



NAISL

Quarterly, 2017

Volume 1, Number 2

Pages 5 – 11

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

An introduction to radiation protection in X-Ray instruments

Fariba Ali*

Abstract

X-ray analysis equipment, such as X-ray diffraction and X-ray spectrometry, is one of the most powerful non-destructive testing methods that is widely used in the science of material analysis and can be used to provide comprehensive information on the chemical composition of materials in geosciences, environmental science, chemistry, physics, pharmaceuticals, and One concern for the operators of these equipment is the presence of ionizing radiation that has the potential to damage human tissues and key organs such as the hematopoietic system, the digestive system, the central nervous system, and ultimately the whole body, or may have its destructive effects in later generations. Therefore, the use of this kind of equipment is subject to specific protective regulations. Also, the familiarity and application of these guidelines by operators can play an important role in radiation protection. This paper first deals with the relevant definitions, the effects of radiation on humans, and the permissible dose. Along with introducing the legal unit and the relevant authorities in order to enforce and monitor compliance with the requirements and guidelines, important precautions are briefly presented to reduce the amount of received radiation in the analytical X-ray equipment.

Key Words

Radiation protection,
Radiation,
X-ray analysis instrument,
Ionizing radiation,
X-ray

(* Central Laboratory of Amirkabir University of Technology, 424 Hafez Ave, Tehran, Iran.
E-mail: f.ali.ars@gmail.com, Phone Number: 09125400789



فصلنامه علمی

سال اول، شماره ۲

صفحات ۵ - ۱۱، ۱۳۹۶

شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸

شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸

مقدمه‌ای بر حفاظت در برابر اشعه در دستگاه‌های آنالیز اشعه ایکس

فریبا علی*

تجهیزات آنالیز پرتو ایکس چون پراش و طیف‌سنجی پرتو ایکس به عنوان یکی از قوی‌ترین انواع تست غیرمخرب کاربرد وسیعی در علم آنالیز مواد دارد و به کمک آن‌ها می‌توان به اطلاعات جامعی درباره ترکیب شیمیایی و ساختاری مواد در حوزه‌های زمین‌شناسی، علم محیط، شیمی، فیزیک، صنایع دارویی و ... دست یافت. یکی از نگرانی‌های اپراتورهای این تجهیزات، وجود پرتوهای یونساز است که توانایی بالقوه در آسیب‌رسانی به بافت‌های انسانی و ارگان‌های کلیدی بدن چون دستگاه خونساز، دستگاه گوارش، سیستم اعصاب مرکزی و در نهایت کل بدن دارد و یا ممکن است آثار مخرب آن در نسل‌های بعدی ظاهر شود. لذا چنین مواردی، به کارگیری این نوع تجهیزات را مشروط به رعایت قواعد حفاظتی خاص نموده است هم‌چنین آشنایی و کاربرد این دستورالعمل‌ها توسط پرتوکاران، می‌تواند نقش مهمی در حفاظت پرتوها ایفا کند. این مقاله نخست به تعاریف مرتبط، اثرات مخرب پرتو بر روی انسان و دز مجاز دریافتی می‌پردازد و ضمن معرفی واحد قانونی و مسئولین مربوطه در راستای اجرا و نظارت بر پایبندی الزامات دستورالعمل‌ها، اقدامات حفاظتی مهم در جهت کاهش میزان پرتوگیری در کاربری تجهیزات آنالیز پرتو ایکس به صورت اجمالی ارائه می‌شود.

چکیده



فریبا علی

واژگان کلیدی

حفاظت در برابر پرتو،
پرتوگیری،
دستگاه‌های آنالیز پرتو ایکس،
پرتوهای یونساز،
پرتو ایکس

یک کارشناس آزمایشگاه شیمی هر روز با مخاطرات شغلی خود مواجه می‌شود. او حتی در سال‌های اول تجربه حرفه‌ای خود در آزمایشگاه می‌داند که اسیدهای قوی می‌سوزانند نمک‌های آرسنیک سمی هستند و بسیاری از حلال‌های فرار می‌توانند به طور بالقوه موجب به آتش‌سوزی گردند. با این وجود، همواره شاهد هستیم که اشخاص زیادی در آزمایشگاه‌ها، می‌سوزند، مسموم و با سوانح آتش‌سوزی روبرو می‌شوند. آمار نشان می‌دهد که اغلب این پیشامدها به سبب بی‌احتیاطی رخ می‌دهند به عنوان مثال عدم استفاده از عینک ایمنی. در عصر مدرن و با به کارگیری تجهیزات پیشرفته آنالیز، فعالیت در آزمایشگاه می‌تواند با مخاطرات بالقوه نوظهوری به دلیل استفاده نادرست از این تجهیزات همراه باشد. در این طبقه‌بندی و در این مقاله، خطرات آن دسته از دستگاه‌ها مورد توجه قرار گرفته که از تابش‌های یونساز به منظور انجام آنالیز استفاده می‌کنند. پرتو ایکس تابش الکترومغناطیس پر انرژی‌ای است که ماده‌ی برهمکنش‌کننده با آن را از طریق جدا کردن الکترون‌ها از اتم‌های آن یونیزه می‌کند. میزان یونیزاسیون، جذب و تغییرات مولکولی به مقدار (شدت و شار) و کیفیت (توزیع طیفی انرژی فوتون) تابش بستگی دارد. مواجهه اندام‌های زنده با چنین تابشی، می‌تواند به آسیب و گاهی به مرگ آن اندام بیانجامد. بنابراین ضروری است که همه کاربران تجهیزات اشعه ایکس به منظور کاهش مخاطرات آن، اطلاعات کافی در این زمینه داشته باشند. با وجود آن که مطالعات اخیر نشان می‌دهد که سوانح و صدمات قابل توجهی ناشی از پرتوگیری با چنین تجهیزات گزارش شده است، متأسفانه توصیه‌ها و استانداردهای حفاظتی مربوط به این تجهیزات به درستی اجرا نمی‌شوند. در حال حاضر، بسیاری از کشورها کمیته‌هایی دولتی تشکیل می‌دهند که از مسئولیت‌های آن‌ها ایجاد محدودیت‌های قابل قبول برای مواجهه با تابش‌های یونساز و مشابه آن می‌باشد و هم‌چنین این کمیته‌ها قدرت اجرایی نظارت بر پایبندی به الزامات مربوطه را دارند.

در ۱۸ اکتبر سال ۱۹۶۸، برای نخستین بار در آمریکا قانون عمومی، کنترل تابش برای ایمنی و سلامتی، پس از بیش از ۱۴ ماه جلسات گسترده با حضور نمایندگان دولت، صنعت و عموم مردم به

بار نشست. این قانون در پاسخ به نگرانی فزاینده‌ی استفاده‌کنندگان تجهیزات آنالیز در برابر مواجهه با تابش آن‌ها تصویب گردید [۵]. این قانون تابش پرتوهای یونساز و غیر یونساز الکترومغناطیسی و ذره‌ای به علاوه امواج صوتی و اولتراسونیک و اینفراسونیک را در برمی‌گیرد و اما در ایران، در سال ۱۳۶۸ توسط مجلس شورای اسلامی قانون حفاظت در برابر اشعه به تصویب رسید [۱]. بر اساس این قانون، واحد قانونی مؤظف به اجرای مقررات، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مربوطه می‌باشد، این مسئولیت‌ها از طرف سازمان انرژی اتمی ایران به مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور به عنوان واحد قانونی^۱ تفویض شده است [۲].

یکی از اولین سازمان‌هایی که استانداردهایی جهت به کارگیری از پرتو ارائه نمود کمیسیون بین‌المللی حفاظت در رادیولوژی^۲ ICRP می‌باشد [۵].

۲ یکاهای اندازه‌گیری تابش‌های یونساز

یکای استاندارد اما قدیمی به منظور اندازه‌گیری میزان پرتودهی تابش‌های یونساز رونتگن (R) است. رونتگن به عنوان شار تابشی که بتواند در شرایط متعارف فشار و دمایی، $10^9 \times 2/08$ جفت یون در هر سانتی‌متر مکعب تولید کند، تعریف می‌شود. اما یکای جدید پرتودهی کولن بر کیلوگرم C/kg هوا می‌باشد که عبارت است از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند در شرایط متعارفی یک کولن بار الکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوا تولید نماید. لازم به ذکر است هر یک کولن بر کیلوگرم پرتودهی معادل ۳۸۷۶ رنتگن است. میزان جذب پرتو به طبیعت ماده جاذب بستگی دارد و در مواد مختلف به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. بنابراین تعریف دو یکای دیگر، گری و سیورت که میزان انرژی جذب شده در مواد را نشان می‌دهند ضروری است.

یکای جدید دز جذبی در دستگاه بین‌المللی یکاها با ژول بر کیلوگرم ماده با نام ویژه گری و به صورت Gy نشان داده می‌شود، یک گری عبارت است از انرژی معادل یک ژول ناشی از انواع پرتوها که به یک کیلوگرم ماده منتقل می‌شود که در گذشته، واحد راد برای نشان دادن میزان دز جذبی پرتوهای یونساز در مواد مورد استفاده قرار می‌گرفت

^۱ Competent Authority/ Regulatory Body

^۲ International Commission on Radiological Protection

^۳ Sievert



مقالات علمی

کمیته سیورث^۳ مشخص می‌کنند که معادل تأثیر یک گری اشعه ایکس می‌باشد [۵]:

$$D(SV) = D(Gy) \times RBE$$

که در آن RBE به عنوان تأثیر نسبی زیستی پرتو تعریف می‌شود. زمانی که سمیت یا آسیب شناسی ناشی از تابش‌های مختلف با هم مقایسه می‌شود، با فرض اینکه این مقایسه براساس جذب مقادیر یکسان انرژی صورت بگیرد، مشخص می‌شود هر چه آهنگ انتقال انرژی بیشتر باشد، آسیب رسانی تابش به موجود زنده نیز بیشتر می‌شود. بنا به تعریف، نسبت مقدار انرژی لازم از پرتوهای ایکس ۲۰۰ کیلو الکترون ولت برای تولید اثری مشخص به انرژی لازم از هر تابش دیگر برای تولید همین اثر، تأثیر زیستی آن تابش می‌نامند. در فیزیک بهداشت در جمع‌زنی دزهای مختلف یک حد بالای محتاطانه RBE برای مهم‌ترین اثر ناشی از تابش غیر از تابش مرجع (پرتوهای ایکس ۲۰۰ کیلو الکترون ولت) به عنوان عامل نرمال کننده در نظر گرفته می‌شود. این عامل بهنجار کننده ضریب کیفیت QF خوانده می‌شود، برای سهولت، ضرایب کیفیت پیشنهادی تابش‌های مختلف که متخصصان فیزیک بهداشت بیشتر با آن‌ها سروکار دارند در جدول زیر آمده است [۶].

جدول ۱: جدول ضرایب کیفیت تعیین شده برای تابش‌های مختلف

GF	نوع تابش
۱	ایکس و گاما (مربوط به رادیم)
۱	β و الکترون‌های با انرژی بیش‌تر از $0.03 MeV$
۱/۷	β و الکترون‌های با انرژی کمتر از $0.03 MeV$
۲	نوترون‌های گرمایی
۱۰	نوترون‌های تند
۱۰	پروتون‌های
۲۰	α
۲۰	یون‌های سنگین

۳ مونیورینگ تابش و دز دریافتی مجاز

اندازه‌گیری متداول شدت پرتو ایکس به صورت متداول بر مبنای $\frac{C}{kg \cdot hr}$ بیان می‌شود که در نهایت، حاصل ضرب شدت تابش در زمان کلی مواجهه، دز کلی پرتو دهی را بدست می‌دهد. وسایل اندازه‌گیری دز دریافتی استاندارد دو نوع هستند: شمارش‌گرهای گایگر و محفظه‌های یونیزاسیون. شمارش‌گرهای گایگر، تعداد فوتون‌های دریافتی را

شمارش می‌کند و طی انجام محاسباتی فوتون شمارش شده را تبدیل به C/kg یا R می‌نمایند. ولی آشکارسازهای محفظه یونیزاسیون، زوج‌های یون را اندازه‌گیری می‌کنند و نتیجه این اندازه‌گیری به طور مستقیم بر حسب یکای شار تابشی نمایش داده می‌شود. اگرچه آشکارسازهای گایگر و یونیزاسیون هر دو باید با فوتون‌های اشعه ایکس با انرژی مشابه پرتوهایی که دز پرتو دهی آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد کالیبره گردد [۵].

به منظور مونیورینگ میزان دز دریافتی پرتوکاران به طور متداول از چندین نوع تجهیزات مونیورینگ فردی استفاده می‌شود که مهم‌ترین و پر استفاده‌ترین آن‌ها در ذیل آمده است:

- فیلم بچ: از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین وسایل دزیمتری فردی است که از یک قاب پلاستیکی (badge) که روی آن چند فیلتر فلزی از جنس و دانسیته‌های مختلف تعبیه شده، تشکیل شده است. درون قاب نیز یک فیلم $4 * 3$ سانتی‌متر حساس که روی آن را به ورقه شفاف از برمور نقره و ژلاتین پوشانده‌اند، قرار داده می‌شود. برمور نقره در قسمت‌هایی از فیلم که تحت تابش پرتو قرار گرفته است، احیاء شده و به نقره فلزی سیاه رنگ تبدیل می‌شود. که شدت سیاهی رنگ با شدت پرتو متناسب می‌باشد. مزایای فیلم بچ آن است که اطلاعات آن قابل نگهداری می‌باشد. ولی عیب آن عدم دسترسی سریع به نتایج پرتوگیری است. دزیمتری معمولاً ماهانه یا سه ماه یکبار انجام می‌شود.

- دزیمتر ترمولومینسانس: از پدیده‌ای به این نام جهت اندازه‌گیری دز مؤثر دریافتی استفاده می‌کند که عبارت است از ساطع شدن نور در اثر گرمادهی به ماده‌ای که قبلاً در معرض پرتو قرار گرفته است. در این دزیمترها از موادی نیمه هادی یا عایق با این خاصیت چون LiF بهره می‌برند. میزان نور ساطع شده مستقیماً متناسب با دز دریافت شده توسط ماده است. حساسیت این دزیمتر به کریستال پایه تشکیل دهنده ماده و ناخالصی‌های موجود در آن بستگی دارد و برای دزهای کم تا دزهای بالا قابل استفاده است. هم‌چنین مرحله قرائت و محاسبه آن ساده می‌باشد و در تعیین پرتوگیری‌های موضعی کاربرد دارد.



کارکنان مراکز کار با پرتوهای یونساز و تأسیسات هسته‌ای که توسط دفتر حفاظت در برابر اشعه در فرودین ماه سال ۱۳۹۵ منتشر گردید، دز مؤثر دریافتی برای پوست و عدسی چشم به ترتیب نباید از مقادیر ۵۰۰ و ۵۰ میلی سیورت تجاوز کند [۴].

۴ واحد قانونی و مسئولیت‌های اصلی

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد بر اساس قانون حفاظت در برابر اشعه، واحد قانونی مؤظف به نظارت بر اجرای مقررات، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مربوطه می‌باشد. این مسئولیت‌ها از طرف سازمان انرژی اتمی به مرکز سازمان در امور نظام ایمنی هسته‌ای کشور به عنوان واحد قانونی تفویض شده است. بر طبق آیین‌نامه و دستورالعمل‌های مصوب این واحد قانونی، مسئولیت اجرای الزامات بر عهده شخص دارنده پروانه اشتغال دستگاه‌های آنالیز مواد با اشعه ایکس می‌باشند، درخواست‌کننده دریافت پروانه اشتغال مدیر ارشد یک سازمان اعم از دولتی و خصوصی است و هم‌چنین متقاضی درخواست پروانه اشتغال باید یک نفر را به عنوان شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت که بازوی اجرایی ضوابط و الزامات مربوطه است معرفی نماید هر چند که یک نفر می‌تواند واجد شرایط احراز هر دو سمت باشد که وظایف مسئول فیزیک بهداشت به اختصار در زیر آمده است:

- حصول اطمینان از صحت کارکرد دستگاه و قطعات ایمنی مربوطه و انجام آزمون‌های کنترل کیفی مربوطه
- توجیه و آموزش و به روزرسانی اطلاعات پرتوکاران در زمینه حفاظت در برابر اشعه
- بازرسی و نظارت بر کار پرتوکاران
- انجام اندازه‌گیری‌ها، بررسی‌ها و ارزیابی‌های ایمنی
- طرح‌ریزی برنامه‌های مونیورینگ، ثبت و نگهداری سوابق
- بررسی برنامه‌های آزمایشات پزشکی پرتوکاران [۲]

۵ توسعه عادات ایمن در موضوع حفاظت در برابر اشعه

اهداف حفاظت در برابر پرتوهای یونساز بر اساس استانداردهای پایه و نظر انجمن حفاظت در برابر پرتو به صورت زیر می‌باشد:

- دزیمتر قلمی: در مواردی که آگاهی سریع از میزان پرتوگیری فرد ضروری باشد استفاده از یک دزیمتر قرائت مستقیم مانند دزیمتر قلمی ضروری است. داخل این دزیمتر یک رشته سیم کوارتز قرار دارد که در اثر باردار شدن خم می‌شود. در صورتی که دزیمتر در معرض پرتوهای یونساز قرار گیرد، یون‌های ایجاد شده در هوا باعث کاهش بار الکتریکی در رشته سیم شده و این امر موجب می‌گردد رشته سیم از حالت خمیده خارج شود. لازم به ذکر است تغییرات شرایط محیطی می‌توانند مسبب تخلیه بار در رشته سیم گردیده و بنابراین نتیجه قرائت دزیمتری بیش از مقدار واقعی پرتوگیری آن است. هم‌چنین این دزیمتر نسبت به ضربه بسیار حساس می‌باشد.

اثرات بیولوژیکی پرتوهای ایکس به صورت اثرات قطعی و احتمالی تقسیم‌بندی می‌شود. اثرات قطعی از مواجهه با پرتوهای اولیه اشعه ایکس ظاهر می‌شود و وقتی بروز می‌کنند که پرتوگیری از یک حد آستانه بیش‌تر باشد مانند ملتهب شدن پوست، تغییرات خونی، آب مروارید و ... اثرات احتمالی، اثراتی هستند که برای ظاهر شدن آن‌ها به طور معمول حد آستانه دز وجود ندارد، نظیر سرطان‌های مختلف و عوارض سوء روی نسل‌های آینده. این نوع اثرات همان‌گونه که از نامشان پیداست به صورت تصادفی به عنوان مثال در صورت مواجهه با پرتوهای ناشی از دستگاه‌های آنالیز پرتو ایکس پس از یک مدت زمان قابل توجه ممکن است پدیدار گردد و حتی این احتمال وجود دارد که در شخصی که در معرض تابش پرتوها قرار نگرفته مشاهده شود (مانند فرزندان پرتوکارها).

مطالعات نشان می‌دهد که مواجهه شغلی با میانگین دز مؤثر سالانه ۲۰ میلی سیورت برای پنج سال متوالی مجاز می‌باشد [۵]. به منظور استفاده ایمن و منظم از تجهیزات اشعه ایکس، التهاب پوستی (قرمزی پوست) با دزهای دریافتی ناحیه‌ای از ۳۰ میلی سیورت به بالا رخ می‌دهد و دز حدود ۵۰ میلی سیورت منجر به سوختگی و آسیب جدی پوستی می‌گردد (در مواجهه کوتاه مدت) [۳].

اگرچه تیوب‌های پراش و طیف‌نگاری پرتو ایکس آهنک پرتودهی بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سیورت در هر ساعت تولید می‌کنند که تنها مواجهه بسیار اندک با پرتوهای اولیه این تجهیزات آنالیز موجب سوختگی بسیار شدید و جبران‌ناپذیر پوستی می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده و براساس دستورالعمل معاینه بالینی و آزمایشگاه‌های پزشکی



مقالات علمی

۱. جلوگیری از بروز عوارض قطعی قابل پیش‌بینی تشعشع با ننگ داشتن پرتوگیری در زیر حدود آستانه

۲. محدود نمودن مخاطره آثار احتمالی تا سطح مورد قبول توسط به کارگیری مقررات فنی و اجرایی به منظور اطمینان از ایمنی منبع و نیز کاهش احتمال پرتوگیری از منابع پرتوزا به کمترین حد ممکن بر اساس اصل ALARA^۱ تلاش در جهت هرچه کمتر مواجه شدن با اشعه [۵]

بنابراین بایستی با اتخاذ روش‌هایی با حداقل رساندن زمان پرتوگیری، به حداکثر رساندن فاصله از منبع پرتو و ایجاد حفاظ در مقابل منبع پرتو اهداف حفاظتی ذکر شده را برآورده کرد به عنوان مثال استفاده از پرسنل مجرب جهت کار با دستگاه و کار گروهی و تقسیم کار (کاهش زمان پرتوگیری)، به کارگیری حفاظ‌هایی از جنس سرب و تنگستن (پرتوهای ایکس به طور نمایی در عبور از حفاظ تضعیف می‌شوند) [۶]. اقدامات متعددی وجود دارد که اپراتورهای تجهیزات پرتو ایکس می‌توانند با کمک آن‌ها احتمال پرتوگیری را کاهش دهند. همواره بایستی بررسی‌های پرتودهی کاملی بر روی تجهیزات به تازگی نصب یا تعمیر شده و بعد از هر دوره طولانی استفاده نکردن از دستگاه صورت پذیرد. هم‌چنین در این موارد خاص، باید همیشه یک دزیمتر محیطی در مجاورت دستگاه نصب شود. هیچ‌گاه نباید تصور شود که تجهیز بعد از تغییر اپراتور و یا پس از سرویس در وضعیت ایمن قرار دارد. تمامی امور مربوط به تعمیر و نگهداری این نوع دستگاه‌ها بایستی توسط افراد مجرب و آموزش دیده صورت پذیرد [۲].

ارزیابی دقیق دز دریافتی با کمک ابزارهای مونیوتورینگ فردی به منظور پیش‌بینی و تعیین روش درمان صدمات ناشی از پرتوها حائز اهمیت است. به طور متداول، به منظور انجام مونیوتورینگ فردی از فیلم بیج یا دزیمتر قلمی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که فیلم بیج باید در ارتفاع مناسب و در محلی در برابر منبع تابش نصب گردد. دستگاه‌های آنالیز پرتو ایکس با اسباب ایمنی متعددی و قفل داخلی تجهیز می‌شوند. این قطعات را نباید هیچ وقت بدون آن که اقدامات احتیاطی مناسبی در نظر گرفته شود از کار انداخت و در نهایت می‌بایست دستگاه، تمامی استانداردهای ایمنی منطقه‌ای و حتی فراتر از آن را برآورده کند (به ضوابط کار با پرتو در کاربرد دستگاه‌های آنالیز مواد با اشعه ایکس رجوع کنید). لازم به تذکر است که هیچ دز

دریافتی از اشعه بی خطر نیست [۲].

نکته قابل تأمل در مسائل حفاظت در برابر اشعه پرتوکاران، انجام آزمایشات پزشکی دوره‌ای است که با توجه به آنکه پرتوکاران دستگاه‌های آنالیز پرتو ایکس در گروه ب قرار می‌گیرند بایستی سالیانه یکبار تحت آزمایشات پزشکی قرار گیرند تا هر نوع اثرات شناخته شده و یا مشکوک در صورت پرتوگیری از پرتوهای اولیه دستگاه، مشخص گردد. حداقل آزمایشات پزشکی شامل شمارش گلبول‌های قرمز و سفید، تعیین فرمول لوکوسیت، جستجو و ثبت سلول‌های غیرعادی خون، تعیین مقدار هموگلوبین و هماتوکریت، تعیین زمان انعقاد و سرعت سدیمان‌تاسیون خون و آزمایشات دوره‌ای ادرار است. معاینات بالینی تمام بدن از جمله چشم به ویژه توجه به تغییرات عدسی چشم و پوست باید صورت پذیرد [۴].

۶ نتیجه‌گیری

آسیب‌های ناشی از پرتوگیری از دستگاه‌های آنالیز پرتو ایکس قابل چشم‌پوشی نمی‌باشد و با توجه به این واقعیت که با توجه به کاربردهای گسترده روش‌های آنالیز بر پایه اشعه ایکس، در شناسایی و بررسی خواص مواد شیمیایی در هر سازمانی و مرکز تحقیقاتی اعم از دولتی و غیر دولتی، دستگاه‌های طیف‌سنجی و پراش پرتو ایکس به صورت روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا جهت کاهش این آسیب نیاز به نگاه جدی‌تر مدیران ارشد مراکز و و مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور به عنوان واحد قانونی در اجرا و نظارت بر نحوه اجرای تمامی الزامات، دستورالعمل‌ها و استانداردهای موجود ضروری است و مونیوتورینگ‌های فردی و محیطی در هنگام فعال بودن این تجهیزات، گامی مؤثر جهت پیشگیری و کنترل مخاطرات پرتوگیری می‌باشد.

مراجع

[۱] قانون حفاظت در برابر اشعه مصوب ۱۳۶۸.

[۲] ضوابط کار با پرتو در کاربرد دستگاه‌های آنالیز مواد با اشعه ایکس، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، دفتر امور حفاظت در برابر اشعه کشور، اسفند ۱۳۹۰

[۳] استاندارد ملی حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی منابع پرتو، استانداردهای پایه (کد ملی ۷۷۵۱).

^۱ As Low As Reasonably Achievable



- [۴] دستورالعمل معاینه بالینی و آزمایش‌های پزشکی کارکنان در مراکز کاربا پرتوهای یونساز و تأسیسات هسته‌ای (بازنگری ۳) مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، دفتر امور حفاظت در برابر اشعه کشور، فروردین ۱۳۹۵.
- [۵] کتاب حفاظت در برابر اشعه، ترجمه شهرام دبیری اسکویی، ژینوس دبیری اسکویی، موسسه فرهنگی، انتشاراتی حیان-اباصالح.
- [۶] آشنایی با فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی نویسنده هرمان سمیر ترجمه محمد ابراهیم ابوکاظمی، هوشنگ سپهری، علیرضا بینش، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.

