مقاله کنفرانسی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شمارهٔ ٤، زمستان (ویژه‌نامه) ۱٤۰۱، صفحه ۱۰۱-۱۰۵
ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یونساز و غیریونساز (مردادماه ۱٤۰۰)
تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۰/۰۷/۱٤، تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۱/۰۵/۰۹

بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حوادث پرتوی در فعالیت رادیوگرافی صنعتی

سیدجواد حسینی‌علی‌آبادی*، حسین کریمی‌آشتیانی و حامد کسایی

دفتر حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای، تهران، ایران.
*تهران، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای، دفتر حفاظت در برابر اشعه، کدپستی: ۱٤۳۹۹٥٤۸۳۱.
پست‌الکترونیکی: jaliabadi@aeoi.org.ir

چکیده

کاربرد پرتوهای یونساز در پزشکی، صنعت، تحقیق و آموزش به‌سرعت در حال توسعه است. رعایت اصول حفاظت در برابر پرتو در کاربرد پرتوهای یونساز ضامن سلامت پرتوکاران، جامعه و محیط زیست است. از این رو تدوین دستورالعمل‌ها و آموزش پرتوکاران در رأس الزامات کاری و برنامه‌های واحدهای قانونی قرار گرفته است. علی‌رغم الزام واحدهای فعال در زمینه پرتوی به رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها، هم‌چنان شاهد رخداد حوادث پرتوی بوده‌ایم. رادیوگرافی صنعتی، به‌عنوان یکی از پرخطرترین فعالیت‌های پرتوی، که از چشمه‌های پرتوزای شدت بالا استفاده می‌کند همواره در معرض حوادث پرتوی بوده است. در این تحقیق تعداد ٤۳ مورد از حوادث پرتوی ثبت شده مرتبط با رادیوگرافی صنعتی از لحاظ عامل مؤثر در رخداد حادثه بررسی شده‌اند و سایر عوامل که در روند پیشرفت حادثه مداخله داشته‌اند نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. دسته‌بندی حوادث از نظر عامل اصلی نشان می‌دهد عدم پیروی از فرایندهای کاری بیشترین تعداد حادثه را به‌خود اختصاص داده است. کنترل نظارتی نامناسب و تخلف عمدی با فاصله قابل توجهی، در رتبه بعدی قرار دارند. بررسی عوامل اصلی حوادث پرتوی در رادیوگرافی صنعتی نشان می‌دهد آموزش صحیح پرتوکاران و به‌کارگیری دستورالعمل‌ها می‌تواند در کنترل رخداد حوادث پرتوی مؤثر باشد.

کلیدواژگان: حوادث پرتوی، رادیوگرافی صنعتی، تجهیزات رادیوگرافی، واحد قانونی، پرتوگیری.

۱. مقدمه

استفاده از پرتوهای یونساز برای توسعه فنی در پزشکی، صنعت و تحقیقات در جهان هم‌چنان به سرعت در حال افزایش است. یکی از کاربردهای گسترده پرتوهای یونساز، استفاده از اشعه ایکس و گاما برای رادیوگرافی صنعتی است. تقریباً در تمام کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)، رادیوگرافی صنعتی در مؤسسات و شرکت‌های بزرگ و در اماکن مختلف، ازجمله سایت‌ها انجام می‌شود و کاربردهای مختلفی را دربر می‌گیرد. رادیوگرافی صنعتی، فرآیند استفاده از پرتو برای نفوذ به محصولات تولیدی مانند ریخته‌گری و جوش خطوط لوله به‌منظور تعیین وجود ترک‌ها و نواقص اتصالات است. این پرتوها یا توسط دستگاه‌های اشعه ایکس و یا توسط مواد رادیواکتیو (به شکل چشمه بسته) تولید می‌شود. پرتو به جسم مورد مطالعه نفوذ می‌کند و در فیلم یا سایر سیستم‌های آشکارساز که در پشت جسم قرار دارد، ثبت می‌شود. رادیوگرافی صنعتی،

با استفاده از پرتوهای ایکس و یا چشمه پرتوزای رادیوم، در اوایل دهه ۱۹۰۰ آغاز شد و کاربرد آن به‌ویژه از دهه ۱۹٤۰ با استفاده از چشمه های پرتوزا مانند کبالت-٦۰ و ایریدیوم-۱۹۲ گسترش یافت.

این صنعت تقریباً نیمی از حوادث گزارش شده در صنایع در کشورهای توسعه یافته و همچنین در کشورهای در حال توسعه را به خود اختصاص می دهد و منجر به تلفات و جراحات شده است. این موضوع، دلیل بررسی این سوانح توسط تیمی از مسئولین واحد قانونی، تولید کنندگان و مشاوران ایمنی می‌باشد. از بررسی شرایط هر سانحه و نواقص آشکار در ایمنی، سیستم نظارتی، طراحی تجهیزات و عملکرد پرسنل، رویه‌های متعددی تعیین شد که در صورت اجرای آن، ایمنی را در رادیوگرافی صنعتی بهبود می بخشد. اشتراک دانش به‌دست آمده و درس‌های آموخته شده از این حوادث در بین همه کشورهای عضو آن سازمان، موجب می شود تا همه کشورها بتوانند از این تجربه بهره مند شوند و تغییرات لازم را در مراحل قانونی، صدور مجوز و بازرسی اعمال کنند. به‌ویژه کشورهایی که از نظر زیرساخت ایمنی در برابر پرتوها، ضعیف بوده و یا فاقد آن هستند.

در این مقاله، براساس گزارش ایمنی شماره ۷ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (۱۹۹۸)، تعداد ٤۳ مورد از حوادث پرتوی رادیوگرافی صنعتی که بین سال های ۱۹۷٦ تا ۱۹۸۲ رخ داده است بررسی شده اند. گزارش اولیه این حوادث از کشورهایی که زیرساخت نظارتی لازم برای جمع‌آوری اطلاعات و طرح مزایای درس‌های آموخته شده دارند، دریافت شده است. هدف از این بررسی، بیان وقایع آغازگر حوادث، عوامل مؤثر و پیامدهای آن است. به عبارتی، دلایل اصلی حوادث رادیوگرافی و مجموعه اقدامات انجام شده برای جلوگیری از وقوع مجدد چنین حوادثی یا کاهش عواقب و پیامدهای آن تشریح خواهد شد. هم‌چنین در این تحقیق، سناریوهای حوادث منتخب رادیوگرافی صنعتی، درس‌های آموخته شده و پیشنهادات لازم برای همه افراد / مقامات مسئول حفاظت و ایمنی پرتوی در رادیوگرافی صنعتی شرح داده می‌شود.

۲. عوامل رخداد حوادث

کاربرد پرتوهای یون‌ساز و استفاده از رادیوگرافی صنعتی همچنان درحال رشد است و اکنون تقریباً در تمام کشورهای عضو استفاده می شود. علی رغم توسعه استانداردهای ایمنی و پیشرفت در زیرساخت های حفاظت پرتوی واحدهای قانونی برخی از کشورها، هنوز شاهد پرتوگیری کارکنان و آسیب‌ها و تلفات جانی هستیم. میزان دز دریافتی از منابع مولد پرتو ممکن است به حدی زیاد باشد که باعث پرتوگیری بیش از حد اندام‌ها شود و منجر به از بین رفتن آن‌ها گردد. پرتوگیری تمام بدن که منجر به مرگ گردد بسیار نادر است، اما در مواردی که منابع مولد پرتو به علت سوء استفاده یا اشتباهات سهوی بهره‌برداری شده اند، چنین حوادثی رخ داده است. با وجود پیشرفت در طراحی تجهیزات و بهبود سیستم های ایمنی، رخداد حوادث به‌دلیل عدم رعایت رویه‌ها و در بعضی مواقع به‌دلیل کنترل نامناسب نظارتی هم‌چنان ادامه دارد.

حوادث با عواقب قطع عضو یا مرگ، نشان‌دهنده عدم کنترل نظارتی مناسب، خطای انسانی، رویه های نادرست و عدم کفایت تجهیزات ایمنی است. ممکن است یک یا چند عامل برای ایجاد حادثه، (یک رویداد آغازگر و عوامل دیگری برای تسریع ایجاد حادثه) ترکیب شوند. براساس حوادث بررسی شده، دلایل اصلی ایجاد حادثه شامل موارد متعددی بوده‌اند که به شرح زیر طبقه‌بندی شده است:

کنترل نظارتی نامناسب؛

عدم پیروی از فرایندها و دستورالعمل‌های کاری؛

آموزش نامناسب پرتوکاران؛
نگه‌داری نامناسب تجهیزات رادیوگرافی؛
خطای انسانی؛
اشکال در عملکرد و نقص تجهیزات؛
نقص طراحی؛
تخلف عمدی.

هر یک از عوامل فوق می‌توانند موجب بروز حادثه‌ای شوند. هرچند توسعه حادثه ممکن است به عوامل دیگری نیاز داشته باشد، اما موارد اشاره شده در بالا عامل اصلی بروز حادثه پرتوی هستند.

۱.۲. کنترل نظارتی نامناسب

علت اصلی رخداد برخی از حوادث بررسی شده، کنترل نظارتی نامناسب بوده است که ناشی ناکارآمدی واحد قانونی یا به‌دلیل عدم وجود زیرساخت‌های حفاظت در برابر اشعه است. در صورت تدوین استانداردهای لازم برای دراختیار داشتن، استفاده و پسمان مواد پرتوزا، و همچنین در اختیار داشتن و استفاده از دستگاه‌های مولد اشعه ایکس، کنترل نظارتی مؤثر توسط یک نهاد دارای اختیارات قانونی ضروری است. این اختیارات با هدف اطمینان از آموزش پرسنل، استفاده از تجهیزات مناسب در محل کار و استفاده از روش‌های تدوین شده، شامل حفاظت در برابر اشعه و ملاحظات ایمنی درنظر گرفته شده است.

بررسی حوادث پرتوی که به علت کنترل نظارتی نامناسب رخ داده‌اند نشان می‌دهد سایر عامل مؤثر در آن، عدم وضع مقررات کافی برای پسمان، عدم ردیابی و انتقال ایمن چشمه‌های پرتوزا، عملکرد نادرست دوربین پرتونگاری، عدم آموزش پرتوکار و عدم استفاده از تجهیزات پایش پرتو بوده است.

جهت پیشگیری از بروز مجدد این حوادث کافی است حسابرسی منابع، آموزش پرتوکاران و تأکید بر استفاده از دستگاه‌های سنجش پرتو توسط واحد قانونی انجام گردد.

۲.۲. عدم پیروی از دستورالعمل‌های کاری

عدم پیروی از دستورالعمل های کاری، از جمله الزامات واحد قانونی، دلیل اصلی و مؤثر در اکثر حوادث است. این مشکل در همه کارگران، از افراد سالخورده و مجرب، که ممکن است بسیار از عملکرد خود اطمینان داشته باشند تا افراد کم‌تجربه و آموزش‌ندیده به‌وجود می‌آید.

نتیجه بررسی حوادث ناشی از این عامل نشان می‌دهد عدم در اختیار داشتن دستورالعمل‌های مربوط به‌نحوه تعمیر و تعویض سیستم‌ها، عدم رعایت و اجرای دستورالعمل‌های موجود، دستگاه‌های سنجش پرتو معیوب و عدم به‌کارگیری صحیح آن‌ها روند حادثه را تشدید کرده است. تدوین دستورالعمل‌های لازم برای هرقسمت از فعالیت پرتوی و آموزش صحیح پرتوکاران برای اجرای آن‌ها می تواند از رخداد چنین حوادثی پیشگیری کند.

۳.۲. آموزش نامناسب پرتوکاران

دومین علت شایع در بروزحوادث، عدم کفایت آموزش و بازنگری مفاد آموزشی برای پرتوکاران بوده است. برنامه‌های ناکارآمد اولیه وعدم بروزرسانی آن‌ها و هم‌چنین پرتوکاران غیرمجاز مانند دستیاران رادیوگرافر که بدون نظارت کار می‌کنند، دلیل بروز تعدادی از حوادث بوده است.

حوادثی که در این گروه عوامل حادثه ساز قرار می‌گیرند نشان می دهد تجهیزات حفاظتی معیوب، عدم آشنایی پرتوکار

به روش به کارگیری تجهیزات و فعالیت پرتوی پرتوکار بدون نظارت فرد واجد صلاحیت رخداد حادثه را تشدید کرده است.

٤.۲. نگهداری نامناسب تجهیزات رادیوگرافی

حوادث زیادی در اثر بازرسی و نگهداری نامناسب تجهیزات رادیوگرافی، لوازم جانبی وتجهیزات ایمنی ایجاد می‌شود. عدم رعایت توصیه های حفاظت پرتوی از سوی سازنده، ممکن است منجر به فرسودگی، آسیب و خرابی اجزای اصلی شود. بازرسی از تجهیزات قبل از استفاده، شرایط ناایمن از قبیل شل‌بودن اتصالات و گاید تیوپ های له شده را تشخیص می‌دهد. این‌ها باید قبل از انجام رادیوگرافی اصلاح شوند.

روند ایجاد چنین حوادثی ناشی از عدم وجود یک برنامه بازرسی و نگهداری مناسب است. درصورت انجام بازرسی‌ها و بررسی دقیق تجهیزات چنین حوادثی تکرار نمی‌شوند.

۵.۲. خطای انسانی

حتی اگر تجهیزات به درستی کار کنند و رویه‌های عملیاتی مؤثری برقرار شود، عملکرد ایمن تجهیزات رادیوگرافی به شرایط و پاسخ رادیوگرافر به شدت وابسته است. احتمال خطای انسانی در حین کار در شرایط نامساعد و استرس‌زا افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال خستگی ناشی از کار شبانه، محیط کم نور و سر و صدای زیاد، فشارهای تولید و فشار بدنی در افزایش خطا مؤثر است. فراموش‌کاری، وحشت ناشی از کار با پرتو و عدم استفاده صحیح از تجهیزات رادیوگرافی و هم‌چنین دستگاه‌های سنجش پرتو این‌گونه حوادث را رقم زده است.

٦.۲. اشکال در عملکرد و نقص تجهیزات

اگرچه نقص تجهیزات رایج نیست، اما گاهی اتفاق می‌افتد. علاوه بر این، خرابی تجهیزات ممکن است در نتیجه شرایط نادرست به کارگیری ایجاد شود.

گزارش خرابی تجهیزات به سازنده جهت رفع مشکل در ساخت آن و کنترل کیفی سیستم‌های تولید شده و هم‌چنین، دزیمتری تجهیزات رادیوگرافی حین کار می‌تواند از رخداد مدد این حوادث پیش‌گیری کند.

۷.۲. نقص طراحی

نقص طراحی به‌ندرت دیده می‌شود. تغییرات طراحی ناشی از تجربه میدانی و توسعه مداوم توسط تولیدکنندگان، کاربران و واحد قانونی است.

نظارت واحد قانونی و دزیمتری سیستم‌های رادیوگرافی در حین کار باعث می شود نواقص طراحی سیستم‌ها آشکار شوند و ضمن بهبود طراحی، از تکرار حوادث پیشگیری به‌عمل آید.

۸.۲. خطای عمدی

آموزش، طراحی تجهیزات و اجرای مراحل عملیاتی مؤثر نمی‌تواند فرد را از نقض عمدی رویه های ایمنی باز دارد. احتمال این اقدامات عمدی هنگام کار در شرایط استرس‌زا افزایش می یابد. به‌عنوان مثال، سوء مصرف مواد، خستگی، عوامل اقتصادی، فشارهای تولید یا فشارهای جسمی در افزایش احتمال بروز خطای عمدی نقش مؤثر دارند. موارد خطای عمدی بیشتر در سازمان‌هایی وجود دارد که فرهنگ ایمنی در آن‌ها آموزش داده نشده است.

عدم برقراری امنیت فیزیکی جهت منابع پرتوی و تجهیزات مرتبط باعث رخداد این‌گونه حوادث می‌شود.

۳. نتایج

براساس بررسی های انجام شده بر روی سوابق حوادث پرتوی در فعالیت رادیوگرافی صنعتی، عوامل مؤثر در ایجاد حادثه

برحسب تعداد موارد رخداد، دسته بندی شد. جدول ۱، عامل اصلی رخداد حادثه و سایر عوامل مرتبط را به تفکیک نشان می‌دهد.

جدول (۱): عوامل مؤثر در برو حادثه پرتوی.

ردیف	عامل مؤثر	سایر عوامل
۱	کنترل نظارتی نامناسب ۵ حادثه	روش نادرست اسقاط، مقررات ناکافی برای پسمان، ردیابی و انتقال منابع، عدم آموزش پرتوکاران، خرابی دوربین و گاید تیوب، عملکرد نادرست پرتوکار، عدم مانیتورینگ محل کار حداکثر پرتوگیری؛ سندروم حاد، ۵ سیورت
۲	عدم پیروی از فرایند های کاری ۱۵ حادثه	عدم به‌کار گیری دستگاه سنجش پرتو، عدم آموزش پرتوکار، عدم وجود / کارکرد صحیح اینترلاک ، عدم وجود دستورالعمل های لازم، خرابی دوربین و تجهیزات، دخالت نادرست انسانی در کنترل های ایمنی، عدم پاسخ به هشداردهنده‌ها حداکثر پرتوگیری؛ مرگ
۳	آموزش ناکافی ٤ حادثه	عدم نظارت بر عملکرد، آموزش ناکافی، عدم استفاده صحیح از دزیمترها، خرابی دوربین حداکثر پرتوگیری؛ ۳۰ میلی سیورت
٤	نگهداری نامناسب ۳ حادثه	خرابی دوربین و تجهیزات حداکثر پرتوگیری؛ ۵ میلی سیورت
۵	خطای انسانی ٤ حادثه	ترس و وحشت، مفقود شدن دوربین، آسیب دستگاه‌ها به علت فشار کاری، عدم هماهنگی تیم‌ها و برنامه ریزی نادرست حداکثر پرتوگیری؛ ۳۹ میلی سیورت
٦	نقص تجهیزات ٤ حادثه	کرنک، قفل ها، نشتی چشمه حداکثر پرتوگیری؛ ۰.۲ میلی سیورت
۷	نقص طراحی ٤ حادثه	- - حداکثر پرتوگیری؛ ۲.۲ میلی سیورت
۸	تخلف عمدی ۵ حادثه	سرقت، عدم آموزش افراد حداکثر پرتوگیری؛ ۳۸ میلی سیورت

قضاوت در مورد عامل مؤثر در بروز حادثه براساس گزارش نهایی حادثه و تأثیرگذاری قطعی در رخداد آن انجام شده است. علت اولیه رخداد حادثه که سایر عوامل را تشدید کرده است به‌عنوان علت اصلی در نتایج ثبت شده و از بررسی سایر عوامل که نقش کمتری داشته‌اند صرف‌نظر شده است.

همان‌طور که دیده می‌شود، عدم پیروی از فرایندهای کاری موجب رخداد بیش‌ترین تعداد حوادث پرتوی (۱۵ مورد) می‌باشد. کنترل نظارتی نامناسب و تخلف عمدی با فاصله قابل‌توجهی، رتبه بعدی در تعداد حوادث پرتوی را به‌خود اختصاص داده است. نکته جالب توجه این است که نقص تجهیزات و خطای انسانی تقریباً کم‌ترین تعداد حادثه را رقم زده‌اند. این نکته بیان‌گر اهمیت تدوین دستورالعمل‌ها و فرایندهای کاری و به‌کارگیری آن‌ها است.

وجود دستورالعمل‌ها درمحل انجام فعالیت های پرتوی و الزام پرتوکاران به به‌کارگیری آن‌ها توسط مسئولین در پیش‌گیری از ایجاد حوادث پرتوی بسیار حائز اهمیت است. هم‌چنین عدم آموزش صحیح پرتوکاران می‌تواند در رخداد حوادث مؤثر باشد. بررسی سوانح رخداده در کشور نیز نتایج مشابهی نشان می‌دهد.

٤. مراجع

۲. راهنمای تهیه دستورالعمل‌های حفاظتی.

۳. دستورالعمل امتیازدهی و طبقه‌بندی.

۴. قواعد کار با پرتو در پرتونگاری صنعتی.

1. International Atomic Energy Agency, Lessons Learned from. Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna, Austria,1998.