UNEP

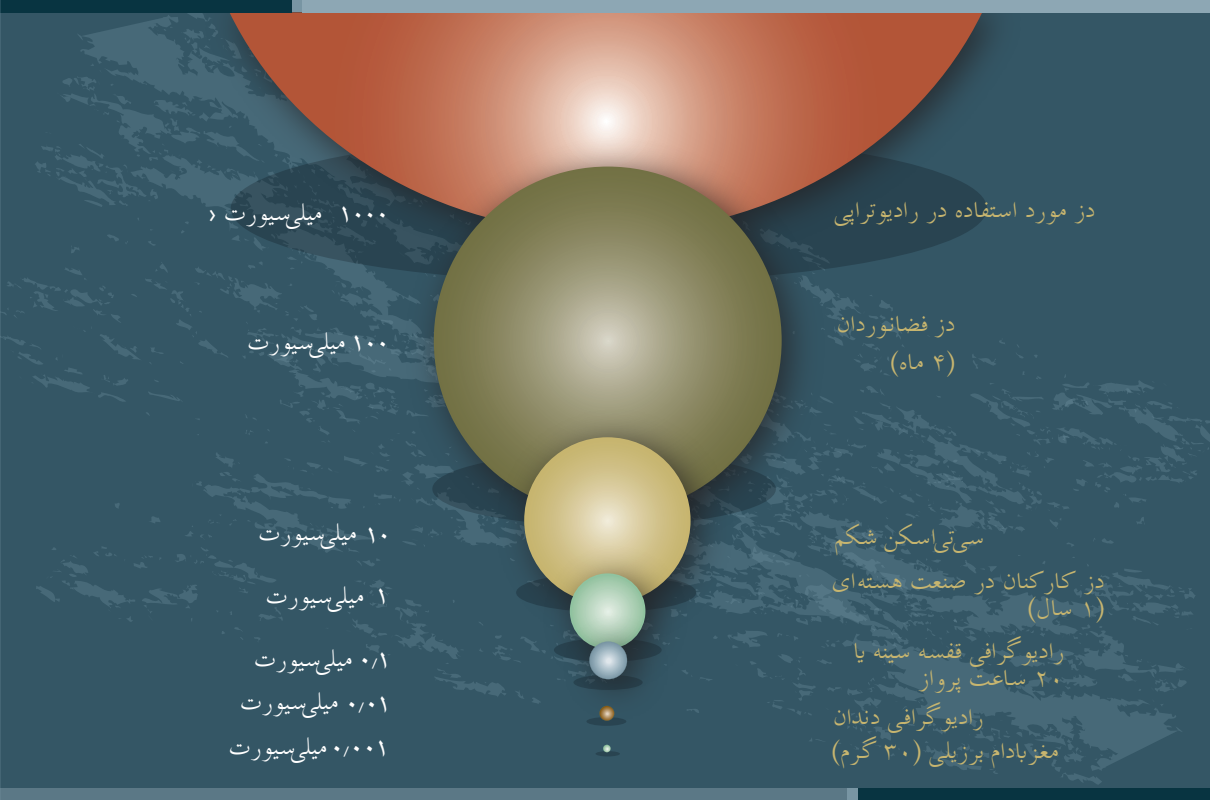
تابش

اثرات و منابع

تابش چیست؟

تابش با ما چه می‌کند؟

تابش از کجا می‌آید؟



برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد

تابش
اثرات و منابع

تابش چیست؟
تابش با ما چه می‌کند؟
تابش از کجا می‌آید؟

برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد

درباره مسئولیت

این کتاب عمدتاً بر اساس یافته‌های کمیته علمی سازمان ملل متحد برای اثرات تابش اتمی (UNSCEAR) نوشته شده است. این کمیته زیرمجموعه مجمع عمومیِ سازمان ملل است و دبیرخانه آن زیر نظر برنامه محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP) اداره می‌شود. این کتاب الزاماً بیانگر نظرات کمیته علمی یا برنامه محیط‌زیست سازمان ملل نیست.

عناوین استفاده‌شده و مطالب ارائه‌شده در این کتاب به‌هیچ‌وجه بر نظر برنامه محیط‌زیست سازمان ملل در خصوص وضعیت حقوقیِ کشورها، مناطق، شهرها یا نواحی؛ یا اختیارات، حدود و مرزهای قانونی آنها دلالت ندارد.

همه این کتاب یا بخش‌هایی از آن می‌تواند به هر صورتی، بدون هرگونه کسب اجازه‌ای از صاحب اثر، و تنها به‌شرط ذکر منبع، برای مقاصد آموزشی یا غیر ـ انتفاعی بازنشر شود. برنامه محیط‌زیست سازمان ملل از دریافت اثرات مکتوبی که از این کتاب به عنوان منبع استفاده کرده‌اند، استقبال می‌کند.

این کتاب، پیش از کسب مجوز کتبی از برنامه محیط‌زیست سازمان ملل، به هیچ عنوان نباید فروخته، یا برای مقاصد تجاری استفاده شود.

برنامه محیط‌زیست سازمان ملل شیوه‌های سازگار با محیط‌زیست را در سطح جهان و برای فعالیت‌های خودش ترویج می‌کند. این کتاب با استفاده از کاغذهای بازیافتی ۱۰۰ درصد بدون کلر چاپ شده است. سیاست نشر برنامه محیط‌زیست سازمان ملل بر آن است که از تولید دی‌اکسیدکربن بکاهد.

عنوان و نام پدیدآورنده: تابش: اثرات و منابع، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد ، ۱۳۹۵ ه.ش (۲۰۱۶ م)

شابک : 978-92-807-3826-1

DEW/2324/NA :Job No.

صاحب امتیاز© برنامه محیط زیست سازمان ملل، ۱۳۹۵ ه.ش (۲۰۱۶ م)

نسخه الکترونیکی

تابش

اثرات و منابع

تابش چیست؟
تابش با ما چه می‌کند؟
تابش از کجا می‌آید؟

برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد

قدردانی

این کتاب عمدتاً بر پایه یافته‌های کمیته علمیِ سازمان ملل متحد برای اثرات تابش اتمی (UNSCEAR) و نشریه برنامه محیط‌زیست سازمان ملل تحت عنوان تابش: دزها، اثرات، ریسک‌ها استوار است. این کتاب ابتدا در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۷۰ ه.ش (۱۹۸۵ و ۱۹۹۱ م.) توسط جفری لین ویرایش شد.

نسخه اصلی این کتاب به زبان انگلیسی است. نسخه فارسی با حمایت پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران و مرکز نظام ایمنی هسته‌ای ایران ترجمه شده است. در صورت وجود هرگونه مغایرت نسخه اصلی ملاک است.

ویرایش علمی: **مالکوم کریک و فرید شنون**

ویرایش ادبی: **سوزان کوهن ـ اونگر و ایهان اِورنسل**

گرافیک و طراحی: **الکساندرا دیزنر ـ کوپفر**

همچنین در تهیه این کتاب، افراد زیر مشارکت قابل‌ملاحظه‌ای داشته‌اند و از نظرات آنها استفاده شده است:

لورا اندرسون، جان کوپر، سوزان کویتو ـ هابرساک، امیلی فان دونتر، گیلیان هرت، دیوید کینلی، ولادیسلاو کلنر، کریستین لیسن، کاترینا ناوراتیلووا ـ رووونسکا، جایا موهان، ولفگانگ ـ اولریچ مولر، ماریا پرز، شین سایگوسا، برتراند تریاولت، هیروشی یاسودا و آنتونی ریکسون.

پیش گفتار

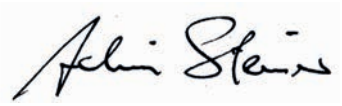
هیروشیما، ناگازاکی، تری‌مایل‌آیلند چرنوبیل و فوکوشیما ـ دایچی: این نام‌ها برای مردم تداعیگر ترس از تابش ناشی از انفجار جنگ‌افزارهای هسته‌ای یا سانحه در نیروگاه‌های هسته‌ای شده‌اند. در واقع انسان‌ها هر روز خیلی بیش از این‌ها از آسمان و زمین و منابع پرتو دیگری که در پزشکی و صنعت به کار می‌روند پرتوگیری می‌کنند.

در سال ۱۳۳۴ ه.ش. (۱۹۵۵ م.)، آزمایش جنگ افزارهای هسته‌ای نگرانی‌های عمومی از اثرات تابش اتمی بر هوا، آب، و غذا را افزود در واکنش، مجمع عمومی سازمان ملل متحد کمیته علمی برای اثرات تابش اتمی (UNSCEAR) را به منظور جمع آوری و ارزیابی اطلاعات درباره ترازها و پیامدهای پرتوگیری بنیاد نهاد. نخستین گزارش این کمیته در سال ۱۳۴۲ ه.ش. (۱۹۶۳ م.) زمینه‌های علمی برای مذاکره درباره‌ی پیمان منع محدود آزمایش جنگ افزارهای هسته‌ای را فراهم کرد. این پیمان آزمایش این جنگ‌افزارها را در جو ممنوع کرد. از آن پس، انتشار گزارش‌های معتبر درباره‌ی پرتوگیری، از جمله پرتوگیری ناشی از سانحه در نیروگاه های هسته‌ای چرنوبیل و فوکوشیما ـ دایچی، ادامه داده است. کارهای این کمیته همواره برای جامعه علمی و سیاست‌گذاران ارزشمند بوده است.

این مجمع علمی در مورد منابع تابش و اثرات تابش اطلاعاتی منتشر کرده است، با این حال این اطلاعات بیانی فنی و شاید دشوار برای فهم عامه مردم دارند؛ طوری که به‌جای آموختن به مردم، اغلب آن‌ها را سردرگم کرده است؛ یعنی که هراس و سردرگمی ده‌ها ـ ساله آن‌ها کماکان پابرجاست. این کتاب با تشریح به‌روزترین اطلاعات علمی UNSCEAR در مورد انواع تابش، و منابع و اثرات آنها بر مردم و محیط زیست به جنگ این مشکل می‌رود و این اطلاعات را برای عامه خوانندگان قابل‌فهم می‌کند.

امروزه، دبیرخانه کمیته علمی زیر چتر برنامه محیطزیست سازمان ملل متحد (UNEP) است که به کشورها کمک می‌کند تا سیاست‌ها و شیوه‌هایی سازگار با محیطزیست به کار گیرند. کمک به درک مردم از پرتوها و چگونگی تأثیر آن بر زندگی روی این کره خاکی از مأموریت‌های اصلی برنامه محیطزیست سازمان ملل متحد است.

برای من مایه بسی خوشحالی است که به تمام دست اندرکاران تهیه این کتاب، و نیز به اعضای کمیته علمی و همکاران ایشان، که در شصت سال گذشته چنین پرتلاش روی این مسائل مهم کار کرده‌اند، تبریک بگویم.



آخیم اشتاینر
مدیر اجرایی برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد

معاون دبیرکل سازمان ملل متحد

فهرست

مقدمه ۱

۱- تابش چیست؟ ۳

۱-۱- تاریخچه ۳

۱-۲- چند مطلب کوتاه پایه‌ای ۴
واپاشی پرتوزا و نیمه‌عمرها ۶
یکاهای اندازه‌گیری تابش ۷

۱-۳- قدرت نفوذ تابش ۹

۲- تابش با ما چه می‌کند؟ ۱۱

۲-۱- اثرات تابش بر انسانها ۱۳
پیامدهای بهداشتی زودرس ۱۴
پیامدهای بهداشتی دیررس ۱۵
پیامدها برای نوادگان ۱۸

۲-۲- پیامدها برای گیاهان و جانوران ۲۲

۲-۳- رابطه دزهای تابشی با پیامدها ۲۴

۳- تابش از کجا می‌آید؟ ۲۷

۳-۱- منابع طبیعی ۲۸
منابع کیهانی ۲۸
منابع زمینی ۲۹
منابع موجود در آب و غذا ۳۲

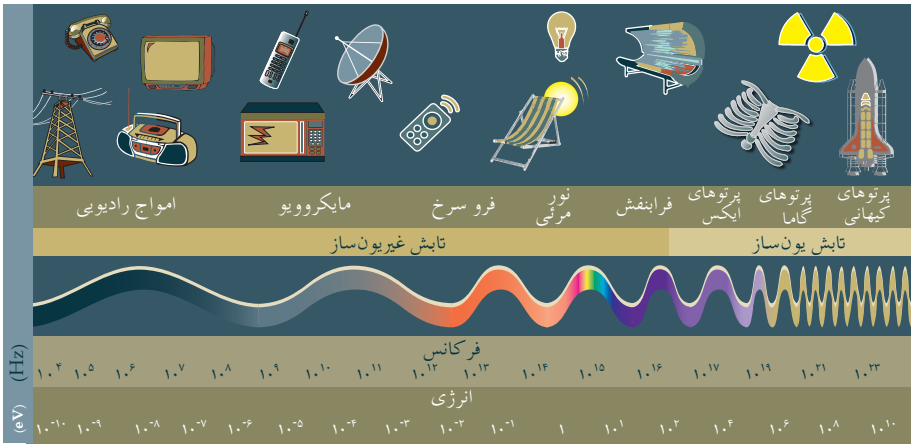
۳-۲- منابع مصنوعی ۳۲
کاربردهای پزشکی ۳۳
جنگ‌افزارهای هسته‌ای ۳۷
نیروگاه های هسته‌ای ۳۹
کاربردهای صنعتی و غیر آن ۴۸

۳-۳- میانگین پرتوگیری مردم و کارکنان ۵۴

مقدمه

ابتدا باید در مورد تفاوت بین تابش یون‌ساز و تابش غیریون‌ساز صحبت کنیم. تابش یون‌ساز آن‌قدر انرژی دارد که بتواند الکترون‌ها را از یک اتم خارج کند و اتمی باردار بجا بگذارد؛ ولی تابش غیریون ساز مانند امواج رادیویی، نور مرئی، یا امواج فرابنفش چنین قابلیتی ندارد. این کتابچه درباره پیامدهای مواجهه با تابش ناشی از منابع طبیعی و مصنوعی است؛ هرچند در کل کتاب، هر جا از تابش صحبت میشود، منظور فقط تابش یون‌ساز است.

مثال هایی از کاربردهای متفاوت تابش



تابش غیریون‌ساز آن‌قدر انرژی، که برحسب الکترون‌ولت(eV)اندازه‌گیری می‌شود، ندارد که تغییری در اتم‌ها یا مولکول‌ها ایجاد کند

امروزه اطلاعات ما در مورد منابع و پیامدهای مواجهه با تابش در مقایسه از تقریباً هر عامل خطرناک دیگری بیش‌تر است و جامعه علمی مدام دانش خود را در این زمینه محک می‌زند و به‌روز می‌رساند. بیشتر مردم می‌دانند که تابش در تولید برق از انرژی هسته‌ای و در پزشکی کاربرد دارد؛ اما بسیاری دیگر از کاربردهای فناوری هسته‌ای در صنعت، کشاورزی، ساخت‌وساز، پژوهش، و غیره برای همگان خیلی شناخته‌شده نیست. ممکن است برای کسانی که برای اولین بار در این زمینه مطالعه می‌کنند شگفت‌آور باشد که منابع تابشی که مردم بیش از همه با آن مواجه‌اند لزوماً آنهایی نیستند که بیش‌ترین توجه را به خود جلب کرده‌اند. در واقع، منابع طبیعی تابش که همیشه در محیط بوده‌اند باعث بیش‌ترین پرتوگیری می‌شوند و مهم‌ترین عامل مصنوعی پرتوگیری در جهان کاربرد پرتوها در پزشکی است. علاوه بر این،

رویدادهای روزمره زندگی نظیر سفرهای هوایی و زندگی در خانه‌هایی که در برخی مناطق جهان به خوبی عایق‌بندی می‌شوند می‌تواند پرتوگیری را بشدت بیفزاید.

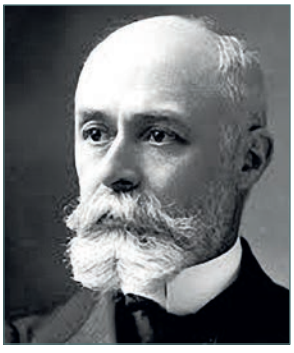
این کتابچه تلاشی است از سوی برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP) و دبیرخانه کمیته علمی سازمان ملل متحد برای اثرات تابش اتمی (UNSCEAR) به‌منظور کمک به افزایش آگاهی و درک عمیق‌تر منابع، ترازها، و اثرات پرتوهای یون‌ساز. این کمیته علمی در سال ۱۳۳۴ ه.ش. (۱۹۵۵ م.) توسط مجمع عمومی سازمان ملل برای ارزیابیِ پدیده پرتوگیری، پیامدها، و خطرات آن در سطح جهان تشکیل شد. این کمیته از دانشمندان برجسته ۲۷ کشور عضو سازمان ملل تشکیل شده است. این کمیته استانداردهای ایمنی را تهیه، یا حتا توصیه نمی‌کند؛ بلکه صرفاً اطلاعات علمی‌ای فراهم می‌کند تا مراجع صاحب صلاحیت کشورها یا دیگر نهادها بتوانند این استانداردها را تهیه و توصیه کنند. ارزیابی‌های علمی این کمیته در ۶۰ سال گذشته منبع اصلی مطالب این کتابچه است.

۱ - تابش چیست؟

برای اینکه بتوانیم در مورد ترازها، پیامدها و ریسک‌های پرتوگیری صحبت کنیم، ابتدا باید به بعضی از اصول علوم پرتوی بپردازیم. پرتوزایی و نیز پرتوهای ناشی از آن مدت‌ها پیش از پیدایش زندگی روی زمین وجود داشته‌اند. در واقع از همان آغاز هستی، آنها در فضا وجود داشته‌اند و مواد پرتوزا هنگام شکل‌گیری زمین بخشی از آن بوده‌اند. اما انسان این پدیده بنیادی و جهانی را تنها در اواخر سده نوزدهم میلادی کشف کرد و ما کماکان در حال یادگیری روش‌های جدیدی برای استفاده از آن هستیم.

۱-۱ تاریخچه

در سال ۱۲۷۴ ه.ش. (۱۸۹۵ م.)، **ویلهلم کنراد رونتگن**، فیزیکدان آلمانی، تابشی را کشف کرد که می‌توانست برای دیدن درون بدن انسان بکار رود. او این تابش را پرتوهای ایکس نامید. این کشف آغازی بود بر استفاده از تابش در پزشکی که کماکان در حال گسترش است. رونتگن در سال ۱۲۸۰ ه.ش. (۱۹۰۱ م.) به‌پاس خدمات ارزنده‌اش به بشریت، به دریافت نخستین جایزه نوبل فیزیک مفتخر شد. یک سال بعد از کشف رونتگن، **هانری بکرل**، دانشمند فرانسوی، چند فیلم عکاسی را با مقداری ماده‌معدنی حاوی اورانیم در کشویی قرار داد. او بعد از ظاهرکردن فیلم‌ها با شگفتی متوجه شد که فیلم‌ها تحت تأثیر تابش قرار گرفته‌اند. این پدیده پرتوزایی نامیده میشود و هنگامی روی می‌دهد که اتمی خودبه‌خود انرژی آزاد کند. امروزه، پرتوزایی، به یاد هنری بکرل، برحسب یکای بکرل (Bq) اندازه گیری میشود. چیزی نگذشت که یک شیمیدان جوان، به‌نام **ماری اسکلودفسکا-کوری**، این پژوهش را ادامه داد و برای اولین بار کلمه پرتوزایی را به‌کار برد. او و شوهرش **پی‌یر کوری** در سال ۱۲۷۷ ه.ش. (۱۸۹۸ م.) کشف کردند که اورانیم به طرز شگفت‌انگیزی درحالی‌که تابش می‌کند به عناصر دیگری تبدیل میشود. آنها یکی از این عناصر را، به‌یاد زادگاه ماری، پلونیم (ماری لهستانی بود و لهستان در



هانری بکریل (۱۹۰۸- ۱۸۵۲)

ماری کوری (۱۹۳۴-۱۸۶۷)

ویلهلم رونتگن (۱۹۲۳-۱۸۴۵)

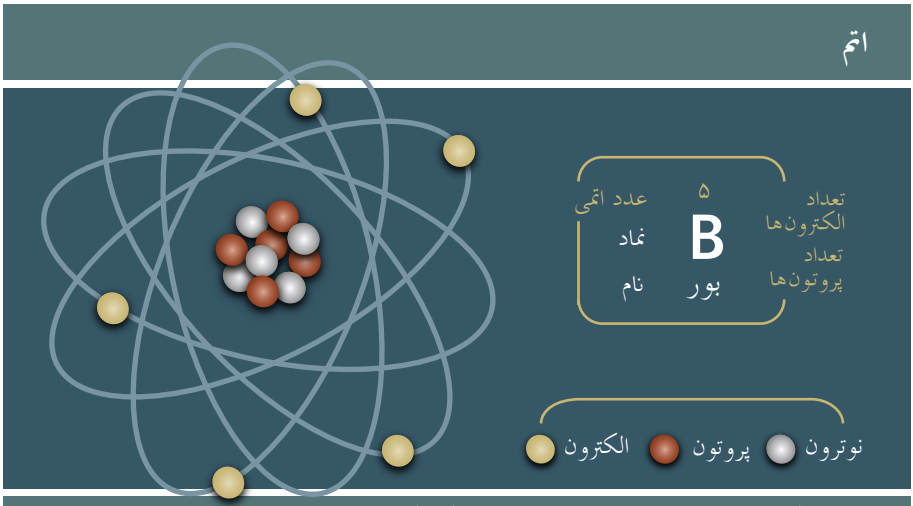
زبان آنها پولسکا ـ Polska ـ گفته میشود)، و یکی دیگر را رادیم، یعنی عنصر "درخشان"، نامیدند.

ماری کوری در سال ۱۲۸۲ ه.ش. (۱۹۰۳ م.) به‌صورت مشترک با پی‌یر کوری و هانری بکرل جایزه نوبل فیزیک را برد. او نخستین زنی بود که برای دومین بار در سال ۱۲۹۰ ه.ش. (۱۹۱۱ م.) بخاطر کشفیاتش در شیمی پرتوی برنده جایزه نوبل شد.

۱-۲- چند مطلب پایه‌ای

دانشمندان برای درک **اتم** و بویژه درک ساختار آن تلاش زیادی به خرج داده‌اند. امروزه می‌دانیم که اتم‌ها یک هسته کوچک با بار مثبت دارند که درون ابری از **الکترون‌ها** با بار منفی است. اندازه هسته تنها حدود یک‌صدهزارم اندازه کل اتم است، اما این هسته به حدی متراکم و سنگین است که تقریباً تمام جرم اتم از آن است.

هسته به‌طور کلی مجموعه‌ای از ذرات، پروتون‌ها و نوترون‌ها، است که سخت به‌هم چسبیده‌اند. پروتون‌ها دارای یک بار الکتریکی مثبت، و نوترون‌ها بدون بار هستند. عناصر شیمیایی با تعداد پرتون‌های اتم‌هایشان شناسایی میشوند (مثلاً عنصر شیمیایی بور، اتمی با ۵ پروتون و اورانیوم، اتمی با ۹۲ پروتون دارد). عناصری که تعداد پروتون‌های یکسان، ولی تعداد نوترون‌های متفاوتی دارند، ایزوتوپ نامیده میشوند (مثلاً تفاوت اورانیم ـ ۲۳۸ با اورانیم ـ ۲۳۵ این است که اولی سه نوترون بیش تر از دومی دارد). یک اتم کامل به‌صورت طبیعی نه بار مثبت دارد، نه بار منفی؛ زیرا به‌همان تعداد الکترون‌های با



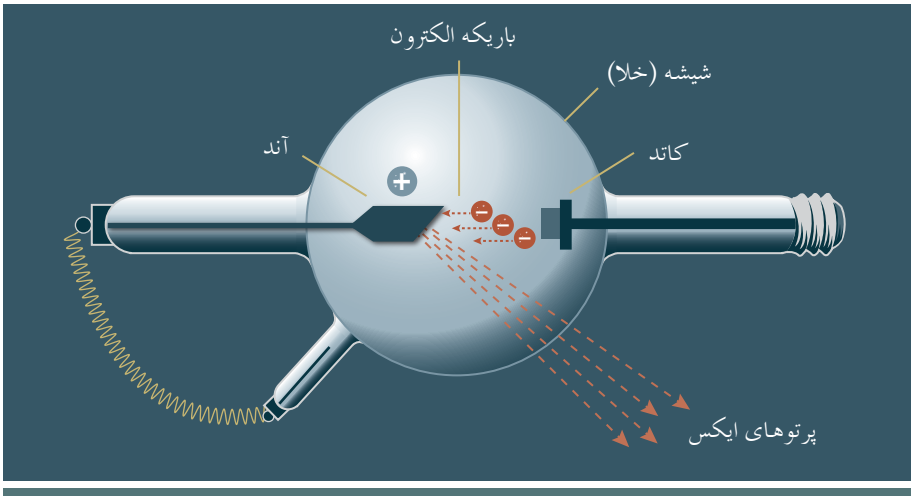
هر اتمی یک هسته حاوی نوترون‌های بدون بار الکتریکی و پروتون‌های با بار مثبت دارد که توسط ابری از الکترون‌های با بار منفی احاطه شده است. در اتم‌های خنثی، تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابر است. این تعداد با عدد اتمی عنصر نشان داده می‌شود.

بار منفی، پروتون‌های با بار مثبت دارد.

برخی از اتم‌ها پایدار و برخی ناپایدار هستند. اتم های با هسته ناپایدار، که خودبه خود تغییر کرده و در قالب تابش انرژی آزاد می کنند، هسته گونه پرتوزا (رادیونوکلوید) نامیده می‌شوند. این انرژی می تواند روی سایر اتم ها اثر بگذارد و آنها را یونیزه کند. یونش فرایندی است که در آن اتم‌ها با گرفتن یا رهاندن یک یا چند الکترون، دارای بار منفی یا مثبت میشوند. تابش یون‌ساز آن‌قدر انرژی دارد که بتواند الکترون‌ها را از مدارهای اتمی خارج کند و اتم‌های بارداری بوجود آورد که به آنها یون می‌گویند.) اگر گسیل انرژی در قالب دو پروتون و دو نوترون باشد، واپاشی آلفا؛ و اگر در قالب الکترون‌ها باشد، واپاشی بتا رخ داده است. هسته ناپایدار اغلب به‌اندازه‌ای انرژی دارد که گسیل ذرات برای تخلیه آن کافی نیست. در این حالت، انرژی باقیمانده به‌صورت: امواج الکترومغناطیسی و در قالب فوتون‌ها تخلیه میشود. به این فوتون ها پرتو گاما می‌گویند.

پرتوهای ایکس هم مانند پرتوهای گاما موج الکترومغناطیسی هستند، اما فوتون‌هایی با انرژی کمتری دارند. مولد پرتوهای ایکس یک لوله‌ی خلأ شیشه‌ای است. در این لوله، باریکه‌ای از الکترون‌ها از یک کاتد خارج میشود و پس از اصابت به ماده هدفی به‌نام آند، پرتوهای ایکسی با طیفی از انرژی‌های متفاوت تولید می‌کند. طیف پرتوهای ایکس به جنس آند، و انرژی محرک باریکه الکترونی بستگی دارد. پرتوهای ایکس را می‌توان وقتی که لازم است بصورت مصنوعی تولید کرد؛ که برای استفاده در پزشکی و صنعت ویژگی بسیار مفیدی است.

لوله پرتو ایکس

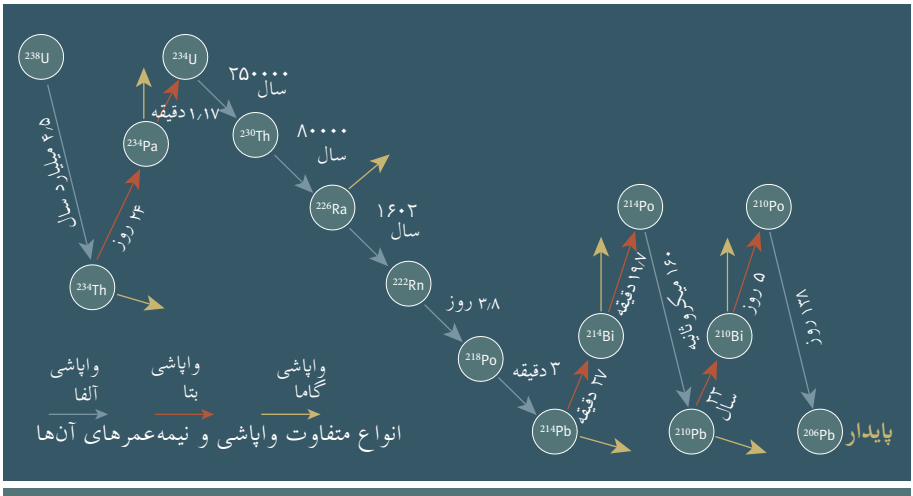


واپاشی پرتوزا و نیمه‌عمرها

در حالی‌که تمام هسته‌گونه‌های پرتوزا ناپایدارند، برخی از آن‌ها ناپایدارترند. به‌عنوان مثال، ذرات موجود در هسته اتم اورانیوم ـ ۲۳۸ (۹۲ پروتون و ۱۴۶ نوترون) فقط اندکی به‌هم وابستگی دارند. دیر یا زود، مجموعه‌ای متشکل از دو پروتون و دو نوترون از این اتم کنده، و به صورت یک ذره آلفا از آن خارج میشود؛ در نتیجه، اورانیوم ـ ۲۳۸ به توریوم ـ۲۳۴ (با ۹۰ پروتون و ۱۴۴ نوترون) تبدیل میشود. توریوم ـ ۲۳۴ هم ناپایدار است ولی با یک فرایند متفاوت تبدیل میشود. توریوم ـ ۲۳۴، در اثر تبدیل یک نوترون به یک پروتون، الکترون‌های پُرـ انرژی به‌صورت پرتو بتا گسیل می‌کند و به پروتاکتینیوم ـ۲۳۴ (با ۹۱ پروتون و ۱۴۳ نوترون) تبدیل میشود. این عنصر نیز بسیار ناپایدار است و بزودی به اورانیم ـ۲۳۴ تبدیل میشود؛ بدینسان، این اتم مرتب ذره‌هایی می‌پراکند و به تغییر خود ادامه می‌دهد تا عاقبت به عنصر پایدار سرب ـ ۲۰۶ (با ۸۲ پروتون و ۱۲۴ نوترون) تبدیل شود. تعداد زیادی از این نوع زنجیره ـ تبدیل‌ها، یا به اصطلاح واپاشی‌های پرتوزا، وجود دارد.

مدتی که طول می‌کشد تا نصف هر مقدار از یک عنصر واپاشی کند نیمه‌عمر آن عنصر نامیده میشود. اگر یک میلیون اتم وجود داشته باشد، بعد از یک نیمه‌عمر، به‌طور متوسط ۵۰۰۰۰۰ تای آنها به چیز دیگری تبدیل میشود. در طول نیمه‌عمر بعدی، ۲۵۰۰۰۰ اتم دیگر واپاشی می‌کنند و این روند تا واپاشی تمام آنها ادامه دارد. بعد از ۱۰ نیمه‌عمر تقریباً هزار اتم از یک میلیون اتم اولیه (به‌عبارتی حدود ۰/۱ درصد) باقی می‌ماند. در مثال بالا، واپاشی نیمی از اتم‌های پروتاکتینیوم ـ۲۳۴ و تبدیل آن به

زنجیره واپاشی پرتوزای اورانیوم - ۲۳۸



اورانیوم ـ۲۳۴ کمی بیشتر از یک دقیقه طول می‌کشد. در مقابل، واپاشیِ نیمی از اتم‌های اورانیوم ـ ۲۳۸ و تبدیل آن‌ها به توریوم ـ۲۳۴ حدود چهار و نیم میلیارد سال (۴۵۰۰۰۰۰۰۰) زمان می‌خواهد. با همه این گفته‌ها، تنها تعداد نسبتاً کمی هسته‌گونه پرتوزای طبیعی در محیط هست.

یکاهای اندازه‌گیری تابش

امروزه می‌دانیم که انرژی تابشی می‌تواند به بافت زنده آسیب برساند. مقدار انرژی ذخیره‌شده در بافت زنده با کمیتی به نام **دُز** بیان میشود. دز تابشی می‌تواند ناشی از یک هسته‌گونه پرتوزا یا مجموعه‌ای از هسته‌گونه‌های پرتوزا باشد. این هسته‌گونه‌های پرتوزا ممکن است از خارج، یا از داخل بر بدن بتابند. برای مثال، هنگامی که هسته‌گونه‌های پرتوزا استنشاق یا بلعیده شوند، از داخل به بدن پرتو می‌تابانند. برحسب این که چه مقداری از بدن و کدام قسمت‌های آن در معرض تابش قرار گرفته باشد، چند نفر پرتوگیری کرده باشند، و مدت پرتوگیری چقدر بوده باشد (مثلاً پرتوگیری حاد بوده باشد یا مزمن)؛ کمیت دُز به شکل‌هایی متفاوت بیان میشود.

مقدار انرژی تابشی جذب شده در یک کیلوگرم از بافت، دز جذبی نامیده میشود و به یاد فیزیکدان انگلیسی و پیشگام علم زیست‌شناسی پرتوی، هارولد گری، برحسب یکای گری *(Gy)* بیان میشود. اما این کمیت نمی‌تواند کاملاً نمایان‌گر آسیب‌های پرتوی باشد؛ زیرا دُزی که ناشی از ذرات آلفا باشد می‌تواند بیش از همان دُز که ناشی از ذرات بتا یا پرتوهای گاما باشد آسیب بزند. برای مقایسه دزهای جذبی ناشی از انواع تابش باید به آن‌ها بر اساس قابلیتشان در ایجاد انواع خاصی از آسیب‌های زیستی وزن داده شود. دُزی که به این ترتیب به آن وزن داده شود، **دُزِ معادل** نام دارد. واحد اندازه‌گیری دز معادل به یاد دانشمند سوئدی رولف سیورت، سیورت (Sv) نام گرفته است. همان‌طور که یک لیتر ۱۰۰۰ میلی لیتر و یک متر ۱۰۰۰ میلی متر است، یک سیورت نیز ۱۰۰۰ میلی‌سیورت میشود.

نکته دیگر این است که برخی قسمت‌های بدن آسیب پذیرتر از بقیه هستند. مثلاً در صورتی که ریه و کبد در معرض یک دزِ معادل یکسان قرار گیرند، احتمال بروز سرطان برای ریه بیشتر از این احتمال برای کبد است؛ و به اندام‌های زایشی [تولید

هارولد گری (۱۹۶۵ - ۱۹۰۵)
رولف سیورت (۱۹۶۶ -۱۸۹۶)

مثل]، به علت ریسک پیامدهای وراثتی، توجه خاصی میشود. به این ترتیب، برای محاسبهٔ دز بدن، وقتی اندام‌های گوناگون در معرض تابش قرار می‌گیرند، دز معادل هر کدام از اندام‌ها یک بار دیگر(بر اساس آسیب‌پذیری بافت یا اندام) وزندهی میشود. نتیجه کمیتی است به‌نام دُز مؤثر که یکای اندازه‌گیری آن نیز مانند دز معادل سیورت (Sv) است. با وجود این، دز مؤثر یک شاخص برای بیان احتمال بروز سرطان و اثرات ژنتیکی به‌دنبال دزهای تابشی پایین است و معیاری برای اندازه‌گیری شدت اثرات در دزهای بالا نیست.

این سامانه پیچیده کمیت‌های پرتوی از آن جهت لازم است که با ایجاد یک ساختار منسجم متخصصان حفاظت پرتوی را قادر سازد دزهای فردیِ اشخاص گوناگون را به صورت یکدست و قابل‌مقایسه ثبت کنند. این ثبت دز برای کسانی که با تابش کار می‌کنند و افرادی که **پرتوگیری شغلی** دارند اهمیت زیادی دارد.

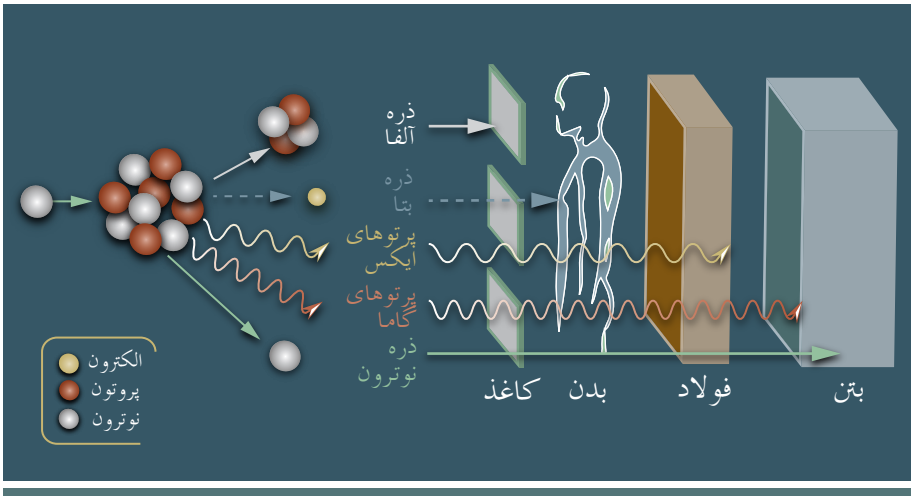
یکاهای تابش	
کمیت فیزیکی	
فعالیت	تعداد واپاشی‌های انرژی‌زا در واحد زمان. این کمیت برحسب واپاشی بر ثانیه، که نامش بکرل (Bq) است، اندازه گیری میشود.
دز جذبی	مقدار انرژی به‌جا گذاشته‌شده توسط پرتوها در واحد جرم ماده‌ای مانند بافت یا اندامی از بدن. این کمیت برحسب گری (Gy)، که معادل ژول‌برکیلوگرم است، بیان میشود.
کمیت محاسبه‌شده	
دز معادل	حاصل ضرب دز جذبی در یک ضریب پرتوی (WR) که روش آسیب‌رسانی بیولوژیکی پرتوهای متفاوت به بافت یا اندام را به حساب می‌آورد. دز معادل برحسب سیورت (Sv)، که معادل ژول-برکیلوگرم است، بیان میشود.
دز مؤثر	حاصل‌ضرب دز معادل در ضرایب بافت (WT) که آسیب پذیری متفاوت انواع بافت‌ها و اندام‌ها را در نظر می‌گیرد. دز مؤثر برحسب سیورت (Sv)، که معادل ژول‌برکیلوگرم است، بیان میشود.
دز مؤثر جمعی	مجموع دزهای مؤثر همه افراد یک جمعیت یا گروهی از مردمی که پرتوگیری کرده‌اند. دز مؤثر جمعی برحسب نفر- سیورت (man Sv) بیان میشود.

با این حال، دز مؤثر فقط برای بیان دز تک تک افراد مناسب است. اگر ما تمام دزهای مؤثر افراد یک جمعیت را جمع کنیم، نتیجه دُز مؤثر جمعی یا به‌سادگی دُز جمعی نام می‌گیرد. دز جمعی برحسب نفر ـ سیورت (manSv) بیان میشود. برای مثال، دز جمعی سالانه همه مردم دنیا بیش از ۱۹ میلیون نفر ـ سیورت است؛ گویی که هر فرد به‌طور متوسط سالانه ۳ میلی‌سیورت دز دریافت کرده باشد.

۱ـ۳ـ قدرت نفوذ تابش

بطور خلاصه تابش می‌تواند از ذرات (ازجمله ذرات آلفا، بتا و نوترون) یا امواج الکترومغناطیسی (پرتوهای گاما و ایکس) با انرژی‌های متفاوت تشکیل شود. نوع ذرات و انرژی تابش قدرت نفوذ و درنتیجه اثر آن بر بافت زنده را تعیین می‌کند. ذرات آلفا چون از دو پروتون با بار مثبت و دو نوترون تشکیل شده‌اند، بیشترین بار را بین انواع تابش دارند. بار بیشتر به‌معنای برخورد بیشتر با اتم‌های اطراف است. این برخوردها به‌تندی انرژی و درنتیجه قدرت نفوذ ذرات را می‌کاهد؛ تا آن‌جا که ذرات آلفا با یک ورق کاغذ می‌توانند متوقف شوند. ذرات بتا، که از الکترون‌های با بار منفی تشکیل شده‌اند، بار کمتر، و درنتیجه قدرت نفوذ بیش‌تری نسبت به ذرات آلفا دارند. ذرات بتا می‌توانند حدود یکی ـ دو سانتی‌متر در بافت زنده حرکت کنند. پرتوهای گاما و ایکس، که فاقد بار هستند، قدرت نفوذ بسیار زیادی دارند و تقریباً از هر چیزی که تراکمش از یک تیغه کلفت فولادی کمتر باشد می‌گذرند. نوترون‌ها که در طبیعت به‌صورت بخشی از تابش کیهانی وجود دارند، به‌صورت مصنوعی نیز در نتیجه شکافت یا گداخت هسته

قدرت نفوذ انواع مختلف پرتوها



ای از هسته‌های ناپایدار گسیل می‌شوند. نوترون‌ها، چون از نظر الکتریکی خنثی هستند، هنگام برخورد با ماده یا بافت قدرت نفوذ بسیار بالایی دارند.

۲ - تابش با ما چه می‌کند؟

پیش از موشکافی بیشتر پیامدهای پرتوگیری، باید بار دیگر از پیشگامان علم تابش، که قبلاً معرفی شدند، یاد کنیم. **هانری بکرل** کمی بعد از کشفش شخصاً بدترین معضل تابش، یعنی اثری که میتواند بر بافت زنده بگذارد، را تجربه کرد. بطری کوچک رادیومی که او در جیب گذاشته بود به پوستش آسیب رساند.

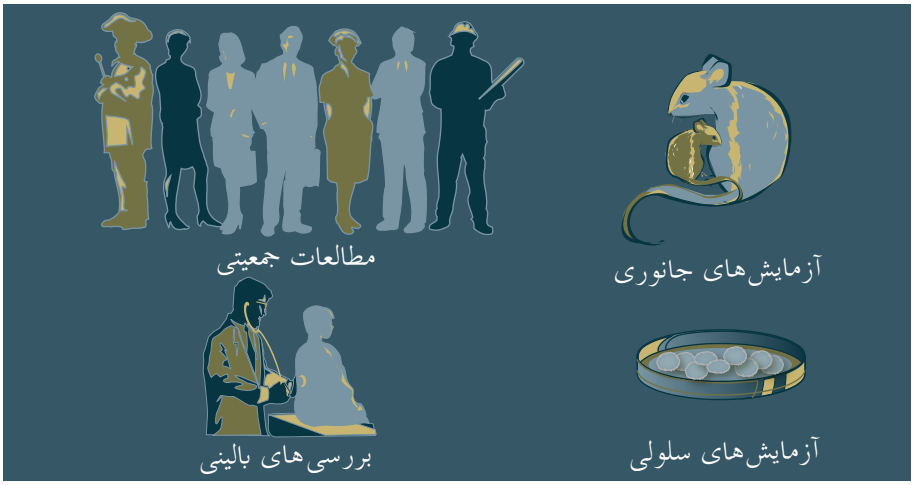
ویلهلم کنراد رونتگن که در سال ۱۲۷۴ ه.ش (۱۸۹۵ م.) پرتوهای ایکس را کشف کرد، در سال ۱۳۰۲ ه.ش. (۱۹۲۳ م.) به‌علت سرطان روده درگذشت. **ماری کوری** هم که در طول زندگی کاری خود در معرض تابش قرار داشت، در سال ۱۳۱۳ ه.ش. (۱۹۳۴ م.) به علت یک بیماری خونی درگذشت.

طبق گزارش‌ها، تا پایان دهه ۱۳۳۰ ه.ش. (۱۹۵۰ م.) دستکم ۳۵۹ نفر از نخستین پرتوکاران (بیشتر پزشک و دانشمند) ، بی خبر از لزوم حفاظت پرتوی، به علت پرتوگیری درگذشتند.

عجیب نیست که اولین کسانی که پیشنهاداتی برای حفاظت پرتوی کارکنان ارائه کردند افرادی بودند که تابش را برای بیماران استفاده میکردند. در سال ۱۳۰۷ ه.ش. (۱۹۲۸ م.)، "کمیته بین المللی حفاظت در برابر رادیم و پرتوهای ایکس" همزمان با دومین کنگره بین‌المللی رادیولوژی در استکهلم تشکیل، و **رولف سیورت** به عنوان اولین رئیس این کمیته انتخاب شد. بعد از جنگ جهانی دوم، این کمیته دوباره سازمان‌دهی شد تا به کاربردهای نوظهور تابش در حوزه‌هایی به غیر از پزشکی بپردازد و نام آن به "کمیسیون بین المللیِ حفاظت رادیولوژیکی" تغییر یافت. پس از آن، بین سالهای ۱۳۳۷ ه.ش. (۱۹۵۸ م.) و ۱۳۳۹ ه.ش. (۱۹۶۰ م.) که اثرات ژنتیکیِ آزمایش‌های جنگ افزارهای اتمی برای انسان بسیاری را نگران کرده بود، رولف سیورت چهارمین رئیس UNSCEAR شد.

با افزایش آگاهی از خطرات پرتوگیری، سده بیستم میلادی شاهد تحقیقات گسترده در مورد اثرات تابش بر انسان و محیط بود. مهمترین ارزیابی انجام شده درخصوص گروه‌های جمعیتی‌که پرتوگیری کرده اند، مطالعه ۸۶۵۰۰ نفر از بازماندگان بمباران های اتمی هیروشیما و ناگازاکی در پایان جنگ جهانی دوم در سال ۱۳۲۴ ه.ش. (۱۹۴۵ م.) است (که از این پس به آنها بازماندگان بمباران‌های اتمی گفته میشود). داده‌های قابل اعتماد دیگری هم در اینباره از بیماران در معرض تابش، از پرتوکاران پس از سوانح پرتوی (مانند سانحه نیروگاه اتمی چرنوبیل)، و از آزمایش‌های سلولی و جانوری در آزمایشگاه‌ها به‌دست آمده است.

منابع اطلاعاتی در مورد اثرات پرتوها



UNSCEAR اطلاعات علمی مربوط به اثرات تابش بر انسان و محیط را ارزیابی می‌کند و سعی دارد تا آن جا که ممکن است تعیین کند که هر مقدار پرتوگیری چه پیامدهایی می‌تواند داشته باشد. همانطور که قبلاً گفته شد، پرتوگیری به نوع تابش، مدت مواجهه با تابش، و مقدار انرژی جذب شده در ماده بستگی دارد. UNSCEAR برای ارزیابی‌هایش، از عبارتِ دُز پایین برای ترازهای کمتر از ۱۰۰ میلی گری و بیش از ۱۰ میلی گری ، و از عبارتِ دُز خیلی پایین برای ترازهای کمتر از ۱۰ میلی گری استفاده می‌کند.

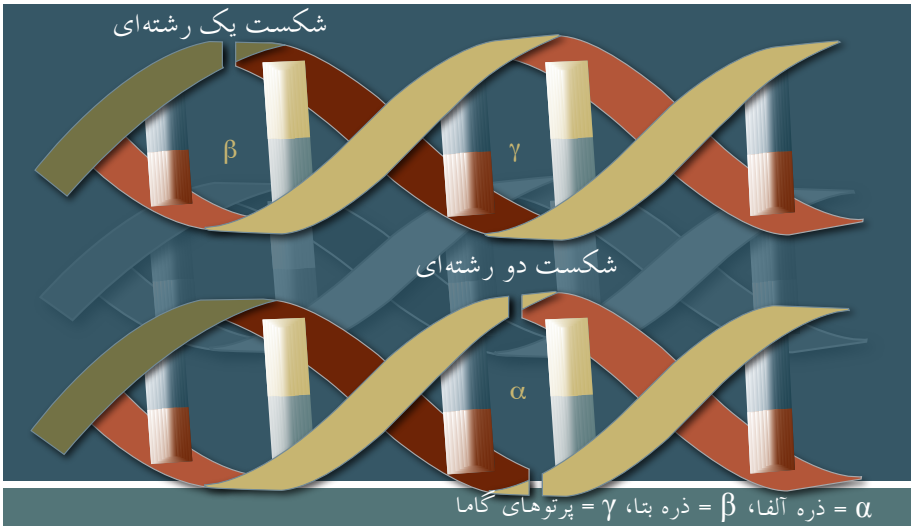
رده‌بندی‌ای که UNSCEAR برای دز جذبی استفاده می‌کند

دز بالا	بیش از حدود ۱ گری	سوانح شدید پرتوی (مانند آتش‌نشان‌ها در سانحه چرنوبیل)
دز متوسط	از حدود ۱۰۰ میلی گری تا حدود ۱ گری	کارکنانی که در عملیات بازیابی پس از سانحه چرنوبیل شرکت داشتند
دز پایین	از حدود ۱۰ میلی گری تا حدود ۱۰۰ میلی گری	چند بار سی‌تی‌اسکن
دز خیلی پایین	کمتر از حدود ۱۰ میلی گری	رادیولوژی معمولی (بجز سی‌تی‌اسکن)

۱ـ۲ اثرات تابش بر انسان‌ها

از زمان کشف تابش، بیش از یک سده تحقیقات اطلاعاتی قابل توجه درباره سازوکارهای زیستی که از طریق آنها تابش می‌تواند بر سلامتی انسان اثر بگذارد فراهم کرده است. اثر تابش می‌تواند در سطح سلولی باشد، موجب مرگ سلول‌ها یا ایجاد تغییر در آنها شود، معمولاً به علت تخریب مستقیم رشته‌های اسید دئوکسی ریبونوکلئیکِ (DNA) در کروموزُم. اگر تعداد سلول‌های آسیب دیده یا کشته‌شده زیاد باشد، ممکن است اخلال در کارکرد اندام ها یا حتی مرگ پیش آید. آسیب‌های دیگری نیز ممکن است بر (DNA) وارد شود که سلول را نکُشد. این آسیب‌ها معمولاً بطور کامل ترمیم میشوند؛ وگرنه، تغییرات ایجادشده (که به جهش سلولی معروف‌اند) در تقسیم های سلولی بعدی بازتولید میشوند و دست آخر می‌توانند به سرطان بینجامند. اگر سلول‌های تغییریافته از سلول‌هایی باشند که اطلاعات وراثتی را به آیندگان منتقل می‌کنند، ممکن است اختلالات ژنتیکی ایجاد کنند. اطلاعات در مورد سازوکارهای زیستی و اثرات ارثی اغلب از تجارب آزمایشگاهی به دست می‌آید.

آسیب پرتوی به رشته DNA



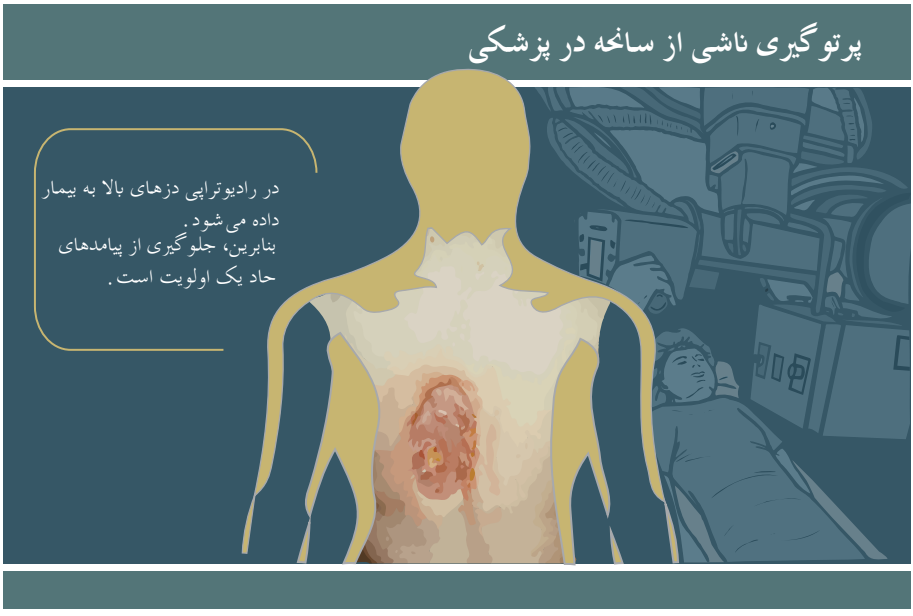
در این مقوله، پیامدهای سلامتی پرتوگیری بر اساس زمان بروز آن ها به پیامدهای زودرس و پیامدهای دیررس تقسیم می شوند. بطور کلی، پیامدهای زودرس از طریق تشخیص بالینی بیماری‌های افراد، و پیامدهای دیررس (مانند سرطان) از راه مطالعات اپیدمیولوژیکی و با مشاهده افزایش نرخ یک پیامد در

جمعیتی آشکار میشود. همچنین، در اینجا به اثرات تابش بر کودکان و جنین/رویان‌ها، و بر پیامدهای ارثی آن با دقت ویژه پرداخته میشود.

پیامدهای بهداشتی زودرس

پیامدهای زودرس در اثر تخریب یا مرگ گسترده سلولها ایجاد میشود. از سوختگی پوست، ریزش مو، و اختلال در باروری به عنوان مثال هایی از پیامدهای زودرس می توان نام برد. برای ایجاد این پیامدها آستانه‌های دزِ تقریباً بالایی وجود دارد و در صورتی که در مدت کوتاهی، پرتوگیری از این آستانه‌ها فراتر رود این پیامدها ظاهر خواهند شد. هرچه دز از آستانه بیش‌تر شود، پیامد شدیدتر میشود.

بطور کلی، دزهای بیش از ۵۰ گری به دستگاه مرکزی اعصاب چنان آسیب میزنند که ظرف چند روز به مرگ می‌انجامد. حتا در دزهای کمتر از ۸ گری در افراد علایم بیماری ناشی از تابش یا سندرُم پرتویِ حاد ظاهر میشود. تهوع، استفراغ، گرفتگی و درد شکم، افزایش آب دهان، کم آبی، خستگی، ضعف، بی‌حوصلگی، تعرق، تب، سردرد، و فشار خون پایین از جمله این علایم هستند. واژه حاد به مشکلات پزشکی که در زمان کوتاهی پس از پرتوگیری ایجاد میشوند اشاره دارد، نه به مواردی که پس از گذشت زمان بسیار طولانی پدیدار میشوند. مبتلایان بسرعت بعد از یک یا دو هفته در اثر آسیب به دستگاه گوارش خواهند مرد. دزهای کمتر ممکن است به دستگاه گوارش آسیب نزنند، اما می‌توانند به علت آسیب به مغز قرمز استخوان ظرف چند ماه مرگ‌آفرین باشند. در دزهای پایین‌تر شروع بیماری به تأخیر می‌افتد و شدت



علایم کمتر میشود. حدود نیمی از افرادی که دزی حدود دو گری دریافت کنند بعد از حدود سه ساعت دچار استفراغ میشوند، در حالی که در دزهای کمتر از یک گری این اتفاق نادر است.

مغز قرمز استخوان و دستگاه خون‌ساز، اگر دزی کمتر از یک گری دریافت کنند، خوشبختانه، ظرفیت قابل‌توجهی برای بازسازی دارند و می‌توانند بطور کامل بهبود یابند؛ گرچه احتمال بروز سرطان خون در سالهای بعد بالاتر می‌رود. اگر فقط بخشی از بدن تحت تابش قرار گیرد، معمولاً به اندازه ای از مغز قرمز استخوان بدون آسیب باقی خواهد ماند که بتواند برای قسمت‌های آسیب دیده جایگزین بسازد. آزمایش‌های جانوری نشان می‌دهد اگر حتا یک‌دهم این مغز استخوان فعال از تابش در امان بماند، شانس زنده ماندن تقریباً ۱۰۰ درصد است.

از این ویژگی که تابش می‌تواند مستقیماً به (DNA) سلولی آسیب بزند برای کشتن سلول‌های بدخیم در درمان سرطان استفاده میشود. مقدار کل تابشی که در رادیودرمانی استفاده میشود به نوع و مرحله سرطان تحت درمان بستگی دارد. دزهای معمول که برای درمان تومورهای بافت صلب بکار میرود حدود ۲۰ تا ۸۰ گری برای تومور است که اگر در یک مرحله به بیمار داده شود خطرناک خواهد بود. به همین علت برای کنترل درمان، دز کل در چند مرحله، که در هیچ یک از مراحل بیش از ۲ گری نیست، به بیمار داده می‌شود. این تقسیم دز به سلول‌های بافت طبیعی اجاز ه بهبودی می‌دهد؛ در حالی که سلول‌های تومور، به علت ناکارامدی در بازسازی پس از پرتوگیری، از بین می‌روند.

پیامدهای بهداشتی دیررس

پیامدهای دیررس مدت‌های طولانی پس از زمان پرتودهی به وقوع می پیوندند. بطور کلی، اغلب پیامدهای دیررس پدیده هایی تصادفی هستند و احتمال وقوع آنها با مقدار دُز تابشی دریافتی متناسب است. اعتقاد بر این است که این پیامدها زاییده تغییراتی در مواد ژنتیکی سلول‌ها به دنبال پرتوگیری هستند. تومورهای بافت صُلب و سرطان خون در افرادی که پرتوگیری کرده‌اند، و اختلالات ژنتیکی در فرزندان ایشان مثال‌هایی از پیامدهای دیررس هستند. ظاهراً تواتر وقوع این پیامدها در یک جمعیت (و نه شدت آنها) با افزایش دز زیاد میشود.

مطالعات اپیدمیولوژیک در درک پیامدهای دیررس در پی پرتوگیری بسیار اهمیت دارند. این مطالعات از روش‌های آماری برای مقایسه تواتر وقوع یک پیامد (مانند سرطان) در یک جمعیت مورد تابش با نظیرش در جمعیتی که مورد تابش نبوده‌اند استفاده می‌کند. اگر افزایش تواتر قابل‌ملاحظه‌ای در جمعیت مورد تابش دیده شود، می‌توان نتیجه گرفت این افزایش احتمالاً به‌علت تابشی بوده که این جمعیت به‌عنوان یک کل دریافت کرده است.

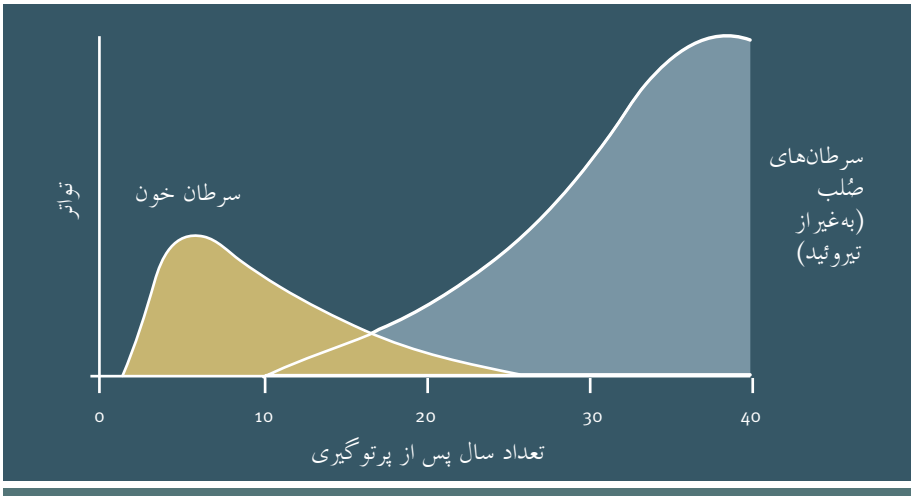
مهمترین ارزیابی بلندمدت جمعیت‌های مورد تابش به مطالعات اپیدمیولوژیکی بازماندگان بمباران‌های اتمی بازمی‌گردد. این مطالعات جامع‌ترین مطالعات انجام‌شده تا به امروز است؛ چون افراد مورد مطالعه هم زیاد، و هم به جمعیت معمولی کاملاً شبیه بوده‌اند، و نیز دزهای بسیار متفاوتی دریافت کرده‌اند که کم‌وبیش بصورت یکنواخت در بدنشان توزیع شده است. تخمین دزهای دریافتی این گروه هم تقریباً معلوم است. این مطالعات تاکنون نشان داده است که موارد ابتلا به سرطان در این افراد چند صد مورد بیش از آن چیزی است که انتظارش میرفت اگر پرتوگیری نمی کردند. از آنجایی که بسیاری از بازماندگان بمباران‌های اتمی هنوز زنده هستند، مطالعات تا تکمیل ارزیابی‌ها ادامه دارد.

سرطان

سرطان عامل حدود ۲۰ درصد تمام مرگ ها، و بعد از بیماری‌های قلبی ـ عروقی شایعترین عامل مرگ در کشورهای صنعتی است. حتا در غیاب پرتوگیری هم، در کل جمعیت، از هر ده نفر، حدود چهار نفر در طول زندگی خود احتمال ابتلا به سرطان دارند. در سالهای اخیر شایعترین سرطان ها در بین مردها سرطان‌های ریه، پروستات، روده بزرگ، معده و کبد؛ و در بین زنان سرطان‌های پستان، روده بزرگ، دهانه رحم و معده بوده است.

رشد سرطان یک فرایند پیچیده و چند مرحله‌ای است. ظاهراً یک پدیده اولیه، که به احتمال زیاد تنها بر یک سلول اثر می گذارد، آغازگر این مراحل است؛ هرچند به نظر می رسد پیش از این که سلول بدخیم

بروز سرطان پس از پرتوگیری



شود و تومور به وجود آید، زنجیره ای از رخدادهای دیگر لازم باشد.

سرطان مدتی طولانی پس از ایجاد آسیب اولیه و بعد از سپری شدن یک دوره نهانی بروز می کند. احتمال بروز سرطان پس از پرتوگیری یک نگرانی عمده است. که تنها برای یک گروه قابل محاسبه است که دز دریافتی آنها به‌حدی زیاد باشد که بتواند تواتر وقوع سرطان را بیش از مقدار عدم‌قطعیت‌های آماری و غیره بالا ببرد. بدینسان، سهم واقعی پرتوگیری در به‌وجود آمدن سرطان ناشناخته می‌ماند.

سرطان خون، تیروئید، و استخوان سرطان‌هایی هستند که چند سال پس از پرتوگیری ظاهر می‌شوند؛ درحالیکه سایر سرطانها حداقل ۱۰ سال و اغلب دهه ها بعد از پرتوگیری آشکار می‌شوند. اما هیچ نوع سرطانی وجود ندارد که تنها عامل ایجاد آن تابش باشد؛ به همین علت تفکیک بین تومورهایی که به علت پرتوگیری به‌وجود آمده‌اند با تومورهایی که به دلایل دیگری ایجاد شده‌اند غیرممکن است. با وجود این، تخمین احتمال ابتلا به سرطان بعد از دریافت دزهای تابشی مشخص برای داشتن یک پایه علمی محکم برای تعیین حدود پرتوگیری اهمیت دارد.

مطالعات بر روی افرادی که با استفاده از تابش درمان شده‌اند، افرادی که بخاطر شغلشان پرتوگیری کرده‌اند و مخصوصاً بازماندگان بمباران های اتمی، دانش ما در مورد ارتباط بین سرطان و پرتوگیری را بنیان نهاده‌اند. در این مطالعات، بسیاری از افرادی که بخش‌های زیادی از بدنشان پرتوگیری کرده است مدت‌های طولانی قابل ملاحظه ای بررسی شده‌اند. اما برخی از این مطالعات دارای اشکالات عمده‌ای هستند. تفاوت توزیع سن جمعیت مورد مطالعه با توزیع سن جمعیت طبیعی مردم، و از پیش بیماربودن و تحت درمان سرطان بودن این افراد هنگام پرتوگیری دو اشکال مهم هستند.

مهم‌تر این که، تقریباً همه این داده‌ها بر پایه مطالعه مردمانی است که بافت‌هایشان دزهای تابشی کاملاً بالایی، از یک گری به بالا، به صورت یک جا یا در دوره هایی نسبتاً کوتاه دریافت کرده اند. درباره پیامدهای دریافت دراز مدت دزهای کم اطلاعات اندکی داریم. تنها چند مطالعه درباره پیامدهای گستره‌دزهایی که پرتوکارها به صورت معمول دریافت می کنند انجام شده است و درباره عواقب پرتوگیری که مردم عادی بطور معمول با آن مواجه‌اند درعمل هیچ اطلاعاتی نداریم. مطالعاتی لازم است که شمارِ بزرگی از مردمان را مدت‌های طولانی دنبال کند و درنهایت شاید کماکان از دیدن هرگونه افزایش تواتر سرطان در مقایسه با نرخ های مبنای وقوعِ سرطان بازنماند.

UNSCEAR تواتر وقوع سرطان در جمعیت‌هایی که در معرض تابش بوده‌اند را عمیقاً بررسی کرد و تخمین زد که پرتوگیری‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌سیورت شانس مرگ در اثر سرطان را حدود ۳ تا ۵ درصد به ازای هر یک صد سیورت بالا می برد.

دیگر پیامدهای سلامتی

تابش دزهای بالا به قلب احتمال بیماری های قلبی ـ عروقی (مانند حمله‌های قلبی) را می افزاید. چنین پرتوگیری هایی می تواند در طول رادیودرمانی رخ دهد، گرچه دز روش‌های درمانی امروزی از دزهای قبلی کمتر است. در هر صورت، هیچ گواه علمی نیست که نشان دهد پرتوگیری‌های با دز کم به بیماری‌های قلبی ـ عروقی می انجامد.

UNSCEAR دریافت که افزایش نرخ وقوع آب مروارید در امدادگران چرنوبیل ممکن است به دزهای تابشی بالا مربوط باشد. همچنین، UNSCEAR اثرات تابش بر دستگاه ایمنی انسان را در بازماندگان بمباران های اتمی، امدادگران نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل، و بیماران در حال رادیودرمانی مطالعه کرده است. اثرات تابش بر دستگاه ایمنی با تخمین تغییرات در شمار سلول‌ها یا به کمک نوعی تحلیل کاربردی ارزیابی میشود. دزهای تابشی بالا با تخریب لنفوسیت‌ها دستگاه ایمنی را از کار می‌اندازد. اکنون، کاهش لنفوسیت‌ها به عنوان یک نشانگر اولیه برای تعیین دز تابشی پس از پرتوگیری حاد بکار می رود.

پیامدها برای نوادگان

سلول‌های زایشی، اسپرم یا تخمک، اگر آسیب ببینند، می‌توانند پیامدهای ارثی بیافرینند. علاوه بر این، تابش می تواند به رویان یا جنینی که در حال پرورش در رحم است مستقیماً آسیب بزند. مهم است که بین پرتوگیری بزرگسالان، کودکان، و رویان/جنین ها تمایز قایل شویم. UNSCEAR بررسی‌های جامعی بر پیامدهای بهداشتی پرتوگیری، ازجمله پیامدهای ارثی، در این گروه‌ها انجام داده است.

پیامدها برای کودکان

پیامدهای بهداشتی در انسان‌ها به شماری از عوامل فیزیکی بستگی دارد. به دلیل تفاوت‌های آناتومیکی و فیزیولوژیکی، اثرات پرتوگیری بر کودکان با نظیرش برای بزرگسالان فرق دارد. بعلاوه، چون کودکان جثه کوچکتری دارند و کمتر توسط بافت‌های بیرونی حفاظت میشوند، در یک شرایط پرتوگیری یکسان، دز اندام‌های داخلی آنها از نظیرش برای بزرگسالان بیشتر خواهد بود. همچنین، کودکان از بزرگسالان کوتاه قامت ترند، پس مستعد دریافت دزهای بالاتری از هسته گونه های پرتوزای نشسته بر سطح زمین هستند.

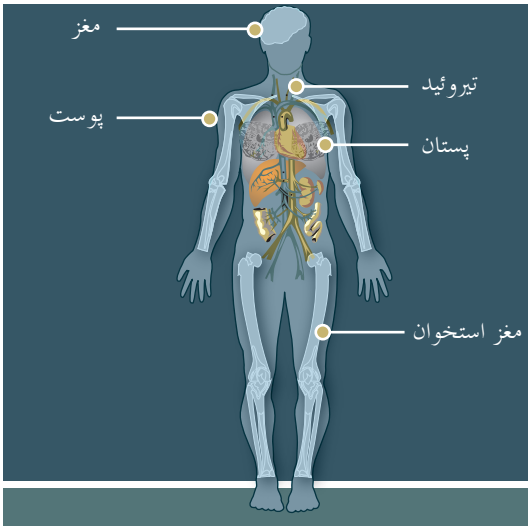
در پرتوگیری داخلی بخاطر اندازه کوچکتر کودکان و در نتیجه نزدیکی اندام‌هایشان به هم، هسته‌گونه‌های پرتوزای جمع شده در یک اندام بیش از آنچه در بزرگسالان هست بر اندام های دیگر می‌تابند. بسیاری عوامل دیگر مرتبط با سن هم هستند که در سوخت و ساز و فیزیولوژی دخیلند که دز در سن‌های گوناگون

را بسیار متغیر می کنند. چند هسته‌گونه پرتوزا هست که در پرتوگیری داخلی کودکان اهمیتی ویژه دارند. حوادثی که با رهاشدن ید ـ ۱۳۱ پرتوزا همراه‌اند می‌توانند سرچشمه‌های مهمی برای پرتوگیری تیروئید باشند. به ازای یک دریافت مشخص، دز تیروئید برای نوزادان حدود نُه برابر نظیرش برای بزرگسالان است. مطالعات سانحه نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل رابطه بین سرطان تیروئید و ید ـ ۱۳۱ که عمدتاً در این اندام جمع میشود را اثبات میکند.

طبق مطالعات اپیدمیولوژیکی، چنین پیداست که به‌دنبال یک پرتوگیری یکسان، جوانان زیر بیست سال تقریباً دو برابر بزرگسالان شانس ابتلا به سرطان خون دارند. به علاوه، کودکان زیر ده سال از این نظر مستعدترند؛ مطالعات دیگری بر این دلالت دارند که شانس مرگ در اثر لوکمی برای چنین کودکانی سه تا چهار برابر بزرگسالان است. مطالعات دیگر همچنین نشان داده‌اند که دختران زیر بیست سال مورد تابش دو برابر بیشتر از زنان بالای بیست سال مورد تابش احتمال ابتلا به سرطان پستان دارند. کودکان در مقایسه با بزرگسالان شانس بیشتری برای ابتلا به سرطان ناشی از پرتوگیری دارند؛ هرچند شاید این سرطان تا وقتی که آنها به سنی برسند که معمولاً سرطان در آن سن آشکار میشود بروز نکند.

UNSCEAR مطالب علمی را بررسی کرده است که حاکی از تواتر بیشتر وقوع سرطان در کودکان درمقایسه با بزرگسالان است. این تفاوت به نوع تومور و به سن و جنس کودک بستگی دارد. اصطلاح حساسیت پرتوی در مورد ایجاد سرطان به میزان تومورهای ناشی از پرتوگیری اشاره دارد. مطالعات درباره تفاوت حساسیت پرتوی بین بزرگسالان و کودکان نشان داده‌اند که بچه‌ها به سرطان تیروئید، مغز، پوست، و پستان، و نیز خون حساس‌ترند.

اندام‌های خاص حساس به پرتو در کودکان



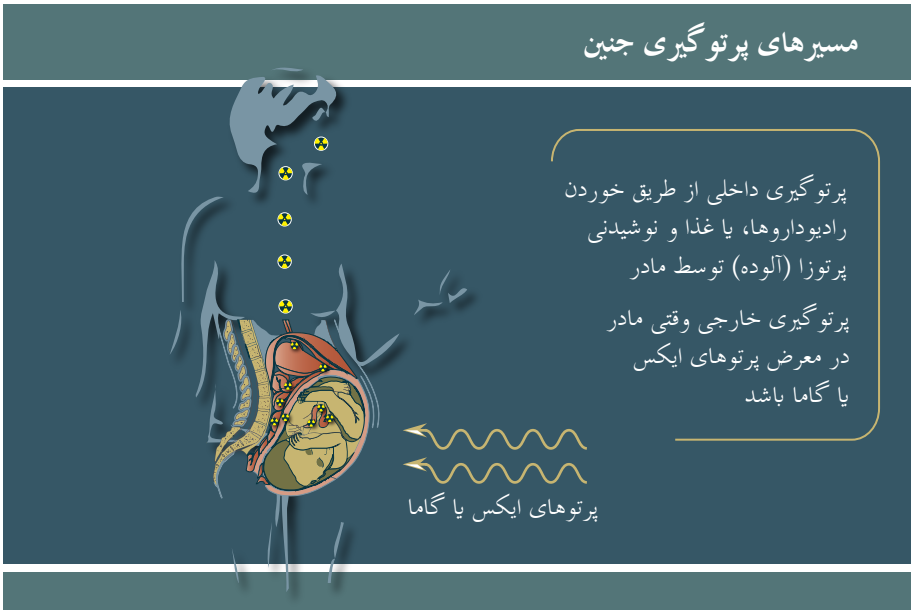
احتمال بروز سرطان مغز در کودکانی که پیش از ۲۰ سالگی پرتوگیری کنند دو برابر نظیرش برای بزرگسالانی است که همان دز را دریافت کنند. رابطه مشابهی برای بروز سرطان پستان دردختران هست.

تفاوتهای پیامدهای بهداشتی زودهنگام کودکان به‌دنبال دزهای بالا (نظیر مقادیری که در رادیودرمانی دریافت میشود) پیچیده است و می‌تواند برپایه برهمکنش بافتهای گوناگون و سازوکارهای زیستی توضیح داده شود. بعضی پیامدها (مانند آسیب‌های مغزی، آب مروارید، و نودول‌های تیروئید) در دوران کودکی نمایان‌تر از دوران بزرگ‌سالی‌اند و برخی پیامدها وجود دارند که بافت‌های کودکان در برابر آن مقاوم‌ترند (مانند ریه و تخمدان).

پیامدها برای کودک نازاده

یک رویان یا جنین می‌تواند به واسطه مواد پرتوزایی که توسط مادر از راه خوراک و نوشیدنی منتقل میشود (پرتوگیری داخلی) یا مستقیماً به‌صورت خارجی پرتوگیری کند. از آنجاییکه رویان درون رحم محفوظ است دز تابشی آن، در بیشتر رخدادهای پرتوگیری، از دز تابشی مادر کمتر میشود. ا این حال، جنین و رویان حساسیت خاصی به تابش دارند و حتا با وجود کمتربودن دزهای تابشی آنها از دزی که مادر بی‌واسطه دریافت می‌کند، عواقب بهداشتی پرتوگیری برای آنها می‌تواند جدی باشد. عقب‌افتادگی رشد، نقص عضو، کندذهنی، و سرطان می‌تواند ازجمله‌ی این عواقب باشد.

پرورش پستانداران در زهدان به سه مرحله تفکیک میشود. مرحله نخست از لقاح تا زمانی که رویان بر دیواره رحم مستقر میشود طول می کشد. مشخص است که در این مرحله، که برای انسان ها دو هفته



نخست بارداری است، تابش می‌تواند رویان را بکشد. بسیار دشوار است که بدانیم در این مرحله چه می گذرد؛ هرچند، اطلاعاتی که عمدتاً از آزمایش های جانوری به دست آمده است اثر مرگبار دزهای تابشی فراتر از آستانه های خاصی را تأیید می کند.

در مرحله بعدی، که در انسان‌ها از هفته دوم تا هشتم طول می کشد، خطر اصلی این است که تابش بر اندام‌های درحال رشد برسد که به نقص عضو و شاید مرگ در نزدیکی‌های زمان تولد بینجامد. آزمایش‌های جانوری نشان داده اند که اندام ها (برای نمونه، چشم‌ها، مغز، و اسکلت) اگر دقیقاً هنگام پرورش شان مورد تابش قرار گیرند مستعد ناهنجاری هستند.

مرحله سوم و پایانی بارداری پس از هفته هشتم آغاز میشود. بنظر می رسد در این مرحله بیش‌ترین آسیب متوجه دستگاه مرکزی اعصاب باشد. پیشرفت‌های زیادی در فهم اثرات پرتوگیری بر مغز کودکان متولد نشده حاصل آمده است. برای نمونه، از میان بازماندگان بمباران‌های اتمی، سی کودک از ۱۶۰۰ تایی که پیش از تولد دز یک گری دریافت کرده بودند ناتوانی ذهنی شدید داشتند.

درباره این که پرتوگیری رویان بتواند بعداً در طول زندگی باعث سرطان شود اتفاق نظری نیست. آزمایشهای جانوری در نشان دادن هرگونه رابطه مشخصی شکست خورده‌اند. UNSCEAR کوشیده است ریسکهای کلی شماری از پیامدهای پرتوگیری (مرگ، نقص عضو، ناتوانی ذهنی، و سرطان) برای کودکان متولد نشده را تخمین بزند. در کل، گمان می رود که از هر هزار کودک زنده ـ متولدشده‌ای که در رحم دزی برابر با یک‌صدم گری دریافت کرده‌اند، تنها دو نفرشان شانس ابتلا به این پیامدها را دارند. این را مقایسه کنید با 6 درصدی که به‌طور طبیعی همین پیامدها را دارند.

پیامدهای ارثی

تابش می‌تواند سلول‌هایی را که اطلاعات ژنتیکی را به نسل‌های آینده منتقل می‌کنند تغییر دهد که نتیجه‌اش ممکن است ناهنجاری‌های ژنتیکی باشد. مطالعه چنین ناهنجاری‌هایی سخت است، چون چیز زیادی درباره آسیب‌های ژنتیکی که انسان‌ها در اثر پرتوگیری متحمل میشوند نمی‌دانیم. بخشی از این ناآگاهی برای این است که بروز کامل پیامدهای ارثی چند نسل طول می‌کشد، و بخشی، مثلاً در مورد سرطان، برای این است که این پیامدها از آنهایی که از عوامل دیگر ناشی میشوند غیرقابل تمیز هستند.

بسیاری از رویان‌ها و جنین‌هایی که آسیب جدی می‌بینند دوام نمی‌آورند. براورد شده است که حدود نیمی از همه سقط‌جنین‌ها یک ماهیت ژنتیکی غیرعادی دارد. حتا اگر این جنین/رویان ها تا زمان تولد دوام بیاورند، احتمال مرگ نوزادان مبتلا به ناهنجاری‌های ژنتیکی پیش ازپنجمین سالگرد تولدشان تقریباً پنج برابر این احتمال برای کودکان معمولی است.

پیامدهای ژنتیکی در دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: انحراف‌های کروموزُمی که با تغییراتی در بعضی از ساختارهای کروموزمی همراهند، و خود جهش‌های ژنی. این پیامدها می‌توانند در نسل‌های بعدی پدیدار شوند، اما لزوماً چنین نمیشود.

در مطالعه کودکان والدینی که از بازماندگان بمباران‌های اتمی بودند هیچ نشانی از پیامدهای ارثی دیده نشد. این به‌معنای وارد نشدن آسیب به ایشان نیست؛ بلکه تنها به این معناست که پرتوگیری نه چندان زیاد حتا یک جمعیت نسبتاً بزرگ هم هیچ اثر مشاهده‌پذیری ندارد. با وجود این، مطالعات آزمایشگاهی بر گیاهان و جانورانی که در معرض دزهای بالایی قرار داده شده‌اند به روشنی نشان داده است که تابش می تواند پیامدهای ارثی ایجاد کند. بعید است انسان‌ها از این قاعده مستثنا باشند.

UNSCEAR تنها بر پیامدهای ارثی حاد تمرکز کرده است و براورد میشود که ریسک کلیِ این پیامدها حدود ۰/۵ ـ ۰/۳ درصد به ازای هر گری در نخستین نسل پس از پرتوگیری باشد؛ که حدود یک دهم احتمال وقوع سرطان کشنده است.

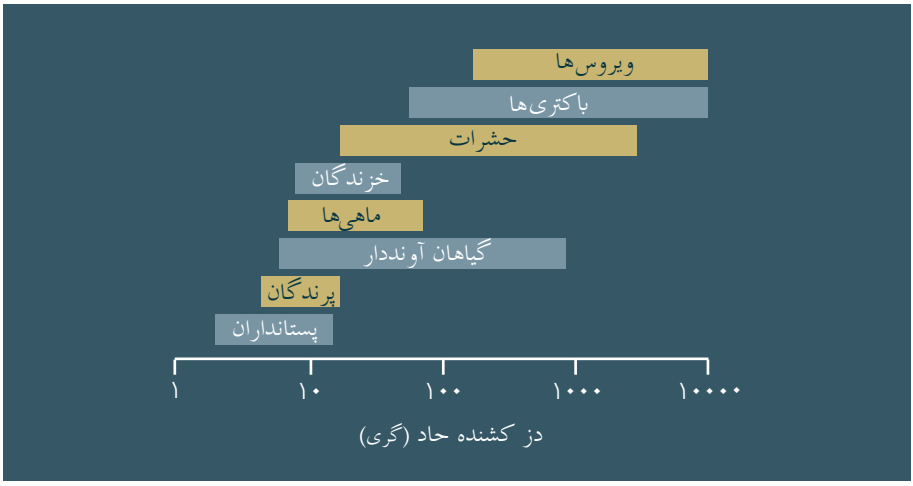
۲ـ۲ـ پیامدها برای گیاهان و جانوران

پیامدهای پرتوگیری برای گیاهان و جانوران هر روز بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند. در دهه‌های گذشته، دیدگاه غالب این بود که اگر زندگیِ انسان به‌درستی محافظت شود، به همینسان از گیاهان و جانوران نیز محافظت میشود. UNSCEAR پیامدهای پرتوگیری بر گیاهان و جانوران را ارزیابی کرد و دریافت که از دیدگاه نظری بعید است دزهایی در گستره ۱ تا ۱۰ گری بر جمعیت‌های گیاهی و جانوری اثر بگذارد، و نیز این که پاسخ هر نوع گیاه یا جانوری به پرتوگیری متفاوت از دیگری است (پستاندارن از همه دیگر جانوران حساس‌ترند). پیامدهایی که احتمالاً در سطح جمعیتی مهم هستند مربوط می‌شوند به باروری، مرگ ومیر، و جهش زایی. **دگرگونی‌های تولیدمثلی** ، هم چون تغییر تعداد فرزندان، نسبت به مرگ‌ومیر شاخص حساس‌تری برای اثرات تابش است.

دزهای کشنده دزهایی هستند که پنجاه درصد موجوداتی که در معرض تابش باشند را می‌کشند. دیده شده است برای گیاهانی که مدتی به نسبت کوتاه پرتوگیری کنند (**پرتوگیری حاد**) ، گستره دزهای کشنده از کمتر از ۱۰ گری تا حدود ۱۰۰۰ گری است. در کل، گیاهان بزرگ‌تر از گیاهان کوچک‌تر حساسیت پرتوی بالاتری دارند. گستره دزهای کشنده برای پستانداران کوچک از ۶ تا ۱۰ گری است، و برای بزرگترها حدود ۲/۵ گری. بعضی از حشرات، باکتری‌ها، و ویروس‌ها دزهای بیش از ۱۰۰۰ گری را می‌توانند تحمل کنند.

یک منبع اصلی اطلاعات مشاهداتی بوده که از پرتوگیری گیاهان و جانوران در مناطق پیرامون نیروگاه چرنوبیل به دست آمده است. UNSCEAR مسیرهایی را که محیطزیست از آن راه‌ها پرتوگیری

گستره‌های دزهای کشنده حاد برای برخی از گیاهان و جانوران



کرده بود ارزیابی کرد و روش‌های نوینی برای ارزیابی پیامدهای بالقوه چنین پرتوگیری‌هایی پرورانید.

اخیراً، پس از حادثه نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما ـ دایچی، UNSCEAR برای گیاهان و جانورانی برگزیده، دزهای حاصل از پرتوگیری و پیامدهای مرتبط با این دزها را تخمین زد و نتیجه گرفت که این پرتوگیری ها در کل بسیار کمتر از آنی بوده اند که پیامدهای حاد را بتوان مشاهده کرد. با وجود این، تغییرات در **نشان گرهای زیستی**، که شاخص‌هایی برای یک بیماری خاص یا وضعیت فیزیولوژیکی یک ارگانیسم (بویژه برای پستانداران) هستند نمی‌توانند نادیده گرفته شوند؛ هرچند اهمیتشان در بی‌نقصی جمعیتی این ارگانیسم‌ها روشن نباشد.

باید توجه کرد که اقدام‌های حفاظتی و اصلاحی انجام‌شده برای کاهش پرتوگیری انسان‌ها می‌تواند اثراتی بسیار فراتر داشته باشد؛ برای نمونه، می‌تواند بر اموال و خدمات زیست محیطی، منابع مورد استفاده در کشاورزی، جنگلداری، شیلات و گردشگری؛ و امکانات مورد استفاده در فعالیت‌های معنوی، فرهنگی، و تفریحی اثر بگذارد.

۲ـ۳ـ رابطه دزهای تابشی با پیامدها

UNSCEAR هنگام جمع‌بندی رابطه بین دزهای تابشی و پیامدهای بهداشتی بر اهمیت تفکیک بین مشاهده پیامدهای بهداشتی موجود در جمعیت‌های در معرض پرتوگیری و پیش‌بینی‌های نظری نظر پیامدهای محتمل آتی تأکید کرده است. در هر دو صورت، احتساب هرگونه شک و بیدقتی؛ چه در اندازه‌گیری‌های تابشی و ملاحظات آماری، و چه در دیگر موارد؛ مهم است.

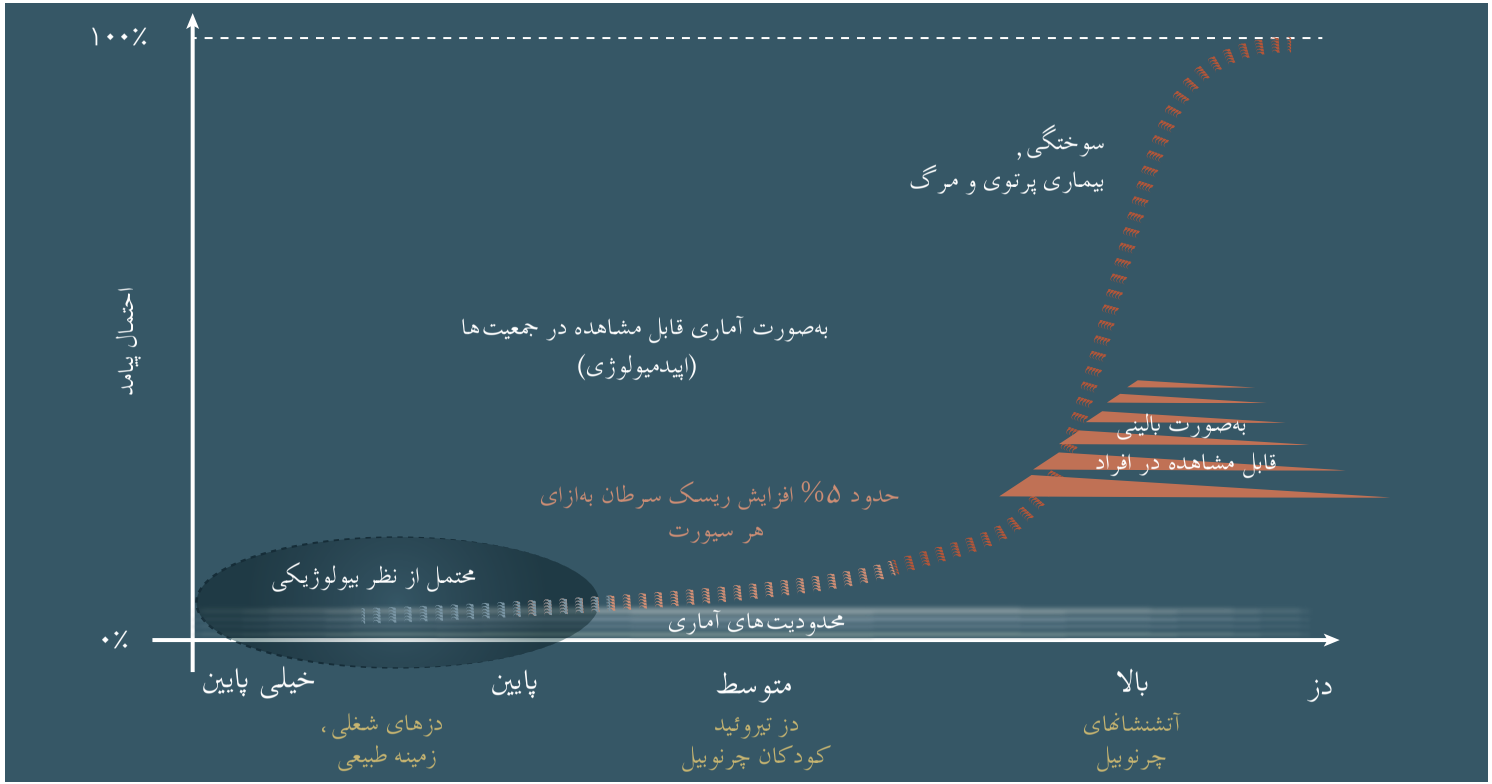
با تکیه بر دانش امروزی، اگر پیامدهای بهداشتی (نظیر سوختگی پوست) در کسانی که بیش از ۱ گری دز دریافت کرده‌اند پدیدار شود، می‌توان با آن پیامدها را یقین به پرتوگیری نسبت داد. چنین دزهایی در سوانح پرتوی محتمل است؛ همچون دزهایی که بعضی امدادگرها طی سانحه نیروگاه هسته ای چرنوبیل دریافت کردند، یا بعضی از بیماران در سوانح پرتودرمانی دریافت میکنند.

نسبت‌دادن فزونی رخداد پیامدهای بهداشتی دیرهنگام (نظیر سرطان) در یک جمعیت در معرض پرتوگیری به دزهای تابشی میانقدر با استفاده از روش‌های همه‌گیرشناسی ممکن میشود، به شرطی که این فزونی آن‌قدر زیاد باشد که بر عدم‌یقین‌ها [آماری] چیره شود. با وجود این، در حال حاضر، هیچ نشانگر زیستی نیست که تشخیص دهد یک سرطان از پرتوگیری ناشی شده است، یا نه.

جایی که تراز پرتوگیری کم یا بسیار کم بود (بیشتر در پرتوگیری‌های محیطی و شغلی)، به‌دلیل وجود عدم‌یقین‌های آماری و عدم‌یقین‌های دیگر، تغییرات در رخداد پیامدهای بهداشتی دیررس تأیید نشد. با وجود این، چنین پیامدهایی را نمی‌توان نادیده گرفت.

در مورد پیامدهای بهداشتی ممکن در آینده، درکی از چگونگی تخمین احتمال وقوع این پیامدها برای دزهای زیاد و میانقدر وجود دارد. با وجود این، برای دزهای کم و بسیار کم، باید بر فرضیاتی تکیه کرد و مدلهای ریاضی‌به‌کار برد تا احتمال وقوع پیامدهای بهداشتی را با اعدادی بسیار نامطمئن تخمین زد. درنهایت، UNSCEAR برای دزهای تابشی کم و بسیار کم، به‌دلیل عدم‌یقین‌های غیرقابل قبول در این تخمین‌ها، به‌کارنبردن چنین مدل‌هایی در ارزیابی‌هایش برای تخمین تعداد پیامدهای بهداشتی یا مرگ‌ها (برای مثال پس از سوانحی چون چرنوبیل و فوکوشیما-دایچی) را برگزیده است. با وجود این، برای سنجش‌های بهداشت عمومی یا مقاصد حفاظت پرتوی، شاید استفاده از چنین محاسباتی، بشرط احتساب عدم‌یقین‌ها و بیان شفاف محدودیت‌ها مفید باشد.

رابطه دزهای تابشی و پیامدهای بهداشتی

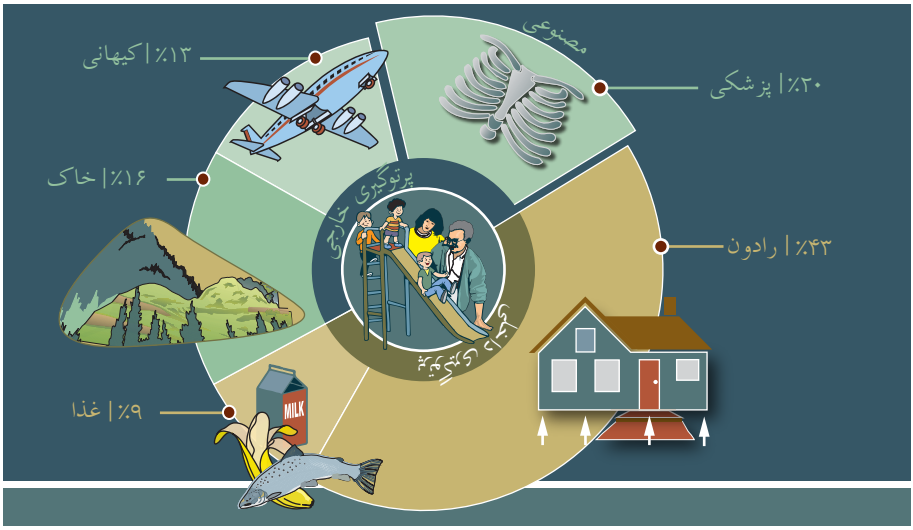


۳. تابش از کجا می‌آید؟

ما پیوسته در معرض تابش منابع متعددی هستیم. همه جانداران روی زمین در محیط‌هایی غرق در تابش زمینه طبیعی زیسته، و تکامل یافته‌اند. مدت زیادی نیست که انسان‌ها و دیگر جانداران در معرض منابع مصنوعی تابشی که در تقریباً یکصد سال گذشته ساخته شده‌اند نیز قرار گرفته‌اند. بیش از هشتاد درصد پرتوگیری ما از منابع طبیعی است و تنها بیست درصد پرتوگیری از منابع مصنوعی ساخته دست بشر است؛ که این دومی بیشترش به کاربردهای تابش در پزشکی مربوط میشود. در این کتاب، با یک دیدگاه کلی، پرتوگیری برحسب منابعش، با تکیه بر دریافت عموم مردم، دسته بندی میشود. برای مقاصد انتظامی (مثلا حفاظت پرتوی) پرتوگیری به گروه‌های انسانیِ متفاوت منتسب میشود. پس در مقوله اخیر، بیش‌تر اطلاعات به بیماران (که به واسطه کابردهای پزشکی تابش پرتوگیری می‌کنند) وبه کسانی که در محیط های کاری پرتوگیری می‌کنند مربوط میشود.

راه دیگر دسته‌بندی پرتوگیری چگونگی تابیدن پرتو بر ماست. مواد پرتوزا و تابش موجود در محیط می‌توانند از بیرون بر بدن ما بتابند **(پرتوگیری خارجی)**. اما ممکن است ما موادی را از هوا استنشاق کنیم، موادی را بهمراه خوراک و آب ببلعیم، یا موادی را از طریق پوست و زخم‌ها جذب کنیم. همه اینها از درون بر ما می‌تابند **(پرتوگیر ی داخلی)**. کل جهان را که در نظر بگیریم، دزهای ناشی از پرتوگیری‌های داخلی و خارجی تقریباً برابر است.

توزیع جهانی پرتوگیری (میانگین سهم منابع مختلف در پرتوگیری انسان)



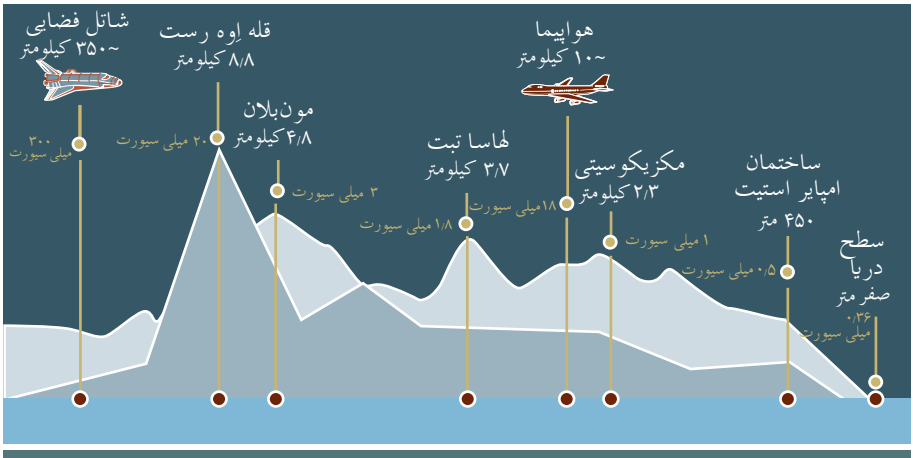
۱ـ۳ـ منابع طبیعی

از آغاز پیدایش زمین، محیطش در معرض تابش از فضای بیرونی و از مواد پرتوزای درون پوسته و هسته‌اش بوده است. برای خلاصی از تابش این منابع طبیعی، که در واقع مسبب بیشترین پرتوگیری مردمان جهانند، هیچ راهی نیست. دز مؤثر هر فرد، بسته به این که کجا زندگی می‌کند، از حدود ۱ تا بیش از ۱۰ میلی‌سیورت تغییر می‌کند و میانگینی حدود ۲/۴ میلی‌سیورت دارد. ساختمان‌ها می‌توانند گاز پرتوزای خاصی به نام رادون را به تله بیندازند، یا خود مواد ساختمانی ممکن است حاوی هسته‌گونه‌های پرتوزایی باشند که پرتوگیری را می‌افزایند. گرچه این منابع طبیعی هستند، پرتوگیری ما از آنها می‌تواند با انتخاب ما، مثلاً در جا و روش زندگی یا در آنچه می‌خوریم و می‌نوشیم، تغییر کند.

منابع کیهانی

پرتوهای کیهانی منبع طبیعی مهمی برای پرتوگیری خارجی هستند. بیشتر این پرتوها از عمق فضای میان-ستاره‌ای سرچشمه می‌گیرند و مقداری از آنها توسط جرقه‌های خورشیدی گسیل میشوند. این‌ها مستقیماً بر زمین می‌تابند و با جَو برخورد می‌کنند که نتیجه‌اش تولید انواع تابش و مواد پرتوزاست. اینها منبع تابش غالب در فضای بیرونی محیط زمین هستند. درحالیکه جو و میدان مغناطیسی زمین پرتوهای کیهانی را به‌طرز چشم‌گیری می‌کاهند، بخش‌هایی از کره زمین بیش از بقیه در معرض تابش قرار دارند. چون پرتوهای کیهانی توسط میدان‌های مغناطیسی زمین، بطرف قطب‌های شمال و جنوب

دزهای سالانه ناشی از تابش کیهانی*



*با فرض پرتوگیری در این نقاط برای یک سال

منحرف میشوند، این دو قطب بیش از نواحی استوایی پرتو دریافت می‌کنند.

همچنین، مقدار این نوع پرتوگیری با افزایش ارتفاع زیاد میشود؛ چون در بلندی‌ها هوای کمتری نقش سپر را بازی می‌کند. بدینسان، مردمی که در مناطق هم سطح دریا زندگی می‌کنند سالانه به‌طور میانگین دز مؤثری حدود ۰/۳ میلی‌سیورت از منابع کیهانی دریافت می‌کنند، که تقریباً ۱۰ تا ۱۵ درصد کل دز دریافتی ایشان از منابع طبیعی است. این دز برای مردمانی که در ارتفاع دو هزار متر به بالا زندگی می کنند چند برابر است. مسافران هوایی می‌توانند دزهایی حتا بیش از این دریافت کنند؛ چرا که پرتوگیری از منابع کیهانی نه تنها به ارتفاع، بلکه به طول پروازها هم بستگی دارد. برای نمونه، در ارتفاع‌های پایاسِیر، میانگین دز مؤثر به ازای هر ده ساعت پرواز ۰/۰۸ ـ ۰/۰۳ میلی‌سیورت است. به‌عبارت دیگر، پرواز رفت و برگشت نیویورک ـ پاریس برای هر مسافر حدود ۰/۰۵ میلی‌سیورت پرتوگیری بهمراه دارد. این دز تقریباً با دز مؤثری که یک بیمار از یک تصویربرداری ایکس قفسه سینه دریافت می‌کند برابر است. گرچه این دزهای مؤثر تخمینی دریافتی هر مسافر در طول یک پرواز کم است، دزهای جمعی به دلیل فراوانی شمار مسافران و شمار پروازها در دنیا می‌تواند کاملاً زیاد باشد.

پرتوگیری در محل کار

دزهای ناشی از منابع کیهانی به خصوص برای کسانی اهمیت دارد که بطور مرتب پرواز می کنند؛ کسانی همچون خلبانان و خدمه پرواز که سالانه به‌طور میانگین حدود ۳-۲ میلی سیورت دز دریافت می‌کنند. دزهای پرتوی برای شماری از مأموریت‌های فضایی نیز اندازه‌گیری شده است. برای مأموریت های فضاییِ کوتاه، گستره این دزها، بسته به فعالیت خورشید، ۲۷-۲ میلی‌سیورت گزارش شده است. با وجود این، هر فضانورد در یک مأموریت چهارماهه به ایستگاه فضایی بین‌المللی، که در مداری بفاصله ۳۵۰ کیلومتری دور زمین می‌چرخد، دز مؤثری حدود ۱۰۰ میلی‌سیورت دریافت می‌کند.

منابع زمینی

خاک

هر چیزی درون و روی کره زمین حاوی هسته‌گونه‌های پرتوزای ازلی است. این هسته‌گونه‌های بسیار درازعمر (مانند پتاسیم ـ ۴۰، اورانیم ـ ۲۳۸، و توریم ـ ۲۳۲) درکنار هسته‌گونه‌های ناشی از واپاشی آنها (مانند رادیم ـ ۲۲۶ و رادون ـ ۲۲۲) از پیش از این که زمین به شکل کنونی‌اش درآید در حال گسیل تابش بوده‌اند. UNSCEAR براورد می‌کند که دز مؤثر سالانه‌ای که هرکس در جهان به‌طور میانگین از پرتوگیری خارجی منابع زمینی دریافت می‌کند حدود ۰/۴۸ میلی‌سیورت است.

پرتوگیری خارجی از جایی به جای دیگر تغییراتی قابل‌ملاحظه دارد. مطالعاتی که برای نمونه در فرانسه، آلمان، ایتالیا، ژاپن، و امریکا انجام شده است نشان می‌دهد حدود ۹۵ درصد جمعیت این کشورها در مناطقی زندگی می‌کنند که دز سالانه میانگین در فضای باز ۰/۳ میلی‌سیورت تا ۰/۶ میلی‌سیورت است. با این حال، در بعضی مناطق این کشورها، مردم ممکن است دزهای سالانه‌ای بیش از ۱ میلی سیورت دریافت کنند. مناطقی دیگر در جهان هست که پرتوگیری از منابع زمینی در آنها حتا از این هم بیش‌تر است. برای مثال، در ساحل جنوب غربی کرالا در هند، نواری به‌طول ۵۵ کیلومتر با تراکم جمعیتی بالا شنهای مملو از توریم دارد؛ مردم این منطقه سالانه به طور میانگین ۳/۸ میلی‌سیورت دز دریافت می‌کنند. نواحی شناخته‌شده دیگری با مقدار بالایی از تابش زمینی طبیعی در برزیل، چین، جمهوری اسلامی ایران، ماداگاسکار، و نیجریه هست.

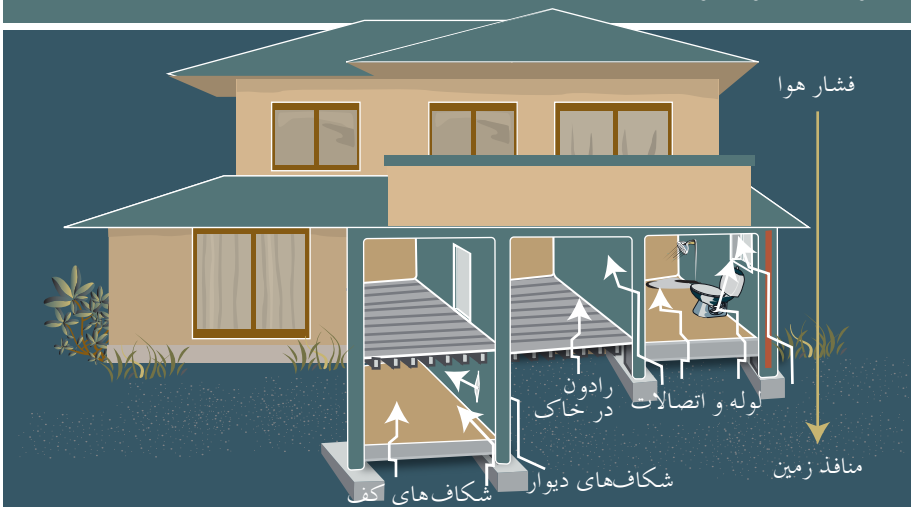
گاز رادون

رادون ـ ۲۲۲ هسته‌گونه پرتوزایی گازی‌شکل است که معمولاً از خاک بلند میشود. این گاز در زنجیره واپاشی اورانیم ـ ۲۳۸، که در خاک و سنگ‌های زمین هست، تولید میشود. از راه تنفس، بخشی از محصولات کوتاه‌عمر واپاشی رادن (بیشتر پلونیم ـ ۲۱۸ و ۲۱۴) در ریه‌ها بجا میمانند و سلول‌های دستگاه تنفسی را با ذره‌های آلفا بمباران می‌کند. بدین سبب است که رادون عامل اصلی سرطان ریه در سیگاری‌ها و غیرسیگاری‌هاست؛ هرچند، سیگاری‌ها به دلیل ارتباط شدید بین سیگارکشیدن و پرتوگیری از رادون بسیار آسیب‌پذیرترند.

رادون در همه‌جای جو هست و می‌تواند مستقیماً از راه زیرزمین و کف به ساختمان‌ها نفوذ کند و تراکمش (مقدار فعالیت در یک حجم هوا برحسب تعداد واپاشی بر زمان) زیاد شود. در اصل، وقتی خانه‌ها گرم میشود، هوای گرم بالا می‌رود و از راه پنجره‌ها و درز های بالای ساختمان می‌گریزد. این پدیده در پی و کف ساختمان فشار را کم می‌کند و در واقع باعث میشود مکش فعالانه گاز رادون از خاک زیرین و از راه ترک ها و درزهای کف ساختمان (برای مثال، در پیرامون لوله‌کشی‌ها) شکل بگیرد.

میانگین جهانی تراکم رادون در فضاهای داخلی حدود ۵۰ بکرل بر مترمکعب است. با این حال، این میانگین تغییرات زیاد تراکم رادون در جاهای گوناگون را نشان نمیدهد. در کل، تراکم میانگین کشورها بسیار متنوع است و از کمتر از ۱۰ بکرل بر مترمکعب در قبرس، مصر و کوبا تا بیش از ۱۰۰ بکرل بر مترمکعب در جمهوری چک، فنلاند، و لوکزامبورگ در تغییر است. در بعضی کشورها مانند کانادا، سوئد، و سویس خانه‌هایی هست که تراکم رادن در آنها بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بکرل بر مترمکعب است. با وجود این، تعداد خانه‌هایی با چنین تراکم‌های بسیار بالا خیلی اندک است. ساختار زمین شناختی محل، نفوذپذیری خاک، مواد ساختمانی و تهویه ساختمان‌ها ازجمله مسبب‌های این تغییرات هستند.

راههای ورود رادون به ساختمانها



از این میان، تهویه داخل ساختمان، که به آب‌وهوا بستگی دارد، یک عامل کلیدی است. اگر ساختمان‌ها بخوبی تهویه شوند، چنان که در مناطق گرمسیری میشوند، بعید است که تجمع رادون اهمیت پیدا کند. اما، در مناطق معتدل یا سرد، که تمایل به تهویه اماکن کمتر است، رادون می‌تواند بطور قابل‌توجهی متراکم شود. بدینسان، اثر تهویه محدود هنگام طراحی ساختمان‌های حافظ انرژی اهمیت می‌یابد. در بسیاری از کشورها، طرح‌های وسیعی برای اندازه‌گیری تراکم رادون اجرا، و اصولی برای اجرای معیارهای کاهش تراکم رادون در فضاهای داخلی برقرار شده است.

مقدار رادون در آب معمولاً بسیار کم است؛ هرچند تراکم رادون در بعضی از منابع آب (مثلاً چاه‌های عمیق در هلسینکی و فنلاند، و هات اسپرینگس در آرکانزانس، امریکا) بسیار بالاست. رادون آب می‌تواند باعث افزایش تراکم رادون در هوا شود؛ بویژه هنگام دوش‌گرفتن در حمام. با این حال، UNSCEAR بر این نظر است که دز ناشی از رادون آشامیده‌شده بهمراه آب در مقایسه با دز ناشی از استنشاق همان مقدار رادون کمتر است. UNSCEAR میانگین دز مؤثر سالانه ناشی از رادون را ۱/۳ میلی‌سیورت تخمین می‌زند که حدود نیمی از دزی است که هرکس از همه منابع طبیعی دریافت می‌کند.

پرتوگیری در محل کار

در بعضی از کارگاهها، استنشاق گاز رادون عامل غالب در پرتوگیری کارکنان است. رادون منبع اصلی پرتوگیری در همه انواع معادن زیرزمینی است. میانگین دز مؤثر سالانه یک معدنکار زغالسنگ حدود ۲/۴ میلی سیورت و ازان دیگر معدنکاران حدود ۳ میلی سیورت است. در صنعت هسته‌ای، میانگین دز مؤثر سالانه هریک از کارکنان حدود یک میلی سیورت است که عمدتاً ناشی از مواجهه با رادون در معادن اورانیم است.

منابع موجود در آب و غذا

آب و غذا هم می‌توانند حاوی هسته‌گونه‌های پرتوزای ازلی و بعضی دیگر از هسته‌گونه‌های پرتوزا باشند که عمدتاً منشأ طبیعی دارند. هسته‌گونه‌های پرتوزا می‌توانند از سنگ‌ها و مواد معدنی موجود در خاک و آب به گیاهان، و از آن‌جا به جانوران منتقل شوند. به این ترتیب، دزهای تابشی بسته به تراکم هسته گونه‌های پرتوزا در آب و غذا، و بسته به عادات غذایی محلی تغییر می‌کنند.

برای نمونه، ماهی و صدف مقادیر بالایی سرب ـ ۲۱۰ و پلونیم ـ ۲۱۰ دارند، پس ممکن است کسانی که بیشتر غذای دریایی می‌خورند دز بیشتری از مردم معمولی دریافت کنند. همچنین، مردمان نواحی قطبی، که زیاد گوشت گوزن قطبی می‌خوردند، دزهای به‌نسبت بالاتری دریافت می‌کنند. گوشت گوزن های قطبی حاوی مقادیر زیادی از پلونیم ـ ۲۱۰ است که در گلسنگهایی که می‌چرند جمع است. UNSCEAR میانگین دز مؤثر ناشی از منابع طبیعی موجود در آب و غذا را ۰/۳ میلی‌سیورت تخمین می‌زند که عمدتاً به پتاسیم ـ ۴۰، و به هسته‌گونه‌های زنجیره‌های اورانیم ـ ۲۳۸ و توریم ـ ۲۳۲ بازمیگردد.

علاوه بر هسته‌گونه‌های پرتوزای ناشی از منابع طبیعی، هسته‌گونه‌های پرتوزای ناشی از منابع مصنوعی هم می‌توانند در مواد خوراکی باشند. با وجود این، سهم دز ناشی از تخلیه قانونی این هسته گونه‌های پرتوزا در محیطزیست معمولاً بسیار کم است.

۲ـ۳ـ منابع مصنوعی

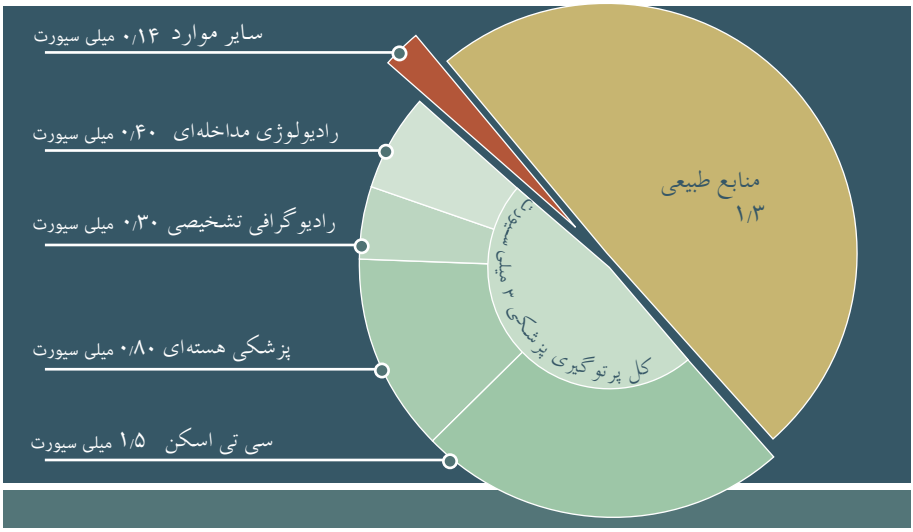
در دهه‌های گذشته، که دانشمندان استفاده از انرژی اتم برای مقاصد بسیار گوناگون، از کاربردهای نظامی تا پزشکی (مثلاً درمان سرطان) گرفته تا تولید برق و کاربردهای خانگی (مثلاً آشکارساز دود)، را آموخته‌اند؛ کاربرد پرتوها بشکل چشمگیری زیادتر شده است. این کاربردها و دیگر منابع مصنوعی بر دز تابشی ناشی از منابع طبیعی افراد و نیز کل جمعیت افزوده است.

دزهای فردی ناشی از منابع مصنوعی تابش بسیار متغیرند. بیشتر مردم دز به نسبت کوچکی از این منابع دریافت می‌کنند، اما اندک افرادی هستند که چندین برابر دز میانگین می‌گیرند. منابع مصنوعی تابش معمولاً با تدابیر حفاظت پرتوی بخوبی کنترل می‌شوند.

کاربردهای پزشکی

استفاده از تابش در پزشکی برای تشخیص و درمان بیماری‌های خاص چنان رواج یافته است که بی شک اصلی‌ترین منبع مصنوعی پرتوگیری در جهان امروز است. بطور میانگین، پرتوگیری از منابع پزشکی ۹۸ درصد پرتوگیری از همه‌منابع مصنوعی را شکل می‌دهد، که پس از منابع طبیعی، دومین سهم بزرگ در پرتوگیری مردم جهان را دارد؛ که تقریباً بیست درصد کل پرتوگیری‌ها میشود. بیشتر این پرتوگیری در کشورهای صنعتی، که منابع بیش‌تری برای مراقبت‌های پزشکی دارند و دستگاه‌های رادیولوژی بسیار رایج‌ترند، رخ می‌دهد. حتا در بعضی کشورها، میانگین دز مؤثر سالانه برای کاربردهای پزشکی و برای منابع طبیعی به هم نزدیک شده است.

میانگین دز موثر هر نفر در امریکا (۱۳۸۶ ه.ش. - ۲۰۰۷ م.)



تفاوتهای اساسی و آشکاری بین پرتوگیری پزشکی و بیشتر انواع دیگر پرتوگیری هست. پرتوگیری پزشکی نوعاً تنها بخشی از بدن را درگیر می‌کند، درحالی‌که پرتوگیری‌های دیگر اغلب کل بدن را. بعلاوه بیماران معمولاً در گستره سنی بالاتری نسبت به عموم مردم پراکنده‌اند. جدا از این، هنگام

مقایسه دقیق دزهای ناشی از پرتوگیری پزشکی با دزهای ناشی از دیگر پرتوگیری‌ها، باید درنظر گرفت که بیماران مستقیماً از پرتوگیری‌شان سود می‌برند.

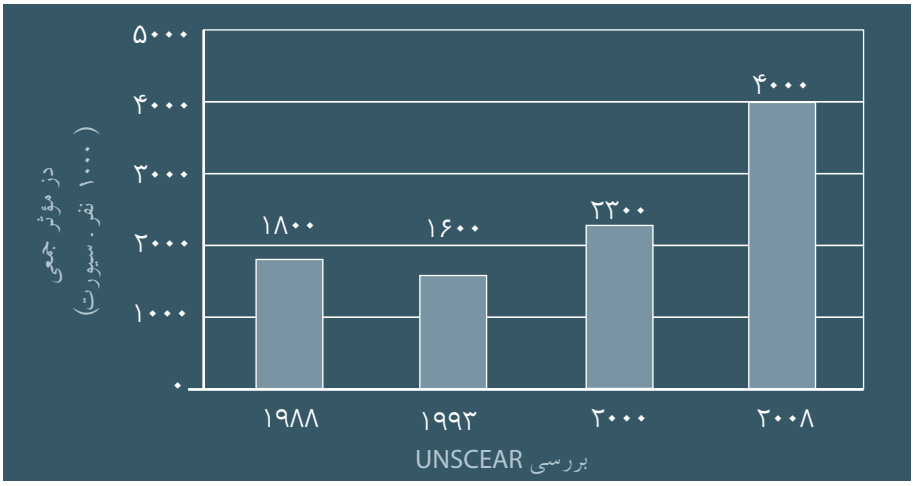
رشد شهرنشینی در کنار بهبود تدریجی استانداردهای زندگی ضرورتاً به‌معنای این است که مردمان بیشتری می‌توانند به مراقبت‌های بهداشتی دسترسی یابند. درنتیجه، دز جمعیت از راه پرتوگیری‌های پزشکی همچنان در جهان زیاد میشود. UNSCEAR اطلاعات مربوط به رویه‌های تشخیصی و درمانی را همواره گردآوری کرده است. طبق این آمار، در نظرسنجی بین سالهای ۱۳۸۶ ـ ۱۳۷۶ ه.ش. (۲۰۰۷ ـ ۱۹۹۷ م.) سالانه حدود ۳/۶ میلیارد بار رویه‌های پرتوپزشکی بکار رفته است که درمقایسه با ۲/۵ میلیارد باری که در نظرسنجی بین سالهای ۱۳۷۵ ـ ۱۳۷۰ ه.ش. (۱۹۹۶ ـ ۱۹۹۱ م.) بکار رفته رشدی تقریباً ۵۰ درصدی را نشان می‌دهد.

کاربردهای تابش در پزشکی در سه گونه رادیولوژی (ازجمله رویه‌های مداخله‌ای)، پزشکی هسته ای، و رادیوتراپی دسته‌بندی میشود. کاربردهای دیگری از قبیل طرح‌های غربالگری سلامت و مشارکت داوطلبانه در پژوهش‌های پزشکی و زیست‌پزشکی و تشخیصی یا درمانی در ارزیابی‌های منظم UNSCEAR نمی‌گنجد.

رادیولوژی تشخیصی عبارت است از تحلیل تصاویر بدست آمده از راه پرتوهای ایکس، مانند آنکه در پرتونگاری ساده (مثلاً قفسه سینه یا دندان)، فلوروسکپی (مثلاً با خوردن یا تنقیه باریم) و مقطع نگاری رایانشی (CT) انجام میشود. UNSCEAR به شیوه‌های تصویربرداریی که تابش غیریون‌ساز را بکار می برند، همچون فراصوت یا مقطع‌نگاری تشدید مغناطیسی (MR) نمی‌پردازد. در رادیولوژی مداخله‌ای از رویه‌های تحت هدایت تصویری کمی تهاجمی برای تشخیص و درمان بیماری‌ها (مثلاً برای هدایت یک کاتتر در رگ) استفاده میشود.

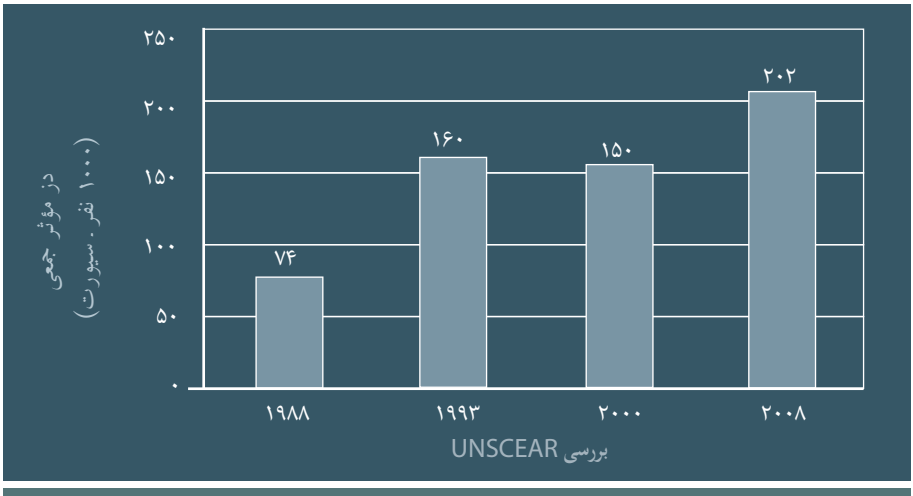
به دلیل استفاده گسترده‌تر از CT و دز قابل توجه آن در هر آزمون، میانگین جهانی دز مؤثر از رویه‌های رادیولوژیکی تشخیصی از ۳۵/میلی‌سیورت ۰ در سال ۱۳۶۷ ه.ش. (۱۹۸۸ م.) به ۰/۶۲ میلی سیورت در سال ۱۳۸۶ ه.ش. (۲۰۰۷ م.) رسیده است؛ یعنی دو برابر شده است. بر اساس آخرین بررسی UNSCEAR در حال حاضر، ۴۳ درصد کل دز جمعی ناشی از رادیولوژی به سی‌تی‌اسکن مربوط میشود این آمار تفاوتهای منطقه ای دارد. حدود دوسوم همه تصویربرداری‌های تشخیصی برای ۲۵ درصد جمعیت جهان که در کشورهای صنعتی زندگی می‌کنند انجام میشود. برای ۷۵ درصد باقی جمعیت جهان، تواتر سالانه این گونه تصویربرداری‌ها، حتا تصویربرداری‌های ساده ایکس دندان تقریباً ثابت مانده است.

پرتوگیری جهانی از رادیولوژی (۱۳۸۷ - ۱۳۶۷ ه.ش. ؛ ۲۰۰۸ - ۱۹۸۸ م.)



پزشکی هسته‌ای عبارت است از داخل کردن مواد پرتوزای باز (به عبارتی به‌صورت محلول و بی‌پوشینه) به بدن، بیشتر برای تهیه تصاویری حاوی اطلاعاتی از ساختار یا کارکرد یک اندام و گاهی برای درمان بیماریهایی خاص مانند پرکاری تیروئید و سرطان تیروئید. به‌طور کلی، یک هسته‌گونه پرتوزا را به‌شکل دارویی پرتوزا درمی‌آورند که معمولاً به‌صورت وریدی یا خوراکی تجویز میشود. سپس، این داروی پرتوزا به پیروی از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی‌اش در بدن

پرتوگیری جهانی از پزشکی هسته‌ای (۱۳۸۷ - ۱۳۶۷ ه.ش. ؛ ۲۰۰۸ - ۱۹۸۸ م.)



پخش میشود تا تصویربرداری را میسر کند. زان‌پس، تابش گسیلی از هسته‌گونه پرتوزای موجود در بدن برای تولید تصاویری تشخیصی تحلیل میشود، یا برای درمان بیماری‌ها به‌کار گرفته میشود.

تعداد تصویربرداری‌های تشخیصی پزشکی هسته‌ای در کل جهان از حدود ۲۴ میلیون در سال ۱۳۶۷ ه.ش. (۱۹۸۸م.) به‌حدود ۳۳ میلیون در سال ۱۳۸۶ ه.ش. (۲۰۰۷م.) افزایش یافت. حاصل این رشد افزایش قابل توجه دز مؤثر جمعی سالانه از ۷۴۰۰۰ به ۲۰۲۰۰۰ نفرسیورت بود. کاربردهای درمانی پزشکی هسته‌ای نوین هم رو به ازدیاد است و در کل جهان به ۰/۹ میلیون بیمار در سال رسیده است. کاربرد پزشکی هسته‌ای نیز توزیعی نابرابر در جهان دارد و نود درصد موارد آن در کشورهای صنعتی اتفاق می‌افتد.

پرتودرمانی (که رادیوتراپی هم نامیده میشود) از تابش برای درمان بیماریهای گوناگون، بویژه سرطان و البته تومورهای خوش‌خیم نیز، استفاده می‌کند. رادیوتراپی خارجی به درمان بیمار با استفاده از منبع تابشی بیرون از بدن او اشاره دارد و تله‌تراپی *[دوردرمانی]* نامیده میشود. در دوردرمانی از دستگاهی حاوی یک چشمه پرتوزای قوی (معمولاً کبالت ـ ۶۰) یا یک دستگاه ولتاژ بالایی که تابش تولید کند (مثل شتابدهنده خطی) استفاده میشود. درمان می‌تواند باجادادن موقت یا همیشگی چشمه‌های پرتوزای فلزی یا بسته‌ای در بدن بیمار هم انجام شود، که در این صورت به آن براکی‌تراپی *[نزدیک‌درمانی یا درمان داخل حفره‌ای]* می‌گویند.

در سراسر جهان، از سال ۱۳۷۶ ه.ش. (۱۹۹۷ م.) تا ۱۳۸۶ ه.ش. (۲۰۰۷ م.)، بر اساس یک تخمین، ۱/ ۵ میلیون بیمار در سال با رادیوتراپی درمان شدند. این مقدار بیش از تخمین مشابه ۴/۳ میلیون بیمار برای دوره‌ای مشابه به‌مبدأ ۱۳۶۷ ه.ش. (۱۹۸۸ م.) است. از این میان، حدود ۴/۷ میلیون با تله تراپی و ۰/ ۴ میلیون با براکی‌تراپی درمان شدند. در این دوره، ۲۵ درصد جمعیت جهان که در کشورهای صنعتی زندگی می‌کنند ۷۰ درصد درمان‌های رادیوتراپی در سراسر جهان را دریافت کردند و ۴۰ درصد همه براکی‌تراپی‌های انجام شده را.

پرتوگیری در محل کار

از آنجا که شمار کل تصویربرداری‌های تشخیصی پزشکی در دهه‌های گذشته رشد چشم‌گیری داشته است، تعداد کارکنان خدمات درمانی نیز که درگیر این کارند بیشتر شده، و از مرز ۷ میلیون نفر با میانگین دز مؤثر سالانه‌ای حدود ۰/۵ میلی سیورت به‌ازای هر نفر گذشته است. در رادیولوژی مداخله‌ای و پزشکی هسته‌ای، ممکن است کادر پزشکی دزی بیش از دز میانگین دریافت کنند.

سوانح در کاربردهای پزشکی

بعضی از کاربردهای تابش در پزشکی (مثلاً رادیوتراپی، رادیولوژی مداخله‌ای و پزشکی هسته‌ای) با دز بالا برای بیماران همراه‌اند. این دزهای بالا وقتی نادرست اعمال شود می‌تواند سبب آسیب‌های جدی یا حتا مرگ شود. تنها بیماران نیستند که در معرض خطرند، بلکه پزشکان و افراد دیگری که در آن حوالی کار می‌کنند نیز در خطرند. خطای انسانی رایجترین عامل این سوانح است. دادن دز اشتباه به دلیل طراحی‌درمان نادرست؛ استفاده نادرست از تجهیزات؛ و تابش‌دهی به اندامی اشتباهی یا حتا، البته به‌ندرت، به بیماری اشتباهی نمونه‌هایی از این خطاها هستند.

درحالیکه سوانح خطرناک رادیوتراپی نادر هستند، بیش از صد مورد از این سوانح گزارش شده است. UNSCEAR بیست‌ونه سانحه گزارش‌شده از سال ۱۳۴۶ ه.ش. (۱۹۶۷ م.) را که به ۴۵ مرگ و ۶۱۳ جراحت انجامیده است مرور کرده است. با این حال، احتمال دارد مرگ‌ها یا بسیاری از جراحت‌ها باشد که گزارش نشده باشد.

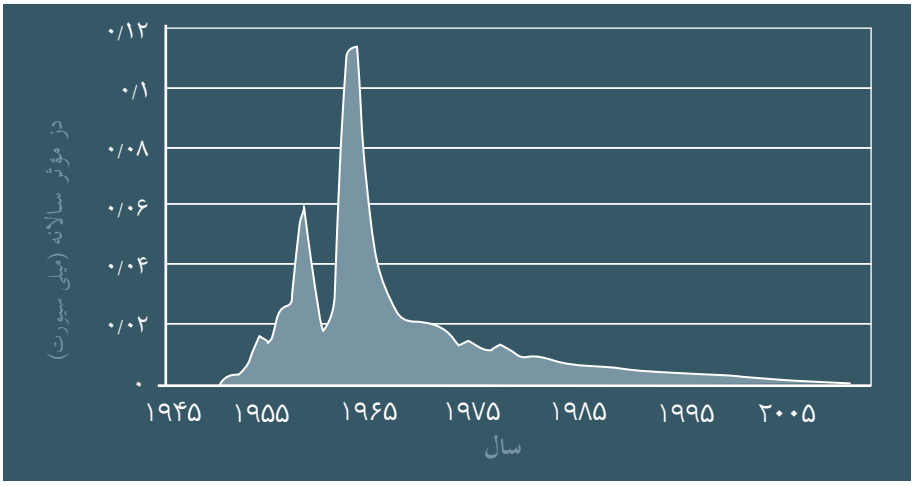
این تنها فراپرتوگیری نیست که عواقبی جدی دارد، بلکه کم‌پرتوگیری (یعنی وقتی بیماران دز تابشی ناکافی برای درمان یک بیماری کشنده دریافت کنند) هم ممکن است چنین باشد. برنامه‌های تضمین کیفیت می‌تواند به برقراری و تداوم استانداردهای کاری سطح بالایی برای کمینه کردن ریسک وقوع چنین سوانحی کمک کند.

جنگ افزارهای هسته‌ای

در سال ۱۳۲۴ ه.ش. (۱۹۴۵ م.) در آخرین مراحل جنگ جهانیِ دوم، دو بمب اتمی بر دو شهر ژاپن فرود آمد (هیروشیما در پانزدهم مرداد ـ ششم آگوست ـ و ناکازاکی در هجدهم مرداد ـ نهم آگوست) انفجارِ این دو بمب نزدیک به ۱۳۰۰۰۰ نفر را کشت. این تنها دفعاتی در تاریخ است که جنگ‌افزارهای هسته‌ای برای نزاع به‌کار رفت. با وجود این، پس از این تاریخ، جنگ‌افزارهای هسته‌ایِ بسیاری در جو زمین، به‌خصوص در نیمکره شمالی، آزمایش شد. دوره پررونقِ این آزمایش‌ها بین سالهای ۱۳۳۱ تا ۱۳۴۱ ه.ش. (۱۹۵۲ تا ۱۹۶۲ م.)بود. در کل، بیش از ۵۰۰ زمایش با مجموعِ قدرتی معادلِ ۴۳۰ مگاتن تری نیتروتولوئن (TNT) انجام شد که آخرینِ آنها در سال ۱۳۵۹ ه.ش. (۱۹۸۰ م.) بود. مردم همه جهان در معرض تابشِ فروریزه‌های این آزمایش‌ها بودند. در واکنش به نگرانی‌های مربوط به این پرتوگیری اانسان‌ها و محیطزیست بود که UNSCEAR در سال ۱۳۳۴ ه.ش. (۱۹۵۵ م.) بنیاد نهاده شد.

میانگین دز مؤثرِ سالانه ناشی از فروریزه‌های جهانیِ آزمایش‌های جوّی جنگ افزارهای هسته‌ای در سال ۱۳۴۲ ه.ش. (۱۹۶۳ م.) از همیشه بالاتر و برابر با ۰/۱۱ میلی‌سیورت براورد شده و متعاقباً کاهش یافته تا به ترازِ حدوداً ۰/۰۰۵ میلی‌سیورت کنونی‌اش رسیده است. این پرتوگیری از این پس بسیار به کندی کم میشود، چون بیش‌ترش ناشی از هسته‌گونه درازعمر کربن ـ ۱۴ است.

میانگین جهانی دز هر نفر از فروریزهای جوی ناشی از آزمایش‌های هسته‌ای



بخشی به بزرگیِ ۵۰ درصد از کل فروریزه‌های تولیدشده از آزمایش‌های روی زمینی در همان حدود ۱۰۰ کیلومتری محل آزمایش بر زمین می‌نشیند. بدینسان، مردمی که در نزدیکیِ این جایگاه‌های آزمایش زندگی می‌کردند به‌طور جدی در معرض فروریزه‌های محلی بودند. با وجود این، چون این آزمایش‌ها در مناطق نسبتاً دورافتاده‌ای انجام میشد، ساکنین محلی‌ای که پرتوگیری می‌کردند کم‌شماربودند و سهم مهمی در دز جمعی جهانی نداشتند. با این حال، مردمی که در مسیر باد از سوی این جایگاه‌های آزمایش زندگی می‌کردند دزهایی بسیار بالاتر از دز میانگین دریافت کردند.

نخستین گزارش UNSCEAR در سال ۱۳۳۷ ه.ش. (۱۹۵۸ م.) بنیادهای علمی‌ای فراهم کرد که برپایه‌آنها پیمان منع آزمایش جنگ‌افزارهای هسته‌ای در جو، در فضا، و در زیر آب به بحث گذاشته شد. پس از امضای این پیمان منع آزمایش ناکامل در سال ۱۳۴۲ ه.ش. (۱۹۶۳ م.)، تا دهه ۱۳۷۰ ه.ش. (۱۹۹۰ م.)، سالانه حدود ۵۰ آزمایشِ زیرزمینی انجام میشد و بعد از آن هم چند آزمایشی انجام شد. بیشتر این آزمایش‌ها خروجیِ هسته‌ایِ کمتری نسبت به آزمایش‌های جوّی داشتند و معمولاً به‌جز گازهایی که به جو نشت می‌کردند یا تخلیه می‌شدند، هیچ زباله پرتوزایی نداشتند. گرچه این آزمایش‌ها مقادیرِ انبوهی از پسماندهای پرتوز اتولید کردند، انتظار نمی‌رود که سبب پرتوگیری مردم شوند؛ چون در اعماق زمین مدفون هستند و تا جای ممکن با سنگ میزبان درامیخته‌اند.

درباره استفاده مجدد از جایگاهِ آزمایش‌های هسته‌ای (مثلاً برای چرای حیوانات یا کشاورزی) نگرانی‌هایی هست؛ چون بعضی‌ها را دارند به‌کار می‌گیرند. دزهای ناشی از پسماندهای پرتوزا در بعضی از این جایگاه‌ها، مانند مناطق محدودی در سمیپالاتینسک در قزاقستان امروزی، شاید قابل توجه باشد؛ اما در جاهای دیگری هم‌چون میوره‌را و فگه توفا آتول درپالونیژای فرانسه این دزها سهمی بیش از کسر کوچکی از پرتوگیریِ زمینه معمول برای مردمانی که عاقبت در این منطقه ساکن شده‌اند ندارند. برای دیگر مکان‌هایی هم چون جزایر مارشال و مِرالینگا، که به‌ترتیب، امریکا و انگلیس بعضی از آزمایش‌هایشان را در آن‌جا انجام دادند، پرتوگیریِ ساکنینشان به سبک زندگی و تغذیه آنها بستگی دارد.

رآکتورهای هسته‌ای

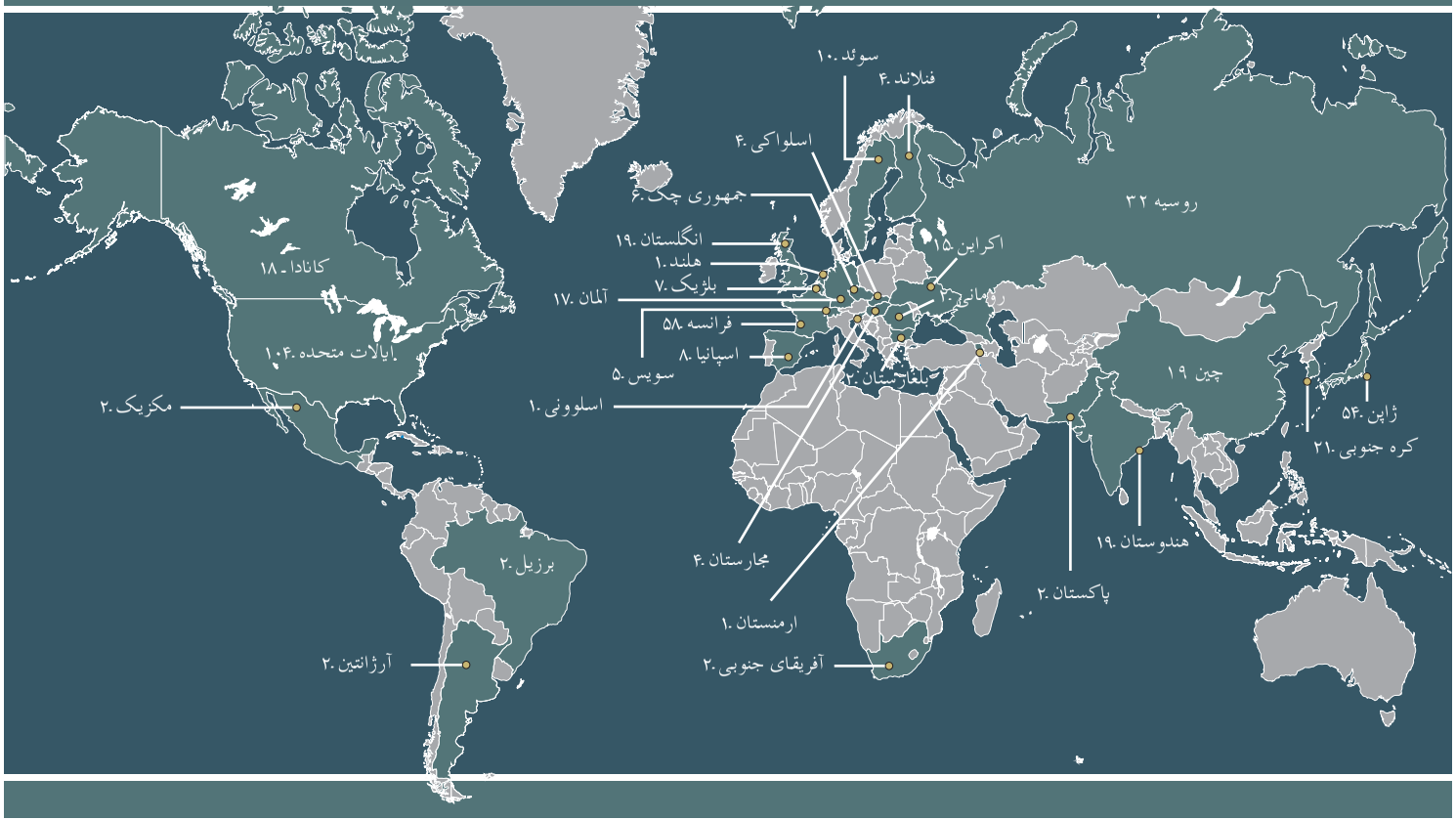
وقتی ایزوتوپ‌های خاصی از اورانیم یا پلوتنیم با نوترون‌ها بمباران شوند، هسته‌هایشان طی فرایندی به‌نام شکافت هسته‌ای به دو هسته‌ی کوچک‌تر می‌شکنند و انرژی و دو یا چند نوترون تولید میشود. این نوترون‌های تولیدی نیز می‌توانند به دیگر هسته‌های اورانیم یا پلوتنیم برخورد کنند و باعث شکستنِ آنها و تولید نوترون‌ها بیشتری شوند که درواقع می‌توانند هسته‌های بیشتری را بشکنند. این فرایند یک واکنش زنجیره‌ای نام دارد. این ایزوتوپ‌ها معمولاً به‌صورت سوخت در رآکتورهای هسته‌ای به‌کار می‌روند؛ جایی که این واکنشِ زنجیره‌ای کنترل میشود تا مبادا خیلی سریع شود.

انرژیِ رهاشده از شکافت در ری‌اکتورهای هسته‌ای را میشود برای تولید برق در نیروگاه‌های هسته ای به‌کار برد. با وجود این، رآکتورهای تحقیقاتی‌ای هم هستند که برای آزمایش سوخت هسته‌ای و انواع مواد گوناگون، برای پژوهش در فیزیک هسته‌ای و زیست‌شناسی، و برای تولید هسته‌گونه‌های پرتوزایی که در پزشکی و صنعت کاربرد دارند به‌درد می‌خورند. گرچه بین این دو نوع رآکتور تفاوت‌هایی هست، هر دو نوع به فرایندهایی صنعتی مانند استخراج اورانیم وپسمانداریِ مواد پرتوزا نیاز دارند که می‌تواند به پرتوگیریِ مردم وپرتوگیریِ شغلی بینجامد.

نیروگاه‌های هسته‌ای

نخستین نیروگاه هسته‌ایِ تجاریِ جهان در مقیاس صنعتی، کالدر هال، در سال ۱۳۳۵ ه.ش. (۱۹۵۶ م.) در بریتانیا ساخته شد، و زان پس تولید انرژی الکتریکی توسط نیروگاه‌های هسته‌ای رشد فراوانی کرده است. با وجود برچیدنِش ری اکتورهای قدیمی‌تر، تولید انرژیِ الکتریکی از منابع هسته‌ای مدام رشد می کند. در پایان سال ۱۳۸۹ه.ش. (۲۰۱۰م.)حدود ۴۴۰ رآکتور قدرت در ۲۹ کشور جهان مشغول به‌کار بودند که ده درصدِ کل برق جهان را تولید می‌کردند و ۲۴۰ رآکتور تحقیقاتی در ۵۶ کشور جهان پراکنده بودند.

نیروگاه‌های هسته‌ای جهان (۲۰۱۰)



تولید برق با استفاده از توان هسته‌های گرچه اغلب بحث‌انگیز است، در شرایط عادی سهمی بسیار اندک در پرتوگیریِ جهانی دارد. به علاوه، مقدار پرتوگیری به نوع تجهیزات بسیار وابسته است و در طول زمان و در موقعیت‌های متفاوت تغییر می‌کند.

ترازهای پرتوگیریِ ناشی از برونریزهای معمولی رآکتورها با وجود افزایش خروجیِ الکتریکیِ نیروگاه ها رو به کاهش نهاده است. بخشی از این کاهش ناشی از اصلاح فناوری‌ها و بخشی ناشی از اعمال معیارهای حفاظتیِ سخت‌گیرانه‌تر است. به‌طور کلی، برونریز تأسیسات هسته‌ای به دزهای تابشی بسیار کمی می‌انجامد. دز جمعیِ سالانه ساکنین حوالیِ نیروگاه‌ها ۷۵ نفر ـ سیورت تخمین زده میشود. بدینسان، کسانی که در حوالی یک نیروگاه هسته‌ای زندگی می‌کنند به‌طور میانگین با دز مؤثر سالانه‌ای حدود ۰/۰۰۰۱ میلی‌سیورت مواجه میشوند.

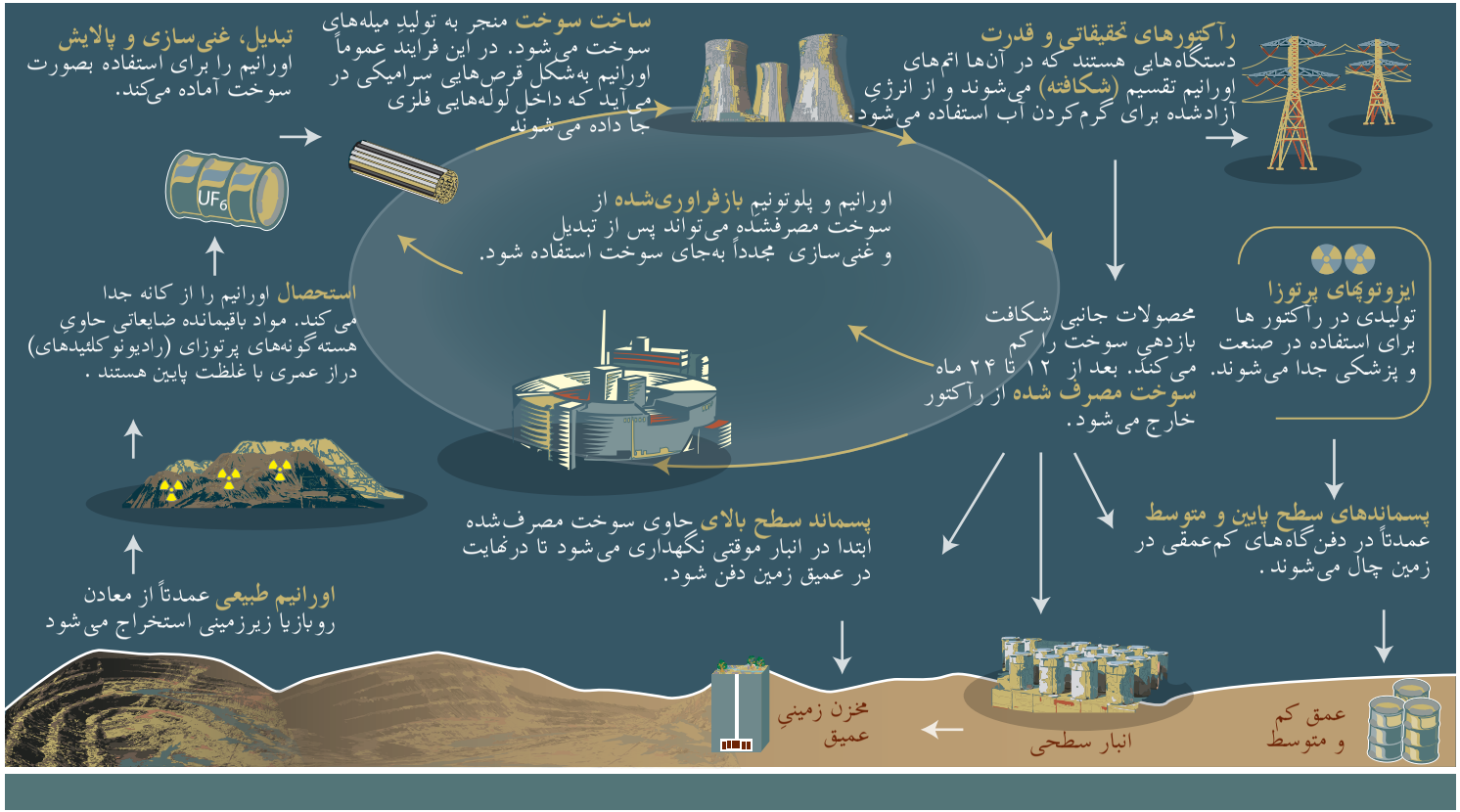
بخش غالب پرتوگیری از عملیات تولید انرژیِ هسته‌ای به معدن‌کاری مربوط میشود. استخراج و آسیاب اورانیم مقادیر زیادی پسماند در قالب ضایعات معدنی به‌جا می‌گذارد که حاوی مقادیر قابل توجهی از هسته‌گونه‌های پرتوزای طبیعی هستند. تا سال ۱۳۸۲ ه.ش. (۲۰۰۳ م.) کل تولید اورانیم جهان به حدود دو میلیون تن رسیده بود، درحالی‌که ضایعات حاصل از آن بالغ بر دو میلیارد تن بود. کومه های ضایعاتِ فعلی به‌خوبی نگه‌داری می‌شوند، اما مکان‌های قدیمی و متروکه بسیاری هستند که تنها چندتایشان اصلاح شده‌اند. UNSCEAR در جمعیِ سالانه‌جاری برای گروه‌های جمعیتیِ حوالیِ مکان‌های استخراج و آسیاب و کومه‌های ضایعات را حدود ۵۰ تا ۶۰ نفر ـ سیورت تخمین زد.

سوخت مصرف‌شده رآکتورها می‌تواند برای بازیافت اورانیم و پلوتنیم جهت استفاده دوباره بازفراوری شود. بیش‌تر سوخت مصرف‌شده در مخازن موقتی نگه‌داری میشود، اما حدود یک‌سوم آنچه که تاکنون تولید شده بارفراوری شده است. براورد میشود در جمعی سالانه ناشی از بازفراوری از ۲۰ تا ۳۰ نفر ـ سیورت باشد.

پرتوگیری در محل کار

در صنعت هسته‌ای، رهاشدن رادون در معادن اورانیم زیرزمینی سهم بسزایی در پرتوگیری شغلی دارد. استخراج و فراوری کانی‌های پرتوزایی که ممکن است حاوی مقادیر زیادی از هسته‌گونه‌های پرتوزا باشند یک امر متداول است. میانگین دز مؤثرِ سالانه هر کارگر صنعت هسته‌ای از ۴/۴ میلی سیورت در دهه ۱۳۴۰ ه.ش.(۱۹۷۰م.) به‌تدریج به ۱ میلی‌سیورت کنونی کاهش یافته است. این کاهش عمدتاً ناشی از کاهش قابل توجه پرتوگیری در استخراج اورانیم به‌دلیل استفاده از فنون استخراج پیشرفته‌تر است.

فرایندهای اصلی در صنعت هسته‌ای



پسماندهای کم تابش و بخشی از پسماندهای میان تابش در حال حاضر در تأسیسات زیرسطحی نگهداری می‌شوند، گرچه در گذشته گاهی این پسماندها دریا ریخته میشدند. پسماندهای پر تابش حاصل از بازفراوری و سوخت‌های مصرف‌شده (اگر بازفراوری نشوند) نیز انبار می‌شوند، هرچند درنهایت باید نابود شوند. نابودسازی مناسب این پسماندها نباید حتا در آینده‌دور به پرتوگیری مردم بیا نجامد.

سوانح در تأسیسات هسته‌ای

اندازه های پرتوگیری عادی تأسیسات غیرنظامی صنعت هسته‌ای بسیار پایین است. با وجود این، چند سانحه جدی رخ داده که توجه مردم را بسیار جلب کرده، و UNSCEAR عواقبشان را بررسی کرده است؛ ازجمله، تأسیسات تحقیقاتی وینکا یوگسلاوی سابق در سال ۱۳۳۷ ه.ش. (۱۹۵۸م.)، نیروگاه هسته‌ای تری‌مایل‌آیلند امریکا در ۱۳۵۸ ه.ش.(۱۹۷۹م.)، و کارخانه تبدیل سوخت توکای ـ مورا ژاپن در سال ۱۳۷۸ ه.ش. (۱۹۹۹ م.).

بین سالهای ۱۳۲۴ ه.ش. (۱۹۴۵م.) و ۱۳۸۶ ه.ش. (۲۰۰۷م.)، سی و چهار سانحه پرتوی جدی در تأسیسات هسته‌ای به‌مرگ و جراحت‌های جدی کارکنان انجامید؛ و هفت سانحه موجب رهاشدن مواد پرتوزا در بیرون از کارگاه‌ها، و پرتوگیری قابل تشخیص مردم شد. همچنین سوانح شدیدی در تأسیسات مربوط به برنامه‌های جنگ‌افزارهای هسته‌ای رخ داد. به‌استثنای سانحه ۱۳۶۵ ه.ش. (۱۹۸۶ م.) چرنوبیل و سانحه ۱۳۹۰ ه.ش. (۲۰۱۱ م.) فوکوشیما ـ دایچی، که در زیر به آن‌ها خواهیم پرداخت، ۳۲ مورد مرگ و ۶۱ مورد جراحتِ تابشیِ نیازمندِ اقدامِ درمانی شناسایی شده است.

پیش از چرنوبیل، جدی‌ترین سانحه یک تأسیسات غیرنظامی به نیروگاه هسته‌ای تری‌مایل‌آیلند در ۸ فروردین ۱۳۵۸ ه.ش. (۲۸ مارس ۱۹۷۹ م.) مربوط میشد. رشته‌ای از رخدادها به ذوب بخشی از قلب رآکتور منتهی شد. درپی این سانحه مقادیر فراوانی محصولات شکافت و هسته‌گونه‌های پرتوزا از قلب صدمه‌دیده رآکتور به درون پوشش حفاظتی [درون داره] رهاشد، اما چیز نسبتًا زیادی در محیط رها نشد و پرتوگیری مردم بسیار کم بود.

سانحه نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل

سانحه نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل در ۶ اردیبهشت ۱۳۶۵ ه.ش. (۲۶ آوریل ۱۹۸۶ م.) نه تنها شدیدترین سانحه در تاریخ انرژی هسته‌ای غیرنظامی بود، بلکه جدی‌ترین رخداد از لحاظ پرتوگیری مردم عادی نیز بود. دز جمعی ناشی از این رخداد از مجموع دزهای جمعی ناشی از همه سوانح دیگر چندین بار بیشتر بود.

دو کارگر در اثر ضربه انفجار, در جا کشته شدند و ۱۳۴ نفر به سندرم پرتو تابش حاد مبتلا شدند که به مرگ ۲۸ نفرشان منجر شد. جراحت‌های پوستی و آب مروارید [کاتاراکت] ناشی از تابش از جمله مشکلات اصلی بازماندگان بود. گذشته از امدادگران در صحنه، چند صد هزار نفر متعاقباً در عملیات بازیابی درگیر شدند. به‌غیر از افزایش آشکار در موارد ابتلا به سرطان خون [لوکمی] و آب مروارید [کاتاراکت] در میان آنهایی که طی سالهای ۱۳۶۵ و ۱۳۶۶ ه.ش. (۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ م.) دزهای بالایی دریافت کردند، تا به امروز هیچ گواهی برای دیگر پیامدهای بهداشتی ناشی از تابش در این افراد دیده نشده است.

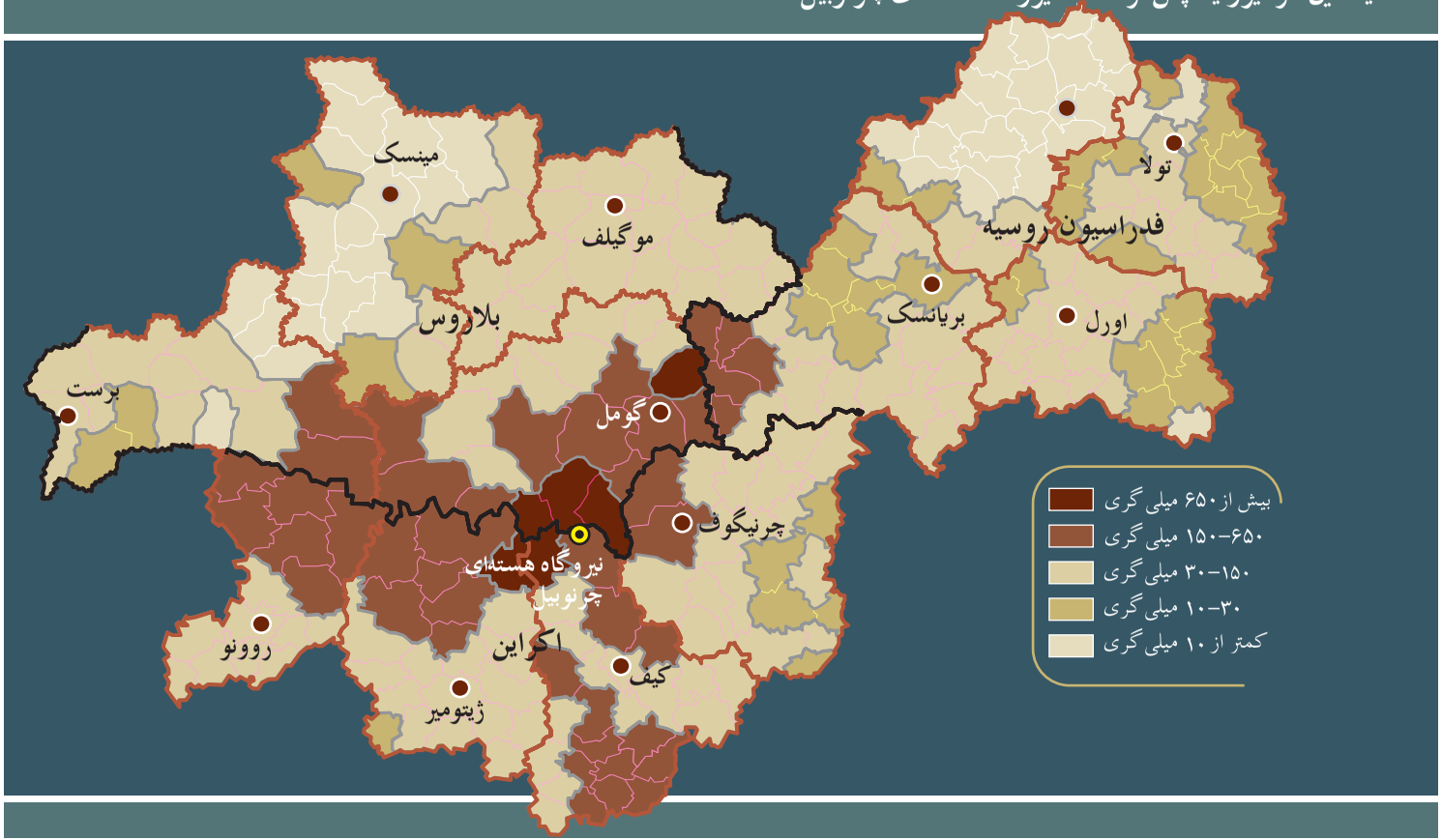
این سانحه باعث شد بیش‌ترین مقدارِ مواد پرتوزایی که تا به امروز برای کارهای غیرنظامی ثبت شده است به‌صورت کنترل‌نشده در محیط رها شود؛ بیش‌ترِ این مواد پرتوزا در حدود ده روز پس از سانحه در جوّ رها شد. ابر پرتوزای شکل گرفته توسط این سانحه در همه نیمکره شمالی پخش شد و مقادیر قابل توجهی ماده پرتوزا در نواحی وسیعی از اتحاد جماهیر شوروی سابق و دیگر بخش‌های اروپا فرونشست که آب و خاک را به‌ویژه در بلاروس، فدراسیون روسیه، و اوکراین امروزی آلود و اختلال‌های اجتماعی و اقتصادی جدی برای اقشار بزرگی از جامعه ایجاد کرد.

آلودگی شیر تازه با هسته‌گونه پرتوزای کوتاه عمر ید۱۳۱- (با نیمه عمر ۸ روز) و نبود واکنش سریع در بخش هایی از اتحاد جماهیر شوروی سابق, به دزهای تیرویئد بسیار بالایی, بویژه در کودکان انجامید. از اوایل دهه ۱۳۷۰ ه.ش.(دهه‌ی۱۹۹۰م.)، بروز سرطان تیروئید در کسانی که در کودکی با این مشکل مواجه شده بودند در بلاروس، اوکراین و چهار منطقه از روسیه که بیشتر اثر پذیرفته بودند زیاد شده است. طی سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۴ ه.ش. (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ م.) بیش از ۶۰۰۰ مورد گزارش شد که از این میان ۱۵ نفر در گذشتند.

عموم مردم برای مدت‌ها پرتوگیری می‌کردند؛ چه بصورت خارجی از مواد پرتوزای فروریخته شده، و چه بشکل داخلی از مصرف مواد خوراکی آلوده، سزیم ـ ۱۳۷ (با نیمه‌عمر ۳۰ سال). با وجود این، دزهای تابشی طولانی مدت ناشی از این پرتوگیری‌ها نسبتاً کم بود. میانگین دز مؤثر فردی در دوره زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴ ه.ش. (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ م.) در مناطق آلوده بلاروس، روسیه و اوکراین ۹ میلی سیورت بود. بعید است این مقدار به پیامدهای بهداشتی مهمی در عموم مردم بینجامد. بماندکه اختلال جدی ناشی از این سانحه اثرات اجتماعی و اقتصادی عمده و پریشانی زیادی برای افراد متأثر به‌دنبال داشته است.

UNSCEAR عواقب رادیولوژیکی این سانحه را به تفصیل مطالعه کرده است. جامعه جهانی تلاشهایی بی سابقه برای ارزیابی بزرگی و مشخصه‌های عواقب این سانحه و نیز عواقب آن در چند

میانگین دز تیروئید پس از سانحه نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل



ناحیه‌خاص متفاوت انجام داده است تا درکی بهتر از پیامدهای رادیولوژیکی و دیگر پیامدهای این سانحه پیدا و به التیامشان کمک کند.

مطالعات انجام شده از سال ۱۳۶۵ ه.ش. (۱۹۸۶ م.) نشان می‌دهد که افرادی که در دوران کودکی در معرض ید ـ ۱۳۱ بودند و دست اندرکاران امداد و بازیابی که دزهای تابشی بالایی دریافت کردند بیش از دیگران در معرض ریسک اثرات تابش هستند؛ اما بیشتر ساکنین این نواحی درمعرض دزهای تابشی کمتر از دزهای تابش زمینه طبیعی سالانه یا چند برابر آن بودند.

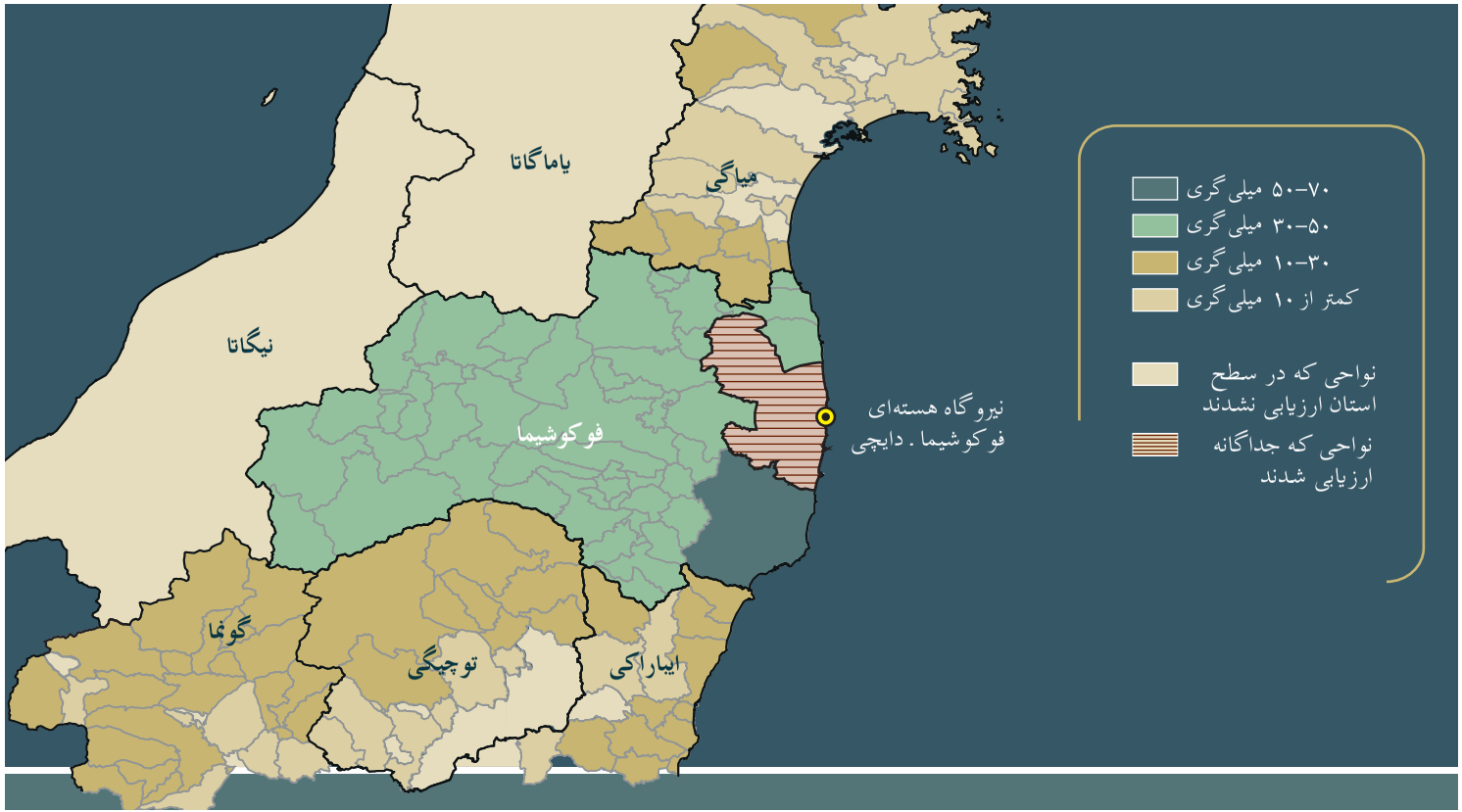
سانحه نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما ـ دایچی

به‌دنبال زمین‌لرزه بزرگ ۹ ریشتری شرق و سونامی ساحل شمال شرقی ژاپن در ۲۰ اسفند ۱۳۸۹ ه.ش. (۱۱ مارس ۲۰۱۱ م.)، نیروگاه فوکوشیما ـ دایچی بشدت آسیب دید و مواد پرتوزا در محیط رها شد. حدود ۸۵۰۰۰ نفر از ساکنین محدوده‌ای ۲۰ کیلومتری در اطراف نیروگاه و چند ناحیه نزدیکش در یک اقدام پیش گیرانه در فاصله روزهای ۲۰ تا ۲۴ اسفند (۱۱ تا ۱۵ مارس) کوچانده شدند؛ درحالیکه کسانی که در فاصله ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری محل نیروگاه ساکن بودند در خانه‌های خودشان تحت مراقبت قرار گرفتند. بعد از آن، به‌دلیل فراتررفتن مقدار هسته‌گونه‌های پرتوزای روی زمین، در فروردین ۱۳۹۰ ه.ش. (آوریل ۲۰۱۱ م.)، توصیه شد که ۱۰۰۰۰ نفر دیگر از اهالی مناطق کمی دورتر شمال شرقی محل نیروگاه نیز کوچانده شوند. این کوچ‌ها از اندازه پرتوگیری که افراد متأثر ممکن بود دریافت کنند بخوبی کاست. مصرف آب و بعضی خوراکی‌ها موقتاً محدود شد تا پرتوگیری این جمعیت محدود شود. برای مدیریت وضعیت اضطراری این نیروگاه هسته‌ای، چند تن از کارکنان عملیاتی و نیروهای واکنش اضطراری پرتوگیری کردند.

UNSCEAR ارزیابی دزهای تابشی و پیامدهای آن برای سلامتی و محیط زیست را انجام داد. طی یک سال و نیم پس از سانحه، حدود ۲۵۰۰۰ نفر در محل نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما ـ دایچی مشغول رفع سانحه و کارهای دیگر بودند. میانگین دز مؤثر این کارکنان در این مدت حدود ۱۲ میلی‌سیورت بود. با وجود این، ۶ کارگر دز تجمعی کلی بیش از ۲۵۰ میلی‌سیورت دریافت کردند. بالاترین دز کل دریافتی ۶۸۰ میلی‌سیورت، و متعلق به فردی بود که بیشتر این دز (حدود نود درصد آن) را از پرتوگیری داخلی دریافت کرده بود. برآورد شد که دوازده کارگر دزهای تیروئیدی از ۲ تا ۱۲ گری دریافت کرده‌اند. هیچ مرگ یا بیماری حادی که به تابش مربوط باشد در میان کارکنانی که از این سانحه پرتوگیری کردند دیده نشد.

میانگین دزهای مؤثر در یک سال نخست پس از سانحه برای بزرگسالان در مناطق تخلیه‌شده استان فوکوشیما از ۱ میلی‌سیورت تا حدود ۱۰ میلی‌سیورت بود. دزهای مؤثر برای نوزادان یک ساله حدود دو برابر این مقدار برآورد شد. برای آن محدوده‌ای از استان فوکوشیما که تخلیه نشده بود و برای استان‌های مجاور، این دزها پایین‌تر بود.

میانگین دز تیروئیدِ نوزادان پس از سانحه نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما . دایچی



میانگین دزهای تیروئید، عمدتاً از ید ـ ۱۳۱، در میان آنهایی که بیشترین پرتوگیری را داشتند تا ۳۵ میلی گری برای بزرگسالان، و تا ۸۰ میلی گری برای نوزادان یک‌ساله تخمین زده شد. دز سالانه‌ی تیروئید، عمدتاً از منابع پرتوگیری طبیعی خارجی، نوعاً از مرتبه ۱ میلی گری است. UNSCEAR نتیجه گرفت که از دیدگاه نظری امکان دارد ریسک سرطان تیروئید در میان دسته‌ای از کودکانی که پرتوگیری بیشتری داشته‌اند افزایش یابد. با وجود این، سرطان تیروئید در میان کودکان جوان یک بیماری نادر است، طوری که از جهت آماری هیچ پیامد مشهودی در این دسته انتظار نمی‌رود.

در مقایسه با فاجعه چرنوبیل، سانحه هسته‌ای فوکوشیما ـ دایچی از نظر نوع رآکتور، نحوه وقوع سانحه، مشخصات هسته‌گونه‌های رهاشده و پراکنش مهمترین، و اقدامات حفاظتی اعمال‌شده اساساً متفاوت بودند. در هر دو مورد، انبوهی از ید ـ ۱۳۱ و سزیم ـ ۱۳۷ (دو تا از مهمترین هسته‌گونه‌ها از دیدگاه پرتوگیری‌های پس از سوانح هسته‌ای) در محیط رها شد. مقدار ید ـ ۱۳۱ و سزیم ـ ۱۳۷ رهاشده از سانحه فوکوشیما ـ دایچی، به‌ترتیب، ده و بیست درصد بود.

کاربردهای صنعتی و دیگر کاربردها

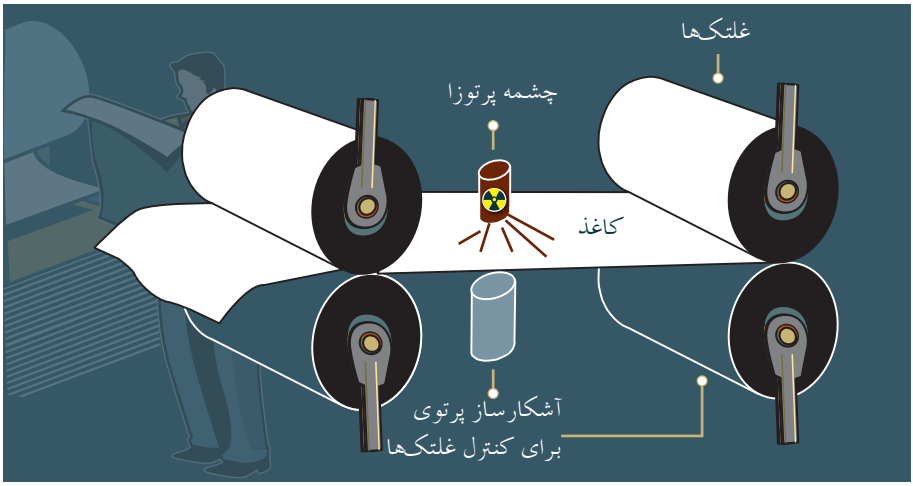
چشمه‌های تابش در طیف وسیعی از کارهای صنعتی استفاده می‌شوند. ازجمله تابش‌دهی صنعتی برای گندزدایی از محصولات پزشکی و دارویی، نگهداری مواد غذایی یا مقابله با آلوده‌سازی بوسیله حشرات، پرتونگاری صنعتی برای عیب‌یابی اتصالات فلزی جوش خورده، گسیلهای آلفا یا بتا برای ایجاد نور در هدف یاب الکترونیکی تفنگ‌ها و برای چراغهای کم‌نور علایم خروج و نقشه‌نماها، منابع پرتوزا یا دستگاه‌های پرتو ایکس مینیاتوری که در چاه‌پیمایی برای سنجش مشخصه‌های زمین‌شناختی در حفره‌های گمانه‌زنی بمنظور اکتشاف مواد معدنی و نفت و گاز بکار می‌روند، چشمه‌های پرتوزای بکار رفته در ابزارهای ضخامت‌سنج و رطوبت‌سنج و سطح‌سنج، و سایر چشمه‌های پرتوزای مورد استفاده در کارهای پژوهشی.

با وجود این گستردگی، تولید هسته‌گونه‌های پرتوزا برای استفاده در صنعت و پزشکی باعث پرتوگیری بسیار کم عامه مردم میشود. با این حال، در صورت وقوع سوانح، ممکن است نواحی محلی بیشتری آلوده، و پرتوگیری‌های بالایی ایجاد شود.

پرتوگیری در محل کار

شمار کارگرهایی که در صنعت شاغل بودند و از تابش استفاده می‌کردند در اوایل سده بیست و یکم میلادی حدود یک میلیون نفر، و میانگین دز مؤثر سالانه هر کارگر ۰/۳ میلی سیورت بود.

دستگاه ضخامت‌سنج با استفاده از پرتو



مواد پرتوزای طبیعی

چندین نوع تاسیسات صنعتی در دنیا هست، که هرچند به انرژی هسته‌ای مربوط نیستند؛ اما بدلیل افزودن بر تراکم مواد پرتوزای طبیعی (NORM) در محصولات صنعتی، محصولات جانبی، و پسماندشان؛ مردم را در معرض پرتوگیری قرار می‌دهند. مهم‌ترین این کارها فرایندهای استخراج و آسیاب در معادن است.

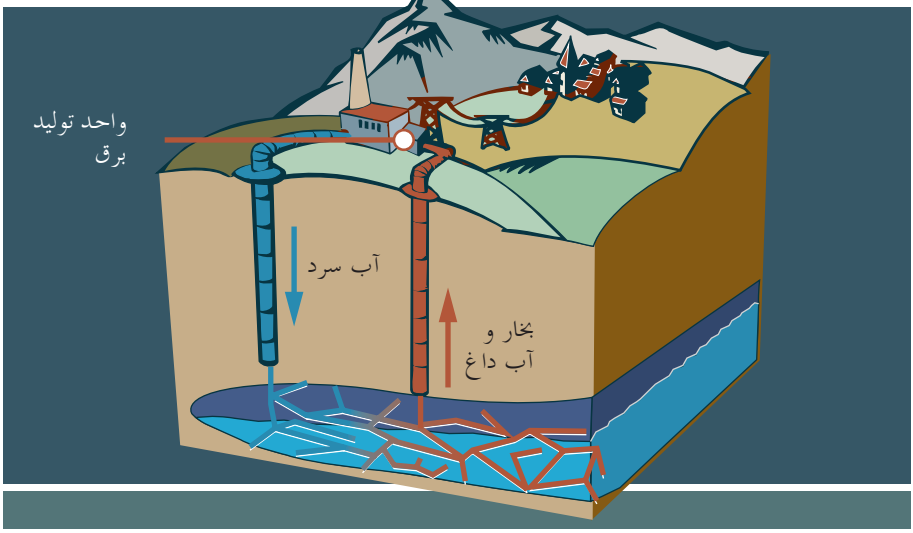
فعالیت‌های مربوط به استخراج و پردازش کانی‌ها می‌تواند به مقادیر بالایی از نرم (NORM) بینجامد. استخراج و آسیاب اورانیم، استخراج و ذوب فلزات، تولید فسفات، استخراج زغال‌سنگ و تولید برق با آن، حفاریِ نفت و گاز، صنایع تیتانیم و خاک‌های نادر، صنایع سرامیک و زیرکونیم، و کارهایی که از هسته‌گونه‌های پرتوزای طبیعی (مانند ایزوتوپ‌های رادیم و توریم) استفاده می‌کنند از جمله این فعالیت هستند.

برای نمونه، زغال‌سنگ حاوی رگه‌هایی از هسته‌گونه‌های پرتوزای ازلی است. سوزاندن زغال‌سنگ این هسته‌گونه‌ها را در محیط رها می‌کند و ممکن است از این راه مردم پرتوگیری کنند. حاصلش این است که به‌ازای هر گیگاوات ـ سال برقی که توسط نیروگاههای برق زغال‌سنگی جهان تولید میشود، دز جمعی تخمینی مردم دنیا سالانه حدود بیست نفر ـ سیورت افزوده میشود. همچنین، خاکستر حاصل از زباله‌سوزی، در ساخت جاده بکار گرفته شده است؛ اما استفاده از آن برای ساختمان‌سازی به پرتوگیری از طریق تابش مستقیم خارجی و استنشاق رادون منجر میشود. سرانجام، دورریختن خاکستر می‌تواند

ترازهای پرتوگیری را در اطراف زباله‌گاه‌ها بالا ببرد.

تولید انرژی از گرمای زمینی عاملی دیگر برای پرتوگیری عموم مردم است. ذخایر زیرزمینی بخار و آب داغ برای تولید برق یا گرمایش ساختمانها به‌کار می‌رود. بر اساس برآوردهای انجام‌شده در ایتالیا و امریکا، دز جمعی ناشی از هر گیگاوات ـ سال برق تولیدی با این فناوری حدود ده درصد نظیرش از راه نیروگاه‌های زغال‌سنگی است. انرژی زمینگرمایی در حال حاضر سهمی نسبتاً کوچک در تولید انرژی جهان و به‌تبع پرتوگیری دارد.

تولید انرژی زمین‌گرمایی



کارهای گوناگون دیگر بشر، مانند تصفیه لجن از آب برای کشاورزی، می‌تواند مردم را با نورم مواجه کند. منتها، اندازه پرتوگیری مردم از این فعالیتها بی‌نهایت کم و از مرتبه‌ای کوچکتر از چند هزارم میلی سیورت در سال است.

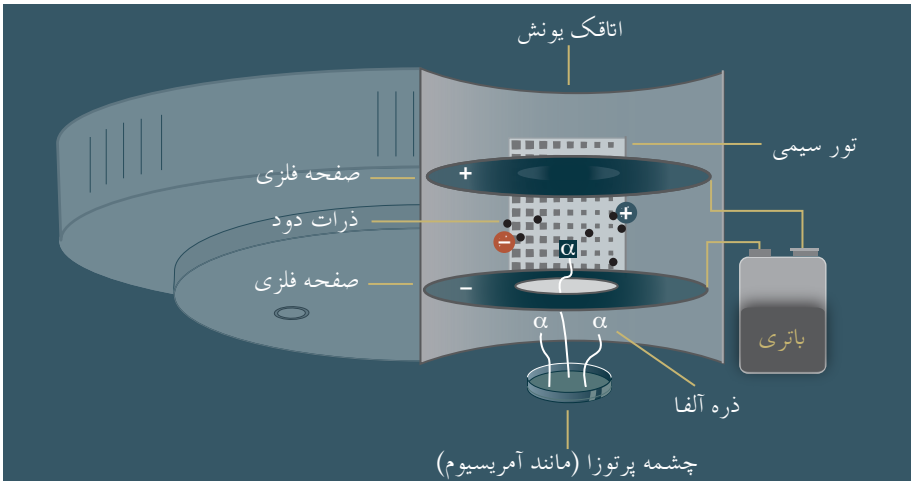
اورانیوم تهی‌شده یک محصول جانبی غنی‌سازی است که از اورانیوم طبیعی پرتوزایی کمتری دارد. اورانیم تهی شده برای سالها کاربردهای غیرنظامی و نظامی داشته است. این ماده، بخاطر چگالی بالایش، بجای حفاظ تابشی یا وزنه تعادل هواپیما بکار می‌رود. کاربرد نظامی اورانیم تهی‌شده، بویژه در مهمات ثاقب [دارای سر نفوذکننده]، نگرانی‌هایی درباره آلودگیهای بجا مانده از آن ایجاد کرده است. پرتوگیری از اورانیم تهی شده، مگر در چند مورد خاص، بی نهایت کم است. درواقع، زهراگینی شیمیایی ویژگی خطرناکتر این ماده است.

محصولات مصرفی

شماری از کالاهای خریداری شده برای مصارف روزانه حاوی مقادیر اندکی از هسته‌گونه‌های پرتوزا هستند که عمداً برای استفاده از ویژگیهای شیمیایی یا پرتوزایی‌شان در این کالاها گنجانیده شده‌اند. در گذشته رادیوم ـ ۲۲۶ مهمترین هسته‌گونه پرتوزایی بود که برای شب‌نماکردن کالاهای مصرفی بکار میرفت. این کار دهه‌ها پیش کنار گذاشته شد و رادیم با پرومتیوم ـ ۱۴۷ و هیدروژن ـ۳ (تریتیوم)، که کمتر زهراگین هستند جایگزین شد. با این حال، تریتیوم بسیار جنبان است و می‌تواند از ساعت‌های مچی و دیواری حاوی ترکیبات تریتیوم نشت کند. با وجود این، تریتیوم تنها ذره‌های بتای بسیار ضعیفی گسیل می‌کند که نمی‌تواند در پوست نفوذ کند، پس تنها وقتی سبب پرتوگیری انسان میشود که داخل بدن باشد.

بعضی آشکارسازهای دود اتاقکهای یونشی با ورقه‌هایی کوچک از آمریسیوم ـ۲۴۱ دارند. این ورقه‌ها ذره‌های آلفا گسیل و جریان یونی ثابت تولید می‌کنند. هوای محیط می‌تواند آزادانه وارد آشکارساز شود. اگر دود به آشکارساز وارد شود، این جریان را مختل می‌کند و آژیر را به صدا درمی آورد.

عمل‌کرد آشکارساز دودی که از تابش بهره می‌برد



پرتوزایی چشمه آمریسیوم یک آشکارساز دود بسیار کم است. آمریسیوم با نیمه‌عمری حدود ۴۳۲ سال بسیار به‌کندی وامی‌پاشد؛ معنایش این است که تا پایان عمر ده‌ساله‌اش عملاً همه توانایی اولیه‌اش را حفظ می‌کند. مادامی که چشمه آمریسیوم در آشکارساز بماند، پرتودهی آن ناچیز است. اندازه پرتو دریافتی از چنین کالاهایی بی نهایت پایین است، گرچه توسط دستگاههای حساس قابل تشخیص‌اند. برآورد میشود کسی که روزی هشت ساعت

در دو متری چنین آشکارسازی بایستد در سال دزی کمتر از ۰/۰۰۰۱ میلی‌سیورت دریافت کند.

سوانح صنعتی

سوانح در صنایعی که از چشمه‌های پرتوزا استفاده می‌کنند نسبت به سوانح نیروگاهی بسیار رایجتر هستند. با این حال معمولاً چندان به آنها توجه نمیشود، هرچند که میتوانند باعث پرتوگیری گسترده کارکنان و مردم شوند.

بین سالهای ۱۳۲۴ و ۱۳۸۶ ه.ش. (۱۹۴۵ و ۲۰۰۷ م.)، حدود هشتاد سانحه در کارخانه‌های صنعتی که از چشمه‌های پرتوزا، شتابدهنده‌ها، و دستگاه‌های پرتو ایکس استفاده می‌کرده‌اند گزارش شده است. ۹ کشته و ۱۲۰ زخمی تلفات ثبت‌شده این سوانح است. عضو آسیب دیده معمول دست‌ها بوده، که اغلب ناچار قطع آن بوده اند. UNSCEAR بر این گمان است که بعضی از سوانح صنعتی که کشته و زخمی نیز داشته گزارش نشده اند.

دلایل و پیامدهای چنین سوانحی بسیار و گوناگون است. در اینجا، تنها به دو نمونه اشاره میشود. در سال ۱۳۵۷ ه.ش. (۱۹۷۸ م.)، در لویزیانای امریکا، یک پرتونگار صنعتی که روی سکویی دریایی با یک چشمه ۳/۷ تیرا بکرل ایریدیم ـ ۱۹۲ کار می‌کرد، احتمالاً به‌دلیل خرابی دزسنج، دچار آسیب پرتوی دست چپ شد. سه هفته بعد از سانحه، دست او قرمز و متورم، و سپس تاول‌هایی پوستی پدیدار شد که طی ۵ تا ۸ هفته بهبود یافت. با وجود این، شش ماه بعد، بخشی از انگشت اشاره‌اش به‌ناچار قطع شد. در موردی دیگر، در سال ۱۳۵۹ ه.ش. (۱۹۸۰ م.)، در شانگهای چین، به‌دلیل معیارهای ایمنی نامناسب، هفت کارگر یک واحد صنعتی در معرض تابش یک چشمه کبالت ـ ۶۰ قرار گرفتند. یکی از این هفت تن، با دزی تخمینی ۱۲ گری روز پس از پرتوگیری مرد. دومی که دزش ۱۱ گری برآورد شد پس از ۹۰ روز مرد. پنج نفر دیگر دزهایی بین ۲ تا ۵ گری دریافت کردند و پس از تیمار پزشکی درمان شدند.

چشمه‌های بی‌سرپرست

بین سالهای ۱۳۴۵ و ۱۳۸۶ ه.ش. (۱۹۶۶ و ۲۰۰۷ م.)، ۳۱ مورد گم‌شدن، دزدیده‌شدن، یا رها شدن چشمه‌های پرتوزا (که به چشمه‌های بی‌سرپرست ـ معروفند) سانحه دانسته شد.. از قرار معلوم، این سوانح به مرگ ۴۲ نفر از مردم، از جمله چند کودک، منجر شدند. همچنین، صدها تن دچار سندرم پرتوی حاد، آسیب‌های موضعی شدید، آلودگی داخلی، یا مشکلات روانی شدند که به مراقبت‌های بهداشتی نیاز داشتند. از این میان، شش سانحه به مراکز رادیوتراپی متروکه مربوط بود.

معلوم نیست که دقیقاً چه تعداد چشمه بی‌سرپرست در دنیا هست، اما گمان می‌رود چند هزارتایی باشند. کمیسیون انتظامات هسته‌ای امریکا (NRC) گزارش داده است که شرکتهای امریکایی بین سالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۸۷ ه.ش. (۱۹۹۷ و ۲۰۰۸ م.) رَد نزدیک به ۱۵۰۰ چشمه پرتوزا را گم کردند که بیش از نیمی از آنها هرگز پیدا نشدند. مطالعه‌ای که اتحادیه اروپا انجام داد تعداد چشمه‌هایی را که در داخل مرزهایش سالانه از کنترل خارج میشود تا ۷۰ عدد تخمین زد. اکثر این چشمه‌ها خطر رادیولوژیکی مهمی ایجاد نخواهند کرد؛ با این حال، وقوع سوانح برای چشمه‌های بی‌سرپرست کماکان نگرانی مهمی است.

تخمین تعداد سوانح پرتوی شدید در جهان

نوع سانحه	۱۹۴۵-۱۹۶۵	۱۹۶۶-۱۹۸۶	۱۹۸۷-۲۰۰۷
سوانح در تأسیسات هسته‌ای	۱۹	۱۲	۴
سوانح در صنایع	۲	۵۰	۲۸
سوانح مرتبط با چشمه های بی سر پرست	۳	۱۵	۱۶
سوانح در مراکز آموزشی و پژوهشی	۲	۱۶	۴
سوانح در پزشکی	نامشخص	۱۸	۱۴

* بر اساس سوانحی که رسماً گزارش یا منتشر شده‌اند. انتظار می‌رود تعداد سوانح گزارش نشده، بویژه در پزشکی، به مراتب بیشتر باشد.

چشمه‌های بسته یا ظرف آنها می‌تواند برای کسانی که در کار جستجوی ضایعات فلزی هستند جذاب باشد؛ چون از فلز باارزشی ساخته شده، و چه‌بسا علامت هشدار پرتوی نیز نداشته باشند. در مواردی دستکاری این چشمه‌ها توسط کارگرانی ناآگاه یا حتا مردم عادی به آسیب‌هایی جدی و در مواردی مرگ انجامیده است؛ برای نمونه، موردی که در گویانای برزیل به‌سال ۱۳۶۶ ه.ش. (۱۹۸۷ م.) اتفاق افتاد. یک دستگاه تله‌تراپی متروکه حاوی یک چشمه سزیم ـ 137 با پرتوزاییِ بالا (۵۰/۹ ترابکرل) دزدیده، و کپسول چشمه آن شکافته شد. با گذشت دو هفته، گرد کلرید سزیم قابل حل در یک زباله دان ضایعات فلزی و خانه‌های اطرافش پخش شد. مردمان بسیاری به بیماری و ضایعات پوستی دچار شدند و ۱۱۰ نفر تحت پایش آلودگی پرتوزا قرار گرفتند، که بسیاری از آنها آلودگی داخلی سزیم ـ ۱۳۷ داشتند. در این سانحه، چهار نفر، ازجمله یک کودک، مردند.

۳.۳. میانگین پرتوگیری مردم و کارکنان

بطور معمول، پرتوگیری از منابع طبیعی بخش غالب از کل پرتوگیری مردم است. UNSCEAR میانگین دز مؤثر هر فرد را حدود ۳ میلی‌سیورت برآورد کرده است. دز مؤثر سالانه ناشی از منابع طبیعی، بطور میانگین، ۲/۴ میلی‌سیورت است که دوسوم آن ناشی از مواد پرتوزای موجود در هوایی که تنفس می‌کنیم، آبی که می‌نوشیم، و خوراکی که می‌خوریم است. عامل اصلی پرتوگیری از منابع مصنوعی، تابشی است که در پزشکی بکار می‌رود. میانگین دز مؤثر سالانه ۰/۶۲ میلی‌سیورت است. پرتوگیری رادیولوژیکی برحسب منطقه، کشور و سامانه بهداشتی و درمانی تغییر می‌کند. UNSCEAR میانگین دز مؤثر سالانه دریافتی از کاربردهای پزشکی تابش در کشورهای صنعتی و غیرصنعتی را، به‌ترتیب، ۱/۹ و ۰/۳۲ میلی‌سیورت تخمین زده است. که البته، این مقادیر به‌طرز چشم‌گیری متغیر هستند (برای مثال، از ۳ میلی‌سیورت در امریکا تا فقط ۰/۰۵ میلی‌سیورت در کنیا).

میانگین پرتوگیری مردم از منابع پرتو*

* براورد گردشده‌ای از دز مؤثر سالانه یک فرد (میانگین جهانی)

تا دهه ۱۳۷۰ ه.ش. (۱۹۹۰م.)، پرتوگیری در محل کار که مطرح میشد، توجه معطوف بود به منابع تابش مصنوعی. اما، امروزه، مشخص است که شمار بسیار زیادی از کارکنان، بویژه در صنایع معدنی، در معرض تابش منابع طبیعی هستند. برای مشاغل خاصی در بخش معدن، استنشاق گاز رادون عامل غالب برای پرتوگیری در محیط کار است. با وجودیکه رهاشدن رادون در معادن اورانیم زیرزمینی سهمی به‌سزا در پرتوگیری شغلی در این شاخه از صنعت هسته‌ای دارد؛ میانگین کل دز مؤثر سالانه. هریک از کارکنان

صنعت هسته‌ای از ۴/۴ میلی‌سیورت در دهه ۱۳۵۰ ه.ش. (۱۹۷۰ م.) به حدود ۱ میلی‌سیورت کاهش یافته است. با این حال، میانگین دز مؤثر سالانه برای یک معدنکار زغال‌سنگ هنوز حدود ۲/۴ میلی‌سیورت، و برای سایر معدنکاران حدود ۳ میلی‌سیورت است.

براوردهای اخیر از تعداد کل کارکنان تحت‌پایش حدود ۲۳ میلیون نفر در سطح جهان است، که از این تعداد ۱۰ میلیون نفر با منابع مصنوعی تابش مواجه‌اند. از هر چهار نفری که با منابع مصنوعی سروکار دارند، سه نفر در بخش پزشکی کار می‌کنند. با دز مؤثر سالانه ۰/۵ میلی‌سیورت است. ارزیابی روند تغییرات میانگین دز مؤثر سالانه در کارگاهها نشان دهنده افزایش پرتوگیری از منابع طبیعی که بیشتر ناشی از معدنکاری است، و کاهش پرتوگیری از منابع مصنوعی که عمدتاً به‌دلیل اجرای موفقیت‌آمیز اقدامات حفاظت پرتوی است میباشد.

روند تغییرات پرتوگیری در محلهای کار (به میلی سیورت) در سطح جهان*

منابع	دهه ۱۹۷۰	دهه ۱۹۸۰	دهه ۱۹۹۰	دهه ۲۰۰۰
طبیعی				
خدمه پرواز	—	۳/۰	۳/۰	۳/۰
معدن زغال سنگ	—	۰/۹	۰/۷	۲/۴
دیگر معدن‌ها	—	۱/۰	۲/۷	۳/۰
سایر موارد	—	۶/۰	۴/۸	۴/۸
میانگین مجموع	—	۱/۷	۱/۸	۲/۹
مصنوعی				
کاربردهای پزشکی	۰/۸	۰/۶	۰/۳	۰/۵
صنعت هسته‌ای	۴/۴	۳/۷	۱/۸	۱/۰
صنایع دیگر	۱/۶	۱/۴	۰/۵	۰/۳
سایر موارد	۱/۱	۰/۶	۰/۲	۰/۱
مجموع	۱/۷	۱/۴	۰/۶	۰/۵

*برآورد میانگین دز مؤثر سالانه یک پرتوکار .
**معدنکاری اورانیم ازجمله صنایع هسته‌ای است.

انتشارات (UNSCEAR)

کمیته علمی سازمان ملل متحد برای اثرات تابش اتمی (UNSCEAR) بیش از ۲۵ گزارش عمده و ۱۰۰ پیوست علمی منتشر کرده است که مراجع اصلی قویاً معتبری برای ارزیابی پرتوگیری از آزمایش جنگ افزارهای هسته‌ای، تولید انرژی هسته‌ای، کاربری پزشکی تابش، منابع تابش شغلی، و منابع طبیعی شمرده میشوند. این نهاد مطالعات مفصل درباره سرطان ناشی از تابش و بیماری‌های ارثی را محک زده، و عواقب رادیولوژیکی سوانح در سلامتی و محیط زیست را نیز ارزیابی می‌کند. گزارش‌های UNSCEAR و پیوست‌های علمی‌اش به‌صورت نشریات قابل فروش سازمان ملل متحد (unp.un.org) عرضه میشود، و نسخه‌های الکترونیکی آنها بمنظور ترویج یافته ها بنفع کشورهای عضو سازمان ملل متحد، جامعه علمی و مردم بصورت مجانی در دسترس است (unscear.org).

مشتاق دریافت بازخورد و نقدها درباره این نشریه هستیم:

UNSCEAR secretariat
Vienna International Centre
P.O. Box 500
1400 Vienna, Austria
E-mail: *unscear@unscear.org*

در ۱۳۳۴ ه.ش (۱۹۵۵م.) مجمع عمومی سازمان ملل متحد کمیته علمی برای اثرات تابش اتمی (UNSCEAR) را بنیاد نهاد تا اطلاعات مربوط به اندازه و اثرات تابش یون‌ساز را جمع‌آوری و ارزیابی کند.

این اقدام در پاسخ به نگرانی‌ها درباره اثرات تابش یون‌ساز بر سلامتی انسان و محیط زیست در زمانی بود که فروریز آزمایشهای جوی جنگ افزارهای هسته‌ای از راه هوا، آب و غذا به مردم می‌رسید. نخستین گزارش (UNSCEAR) در سال ۱۳٤۲ ه.ش (۱۹۶۳ م.) زمینه‌های علمی را فراهم کرد تا پیمان منع محدود آزمایش جنگ ابزارهای هسته‌ای، که آزمایش در جو را ممنوع می‌کرد، به مذاکره گذاشته شود .

این نشریه تلاش دارد تا آخرین اطلاعات درباره اندازه و اثرات تابش را به‌صورت واقعگرایانه عرضه کند طوری که برای خواننده عادی قابل استفاده باشد. این نشریه برمبنای گزارش‌های علمی (UNSCEAR) است که منبع اصلی اطلاعات بشمار می‌آیند.

UNEP