استخراج رابطه نظری برای ضرایب انباشت حفاظ دو لایه

محبی کجیدی، محمد حسین[۱] – محمدی، محمدصادق[۱] – رشیدی، مهدی[۱]– حسینی، سید ابوالفضل[۱]*

[1]دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته ای

چکیده:

محاسبه ضریب انباشت برای تابش‌های گاما با در نظر گرفتن انواع برهم کنش‌های فوتون با ماده و با روش‌هایی ازجمله استفاده از روابط نظری، به صورت تجربی یا به صورت محاسبات مونت‌کارلویی انجام می‌پذیرد. در این مقاله رابطه‌ای نظری، مبتنی بر نتایج شبیه سازی برای حفاظ دو لایه‌ای به‌منظور محاسبه ضرایب انباشت با استفاده از نرم‌افزار MCNP ارائه گردیده است. در نهایت درستی رابطه نظری ضریب انباشت ارائه شده با مقاله مرجع صحت‌سنجی گردیده است.

کلمات کلیدی: *ضریب انباشت، حفاظ دولایه‌ای، MCNPX 2.7*، پویش‌آزاد، تک انرژی

Derivation of a Theoretical Formula for Buildup Factor of Two-Layer Shielding

Mohebbi Kojidi, Mohammad Hossein[1]; Mohammadi, Mohammad Sadegh[1]; Rashidi, Mehdi[1]; Hosseini, Seyyed Abolfazl[1]

[1]Sharif University of Technology, Faculty of Energy Engineering, Department of Nuclear Engineering

Abstract:

Calculating the buildup factor for gamma radiations with considering various interactions of photon and material is derived using different methods such as solving theoretical formula, empirical or through Monte Carlo simulating calculations. In this paper, a theoretical formula is reported based on simulation results of two-layer shielding for calculation of buildup factors using MCNPX 2.7 Monte Carlo code. The obtained theoretical formula is benchmarked by the reference paper.

Keywords: Buildup factor, Two-Layer Shielding, MCNPX 2.7, Mean Free Path, Monoenergic

مقدمه:

روش کار:

در حالت کلی مقدار ضریب انباشت توسط رابطه شماره (۳) بدست خواهد آمد:

$$B_1(E,\mu r)=\frac{D}{D_0} \qquad (۳)$$

در این رابطه D مجموع دز ذرات برخورد نکرده و رسیده به آشکارساز و دز ذرات پراکنده شده و رسیده به آشکارساز بوده و D_0 بیان‌کننده دز ذرات برخورد نکرده و رسیده به آشکارساز می‌باشد.

مقدار بدست آمده برای ضرایب انباشت از محاسبات نظری طبق رابطه شماره (٤) محاسبه گردید[۳]. در این مقاله، رابطه ضریب انباشت به صورت زیر مدل‌سازی شده‌است:

$$B_2(E,X_1,X_2)=\frac{a+bE+cX_1+dX_2}{1+fE+gX_1+hX_2} \qquad (٤)$$

X_1 مقدار پویش‌آزاد در لایه اول در انرژی E، X_2 مقدار پویش‌آزاد در لایه دوم در انرژی E، و بعقیه پارامترهای موجود ضرایب رابطه ضریب انباشت می‌باشد.

در ادامه ضریب انباشت پرتوگیری تابش‌های گاما برای یک چشمه نقطه ای با انرژی ۰/۵ و٦ مگاالکترون‌ولت و یک حفاظ دو لایه(آب/بتن، آب/سرب و سرب/آب) با ضخامت لایه‌های مختلف(برحسب پویش‌آزاد میانگین) با استفاده از کد MCNP محاسبه می‌شود. مشخصات شبیه‌سازی انجام شده در جدول (۱) آمده است:

جدول (۱) خصوصیات شبیه‌سازی

ردیف	انرژی منبع (مگاالکترون‌ولت)	مواد حفاظ دولایه (لایه اول/لایه دوم)	ضخامت لایه اول (پویش‌آزاد)	ضخامت لایه دوم (پویش‌آزاد)
۱	۰/۵	آب/ بتن	۱	۱-۵
۲	٦	آب/ سرب	۵	۱-۵
۳	۰/۵	سرب/ آب	۲	۱-۵

برای حالت اول، ابتدا ماده آب را با فاصله یک پویش‌آزاد در نظر گرفته و در ادامه یک طول بسیار بزرگ (حدود ۱۵ پویش‌آزاد بتن) را مدل کرده و در فاصله‌های مورد نیاز، آشکارسازی بصورت پوسته کروی تعریف خواهدشد تا مقدار ضریب انباشت برای ۱ تا ۵ پویش‌آزاد بتن محاسبه شود. برای حالت‌های بعد نیز به همین ترتیب کار ادامه خواهد یافت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، رابطه نظری، خطاهای این دو روش و میزان اختلاف دو روش با یکدیگر بصورت مقایسه‌ای در جدول (۲) آمده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نتایج بدست‌آمده از رابطه نظری را تایید می‌کند. در بخش بعدی به تحلیل نتایج بدست‌آمده پرداخته‌می‌شود.

جدول (۲) مقایسه داده‌های مقاله با داده‌های کد MCNPX

ترتیب حفاظ	ترژی (مگاالکترون‌ولت)	تعداد پویش‌آزاد در لایه اول	تعداد پویش‌آزاد در لایه دوم	ضریب انباشت مقاله مرجع[۳]	ضریب انباشت برازش‌شده	ضریب انباشت حاصل از شبیه‌سازی	میزان اختلاف در دو روش
آب/بتن	۰/۵	۱	۱	۳/۲۳۲۳۱	۴/۰±۱۹۰۷/۰۰۶۸	۴/۰±۲۱/۱۳	۰٪۳۹
			۲	۵/۷۶۱۸۵۱	۶/۰±۳۳۳/۰۱۱	۴/۰±۲۷/۲۵	۰٪۹۸
			۳	۸/۵۳۶۷۷۹	۸/۰±۸۸۳/۰۱۶	۸/۰±۹۲/۴۴	۰٪۴۲
			۴	۱۱/۵۹۴۶۵	۱۱/۰±۹۶۷/۰۲۴	۱۱/۰±۹۶/۷۲	۰٪۰۵
			۵	۱۴/۹۸۱۰۷	۱۵/۰±۷۷۴/۰۳۴	۱۵/۱±۸/۱	۰٪۰۹
آب/سرب	۶	۵	۱	۴/۹۲۶۱۷۴	۴/۰±۱۷۴۳/۰۰۴۳	۴/۰±۰۴/۳۱	۳٪۲۲
			۲	۵/۸۳۳۰۲۸	۴/۰±۸۳۵۰/۰۰۵۴	۵/۰±۰۲/۴۹	۳٪۶۱
			۳	۶/۹۲۷۱۲۶	۵/۰±۷۴۱۰/۰۰۷۳	۵/۰±۷۷/۶۷	۰٪۵۵
			۴	۸/۲۷۳۱۱۳۸	۷/۰±۰۶۰/۰۱۰	۶/۰±۹۵/۹۷	۱٪۶۴
			۵	۹/۹۶۹۳۸۸	۹/۰±۱۵۸/۰۱۶	۹/۱±۲/۵	۰٪۳۳
سرب/آب	۰/۵	۲	۱	۲/۳۸۸۹۴۴	۳/۰±۲۱/۱۳	۳/۰±۳۶/۲۰	۴٪۵۲
			۲	۴/۸۷۵۵۵۴	۶/۰±۴۸/۲۰	۶/۰±۴۱/۴۶	۰٪۹۷
			۳	۷/۷۶۰۹۳۳	۱۰/۰±۴۲/۲۸	۹/۰±۹۲/۸۴	۵٪۰۴
			۴	۱۱/۱۴۹۳۷	۱۵/۰±۲۸/۴۰	۱۵/۱±۸/۶	۳٪۵۵
			۵	۱۵/۱۸۴۹۸	۲۱/۰±۴۰/۵۷	۲۱/۲±۲/۵	۰٪۸۵

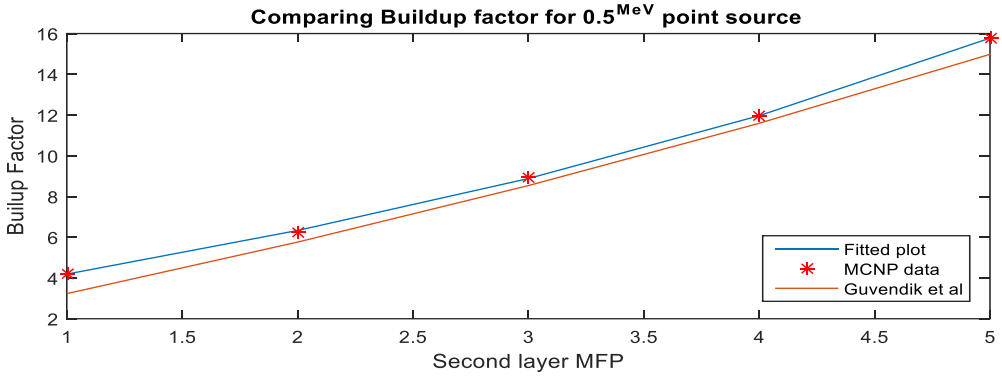
نتایج:

با ا ستفاده از نتایج به د ست آمده از کد MCNP و برازش‌منحنی، پارامترهای رابطه شماره (٤) را بد ست آورده و مقادیر این ضرایب را با مقاله[۳] مقایسه می‌شود:

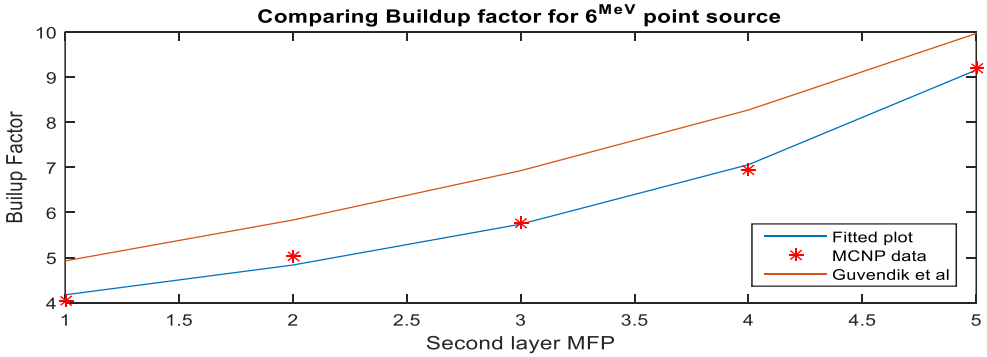
جدول (۳) مقایسه ضرایب بدست آمده از مقاله با داده‌های کد MCNPX

ترتیب حفاظ	انرژی (مگاالکترون‌ولت)	ضرایب رابطه (٤)	ضرایب حاصل از مقاله مرجع	ضرایب حاصل از برازش‌منحنی
آب/بتن	E≤۳	a	-۳/۱۷۱	۷۱/۱۳۰
		b	۲/۸۳۸	۱۹۹/۳
		c	۳/۰۷۳	۱٦/۳۹۰
		d	۳/۱۳۸	۱۲۰
		f	۱/۰۲۹	۱۵۰/۹۰۰
		g	-۰/۰۷٤	۲/٦۹۳
		h	-۰/۰٦۱	-۵/۸٤۸
آب/سرب	E>۳	a	۱/٦۲۷	-۸٦/۸۳۰
		b	۰/۱۵۹	۳٤/۵۲۰
		c	۰/٤۰٤	۰/٤۰٤
		d	۰/۲٤۳	۰/۱۸۵٤۵
		f	-۰/۰٤۸	۵/۳۹۷
		g	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۳
		h	-۰/۰۵۱	-۳/۹۷۲
سرب/آب	E≤۳	a	-٤/۵۵۰	-۱۳/۱۸۰
		b	۵/۸۰۸	۲۲/٤۰۰
		c	۱/۰۲۹	۱/۱۹۰
		d	۳/۷۰۲	۱/۰۹۰
		f	۱/٦۸۳	-۱/۹۲۷
		g	-۰/۰۰۰۲	۰/۲۰۰
		h	-۰/۱۱۹	-۰/۰۳٤۵

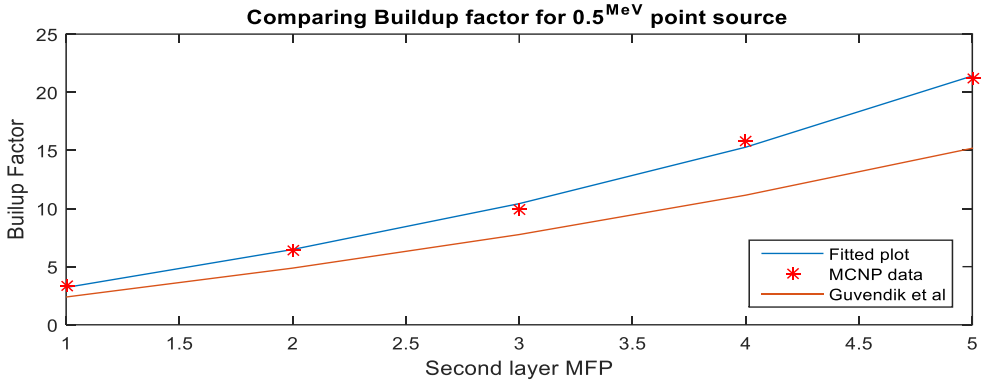
مقادیر ضرایب انباشت با استفاده از داده‌های بدست آمده از شبیه‌سازی، برازش‌منحنی و مقادیر مقاله مرجع[۳] در شکل‌های ۱،۲و۳ آمده است. بدلیل کوچک بودن خطوط خطا در ابعاد شکل‌های موجود در این مقاله، در نمودارها نشان‌داده نشده‌اند. برای مشاهده خطوط خطا باید هر شکل در صفحه‌ای جداگانه رسم‌شود:



شکل (۱): ۱ پویش‌آزادمیانگین برای آب و ۱ تا ۵ پویش‌آزادمیانگین برای بتن



شکل (۲): ۵ پویش‌آزادمیانگین برای آب و ۱ تا ۵ پویش‌آزادمیانگین برای سرب



شکل (۳): ۲ پویش‌آزادمیانگین برای سرب و ۱ تا ۵ پویش‌آزادمیانگین برای آب

جدول (٤) مقدار خطای حاصل از برازش‌منحنی و داده‌های کد MCNP

ترتیب حفاظ	R Square	SSE
آب/بتن	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۵۵
آب/سرب	۰/۹۹۹۵	۰/۰٦٤۰
سرب/آب	۰/۹۹۷۰	۰/٦۲٤۹

با توجه مقادیر به دست آمده برای ضریب انباشت مربوط به ترکیب اول (آب- بتن) پاسخ‌ها حاصل منطقی است و اختلاف میان مقادیر واقعی و مقادیر بدست آمده از کد MCNPX 2.7 به علت انواع موجود بتن می‌باشد که در نهایت از نوعی خاصی بتن (Oak Ridge National Laboratory) در کد MCNPX 2.7 نوشته شده، استفاده‌شد. ولی در ترکیب‌های بعدی (آب- سرب و سرب- آب) اختلاف موجود بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مقاله کمی داری خطا می‌باشد که علت آن به دست آوردن پویش‌آزاد میانگین از روی ضریب جذب بدست آمده از جداول مراجع مختلف می‌باشد. ضریب تضعیف را با شبیه‌سازی هم می‌توان محاسبه کرد که در این صورت جواب‌های بدست‌آمده از رابطه نظری به جواب‌های حاصل از شبیه‌سازی نزدیک‌تر می‌شد ولی از اعداد واقعی که با کار آزمایشگاهی دقیق بدست‌آمده است، فاصله می‌گرفت.

بحث و نتیجه گیری:

در این مقاله رابطه‌ای نظری مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی حفاظ دولایه با استفاده از کد MCNP برای محاسبه ضرایب انباشت حفاظ دو لایه ارائه گردیده است. با توجه به اینکه ضرایب انباشت محاسبه شده در این مقاله با استفاده از آخرین سطح مقطع‌های موجود برای انواع واکنش‌های مربوط به برهمکنش‌های فوتون با مواد به دست آمده‌اند، می‌توان از آن‌ها برای محاسبه ضریب انباشت در محیط‌هایی با حفاظ دولایه برای چشمه‌های تک‌انرژی فوتون در محاسبات مربوط به حفاظ-سازی استفاده کرد.

مراجع:

[1] Cember, H. (2008). *Introduction to Health Physics: Fourth Edition*. New York, NY: McGraw Hill Companies, Inc.

[2] Shultis, J. K. (2000). *Radiation shielding*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall PTR.

[3] Guvendik, M., & Tsoulfanidis, N. (2000). Formulas giving buildup factor for double-layered shields. Nuclear technology, 131(3), 332-336.