مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۰، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۸۹

محاسبهٔ ضرایب انباشت پرتودهي تابش‌هاي گاما براي چشمه‌هاي صفحه‌اي و تيغه‌هاي دولاية آب و سرب و بررسي تأثيرات پراكندگي همدوس بر اين ضرايب

محمدحسن علامت ساز[۱] و مجتبي مكاري[۱ و۲]

۱. دانشكدهٔ فيزيك، دانشگاه صنعتي اصفهان

۲. مجتمع آموزش عالي بهبهان

پست الكترونيكي: alamatsa@cc.iut.ac.ir

(دريافت مقاله: ۱۳۸۸/۸/۲۳ ؛ دريافت نسخه نهايي: ۱۳۸۹/۴/۲۹)

چكيده

در اين مقاله ضرايب انباشت پرتودهي تابش‌هاي گاما براي چشمه‌هاي صفحه‌اي و تيغه‌هاي دولاية آب و سرب محاسبه شد و تأثير پراكندگي‌هاي همدوس كه در چنين هندسه و كاربردي كمتر مورد توجه قرار گرفته، در نظر گرفته شده است. در اين كار، در مرحلهٔ اول، ضرايب انباشت پرتودهي تابش‌هاي گاما بدون تأثير پراكندگي همدوس براي چشمهٔ صفحه‌اي نرمال و تيغه‌هاي دولاية آب- سرب و سرب- آب به كمك كد محاسباتي MCNP محاسبه شدند و در مرحلهٔ دوم ضرايب ذكر شده با تأثير پراكندگي همدوس محاسبه شده و تأثير پراكندگي همدوس و هم چنين تابش فلورسانس بر ضرايب انباشت پرتودهي بررسي شد. در اثر پراكندگي همدوس، ضرايب انباشت به ويژه در انرژي‌هاي پايين چشمه و مقادير بزرگتر پوشش آزاد ميانگين در هر دو لايه، افزايش مي‌يابد. با توجه به دقت بالاي محاسبات از نظر آماري و سطح مقطع‌هاي به كار رفته، نتايج كامل‌تري نسبت به كارهاي قبل در هندسهٔ ذكر شده به دست آمدند.

واژه‌هاي كليدي: MCNP ،مونت كارلو، ضريب انباشت تابش گاما، پراكندگي همدوس، تابش فلورسانس

۱. مقدمه

امروزه تكنولوژی هسته‌ای و كاربردهای آن در صنعت، كشاورزی و پزشكی پيشرفت‌های روز افزونی يافته است. بنابراين حفاظ‌گذاری در مقابل تابش‌های هسته‌ای به خاطر اثرهای زيان‌آور اين تابش‌ها بسيار اهميت پيدا كرده است. در ميان اين تابش‌ها، بررسی حفاظ‌گذاری برای پرتو گاما به علت نفوذ زياد آن در مواد مختلف اهميت زيادی دارد.

می‌دانيم كه نفوذ فوتون‌ها در ماده به‌صورت تابعی نمايی می‌باشد. معادله‌ای كه برای شدت پرتو گاما در شرايط هندسی واقعی در نظر گرفته می‌شود، به‌صورت زير است:

$$I = B(E,x)I_{\circ}e^{-\mu x}, \qquad (۱)$$

در اين رابطه $I_{\circ}$ شدت پرتوهای فرودی، I شدت پرتوهای عبوری، B ضريب انباشت[۱]، x ضخامت مادهٔ جاذب و μ ضريب تضعيف خطی است كه به انرژی فوتون فرودی و عدد اتمی محيط بستگی دارد. ضرايب انباشت برای كميت‌هايی چون شار، دز و پرتودهی[۲] (يا پرتوگيری) به كار می‌رود. ضريب انباشت كميتی بزرگتر يا مساوی يک است و به صورت نسبت شدت پرتوهای اوليه و پراكنده شده در هر نقطه از باريكه به شدت پرتوهای اوليه در همان نقطه، تعريف می‌شود [۱، ۲ و ۳].

۱. Buildup factor

۲. Exposure

Archive of SID

www.SID.ir

برای حالتی‌که بیشینهٔ جذب داشته باشیم و سطح مقطع پراکندگی هم ناچیز باشد، ضریب‌انباشت برابر واحد، B=۱ می‌باشد. ضرایب انباشت به کمیت‌هایی از قبیل: نوع ناحیه تضعیف (عدد اتمی)، سطح مقطع جذب و پراکندگی محیط، انرژی فوتون‌های چشمه ،فاصله چشمه تا نقطه مورد نظر بر حسب پویش آزاد میانگین (mfp)، هندسه چشمهٔ (نقطه‌ای، صفحهٔ نرمال، صفحهٔ همسانگرد)، کمیت مورد نظر (پرتودهی، دز ...) بستگی دارد. ضریب انباشت نه فقط به خصوصیات حفاظ مورد نظر بلکه به حفاظ قبلی (درحالت دو یا چند لایه‌ای) که فوتون‌ها در آن نفوذ کرده‌اند بستگی دارد. این ضرایب در طراحی حفاظ‌های چشمه‌های پرتوزا و راکتورهای هسته‌ای وهمچنین در محاسبات دز جذبی تابش‌های پرتوزا در بافت‌های بدن کاربرد زیادی دارند. ضریب انباشت نقش مهمی در محاسبات توزیع شار فوتون‌ها در هر هدف دارد[۴]. در پرتودرمانی تابش رادیواکتیو روشی برای از بین بردن غده‌های سرطانی است و از این‌رو توجه به ضریب‌انباشت در محاسبات دز تابش پرتو که به سلول‌های سرطانی می‌رسد، اجتناب‌ناپذیر است[۵].

به دلیل اهمیتی که ذکر شد، تلاش‌های زیادی در جهت اندازه‌گیری این ضرایب برای چند مادهٔ مهم صورت گرفته است. از آنجا که تعیین دقیق این ضرایب از طریق آزمایش در همه مواد، کار آسانی نیست، این ضرایب را اغلب با استفاده از سطح مقطع‌های جذب و پراکندگی فوتون‌ها محاسبه می‌کنند. تاکنون تلاش‌هایی در زمینهٔ محاسبهٔ این ضرایب به کمک روش‌های محاسباتی و نوشتن برنامه‌های کامپیوتری انجام شده که می‌توان از آن جمله به مرجع [۶] که با استفاده از کد BIGGI-4T با روش حل معادله ترابرد فوتون‌ها و سطح مقطع برهم‌کنش‌ها در محیط‌های مورد نظر و مراجع [۷ و ۸] با استفاده از کد EGS4، مرجع [۹] با استفاده ازکد PALLAS-PL به‌روش کرنل نقطه‌ای، مرجع [۱۰] با استفاده از روش ممان‌ها و مراجع [۱۱ و ۱۲] به‌روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو در شرایط واقعی برای هندسه‌های شامل چشمه‌های نقطه‌ای و صفحه‌ای و تیغه‌های تک‌لایه و دولایه، اشاره کرد. همچنین می‌توان به مراجع [۱۳ و ۱۴] اشاره کرد که اولی با استفاده از مدل SVR[1]، یک روش ریاضی برای محاسبهٔ ضرایب انباشت در حفاظ‌های متوالی پیشنهاد می‌کند و مرجع دوم با استفاده از کد EGS4 و به‌کاربردن تکنیک جداسازی ویژه[2] و روش ماتریس انتقال، در شرایط ذکر شده، ضرایب انباشت پرتودهی را محاسبه می‌کند. اخیراً نیز این ضرایب برای چشمهٔ صفحه‌ای و حفاظ تیغه‌ای تک‌لایه با استفاده از کد محاسباتی MCNP [3] محاسبه شده است [۱۵].

در این کار به کمک کد محاسباتی MCNP که بر اساس روش مونت کارلو نوشته شده است، ابتدا برای چشمهٔ صفحه‌ای و حفاظ‌های دولایه آب و سرب، ضرایب انباشت پرتودهی را بدون تأثیر پراکندگی همدوس محاسبه کرده و با مراجع [۶ و ۷] مقایسه می‌کنیم و پس از آن تأثیر پراکندگی همدوس را بر ضرایب انباشت ذکر شده بررسی می‌کنیم. تاکنون تأثیر پراکندگی همدوس و تابش فلورسانس[۱۶] بر ضرایب انباشت پرتودهی در شرایط چشمه‌های نقطه‌ای و حفاظ‌های کروی تک‌لایه‌ای در مرجع[۱۲] و در حفاظ‌های کروی دولایه‌ای در مرجع [۱۱] بررسی شده اند. از آنجا که این ضرایب در حفاظ‌های تیغه‌ای با حفاظ‌های کروی متفاوتند و در مقدمه هم ذکر شد، ضرایب انباشت به هندسهٔ محیط بستگی دارد و در این شرایط تحقیقات چندانی انجام نشده است، در این کار به بررسی پراکندگی همدوس در حفاظ‌های دولایه، دولایه آب – سرب و سرب–آب در شرایط چشمهٔ صفحه‌ای و حفاظ تیغه‌ای می‌پردازیم.

۲. روش کار

در این کار هدف محاسبهٔ ضرایب انباشت پرتودهی تابش‌های گاما با استفاده از کد محاسباتی MCNP برای چشمه‌های صفحه‌ای گاما می‌باشد که پرتوهای گاما تک جهت و عمود بر صفحهٔ چشمه و حفاظ تیغه‌ای شامل دو لایهٔ سرب– آب و

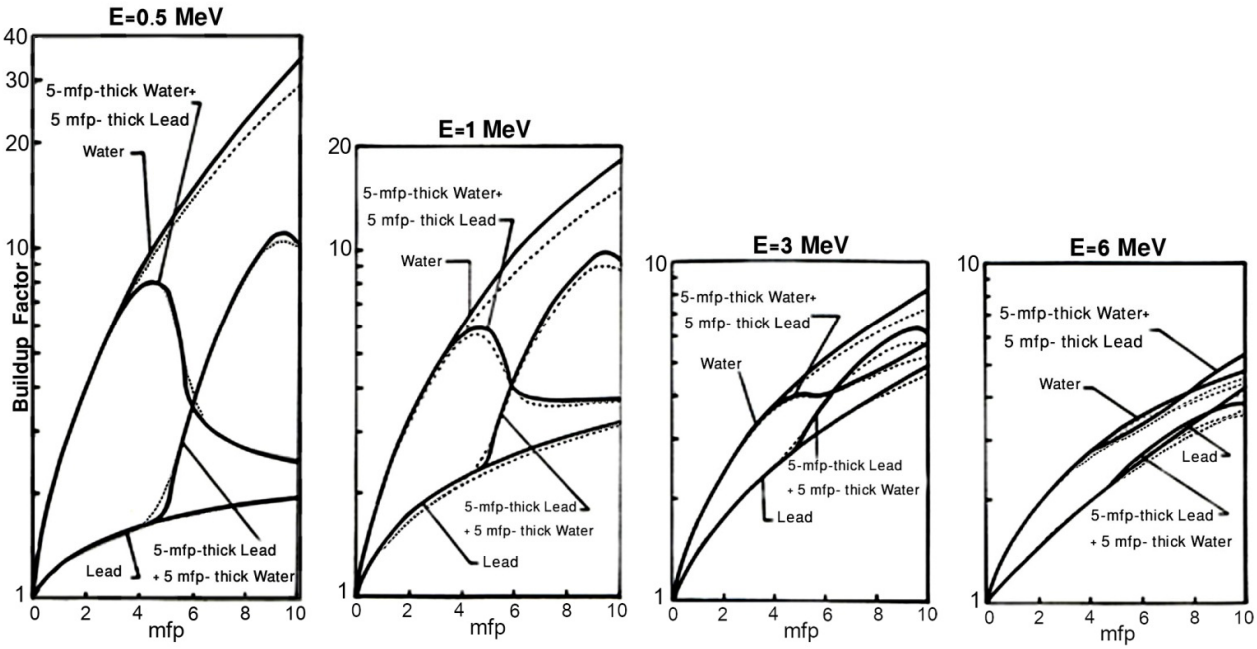
۱. Support vector regression model

۲. Special splitting technique

۳. Monte Carlo N-Particles

Archive of SID

www.SID.ir



الف) انرژی MeV ۶ ب) انرژی MeV ۳ ج) انرژی MeV ۱ د) انرژی MeV ۰/۵

شکل ۱. نمودارهای الف، ب، ج، د، مقایسهٔ ضرایب انباشت پرتوگیری در شرایط چشمهٔ صفحه‌ای و تیغهٔ تک‌لایه و دولایهٔ آب و سرب بدون تاثیر پراکندگی همدوس با مرجع [۶] . (خطوط پررنگ نتایج مرجع [۶] و خطوط نقطه چین نتایج کار ما با استفاده از کد محاسباتی MCNP می‌باشند.)

آب- سرب برای بررسی تأثیر برهم‌کنش‌های همدوس در نظر گرفته شده است. در مراجع [۶ و ۷] برای هندسهٔ ذکر شده بدون تأثیر پراکندگی همدوس ضرایب انباشت پرتودهی گاما به‌روش‌های متفاوت با کار ما محاسبه شده‌اند. در ابتدا برای اطمینان از درستی نتایج حاصل از کد MCNP، ضرایب انباشت را در شرایط وانرژی‌های مراجع موجود محاسبه کردیم. در مرحلهٔ دوم تأثیر پراکندگی همدوس در حالت‌های ذکر شده را در نظر گرفته و اثر آن را بررسی می‌کنیم و ضرایب انباشت را در انرژی‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۳ و۶ مگا الکترون ولت و در ضخامت‌های mfp ۱۰ تیغه دو لایه‌ای شامل mfp ۵ آب یا سرب و mfp ۵ سرب یا آب محاسبه می‌کنیم. در این‌کار به کمک کارت درخواست F۲ (آشکارساز سطحی) شار کل روی سطح مورد نظر و شار فوتون‌های بدون برخورد را به‌دست آورده و پس از تبدیلات شار به دز و محاسبات بعدی ضرایب انباشت پرتودهی را در هندسه ذکر شده و حالت‌های مختلف محاسبه کردیم. همچنین برای کاهش خطای آماری و محاسباتی کار از کارت کاهش واریانس imp استفاده کرده و برنامه را برای هر حالت و انرژی، برای مدت زمان۶۰ دقیقه اجرا کردیم.

همان‌طور که قبلا گفته شد، ابتدا به مقایسه ضرایب انباشت پرتودهی گاما در تیغه‌های تک لایه آب و سرب و دولایه آب- سرب و همچنین سرب-آب (شامل mfp ۵ محیط اول و mfp ۵ محیط دوم) با مراجع [۶ و ۷] پرداختیم، که در آنها با استفاده از کدهای BIGGI-4T و EGS4 در انرژی‌های ۰/۵، ۱، ۳ و ۶ مگاالکترون ولت، بدون تأثیر پراکندگی همدوس و تابش ترمزی ضرایب انباشت محاسبه شده‌اند. نتایج این کار و نتایج مرجع [۶] در شکل ۱ به‌صورت نمودار ارائه شده‌اند (مقایسهٔ نتایج مرجع [۷] با کار ما به خاطر کمی جا و شباهت شکل‌ها در این مقاله ارائه نشده است). مشاهده می‌شود که نتایج کار از سازگاری خوبی با این مرجع برخوردار است و تفاوت جزئی ضرایب انباشت در به کارگیری ضرایب تبدیل شار به دز، سطح مقطع‌های مورد استفاده و نحوه برخورد با تابش‌ها می‌باشد. البته سطح مقطع‌های به کار رفته در این کار مربوط به سطح

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. تأثیر پراکندگی همدوس برضریب انباشت پرتوگیری تیغهٔ دو لایهٔ سرب- آب با استفاده از کد محاسباتی MCNP.

μR (mfp)	E=۰/۱ MeV		E=۰/۲ MeV		E=۰/۵ MeV		E=۱ MeV		E=۳ MeV		E=۶ MeV	
	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس
۱	۲/۴۴	۲/۵۰	۱/۲۰	۱/۲۶	۱/۲۴	۱/۳۱	۱/۳۷	۱/۴۱	۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۲۷	۱/۲۷
۲	۳/۱۳	۳/۲۷	۱/۲۲	۱/۳۷	۱/۳۶	۱/۵۳	۱/۶۵	۱/۷۵	۱/۷۳	۱/۷۵	۱/۴۹	۱/۴۹
۳	۴	۴/۲۶	۱/۲۴	۱/۴۶	۱/۴۷	۱/۷۵	۱/۸۸	۲/۰۷	۲/۰۷	۲/۱۱	۱/۷۳	۱/۷۳
۴	۵/۴۰	۵/۸۲	۱/۲۶	۱/۵۶	۱/۵۵	۱/۹۷	۲/۱۰	۲/۳۹	۲/۴۲	۲/۴۸	۱/۹۹	۱/۹۹
۵	۱۰/۰۷	۱۰/۷۸	۱/۷۷	۲/۳۱	۱/۹۵	۲/۶۴	۲/۵۵	۳/۰۱	۲/۸۷	۲/۹۶	۲/۲۹	۲/۲۹
۶	۱۸/۳۶	۱۹/۷۴	۳/۸۲	۴/۹۹	۳/۸۵	۵/۲۰	۴/۳۱	۵/۰۹	۳/۷۹	۳/۹۱	۲/۶۷	۲/۶۷
۷	۲۷/۹۰	۳۰/۶۲	۶/۴۲	۸/۴۲	۵/۹۵	۸/۰۵	۵/۹۸	۷/۱۰	۴/۴۲	۴/۵۸	۲/۹۶	۲/۹۶
۸	۳۹/۰۷	۴۳/۳۶	۹/۷۳	۱۲/۷۹	۸/۳۹	۱۱/۳۶	۷/۶۸	۹/۱۳	۴/۹۸	۵/۱۸	۳/۲۴	۳/۲۴
۹	۴۸/۷۳	۵۶/۱۱	۱۳/۳۴	۱۷/۶۱	۱۰/۹۲	۱۴/۷۴	۹/۳۲	۱۱/۱۰	۵/۴۹	۵/۷۲	۳/۵۱	۳/۵۱
۱۰	۳۷/۴۲	۴۳/۷۱	۱۱/۵۲	۱۵/۳۲	۱۰/۰۲	۱۳/۵۷	۸/۷۶	۱۰/۴۷	۵/۴۱	۵/۶۲	۳/۵۶	۳/۵۶

جدول۲. تأثیر پراکندگی همدوس برضریب انباشت پرتوگیری تیغهٔ دو لایهٔ آب- سرب با استفاده از کد محاسباتی MCNP.

μR (mfp)	E=۰/۱ MeV		E=۰/۲ MeV		E=۰/۵ MeV		E=۱ MeV		E=۳ MeV		E=۶ MeV	
	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس	بدون همدوس	همدوس
۱	۴/۴۹	۴/۵۳	۳/۳۴	۳/۳۶	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۱	۲/۱۱	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۵۱	۱/۵۱
۲	۸	۸/۲۴	۵/۷۷	۷/۱۸	۴/۱۷	۴/۱۹	۳/۱۹	۳/۱۹	۲/۳۳	۲/۳۳	۱/۹۴	۱/۹۴
۳	۱۲/۵۳	۱۳/۱۶	۸/۹۴	۹/۱۲	۶/۰۸	۶/۱۱	۴/۴	۴/۴۱	۲/۹۵	۲/۹۶	۲/۳۴	۲/۳۴
۴	۱۷/۵۵	۱۸/۸۰	۱۲/۴۴	۱۲/۸۵	۸/۱۳	۸/۱۹	۵/۶۶	۵/۷۶	۳/۵۶	۳/۵۶	۲/۷۱	۲/۷۱
۵	۱۸/۵۴	۲۰/۴۳	۱۲/۸۴	۱۳/۳۷	۸/۳۰	۸/۳۸	۵/۹۱	۵/۹۳	۳/۸۷	۳/۸۸	۲/۹۷	۲/۹۷
۶	۱۳/۶۷	۱۵/۶۷	۳/۴۶	۳/۹۲	۳/۲۴	۳/۵۴	۳/۶۴	۳/۸۱	۳/۷۷	۳/۸۰	۳/۲۴	۳/۲۴
۷	۱۵/۱۴	۱۷/۵۶	۲/۵۸	۳/۰۸	۲/۸۲	۳/۲۸	۳/۵۳	۳/۸۲	۴/۱۰	۴/۱۶	۳/۶۱	۳/۶۱
۸	۱۹/۱۷	۲۲/۳۶	۲/۲۲	۲/۸۰	۲/۶۴	۳/۲۷	۳/۵۵	۳/۹۷	۴/۴۴	۴/۵۳	۳/۹۷	۳/۹۷
۹	۲۶/۴۳	۳۰/۷۱	۲/۰۳	۲/۶۸	۲/۵۵	۳/۳۵	۳/۶۱	۴/۱۸	۴/۷۷	۴/۸۹	۴/۳۴	۴/۳۴
۱۰	۳۵/۸۲	۴۱/۰۸	۱/۷۹	۲/۴۸	۲/۴۶	۳/۴۳	۳/۶۴	۴/۳۶	۴/۹۶	۵/۱۴	۴/۵۸	۴/۵۸

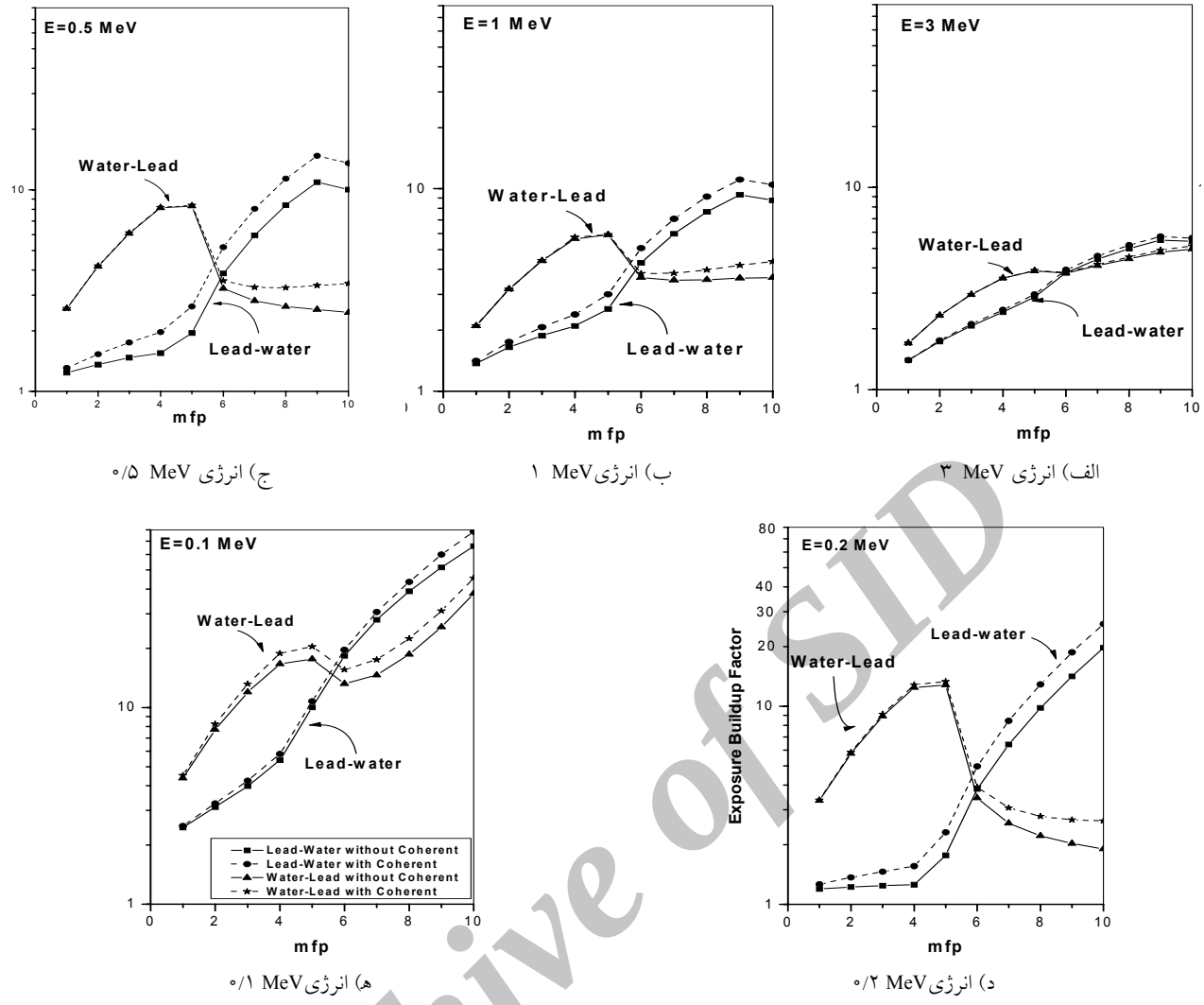
مقطع‌های MCNPX ۲,۴ است، که طبق آخرین جداول جهانی سطح مقطع می‌باشند و از دقت بالایی برخوردارند. پس از مقایسه با مراجع، به تأثیر پراکندگی همدوس فوتون‌ها(پراکندگی بدون تغییر طول موج) بر ضرایب انباشت پرتودهی در تیغه‌های دو لایهٔ آب وسرب می‌پردازیم. نتایج ناشی از تأثیرات پراکندگی همدوس بر ضرایب انباشت پرتودهی در جداول ۱ و ۲ و نیز شکل ۲ ارائه شده‌اند.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

همان گونه که در جداول ۱ و ۲ و شکل ۲ دیده می‌شود، در حفاظ آب- سرب به دلیل پراکندگی بیشتر فوتون‌ها در آب، ضرایب انباشت در تیغهٔ آب افزایش می‌یابد. با وارد شدن فوتون‌های پراکندهٔ کم انرژی به لایهٔ سرب، ضرایب انباشت کاهش می‌یابد زیرا سطح مقطع جذب فوتوالکتریک برای این فوتون‌ها در سرب زیاد است. در حفاظ سرب-آب به دلیل عدد

Archive of SID

www.SID.ir



الف) انرژی ۳ MeV ب) انرژی ۱ MeV ج) انرژی ۰/۵ MeV

د) انرژی ۰/۲ MeV ه) انرژی ۰/۱ MeV

شکل ۲. نمودارهای الف، ب، ج، د، ه شامل مقادیر ضرایب انباشت پرتودهی برای تابش‌های گاما، محاسبه شده توسط کد محاسباتی MCNP برحسب پویش آزاد میانگین در انرژی مربوطه است. تاثیر پراکندگی همدوس بر ضرایب انباشت پرتوگیری گاما در تیغه های دو لایه آب و سرب که شامل هندسه‌ای به صورت ۵mfp محیط اول و ۵mfp محیط دوم (خطوط پررنگ ضرایب انباشت پرتودهی بدون درنظرگرفتن پراکندگی‌های همدوس می‌باشد. خطوط نقطه‌چین ضرایب انباشت با در نظرگرفتن سهم پراکندگی‌های همدوس می‌باشد.)

اتمی (Z) بالای سرب، اغلب فوتون‌های کم انرژی در این لایه جذب می‌شوند و فوتون‌هایی که به لایهٔ آب می‌رسند احتمال بیشتری برای پراکندگی کامپتون دارند، در نتیجه در تیغهٔ آب نیز ضرایب انباشت همچنان افزایش می‌یابد.

همچنین شکل و جدول‌های فوق الذکر نشان می‌دهند که پراکندگی همدوس باعث افزایش ضرایب انباشت می‌شود. این تأثیر در انرژی‌های زیر ۱ MeV بیشتر و در انرژی‌های بالاتر کم است. علت افزایش ضرایب انباشت، افزایش پراکندگی‌ها در اثر اضافه شدن سهم پراکندگی همدوس و از طرفی کاهش پرتوهای بدون برخورد در اثر افزایش ضریب تضعیف می‌باشد. به‌این ترتیب کسر ضریب انباشت با افزایش صورت و کاهش مخرج کسر نسبت به ضریب انباشت پرتودهی بدون تأثیر پراکندگی همدوس افزایش می‌یابد.

- در انرژی ۶ MeV و بالاتر پراکندگی همدوس بر ضرایب انباشت، تقریباً بی‌تأثیر است.
- افزایش ضریب انباشت در انرژی ۳ MeV و فاصلهٔ ۱۰mfp

Archive of SID

www.SID.ir

برای تیغهٔ دولایهٔ آب- سرب ۳/۶٪ و تیغهٔ دولایهٔ سرب- آب ۳/۹٪ بوده و دیده شد پراکندگی همدوس بر تیغه mfp ۵ آب تقریباً بی‌تأثیر است(شکل۲- الف).

- افزایش ضریب انباشت انرژی MeV ۱ و فاصله mfp۱۰ برای تیغهٔ دو لایهٔ آب- سرب ۱۹/۸٪ و تیغهٔ دولایهٔ سرب- آب ۱۹/۵٪ می‌باشد(شکل۲- ب).
- افزایش ضریب انباشت در انرژیMeV ۰/۵ و مسافت mfp۱۰ برای تیغهٔ دو لایهٔ آب- سرب (mfp ۵ آب و mfp۵ سرب) ۳۹/۴٪، در تیغهٔ دو لایهٔ سرب- آب (mfp ۵ سرب و mfp ۵ آب) ۳۵/۴٪ می‌باشد(شکل۲- ج).
- افزایش ضریب انباشت در انرژی MeV ۰/۲ و مسافت mfp۱۰ برای تیغهٔ دو لایهٔ آب- سرب ۳۸/۴٪، تیغهٔ دولایهٔ سرب- آب ۳۱/۹٪ می‌باشد(شکل۲- د).
- افزایش ضریب انباشت در انرژی MeV ۰/۱ و فاصله mfp۱۰ برای تیغهٔ دولایهٔ آب- سرب ۲۰/۲٪ و تیغهٔ دولایهٔ سرب- آب ۱۸/۳٪ می‌باشد (شکل۲- ه).

همان‌طور که دیده می‌شود در اثر پراکندگی همدوس ضریب انباشت در همهٔ انرژی‌ها افزایش می‌یابد و اثر آن در هردو لایه به‌ویژه در انرژی‌های پایین و مقادیر بزرگتر پویش آزاد میانگین، بیشتر است. به‌عبارت دیگر با کاهش انرژی پرتوهای گاما، اختلاف نسبی ضریب انباشت افزایش می‌یابد، ولی در انرژی‌های MeV ۰/۱ و۰/۲ در سرب، تابش‌های فلورسانس نقش پراکندگی همدوس را کمرنگ می‌کند و ضرایب به نسبت کمتری افزایش می‌یابند. تابش فلورسانس در انرژی‌های بالاتر از keV ۸۸ خود را نشان می‌دهد، ولی در انرژی‌های بالای MeV ۰/۲ اثر پراکندگی همدوس غالبتر است. در انرژی‌های زیر MeV ۰/۲ در سرب اثر تابش فلورسانس خود را بیشتر نشان می‌دهد.

به علاوه، اثر پراکندگی‌های همدوس روی ضریب انباشت در ترکیب سرب-آب، در همان فواصل اولیه آشکارساز از چشمه خود را به خوبی نشان می‌دهد؛ در حالی که در ترکیب آب- سرب اثر پراکندگی‌های همدوس در تیغهٔ آب کمتر محسوس است و این به دلیل بزرگتر بودن سطح مقطع پراکندگی همدوس در سرب نسبت به آب در انرژی‌های مورد بحث می‌باشد.

با توجه به سازگاری خوب ضرایب انباشت محاسباتی به کمک کد محاسباتی MCNP با مراجع، بدون تأثیر پراکندگی همدوس، نتایج به دست آمده با تأثیر پراکندگی همدوس، دقت بیشتری نسبت به مراجع ذکر شده در مقدمه برای هندسهٔ مورد نظر دارند و می‌توان این ضرایب را در محاسبات حفاظهای تیغه‌ای با چشمه صفحه‌ای به‌کار برد.

مراجع

1. H Cember," *Introduction to health Physics*", Pergamun press (1988) 299.
2. U Harima. *Radiat. Phys. Chem*. **41** (4/5) (1993) 631.

۳. مجتبی مکاری‌بهبهان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان. (۱۳۸۷).

4. A B Chilton, J K Shultis, and R Faw, "*Principle of radiation shielding*". Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1984).
5. M F Tsiakalos, S Stathakis, G Plataniotis, C Kappas, and K Theodorou, *Radiother. Oncol*. **79** (2006) 131.
6. Sh H Jiang, *Nucl. Sci. Eng.*, **75**(1980)16.
7. Y Harima, *Nucl. Sci. Eng.*, **113** (1993) 367.
8. H Hirayama, and A Shimizu, *J. Nuclei .Sci. Technol*. **32**, 12 (1995) 1201.
9. K Takeuchi, *Japan Atomic Energy Research Institute,* **87** (1984) 478.
10. H Goldstein, J E Wilkings, "*Calculations of the penetration of gamma rays*", Nuclear Development Associates, NYO-3057 (1954).
11. M H Alamatsaz, and A Shirani, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran,* **13 (**3) (2002) 271.

۱۲. احمد شیرانی، محمدحسن علامت‌ساز، مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، **۳**، ۱، زمستان (۱۳۸۰).

13. K Trontl, T Šmuc, and D Pevec, *Annals of Nuclear Energy*, **34** (12), December (2007) 939.
14. K Shin, and H Hirayama**,** *Radiation Physics and Chemistry*, **61** (3-6) June (2001) 583.

۱۵. ع. عابدی کوپایی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه قم، (۱۳۸۶).

16. S Tanaka, and K Takeuchi, *Nucl. Sci. Eng*. **93** (1986) 376.

Archive of SID

www.SID.ir