در مکانهای مناسب اقدام نمود.

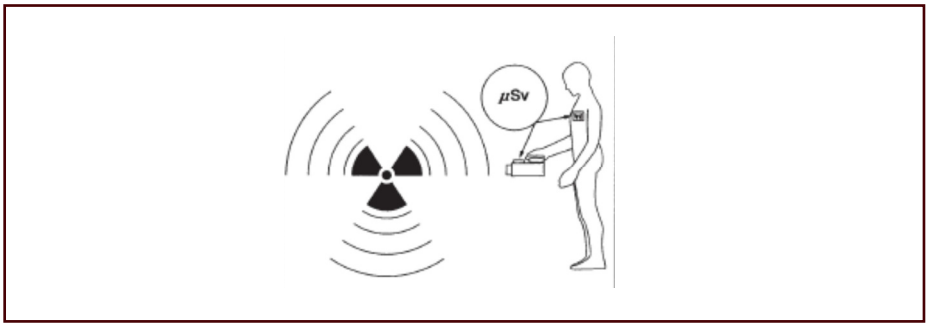
اســتفاده کننده باید قبل از دورریزی هر چشــمه پرتوزا، نسبت به کسب مجوز لازم از واحد قانونی اقدام نماید. در این زمینه دستورالعمل های سازمان انرژی اتمی ایران جهت رهاسازی چشمه های پرتوزا در محیط زیست می تواند راهگشا باشد.

۹-۲ روشهای کنترل مقصد

۹-۲-۱ مونیتورینگ فردی

به منظور ارزیابی میزان آسیب رسیده به فرد در هنگام کار با منابع پرتو لازم است روش های ارزیابی پرتوگیری شغلی اتخاذ گردد. در ارزیابی پرتوگیری شغلی (دز) موارد زیردر نظر گرفته می شود:

- مونیتورینگ فردی



شکل ۴۷- مونیتورینگ فردی

- مونیتورینگ محل کار
- تفسیر نتایج و تخمین دز
- دقت مورد نیاز
- Type test مونیتورینگ
- اطمینان کیفیت و کنترل کیفیت
- بایگانی اطلاعات و گزارش گیری

در یک برنامه مونیتورینگ پرتوگیری شغلی عوامل متعددی نقش دارند. مسئولیت بیشتر این پارامترها با مرکز سرویس دهی مونیتورینگ فردی(Individual Monitoring Service) IMS است،این مرکز لازم است دارای مجوز کار مورد تایید، واحد قانونی باشد. (پروانه اشتغال)

$$E_t = H_P(10) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh}$$

معادله زیر برای ارزیابی پرتوگیری شغلی از منابع پرتوزای داخلی و خارجی، بکار می رود.

$e(g)_{j(ing)}$: ضریب دز اجباری ورود رادیونولوئید j به بدن از طریق بلع

$e(g)_{j(inh)}$: ضریب دز اجباری ورود رادیونولوئید j به بدن از طریق استنشاق

$I_{j,ing}$: میزان جذب از طریق بلع $I_{j,inh}$: میزان جذب از طریق تنفس

تأکید می شود که ارزیابی پرتوگیری شغلی به پرتوگیری داخلی و خارجی پرتوکاران بستگی دارد. حتی اگر عملیات پرتوی به گونه ای باشد که فقط امکان پرتوگیری خارجی وجود داشته باشد، احتمال بالقوه پرتوگیری داخلی می بایستی مدنظر قرار گیرد. دُز موثر کلی E در زمان دلخواه t، از مجموع مولفه های پرتوگیری داخلی و خارجی حاصل می شود.

الزامات انجام دزیمتری فردی

- دلیل اصلی مونیتورینگ فردی، تهیه اطلاعات لازم برای ارزیابی پرتوگیری شغلی پرتوکاران است.
- تعداد دفعات و دقت مورد نیاز برای مونیتورینگ فردی به شرایط رادیولوژیکی محل کار بستگی دارد.
- وضعیت رادیولوژیکی محیط کار به احتمال پرتوگیری های حاد بستگی دارد.
- اگر احتمال پرتوگیری های حاد و یا نوسانات شدید میزان پرتو پیش بینی می شود، برنامه مونیتورینگ فردی پیچیده تری نیاز است.

اصول برنامه مونیتورینگ فردی

۱- چگونگی انتخاب افراد تحت مونیتورینگ

۲- انتخاب خواص و مشخصات دزیمتر مورد نیاز

۳- محل جایگزینی دزیمتر

۴- مروری بر مونیتورینگ سایر انواع پرتوها

۹-۲-۱-۱ اهداف برنامه مونیتورینگ فردی

- ایجاد یک مأخذ برای تخمین پرتوگیری واقعی کارکنان به منظور استفاده در موارد قانونی

یکی از اهداف مهم و اولیه مونیتورینگ فردی ایجاد یک مأخذ برای تخمین پرتوگیری واقعی کارکنان به منظور استفاده در موارد قانونی است. علاوه بر آن می توان از این اطلاعات به منظور سنجش و بهبود شرایط کار پرتوکار و ایجاد اطلاعات لازم برای تشویق کارکنان به پرتوگیری کمتر استفاده نمود.

• استفاده از اطلاعات مونیتورینگ فردی به منظور سنجش و بهبود شرایط کار پرتوکاران

از دیگر اهداف مونیتورینگ فردی، ایجاد اطلاعات برای ارزیابی میزان دز در حوادث پرتوی، اهداف پزشکی و مطالعات همه گیرشناسی است همچنین در موارد تحلیل مزایا و خطرات و ریسک پذیری عملیات پرتوی این اطلاعات قابل استفاده می باشند.

• ایجاد اطلاعات لازم برای تشویق کارکنان به پرتوگیری کمتر

۹-۲-۱-۲ طراحی برنامه مونیتورینگ فردی

در طراحی یک برنامه مونیتورینگ فردی باید شرایط ممکن پرتوگیری بررسی شود. ذرات، دفعات و دقت مونیتورینگ فردی باید براساس مرتبه بزرگی پرتوگیری احتمال نوسانات در سطوح پرتوگیری، احتمال بالقوه پرتوگیری و درجه اندازه بالقوه پرتوگیری طراحی شود.

الف- طراحی برنامه مونیتورینگ فردی در مناطق تحت کنترل

برای مناطق تحت کنترل، هر پرتوکار باید یک دزیمتر اندازه گیری دز جمعی داشته باشد و چون ممکن است با نرخ های بالای دز مواجه بشویم، بنابراین ممکن است در محل کار با محدوده خیلی متغیری از دز سر و کار داشته باشیم، بهتر است یک دزیمتر جیبی اضافی یا یک وسیله هشدار دهنده به منظور کنترل دز بکار برود.

ب- طراحی برنامه مونیتورینگ فردی در مناطق تحت نظارت

در مناطق تحت نظارت می توان از چند دزیمتر فردی به تعداد محدود استفاده کرد. گرچه انجام مونیتورینگ فردی برای تمامی کارکنان در این ناحیه مفید است.

۹-۲-۱-۳ شرایط ارائه خدمات مونیتورینگ فردی

اگر مونیتورینگ فردی ضروری است، سرویس مونیتورینگ فردی باید استقرار یابد که:

- توسط مرجع ذیصلاح مورد تأیید باشد.
- بتواند دزیمتر مناسب تعیین $Hp(d)$ را تأمین کند و نیز بتواند عمق d مناسب را تأمین کند.
- بتواند مسئولیت دقت و اطمینان برآورد دز را به عهده بگیرد.
- بتواند در مدت زمان کوتاهی پس از پرتوگیری های بالا مقدار دز را اندازه گیری کند.

۹-۲-۱-۴ دوره مونیتورینگ فردی

انتخاب دوره مونیتورینگ به شرایط پرتوگیری بستگی دارد. در حالت کلی هر چه احتمال پرتوگیری بالاتر باشـد، دوره های مونیتورینگ کوتاه تری نیاز اسـت. دوره های مونیتورینگ یک ماهه بسیار متداول اسـت. بیشتر از یک ماه ممکن است نامطلوب باشد چون تشخیص دلیل پرتوگیری در این زمان بسـیار سخت می شـود. در هر حال باید شرایط عملی مانند زمان ارسال دزیمترها را در نظر گرفت. اگر قرار بر این باشـد که یک دوره کوتاه مونیتورینگ داشته باشیم، عاقلانه تر است که یک دزیمتـر معمولی دز جمعی را با یک دزیمتر جیبی یـا قلمی همراه کنیم تا بتوان دز محیط کار را برآورد و گزارش کرد. برای کسانی که به طور معمول دزهای در حد اندازه گیری دریافت نمی کنند یک دوره ۳ ماهه کفایت می کند.

۹-۲-۱-۵ انواع دزیمتر فردی

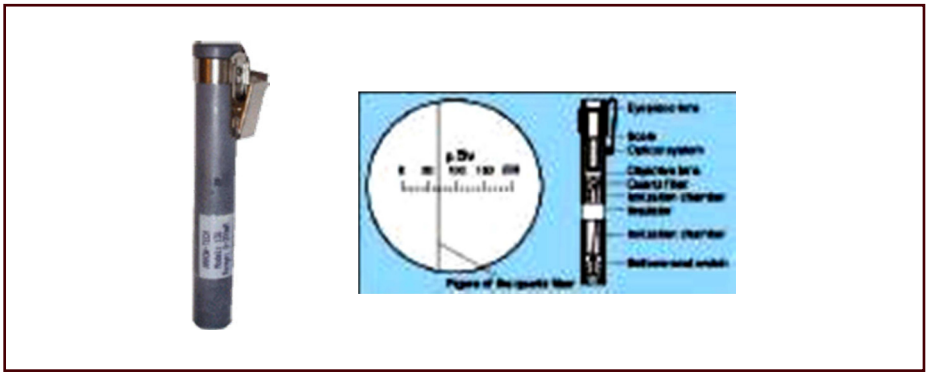
دزیمترهای فردی به دو گروه قرائت مسـتقیم (اکتیو) و قرائت غیر مسـتقیم (پسیو) تقسیم بندی می گردند.

الف- دزیمترهای قرائت مستقیم (اکتیو)

این تجهیزات میزان آهنگ دز بر واحد زمان را در زمان دزیمتری به طور مستقیم نشان می دهند. دزیمتـر قلمی و نیـز دزیمترهای دیجیتال از این نوع می باشـند. دزیمترهای قرائت مسـتقیم بر حسـب فن آوری ساخت آن ممکن اسـت دارای سیستم هشدار نوری و یا صوتی باشند که در این حالت بسـته به آسـتانه های تعریف شده برای دستگاه، در صورت بیشتر شدن آهنگ دز از مقادیر اسـتاندارد، هشدارهای نوری و یا صوتی فعال شـده و به پرتوکار هشدار می دهد. دزیمتر قلمی از دسته دزیمترهای قرائت مستقیم بوده اما بدون سیستم هشدار دهنده می باشد.

در صورتی که احتمال نوسـانات شـدید در آهنگ دز در محل کار پرتوکار وجود داشته باشد بهتر است از یک دزیمتر قرائت مستقیم دارای سیستم هشدار مانند دزیمترهای دیجیتالی استفاده شود. درصورتی که مونیتورینگ روزانه ضروری باشـد می توان از دزیمترهای قرائت مسـتقیم به عنوان دزیمتر تکمیلی دزیمترهای رسـمی اسـتفاده نمود. تصاویر زیر نمونه هایـی از دزیمترهای قرائت مستقیم به عنوان دزیمتر تکمیلی فردی را نشان می دهد.

شکل ۴۸- دزیمترهای دیجیتالی قرائت مستقیم هشدار دهنده



شکل ۴۹- دزیمتر قلمی قرائت مستقیم بدون هشدار دهنده

ب- دزیمترهای قرائت غیر مستقیم (پسیو)

برای اطلاع از میزان دز اندازه گیری شده توسط این دزیمترها، انجام عملیات آماده سازی لازم است. این دزیمترها میزان آهنگ دز و یا دز تجمعی را در لحظه دریافت دز نشان نمی دهند. دزیمترهای رسمی مونیتورینگ فردی از جمله دزیمتر فیلم بج و TLD از این دسته می باشند. این دزیمترها به دلیل دقت مناسب و ثبت دز و نگهداری نتایج به مدت طولانی، و در مورد فیلم بج ثبت و نگهداری دائمی دز، از سوی مراجع ذیصلاح بین المللی به عنوان دزیمتر رسمی مونیتورینگ فردی معرفی شده اند. البته همانگونه که ذکر شد در صورتی که مونیتورینگ روزانه ضروری باشد می توان از دزیمترهای قرائت مستقیم به عنوان دزیمتر تکمیلی دزیمترهای رسمی استفاده نمود. از دیگر دزیمترهای قرائت غیر مستقیم که اخیراً معرفی شده است می توان OSL را نام برد. اساس

کار این دزیمتر مانند دزیمتر TLD بوده کاربری آن مزایای بیشـــتری از جمله حساســیت بالاتر و ثبات بیشتر در شرایط محیطی را نسبت به TLD شامل می شود.

شکل ۵۰- دزیمتر فردی قرائت غیر مستقیم OSL

به دلیل اهمیت فیلم بج و TLD به عنوان دزیمترهای رســمی و مورد پذیرش واحد قانونی (امور حفاظت در برابر اشعه) به عنوان دزیمترهای مبنا در مونیتورینگ فردی، این دزیمترها در ادامه به تفصیل شرح داده شده اند.

۹-۲-۱-۶ دزیمتر فردی فیلم بج

فیلــم بج قدیمی ترین و متداول ترین دزیمتر فردی اســت که برای تعیین پرتوگیری خارجی بکار می رود. خواندن این دزیمتر معمولاً توســط فرد اســتفاده کننده امکان پذیر نیســت و یک مرکز دزیمتری مسئولیت ارائه خدمات آن را بر عهده دارد.

- اصول کار فیلم بج و اجزاء تشکیل دهنده آن

فیلم: یک ورقه پلاســتیکی به ابعاد ۳×۴ ســانتیمتر اســت که دو طرف آن بــا لایه ژلاتینی حاوی دانه های برومور نقره (امولســیون) پوشــیده شده است. دانه های برومور نقره عامل حساس به پرتو در فیلم هستند.

بــج: بــرای تعیین انرژی و نوع پرتــو، فیلم را داخل یک قاب نگهدارنده موســوم به بج که مجهز به چند فیلتر است قرار می دهند. در اثر برخورد پرتو با فیلم، الکترون های برومور نقره آزاد و اطراف

ناخالصی هایی که به طور عمد در شـــبکه کریستالی برومور نقره قرارداده شده اند، جمع می شوند. ایـــن واکنش تأثیـــری در رنگ ظاهری فیلم ندارد به همین دلیل به آن تصویر پنهان می گویند. در محلول ظهور، فقط در نقاطی که تصویر پنهان ایجاد شده است واکنش شیمیایی انجام و نقره سیاه رنگ آزاد می شـــود. بنابراین فیلم پس از ظهور و ثبوت در صورت پرتوگیری ســـیاه می شود. شدت سیاهی با دز جذبی در فیلم متناسب است.

در شکل زیر نمای شماتیکی از یک فیلم به همراه بج نشان داده شده است.

۱- پلاستیک نازک ($۵۰\ mg/cm^2$)

۲- پلاستیک ضخیم ($۳۰۰\ mg/cm^2$)

۳- پنجره باز

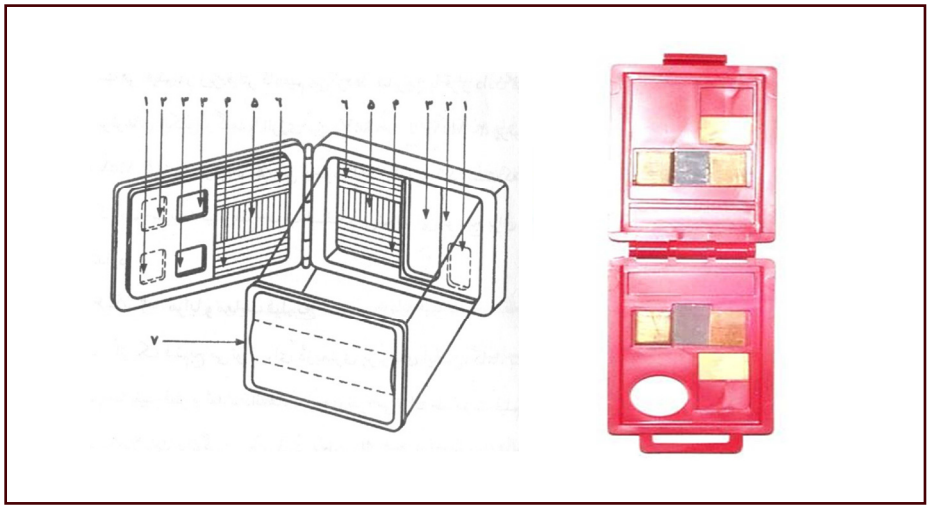
۴- قلع و سرب (۰/۷ mm قلع + ۰/۳ mm سرب)

۵- کادمیوم و سرب (۰/۷ mmکادمیوم + ۰/۳ mm سرب)

۶- آلومینیوم (دورال) (۱ mm آلومینیوم)

۷- فیلم

در شـــکل زیر تصویری از قاب فیلم بج و فیلترهای تعبیه شـــده در، مورد اســـتفاده در کشور، نشان داده شده است.



شکل ۵۱- قاب فیلم بج

شـــکل زیر تصاویر ســـه نوع طراحی مختلف دزیمتر فردی فیلم بج را با فیلترهای مختلف نشـــان می دهد.

شکل ۵۲- انواع طراحی های فیلم بج

۹-۲-۱-۷ دزیمتر فردی ترمولومینسانس TLD

دزیمتر ترمولومینانس (TLD) یکی از انواع دزیمترهای فردی می باشد که در طول دو دهه اخیر بسیار توسعه یافته و در برخی کشورها به عنوان یک جایگزین مناسب فیلم بج در آمده است. اخیراً در کشور خدمات دزیمتری فردی TLD به صورت موازی در کنار فیلم بج ارائه شده است.

- اصول کاردزیمتر ترمولومینسانس و اجزاء تشکیل دهنده آن

در اثر تابش پرتوهای یونســـاز به برخی از کریســـتال ها، کســـری از انرژی پرتو در کریستال ذخیره می گردد. انرژی ذخیره شـــده در کریســـتال در اثر حرارت و در دماهای معین به صورت نور مرئی ظاهر می گردد. این پدیده ترمولومینســـانس نامیده می شـــود. شـــدت نور آزاد شـــده با دز جذب شـــده از پرتوهای یونساز نسبت مســـتقیم دارد. برای اهداف دزیمتری فردی معمولاً از موادی نظیر لیتیوم فلوراید (LiF) که عدد اتمی آن معادل بافت نرم می باشد، استفاده می کنند. این دزیمترها می توانند دز پرتوهای ایکس، گاما و بتا پرانرژی را از حدود ۲۰ میکروسیورت تا حدود ۲۰ سیورت با دقت خوب اندازه گیری کنند.

شکل زیر نمایی از دزیمتر TLD مورد استفاده در کشور و اجزا تشکیل دهنده آن را نشان می دهد.

۱- قاب نگهدارنده دزیمتر (بج)

۲- فیلتر معادل بافت نرم ($۱۰۰۰ mg/cm^2$)

۳- فیلتر معادل بافت نرم ($۷ mg/cm^2$)

۴- کریستال لیتیوم فلوراید (LiF)

۵- کد شناسایی کارت ترمولومینسانس

۹-۲-۱-۸ دزیمتر نوتر ایران

دزیمتری نوترون ها همواره یکی از مباحث پیچیده برای کارشناسان فیزیک بهداشت بوده است. دزیمترهای فیلم بج و ترمولومینسانس در صورت وجود پرتوهای نوترون در محیط، فقط به نوترون های حرارتی حساس هستند، بنابراین دزیمتری که توانایی اندازه گیری دز نوترون ها را در همه طیف های انرژی داشته باشد، ضروری است. به این منظور، در سالهای اخیر در کشور دزیمتر فردی نوترایران ساخته شده است که قادر است نوترون ها را از محدوده انرژی حرارتی تا چندین مگا الکترون ولت اندازه گیری کند.

- اصول کاردزیمتر نوترایران و اجزا تشکیل دهنده آن

اساس کار این دزیمتر مبتنی بر ثبت رد پای ذرات برگشتی ناشی از برخورد نوترون های سریع و ذرات آلفای ناشی از مبدل های (n,α) بر روی آشکارسازهای هسته ای خورش رد پا، می باشد.

ذرات باردار و هسته های برگشتی، پس از برخورد با پلیمر آشکارساز هسته ای خورش رد پا، باعث تخریب موضعی می شوند. نقاط تخریب شده تحت شرایط خاص با خورش شیمیایی و یا الکتروشیمیایی آشکار شده سپس رد پای حاصل را توسط میکروسکوپ نوری یا روش های دیگر شمارش، بررسی می شود.

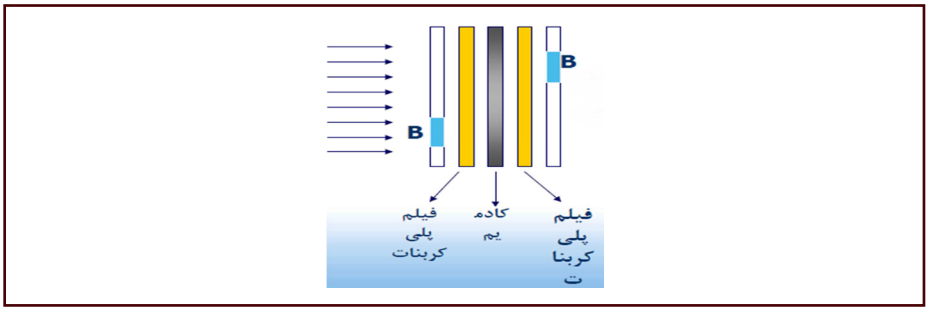
شکل زیر نمایی از دزیمتر نوترایران مورد استفاده در کشور و اجزاء تشکیل دهنده آن را نشان می دهد.

۱- پولک کادمیوم به قطر 30mm و ضخامت 0.5mm

۲- پولک نگهدارنده مبدل B^{10}

۳- جداکننده مبدل B^{10} و آشکارساز به ضخامت 0.125mm

۴- آشکارساز پلی کربنات به ضخامت 0.25mm



شکل ۵۳- نمایی از دزیمتر نوترایران و قسمت های تشکیل دهنده آن

۹-۲-۱-۹ الزامات دزیمتر فردی

- باید بتواند یک اندازه گیری قابل اعتماد از مقادیر مورد نظر را ارائه دهد.
- یعنی بتواند Hp(10)، Hp(o.o7) را اندازه بگیرد.
- برای تقریباً تمامی عملیات پرتوی مناسب باشد.
- از نوع و انرژی و زاویه تابش پرتو مستقل باشد.
- دقت کلی لازم را داشته باشد.
- مشخصات دزیمتر و صاحب آن مبهم نباشد.
- کاربری آسان داشته باشد.
- قرائت غیر مبهم، بدون مشکل و سریع
- مناسب برای عملیات اتوماتیک قرائت
- فروشنده و تأمین کننده مطمئن داشته باشد.

وقتی نوع و دز این میدان پرتو مشـخص شـد، معمولاً استفاده از یک نوع دزیمتر کفایت می کند. دزیمتر ارجح و اولیه باید دز موثر ((Hp(10) را تخمین بزند.

۹-۲-۱-۱۰ انتخاب دزیمتر فردی

وقتی نوع و آهنگ دز میدان پرتو مشخص شد، معمولاً استفاده از یک نوع دزیمتر کفایت می کند. سـاده ترین دزیمتر آن اسـت که فقط Hp(10) را محاسبه کند. که می تواند یک TLD در یک نگهدارنده کوچک باشـد. دزیمتری از این دسـت به طور خیلی موفقیت آمیزی در دزیمتری های مقایسه IAEA مورد استفاده قرار گرفته است. اگر اطلاعات بیشتری مورد نیاز باشد، یک دزیمتر تفکیک کننده فوتون که مقدار Hp(10) را می دهد و تعیین نوع پرتو و انرژی موثر و آشکارسازی الکترون های انرژی بالا مورد نیاز است.

الف- مونیتورینگ پرتوهای کم نفوذ (بتا و فوتون) کم انرژی

مونیتورینگ پرتوهای کم نفوذ کار مشـکلی است چون پرتوگیری بسیار غیر یکنواخت است و نفوذ پرتو نیز کم است. در بیشتر مواقع پوست در یک میدان مختلط پرتوهای کم نفوذ و نافذ پرتوگیری می کند. برآورد دز پوست از هر دو نوع پرتو ضروری است. اندازه گیری پرتوهای بتا با انرژی کمتر از 0.5 Mev به سختی اندازه گیری نوترون است.

پرتوگیری عدســی چشم حالت خیلی خاصی است. Hp(3) برای همین منظور تعریف شده است. البتــه در صورتی کــه Hp(3) را بتوان با دقت قابل قبولی از Hp(10) و Hp(0.07) برآورد کرد، بکارگیری Hp(3) توصیه نمی شــود. در این حالت دزیمتر باید در نزدیکترین فاصله چشــم نصب شود. هرکدام از مقادیر Hp(10) و Hp(0.07) و Hp(3) باید با مقادیر دز مجاز سالانه خودشان مقایسه شوند که در مورد Hp(3) میزان 150msv/year می باشد.

ممکــن اســت دزیمترهای بتا– فوتون کــه برای اندازه گیــری Hp(o.o7) طراحی شــده اند در کنار دزیمترهای محاســبه Hp(10) بــکار برود. اگر پرتوهای بتا به طــور قابل توجهی در محیط وجود داشــته باشند، باید از دزیمترهای تکمیلی اســتفاده شود. فقط برای میدان های بتا با انرژی کــم، آشکارســازهایی با ضخامت mg/cm^2 ۷ بــکار می رود. این دزیمترهــا از نظر طراحی مانند دزیمترهایی اســت که قبلاً اشاره شد اما نوع فیلترها و مراحل قرائت آنها ممکن است فرق کند. در مورد دزیمترهای نوترون فقط محاســبه Hp(10) مدنظر اســت و Hp(o.o7) به این پرتو مربوط نیست. دزیمترهای تخصصی متنوعی برای این منظور طراحی شده است.

در مــواردی کــه پرتو بتا در محیط وجــود ندارد یک دزیمتر تک عنصری در بیشــتر موارد کفایت می کند البته اگر میدان پرتو کم و بیش یکنواخت باشد.

بدون انجام تصحیحات خاص اینگونه دزیمترها با تخمین دســت بالا و معادل دز بافتها و اندامها را محاســبه می کند. مثلاً یک دزیمتر تک عنصری مانند TLD می توانند در یک محدوده وســیعی از انــرژی بــکار روند. اگر پرتوهــای بتا به طور قابل ملاحظه ای در میــدان پرتو وجود دارند باید از دزیمترهای تفکیکی اســتفاده شود. وقتی بتا مقدار بیشینه را دارد دزیمترهای بتا- فوتون باید بکار رود. و فقط برای پرتوهای بتا ضعیف آشکارسازهای با ضخامت کم در حد $7\ mg/cm^2$ بکار می رود. که معادل عمق (0.07mm) است. دزیمترهای فردی که بکار می روند مستقیماً مقادیر دزیمتری مورد نظر ما را قرائت نمی کنند بنابراین مجبوریم از تصمیمات مختلف برای وابســتگی های انرژی و جهت استفاده کنیم مثلاً برای فیلترها یا جاذب ها در قسمت جلویی آشکارساز قرار می گیرند تا نقش جبرانی انرژی را انجام دهند.

برای نشــان دادن کیفیت پرتو ممکن اســت نسبت پاسخ دو آشکارســازی که در پشت دو فیلتر با ضخامت های مختلف یا مواد مختلف قرار دارند اندازه گیری شود. تا پاسخهای مختلف نسبت به انرژی مشــاهده شود یا مثلاً وابستگی به انرژی یا تلفیق دو نوع آشکار ساز با عملکرد پاسخ مختلف شبیه ســازی شــود. این دزیمتر در کاربردهای صنعتی که از چشمه های ضعیف بتادهنده یا چشمه های

ضعیف گامادهنده جهت ضخامت سنجی، سطح سنجی، دانسیتومتری استفاده می کنند، رایج است. افراد در معرض چشمه هایی نظیر پرومتیوم ۱۴۷، استرانسیم ۹۰، آمرسیم ۲۴۱، کریپتون ۸۵ با این روش دزیمتری فردی می شوند.

ب- مونیتورینگ پرتوهای نافذ (الکترون- فوتون) پرانرژی

دزیمتر پایه در این موارد دزیمتری است که $HP(10)$ را برای الکترون و فوتون محاسبه کند. در میدانهای به شدت ناهمگن پرتو، مقدار بیشینه میانگین دز در $1\ cm^2$ باید تخمین زده شود که این مورد به اندازه گیری های تخصصی اضافی نیاز دارد.

اگر دز پرتوکاران در حدود مرزهای پرتوگیری باشد، بهتر است اطلاعات اضافی راجع به شرایط تابش جمع آوری شود. مثلاً انجام دزیمتری محیطی در محل کار با ابزارهای تخصصی استفاده از دزیمترهای تفکیک کننده چند عنصری که نهایتاً برآورد دقیق تری از دز موثر به دست می دهد که با روش های دزیمتری روتین امکان پذیر نیست. استفاده از این نوع دزیمتر هنگام کار با شتاب دهنده های ذرات، و چشمه های پرانرژی گامادهنده نظیر کبالت ۶۰، جهت پرتونگاری قطعات ضخیم رایج است.

ج- مونیتورینگ نوترون

اصول دزیمتری فردی نوترون مانند الکترون و فوتون است. اما دزیمترها و ابزار متفاوت است. برهمکنش های نوترون، ذرات باردار سنگین ایجاد می کند. مانند پرتونهای برگشتی و الکترون ها که مکانیزم های متفاوت آشکارسازی را می طلبد. به علاوه برهمکنش های مربوط به نوترون محدوده حداقل 10^{-9} را در انرژی شامل می شود در حالی که در مورد گاما و بتا معمولاً این بازه 10^{3} است.

فقط یک نوع و یا انواع ساده دزیمتر نمی توانند اطلاعات کافی راجع به کل محدوده انرژی نوترون بدهند. بنابراین ممکن است انواع مختلف دزیمتر نوترون لازم شود.

تکنیکی که در گذشته برای برآورد دز نوترون بکار می رفت، بکارگیری یک نسبت نوترون- گاما در محل کار بود که از ابزارهای دزیمتر محیطی بدست می آید. اما نسبت نوترون گاما با توان ۲ در بعضی از میدانها نوترون تغییر می کند. دز موثر نوترون معمولاً از دز گاما در چنین محیط های کاری با چنین ثابتی قابل محاسبه نیست.

هیچکدام از روش های مونیتورینگ فردی در حال حاضر نمی توانند دزیمتری فردی نوترون را در محیط های کاری تامین کنند. ممکن اســت در بعضی از شرایط که اطلاعات کافی از محیط داریم بتوان روش هایی را بکار برد اما این روش ها بصورت فراگیر کاربردی نیستند. دلیل اصلی این است که هیچ سیســتم آشکارســازی نمی تواند دز موثر و یا Hp(10) در بازده ای از انرژی که در حدود 10^{9} متغیر است محاسبه کند.

مثلاً پاسخ روش TLD برای نوترون های کم انرژی و حرارتی به شدت فوق خطی است. در حالی که روش رد پای هســته ای عموماً در انرژی های پائین موثر اســت. به علاوه مهمترین عامل برای نوترون سازگاری مراحل کالیبراسیون با شرایط محیط کار است.

بنابرایــن توصیه می شــود دو دزیمتر با مشــخصاتی که بتوانند همدیگــر را کامل کنند به صورت ترکیبی اســتفاده شود. این روش مناســب ترین راه برای مونیتورینگ نوترون است. مثلاً بکارگیری روش TLD albedo برای نوترون های کم انرژی و آشکارسازهای رد پای هسته ای حالت جامد برای نوترون های پر انرژی. حساســیت بالای albedo می توانند به عنوان ابزار گزینشی بکار رود. بنابرایــن تا زمانی کــه TLD مقادیر قابل اندازه گیری پرتوگیری نوترون را نشــان نداده نیازی به قرائت دزیمتر رد پای هســته ای نیست. استفاده از دزیمترهای نوترونی در کاربرد آنالیز با استفاده از چشمه نوترونی کالیفرنیم ۲۵۲ رایج است.

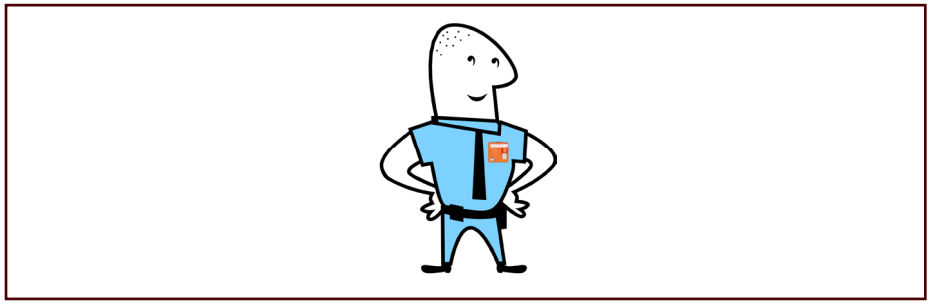
۹-۲-۱-۱۱ مونیتورینگ دست ها و پاها

در مواردی که احتمال بالقوه پرتوگیری انگشتان، دستها و بازوها و نیز پاها وجود دارد، دزیمترهای تخصصی شکل گرفته اند، مانند دزیمترهای انگشتری برای دزیمتری انگشتان. این دزیمترها عموماً بــرای اندازه گیــری دز Hp(0.07) برای پرتوهای بتا– فوتون بکار می رونــد. این دزیمترها برای کسانی که با glove box سروکار دارند و یا با چشمه های با پرتوزایی کم و با دست سروکار دارند، بکار می رود. در صورتی که دز اندامهای انتهایی (دستها و پاها) خیلی بیشتر از دز تمام بدن باشد باید از دزیمترهای تخصصی دست و پا استفاده شود. دزیمتر باید در اندامی استفاده شود که انتظار می رود بیشترین پرتوگیری را دارد. که معمولاً دستها و اکثراً انگشتان است. در موارد پرتوهای نافذ (الکترون– فوتون) دزیمتر پایه در این موارد دزیمتری اســت که دز الکترون و فوتون را محاســبه کند. در میدان های به شدت ناهمگن پرتو، مقدار بیشینه میانگین دز باید تخمین زده شود که این مورد به اندازه گیری های تخصصی اضافی نیاز دارد. برای این منظور یک دزیمتر ساده مثل TLD

کفایت می کند. که باید در انگشتی که بیشترین پرتوگیری را دارد استفاده شود. در مواردی که بتا کم انرژی داریم آشکارساز باید نازک باشد و توسط مواد معادل بافت با ضخامت $7mg/cm^2$ فیلتر شود. ضخامت $5–10\ mg/cm^2$ نیز قابل قبول است.

۹-۲-۱-۱۲ ملاحظات عملیاتی دزیمتر فردی

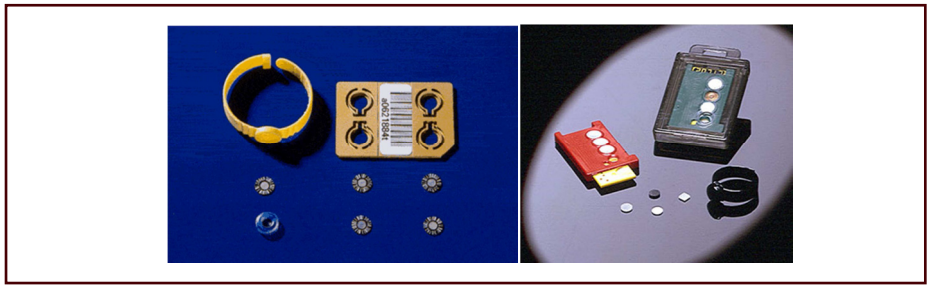
دزیمتر باید در جایگاهی قرار گیرد که بیشـــترین پرتوگیری را در ســـطح بدن داشته باشد. و عموماً هم در قسمت جلویی (قدامی) بدن قرار می گیرد. شکل زیر محل قرار گرفتن دزیمتر را روی لباس کار پرتوکار نشان می دهد.



شکل ۵۴- نحوه نصب دزیمتر فردی

در صورتی که کارکنان مرتباً در حال حرکت در محیط کار هســـتند و ممکن اســـت تمام بدنشـــان به طور یکســـان پرتوگیری کند و میزان پرتوگیری نیز قابل توجه است، ممکن است لازم شود یک دزیمتر ثانویه در پشـــت بدنشـــان نصب شـــود. دزیمترهای اضافی در صورتی لازم اند که احتمال پرتوگیری در هر دوره به حدود سه دهم دز مجاز سالانه برسد.

تصاویر زیر دو نمونه هایی از دزیمتر های تکمیلی فردی را نشان می دهد.



شکل ۵۵- دزیمترهای تکمیلی فردی

در مواقعی که روپوش های حفاظتی استفاده می شود دزیمتر باید در محلی قرار گیرد که بیشترین پرتوگیری پوستی انجام می شود یعنی هم زیر روپوش حفاظت و هم در قسمت های بدون پوشش بدن. اگر میدان ناهمگن بود لازم است بیش از یک دزیمتر بکار رود و بیشترین مقدار اندازه گیری شده معرف $Hp(0.07)$ است.

۹-۲-۲ طبقه بندی افراد در معرض پرتوگیری و انواع پرتوگیری

۹-۲-۲-۱ طبقه بندی افراد در معرض پرتوگیری

- پرتوکاران، افرادی هستند که به واسطه شغل خود و به علت تماس مستقیم با منابع پرتو در معرض پرتوهای یونساز قرار دارند.
- افراد جامعه، افرادی که پرتوکار نمی باشند.

۹-۲-۲-۲ انواع پرتوگیری شغلی

پرتوگیری به طور کلی براساس خصوصیت شرایط کار به ۴ دسته تقسیم می شود:

- **پرتوگیری عادی:** پرتوگیری قابل انتظار در شرایط عادی کار با منابع یا تأسیسات، با در نظر گرفتن پرتوگیری های ناشی از سوانح جزئی قابل کنترل.
- **پرتوگیری بالقوه:** بسته به شرایط محل کار ممکن است پیش بیاید اما قابل کنترل است.
- **پرتوگیری اورژانس:** برنامه ریزی نشده است و به دلیل شرایط نیاز به مداخله جهت پیشگیری و به حداقل رساندن پرتوگیری زیاد دارد.
- **پرتوگیری مزمن:** پرتوگیری در زمان طولانی

توجه داشته باشید که پرتوگیری از ^{40}K پرتوهای کیهانی و رادیو نوکلوئیدهای مواد طبیعی معمولاً به عنوان پرتوگیری شغلی به حساب نمی آید. پاراگراف I.32 از ضمیمه BSS I، مسئولیت برآورد پرتوگیری شغلی کارکنان، مسئولین پروانه مشاغل و افرادی که شغل آزاد دارند را شرح می دهد. کلیه کارفرمایان، اعم از مشاغل آزاد باید مسئولیت ارزیابی پرتوگیری شغلی کارکنان تحت پوشش خود را به عهده بگیرند. کارفرمایان برای انجام این امر باید از روشهای مناسب و معتبر دزیمتری تحت یک سیستم کنترل کیفی مطمئن استفاده نمایند.

۹-۲-۳ آموزش

آموزش عامل بسیار مهمی در کاهش پرتوگیری افراد در شرایط عادی کار، پیشگیری از بروز سوانح، پیشگیری از آثار قطعی و کاهش آثار احتمالی افراد درگیر در سانحه یا عملیات رفع سانحه می باشد.

علل ضرورت آموزش پرتوکاران

- اطلاع داشتن از اثرات پرتوها و روش های حفاظت از خود و دیگران در برابر اثرات ناخواسته
- کار صحیح و ایمن با منابع پرتو و دستگاه های پرتوساز
- کاهش احتمال وقوع سوانح پرتوی
- اطلاع داشتن از قوانین، مقررات و استانداردهایی که رعایت آنها الزامی است.

موارد مورد توجه در طراحی یک دوره ی آموزشی

- اهداف آموزش- با توجه به قانون حفاظت در برابر اشعه و نوع فعالیت پرتوی
- آیا هدف از آموزش فقط آشنا شدن سطحی افراد با انواع پرتو و اثرات آنها است؟
- آیا هدف از آموزش این است که فرد بتواند به سایرین آموزش بدهد؟
- آیا شخص قرار است با استفاده از برنامه ی آموزشی مستقیماً با منبع پرتوی خاصی کار کند؟

مواد آموزشی- با توجه به اهداف آموزش

مواد آموزشی در برنامه های حفاظت در برابر اشعه عبارتند از: ریسک کار با پرتو- علائم هشداردهنده- مونیتورینگ پرتو- اندازه گیری انواع دز یا آلودگی- بررسی نتایج اندازه گیری- کاربرد صحیح تجهیزات حفاظتی- روش های رفع آلودگی- روش های بازرسی- اقدامات لازم هنگام بروز سانحه- روش های محاسبه دز و حفاظ.

سطوح آموزش

- **آموزش پایه**- شامل مطالب پیش نیاز سایر دوره ها مثل ریاضیات پایه، فیزیک، کامپیوتر و... (برای همه ضروری نیست.)
- **آموزش مقدماتی حفاظت در برابر اشعه**- اصول اولیه حفاظت در برابر اشعه (برای همه ی افراد پرتوکار یا افرادی که در مجاورت منابع پرتو یا تجهیزات پرتوساز کار می کنند ضروری است.)

• **آموزش پیشـــرفته حفاظت در برابر اشـــعه**– آموزش های ویژه برای پرتوکاران براســـاس نوع فعالیت (برای مسئولین طرح، مسئولین فیزیک بهداشت ضروری است.)
• **بازآموزی**– برای به روز کردن اطلاعات مرتبط و لازم برای دارندگان گواهینامه ها (برای همه ی دارندگان گواهینامه ضروری‌است.)

طبقه‌بندی آموزش برای گروه‌های مختلف

• متخصصین

افرادی که در زمینه ی خاصی در ارتباط با کار با منابع پرتو و دستگاه های پرتوساز تخصص دارند. معمولاً تهیه مطالب آموزشی برای پرتوکاران، مدیران، کارکنان واحد قانونی و ... با نظرات آنان تهیه و تنظیم می شـــود. باید از مهارت های فردی مناســـب در ارتباطات، تجزیه و تحلیل، و مهارت های سرپرســـتی برخوردار باشـــند. معمولاً آموزش این افراد توسط تیم های خاص (متخصصین آژانس) صورت می گیرد.

• مسئولین فیزیک بهداشت

دوره آموزش باید مرتبط با فعالیت تحت نظارت و مسئولیت باشد، بر مطالب مربوط به حفاظت در برابر اشـــعه و ایمنی کاربرد منابع پرتو تاکید شـــود. بر قوانین، مقررات، استانداردها و ضوابط کار با پرتو تاکید شـــود. مدت دوره بســـتگی به نوع فعالیت دارد. مواد درسی و میزان تعمق در هر یک به نوع فعالیت و خطرات بالقوه آن بستگی دارد.

• پرتوکاران و کارکنان

به طور کلی کارکنانی که باید آموزش ببینند دو دسته هستند:
✓ ۱- افرادی که در شرایط عادی کار روزانه در معرض پرتو هستند یا افرادی که مستقیماً با منابع پرتو کار می کنند.
✓ ۲- افـــرادی که احتمال دارد پرتوگیری کنند یا افرادی که در مجاورت منابع پرتو کار می کنند ولی مستقیماً با منابع کار نمی کنند.
آموزش افراد فوق به لحاظ مدت دوره، مطالب و میزان تعمق در هر مطلب متفاوت است.

آموزش دستهٔ اول شامل مواد زیر است:

✓ خطرات کار با پرتو

✓ اقدامات ایمنی و حفاظتی کار با پرتو واهمیت آنها

✓ قوانین و مقررات ملی و محلی (مثلاً در مورد کارکنان زن باردار)

✓ سیستم های مونیتورینگ

✓ دستورالعمل اورژانس

✓ خطـرات وآلاینده هایی که ممکن اسـت بر ایمنـی منابع پرتو تأثیر بگذارند (اشـتعال، انفجار، پوسیدگی یا زنگ زدگی و ...)

آموزش دستهٔ دوم شامل مواد زیر است:

✓ شناخت پرتوها

✓ خطرات پرتو

✓روش های اولیه و مقدماتی حفاظت در برابر اشعه

✓ علائم هشدار دهنده

گاهی افرادی نظیر طراحان و مهندسین نیز در دسته ی دوم قرار می گیرند. نتیجه ی کار این افراد می تواند در پرتوگیری عده ی دیگری مؤثر باشـد. این افراد باید از آموزش بیشـتری در ارتباط با خطرات پرتوها و راهکارهای جلوگیری از بروز این خطرات بهره مند شـوند. کلیه افرادی که: برای انجـام پروژه‌هـای کوتاه مدت در مراکز پرتـوی کار می کنند؛ به طور موقـت در مراکز پرتوی کار می کنند؛ در حین تحصیل برای آموزش (دانشـجویان) در مراکز پرتوی هستند، باید دوره آموزش مقدماتی حفاظت در برابر اشعه را بگذرانند.

• شخص مسئول

حداقل مواد آموزشی:

✓ کاربرد ایمن منابع در فعالیت مرتبط

✓ تأکید بر قوانین، مقررات، استانداردها و ضوابط کار با پرتو

✓ مهارت های فردی مانند ارتباطات، تجزیه و تحلیل، ارتباط بین انسان و ماشین، مهارت سرپرستی

✓ بسیار شبیه به مواد آموزشی مسئول فیزیک بهداشت

✓ مدت دوره و سطح مطالب به نوع فعالیت بستگی دارد.

• متخصصین بهداشت حرفه ای

حداقل نیازهای آموزشی:

✓ شناخت پرتوها

✓ تأکید بر اثرات بیولوژیکی پرتوها

✓ نحوه تشخیص و درمان آسیب های ناشی از پرتوگیری

✓ مدت دوره و گستردگی آن به سطح مسئولیت متخصص بهداشت حرفه ای بستگی دارد.

• کارفرمایان، مدیران، دارندگان پروانه

منظور کسانی است که مسئولیت کلی کار با منابع پرتو در تمامی سطوح به عهده ی آنان است.

حداقل نیازهای آموزشی:

✓ مبانی حفاظت در برابر اشعه

✓ مسئولیت مرتبط با مدیریت سوانح

✓ قوانین و مقررات مرتبط

✓ اصول ایمنی

✓ اجزاء یک برنامه حفاظت در برابر اشعه

• کارکنان فوریت های پرتوی

در اغلب موارد این افراد پرتوکار نیستند و پرتوگیری نمی کنند. نظر به اینکه اینگونه وقایع زیاد نیست برنامه منظم بازآموزی و مانور حائز اهمیت زیادی است.

حداقل نیازهای آموزشی:

✓ درک صحیح و دقیق از خطرات و ریسک های مرتبط با فوریت های پرتوی و هسته ای

✓ دانستن روش های مقابله با سانحه

✓ تقویت توانایی کار در شرایط بسیار دشوار و پر اضطراب

کلیه پرتوکاران لازم است حداقل آموزش های لازم در زمینه کار با پرتوها را ببینند. این آموزش ها در صنعت، براساس نوع کاربرد به دو گروه آموزش مقدماتی حفاظت در برابر اشعه ویژه کاربرد پرتونگاری صنعتی و آموزش مقدماتی حفاظت در برابر اشعه ویژه مراکز غیر پرتونگاری صنعتی

تقسیم می گردند. در مراکز کاربرد پرتونگاری صنعتی، اعم از کار با چشمه های پرتوزا یا دستگاه های اشـعه ایکس، علاوه بر سـایر مدارک مورد نیاز واحد قانونی، مسـئولین فیزیک بهداشت و شخص مسئول دارای گواهینامه مقدماتی حفاظت در برابر اشعه ویژه پرتونگاری صنعتی، ملزم به گذرانیدن دوره آموزشی پیشـرفته حفاظت در برابر اشعه ویژه مسئولین مراکز پرتونگاری صنعتی می باشند. در خصوص مسـئولین مراکز غیر پرتونگاری صنعتی، گذرانیدن دوره آموزشی مقدماتی حفاظت در برابر اشعه ویژه مراکز غیر پرتونگاری صنعتی کافی می باشد. لازم به ذکر است، جهت برگزاری این دوره های آموزشی لازم است مجوزهای مربوطه از مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور اخذ گردد.

۹-۲-۴ معاینات پزشکی

کلیه افرادی را که به کار با اشـعه گمارده می شـوند، قبل و بعد از استخدام به صورت دوره ای در طول استخدام و یا در شرایط اضطراری، تحت معاینه ها و آزمایش های پزشکی لازم و آزمایش های تخصصـی قرار گرفتـه و مدارک مربوطه در اختیار واحد قانونی قرار می گیرد. مسـئولیت پیگیری انجام آزمایش ها و معاینات پزشـکی پرتوکاران با دارنده پروانه اشـتغال (مدیر عامل شرکت) بوده که از طریق مسئول فیزیک بهداشت کل، باید هماهنگی و برنامه ریزی های لازم صورت گیرد.
دارنده پروانه اشتغال (مدیر عامل شرکت) موظف به پیگیری انجام آزمایش ها و معاینه های پزشکی پرتوکاران در بدو اسـتخدام، و در زمان گمارده شـدن به کار با اشعه به صورت دوره ای و در خاتمه کار و در سـوانح پرتویی می باشـد. این پیگیری ها از طریق مسـئول فیزیک بهداشت کل صورت می گیرد.

الف:آزمایشات و معاینات پزشکی قبل از استخدام

آزمایش ها و معاینات پزشکی اولیه نباید زودتر از شش ماه قبل از شروع به کار با اشعه انجام شده باشد. جهت هر شخص پرتوکار لازمست یک پرونده شخصی که حاوی کلیه اطلاعات فردی از جمله سـوابق پرتوگیری و نتایج آزمایش ها و معاینه های پزشـکی باشد تشـکیل گردد. این آزمایش ها عبارتند از:

۱- سابقه پزشکی:

شـامل سـوابق بیماری های ارثی و یا اکتسـابی، سـوابق ابتلاء به بیماری های مختلف در سنین گذشته، سوابق پزشکی در ارتباط با پرتوهای یونساز و سوابق شغلی

۲- آزمایشات هماتولوژیک:
شـــامل آزمایش کامل CBC- شـــمارش پلاکتها- تســـت های انعقاد خون CT و BT و همچنین آزمایش اسپرماتوگرافی می باشد.
۳- معاینه های فیزیکی:
شـــامل معاینه عمومی کل بدن بخصوص وضعیت غدد لنفاوی، سیســـتم تنفســـی، بررسی سیستم گردش خون، پوست، ژنیتال، اعصاب و روان می باشد.

ب: آزمایش ها و معاینه های پزشکی دوره ای

در صورتی که در هر مرحله براســـاس آزمایشـــها و معاینه های پزشکی تشخیص داده شد که ادامه کار با اشعه برای پرتوکار زیان آور است لازم است توسط شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت از ادامه کار وی با اشعه جلوگیری گردد.
از پرتوکاران گروه الف لازمســـت حداکثر هر شـــش ماه یکبار و از پرتوکاران گروه ب حداکثر سالی یکبار و از هر دو گروه در شرایط اضطراری آزمایش و معاینه های کامل پزشکی بر حسب تشخیص و توصیه "واحد قانونی" به عمل آید.
-پرتوکار گروه الف: به شخص حقیقی اطلاق می گردد که در شرایطی کار می کند که دز سالیانه آن می تواند از ۰/۳ حد دز مجاز سالانه (۰/۶ میلی سیورت در سال) تجاوز نماید.
-پرتوکار گروه ب: به شـــخص حقیقی اطلاق می گردد که در شـــرایطی کار می کند که معمولاً دز سالیانه آن از ۰/۳ حد دز مجاز سالانه (۰/۶ میلی سیورت در سال) تجاوز نمی نماید.
آزمایش ها و معاینات پزشکی لازمست براساس دستورالعمل واحد قانونی به عمل آید.

ج: آزمایش و معاینه های پزشکی در پرتوگیری های غیر عادی و سوانح پرتویی

دارنده پروانه مکلف اســـت در صورت بروز ســـانحه و یا پرتوگیری مشکوک هر شخص حقیقی ناشی از کار با اشـــعه حوزه پروانه خود را مورد آزمایش ها و معاینه های پزشـــکی قرار داده و ضمن ارائه گزارش فوری حادثه به امور حفاظت در برابر اشـــعه، در صورت نیاز و با صلاحدید پزشـــک معتمد، افراد فوق را جهت معاینه و انجام آزمایش های تکمیلی به واحد قانونی معرفی نمایند و مراقبت های پزشکی لازم را تا حصول اطمینان از سلامت وی ادامه دهد. کلیه هزینه آزمایش ها و معاینه های پزشکی قبل از استخدام و دوره ای و شرایط اضطراری به عهده دارنده پروانه اشتغال است.

د: آزمایشات پزشکی در خاتمه کار

در صورتی که یک پرتوکار محل کار خود را تغییر دهد لازمست سوابق کار با اشعه، سوابق پزشکی و سوابق پرتوگیری وی عیناً به محل کار جدید منتقل شود.

۹-۲-۶ مشخص نمودن وظایف و مسئولیت ها

با توجه به نوع کاربرد و ضوابط مربوطه وظایف و مسئولیت های کارکنان، پرتوکاران، مسئولین و دارندگان پروانه مشخص می گردد. براساس ضوابط مصوب سازمان انرژی اتمی ایران به عنوان بالاترین مرجع قانونگذاری و نظارت بر رعایت الزامات مرتبط با فعالیت های پرتوی، به طور کلی کاربردها به گروه های زیر تقسیم می گردند:

- کاربرد پرتونگاری صنعتی
- کاربرد سنجشگرهای پرتوی
- کاربرد دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس
- کاربرد آنالیز پیوسته نوترون (مشابه سنجشگرهای پرتوی)

در این قسمت وظایف و مسئولیتهای مهم افراد شاغل در هر یک از کاربردهای فوق الذکر ارائه شده است. بدیهی است انجام وظایف ذیل نقش بسزایی در پیشگیری از بروز سوانح و کاهش پرتوگیری کارکنان خواهد داشت.

وظایف و مسئولیت ها درکاربرد پرتونگاری صنعتی

الف- مسئولیت های دارنده پروانه

- قبل از شروع و اقدام به عملیات رادیوگرافی، در یک اتاق رادیوگرافی ثابت یا اتاقک موقت رادیوگرافی ثابت، باید یک نسخه از روندهای کاری که در طول عملیات رادیوگرافی از آن پیروی می گردد و نیز جزئیات دستورالعمل حفاظت و ایمنی تهیه شده برای حفاظت پرتوکاران و تقلیل پرتوگیری آنان به حداقل ممکن شدنی جهت تائید به واحد قانونی ارسال گردد.
- قبل از اقدام به انجام عملیات رادیوگرافی در سایت باز (سایت رادیوگرافی خارج از محدوده تحت اختیار دارنده پروانه) باید اطمینان حاصل نماید که اقدامات و هماهنگی های لازم در رابطه با موارد ذیل با مسئول سایت (فرد دارای اختیارات اجرائی در محل انجام رادیوگرافی) انجام شده است.

الف) اقدامات لازم در مورد محدود کردن پرتوگیری افرادی که در مجاورت سایت رادیوگرافی قرار دارند.

ب) مشخص کردن پرتونگاران سایت رادیوگرافی.

ج) معرفی یک نفر نماینده سایت، رابط مابین پرتوکاران و دیگر کارکنان سایت به نحوی که امکان برقراری ارتباط و حفظ ایمنی را فراهم نماید.

• اطمینان از انجام اقدامات زیر در مورد تجهیزات رادیوگرافی:

• بررسی و کنترل کیفی تجهیزات رادیوگرافی قبل از اولین استفاده و بررسی و کنترل کیفی آنها در فواصل زمانی مناسب براساس مصوبات واحد قانونی و حصول اطمینان از کارائی و سلامت سیستم های ایمنی و قفل و مکانیزم کنترل تجهیزات مزبور.

• ثبت و نگاهداری نتایج آزمایشات مزبور.

• اطمینان از اینکه آسیب های وارد شده به تجهیزات و یا تغییرات قابل ملاحظه بوجود آمده در مقدار نشتی منابع پرتو، در نظر گرفته شده و به آن توجه شده است و اقدامات ذکر شده در ذیل در مورد دستگاه های آسیب دیده انجام می شود.

الف) تجهیزات آسیب دیده بایداز دور استفاده خارج گردد و توسط یک فردمجرب مورد بررسی قرار گیرد.

ب) قبل از استفاده مجدد از تجهیزاتی که بر روی آنها تعمیرات انجام شده است باید آزمایشات کنترل کیفی بر روی آنها انجام گیرد و از درستی و صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل گردد.

ج) مقررات ارائه شده در این دستورالعمل جهت انجام تعمیرات باید رعایت گردد.

د) جزئیات تعمیرات انجام پذیرفته باید ثبت و نگاهداری شود.

• در سایت های باز، رادیوگرافی باید حداقل توسط دو نفر پرتونگار واجد صلاحیت انجام پذیرد.

• دستورالعمل اورژانس با در نظر گرفتن کلیه احتمالات و حوادث محتمل در هنگام کار و روش های بازیابی سانحه تهیه گردد به نحوی که مقدار پرتوگیری پرتوکاران درگیر در مهار سوانح حداقل باشد.

• تجهیزات حفاظتی و ایمنی باید تهیه شده و در دسترس باشد. به نحوی که امکان پیروی از قواعد کاری و دستورالعمل اورژانس توسط پرتوکاران فراهم گردد. ضمناً باید موانع فیزیکی و حصارهای مناسب جهت محصور کردن مناطق با پرتودهی بالا مهیا گردد. باید روی دستگاه های مولد پرتو و نیز مرز مناطق تحت کنترل و تحت نظارت علائم مواد پرتوزا نصب گردد.

• اطمینان از تقلیل پرتوگیری های پرتوکاران تا حداقل موجه شدنی و نیز عدم تجاوز پرتوگیری آنان از حدهای دز ارائه شده.

• افرادی که برای کار با تجهیزات رادیوگرافی انتخاب می گردند باید دارای شرایط زیر باشند:
الف) دارا بودن برگه صلاحیت کار با پرتو که از طرف واحد قانونی صادر شده باشد.
ب) اطلاعات و دانش کافی از آسیب های پرتوی و صدمات ناشی از کار با تجهیزات رادیوگرافی.
ج) صلاحیت کاری با تجهیزات رادیوگرافی و نداشتن سوء پیشینه.
د) دارا بودن گواهی پزشکی مبنی بر بلامانع بودن کار با پرتو.
ه) حداقل سن ۱۸ سال تمام.
• به پرتونگاران و کارکنان عادی شـاغل در محیط هایی که احتمال پرتوگیری از منابع رادیوگرافی صنعتی را دارند باید آموزش های زیر ارائه گردد.
الف) آسیب های ناشی از کار با پرتو.
ب) اقدامات مؤثر در کاهش پرتوگیری.
ج) انجام عملیات رادیوگرافی بر حسب قواعد کاری.
د) رعایت دستورالعمل حفاظت و ایمنی برای اجتناب از بروز سوانح رادیوگرافی.
• باید نظارت و تمهیدات لازم جهت حفاظت کارکنانی که احتمال می رود در معرض پرتوگیری های ناشی از تجهیزات رادیوگرافی قرار گیرند. براساس مفاد این دستورالعمل فراهم گردد.
• باید یک نفر دارای حداقل تحصیلات کارشناسـی در یکی از رشـته های علمی و فنی با سابقه کار مؤثر یا متخصص در زمینه رادیوگرافی صنعتی و دارا بودن گواهینامه دوره حفاظت در برابر اشعه ویژه مسئولین به عنوان شخص مسئول عملیات رادیوگرافی صنعتی برای انجام وظایف مربوطه معرفی نمایند.
• بایـد یـک نفر واجـد صلاحیت که توانایـی، تخصص و تجربه مـورد نیاز برای انجـام وظایف و مسئولیت های مربوطه به عنوان مسئول فیزیک بهداشت کل تعیین گردد. توصیه می گردد مسئول فیزیک بهداشـت کل از یک یا دو نفر واجد شـرایط و مجرب جهت کمک به انجام وظایف محوله در سـایت های رادیوگرافی استفاده نماید و برخی از مسئولیت ها و وظایف خود را به آنان تفویض نماید. به عنوان مثال می توان از رادیوگرافهای مجرب و با سابقه برای این منظور استفاده نمود.
• باید مقادیر پرتوگیری روزانه پرتوکاران، ثبت و نگاهداری شده و پرتوگیری روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه آنها مورد بررسی و ارزیابی واقع شود.
• کلیه نقل و انتقالات چشمه های رادیوگرافی و دستگاه های اشعه ایکس تحت اختیار دارنده پروانه باید ثبت و نگاهداری گردد و در هر زمان قابل دسترس باشد.
• باید به مسـئولین آتش نشـانی و سـرویس اورژانس محلـی واقع در سـایت رادیوگرافی، وجود

چشـــمه های رادیواکتیو را اطلاع داد و اخطارها و احتیاطـــات لازم را به آنان متذکر گردید. در غیر اینصورت باید از وجود حداقل تجهیزات اورژانس در محل چشمه های رادیواکتیو تحت اختیار خود اطمینان حاصل نماید.

ب- وظایف پرتونگاران

• پرتونگاران از موارد ذکر شده در ذیل کاملاً آگاه باشند:

الف) وسائل رادیوگرافی و نحوه استفاده از آن.

ب) قواعد کاری مصوب.

ج) دستورالعمل اورژانس و روش های بازیابی و مهار چشمه.

د) دستورالعمل حفاظت و ایمنی.

ه) دستورالعمل های مونیتورینگ فردی و محیطی.

• باید در هنگام نقل و انتقال چشـــمه های پرتوزا و یا دســـتگاه های اشـــعه X مورد اســـتفاده در رادیوگرافی صنعتی موارد ذکر شده در ذیل ثبت و نگاهداری گردد.

الف) شماره سریال دستگاه اشعه ایکس و دوربین های رادیوگرافی.

ب) در مورد دوربین های رادیوگرافی نوع چشمه و اکتیویته آن در زمان انتقال.

ج) محل پروژه و سایت رادیوگرافی که تجهیزات به آنجا منتقل شده اند.

د) تاریخ و زمان انتقال تجهیزات.

ه) زمان و تاریخ واقعی برگشت تجهیزات.

و) اسامی پرتونگاران.

• مسئولیت دوربین رادیوگرافی از لحظه تحویل دوربین از انبار محل نگاهداری منابع پرتو به عهده فرد تحویل گیرنده اســـت و باید مقدار نشتی در سطح دوربین توسط دزیمتر محیطی اندازه گیری و در دفتر ثبت نقل و انتقالات منابع پرتو ثبت و امضاء گردد.

• قبل از شروع عملیات رادیوگرافی باید کلیه تجهیزات رادیوگرافی، سیستم های ایمنی، کلیماتورها، بررســـی و کنترل گردد و از اســـتقرار موانع فیزیکی و علائم هشدار دهنده در محل های پیش بینی شده اطمینان حاصل گردد، و از حضور افراد غیر پرتوکار در منطقه امن اطمینان حاصل نمود. یک دزیمتر محیطی مناسب در دسترس باشد.

• انجام عملیات رادیوگرافی بدون تجهیز پرتونگاران به وسائل مونیتورینگ فردی و محیطی ممنوع

می باشد. هر یک از پرتونگاران باید دارای حداقل یک عدد دزیمتر فردی TLD، یک عدد دزیمتر فردی قرائت مستقیم و یک عدد دزیمتر هشدار دهنده باشند. هر تیم رادیوگرافی نیز باید دارای حداقل یک دزیمتر محیطی با دامنه اندازه گیری مناسب باشد.

• استفاده از تجهیزات رادیوگرافی به ویژه در اتاقک موقت رادیوگرافی و سایت باز باید بر طبق قواعد کاری تائید شده در شرایط کاری مورد نظر انجام پذیرد.

• در خاتمه هر پرتودهی و در پایان عملیات رادیوگرافی باید با استفاده از یک دزیمتر محیطی، میدان پرتو اندازه گیری شود و از برگشت چشمه به داخل کانتینر دوربین اطمینان حاصل گردد و در مورد دستگاه های اشعه ایکس از عدم پرتودهی دستگاه اطمینان حاصل شود.

• در هنگام برگرداندن دوربین به انبار محل نگاهداری از قفل بودن دوربین و صحت عملکرد سیستم های ایمنی و قفل و نیز قرار گرفتن درپوش های ایمنی بر روی آن اطمینان حاصل نمود و با استفاده از یک دزیمتر محیطی و اندازه گیری آهنگ دز از استقرار چشمه در داخل کانتینر دوربین در وضعیت ایمن اطمینان حاصل نمود.

• باید از بکارگیری هرگونه وسیله رادیوگرافی آسیب دیده و یا مشکوک خودداری شده و بلافاصله باید موضوع جهت بررسی به مسئول فیزیک بهداشت کل و یا دارنده پروانه گزارش گردد.

• در صورت مشاهده و بروز هر یک از موارد ذیل باید بلافاصله عملیات رادیوگرافی متوقف و اقدام به برگرداندن چشمه به داخل دوربین رادیوگرافی و یا خاموش کردن دستگاه اشعه X شود.

الف- بروز هرگونه نقض یا آسیب تجهیزات رادیوگرافی در خلال عملیات رادیوگرافی.

ب- ورود افراد غیر پرتونگار به داخل میدان پرتو بیش از ۲۵ µSv/h.

ج- ایجاد خرابی و اشکال در دزیمتر محیطی.

• پرتونگاران باید با شکل و مشخصات فیزیکی منابع پرتو تحت مسئولیت خود کاملاً آشنا باشد.

• در هنگام مواجهه با سوانح رادیوگرافی، باید بلافاصله اندازه گیری های لازم برای کنترل و محدود کردن سانحه انجام پذیرد و یا در صورت عدم امکان برقراری وضعیت ایمن، باید بلافاصله اقدام به تخلیه افراد از محیط نمود. پرتونگار باید بلافاصله موضوع بروز سانحه را به اطلاع مسئول فیزیک بهداشت کل و دارنده پروانه برساند.

ج- مسئولیت ها و وظایف مسئول فیزیک بهداشت کل

• باید اطمینان حاصل نماید که پرتونگاران در طول عملیات رادیوگرافی یا نگاهداری منابع پرتو،

تعمیر تجهیزات، نقل و انتقال منابع پرتو مجهز به وسائل مونیتورینگ فردی و محیطی مناسب و نیز دزیمتر فردی TLD می باشند.

• آموزش نحوه استفاده از تجهیزات رادیوگرافی به پرتوکاران و نیز آموزش عملیات رادیوگرافی ایمن براساس دستورالعمل حفاظت و ایمنی به آنان.

• در رابطه با مونیتورینگ فردی و محیطی باید موارد زیر را انجام دهد.

✓ تهیه وسائل مونیتورینگ فردی و محیطی مورد نیاز پرتوکاران.

✓ بررسی و اطمینان از صحت و عملکرد دزیمترها.

✓ برنامه ریزی جهت کالیبراسیون دزیمترهای قلمی و محیطی بر حسب ضوابط واحد قانونی.

✓ کنترل دامنه قابل اندازه گیری دزیمترها و مناسب بودن آن با توجه به نوع کار و ضوابط واحد قانونی.

• مسئول فیزیک بهداشت کل باید از تخصیص دزیمترهای TLD به پرتوکاران و نیز استفاده صحیح آنها توسط آنان اطمینان حاصل نماید و نیز اطمینان داشته باشد که نتایج پرتوگیری پرتوکاران ثبت و نگاهداری می گردد. مسئول فیزیک بهداشت کل باید در مورد نحوه استفاده از وسائل مونیتورینگ و ثبت نتایج از دستورالعمل های واحد قانونی پیروی نماید.

• اطمینان از ارزیابی نتایج دزیمترهای قلمی بلافاصله پس از استفاده و ثبت و نگاهداری نتایج پرتوگیری.

• باید اطمینان یابد که هرگونه پرتوگیری بیشتر از ۴ میلی سیورت در خلال عملیات رادیوگرافی و یا هرگونه پرتوگیری غیرعادی دزیمترهای پرتوکاران سریعاً مورد ارزیابی واقع شده و در صورت عودت دزیمترها به یک مرکز سرویس دهنده، باید از شرایط و وضعیت پرتوگیری مرکز سرویس دهنده را مطلع نماید.

• انجام اندازه گیری محیطی به دفعات توصیه شده و در مکانها و نقاط توصیه شده توسط واحد قانونی. تا از ایمنی عملیات رادیوگرافی تحت مسئولیت خود اطمینان حاصل نماید.

• اطمینان از انجام بازرسی و کنترل دوره ای تجهیزات ذیل:

وسائل مونیتورینگ فردی، دزیمترهای محیطی، کانتینرهای حاوی چشمه، مکانیزم کنترل چشمه، چراغ های چشمک زن، دستگاه های اشعه ایکس، قفل های ایمنی، وسائل مونیتورینگ تعبیه شده در اتاق رادیوگرافی و اتاقک موقت رادیوگرافی و کنترل سایر تجهیزات مورد استفاده برای انجام عملیات رادیوگرافی ایمن.

• حصول اطمینان از انجام موارد ذیل:

✓ نقل و انتقال دوربین های رادیوگرافی و دستگاه های اشعه ایکس به نحو ایمن انجام می گیرد و در دفترچه نقل و انتقال منابع پرتو ثبت و نگاهداری می گردد.

✓ یک نسخه از گزارش محل استقرار چشمه های رادیوگرافی صنعتی باید در هر لحظه در انبار محل نگاهداری منابع پرتو موجود باشد. برای این منظور می توان جدولی در محل انبار نگاهداری منابع پرتو نصب گردد که در آن محل فعلی چشمه ها، تاریخ انتقال از انبار و فرد تحویل گیرنده در آن درج گردد.

• اطمینان از آنکه انبار محل نگاهداری منابع پرتو مناسب می باشد.

• باید با انجام مونیتورینگ دوره ای از انبارداری صحیح منابع پرتو اطمینان حاصل نماید و یقین پیدا کند، چشمه ها در محل کاملاً حفاظت شده نگاهداری می گردد و هیچگاه مقدار آهنگ دز از ۲۵ میکروسیورت در ساعت بیشتر نمی شود.

د- مسئولیت‌ها و وظایف شخص مسئول

• دارنده پروانه موظف است اختیار مسئولیت های زیررا در ارتباط با امور رادیوگرافی صنعتی به شخص مسئول محول نماید و مسئولیت اقدامات وی را بپذیرد.

• مسئولیت کلیه منابع پرتو تحت اختیار دارنده پروانه

• تصمیم گیری جهت اجرای عملیات رادیوگرافی

• برنامه ریزی و تائید روش های اجرائی عملیات رادیوگرافی

• برنامه ریزی و تصمیم گیری جهت انتخاب منابع پرتو، تجهیزات و اعضاء تیم رادیوگرافی سیاستگزاری و برنامه‌ریزی جهت آموزش های عملی وتئوری رادیوگرافی به پرتونگاران صدور مجوز به پرتونگاران جهت انجام عملیات پرتونگاری.

• جهت هرگونه اقدام در ارتباط با خرید یا فروش، رهن، اجاره، تملک، واگذاری، پیمانکاری، جابجائی، حمل و نقل و نگاهداری و بهره برداری هر نوع منبع پرتو، در ارتباط با فعالیت های دارنده پرتو، باید با نظارت شخص مسئول و درخواست کتبی اعضاء دارای حق امضاء اوراق تعهدآور نسبت به اخذ مجوزهای لازم اقدام گردد.

• استفاده از پرتوکاران واجد صلاحیت و مورد تائید واحد قانونی.

• شخص مسئول باید تمهیدات لازم را به منظور جلوگیری از مفقود شدن و یا سرقت رفتن منابع پرتو تحت اختیار دارنده پروانه یا بکارگیری غیر مجاز منابع مزبور به عمل آورد.

وظایف و مسئولیت ها درکاربرد سنجشگرهای پرتوی

الف- مسئولیت های دارنده پروانه

کسی که سنجشگر را مورد استفاده قرار می دهد باید الزامات زیر را به جای آورد.

• قبل از نصب سنجشگر، واحد قانونی را از جزییات طرح و نقشه نصب تجهیزات یا تأسیساتی که سنجشگر بر روی آن نصب می شود مطلع نماید. این نقشه باید نشان دهنده وضعیت مکانی تأسیسات و تجهیزات با توجه به نواحی مورد اشغال (از نظر وجود افراد) باشد.

• قبل از اولین استفاده از سنجشگر و در فواصل مختلف زمانی کمتر از دوازده ماه آزمایش های لازم جهت اطمینان از موارد زیر را به عمل آورد:

• آسیب دیدگی

• سالم و خوانا بودن برچسب ها مطابق با بندهای مربوط به ویژگی برچسب ها

• عملکرد صحیح شاتر یا مکانیسم کنترل چشمه

• اطمینان حاصل نماید که سنجشگر توسط افراد یا شرکت های دارای مجوز از واحد قانونی نصب می گردد.

• با توجه به فواصل زمانی مشخص شده توسط واحد قانونی نسبت به انجام آزمایش آلودگی سطح کانتینر اقدام نماید.

• اطمینان حاصل نماید که سنجشگر به صورت دوره ای مورد بازرسی و آزمایش قرار می گیرد و بدین ترتیب از عملکرد صحیح کلیه مکانیسم های کنترل مطمئن گردد. توجه خاصی باید به عملکرد مکانیسم شاتر معطوف گردد.

• اطمینان حاصل نماید که سنجشگرهای نصب شده بر روی نقاله در خط تولید به نحوی عمل می نمایند که با قطع حرکت نقاله شاتر بسته می شود.

• اطمینان حاصل نماید که در صورت آسیب دیدگی کانیتنر چشمه و تغییر در الگوی پرتودهی تا بر طرف شدن آسیب دیدگی و تعمیر کانتینر چشمه و بدست آمدن نتایج مثبت آزمایش (از لحاظ عملکرد و حفاظ) از بکارگیری آن پرهیز می شود.

• اطمینان حاصل نماید که در صورت بروز خرابی در شاتر یا مکانیسم کنترل چشمه، به سرعت

تعمیر گردیده و سلامتی آنها با آزمایش های لازم تایید شود.

• نتایج آزمایش های انجام شده ثبت گردد.

• اطمینان حاصل نماید بعد از هرگونه سانحه ای نظیر آتش سوزی یا سرریز مذاب آزمایش های لازم برای اطمینان از عدم آسیب دیدگی کانتینر چشمه و عملکرد مناسب سنجشگر به عمل آید.

• اطمینان حاصل نماید که در کلیه عملیات سنجشگر، عملکرد کارگران ایمن و مطابق قواعد کاری باشد. باید اطمینان حاصل گردد که کلیه کارگران این قواعد را رعایت می نمایند.

• اطمینان حاصل نماید که دستورالعمل های اورژانس به نحوی طراحی شده است که کمترین میزان پرتوگیری افراد در صورت بروز سانحه محتمل باشد. چنین دستورالعمل هایی باید حاوی جزییات کامل برای مقابله با کلیه سوانح مورد انتظار باشد. اصول کلی این دستورالعمل باید به تایید واحد قانونی برسد.

• اطمینان حاصل نماید که پرتوگیری هر یک از افراد عادی در حد "هر چه کمتر موجه شدنی" نگهداشته شود و در هر صورت از حدود مشخص شده توسط واحد قانونی تجاوز ننماید.

• محدودیت های لازم برای جلوگیری از پرتوگیری اضافی ناشی از قرار گرفتن مقابل دسته پرتو اعمال گردد (با استفاده از حفاظت های فیزیکی یا قفل). به نحوی که هیچ یک از افراد بیش از حدود مشخص شده توسط واحد قانونی پرتوگیری ننمایند. اصل ALARA رعایت گردد.

• بازرسی از دستگاه های مونیتورینگ به صورت دوره ای انجام شده و تجهیزات مونیتورینگ پرتو و هرگونه تجهیزاتی که برای محدود کردن پرتوگیری بکار می آید را در شرایط مناسب نگهداری و مورد استفاده قرار دهد.

• اطمینان حاصل نماید که کارکنان به ویژه آنهایی که تازه به کار گرفته شده اند یا مجدداً به کار با پرتو مشغول شده اند با خطرات پرتوی مرتبط با سنجشگرهای پرتوی، دستورالعمل های حفاظتی کار با آنها، توجهات لازم جهت جلوگیری از بروز سوانح و آسیب های پرتوی آشنا شده اند.

• استفاده کننده باید اطمینان حاصل نماید که عمل توجیه کارگران و آموزش آنها در زمینه حفاظت در برابر اشعه در مقاطع مختلف زمانی تکرار گردد.

• بازرسی و نظارت بر کار کارکنان به منظور اطمینان از انجام ملزومات این مجموعه را به عمل آورد.

• از وضعیت مناسب علائم حفاظتی و مشخص شده مطابق این مجموعه اطمینان حاصل کند. به عنوان مثال اگر علامت از جنس فلز است دارای مقاومت کافی نسبت به خوردگی، گردوغبار و غیره بوده و شرایط مختلف این علائم باید همیشه در وضعیت واضح و خوانا نگهداری شود.

• تعداد و مکان هر یک از سنجشگرهای متعلق به شرکت را در یک پرونده مجزا ثبت کند.
• استفاده کننده باید نسبت به معرفی یک نفر به عنوان شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت اقدام نماید. شخصی که معرفی می شود باید دارای تخصص و دانش کافی باشد به نحوی که توانایی درک ضوابط این مجموعه را داشـــته و بتواند وظایف محوله در چارچوب مســـئولیت های قانونی را انجام دهد.
• اطمینان حاصل نمایدکه علائم از لحاظ شـــکل و ابعاد مناســـب بوده و بر روی سنجشگر به نحوی مناسبی نمایش داده شده است.
• اطمینان حاصل نماید که مسئول فیزیک بهداشت اندازه گیری ها، بررسی ها و ارزیابی های ایمنی لازم را انجام داده و گزارش های لازم ارائه شده توسط مسئول فیزیک بهداشت را نگهداری نماید.
• مسئول فیزیک بهداشت همواره باید در مرکز حضور داشته باشد.
• نزدیکترین آتش نشانی به محل را از مکان کلیه چشمه های پرتوزا و تحت کنترل مطلع نماید.

ب- مسئولیت های مسئول فیزیک بهداشت

مسئول فیزیک بهداشت باید:
• اطمینـــان حاصل نماید که طـــی مراحل مختلف نصب، جابجایی، جمـــع آوری، نگهداری، تعمیر، نصب مجدد و انتقال محل سنجشگر، هر یک از کارکنان که ممکن است در معرض پرتو قرار گیرند مجهز به تجهیزات مونیتورینگ فردی خاص خود باشند.
• در دوره های آموزش حفاظت در برابر اشـــعه و دوره های بازآموزی مربوطه در مراکز مورد تایید واحد قانونی شرکت نموده و گواهی مربوطه را اخذ نماید.
• با ملزومات و قوانین کامل کار با سنجشگرهای پرتوی و روش های اورژانس، روش های مونیتورینگ پرتو و بکارگیری تجهیزات حفاظتی مشخص شده در این مجموعه به خوبی آشنا گردد.
• از در دســـترس بـــودن و عملکرد صحیح کلیـــه مونیتورهای پرتو و مونیتورهـــای فردی اطمینان حاصل نماید.
• کلیه تجهیزات مونیتورینگ فردی را که ممکن است مورد استفاده قرار گیرد، در اختیار کارکنان قرار داده و پس از استفاده جمع آوری نماید.
• اطمینان حاصل نماید که تجهیزات مونیتورینگ فردی پس از استفاده به واحد قانونی ارسال گردد.
• اطمینان حاصل نماید که هر فردی که بیش از ۱۰۰۰ میکروسیورت دز دریافت کرده یا مشکوک

به دریافت چنین دزی می باشد بلافاصله مورد ارزیابی قرار می گیرد. اطلاع از دریافت چنین دزی می تواند براساس نتایج ثبت شده توسط دزیمتر فردی شخص یا مفروضات شرایط پرتوگیری باشد. در صورتی که دزیمتر فردی چنین شـخصی برای ارزیابی به واحد قانونی ارسـال شود باید شرایط پرتوگیری فرد نیز به آن مرکز اطلاع داده شود.

- نسبت به تهیه دزیمتر محیطی مورد تایید واحد قانونی اقدام نماید.
- وظایف محوله در خصوص شرایط اورژانس و حمل و نقل را بجا آورد.

ج- مسئولیت های پرتوکاران

- هرگونه عیب جدی را که بر روی تجهیزات مشاهده کند یا احتمال دهدکه این عیب ممکن است منجر به پرتوگیری یا افزایش آهنگ دز گردد به مسئول فیزیک بهداشت گزارش نماید.
- با علائم و هشـدارها که در نواحی کار نمایش داده شـده اند آشـنا گردد و از آنها تبعیت نماید و کلیه دستورات لازم در رابطه با حفاظت و ایمنی خود و دیگران را رعایت نماید.
- از سهل انگاری و بی دقتی در حین انجام کار که منجر به بروز خطرات پرتوی برای او یا دیگران گردد پرهیز نماید.
- از تجهیزات و وسـایلی که به منظور ارزیابی پرتوگیری فردی توسـط واحد قانونی ارائه می گردد به نحو مناسب و مطابق با توصیه های واحد قانونی استفاده نماید.

وظایف و مسئولیت ها درکاربرد دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس

الف- مسئولیت های دارنده پروانه

- تمهیـدات لازم جهت حفاظت کارکنانی که احتمال می رود در معرض پرتوگیری قرار بگیرند، را فراهم نماید.
- اختیارات لازم را به شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت جهت نظارت بر فعالیت های پرتوی و تهیه تجهیزات لازم اعطاء نماید و بر عملکرد آنها نظارت کافی داشته باشد.
- اطمینـان حاصل نماید مسـئولیت کارکنان برای اجرای کلیه روش های ایمن کار با دسـتگاه و نگهداری تجهیزات مربوط به ایمنی پرتوی تعیین شده است.
- از تأمین تیوب اشـعه ایکس دستگاه های آنالیز مواد مطابق با معیارهای لازم در طراحی، ساخت و آزمایش و نگهداری آنها اطمینان حاصل نماید.

• برنامـــه مونیتورینـــگ پرتو جهت ارزیابـــی دز افراد را ارائه نماید. مونیتورینگ می تواند براســـاس دزیمتری محیطی، دزیمتری فردی و یا بررسی استانداردهای ایمنی دستگاه مربوطه انجام پذیرد.
• از به کارگیری دزیمتر محیطی متناســـب با انرژی منبع پرتـــو، به منظور اطمینان از پایین بودن سطح آهنگ پرتو در صورت کاربرد دستگاه های آنالیز متحرک، اطمینان حاصل نماید.
• از تهیه و اجرای دســـتورالعمل امنیت منابع پرتو که شـــامل کلیه تدابیر، تجهیزات و امکانات لازم به منظور تأمین امنیت منابع باشـــد اطمینان حاصل نماید. وجود این دستورالعمل در مراکز کاربرد دستگاه های XRF متحرک از اهمیت بالاتری برخوردار است.
• از اجرای برنامه های آموزشی مناسب برای پرتوکاران اطمینان حاصل نماید.
• از نصب برچسب ها و علائم هشدار دهنده اطمینان حاصل نماید.
• از اجرای برنامه منظم آزمایشات پزشکی پرتوکاران و آزمایش های بدو استخدام مطابق با آخرین دستورالعمل های واحد قانونی اطمینان حاصل نماید.
• اطمینان حاصل نماید کلیه اطلاعات مرتبط ثبت و بایگانی می گردند.
• از حضور و نظارت دائم مسئول فیزیک بهداشت اطمینان حاصل نماید.

ب- مسئولیت های مسئول فیزیک بهداشت

مسئول فیزیک بهداشت باید:
• قبل از اولین اســـتفاده از دســـتگاه اشـــعه ایکس و در فواصل مختلف زمانی کمتـــر از دوازده ماه آزمایش های لازم جهت اطمینان از موارد زیر را به عمل آورد:
الف- عدم وجود آسیب دیدگی،
ب- سالم و خوانا بودن برچسب ها،
ج- عملکرد صحیح شاتر.
• اطمینان حاصل نماید که در صورت خراب شـــدن شـــاتر، مورد به سرعت تعمیر و صحت کارکرد آن با آزمایش های لازم تایید می شود.
• اطمینان حاصل نماید بعد از وقوع هرگونه ســـانحه نظیر آتش سوزی، آزمایش های کنترل کیفی لازم برای اطمینان از عدم آســـیب دیدگی تیوب اشـــعه ایکس، کلیماتور و عملکرد مناســـب آن به عمل می آید.
• اطمینـــان حاصل نماید کـــه توجیه پرتوکاران و آموزش آنها در زمینه حفاظت در برابر اشـــعه در

مقاطع مختلف زمانی انجام شده و مرتباً به روز می گردد.

• بازرسی و نظارت بر کار پرتوکاران به منظور اطمینان از اجرای الزامات این مدرک را به عمل آورد.

• از وضعیت مناسب علائم حفاظتی و مشخص شده مطابق این مدرک اطمینان حاصل کند.

• با کلیه الزامات و قوانین کار با دستگاه و دستورالعمل ها و به کارگیری تجهیزات حفاظتی مشخص شده در این مدرک به خوبی آشنا گردد.

• در دوره های بازآموزی حفاظت در برابر اشعه و در مراکز مورد تایید واحد قانونی شرکت و گواهی مربوطه را اخذ نماید.

• اندازه گیری ها، بررسی ها و ارزیابی های ایمنی لازم را انجام دهد.

• محدودیت های لازم برای جلوگیری از پرتوگیری اضافی ناشی از قرار گرفتن مقابل پرتوهای ساطع شده را اعمال نماید، به نحوی که هیچ یک از افراد بیش از حدود مشخص شده توسط واحد قانونی پرتوگیری ننمایند.

• در صورت به کارگیری دزیمتر فردی یا محیطی جهت مونیتورینگ پرتو، از عملکرد صحیح آنها اطمینان حاصل نماید و برنامه مونیتورینگ پرتوی تهیه نماید.

• برای انجام آزمایش های پزشکی پرتوکاران در فواصل زمانی مشخص در هر سال برنامه ریزی نماید.

ج- مسئولیت های شخص مسئول

• اطمینان حاصل نماید که پرتوگیری هر یک از افراد عادی در حد "هر چه کمترِ موجهِ قابل دستیابی" نگه داشته شود و در هر صورت از حدود مشخص شده توسط واحد قانونی تجاوز ننماید.

• اطمینان حاصل نماید که کارکنان به ویژه آنهایی که تازه به کار گرفته شده اند یا مجدداً به کار با پرتو مشغول شده اند با خطرات پرتوی مرتبط با دستگاه اشعه ایکس، دستورالعمل های حفاظتی کار با آنها، نکات لازم جهت جلوگیری از بروز سوانح و آسیب های پرتوی آشنا شده اند.

• اطمینان حاصل نماید که مسئول فیزیک بهداشت اندازه گیری ها، بررسی ها و ارزیابی های ایمنی لازم را انجام می دهد و گزارش های لازم ارائه شده توسط وی را نگهداری نماید.

• در دوره های بازآموزی آموزش حفاظت در برابر اشعه و در مراکز مورد تایید واحد قانونی شرکت و گواهی مربوطه را اخذ نماید.

مسئولیت های پرتوکاران

هر یک از پرتوکاران باید:

• هرگونه عیب جدی که بر روی تجهیزات مشاهده می کند یا احتمال می دهد که این عیب ممکن است منجر به پرتوگیری یا افزایش آهنگ دز گردد را به مسئول فیزیک بهداشت گزارش نماید.
• با علائم و هشـدارهایی که در نواحی کار نصب شـده اند آشنا گردد و از آنها تبعیت نماید و کلیه دستورات لازم در رابطه با حفاظت و ایمنی خود و دیگران را رعایت نماید.
• از سـهل انگاری و بی دقتی در حین انجام کار که می تواند منجر به بروز خطرات پرتوی برای او یا دیگران گردد، پرهیز نماید.
• در دوره های بازآموزی حفاظت در برابر اشعه و در مراکز مورد تایید واحد قانونی شرکت و گواهی مربوطه را اخذ نماید.
در اجرای صحیح برنامه مونیتورینگ، دستورالعمل های حفاظت و ایمنی، و انجام آزمایشات دوره ای پزشکی با مسئولین همکاری نماید.

۹-۲-۶ جابجایی پرتوکاران و تغییر شرایط کار

یکی از روش های کنترل پرتوگیری افراد، جابجایی پرتوکاران و تغییر شرایط کار آنهاست. این کار بـا توجه به میزان پرتوگیری دوره ای پرتوکار و حجم کار پرتوی انجام گرفته توسـط وی در دوره زمانی مربوطه انجام می پذیرد. باید در نظر داشت انتخاب پرتوکاران برای انجام یک فعالیت پرتوی از وظایف شـخص مسـئول مرکز می باشد. این کار با توجه به اخذ مشاوره لازم از فیزیک بهداشت صـورت می پذیرد. در واقع کسـی که به پرتوگیـری کلیه کارکنان در یک دوره زمانی مشـخص دسترسـی دارد مسئول فیزیک بهداشت است. مسـئول فیزیک بهداشت ضمن مقایسه پرتوگیری پرتوکاران و بررسـی علت افزایش پرتوگیری افراد دارای شرایط کاری یکسان در خصوص ضرورت جابجایی افراد تصمیم گیری می کند. بدیهی اسـت در صورت افزایش پرتوگیری کارکنان از حدود مشـخص شده در استانداردهای پایه حفاظت در برابر اشـعه ضروریست در خصوص ادامه فعالیت پرتوی ایشان و با استناد به تشخیص واحد قانونی، تصمیم گیری گردد.

۹-۳ روش های کنترل مسیر

۹-۳-۱ تعیین نواحی کار

الف- تعیین نواحی براساس ICRP

با توجه به امکان بالقوه پرتوگیری، ۲ ناحیه زیر در اطراف منبع پرتو تعیین می گردد:
۱- ناحیه کنترل شـده: هر ناحیه ای که در آن معیارهای حفاظتی ویژه و مقررات ایمنی به دلیل،

کنتـــرل پرتوگیری در شـــرایط عادی کار، جلوگیری از پخش آلودگـــی، جلوگیری یا محدود کردن پتانسیل پرتوگیری انجام گیرد و یا مورد نیاز باشد ناحیه کنترل شده نامیده می شود. آهنگ دز در این ناحیه کمتر از ۲ mSv/h و بیش از ۲۵ µSv/h اســت. در این ناحیه تنها افراد پرتوکار مجهز به تجهیزات حفاظتی و مونیتورینگ فردی می توانند حضور داشته باشند.

۲- ناحیه تحت نظارت: هر ناحیه خارج از ناحیه کنترل شـــده که بررســـی پرتوگیری شغلی در آن ضروری باشـــد، ناحیه تحت نظارت نامیده می شود. در این ناحیه معمولاً اجرای مقررات حفاظت و ایمنی و مونیتورینگ فردی برای کارکنان ضرورت ندارد.

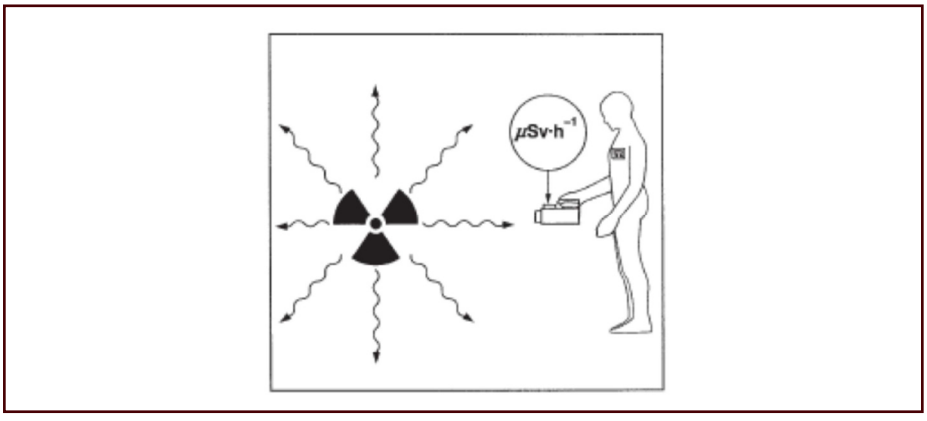
ب- دسته بندی مناطق کاری از دیدگاه اتحادیه اروپا

۱- هر پرتوکاری که پرتوگیری به میزان سه دهم دُز سالانه داشته باشد در گروه A قرار می گیرد، این پرتوکاران باید تحت کنترل باشـــند و به صورتی عمل شـــود مانند اینکه در منطقه کنترل کار می کند.

۲- سایر پرتوکارانی که این شرایط را ندارد در گروه B هستند و به مونیتورینگ فردی نیاز ندارند.

۹-۳-۲ مونیتورینگ محیطی

آگاهی از میزان آهنگ دز محیطی یکی از معیارهای حفاظت در برابر اشـــعه می باشـــد که حصول اطمینان از عدم تجاوز میزان پرتوگیری کارکنان از حدود دز مشـــخص شده در استانداردهای پایه حفاظت در برابر اشعه را ممکن می سازد.



شکل ۵۶- مونیتورینگ خارجی

مونیتورینگ محیطی کمک شـایانی به رعایت اصول حفاظت در برابر اشـعه و اصل حداقل موجه شـدنی می نماید. دارنده پروانه اشتغال، مسـئول ارزیابی پرتوگیری شغلی کارکنان براساس برنامه مونیتورینگ پیشنهادی می باشد.

اصول برنامه مونیتورینگ

دارنـده پروانه باید برنامه مونیتورینگ محل کار (فـردی و محیطی) را تهیه، اجرا و بازنگری نماید. این برنامه باید شامل موارد زیر باشد:

الف- امکان ارزیابی رادیولوژیکی در تمام نقاط محل کار.

ب- امکان ارزیابی پرتوگیری در نواحی کنترل شده و خارج از آن.

پ- امکان بررسی و تجدید نظر در طبقه بندی نواحی کنترل شده.

ت- کمیت های مورد اندازه گیری.

ث- زمان، محل و تعداد دفعات اندازه گیری.

ج- مناسب ترین روش های اندازه گیری و دستورالعمل آنها.

چ- مشخص نمودن آستانه های اقدام و بررسی و چگونگی انجام اقدامات لازم در صورت افزایش از آنها.

ح- کالیبراسیون دزیمترهای محیطی.

رعایت موارد زیر قبل از استفاده از دزیمتر محیطی الزامی است:

الف- تاریخ اعتبار کالیبراسیون دزیمتر محیطی بررسی و یک ماه قبل از انقضای اعتبار کالیبراسیون به مسئول فیزیک بهداشت گزارش گردد. مدت زمان کالیبراسیون نباید از یک سال تجاوز نماید.

ب- دزیمتر براسـاس دسـتورالعمل کارخانه سازنده روشن شـود و صحت عملکرد باتری دستگاه بررسی و در صورت وجود اشکال اقدام به تعویض آن گردد.

پ- همواره باتری یدکی به همراه باشد.

ث- دزیمتر توسط چشمه همراه آن و یا در یک میدان مشخص پرتو به لحاظ اطمینان از پاسخگویی دستگاه به میدان های پرتو کنترل گردد.

ث- از صحت عملکرد سیستم روشنایی دزیمتر در صورتی که چنین سیستمی در دستگاه پیش بینی شده باشد، اطمینان حاصل نموده و در غیر اینصورت همراه داشتن چراغ قوه ضروری است.

ج- از قرار دادن دستگاه در معرض عوامل محیطی نظیر باران، رطوبت و ... اجتناب گردد.

چ- دستگاه به گونه ای حمل شود که از ضربه خوردن و افتادن آن اجتناب گردد.

مشخصات دزیمتر محیطی

یک دزیمتر محیطی باید دارای شرایط زیر باشد:

• حداقل محدوده اندازه گیری از ۱ µSv/h تا ۱۰ mSv/h را داشته و عدم قطعیت در نمایش آهنگ دز پرتوهای گاما در میدان مشخص کمتر از ۲۵٪ باشد.

• متناسب با انرژی و نوع پرتو مورد کاربرد انتخاب شود.

• مجهز به هشدار دهنده ای باشد که پس از افزایش آهنگ دز به بیش از ۵۰۰ µSv/h، حداکثر صدای پیوسته قابل شنیدن را تولید نماید.

شکل ۵۷- انواع دزیمتر محیطی جهت سنجش پرتوهای گاما و بتا

• جهت مونیتورینگ محیطی دستگاه اشعه ایکس لازم است از دزیمترهای اتاقک یونیزاسیون استفاده نمود.

• جهت مونیتورینگ محیطی چشمه های نوترونی و تجهیزات و تاسیسات وابسته به آنها ضروری است از دزیمتر حساس به نوترون استفاده نمود.

شکل ۵۸- دزیمتر محیطی جهت سنجش نوترون

اماکن و تعداد دفعات مونیتورینگ محیطی

همـــواره باید از ایمن بودن محل حضور افراد، ســـالم بودن تجهیزات، کافی بودن حفاظ منابع پرتو، عدم آلودگی محیط به مواد پرتوزا، خاموشی دستگاه اشعه ایکس در شرایط عدم استفاده و به طور کل ایمن بودن محیط کار اطمینان حاصل نمود. بدیهی اســـت در شـــرایط سخت محیط کار امکان آســـیب دیدگی تجهیزات و کاهش ایمنی افزایش می یابـــد و نیاز به دوره های زمانی مونیتورینگ احساس می شود. این موضوع با توجه به منابع مختلف پرتو، کاربردهای متعدد و شرایط کار متنوع، موجـــب تغییـــر در زمان مونیتورینگ محیطـــی و تعداد دفعات این کار می گـــردد. اماکن و دفعات مونیتورینگ در کاربردهای مختلف به شرح ذیل می باشد:

- کنترل و اندازه گیری آهنگ دز در در محل نگهداری منابع پرتو.
- اندازه گیری آهنگ دز در در مرز ناحیه کنترل شده.
- اندازه گیری آهنگ دز در هنگام حمل و نقل مواد پرتوزا.

شکل ۵۹- مونیتورینگ پرتو در سطح وسیله نقلیه

- انـــدازه گیری آهنـــگ دز هنگام پرتودهـــی و در خاتمه پرتودهی یا هنگام تعمیر سنجشـــگرهای هسته ای

شکل ۶۰- مونیتورینگ پرتو هنگام تعمیر سنجشگر پرتوی

شکل ۶۱- مونیتورینگ پرتو پس از پایان پرتودهی به منظور اطمینان از بازگشت چشمه

• پرتونگار باید بعد از هر پرتودهی با اســتفاده از دزیمتر محیطی مطمئن شود که دستگاه خاموش شده است و مقدار kV بر روی جعبه کنترل روی کمترین مقدار تنظیم شده باشد.
• اندازه گیری پرتو نشــتی در ســطح دوربین، ســطح کانتینر حاوی چشمه، پشت حفاظ ها، محل اتصــال دیوارهــا بــا در و پنجره در اتــاق های پرتونگاری و یــا محل نگهداری منابــع پرتو، اطراف کانال های هواکش و فاضلاب این اتاق ها.

شکل ۶۲- مونیتورینگ پرتو نشتی در سطح دوربین پرتوگاری صنعتی

شکل ۶۳- مونیتورینگ پرتو نشتی پشت در اتاق های پرتونگاری

• اندازه گیری پرتونشتی در سطح کانتینر حاوی چشمه.

شکل ۶۴- مونیتورینگ پرتو نشتی در سطح کانتینر سطح سنج پرتوی

• اندازه گیری آهنگ دز در هنگام برداشـــتن یا برگرداندن دوربین پرتونگاری صنعتی به انبار محل نگاهداری.

• اندازه گیری آهنگ دز در پشت پاراوان ها و محل کار اعضای تیم پرتونگاری.

شکل ۶۵- اندازه گیری آهنگ دز در محل کار اعضای تیم پرتونگاری

• برآورد پرتوگیری کارکنان غیر پرتوکار
• برآورد پرتوگیری افراد عادی در شرایط سانحه
• بازیابی چشمه پرتوزا در عملیات رفع سانحه
• استفاده از دستگاه کنترل آلودگی سطحی به مواد پرتوزا قبل از ورود به اتاق پرتونگاری که دستگاه پرتوساز آن خاموش است (به دلیل احتمال فعالسازی با نوترون در دستگاههای شتاب دهنده)
• اندازه گیری و کنترل پرتوهای پراکنده ناشی از برخورد پرتوهای اولیه با هوا.
• مونیتورینگ دستگاه آنالایزر مواد با اشعه ایکس فلورسانس در زمان نصب دستگاه، پس از تعویض تیوب، پس از هرگونه اصلاح یا دوباره سازی اجزا حفاظ، در صورت پرتوگیری افراد یا مشکوک بودن به پرتوگیری، بعد از هر دوره طولانی استفاده نکردن از دستگاه.
• مونیتورینگ دستگاه آنالایزر مواد با اشعه ایکس فلورسانس در زمان بهره برداری، این اندازه گیری پرتوها در حالتی که تیوب دستگاه آنالیز مواد با اشعه ایکس در ماکزیمم ولتاژ و ماکزیمم جریان قرار دارد علی رغم وجود فیلتر ذاتی و بدون استفاده از فیلتر پرتوهای اولیه انجام پذیرد.
• مونیتورینگ دوره ای هر دستگاه آنالیز مواد با اشعه ایکس بایستی براساس یک برنامه منظم انجام پذیرد. دوره تناوب این مونیتورینگ نباید از آنچه در زیر آمده است کمتر باشد.

دوره تناوب مونیتورینگ	نوع دستگاه
فصلی	حفاظ سازی شده
ماهیانه	قسمتی حفاظ سازی شده

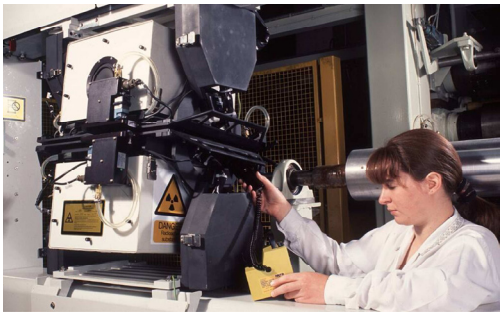
• همچنین بایستی حداقل هفته ای یکبار شرایط ایمنی دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس که قسمتی از آن حفاظ سازی شده در وضعیت های مخاطره آمیز، کنترل شود.
• با ثبت نتایج مونیتورینگ و بایگانی این نتایج و مقایسه آنها در بازه های زمانی مختلف می توان به اطلاعات مفیدی در خصوص شرایط ایمن محیط کار دست یافت.

آستانه های اقدام

همانگونه که در تعاریف ذکر شد آستانه اقدام مقداری است برحسب آهنگ دز که اگر از آن تجاوز شود باید اقدامات حفاظتی لازم جهت کاش آهنگ دز یا غلظت پرتوزایی انجام گیرد. آستانه های اقدام مهم در کاربردهای مختلف پرتوها در صنعت به شرح ذیل می باشند. بدیهی است هرگونه مغایرتی با این آستانه ها مستلزم بررسی و اعمال روش های سریع و مطمئن به منظور کاهش

آهنگ دز به پایین تر از آستانه های اقدام می باشد. ابزار مناسب جهت ارزیابی شرایط محیطی با آستانه های اقدام دزیمتر محیطی است. لازم به ذکر هر یک از پرتوکاران به محض برخورد با شرایطی بیش از آستانه های اقدام لازم است سریعاً نسبت به تغییر شرایط اقدام گردد.

- آستانه اقدام برای سطح دوربین پرتونگاری صنعتی mSv/hr ۲ و در ۵ سانتی متری از سطح دوربین µSv/h ۵۰۰ و در ۱ متری دوربین µSv/h ۲۰.
- آستانه اقدام در محل سرنشین در اتومبیل حمل کانتینر حاوی چشمه یا دوربین پرتونگاری صنعتی µSv/h ۲۰.
- آهنگ دز در سطح درب چاهک نگهداری کانتینر حاوی چشمه یا دوربین پرتونگاری صنعتی برابر µSv/h ۲۵.
- آهنگ دز در فاصله ۵ سانتی متری هر نقطه قابل دسترسی از سطح قسمت حفاظ سازی شده دستگاه آنالیز مواد با اشعه ایکس برابر µSv/h ۲۵.
- آهنگ دز در پنج سانتی متری هر نقطه از سطح محفظه تیوب دستگاه آنالیز مواد با اشعه ایکس در هنگام بسته بودن شکاف‌ها (روزنه‌ها) برابر µSv/h ۲۵.
- شاترهای خروجی پرتو در تیوب اشعه ایکس باید به گونه ای طراحی و ساخته شوند که آهنگ دز پرتوهای نشتی و پراکنده در هر نقطه و در فاصله ۵ سانتی متری از شاتر از µSv/h ۲۵ تجاوز ننماید.
- وقتی کانتینر حاوی چشمه پرتوزا با حداکثر پرتوزایی مجاز آن بارگذاری شود، آهنگ دز نباید در هیچ نقطه ای به فاصله ۵ سانتیمتر از سطح خارجی آن بیشتر از µSv/h ۵۰۰ و در هیچ نقطه ای به فاصله یک متر از µSv/h ۱۰ تجاوز کند. برآورد مقدار مذکور باید در وضعیت قطع پرتودهی انجام گیرد.



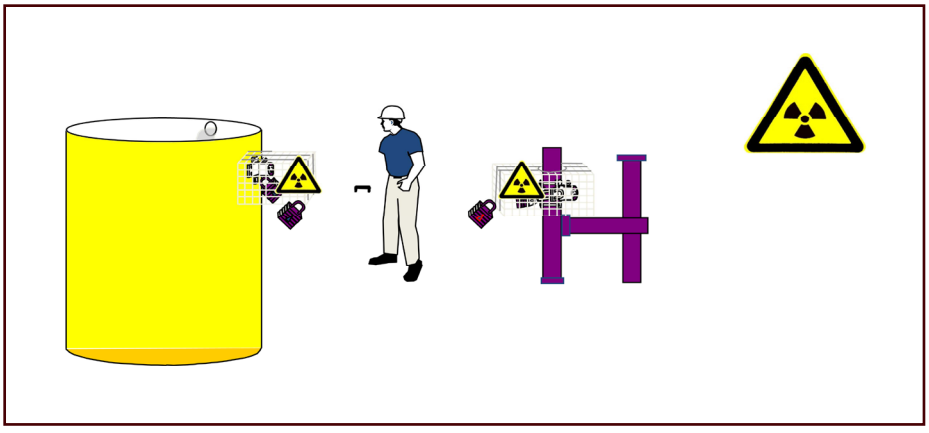
شکل ۶۶- حداکثر آهنگ دز نباید در فاصله ۵ سانتیمتر از سطح خارجی کانتینر بیشتر از µSv/h ۵۰۰ باشد.

• آهنگ دز در مرز ناحیه کنترل شده برابر $\mu Sv/h$ ۲۵.

۹-۳-۳ بکارگیری علائم ایمنی

براســاس قوانین تعریف شــده تمامی بسته های حاوی مواد پرتوزا، وسایل انتقال مواد پرتوزا، منابع مولــد پرتــو و نواحی حــاوی مواد پرتوزا در مجموعه باید مشــخص و از اصــول نصب علائم ایمنی رادیولوژیکی تبعیت کنند. تعیین خطر، ارزیابی ریســک و پایــش های کنترلی مجموعه ای منظم درکنار هم هســتند و اســتفاده از علامت ایمنی به عنوان بخشی از پایش های کنترلی می تواند به ایجاد محیط ایمن کمک کند. قبل از نصب علامت ایمنی باید مخاطرات و ریسک های همراه با این مخاطرات مشخص گردد. پس از شناسایی خطر، راههای کنترلی در نظر گرفته می شود. در مرحله اول به حذف خطر باید فکر شود و در مرحله دوم می توان از تماس افراد با خطر ممانعت کرد. در صورتی که انجام این مراحل امکان پذیر نباشد باید از علامت ایمنی استفاده کرد.

علائــم ایمنــی رادیولوژیکــی از برخی اصول کلی طراحــی علائم ایمنی در حالــت عمومی تبعیت می کنــد. بــرای نمونه یک علامت ایمنی رادیولوژیکی از ۳ قســمت کلمه اعلان، پیام نوشــتاری و پیام تصویری تشــکیل شــده و به صورتهای مختلف تکمیلی، ترکیبی و چندگانه مورد استفاده قرار می گیرد. رنگ های بکار رفته در علامت ایمنی، نوع کلمات اعلان، پیام های تصویری و نوشــتاری تفــاوت هایــی با طراحی علائم ایمنی در حالت عمومی دارد. با توجه به اینکه منابع مولد پرتو به ۲ گروه یونساز و غیر یونساز تقسیم می شوند، علائم ایمنی طراحی شده برای آنها متفاوت می باشد.



شکل ۶۷- به کارگیری علائم ایمنی

انواع علائم ایمنی

اتیکت

اتیکت از ورقه کاغذی، پلاســتیکی یا مقوا و یک ســیم یا نخ برای اتصال آن تشــکیل شــده است. از اتیکت ها بیشــتر جهت ارائه اطلاعات در خصوص منابع پرتوزا اســتفاده می شود. اتیکت ایمنی عموماً به صورت قلاب آویزان می شــود. اتیکت با توجه به فرایند مربوطه می تواند شامل اطلاعات کاملی باشد.

شکل ۶۸- اتیکت ایمنی پرتوی

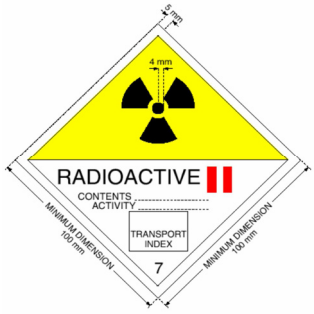
نوار ایمنی

نوار ایمنی ورقه ای پلاســتیکی یا کاغذی است که برای نشان دادن شرایط خطرناک مورد استفاده قرار می گیرد. نوارهای ایمنی با توجه به کاربرد برای منطقه بندی خطر جهت هشدار پیرامون ورود به آن منطقه و به صورت نوارهای ایمنی برای بســته بندی منابع مولد پرتو بکار می روند. نوارهای ایمنی می تواند از هر ۳ قســمت کلمه اعلان، پیام نوشــتاری و پیام تصویری تشکیل شود. طراحی رنــگ زمینه بــرای نوارهای ایمنی باید به صورت زرد و تمامی کلماتی کــه بر روی زمینه زرد قرار می گیرند عموماً به رنگ سیاه یا ارغوانی می باشند.

شکل ۶۹- نوار ایمنی پرتوی

برچسب

برچسب ایمنی از ورقه پلاستیکی و یا کاغذی تشکیل شده و به منظور انتقال پیام های ایمنی پیرامون شرایط کار، تشخیص شرایط خطرناک و هشدار پیرامون مخاطرات مورد استفاده قرار می گیرد. برچسب های ایمنی عموماً از کلمه اعلان، پیام نوشتاری و پیام تصویری تشکیل شده اند. پیام نوشتاری با توجه به ماهیت کار با منابع مولد پرتو می تواند به صورت های مختلف باشد.



شکل ۷۰- نمونه ای از برچسب های ایمنی پرتوی

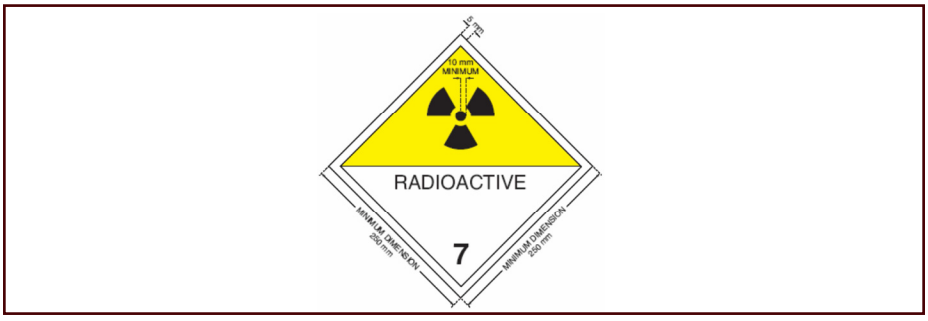
پلاکاردهای ایمنی

پلاکاردها برگه هایی پلاستیکی یا ورقه های فلزی می باشند که برای آگاهی پیرامون مخاطرات مواد رادیواکتیو مورد استفاده قرار می گیرند.

شرایط پلاکاردهای مورد استفاده در حمل و نقل مواد پرتوزا در ذیل ارائه گردیده است:

- استاندارد ساخت پلاکاردهای حمل و نقل مواد رادیواکتیو به صورت ۷۵/۱۰ می باشد.

- در پلاکاردهای حمل و نقل مواد رادیواکتیو عدد ۷ نباید کمتر از ۲۵ میلی متر ارتفاع داشته باشد.
- کلمه رادیواکتیو می تواند به صورت اختیاری در پلاکارد قرار گیرد.
- پلاکارد از نوع وینیل با چسبندگی دائم به آسانی بر روی سطوح نرم، تمیز و خشک می چسبد. لایه وینیل دارای ضخامت ۳/۵ میلی متر می باشد که با لایه آکریلیک پوشیده شده است. این پلاکارد باید در برابر پاک شدن در طول زمان مقاوم باشد.
- پلاکاردهای وینیل با چسبندگی قابل برداشت بر روی وسایل نقلیه قرار گرفته و پس از مدتی برداشته می شوند. قابل ذکر است گرافیک بر روی پلاکارد به صورت دیجیتال یا پوشش همراه با جوهر uv پرینت می شود. تصویر پرینت شده باید در برابر پاک شدن مقاوم باشد.
- پایداری پلاکارد در محیط های بیرونی در صورتی که به درستی نگهداری شود برابر ۳ تا ۵ سال است.
- پلاکاردهای حمل و نقل مواد رادیواکتیو در دامنه دمای ۴۰- درجه سانتی گراد تا ۸۲+ درجه سانتی گراد مورد استفاده قرار می گیرد. در ذیل شکل و اندازه پلاکارد مورد استفاده در
- کانتینرهای بزرگ و تانکرهای حمل مواد پرتوزا باید دارای پلاکارد مطابق با شکل باشند. رنگ زمینه برای پلاکاردهای باید به صورت سفید باشد و مثلث زرد در بخش بالایی قرار می گیرد. رنگ پیام تصویری و حروف چاپی باید به رنگ مشکی باشد.



شکل ۷۱- نمونه ای از پلاکاردهای ایمنی پرتوی

قسمت های مختلف یک علامت ایمنی کار با منابع مولد پرتو یونساز

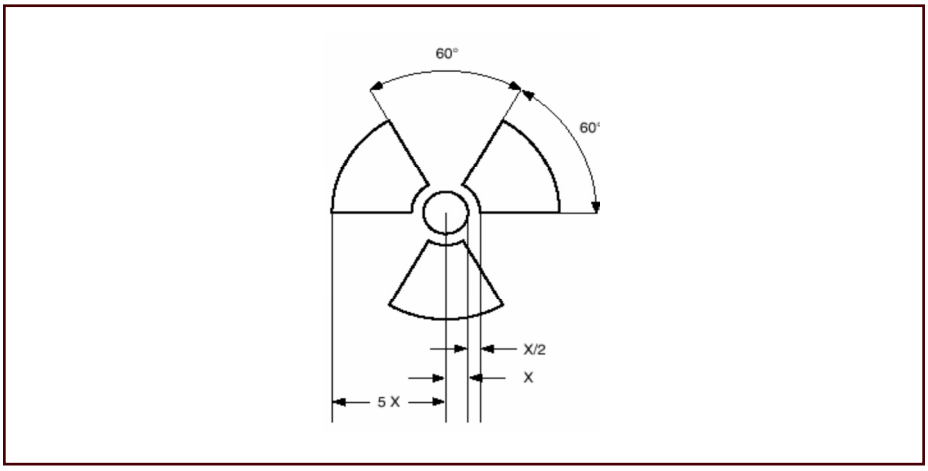
یک علامت ایمنی رادیولوژیکی همانند علامت ایمنی عمومی از ۳ قسمت کلمه اعلان، پیام تصویری و پیام نوشتاری تشکیل شده است.

کلمه اعلان

بـا توجـه به ماهیت کار با مواد رادیواکتیو عموماً از کلمه اعلان احتیاط، هشـدار و خطر اسـتفاده می شود.

پیام تصویری

پیام تصویری تشعشـع براسـاس رنگ سـیاه و ارغوانی در زمینه زرد تعریف شده است. این نشان تصویری متشکل از دوایر متحدالمرکزی می باشد که به ۶ مقطع یکسان تقسیم می شوند به طوری که ۳ قسـمت به رنگ نماد ایمنی و ۳ قسـمت به رنگ زمینه می باشـد. دایره مرکزی با شعاع X، شـعاع داخلی ۵/۱ و شـعاع خارجی ۵X برای تیغه ها تعریف می شـود که هر کدام از آنها با زاویه ۶۰ درجه از یکدیگر جدا می شوند.



شکل ۷۲- مشخصات پیام تصویری ایمنی پرتوی استاندارد

پیام نوشتاری

پیام نوشـتاری با توجه به شـرایط محیط کار و مخاطرات تعریف می گردد. همچنین ذکر معادل انگلیسی پیام ایمنی در کنار متن فارسی توصیه می شود.

همچنین در بسـیاری از علائم در بخش پیام نوشتاری می توان اطلاعاتی در خصوص ماهیت خطر (مانند نوع پرتو و شدت آن یا نوع ماده) و اطلاعات تماس اضطراری ذکر می گردد.

رنگ های مورد استفاده برای علائم ایمنی کار با منابع مولد پرتو یونساز

علائم ایمنی احتیاط، هشدار و خطر به منظور کنترل رادیولوژیکی ترکیبی از رنگ های زرد، ارغوانی و سیاه می باشد. رنگ ارغوانی و سیاه به عنوان رنگ اصلی برای پیام تصویری و پیام نوشتاری بکار می رود و از رنگ زرد به عنوان رنگ زمینه استفاده می شود. اطلاعات دقیق رنگ های مورد استفاده با توجه به ۲ نوع کد بندی در صنعت چاپ در جداول زیر ذکر گردیده است.

جدول ۶- مشخصات رنگ ها مورد استفاده در علائم ایمنی

مشخصات رنگ / رنگ	سیاه	ارغوانی	زرد
R	۰	۱۵۳	۲۴۷
G	۰	۲۶	۲۱۲
B	۰	۱۴۵	۲۳
مشخصات رنگ / رنگ	**سیاه**	**ارغوانی**	**زرد**
C	۷۵	۵۲	۸
M	۶۸	۱۰۰	۱۵
K	۶۷	۶	۹۴
Y	۹۰	۱	۰

علامت ایمنی جدید خطر تشعشع

این علامت توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی (IAEA) و سازمان بین المللی استاندارد (ISO) جهت جلوگیری از ایجاد حوادث جدی و مرگ طراحی شـده اسـت. قابل ذکر اسـت این علامت جهت کامل کردن علامت ایمنی گذشته طراحی شده است زیرا با توجه به مطالعات صورت گرفته میزان درک افراد از این علامت بیشـتر می باشد. گروههای آزمایش متفاوت شامل سنین مختلف، زمینه های تحصیلی متفاوت، زنان و مردان مورد بررسی قرار گرفته است تا درک پیام امینی مرتبط با آن یعنی "خطر، دور شوید" به وضوح برای همه قابل درک باشد.

همانطور که در شکل زیر دیده می شود پیام تصویری از ۳ قسمت تشکیل شده است نشان یا سمبل ایمنی رادیولوژیکی، اسـکلت که نشان دهنده مرگ می باشـد و انسانی که در حال فرار می باشد. علامت ایمنی جدید در مثلثی با اضلاع برابر قرار می گیرد. پیام تصویری به رنگ سـیاه بوده و در زمینه قرمز قرار می گیرد. حاشیه های مثلث به صورت سیاه می باشد.

شکل۷۳- علامت ایمنی پرتوی جدید

الزامات نصب علائم ایمنی

- نصب علائم ایمنی مرتبط با مواد رادیواکتیو باید به صورتی باشد تا وجود مواد پرتوزا را نشان داده و به افراد در کاهش پرتوگیری و ممانعت از انتشار آلودگی کمک کند.
- علائم باید به وضوح نصب شده و کلمات در آنها از قابلیت خواندن مناسبی برخوردار باشند، این کلمات ممکن است شامل دستورالعمل های کنترلی رادیولوژیکی نیز باشد. نصب علائم ایمنی باید تنها شرایط بالقوه یا واقعی را نشان دهد.
- نگهداری علائم ایمنی باید به درستی صورت گرفته و با توجه به بازرسی های موجود شرایط نصب بروز گردد.
- در صورتی که بیش از یک شرایط رادیولوژیکی (برای نمونه آلودگی و تشعشع زیاد) در یک محیط وجود داشته باشد هر کدام از شرایط باید به صورت مشخص بیان گردد.
- در فعالیت های در حال انجام، علائم ایمنی می تواند شامل میزان دز، سطح یا دامنه آلودگی بوده و یا در صورت لزوم به صورت ضمیمه به علائم ایمنی متصل شود.
- طناب، نوار، زنجیر و موانع مشابه که برای مرزبندی نواحی کار بکار می رود باید به رنگ های زرد با پیام نوشتاری ارغوانی یا سیاه باشد.
- موانع فیزیکی باید به صورتی قرار گیرد تا به وضوح از تمام جهات قابل دیدن باشند. این موانع باید به صورتی قرار گیرند تا از راه رفتن بر روی و زیر آن ممانعت به عمل آید.
- نصب علائم ایمنی بر روی درها باید به صورتی باشد تا در صورت باز یا بسته بودن درها از راه دور قابل مشاهده باشد.

کلیه وسایل و تجهیزاتی که کاربرد زیادی در زمینه جابجایی مواد و پسمان های رادیواکتیو و ..... دارند باید به وضوح و به صورت دائم برچسب گذاری شوند.

- تجهیزات و وسایل فوق نباید برای حمل و نقل مواد غیر رادیو اکتیو مورد استفاده قرار گیرند.

- در برخی از مواقع می توان از تجهیزات و وسایل معمول برای حمل و نقل مواد رادیواکتیو استفاده کرد. این تجهیزات باید به صورت موقت برچسب گذاری شوند. پس از استفاده باید اطمینان حاصل کرد که هیچ آلودگی بر روی آن باقی نمانده است.

- می توان از برچسب های با زمینه زرد و نماد تصویری سیاه بر روی تجهیزات استفاده کرد. قابل ذکر است این برچسب ها باید به آسانی بر روی وسایل نصب شده یا از روی آن برداشته شوند.

- علامت ایمنی می تواند در جلو، عقب و طرفین وسایل و تجهیزات نصب شود.

علامت ایمنی در حمل و نقل مواد رادیواکتیو به ۲ صورت پلاکارد و برچسب مورد استفاده قرار می گیرد.

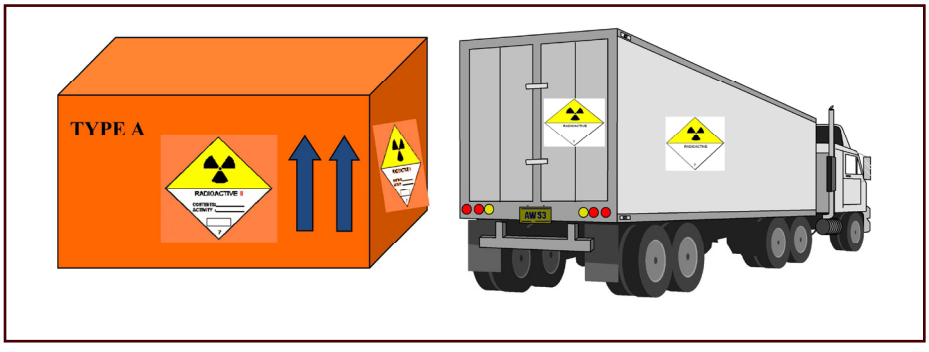
عموماً ۱ پلاکارد و ۴ برچسب در حمل و نقل مواد رادیواکتیو مورد استفاده قرار می گیرد.

- پلاکاردهای ایمنی حمل و نقل مواد پرتوزا بر روی منابع پرتوزا یا بر روی وسایل نقلیه مواد پرتوزا قرار می گیرد.

- هر پلاکاردی که مربوط به محتویات وسیله حمل و نقل یا حفاظ نباشد باید زدوده شود.

- پلاکاردها باید به صورت عمودی نسبت به هر یک از دیوارهای کناری و دیوارهای انتهایی کانتینر بزرگ حمل و یا تانکر نصب گردد.

- برچسب های حمل و نقل مواد رادیواکتیو باید در سطح خارجی ۲ طرف مقابل بسته یا در ۴ سطح خارجی کانتینر حمل یا تانکر چسبانده شود.



شکل ۷۴- نصب پلاکارد ایمنی در محموله های پرتوزا

۹-۳-۴ تدوین و بکارگیری دستورالعملهای حفاظت و ایمنی

۹-۳-۴-۱ دستورالعمل ایمنی در پرتونگاری صنعتی

الف- دستورالعمل حفاظت و ایمنی برای کار با دستگاه های رادیوگرافی در اتاق رادیوگرافی

ایمنی ذاتی یک اتاق رادیوگرافی، می تواند حفاظت نسبی مناسبی را برای کلیه افرادی که در خارج آن در هنگام پرتودهی قرار دارند با رعایت موارد و اصول زیر تأمین نماید:

۱- از سایت باید صرفاً برای منظوری که طراحی شده است استفاده شود، و آهنگ دز باید به طور دوره ای توسط پرتونگار اندازه گیری و مقدار آن در هر جای قابل دسترس سایت نباید از ۲۵ میکروسیورت بر ساعت تجاوز کند.

۲- پرتونگار قبل از شروع پرتودهی باید اطمینان حاصل کند که هیچ کس در داخل اتاق رادیوگرافی نباشد.

۳- کلیه درهای منتهی به اتاق رادیوگرافی باید در هنگام پرتودهی بسته باشد و یا مجهز به سیستم قفل ایمنی داخلی با سیستم هشدار دهنده صوتی یا نوری در خلال پرتودهی باشد.

۴- پرتونگاران و کمک پرتونگار در طول عملیات رادیوگرافی باید از دزیمتر فردی قرائت مستقیم، غیر مستقیم و هشدار دهنده استفاده نمایند.

۵- در انتهای هر پرتودهی، پرتونگار با استفاده از یک سروی متر باید اطمینان حاصل کند که دستگاه اشعه ایکس خاموش و یا چشمه مورد استفاده به داخل محفظه (کانتینر) برگشت داده شده است.

۶- پرتونگار باید براساس توصیه های آماده شده توسط مسئول فیزیک بهداشت اطمینان حاصل کند که آهنگ دز در مناطق اشغال شده توسط مردم (افراد عادی) از ۱ میلی سیورت در سال تجاوز نمی کند.

ب- دستورالعمل کار با دستگاه های رادیوگرافی در اتاقک موقت رادیوگرافی

۱- تیم پرتونگاری باید حداقل شامل دو نفر باشد که نفر دوم باید، بتواند سریعاً در مواقع ضروری درگیر کار شود، این فرد باید بتواند:

- اطمینان دهد که هیچ فرد دیگری در ناحیه با آهنگ دز بیشتر از ۲۵ میکروسیورت بر ساعت قرار نداشته باشد.

- از تجهیـزات کنترل چشـمه و یا هر وسـیله دیگـری جهت کنترل و به حالـت ایمن در آوردن تجهیزات رادیوگرافی استفاده کند.
- از دزیمتر محیطی برای تائید وضعیت کاری استفاده کند.
-گم شدن چشمه گاما رادیوگرافی را تشخیص دهد.
- هرگونه وضعیت اضطراری را بدون تأخیر به مسئول فیزیک بهداشت و دارنده پروانه اطلاع دهد.

۲- پرتونگار قبل از شـروع پرتودهی باید اطمینان حاصل کند که هیچ کس در داخل اتاقک موقت رادیوگرافی نباشد.

۳- کلیه دربهای منتهی به سایت باید در هنگام پرتودهی بسته باشد.

۴- آهنـگ دز باید به طور دوره ای توسـط پرتونگار اندازه گیری شـود، خصوصاً وقتی که شـکل و روش کار تغییـر کـرده باشـد و مقـدار آن در هر جای قابل دسـترس در خـارج اتاقک نباید از ۲۵ میکروسیورت بر ساعت تجاوز کند.

۵- از اشغال غیر ضروری نواحی نزدیک به اتاقک در هنگام پرتودهی اکیداً جلوگیری شود مگر آنکه اندازه گیری ها نشـان دهد که مقدار آهنگ دز قابل صرفنظرکردن اسـت.ودر حالت خاص نواحی بالای اتاقک باید در طول عملیات پرتودهی تحت نظارت باشد تا اطمینان حاصل شود که افراد در نواحی با آهنگ دز بیش از ۲۵ میکروسیورت در ساعت قرار نمی گیرند.

۶- پرتونگاران و کمک پرتونگار در طول عملیات رادیوگرافی باید از دزیمتر فردی قرائت مسـتقیم، غیر مستقیم و هشدار دهنده استفاده نمایند.

۷- در انتهای هر پرتودهی، پرتونگار با اسـتفاده از یک سـروی متر بایـد اطمینان حاصل کند که دسـتگاه اشـعه ایکس خاموش و یا چشمه مورد اسـتفاده به داخل محفظه (کانتینر) برگشت داده شده است.

۸- پرتونگار باید براسـاس توصیه های آماده شـده توسط مسئول فیزیک بهداشت اطمینان حاصل کند که آهنگ دز در مناطق اشـغال شـده توسـط مردم (افراد عادی) از ۱ میلی سیورت در سال تجاوز نمی کند.

ج- دستورالعمل کار با دستگاه های رادیوگرافی در سایت باز

• مشـخص نمودن سایت مورد نظر برای انجام عملیات رادیوگرافی و تخمین مقدار زمان مورد نیاز برای تکمیل کار.

• مشـــخص نمودن نوع، دوره و محل کلیه کارهای دیگری که باید در مجاورت ســـایت انجام شود و نقاط احتمالی جهت ورود به سایت.

• قبل از شروع پرتودهی، باید محدوده سایت مورد نظر به طور دقیق و واضح مرزبندی شود (شامل نواحـــی بالا و پائین محل پرتودهی در صورت نیاز)، بـــه طوریکه آهنگ دز در زمان پرتودهی نباید از ۲۵ میکروســـیورت در ســـاعت تجاوز کند. این موضوع باید توســـط پرتونگار به طور دوره ای و با اســـتفاده از یک دزیمتر محیطی کنترل شـــود. این مرز باید با علائم خطر اشعه علامت گذاری شود (نمونه علائم خطر اشـــعه در قسمت علائم ایمنی آمده است)، همچنین باید از چراغ هشدار دهنده به منظور نشان دادن خطر پرتوگیری ناشی از عملیات پرتودهی استفاده شود.

• بـــه منظور اطمینان از عدم ورود افراد به داخل ناحیه مرزبندی شـــده باید ناحیه مذکور در طول زمان پرتودهی تحت مراقبت باشد و همچنین توصیه می شود که از اشغال غیر ضروری در نواحی نزدیک به سایت در هنگام رادیوگرافی جلوگیری به عمل آید.

• پرتونگار باید براساس توصیه های ارائه شده توسط مسئول فیزیک بهداشت اطمینان حاصل کند که آهنگ دز در مناطق اشـــغال شده توســـط مردم (افراد عادی) از ۱ میلی سیورت در سال تجاوز نمی کند.

• منبع پرتو (چشمه و یا دستگاه اشعه ایکس) نباید در خارج از ناحیه مرزبندی شده مورد استفاده قرار گیرد.

• منطقه پرتودهی باید به وضوح از محل کنترل قابل رویت باشد، کنترل باید در محلی انجام پذیرد که از نظر ایمنی مناســـب بوده و حتی الامکان دور از موقعیت پرتودهی قرار داشـــته باشد، و میزان آهنگ دز در محل کنترل باید به طور منظم اندازه گیری شود.

• پرتونگار دوم، باید در طول عملیات رادیوگرافی حضور فعال داشته باشد و این فرد باید بتواند:

۱- اطمینان دهد که هیچ فرد دیگری در ناحیه با آهنگ دز بیشـــتر از ۲۵ میکروســـیورت بر ساعت قرار نداشته باشد.

۲- از تجهیزات کنترل چشـــمه و یا هر وســـیله دیگری جهت کنترل چشـــمه یا به حالت ایمن در آوردن تجهیزات رادیوگرافی استفاده کند.

۳- از دزیمتر محیطی برای تائید وضعیت کاری استفاده کند.

۴- گم شدن چشمه گاما رادیوگرافی را تشخیص دهد.

۵- هرگونه وضعیت اضطراری را بدون تأخیر به مسئول فیزیک بهداشت و دارنده پروانه اطلاع دهد.

• هر جا که عملی باشـد باید برای محدود کردن ابعاد دسـته پرتو اولیه به کمترین مقدار ممکن از کولیماتور استفاده شود.
• در صورت امکان باید دسته پرتو اولیه به سمت زمین باشد و در مواقعی که این روش امکان پذیر نیست می توان از حفاظ مناسب جهت محدود کردن پرتو استفاده نمود.
• تجهیزات رادیوگرافی و وسایلی که قرار است از آنها آزمایش به عمل آید، باید طوری تنظیم شوند که هر یک از تجهیزات آن، خصوصاً منبع پرتو (چشمه و یا دستگاه اشعه ایکس) باید وضعیتی ثابت داشته، به طوری که در طول عملیات پرتودهی امکان حرکت نداشته باشد.
• قبل از شروع پرتودهی باید پرتونگار بوسیله بازرسی اطمینان حاصل کند که هیچ کس در داخل ناحیه مرزبندی شده نباشد.
• شروع عملیات پرتودهی باید با ارسال علائم هشدار دهنده به افرادی که در فاصله قابل قبولی از محل پرتودهی قرار دارند اعلام گردد.
• پرتونگار و کمک پرتونگار در طول عملیات رادیوگرافی باید از دزیمتر فردی قرائت مسـتقیم، غیر مستقیم و هشدار دهنده استفاده نمایند.
• پرتونگار باید با اسـتفاده از یک دزیمتر محیطی به طور پیوسته میزان آهنگ دز را در محل خود را در خلال پرتودهی اندازه گیری نماید.
• فقط پرتونگاران باید وضعیت چشـمه و چگونگی اشغال سـایت را با نظارت پیوسته و درست در طول پرتودهی کنترل نماید.
• باید اطمینان حاصل شـود که در کلیه زمان ها افراد غیر مجاز امکان کار با تجهیزات رادیوگرافی را ندارند.
• تجهیزات رادیوگرافی صنعتی نباید هیچ وقت بدون توجه و نظارت رها شوند.
• در صورت عدم استفاده دستگاه در مدت زمان طولانی باید چشمه به محل انبار نگهداری مناسبی منتقل شود.
• قبـل از ترک سـایت، پرتونگار باید بوسـیله انجـام مونیتورینگ اطمینان حاصـل کند که کلیه چشمه های پرتوزا در داخل محفظه قرار گرفته و محفظه قفل شده باشد و یا دستگاه خاموش شده باشـد و چشـمه ها به داخل کانتینر یا وسیله حمل و نقل برگشت داده شـده باشد. پرتونگار باید اطمینان حاصل کند که کلیه تجهیزات مشخص کننده مرز سایت برداشته شده است.

۹-۳-۴-۲ دستورالعمل کار با سنجشگرهای پرتوی

- تنها افراد آموزش دیده و واجد صلاحیت مجاز به کار با منابع پرتوزا هستند.
- بررسی راهکارهای ایمنی قبل از شروع به کار الزامی است.
- قبل از شروع به کار تجهیزات حفاظتی باید تأمین و در شرایط کار باید مورد استفاده قرار گیرد.
- آهنگ دز نشـــتی کانتینر و محل نگهداری چشمه ها در دوره های زمانی مشخص اندازه گیری و ثبت گردد.
- مرز نواحی مشخص گردد.
- ناحیه کنترل علامت گذاری شود.
- ناحیه کنترل شده با کمک موانع فیزیکی مشخص گردد.
- چشمه ها در صورت عدم استفاده موقت در چاله سورس یا انبار مناسب نگهداری شوند.
- کلید این محل در اختیار فرد واجد شرایط و صلاحیت قرار گیرد.
- قبل از جابجایی منابع نام جابجا کننده و مقصد ثبت گردد.
- از دزیمتر فردی هنگام کار و نزدیک شدن به دستگاه استفاده گردد.
- برای دستگاههایی که به روش انتقالی کار می کنند از متوقف کننده استفاده شود.
- از حفاظ مناســب جهت کاهش آهنگ دز به کمتر از ۲۵ میکروســیورت در ساعت استفاده گردد. (یا به وسیله حفاظ کمکی)
- دریچه خروج پرتو در حالت سبز به معنای بسته بودن و در حالت قرمز با معنای باز بودن دریچه و خطر پرتوگیری است.
- این علائم باید واضح و قابل رویت باشد.
- به صورت دوره ای از عملکرد صحیح دریچه باید اطمینان حاصل نمود.
- قبل از تعمیر باید دریچه بسته باشد.
- منابع پرتو دارای یک پلاک واضح و خوانا شامل اطلاعات چشمه نظیر قدرت چشمه و نوع چشمه و شماره سریال، تاریخ بارگذاری باشد.

۹-۳-۴-۳ دستورالعمل کار با دستگاه‌های آنالیز مواد با اشعه ایکس

- تا زمانی‌که تمام علائم هشدار دهنده نوری درست عمل نکنند، نباید دستگاه روشن شود.
- نمونه مورد آنالیز یا کلیماتور نباید وقتی که باریکه اصلی از کلیماتور عبور می کند یا بر نمونه یا

بلـور فرود می آید تعویض یا تنظیم شـود، مگر آنکـه در طول تغییر یا تنظیم و بعد از آن، نمونه یا کلیماتور درون محفظه بسته حفاظ دار قرار داشته باشد یا تغییر و یا تنظیم در بیرون از محفظه و به صورت کنترل از راه دور انجام گیرد.

• کار با دسـتگاه نباید توسـط فرد بی تجربه انجام شـود مگر آنکه تحت نظارت مستقیم فرد واجد صلاحیت دیگری باشد.

• عمل تنظیم یا هم محورسـازی نباید وقتی که تیوب روشن است با چشم صورت گیرد، مگر آنکه از یک حفاظ مناسب برای جلوگیری از پرتوگیری با پرتوهای اولیه استفاده شود.

• هیچگاه نباید با غیر فعال کردن یا بازکردن قفل داخلی تیوب آن را روشن کرد، مگر آن‌که تیوب درون محفظه بسته اش بوده و شکاف ها پوشیده شده باشند.

• اگر دسـتگاه با غیر فعال کردن قفل داخلی یا باز کردن آن روشـن شـده باشـد باید موارد ذیل رعایت شوند:

الف- تعداد افرادی که هم محور سازی دوربین یا نمونه را در مسیر اشعه ایکس یا هرگونه تنظیمی را در زمان روشن بودن تیوب انجام می دهند باید به حداقل ممکن برسد.

ب- فـردی بـا تجربه کـه در عملیات شـرکت نمی کند باید بـر روش کار افراد نظارت داشـته و هشدارهای لازم را به آنان دهد.

ج- وقتی تیوب روشـن اسـت، باید توسط موانع فیزیکی از دسترسـی غیر ضروری سایرین به اتاق مربوطه جلوگیری شـود. علائم هشـدار دهنده "عملیات در حال انجام" در تمام ورودی های اتاق نصب شده باشد.

• تغییر، تعمیر و یا تنظیم شاترها و دیگر قسمت های دستگاه مانند محفظه لامپ اشعه ایکس، باید توسط افراد صلاحیت دار و پس از اطمینان کامل از خاموش بودن آن انجام شود.

• پس از سـرویس و یا تعمیر دسـتگاه، باید حفاظ های پرتوی به ویژه حفاظ اطراف تیوب اشـعه ایکس در جای خود قرار گیرد.

• تیوب وقتی خارج از محفظه تیوب باشـد، و وقتی حفاظ یا هیچگونه مانع حفاظتی جلوی شکاف نباشد نباید روشن شود.

• هنگام کار با آنالایزر قابل حمل به هیچ وجه نباید نمونه در دسـت قرار داشـته باشد، بلکه باید بر روی سـطحی مانند میز قرار گیرد. در صورتی که کاربر نمونه را در دسـت قرار داده و با دستگاهی با شرایط مثال بالا آزمایش ۲۰ ثانیه ای انجام دهد، دز انگشتان وی به ۱/۵ میلی سیورت می رسد

و در صورت تکرار این عمل برای هفته ای یک بار، دز دریافتی سالانه وی توجیه پذیر نمی باشد.

• از آنجا که اشـعه تولید شده، بدون کاهش شدت، قابلیت عبور از نمونه و میزی که نمونه بر روی آن قرار می گیرد دارد، لذا ضروری اسـت در زمان روشـن بودن آنالایزر قابل حمل، بدن فرد کاربر یا افراد دیگر در پشـت نمونه و در معرض اشـعه نباشد. همه افراد باید در بیشترین فاصلهٔ ممکن از دریچه خروجی دستگاه و در کمترین زمان ممکن حضور داشته باشند.

• با توجه به آنکه میزان کمی از پرتوهای ایکس تولید شده، به سمت عقب پراکنده می شوند لازم است دستان کاربر دور از بخش فوقانی دریچه آنالایزر قابل حمل نگداشته شود.

• هنـگام کار بـا آنالایزر قابل حمل، جهت محدود نمودن پرتوگیری افراد باید ناحیه کنترل شـده تعیین شده و محصور گردد.

• هرگز نباید در فضای خالی برای امتحان دسـتگاه آنالایزر قابل حمل، را روشـن کرد و حتی در صورتی که دستگاه خاموش است نباید دریچه آن به سمت کسی گرفته شود.

• برای افرادی که به صورت روزمره از دسـتگاه آنالایزر قابل حمل اسـتفاده می کنند، اسـتفاده از دزیمتر فردی غیرمستقیم (فیلم بج) توصیه می شود.

• با توجه به کاربرد دسـتگاه آنالایزر قابل حمل، امکان افتادن و آسیب دیدن دستگاه و لامپ های هشـدار دهنده آن (نشان دهنده باز بودن شاتر، روشـن بودن تیوب و ...) وجود دارد، بنابراین لازم است مسئول فیزیک بهداشت قبل از شروع عملیات از صحت کارکرد دستگاه و سالم بودن لامپ ها اطمینان حاصل نماید.

• هنگامـی کـه دسـتگاه آنالایزر قابل حمل مورد اسـتفاده قـرار نمی گیرد، جهـت جلوگیری از آسیب دیدگی، سرقت و یا دسترسی افراد غیر مجاز باید در مکانی امن و دارای قفل نگهداری گردد.

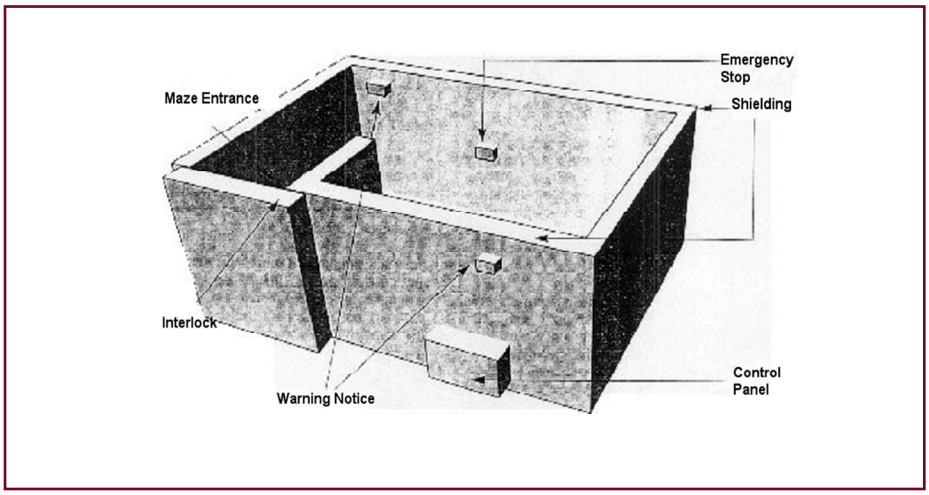
۹-۳-۵ حفاظ گذاری یا ایمن نمودن محیط کار

با توجه به شرایط کار و امکان دسترسی افراد مجاز به منابع پرتو، محیط های کاری به ۳ گروه باز، بسته و نیمه بسته تقسیم می شوند. محیط های کاری بسته و نیمه بسته باید حائز شرایط خاصی باشـند تا ایمنی افراد در خارج از محیط کاری تأمین گردد. جهت ایمن نمودن محیط های کاری بـاز اصولاً افزایش فاصله، مرزبندی و مشـخص نمودن حدود زمان کار و تا حد امکان کاهش زمان می تواند راه مناسـبی جهت تأمین حفاظت افراد خارج از محیط کاری باشـد. بدیهی است کار در محیط های کاری بسـته به دلیل ایمنی بیشـتر، دارای شـرایط مناسب تری نسبت به محیط های

کاری باز می باشد. محیط های کاری نیمه بسته حالت بینابینی را داشته و برای شرایطی که امکان جابجایی قطعات با جرثقیل وجود دارد، گزینه مناسبی می باشد.
رایج ترین شـــکل محیط های کاری بســـته، اتاق پرتونگاری صنعتی می باشـــد که در ادامه به ذکر مشخصات آن می پردازیم.

۹-۳-۵-۱ ضوابط اتاق رادیوگرافی

• یک اتاق رادیوگرافی به نحوی باید طراحی شـــود که کلیه پرتوهای مســـتقیم و پراکنده ناشـــی از عملیات رادیوگرافی را در محوطه کاملاً بســـته نگهداشـــته و کلیه عملیات از خارج از اتاق توســـط کنترل از راه دور قابل اجرا باشـــد. هنگام پرتودهی هیچ فردی نباید داخل اتاق رادیوگرافی حضور داشته باشد.



شکل ۷۵- شمای اتاق بسته پرتونگاری صنعتی

• اتاق رادیوگرافی باید به نحوی ســـاخته شـــود که، در شـــرایط بســـته بودن در یا مبادی ورودی، مجموعه دیواره ها، کف و سقف، یک محوطه کاملاً حفاظ بندی شده را ایجاد نماید.
• حفاظ ســـازی اتاق رادیوگرافی باید به نحوی باشد که تحت هیچ شرایطی هنگام پرتودهی آهنگ دز در فاصله ۵ سانتیمتری از هر دیواره قابل دسترس از ۲۵ میکروسیورت در ساعت بیشتر نباشد.

همچنین حفاظ و محل استقرار اتاق رادیوگرافی باید به نحوی باشد که پرتوگیری افراد عادی بیش از ۱ میلی سیورت در سال نباشد.

• اتاق رادیوگرافی باید با بکارگیری علائم هشـــدار دهنده به وضوح مشـــخص باشـــد. همچنین یک چراغ ایمنی باید فراهم شـــود به نحوی که هنگام پرتودهی روشـــن شده و از فاصله ۵ متری اتاق به وضوح قابل رویت باشد.

شکل ۷۶- به کارگیری چراغ ایمنی در خارج از اتاق پرتونگاری صنعتی

• قفـــل های داخلـــی باید در تمام مبادی ورودی اتاق رادیوگرافی به نحوی نصب شـــوند که هنگام پرتودهی در صورت باز شـــدن قفل داخلی، هشـــدار دهنده های صوتی و تصویری فعال شـــده و تا شروع مجدد دستگاه اشعه ایکس از محل میز کنترل، امکان شروع به کار مجدد دستگاه و پرتودهی وجود نداشته باشد.

شکل ۷۷- قفل داخلی در اتاق پرتونگاری صنعتی

• اتاق رادیوگرافی باید مجهز به تجهیزات هشـــدار دهنده صوتی و تصویری باشـــد به نحوی که در شـــرایط پرتودهی فعـــال گردند. همچنین باید مجهـــز به کلید قطع اضطراری باشـــد تا همزمان با فعال ســـازی یک هشـــدار دهنده، افرادی که در مواقع پرتودهی در اتاق مانده اند، با قطع پرتودهی امکان خروج از اتاق را داشـــته باشـــند بستن خروجی نباید منجر به قطع هشدار دهنده یا شروع به کار مجدد تیوب اشعه ایکس گردد.

شکل۷۸- در اتاق پرتونگاری صنعتی

• کلیه درزهای موجود در اتاق رادیوگرافی، بر روی درها و پانلها باید به نحو مناسبی پوشانده شده و هم پوشی داشته باشند تا امکان نشت پرتو پراکنده از اتاق وجود نداشته باشد. در شرایطی که از طراحی مارپیچ برای دسترســـی افراد اســـتفاده می شود، در یا حصار فیزیکی قابل قفل شدن همراه با قفل داخلی مناسب مطابق باید بکارگرفته شود.

• در صورت نیاز به عبور کابل یا کانال از میان دیوار یک اتاق رادیوگرافی جهت مصارف مختلف از جمله برق رســـانی یا خدمات دیگر، باید تدابیر لازم جهت جلوگیری از عبور مســـتقیم پرتو از منفذ ایجاد شده توسط کانال اتخاذ گردد، به نحوی که حفاظ دیواره آسیب نبیند.

۹-۳-۵-۲ ضوابط محیط های کاری نیمه بسته

• رایج ترین شکل محیط های کاری نیمه بسته اتاق های رادیوگرافی موقت می باشند. اتاقک موقت رادیوگرافی باید به نحوی طراحی شـود که کلیه پرتوهای مسـتقیم ناشی از عملیات رادیوگرافی را در اتاقک رادیوگرافی نگهداشته و پرتوهای پراکنده خارج از اتاقک را به مقدار قابل توجهی محدود نماید. اتاقک موقت رادیوگرافی معمولاً به صورت چهار دیواری بدون سـقف در یک سـاختمان یا محوطه بزرگ طراحی می گردد. البته در برخی شرایط یک دیواره برای انتقال قطعه مورد آزمایش باز گذاشـته می شـود ولی در هر صورت این اتاقک از نواحی اشغال شده باید به نحو مناسبی مجزا گـردد. کلیـه عملیات باید از خارج از اتاقک توسـط کنترل از راه دور قابل اجرا می باشـد. هنگام پرتودهی هیچ فردی نباید داخل اتاقک موقت رادیوگرافی حضور داشته باشد.

• یک اتاقک موقت رادیوگرافی باید به نحوی ساخته شود که دارای دیوارهایی از جنس حفاظ و به ارتفاع حداقل ۲/۲ متر بوده، به طوری که در شـرایط پرتودهی، آهنگ دز در فاصله ۵ سـانتیمتری از هر نقطه قابل دسـترس دیوار کمتر از ۲۵ میکروسـیورت در سـاعت باشـد. همچنین حفاظ و محـل اسـتقرار اتاقک موقـت رادیوگرافی باید به نحوی باشـد که پرتوگیری افـراد عادی بیش از ۱ میلی سیورت در سال نباشد.

• اتاقک موقت رادیوگرافی باید با بکارگیری علائم هشـدار دهنده در مبادی ورودی و اطراف سایت به وضوح مشخص باشد. همچنین یک چراغ هشدار دهنده (یا چراغهایی) باید فراهم شود به نحوی که هنگام پرتودهی روشن شده و از فاصله ۵ متری اتاق به وضوح قابل رویت باشد.

• در صـورت امکان قفل های داخلی باید در تمام مبادی ورودی اتاقک موقت رادیوگرافی به نحوی نصب شـوند که هنگام پرتودهی در صورت باز شـدن قفل داخلی، هشـدار دهنـده های صوتی و تصویری فعال شـده و تا شروع مجدد دستگاه اشعه ایکس از محل میز کنترل، امکان شروع به کار مجدد دستگاه و پرتودهی وجود نداشته باشد.

• اتاقک موقت رادیوگرافی باید مجهز به تجهیزات هشـدار دهنده صوتی و تصویری باشد به نحوی که در شـرایط پرتودهی فعال گردند و از هر دو طرف داخل و خارج محوطه قابل دیدن و شـنیدن باشند.

• یک اتاقک موقت رادیوگرافی باید مجهز به تجهیزات هشـدار دهنده صوتی و تصویری باشـد به نحوی که در شـرایط پرتودهی فعال گردند. همچنین باید مجهز به کلید قطع اضطراری باشـد تا همزمان با فعال سـازی یک هشدار دهنده، افرادی که در مواقع پرتودهی در اتاق مانده اند، بتوانند

با قطع پرتودهی امکان خروج از اتاق را داشـــته باشـــند. نباید بســـتن خروجی منجر به قطع هشدار دهنده یا شروع به کار مجدد تیوب اشعه ایکس گردد.

• در صـــورت امـــکان کلیه درزهای موجـــود در اتاق رادیوگرافی، بر روی درهـــا و پانلها باید به نحو مناســـبی پوشانده شـــده و هم پوشی داشته باشند تا امکان نشت پرتو پراکنده از اتاق وجود نداشته باشد. در شرایطی که از طراحی مارپیچ برای دسترسی افراد استفاده می شود، در یا حصار فیزیکی قابل قفل شدن همراه با قفل داخلی مناسب باید بکارگرفته شود.

• هنـــگام طراحـــی اتاقک موقـــت رادیوگرافی باید جهت محـــدود نمودن پرتوهـــای پراکنده که از قســـمتهای باز عبور نموده و به نواحی اشـــغال شده می رســـد توجه خاص مبذول داشت. به عنوان مثال، یک اتاقک موقت رادیوگرافی که از سمت بالا باز است نباید به نحوی استقرار یابد که پرتوهای پراکنده از سقف ساختمان یا اتاقی که در آن ساخته شده است بتواند خطر پرتوی در نواحی اشغال شده خارج از محوطه ایجاد نماید.

• در صورت نیاز به عبور کابل یا کانال از میان دیوار اتاقک موقت رادیوگرافی جهت مصارف مختلف از جمله برق رسانی یا خدمات دیگر، باید تدابیر لازم جهت جلوگیری از عبور مستقیم پرتو از منفذ ایجاد شده توسط کانال اتخاذ گردد، به نحوی که حفاظ دیواره آسیب نبیند.

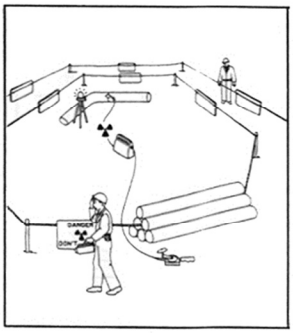
۹-۳-۵-۳ استقرار ایمنی در محیط های کاری باز

به دلایل اقتصادی، سادگی کار یا مشکلات عملی عمدتاً عملیات رادیوگرافی بدون هرگونه محوطه دارای حفاظ انجام می شـــود. به خصوص در شـــرایطی که لازم است از سازه های غیر قابل حرکت آزمون رادیوگرافی به عمل آید. در یک سایت باز باید به منظور جلوگیری از پرتوگیری غیر ضروری افراد و هر چه کمتر موجه شدنی پرتوگیری آنها برنامه ریزی دقیقی نمود.

• در صورت امکان ازکالیماتور برای محدود نمودن بیم پرتواستفاده گردد.

شکل ۷۹- کالیماتور یا محدود کننده پرتو

• عملیات رادیوگرافی در سایت باز باید توسط یک تیم شامل حداقل دو نفر پرتونگار انجام شود.
• اعضاء تیم رادیوگرافی در تمام مدت باید در محل حضور داشته باشند.
• اعضاء تیم رادیوگرافی باید پیش از شروع عملیات رادیوگرافی، مرزهای ناحیه کنترل شده (اطراف، بالا، پایین) را با موانع فیزیکی یا هر روش ممکن دیگر مشخص و مسدود نموده و بر روی مرز به تعداد کافی علامت استاندارد خطر اشعه که روی آن عبارت خطر پرتوگیری، ورود افراد متفرقه ممنوع نوشته شده باشد، نصب نمایند. فواصل این مرزبندی باید به نحوی محاسبه گردد که آهنگ دز بر روی مرزها از ۵۲ میکروسیورت در ساعت بیشتر نباشد.



شکل ۸۰- مرزبندی اطراف ناحیه پرتونگاری در سایت باز

• آهنگ دز واقعی بر روی مرزها در زمان پرتودهی و با استفاده از دزیمتر محیطی باید اندازه گیری شده و در صورت لزوم قبل از پرتودهی بعدی، باید مرزها تصحیح گردند.

شکل ۸۱- اندازه گیری آهنگ دز در مرز ناحیه کنترل شده

• امکانـات و تدابیـر لازم باید به نحوی پیش بینی گردد که پرتونگاران به سـهولت بتوانند از ورود افراد غیر مجاز به ناحیه کنترل شده جلوگیری به عمل آورند. اعضاء تیم رادیوگرافی همواره قبل از شروع به عملیات رادیوگرافی باید داخل ناحیه کنترل شده را کاملاً بازرسی نموده تا از عدم حضور افراد عادی در این ناحیه مطمئن گردند.

• در سـایتهایی که احتمال حضور افراد عادی زیاد است، نظیر کارخانه، معابر عمومی و سازه های چنـد طبقه، دارنده پروانه باید بـه تعداد کافی نیروهای کمکی جهت کنتـرل ورود افراد به ناحیه کنترل شده در اختیار اعضای تیم رادیوگرافی قرار دهد.

• کنترل از راه دور چشمه باید در محلی استقرار یابد که آهنگ دز تا حد امکان پایین باشد. هنگام پرتودهی اعضاء تیم رادیوگرافی باید به سرعت به مکانی که آهنگ دز از ۲۵ میکروسیورت در ساعت کمتر اسـت رفته و تا انتهای زمان پرتودهی در این محل باقی بمانند. در شرایطی که کنترل از راه دور در ناحیه اشغال شده قرار گرفته یا اعضاء تیم در زمان پرتودهی در کنار کنترل از راه دور قرار دارند، آهنگ دز باید مرتباً توسط دزیمتر محیطی کنترل گردد.

• اعضاء تیم رادیوگرافی باید در تمام مدت رادیوگرافی تردد افراد در ناحیه آزاد را به نحوی کنترل نماینـد کـه از توقف بی مورد و ورود ناگهانی آنها به ناحیه کنترل شـده جلوگیری نموده و قبل از ورود افراد غیر مجاز به ناحیه کنترل شده، پرتودهی قطع گردد.

• اعضـاء تیـم رادیوگرافی باید حدود ناحیه ممنوعه را با روش محاسـباتی تخمیـن زده و قبل از عملیات رادیوگرافی مرزهای آن را مشخص و در صورت امکان روی آن به تعداد لازم علامت خطر اشـعه که روی آن عبارت خطر پرتوگیری بالا، ورود افراد مطلقاً ممنوع نوشـته شـده باشد، نصب نماینـد. با توجه به بالا بودن آهنگ دز نباید مرزهـای ناحیه ممنوعه را در طول عملیات پرتودهی کنترل و یا اصلاح کرد.

۹-۳-۶ حمل و نقل ایمن مواد پرتوزا

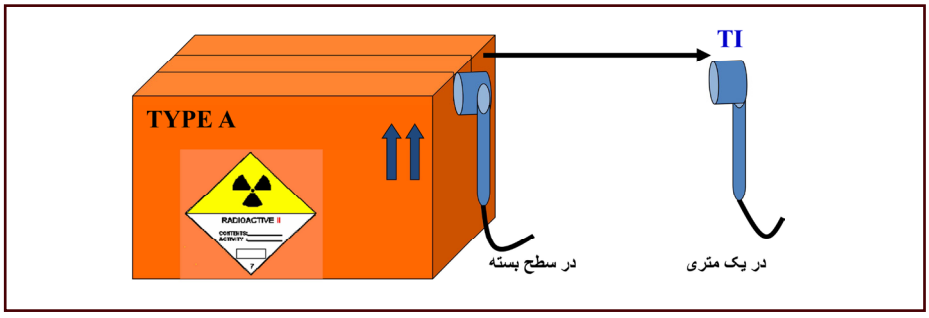
این بند برای هرگونه حمل و نقل سنجشـگرهای پرتوی در مسـافت های بین تهیه کننده اصلی، عامل فروش، مصرف کننده، شرکت نصب و نگهداری و یا هر سازمان دیگری به کار می رود. الزامات این بخش باید به طور دقیق مورد توجه قرار گیرد به طوری که حمل و نقل سنجشـگرهای پرتوی نباید خطری را برای افرادی که درگیر حمل و نقل هسـتند ایجاد کند. اینگونه افراد عموماً دارای اطلاعات بسیار کمی در رابطه با خطرات پرتوها هستند و نباید در معرض خطر ناشی از بسته بندی

نامناسب سنجشگرهای پرتوی قرار گیرند.

کلیه بسته های حاوی مواد پرتوزا لازم است دارای برچسب حمل باشند. یکی از مشخصات مندرج در برچسب حمل شاخص حمل یا TI می باشد.

شاخص حمل (TI) عددی است که برای یک بسته، بر طبق روش زیر تعیین می گردد:

شـــاخص حمل برابر با ماکزیمم آهنگ دز بر حســـب میلی سیورت بر ساعت (mSv/h) در فاصله یک متری از سطوح خارجی بسته، یا کانتینر حمل ضربدر عدد ۱۰۰ می باشد.



شکل ۸۲- نحوه اندازه گیری شاخص حمل (TI)

برچســـب حاوی اطلاعات میزان پرتوزایی و نوع رادیوایزوتوپ داخل بسته می باشد. نوع برچسب با توجه به حداکثر آهنگ دز در سطح بسته و حداکثر TI و با توجه به جدول زیر تعیین می گردد:

جدول ۷- حدود دز و شاخص انتقال در برچسب های حمل مواد پرتوزا

	SURFACE DOSE RATE	@ 1 M	TRANSPORT INDEX (TI)
	0.005 mSv/h	-	0
	0.5 mSv/h	0.01 mSv/h	≤ 1.0
	2 mSv/h	0.1 mSv/h	≤ 10.0

آمادگی برای حمل و نقل

الزامات زیر باید برآورده شود:

• مکانیسم کنترل چشمه یا شاتر در داخل کانتینر چشمه باید در وضعیت beam off قفل گردد.

• مسئول فیزیک بهداشت بوسیله مونیتورینگ مناسب باید مطمئن شود که پرتوی ناشی از سنجشگر بوسیله مکانیسم کنترل چشمه یا شاتر در وضعیت beam off به طور مناسب تضعیف شده و پرتودهی آن مطابق الگوی پرتودهی پیش بینی شده است.

• کانتینر چشمه باید در داخل یک بسته بندی بیرونی محکم و مناسب برای حمل آماده گردد. کانتینر باید در داخل این بسته بندی بیرونی، محکم و بدون حرکت نگاه داشته شود. (برای مثال کانتینرهای سنگین با استفاده از زنجیر و پیچ و مهره در داخل بسته بندی بیرونی ثابت شود).

• بسته بندی بیرونی باید دارای برچسب مناسب براساس استانداردهای حمل و نقل مواد پرتوزا باشد.

حمل و نقل

• دستگاه اشعه ایکس صرفاً وقتی که خاموش است باید جابجا یا انتقال یابد.

• در حین حمل و نقل چشمه های پرتوزا در وسیله نقلیه باید الزامات زیر رعایت گردد:

- بسته حاوی مواد پرتوزا باید طوری در وسیله نقلیه قرار داده شود که دز دریافتی در محل سرنشینان آن به حداقل ممکن برسد. آهنگ دز در محل سرنشین نباید از ۲۰ میکروسیورت بر ساعت تجاوز کند.

- بسته ها باید به گونه ای بارگیری گردند که در حوادثی که به طور معمول برای وسائل نقلیه اتفاق می افتد جابجا نگردند.

• جابجائی کانتینر حاوی چشمه در داخل مرکز استفاده کننده:

- باید قبل از هرگونه اقدام برای برداشتن کانتینر از روی تجهیزات ثابت کننده آن، مکانیسم کنترل چشمه یا شاتر کانتینر چشمه در وضعیت قطع پرتودهی قفل گردد.

- مسئول فیزیک بهداشت بوسیله مونیتورینگ مناسب باید مطمئن شود که پرتوی ناشی از سنجشگر بوسیله مکانیسم کنترل چشمه یا شاتر در وضعیت قطع پرتودهی به طور مناسب تضعیف شده و پرتودهی آن مطابق الگوی پیش بینی شده است.

- کانتینر حاوی چشمه باید به گونه ای با استفاده از وسائل بلند کردن و حمل مناسب از محل

نصب آن برداشته و در داخل تأسیسات حمل گردد که پرتوگیری افراد به هر چه کمتر موجه شدنی کاهش یابد.

• اقداماتی که باید در پی آسیب به کانتینر در حین حمل انجام شود:

- اگر کانتینر آسیب دیده یا به نظر می رسد که آسیب دیده باشد، الزامات زیر باید برآورده گردد:

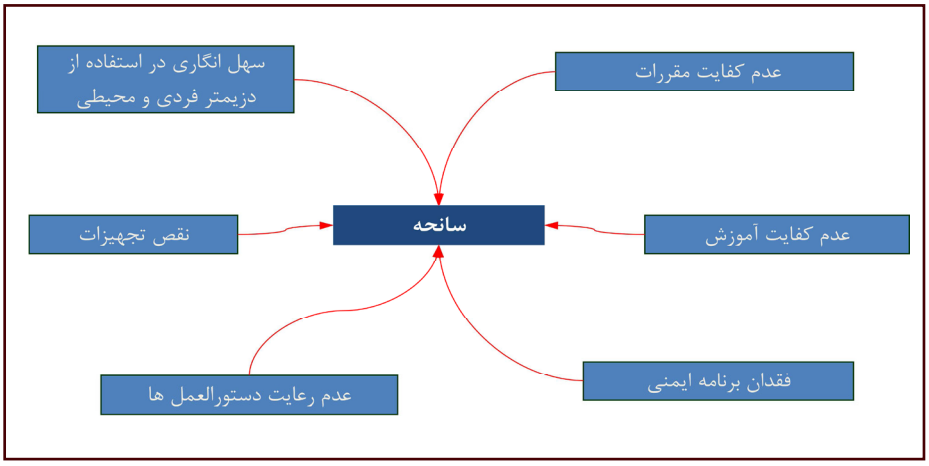
- شخص مسئول کانتینر در هنگام حادثه باید دارنده پروانه و واحد قانونی را آگاه سازد.

- دارنده پروانه باید مطمئن گردد که کانتینر چشـمه به دقت مورد آزمایش قرار گرفته و کماکان با الزامات این دسـتور العمل مطابقت دارد. در غیر این صورت باید تمام آسـیبهای وارده به کانتینر قبل از استفاده مجدد از آن رفع گردد.

۱۰– برنامه شرایط اضطراری

احتمال بروز سوانح پرتوی، در اثر نقص تجهیزات و دستگاهها، خطاهای انسانی، حوادث غیر مترقبه مانند سـیل، زلزله و حوادثی چون آتش سـوزی، تصادفات رانندگی، سـرقت و عملیات تروریستی افزایش می یابد.

عوامل موثر در بروز سانحه عبارتند از:



با توجه به شـرایط کار، صلاحیت علمی و فنی کارکنان و منابع پرتو مورد اسـتفاده، احتمال وقوع سـانحه و شدت خطر در کاربرد پرتونگاری صنعتی بیشتر از سایر کاربردهای منابع پرتو در صنعت می باشد.

از سال ۱۳۷۱ تا پایان سال ۱۳۹۱ حدود ۱۶۰ سانحه پرتوی در کاربرد پرتونگاری صنعتی ایران به واحد قانونی گزارش و ثبت شده است. پرتوگیری در برخی از این سوانح در حد بسیار کم بوده است.

- حدود ۳۰۰ نفر از پرتونگاران درگیر در رفع سانحه، پرتوگیری بیش از آستانه بررسی سالانه (۶میلی سیورت) داشته اند.
- پرتوگیری تعداد ۲۱ نفر از افراد درگیر به حدی بود که موجب بروز اثرات قطعی در آنان شده است.
- ۱۲ نفر غیر پرتوکار در نتیجه سوانح پرتوی، پرتوگیری داشته اند.

با توجه به نکات فوق الذکر، لازم است جهت پیشگیری، مقابله، و بازسازی این سوانح برنامه ریزی جدی به عمل آید. با توجه به گستردگی سوانح در پرتونگاری صنعتی، در ادامه اصول برنامه ریزی جهت مقابله با سوانح پرتوی در پرتونگاری صنعتی ارائه می گردد.

دستورالعمل آمادگی برای سوانح محتمل در عملیات پرتونگاری با چشمه پرتوزا

۱- ضوابط کلی برای آمادگی مقابله با سوانح به شرح زیر است:

- تهیه تجهیزات قبل از بروز سانحه
- کنترل صحت عملکرد تجهیزات و مونیتورها
- در صورتی که در هنگام سانحه، دزیمتر مناسب وجود نداشته باشد، با توجه به مشخصات چشمه باید مرز ناحیه کنترل شده مشخص و علامت گذاری شود، در این حالت اگر چشمه گم شده باشد هیچ اقدامی تا تهیه دزیمتر انجام نگیرد و اگر چشمه قابل رویت باشد به کمک محاسبات مرزها مشخص می شوند.

$$Rc(m)=14\times A^{1/2}$$

پرتوزایی چشمه برحسب کوری=A

شعاع ناحیه مرزبندی برحسب متر=Rc

- در هنگام بروز سانحه، اصول فاصله، حفاظ و کمترین زمان رعایت گردد و تحت هیچ شرایطی چشمه با دست لمس نشود.

۲- در صورت ملاحظه هرگونه حالت غیر عادی در هدایت چشمه به داخل دوربین و یا کانتینر اقدامات زیر به ترتیب انجام گیرد:

• تخلیه محل و ایجاد مرزبندی جدید، به طوری که آهنگ دز روی مرز از ۲۵ میکروسیورت بیشتر نباشد.

• علامت گذاری روی مرزها و نصب تابلو "خطر اشعه- ورود ممنوع"

• شناسایی افرادی که احتمال پرتوگیری دارند.

• اعلام به مسئول فیزیک بهداشت کل

• برنامه ریزی جهت رفع سانحه و تهیه تجهیزات لازم

• تلاش لازم جهت انتقال چشمه به کانتینر به عمل آید.

• هنگام عملیات لازم است یک نفر زمان پرتوگیری پرتوکارانی را که در عملیات شرکت دارند کنترل نماید.

• حداکثر زمان کنترل سانحه برای پرتوکار بر حسب ثانیه در فاصله یک متری از چشمه ایریدیم-۱۹۲

$$t_{(S)}=3000/A_{(Ci)}$$

• پرتوکاران برای کاهش پرتوگیری باید از هر وسیله ممکن نظیر کیسه سربی، بلوک سیمانی، انبر و حتی چوب و یا شن و خاک استفاده نمایند.

• پرتونگاران در صورت عدم موفقیت در رعایت موارد فوق باید تا رسیدن مسئول فیزیک بهداشت کل منتظر بمانند.

• مسئول فیزیک بهداشت به مجرد رسیدن به محل سانحه موظف است مرزها را کنترل نموده و 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 برای چشمه طراحی و تهیه نماید و سپس چشمه را به محل امن منتقل سازد. در غیر این صورت از کارشناس واحد قانونی کمک بگیرد.

• مسئول فیزیک بهداشت براساس آهنگ دز و زمان حضور و یا با استفاده از قرار دادن دزیمتر در شرایط مشابه، باید پرتوگیری افراد را تخمین بزند.

• دزیمتر ترمولومینسانس افرادی که در طول سانحه پرتوگیری کرده اند باید بلافاصله جهت بررسی به واحد قانونی ارسال گردد.

• ادامه پرتونگاری توسط افرادی که احتمال پرتوگیری قابل ملاحظه ای دارند تا مشخص شدن

پرتوگیری واقعی ممنوع است.

• اقدامات لازم جهت انجام آزمایشات پزشکی افرادی که احتمال پرتوگیری بالا دارند باید صورت گیرد.

• گزارش کامل چگونگی بروز سانحه، نحوه مهار و پرتوگیری افراد باید توسط مسئول فیزیک بهداشت کل تهیه گردد و یک نسخه از آن به واحد قانونی تحویل گردد.

• جهت مقابله با سانحه پرتونگاری با دستگاه ایکس، بلافاصله اقدام به خاموش نمودن دستگاه به هر طریق ممکن از طریق کلید خاموش پانل کنترل یا قطع برق دستگاه با کشیدن دو شاخه یا اتصالات مربوطه کنید.

به کارگیری تجهیزات حفاظتی و اضطراری

انتخاب و تهیه تجهیزات اضطراری متناسب با نوع سانحه پیش بینی شده بسیار حائز اهمیت می باشد. این تجهیزات باید در دسترس اعضاء تیم پرتونگاری قرار داشته و از کارکرد صحیح آنها در شرایط سانحه اطمینان حاصل شود. بدین منظور باید همواره کنترل کیفی تجهیزات سانحه، نظارت بر عملکرد تجهیزات و تمرین مستمر با آنها مورد نظر باشد. به طور کلی تجهیزات مورد نیاز برای مقابله با سوانح رایج در پرتونگاری صنعتی به شرح زیر می باشند:

الف- وسائل مونیتورینگ محیطی- جهت انجام مونیتورینگ محیطی نیاز به یک دزیمتر محیطی در گستره انرژی و دز منابع پرتو مورد استفاده در رادیوگرافی صنعتی می باشد. به طوری که در برخی سوانح، استفاده از تله دتکتور که قابلیت اندازه گیری پرتو در فاصله نسبتاً دور از منبع پرتو را داراست، توصیه می گردد.

شکل ۸۳- نمونه ای از روش انجام مونیتورینگ محیطی در عملیات پرتونگاری صنعتی

ب- وسـایل مونیتورینـگ فردی- هر یـک از اعضاء تیم پرتونگاری بایـد دارای فیلم بج یا TLD، دزیمتری قرائت مسـتقیم نظیر دزیمتر قلمی یا دیجیتالی، شـارژ دزیمتـر قلمی یا باطری اضافه، دزیمتر جیبی و هشدار دهنده صوتی باشند.

در خصوص دزیمتر فردی در قسمت های قبل بحث شد. در مورد کار با هشدار دهنده های صوتی ذکر این نکته قابل اهمیت اسـت که با افزایش آهنگ دز، فاصله صداهای هشدار دهنده کوتاه شده و این مسئله تا جایی ادامه می یابد که هشدار دهنده صدای ممتد ایجاد می نماید. با توجه به نوع آشکارساز مورد استفاده در هشدار دهنده صوتی (آشکارساز گایگر مولر)، در میدانهای قوی پرتوی این دستگاه اشباع شده و دیگر ایجاد هشدار نمی نماید و لذا قابلیت اطمینان به این وسیله کاهش می یابد.

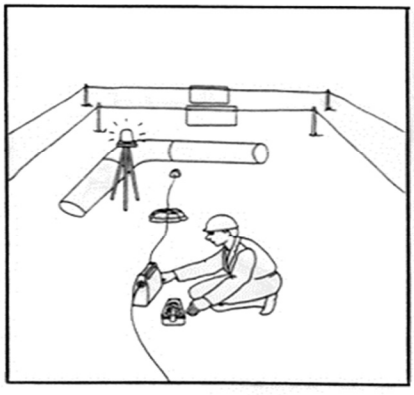
شکل ۸۴- نمونه هایی از ابزار مونیتورینگ فردی در عملیات پرتونگاری صنعتی

پ- کانتینر موقت و ورق سربی با ضخامت ۵ میلیمتر و ابعاد (20×20mm)

کانتینر به عنوان حفاظ موقت برای نگهداری چشـمه پرتوزا، تا زمان آماده شدن کانتینر استاندارد و واقعی یک چشـمه عمل می نماید. کانتینر باید متناسـب با انرژی چشـمه، مشخصات ابعادی و نـوع پرتو انتخاب گردد. ورق سـربی به عنوان یک حفاظ موقت در اطراف چشـمه موجب کاهش پرتوگیری چشمه های گاما می گردد.

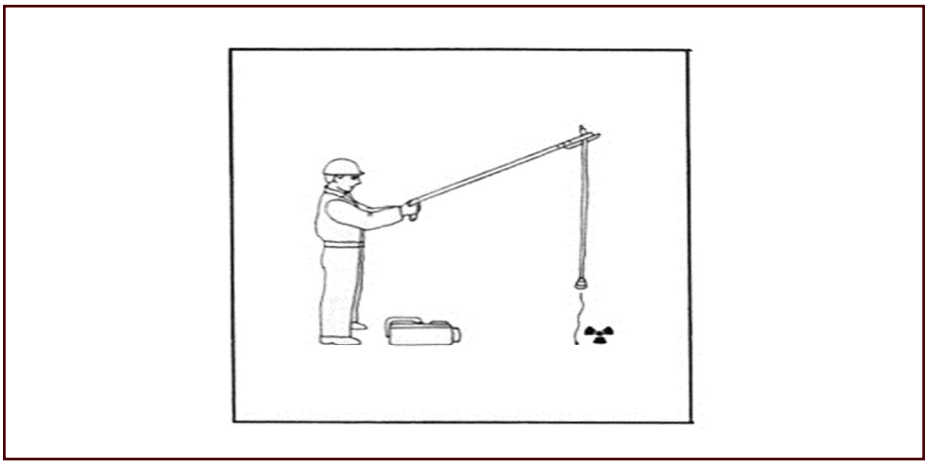
شکل ۸۵- نمونه ای از محفظه نگهداری چشمه پرتونگاری صنعتی

ت- کیسه ساچمه سربی با پوشش پارچه، حداقل دو عدد برای هر چشمه پرتوزا.
این ابزار به عنوان حفاظ روی چشمه پرتوزا قرار می گیرد و موجب کاهش شدت پرتو و در نهایت کاهش پرتوگیری افراد می شود.



شکل ۸۶- نحوه استفاده از کیسه ساچمه سربی

ث- انبر بلند ۱ متری و ۲ متری برای سوانح مربوط به چشمه.
براســاس قانون عکس مجــذور فاصله، ایجاد فاصله بین منبع پرتو و فــرد می تواند موجب کاهش پرتوگری افراد گردد، این وســیله امکان کنترل چشــمه پرتوزا از فاصله بیشــتر را فراهم می آورد و بدین ترتیب زمان عملیات می تواند افزایش یابد.



شکل ۸۷- نحوه استفاده از انبر چشمه گیر در پرتونگاری صنعتی

ج- چراغ قوه، جعبه ابزار، جعبه کمکهای اولیه

چ- دفترچه تلفن شامل شماره تماس: مسئولین شرکت، آتش نشانی و بیمارستان نزدیک محل، گروه اورژانس حفاظت در برابر اشعه و تلفن های ضروری

ح- دستورالعمل اورژانس

با توجه به تجربیات قبلی و درس های برگرفته از سوانح متداول، می توان دستورالعمل مناسبی جهت مقابله با انواع سوانح پرتوی محتمل در یک کاربرد پرتوی فراهم آورد. به کارگیری این دستورالعمل در شرایط سانحه از انجام اقدامات خودسرانه توسط افراد جلوگیری می نماید و می تواند راهنمای خوبی جهت رفع سانحه می باشد.

خ- تجهیزات ارتباطی نظیر تلفن یا بیسیم

اعلام سانحه به افراد ذی صلاح نظیر افراد ایمنی و حراست، جهت کمک به پیشگیری از ورود افراد غیر به نواحی با خطر پرتوگیری بالا، اعلام به مسئول فیزیک بهداشت و درخواست کمک یا تجهیزات رفع سانحه، اعلام به پلیس یا هماهنگی بین حمل کننده و مالک چشمه پرتوزا، با بکارگیری تجهیزات ارتباطی میسر می گردد.

د- کپسول آتش نشانی

استفاده از کپسول آتش نشانی در محل انبار نگهداری چشمه پرتوزا و حین حمل از گسترش آتش جلوگیری نموده و عملیات رفع سانحه پرتوی را ممکن می سازد. هنگام کار با کپسول باید تناسب

ماده قابل اشـــتعال با محتویات کپسول در نظر گرفته شود تا موجب گسترش دامنه حریق یا ناکام ماندن عملیات اطفاء نگردد.

ذ- طناب یا دیگر وسایل محصور کننده

با کمک طناب یا ســایر وســایل محصور کننده، مرز لازم برای جلوگیری از دسترسی و پرتوگیری افراد غیر پرتوکار فراهم می آید.

ر- وسائل دیگری که بسته به موقعیت می بایستی از آنها استفاده نمود.

۱۱– رفع آلودگی بدن

پوست بر اثر تماس با مایعات، سطوح آلوده و ذرات معلق در هوا (آئروسلها) آلوده می شود. کپسول حاوی مواد پرتوزا در نتیجه عواملی نظیر پوسیدگی، ضربه، برش یا سوراخ شدگی می تواند آسیب دیــده و در نتیجه مواد پرتوزا به خارج از آن نشــت کنــد. بدترین حالت ممکن در این وضعیت رها شدن مواد پرتوزا به صورت گرد و غبار و آئروسل است. در مورد آئروسلهایی که روی پوست نشست می کنند عواملی مانند اندازه ذرات از اهمیت خاصی برخوردار اســت زیرا دز پوســت ناشی از ذرات بزرگتر، بخصوص در مورد رادیونوکلئیدهای بتا دهنده، بیشتر است. آلودگی لباس منشأ مهم دیگر آلودگی پوســت است. لباســهایی که خیس و آلوده به مواد پرتوزا هستند موجب تماس بیشتر این مواد با پوســت و در نتیجه دز بیشــتر پوست می شوند. رادیونوکلئیدهای بتا دهنده بیشترین خطر را دارند و ســبب ســوختگیهای شدید پوســت و بافتهای زیرین می گردند. درمان آلودگی خارجی به ســادگی با خارج کردن لباســهای آلوده و شستشــوی کامل پوســت، مو، چشم و گوش بر طبق دستورالعمل ها انجام می شود. به طور کلی رادیونوکلئیدها از پوست سالم عبور نمی کنند، بنابراین جذب از این طریق انجام نمی شــود. مهمترین موارد اســتثناء تریتیوم، ید و ســزیم هستند. در هر صورت شــدت سوختگی ناشی از آلودگی پوست به حلالیت ترکیب، نوع تابش و مدت زمان تماس مواد با پوســت بســتگی دارد. اولین گام در رفع آلودگی شناخت قسمت های آلوده است. این کار با مونیتورینگ سطح لباس و بدن امکان پذیر است.

مونیتورینگ آلودگی بدن یا لباس

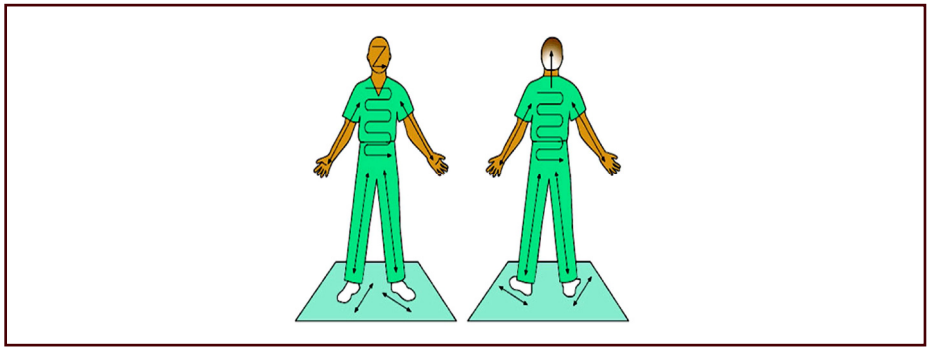
جهت مونیتورینگ بدن به ترتیب زیر عمل می کنیم:

• آژیر مونیتور آلودگی را روشن کنید و پروب را در یک کیسه پلاستیکی سبک یا پوشش قرار دهید

تا آلوده نشود. پنجره پروب را نپوشانید.

- باید سطح فعال مونیتور حداقل ۲۰ سانتی متر مربع باشد تا نتایجی در سطوح قابل قبول بدهد.
- سطح تابش زمینه را در همان محلی که مونتیورینگ انجام می شود مرتباً اندازه گیری کرده و ثبت نمایید.
- در صورتی که آنچه از مونیتور می خوانید ده برابر بزرگتر از سطح تابش زمینه در حالت عادی است مکان حفاظ گذاری شده بهتری پیدا کنید.

پروب را در فاصلهٔ یک سانتی متری بدن فرد قرار دهید. دقت کنید با بدن او تماس نداشته باشد. از بالای سر شروع کنید و پروب را از یک سمت گردن، گریبان، شانه، بازو، مچ، دست، زیر بازو، زیر بغل، پهلو و تا کفش به سمت پایین حرکت دهید. قسمت داخلی پاها را مونیتور کنید و سمت دیگر بدن را به ترتیب نشان داده شده در شکل مونیتور کنید. به طور خاص به کف پا، باسن، آرنج و صورت توجه کنید. پروب باید با سرعت تقریبی ۵ سانتی متر در ثانیه حرکت داده شود. در صورت آلودگی آژیر به صدا در می آید. اگر در محیط پرصدا هستید می توانید از گوشی برای شنیدن آژیر دستگاه استفاده کنید.



شکل ۸۸- روشی جهت ارزیابی آلودگی سطحی

رفع آلودگی پوست و لباس

در موارد اورژانس، پوست پرتودیده باید مونیتور شده، سپس از فرد خواسته شود لباسهایش را تعویض کند. بعداً می توان لباسهایی را که احتمالاً آلوده است مونیتور کرد. اگر احتمال آلودگی جدی وجود دارد باید به فرد کمک کرد تا لباسهایش را تعویض کند و به او دستکش داده شود تا از انتقال آلودگی جلوگیری گردد.

رفع آلودگی را از لبه های خارجی محدودهٔ آلوده به سمت داخل با حرکتهای یکطرفه به سمت

داخـل و یا حرکـت بر روی دایره های هم مرکز که شـعاع آنها به تدریج کوچک می شـود انجام دهید. این عمل را دو مرتبه یا بیشـتر با یک دسـتمال تمیز و نرم و یا گاز ۴×۴ سـانتی متر انجام دهید. سپس باید ناحیه را با آب گرم آبکشی کرده و با ملایمت خشک کنید. باید به چشم، گوش، دهان و بینی توجه خاص شود زیرا جذب مواد پرتوزا از این راه ها بسیار سریعتر از جذب از طریق پوست است.

دهان: دندانها را با مسواک و خمیر دندان شسته و چندین بار دهان را با اسید سیتریک سه درصد بشویید.

ناحیهٔ حلق: با آب اکسیژنه(H2O2) سه درصد قرقره کنید.

در صورت بلع مواد پرتوزا، معده شستشو داده شود.

بینی: با آب یا سرم فیزیولوژیکی بشویید.

گوش: مجرای آن را با استفاده از سرنگ گوش بشویید.

چشم: با آب یا محلول نمکی ایزوتونیک به طوری که غدد اشکی آلوده نشوند بشویید.

در صورتی که سـطح آلودگی با اسـتفاده از روش های ملایم و روش های کامل تر کاهش نیافت و تجمع خون یا سوزش و خراش ظاهر شد، رفع آلودگی را متوقف و با متخصص مشورت کنید.

مواد مناسب برای رفع آلودگی پوست

صابـون یـا محلولهای پاک کننـده معمولی: برای پوسـت و مو، خاصیت اسـیدی کم (pH~5) توصیه می شود.

عوامل شلاته کننده: محلول EDTA ده درصد برای آلودگی پوست یا مو به ترانس اورانیوم، فلزات قلیایی خاکی و عناصر واسـطه. محلول آبی یک درصد DTPA (pH~4) برای شستشوی پوست پس از آلودگی به ترانس اورانیوم، لانتانیدها یا فلزات (کبالت، آهن، روی و منگنز).

پرمنگنات پتاسیم: محلول آبی ۵ درصد (عامل اکسید کننده برای جدا کردن لایه سطحی پوست) باید با احتیاط بکار برده شـود. برای صورت، چشـم، گوش، دهان، بینی و نواحی تناسـلی توصیه نمی شـود. در صورتی که شستشـوی متداول بی اثر اسـت از آن استفاده شـود. پس از بکار بردن پرمنگنات پتاسیم، از یک عامل کاهنده نظیر محلول آبی تازه تهیه شده ۵ درصد هیدروکسی لامین یا هیپو سـولفیت سـدیم استفاده و سپس آبکشی شود. پس از بکار بردن پرمنگنات پتاسیم موضع با آب شسته شود.

پماد موضعی آنتی فلوجسیتیک (Antiphlogistic): برای آلودگی های تثبیت شده استفاده می شود و باید ۲۴ تا ۴۸ ساعت زیر پوشش محافظی قرار گیرد. عملکرد آن بدین ترتیب است که مادۀ پرتوزا را از پوست به خارج پمپ می کند و به خصوص برای رفع آلودگی انگشتان مفید است.
محلول نمکی ایزوتونیک: برای چشمها.

۱۲– مجموعه قوانین و دستورالعمل ها، شیوه نامه ها و مستندات احتمالی موجود و مرتبط

قوانین و استانداردهای مرتبط با حفاظت و ایمنی به ترتیب اهمیت عبارتند از:

۱. قانون حفاظت در برابر اشعه مصوب ۱۳۶۸ مجلس شورای اسلامی

۲. آیین نامه اجرائی قانون حفاظت در برابر اشعه مصوب ۱۳۶۹ هیئت وزیران و اصلاحیه آیین نامه مصوب ۱۳۸۶

۳. استانداردهای پایه حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی منابع پرتو مصوب ۱۳۸۸سازمان استانداردسازی ایران

۴. ضوابط دریافت پروانه در کاربرد پرتونگاری صنعتی مصوب ۱۳۹۰ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۵. ضوابط دریافت پروانه در کاربرد سنجشگرهای پرتوی مصوب ۱۳۸۴ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۶. ضوابط دریافت پروانه در کاربرد دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس مصوب ۱۳۸۸ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۷. ضوابط دریافت پروانه در کاربرد دستگاه های آنالیز مواد به روش فعال سازی نوترون مصوب ۱۳۸۹ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۸. قواعد کار درکاربرد پرتونگاری صنعتی مصوب ۱۳۸۴ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۹. قواعد کار در کاربرد کمیت سنجهای ثابت مصوب ۱۳۸۴ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۱۰. دستورالعمل بازرسی از مراکز صنعتی مصوب ۱۳۸۴ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۱۱. دستورالعمل امتیازدهی و طبقه بندی مراکز پرتونگاری صنعتی مصوب ۱۳۸۴ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۱۲. دستورالعمل طراحی و ساخت هلدرهای پرتونگاری صنعتی مصوب ۱۳۸۴ مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور

۱۳- چک لیست ارزیابی خطرات خاص مشاغل صنعتی

در این قسمت کلیه مخاطرات پرتوی، منابع پرتو رایج، نوع کاربرد مورد استفاده و تجهیزات مورد نیاز در مشاغل مورد نظر این راهنما ارائه شده است. لازم به ذکر است مفهوم آلودگی در این جدول، آلودگی خارجی در نتیجه آسیب دیدن کپسول خارجی چشمه های پرتوزا می باشد. البته احتمال بروز سوانحی که منجر به آسیب دیدگی کپسول گردد بسیار کم می باشد.

جدول ۸- چک لیست ارزیابی خطرات در مشاغل صنعتی

ردیف	نوع صنعت	کاربردهای پرتوی	منابع پرتو	خطر پرتوگیری	احتمال پرتوگیری	پرتوزایی معمول (Bq) یا حداکثر ولتاژ دستگاه (KVp)
۱	فولاد	ضخامت سنجی	دستگاه اشعه ایکس ترمزی	خارجی	متوسط	200-400 KVp
			چشمه های سزیم ۱۳۷	خارجی و آلودگی	متوسط تا زیاد	10-1000 GBq
		سطح سنجی قابل حمل	چشمه های کبالت ۶۰	خارجی و آلودگی	زیاد	0.1-10 GBq
		آنالیز مواد با XRF	دستگاه آنالایزر ثابت	خارجی	کم	30-60 KVp
			دستگاه آنالایزر قابل حمل	خارجی	متوسط	15-40 KVp
۲	خودروسازی	پرتونگاری صنعتی	دستگاه های اشعه ایکس فلوروسکوپی	خارجی	متوسط	160-300 KVp
۳	ماشین سازی	پرتونگاری صنعتی	دستگاه های اشعه ایکس ثابت	خارجی	زیاد	160-400 KVp
			دستگاه های اشعه ایکس فلوروسکوپی	خارجی	متوسط	160-300 KVp
			چشمه های ایریدیم ۱۹۲و کبالت ۶۰ و سلنیم ۷۵	خارجی و آلودگی	خیلی زیاد	0.1-5 TBq
۴	لوله سازی	پرتونگاری صنعتی	دستگاه های اشعه ایکس ثابت	خارجی	زیاد	160-300 KVp
۵	سیمان	سطح سنجی	چشمه های کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷	خارجی و آلودگی	متوسط تا زیاد	0.1-20 GBq
		چگالی سنجی	چشمه های کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷	خارجی و آلودگی	متوسط	1-20 GBq
		رطوبت سنجی	چشمه نوترونی آمرسیم۲۴۱ برلیم و چشمه سزیم ۱۳۷و کالیفرنیم ۲۵۲	خارجی و آلودگی	کم	0.4-3 GBq
		آنالیز موادباXRF	دستگاه آنالایزر ثابت	خارجی	کم	30-60 KVp
		آنالیز مواد به روش فعال سازی نوترون	چشمه نوترونی کالیفرنیم ۲۵۲	خارجی و آلودگی	متوسط	0.1-1 GBq

ادامه جدول ۸- چک لیست ارزیابی خطرات در مشاغل صنعتی

ردیف	نوع صنعت	کاربردهای پرتوی	منابع پرتو	خطر پرتوگیری	احتمال پرتوگیری	پرتوزایی معمول (Bq) یا حداکثر ولتاژ دستگاه (KVp)
۶	پتروشیمی	سطح سنجی	چشمه های کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷	خارجی و آلودگی	متوسط تا زیاد	0.1-20 GBq
		چگالی سنجی	چشمه های کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷	خارجی و آلودگی	متوسط	1-20 GBq
		پرتونگاری صنعتی	دستگاه های اشعه ایکس متحرک	خارجی	زیاد	160-300 KVp
			چشمه های ایریدیم ۱۹۲و کبالت ۶۰ و سلنیم ۷۵	خارجی و آلودگی	خیلی زیاد	0.1-5 TBq

۱۴- چک لیست های بازرسی از مراکز کار با پرتو در صنعت

براساس قانون حفاظت در برابر اشعه و با توجه به ضوابط و دستورالعمل های مرتبط و عوامل موثر در کاهش ایمنی در کاربردهای مختلف پرتوی، چک لیست های بازرسی در مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور تهیه و مصوب شده است. بدیهی است دوره زمانی بازرسی از هریک از کاربردهای پرتوی متناسب با ریسک پرتوگیری می باشد. به عنوان مثال، کاربرد پرتونگاری صنعتی که ریسک نسبتاً بالایی دارد به صورت سالانه مورد بازرسی قرار می گیرد در حالی که کاربردی مانند تجزیه مواد با اشعه ایکس فلورسانس هر ۵ سال یک بار مورد بازرسی قرار می گیرد. برخی چک لیست های مورد استفاده جهت بازرسی از مراکز صنعتی به شرح ذیل است:

الف- فرم بازرسی دوره ای از دستگاه های ثابت پرتونگاری صنعتی

نام بازرسین: تاریخ بازرسی:

نوع بازرسی: برنامه‌ریزی شده □ واکنشی سرزده □ با اعلام قبلی □

۱- مشخصات و وضعیت مرکز

۱-۱ نام مرکز:

۱-۲ آدرس مرکز، تلفن و فاکس:

۱-۳ پست الکترونیکی:

۱-۴ وضعیت مجوز: تأسیس □ پروانه اشتغال □ فاقد پروانه □

آیا مرکز دارای مجوز معتبر می باشد؟ شماره مجوز یا پروانه: تاریخ اعتبار:

۲- مشخصات پرتوکاران:

۲-۱ مشخصات مسئولین:

سمت	نام و نام خانوادگی	آدرس و تلفن
شخص مسئول		
مسئول فیزیک بهداشت		
دارنده پروانه		

۲-۲ مشخصات سایر پرتوکاران

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	پرونده پزشکی		مدرک دوره حفاظت در برابر اشعه		
			بدو استخدام	۶ ماهه	مقدماتی	پیشرفته	تاریخ صدور

۳- مشخصات منابع پرتو

۳-۱ دستگاه اشعه ایکس

ردیف	کارخانه سازنده	نوع و مدل	شماره سریال	حداکثر kVp	حداکثر mAp	عملکرد		در حال استفاده		توضیح
						سالم	خراب	بلی	خیر	

۳-۲ شتاب دهنده ها

ردیف	کارخانه سازنده	نوع و مدل	شماره سریال	نوع پرتو	حداکثر خروجی	حداکثر mA	توضیح

۳-۳ دوربین رادیوگرافی

ردیف	نوع دوربین	شماره سریال دوربین	شماره هلدر	حداکثر آهنگ دز در فاصله ۵ سانتیمتری سطح	مطابقت محل فعلی دوربین با آخرین اظهارنامه ارسالی	وضعیت فنی دوربین

۴- اتاق پرتونگاری

موضوع	بلی	خیر	توضیحات
آیا ضخامت حفاظ و مشخصات اتاق مطابق اظهارات قبلی می باشد؟			
آیا ضخامت و ابعاد اتاق مناسب با نوع انرژی و شدت تابش تولید شده توسط دستگاه می باشد؟			
آیا منابع پرتو و تجهیزات در برابر شرایط مخرب محیطی مانند رطوبت، حرارت، گرد و غبار و... محافظت شده است؟			
آیا تجهیزات اطفاء حریق وجود دارد؟			
آیا سیستم اتوماتیک ایمنی مناسب برای درب اتاق تعبیه شده است؟			
آیا سیستم قطع پرتودهی اورژانس وجود دارد؟			
آیا سیستم هشدار دهنده نصب شده در اتاق وجود دارد؟			
آیا قفل مکانیکی مناسب برای درب اتاق وجود دارد؟			
آیا آهنگ دز روی سطوح قابل دسترس پشت اتاق بیشتر از ۲۵ µSv/h می باشد؟			
آیا پوسترهای علائم خطر اشعه بر روی مرزهای نواحی تحت کنترل نصب شده است؟			
آیا هشدار دهنده صوتی و نوری که نشان دهنده وضعیت پرتودهی باشد وجود دارد؟			
آیا تجهیزات اورژانس مناسب و کافی وجود دارد؟			
آیا منابع پرتو به عنوان منبع پرتوزا علامت‌گذاری شده است؟			
آیا منبع (منابع) دور از دسترس افراد غیرمجاز می باشد؟			
آیا نگهداری منابع پرتو در محل نگهداری براساس ضوابط واحد قانونی است؟			
آیا آهنگ دز در محل دسترسی افراد عادی، زیر حد مجاز می باشد؟*			

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

۵- مشخصات دزیمترهای محیطی

نوع و مدل	شماره سریال	تاریخ کالیبراسیون	وضعیت کارکرد	
			سالم	خراب

۶- تعیین مرزبندی ناحیه کنترل شده

مقدار آهنگ دز در مرز ناحیه کنترل شده	آیا مرز ناحیه کنترل شده مناسب می باشد؟	آیا مرز ناحیه کنترل شده علامت گذاری شده است؟

۷- آگاهی پرتونگار و ثبت مونیتورینگ محیطی

موضوع	بله	خیر	توضیحات
آیا پرتونگار از اقدامات لازم به هنگام تجاوز آهنگ دز از سطح اقدام آگاهی دارد؟			
آیا پرتونگار از آهنگ دز نقاط حائز اهمیت مطلع است؟			
آیا پرتونگار از آهنگ دز در محل کنترل مطلع است؟			
آیا پرتونگار از ناحیه ممنوعه اطلاع دارد؟			

۸- لیست تجهیزات اورژانس موجود

نوع وسیله	موجود می‌باشد		مناسب می‌باشد		توضیحات
	بله	خیر	بله	خیر	
دستورالعمل اورژانس					
علائم هشدار دهنده مناسب					
دسترسی به کپسول آتش نشانی					
کلید قطع اضطراری مکانیکی					
کلید قطع اضطراری الکترونیکی					
آشکارساز حریق					
چراغ چشمک زن					

۹- وضعیت عملکرد

شرح	بله	خیر	توضیحات
آیا تجهیزات و دستورالعمل اورژانس کامل است؟			
آیا مدیریت از ضوابط کار با پرتو آگاه است؟			
آیا مدیریت امکانات کافی و لازم کار با پرتو را فراهم کرده است؟			
آیا تیم پرتونگار حائز شرایط حفاظتی کامل است؟			
آیا مدیریت اختیارات لازم را برای نظارت و جلوگیری از کار غیر ایمن به شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت داده است؟			
آیا شخص مسئول از تجربه و دانش و مهارت کافی برخوردار است؟			
آیا شخص مسئول وقت کافی و نظارت لازم بر اجرای عملیات رادیوگرافی برای ایجاد کار ایمن دارد؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت از تجربه و دانش و مهارت کافی برخوردار است؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت وقت کافی و نظارت لازم بر اجرای عملیات رادیوگرافی برای ایجاد کار ایمن دارد؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت از موقعیت و مشخصات منابع پرتو مطلع است؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت از موقعیت و وضعیت پرتوکاران مطلع می باشد؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت نظارت بر انجام آزمایشات پزشکی دارد؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت نظارت بر آموزش پرسنل دارد؟			

۱۰- ثبت اطلاعات

موارد	وجود		مناسب		توضیحات
	دارد	ندارد	می باشد	نمی باشد	
سوابق پرتوگیری غیر عادی					
سوابق پزشکی					
تاریخ و نتایج بازرسی واحد قانونی					
گزارش برنامه های آموزشی					
کالیبراسیون					
نقل و انتقال منابع پرتو یا دستگاه					
تاریخ و نتایج بازرسی مسئول فیزیک بهداشت					
تعمیر و نگهداری					

نکات حائز اهمیت:

ب- فرم بازرسی دوره ای از دفاتر شرکت های پرتونگاری صنعتی

نام بازرسین: تاریخ بازرسی:

نوع بازرسی: برنامه‌ریزی شده □ واکنشی سرزده □ با اعلام قبلی □

۱-مشخصات و وضعیت مرکز

۱-۱ نام مرکز:

۱-۲ آدرس و تلفن و فاکس:

۱-۳ پست الکترونیکی:

۱-۴ وضعیت مجوز: تأسیس □ بهره برداری □ پروانه اشتغال □ فاقد پروانه □

آیا مرکز دارای مجوز معتبر می باشد؟ شماره مجوز یا پروانه: تاریخ اعتبار:

۲- مشخصات پرتوکاران:

۲-۱ مشخصات مسئولین:

سمت	نام و نام خانوادگی	آدرس و تلفن اضطراری	پرونده پزشکی		تاریخ صدور مدرک پیشرفته حفاظت در برابر اشعه
			بدو استخدام	۶ ماهه	
شخص مسئول					
مسئول فیزیک بهداشت					
دارنده پروانه					

۲-۲ مشخصات سایر پرتوکاران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	بایگانی ثبت دز*					پرونده پزشکی		مدرک حفاظت در برابر اشعه		
			شماره TLD	روز	هفته	ماه	سال	بدو استخدام	۶ ماهه	مقدماتی	پیشرفته	تاریخ صدور

* در صورت بررسی آستانه ها عدد ۲، در صورت عدم بررسی عدد ۱ و در صورت عدم وجود (-) درج گردد. در صورت وجود نظر پزشک و آزمایشات پزشکی عدد ۲، در صورت وجود آزمایشات پزشکی بدون نظر پزشک عدد ۱ و در صورت عدم وجود هیچگونه مدرک پزشکی (-) درج گردد.

۳- مشخصات منابع پرتو

۳-۱ دوربین های پرتونگاری:

ردیف	نوع دوربین	شماره سریال دوربین	شماره هلدر	حداکثر آهنگ دز روی سطح دوربین	محل نگهداری با اظهارنامه مطابقت دارد؟	آیا شناسنامه موجود است؟

۳-۲ دستگاه های مولد اشعه ایکس:

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

۴- مشخصات محل نگهداری دائم

شرایط	بله	خیر	توضیحات
آیا علائم خطر اشعه و مشخصات منبع پرتو و تلفن های اضطراری در محل نصب شده است؟			
آیا دور از دسترس افراد غیرمجاز می باشد؟			
آیا شرایط داخلی انبار از نظرشرایط فیزیکی و محیطی مناسب است؟			
آیا تجهیزات اورژانس و اطفاء حریق در دسترس می باشد؟			
آیا وضعیت دوربین در محل نگهداری براساس ضوابط واحد قانونی است؟*			
آیا آهنگ دز در محل دسترسی افراد عادی زیر حد مجاز می باشد؟**			
آیا آدرس و مشخصات محل نگهداری با مشخصات ارائه شده در پرونده شرکت مطابقت دارد؟			

* باید دوربین قفل و مجهز به درپوش های جلو و عقب باشد.

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

۵- مشخصات تجهیزات حفاظتی

۵-۱ دزیمترهای محیطی:

مدل دستگاه	شماره سریال	کالیبره می باشد		سالم است		مناسب است	
		بله	خیر	بله	خیر	بله	خیر

۵-۲ دزیمترهای فردی قرائت مستقیم:

کارخانه سازنده	شماره سریال	کالیبره می باشد		سالم است		مناسب است	
		بله	خیر	بله	خیر	بله	خیر

۵-۳ تجهیزات ایمنی و اورژانس:

نوع وسیله	موجود می باشد		مناسب می باشد		توضیحات
	بله	خیر	بله	خیر	
دستورالعمل اورژانس					
طناب یا نوار خطر اشعه					
علائم خطر اشعه					
چراغ چشمک زن					
انبر چشمه گیر					
کیسه ساچمه سربی ۲ عدد (به ازاء هر منبع)					
در دسترس بودن کپسول آتش نشانی					
در دسترس بودن ترانزیت کانتینر					

۶- مدارک و بایگانی

آیا بایگانی مدارک زیر موجود می باشد	موجود می باشد		مناسب می باشد		توضیحات
	بله	خیر	بله	خیر	
فرم مونیتورینگ محل نگهداری دائم دوربین					
ثبت دز سطحی دوربین (قبل از شروع و پس از پایان کار)					
فرم کنترل کیفی دوربین پرتونگاری					
بازنگری دستورالعمل های کاری					
پرتوگیری بیش از آستانه بررسی و اقدامات انجام شده (۲ ماهه)					
آزمایش های پزشکی دوره ای پرتوکاران همراه با نظر پزشک					

۷- عملکرد

موارد	بله	خیر	توضیحات
آیا مدیریت تجهیزات لازم را در اختیار افراد قرار می دهد؟			
آیا مدیریت اختیارات لازم را به مسئولین داده است؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت از موقعیت و مشخصات منابع پرتو مطلع است؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت نظارت کافی بر کار پرتونگاران دارد و از موقعیت و وضعیت آنها مطلع است؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت از مقررات مقابله با سوانح اطلاع دارد؟			
آیا مدارک و مستندات کامل است؟			
آیا محل نگهداری دوربین کاملاً مناسب است؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت برنامه آموزشی مدون برای پرتوکاران دارد؟			
آیا مسئول فیزیک بهداشت اقدامات لازم را در مورد پرتوگیری های بیش از آستانه انجام داده است؟			

نکات حائز اهمیت:

امضاء نماینده مرکز مورد بازرسی:

امضاء بازرسین: تاریخ:

ج- فرم بازرسی دوره ای از سایت شرکت های پرتونگاری صنعتی

نام بازرسین: تاریخ بازرسی:

نوع بازرسی: برنامه‌ریزی شده□ واکنشی□ سرزده □ با اعلام قبلی□

۱- مشخصات و وضعیت مرکز:

۱-۱ نام مرکز:

۱-۲ آدرس و تلفن سایت:

۲- مشخصات پرتوکاران

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	شماره TLD	شماره سریال دزیمتر قرائت مستقیم	تاریخ کالیبراسیون	شماره سریال هشدار دهنده	توضیحات

۳- مشخصات منابع پرتو

ردیف	مدل دوربین	شماره سریال دوربین	شماره شناسنامه دوربین	شماره هلدر	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	بله	خیر

۵- مشخصات محل نگهداری موقت

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

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

۶- مشخصات دزیمترهای محیطی

نوع و مدل	شماره سریال	تاریخ کالیبراسیون	وضعیت کارکرد	
			سالم	خراب

۷- تعیین مرزبندی ناحیه کنترل شده

مقدار آهنگ دز در مرز ناحیه کنترل شده	آیا مرز ناحیه کنترل شده مناسب می باشد؟	آیا مرز ناحیه کنترل شده علامت گذاری شده است؟

۸- آگاهی پرتونگار و ثبت مونیتورینگ محیطی

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

۹- مونیتورینگ فردی

موضوع	بله	خیر	توضیحات
آیا نتایج دز روزانه و هفتگی ثبت می شود؟			
آیا نتایج هفتگی پرتوگیری پرتونگاران به تایید مسئول فیزیک بهداشت کل یا نماینده دائمی وی می رسد؟			
آیا اقدام لازم در صورت تجاوز از آستانه بررسی هفتگی صورت می پذیرد؟ آیا آستانه ها بررسی می شوند؟			

۱۰- لیست تجهیزات اورژانس قابل دسترس در سایت

نوع وسیله	موجود می باشد		مناسب می باشد		توضیحات
	بله	خیر	بله	خیر	
دستورالعمل اورژانس					
طناب یا نوار خطر اشعه					
علائم خطر اشعه					
انبر چشمه گیر					
کیسه ساچمه سربی (۲ عدد) به ازاء هر منبع پرتو					
کپسول آتش نشانی					
ترانزیت کانتینر					

۱۱- حمل و نقل

موضوع	بله	خیر	توضیحات
آیا 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 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 گیرد؟			
آیا محل نگهداری دوربین کاملاً مناسب است؟			
آیا مدارک و مستندات کامل می باشد؟			
آیا تیم پرتونگاری حائز شرایط حفاظتی کامل است؟			

نکات حائز اهمیت:

امضاء نماینده مرکز مورد بازرسی:

امضاء بازرسین: تاریخ:

د- فرم بازرسی دوره ای از سنجشگرهای پرتوی

نام بازرسین: تاریخ بازرسی:

نوع بازرسی: برنامه ریزی شده □ واکنشی □ سرزده □ با اعلام قبلی □

۱- مشخصات و وضعیت مرکز

۱-۱ نام مرکز:

۱-۲ آدرس مرکز، تلفن و فاکس:

۱-۳ پست الکترونیکی:

۱-۴ وضعیت مجوز: پروانه ثبت □ پروانه اشتغال □ فاقد پروانه □

آیا مرکز دارای مجوز معتبر می باشد؟ شماره پروانه: تاریخ اعتبار:

۲- مشخصات پرتوکاران

۲-۱ مشخصات مسئولین

سمت	نام و نام خانوادگی	آدرس و تلفن
شخص مسئول		
مسئول فیزیک بهداشت		
دارنده پروانه		

۲-۲ مشخصات سایر پرتوکاران

ردیف	نام و نام خانوادگی	آخرین مدرک تحصیلی و رشته	دوره حفاظت در برابر اشعه	شماره دزیمتر فردی (در صورت لزوم)	سابقه کاری (سال)

هرگونه مغایرت با اطلاعات موجود در پرونده شرکت که براساس آن پروانه صادر گردیده است را شرح دهید:

۳- مشخصات سنجشگرهای پرتوی حاوی چشمه بسته

ردیف	نام و مدل دستگاه	نوع چشمه پرتوزا	قدرت اولیه (mCi)	تاریخ ساخت	سریال چشمه	سریال دستگاه یا کانتینر	محل نصب	وضعیت دستگاه (چشمه)

۴- مشخصات سنجشگرهای پرتوی مجهز به مولدهای ایکس و شتاب دهنده ها

ردیف	نام و مدل دستگاه	حداکثر ولتاژ (kVp)	حداکثر جریان (mAp)	سریال دستگاه	محل نصب	وضعیت

۵- مشخصات دزیمتر محیطی

نام و مدل دستگاه	سریال دستگاه	تاریخ کالیبراسیون	وضعیت دستگاه	متناسب با منبع پرتو می باشد؟

۶- ارزیابی ایمنی

شرایط	بله	خیر	توضیحات
آیا کانتینر سنجشگرهای پرتوی با استانداردها و مقررات واحد قانونی مطابقت دارد؟ (داشتن قفل ایمنی، شاتر، برچسب علائم، درپوش عقب، حفاظت در برابر سرریز مذاب و....)			
آیا آهنگ دز در فاصله ۵ سانتیمتری از سطح سنجشگرهای پرتوی با حدود مندرج در قواعد کاری واحد قانونی مطابقت دارد؟ (حداکثر ۵۰۰ میکروسیورت)			
آیا نواحی کنترل شده (آهنگ دز بالاتر از ۲۵ میکروسیورت بر ساعت) برای سنجشگرهای پرتوی به روش مناسب از تردد افراد کنترل گردیده است؟			
آیا کلیه سنجشگرهای پرتوی مجهز به علائم خطر اشعه در محل مناسبی در نزدیکی آنها می باشند؟			
آیا بر طبق اطلاعات ارائه شده جهت اخذ پروانه، مرکز مجهز به دزیمتر محیطی سالم و کالیبره می باشد؟ (در صورتی که داشتن آن الزامی باشد)			
آیا بر طبق اطلاعات ارائه شده جهت اخذ پروانه، پرتوکاران مرکز دارای دزیمترهای فردی مناسب بوده و از آنها استفاده می نمایند؟ (در صورتی که داشتن آن الزامی باشد)			
در صورتی که یک یا چند دستگاه سنجشگر پرتوی بنا بر دلایلی در حال استفاده نمی باشند آیا بر طبق دستورالعمل های مندرج در قواعد کاری مربوطه در محل و شرایط مناسبی نگهداری می شوند؟ در صورت عدم وجود، مدارک محل نگهداری نقشه و کروکی محل نگهداری ضمیمه شود.			

۷- عملکرد

موارد	بله	خیر	توضیحات
آیا دارنده پروانه یا نماینده وی از نوع مجوز و ضوابط آن آگاه است؟			
آیا دارنده پروانه یا نماینده وی اختیارات لازم را به شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت در جهت اجرای صحیح وظایف آنها داده است؟			
آیا دارنده پروانه یا نماینده وی منابع مالی و امکانات سازمانی لازم را به شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت در جهت اجرای صحیح وظایف آنها داده است؟			
آیا شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت از دانش و آگاهی کافی در جهت انجام وظایف خود برخوردار است؟			
آیا شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت از آخرین وضعیت منابع تحت اختیار خود و پرتوکاران اطلاعات کافی دارد؟			

۸- مدارک و بایگانی

موارد	بله	خیر	توضیحات
آیا فهرست دقیق منابع موجود با ذکر مشخصات آنها و محل نصب و کاربرد وجود دارد؟			
آیا جابجائی یا تعمیرات سنجشگرهای پرتوی ثبت شده است؟			
آیا سوانح رخ داده با ذکر دلایل بروز سانحه، اقدامات انجام شده در جهت رفع سانحه، فهرست و افراد پرتوگیری کرده و اقدامات انجام شده در جهت جلوگیری از تکرار سوانح مشابه ثبت شده است؟			
آیا اندازه‌گیری های انجام شده دوره ای بر روی سنجشگرهای پرتوی (برای مثال شش ماهه) وجود دارد؟			
آیا میزان پرتوگیری پرتوکاران (در صورت لزوم) ثبت شده است؟			
آیا سوابق پزشکی پرتوکاران (در صورت لزوم) ثبت شده است؟			

نکات حائز اهمیت:

امضاء نماینده مرکز مورد بازرسی:

امضاء بازرسین: تاریخ:

پیوست ها

پیوست ۱- فرآیند صنایع

با بررسی اجمالی بر روی فرآیندهای مختلف صنایع نظیر فولاد، لوله سازی یا صنایع نفت و گاز می توان به نقش منابع پرتو در این صنایع پی برد. هر جا که سخن از اندازه گیری با دقت در شرایط محیطی سخت، یا شناسایی سریع و دقیق یک ترکیب و یا شناسایی عیوب داخلی قطعات در میان است، باید به دنبال یکی از کاربردهای پرتوی در صنعت گشت.

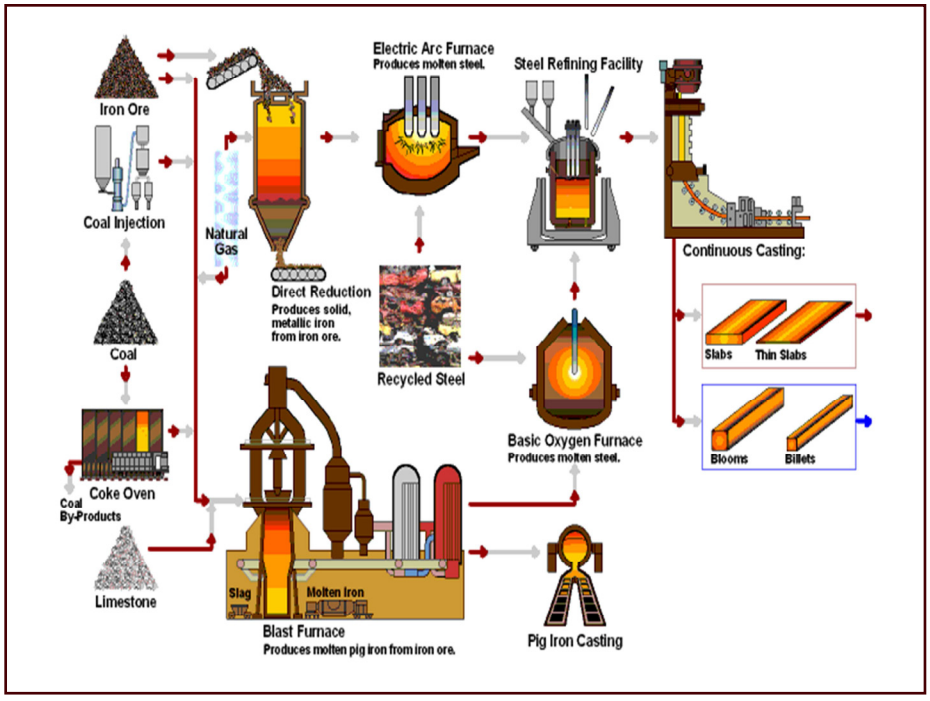
۱- فرآیند صنایع فولاد

اصطلاح فولاد (Steel) برای آلیاژهای آهن که تا حدود ۱/۵ درصد کربن دارند و غالباً با فلزهای دیگر همراهند، بکار می رود. خواص فولاد به درصد کربن موجود در آن ، عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن و فلزهای آلیاژ دهنده موجود در آن بستگی دارد.

اطلاعات اولیه:

محصول کوره ذوب آهن چدن است که معمولا دارای ناخالصی کربن و مقادیر جزئی ناخالصی های دیگر است که به نوع سنگ معدن و ناخالصی های همراه آن و همچنین به چگونگی کار کوره بلند ذوب آهن بستگی دارد. از آنجایی که مصرف عمده آهن در صنعت به صورت فولاد است، از این رو، باید به روش مناسب چدن را به فولاد تبدیل کرد که در این عمل ناخالصی های کربن و دیگر ناخالصی ها به مقدار ممکن کاهش یابند.

امروزه فولاد خام عمدتاً به دو روش ذیل تولید می گردد:
روش اول: تهیه چدن مذاب در کوره بلند و ساخت فولاد در کنورترهای اکسیژنی و ریخته گری مداوم فولاد مذاب



روش دوم: ذوب قراضه یا آهن اسفنجی در کوره های قوس الکتریکی و ریخته گری مداوم مانند فولاد مبارکه

در فولاد مبارکه پودر سنگ آهن انباشت شده در واحد گندله سازی تبدیل به گندله های پخته کروی شکل شده و در واحد احیاء مستقیم با از دست دادن اکسیژن خود به آهن اسفنجی تبدیل و سپس در کوره های قوس الکتریکی واحد فولادسازی همراه با قراضه ذوب می شود. فولاد مذاب بعد از تخلیه از کوره به واحد تصفیه ثانویه انتقال داده می شود و ترکیب شیمیایی فولاد براساس نیاز مشتریان ساخته شده و سپس به ماشین های ریخته گری منتقل و به شمش های فولادی یا تختال تبدیل می گردد. تختال ها، خنک و پرداخت شده و به واحد نورد گرم منتقل و در آنجا مجدداً به کوره های پیش گرم ارسال شده و سپس طی مراحل مختلفی نورد می شود و به صورت

کلاف هایی از ضخامت ۱/۵ تا ۱/۶ میلی متر تبدیل می گردد که بخشی از آن به بازار عرضه شده و مابقـی به واحد تکمیل نورد گرم بـرای انجام عملیات تکمیلی و تبدیل کلاف گرم به ورق گرم و یا به واحد نورد سـرد جهت کاهش ضخامت تا ۰/۱۸ میلی متر برای تولید محصولات سـرد ارسال می شود و بخشی از کلاف های سرد تولید شده و به منظور تولید ورق های پوشش دار به خطوط تولید قلع اندود، گالوانیزه و رنگی وارد گردیده و پس از تولید، بسـته بندی شـده و آماده عرضه به بازارهای داخلی و خارجی می شود.

انواع فولاد و کاربرد آنها:

از نظر محتوای کربن، فولاد به سه نوع تقسیم می شود:

فولاد نرم: این نوع فولاد کمتر از ۰/۲ درصد کربن دارد و بیشـتر در تهیه پیچ و مهره، سـیم خاردار و چرخ دنده ساعت و ... بکار می رود.

فـولاد متوسـط: این فولاد بین ۰/۲ تا ۰/۶ درصد کربن دارد و بـرای تهیه ریل و راه آهن و مصالح ساختمانی مانند تیرآهن مصرف می شود.

فولاد سـخت: فولاد سـخت بین ۰/۶ تا ۱/۶ درصد کربن دارد که قابل آب دادن است و برای تهیه فنرهای فولادی، تیر، وسایل جراحی، مته و ... بکار می رود.

از فولادی که تا ۰/۲ درصد کربن دارد، برای ساختن سیم ، لوله و ورق فولاد استفاده می شود. فولاد متوسـط ۰/۲ تا ۰/۶ درصد کربن دارد و آن را برای سـاختن ریل، دیگ بخار و قطعات سـاختمانی بکار می برند. فولادی که ۰/۶ تا ۱/۵ درصد کربن دارد، سخت است و از آن برای ساختن ابزارآلات، فنر و کارد و چنگال استفاده می شود.

ناخالصی های آهن و تولید فولاد:

آهنی که از کوره بلند خارج می شـود، چدن نامیده می شـود کـه دارای مقادیری کربن، گوگرد، فسفر، سیلیسیم، منگنز و ناخالصی های دیگر است. در تولید فولاد، دو هدف دنبال می شود:

۱- سوزاندن ناخالصی های چدن

۲- افزودن مقادیر معین از مواد آلیاژ دهنده به آهن

منگنز، فسفر و سیلیسیم در چدن مذاب توسط هوا یا اکسیژن به اکسید تبدیل می شوند و با کمک ذوب مناسبی ترکیب شده، به صورت سرباره خارج می‌شوند. گوگرد به صورت سولفید وارد سرباره

می شـود و کربن هم می سوزد و منوکسـیدکربن (CO) یا دی‌اکسید کربن (CO2) در می آید. چنانچه ناخالصی اصلی، منگنز باشـد، یک کمک ذوب اسـیدی که معمولاً دی اکسـید سیلسـیم (SiO2) است، بکار می برند:

MnO + SiO2 -------> MnSiO3 و چنانچه ناخالصی اصلی، سیلسـیم یا فسـفر باشـد (و معمولاً چنین اسـت)، یک کمک ذوب بازی که معمولاً اکسـید منیزیم (MgO) یا اکسید کلسیم (CaO) است، اضافه می کنند.

MgO + SiO2 -------> MgSiO2

6MgO + P4O10 -------> 2Mg3(PO4)2

کوره تولید فولاد و جدا کردن ناخالصی ها:

معمولاً جداره داخلی کوره ای را که برای تولید فولاد بکار می رود، توسط آجرهایی که از ماده کمک ذوب سـاخته شـده اند، می پوشانند. این پوشش، مقداری از اکسیدهایی را که باید خارج شوند، به خود جذب می کند. برای جدا کردن ناخالصی ها، معمولاً از روش کوره باز اسـتفاده می کنند. این کوره یک ظرف بشقاب مانند دارد که در آن ۱۰۰ تا ۲۰۰ تن آهن مذاب جای می‌گیرد. بالای این ظرف، یک سقف مقعر قرار دارد که گرما را روی سطح فلز مذاب منعکس می کند. جریان شدیدی از اکسیژن را از روی فلز مذاب عبور می دهند تا ناخالصی های موجود در آن بسوزند. در این روش ناخالصی ها در اثر انتقال گرما در مایع و عمل پخش به سـطح مایع می آیند و عمل تصفیه، چند سـاعت طول می کشـد. البته مقداری از آهن، اکسید می شود که آن را جمع آوری کرده، به کوره بلند باز می گردانند.

روش دیگر جدا کردن ناخالصی ها از آهن:

در روش دیگری که از همین اصول شیمیایی برای جدا کردن ناخالصی ها از آهن استفاده می شود، آهـن مـذاب را همراه آهن قراضه و کمک ذوب در کوره ای بشـکه مانند که گنجایش ۳۰۰ تن بار را دارد، می ریزند. جریان شـدیدی از اکسـیژن خالص را با سرعت مافوق صوت بر سطح فلز مذاب هدایت می کنند و با کج کردن و چرخاندن بشـکه، همواره سـطح تازه‌ای از فلز مذاب را در معرض اکسیژن قرار می‌دهند. اکسایش ناخالصی ها بسیار سریع صورت می گیرد و وقتی محصولات گازی مانند CO2 رها می شـوند، توده مذاب را به هم می زنند، به طوری که آهن ته ظرف، رو می آید.

دمای توده مذاب، بی آنکه از گرمای خارجی اســتفاده شود، تقریباً به دمای جوش آهن می رسد و در چنین دمایی، واکنش ها فوق العاده سریع بوده، تمامی این فرایند، در مدت یک ساعت یا کمتر کامل می شود و معمولاً محصولی یکنواخت و دارای کیفیت خوب بدست می آید.

تبدیل آهن به فولاد:

آهن مذاب تصفیه شــده را با افزودن مقدار معین کربن و فلزهای آلیاژ دهنده مثل وانادیم، کروم، تیتانیم، منگنز و نیکل به فولاد تبدیل می کنند. فولادهای ویژه ممکن است مولیبدن، تنگستن یا فلزهای دیگر داشــته باشند. این نوع فولادها برای مصارف خاصی مورد استفاده قرار می گیرند. در دمای زیاد ، آهن و کربن با یکدیگر متحد شــده، کربید آهن (Fe3C) به نام "ســمانتیت" تشکیل می دهند. این واکنش، برگشت پذیر و گرماگیر است:

$$Fe + C_3 + \text{گرما} \; Fe_3C <\text{-------}$$

هرگاه فولادی که دارای ســمانتیت اســت، به کندی سرد شــود، تعادل فوق به سمت تشکیل آهن و کربن، جابجا شــده، کربن به صورت پولک های گرافیت جدا می شــود و به فلز، رنگ خاکستری می دهد. برعکس، اگر فولاد به ســرعت سرد شود، کربن عمدتاً به شکل سمانتیت که رنگ روشنی دارد، باقــی می ماند. تجزیه ســمانتیت در دمــای معمولی به اندازه ای کند اســت که عملاً انجام نمی گیرد. فولادی که دارای ســمانتیت است، از فولادی که دارای گرافیت است، سخت تر و خیلی شکننده تر است. در هر یک از این دو نوع فولاد، مقدار کربن را می توان در محدوده نسبتاً وسیعی تنظیم کرد. همچنین، می توان مقدار کل کربن را در قسمتهای مختلف یک قطعه فولاد تغییر داد و خواص آن را بهتر کرد. مثلاً بلبرینگ از فولاد متوســط ســاخته شــده است تا سختی و استحکام داشــته باشــد و لیکن سطح آن را در بســتری از کربن حرارت می دهند تا لایه نازکی از سمانتیت روی آن تشکیل گردد و بر سختی آن افزوده می شود.

۲- فرآیند صنایع سیمان

واژه ســیمان به هر نوع ماده چســنده ای اطلاق می شــود که قابلیت به هم چســباندن و یکپارچه کردن قطعات معدنی را دارا باشد. در شاخه مهندسی عمران سیمان یک فراورده ی شیمیایی است که از ترکیبات پخته شــده و گداخته شــده اکسید کلسیم، اکسید سیلیســیم، اکسید آلومینیوم و

اکسید آهن تشکیل شده است.
این ماده (سیمان) در اختلاط به شن و ماسه وآب سفت و سخت شده و جسم یکپارچه ای به نام بتن را تشکیل می دهد.

خط تولید سیمان

مرحله اول: آماده کردن مواد خام از معدن

مواد اولیه تولید سیمان اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومنیوم و آهن می باشد که عمدتاً در سنگ آهک و خاک رس وجود دارد. برای تهیه سیمان پرتلند، ابتدا سنگ آهک از معدن استخراج شده و آن را به وسیله کامیون به محل کارخانه حمل می کنند و به قطعات حدود ۲۵ میلی متر می شکنند.

مرحله دوم: آسیاب مواد

سعی می شود در خاک رس مورد استفاده شده همه اکسیدهای مورد نیاز وجود داشته باشد، با این وجود اگر مقدار یک یا چند اکسید از میزان مورد نیاز کمتر باشد، با اضافه کردن مواد لازم از اکسید مورد نظر، نسبت ها اصلاح شده و این مواد هم همراه آهک آسیاب شده و به صورت پودر در می آیند.
نسبت مواد خام در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل، قبل از ورود به کوره سیمان پزی کنترل و تنظیم می شود. جهت تجزیه از دستگاه تجزیه به روش XRF استفاده می گردد.

مرحله سوم: مخلوط کردن مواد

مواد خام به روش خشک، به وسیله غلطک خرد و مخلوط شده و وارد کوره سیمان پزی می شوند.

مرحله چهارم: کوره پیش گرم کن

در این مرحله مواد خام به صورت گرد از بالا وارد کوره شده و از طرف دیگر (پایین کوره) شعله دمیده می شود، مواد خام به آهستگی از دهنه به ته کوره سر می خورند و به تدریج دما زیاد می شود. دما از ۱۰۰ درجه تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا می کند.

مرحله پنجم: کوره سیمان پزی

در قسمت کوره، دانه های مواد در حرارت حدود ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد نزدیک نقطه ذوب، عرق کرده و به هم می چسبند و به صورت کلینکر در می آیند. جهت اطمینان از مقدار مواد وارد شده در کوره و کنترل سطح موتد پرکننده از دستگاه سطح سنج پرتوی استفاده می گردد.

مرحله ششم: خنک کردن کلینکر

در انتهای کوره، به کمک دستگاه خنک کننده (به وسیله عبور هوای سرد یا جریان آب) کلینکر سرد می شود و برای ذخیره کردن انرژی حرارت بازیافت می شود و حرارتی که از کلینکر خارج می شود دوباره به گردش درآمده و به کوره پیش گرم کن می رود.

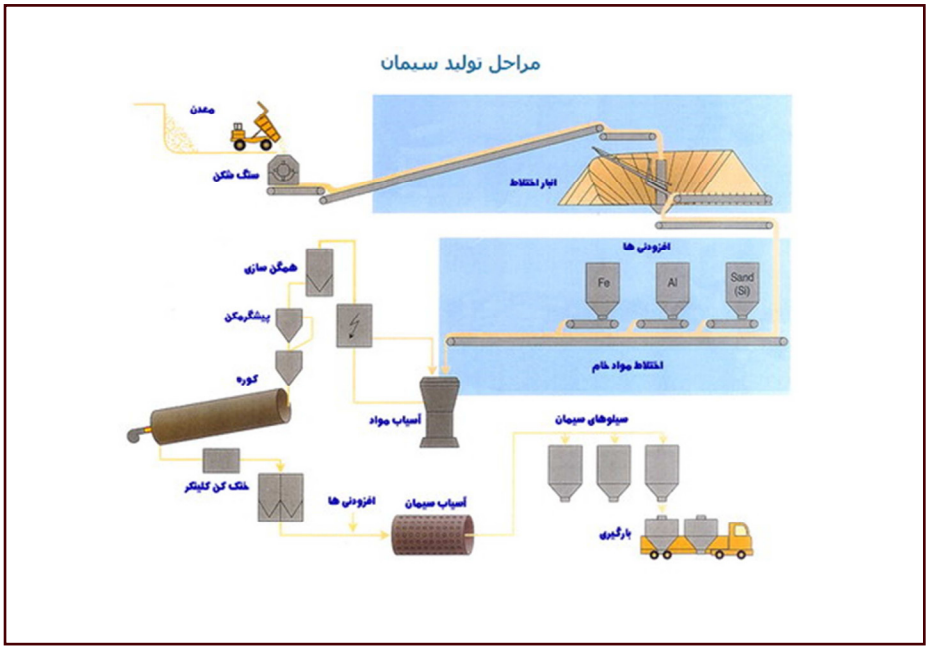
آهسته سرد کردن کلینکر باعث گسترش ساختمان بلوری کانه ها می شود و بلورها بزرگتر می شوند و انرژی بیشتری برای خرد کردن نیاز دارد ولی اگر سریع سرد شود بلورهای ریز دارد و مقاومت سیمان هم بیشتر خواهد بود.

مرحله هفتم: آسیاب کلینکر ها

در این مرحله کلینکرها به وسیله گوی های فلزی آسیاب می شوند و در نهایت حدود ۲٪ گچ برای تسریع گیرش سیمان اضافه می شود و سیمان پرتلند به وجود می آید.

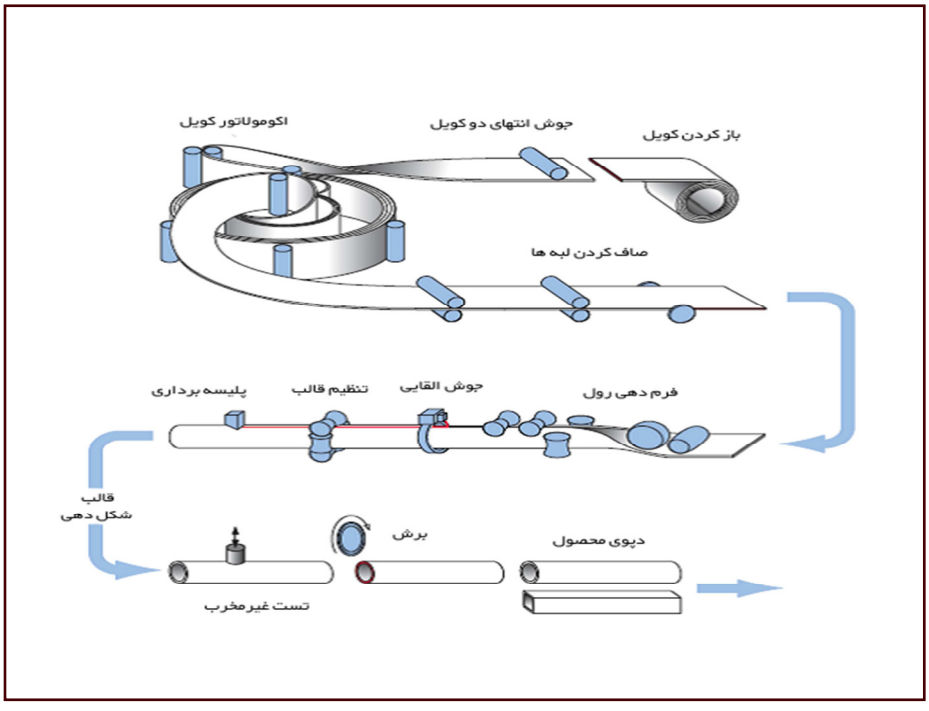
مرحله نهایی: بسته بندی و حمل و نقل

بعد از آسیاب، سیمان ها وارد سیلو شده و منتظر حمل و نقل شده و به صورت فله یا بسته بندی شده توسط کامیون ها، راه آهن و یا کشتی حمل شده و به دست مصرف کننده ها می رسند. جهت کنترل میزان پرشدگی سیلو از دستگاه سطح سنج پرتوی استفاده می گردد.



۳-فرآیند صنایع لوله سازی

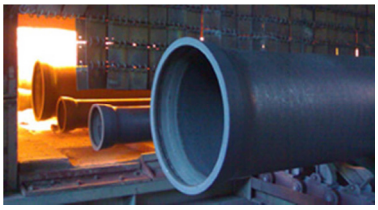
لوله به یک استوانه بلند تو خالی دو سر باز با سطح مقطع دایره ای شکل اطلاق می شود. تولید لوله به طور کلی به دو روش عمده صورت می گیرد که عبارتند از درزجوش و بدون درز لوله درزجوش با شـکل دادن سـرد ورق و سپس جوشکاری دولبه ورق توسط روش های فرکانس بالا، زیر پودری و غیـره تولید می گردد. جهت اندازه گیری و کنترل ضخامت ورق از دستگاه ضخامت سنج پرتوی اسـتفاده می گردد. همانگونه که در شـکل زیر مشاهده می گردد، جهت اطمینان از کیفیت لوله و عـدم وجود عیوب مهم در انتهـای خط تولید آزمایش های غیر مخرب بر روی آن انجام می گیرد. یکـی از روش هـای رایج در آزمایش های غیر مخرب، رادیوگرافی صنعتی می باشـد. لوله بی درز با اسـتفاده از بلوم یا اسـتوانه فولادی به ابعاد مختلف و عملیات سوراخکاری و کششی گرم تولیـد می شـود کـه به دلیل عدم وجود منطقه جوش و تنشهای پسـماند از همگنی بهتری در ساختار لوله برخوردار اسـت که این امر باعث مقاومت بهتر لوله ها در برابرخوردگی، محیط های با شـرائط حاد و غیره می گردد.



تولید لوله چدن نشکن به روش ریخته گری گریز از مرکز

در ایــن فراینــد جریان مذاب از طریق بارریز و ناودانی به درون قالب لوله که دارای ســرعت بالای گردش محوری بوده، ریخته شــده و مذاب شــکل لوله را به خود گرفته و به دلیل وجود جریان آب خنک کننده در اطراف قالب ســریعاً منجمد شــده و ســپس لوله ریخته گری شــده از قالب خارج می گردد.

لوله به یک استوانه بلند تو خالی دو سر باز با سطح مقطع دایره ای شکل اطلاق می شود.



جهت افزایش خواص مکانیکی از جمله ازدیاد طول نســبی، چقرمگی و کاهش سختی، لوله ای که از قالب بیرون آمده به ســمت کوره عملیات حرارتی (آنیلینگ) هدایت شــده تا در این کوره تحت سیکل حرارتی تعریف شده ای، قرار گیرد. این عملیات باعث کاهش تنشهای داخلی لوله و افزایش قابلیت ماشین کاری و برشکاری آن می گردد.

در ادامه عملیات تکمیل کاری روی محصول شــامل اعمال انواع پوشــش های داخلی مانند سیمان و پوشــش های خارجی مانند فلز روی و رنگ بیتومن قرار گرفته و لوله چدن نشــکن طبق الزامات استاندارد ISO 2531 تولید می گردد.

۳-۴ فرآیند صنایع نفتی

صنایع نفتی، بخشـی از صنایع شیمیایی اسـت که فرآورده های شیمیایی را از مواد خام حاصل از نفت یا گاز طبیعی تولید می کند.

اقوام متمدن دوران باسـتان، به ویژه سـومری ها و آشـوری ها و بابلی ها، در حدود چهار هزار و پانصد سال پیش در سرزمین میان رودان (محل عراق کنونی) با برخی از مواد نفتی که در دریاچه قیر بدسـت می آمد، آشـنایی داشـتند. آنان از خود قیر به عنـوان ماده غیر قابل نفوذ، اسـتفاده می کردند. رومی ها و یونانی ها نیز مواد قیری را برای غیر قابل نفوذ کردن بدنه کشـتی ها به کار می بردند. همچنین برای روشـنایی و گرم کردن نیز از آن بهره می جسـتند. با توسعه و پیشرفت تکنولوژی حفاری در اواسـط قرن نوزدهم و تکنولوژی تقطیر و پالایش نفت در اواخر قرن نوزدهم و اسـتفاده از آن در موارد غیر سوختی، جهش حیرت‌آوری بوجود آمد. به طوری که امروزه صنایع پتروشیمی نفش اساسی و بنیادی در رفع نیاز عمومی جامعه به عهده دارد.

امروزه فرآورده های نفتی علاوه بر مصرف در زمینه سـوخت وسـایل نقلیه، روغن موتور و غیره، در تهیه بسـیاری از قطعات مورد نیاز ساخت وسایط نقلیه، نقش ارزنده‌ای دارد. فرآورده‌های نفتی در تهیه سوخت موشکهای هدایت کننده، سفینه های فضایی و ماهواره ها و حتی در ساخت بسیاری از قطعـات داخلی آنها کاربرد اساسـی دارد. ماده اولیه بیشـتر داروها و حتی آنتـی بیوتیک ها از ترکیبات نفتی مشتق می شود. دید کلی صنایع پتروشیمی (Petrochemical industry)، بخشی

از صنایع شـیمیایی اسـت که فرآورده های شـیمیایی را از مواد خام حاصل از نفت یا گاز طبیعی تولید می کند. تا پیش از وارد شـدن نفت به مفهوم امروزی در زندگی انسان، مواد شیمیایی مورد نیاز، بر اثر تغییر و تبدیل صنایع گیاهی و حیوانی بدست می آمد. اما در اوایل قرن بیستم نفت خام و گاز طبیعی به عنوان ماده اولیه برای تهیه بسیاری از ترکیبات مورد نیاز انسان، اهمیت حیاتی و روز افزونی پیدا کرده‌است.

ترکیبات عمده موجود در نفت خام

ترکیبات عمده موجود در نفت خام عبارتند از: هیدروکربنهای سـیر شـده زنجیری به فرمول کلی $CnH2n+2$، هیدروکربنهای سـیر شـده حلقوی به فرمول عمومی $CnH2n$ که اصطلاحاً آن را نفتن گویند و هیدروکربنهای سیرنشده زنجیری اتیلن و استیلن. هرچه درصد تشکیل دهنده های نفت در دماهای پایین بیشـتر باشد، مرغوبیت آن بیشتر است. گازهای طبیعی، بخش گازی شکل مواد نفتی اسـت که همراه با نفت خام در مخازن زیرزمینی وجود دارد و یا از تقطیر نفت خام در پایین‌تر از $۲۰۰C$ بدست می آید. گازهای طبیعی، مخلوطی طبیعی از گازهای متان (قسمت عمده حدود ۸۵ درصد پروپان، بوتان، منواکسیدکربن و هیدروژن گاز سنتز) همراه با مقداری دوده است. مصرف عمده آن در کشـورهای غیر صنعتی به عنوان یک ماده سـوختی است. ولی در کشورهای صنعتی از آن در تهیه بسـیاری از فرآورده های شـیمیایی و صنعتی بسیار مفید و ضروری استفاده می کنند.

صنایع پتروشـیمی در ایران قدمتی در حدود ربع قرن دارد. اولین سازمان نسبتاً متشکل برای این منظور بنگاه شـیمیایی وابسـته به وزارت اقتصاد بود. عمده ترین فعالیت این بنگاه ایجاد کارخانه کود شـیمیایی مرودشـت فارس در سـال ۱۳۳۸ بود تا اینکه در سـال ۱۳۴۳ طبق قانون، کلیه فعالیت هایی که به عنوان ایجاد و توسـعه صنایع پتروشیمی توسط واحدهای تابعه وزارت خانه ها و سـازمان های مختلف دولتی انجام می شد، در شـرکت ملی نفت ایران متمرکز گردید و شرکت مزبور برای تأمین این منظور شـرکتی فرعی به نام شـرکت ملی صنایع پتروشیمی را تأسیس کرد. هدف اصلی این شـرکت تولید فرآورده های پتروشـیمی و شیمیایی و فرآورده های فرعی از نفت و مشتقات نفتی و گاز طبیعی و سایر مواد خام اعم از آلی و معدنی است. بدین ترتیب که با استفاده از هیدروکربورهای نفتی که به حد وفور در ایران موجود است و یا از استخراج نفت حاصل می شود و سـالیان متمادی به صورت مواد زائد و بلا مصرف سـوزانده می شد طبق اصول و موازین علمی-

صنعتـــی بهره برداری نموده و از اتلاف آنها جلوگیری به عمل آورد. براســـاس بررســـی هایی که ار ســـال ۱۳۶۴ آغاز شده است، معیار ارزیابی مواد پتروشـــیمی به صورت ده عامل مورد تصویب قرار گرفـــت و به دنبال آن در زمینه مجموعه فرآورده هـــای مورد نیاز نیز مطالعاتی صورت پذیرفته که این دســـته شامل مواد میانی، مواد شیمیایی، پلاســـتیک ها، لاستیک ها، الیاف مصنوعی، کودهای شمیایی و سموم است.

موارد مصرف فرآورده های پتروشیمی

لوازم خانگی:

بدنه یخچال، میز، صندلی، بدنه انواع دســـتگاه های برقی خانگی، دستکش، موکت، چمدان، کیف، مواد داروئی، شیشه، چرم، شوینده ها، کفپوش

پلاستیک:

انواع بطری، ظروف خانگی، کلید و پریز

انواع روکش ها:

روکش سیم و کابل، نوارهای پوشش لوله، روکش چوب، روکش کاغذ، روکش چرم

الیاف مصنوعی:

انواع پارچه پلاستیکی، گونی، طناب

فیلم:

انواع کیسه های پلاستیکی برای مصارف خانگی، بسته بندی، کشاورزی، داروئی و صنعتی

لوازم بهداشتی:

سرنگ، وسایل حمام و دستشویی، شیرآلات بهداشتی

اسفنج:

انواع عایق، بسته بندی، مصارف خانگی، میز و صندلی

اتومبیل:

قطعات مختلف ماشین مثل روکش صندلی، سپر، داشبورت، تایر و تیوب

قطعات پلاستیکی:

انواع قطعات پلاســـتیکی در دستگاه های صنعتی، چرخ های گردنده، پیچ و مهره، قطعات هواپیما، پروانه هواکش

لوله:

انواع و اقسام لوله برای مصارف گوناگون، آب و گاز، فاضلاب، مواد شیمیایی، اتصالات مختلف لوله

کودهای شیمیایی و سموم:

کودهای فسفاته، ازته، پتاسه و سموم دفع آفات نباتی

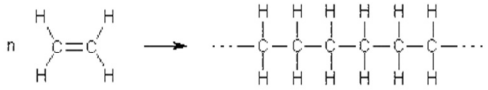
رنگ ها و چسب ها:

انواع رنگ ها و چسب ها برای مصارف خانگی و صنعتی

پلی اتیلن

شیمی ماکرومولکولها (پلیمرها) برای اولین بار توسط مطالعات و تحقیقات پروفسور H.Staudinger در بین دو جنگ جهانی اول و دوم پا به عرصه وجود گذاشت و مانند سایر ایده های نوین با نظریات انتقادی شدید مواجه گشت که اکنون همگی فراموش شده اند مگر آنهایی که از آن پشتیبانی کردند و این علم را به ترقی افتخار آمیز امروز رسانیدند. این علم به کارشناسان شیمی آلی این امکان را داده است که بتوانند تعداد بسیار متنوعی از پلیمرها را از طریق سنتز بدست بیاورند.

اتیلن (اتن) با فرمول $H_2C=HC_2$ بیشترین حجم را در تولید بسیاری از ترکیبات پتروشیمی دارد. اتیلن سبک ترین الفین است،که گازی بی رنگ، قابل اشتعال و با بویی تقریباً شیرین است. پلی اتیلن پلیمری است که از اتیلن درست می شود. انواع زیادی از پلی اتیلن وجود دارد، تفاوت ها عمدتاً از شاخه هایی که طبیعت مواد را تغییر می دهد ناشی می شود. در حالت جامد، وجود شاخه ها و نقص ها سطح کریستالی شدن را کاهش می دهد.



تقسیم بندی اساسی پلی اتیلن عبارت است از:

- HDPE پلی اتیلن با دانسیته بالا
- LDPE پلی اتیلن با دانسیته پایین
- LLDPE پلی اتیلن سبک خطی
- VLDPE پلی اتیلن خیلی سبک

- COPOLYMERS کوپلیمرهای اتیلن- ونیل استر
- IONOMERS یونیمرها
- XLPE پلی اتیلن با اتصالات عرضی

رزین های پلی اتیلن با دامنه وسیعی از ویژگی های فیزیکی، باعث تولید تعداد زیادی از محصولات می شود.

به دلیل آنکه LLDPE نقطه ذوب پایین دارد و از نظر شیمیایی مقاوم است از طریق تکنیک های معمولی قابل تبدیل است.

۱) ساختن فیلم: بیشترین LLDPE تولید شده در جهان به فیلم نازک تبدیل می شود که اعم از دمیدن مذاب (melt blown) و ریخته گری مذاب است.

۲) شکل دهی تزریقی (Injection molding): این روش برای تولید موادی با اشکال پیچیده استفاده می شود. ماشین شکل دهی شامل دو قسمت است: یک واحد تزریق (یک رآکتور) و یک واحد clamp (یک قالب)

۳) شکل دهی دمیدنی (Blow molding)، بطری ها و ظرف های ساده در مقادیر زیاد با تکنولوژی شکل دهی دمیدنی ساخته می شود.

۴) شکل دهی چرخشی (rotational molding)، ظرف های بزرگ و بعضی اسباب بازی ها با این روش ساخته می شوند.

۵) اکسترودژن (extrusion) کاربردها ی اکسترودژن شامل pelletization مواد LLDPE پس از ساخت فیلم ضخیم، ورقه، لوله، tubing و سیم های عایق است. همچنین اکسترودهای تکمیل یافته به منظور پوشاندن سیم ها و کابل ها با لایه LLDPE مورد استفاده قرار می گیرند.

بزرگترین بازار فیلم LLDPE بازار کیف است. چون فیلم LLDPE مقاومت کشش بالا دارد و در برابر پارگی مقاوم است قادر است با فیلم HDPE در بسیاری از کاربردها رقابت کند. چون کیف های ساخته شده از فیلم های نازک LLDPE مقاومت کششی بسیار عالی، مقاومت در برابر سوراخ شدن و مقاومت مهر شدن (seal) در فشارهای کم را دارد می توانند برای بسته بندی و یا به عنوان کیف جیبی کیف خشک شویی و لباس خشک شویی و کیف یخ مورد استفاده قرار گیرد. حجم مهمی از فیلم LLDPE برای تولید مواد بسته بندی در سایز بزرگ برای غذا (مثل ساک بقالی) و منسوجات استفاده می شود. ضمناً در صنعت و کشاورزی نیز کاربرد دارد.

قالب‌گیری تزریقی دومین بازار بزرگ LLDPE است. بیش ار نیمی از LLDPE مصرفی در

کاربردهای قالب ریزی شده، برای سیم منازل استفاده می‌شود.
سیم منازل LLDPE نسبت به LDPE سفت تر، دارای مقاومت بیشتر در برابر ضربه و تغییر شکل در دماهای بالا است و قدرت impact آنها در دمای پایین از پلی پروپیلن برتر است. در نتیجه ظروف ساخته شده از LLDPE جلای خیلی عالی و warpage پایین دارد. به همین ترتیب ظروف زباله و ظروف صنعتی ساخته شده از LLDPE استحکام استثنایی دارد و می تواند در برابر جا به جایی های خشن مقاومت کند. کاربردهای شکل دهی تزریقی برای LLDPE با ترکیب یکنواخت (پلاستومر) شامل پوششهای شفاف برای ظروف خانگی و ماسک صورت برای کار با اکسیژن است. کاربردهای LLDPE، Rotationaly molded, Blow molded قادر است تا با محصولات گران تر از قبیل cross-linked (شبکه ای شده) و rubber-modified PE رقابت کنند. بنابراین انواع زیادی از کالاها از ذرات ترکیب شده (molded) با ساختار پیچیده از رزین های LLDPE ساخته می شود که از جمله می توان اسباب بازی، ظروف بزرگ با لبه‌های گرد، تانک های کشاورزی و نگهداری آب را نام برد.
ویژگی‌های LLDPE در ساخت لوله نیز نقش مهمی ایفا می کند. لوله های LLDPE نه تنها انعطاف پذیری لازم، مقاومت بالا در برابر ترکبدگی و مقاومت در برابر شکست تنش محیطی بالایی دارد، بلکه تغییر شکل حرارتی آن بیشتر از LDPE و بعضی درجه های HDPE است. لوله ی LLDPE برای لوله کشی قطره ای، لوله ی استخرهای شنا، لوله های خرطومی منازل و غیره بکار می رود. به دلیل خلوص، شفافیت و انعطاف پذیری LLDPE (با ترکیب یکنواخت) و VLDPE، این مواد جایگزین PVC در بعضی کاربردها از جمله کاربردهای دارویی از تیوب شده است.
LLDPE به طور گسترده برای سیم و پوشش کابل در صنعت برق و تلفن استفاده می شود. پوشش به ویژگی هایی از قبیل انعطاف پذیری، کشش، دمای شکنندگی پایین، مقاومت بالا در برابر خراشیدگی، و خواص دی الکتریک بالا نیازمند است که برای رزین های PE معمولی است. سیم پوشیده شده با LLDPE به طور گسترده در توزیع برق با ولتاژ پایین، اتصال کابل های قدرت زیرزمینی، شبکه های ارتباطی و اطلاع رسانی، سیم کشی خودرو و لوازم خانگی به کار می رود.
همچنین حجم مهمی از LLDPE در بعضی کاربردهای الکتریکی مثل
accessory panels jacketing, molded و ورقه های نیمه هادی استفاده می شود.
MDPE پلی اتیلن با دانسیته متوسط است.

کاربرد

پلی‌اتیلـن کاربرد فراوانی در تولید انواع لوازم پلاسـتیکی مورد اسـتفاده در آشـپزخانه و صنایع غذایی دارد. از LDPE در تولید ظروف پلاسـتیکی سـبک و همچنین کیسـه های پلاستیکی اسـتفاده می شـود. HDPE، در تولید ظروف شـیر و مایعات و انواع وسـایل پلاسـتیکی آشـپزخانه کاربرد دارد. در تولید لولـه های پلاسـتیکی و اتصالات لوله‌کشـی معمولاً از MDPE استفاده می‌کنند.

لوله ی پلی اتیلنی

LLDPE بـه دلیـل بـالا بـودن میـزان انعطاف پذیری در تهیه انواع وسایل پلاستیکی انعطاف پذیر مانند لوله هایی با قابلیت خم شدن کاربرد دارد. اخیراً پژوهش های فراوانی در تولید پلی اتیلن هایی با زنجیر بلند و دارای شـاخه های کوتاه انجام شـده اسـت. این پلی اتیلن ها در اصل HDPE با تعدادی شاخه های جانبی هستند. این پلی اتیلن ها ترکیبی، استحکام HDPE و انعطاف پذیری LDPE را دارند.

مراجع

۱- قانون حفاظت در برابر اشعه، مصوب ۱۳۶۸ مجلس شورای اسلامی.
۲- آیین نامه اجرائی قانون حفاظت در برابر اشعه، مصوب ۱۳۶۹ هیئت وزیران و اصلاحیه آن مصوب ۱۳۸۶.
۳- استانداردهای پایه حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی منابع پرتو، استاندارد ملی ۷۷۵۱.
۴- ضوابط دریافت پروانه در کاربرد دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۹.
۵- قواعد کار با پرتو در کاربرد پرتونگاری صنعتی، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۴.
۶- قواعد کار با پرتو در کاربرد سنجشگرهای پرتوی، مرکز نظام ایمنی هستهای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۴.
۷- قواعد کار با پرتو در کاربرد دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۴.
۸- قواعد کار با پرتو در کاربرد دستگاه های آنالیز مواد با اشعه ایکس، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۴.
۹- ضوابط کار با پرتو درکاربرد دستگاه های آنالیز مواد به روش فعال سازی نوترونی، مرکز نظام ایمنی هستهای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۹.
۱۰- ضوابط ترابری ایمن مواد پرتوزا، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، امور حفاظت در برابر اشعه، ۱۳۸۶.
۱۱- روش های آزمایشگاهی رادیوایزوتوپ، سازمان انرژی اتمی ایران، مترجم محمد قنادی مراغه، نویسنده R.A.Faires,G.G.J.Boswell ۱۳۸۸
۱۲- کاربرد صنعتی رادیوایزوتوپ ها، سازمان انرژی اتمی ایران، مترجم حسین خلفی، فائزه رحمانی، نویسنده G-Foldiak۱۳۹۰
۱۳- کاربردهای عملیاتی رادیواکتیویته و تابش های هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، مترجم سید پژمان شیرمردی، محمد قنادی مراغه، نویسنده .Lowenthal Gerhart,C.,Airey,P.L ۱۳۹۰
۱۴- مجموعه دستورالعمل های بازرسی از کاربردهای پرتوی در صنعت
15- Environmental Regulatory Code Chapter 8, Radiation Safety Requirements for Analytical X-ray Equipment, June 2008, Louisiana Department of Environmental Quality.
16- National Health and Medical Research Council of Australia, Code of Practice for The Safe Use of Industrial Radiography Equipment , ARPANSA, Canberra (1989).
17- Analytical X-ray Equipment Radiation Safety Manual, university of Alberta, July 2003.

18- Safety Requirements and Guidance for Analytical X-ray Equipment, Canada, 1994, published by authority of the Minister of national Health and Welfare

19- Code of Practice for Protection against Ionizing Radiation Emitted from X-ray Analysis Equipment, National Health and Medical Research Council, Australia, 1984.

20- XRF Safety Manual with Operating Instructions, College of Engineering, Civil Architectural & Environmental Department, Miami, July 2006.

21- Radiation Safety guide for users of Analytical X-ray Systems Radiation Safety Office Indiana University – Bloomington, 2004.

22- National Health and Medical Research Council of Australia ،Code of Practice for The Safe Use of Radiation Gauges ،ARPANSA ،Canberra (1983).

23- International Atomic Energy Agency ،Categorization of Radioactive Sources، IAEA-TECDOC-1344 ،Vienna (2003).

24- International Atomic Energy Agency ، Practical Radiation Safety Manual ،IAEA-PRSM-3 ،(Rev. 1), 1996.

25- International Atomic Energy Agency ، The Safe Use and Regulation of Radiation Sources ،IAEA, 1992.