

واژه نامه پرتو ایکس شماره ۱۱

Qom, University of Qom
Tel ۰۲۵۳۱۸۸۶۱۱۰

Email info@xrayschool.ir
xrayschool.ir

فهرست

لایه نیم ارزش Half-Value Layer (HVL) ۱

ضریب تضعیف جرمی Mass Attenuation Coefficient (μ/ρ) ۵

جمع بندی ۹

پرسش های متداول ۱۰

منابع ۱۱

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

لایه نیم ارزش Half-Value Layer (HVL)

لایه نیم‌ارزش چیست؟

لایه نیم‌ارزش (**Half-Value Layer یا HVL**) ضخامت مشخصی از یک ماده است که شدت پرتو ایکس یا گاما را در شرایط مشخص به **نصف مقدار اولیه** کاهش می‌دهد. اگر شدت اولیه پرتو را I_0 در نظر بگیریم، پس از عبور از یکHVL ، شدت پرتو به صورت ایده‌آل به :

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

می‌رسد.

برای مثال، اگر شدت اولیه پرتو ۱۰۰ واحد باشد، پس از عبور از یکHVL ، شدت به ۵۰ واحد می‌رسد؛ پس از دو HVL به ۲۵ واحد و پس از سه HVL به ۱۲٫۵ واحد خواهد رسید.

البته این رفتار ساده بیشتر برای **پرتوهای تک‌انرژی (Monoenergetic)** مناسب است. در پرتوهای چندانرژی پرتو ایکس، مانند پرتوهای تشخیصی، به دلیل تغییر ترکیب طیف انرژی در اثر تضعیف، تفسیر HVL پیچیده‌تر می‌شود.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

آن را چگونه تعیین می کنیم؟

برای تعیین HVL، یک پرتو ایکس در شرایط مشخص از ضخامت‌های مختلف یک ماده استاندارد عبور داده می‌شود و شدت یا خروجی پرتو پس از هر مرحله اندازه‌گیری می‌شود. ضخامتی که باعث شود خروجی پرتو به **50 درصد مقدار اولیه** برسد، HVL نامیده می‌شود. در تصویربرداری پزشکی، معمولاً برای اندازه‌گیری کیفیت پرتو از موادی مانند **آلومینیوم (Al)** در محدوده انرژی‌های تشخیصی استفاده می‌شود.

برای یک پرتو تک‌انرژی که از قانون تضعیف نمایی پیروی می‌کند:

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

اگر $x = HVL$ باشد:

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu HVL}$$

و بنابراین:

$$\mathbf{HVL} = \frac{\ln \mathbf{2}}{\boldsymbol{\mu}}$$

این رابطه نشان می‌دهد که HVL و ضریب تضعیف خطی μ به یکدیگر مرتبط‌اند؛ البته برای پرتو چندانرژی، این رابطه را نباید بدون در نظر گرفتن شرایط طیف پرتو به‌صورت ساده تفسیر کرد.

لایه نیم‌ارزش در کجا اهمیت دارد؟

HVL در حوزه‌های مختلفی کاربرد دارد، از جمله:

- رادیوگرافی تشخیصی
- فلوروسکوپی
- ماموگرافی
- CT
- رادیولوژی صنعتی
- حفاظت در برابر پرتو
- کنترل کیفیت دستگاه‌های X-ray
- مشخصه‌یابی کیفیت پرتو

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

در تصویربرداری پزشکی، HVL یکی از شاخص‌های مهم برای بررسی کیفیت یا سختی پرتو (Beam Quality) است.

HVL چرا اهمیت دارد؟

یکی از مهم‌ترین کاربردهایHVL ، ارزیابی کیفیت پرتو است. پرتو ایکس معمولاً شامل فوتون‌هایی با انرژی‌های مختلف است. وقتی پرتو از ماده عبور می‌کند، فوتون‌های کم‌انرژی معمولاً با احتمال بیشتری حذف می‌شوند. در نتیجه، میانگین انرژی پرتو عبوری افزایش پیدا می‌کند؛ پدیده‌ای که به آن **Beam Hardening** **یا سخت‌شدن پرتو** گفته می‌شود.

به همین دلیل، HVL بالاتر در شرایط قابل‌مقایسه معمولاً نشان‌دهنده پرتو نفوذپذیرتر و سخت‌تر است.

اما یک نکته مهم وجود دارد:

لایه نیم ارزش(HALF-VALUE LAYER (HVL

HVL به‌تنهایی بیانگر «قدرت دستگاه» یا «میزان دز» نیست.

HVL بیشتر یک شاخص از **کیفیت طیفی و نفوذپذیری پرتو** است، در حالی که کمیت‌هایی مانند خروجی تیوب و دز به عوامل دیگری نیز وابسته‌اند.

ارتباط HVL با فیلتراسیون

یکی از ارتباط‌های مهم HVL با **Filtration یا فیلتراسیون** است. فیلتر، بخشی از فوتون‌های کم‌انرژی را پیش از رسیدن پرتو به بیمار یا جسم حذف می‌کند. در نتیجه:

- میانگین انرژی پرتو افزایش می‌یابد.
- پرتو سخت‌تر می‌شود.
- HVL معمولاً افزایش می‌یابد.
- فوتون‌های کم‌انرژی که سهم کمتری در تشکیل تصویر دارند اما می‌توانند دز سطحی ایجاد کنند، کاهش می‌یابند.

بنابراین فیلتراسیون مناسب یکی از ابزارهای مهم برای شکل‌دهی طیف پرتو است.

استانداردها و معیارهای اندازه‌گیری

HVLیکی از پارامترهای رایج در **کنترل کیفیت تجهیزات پرتو ایکس** است.

در آزمونHVL ، شرایطی مانند:

- kVp
- فیلتراسیون
- نوع ماده جاذب
- هندسه اندازه‌گیری
- محل آشکارساز
- شرایط بارگذاری تیوب

باید مشخص و کنترل شوند.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

لایه نیم ارزش(HALF-VALUE LAYER (HVL

در تجهیزات تصویربرداری پزشکی، الزامات مربوط به کیفیت پرتو و اندازه‌گیری HVL در استانداردها و دستورالعمل‌های فنی، از جمله اسناد مرتبط با **IEC**، **IAEA** و **برنامه‌های کنترل کیفیت ملی** مورد توجه قرار می‌گیرد.

نکته جالب

اگر پرتو از یک ماده چند HVL عبور کند، شدت پرتو به شکل **نصف‌شدن‌های متوالی** کاهش پیدا می‌کند:

۱ **HVL** → ۵۰٪
۲ **HVL** → ۲۵٪
۳ **HVL** → ۱۲٫۵٪
۴ **HVL** → ۶٫۲۵٪

بنابراین HVL یک کاهش خطی ایجاد نمی‌کند؛ بلکه با رفتار نمایی تضعیف پرتو مرتبط است.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

ضریب تضعیف جرمی Mass Attenuation Coefficient (μ/ρ)

ضریب تضعیف جرمی چیست؟

ضریب تضعیف جرمی (Mass Attenuation Coefficient) کمیتی است که میزان تضعیف پرتو را نسبت به **جرم ماده موجود در واحد سطح** توصیف می‌کند. این کمیت از تقسیم ضریب تضعیف خطی بر چگالی ماده به دست می‌آید:

$$\frac{\mu}{\rho}$$

که در آن:

- **μ :** ضریب تضعیف خطی، معمولاً با واحد cm^{-1}
- **ρ :** چگالی ماده، معمولاً با واحد $\frac{g}{cm^3}$

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

بنابراین واحد ضریب تضعیف جرمی معمولاً:

$$\frac{cm^2}{g}$$

است.

چرا ضریب تضعیف جرمی تعریف شده است؟

ضریب تضعیف خطی به چگالی ماده وابسته است. برای مثال، دو ماده ممکن است از نظر ترکیب اتمی مشابه باشند اما چگالی متفاوتی داشته باشند؛ در این حالت μ آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. با تقسیم μ بر چگالی، اثر مستقیم چگالی از کمیت جدا می‌شود و مقایسه رفتار تضعیف‌کنندگی مواد از نظر **جرم موجود** آسان‌تر می‌شود. به همین دلیل، $\frac{\mu}{\rho}$ در فیزیک پرتو و محاسبات مربوط به برهم‌کنش تابش با ماده بسیار پرکاربرد است.

ضریب تضعیف جرمی چگونه تعیین می‌شود؟

ضریب تضعیف جرمی به عوامل مختلفی وابسته است، مهم‌ترین آن‌ها:

- انرژی فوتون

ضریب تضعیف جرمی (μ/ρ) MASS ATTENUATION COEFFICIENT

- عدد اتمی و ترکیب ماده
- چگالی ماده در محاسبه μ
- نوع برهم‌کنش فوتون با ماده

هستند.

نکته مهم این است که $\frac{\mu}{\rho}$ **عمدتاً تابع انرژی فوتون و ترکیب ماده است** و مانند μ به چگالی فیزیکی نمونه وابستگی مستقیم ندارد.

در انرژی‌های مختلف، مکانیسم‌هایی مانند:

- اثر فوتوالکتریک
- پراکندگی کامپتون
- پراکندگی همدوس (Rayleigh)
- تولید زوج در انرژی‌های بالاتر

می‌توانند در تضعیف نقش داشته باشند.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

رابطه ضریب تضعیف جرمی با قانون تضعیف

قانون تضعیف برای یک پرتو تک‌انرژی و شرایط ایده‌آل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I = I_0 e^{-(\frac{\mu}{\rho})\rho x}$$

در این رابطه:

- I_0 = شدت اولیه
- I = شدت پس از عبور از ماده
- $\frac{\mu}{\rho}$ = ضریب تضعیف جرمی
- ρ = چگالی ماده
- x = ضخامت ماده

عبارت: ρx را می‌توان به‌عنوان **ضخامت جرمی (Mass Thickness)** در نظر گرفت.

ضریب تضعیف جرمی(μ/ρ) MASS ATTENUATION COEFFICIENT

ضریب تضعیف جرمی در کجا اهمیت دارد؟

این کمیت در حوزه‌های مختلفی کاربرد دارد:

- فیزیک پزشکی
- تصویربرداری پرتو ایکس
- حفاظت در برابر پرتو
- طراحی حفاظ‌های پرتویی
- رادیوگرافی صنعتی
- شبیه‌سازی انتقال فوتون
- محاسبات دزیمتری
- تحلیل برهم‌کنش تابش و ماده

همچنین داده‌های ضریب تضعیف جرمی برای مواد مختلف در پایگاه‌های داده علمی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

چرا ضریب تضعیف جرمی اهمیت دارد؟

یکی از مزیت‌های اصلی این کمیت، **امکان مقایسه مواد با چگالی‌های متفاوت** است. فرض کنید دو ماده با چگالی متفاوت در اختیار داریم. اگر فقط μ را مقایسه کنیم، چگالی ماده نیز در نتیجه نقش دارد. اما μ/ρ امکان بررسی رفتار تضعیف‌کنندگی بر مبنای جرم را فراهم می‌کند. این ویژگی در تحلیل مواد، محاسبات حفاظ پرتویی و مدل‌سازی انتقال تابش بسیار مهم است.

استانداردها و معیارهای اندازه‌گیری

ضریب تضعیف جرمی معمولاً از داده‌ها و مدل‌های معتبر برهم‌کنش فوتون و ماده به دست می‌آید و برای مواد مختلف و انرژی‌های مختلف جدول‌بندی می‌شود.

یکی از منابع شناخته‌شده برای داده‌های مربوط به ضرایب تضعیف فوتون، پایگاه‌های داده NIST XCOM است.

در استفاده از داده‌های $\frac{\mu}{\rho}$ باید توجه داشت که:

- انرژی فوتون مشخص باشد.

- ترکیب ماده مشخص باشد.
- واحدها به‌درستی تبدیل شوند.

برای مواد مرکب یا مخلوط‌ها، ترکیب ماده در محاسبات لحاظ شود.

نکته جالب

دو ماده با ضخامت یکسان لزوماً تضعیف یکسانی ایجاد نمی‌کنند. اما اگر **ضخامت جرمی (ρx)** و ترکیب مواد در شرایط مناسبی مقایسه شود، می‌توان رفتار تضعیف را به شکل معنادارتری بررسی کرد. به همین دلیل، $\frac{\mu}{\rho}$ در بسیاری از محاسبات انتقال تابش، کمیتی بسیار کاربردی‌تر از μ برای مقایسه بنیادی مواد است.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

جمع بندی

HVL و **ضریب تضعیف جرمی** دو ابزار مهم برای درک رفتار پرتوهای ایکس و گاما در ماده هستند. HVL به ما می‌گوید **چه ضخامتی از یک ماده برای نصف کردن شدت پرتو لازم است**؛ بنابراین شاخص مهمی برای کیفیت و نفوذپذیری پرتو محسوب می‌شود در مقابل، $\frac{\mu}{\rho}$ به ما کمک می‌کند تضعیف پرتو را بر اساس جرم ماده بررسی کنیم و رفتار مواد مختلف را با یکدیگر مقایسه کنیم.

درک این دو مفهوم، زمینه‌ای مهم برای مطالعه موضوعاتی مانند **تضعیف، فیلتراسیون، سخت‌شدن پرتو، طراحی حفاظ پرتویی، دزیمتری و کیفیت پرتو ایکس** فراهم می‌کند.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

پرسش های متداول

آیا HVL بالاتر همیشه به معنی دز بیشتر است؟

خیر HVL ،بیشتر نشان‌دهنده کیفیت و نفوذپذیری پرتو است و به‌تنهایی میزان دز را مشخص نمی‌کند. دز به عوامل متعددی مانند خروجی پرتو، زمان تابش، هندسه، انرژی و شرایط تصویربرداری وابسته است.

تفاوت M و $\frac{\mu}{\rho}$ چیست؟

μ ضریب تضعیف خطی است و میزان تضعیف را بر اساس واحد طول بیان می‌کند. $\frac{\mu}{\rho}$ با تقسیم μ بر چگالی به دست می‌آید و تضعیف را بر اساس جرم ماده توصیف می‌کند.

آیا با افزایش ضخامت ماده، HVL تغییر می‌کند؟

برای یک ماده و پرتو مشخص، HVL یک ویژگی تعریف‌شده از شرایط تابش و ماده است و صرفاً با افزایش ضخامت نمونه تغییر نمی‌کند. با این حال، در پرتوهای چندانرژی، سخت‌شدن پرتو باعث می‌شود HVL دوم و لایه‌های بعدی الزاماً با HVL اول یکسان نباشند.

چه عواملی بر HVL اثر می‌گذارند؟

مهم‌ترین عوامل شامل انرژی و طیف پرتو، ترکیب ماده، فیلتراسیون، چگالی و شرایط هندسی اندازه‌گیری هستند. در پرتوهای چندانرژی، تغییر طیف هنگام عبور از ماده نیز اهمیت دارد.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

منابع

- The Essential Physics of Medical Imaging (Bushberg)
- MEASUREMENT AND DETECTION OF RADIATION (Nicholas Tsoulfanidis)

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL