حفاظ گذاري در برابر پرتوگيری خارجی

دکتر محمد رضا منظم

استاديار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکي تهران و مدير کل دفتر بررسي آلودگي هوا سازمان حفاظت محيط زيست

mmonazzam@hotmail.com

حفاظت در برابر پرتوگیری خارجی
حفاظ

- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای آلفا

– بدلیل برد کوتاه پرتوهای آلفا در صورتی که چشمه مولد در خارج از بدن قرار گیرد، مشکل خاصی بدلیل پرتوگیری خارجی ناشی ناشی از این پرتونخواهیم داشت.

– این پرتوها پس از طی مسافت کوتاهی (چند سانتی متر) در هوا یا عبور از یک ورقه کاغذ یا لباس و یا لایه خارجی (بافت مرده) پوست انرژی خود را از دست می دهند.

حفاظ

- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای بتا

– بدلیل خصوصیات پرتوهای بتا و نحوه برخورد آن با مواد در طراحی حفاظ در برابر پرتوهای بتا به دو عامل زیر باید توجه نمود:

- برد ماکزیمم پرتوهای بتا
- تابش ترمزی ناشی از جذب بتا در خود چشمه و جذب در حفاظ

بهمین دلیل حفاظ چشمه های بتا ازدولایه زیر تشکیل میشود:

- **لایه اول:** ماده ای با اتمی پائین(مانند پلاستیک و پلکسی گلاس) بمنظور کاهش پرتو ترمزی و توقف پر انرژی ترین پرتوهای بتا
- **لایه دوم:** ماده ای با عدد اتمی بالا (مانند سرب) بمنظور کاهش شدت پرتو ترمزی ناشی از خود چشمه و لایه اول به حدی قابل قبول

حفاظ بتا

- مهمترین مواد برای جلوگیری از نفوذ اشعه بتای خالص ، مواد با عدد اتمی پائین می باشد.
- شیشه ارزان است ولی شکننده و کار کردن با آن ساده نیست
- چنانچه مشاهده طرف دیگر حفاظ ضروری نباشد میتوان از آلومینیوم یا چوب نیز استفاده کرد.
- جدول زیر ضخامت های لازم را برحسب میلی متر برای انرژیهای محتلف بتا در موارد گوناگون نشان می دهد:

حفاظ	انرژی ماکزیمم (میلیون الکترون ولت)			
	۰,۵	۱	۲	۳
مواد با عدد اتمی پائین	۲	٤	۷	۷
شیشه	۱	۲	٤	۷
چوب	٤	۷	۱٤	۷

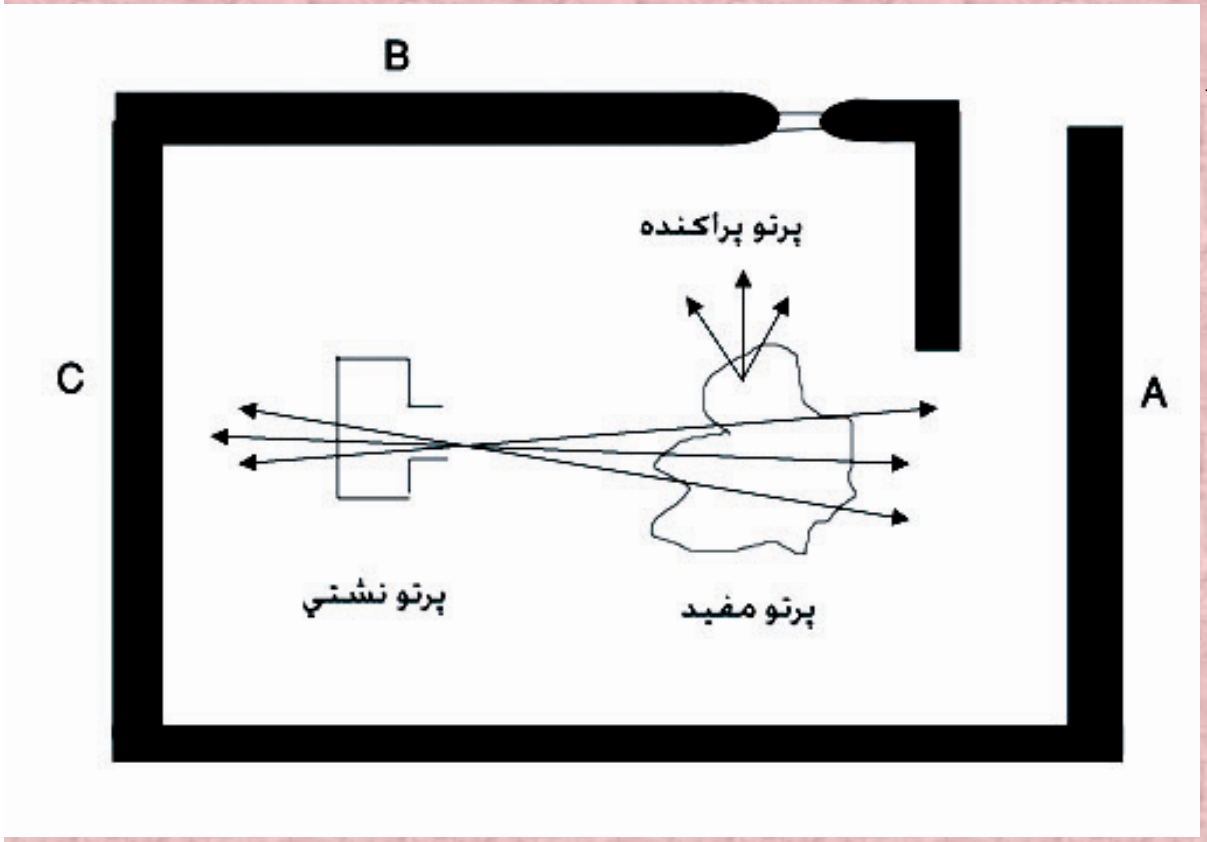
- شیشه معمولی برای مواد بتادهنده با انرژی پائین تر از ۱ میلیون الکترون ولت کافی بوده و در محلولهای ذرات بتا بطور قابل ملاحظه ای توسط خود محلول حفاظ میشوند

حفاظ

حفاظ گذاری در برابر پرتوهای ایکس و گاما

- پرتوهای ایکس وگاما دارای قدرت نفوذ زیادی در ماده می باشد.
- در این پرتوها ضریب توزین پرتو برابر ۱ میباشد، لذا در این دسته از پرتوها راد ورم و حتی رونتگن با یکدیگر برابر میباشند لذا در انجام محاسبات از هر یک از این واحدها میتوان استفاده نمود و در این خصوص حساسیت خاصی وجود ندارد.
- پرتوهائیکه در یک اتاق تشعشع (Radiation Room) با آن روبرو هستیم عبارتند از:
  - پرتوهای مفید (پرتوهائی که بدون برخورد مانع از چشمه خارج میشود)
  - پرتوهای نشتی (پرتوهائی که از جدار محفظه مولد خارج میشود)
  - پرتوهای پراکنده (پرتوهائی که در اثر برخورد به بخارات و یا اجسام دیگر و دیوارهای اتاق به اطراف پراکنده میشود)

حفاظ گاما



- حفاظی که در مقابل پرتو مفید قرار میگیردحفاظ اولیه (Primary protective barrier) و حفاظی که در مقابل پرتوهای نشتی و پراکنده قرار میگیرد حفاظ ثانویه (Secondary protective barrier) میباشد.

حفاظ گاما
اصول اساسی طرحهای حفاظتی

۱. قسمت عمده حفاظ تا حد امکان در نزدیکی لوله مولد پرتو باشد. (بارعایت این اصل ضخامت حفاظ کاهش نیافته بلکه مساحت آن تقلیل می یابد، در صورت امکان توصیه میشود که قسمت عمده حفاظت در محفظه خود دستگاه منظور شود)
۲. در صورت امکان محدود کردن امتداد پرتوهای مفید (باریک کردن امتداد پرتو باعث کاهش سطح حفاظ اولیه مورد نیاز و کاهش پرتوهای انعاسی و پراکنده خواهد بود، باید سعی نمود حفاظ اولیه روی در وپنجره قرار نگیرد)
۳. کاهش شدت پرتوها طبق قانون عکس مجذور فاصله
۴. از خصوصیات معماری ساختمان استفاده شود

حفاظ گاما
حفاظ گذاری

- همانطور که میدانیم در یک شرایط هندسی خوب (شرایط هندسی بد هنگامی است که پرتو گسترده است و یا جذب کننده ضخیم است که در این صورت باید از ضریب تولید و انباشت در معادله استفاده کرد) تضعیف باریکه ای از پرتو گاما را میتوان از معادله زیر بدست آورد.

$$I = I_0 e^{-\mu t}$$

- در برخی روشها ضخامت بر اساس طول واهلش مشخص میشود.(طول واهلش برابرضخامتی از حفاظ است که شدت یک باریکه نازک پرتو را به 1/e شدت اولیه اش کاهش دهد.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu t} \Rightarrow \frac{1}{e} = e^{-\mu t} \Rightarrow e^{-1} = e^{-\mu t} \Rightarrow t = \frac{1}{\mu}$$

- مقدار یکای طول واهلش برابر عکس ضریب تضعیف است.

حفاظ گذاری

مثال

- میخواهیم که چشمه ای از سزیوم ۱۳۷ با فعالیت ۳۷۰۰۰ مگا بکرل را هنگامی که مورد استفاده قرار نمیگیرد در یک محفظه سربی کروی انبار کنیم. ضخامت سرب چقدر باشد تا آهنگ دز معادل در فاصله ۱ متری چشمه از ۲,۵ میلی رم بر ساعت (۲۵ میلی سیورت بر ساعت) تجاوز نکند (منبع را نقطه ای در نظر بگیرید)؟
- حل:

$$\Gamma = 2.3\times10^{-9}\ \ \frac{X.m^2}{MBq.hr},\ \ \mu = 1.24\ cm^{-1}$$

$$dR_{1m} = \frac{\Gamma \times A}{1^2} = 3.7\times10^{4}\times2.3\times10^{-9} = 8.5\times10^{-5}\ \ X/hr\ \left(2890\ \ \mu Sv/hr\right)$$

- در اینجا چون افزایش ضخامت ناشی از تاثیر ضریب تولید و انباشت در محاسبات دخالت داده نشده است لذا ضخامت برآورد شده کمتر از حد لازم برآورد شده است.

حفاظ گاما
حفاظ گذاری

- یکی از روشهای توصیف قدرت نفوذ این پرتوها تخمین ضخامت حفاظ در برابر آنهاست.
- لایه نیمه کننده (Half Value Layer) یا HVL ضخامتی از ماده است که اگر در مسیر پرتو ایکس یا گاما قرار گیرد شدت پرتو را به نصف مقدار اولیه کاهش میدهد.
- در صورتی که از دو لایه نیمه کننده متوالی در مسیر پرتو استفاده شود شدت پرتو به ¼ کاهش می یابد.
- در صورتی که n لایه نیمه کننده لازم باشد رابطه زیر برقرار میباشد:

$$\frac{I_0}{I} = 2^n$$

حفاظ گاما
حفاظ گذاری

- لایه یکدهم کننده (Tenth Value Layer) یا TVL ضخامتی از ماده است که اگر در مسیر پرتو ایکس یا گاما قرار گیرد شدت پرتو را به ۱/۱۰ مقدار اولیه کاهش میدهد.
- .در صورتی که m لایه یکدهم کننده لازم باشد رابطه زیر برقرار میباشد:

$$\frac{I_0}{I} = 10^m$$

مقادیر لایه های نیم کننده و یکدهم کننده برای چند نوع ماده (cm)

منبع پرتو	سرب		آهن		سیمان	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
تکنیسیوم 99m	0.02					
ید ۱۳۱	0.72	2.4			4.7	15.7
سزیوم ۱۳۷	0.65	2.2	1.6	5.4	4.9	16.3
ایریدیوم ۱۹۲	0.55	1.9	1.3	4.3	4.3	14
کبالت ٦٠	1.1	4	2	6.7	6.3	20.3
اشعه ایکس 100 kv	0.0026	0.087			1.65	5.42
اشعه ایکس 200 kv	0.043	0.142			2.59	8.55

نکته: HVL و TVL معمولا برای سرب از سایر حفاظها برای چشمه های فوق کمتر است.

مثال

- آهنگ دز در فاصله ۱ متری از یک چشمه ایریدیوم ۱۹۲، ۱۰۰ میلی سیورت در ساعت می باشد. در صورتیکه بخواهیم آهنگ دز در اینفاصله به ۱ میکروسیورت در ساعت کاهش یابد:

الف: چند لایه یکدهم کننده مورد نیاز می باشد؟

حل: تعداد لایه های یکدهم کننده

$$\frac{I_0}{I} = 10^{\,m} \Rightarrow \frac{100000 \quad \mu Sv}{1 \ \mu Sv} = 10^{\,m} \Rightarrow m = 5$$

ب: در صورتیکه بخواهیم در این حفاظ گذاری از سرب استفاده کنیم، ضخامت حفاظ سربی را محاسبه کنید؟

حل: با استفاده از جدول ضخامت یکدهم کننده سرب برای ایریدیم ۱۹۲ برابر ۱,۹ سانتی متر است لذا ضخامت کلی حفاظ سربی برابر خواهد بود با:

$$5 \times 1.9 = 9.5 \quad cm$$

ادامه مثال

ج : در صورتیکه بجای استفاده از جدول ضخامت یکدهم کننده بخواهیم از فرمول ذکر شده برای کاهش شدت گاما استفاده کنیم میزان ضخامت بدست آمده برای سرب چند سانتی متر خواهد بود:

حل: از جدول ضریب تضعیف خطی برای انرژی فوتونهای گاما تابش شده از ایریدیوم ۱۹۲ که انرژی بین ۰,۳ تا ۰,۵ میلیون الکترون ولت را دارند بین ۴,۰۲ تا ۱,۶۴ بوده که میانگین آن ۲,۴۲ خواهد شد لذا:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu t} \Rightarrow \frac{1}{100000} = e^{-2.42t} \Rightarrow t = 4.76\ cm$$

همانطور که ملاحظه میشود این روش میزان ضخامت را حدودا نصف مقدار واقعی نشان میدهد که علت هم در عدم تاثیر ضریب تولید و انباشت در معادله فوق می باشد.

ادامه مثال

د: در صورتیکه در این حفاظ گذاری از سیمان استفاده کنیم، ضخامت حفاظ سیمانی را محاسبه کنید؟

حل: ضخامت لایه یکدهم کننده سیمان برای ایریدیوم ۱۹۲ برابر ۱۴ سانتی متر میباشد با توجه به لایه های مورد نیاز که ۵ میباشد میزان ضخامت مورد نیازعبارت خواهد بود از:

$$5 \times 14 = 70\ cm$$

با مقایسه نتایج ضخامت مورد نیاز سربی و بتونی میتوان با توجه به امکانات و شرایط از حفاظ مناسب استفاده نمود.

مثال

در صورتیکه بخواهیم پرتوزائی یک چشمه کبالت ۶۰ را به ۰,۰۶۷ مقدار اولیه خود کاهش دهیم :

الف: چه تعداد نیمه کننده باید در اطراف چشمه قرار گیرد؟

حل:

$$\frac{I_0}{I} = 2^n \Rightarrow \frac{1}{0.067} = 2^n \Rightarrow n = 3.9$$

ب :اگر از سرب بعنوان حفاظ استفاده شود ضخامت کل حفاظ سربی را محاسبه کنید؟

حل: با توجه به تعداد لایه نیم کننده و همچنین جدول لایه نیمه کننده سرب برای کبالت ۶۰ برابر ۱,۱ سانتی متر می باشد لذا ضخامت کل برابر:

$$3.9 \times 1.1 = 4.29\ cm$$

مثال

آهنگ دز در فاصله یک متری از لامپ یک دستگاه مولد پرتو ایکس با ولتاژ ۱۰۰ کیلوولت ۲۰ میلی سیورت است. در صورتیکه بخواهیم آهنگ دز در فاصله ۲ متری ۵ میکرو سیورت باشد ضخامت حفاظ سربی مورد نیاز را محاسبه کنید (منبع را نقطه ای در نظر بگیرید)

حل: میزان آهنگ دز د رفاصله ۲ متری به روش زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{dR_1}{dR_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \Rightarrow \frac{20}{2^2} = 5\ mSv\ ,\ 5000\ \mu Sv$$

و با استفاده از مفهوم لایه یکدهم کننده ، تعداد لایه های مورد نیاز عبارت خواهد بود از:

$$\frac{5000}{5} = 10^{\ m} \Rightarrow m = 3$$

و با استفاده از جدول لایه یکدهم کننده برای این لوله ۰,۰۸۷ سانتی متر میباشد لذا ضخامت کل برابرحفاظ است با:

$$3 \times 0.087 = 0.261\ cm$$

حفاظ گاما

- گرچه سرب غالبا بعنوان حفاظ گاما بکار میرود (ولی معمولا در صورت کمبود فضا از ارزش بالائی برخوردار است) ولی این فلز یک عنصر گران قیمت است.
- لذا برای بعضی از اهداف قطعات کوچک آهن و فولاد در داخل بتون که منجر به حصول ضخامت و هزینه بین سرب و بتون می گردد، بکار میرود.
- با توجه به اینکه هوا ارزانترین حفاظ است میتوان حداکثر استفاده را نمود
- در بعضی موارد بشرط عدم وجود خطر خوردگی یا انحلال میتوان از آب استفاده کرد.
- اورانیوم تهی شده که دارای دانسیته بالائی نسبت به سرب است در بعضی مواقع برای ایجاد ماکزیمم حفاظ در حداقل فضا بکار میرود ولی هزینه آن بالاست و خطر از بین رفتن اتفاقی آن وجود دارد.

حفاظ گاما

خصوصیات یک ماده حفاظ

- با استفاده از وزن وضخامت مناسب مشکل بر طرف شود
- هم بعنوان مصالح ساختمانی و هم حفاظ باشد
  - بطور دائمی جلو پرتو را بگیرد
  - ازنظر رنگ شفاف باشد
  - ظاهر خوشایند داشته باشد
  - بسهولت قابل تهیه باشد.

- در انرژیهای پائین سرب مناسب است.
- در انرژیهای بالاتر میتوان از سایر حفاظها استفاده کرد.
- مواد شفاف:
  - شیشه معمولی (ضخیم) که دارای ضریب شکست بالائی است و برای رفع آن از گلیسرین یا روغن در فضای بین ورقه ها استفاده میشود
  - شیشه سرب دار

حفاظ گاما

- روپوش سربی:
  - روپوشهای سربی از پودر سرب همراه با ترکیبی از لاستیک کش دار قابل انعطاف ساخته میشوند
  - ضخامت آنها حداقل معادل ۰,۲۵ میلی متر سرب است
  - یک روپوش سربی حدود ۷۵ تا ۸۰% مغز فعال استخوان بدن را میپوشاند.
  - بعضی روپوشها از ترکیب باریم، تنگستن و سرب ساخته میشوند تا هم وزن کلی را کاهش داده (۳۰% کمتر) و هم مشکلات کارآئی سرب را در برخی انرژیها پوشش دهند.
  - روپوش سربی مخصوص پرتونگار باردار نیز موجود است
    - این روپوشها معادل ۰,۵ میلی متر سرب است
    - در ناجیه شکم با یک لایه سرب اضافی معادل ۱ میلی متر از پرتوگیری جنین جلوگیری میکند.

حفاظ گاما

- دستکش سربی
  - علاوه بر دستکشهای سربی معمولی که ضخامت آن معادل ۰,۲۵ میلی متر سرب است دستکشهای استریل مقاوم به پرتو نیز وجود دارد
    - این دستکشها از سرب با پوششهای لاستیکی ساخته شده اند (ظریف و کار با آنها راحت است)
- حفاظ تیروئید
  - غده تیروئید در زمان فلوروسکپی بیشترین میزان دز را دریافت میکند.
  - متوسط دز دریافتی بهنگام فلوروسکپی حدود ۶۰ میکروسیورت است.
  - استفاده از حفاظ تیروئید در طول فلوروسکپی این مقدار دز را تا ۱۰ برابر کاهش میدهد.
  - احتمال ایجاد غده های سرطانی در تیروئید خانمها چهار برابر آقایان است لذا حفاظ تیروئید برای خانمها از اهمیت بیشتری برخوردار است.

حفاظ گاما

- حفاظ چشمها و صورت
  - عینکهای سربی جهت حفاظت چشمها
    - این عینکها ازمواد متنوعی با عدد اتمی بالا مثل سرب یا باریم ساخته شده اند
    - میتوانند دز چشم را تا ۹۸% کاهش دهند
  - ماسکها با شیشه سربی جهت حفاظت صورت
- حفاظ متحرک
  - حفاظهای متحرک سربی معمولا به گونه ای ساخته میشوند که بسهولت به محل مورد نظر منتقل شوند
  - این حفاظها در آنژیوگرافی جهت حفاظت پزشکان استفاده میشود.

حفاظ گذاری در برابر نوترون

- نوترونها چون بار ندارند در برخورد با مواد براحتی انرژی خود را از دست نمیدهند
- نوترون در ماده حرکت میکند تا به هسته اتم برخورد نماید
- ماکزیمم انتقال انرژی هنگامی رخ میدهد که نوترون با هسته اتم هیدروژن یعنی پروتون (تقریبا جرم مساوی نوترون) برخورد کند
- حفاظ گذاری در برابر نوترونها بر پایه کند سازی نوترونهای سریع و جذب نوترونهای کم انرژی استوار است.
- بدلیل اینکه مواد هیدروژن دار نقش اساسی در کند سازی و تضعیف نوترون دارند برای حفاظ چشمه های نوترونی از مواد هیدروژن دار مانند آب ، پارافین و غیره استفاده میشود.
- هنگامی که نوترون انرژی خود را کاملا از دست میدهد، جذب اتمهای ماده حفاظ میشود و یک رادیو ایزتوپ گاما را تولید مي کند که باعث انتشار پرتوهای گاما در حفاظ چشمه نوترون میشود

حفاظ گذاری در برابر نوترون (ادامه)

- بطور کلی حفاظ چشمه های نوترونی از دولایه تشکیل میشود:
- لایه اول: مواد هیدروژن دار
- لایه دوم: مواد سنگین مانند سرب به ضخامت کافی برای جذب گاماهای تولید شده در لایه اول

شکل زیرمیزان نفوذ پرتوهای مختلف را با یکدیگر مقایسه میکند.