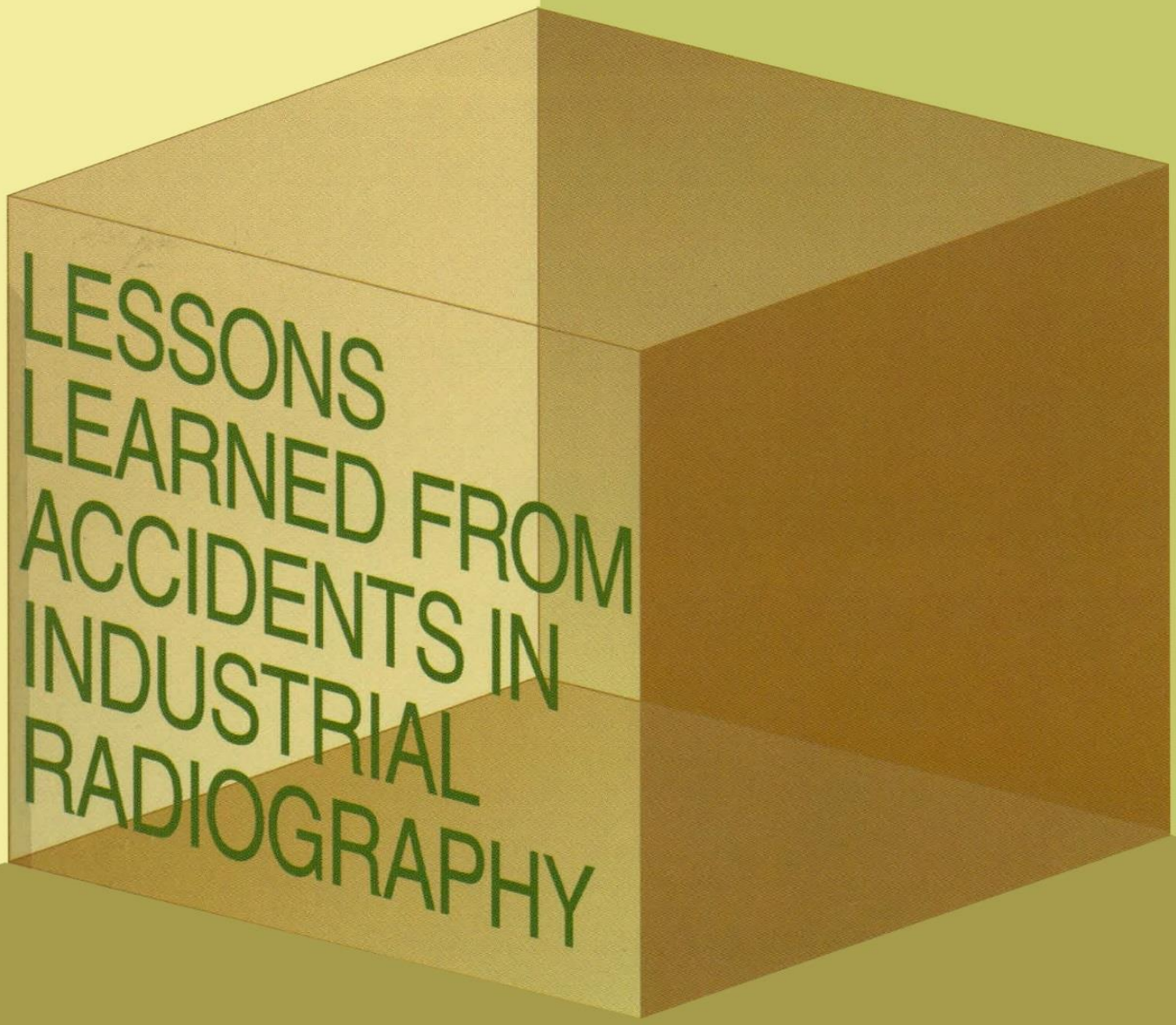
درسهای برگرفته از سوانح در پرتونگاری صنعتی



درسهای برگرفته از سوانح در پرتونگاری صنعتی

این کتاب ترجمه‌ای است از:

Safety Reports Series No.7, *Lessons learned from accidents in industrial radiography*, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1998

که به کوشش جمعی از کارشناسان *دفتر حفاظت در برابر اشعه* مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور ترجمه شده است.

در این کتاب پس از ارائه مقدمه، علل اصلی سوانح بیان شده و ۴۳ مورد از سوانح رخداده به‌همراه رویداد آغازگر، عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری از آن تشریح شده است. سپس درسهای برگرفته از این سوانح مطرح شده و سرانجام اقدامات پیشگیرانه و چاره‌ساز در قالب وظایف واحد قانونی، مرکز بهره‌بردار، پرتونگار و مالک سایت (مشتری) بیان شده است. این کتاب ۳ پیوست دارد که مشتمل بر توصیه‌هایی در زمینه برنامه آموزش حفاظت در برابر اشعه ویژه پرتونگاران صنعتی، ملاحظات در اجرای رویه‌های ایمنی و برنامه مقابله با شرایط اضطراری است. همچنین در واژه‌نامه، فهرستی از اصطلاحات رایج در پرتونگاری صنعتی ارائه شده است. در قسمت مراجع، عناوین مورد اِستناد در کتاب اصلی *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* (IAEA) ذکر شده‌اند. به امید آنکه محتوای این کتاب در پیشگیری از وقوع سوانح پرتونگاری صنعتی مفید و مؤثر باشد.

استفاده از متن این ترجمه با ذکر منبع آزاد است.

بهمن ۱۴۰۱

درسهای برگرفته از سوانح در پرتونگاری صنعتی

پیشگفتار

در سراسر جهان، استفاده از پرتوهای یونساز برای توسعه علم پزشکی، صنعت و پژوهش به‌سرعت در حال افزایش است. یکی از کاربردهای مشخص پرتوهای یونساز، استفاده از پرتو ایکس و گاما برای انجام فعالیت پرتونگاری صنعتی است. تقریباً در تمام کشورهای عضو *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* (IAEA)، پرتونگاری صنعتی در مراکز مختلف انجام می‌شود؛ از شرکت‌های چندملیتی گرفته تا کسب‌وکارهای کوچکِ یکی ـ دو نفره. به‌علاوه، پرتونگاری در هزاران سایت گوناگون، ازجمله در محوطه‌های محصور حفاظ‌گذاری شده (تأسیسات ثابت) و سایت‌های باز دورافتاده، نیز صورت می‌گیرد و کاربردهای بسیار متنوعی دارد.

در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه، تقریباً نیمی از سوانح پرتوی گزارش‌شده در صنعت هسته‌ای، به پرتونگاری صنعتی مربوط می‌شود. به‌همین دلیل گروهی متشکل از کارشناسان قانونی، تولیدکنندگان و مشاوران ایمنی، سوانح مرتبط را بررسی کرده‌اند.

با مطالعه شرایط وقوع هریک از سوانح و کاستی‌های آشکار در ایمنی، در سیستم نظارتی، در طراحی و در عملکرد افراد؛ معیارهایی تعیین شد که درصورت به‌کاربستن آن‌ها، ایمنی در پرتونگاری صنعتی بهبود خواهد یافت. کتاب حاضر، حاوی یافته‌های پژوهش وسیعی است که در قالب درسهایی که می‌توان از این سوانح آموخت، ارائه شده است.

اطلاعات موجود در این کتاب، برای استفاده واحد قانونی، کارکنان، تولیدکنندگان و مراکز بهره‌برداری مناسب است که متولی حفاظت پرتوی و ایمنی در پرتونگاری صنعتی هستند.

فهرست مطالب

۱. مقدمه ۱

۱-۱ زمینه ۱

۱-۲ هدف ۱

۱-۳ دامنه کاربرد ۱

۱-۴ ساختار ۱

۲. علل اصلی سوانح گزارش شده ۲

۲-۱ مقدمه ۲

۲-۲ کنترل قانونی نامناسب ۲

۲-۳ عدم پیروی از رویه‌های کاری ۷

۲-۴ آموزش نامناسب ۱۷

۲- ۵ تعمیر و نگهداری نامناسب ۲۰

۲-۶ خطای انسانی ۲۲

۲-۷ ایراد در عملکرد یا نقص تجهیزات ۲۵

۲-۸ ایرادات طراحی ۲۷

۲-۹ تخلف عمدی ۲۹

۳. درسهای برگرفته ۳۲

۴. اقدامات پیشگیرانه و چاره‌ساز ۳۳

۴-۱ واحد قانونی ۳۳

۴-۲ مرکز بهره‌بردار ۳۴

۴-۳ پرتونگار ۳۵

۴-۴ طراحان و تولیدکنندگان ۳۶

۴-۵ مالک سایت (مشتری) ۳۷

پیوست (الف) ۳۸

پیوست (ب) ۴۰

پیوست (ج)..... ۴۲
واژه‌نامه..... ۴۵
مراجع ۵۱

۱. مقدمه

۱-۱ زمینه

پرتونگاری صنعتی فرایند تشخیص عیوب ازطریق نفوذ پرتو در محصولات تولیدی مانند قطعات ریخته‌گری و خطوط لوله جوشکاری‌شده است. پرتوها توسط دستگاه‌های مولد پرتو ایکس، یا مواد پرتوزای محصورشده در کپسول‌هایی کوچک و بسته تولید می‌شوند. این پرتوها با عبور از جسمِ مورد نظر بر فیلم یا دیگر سیستم‌های آشکارسازی که در پشت جسم قرار داده شده، اثر می‌گذارند. پرتونگاری صنعتی از اوایل دهه ۱۹۰۰ با استفاده از پرتو ایکس و رادیم آغاز شد و کاربرد آن به‌ویژه از دهه ۱۹۴۰ با استفاده از چشمه‌های مصنوعی ۶۰- Co و ۱۹۲-Ir رشد زیادی داشته است.

در تاریخچه پرتونگاری صنعتی، سوانحی با بعضی منابع پرتو رخ داده که منجر به مرگ و آسیب شده است. این سوانح عمدتاً در معدود کشورهای عضو *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* که زیرساخت نظارتی لازم برای جمع‌آوری اطلاعات و بهره‌مندی از درسهای برگرفته را دارند، شناسایی می‌شود. ارائه دانش به‌دست آمده و درسهای برگرفته از این سوانح به کلیه کشورهای عضو *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی*، به‌ویژه کشورهایی که زیرساخت‌های ایمنی پرتوی ضعیفی دارند، یا اصولاً ندارند، یک ضرورت است تا همگی بتوانند از این تجربیات بهره‌مند شوند و تغییرات لازم را در رویه‌های نظارتی، صدور مجوز و بازرسی اعمال کنند.

۱-۲ هدف

این کتاب، نتیجه بررسی تعداد زیادی از سوانحِ پرتونگاری صنعتی است که توسط واحدهای قانونی، انجمن‌های حرفه‌ای و مجلات علمی گزارش شده‌اند. هدف از این بررسی‌ها آن است که بتوان از رویدادهای آغازگر سوانح، عوامل مؤثر بر ایجاد و پیامدهای ناشی از آنها درس گرفت. تنها معدودی از سوانح پرتونگاری ارائه شده تا علل اصلی آنها تشریح شود و برای جلوگیری از وقوع این‌گونه سوانح یا کاهش پیامدهای سوانحی که رخ می‌دهند، مجموعه اقداماتی تدارک دیده شود.

۱-۳ دامنه کاربرد

کتاب حاضر سناریوهای چند سانحه پرتونگاری صنعتیِ انتخاب‌شده، علل اصلی وقوع آنها، درسهای برگرفته و پیشنهاداتی برای افراد/ مسئولین ایمنی و حفاظت پرتوی در پرتونگاری صنعتی را به‌طور خلاصه شرح می‌دهد.

۱-۴ ساختار

این کتاب شامل بازبینی سناریوهای چند سانحه منتخب و طبقه‌بندی آن‌ها برحسب دلایل وقوعشان است. سپس به درسهای برگرفته پرداخته و سرانجام، فهرستی از پیشنهادات پیشگیرانه و اقدامات چاره‌ساز ارائه شده که درصورت به‌کاربستن می‌تواند از وقوع مجدد چنین سوانحی جلوگیری کند، یا پیامدهای مواردی که اتفاق می‌افتد را کاهش دهد. در پیوست‌ها، اطلاعات کاربردی بیشتری مانند جزئیات یک برنامه آموزشی پایه و همچنین واژه‌نامه‌ای از اصطلاحات پرتونگاری ارائه شده است.

۲. علل اصلی سوانح گزارش شده

۲-۱ مقدمه

پس از دهه ۱۹۴۰، پرتونگاری صنعتی به‌سرعت متداول شد و درحال حاضر تقریباً در تمام کشورهای عضو *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* استفاده می‌شود. باوجود اینکه استانداردهای ایمنی تغییر کرده‌اند و پیشرفت‌های قابل توجهی در زیرساخت حفاظت پرتوی واحدهای قانونی در برخی از کشورهای عضو *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* به‌وجود آمده است، بازهم بیش‌پرتوگیری‌ها[1] و مرگ‌ومیرهایی اتفاق می‌افتد. ممکن است آهنگ دز نزدیک منبع پرتو یا دستگاه پرتوساز آن‌قدر زیاد باشد که در عرض چند ثانیه موجب بیش‌پرتوگیری اندام‌های پیرامونی و از دست دادن عضوی از بدن شود.

با آنکه پرتوگیری‌های تمام‌بدنِ منجر به مرگ بسیار بعید است، در شرایطی که چشمه‌ها به‌درستی نگهداری نشده یا به‌صورت سهوی در اختیار افراد عادی [غیرپرتونگار] قرار بگیرند، چنین اتفاقی رخ داده است. باوجود پیشرفت در طراحی تجهیزات و بهبود سیستم‌های ایمنی، سوانح پرتوی در اصل به‌علت عدم رعایت رویه‌ها، و به‌ندرت به‌دلیل ناکافی بودن کنترل‌های قانونی، هنوز هم اتفاق می‌افتند. برخی سوانح وخیم‌تر، پیامد نامناسب بودن کنترل‌های انسانی، رویه‌ها و تجهیزات است. الزامات اصلی جهت حفاظت در برابر ریسک‌های ناشی از پرتوگیری از پرتوهای یونساز و نیز ایمنی منابع پرتوی در *مقررات پایه حفاظت در برابر اشعه و ایمنی منابع پرتو* بیان شده است.

سانحه در اثر تجمیع یک یا چند عامل رخ می‌دهد؛ ازجمله یک رویداد آغازگر و چندین عامل کمکی. در این کتاب تلاش بر این بوده است تا سوانح براساس علل اصلی طبقه‌بندی شوند؛ یعنی کنترل قانونی نامناسب، خطا در پیروی از رویه‌های کاری، آموزش ناکافی، تعمیر و نگهداری نامناسب، خطای انسانی، خرابی تجهیزات یا استفاده نادرست از آن‌ها، عیوب طراحی و تخلفات عمدی. در انتهای شرح هر سانحه، اقداماتی برای جلوگیری یا کاهش پیامدهای سوانح مشابه ارائه شده است.

۲-۲ کنترل قانونی نامناسب

از دلایل اصلی وقوع سوانح پرتوی، *کنترل قانونی نامناسب* است که می‌تواند از یک واحد قانونیِ ناکارآمد یا عدم ایجاد زیرساخت حفاظت پرتوی ناشی شود. اگر قرار است مقرراتی برای دراختیارگیری، استفاده و دورریزی مواد پرتوزا یا دراختیارگیری و استفاده از دستگاه‌های مولد پرتو ایکس ایجاد شود، کنترل قانونی مؤثر از طریق سیستم اعطای مجوز ضروری است. این سیستم به‌منظور اطمینان از آن است که به افراد آموزش کافی داده شود، تجهیزات مناسب در شرایط کاری خوب مورد استفاده قرار گیرند و رویه‌های مکتوب حفاظت پرتوی و ملاحظات ایمنی وجود داشته باشند. درمواردی که کنترل قانونی نامناسب است، به‌طور معمول رویه‌های گزارش‌دهی و جمع‌آوری اطلاعات نیز نامناسب خواهند بود.

[1] به تعریف *بیش‌پرتوگیری* در واژه‌نامه رجوع شود.

۲-۲-۱ مورد ۱: روش‌های دورریزی نامناسبِ منجر به پرتوگیری مردم

در سال ۱۹۸۹، تولیدکننده‌ای یک چشمه Ir-192 با اکتیویته (۷ Ci) ۲۶۰ GBq را، درحالی‌که توسطِ بهره‌بردار از هُلدر جدا شده بود، تحویل گرفت و پیش از دورریزی آن را در یک محفظه تعویضِ چشمه پرتونگاری قرار داد. رهاکردن چشمه در محفظه تعویضِ چشمه برای واپاشی، پیش از انتقال به محفظه دورریزِ نهایی، یک رویه عادی است. قبل از عودت محفظه تعویض چشمه به تولیدکننده، چشمه سهواً از محفظه تعویض چشمه به محفظه دورریزی منتقل نشد و پایش پرتوی نیز در تشخیص وجود چشمه پرتوزا دچار خطا شد [به‌دلیل اینکه محفظه تعویض چشمه به‌عنوان حفاظ عمل می‌کند]. ازآنجا که مرکز بهره‌بردار وجود چشمه در محفظه تعویض را تشخیص نداد، محفظه برای حمل‌ونقل از امنیت کافی برخوردار نبود.

محفظه تعویض چشمه حاویِ چشمه پرتوزا، قبل از رسیدن به تأسیساتِ تولیدکننده به‌مدت ۳ هفته در چرخه حمل‌ونقل باقی ماند و به‌محض دریافت آن توسط تولیدکننده چشمه، مشخص شد که منبع پرتو در قسمت بدون حفاظِ محفظه تعویض چشمه قرار دارد؛ هرچند مشخص نشد که چشمه پرتوزا از چه زمانی بدون حفاظ مانده است. تخمین زده شد که ممکن است افراد غیرپرتونگار [مردم] دزهایی تا ۵ میلی‌سیورت دریافت کرده باشند و بالاترین پرتوگیری ۰٫۳۱ سیورت برای رانندگان کامیون بوده باشد.

- *رویداد آغازگر*

پرتونگار فراموش کرده پیش از حمل‌ونقل، چشمه را از محفظه تعویض چشمه خارج کند.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- واحد قانونی مقررات مناسبی برای دورریزی، ردیابی و حمل‌ونقل چشمه‌های پرتونگاری برقرار نکرده است.
- لازم است به منظور حسابرسی کلیه چشمه‌های پرتونگاری، سیستمی ایجاد شود که شامل پایش پرتوی و بررسی‌های فیزیکی باشد.

۲-۲-۲ مورد ۲: ابتلای فرد آموزش‌ندیده به سندرم حاد پرتوی

در سال ۱۹۸۲، در کشوری فاقد واحد قانونی، یک شرکت برای انجام آزمون غیرمخرب از یک کارگر غیر پرتونگار و آموزش ندیده که از خطرات بالقوه ناشی از پرتوهای یونساز برای سلامتی آگاهی نداشت، برای انجام پرتونگاری استفاده کرد.

در زمان انجام کار، به‌دلیل عملکرد معیوب یک دوربین پرتونگاری حاوی چشمه Ir-192، چشمه به‌درون حفاظ برگردانده نشد. کارگر مشکل را به سرپرست خود گزارش داد؛ اما چون هنوز امکان انجام پرتونگاری وجود داشت، به وی دستور داده شد که کار خود را [با همان شرایط] ادامه دهد. طولی نکشید که او به آنچه بعدها علائم سندرم حاد پرتوی تشخیص داده شد، مبتلا شد. فیلم‌بج وی در یک دوره زمانی ۲ هفته‌ای، دز ۵ سیورت را ثبت کرده بود.

- *رویداد آغازگر*

اشکال در عملکرد دوربین پرتونگاری.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- به دلیل فقدان کنترل قانونی در این کشور، پرتونگاری بدون هیچ‌گونه مجوز یا الزامات قانونی انجام شده است.
- قبل از اجازه برای انجام کار با تجهیزات پرتونگاری، باید کنترل و نظارتی شامل اخذ مجوز فعالیت و آموزش کارکنان وجود داشته باشد.

۲-۲-۳ مورد ۳: آسیب‌دیدگی چشمه پرتوزا به‌دلیل بازیابی نادرست

در سال ۱۹۷۶، در ارزیابی‌های دوره‌ای برنامه‌ریزی شده، فیلم‌بجی با ثبت دز ۳۰ میلی‌سیورت و آلودگی پرتوزای قابل‌توجه پیدا شد. دزیمتر به پرتونگاری تعلق داشت که در یک شناور حامل لوله در حال کار در آب‌های خارج از کنترل‌های قانونی مشغول بود.

آلودگی به‌دلیل اقدام نادرست پرتونگار اتفاق افتاد. لوله در حال نصب چرخیده و کلیماتور نصب‌شده روی گایدتیوب[۲] را لِه کرده بود. درنتیجه، چشمه پرتوزا درون گایدتیوب فشرده شده و نتوانسته به‌درون حفاظ برگردد. پرتونگار از مشعل جوشکاری برای ذوب کردن کلیماتور و دهانه گایدتیوب استفاده کرد تا چشمه را آزاد کند. چشمه پرتوزا کماکان مورد استفاده قرار گرفت تا اینکه آلودگیِ روی دزیمترگزارش شد.

همچنین در بررسی‌ها مشخص شد که چشمه پرتوزای Ir-192 با اکتیویته (۲۰۰ Ci) ۷۴۰۰ GBq درون یک دوربین پرتونگاری قرار داده شده که تنها مجاز به بارگذاری حداکثر نیمی از این اکتیویته بوده است. استدلال این بود که اکتیویته بالا، تعداد چشمه‌های پرتوزای مورد نیاز برای قرارداد را به حداقل می‌رساند و ریسک مفقود شدن محموله‌های حاوی چشمه را کاهش می‌دهد.

- *رویداد آغازگر*

لوله روی کلیماتور و گایدتیوب چرخیده، به گایدتیوب آسیب رسانده و مانع برگشت چشمه پرتوزا به درون دوربین شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- به‌دلیل عدم کنترل قانونی، پرتونگار روش نادرستی را جهت بازیابی چشمه به‌کار برده که درنهایت به چشمه پرتوزا آسیب زده است.
- علاوه بر این، وی عملی انجام داد (به‌طور مشخص، بازیابی چشمه) که برای آن آموزش ندیده بود. به این دلیل اجازه فعالیت به پرتونگار داده شده بود که فرایند تولید متوقف نشود.
- همچنین به‌دلیل عدم کنترل توسط واحد قانونی، از چشمه‌ای با اکتیویته بیشتر از میزان مجاز بارگذاری استفاده شده که به پرتوگیری با دزهای بالاتر منجر می‌شود.
- استفاده از دزیمترهای فردی توانست پرتوگیری کلی کاربر را محدود کند.

[۲] لوله هدایت چشمه: رجوع شود به واژه‌نامه.

۲-۲-۴ مورد ۴: بازیابی چشمه توسط کارکنان فاقد صلاحیت

پس از بررسی سانحه شرح داده شده در مورد شماره ۳، مشخص شد که برای همان پرتونگار و همان هُلدر سانحه دیگری نیز رخ داده است. در این سانحه، درحالی‌که نگهدارنده چشمه در حال تابش‌دهی بود، گایدتیوب که به‌طور ایمن به دوربین پرتونگاری متصل نشده بود، از دوربین جدا شد. پرتونگار پس از اینکه متوجه شد، سعی کرد چشمه را به موقعیت ایمن بازگرداند. طی این فرایند، بین هُلدر با کابل کنترل[۳]، یک زاویه عمودی ایجاد شد. پرتونگار سعی کرد با اعمال فشار زاویه عمودی را از بین ببرد و اتصال را صاف کند، اما کابل کنترل از هُلدر جدا شد و هُلدر به دریا افتاد. چشمه توسط یک غواص پیدا شد. او مدعی شد برای یافتن چشمه ۱۰۰۰ دلار پاداش دریافت کرده است.

بنابر اظهارات، عملیات بازیابی شامل پیدا کردن محل هُلدر توسط غواص و بیرون آوردن آن از عمق حدود ۵۰ متری درون یک قوطی پر از آب، حدود ۳۰ دقیقه طول کشید. ارزیابی شد که مقدار دز تمام‌بدن غواص، به‌دلیل حفاظ ایجاد شده توسط آب، کم بوده است. باتوجه به مفروضات مربوط به ابعاد ظرف، موقعیت چشمه پرتوزا در داخل آن و زمان لازم برای بازگشت غواص به سطح آب، حداکثر دز بالقوه اندام‌های پیرامونی حدود ۴ سیورت بوده است. شرکت‌های درگیر بعدها اظهار کردند که آدرس غواص مشخص نبوده و هیچ گزارش پیگیری پزشکی نیز در دست نیست.

- *رویداد آغازگر*

گایدتیوب به‌درستی به دوربین پرتونگاری متصل نشده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- به دلیل عدم کنترل قانونی، پرتونگار از روش بازیابی نادرست استفاده کرده بود.
- غواص برای اجرای عملیات بازیابی چشمه آموزش کافی ندیده بود.

* سوانح شرح داده شده در موارد ۳ و ۴ عدم کنترل قانونی بر فعالیت‌های پرتونگاری را نشان می‌دهد. به‌علاوه، بیانگر عدم تعهد مدیریت به ایمنی و نبودِ فرهنگ ایمنی در شرکت است.

۲-۲-۵ مورد ۵: انجام پرتونگاری توسط کارگران غیرمجاز و آموزش‌ندیده

در پایان یک شیفت ۱۲ ساعته کاری، دو کارگر که از چشمه Ir-192 با اکتیویته (۵۰ Ci) ۱۸۰۰ GBq استفاده می‌کردند برای تکرار پرتونگاری از یک جوش لب به لب در موقعیت دور افتاده‌ای از محل اصلی کارگاه عمرانی، جایگاه خود را ترک کردند. آنها عجله داشتند، چراکه بقیه کارکنان در پایگاه منتظر بودند تا با وسیله نقلیه مشترکشان به محل اسکان بازگردند.

[۳] کابل راه‌بر یا فنر کرنک: رجوع شود به واژه‌نامه.

بعد از اینکه دستیار کمکی گایدتیوب و رابط کرنک را به دوربین پرتونگاری متصل کرد، هر دو کارگر متوجه شدند که دزیمتر محیطی و هشداردهنده‌های فردی خود را همراه ندارند؛ با این حال تصمیم گرفتند بدون تجهیزات پایش به کار ادامه دهند.

هنگامی که عملیات پرتودهی پایان یافت، آنها چشمه پرتوزا را به محفظه‌اش برگردانده، رابط کرنک را از درگاه عقب و گایدتیوب را از درگاه جلوی دوربین پرتونگاری جدا کردند. گایدتیوب را به‌صورت حلقه‌ای جمع کردند و به همراه کانتینر چشمه و مابقی تجهیزات، در قسمت پشتی خودروی وَن کوچکشان قرار دادند و به پایگاه برگشتند تا بقیه کارکنان را سوار کنند.

با نزدیک شدن وسیله نقلیه آنها به پایگاه، دستگاه‌های هشداردهنده پرتوی مستقر در محل فعال شدند. افرادی که آنجا بودند از محل پایگاه بیرون دویدند و نزدیک شدن خودروی وَن را مشاهده کردند و بلافاصله متوجه وجود چشمه پرتوزای بدون حفاظ داخل خودرو شدند. هنگامی که خودروی وَن متوقف شد، سرپرست پایگاه به پشت خودرو رفت، گایدتیوب را به زمین انداخت و سپس یک غلتک بزرگ سیمانی را به عنوان حفاظ موقت روی آن قرار داد.

پس از بررسی موضوع، مشخص شد که:

(۱) دو کارگر درگیر پروژه، آموزش‌ندیده و فاقد گواهینامه بودند. هیچ‌کدام از آن‌ها دروس حفاظت در برابر اشعه را نخوانده و آزمون نداده بودند؛

(۲) دستیار کمکی همان روز به شرکت ملحق شده و اولین‌بار بود که از دوربین پرتونگاری استفاده می‌کرد. او به‌دلیل عدم آشنایی با تجهیزات و خستگی ناشی از فعالیت در یک شیفت ۱۲ ساعته، رابط کرنک را به‌طور صحیح به محل اتصال هُلدر وصل نکرد و درنتیجه، هُلدر در انتهای داخلی گایدتیوب از فنر کرنک جدا شد؛

(۳) چون هیچ پایشی برای اطمینان از بازگشت چشمه به درون حفاظ انجام نشد، کارگران از شرایط به‌وجود آمده بی‌خبر ماندند.

- *رویداد آغازگر*

هُلدر به‌درستی به کابل کنترل وصل نشده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- افرادی که فعالیت پرتونگاری را انجام می‌دادند آموزش ندیده بودند و گواهینامه نداشتند.
- هنگام وقوع سانحه در یک شیفت کاری طولانی بودند.
- دستیار کمکی، به‌ویژه، با تجهیزات مورد استفاده آشنایی نداشت.
- همچنین در پایان عملیات پرتودهی، هیچگونه پایش پرتوی برای اطمینان از موقعیت صحیح چشمه انجام نشده بود.
- علی‌رغم وجود واحد قانونی، مرکز بهره‌بردار آگاهانه مقررات را نقض کرده و افراد غیرمجاز و آموزش‌ندیده را برای انجام پرتونگاری به‌کار گرفته بود.
- برای جلوگیری از وقوع اینگونه تخلفات عمدی از مقررات، واحدهای قانونی باید بازرسی‌های کافی، حتی در سایت‌های دوردست و در شب، انجام دهند.
- همچنین باید خط مشی اعمال مقررات وجود داشته باشد.

۲-۳ عدم پیروی از رویه‌های کاری

عدم پیروی از رویه‌های کاری، ازجمله الزامات واحد قانونی، یکی از دلایل اصلی یا مؤثر در وقوع اکثر سوانح است. این مشکل در تمام اقشار کارکنان، از افراد کاملاً باتجربه و آموزش‌دیده، که ممکن است کاملاً به خود اطمینان داشته باشند، تا افراد کم‌تجربه و آموزش‌ندیده، مشاهده می‌شود.

۲-۳-۱ مورد ۶: اخلال در عملکرد یک سیستم ایمنی

در سال ۱۹۸۲، یک دستگاه مولد پرتو ایکس پرتونگاری، جایگزین یک دستگاه قدیمی شد. در آن زمان، قفل هم‌بند روی درب اتاق قطع و دیگر وصل نشد. یک سال بعد، فرد پرتونگار جهت انجام اولین پرتودهی، دستگاه مولد پرتو ایکس را برای گرم شدن روشن کرد و سپس وارد اتاق پرتونگاری شد تا ضمن تنظیم محل فیلم، تنظیمات نهایی مربوط به وضعیت قطعه‌ای که قرار بود پرتونگاری شود را نیز انجام دهد. این تنظیمات مستلزم تعیین موقعیت مرکز باریکه با شاقولی بود که باید با انگشت شست در درگاه خروجی باریکه نگه داشته می‌شد. هیچ نشانگری درون اتاق نبود که فعال بودن دستگاه مولد پرتو را نشان دهد. پرتونگار وقتی پس از انجام تنظیماتِ اشاره شده، به کنار میز کنترل بازگشت تا پرتودهی را شروع کند، متوجه شد که دستگاه از قبل روشن بوده است. تخمین زده شد که انگشت شست پرتونگار در حدود ۵ ثانیه در درگاهِ باریکه بوده و منجر به پرتوگیری در حدود ۳,۴ سیورت در انگشت شست راست و ۲۹ میلی‌سیورت در تمام بدن شده است. پرتوگیری انگشت شست راست پرتونگار منجر به التهاب و تاول شد.

- *رویداد آغازگر*

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

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- باید رویه‌هایی وجود داشته باشند برای اطمینان از اینکه کلیه سیستم‌های ایمنی پس از تعمیر یا جایگزینی دستگاه‌ها کار می‌کنند.
- در این سانحه، قبل از استفاده از اتاق پرتونگاری، هیچ بررسی روزانه‌ای بر عملکرد قفل هم‌بند توسط پرتونگار انجام نشد. این بررسی می‌توانست پرتونگار را از کارنکردن سیستم قفل هم‌بند آگاه کند.
- انجام پایش پرتوی حین انجام کار، تراز تابش را نشان می‌داد و از پرتوگیری جلوگیری می‌کرد.
- پرتونگار اعلان خطر میز کنترل را نادیده گرفت.

۲-۳-۲ مونیتورینگ نامناسب

در سال ۱۹۹۲، یک فرد پرتونگار برای پرتونگاری از چند لوله در یک کارگاه عمرانی فرستاده شد. برای انجام این کار لازم بود که دوربین پرتونگاری در ارتفاع ۶ متری قرار داده شود. پس از پرتودهی، پرتونگار برای رسیدن به دوربین پرتونگاری از یک سکوی بالابر استفاده کرد و درحالی‌که به آن نزدیک می‌شد برای اطمینان از بازگشت چشمه به درون حفاظ، پایش پرتوی انجام می‌داد.

پرتونگار، دوربین پرتونگاری را تکان داد تا چشمه پرتوزا را در موقعیتِ ایمن قفل کند. او گایدتیوب را جدا کرد و متوجه شد که چشمه درحدود ۱۰ سانتی‌متری خارج از دوربین پرتونگاری قرار گرفته است. درحقیقت هنگامی‌که پرتونگار دوربین پرتونگاری را برای قفل کردن جابجا کرد، چشمه پرتوزا به این وضعیت در آمده و در شرایطی که چشمه در وضعیت پرتودهی قرار داشت، دستگاه قفل شده بود. پرتونگار دستگاه هشداردهنده فردی خود را به همراه داشت؛ ولی هنگام انجام کارهای اداری، برای صرفه‌جویی در مصرف باتری، آن را خاموش و فراموش کرده بود که دوباره روشن کند. پرتوگیری تمام‌بدن پرتونگار حدود ۲٫۵ میلی سیورت و حداکثر دز تخمینی دست او ۸٫۸ سیورت برآورد شد.

- *رویداد آغازگر*

هنگام تکان‌دادن دوربین، چشمه پرتوزا جابه‌جا شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پس از قفل کردن دوربین پرتونگاری، جهت اطمینان از وجود چشمه پرتوزا در وضعیت ایمن درون حفاظ، ضروری است پایش پرتوی کاملی از دستگاه انجام شود.
- علاوه بر این، پرتونگار رویه‌ها را نقض کرد به دلیل اینکه دستگاه هشداردهنده فردیِ وی قبل از اتمام عملیات پرتونگاری خاموش شده بود.

۲-۳-۳ عدم وصل شدن رابط اتصال تجهیزات با یکدیگر

در ناحیه‌ای دور افتاده از خط لوله‌ای با یک چشمه Ir-192 با اکتیویته (۳۵ Ci) ۱۳۰۰ GBq پرتونگاری انجام می‌شد. دستیار کمکی حین تنظیم تجهیزات نتوانسته بود هُلدر را به‌طور صحیح به کابل کنترل متصل کند. پس از انجام اولین پرتودهی، هُلدر در محل پرتودهی جا ماند و پرتونگار متوجه آن نشد. بعد از انجام بیش از ۱۰۰ مورد پرتودهی، تکنسین تاریکخانه متوجه شد که فیلم‌های این عملیات پرتونگاری بیش از حد تابش دیده‌اند و پس از آن مشخص شد که هُلدر حدود ۲ ساعت در گایدتیوب باقی مانده است.

در طول انجام عملیات پرتونگاری از دزیمتر محیطی یا دزیمتر قرائت مستقیم استفاده نشده بود. دزیمتر فردی پرتونگار، دز جذبی ۹۳۰ میلی سیورت را نشان داد. دست‌های دستیار او، هربار که برای پرتودهی آماده می‌شدند، با گایدتیوب در تماس بود. حدود ۱۱ روز پس از سانحه، التهاب در انگشت‌های وی ظاهر شد. معادل دز تخمین زده شده برای انگشتی که بیشترین آسیب را نشان داد، بیش از ۵۰ سیورت بود.

- *رویداد آغازگر*

خطا در اتصال کابل کنترل به هُلدر.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- ضروری بود در ابتدای عملیات از اتصال هُلدر به کابل کنترل اطمینان حاصل می‌شد.
- پس از هربار پرتودهی برای اطمینان از بازگشت چشمه پرتوزا به‌درون حفاظ، پایشی صورت نمی‌گرفت.

- همچنین به‌دلیل اینکه افراد دزیمتر قرائت مستقیم به همراه نداشتند، دزیمتری انجام نشد.
- همیشه باید در طول شیفت کاری چندین بار دزیمترهای قرائت مستقیم کنترل شوند؛ به‌عبارت دیگر، در مدت پرتودهی‌ها باید چندین مرتبه دزیمتر قرائت مستقیم، بررسی می‌شد.

۲-۳-۴ مورد ۹: شکستگی هُلدر

در سال ۱۹۸۴، یک پرتونگار و دستیارش پس از پایان پرتودهی در شب، هُلدر چشمه را به درون دوربین پرتونگاری بازگرداندند. شکستگی هُلدر در نزدیکی کپسول چشمه باعث شد که چشمه پرتوزا به‌درون دوربین پرتونگاری وارد نشود. پایش‌های پرتوی برای اطمینان از بازگشت چشمه انجام نشد و هنگامی که تجهیزات به پایگاه بازگردانده شدند، پرتونگار دیگری متوجه شد که چشمه در شرایط پرتودهی باقی مانده است. فیلم‌بج پرتونگاری که با دوربین پرتونگاری کار می‌کرد، تقریباً ۱۵۰ میلی‌سیورت و فیلم‌بج دستیار او حدود ۷۵ میلی سیورت ثبت کرد.

پس از وقوع سانحه، هُلدر آسیب دیده برای تأمین‌کننده ارسال شد. با این حال، برای جبران حفاظ از دست رفته هُلدر (یعنی قسمت‌های اورانیم تهی‌شده هُلدر) که در اثر سانحه از بین رفته بودند، بسته حمل مناسبی تهیه نشد و آهنگ دز در سطح بسته‌بندی بالا بود. این امر منجر به پرتوگیری‌هایی تا حدود ۰٫۳ میلی‌سیورت برای مردم شد.

- *رویداد آغازگر*

چشمه حین استفاده شکسته شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگار طبق رویه عمل نکرد و پایش پرتوی لازم برای اطمینان از بازگشت چشمه به‌درون حفاظ انجام نداد.
- علاوه بر این، هُلدر آسیب‌دیده به‌درستی بسته‌بندی نشد.
- همچنین پایش لازم قبل از حمل‌ونقل انجام نشد.

۲-۳-۵ مورد ۱۰: غیرفعال کردن هشداردهنده‌های ایمنی

در جریان انجام فعالیت پرتونگاری در یک محوطه محصور حفاظ‌گذاری شده، یک پرتونگار هنگام تعویض فیلم‌ها و انجام تنظیمات مربوط به پرتودهی بعدی، تصمیم گرفت درب محوطه بسته را باز بگذارد تا هوا عوض شود. وقتی برای اولین بار این کار را انجام داد، کلید هشداردهنده مربوط به وضعیت باز بودن درب محوطه را به‌حالت خاموش تغییر داد و این اقدام باعث غیرفعال شدن سیستم هشدار پرتوی آن محل شد. در پرتودهی بعدی، پرتونگار نتوانست چشمه Co-60 با اکتیویته (۸۱ Ci) ۳۰۰۰ GBq مورد استفاده را به‌وضعیت ایمن بازگرداند و درحالی‌که هشداردهنده‌های پرتوی همچنان غیرفعال بودند، همراه با هماهنگ‌کننده تولید که با پرتونگار کار می‌کرد، بدون استفاده از دزیمتر محیطی و دزیمتر فردی وارد محوطه بسته شدند. پس از ورود به محوطه، پرتونگار فیلم‌ها را تعویض و کلیماتور چشمه را تنظیم کرد و به‌همراه هماهنگ‌کننده تولید از آنجا خارج شدند. هنگامی‌که پرتونگار برای ادامه

کار سعی داشت با کرنک چشمه پرتوزا را در وضعیت پرتودهی قرار دهد، متوجه شد که چشمه پس از پرتودهی قبلی درون حفاظ و در وضعیت ایمن قرار نگرفته است و در زمان حضور در محوطه، هر دوی آنها پرتوگیری کرده‌اند.

بررسی مجدد این سانحه نشان داد که احتمالاً چشم‌های پرتونگار ۹۰ میلی‌سیورت و قسمت‌هایی از دست او که با آن کلیماتور چشمه را تنظیم کرده بود، بیش از ۴۲٫۵ سیورت دز دریافت کرده است. دز دریافتی چشم‌های هماهنگ‌کننده تولید نیز ۴۰ میلی‌سیورت تخمین زده شد.

- *رویداد آغازگر*

قفل هم‌بند و هشداردهنده پرتوی محوطه محصور به‌صورت عمدی غیرفعال شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- سیستم هشداردهنده باید به‌گونه‌ای طراحی شود که ازکاراندازی هشدار باز بودن درب، هشدار پرتوی را غیرفعال نکند.
- باید رویه‌های کاری برای اطمینان از برگشتن چشمه پرتوزا به‌درون حفاظ و استفاده از کلیه دزیمترهای مناسب اجرا شود.
- درصورت استفاده از دستگاه‌های هشداردهنده، پرتونگار از بالا بودن تراز تابش آگاه می‌شد.
- حضور هماهنگ‌کننده تولید در ناحیه کنترل‌شده و در محوطه مخصوص پرتونگاری، نشاندهنده عدم وجود *فرهنگ ایمنی* مناسب در مرکز بهره‌بردار است.

۲-۳-۶ مورد ۱۱: عدم واکنش به هشدارهای پرتوی

در سال ۱۹۹۳، به‌علت وجود نقص در عملکرد قفل یک دوربین پرتونگاری حاوی Ir-192 با اکتیویته (۹۷ Ci) ۳۶۰۰ GBq و عدم واکنش صحیح به هشدارهای دستگاه هشداردهنده و *قرائت خارج از گستره*[4] دزیمتر محیطی، دست راست یک پرتونگار ۳ سیورت و تمام بدنش ۱۲ میلی‌سیورت دز دریافت کرد. این شخص به جای دور شدن از دوربین پرتونگاری، تلاش کرد قبل از تماس با مسئول فیزیک بهداشت مشکل را برطرف کند؛ بنابرین در پیروی از رویه‌های شرایط اضطراری مرکز بهره‌بردار نیز دچار خطا شد.

- *رویداد آغازگر*

در قفل کردن دوربین پرتونگاری اشکالاتی پیش آمده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- با توجه به عدم پیروی پرتونگار از رویه‌های کاریِ تعیین شده در واکنش به هشدار دستگاه هشداردهنده و قرائت خارج از گستره دزیمتر محیطی، که هر دوی آنها وجود مشکلی را نشان می‌دادند، پرتوگیری بالا اتفاق افتاد.
- لازم بود پرتونگار به‌محض اطلاع از وضعیت، از رویه‌های شرایط اضطراریِ تعیین‌شده توسط مرکز بهره‌بردار پیروی کرده و با مسئول فیزیک بهداشت مرتبط تماس می‌گرفت.
- در واکنش به شرایط اضطراری، افراد باید در محدوده اختیارات خود عمل کنند.

[4] off-scale meter reading

۲-۳-۷ مورد ۱۲: عدم استفاده از دزیمترهای محیطی و فردی

در سال ۱۹۹۰، فرد پرتونگاری (که مسئول فیزیک بهداشت نیز بود) به اتفاق دستیار خود در یک محل کار موقت با دستگاه پرتونگاری حاوی چشمه Ir-192 با اکتیویته (۸۱ Ci) ۳۰۰۰ GBq کار می‌کردند. عملیات پرتونگاری برای انجام ۳۵ پرتودهی بر روی سرجوش‌های یک مخزن ذخیره‌سازی فاضلاب برنامه‌ریزی شده بود. گایدتیوب چشمه و کلیماتور متصل به آن بر روی پایه‌ای محکم قرار داشتند که با نگهدارنده مغناطیسی بر سطح خارجی دیواره مخزن نصب شده بودند. پایه، در امتداد خط جوش پس از هر ۴۵ ثانیه پرتودهی متوالی جابجا می‌شد. در پرتودهی ششم و پس از خروج چشمه پرتوزا از دستگاه پرتونگاری، پرتونگار صدای بلندی شنید و مشاهده کرد که پایه نصب‌شده با نگهدارنده مغناطیسی از دیواره مخزن سقوط کرده و بر روی سکوی بتونی افتاده است. گایدتیوب چشمه و کلیماتور مربوط به این پرتودهی تقریباً ۳ متر بالاتر از سکوی بتونی قرار داشتند.

پرتونگار سعی کرد با چرخاندن دسته کرنک، چشمه را به‌درون دوربین برگرداند، اما متوجه شد که کابل کنترل به‌صورت کامل جمع نمی‌شود و گایدتیوب خم شده است. برای صاف کردن گایدتیوب، پرتونگار با کشیدن جعبه‌دنده کابل کنترل، دوربین را عقب کشید و پس از آن توانست کابل کنترل را به‌طور کامل جمع کند؛ به‌همین دلیل تصور کرد که چشمه وارد دوربین شده است. پرتونگار حین انجام اقدامات فوق، دزیمتر فردی خود را کنار گذاشت بود. او بعدها اعتراف کرد که برای پنهان کردن میزان پرتوگیری احتمالی دریافتی، این اقدام را انجام داده است.

پرتونگار با دزیمتر محیطی به سمت انتهای گایدتیوب چشمه رفت، اما اصلاً به آن نگاه نکرد تا از آهنگ دز مطلع شود. او انتهای گایدتیوب چشمه را با دست چپ گرفت، با دست راست نواری که کلیماتور را در محل خود نگه داشته بود باز کرد و کلیماتور را کنار گذاشت. سپس شروع به بازکردن پیچ کلاهک انتهایی (پیپت یا نوک پرتودهی) گایدتیوب کرد تا آن را با یک مجموعه کلاهک سبک‌تر عوض کند. درحالی‌که پرتونگار کلاهک انتهایی را برمی‌داشت، هُلدر روی سطح بتونی افتاد. برآوردها، دز تمام‌بدن پرتونگار را حدود ۷۰ میلی‌سیورت و دز دست وی را حدود ۷۰۰ میلی‌سیورت نشان دادند.

- *رویداد آغازگر*

تجهیزات انتخاب شده (نگهدارنده مغناطیسی) برای محیط مورد استفاده، مناسب نبوده و تجهیز مذکور به‌علت سقوط از دیواره مخزن آسیب دیده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- در نتیجه سقوط، هُلدر از کابل کنترل جدا شده و جهت اطمینان از بازگشت چشمه به‌درون حفاظ دستگاه، پایش پرتوی انجام نشد.
- پرتونگار اقدامات بعدی را با فرض اینکه چشمه به‌درستی به حفاظ برگردانده شده، انجام داد. عدم استفاده عمدی از دزیمتر، نشان‌دهنده نبودِ *فرهنگ ایمنی* در مرکز بهره‌بردار است.

۲-۳-۸ مورد ۱۳: عدم استفاده از دزیمتر محیطی

در سال ۱۹۹۴، برای پرتونگاری از خط لوله‌ای واقع در یک شیار از یک دوربین پرتونگاری حاوی چشمه Ir-192 با اکتیویته ۱۷۰۰ GBq (۴۵ Ci) استفاده می‌شد. در پایان کار و پس از جمع کردن چشمه پرتوزا، پرتونگار با دزیمتر محیطی خود از پشت به دوربین نزدیک شد. وی قبل از قفل کردن دستگاه، فقط قسمت انتهایی دوربین پرتونگاری (محل اتصال کابل کنترل) را پایش کرد؛ سپس آن را در کامیونی که در فاصله حدود ۲۰ متری قرار داشت، گذاشت و برای جمع‌آوری فیلم‌ها، دزیمتر محیطی و سایر وسایل، به محل خط لوله بازگشت. هنگامی‌که با وسایل جمع‌آوری شده به کامیون نزدیک شد، متوجه شد که دزیمتر محیطی آهنگ دز بالایی را نشان می‌دهد. وقتی دوربین پرتونگاری را دقیق‌تر بررسی کرد، متوجه شد که باوجود قفل شدن دستگاه، چشمه به‌طور کامل در وضعیت ایمن قرار نگرفته است. همچنین در این زمان وی صدای هشدار دستگاه هشداردهنده خود را نیز شنید که بعدها گزارش داد به‌دلیل سر و صدای تجهیزاتِ در حال کار در ناحیه، زودتر هشدار را نشنیده است. لذا به‌سرعت چشمه را به‌طور کامل به‌درون حفاظ بازگرداند و دستگاه را قفل کرد. دز تمام‌بدن و دز پوست این پرتونگار معادل ۹۰ میلی‌سیورت بود.

- *رویداد آغازگر*

هُلدر به‌طور کامل به‌درون حفاظ دوربین پرتونگاری برنگشته است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگار از رویه‌های مناسب جهت انجام پایش پرتوی کامل پیروی نکرد. اگر پایش انجام شده بود، او در قسمت جلوی دوربین پرتونگاری (محل اتصال گایدتیوب) آهنگ دز بالایی را مشاهده می‌کرد و از پرتوگیری غیرضروری جلوگیری می‌شد.
- به‌علاوه، قفل دوربین پرتونگاری باتوجه به فرسودگی زیاد از کار افتاده و موجب شد باوجود بیرون بودن چشمه، دستگاه قفل شود.
- همچنین در بازرسی روزانه قبل از استفاده از دستگاه، فرسودگی قفل می‌توانست تشخیص داده و مانع استفاده از آن شود.

۲-۳-۹ مورد ۱۴: عدم رعایت الزامات قانونی

فرد پرتونگاری همراه با دستیار نصب‌کننده فیلم، در حال پرتونگاری از صفحاتِ قرار داده شده در بدنه ضد آب کشتی بودند. این امر مستلزم آن بود که نصب‌کننده فیلم برای قرار دادن فیلم‌ها، وارد بدنه ضد آب کشتی شود. وقتی پرتونگار در بیسیم خود پیامی را دریافت می‌کرد، به این معنی بود که نصب‌کننده فیلم ناحیه هدف پرتودهی را ترک کرده است و او می‌تواند پرتودهی را شروع کند. چند ساعت پس از شروع کار، پرتونگار تصور کرد که در بیسیمش از طرف نصب‌کننده فیلم، پیام *شروع کنید* را شنیده و پرتودهی را آغاز کرد. درحقیقت نصب‌کننده فیلم، پیامی ارسال نکرده و هنوز در آن ناحیه مشغول کار بود. پس از حدود ۲۰ ثانیه پرتودهی، پرتونگار شک کرد که شاید پیام *شروع کنید* را از نصب‌کننده فیلم نشنیده باشد و چشمه را به درون حفاظ برگرداند و برای تأیید موقعیت مکانی نصب‌کننده فیلم، تلاش کرد با وی تماس بگیرد.

در مدتی که چشمه در وضعیت پرتودهی قرار داشت، نصب‌کننده فیلم آهنگ دز غیرعادی در دزیمتر محیطی خود را مشاهده کرد. بنابراین وی برای جستجوی پرتونگار از ناحیه بدنه ضد آب کشتی خارج شد و درگیری شدیدی بین این دو رخ داد. پس از آن،

نصب‌کننده فیلم بلافاصله از کار خود استعفا کرد. به‌دلیل واکنش سریع نصب‌کننده فیلم، میزان دز تمام‌بدن او به ۰٫۳ میلی سیورت محدود شد.

- *رویداد آغازگر*

وجود روش‌های ارتباطی ناقص بین اعضای گروه پرتونگاری.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- فشارهای مربوط به ساخت محصول، به وقوع این اتفاق کمک کرد؛ چرا که پرتونگار برای قرار دادن چشمه در وضعیت پرتودهی عجله کرد و از خروج نصب‌کننده فیلم از ناحیه کنترل شده اطمینان حاصل نکرد. در انجام پرتونگاری، *ایمنی* باید مهمترین نکته باشد.
- این شرکت باوجود آنکه قوانین برقراری تماس چشمی یا روش‌های کنترل معادل آن (مانند خطوط تلفن اختصاصی) را الزام کرده بود، اما افراد روش‌های تأیید نشده‌ای را برای برقراری ارتباط به‌کار گرفتند.

۲-۳-۱۰ مورد ۱۵: ادامه عملیات پرتونگاری با دزیمتر محیطی غیرقابل استفاده

در یک شرایط آب و هوایی نامساعد (برف و باران)، دزیمتر محیطی فرد پرتونگاری از کار افتاد و او با وجود نداشتن دزیمتر جایگزین، همچنان به انجام فعالیت پرتونگاری ادامه داد. در این زمان، قفل دوربین پرتونگاری به‌دلیل شرایط آب و هوایی و آغشته شدن به گِل و یخ، گیر کرد و چشمه پرتوزا نتوانست در وضعیت ایمن خود به‌شکل ثابت قرار گیرد. در جریان انجام کار، جابجایی دوربین پرتونگاری در مکان‌های مختلف ضروری بود. به‌دنبال انجام این جابجایی‌ها و به‌دلیل عمل نکردن قفل دستگاه، چشمه از موقعیت ایمن خود خارج و پرتونگار تا پایان کار و تا زمانی که اقدام به خواندن دزیمتر قرائت مستقیم خود نمود، از میزان بالای پرتو در محیط کار خود آگاه نشد. او در این مدت، دز تمام‌بدن ۵۲ میلی‌سیورت دریافت کرد.

- *رویداد آغازگر*

شرایط آب و هوایی نامساعد منجر به خرابی دزیمتر محیطی و عملکرد نامناسب دوربین پرتونگاری شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- فرد پرتونگار عملیات پرتونگاری را بدون دزیمتر محیطی قابل استفاده، ادامه داد.
- تجهیزات موجود، شامل دزیمتر محیطی و دوربین پرتونگاری، فراتر از قابلیت‌هایی که برای آن طراحی شده بودند و برای آن شرایط محیطی مناسب نبود، مورد استفاده قرار گرفتند.
- اگر از یک دستگاه هشداردهنده پرتوی استفاده می‌شد، پرتونگار از آهنگ دز بالای پرتو اطلاع پیدا می‌کرد.
- همچنین اگر او در طول انجام کار و به‌صورت مرتب دزیمتر قرائت مستقیم خود را بررسی می‌کرد، زودتر از میزان بالای پرتو آگاه می‌شد و پرتوگیری وی کاهش می یافت.

۲-۳-۱۱ مورد ۱۶: واکنش نامناسب به خرابی تجهیزات

در سال ۱۹۹۴، یک فرد پرتونگار با دوربین پرتونگاری حاوی چشمه Ir-192 با اکتیویته (۲۱ Ci) ۷۸۰ GBq شب‌هنگام کار می‌کرد، درحالی‌که قفل دوربین مشکل داشت. وی در حین کار مشاهده کرد دزیمتر قرائت مستقیم، مقادیر غیرعادی نمایش می‌دهد؛ اما از آنجاکه دزیمتر محیطی وی هم خراب بود، هیچ میزان پرتوی را مشاهده نکرد. پرتونگار با چکش به مجموعه قفل ضربه زد تا آن را قفل کند و سپس دوربین پرتونگاری را بدون نظارت در سایت رها کرد تا برای تهیه دزیمتر محیطی دیگری به محل شرکت باز گردد. پرتونگار دوباره به سایت برگشت و متوجه شد که همان مشکلات قبل را با مجموعه قفل دوربین پرتونگاری دارد. دزیمتر قرائت مستقیم وی کماکان مقادیری غیرعادی نمایش می‌داد و دزیمتر محیطی جدید هم درست کار نمی‌کرد. هنگام مراجعت به شرکت برای آوردن یک دزیمتر محیطی دیگر، ناخواسته دزیمتر TLD خود را در آنجا جا گذاشت و پس از بازگشت، بدون دزیمتر TLD به کار خود در سایت ادامه داد. دزیمتر TLD مقدار ۸٫۵ میلی‌سیورت بیش‌پرتوگیری را نشان داد؛ احتمالاً میزان دز بیشتری هنگام دستکاری قفل دریافت کرده بود.

- *رویداد آغازگر*

مواجه شدن با ایرادات مربوط به قفل دوربین پرتونگاری.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگار در زمان وجود نقص در تجهیزات از رویه‌های کاری ایمن پیروی نکرده و به‌طور مشخص سعی کرد با استفاده از روشهای نامناسب، دوربین پرتونگاری را تعمیر کند.
- از عملکرد دزیمتر محیطی مورد استفاده‌اش اطمینان نداشت.
- خارج از گستره بودن قرائت دزیمتر فردی را نادیده گرفت.
- دستگاه را بدون نظارت در محوطه کاری رها کرد.
- از دزیمتر فردی استفاده نکرد.
- اگر پرتونگار هریک از این کارهای الزامی را انجام داده بود، پرتوگیری‌اش را به حداقل می‌رسید.

۲-۳-۱۲ مورد ۱۷: پرتوگیری در یک خط لوله

یک پرتونگار مجوز انجام پرتونگاری با دستگاه مولد پرتو ایکس را برای خط لوله یک ایستگاه کمپرسور گاز گرفته بود. برای انجام این کار مانعی که به‌وضوح حدود ناحیه کنترل‌شده را مشخص می‌کرد، نصب شد؛ همچنین قبل و در حین پرتودهی، اعلان خطر داده شد. چند پرتودهی انجام شد و دستگاه مولد ایکس هنوز به برق وصل بود که پرتونگار دو مرد را مشاهده کرد که آن‌سوتر از فضایی در امتداد خط لوله بیرون می‌آمدند. استعلام‌ها نشان داد که آنها هم برای کار در آن محل مجوز داشتند و درحال بازرسی داخلی از خط لوله بودند. آن دو نفر حین انجام بازرسی‌های خود، دو بار در مسیر باریکه پرتو ایکس قرار گرفته بودند. در شبیه‌سازی این اتفاق مشخص شد که هرکدام از بازرسان ۰٫۲ میلی‌سیورت دز دریافت کرده‌اند.

- *رویداد آغازگر*

عدم هماهنگی بین فعالیت‌هایی که باید در یک سایت انجام شود.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگار کنترل‌های لازم را در ناحیه انجام نداد و منجر به پرتوگیری دو نفر شد.
- پرتونگار قبل از شروع فعالیت پرتونگاری باید کلیه هماهنگی‌ها را انجام می‌داد و اطلاعات لازم را از مدیر سایت کسب می‌کرد تا بتواند کنترل عملیات پرتونگاری را در تمام مدت برقرار کند.
- کنترل‌های لازم (موانع و اعلان‌های خطر) برای نقاط ورودی به ناحیه کنترل‌شده، به‌صورت مناسب انجام نشد.

۲-۳-۱۳ مورد ۱۸: مرگ به‌واسطه استفاده نادرست از چشمه‌های پرتونگاری

در سال ۱۹۹۲، یک پرتونگار پس از چند سال درمانِ آسیب‌های ناشی از پرتوگیریِ اندام‌های پیرامونی خود که قبلاً تشخیص داده نشده بودند، در اثر سرطان خون درگذشت. این فرد از سال ۱۹۷۴ پرتونگاری می‌کرد، آموزش کافی دیده بود و بیش از ۲۰ سال تجربه استفاده از دستگاه‌های نوع تورچ (نوعی دوربین پرتونگاری قدیمی که قابلیت کنترل از راه دور نداشت) و دوربین‌های پرتونگاری با قابلیت کنترل از راه دور را داشت. در طول دوره کاری، تجهیزات پایش فردی حداقل پرتوگیری تمام‌بدن او را ۱۰۰ میلی‌سیورت نشان داد. در بررسی دز دریافتی پس از مرگ مشخص شد که پرتوگیری وی بیش از ۱۰ سیورت بوده و دست راست او بیش از ۱۰۰ سیورت دز دریافت کرده که منجر به قطع عضو شده بود. اگرچه همه شواهد نشان می‌داد که علائم بیماری وی ناشی از پرتوگیری بوده و در اثر کار با چشمه‌های پرتوزای گاما ایجاد شده اما نمی‌توان دقیقاً مشخص کرد که این پرتوگیری‌ها چگونه اتفاق افتاده است. فرض می‌شود که پرتوگیری بالای وی ناشی از جدا کردن کپسول‌های چشمه از هُلدر با استفاده از یک اره آهن‌بر و از پشت یک حفاظ بوده است.

- *رویداد آغازگر*

گمان می‌رود که این پرتونگار عملکرد ناایمنی با چشمه‌های پرتونگاری انجام داده بود که به چنین دزهای بالایی انجامید.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- آشکارنشدن پرتوگیری بالا نشان می‌دهد که دزسنج پرتونگار درست استفاده نشده بود و این امر تخطی از الزامات قانونی و رویه‌های عملیاتی است.

۲-۳-۱۴ مورد ۱۹: عدم انجام پایش‌های پرتوی منتج به پرتوگیری بالا

در سال ۱۹۹۰، یک پرتونگار و دستیار کمکی او از یک چشمه Ir-192 با اکتیویته (۸۰ Ci) ۳۰۰۰ GBq برای انجام پرتونگاری در یک سایت موقت استفاده می‌کردند. پرتونگار اطلاعی نداشت که نگهدارنده چشمه پرتوزا از فنر کرنک جدا شده و در گایدتیوب باقی مانده است. پس از دو بار پرتودهی، درحالی‌که پرتونگار برای ظاهرکردن فیلم محل را ترک می‌کرد؛ دستیار وی تجهیزات را از یکدیگر جدا کرد و دوربین پرتونگاری را به موقعیت بعدی انتقال داد. حین انجام این کار، گایدتیوب حاوی چشمه را روی شانه و در کنار

گردن خود قرار داد و تقریباً ۲۰ متر مسیر را پیاده طی کرد. هنگامی که تجهیزات را بر روی زمین گذاشت، هُلدر از داخل گایدتیوب به زمین افتاد.

دستیار به پرتونگار اطلاع داد و او با مسئول فیزیک‌بهداشت تماس گرفت. با راهنمایی مسئول فیزیک‌بهداشت این دو پرتونگار فرایند بازیابی چشمه پرتوزا را انجام داده و آن را به وضعیت ایمن برگرداندند. پرتوگیری تمام‌بدن دستیار ۰,۲۴ سیورت و پرتوگیری خود پرتونگار ۰,۱۸ سیورت تخمین زده شد. بر اثر این سانحه در ناحیه گردن دستیار، التهاب و آسیب بافتی مشاهده و دز تخمینی پوست گردن او حدود ۵۰ سیورت اعلام شد. طی فعالیت پرتونگاری هیچ پایش پرتوی انجام نشده و دستیار پرتونگار، دزیمتر فردی خود را همراه نداشت.

- *رویداد آغازگر*

هُلدر از کابل کنترل جدا شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- نتیجه مستقیم عدم انجام پایش‌های پرتوی الزامی، پرتوگیری زیاد دستیار بود که اگر انجام می‌شد، جدا شدن چشمه پرتوزا از کابل کنترل (فنر کرنک) زودتر تشخیص داده می‌شد و با قراردادن چشمه در وضعیت ایمن درون حفاظ، از پرتوگیری زیاد ناحیه گردن دستیار، پیشگیری به‌عمل می‌آمد.

۲-۳-۱۵ مورد ۲۰: مرگ بر اثر بیش‌پرتوگیری

در سال ۱۹۸۴ سانحه خطرناکی اتفاق افتاد که در آن هشت نفر از مردم در اثر بیش‌پرتوگیری از یک چشمه پرتونگاری جان باختند. در این سانحه، چشمه پرتوزای Ir-192 با اکتیویته (۳۰ Ci) ۱۱۰۰ GBq از کابل کنترل جدا شد و چشمه به‌طور مناسب به حفاظ برنگشت. در ادامه، گایدتیوب از دوربین پرتونگاری جدا شد و [بدون اینکه پرتونگار متوجه شود] چشمه به زمین افتاد؛ درست در جایی که رهگذری این استوانه فلزی ظریف را پیدا کرد و به خانه برد. اگرچه دوربین پرتونگاری دارای علامت بین‌المللی خطر پرتو بود، اما خود چشمه هیچ علامت خطری نداشت. این چشمه از ماه مارس تا ژوئن مفقود شده بود و درمجموع هشت نفر، شامل خود رهگذر، اعضای خانواده و تعدادی از اقوام او جان باختند. تشخیص بالینی علت مرگ‌ها، «خونریزی ریه» بود. ابتدا فرض شد که این مرگ‌ها ناشی از مسمومیت است. تنها پس از فوت آخرین عضو خانواده مشکوک شدند شاید مرگ‌ها ناشی از تابش بوده باشد.

- *رویداد آغازگر*

به‌جا ماندن هُلدر در محیط کار پس از جدا شدن از کابل کنترل و افتادن روی زمین.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- هیچگونه پایش پرتوی برای اطمینان از بازگشت کامل چشمه پرتوزا به‌درون حفاظ انجام نشد؛ در غیر این‌صورت، مشکل آشکار می‌شد و امکان داشت از وقوع سانحه جلوگیری شود.

- همچنین، رهگذر با مشاهده هُلدر، خطر بالقوه برای سلامتی مرتبط با چشمه را تشخیص نداد. لذا اگر چشمه پرتوزا دارای علائم خطر بود، ممکن بود این پیامدها کمتر شود.

۲-۴ آموزش نامناسب

دومین علت شایع بروز سوانح گزارش شده، آموزش نامناسب (ازجمله برنامه‌های آموزشی اولیه و بازآموزی غیر مؤثر) و نیز فعالیت پرتوی بدون نظارت کارکنان غیرمتخصصی نظیر دستیاران پرتونگاری است.

۲-۴-۱ مورد ۲۱: آسیب‌دیدگی قفسه سینه به‌دلیل نقص در آموزش

فردی در یک دوره ۲ هفته‌ای، ازجمله به‌صورت شفاهی با یک پرتونگار ارشد، درخصوص پرتونگاری صنعتی آموزش‌هایی دریافت کرد. پس از پایان هفته دوم به وی اجازه داد شد تا بدون داشتن نظارت به انجام فعالیت پرتونگاری بپردازد.

یک چشمه پرتوزای Ir-192 با اکتیویته (۲۵ Ci) ۹۰۰ GBq که در یک کانتینر شاتردار نگهداری می‌شد، جهت کار بر روی خط لوله گازی در اختیار او قرار داده شد. وی آخرین نفری بود که پرتونگاشت‌ها را تهیه کرد و در سایت پرتونگاری تنها ماند. هنگام بازگشت به مرکز، کانتینر حاوی چشمه را روی صندلی مسافر جلوی اتومبیل خود قرار داد. پس از رسیدن به مرکز به‌محض ورود، یک پرتونگار ماهر متوجه شد که شاتر کانتینرِ چشمه باز و جهت پرتو به سمت صندلی راننده است.

در شبیه‌سازی این اتفاق، متوسط دز تمام‌بدن ۴۵۰ میلی‌سیورت و دز دریافتی لگن چپ وی ۲,۱۵ سیورت تخمین زده شد [احتمالاً فرمان خودرو دست‌راست بوده است]. هشت ماه بعد معلوم شد که پرتونگار برای زخم‌های وخیم ایجاد شده در دیواره قفسه سینه، درست زیر نوک پستان چپ، تحت درمان بوده است. التهاب‌های کوچک دیگری هم در مرکز قفسه سینه، مچ دست چپ و نوک انگشتان دست چپ نمایان بودند. اگرچه به‌طور واضح مشخص بود که آسیب‌ها ناشی از تابش هستند و تقریباً همزمان با پرتودهی اولیه ایجاد شده‌اند، اما هیچ‌یک از آسیب‌ها با اطلاعات اولیه ارائه شده درمورد پرتوگیری مطابقت نداشت. آسیب اصلی می‌توانست در اثر تابشِ ناشی از یک دستگاه پرتونگاری باشد که حدود ۱۹ دقیقه نزدیک به قفسه سینه، دریچه‌اش باز بوده است؛ یا در اثر تابش کامل چشمه از فاصله ۱۰ میلی‌متری به بدن برای مدت ۱۲ دقیقه. محتمل‌ترین توضیح این بود که چشمه از کانتینر خارج شده و برای مدت کوتاهی در جیب پیراهن پرتونگار قرار گرفته است. البته پرتونگار هرگز این موضوع را نپذیرفت.

زخم دیواره قفسه سینه حدود ۵ سانتی‌متر قطر و ۳,۵ سانتی‌متر عمق داشت و احتمالاً به‌دلیل دز دریافتی بیش از ۲۰ سیورت ایجاد شده بود. بافت‌های تخریب‌شده، ازجمله دو دنده آسیب‌دیده، با عمل جراحی برداشته و با یک صفحه فلزی جایگزین شدند تا از قلب محافظت شود.

- *رویداد آغازگر*

پرتونگار برای انجام کار پرتونگاری بدون نظارت، آموزش کافی ندیده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- عدم نظارت کافی بر فعالیت پرتونگار آشکار بود.
- کفایت آموزشی او تأیید نشده بود.
- علاوه براین، استفاده از تجهیزاتی که خارج‌کردن اشتباهی چشمه از حفاظ را ممکن می‌کند، می‌تواند در وقوع این اتفاق نقش داشته باشد.

۲-۴-۲ مورد ۲۲: بیش‌پرتوگیری ناشی از بی‌توجهی به علامت هشدار

فرد پرتونگاری درنتیجه جابه‌جایی چشمه پرتوزا از موقعیت ایمن خود هنگام تغییر مکان دوربین، در معرض دزهای بالای پرتو قرار گرفت. در گزارش سانحه هیچ نشانه‌ای دال بر استفاده از دزیمتر محیطی نبود. کاربر یک هشداردهنده فردی داشت که هشدار خطر می‌داد. اما او به تصور اینکه دزیمتر خراب است، آن را حین انجام کار خاموش کرد. درنتیجه پرتونگار ۳۰ میلی‌سیورت دز تمام‌بدن دریافت کرد.

- *رویداد آغازگر*

چشمه پرتوزا در حین تغییرمکانِ دوربین پرتونگاری از موقعیت ایمن خود جابه‌جا شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگار اعتقاد یا اعتمادی به تجهیزات آشکارسازی نداشت؛ این امر نشان می‌دهد او درکی از خطر پرتو نداشته یا کارکرد این تجهیزات را نمی‌دانست. این می‌تواند به آموزش ناکافی مربوط باشد.

۲-۴-۳ مورد ۲۳: بیش‌پرتوگیری ناشی از آموزش ناکافی

در سال ۱۹۸۵، در جریان پرتونگاری از اتصالات جوش در خطوط لوله گاز، یک پرتونگار به‌طور اتفاقی در معرض دز بالای پرتوهای یونساز حاصل از هُلدر چشمه Ir-192 قرار گرفت. شرکت برای انجام این کار، یک کارگر محلی بی‌تجربه را انتخاب کرده بود که نه درخصوص حفاظت پرتوی آموزش دیده بود و نه از خطرات مرتبط با پرتوهای یونساز آگاهی داشت. علاوه بر این، برای پایش پرتویِ فردی یا محیطی هیچ تدارکی دیده نشده بود.

حین انجام عملیات پرتونگاری، چشمه پرتوزا پس از اولین پرتودهی به‌درون حفاظ خود برنگشت و در وضعیت پرتودهی باقی ماند. با این حال، پرتونگار بدون آگاهی از خطر، به کار ادامه داد. او پس از ۱۸ بار پرتودهی، کار را متوقف و فیلم‌ها را ظاهر کرد. مشخص شد ۱۷ فیلم از ۱۸ فیلم مصرفی، سیاه شده‌اند که نشان می‌داد چشمه تمام‌مدت در وضعیت تابش‌دهی قرار داشته است. پرتوگیری دست وی ۲۴ سیورت و پرتوگیری تمام بدن ۳-۲ سیورت تخمین زده شد.

- *رویداد آغازگر*

به یک فرد آموزش‌ندیده اجازه داده شده که با دوربین پرتونگاری کار کند.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- هیچ نوع دزیمتر فردی یا دزیمتر محیطی مورد استفاده قرار نگرفت.
- فرد آموزش ندیده‌ای اجازه یافت بدون نظارت کار کند.

۲-۴-۴ مورد ۲۴: سوختگی پرتوی ناشی از بازیابی نامناسب چشمه پرتوزا

در سال ۱۹۹۴، یک گروه پرتونگاری که از چشمه Ir-192 با اکتیویته (۹۵ Ci) ۳۵۰۰ GBq استفاده می‌کرد، در ورود/ خروج چشمه به/ از دوربین پرتونگاری با مشکل مواجه شد. پس از یک‌بار پرتونگاری، حین تلاش برای برگرداندن چشمه پرتوزا به‌درون حفاظ، قرائت دزیمتر محیطی مشخص کرد که چشمه در شرایط بدون حفاظ قرار گرفته است. هنگام کار با کرنک، چشمه جلو می‌رفت اما به دوربین برنمی‌گشت که نشان می‌داد اتصال چشمه با فنر کرنک قطع شده است. پرتونگار از درون کامیون پرتونگاری، یک ورقه سربی به ضخامت ۲٫۵ سانتی‌متر آورد و با آن چشمه درون گایدتیوب را پوشاند. وقتی که پرتونگار به‌اتفاق دستیارش ناحیه بزرگی اطراف چشمه پرتوزا را طناب‌کشی کردند، هوا تاریک شده بود. سپس از فردی خواست تا با مسئول فیزیک بهداشت شرکت تماس بگیرد و به وی بگوید که همه‌چیز تحت کنترل است و پرتونگار می‌تواند شرایط را اداره کند.

در این هنگام پرتونگار گایدتیوب را جدا کرد و ناگهان هُلدر به‌درون یک گودال پر از گل‌ولای پرت شد. هنگام برداشتن چشمه از میان گل‌ولای با انبر قفلی، هُلدر از دهانه آن لیز خورد و در تلاش برای جازدن هُلدر به‌درون دوربین پرتونگاری، ظاهراً پرتونگار چشمه را با دست گرفت. او سپس هُلدر را به‌درون دوربین پرتونگاری وارد کرد اما به‌جای قرار دادن قسمت کپسول چشمه، به‌اشتباه سر رابط هُلدر را درون دستگاه قرار داد. قرائت‌های دزیمتر محیطی نشان دادند که کپسول چشمه هُلدر در خارج از دوربین پرتونگاری قرار گرفته بود.

باتوجه به این موضوع پرتونگار هُلدر حاوی چشمه را برداشت و آن را زیر صفحه سربی قرار داد. مجموعه قفل دوربین پرتونگاری را باز کرد و قسمت نوک هُلدر (محل چشمه) را درون دوربین پرتونگاری قرار داد؛ مجموعه قفل را سرجایش گذاشت و آن را قفل کرد. در این وضعیت، چشمه درون حفاظ قرار داشت. موانع برداشته شدند، تجهیزات روی کامیون بارگیری شد و گروه به دفترکار بازگشتند. شرکت، این سانحه رفع‌شده را به واحد قانونی اعلام نکرد.

حدود ۱۰ روز بعد، پرتونگار در انگشت شست و اشاره خود احساس ناراحتی داشت و در سه نوبت جداگانه برای درمان به پزشک مراجعه کرد. در این زمان بود که مسئول فیزیک‌بهداشت و پرتونگار به واحد قانونی مراجعه کرده و سانحه را گزارش دادند. بررسی‌ها پرتوگیری تمام‌بدن وی را ۱۰٫۵ میلی‌سیورت نشان دادند. روز بعد از سانحه، مسئول فیزیک بهداشت دوربین پرتونگاری را مورد بررسی قرار داد و مشخص شد که هُلدر مشابهی به اشتباه تهیه و در دوربین پرتونگاری استفاده شده بود.

- *رویداد آغازگر*

جداشدن چشمه از کابل کنترل.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- هنگامی که پرتونگار از رویه‌های رفع سانحه‌ای استفاده کرد که به‌درستی برای انجام آنها آموزش ندیده بود، دچار بیش‌پرتوگیری شد.
- افراد باید حدود اختیارات خود را بدانند و براساس صلاحیتشان عمل کنند. در این مورد، فرد با روش‌های صحیح یا ابزار مناسبی که برای بازیابی چشمه استفاده می‌شود، آشنایی نداشت؛ یعنی از یک انبردست ۱۵ سانتی‌متری به‌جای یک انبر بلندتر استفاده کرد.
- همچنین حفاظ مورد استفاده برای کاهش قابل‌توجه میزان پرتوهای موجود، کافی نبود.
- بازرسی روزانه می‌توانست قبل از استفاده، هُلدر اشتباه را مشخص کند.

۲- ۵ تعمیر و نگهداری نامناسب

درنتیجه بازدید و نگهداری نامناسب تجهیزات پرتونگاری، لوازم جانبی و تجهزات ایمنی، رویدادهای زیادی اتفاق می‌افتند. عدم رعایت شرایط نگهداریِ توصیه‌شده توسط تولیدکننده ممکن است به فرسودگی، آسیب و از کار افتادگی اجزای اصلی منجر شود. بازدیدِ تجهیزات پیش از استفاده، وضعیت‌های ناایمنی نظیر اتصالات شُل و گایدتیوب‌های لهیده را مشخص می‌کند. این ایرادات باید قبل از انجام فعالیت پرتونگاری رفع شوند.

۱-۵-۲ مورد ۲۵: خرابی قفل دوربین پس از تعمیر غیر اصولی

در سال ۱۹۹۳، گزارش شد که جدا شدن مکانیسم قفل یک دوربین پرتونگاری به رخدادی پرتوی منجر شده است. جدا شدن قفل شرایطی ایجاد کرد که چشمه Ir-192 با اکتیویته (۹۸ Ci) ۳۶۰۰ GBq از دوربین بیرون بیفتد. سانحه پس از نیمه‌شب و زمانی اتفاق افتاد که دو پرتونگار در نور کم مشغول کار بودند. فیلم‌های تهیه‌شده برای ظهور برده شدند و پرتونگار به‌گمان این که کار تمام شده، فیلم‌بج خود را برداشت و به گیره کمد آویزان کرد. با وجود این، او ناچار شد چند پرتونگاری را تکرار کند؛ اما فراموش کرد که دوباره فیلم‌بج را به سینه نصب کند.

برای بردن دوربین از محل پرتونگاری مجدد به دومین محل، پرتونگار کابل کنترل را با دست چپ و دوربین را با دست راست بلند کرد. پس از چند قدم، کابل کنترل از دوربین جدا شد و به زمین افتاد. او به‌گمان این‌که سانحه‌ای رخ داده، دوربین را پشت کامیون گذاشت. کابل کنترل را از حدود صد سانتی‌متری انتهایش بلند کرد و دستش را به‌سرعت به‌سمت رابط انتهای فنر حرکت داد. او چیزی را که تصور می‌کرد رابط فنر است، در مشت گرفت و تا ۱۵ سانتی‌متری صورتش برد. وقتی متوجه شد چشمه را در دست گرفته، آن را پرت کرد، به همکارش هشدار داد و از ناحیه گریخت.

بازبینی سانحه و محاسبه پرتوگیری نشان داد که دز تمام‌بدن و دز عدسیِ چشم پرتونگار، هرکدام معادل ۶ میلی‌سیورت بوده است. بدترین پرتوگیری به انگشتان دست او مربوط می‌شد که ۱۹ سیورت برآورد شد.

جاکلیدیِ قفل با دو پیچ میله‌ای به دوربین وصل می‌شد. یکی از این دو سرجایش نبود و شاید هم گاهی در می‌آمد، درحالی‌که دومی تنها به بدنه دوربین وصل بود و نه به جاکلیدی. این وضعیت اجازه می‌داد بخشی از قفل و فنر از بدنه قفل کنده شود. کابل کنترل به هُلدر چشمه وصل بود اما وقتی این بخش از قفل از بدنه آن کنده شد، کابل کنترل هُلدر چشمه را از دوربین بیرون کشید و چشمه را در حالت تابش‌دهی قرار داد.

- *رویداد آغازگر*

پیچ‌های میله‌ای که بخشی از مکانیسم قفل را وصل می‌کردند، مفقود شده‌اند.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگار پنداشت که چشمه جدا شده اما وقوع این سانحه را با یک دزیمتر محیطی تأیید نکرد.
- با یک بازبینی، و برنامه تعمیر و نگهداری مناسب می‌شد نبودِ پیچ‌های میله‌ای را مشخص و امکان جایگزینیِ آن‌ها را فراهم کرد.
- با انجام بازدید روزانه پیش از پرتونگاری، شُل بودن جاکلیدی مشخص می‌شد.
- به‌علاوه، برداشتن فیلم‌بج پیش از خاتمه پرتونگاری و عدم استفاده از تجهیزات پایش، تخطی از الزامات قانونی است و نبودِ *فرهنگ ایمنی* را نشان می‌دهد.

۲-۵-۲ مورد ۲۶: لِه‌شدگی چشمه در اثر آسیب دیدن گایدتیوب

هُلدر چشمه یک دوربین پرتونگاری در قسمت بریدگی گایدتیوب گیر کرد و پیش از استفاده، بریدگی در گایدتیوب مشخص نشد. پرتونگار در تلاش برای بازیابی هُلدر، گایدتیوب را از دوربین پرتونگاری جدا کرد و با هر دو دست آن را به شدت تکان داد که این کار باعث پرتوگیری سه انگشت دست چپ و دو انگشت دست راست وی شد. دز دریافتی انگشتانی که پرتوگیری کردند، ۸٫۸ سیورت تخمین زده و موجب قطع انگشتان آسیب دیده شد. دز دریافتی تمام بدن پرتونگار ۰٫۱ سیورت برآورد شد.

- *رویداد آغازگر*

بریدگی گایدتیوب موجب شد هُلدر گیر کند و پرتودهی ادامه یابد.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- با انجام بازبینی روزانه، بریدگیِ گایدتیوب پیش از استفاده مشخص و مانع گیرکردن چشمه می‌شد.
- فرایند بازیابی چشمه توسط پرتونگار به‌درستی انجام نشد.

۲-۵-۳ مورد ۲۷: بیش‌پرتوگیریِ ناشی از تعمیر و نگهداری نامناسب

یک پرتونگار به‌اتفاق دستیارش با چشمه Ir-192 با اکتیویته (۸۰ Ci) ۳۰۰۰ GBq کار می‌کردند. پس از اتمام عملیات پرتودهی، دستیار پرتونگار تجهیزات را از یکدیگر جدا کرد، آنها را در کامیون قرار داد و به پایگاه بازگشت. به‌محض ورود به پایگاه، دوربین پرتونگاری را از کامیون به محل نگهداری منتقل کرد. هنگامی‌که برای قرار دادن دوربین پرتونگاری بر روی قفسه آن را کج کرد،

هُلدر از درون دوربین بر کف زمین افتاد. هشداردهنده تابشِ محل نگهداری، او را از خطر آگاه کرد، چشمه با مؤفقیت بازیابی شد و در وضعیت ایمن قرار گرفت.

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

- *رویداد آغازگر*

مکانیسم قفل در وضعیت باز گیر کرده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- نگهداری نامناسب از تجهیزات منجر به خرابی قفل شد.
- الزامات ایمنی ثانویه مانند تغییر وضعیت شاتر به حالت بسته (off) و نصب درپوش پوشش گرد و غبار رعایت نشد.
- اگر هریک از این مراحل انجام می‌شد، چشمه از دوربین پرتونگاری بیرون نمی‌افتاد.

۲-۶ خطای انسانی

حتی اگر تجهیزات پرتونگاری به‌درستی کار کنند و رویه‌های عملیاتی مؤثری نیز برقرار شوند، عملکرد ایمن آنها به‌شدت به واکنش و تصمیم‌گیری پرتونگار بستگی دارد. احتمال بروز خطای انسانی در زمان انجام کار در شرایط نامساعد و پر تنش نظیر خستگی ناشی از کار شبانه، محیط کم‌نور و پر سر و صدا، فشارهای تولید و فعالیت‌های زیاد بدنی، افزایش می‌یابد. همچنین ممکن است به‌دلیل مصرف مواد، بدرفتاری یا بی‌احترامی، احتمال خطای انسانی بیشتر شود.

۲-۶-۱ مورد ۲۸: واکنش نامناسب به‌دلیل وجود اضطراب

یک پرتونگار به‌همراه دستیارش برای انجام عملیات پرتونگاری از لبه‌های جوشکاری شده یک لوله فولادی در سایت کوچکی نزدیک یک کارخانه تولیدی از یک چشمه Ir-192 با اکتیویته (۲۰ Ci) ۷۴۰ GBq استفاده می‌کردند. در پایان فرایند پرتودهی، پرتونگار اقدام به بازگرداندن هُلدر به دوربین پرتونگاری کرد. هنگامی که دستیارش برای تعویض فیلم به سمت لوله رفت، دستگاه هشداردهنده از کار افتاد و عقربه دزیمتر محیطی‌اش از مقیاس بیرون زد (>۱ mSv/h). او به‌سرعت به سمت دسته کرنک واقع در پشت دوربین پرتونگاری دوید و چندبار آن را به عقب و جلو چرخاند تا بلکه بتواند هُلدر را به‌درون دوربین پرتونگاری بازگرداند. از آنجا که هُلدری با طولی بیشتر از طول طراحی شده برای دوربین استفاده می‌شد، میزان پرتوها در جلوی دستگاه از حد انتظار بالاتر بود؛ ظاهراً هُلدر به‌طور کامل در وضعیت ایمن قرار نگرفته بود.

این دو پرتونگار تلاش کردند تا با استقرار وسیله نقلیه خود همانند یک حفاظ بین چشمه و جاده، آهنگ پرتوگیری را کاهش دهند. پرتونگار هنگام خروج شتابزده از خودروی وَن، ترمز دستی ماشین را نکشید و دنده را خلاص کرد؛ درنتیجه خودرو در شیب جاده راه افتاد و به یک حصار سیمی برخورد کرد، هم حصار و هم وسیله نقلیه خسارت دیدند. دستیار پرتونگار هنگام دویدن به عقب به زمین افتاد و هشداردهنده پرتوی‌اش آسیب دید.

در ادامه برای حفاظت از پرتوهای چشمه، پرتونگاران تصمیم گرفتند دوربین پرتونگاری، گایدتیوب و ابزار کنترل (کابل کنترل و دسته‌دنده) را درون گودالی در فاصله حدود ۲۰ متری از سایت بیندازند. برنامه آنها این بود که دز دریافتی ناشی از این انتقال را با کشیدن نوبتی دوربین پرتونگاری توسط کابل کنترل به سمت گودال، بین خودشان سرشکن کنند.

در ابتدای اقدام برای بازیابی چشمه، دزیمتر محیطی به زمین افتاد و شکست. آشکارساز پرتوی قابل استفاده آنها، یک هشداردهنده فردی (بیلیپر) بود که هشدار آن به عدم بازگشت چشمه به دوربین تعبیر شده بود. سرانجام آن‌ها دزیمتر هشداردهنده را جلوی دوربین قرار دادند و متوجه شدند که چشمه [از همان اول] در وضعیت ایمن قرار داشته است. سپس پرتونگاران تجهیزات را در خودروی آسیب‌دیده بارگیری و به‌سوی نزدیک‌ترین بیمارستان حرکت کردند تا تحت درمان ناشی از پرتوگیری قرار بگیرند.

هرچند که بیش‌پرتوگیری رخ داد، اما ریسک آسیب‌دیدگی ناشی از اتفاقاتی که درنتیجه اضطرابشان ایجاد شده بود، زیاد و ضررهای مالی ناشی از آن، قابل‌توجه بود.

- *رویداد آغازگر*

قرائت دزیمتر محیطی از گستره‌اش فراتر رفته است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگارها به دلیل اضطراب تلاش نکردند تا با انجام یک پایش پرتوی مناسب میزان پرتو در محیط را تعیین کنند. این کار با فاصله گرفتن از چشمه تا خواندن یک عدد در گستره قرائت دزیمتر و سپس استفاده از قانون عکس مجذور فاصله برای تعیین موقعیت واقعیِ چشمه، می‌توانست انجام شود.
- پرتونگاران تشخیص دادند که مشکلی هست و برنامه‌ای طرح‌ریزی کردند؛ اما باتوجه به واکنش‌های نامناسبی که نشان دادند، به نظر می‌رسد جهت مواجهه با شرایط اضطراری آموزش مناسب ندیده بودند.
- آموزش واکنش مناسب در شرایط اضطراری می‌توانست به کاهش سطح اضطراب و سامان دادن سریع‌تر وضعیت کمک کند.

۲-۶-۲ مورد ۲۹: مفقود شدن دوربین پرتونگاری هنگام حمل‌ونقل

پرتونگاری پس از اتمام کار در یک محوطه درحال ساخت، تجهیزات را جمع‌آوری کرد. او دوربین پرتونگاری را روی سپر عقب کامیون گذاشت، اما هنگام حرکت به سمت دفتر شرکت این موضوع را فراموش کرد. در زمان تخلیه تجهیزات از کامیون، متوجه شد که دوربین نیست. پرتونگار با کمک یک دزیمتر محیطی که بر روی داشبورد ماشین قرار داد و با حرکت در مسیری که آمده بود، توانست دوربین پرتونگاری و هُلدر را پیدا کند. دوربین هنگام سقوط از کامیون بر روی جاده آسیب دیده و هُلدر بیرون افتاده بود. هُلدر چشمه بدون حفاظ در نزدیکی دوربین پرتونگاری پیدا شد.

- *رویداد آغازگر*

پرتونگار فراموش کرد که دستگاه را روی سپر کامیون قرار داده و کامیون را به حرکت در آورد.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- فراموشی بخشی از ماهیت بشر است، اما وجود یک سیستم کنترلی مضاعف، مانند یک چک لیست مکتوب، ممکن بود از بروز سانحه جلوگیری کند.

۲-۶-۳ مورد ۳۰: آسیب‌دیدگی تجهیزات به‌دلیل فشار تولید

هنگام پرتونگاری از جوش‌های یک مبدلِ حرارتی موقع تعطیلی پالایشگاه با یک چشمه Ir-192 با اکتیویته (۸۰ Ci) ۳۰۰۰ GBq توسط یک دوربین پرتونگاری با قابلیت کنترل از راه دور، کابل ولتاژ بالای برهنه در یک دستگاه جوش با گایدتیوب برخورد کرد. جریان برق کابلِ دستگاه جوش ازطریق گایدتیوب و دوربین پرتونگاری در زمین تخلیه شد. در اثر گرمای تولید شده، گایدتیوب ذوب شد و هُلدر نتوانست با روش معمول به دوربین بازگردانده شود. پیش از انجام کار، معیوب بودن کابل‌های جوشکاری مشخص بود اما برای اصلاح شرایط، هیچ اقدامی صورت نگرفت.

دز تمام‌بدن دریافتی توسط پرتونگارهایی که در بازیابی چشمه حضور داشتند ۱،۵ میلی‌سیورت تعیین شد. همچنین در اثر گرمای حاصل از جریان الکتریکی، دست‌های یکی از پرتونگارها دچار سوختگی شد.

- *رویداد آغازگر*

برقراری تماس بین کابل‌های معیوب دستگاه جوشکاری با گایدتیوب، منجر به ذوب آن شد.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- این وضعیت درنتیجه فشار تولید و ادامه کار (حتی با تجهیزات جوشکاری معیوب) به‌وقوع پیوست.
- علاوه بر این، دو فعالیت جوشکاری و پرتونگاری، بدون هماهنگی و به‌طور همزمان در یک محل انجام می‌شدند.
- پرتونگار باید قبل از انجام عملیات پرتونگاری، محیط کار را بررسی و خطرات احتمالی را شناسایی و رفع کند.
- این ارزیابی شامل اطمینان از هماهنگی با فعالیت‌های دیگری است که در سایت انجام می‌گیرد. هماهنگی باید ازطریق ارتباط با متقاضی خدمات (کارفرما) انجام شود.

۲-۶-۴ مورد ۳۱: پرتوگیری اتفاقی دو پرتونگار

دو گروه پرتونگاری در دو طرف یک کارگاه تولیدی بزرگ مشغول کار بودند. یکی از گروه‌ها سر تیوب پرتو ایکس پانورامیک را برای پرتونگاریِ جوش محیطیِ یک مخزن استوانه‌ای بزرگ آماده کرد. گروه دیگر زمان بیشتری را جهت راه‌اندازی یک دستگاه پرتو ایکس مشابه برای پرتونگاری تعدادی جوش صرف کرد. میز کنترل هر دو دستگاه مولد پرتو ایکس و سیستم‌های هشداردهنده در مرکز

کارگاه و خارج از دید مستقیم گروه‌ها قرار داشت. بنابراین، در مرحله آماده‌سازی، به عنوان یک اقدام ایمنی تکمیلی، کابل سرهای تیوب پرتو ایکس از صفحه کنترل دستگاه‌های نظیرشان جدا شدند.

هنگامی که آماده‌سازی‌ها انجام شد، پرتونگار گروه اول به دستیارش گفت که کابل را وصل و یک پرتودهی ۷ دقیقه‌ای را آغاز کند. به نشانه آغاز پرتودهی، یک هشدار صوتی به صدا درآمد و چراغ هشداردهنده در مرکز کارگاه فعال شد. این گروه در مدت پرتودهی ناحیه را ترک کرد و به‌محض بازگشت به محل، پرتونگار بلافاصله متوجه شد که دستیارش کابل دستگاه دیگر را اشتباهی به میز کنترل خودشان وصل کرده است. گروه دیگر که هنوز قطعات آزمون را تنظیم می‌کرد، بدون اطلاع از اینکه سر تیوب پرتو ایکس آنها فعال شده، مشغول کار بود.

دزیمترهای پرتونگارهای در معرض پرتو، دزهای ۳۹ و ۱۸ میلی‌سیورت را ثبت کردند؛ یعنی بسیار پایین‌تر از مقداری که با محاسبات پیش‌بینی می‌شد. اظهارات پرتونگارها و شبیه‌سازی حادثه دلایل این اختلاف را مشخص کرد. دو پرتونگار هنگام کار پشت‌شان به سمت سر تیوب پرتو ایکس بود و مرتب خم می‌شدند. نه‌تنها کمرگاه‌های آنها به سر تیوب نزدیک‌تر بود (و بنابراین باریکه ایکس فاصله بیشتری را طی می‌کرد تا به دزیمتر نصب شده بر روی سینه آنها برسد) بلکه بدنشان نیز مانند حفاظ پرتوی درمقابل دزیمترها عمل می‌کرد. اندازه‌گیری پرتوهای مستقیم و دزیمتری ویژه انجام شده، دز تخمینی تمام‌بدن آنها را به ترتیب ۶۰۰ و ۱۶۰ میلی‌سیورت تعیین کرد.

- *رویداد آغازگر*

کابل کنترل دستگاه اول اشتباهی به صفحه کنترل دستگاه دوم اتصال یافته و دستگاه پرتو ایکس دوم، به‌اشتباه فعال شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- ترکیبی از خطای انسانی و چیدمان میزهای کنترل، شرایط پرتوگیری ناخواسته به وجود آورد.
- پرتونگار باید مطمئن می‌شد که کابل به دستگاهِ صحیح وصل شده است.
- میزهای کنترل باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که امکان جابه‌جا شدنشان نباشد.
- همچنین هنگامی که بیش از یک گروه به‌طور همزمان کار می‌کنند، لازم است انجام کار بین آنها هماهنگ شود.

۲-۷ ایراد در عملکرد یا نقص تجهیزات

اگرچه عیوب مربوط به ساخت متداول نیست، اما گاهی اوقات اتفاق می‌افتد. به‌علاوه، خرابی‌هایی نیز ممکن است به‌واسطه شرایط استفاده رخ دهد.

۲-۷-۱ مورد ۳۲: خرابی کرنک

واحد قانونی مطلع شد که یک پرتونگار قادر به بازگرداندن کامل یک چشمه پرتونگاری Ir-192 با اکتیویته (۷۳ Ci) ۲۷۰۰ GBq به‌درون حفاظ آن نشده است. این سانحه ناشی از خرابی کرنکی بود که اتصال کابل به جعبه‌دنده آن جدا شده بود. با بریدن کابل در

نزدیکی جعبه‌دنده و کشیدن چشمه توسط فنر درون کابل، چشمه به داخل حفاظ بازگردانده شد. در این سانحه هیچگونه پرتوگیری رخ نداد.

- *رویداد آغازگر*

به‌دلیل وجود یک ایراد، کابل کنترل از جعبه‌دنده جدا شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- اگرچه مشکل تجهیزات وجود داشت، اما به‌دلیل انجام عملیات بازیابی مناسب، بازیابی و ایمن‌سازی چشمه بدون بیش‌پرتوگیری امکان‌پذیر شد.
- تمامی عیوب و نواقص تجهیزات باید به تولیدکننده آن اطلاع داده شود تا بتواند علت عیب را بررسی کند و اقدامات مناسب انجام دهد.

۲-۷-۲ مورد ۳۳: عملکرد ناقص مکانیسم قفل

یک هُلدر پرتونگاری حاوی چشمه Ir-192 با اکتیویته (۶ Ci) ۲۰۰ GBq به‌دلیل عملکرد ناقص مکانیسم قفل، از دوربین پرتونگاری بیرون افتاد. دوربین پرتونگاری پس از استفاده با کمک یک چرخ‌دستی به محل نگهداری منتقل شد. پرتونگار متوجه افتادن چشمه نشد، اما دو کارگر جوان رستوران آن را پیدا کرده و برداشتند. آنها علامت خطر روی چشمه را دیده و موضوع را گزارش دادند. دز دریافتی انگشتان آنها حدود ۸ سیورت تخمین زده شد، درحالی‌که دز تمام‌بدن آنها کمتر از ۰،۲ سیورت بود.

- *رویداد آغازگر*

خرابی قفل باعث شد تا چشمه از دوربین پرتونگاری بیرون بیفتد.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- علامت خطر پرتو بر روی چشمه کمک کرد تا خطر به‌سرعت شناسایی شود و پرتوگیری مردم به حداقل برسد.
- درنتیجه این اتفاق، پیامی به کاربران دیگر ارسال شد تا درخصوص مشکل بالقوه این قفل هشیار باشند.

۲-۷-۳ مورد ۳۴: قطع ارتباط چشمه به‌دلیل اتصال خراب

در سال ۱۹۹۳، فرد پرتونگاری با دوربین پرتونگاری حاوی چشمه Ir-192 با اکتیویته (۴۳ Ci) ۱۶۰۰ GBq کار می‌کرد. پس از انجام عملیات، وی هُلدر را به‌درون حفاظ برگرداند اما از طریق دزیمتر محیطی‌اش متوجه شد چشمه به درون حفاظ برنگشته است. بررسی سانحه نشان داد که رابط نرینه فنر کابل کنترل (سرفنر) شکسته؛ در حالی‌که تولیدکننده همین رابط را چند روز قبل از سانحه عوض کرده بود، اما ظاهراً رابط جدید نیز خراب بود.

پرتونگار سانحه را به مسئول فیزیک بهداشت اطلاع داد و سپس چشمه به‌صورت صحیح به درون حفاظ بازگردانده شد. دز تمام‌بدنی معادل ۰،۵ میلی‌سیورت گزارش شد.

- *رویداد آغازگر*

شکستگی رابط نرینه فنر کابل کنترل (سرفنر)، موجب قطع ارتباط هُلدر شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پایش پرتوی معمول، مشکل را بلافاصله نشان داد.
- به‌دلیل انجام اقدامات شرایط اضطراری مناسب، هیچ موردی از بیش‌پرتوگیری اتفاق نیفتاد.

۲-۷-۴ مورد ۳۵: آلوده شدن تجهیزات و کارکنان به‌دلیل نشتی چشمه

فرد پرتونگاری هنگام پیچیدن گایدتیوب حین بسته‌بندی تجهیزات، از طریق دستگاه هشداردهنده‌اش متوجه آهنگ دز بالایی شد. سپس گایدتیوب را با دزیمتر محیطی خود پایش و آهنگ دز ۶-۵ میلی‌سیورت را قرائت کرد. بررسی دقیق از آلودگی پرتوی مشخص کرد که گایدتیوب کابل کنترل، دست و ساعد پرتونگار به مواد پرتوزا آلوده شده‌اند. تجهیزات آلوده در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و پسماند شدند. آلودگی از دست و ساعد کاربر شسته شد. در این حادثه هیچ موردی از بیش‌پرتوگیری رخ نداد.

بررسی واحد قانونی علت آلودگی را نشتی چشمه به دلیل جوش‌دادن نامناسب، طی فرایند *درکپسول کردن چشمه* تشخیص داد.

- *رویداد آغازگر*

یک جوشکاری نامناسب که در زمان ساخت چشمه شناسایی نشده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- کنترل کیفی انجام شده توسط تولیدکننده چشمه برای تشخیص نقص به‌اندازه کافی دقیق نبود. استفاده از یک کپسول چشمه دولایه، ریسک نشتی چشمه را به‌میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.
- واکنش مناسب پرتونگار به میزان غیرعادی آهنگ دز، مانع انتشار آلودگی شد.

۲-۸ ایرادات طراحی

اگرچه ایرادات مربوط به طراحی متداول نیست اما به‌ندرت اتفاق می‌افتد. تغییرات طراحی حاصل تجربه میدانی و رشد مداوم تولیدکنندگان، کاربران و واحدهای قانونی است.

۲-۸-۱ مورد ۳۶: بازشدن حفاظ اورانیم تهی‌شده یک دوربین پرتونگاری

هنگام پایش پرتوی معمول یک دوربین پرتونگاری که چندی قبل بازسازی شده بود، پرتونگار یک باریکه پرتو نازک ۱۷ mSv/h را در ۱۵ سانتی‌متری زیر دوربین اندازه‌گیری کرد. دوربین پرتونگاری بلافاصله از سرویس خارج و برای تعمیر ارسال شد. در این رویداد

هیچ موردی از بیش‌پرتوگیری اتفاق نیفتاد. بازرسی از دوربین پرتونگاری مشخص کرد که دو نیمه حفاظ اورانیومی، دراثر اعمال گشتاور بیش از حد به پیچ‌های نگهدارنده، از هم جدا شده‌اند.

- *رویداد آغازگر*

پیچ‌های نگهدارنده مجموعه حفاظ در زمان بازسازی بیش از حد پیچانده شده‌اند.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- زمانی که موضوع به تولیدکننده اطلاع داده شد، طراحی دستگاه به شکل حفاظ اورانیومی یک‌تکه تغییر یافت.
- برای دستگاه‌های موجود که حفاظ دوتکه داشتند، جهت کاهش احتمال فاصله بین دو تکه حفاظ، رویه‌ها اصلاح شدند.
- آن دسته از دوربین‌های پرتونگاری که ممکن بود چنین عیبی پیدا کنند، مورد بررسی قرار گرفته و کاربران از امکان وقوع این رویداد آگاه شدند.
- اگرچه عیب در ساخت وجود داشت، رویه‌های معمول پیش از ایجاد یک وضعیت بالقوه خطرناک، مشکل را شناسایی کردند.

۲-۸-۲ مورد ۳۷: مفقودی چشمه یک دوربین پرتونگاری پنوماتیک

در سال ۱۹۷۷، در یک کارگاه عمرانی، یک چشمه Ir-192 با اکتیویته (۷ Ci) ۲۶۰ GBq از یک دوربین پرتونگاری پنوماتیک بیرون افتاد و به‌دلیل استفاده از یک دزیمتر محیطی معیوب، پرتونگار متوجه این موضوع نشد. یکی از ناظران ساختمانی، چشمه را به گمان اینکه از اجزای جرثقیل متحرک است، برداشت و آن را در جیب پیراهن سمت چپ سینه‌اش قرار داد. او به‌همراه شش نفر دیگر با اتوبوس به سمت خانه حرکت کردند. اواخر همان روز این ناظر ساختمانی دچار تهوع و استفراغ شد، پیراهن خود را از تن خارج کرد و به رختخواب رفت. چشمه در نزدیکی تختخواب، در اتاقی که او، همسرش و پسر ۶ ساله آنها در آن خوابیده بودند، باقی ماند.

روز بعد مشخص شد چشمه مفقود شده و شرکت ساختمانی با دزیمترهای محیطی جستجو را آغاز کرد. ماکتی از کپسول چشمه به کارگران سایت نشان داده شد و متعاقب آن چشمه از کشوی میز کنار تختخواب ناظر ساختمانی، پیدا و بازیابی شد. در پی وقوع این سانحه برآورد دز انجام و مشخص شد که فرزند ناظر ساختمانی ۰،۱ سیورت و همسرش ۰،۱۷ سیورت دز تمام‌بدن دریافت کرده‌اند. تخمین زده شد انگشت شست و انگشت اشاره دست راست ناظر ساختمانی ۱۰ سیورت و انگشت‌های شست، اشاره و میانی دست چپ ناظر ساختمانی ۵ سیورت دز دریافت کرده‌اند. پس از گذشت ۲ سال از این رویداد، قطع این اندام‌ها ضروری تشخیص داده شد. همچنین، تخمین زده شد که قفسه سینه او بین ۵۰ تا ۱۰۰ سیورت دز دریافت کرده و به پیوند پوست نیاز پیدا کرد.

- *رویداد آغازگر*

طراحی این نوع خاص از دوربین‌های پرتونگاری پنوماتیک وضعیتی ایجاد می‌کند تا در شرایطی که دوربین پرتونگاری در موقعیت پرتودهی نیست، چشمه بیرون بیفتد.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- خطا در انجام یک پایش پرتوی مناسب به‌دلیل استفاده از یک دزیمتر محیطی معیوب، منجر به بیش‌پرتوگیری تعدادی از مردم عادی شد.
- واحد قانونی کشور مربوطه، به‌منظور جلوگیری از بروز هرگونه سانحه بعدی، استفاده از این نوع طراحی خاص برای دوربین پرتونگاری را ممنوع اعلام کرد.

۲-۸-۳ مورد ۳۸: قطع ارتباط چشمه

در سال ۱۹۸۹، هُلدر حاوی چشمه Ir-192 با اکتیویته (۳۸ Ci) ۱۴۰۰ GBq درون گایدتیوب از کابل کنترل جدا شد. این جدایی به واسطه اتصال هُلدر به کابل کنترل نسبت داده شد. پرتونگار پس از بازگرداندن چشمه به دوربین پرتونگاری، متوجه شد آهنگ دز بالا است. در بازیابی موفقیت‌آمیز چشمه، پرتونگار حداکثر دز تمام‌بدن ۲،۲ میلی‌سیورت دریافت کرده بود.

- *رویداد آغازگر*

قطع ارتباط چشمه به‌دلیل استفاده از رابط اتصال چشمه‌ای که می‌توانست به آسانی باز شود.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- با پیشرفت‌های فن‌آوری، تولیدکنندگان بیشتری به تولید تجهیزات ایمنی روی آورده‌اند. لازم است واحدهای قانونی به‌طور دوره‌ای به بازبینی حوادث بپردازند و توصیه‌هایی برای استفاده از تجهیزات و/یا رویه‌ها مشخص کنند.
- در این مورد، توصیه واحد قانونی به تغییر طراحی رابط از حالت قبلی به نوع توپی بود.

۲-۹ تخلف عمدی

آموزش، طراحی تجهیزات و اجرای رویه‌های عملیاتی مؤثر نمی‌تواند فرد را از تخلف عمدی در انجام رویه‌های ایمنی باز دارد. احتمال انجام این اقدامات عمدی هنگام کار در شرایط پرتنش که ناشی از مواردی چون سوء مصرف مواد مخدر، خستگی، عوامل اقتصادی، فشارهای تولید یا فعالیت بدنی است، افزایش می‌یابد. وقوع تخلفات عمدی در آن دسته از مراکز بهره‌برداری که فرهنگ ایمنی قوی ندارند، محتمل‌تر است.

۲-۹-۱ مورد ۳۹: بیش‌پرتوگیری حین تعویض چشمه

در یک فعالیت پرتوی به‌منظور جابجایی چشمه بین دو دوربین پرتونگاری پنوماتیک از طریق انتقال چشمه‌ها به سر گایدتیوب‌ها، تعویض صورت گرفت و هر چشمه به دوربین پرتونگاری دیگر بازگردانده شد. در این وضعیت، به‌دلیل خرابی یکی از پمپ‌های هوا، سردرگمی پرتونگاران و رویه‌های ضعیف جابجایی چشمه، کنترل هر دو چشمه از دست رفت. ترتیب دقیق رویدادها نامشخص بود اما درمدت بازیابی چشمه نهایی، مراحل زیر انجام شد: یکی از گایدتیوب‌ها بریده شد و سیمی به منظور بازگرداندن

چشمه به دوربین پرتونگاری مربوطه به‌درون آن وارد شد. چشمه دیگر به زمین افتاد و برای مدتی پیدا نشد. احتمال داشت که هردو چشمه جایی در یکی از گایدتیوب‌ها قرار گرفته باشند. در این فرایند، پرتوگیری یکی از پرتونگاران ۳۷ میلی‌سیورت بود، اما پرتوگیری دو پرتونگار دیگر به‌درستی مشخص نشد. آنها وقتی متوجه شدند که مشکلی به‌وجود آمده، دزیمترهای فردی خود را کنار گذاشتند. براساس تخمین پرتوگیری‌ها و بازسازی مجدد سناریو، فرض شد که هر پرتونگار ۳۸ میلی‌سیورت دز دریافت کرده است.

- *رویداد آغازگر*

تعویض چشمه به‌روشی خلاف رویه‌های مصوب.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- پرتونگاران درمدت جابجایی چشمه‌ها و در عملیات بازیابی متعاقب آن، دچار سردرگمی شدند که به افزایش دز دریافتی منجر شد.
- علاوه بر این، فقدان رویه‌های عملیاتیِ مشخص برای جابه‌جایی چشمه‌ها این سردرگمی را افزایش داد.
- برداشتن دزیمترهای فردی الزامی، یک تخلف عمدی از مقررات وضع شده است.

۲-۹-۲ مورد ۴۰: پرتوگیری مردم به‌دلیل سرقت منبع پرتو

در سال ۱۹۹۱، یک هُلدر چشمه Ir-192 با اکتیویته (حدود ۱ Ci) ۲۶ GBq که در یک حفاظ سربی قرار داده شده بود به‌همراه یک دوربین پرتونگاری خالی از چاهک نگهداری منابع پرتو به سرقت رفت. به مدت چند روز کسی متوجه این سرقت نشد و واحد قانونی قادر به شناسایی سارقان نبود. در این حین و پس از سرقت، هُلدر چند بار بین افراد مختلف دست به دست و سرانجام در مغازه فروش ضایعات پیدا شد. بیشینه دز دریافتی تمام‌بدن فروشنده ضایعات، ۲۰۰ میلی‌سیورت و بیشینه دز هر فرد عادی (غیرپرتونگار)، ۳۵ میلی‌سیورت تخمین زده شد.

- *رویداد آغازگر*

سرقت منبع پرتوزا توسط یک فرد.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- باید براساس شرایط محلی و طبق نظر واحد قانونی، امنیت فیزیکی کافی برای منابع پرتو فراهم شود.
- فردی که منبع پرتوزا را به سرقت برده بود، با خطرات سلامتی ناشی از پرتوهای یونساز آشنا نبود و این امر موجب افزایش دز دریافتی شد.

۲-۹-۳ مورد ۴۱: انجام فعالیت پرتونگاری بدون نظارت توسط افراد آموزش‌ندیده

در سال ۱۹۹۳، یک مرکز بهره‌بردار، با نقض عمدی قوانین تعیین‌شده، به افرادی که آموزش ندیده بودند اجازه انجام فعالیت پرتونگاری داد. درنتیجه این اقدام، دو کارگر آموزش‌ندیده (بدون نظارت فرد پرتونگار) که دستگاه هشداردهنده به‌همراه نداشتند از چشمه‌ای که

از کابل کنترل جدا شده بود، ۲۰ میلی‌سیورت دز تمام‌بدن دریافت کردند. همچنین پرتوگیری دست یکی از کارگران ۹۰۰ میلی‌سیورت محاسبه شد. در این سانحه افراد با عملکرد تجهیزات و یا استفاده صحیح از ابزارهای پایش پرتوی آشنا نبودند و باوجود اینکه شرکت، آموزش کافی به آنها ارائه نکرده بود اما اجازه داد بدون نظارت، فعالیت پرتوی انجام دهند.

- *رویداد آغازگر*

به کارکنانِ آموزش‌ندیده، اجازه کار با تجهیزات پرتونگاری داده شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- این افراد به‌تنهایی و بدون هیچ‌گونه نظارتی بر فعالیتشان کار کردند. این نظارت می‌توانست پیامدها را کاهش دهد.
- مرکز بهره‌بردار با دادن اجازه فعالیت به افراد آموزش‌ندیده برای کار با تجهیزات پرتونگاری، عامدانه قانون را زیرپا گذاشت.

۲-۹-۴ مورد ۴۲: انجام فعالیت پرتونگاری بدون نظارت توسط فرد آموزش‌ندیده

در سال ۱۹۹۵، شرکتی به یک فرد آموزش‌ندیده اجازه داد جهت انجام کار پرتونگاری شبانه با چشمه Ir-192 با اکتیویته (۵۱ Ci) ۱۹۰۰ GBq فعالیت داشته باشد. حین انجام عملیات پرتودهی، کارگر نتوانست چشمه را به درون حفاظ بازگرداند. او مشکل به‌وجود آمده را تشخیص داد و تلاش کرد با مسئول فیزیک بهداشت تأسیسات ارتباط برقرار نماید، اما مؤفق به انجام این کار نشد. سرانجام با کارکنان واحد قانونی تماس گرفت و با راهنمایی‌های ارائه شده، مشکل را برطرف کرد. حداکثر دز تمام بدن این فرد ۲،۱ میلی‌سیورت بوده است.

- *رویداد آغازگر*

به یک کارگر آموزش‌ندیده اجازه کار با تجهیزات پرتونگاری داده شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- فرد به تنهایی و بدون هرگونه نظارتی فعالیت پرتونگاری انجام داد.
- اگرچه این فرد دارای صلاحیت نبود، اما مشکل را تشخیص و اقدامات مناسب را انجام داد؛ به‌همین دلیل بیش‌پرتوگیری نداشت.
- شرکت با انجام عملیات پرتونگاری توسط یک فرد آموزش‌ندیده، قصور عمدی انجام داد.

۲-۹-۵ مورد ۴۳: سرقت چشمه پرتوزا

در ارتفاع حدود ۸ متری از سطح زمین، در سایت یک نیروگاه حرارتی، عملیات پرتونگاری با استفاده از چشمه Ir-192 با اکتیویته (۸ Ci) ۳۰۰ GBq انجام می‌شد. پرتونگار، به مدت یک ساعت چشمه پرتوزا را جهت انجام پرتودهی پانورامیک از محل اتصال لوله، در حالت ثابت قرار داد. حدود ساعت 23:20 وی نگهبانی را در محل قرار داد تا در زمانی که محل اتصال دوم را جهت امکان انجام عملیات پرتونگاری بعدی بررسی می‌کند، چشمه را زیر نظر داشته باشد. پس از گذشت حدود ۳۰ دقیقه وقتی که به محل اول بازگشت، متوجه شد چشمه مفقود شده است. او علاوه بر اینکه به‌فوریت موضوع را به سرپرست خود گزارش نکرد، باتوجه به عدم

آشنایی از چگونگی کار با دزیمتر محیطی، پایشی هم انجام نداد و موضوع صبح روز بعد یعنی ۶ ساعت پس از وقوع سانحه به سرپرست گزارش شد. جستجو برای پیدا کردن چشمه پرتوزا حدود ۴ ساعت به طول انجامید و سرانجام در فاصله حدود ۸ متری از محل پرتودهی اصلی (۱۶ متری زمین) در حالت آویزان، پیدا شد.

ده روز پس از این اتفاق، یک کارگر ساختمانی که بین ساعت ۲۴:۰۰ روز سانحه و ۰۶:۰۰ صبح روز بعد در همان ناحیه کار کرده بود، از مشاهده یک لکه سیاه بر روی سینه خود شکایت کرد. بعدها، این لکه به زخمی در حدود ۱۸×۸ سانتی‌متر مربع تبدیل شد. زخم کوچک دیگری نیز در نزدیکی آرنج او به‌وجود آمد. مشخص شد که این شخص روی سکوی مشبکی که چشمه پرتوزا از آن آویزان بود، خوابیده است. به نظر می‌رسد که فردی چشمه پرتوزا را جابجا کرده و در حالی که انتهای آن به سیمی بسته شده بود، آن را به سکو متصل کرده است. در این شرایط ممکن است چشمه پرتوزا در نزدیکی کارگر قرار گرفته و درنتیجه جابجایی وی آویزان شده باشد. فرد مصدوم بیشینه دز ۱۰ سیورت به‌صورت موضعی و شخصی که چشمه پرتوزا را جابجا کرده، ممکن است حدود چند میلی‌سیورت دز دریافت کرده باشد. دز دریافتی افراد دیگری که در مجاورت چشمه کار می‌کردند نیز می‌تواند به چند ده میکروسیورت برسد.

- *رویداد آغازگر*

هُلدر حاوی چشمه به‌عمد جابجا شده است.

- *عوامل مؤثر بر وقوع سانحه و روش‌های پیشگیری*

- تأمین نامناسب امنیت هُلدر چشمه مستقر در محل باعث شد که چشمه پرتوزا بدون نظارت جابجا شود.
- علاوه بر این، تأخیر در ارائه گزارش موجب دریافت دز اضافی شد.

۳. درسهای برگرفته

از یافته‌های تحقیقات صورت‌گرفته در مورد سوانح پرتونگاری صنعتی، درسهایی آموخته شده که خلاصه آنها به شرح زیر است:

(۱) پیروی از رویه‌های ایمنی مقرر از وقوع بسیاری از سوانح جلوگیری می‌کند. عدم پیروی از رویه‌های ایمنی مقرر، اغلب به‌دلیل فشارهای تجاری و الزامات تولید رخ می‌دهد؛ به‌عنوان مثال:

(الف) در اغلب بیش‌پرتوگیری‌ها، فرد مورد نظر نتوانسته از رویه‌های مناسب، به‌ویژه انجام پایش پرتوی صحیح، پیروی کند.
(ب) در برخی از بیش‌پرتوگیری‌ها، قفل‌های هم‌بند یا سایر سیستم‌های ایمنی، مغایر با رویه‌های تعیین‌شده بوده و به‌عمد غیرفعال شده‌اند.
(ج) در برخی از بیش‌پرتوگیری‌ها، کارکنان فاقد صلاحیت تحت نظارت صحیح یک پرتونگار کار نمی‌کردند.

(۲) درصورتی که کنترل‌های قانونی از جمله صدور مجوز، بازرسی و اعمال مقررات وجود نداشته باشد، ایمنی به خطر می‌افتد. این کنترل‌ها شامل درنظر گرفتن طراحی دستگاه و چشمه، رویه‌های *حفاظت در برابر اشعه* و آموزش است. در موقعیت‌هایی که این موارد به‌اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته‌اند، شرایطی ناایمن از جمله پرتوگیری تعدادی از مردم رخ داده است؛ به‌عنوان مثال:

(الف) کوتاهی در بازبینی طراحی دستگاه منجر به جدا شدن چشمه و پرتوگیری مردم شده است.
(ب) در مناطقی خارج از حوزه فعالیت یا دور از واحد قانونی، رویه‌ها از استانداردهای قابل قبول فاصله گرفته‌اند.

(۳) این امکان وجود دارد که سطح دانش و کارایی پرتونگارها افت کند؛ مگر اینکه با انجام ممیزی‌های نظام‌مند، کفایت آموزش ارزیابی شود و با ارائه بازآموزی تقویت گردد؛ به‌عنوان مثال:

(الف) در چندین مورد، کارکنان سانحه دیده، بدون داشتن آموزش لازم، اجازه استفاده از تجهیزات پرتونگاری و ایمنی را پیدا کرده‌اند.
(ب) کارکنان سانحه دیده، اغلب از دزیمتر محیطی استفاده نکرده یا آن را به‌روش صحیح به‌کار نگرفته‌اند.
(ج) کارکنان سانحه دیده، اغلب دزیمترهای فردی الزامی را به‌همراه نداشته‌اند.

(۴) در موارد بسیاری، وجود یک فرهنگ ایمنی ضعیف منجر به افت سیستم‌های ایمنی و رویه‌های عملیاتی می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در برخی مجموعه‌ها ارزش‌گذاری تولید و حجم کار بر ایمنی تقدم دارند؛ به عنوان مثال:

(الف) در بعضی موارد عملیات بازیابی چشمه، کارکنان پرتونگار به‌جهت اینکه برای آنها مقدار دز بالایی ثبت نشود، به‌عمد دزیمترهای خود را قبل از شروع اقدامات اصلاحی و بازیابی کنار گذاشته‌اند.
(ب) برخی سوانح به‌دلیل عدم دقت در تعمیر و نگهداری سیستم‌ها و تجهیزات ایمنی رخ داده است.
(ج) شواهدی از اعتماد به‌نفس بیش از حد درخصوص مسائل مربوط به ایمنی فردی و مراقبت از دیگران مشاهده شده است.
(د) در اغلب موارد، پرتونگاران واجد صلاحیت که از عهده شرایط برآیند، به‌تعداد کافی وجود نداشته است.

(۵) در اکثر سوانح، کمبودهای آموزشی مشاهده می‌شود. این کمبودها شامل آموزش اولیه ایمنی و نیز آموزش نادرست رویه‌های شرایط اضطراری است؛ به‌عنوان مثال:

(الف) عملیات بازیابی چشمه‌ها بدون تجهیزات یا برنامه‌ریزی مناسب و در شرایط محیطی نامطلوبی انجام شده‌اند.
(ب) کارکنان پرتونگارِ درگیر در سوانح، در مواردی شناخت ابتدایی از اصول اولیه کار با دستگاه‌های مورد استفاده را نداشته‌اند.
(ج) به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد فقدان دانش در زمینه *اصول پایه حفاظت پرتوی* وجود دارد.
(د) کارکنان پرتونگار در شرایط پر اضطراب موفق نشده‌اند اصول ایمنی و عملیاتی (کاربردی) بنیادی را اجرا کنند چراکه دانش و آگاهی آنها نهادینه نشده است.

۴. اقدامات پیشگیرانه و چاره‌ساز

۴-۱ واحد قانونی

ایجاد یک واحد قانونی باثبات اهمیت دارد و مورد توجه است، همچنین شرایط توسعه و پیشرفت مستمر آن نیز باید فراهم شود.

الزامات واحد قانونی:

(۱) اطمینان یابد که قانون‌گذاری مناسب جهت کنترل ایمنی پرتوی تجهیزات پرتونگاری صنعتی وجود دارد. این قانون‌گذاری باید برای پوشش مرکز بهره‌بردار، تأمین‌کننده و تولیدکننده کافی باشد.

(۲) اطمینان یابد که شرایط صدور مجوزهای قانونی برقرار است، از جمله:

(الف) الزام مرکز بهره‌بردار جهت تعیین مسئول فیزیک بهداشت به‌ویژه برای آموزش کارکنان و ارائه مشاوره برای موضوعات حفاظت پرتوی؛

(ب) الزام در انجام ممیزی‌های دوره‌ای ایمنی؛

(ج) الزام در ایجاد یک سیستم گزارش‌دهی جهت ارسال گزارش‌های به‌موقع از رویدادهای غیرعادی و تجربیات کسب شده.

(۳) اعمال مقررات فوری، قاطع و اصولی درمواردی که در اجرای مقررات تخلفی رخ می‌دهد یا زمانی که شرایط ناایمنی مشاهده می‌شود؛

(۴) شناسایی محدودیت‌های خود و درخواست کمک خارجی، به‌عنوان مثال درصورت لزوم از *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* یا کارشناسان این حوزه تقاضای کمک شود؛

(۵) بازبینی دوره‌ای قوانین، آیین‌نامه‌ها و راهنماها و به‌روز رسانی آنها برای مطابقت با استانداردهای جاری؛

(۶) اطمینان یابد که درصورت لزوم، برای دفع ایمن پسماند و برچیدن تأسیسات، منابع یا تمهیدات کافی فراهم شده است؛

(۷) اطمینان یابد که بازرسی‌ها، ممیزی‌ها و ارزیابی‌های ایمنی ازجمله بازرسی‌های میدانی سرزده، انجام می‌شود؛

(۸) ایجاد یک شبکه ارتباطاتی مؤثر به‌طوری که موضوعات مربوط به انجام فعالیت پرتونگاری ایمن، به‌سرعت به کلیه ذینفعان اطلاع داده شود.

۲-۴ مرکز بهره‌بردار

مرکز بهره‌بردار مسئول در اختیارگیری و استفاده از چشمه‌ها و دستگاه‌های پرتونگاری صنعتی است. این مسئولیت شامل تطبیق عملکرد آنها با مقررات پروانه‌ها و مجوزهای واحد قانونی یا استانداردهای ایمنی بین‌المللی مناسب (مانند گزارش ایمنی در مورد ایمنی پرتوی در پرتونگاری صنعتی) می‌شود.

بنابراین، مرکز بهره‌بردار مسئولیت اصلی ایمنی در پرتونگاری صنعتی را برعهده دارد. مدیریت باید ایجاد و حفظ *فرهنگ ایمنی* در کل مجموعه خود را هدایت کند.

الزامات مرکز بهره‌بردار:

(۱) اعلام تصمیم به خرید و استفاده از دستگاه‌های پرتونگاری در حداقل زمان ممکن به واحد قانونی کشور و ارائه مدارک مورد نظر؛

(۲) تعیین مسئول فیزیک بهداشت باتجربه که دارای شایستگی برای استقرار و اجرای برنامه ایمنی پرتوی باشد؛

(۳) اطمینان از این که منابع لازم برای برقراری برنامه ایمنی پرتوی و انطباق با مقررات واحد قانونی فراهم شده است؛

(۴) تدوین و اجرای یک برنامه آموزشی که حداقل موارد زیر را پوشش دهد:

(الف) اصول بنیادی ایمنی پرتوی و رویه‌های ایمنی؛

(ب) الزامات واحد قانونی؛

(ج) آموزش خاص مربوط به هر دستگاه و تجربه عملی تحت نظارت برای کار با تجهیزات پرتونگاری، دزیمتر محیطی، ابزار کنترل از راه دور و دزیمتر فردی؛

(د) رویه‌های شرایط اضطراری، ازجمله اجرای تمرین عملی؛

(ه) ملاحظات مربوط به عامل انسانیِ ناشی از شرایط محیطی، سوء مصرف مواد مخدر، خستگی و تنش.

(۵) در موارد مقتضی، جویا شدنِ توصیه تولیدکننده درمورد عملکرد نادرست تجهیزات، فرایندهای بازیابی چشمه و سرویس تجهیزات؛

(۶) آماده‌سازی، مستندسازی، پیاده‌سازی و ممیزی یک برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه که توسط واحد قانونی تعریف یا توسط *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* یا تولیدکنندگان توصیه شده باشد؛

(۷) اطمینان از وجود کلیه رویه‌های عملیاتی، رویه‌های تعمیر و نگهداری و رویه‌های ایمنی به زبان(های) محلی؛

(۸) آماده‌سازی، مستندسازی، پیاده‌سازی و ممیزی رویه‌های شرایط اضطراری، ازجمله آموزش‌های مورد تأیید واحد قانونی، یا درصورت نبودِ یک نهاد ملی، آموزش‌های توصیه‌شده توسط *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی*.

(۹) اطلاع‌رسانی به واحد قانونی پیش از هرگونه تغییر عامدانه در دستگاه مورد استفاده که ممکن است بر عملکرد ایمن آن اثر بگذارد (و در صورت نبودِ واحد نهاد ملی، جویا شدن توصیه تولیدکننده)؛

(۱۰) استقرار یک برنامه بررسی ایمنی حداقل سالانه که شامل رویه‌ها، آموزش و ممیزی کار و تجهیزات، و مستندسازی نتایج آن باشد. لازم است سوابق این برنامه جهت بررسی توسط واحد قانونی، دردسترس باشد. (اگر درمورد انجام ایمن فعالیت پرتونگاری از تولیدکننده، تأمین‌کننده یا واحد قانونی تماسی برقرار شد، بررسی کاربردی بودن آن باید در اسرع وقت صورت گیرد)؛

(۱۱) استقرار رویه‌های توصیه‌شده توسط تولیدکنندگان یا تأمین‌کنندگان برای حفظ یکپارچگی تجهیزات و اطمینان از این‌که تجهیزات با آخرین الزامات قانونی یا توصیه‌های *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* تطابق دارند.

۳-۴ پرتونگار

مسئولیت اصلی ایمنی پرتونگار برعهده خود اوست. همچنین اگر قرار بر تضمین ایمنی سایر پرتونگاران و مردم است، به‌کار بستن احتیاط، شرط انجام کار خواهد بود. لازم است که پرتونگار دارای ویژگی‌های زیر باشد:

(۱) درکی از اثرات و خطرات مرتبط با پرتونگاری داشته باشد؛

(۲) شایستگی‌ها و آموزش لازم برای انجام وظایف محوله را داشته باشد؛

(۳) اطمینان دهد که رویه‌های مناسب را بدون استثناء دنبال می‌کند؛

(۴) دانشی جامع از دستگاه‌های مورد استفاده داشته باشد؛

(۵) دانشی جامع از تجهیزات و سیستم‌های ایمنی لازم برای انجام وظایف محوله داشته باشد؛

(۶) دزیمترهای فردی خود را در تمام مدتی که تجهیزات پرتونگاری را حمل‌ونقل یا استفاده می‌کند، همراه داشته باشد؛

(۷) اطمینان یابد که تمام تجهیزات مورد استفاده مطابق با استانداردهای مقررشده، آنگونه که توسط واحد قانونی و با درنظر گرفتن توصیه‌های تولیدکننده تعریف شده‌اند، نگهداری می‌شود؛

(۸) اطمینان یابد که منابع کافی برای کار در شرایط اضطراری، به‌آسانی در دسترس است؛

(۹) آموزش مناسب جهت واکنش به شرایط اضطراری دیده باشد؛

(۱۰) مسئولیت ارائه گزارش مربوط به شرایط یا فعالیت‌های پرتوی ناایمن به مسئول فیزیک بهداشت و/یا به واحد قانونی را برعهده بگیرد؛

(۱۱) از انجام رویه‌هایی که فراتر از دانش و آگاهی وی یا فراتر از ظرفیت تجهیزات است، بپرهیزد.

۴-۴ طراحان و تولیدکنندگان

طراحان و تولیدکنندگان، مسئولیت اصلی انجام تحقیق، آزمایش و بررسی جهت اطمینان از طراحی ایمن بدنه‌های حفاظ‌دار، تجهیزات و دستگاه‌ها را برعهده دارند. این مراکز باید برای کمک به کاربران در توسعه رویه‌ها جهت انجام عملیات، تعمیر و نگهداری و اقدامات شرایط اضطراری، اطلاعاتی با جزئیات کافی ارائه دهند. علاوه بر این مسئولیت‌های کلی، تولیدکنندگان و طراحان ملزم هستند:

(۱) به *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* و کشورهای عضو آن در تسهیل انجام آموزش و بازآموزی منظم کارکنان پرتونگاری کمک کنند. این موضوع باید شامل آموزش کارکنان واحد قانونی برای شناخت تجهیزات نیز باشد؛

(۲) با واحدهای نظارت قانونی در ارتباط باشند و به آنها در مورد تغییرات پیشنهادی در تجهیزات موجود و نیز تجارب کاری مشاوره بدهند؛

(۳) درصورت وجود هرگونه مشکل در برقراری ارتباط با واحدهای قانونی، به *آژانس بین‌المللی انرژی اتمی* مشاوره بدهند به‌شکلی که نقاط تماس برقرار و ارتباطات بهتر شود؛

(۴) اطمینان دهند که طراحی تجهیزات جانبی، تجهیزات پرتونگاری و چشمه‌ها با استانداردهای طراحی مربوطه رایج مطابقت دارد و دارای مجوزهای مناسب است؛

(۵) کاربران را از طریق انتقال تجربه‌های عملیاتی، اطلاعات و یافته‌های مربوط به ایمنی، بهسازی و تغییرات مرتبط با ایمنی در تجهیزات، به‌روز نگاه دارند؛

(۶) دفترچه‌های راهنمای جامعی برای تجهیزات و کمک به هرگونه آموزش لازم تهیه کنند؛

(۷) به مشکلات کاربران و اجرای اقدامات مناسب برای رفع این مشکلات، فوراً پاسخ دهند.

۴-۵ مالک سایت (مشتری)

فعالیت پرتونگاری صنعتی اغلب در سایت‌ها، موقعیت‌ها و مکان‌هایی که تحت مالکیت مرکز بهره‌بردار (شرکت پرتونگاری) نیستند، انجام می‌شود. در این موارد، مشتری کنترل سایت را برعهده دارد، فعالیت‌های کلیه شرکت‌های خدمات‌دهنده شاغل در سایت را هماهنگ می‌کند و ممکن است فشار کاری زیادی بر هر کدام از شرکت‌های خدمات‌دهنده (از جمله شرکت انتخاب‌شده برای انجام فعالیت پرتونگاری) ایجاد کند.

در انجام این مسئولیت‌ها، لازم است که مالک سایت (مشتری):

(۱) اطمینان یابد که پیش از شروع کار، سازمان مجری[۵] فرصت دارد تا هر آنچه را که لازم است، به واحد قانونی اطلاع دهد.

(۲) اطمینان یابد که شرایط قرارداد، مسئولیت‌های انجام‌ناپذیری به سازمان مجریِ انتخاب شده تحمیل نمی‌کند. برای مثال، لازم است سازمان مجری (شرکت پرتونگاری) موانع و شرایط را جهت انجام کار ایمن تأمین کند. این کار ممکن است تعداد پرتونگارهایی را که می‌توانند پروژه را در مدت زمان مقرر به‌طور منطقی انجام دهند، محدود نماید. در هرحال، رعایت الزامات ایمنی و قانونی همیشه در اولویت است.

(۳) اطمینان یابد که سازمان مجریِ استخدام شده، طبق مجوزهای واحد قانونی دارای تخصص لازم و تجهیزات جانبی مناسب نظیر ابزار پایش، موانع فیزیکی و تجهیزات شرایط اضطراری برای انجام کار ایمن است؛ لازم است به نقطه‌نظرات سازمان مجری اعتماد کرده و توصیه‌هایش را به‌کار گیرد تا کار به‌صورت ایمن انجام شود.

(۴) اطمینان یابد که پرتونگاری با فعالیت‌های دیگری که در سایت انجام می‌شود، هماهنگ شده است. برای مثال، اطمینان یابد که اعلان‌های مورد استفاده برای خطر فعالیت پرتونگاری، مفهوم مشخص دیگری در سایت نداشته باشد (چون می‌تواند کارکنان را گیج کند) و نیز، زمان انجام پرتونگاری برنامه‌ریزی شده باشد تا نواحی لازم بتواند تخلیه و امنیت برقرار شود. صدور *مجوز کار محدود*[۶] یک روش کنترلی است که می‌تواند به‌کار گرفته شود و ضروری است تمام بخش‌ها و سطوح نیروی کار درمورد مسائل ایمنی مربوط به فعالیت پرتونگاری و زمان انجام آن آگاه شوند.

(۵) اطمینان یابد که درصورت امکان، فضای لازم برای نگهداری ایمن و امن مواد پرتوزا توسط سازمان مجری فراهم شده است. اجازه کنترل نواحی کاری پرتونگاری باید به پرتونگارها داده شود. درصورت لزوم، ممکن است پشتیبانی نیروهای امنیتی برای جلوگیری از دسترسی به ناحیه کنترل‌شده، لازم باشد.

---

[۵] شرکت پرتونگاری

[6] permit to work

پیوست (الف)

برنامه آموزش حفاظت در برابر اشعه ویژه پرتونگاران صنعتی

الف-۱ آموزش

آموزش پرتونگاران شامل آموزش‌های نظری و کار عملی است. واحد قانونی محتوای برنامه آموزشی، استانداردها و سطح قابل قبولی از تحصیلات را برای ورود به برنامه آموزشی تعیین می‌کند. کلیه آموزش‌ها توسط نهادهای تأییدشده یا دارای مجوز از واحد قانونی، ارائه می‌شوند که همگی مختص منابع پرتو و تجهیزات مورد استفاده هستند.

الف-۲ آموزش عملی

این بخش از برنامه آموزش، استفاده عملی از تجهیزات را پوشش می‌دهد و شامل رویه‌های اجرایی استاندارد و اقدامات شرایط اضطراری است که تحت کنترل مستقیم و مستمر یک پرتونگار باتجربه انجام می‌گیرد.

پس از خاتمه آموزش عملی، تأیید انجام آن و کیفیت آموزش به شرح زیر ثبت می‌شود:

(۱) گزارش کاری که روش‌ها و تجهیزات مورد استفاده را نشان می‌دهد؛

(۲) تشریح انواع فعالیت‌های میدانی، نظیر ثبت دز در هر دوره؛

(۳) نظرسنجی از فرد آموزش‌دهنده در مورد شایستگی و ارزیابی گزارش کاری کارآموز.

الف- ۳ آموزش نظری

این بخش از برنامه آموزش شامل موارد زیر است:

(۱) مفاهیم پایه فیزیک پرتوها؛

(۲) تشریح این موضوع که پرتو چیست و چگونه ایجاد می‌شود و باید شامل نحوه تولید پرتو ایکس، مفهوم واپاشی و نیمه‌عمر باشد؛

(۳) انواع پرتوها؛

(۴) مشخصات پرتوهای آلفا، بتا، گاما، نوترون و ایکس؛

(۵) یکاهای اندازه‌گیری پرتو؛

(۶) توضیحی در مورد کاربرد و ارتباط بین یکاهای تعیین دز، آهنگ دز و پرتوزایی؛

(۷) آشکارسازی و اندازه‌گیری پرتو؛

(۸) نحوه کار، هدف از استفاده، نحوه استفاده و محدودیت‌های مربوط به استفاده از این تجهیزات شامل (الف) دزیمترهای فردی قرائت غیرمستقیم TLD، فیلم‌بج و دزیمتر الکترونیکی (ب) دزیمتر قرائت مستقیم (ج) دستگاه هشداردهنده فردی و (د) دزیمتر محیطی؛

(۹) کاهش دز، بهینه‌سازی و اصل ALARA، با توضیحی درباره استفاده از زمان، فاصله و حفاظ، و نیز انجام محاسبات با استفاده از قانون عکس مجذور فاصله، لایه نیمه‌کننده و لایه یک‌دهم‌کننده؛

(۱۰) انتقال دانش در مورد قوانین به‌طوری که اطلاعات مربوط به کلیه مقررات اجرایی و شرایط مجوز مرتبط با پرتونگاران را پوشش دهد. کارآموزان باید از تعهدات خود و حوزه نظارت واحد قانونی آگاه باشند. این بخش همچنین شامل اطلاعاتی در مورد سایر مقررات است، یعنی مقررات مربوط به حمل‌ونقل، بسته‌بندی و ایمنی در محل کار که بر فعالیت پرتونگاری تأثیرگذار است.

الف- ۴ صدور گواهینامه برای پرتونگاران

جهت صدور گواهینامه لازم است شرایط زیر محقق شود:

(۱) پذیرش مدرک آموزش عملی توسط واحد قانونی یا دیگر نهادهای مورد تأیید؛

(۲) اطمینان از عدم وجود دلایل دیگری که مانع تأیید متقاضی است؛

(۳) کسب نمره قبولی در آزمون‌های مورد تأیید واحد قانونی یا دیگر نهادهای تأییدشده.

الف-۵ حفظ صلاحیت پرتونگار

جهت حفظ صلاحیت پرتونگار لازم است با در نظر گرفتن تغییرات در الزامات قانونی و نیز سابقه کاری، وظایف و الزامات بازآموزی پرتونگار، ضوابطی تدوین شود.

پیوست (ب)

ملاحظات در اجرای رویه‌های ایمنی

پرتونگار باید درک کند که مقررات به این منظور وضع شده‌اند تا پرتوگیری را محدود کنند و ریسک بالقوه برای سلامتی را کاهش دهند.

شروع انجام فعالیت پرتونگاری ایمن از طریق مراکز بهره‌برداری است که یک برنامه ایمنی پرتوی قوی، شامل آموزش و بازآموزی مؤثر، منابع و تجهیزات کافی و تعهد به ایمنی را مستقر و پشتیبانی می‌کنند.

ضروری است که لزوم تعهد به ایمنی توسط همه کارکنان درک شود تا نگرشی صحیح نسبت به ایمنی ایجاد شده و ایمنی به بخشی جدانشدنی از کار آنها تبدیل گردد. به‌یقین می‌توان گفت که بازخورد مثبت مدیریت در این خصوص، فرهنگ و نگرش ایمنی را تقویت خواهد کرد. پرتونگار باید به‌صورت روزانه شیوه‌های ایمنی قوی را به‌کار گیرد و با آگاهی از این موضوع که کار ناایمن تأثیر مستقیمی بر سلامت وی و احتمالاً بر سلامتی همکاران خواهد داشت، مسئولیت سلامتی خود و همچنین دیگران را به‌عهده بگیرد.

انجام اقدامات زیر می‌تواند اطمینان ایجاد کند که مسئولیت فردی برای تحقق ایمنی به‌صورت روزانه محقق می‌شود:

(۱) قبل از بهره‌برداری از تجهیزات پرتونگاری، یک بازرسی کامل انجام دهید تا اطمینان یابید که همه اجزاء در وضعیت کاریِ مطلوب قرار دارند.

۲) پیش از استفاده دوربین پرتونگاری، با انجام پایش پرتوی مرجع، قابل استفاده بودن دزیمتر محیطی را تأیید کنید. این اقدام همچنین یک تراز تابش مرجع فراهم می‌کند که می‌تواند پس از هربار پرتودهی، به‌منظور تأیید اینکه چشمه به درون حفاظ برگشته، به آن استناد شود.

(۳) هرگز موقعیت چشمه را حدس نزنید؛ موقعیت چشمه همیشه باید با استفاده از یک دزیمتر محیطی تأیید شود.

(۴) اطمینان یابید که تمام تجهیزات لازم برای انجام کار فراهم بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

(۵) مطمئن شوید که تجهیزات مورد استفاده، ازجمله تجهیزات خاصی مانند پایه‌ها، گیره‌ها و نگهدارنده‌های مغناطیسی، برای کار تخصصی و شرایط محیطی مورد نظر، مناسب هستند.

(۶) محیطی را که قرار است در آن عملیات پرتونگاری انجام شود، به‌صورت چشمی بازرسی کنید. این کار به منظور شناسایی و رفع مشکلات بالقوه نظیر اشیایی که ممکن است سقوط کرده و گایدتیوب را لِه کنند، و همچنین شرایط روشنایی کم است.

(۷) درصورت امکان برخی موارد را به کمک دیگر پرتونگارها دوبار بررسی کنید، به‌عنوان مثال تأیید برقراری اتصالات؛ هیچ مرحله‌ای را انجام‌شده فرض نکنید.

(۸) انتهای گایدتیوب یا قسمت خروجی باریکه از دوربین پرتونگاری را بعد از هربار پرتودهی و هنگام ایمن‌سازی (قفل کردن) یا جابجایی دوربین پرتونگاری، پایش کنید.

(۹) سرپرست خود را در جریان تمام مشکلات پیش‌آمده (نظیر مسائل مربوط به تجهیزات، رویه‌ها، ایمنی و محیط کار) قرار دهید.

(۱۰) هیچ‌گونه فعالیت یا اقدام شرایط اضطراری را که برای آن آموزش ندیده‌اید و یا تجهیزات مناسب برای آن ندارید، انجام ندهید.

(۱۱) از رویه‌های عملیاتی استاندارد پیروی کنید.

(۱۲) از تمام دزیمترهای الزام‌شده استفاده کنید. این کار موثرترین روش برای نشان دادن میزان پرتوگیری افراد است که اطلاعاتی درمورد دزهای دریافتی ارائه می‌دهد و می‌تواند مشکلات بالقوه تکنیک‌های مورد استفاده را نشان دهد.

(۱۳) به دزیمتر محیطی و دستگاه‌های هشداردهنده، هنگامی که میزان پرتوها را زیاد نشان می‌دهند، اعتماد کنید. همیشه بدترین حالت را درنظر بگیرید، زیرا از دیدگاه ایمنی این کار بهتر است؛ به عنوان مثال، قرائت خارج از گستره به این معنا است که چشمه در وضعیت پرتودهی قرار دارد [یعنی در حالت بدون حفاظ]؛ با این حال آرام باشید، فکر کنید و اقدامات مناسب را انجام دهید.

(۱۴) اجازه ندهید که فشارهای تولید بر عملیات پرتونگاری تحمیل شود؛ کارکردن ایمن باید در اولویت باشد.

(۱۵) تراز تابش مورد انتظار را به‌دقت بدانید و به ترازها یا نشانه‌های غیرمعمول، واکنش نشان دهید.

(۱۶) سعی نکنید در تجهیزات تغییری ایجاد کنید.

(۱۷) سعی نکنید تجهیزات را تعمیر کنید؛ مگر اینکه آموزش دیده و مجاز به انجام این کار باشید.

پیوست (ج)

برنامه مقابله با شرایط اضطراری

ج-۱ مقدمه

در پرتونگاری صنعتی، رخداد سوانح طبیعی است؛ بنابراین ضرورت دارد مرکز بهره‌بردار یک برنامه شرایط اضطراری مکتوب و مؤثر تهیه کند. این برنامه باید توسط واحد قانونی تأیید شود و شامل انواع شرایط اضطراری محتمل و شرحی از واکنش‌ها و تجهیزات ایمنی لازم برای مقابله با هرگونه شرایط اضطراری باشد. این برنامه با مشورت مسئول فیزیک‌بهداشت تهیه می‌شود. مدیریت باید اطمینان حاصل کند که کلیه پرتونگارها از این برنامه آگاهی کامل دارند، زیرا این افراد کسانی هستند که باید در مراحل ابتدایی، خطرات را ارزیابی کرده و در اجرای برنامه شرایط اضطراری، کمک کنند.

ج-۲ تجهیزات شرایط اضطراری

تجهیزات زیر برای مقابله با شرایط اضطراری باید به‌سادگی دردسترس باشند:

(۱) جسمی با ترکیبی که برای تضعیف حداقل ۱۰۰ برابری همه پرتوهای گامای گسیلی از چشمه، هنگامی که مستقیماً روی کپسول چشمه بدون حفاظ قرار داده شود، کافی باشد. در جدول (ج-۱) ضخامت تقریبی اجسامی که برای کاهش میزان پرتو به یک‌صدم مقدار اولیه لازم است، ارائه شده است.

(۲) ابزار مناسب برای جدا کردن گایدتیوب چشمه و کابل کنترل از دوربین پرتونگاری.

(۳) یک کانتینر حفاظ اضطراری، مانند ظرف سربی و یک انبر با دسته حداقل ۱٫۵متری که درصورت جدا شدن چشمه پرتوزا از دوربین پرتونگاری برخلاف روند عادی کار، برای برداشتن ایمن چشمه مناسب باشد.

جدول (ج-۱) ضخامت مواد تضعیف‌کننده مورد نیاز برای کاهش میزان پرتو به یک درصد (برحسب سانتی‌متر)

ماده حفاظ	چشمه	
	Ir-192	Co-60
سرب	۳٫۵	۸٫۵
استیل	۶٫۰	۱۵
بتن	۳۲	۴۶

ج-۳ رویه بازیابی چشمه

یکی از شایع‌ترین حالت‌های شرایط اضطراری که با آن مواجه می‌شوید، قطع ارتباط چشمه است. بازیابی چشمه اقدامی بسیار حرفه‌ای است که باید با تجهیزات مناسب و توسط افرادی که برای این کار آموزش دیده‌اند، انجام شود تا پرتوگیری کارکنان و مردم به حداقل برسد.

در شرایط اضطراری درصورت انجام اقدامات زیر، می‌توانید پرتوگیری را به حداقل برسانید:

(۱) وقتی شرایط اضطراری پیش آمد، ابتدا اقدامی نکنید و فکر کنید.

(۲) یک پایش پرتوی از ناحیه انجام دهید و درصورت نیاز موانعی نصب کنید.

(۳) با استفاده از یک دزیمتر محیطی موقعیت چشمه را تعیین کنید.

(۴) در برنامه‌ریزی برای بازیابی چشمه از مسئول فیزیک بهداشت مشورت بگیرید.

برنامه مقابله با شرایط اضطراری باید با درنظر گرفتن عوامل محدودکننده دز (زمان، فاصله و حفاظ) تهیه شود. درصورت لزوم این برنامه را به واحد قانونی اطلاع دهید.

پس از تهیه برنامه بازیابی، پرتونگار باید به مقابله با وضعیتی که با آن مواجه شده، بپردازد.

(الف) مثال‌ها و پیشنهاداتی برای نحوه برخورد با هر سناریو

(۱) چشمه‌ای که در کلیماتور باقی مانده ممکن است نشان‌دهنده قطع اتصال چشمه باشد. در این حالت نیازی به جابجایی موانع نیست، زیرا آهنگ‌های دز همان است که در طول انجام عملیات پرتونگاری، برای نصب موانع فیزیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کلیماتور به عنوان حفاظ چشمه عمل خواهد کرد و اولویتی برای اضافه کردن حفاظ بیشتر وجود ندارد. اتصالات مربوط به کابل کنترل و هُلدر باید از نظر ساییدگی یا آسیب بررسی شوند تا مشخص گردد که اتصال مجدد امکان‌پذیر است یا خیر. اگر اینگونه نباشد، می‌توان از انبر برای انتقال هُلدر به دوربین پرتونگاری استفاده کرد.

(۲) هنگامی‌که چشمه‌ای در گایدتیوب گیر کرده است باید محل نصب موانع فیزیکی تغییر داده شوند، زیرا در این حالت آهنگ دز افزایش می‌یابد. قرار دادن جسم محافظ (مانند کیسه ساچمه سربی) بر روی چشمه در اولویت است. این کار باید تا حد امکان با کمترین پرتوگیری پرتونگار و با استفاده از هر چیزی که بتوان از راه دور حفاظ را بر روی چشمه قرار داد، انجام شود. برای قرار دادن حفاظ پرتوی می‌توان از طناب‌ها و میله‌ها و همچنین تجهیزات موجود در سایت مانند جرثقیل استفاده کرد. قرار گرفتن مناسب حفاظ بر روی چشمه باید با دزیمتر محیطی تأیید شود. هنگامی تلاش برای بازیابی چشمه متوقف می‌شود که از ایجاد شرایط امن اطمینان حاصل گردد. این نکته براساس تجربه و دانش پرتونگارهای درگیر، تجهیزات موجود و دزهای دریافتی افراد مرتبط تعیین می‌شود.

(ب) بازیابی چشمه

برای بازیابی چشمه باید از یک رویه بازیابی پیروی شود؛ هرگونه انحراف از رویه‌های مشخص، منجر به سردرگمی و درنتیجه دریافت دزهای غیرضروری می‌شود. موقعیت چشمه باید بعد از هر تلاش یا اقدامی، با یک دزیمتر محیطی بررسی و تأیید شود، چراکه این اقدامات می‌توانند موجب جابجایی چشمه از موقعیت خود شوند. تا زمانی که فرد پرتونگاری در نزدیکی یک چشمه دارای حفاظ پرتوی کار می‌کند، نباید هیچ تلاشی برای جابجایی چشمه با ابزار حرکت‌دهنده آن (کرنک) انجام شود. این اقدام می‌تواند منجر به خارج شدن چشمه از زیر حفاظ گردد و فرد پرتونگاری که در نزدیکی چشمه فعالیت دارد، ممکن است دز بالایی دریافت کند. دزیمترهای قرائت مستقیم باید در فواصل زمانی منظم قرائت شوند تا مانع از هر نوع بیش‌پرتوگیری احتمالی شوند. بازگشت چشمه

به موقعیت ایمن آن در دوربین پرتونگاری یا کانتینر حفاظِ جایگزین، باید از طریق پایش پرتوی دستگاه یا کانتینری که چشمه در آن قرار گرفته، تأیید شود.

(ج) پس از بازیابی

کلیه تجهیزات پرتونگاری مرتبط با شرایط اضطراری تا زمان تعیین عملکرد مناسب آن باید از سرویس خارج شوند. برای اطمینان از اینکه هیچ آسیبی به کپسول چشمه وارد نشده، باید چشمه تحت آزمون نشتی قرار گیرد. دز کلیه افرادی که درگیر شرایط اضطراری بوده‌اند، باید مشخص و ثبت شود. همه گزارش‌های ضروری باید در مهلت مقرر به مراجع ذیربط ارسال گردد و اطلاعات و تجربه به‌دست آمده از شرایط اضطراری، باید با سایر پرتونگارها و طرف‌های ذینفع به اشتراک گذاشته شود.

واژه‌نامه

این واژه‌نامه شامل اصطلاحاتی است که در پرتونگاری صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آزمون غیرمخرب (non-destructive testing)

آزمایش یا بازرسی یک جسم برای تشخیص وجود یا عدم وجود عیوب، بدون آسیب رساندن به آن؛ نمونه‌هایی از روش‌های آزمون‌های غیرمخرب عبارتند از: پرتونگاری صنعتی، آزمون فراصوتی (اولتراسونیک)، آزمون ذرات مغناطیسی و آزمون ذرات نافذ.

آزمون نشتی (leak test)

به آزمایش بررسی نشت ماده پرتوزا از کپسول چشمه گفته می‌شود؛ رجوع کنید به آلودگی.

بکرل (becquerel)

یکای SI برای فعالیت (اکتیویته) که برابر است با یک واپاشی در ثانیه: 1 Bq = 1 dis/s.

بیش‌پرتوگیری (overexposure)

دز تابشی که بیش از حدود تعیین‌شده از سوی واحد قانونی است.

بیماری پرتوی (radiation sickness)

بیماری ناشی از پرتوگیری شدید.

پایش پرتوی (radiation survey)

در این متن عبارت است از اندازه‌گیری تراز تابش توسط یک دزیمتر.

پرتودهی پانورامیک (panoramic radiographic exposure)

شیوه‌ای از پرتودهی در پرتونگاری که در آن، فیلم در یک زاویه ۳۶۰ درجه‌ای اطراف چشمه پرتو دریافت می‌کند؛ به‌عنوان مثال اگر چشمه در مرکز لوله قرار داشته باشد، با پرتودهی پانورامیک کل محیط لوله پرتونگاری می‌شود.

پرتوگیری مزمن (chronic exposure)

پرتوگیری مستمر در طول زمان.

پرتونگاری با ایکس (X ray radiography)

پرتونگاری با استفاده از دستگاه‌های مولد پرتو ایکس به‌عنوان منبع تابش.

پرتونگاری با گاما (gamma radiography)

پرتونگاری صنعتی با استفاده از مواد پرتوزایی که پرتو گاما تولید می‌کنند.

پرتونگاری صنعتی (industrial radiography)

استفاده از تابش نافذی مانند پرتوهای X یا گاما، برای بازرسی فلزات ریخته‌گری‌شده یا جوشکاری‌شده جهت تشخیص عیوب داخلی؛ پرتونگاری صنعتی شامل کاربردهای پزشکی پرتوها، نظیر تصویربرداری با پرتو ایکس از قفسه سینه یا دندان، نمی‌شود.

پرتونگاشت (radiograph)

تصویر یک جسم که توسط پرتوهای یونساز نافذی که از آن عبور کرده و بر فیلم عکاسی می‌تابند، تشکیل می‌شود؛ به‌این ترتیب، جزئیات داخل جسم بر روی فیلم قابل مشاهده خواهد بود.

تجهیزات ثابت (fixed facility)

رجوع شود به اتاق حفاظ‌گذاری شده.

تجهیزات جانبی (ancillary equipment)

تجهیزات لازم برای پرتودهی ایمن، ازجمله گایدتیوب‌ها، کابل‌های کنترل و کرنک و تجهیزات تخصصی مانند و نگهدارنده‌ها و کلیماتورهای چشمه.

تضعیف (attenuation)

کاهش شدت پرتوها هنگام عبور از هر ماده‌ای مانند حفاظ سربی.

تعویض‌کننده چشمه (source changer)

یک کانتینر محافظ با حداقل دو جایگاه برای چشمه‌های پرتوزا؛ چشمه پرتوزای قدیمی در یک جایگاه قرار می‌گیرد و چشمه پرتوزای جدید از جایگاه دیگر برداشته می‌شود.

جعبه قفل (lock box)

بخشی از دوربین پرتونگاری که مکانیسم مورد استفاده جهت تثبیت هُلدر حاوی کپسول چشمه در موقعیت ایمن را شامل می‌شود؛ همچنین به عنوان *مجموعه قفل* نیز شناخته می‌شود.

چشمه پرتونگاری (radiographic source)

هر نوع منبع پرتو که در آن، پرتو از واپاشی مواد پرتوزایی مانند Ir-192 و Co-60، یا به‌صورت الکتریکی، مانند دستگاه‌های پرتو ایکس، تولید شده و در پرتونگاری مورد استفاده قرار گیرد.

حفاظ (shielding)

ماده‌ای که می‌تواند به‌منظور کاهش تراز تابش در اطراف یک منبع پرتو، به‌کار رود؛ رجوع شود به تضعیف.

دزیمتر (dosimeter)

وسیله‌ای که برای تعیین دز پرتوی دریافتی یک فرد استفاده می‌شود و ممکن است دزیمتر قرائت مستقیم، دزیمتر ترمولومینسانس، فیلم‌بج یا در بعضی موارد یک دزیمتر الکترونیکی باشد.

دزیمتر TLD (TLD dosimeter)

رجوع شود به دزیمتر ترمولومینسانس.

دزیمتر ترمولومینسانس (thermoluminescent dosimeter)

دزیمتری حاوی یک بلور حساس به تابش که به آن واکنش نشان می‌دهد.

دزیمتر جیبی (pocket dosimeter)

رجوع شود به دزیمتر قرائت مستقیم.

دزیمتر فردی (personal dosimeter)

دزیمتری که توسط فرد استفاده می‌شود تا دز خود را ثبت کند.

دزیمتر قرائت مستقیم (direct reading dosimeter)

وسیله‌ای فردی که دز جذبی را به‌طور مستقیم نشان می‌دهد و ممکن است یک اتاقک یونش هوا یا یک وسیله الکترونیکی باشد؛ به‌عنوان مثال دزیمتر جیبی یا دزیمتر قلمی.

دزیمتر فیلمی (film dosimeter)

نوعی دزیمتر که از فیلم برای ثبت دز دریافتی استفاده می‌کند.

دزیمتر محیطی (پایشگر) (survey meter)

وسیله‌ای قابل‌حمل که آهنگ دز پرتو را اندازه‌گیری می‌کند.

دستگاه پرتودهی، با عملکرد پنوماتیک (exposure device, pneumatically operated)

نوعی دوربین پرتونگاری که در آن، جریان هوا کپسول چشمه را از حفاظ خارج می‌کند تا در موقعیت پرتودهی قرار گیرد.

دستگاه پرتودهی، با عملکرد کابلی (exposure device, cable operated)

نوعی دوربین پرتونگاری که در آن، نگهدارنده چشمه توسط یک کابل به‌درون حفاظ وارد شده و یا جهت قرار گرفتن در موقعیت پرتودهی، از حفاظ بیرون رانده می‌شود.

دستگاه پرتودهی در پرتونگاری (exposure device, radiographic)

یک کانتینر حفاظ‌دار که برای نگهداشتن چشمه پرتونگاری طراحی شده است. جهت انجام تابش‌دهی در پرتونگاری، وسیله‌ای برای جابجایی هُلدر چشمه به خارج از حفاظ یا برای بازکردن بخشی از حفاظ تعبیه می‌شود. این دستگاه *دوربین پرتونگاری* نیز نامیده می‌شود.

دستگاه پرتونگاری (radiographic exposure device)

رجوع شود به دستگاه پرتودهی (دوربین پرتونگاری).

دستگاه هشداردهنده (alarming device)

وسیله الکترونیکی کوچکی که به‌صورت فردی استفاده می‌شود و وقتی آهنگ دز تابشی زیاد باشد یا از مقدار معینی بالاتر برود، به صدا در می‌آید.

دُم هُلدر (pigtail)

بخشی از هُلدر پرتونگاری متشکل از یک فنر کوتاه و اتصال، که کپسول چشمه را شامل نمی‌شود.

دوربین (camera)

رجوع شود به دستگاه پرتونگاری.

سندرم حاد پرتوی (acute radiation syndrome)

اصطلاح پزشکی بیماری پرتوی؛ رجوع شود به بیماری پرتوی.

سوختگی‌های پرتوی (radiation burns)

التهاب‌هایی در بدن که از تابش پرتوهای یونساز به‌وجود آمده باشد. این التهاب‌ها ناشی از گرما نیستند، بلکه به‌دلیل تجزیه شیمیایی هسته‌های سلول‌های زنده ایجاد می‌شوند؛ با این‌حال، التهابات پرتوی از نظر پزشکی به تاول‌های گرمایی شباهت دارند.

کابل راه‌بر (فنر کرنک) (drive cable)

کابلی که برای بیرون راندن یا بازگرداندن چشمه به دوربین پرتونگاری استفاده می‌شود که معمولاً با یک دسته‌دنده یا مکانیسم فشاری ـ کششی کار می‌کند؛ کابل کنترل نیز نامیده می‌شود.

کابل کرنک (crank-out cable)

رجوع شود به قسمت کابل راه‌بر.

کابل کنترل (control cable)

رجوع شود به قسمت کابل راه‌بر.

کالیبراسیون (calibration)

درستی‌سنجی یک دزیمتر محیطی برای اطمینان از اینکه آهنگ دز تابشی را به‌درستی نشان دهد. برای انجام کالیبراسیون صحیح، باید از یک چشمه پرتوی معلوم استفاده شود.

شخص مسئول (qualified expert)

براساس قانون حفاظت در برابر اشعه، شخصی حقیقی است که برابر آئین‌نامه مربوطه واجد صلاحیت علمی و فنی و شرایط لازم برای تصدی و نظارت بر کلیه امور مربوط به کار با اشعه در محدوده پروانه مربوطه باشد.

کرنک یا دسته کرنک (crank or crank handle)

دسته‌ای که برای حرکت (جمع و باز کردن) کابل کنترل استفاده می‌شود و موجب راندن چشمه به داخل یا خارج از دوربین پرتونگاری کنترل از راه دور می‌شود.

کلیماتور (collimator)

حفاظ پرتوی کوچکی از جنس سرب یا سایر فلزات سنگین که در پرتونگاری صنعتی استفاده می‌شود. کلیماتور در انتهای گایدتیوب قرار داده شده و دارای دهانه کوچکی است که وقتی چشمه در نوک پرتودهی قرار می‌گیرد، پرتو تنها از آن دهانه خارج می‌شود. استفاده از کلیماتور می‌تواند اندازه ناحیه کنترل شده را، که دسترسی به آن محدود است، به‌شدت کاهش دهد.

گایدتیوب (لوله هدایت) چشمه (source guide tube)

لوله‌ای توخالی که هنگام بیرون آمدن و برگشتن چشمه پرتونگاری به وضعیتِ ایمن در دوربین پرتونگاری، آن را هدایت و نگهداری می‌کند.

لایه نیمه‌کننده (half-value layer)

ضخامتی از ماده که شدت پرتو را به نصف مقدار اولیه‌اش کاهش می‌دهد. ضخامت لایه نیمه‌کننده به جنس ماده و انرژی پرتو بستگی دارد.

لایه یک‌دهم کننده (tenth-value layer)

ضخامتی از ماده که شدت پرتو را به یک‌دهم مقدار اولیه‌اش کاهش می‌دهد. ضخامت لایه یک‌دهم کننده به جنس ماده و انرژی پرتو بستگی دارد.

محوطه حفاظ‌گذاری شده در تأسیسات ثابت (shielded enclosure, fixed facility)

فضای بسته طراحی شده‌ای که برای افراد مجاورش، حفاظت مناسبی در برابر پرتوهای یونساز ایجاد کند. استفاده از این فضا باعث می‌شود که پرتونگاری در یک محوطه کوچک از تأسیسات که امنیت آن به‌راحتی قابل تأمین است، انجام شود.

نازل (nozzle)

نوک فلزی انتهای گایدتیوبِ دوربین پرتونگاری از نوع پنوماتیک.

نیمه‌عمر (half-life)

مدت زمانی که صرف می‌شود تا نیمی از اتم‌های یک چشمه پرتوزا واپاشی کنند. نیمه‌عمرها از کسری از ثانیه تا میلیاردها سال متغیر هستند. نیمه‌عمر کبالت - ۶۰ و ایریدیوم - ۱۹۲ به ترتیب ۵٫۳ سال و ۷۴٫۲ روز است.

هرچه کمترِ موجهِ قابل دستیابی (ALARA : as low as reasonably achievable)

در رابطه با پرتوگیری از هر منبع خاص در یک فعالیت پرتوی، به استثنای پرتوگیری‌های پزشکی، حفاظت و ایمنی باید بهینه شود تا میزان دزهای فردی، تعداد افراد پرتودیده و احتمال پرتوگیری‌ها تاجایی‌که عوامل اقتصادی و اجتماعی به‌طور منطقی اجازه می‌دهد، کم شود. درمورد دزهای فردی ناشی از یک منبع، این محدودیت در قالب دزهای محدودشده مطرح می‌شود.

هُلدر چشمه (source assembly)

مجموعه نگهدارنده چشمه پرتونگاری که شامل کپسول چشمه، فنرسیمی، توپ قفل‌کننده و رابط اتصال است. درخصوص دوربین‌های پرتونگاری از خطوط لوله با عملکرد پنوماتیکی که در این متن استفاده شده‌اند، این مجموعه فقط از کپسول خارجی و داخلی چشمه تشکیل شده است.

مراجع

[1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996)..

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety in Industrial Radiography, Safety Reports Series (in preparation).

[3] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Inadvertent Shipment of a Radiographic Source from Korea to the Amersham Corporation, Burlington, MA, NUREG-1905, NRC,Washington, DC (1990).

[4] Federal Radiation Protection Service, Ibadan, Nigeria, Personal communication, 1996.

[5] WHEELTON, R., National Radiological Protection Board, Harwell, Personal communication, 1996.

[6] MALAXOS, M., Incidents in industrial radiography, Radiat. Prot. Aust. 1 3 (1989) 84-85.

[7] Case 525-84, Fed. Regist. 49 103 (1984) 2216-2217.

[8] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Report to Congress on Abnormal Occurrences, NUREG-0090, Vol. 15, No. 3, NRC. Washington, DC (1992) 2-3.

[9] ATOMIC ENERGY CONTROL BOARD, Industrial Gamma Radiograph: Study Guide for the Qualified Operator Examination, Case 11, AECB, Ottawa, ON (1989) 51.

[10] McEWAN, A.C., 'The system of controls on radiation sources in a small non-nuclear country with selectedradiation incidents and prevention or control by regulatory or other means", Radiation Protection Infrastructure (Proc. Symp. Munich, 1990), IAEA, Vienna (1990) 365-374.

[11] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Case Histories of Radiography Events, Case 19, NUREG/BR-001, Vol. 1, NRC, Washington, DC (1980) 7.

[12] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Report to Congress on Abnormal Occurrences, Second Quarter CY93, NUREG-0090, Vol. 16, No. 2, NRC, Washington, DC (1993) 19.

[13] Case 90-22, Fed. Regist.56 (1991) 15105.

[14] SEGUIN, E., Atomic Energy Control Board, Ottawa, ON, Personal communication, 1996.

[15] ZAMORA, F., Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, Personal communication, 1996

[16] LLOYD, D.C., et. al., Death of a classified worker probably caused by overexposure to gamma radiation, Occup. Environ. Med. 51 (1994) 713-718.

[17] Radiation exposure of a radiographer, Fed. Regist. 55 207 (1990) 43059-43055.

[18] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Lost Iridium-192 Source Resulting in the Death of Eight Persons in Morocco, Information Notice No. 85-57, NRC, Washington, DC (1985).

[19] HARRISON, N.T., et al., The Investigation and Reconstruction of a Severe Radiation Injury to an Industrial Radiographer in Scotland, Information Document prepared for the National Radiological Protection Board, HM Factory Inspectorate and the National Health Service, NRPB, Glasgow, 1970.

[20] JALIL, A., RAB-MOLLA, M.A., An overexposure in industrial radiography using an Ir-192 radionuclide, Health Phys. 57 (1989) 117-119.

[21] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Report to Congress on Abnormal Occurrences, NUREG-0090, Vol. 17, No. 2, NRC. Washington, DC (1994) 10-11.

[22] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, ibid, Vol. 16, No. 3, NRC, Washington, DC (1993) 4-5.

[23] ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, Report of Task Group IV on Review and Analysis of Unusual Occurrences in Non-DAE Institutions (Other than Department of Atomic Energy Institutions), Internal Report No. AERB-R-TG IV, AERB, Mumbai, 1986.

[24] ATOMIC ENERGY CONTROL BOARD, Industrial Gamma Radiography: Study Guide for the Qualified Operator Examination, Case 12, AECB, Ottawa, ON (1989) 51.

[25] TEXAS BUREAU OF RADIATION CONTROL, Texas Incident Summary, Fourth Quarter 1992, Case No. 16283, Texas Department of Health, Austin, TX (1993) pp. 9.

[26] BHARGAVA, V.K., Radiation emergencies in industrial radiography work, Bull. Radiat. Prot. 1 3 (1978).

[27] ATOMIC ENERGY CONTROL BOARD, Industrial Gamma Radiography: Study Guide for the Qualified Operator Examination, Cases 8 and 9, AECB, Ottawa, ON (1989) 50.

[28] ATOMIC ENERGY CONTROL BOARD, ibid., Case 10, AECB, Ottawa, ON (1989) 51.

[29] BASSON, J.K., et al., "Health physics evaluation of an acute overexposure to a radiography source", Proc. IRPA Conf. Jerusalem, 1980, Vol. 1, International Radiation Protection Association, Washington, DC (1980) 177-180.

[30] BHABHA ATOMIC RESEARCH CENTRE, Incidents in Non-DAE Institutions (Other than Department of Atomic Energy Institutions) During 1986-1990, Internal Report No. DRP/RAD-INC/91, BARC, Mumbai (1992).

[31] ATOMIC ENERGY CONTROL BOARD, Industrial Gamma Radiography: Study Guide for the Qualified Operator, Case 7, AECB, Ottawa, ON (1989) 50.