

اگر آنچه می‌نویسم را خواننده‌اش نمی‌فهمد

خطای من است، نه او

از همه‌ی کسانی که به‌گونه‌ای مرا در نوشتنِ این کتاب یاری کردند  
سپاس‌گزارم و بیش از همه از بهنام آرزو  
که بدون همکاری‌اش عکاسی و تهیه‌ی تصاویرِ این کتاب بسیار  
دشوار می‌بود.

# فهرست مطالب

انواع دستگاه‌های مولد ایکس .....	۹
محدودیت‌های تابش ایکس برای پرتونگاری .....	۱۰
یادآوری: عناصر پایدار و ناپایدار .....	۱۰
یادآوری: ایزوتوپ‌های یک عنصر .....	۱۰
واپاشی پرتوزا .....	۱۱
سازوکار تولید تابش گاما: واپاشی گامازا .....	۱۱
چشمه‌های گامای پرتونگاری .....	۱۱
بیناب تابش گاما .....	۱۲
قدرت چشمه‌ی گاما: فعالیت چشمه .....	۱۳
نیمه‌عمر یک هسته‌ی پرتوزا .....	۱۳
دوربین پرتونگاری .....	۱۴
ویژگی‌های دوربین پرتونگاری .....	۱۵
انواع دوربین‌های پرتونگاری .....	۱۶
ساختمان یک دوربین پرتونگاری دستی .....	۱۶
مدل‌های رایج دوربین‌های پرتونگاری .....	۱۸
تجهیزات جانبی دوربین پرتونگاری .....	۱۸

## - فهرست مطالب

فهرست مطالب .....	۷
-------------------	---

## - راه‌نمای خوانندگان

راه‌نمای خوانندگان .....	IX
--------------------------	----

## - فصل ۱. منابع تابش در پرتونگاری صنعتی

آزمون‌های غیرمخرب .....	۲
پرتونگاری .....	۳
تابش مناسب برای پرتونگاری: ایکس/گاما .....	۳
ماهیت پرتوهای ایکس/گاما: فوتون .....	۴
بیناب تابش ایکس .....	۵
یادآوری: ساختمان اتم .....	۶
سازوکار تولید تابش ایکس: تابش ترمزی .....	۶
لامپ اشعه‌ی ایکس .....	۶
دستگاه مولد ایکس .....	۷
شدت و قدرت نفوذ تابش ایکس .....	۷
تنظیم شدت و قدرت نفوذ تابش ایکس .....	۸

۴۲	..... دُر مؤثر	۱۸	..... نگه‌دارنده‌ی چشمه
۴۳	..... آهنگِ دُر (دُزاهنگ)	۱۹	..... لوله‌ی هدایت
۴۳	..... دُزاهنگِ یک منبعِ مولدِ ایکس	۲۲	..... دستگاه کنترل‌ازراه‌دور
۴۴	..... دُزاهنگِ یک چشمه‌ی گاما	۲۳	..... باریکه‌ساز
۴۵	..... فاکتورِ گاما	۲۵	..... تجهیزاتِ مرزبندی
۴۶	..... دُرِ تجمعی و حدِ دُر	۲۵	..... تجهیزاتِ مقابله با سانحه
<b>- فصل ۴. دُزسنجی فردی و پایشِ پرتوی محیطِ کار</b>		۲۵	..... کیسه‌ی ساچمه‌سربی
۴۸	..... حفاظتِ پرتوی	۲۸	..... مجموعه‌ی فیلمِ پرتونگاری
۴۸	..... پایش محیطِ کار و پایشِ فردی	<b>- فصل ۲. اثراتِ زیان‌بار تابش و مواجهه با آن</b>	
۴۸	..... سنجشِ دُزاهنگ	۳۰	..... آسیب‌های شغلی
۴۹	..... دستگاه‌های اندازه‌گیریِ دُزاهنگ	۳۰	..... توجیه‌پذیری و بهینه‌سازی
۵۲	..... انتخابِ دُزاهنگ‌سنج	۳۱	..... تابشِ یون‌ساز / غیریون‌ساز
۵۲	..... بررسیِ سلامتِ دُزاهنگ‌سنج	۳۱	..... یادآوری: یونش
۵۶	..... روشِ کار با دُزاهنگ‌سنج	۳۲	..... مختصری در موردِ تابشِ غیریون‌ساز
۵۶	..... کاربردهای دُزاهنگ‌سنج در پرتونگاری	۳۲	..... تابشِ یون‌ساز: سازوکارِ آسیب‌رسانی
۵۷	..... دُزاهنگ در مجاورتِ دوربین	۳۳	..... روندِ بیماری‌زاییِ تابش
۵۸	..... دُزاهنگ و محلِ نگهداریِ دوربین	۳۴	..... پیامدهای قطعیِ پرتوگیری
۵۹	..... دُزاهنگ و وسیله‌ی ترابری	۳۵	..... پیامدهای اتفاقیِ پرتوگیری
۶۰	..... دُزاهنگ و ناحیه‌ی تحت‌کنترل	۳۶	..... زمانِ بروزِ پیامدهای پرتوگیری
۶۰	..... دستگاه هشداردهنده	۳۶	..... بافت‌های حساس به پرتو
۶۱	..... سنجشِ دُرِ تجمعی	۳۷	..... نشانه‌های فراپرتوگیری
۶۲	..... دُزسنجِ خوانشِ مستقیم: دُزسنجِ قلمی	۳۷	..... پایشِ سلامتِ پرتوکارها
۶۳	..... دُزسنجِ خوانشِ غیرمستقیم: تی‌ال‌دی	<b>- فصل ۳. کمیّت‌ها و یکاها در حفاظتِ پرتوی</b>	
۶۴	..... حدِ دُرِ سالانه	۴۰	..... دشواریِ اندازه‌گیریِ آسیب‌های تابشی
۶۶	..... مراکزِ خدماتِ دُزسنجی	۴۰	..... اندازه‌گیریِ آسیب
<b>- فصل ۵. حفاظت در برابرِ پرتوگیریِ خارجی</b>		۴۱	..... دُرِ جذبی و یکاهای آن
۶۸	..... انواعِ پرتوگیری	۴۲	..... دُرِ معادل

نمونه‌هایی از سوانج پرتونگاری ..... ۱۰۰

#### - پیوست‌ها

پیوست I ابزارهایی برای تخمین فعالیت چشمه‌ها ..... ۱۰۹

پیوست II ابزاری برای محاسبه دُزاهنگ ..... ۱۱۱

پیوست III ابزارهایی برای تعیین مرزها ..... ۱۱۷

#### - برای مطالعه‌ی بیش‌تر

برای مطالعه‌ی بیش‌تر ..... ۱۱۹

#### - نمایه

نمایه ..... ۱۲۱

عوامل مؤثر بر پرتوگیری خارجی ..... ۶۸

عامل زمان ..... ۶۹

عامل فاصله ..... ۶۹

نواحی کار با پرتو ..... ۷۰

ناحیه‌ی ممنوعه ..... ۷۰

ناحیه‌ی تحت کنترل ..... ۷۱

مرزبندی ..... ۷۲

عامل حفاظ ..... ۷۳

حفاظ‌گذاری ..... ۷۴

لایه‌های نیمه‌کننده و یک‌دهم‌کننده ..... ۷۵

#### - فصل ۶. فرایند پرتونگاری

پرتونگاری بسته ..... ۸۰

پرتونگاری باز ..... ۸۰

تجهیزات لازم برای پرتونگاری باز ..... ۸۱

مرحله‌ی تدارک تجهیزات ..... ۸۲

حمل دوربین ..... ۸۳

مرحله‌ی آمادگی برای پرتونگاری ..... ۸۵

عملیات پرتونگاری ..... ۸۸

#### - فصل ۷. سوانج پرتونگاری

سانحه ..... ۹۶

دسته‌بندی سوانج ..... ۹۶

مقایسه‌ی ریسک پیشه‌های پرتوی ..... ۹۶

سوانج پرتونگاری ..... ۹۶

علل سوانج پرتوی در پرتونگاری صنعتی ..... ۹۷

پیش‌گیری از سوانج ..... ۹۸

مقابله با سوانج ..... ۹۹

وظایف پرتونگار هنگام وقوع سانحه ..... ۱۰۰

# مقدمه و خالی

## راهنمای خوانندگان

انواع پرتونگاری، بلکه برای پیشه‌های پرتوی دیگر نیز کاربرد دارد.

هر فصل کتاب عناوینی دارد که تا حد زیادی مستقل از هم نوشته شده‌اند. عیب استقلال این است که بعضی از مطالب در طول کتاب به‌ناچار تکرار شده است. خوبی‌اش، اما، این است که خواننده‌ی کم‌وبیش آشنا با موضوعات می‌تواند مستقیم و بدون مراجعه به مطالب پسین و پیشین عنوان مورد نظرش را بخواند. این کتاب به‌گونه‌ای نوشته شده است که برای آموزگاران و نیز شاگردان این دوره قابل استفاده باشد؛ هرچند روش مطالعه‌ی کتاب ممکن است برای این دو دسته از خوانندگان یکسان نباشد. از این رو، توصیه‌هایی به‌نظرم می‌رسد که می‌تواند خواندن کتاب را برای ایشان آسان کند.

### اگر متقاضی اشتغال به پیشه‌ی پرتونگاری هستید

نخست توصیه می‌کنم که پیش از اشتغال به پرتونگاری، و گذشته از این که قانون و ضوابط چه می‌گوید، در دوره‌های آموزش

پرتونگاری صنعتی یک کار تخصصی و تاحدودی پرمخاطره است. بدینسان، داوطلبین اشتغال به پیشه‌ی پرتونگاری باید، از سویی، برای انجام پرتونگاری آموزش ببینند و، از سوی دیگر، بیاموزند که کارشان را به‌صورت ایمن و امن انجام دهند تا خود و دیگران را به مخاطره نیندازند.

در زمان نگارش این کتاب، در ایران، پرتونگاریها مکلف به گذراندن یک دوره‌ی آموزش پرتونگاری مَدون نیستند، اما مکلف‌اند یک دوره‌ی آموزش حفاظت در برابر اشعه را از سر بگذرانند تا از سوی مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور مُجاز به اشتغال به این پیشه شوند. کتاب حاضر کتابی درسی است که برای چنین دوره‌ی آموزشی‌ای نوشته شده است. کتاب ویژگی‌هایی دارد که شاید بد نباشد پیش از خواندنش، این ویژگی‌ها را بدانید.

کتاب را تا جایی که توانسته‌ام به‌زبان ساده نوشته‌ام. و تنها مطالبی را در آن گنجانده‌ام که دانستن آن‌ها برای انجام ایمن و امن پرتونگاری لازم است.

تمرکز کتاب بر پرتونگاری گاما و دوربین‌های پرتونگاری دستی است؛ هرچند، بسیاری از مطالب آن، نه‌تنها برای دیگر

دهد موضوعات را با نظم فکری خودش آموزش دهد. در این صورت، نمایه‌ی آخر کتاب می‌تواند مفید باشد. آموزگاران باید توجه کنند که بسیاری از موضوعات مهم هستند که به صورت غیرمستقیم مطرح شده‌اند. برای نمونه، رسم بر این است که در دوره‌های حفاظت در برابر اشعه، مبحثی به نام فلسفه‌ی حفاظت در برابر اشعه مطرح، و در آنجا به موضوع توجیه‌پذیری، بهینه‌سازی، و حدِ دُر پرداخته می‌شود؛ اما در این کتاب این موضوعات در لابه‌لای مطالب دیگر و به صورت کاربردی مطرح می‌شود. این روش کمک می‌کند شاگردان این مطالب انتزاعی را بیهوده نیابند و آن‌ها را به‌تر فراگیرند.

**ایوب بنوشی**

[ayoubbanoushi@yahoo.com](mailto:ayoubbanoushi@yahoo.com)

**فروردین ۱۴۰۲**

حفاظت در برابر اشعه برای پرتونگاری صنعتی شرکت کنید. اما فراموش نکنید حق شماسست که از برگزارکنندگان دوره‌ها بخواهید در کلاس‌ها از تجهیزات پرتونگاری و حفاظتی واقعی برای آموزش استفاده کنند و تنها به آموزش نظری اکتفا نکنند. با این حال، من تلاش کرده‌ام کتاب را به‌گونه‌ای بنویسم که شما بتوانید بی‌نیاز از آموزگار آن را بخوانید و عمده‌ی مطالب را فراگیرید. برای خودآموزی توصیه می‌کنم کتاب را از اول به آخر بخوانید، به نکات حفاظتی‌ای که جابه‌جا در متن آمده است دقت کنید، و سعی کنید به پرسش‌هایی که در متن گنجانیده شده است پاسخ دهید.

بسیاری از موضوعات هستند که در بیش از یک جا در کتاب به آن‌ها پرداخته شده است. پس اگر به هر دلیل با موضوعات کتاب آشنایی دارید و مایل‌اید عنوان خاصی را در آن دنبال کنید، به فهرست کتاب رجوع نکنید؛ بلکه آن عنوان را در نمایه‌ی انتهای کتاب جست‌وجو کنید. در نمایه، عناوین مهم و شماره‌ی صفحاتی که در آن‌ها به‌نحوی به آن عنوان‌ها پرداخته شده است آمده است.

## اگر آموزگار دوره‌های حفاظت در برابر اشعه هستید

فرض من این است که آموزگار دوره‌های حفاظت در برابر اشعه بر موضوعات این کتاب تسلط دارد، پس شاید لازم نباشد آموزگاران کتاب را از اول تا به آخر با دقت بخوانند؛ هرچند، یک بار ورق‌زدن کتاب برای آشنایی با توالی موضوعات لازم است. با وجود این، ممکن است آموزگاری این توالی را نپسندد و ترجیح



## فصل یکم

# منابع تابش در پرتونگاری صنعتی

---

---

### در این فصل قرار است

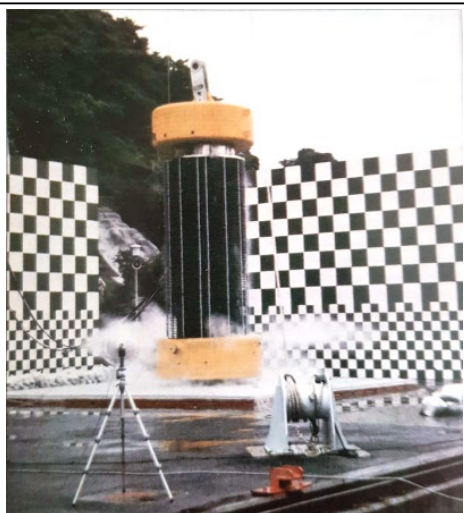
- با تابش ایکس و تابش گاما آشنا شویم ...
- بعضی از ویژگی‌های مهم پرتوهای ایکس/گاما را یاد بگیریم ...
- با سازوکار تولید تابش ایکس/گاما آشنا شویم ...
- منابع تابش ایکس/گاما را بشناسیم.

## آزمون‌های غیرمخرب

گاهی عیب‌هایی پنهانی درون قطعات صنعتی یا در جوش‌های اتصال‌دهنده هست که به چشم نمی‌آیند. این ناپیدایی دلیل بر بی‌اهمیتی این عیب‌ها نیست؛ بلکه برعکس، گاهی باعث خطرناکی بیش‌تر آن‌هاست؛ زیرا وقتی قطعات و اتصالات در دستگاه‌ها، مخازن، خطلوله‌ها و از این قبیل به کار گرفته می‌شوند، این عیب‌ها ممکن است گسترش یابند و خسارات فراوانی به جا بگذارند. برای مثال، وجود عیبی کوچک و ناپیدا در بال یک هواپیما می‌تواند به سقوط آن بینجامد.

به دلیل اهمیت این عیب‌های پنهان، روش‌هایی برای یافتنشان ابداع شده است. در این روش‌ها بدون این که به دستگاه‌ها یا قطعات آسیبی وارد شود، عیب‌های پنهان آن‌ها جست‌وجو می‌شود. به این روش‌ها *آزمون‌های غیرمخرب* گفته می‌شود. لقب غیرمخرب به خراب‌نشدن قطعات تحت آزمون اشاره دارد. (شکل ۱-۱)

آزمون چشمی (VT)، آزمون مایعات نافذ (PT)، آزمون ذرات مغناطیسی (MT)، آزمون جریان گردابی (ET)، آزمون فراصوت (UT)، آزمون گسیل اکوستیکی (AE)، و بالاخره آزمون پرتونگاری (RT) رایج‌ترین انواع آزمون‌های غیرمخرب هستند. (شکل ۱-۲) این آزمون‌ها گاهی می‌توانند جای‌گزین هم شوند، اما این امکان همیشگی نیست. انتخاب نوع آزمون، به جنس ماده‌ی تحت‌آزمون، نوع عیبی که در پی آن هستیم، چه‌گونه‌ی دسترسی به قطعه، هزینه، محدودیت‌های زمانی، و ... بستگی دارد. از این روش‌ها تنها UT و RT برای یافتن عیب‌های عمقی مناسب هستند. از این دو، به دلیل محدودیت‌های UT (مانند دشواری تفسیر یا ناکارآمدی برای قطعات نازک)، گاهی روش RT ترجیح



(الف) آزمون مخرب رهاکردن از ارتفاع ۹ متری یک محفظه‌ی ۵۰ تنی حمل سوخت مصرف‌شده‌ی یک ری‌اکتور هسته‌ای. [برگرفته از

IAEA/PI/A.2E, Safe transport of radioactive material, 1985.]



(ب) آزمون غیرمخرب پرتونگاری از یک مخزن. [برگرفته از International inspection centre co (۱۴۰۰/۰۲/۰۹) به‌نشانی

<http://www.intrexkw.com>

شکل ۱-۱. مقایسه‌ی آزمون مخرب با آزمون غیرمخرب.