



بررسی تغییر در فاکتور هندسی چشمه و اثر آن بر بهبود توانایی تفکیک آب و خاک رس در سیستم چگالی سنج دوفازی و مقایسه نتایج با شبیه سازی کد محاسباتی MCNPX

محسن شریف زاده* - رضا قلی پور - حسین خلفی

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

سیستم چگالی سنج دوفازی در آزمایشگاه تحقیقاتی گاما اسکن به عنوان زیر مجموعه ای از گروه پژوهشی تابش گاما طراحی و ساخته شد. این سیستم از یک چشمه گامای Cs-137 و یک آشکارساز سوسوزن $Nai(Tl)$ به همراه لوله استیل "۴ حاوی مخلوط دوفازی بهره می گیرد. شمارش فوتوپیک $612keV$ و به موازات آن نتایج اجرای کد MCNPX را برای حالتی که لوله از آب، خاک و هوا پر شده بودند بدست آوردیم. به کمک داده های تجربی، ابتدا سیستم را کالیبره کرده و ضرایب تضعیف آب و خاک را بدست آوردیم. در ادامه تغییر در فاکتور هندسی و اثر آن بر بهبود توان تفکیک آب و خاک رس را در سیستم دوفازی مورد بررسی قرار دادیم.

کلمات کلیدی: چگالی سنج دوفازی، دوفازی، فاکتور هندسی، کد محاسباتی MCNPX

مقدمه:

چگالی سنج های دوفازی برای اندازه گیری چگالی یک ماده دوفازی که بین چشمه و آشکارساز واقع است، مورد استفاده قرار می گیرد. اساس کار این گیج مبتنی بر تضعیف یک باریکه پرتو گامای تک سو شده می باشد. ارتباط بین شدت پرتو گاما پس از عبور از نمونه (I_t) و شدت اولیه (I_0) و ضخامت $x(cm)$ ماده مورد نظر با رابطه زیر داده می شود:

$$I_t = I_0 \exp(-\mu \times x) \quad (1)$$

در این رابطه، $\mu (cm^{-1})$ ضریب تضعیف خطی می باشد که تابعی از انرژی پرتو گاما، عدد اتمی و چگالی ماده مورد نظر است [۱]. حال چنانچه در معادله (۱)، سه بار و به ترتیب برای حالتی که محتوای لوله پر از هوا، پر از آب و نهایتاً، پر از خاک شده باشد، اندازه گیری داشته باشیم روابط (۲)، (۳) و (۴) زیر بدست خواهند آمد:

$$I_{air} = I_0 \exp(-\mu_{air} \times x) \quad (2)$$

$$I_{water} = I_{air} \exp(-\mu_{water} \times x) \quad (3)$$



$$I_{soil} = I_{air} \exp(-\mu_{soil} \times x) \quad (4)$$

از رابطه (۲) برای حذف اثر تضعیف در جداره استیل لوله و هوای بین چشمه و آشکارساز که در مسیر پرتو قرار دارند استفاده میکنیم، که در روابط (۳) و (۴) به عنوان شدت اولیه در نظر گرفته شده اند. در نهایت با پرکردن لوله از مخلوطی از آب و خاک رابطه (۵) را بدست می آوریم:

$$I_{mix} = I_{air} \exp(-\mu_{mix} \times x) \quad (5)$$

که در این رابطه با توجه به اینکه ضریب تضعیف مخلوط (μ_{mix})، در واقع برآیندی از ضرایب تضعیف آب و خاک خواهد بود، و با فرض اینکه نسبت خاک در مخلوط برابر با α_{soil} باشد روابط (۶) و (۷) بدست می آیند:

$$\alpha_{soil} + \alpha_{water} = 1 \quad (6)$$

$$\mu_{mix} = (\alpha_{soil} \times \mu_{soil}) + (\alpha_{water} \times \mu_{water}) \quad (7)$$

حال چنانچه معادله (۶) را در (۷) جایگذاری کنیم و سپس نتیجه را توسط معادلات (۳)، (۴) و (۵) بازنویسی کنیم معادلات نهایی (۸) و (۹) برای محاسبه نسبت خاک و آب در مخلوط را بدست خواهیم آورد:

$$\alpha_{soil} = \frac{\ln(I_{water}/I_{mix})}{\ln(I_{water}/I_{soil})} \quad (8)$$

$$\alpha_{water} = \frac{\ln(I_{mix}/I_{soil})}{\ln(I_{water}/I_{soil})} \quad (9)$$

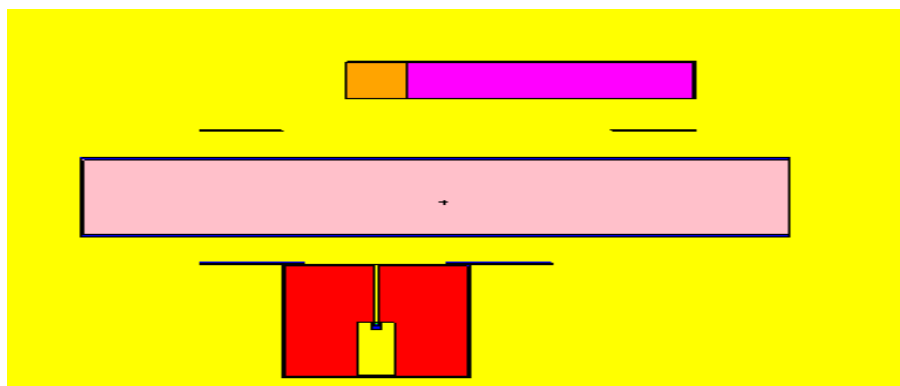
آنچه از معادلات (۸) و (۹) پیداست وابستگی شدید توانایی تفکیک دو فاز آب و خاک (دقت در محاسبه α_{soil} و α_{water})، به میزان اختلاف شمارشی است که برای آنها (I_{soil} و I_{water})، ثبت می شود. یکی از فاکتورهای بسیار تاثیرگذار بر شدت های شمارشی آشکارساز، فاکتور هندسی است که در واقع مشخص کننده سهمی از پرتوهای گسیلی از چشمه است که پس از کولیماته شدن، اجازه برهمکنش با ماده را پیدا کرده است:

$$G = \frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \iint \sin \theta \, d\theta \, d\varphi = \frac{1}{4} (1 - \cos \theta) = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{H}{(H^2 + r^2)^{1/2}} \right) \quad (10)$$

در معادله (۱۰)، عمقی از حفاظ سربی که چشمه در آن قرار دارد با H و شعاع سوراخ کولیماسیون با r نشان داده شده اند.

روش کار :

سیستم چگالی سنج دوفازی ای که برای انجام تحقیق طراحی و ساخته شد و در شکل (۱) شمایی از آن به نمایش در آمده است ، از دو ورق استیل موازی ساخته شده است و بگونه ای به یکدیگر پیچ شده اند که فضایی خالی میان آن ها برای قرار گرفتن لوله استیل حاوی ماده مورد نظر بوجود بیاید . ورق بالا توسط ۲ گیره ، آشکارساز سوسوزن NaI(Tl) را ثابت می کند و از طرف دیگر در حالیکه چشمه گامای Cs-۱۳۷ با اکتیویته ۴۰mCi را درون محفظه سربی و سوراخی به قطر ۴mm و عمق H قرار داده بودیم ، این حفاظ را در لوله استیل مناسبی گذاشته و به ورق پایین پیچ کردیم به گونه ای که چشمه ، سوراخ ورق استیل پایین و بالا و مرکز بلور سوسوزن در یک راستا قرار گرفته و بیم کولیماته شده ای را به سمت آشکارساز ایجاد کرده باشیم .



شکل شماره ۱ - شماتیک مربوط به سیستم چگالی سنج دوفازی

در ابتدا و برای سوراخی که تا عمق $H = 8\text{cm}$ ، مته کاری کرده بودیم ، آهنگ شمارش را برای هر ۳ حالت هوا آب و خاک ثبت کردیم . در مراحل بعد کلیه عملیات بالا را مشابهها و به ترتیب برای عمق های مته کاری ۷ ، ۶ ، ۵ و ۴ سانتی متر انجام دادیم و داده های مربوط را ثبت کردیم . برای داشتن سوراخ با عمق های کمتر از ۸ سانتی متر کافی بود با مته ای ۱۰ میلی متری از پشت و هر بار به اندازه ۱ سانتی متر به درون سرب مته کاری کنیم . به موازات انجام عملیات آزمایشگاهی فوق ، محاسبات آهنگ شمارش را در محیط MCNPX و با رعایت دقیق هندسه و مواد مورد آزمایش و چشمه گامای Cs-۱۳۷ با انرژی ۶۶۲keV به پیش بردیم . نمونه خاک رسی که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت دارای چگالی ۲٫۵۳g/cm^۳ و حاوی عناصر و درصد های وزنی زیر بود : Al, ۰٫۴٪; Ti, ۰٫۴٪; Si, ۳۲٫۷٪; O, ۵۰٫۱٪; Na, ۰٫۶٪; N, ۰٫۱٪; Mg, ۰٫۵٪; K, ۰٫۹٪; Fe, ۳٫۹٪; Ca, ۱٫۴٪; C, ۲٫۱٪; ۰٫۷۳٪ . دستور

تالی F₈,E₈ با بین های انرژی ۰, ۳۴۷, ۶۶۲ keV نتایج را بر حسب ارتفاع پالس بر فوتون ، برای ۱۰^۷ ذره برایمان اندازه گیری کرد .

نتایج :

نتایج تجربی و شبیه سازی برای هوا ، آب و خاک ، در عمق های مختلف در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است :
جدول شماره (۱)

Experimental Data	H=۸cm	H=۷cm	H=۶cm	H=۵cm	H=۴cm
I _{air}	۲۲۱۷۰±۱۱۰	۲۴۴۰۸±۱۱۱	۳۰۳۱۸±۱۲ ۶	۴۰۷۷۴±۱۶ ۱	۵۶۵۹۹±۲۱۶
I _{water}	۹۲۳۰±۷۴	۹۹۸۵±۸۱	۱۱۵۴۶±۹۲	۱۷۱۰۲±۱۱ ۹	۲۴۷۱۲±۱۵۹
I _{soil}	۵۶۱۱±۵۶	۶۶۸۶±۸۰	۷۲۱۸±۶۵	۱۰۷۹۱±۹۷	۱۵۳۸۲±۱۱۸
I _{water} - I _{soil}	۳۶۱۹±۱۳۰	۳۲۹۹±۱۶۱	۴۳۲۸±۱۵۷	۶۳۱۱±۲۱۶	۹۳۳۰±۲۷۷
$\frac{\Delta(I_{water} - I_{soil})}{I_{water} - I_{soil}} * 100$	۳,۶	۴,۹	۳,۶	۳,۴	۳,۰

جدول شماره (۲)

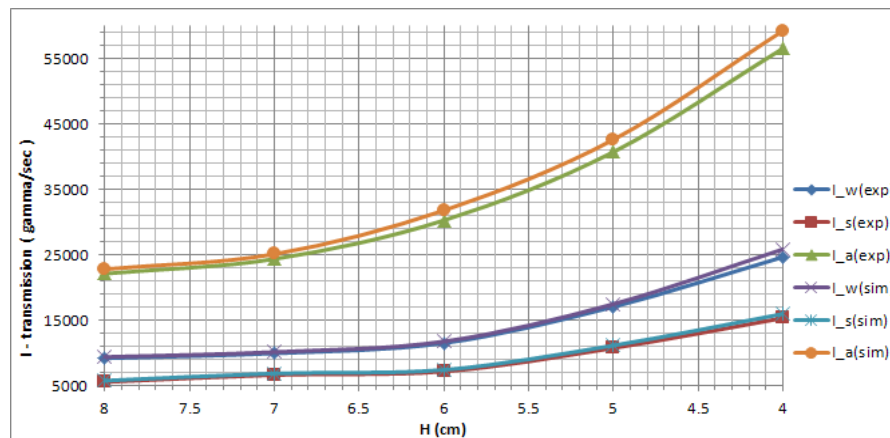
Simulation Data	H=۸cm	H=۷cm	H=۶cm	H=۵cm	H=۴cm
I _{air}	۲۲۸۵۳±۱۹۰	۲۵۱۵۴±۱۹۸	۳۱۸۳۷±۲۱ ۱	۴۲۶۶۲±۲۵ ۰	۵۹۳۰۰±۲۹۵
I _{water}	۹۴۳۰±۱۲۰	۱۰۱۸۴±۱۳۲	۱۱۸۱۳±۱۴ ۹	۱۷۵۲۳±۱۶ ۳	۲۵۹۰۶±۲۰۰
I _{soil}	۵۸۱۰±۸۴	۶۹۱۴±۹۹	۷۴۶۷±۸۷	۱۱۲۰۱±۱۱ ۶	۱۶۰۱۷±۱۳۶
I _{water} - I _{soil}	۳۶۲۰±۲۰۴	۳۲۷۰±۲۳۱	۴۳۴۶±۲۳۶	۶۲۸۲±۲۷۹	۹۱۵۹±۳۳۶
$\frac{\Delta(I_{water} - I_{soil})}{I_{water} - I_{soil}} * 100$	۵,۶	۷,۰	۵,۴	۴,۴	۳,۷

برای کالیبراسیون سیستم و بدست آوردن ضرایب تضعیف آب و خاک رس ، به کمک معادلات (۳) ، (۴) ، نتایج جدول (۲) و همچنین با توجه به قطر درونی لوله " ۴ " که برابر با ۱۰,۵۷cm است مقادیر مربوط به عمق های مختلف و مقدار میانگین این ضرایب بر حسب cm^{-1} در جدول (۳) ارائه شده اند :

جدول شماره (۳)

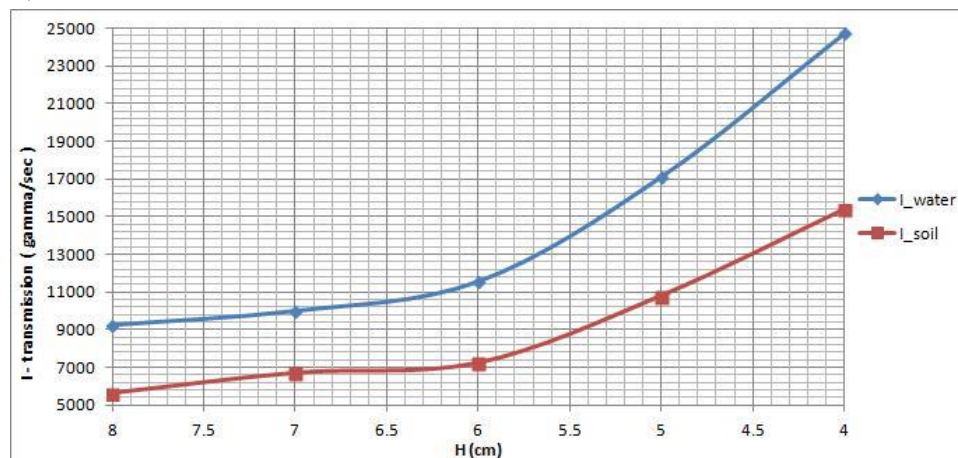
	H=۸cm	H=۷cm	H=۶cm	H=۵cm	H=۴cm
μ_{water}	۰,۰۸۳	۰,۰۸۵	۰,۰۹۱	۰,۰۸۲	۰,۰۷۸
μ_{soil}	۰,۱۳۰	۰,۱۲۳	۰,۱۳۶	۰,۱۲۶	۰,۱۲۳
	$\bar{\mu}_{water} = ۰,۰۸۴$ cm^{-1}		$\bar{\mu}_{soil} = ۰,۱۲۸$ cm^{-1}		

تغییرات آهنگ شمارش تجربی و شبیه سازی بازای عمق و ماده موجود در لوله در شکل (۲) ارائه شده است :



شکل شماره ۲ - تغییرات شدت گامای تجربی و شبیه سازی برحسب عمق کولیماسیون و محتوای لوله

نهایتا تغییرات آهنگ شمارش آب و خاک اندازه گیری شده برحسب عمق را در شکل (۳) نشان دادیم :



شکل شماره ۳ - تغییرات شدت گامای آشکارسازی شده بر حسب عمق کولیماسیون و محتوای لوله

بحث و نتیجه گیری :

شکل ۲ و مقایسه داده های تجربی با شبیه سازی مویید همخوانی مطلوب بین آنها برای تمامی مواد مورد آزمایش است که صحت انجام آزمایش تجربی ما را به خوبی تایید می کند . آنچه از شکل ۳ پیداست ، بیان کننده این مطلب است که با کاهش هرچه بیشتر عمق کولیماسیون بازای هر دو ماده با افزایش شدت گامای آشکارسازی شده مواجه هستیم که میزان این افزایش بازای عوق های کمتر ، بزرگتر می شود . از طرفی در عمق های کمتر ، اختلاف شمارش های آب و خاک افزایش می یابد و چون در مخلوط دوفازی از این دو ماده ، درصد خاک مقداری مابین صفر (آب کامل) و یک (خاک کامل) است ، پس $\alpha\%$ این اختلاف شمارش ، حداقل دقتی است که در مورد آشکارسازمان نیاز است داشته باشیم تا توانایی تفکیک دو مخلوط که در میزان درصد خاک ، $\alpha\%$ تفاوت دارند را داشته باشیم . با توجه به جدول شماره ۱ ، ماکزیمم دقت مورد حصول ما در این آزمایش برابر با ۳٪ و برای عمق ۴mm می باشد .

پیشنهادی برای ادامه تحقیق دراین زمینه می تواند این باشد که با رعایت کامل مسائل حفاظتی در برابر پرتوها ، عمق های کمتر نیز مورد بررسی قرار گیرد چراکه انتظار می رود افزایش اختلاف شمارشی آب و خاک با کاهش عمق ، در مقداری بهینه تر از ۴mm والبته نه خیلی کوچکتر ، بدست آید و پس از آن با کاهش هرچه بیشتر عمق، دوباره فاصله نمودارها به سبب افزایش هر چه بیشتر سهم پرتوهای پس پراکنده شده در شمارش و در نتیجه تخریب کنتراست ، به هم نزدیکتر می شود . آنچه ما را در انجام این کار متوقف کرد نداشتن امکان و وقت لازم برای ساخت حفاظ هایی متناسب با این کار بود .

مراجع :

۱.سید پژمان شیرمردی، مترجم، محمد قنادی مراغه، مترجم، کاربردهای عملیاتی رادیواکتیویته و تابش های هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، ۲۰۰۵ ، ۱۳۹۰ .