پرتوگیری: پیامدها و راه‌های مقابله با آن

دوره‌ای یک‌روزه برای آتش‌نشان‌ها

ایوب بنوشی

فهرست

- موادِ خطرناک
- پرتو و پرتوزایی
- منابعِ پرتو
- پرتوگیری و پیامدهای آن
- ابزارهای اندازه‌گیریِ دُزِ تابشی و دُزاهنگِ تابشی
- پرتوگیریِ خارجی
- پرتوگیریِ داخلی
- آلودگیِ خارجی
- سوانحِ رادیولوژیکی

مواد خطرناک

دسته‌بندیِ موادِ خطرناک

- آتش‌نشان ممکن است در حین مأموریت با موادِ خطرناک مواجه شود.
- موادِ خطرناک به نُه دسته تقسیم می‌شوند.

شماره‌ی دسته	نوعِ مواد
۱	منفجره
۲	گازها
۳	مایع‌های قابل‌اشتعال
۴	جامدهای قابل‌اشتعال
۵	اکسیدکننده‌ها و پر‌اکسیدهای آلی
۶	زهراگین و عفونی
۷	پرتوزا (رادیواکتیو)
۸	موادِ خورنده
۹	سایر

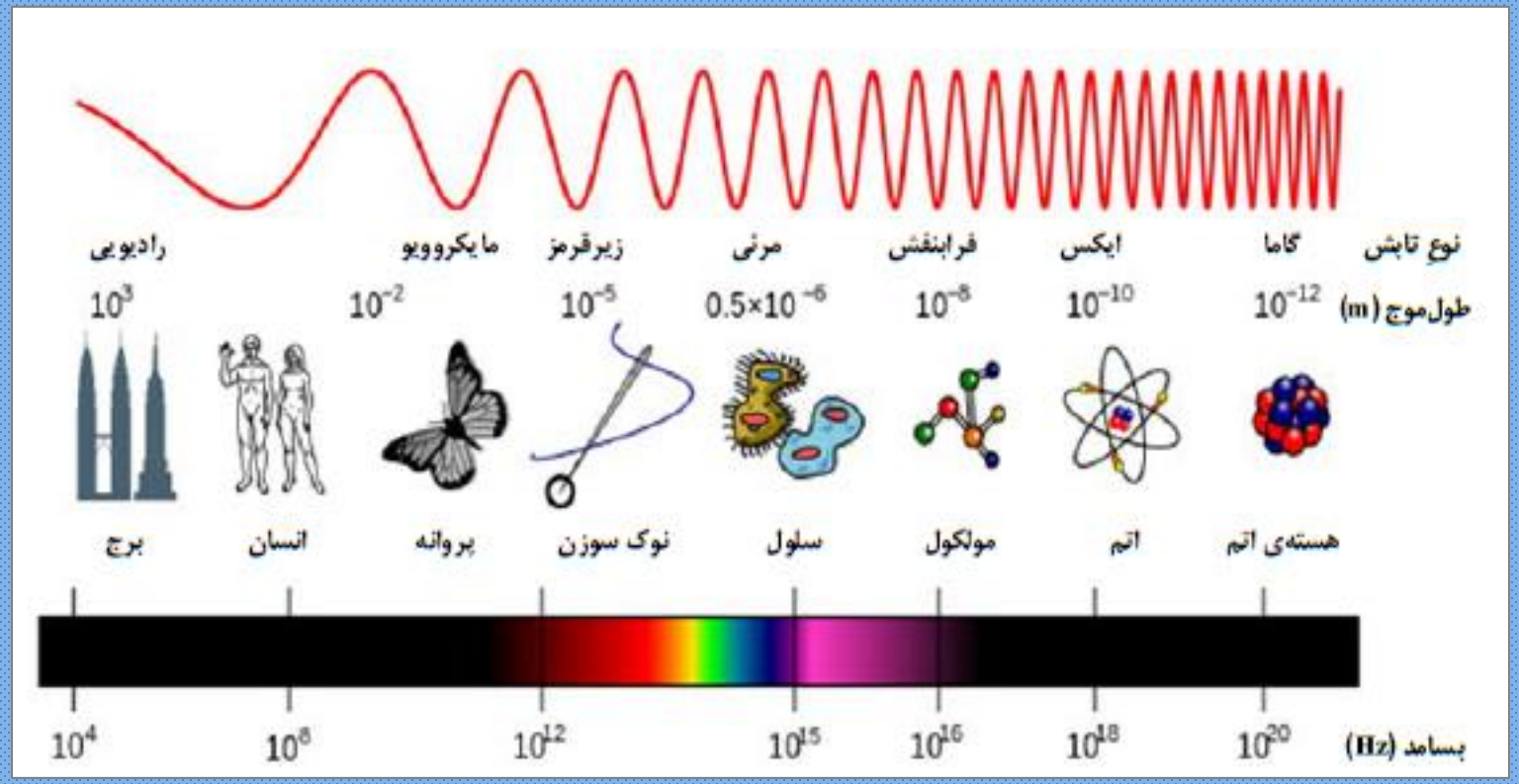
دسته‌بندیِ موادِ خطرناک

- گروه اول: مواد منفجره
- گروه دوم: گازها
- گروه سوم: مایعات قابل اشتعال
- گروه چهارم: جامدات قابل اشتعال
- گروه پنجم: اکسیدکننده‌ها و پراکسیدهای آلی
- گروه ششم: مواد سمی و عفونی
- گروه هفتم: مواد پرتوزا
- گروه هشتم: مواد خورنده
- گروه نهم: سایر مواد خطرناک

پرتو و پرتوزایی

پرتو چی‌ست؟

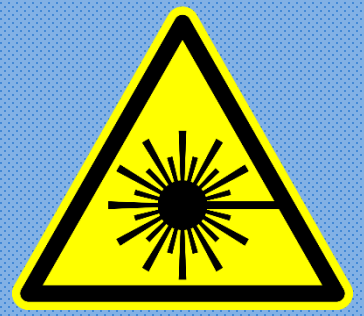
- پرتوها امواج یا ذره‌های حاملِ انرژی هستند.
- پرتوها می‌توانند برای سلامتی مضر باشند.
- سازوکار آسیب‌رسانیِ پرتوها متفاوت است:
  - یون‌ساز
  - غیریون‌ساز



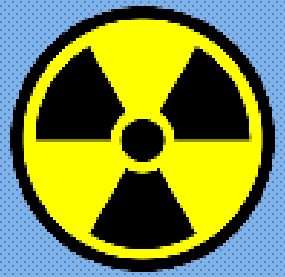
تصاویر برگرفته از مرجع [۱]

پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز

- پرتوهای غیریون‌ساز
  - امواجِ صوتی و فراصوتی
  - امواجِ رادیویی
  - امواجِ مایکروویو
  - امواجِ فروسرخ
  - نورِ مرئی (لیزر)
  - امواجِ فرابنفش



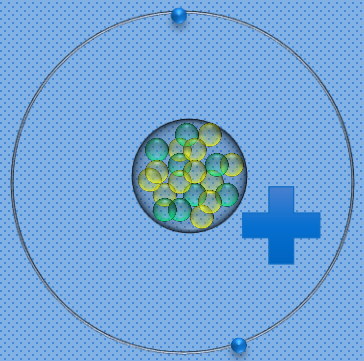
- پرتوهای یون‌ساز
  - تابشِ ایکس
  - تابشِ گاما
  - تابشِ آلفا
  - تابشِ بتا
  - تابش نوترون



یونش چی‌ست؟

تابشِ یون‌ساز

الکترون



ویژگی‌های تابشِ یون‌ساز

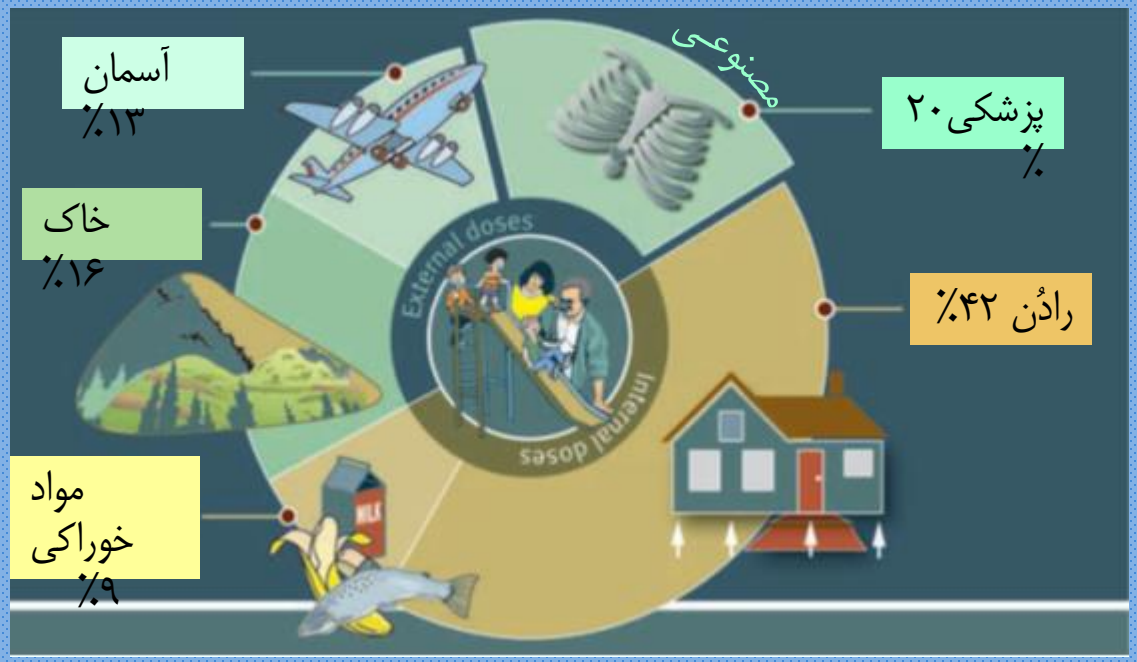
- تابشِ گاما
  - از موادی به‌نامِ موادِ پرتوزا (رادیواکتیو) گسیل می‌شوند.
  - در اجسام و بدن، کم‌وبیش، نفوذ می‌کند.
- تابشِ آلفا
  - از موادی به‌نامِ موادِ پرتوزا (رادیواکتیو) گسیل می‌شوند.
  - در اجسام و بدن نفوذ نمی‌کنند.
- تابشِ بتا
  - از موادی به‌نامِ موادِ پرتوزا (رادیواکتیو) گسیل می‌شوند.
  - در اجسام و بدن کمی نفوذ می‌کنند.
- تابشِ نوترون
  - در اثرِ فرایندهای هسته‌ای (مثلاً شکافتِ هسته‌ای) تولید می‌شوند.
  - در اجسام و بدن نفوذ می‌کنند.
- تابشِ ایکس
  - بیش‌تر توسطِ دستگاه‌های برقی تولید می‌شود.
  - در اجسام و بدن، کم‌وبیش، نفوذ می‌کند.

امواج یون‌ساز، همگی، نامحسوس هستند!

منابع پرتو

منابعِ طبیعی و مصنوعی

- به‌صورت طبیعی همه‌جا هستند (پرتوهای کیهانی، پرتوهای گسیلی از زمین).
- کاربردهای مفیدی دارند و به‌صورت مصنوعی هم تولید می‌شوند.



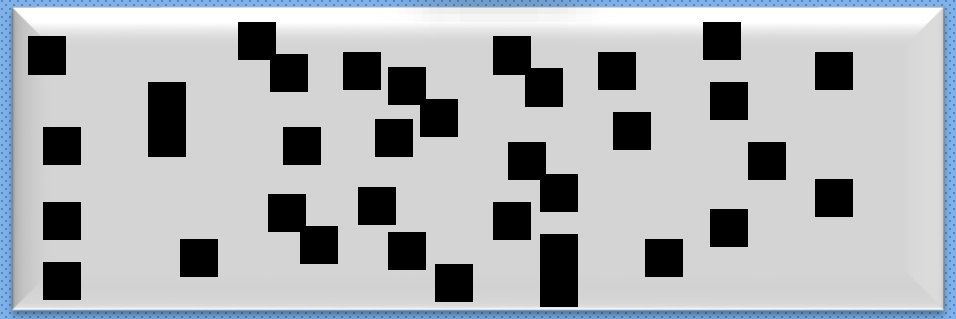
منابعِ تابشِ یون‌ساز

دستگاه‌های مولدِ تابش

- مولدهای ایکس (دستگاه)
- ری‌اکتورهای هسته‌ای (تأسیسات)
- شتاب‌دهنده‌ها (تأسیسات)
- چشمه‌های پرتوزا (کوچک و قابل‌حمل)

پرتوزایی و چشمه‌های پرتوزا

- پرتوزایی ویژگیِ طبیعیِ بعضی از مواد است.
- پرتوزایی مواد را با کمیتی به‌نام فعالیت (اکتیویته) می‌سنجند.
  - یکای اندازه‌گیریِ فعالیت کوری (Ci) یا بکرل (Bq) است.
- چشمه‌ها بسته‌هایی حاویِ موادِ پرتوزا هستند.
- چشمه‌ها ممکن است باز یا بسته باشند.



کبالت ۶۰

نیکل ۶۰

منابعِ پرتو کجاها هستند؟

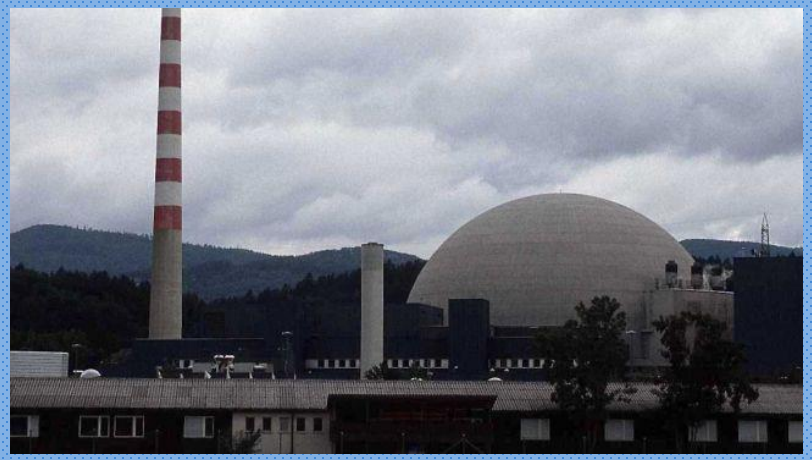
- مراکز پزشکی
  - رادیولوژی
  - رادیوتراپی
  - پزشکیِ هسته‌ای
- مراکز صنعتی
  - کارخانه‌ها
  - پتروشیمی‌ها
  - صنایعِ نفت و گاز
- دانشگاه‌ها و مراکزِ پژوهشی
  - آزمایش‌گاه‌های هسته‌ای
  - آزمایش‌گاه‌های مواد
- تأسیسات
  - تابش‌دهی
  - ری‌اکتورها
  - چرخه‌ی سوخت

تأسیسات ـ ری‌اکتورِ هسته‌ای

- ری‌اکتورهای هسته‌ای برای
  - تولیدِ برق (بوشهر)،
  - کارهای پژوهشی (تهران)، و
  - تولید رادیودارو (تهران)

  استفاده می‌شوند.

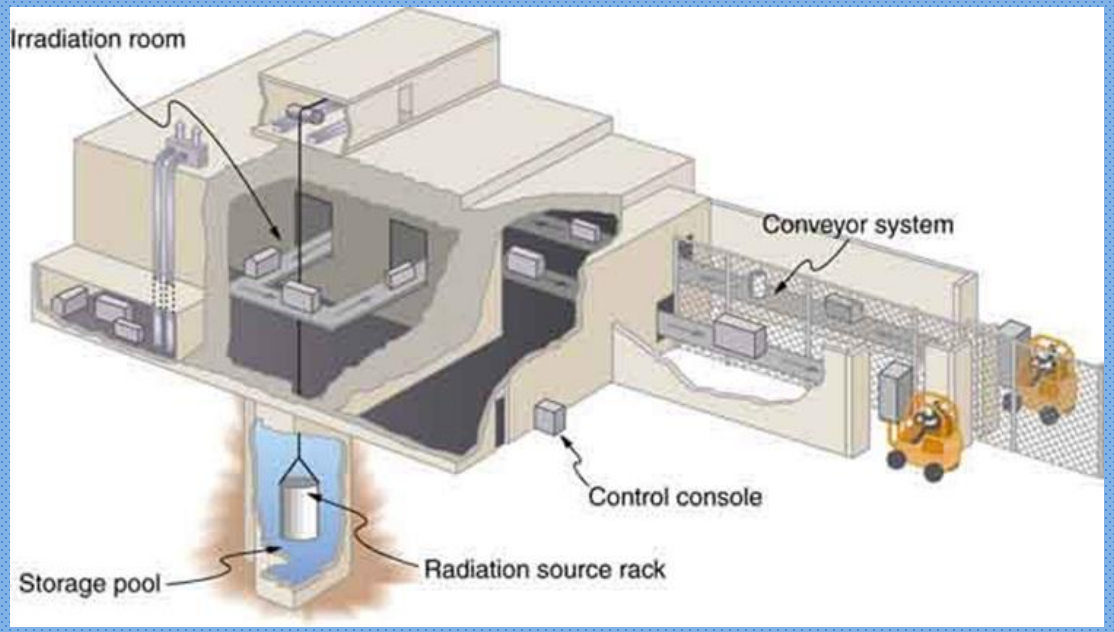
The Tehran Research Reactor.



تأسیسات ـ چرخه‌ی سوختِ هسته‌ا

تصاویر برگرفته از مرجع [۱]

تأسیسات ـ تابش‌دهیِ گاما



رده‌بندیِ خطر	1: Extremely dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	Normally a purpose built industrial building of 100 m length × 200 m width × 6 m height
وزنِ نوعی	———
کاربرد	Sterilization of materials by exposure to gamma radiation
چشمه	up to 185 PBq (5 MCi) 60Co

تصاویر برگرفته از مرجع [۱]

مراکزِ پزشکی ـ مراکزِ رادیولوژی

(الف) رادیوگرافیِ ایکس

(ب) ماموگرافی

(پ)رادیوگرافیِ دندان

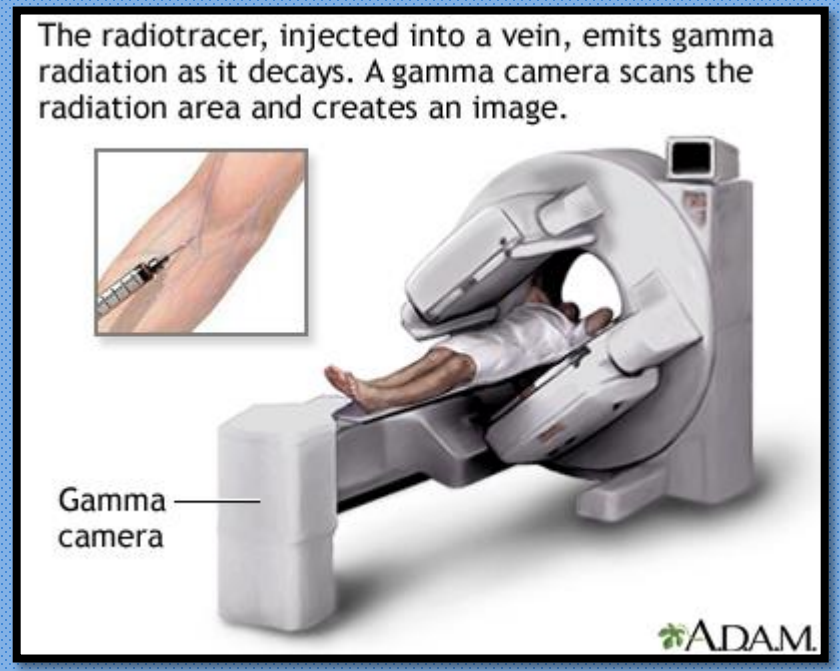
حفاظ‌های تابشی

(ت) فلوروسکپی

(ث) سی‌تی‌اسکن

تصاویر برگرفته از مرجع [۱]

مراکزِ پزشکی - پزشکیِ هسته‌ای



مراکزِ پزشکی - براکی‌تراپی

ردەبندیِ خطر	
2: Very dangerous to the person, if not properly controlled	
ابعادِ نوعی	Device: 300–600 mm length × 300–600 mm width × 800–1500 mm height
وزنِ نوعی	50–250 kg
کاربرد	Medical therapy
چشمه	192Ir: up to 20 sources of up to 500 GBq (14 Ci) each; 137Cs: up to 40 sources of up to 1.5 GBq (40 mCi) each

FIG. 87. Modern ^{137}Cs brachytherapy remote afterloading machine (photograph: Seedos/Bebig).

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ پزشکی - رادیوتراپی (تله‌تراپی)

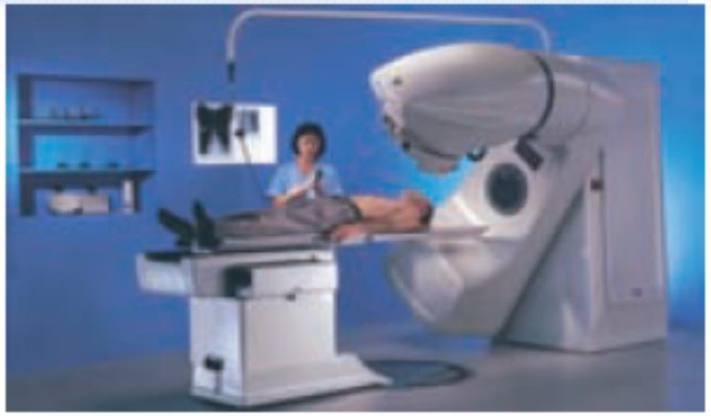


FIG. 10. Modern teletherapy unit (photograph: MDS Nordion).

FIG. 13. Modern teletherapy unit (photograph: BRIT)

رده‌بندیِ خطر	1: Extremely dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	Teletherapy head holding the source: 300–600 mm diameter × 300–600 mm length;
وزنِ نوعی	Whole device: 4 m length × 2 m width × 3 m height Teletherapy head holding the source: 200–500 kg
کاربرد	Whole device 500–1000 kg Medical therapy
چشمه	up to 370 TBq (10 kCi) 60Co

FIG. 14. Old ^{60}Co teletherapy heads

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ پزشکی ـ تابش‌دهنده‌ی خون

رده‌بندیِ خطر	1: Extremely dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	Typical range of dimensions 1 m length × 1 m width × 1.5 m height
وزنِ نوعی	Typical range of mass 1500–3500 kg
کاربرد	Application Medical; irradiation of blood
چشمه	up to 250 TBq (7 kCi) 137Cs; up to 25 TBq (7 kCi)

FIG. 17. Blood irradiator shielded cavity overpack for transport (photograph: MD Nordion)

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ پژوهشی ـ تابش‌دهنده‌ی مواد

رده‌بندیِ خطر	1: Extremely dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	1.5 m length × 1.5 m width × 2 m height
وزنِ نوعی	1000–6000 kg
کاربرد	Research; irradiation of materials
چشمه	70 TBq (2 kCi) to 900 TBq (25 kCi) 60Co

FIG. 22. Typical sample irradiator (photograph: BRIT)

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ صنعتی ـ چاه‌پیمایی با چشمه‌ی گاما

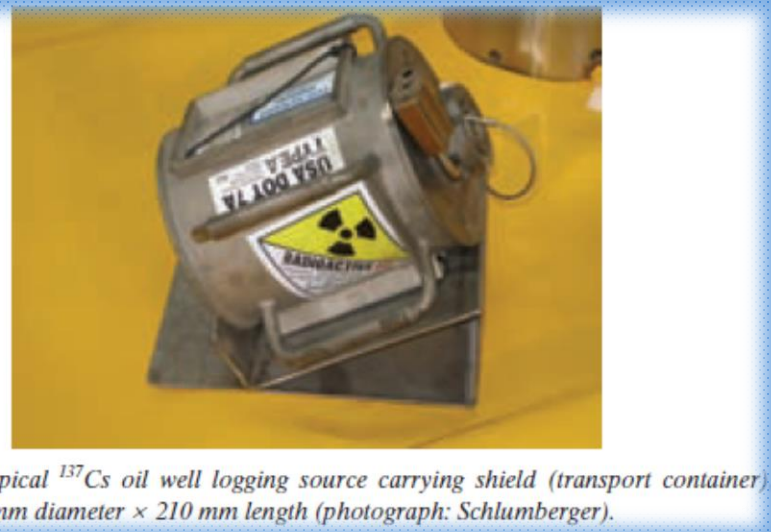


FIG. 35. Typical ^{137}Cs oil well logging source carrying shield (transport container) 37 kg × 170 mm diameter × 210 mm length (photograph: Schlumberger).

رده‌بندیِ خطر	2: Very dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	20–60 mm diameter × 100–150 mm length
وزنِ نوعی	500–1000 g
کاربرد	Industrial; oil exploration and production
چشمه	37 GBq (1 Ci) to 111 GBq (3 Ci) 137Cs

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ صنعتی ـ چاه‌پیمایی با چشمه‌ی نوترون

FIG. 36. Typical ^{241}Am/Be neutron oil well logging sourc

FIG. 41. Typical neutron oil well logging source transport and storage containers

رده‌بندیِ خطر	2: Very dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	20–60 mm diameter × 100–150 mm length
وزنِ نوعی	500–1000 g
کاربرد	Industrial; oil exploration and production
چشمه	74 GBq (2 Ci) to 740 GBq (20 Ci) 241Am/Be

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ صنعتی ـ پرتونگاریِ صنعتی با گاما

ردهبندیِ خطر	2: Very dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	192Ir, 75Se units: 350 mm length × 200 mm width × 240 mm height 60Co units: up to 900 mm length × 900 mm width × 900 mm height
وزنِ نوعی	192Ir, 75Se units: 8–35 kg; 60Co units: 100–200 kg
کاربرد	Mobile industrial radiography in factories and construction
چشمه	5.5 TBq (150 Ci) of 192Ir; 370 GBq (10 Ci) of 60Co

حدود ۲۰ سانتی‌متر

مراکزِ صنعتی ـ پرتونگاریِ صنعتی با ایکس

تیوب پرتوِ ایکس

مراکزِ صنعتی ـ سنجش گرهای پرتوی

ردەبندیِ خطر	3: Dangerous to the person, if not properly controlled
ابعادِ نوعی	200–400 mm diameter × 300–700 mm length
وزنِ نوعی	20–400 kg
کاربرد	Industrial process control
چشمه	137Cs 370 MBq (10 mCi) to 370 GBq (10 Ci) 60Co 37 MBq (1 mCi) to 37 GBq (1 Ci)

FIG. 66. Pipeline density gauges in position.

FIG. 60. ^{137}Cs gauge source holder (photograph: Endress+Hauser)

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

مراکزِ صنعتی ـ ضخامت‌سنج

FIG. 72. Beta gauge in place on a web processing mill (photograph: Betarem)

FIG. 73. Detail of a beta gauge source holder (photograph: Betarem)

رده‌بندیِ خطر	4: Unlikely to be dangerous to the person
ابعادِ نوعی	100–300 mm length × 100–300 mm width × 100–300 mm height
وزنِ نوعی	10–20 kg
کاربرد	Industrial process control
چشمه	90Sr 370 MBq (10 mCi) to 3.7 GBq (100 mCi); 85Kr 370 MBq (10 mCi) to 18.5 GBq (500 mCi);

تصاویر برگرفته از مرجع [۶]

شناسایی بسته‌های پرتوزا

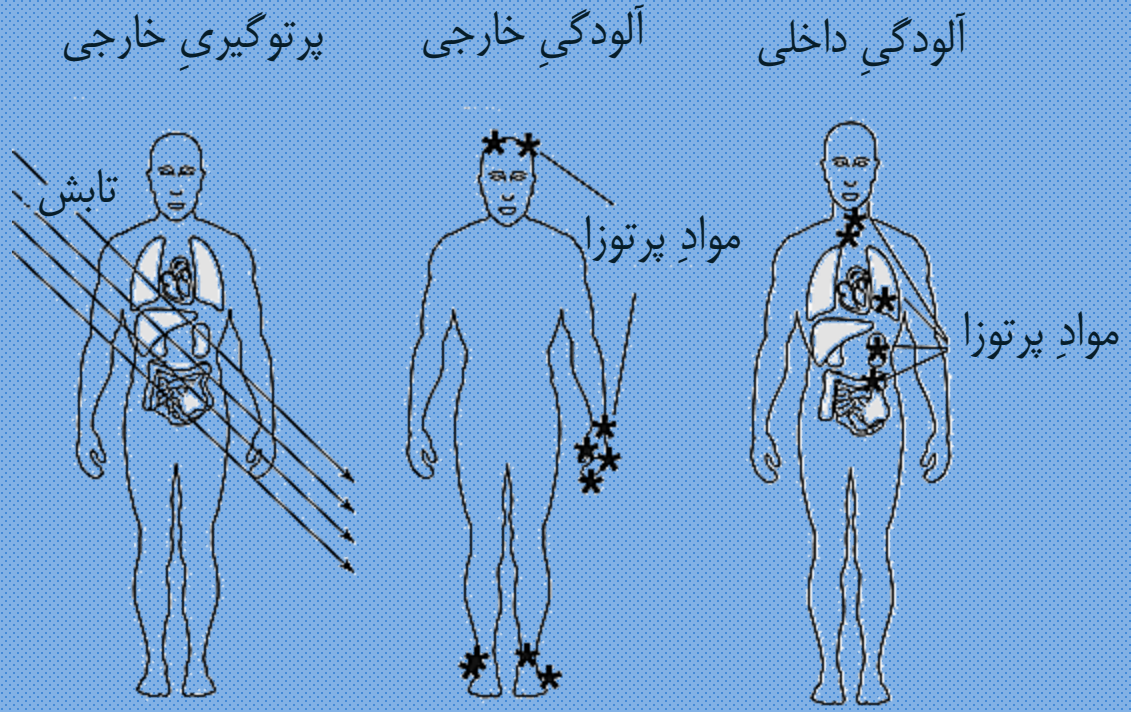
- بسته‌های حاویِ مواد پرتوزا را با علایمِ متفاوتی می‌توان شناسایی کرد.
- بسته‌های حاویِ موادِ پرتوزا را با دُزاهنگ‌سنج‌های مناسب می‌توان شناسایی کرد.

UN number

پرتوگیری و پیامدهای آن

پرتوگیری

- مواجهه‌ی انسان با تابش را پرتوگیری گویند.
- پرتوگیری ممکن است خارجی یا داخلی باشد.



پیامدهای پرتوگیری

- پرتوگیری اگر از ترازهای آستانه‌ای فراتر باشد (فراپرتوگیری) ممکن است به پیامدهای بهداشتیِ قطعی می‌انجامد.
- پرتوگیری یک عاملِ سرطان‌زا است
  - سرطان پیامدِ اتفاقیِ پرتوگیری است.
- پرتوگیری می‌تواند پیامدهای ارثی نیز داشته باشد
  - بیماری‌های ارثی، همانندِ سرطان، پیامد اتفاقیِ پرتوگیری هستند.
- پیامدهای پرتوگیری ممکن است زودرس یا دیررس باشند.

بعضی از پیامدهای قطعی

- ریزش مو
- تاول و سوختگی
- اسهال
- تهوع
- استفراغ
- سرگیجه و عدم‌تعادل

معیارهای پرتوگیری

- اثرات پرتو بر یک جسم/بدن تابعی از انرژی است که پرتو در جسم/بدن تخلیه می‌کند. این انرژی با کمیّتی به‌نام دُز جذبی با یکای گری (Gy) سنجیده می‌شود.
- شدت پیامدهای قطعی پرتوگیری و احتمال بروز پیامدهای اتفاقیِ پرتوگیری علاوه بر انرژی تخلیه‌شده به نوع پرتو و بافت‌های تحت‌تابش بستگی دارد.
- معیار حفاظتی برای تعیین ریسکِ پرتوگیری کمیت‌های دُز معادل و دُز مؤثر با یکای سیورت (Sv) هستند.

آستانه‌های بروز چند پیامد قطعی

- تاکنون هیچ پیامدی قطعی برای دُزهای مؤثرِ زیر ۱۰۰ mSv دیده نشده است.

جدولِ ۴ــ۱. دُزهای آستانه‌ی تقریبی برای چند دسته از پیامدهای قطعیِ پرتوگیری.* توجه کنید که این دُزهای آستانه برپایه‌ی مطالعاتِ همه‌گیرشناسانه به‌دست آمده‌اند و استفاده از آن‌ها برای تک‌تکِ افراد و برای مقاصدِ پزشکی لزوماً نتیجه‌ی درستی به‌دنبال نخواهد داشت.

بافت/اندام	پیامد (زمانِ انتظار)	دُز آستانه (گری ـ Gy)
پوست	سرخیِ موقتیِ پوست (۲ تا ۳ هفته)	۳ تا ۱۰
	ریزشِ موقتیِ مو‌ها (۱۴ تا ۱۸ روز)	بزرگ‌تر از ۳
	پوسته‌ریزیِ خشک (۲۵ تا ۳۰ روز)	۸ تا ۱۲
	پوسته‌ریزیِ مرطوب (۲۰ تا ۳۰ روز)	۱۵ تا ۲۰
	ایجادِ تاول (۱۵ تا ۲۵ روز)	۱۵ تا ۲۵
	زخم (۲ تا ۳ هفته)	بزرگ‌تر از ۲۰
	نکروز و انهدامِ بافت (۳ هفته)	بزرگ‌تر از ۲۵
دستگاهِ گردشِ خون	کاهشِ لنفوسیت‌ها (یک تا چند روز)	۰٫۲۵
	کاهشِ لنفوسیت‌ها و پلاکت‌ها طیِ ۴ هفته و سپس کاهشِ RBC[&]	۲
دستگاهِ گوارش	اسهال، اختلالِ در الکترولیت‌ها و مایعاتِ بدن، و احتمالاً زخمِ دیواره‌ی روده	۶
اسکلت	توقفِ استخوان‌سازی، کاهشِ رشد در کودکان	۰٫۲
تیروئید	اخلال در عمل کرد	۱۰۰
چشم	کاتاراکت (سال‌ها)	۲
دستگاهِ ایمنی	اخلال در واکنش‌ها	۴٫۵
دستگاهِ تولیدمثل	کاهشِ شمارِ اسپرم‌ها	۰٫۱۵ تا ۰٫۳
	ناباروریِ دائمیِ مردها (۳ هفته)	۳٫۵ تا ۶
	ناباروریِ دائمیِ زن‌ها (کم‌تر از یک هفته)	۲٫۵ تا ۴

& Red Blood Cell. گلبول‌های قرمز

* مقادیر برگرفته از

International Atomic Energy Agency, Safety Report Series No.2, *Diagnosis and treatment of radiation injuries*, IAEA, Vienna, 1998.

جدول برگرفته از مرجع [۱]

حدود دُز

- طبق مقررات، در شرایط عادی
  - حد دُز مؤثر برای مردم ۱ mSv در سال است.
  - حد دُز مؤثر برای پرتوکارها ۵۰ mSv در سال و ۱۰۰ mSv در پنج سال است.
- حدود دُز برای شرایط اضطراری یا پرتوگیری‌های پزشکی نیستند.

ابزارهای اندازه‌گیری دُز و دُزاهنگ

دُزسنج‌ها

- دُزسنج وسیله‌ای برای اندازه‌گیری دز تابشی است.
- دُزسنج‌ها ابزارهای حفاظت فردی هستند.
- دُزسنج‌ها بر دو نوع‌اند: خوانش مستقیم و خوانش غیرمستقیم

خوانش غیرمستقیم: فیلم‌بج

خوانش غیرمستقیم: تی‌ال‌دی

خوانش مستقیم: دیجیتال

خوانش مستقیم: قلمی

دُزاهنگ‌سنج‌ها

- دُزاهنگ‌سنج‌ها آهنگِ دزِ تابشی را اندازه می‌گیرند و برای پایش محیط هستند.
- با دانستن دُزاهنگ و مدت پرتوگیری می‌توان دزِ تابشی را تخمین زد:

مدت پرتوگیری × دزاهنگ = دز تابشی

- بعضی از دُزاهنگ‌سنج‌ها دز را مستقیم اندازه می

دستگاه‌های پایشِ آلودگی

- دستگاه‌های هستند که با آن‌ها آلودگیِ روی سطوح را اندازه می‌گیرند.

دستگاه‌های پایشِ آلودگیِ آلفا

دستگاه‌های تشخیصِ آلودگیِ بدن

- آلودگیِ بدن را می‌توان با
  - اندازه‌گیریِ پرتوهای خروجی از بدن، و/یا
  - آزمایش خروجی‌های بدن (مدفوع و ادرار)

  اندازه گرفت.

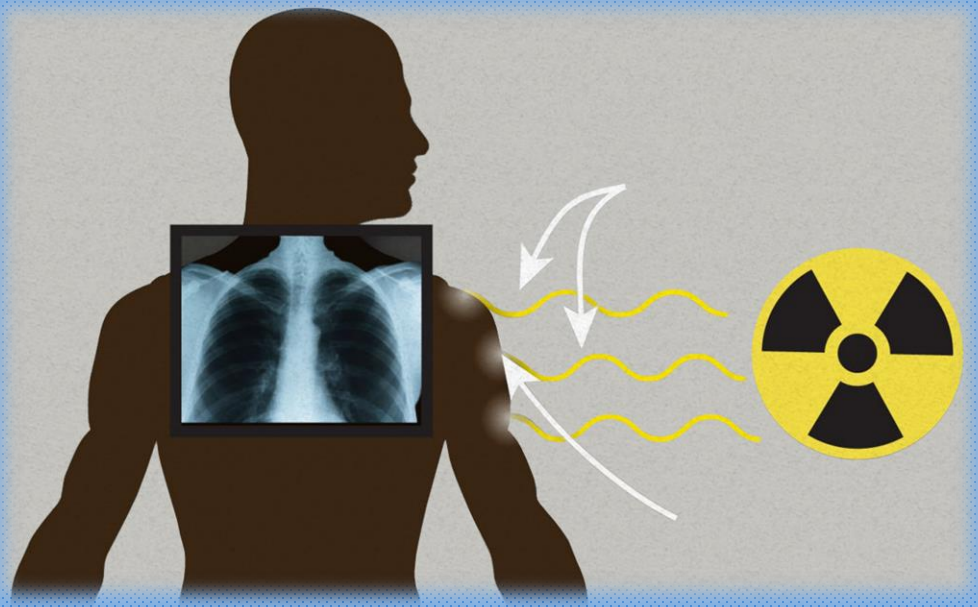
هشداردهنده‌ها

- هشداردهنده‌ها ابزارهایی هستند که اگر دُز یا دزاهنگ از حدی بیش‌تر شود (به‌صدا در می‌آیند).

پرتوگیریِ خارجی

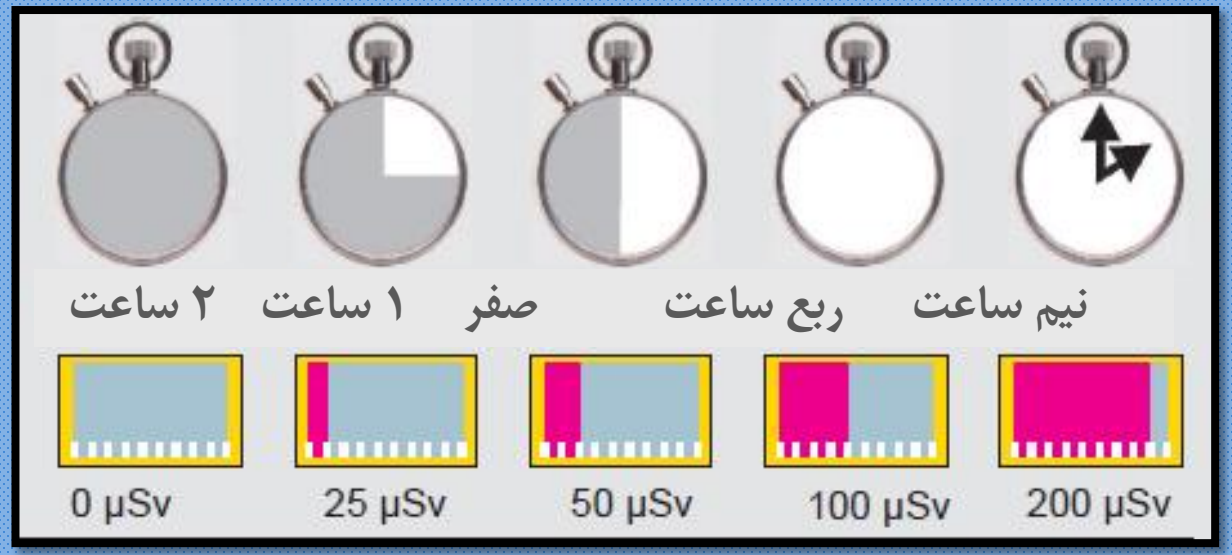
پرتوگیریِ خارجی

- پرتوگیریِ خارجی وقتی رخ می‌دهد که منابعِ تابش در بیرون از بدن انسانَ باشند.

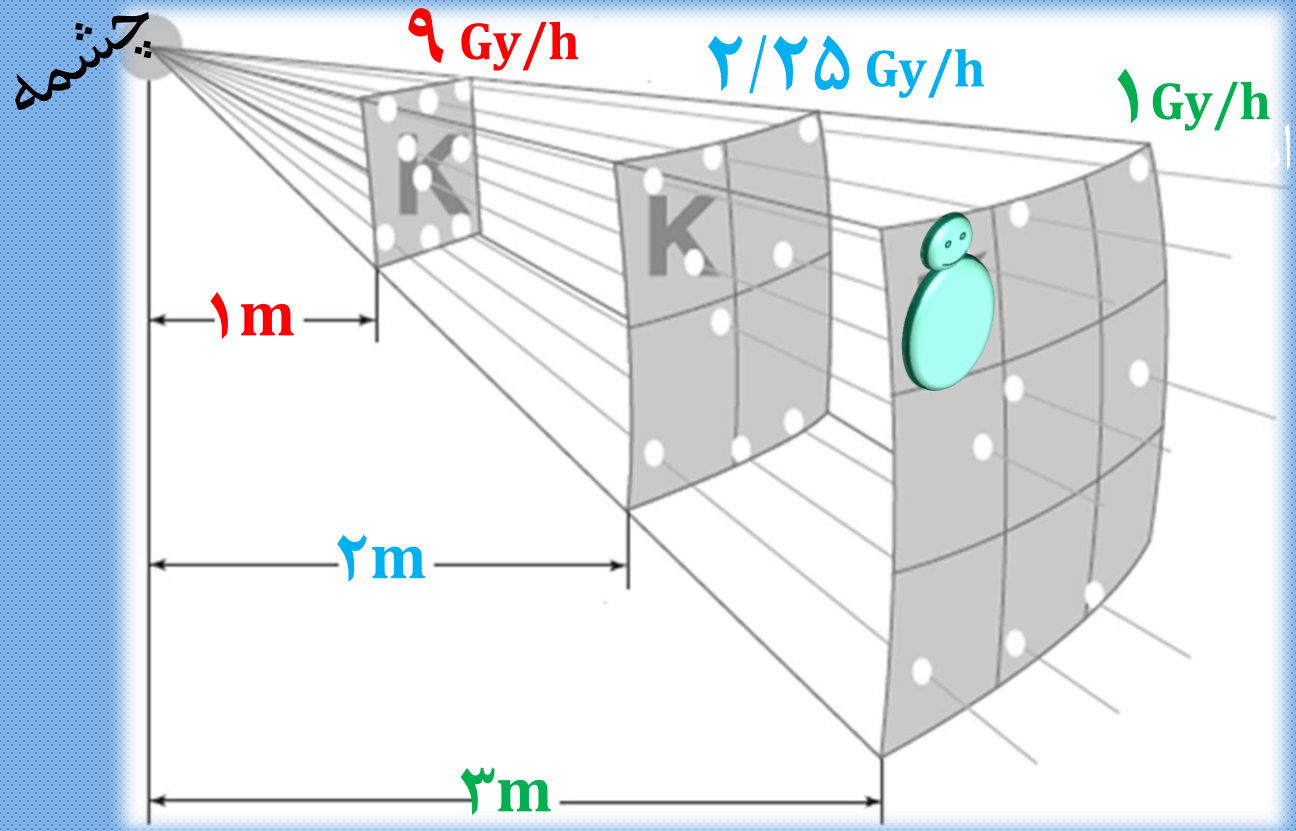


روش‌های مقابله با پرتوگیریِ خارجی: مدت‌زمان

- کاهش مدت مواجهه (عامل زمان)
- دُزِ دریافتی با مدتِ پرتوگیری متناسب است.



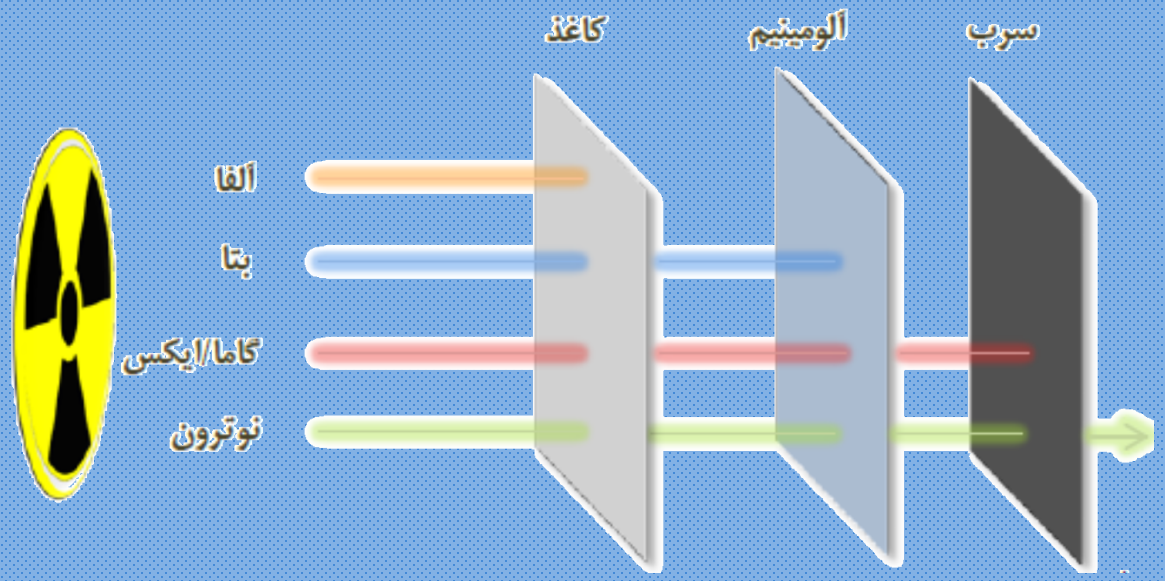
روش‌های مقابله با پرتوگیریِ خارجی: فاصله



- افزایشِ فاصله (عاملِ فاصله)
  - دُزِ دریافتی با عکسِ مربعِ فاصله متناسب ا

روش‌های مقابله با پرتوگیریِ خارجی: حفاظ

- استفاده از حفاظ‌های پرتوی (عاملِ حفاظ)
  - هر حفاظی برای هر پرتوی مناسب نیست.



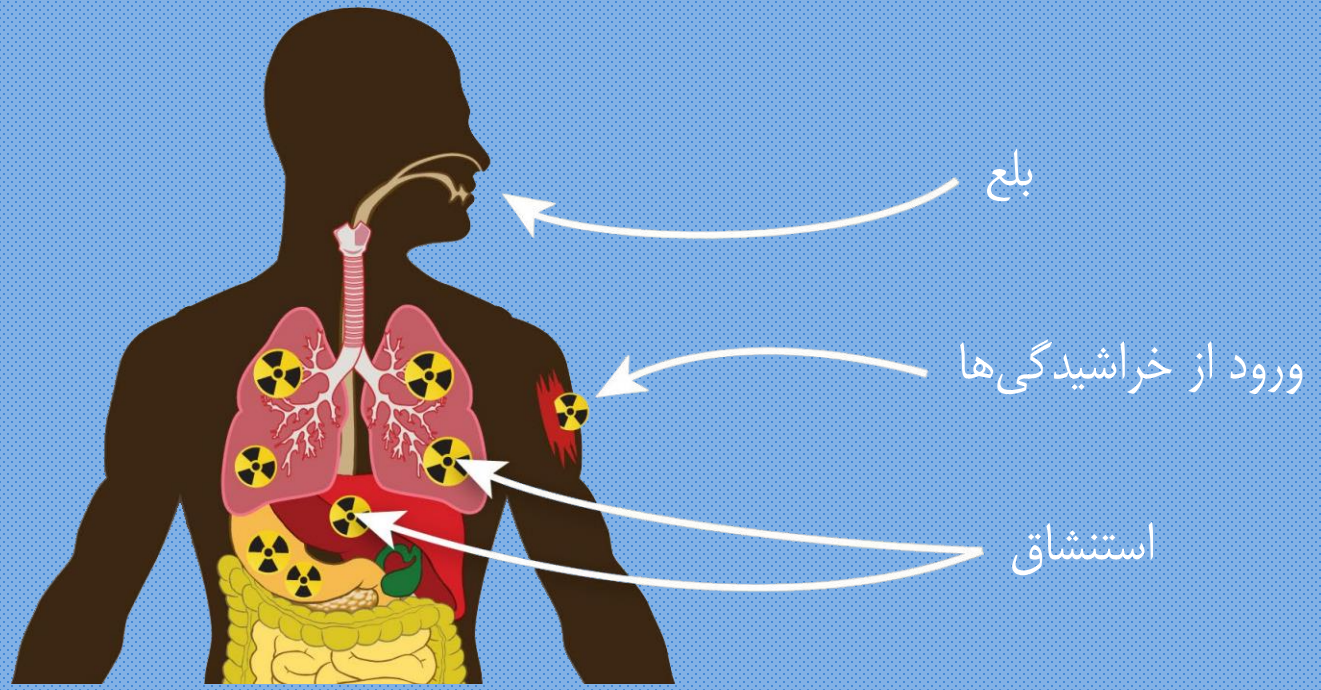
تجهیزاتِ حفاظتِ فردی

- عینک‌های سربی
- دستکشِ سربی
- لباس‌های سرتاسری
- ماسک‌های تنفسی

پرتوگیریِ داخلی

پرتوگیریِ داخلی

- پرتوگیریِ داخلی وقتی رخ می‌دهد که موادِ پرتوزا به بدن وارد شوند.



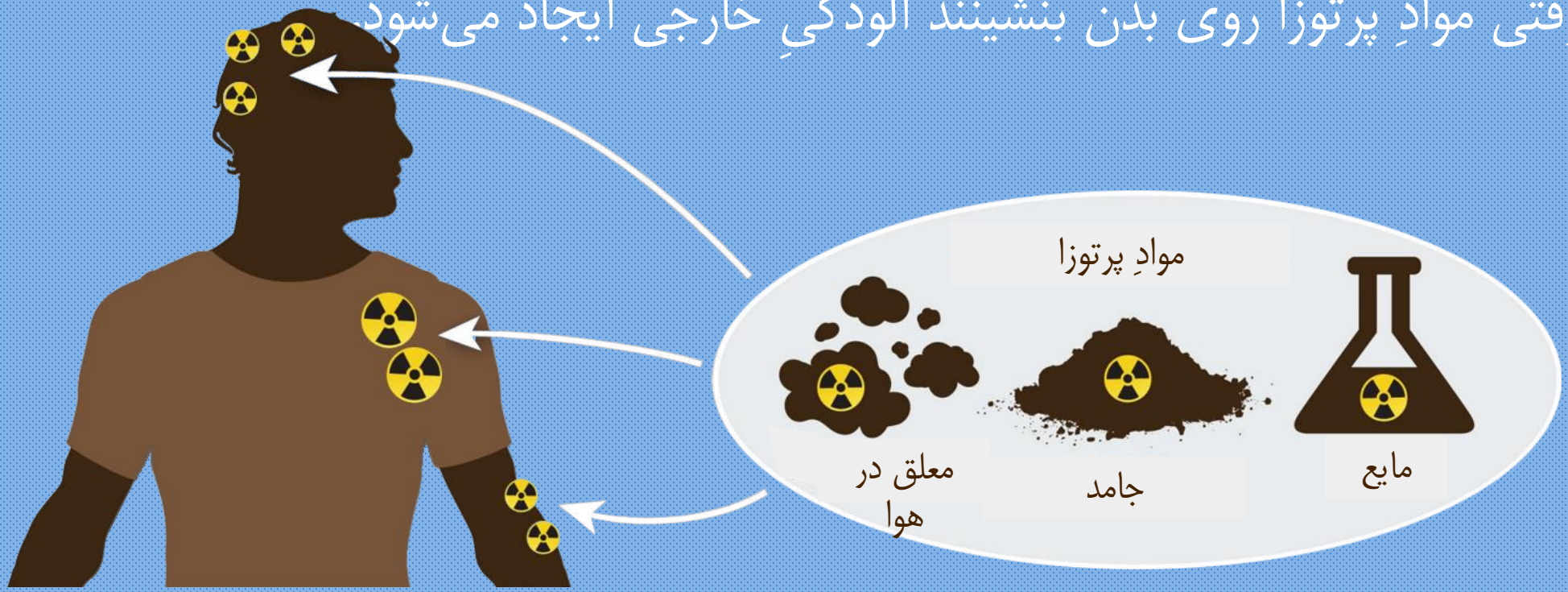
روش‌های مقابله با پرتوگیریِ داخلی

- جلوگیری از ورودِ موادِ پرتوزا به بدن، و
- کمک به دفعِ موادِ پرتوزا.

آلودگیِ خارجی

آلودگیِ خارجی

- وقتی موادِ پرتوزا روی بدن بنشینند آلودگیِ خارجی ایجاد می‌شود.



رفعِ آلودگی

- بدن
  - تعویضِ لباس
  - شست‌وشو با آب و صابون
- سطوح
  - گذشت زمان
  - پوشاندن
  - پاک‌کردن

عملیاتِ رفعِ آلودگی

- برای رفعِ آلودگی ممکن است
  - پوششِ‌های یک‌بار مصرف لازم باشد،
  - ماسکِ تنفسی لازم باشد، و
  - دُزسنج‌های فردی لازم باشد.

رفعِ آلودگی باید توسطِ افرادِ آموزش‌دیده انجام شود!

سوانح رادیولوژیکی

سوانح رادیولوژیکی

- سوانح رادیولوژیکی سوانحی هستند که به‌نحوی منابع پرتو را درگیر می‌کنند.

روش‌های تشخیصِ یک سانحه‌ی رادیولوژیکی

- علایم هشداردهنده‌ی موادِ پرتوزا و خطرِ پرتوگیری
- مشاهده‌ی نشانه‌های پرتوگیری در افراد
- استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری تابش

توصیه‌های حفاظتی برای مواجهه با سوانح رادیولوژیکی

- ارزیابی یک سانحه‌ی رادیولوژیکی کار متخصصین است.
- اولویت در سوانحِ رادیولوژیکی، مانند همه‌ی سوانح دیگر با نجات جان مصدومان است.
- در مسیر باد یا دود متصاعدشده از یک سانحه‌ی رادیولوژیکی نه‌ایستید.
- چیزی نخورید و نیاشامید و سیگار نکشید.

مراجع

۱ـ ایوب بنوشی و زهره بیگدلی، پیامدهای بهداشتیِ پرتوهای یون‌ساز، انتشاراتِ پژوهش‌گاهِ علوم‌وفنونِ هسته‌ای، ۱۳۹۹.

۲ـ بروشورِ آموزشیِ *دوربینِ پرتونگاریِ صنعتی*، قابل دسترس از https://nrpd.ir، (۱۴۰۱/۱۰/۲۷).

۳ـ بروشورِ آموزشیِ حفاظت در برابرِ اشعه ویژه‌ی کارکنان در مراکزِ پزشکیِ هسته‌ای، قابل دسترس از https://nrpd.ir، (۱۴۰۱/۱۰/۲۷).

۴ـ بروشورِ آموزشیِ حفاظتِ پرتویِ کارکنان: پرتودهنده‌های صنعتی، قابل دسترس از https://nrpd.ir، (۱۴۰۱/۱۰/۲۷).

۵ـ بروشورِ آموزشیِ حفاظت در برابرِ اشعه ویژه‌ی کارکنان در مراکزِ پزشکیِ هسته‌ای، قابل دسترس از https://nrpd.ir، (۱۴۰۱/۱۰/۲۷).

6- IAEA nuclear security series No.5, Identification of radioactive sources, International Atomic Energy Organization (IAEA), Vienna, 2007.

7- IAEA, Manual for first responders to a radiological emergency, Vienna, 2006.