

محاسبات حفاظ بیولوژیکی برای تابشهای گاما و نوترون حاصل از دستگاه پلاسمای کانونی ۹۰ کیلوژول

فرشید طبخ*^۱

۱. پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی، تهران-ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴

مکیده

دستگاه های پلاسمای کانونی به عنوان چشمه های پالسی نوترون و گاما (و ایکس) نیازمند حفاظ بیولوژیکی هستند که به طور همزمان قادر باشد محیط و کارکنان را در برابر تمامی این تابشها محافظت نماید. در این مقاله قصد بر آن است تا با استفاده از ترکیبات پلیمری برای یک دستگاه پلاسمای کانونی با انرژی ۹۰ کیلوژول حفاظ بیولوژیکی طراحی شود تا دز جذبی در بافت نرم را تا میزان زمینه کاهش دهد و پارامترهای بحرانی در این حیطة از تحقیقات را مورد بحث قرار دهد. لذا به منظور حصول اطمینان از نتایج محاسبات مرتبط با این تحقیق با بهره مندی از دو کد مونت کارلو، MCNPX و GEANT4 انجام گردیده است. ترکیب پلیمری مورد بحث حاوی درصد های متفاوت بور-۱۰ (10B) که با پلیمر بدون بور مقایسه شده و در ضمن دو چگالی مختلف برای این ترکیبات در نظر گرفته شده است. قدرت چشمه بر اساس مقادیر تجربی اندازه گیری شده از دستگاه "دنا" در نظر گرفته شده است که برابر ۱۰۸ نوترون در هر پالس بوده که منجر به دزی در حدود $100 \frac{\mu Sv}{h}$ در فاصله ۳ متری از دستگاه می شود. نتایج کاهش دز پس از حفاظ گذاری بر اساس میزان دز جذبی در بافت نرم که مشابه ترکیبات بدن انسان صورت گرفته است. گاماهاى ثانویه ناشی از جذب تابشی نوترون در محاسبات مورد بررسی دقیق قرار گرفته تا خطرات تابش به حد اقل برسد. کد GEANT4 در این تحقیق هم به منظور مقایسه با MCNPX به کار گرفته شده است و هم ما را قادر خواهد کرد از میزان و نوع اندرکنش های نوترون که منجر به تولید تابشهای ثانویه می شود به طور کمی و کیفی آگاهی بیابیم. محاسبات به گونه ای بوده تا نتایج به دست آمده دز را تا دز زمینه که معادل $0.1 \frac{\mu Sv}{h}$ است کاهش دهد. محاسبات دز با دو روش تحلیلی محاسبه شده است، استفاده از انرژی های انباشته شده نوترون و گاما در بافت نرم و تبدیل آن به دز و همچنین روش استفاده از ضرایب تبدیل شار-به-دز استاندارد ANSI/ANS جهت مقایسه و افزایش اعتبار نتایج.

واژه های کلیدی: حفاظ پلیمری نوترون های گداخت، ترکیبات پلیمری بور دار، عوامل بحرانی حفاظ، کدهای مونت کارلو، MCNPX, GEANT4

۱- مقدمه

(*ray*) شناخته می شوند. این دستگاه ها از یک منبع گاز دوتریوم که به شکل دو استوانه هم محور به عنوان کاتد و آند تشکیل شده و منبع ولتاژ خازنی با تولید ولتاژ مناسب شروع واکنش گداخت (دوتریوم-دوتریوم)

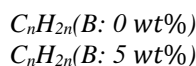
به طور عمومی، دستگاه های پلاسمای کانونی تنها رآکتور های قابل کنترل واکنش گداخت (در حال حاضر) هستند و به عنوان منبع تولید یا چشمه های تولید یون، پروتون، نوترون و ایکس سخت (*hard X*)

دو کد مونته کارلو؛ *GEANT4* (Geant4 collaboration, 2003) و *MCNPX* (Hughes et al. 2003 & Allison et al. 2006) (Waters, 2003 & al. 2002) استفاده گردید. این دو کد به عنوان ابزارهای محاسبات ایمنی هسته ای به طور گسترده در طراحی و محاسبات حفاظ های بیولوژیک مورد استفاده قرار می گیرند (Oseiet al. 2012 & Amoto, 2009). از دیدگاه ایمنی هسته ای، انطباق نتایج کد ها می تواند به عنوان یک آزمایش مجازی موفق قبل از ساخت و نصب حفاظ در نظر گرفته شود. در بخش بعد، ترکیبات پیشنهادی و تنظیمات کدهای مورد استفاده قرار گرفته است. پس از آن، کاهش نوترون ها، اتولید گاماها، میزان دزهای مربوط به آنها و میزان کل دزهای جذبی در بافت نرم، محاسبه و مورد بحث قرار گرفته است.

۲. مواد و روش ها

جذب تابشی (*Radiative capture*) مهمترین اثر در فرایند حذف نوترون ها است. به عنوان مثال جذب نوترون های حرارتی در هیدروژن ممکن است به تولید گاماها با انرژی $2/2 \text{ MeV}$ منجر شود. محدوده انرژی گاماها از 3 MeV تا حداکثر 10 MeV ممکن است در حفاظ نوترونی تغییر کند (Kenneth and Faw, 1999) که از دیدگاه فیزیک بهداشت و ایمنی پرتوی بسیار حائز اهمیت است.

در مطالعه حاضر، محاسبات برای پلیمری حاوی بور طبیعی ($B-CnH_{2n}$) به عنوان حفاظ نوترونی انجام شده است و نتایج با پلیمر بدون عنصر بور مقایسه شده است. دلیل استفاده از بور طبیعی به جای بور- 10 به عنوان جاذب نوترون مناسب، هزینه بالاتر تهیه بور غنی شده است. جدول ۱، عناصر در ترکیبات پیشنهادی بر حسب کسر جرمی آنها ارائه شده اند که با اسامی زیر نامیده شده اند:



و

$C_nH_{2n}(B: 10 \text{ wt}\%)$
همچنین ترکیبات فوق با دو چگالی $3 \frac{gr}{cm^3}$ (به عنوان چگالی کم) و $8 \frac{gr}{cm^3}$ (به عنوان چگالی زیاد) مورد بررسی قرار گرفتند.

را ممکن می سازد (Jednorog, et al, 2014). بر اساس آهنگ تخلیه ولتاژ (*discharge*) و برای مقادیر متنوع عمل تخلیه الکتریکی، دز نوترونها و همینطور فوتونهای ایکس و گاما می تولد برای کارکنان بسیار خطرناک باشد. در آزمایشگاه محل قرارگیری "دنا" اتاق های کارکنان و دانشجویان باید از این تابشهای یون ساز محافظت شود. "دنا" با قدرت ۹۰ کیلو ژول و ولتاژ ۲۵ کیلوولت (Talaei, et al. 2008- Goudarziet al. 2014) میزان 10^8 نوترون حاصل از همجوشی یا گداخت دوترون-دوترون در هر پالس تولید می نماید که اگرچه گسیل نوترون به شکل ایزوتروپیک (همسانگرد) نیست و بیشتر در راستای محور عمودی گسیل می شوند (Goudarziet al. 2014) ولی مقادیر دز سنجی در راستای افقی (راستایی که کارکنان و اتاقها قرار دارند) نشان دهنده اهمیت این محاسبات است. در فاصله سه متری از این دستگاه $0.03 \mu Sv$ در هر پالس تولید می شود که در صورت تکرار عمل تخلیه الکتریکی به طور مداوم (ثانیه ای یک پالس)، معادل $100 \frac{\mu Sv}{h}$ که هزار برابر دز مجاز $0.1 \frac{\mu Sv}{h}$ است به محیط منتشر خواهد شد (Goudarziet al. 2014).

تاکید می شود که در محاسبات ارائه شده در ادامه، اشعه ایکس منتشر شده از *DENA* با حداکثر انرژی keV ۲۵۰ توسط حفاظ پیشنهاد شده متوقف خواهد شد زیرا ترکیب مورد بحث گاماها، ثانویه پر انرژی تر را نیز که حاصل گیراندازی نوترون در هیدروژن است را جابجایی حذف نماید. تمرکز مطالب در این مقاله بر عواملی است که جنبه های بحرانی ناشی از اندرکنشهای نوترون را بیشتر نمایان کند، مانند کمیت و کیفیت گاماها، ثانویه ناشی از جذب در هیدروژن و بور.

از آنجا که مواد پلیمری، بهترین کاندیدهای نوترون در طراحی حفاظ - (Atxaga et al. 2012) - *Xiang et al.* (2016) هستند، در این مقاله هدف بررسی ضخامت بهینه ترکیبات پلیمری برای حذف نوترون های گداخت ($2/45 \text{ MeV}$) و کاهش میزان کل دز جذبی تا میزان مجاز است. برای این منظور پلیمر حاوی عنصر بور ($CnH_{2n}-B$) با درصدهای وزنی ۵ و ۱۰ و برای دو چگالی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

با توجه به ماهیت آماری واکنش های هسته ای و برای افزایش ضریب اطمینان در محاسبات و طراحی، از

جدول ۱- کسر وزنی عناصر در سه ترکیب پلیمری با بور صفر، ۵٪ و ۱۰٪

نام عنصر	$C_nH_{2n}(B: 0 \text{ wt}\%)$	$C_nH_{2n}(B: 5 \text{ wt}\%)$	$C_nH_{2n}(B: 10 \text{ wt}\%)$
Carbon	85.71	81.429	77.143
Hydrogen	14.29	13.571	12.857
Natural Boron	0.0	5.0	10.0

همانطور که اشاره شد، علیرغم تولید غیرهمسانگرد نوترون (*non-isotropically*) از دستگاه های *DPF*، به دلیل افزایش ضریب ایمنی برای کارکنان و اپراتورها، میزان نهایی دُز بر اساس انتشار ایزوتروپیک نوترون ها (احتمال یکسان گسیل ذره در تمام جهات فضایی) محاسبه گردید. تولید نوترون از سیستم *DENA* برابر با 10^8 نوترون در هر تخلیه محاسبه شده است (Talaei, et al. 2008- Goudarzi et al. 2014). این محاسبات برای مکانی با فاصله ۳ متر از دستگاه *DPF* انجام شد. انتشار ایزوتروپیک نوترون روی سطح کروی با شعاع ۳ متر، شاری معادل $88/5 \frac{\text{neutron}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s}}$ نوترون تولید می کند. همانطور که قبلاً ذکر شد، میزان دُز معادل نوترون های گداخت، در بافت نرم هنگامی که هیچ محافظی وجود ندارد در فاصله در حدود ۳ متر معادل $0/3 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{shut}}$ محاسبه می شود (فاکتور وزنی ۱۰ برای میزان دُز معادل نوترون سریع در نظر گرفته شده است Kenneth and Faw (1999)). در جدول ۲، درصد وزنی عناصر بافت نرم نشان داده شده است (Cember, 1983).

جدول ۲- درصد وزنی عناصر بافت نرم (Kenneth and Faw, 1999)

نام عنصر	درصد وزنی
Carbon	14.89
Hydrogen	10.0
Oxygen	71.39
Nitrogen	3.47
Sodium	0.25

در کنار تضعیف باریکه نوترون توسط حفاظ، جذب تابشی و تولید گامای ثانویه از مهمترین پارامترها در طراحی حفاظ نوترون است. از این رو، کاهش میزان دُز

برای نوترون ها و اشعه گاما بر حسب ضخامت و چگالی ترکیب های معرفی شده در قبل در بخش ۳ مورد بررسی قرار می گیرد.

هدفه شکل صفحه ای با سطح 10 cm در 10 cm ساخته شده که توسط نوترونهای $2/45 \text{ MeV}$ بمباران می شود. سپس شار سطح فوتون (ناشی از جذب تابشی) و نوترون و انرژی منتقل شده به بافت نرم (که پشت حفاظ قرار دارد) اندازه گیری شده است.

هر دو کد مونته کارلو برای ترونهای $2/45 \text{ MeV}$ (از واکنش *D-D* در دستگاه *DPF*) تنظیم شده اند. مواد مورد استفاده در محاسبات قبلاً در جداول ۱ و ۲ به ترتیب برای ترکیبات پیشنهادی و بافت نرم ارائه گردیده است. نتایج خروجی بر اساس شار سطح نوترون و فوتون و انباشت انرژی در بافت نرم با شکل هندسی مکعب مستطیل (10 سانتی متر \times 10 سانتی متر \times 1 سانتی متر) و چگالی $1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$. شبیه سازی ها بر اساس سطوح مقطع برهمکنشهای نوترون از *ENDF70* و *G4ENDL4.5* به ترتیب برای *MCNPX* و *GEANT4* و برهمکنشهای گاما از *MCPLIB04* و *EMLOW6.48* استفاده شده است.

به عنوان مرحله نهایی در محاسبات، میزان کل دُز، از دو روش به دست آمده است؛ محاسبه انباشت انرژی حاصل از نوترون و گاما در بافت نرم بر حسب $\frac{\text{MeV}}{\text{gr}\cdot\text{s}}$ و تبدیل به $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ و همچنین با استفاده از ضرایب شار-به-دُز که از استاندارد ANSI/ANS نتیجه شده است (American Nuclear Society-1977).

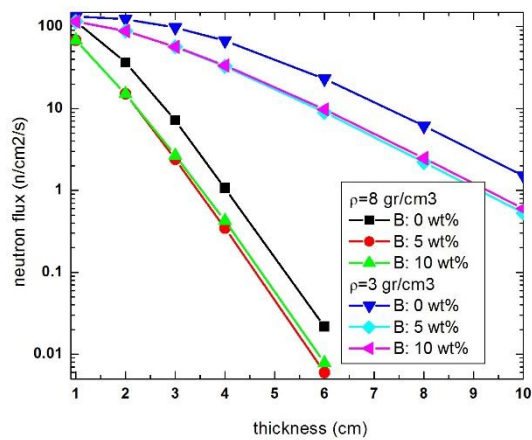
در این مقاله، برای جلوگیری از ازدیاد شکالها، در این مقاله تنها اشکال نشان دهنده نتایج *MCNPX* ارائه شده است و *GEANT4* به عنوان ابزار کمکی و برای تحلیل جزء به جزء برهمکنشهای ناکشسان و جذب استفاده شده زیرا خروجی آن کلیه ی برهمکنشها را به شکلی کاربردی تر از *MCNPX* ارائه می دهد. در ضمن شکلهای به دست آمده از *GEANT4* به طور قابل قبولی با *MCNPX* منطبق بوده اند.

۳. نتایج بحث

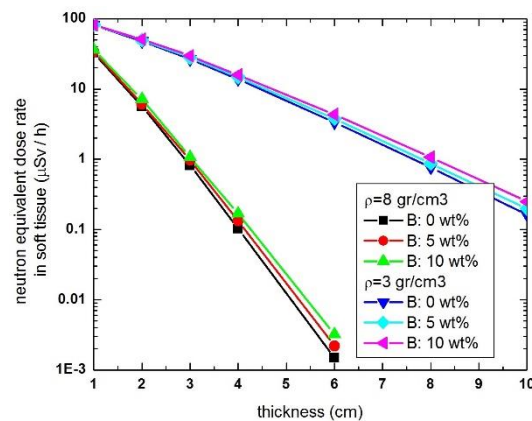
ترکیب پلیمریکه قبلاً معرفی شده (بور دار و بدون بور در جدول ۱) با دو چگالی $3 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ (به عنوان چگالی کم) و $8 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ (به عنوان چگالی زیاد) برای کاهش فوتونها و نوترونها ارزیابی شدند. شکل ۱، شار نوترون را

که گفته شد کاهش جذب نوترون ها در هیدروژن و افزایش آنها در بور است (خروجی GEANT4).

شکل ۴، میزان دُز جذبی تولید شده از اشعه گامای های ثانویه را در بافت نرم نشان می دهد که بر حسب ضخامت محاسبه شده است. نکته قابل ذکر و بسیار حائز اهمیتی در این شکل مشاهده می شود و آن این است که تاثیر حضور بور در این قسمت از مطالعات بسیار چشمگیر بوده و صرف نظر از درصد آن در پلیمر، کاهش زیادی در میزان دُز در پشت حفاظ را نتیجه می دهد (بیش از ۵۰٪ کاهش).



شکل ۱- شار نوترون روی سطح حفاظ بر حسب ضخامت

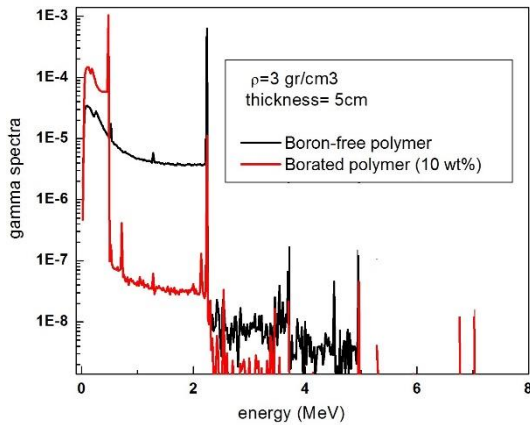


شکل ۲- آهنگ دُز جذبی نوترون بافت نرم بر حسب ضخامت حفاظ

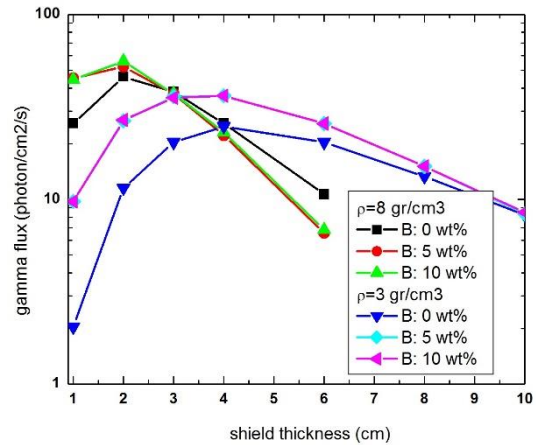
بر روی سطح حفاظ بر حسب ضخامت پلیمر نشان می دهد. کاهش شدیدتر شار نوترونی توسط ترکیبات چگال تر (سه رنگ سیاه، سبز و قرمز) به روشنی اهمیت عامل چگالی را در ساخت حفاظ نوترون نشان می دهد. عامل دوم در حذف نوترون ها حضور عنصر بور است که در این شکل دیده می شود. دو ترکیب حاوی بور (خطوط قرمز، سبز برای چگالی زیاد، بنفش و آبی برای چگالی کم) صرف نظر از مقدار چگالی، توان ایستاندگی مشابهی را برای نوترون ها به دست می دهد که نتیجه گرفته می شود تفاوت چشمگیری بین مقادیر ۵٪ و ۱۰٪ بور نیست و چگالی پارامتری موثرتر برای کاهش نوترونها است.

شکل ۲، دُز معادل نوترون در بافت نرم برای ترکیبات پیشنهادی و بر حسب تغییر ضخامت را نشان می دهد که بر اساس روش اول محاسبه شده (رجوع شود به بخش ۲). اثر چگالی در کاهش میزان دُز کاملاً مشهود است در حالی که تفاوت قابل ملاحظه ای بین میزان بور دیده نمی شود. هر چند با افزایش بور بیش از ۱۰٪ تغییر نمایان خواهد شد که جنبه اقتصادی ساخت حفاظ نوترون را نیز در این صورت باید در نظر گرفت.

در منحنی های دو شکل ۳ و ۴، گاماها تولید شده (گامای ثانویه ناشی از جذب نوترون در هیدروژن و گیراندازی در بور) بررسی شده اند. شکل ۳، تغییرات تولید گاما در ترکیبات را با توجه به ضخامت حفاظ نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده است، تولید فوتون با افزایش ضخامت افزایش مییابد تا محدوده بحرانی که به حد اکثر می رسد و سپس رو به کاهش می نهد. در این قسمت از محاسبات به اهمیت بور پی خواهیم برد زیرا با افزایش بور کاهش جذب نوترون در هیدروژن را خواهیم داشت که گاماها با انرژی بالا تر از جذب تابشی ساعت می کند. اهمیت چگالی نیز قابل مشاهده است و همانطور که دیده می شود ضخامتهای بحرانی (حداکثر مقادیر تولید گاما) ۲ cm و ۴ cm به ترتیب برای چگالی بیشتر و کمتر به دست آمده است. این شکل نشان می دهد که شار تولید پرتوهای گامای ثانویه در پلیمرهای حاوی بور (خطوط قرمز و سبز مربوط به پلیمرهای چگالی بالا و خطوط بنفش و آبی باری پلیمرهای کم چگالی) سریعتر از حلالیت بدون بور افت می یابد (خطوط سیاه و آبی رنگ) که دلیل آن همانطور



شکل ۶- طیف گاماهاى ثانویه در بافت نرم (پشت حفاظ) برای دو ترکیب بور دار و بدون بور و چگالی $\frac{3}{cm^3} gr$

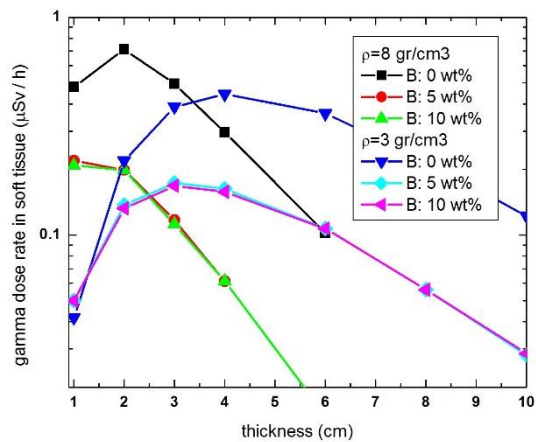


شکل ۳- شار گاما های ثانویه روی سطح حفاظ بر حسب ضخامت

شکل ۵ نتایج کد *MCNPX* را برای طیف های اشعه گاما در دو پلیمر ۱۰٪ بور و بدون بور با چگالی بالا نشان میدهد که به "یک" نرمالایز شده است. این شکل به وضوح نشان میدهد که گاماهاى پر انرژی درون پلیمر بوردار شمارش بیشتر داشته (10^{-4} شمارش) ولی تنها در محدوده کمتر از $0.5 MeV$ هستند (طیف قرمز) در حالی که در حفاظ بدون بور این شمارش هر چند کمتر بوده (10^{-5} شمارش) ولی انرژی بیشتری دارند که تا $2 MeV$ میرسد (طیف سیاه). لذا کمیت بحرانی دیگری را معرفی می کنیم که در ساخت حفاظ نوترون به چشم می خورد و آن فوتونهای گامای حاصل از جذب نوترون در اتم هیدروژن است. اتم هیدروژن برای کند کردن نوترون ها حیاتی است ولی خود موجب تولید گامای $2 MeV$ می شود. شکل ۶ نیز همین مطالعه را برای پلیمر با چگالی کمتر تکرار کرده و نتیجه همان اهمیت وجود بور برای کاهش گاماهاى پر انرژی $2 MeV$ است.

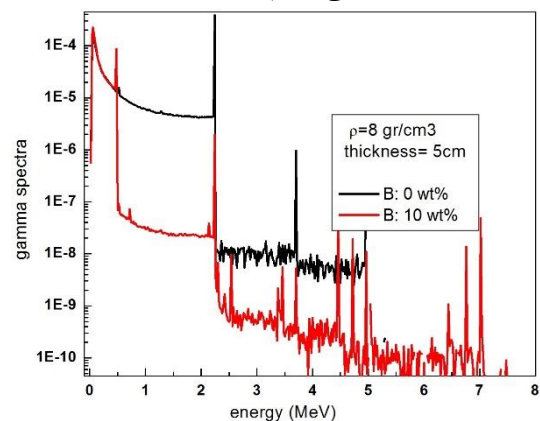
اطلاعات خروجی *GEANT4* و شمارش تعداد گاماهاى $2 MeV$ نشا می دهد که انطباق خوبی بین هر دو کد وجود دارد هر چند توابع کتابخانه ای متفاوتی را مورد استفاده قرار داده اند (رجوع به بخش ۲).

حاصل این مباحث این است که ترکیب پلیمری متراکم تر با بور کمتر برای سفارش ساخت حفاظ نوترون-گاما پیشنهاد گردد زیرا از یک طرف تاثیر چگالی بر کاهش نوترون ها دیده شد و از سوی دیگر دیده شد میزان بور صرف نظر از کمیت آن در کاهش گاماهاى پر انرژی تر تاثیر به سزا می گذارد. شکل ۷، کاهش دز کل بر حسب ضخامت که از روش انباشت



شکل ۴- آهنگ دز جذبی گاما بافت نرم بر حسب ضخامت حفاظ

اینجا به مسئله مهم و نقیضه ای برخورد می کنیم که با مقایسه دو شکل ۳ و ۴ به وجود می آید. در شکل ۳، شار گاماهاى حفاظ بدون بور کمتر از دو ترکیب دیگر است (منحنی های سیاه و آبی) در حالی که در شکل ۴، دز گامای بیشتری را تولید می کنند (منحنی های سیاه و آبی). برای رفع این نقیضه و تحلیل این مطلب به شکل های ۵ و ۶ مراجعه می کنیم.



شکل ۵- طیف گاماهاى ثانویه در بافت نرم (پشت حفاظ) برای دو ترکیب بور دار و بدون بور و چگالی $\frac{8}{cm^3} gr$

بافت نرم و روش تبدیل شار-به-دُز $ANSI / ANSI$ به دست آمد. همچنین اهمیت تراکم در مقایسه با درصد بور برای حذف نوترون ها و تاثیر آن بر میزان و نوع گاماهاى ثانویه مورد تحلیل قرار گرفت و سرانجام مشخص شد که ۵ سانتیمتر از حفاظ پلیمری با ۱۰٪ وزنیو چگالی $\frac{gr}{cm^3}$ ۸ قادر خواهد بود میزان دُز نهایی را تا سطح زمینه کاهش دهد.

مراجع

Jednorog S, Szydowski A, Bienkowska B and Prokopowicz R, *The application of selected radionuclides for monitoring of the D-D reactions produced by dense plasma-focus device*, J. Radioanal. Nucl. Chem., 301, 2014, 23-31

Talaei A, Sadat Kiai S M and Adlparvar S, *Pinched plasma study in Filippov-type plasma focus "Dena"*, 2008, IEEE Transactions on Plasma science, Vol. 36, No. 3, 794-801.

Goudarzi S, Hoseinian S M and Raeisdana A, *IOP Journal of Physics: Conference Series 516* (2014) 012031.

Atxaga A et al. 2012 *Radiation Shielding of Composite Space Enclosures Proc. Of 63th International Astronautical Congr. (Italy: Naples/ORB)* pp 1-10

Odano N, Konnai A and Asami M 2014 *Development of High-performance Gel-type Radiation Shielding Material Using Polymer Resin Progress in Nuclear Science and Technology 4* pp 639-642.

Hu H 2011 *Composite Material for Shielding Mixed Radiation, Advances in Composite Materials for Medicine and Nanotechnology ed Brahim Attaf (Shanghai: InTech ISBN: 978-953-307-235-7)* pp 565-592

Haruvy Y 1990 *Radiation Durability and Functional Reliability of Polymeric Materials in Space Systems Int. Ju. Of Radiation Applications and Instrumentation (Part C)35* pp 204-212

Xiang-long Li, Dao-wen Cheng and Lin-mao Liu, *Neutron radiation dose calculations from composite neutron shield of the on-line coal analyzer*, J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol. 308, Issue 2, 2016, 425-430

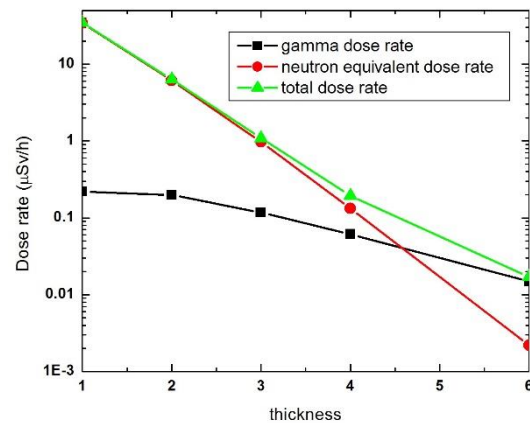
Geant4 Collaboration 2003 *Geant4-a Simulation Toolkit Nucl. Instr. Meth. A 506 (3)* pp 250-303

Allison J et al. 2006 *Geant4 Developments and Application IEEE Trans. Nucl. Sci. 53 (1)* pp 270-278

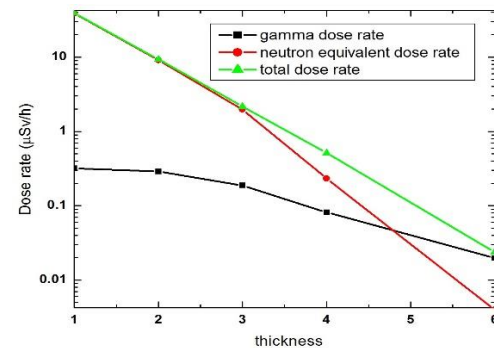
H G Hughes et al, *Monte Carlo N-particle code system for multiparticle and high energy application (Los Alamos National Laboratory, New Mexico, 2002)*

Waters L S 2003 *MCNPX user's manual*

انرژی محاسبه شده (قبلا شرح داده شده) را نشان می دهد. میزان دُز برآیند نوترون و گاما در ضخامت cm ۴/۵ به محدوده $\frac{\mu Sv}{h}$ ۰/۱ در بافت نرم میرسد و در شکل ۸، روش دوم که براساس ضرایب تبدیل شار-به-دُز می باشد $(ANSI / ANSI)$ نیز نشان می دهد در ضخامت cm ۵ به محدوده $\frac{\mu Sv}{h}$ ۰/۱ در بافت نرم می رسیم. این در حالی است که در صورت استفاده از ترکیب با چگالی کمتر نیاز به بیش از cm ۲۰ از ماده مورد نظر خواهیم داشت.



شکل ۷- دُز کل در بافت نرم از روش محاسبه انباشت انرژی نوترون و گاما



شکل ۸- دُز کل در بافت نرم با استفاده از ضرایب شار-به-دُز

۴. نتیجه گیری

تضعیف نوترون MeV ۲/۴۵ انتشار یافته از دستگاه پلاسمای کانونی DENA و همچنین تولید گامای ثانویه در این مقاله از نظر کمی و کیفی مورد بحث قرار گرفت. کد مونت کارلو MCNPX مورد استفاده قرار گرفت و همچنین GEANT4 برای تجزیه و تحلیل تکمیلی و تحقیق تعامل بین دو کد نیز استفاده شد. میزان دوز محاسبه شده در بافت نرم با استفاده از دو روش، روش محاسبه انرژی انباشته شده نوترون و گاما در

250

Kenneth Shultis J and Faw R E, 1999, Radiation Shielding, American Nuclear Society, La Grange Park, IL, ISBN 0-89448-456-7

Cember H, 1983, Introduction to Health Physics, first ed., Pergamen Press.

ANSI/ANS-6.1.1-1977 (N666), American Nuclear Society, LaGrange

Park, Illinois (1977).

version 2.4.0

Osei-Mensah W, Fletcher J J and Danso K A 2012 Assessment of Radiation Shielding Properties of Polyester Steel Composite Using MCNP5 Int. J. of Sci. and Tech. 2 (7) pp 455-461

Amato E and Lizio D 2009 Plastic Materials as a Radiation Shield for BetaSources: a Comparative Study Through Monte Carlo Calculation Journal of Radiol. Port. 29 pp 239-

Biological Shield Design for Gamma and Neutron from 90 kJ Dense Plasma Focus

F. Tabakh*¹

nuclear science and technology research institute, Tehran, Iran

Received: 04 - 07 - 2020

Accepted: 13 - 01 - 2021

Abstract

For shielding properties improvement, different percentages of borated compound for two low and high densities were analyzed and the dose-rate in soft tissue has been calculated to decrease the risk for the operators and nearby peoples. The calculations have been performed by means of GEANT4 and MCNPX Monte Carlo codes for two different densities and two different percentages of 10B and compared to boron-free compound. The parameters such as density, 10B weight fractions, radiative captures and secondary gamma-ray generation have been analyzed to determine the critical items in these kinds of problems. The secondary gamma-ray from neutron radiative capture as an important side effect in neutron shielding design have been included and discussed in this study utilizing the Geant4 outputs for detail information. The GEANT4 results also were used as evaluation and confirmation of MCNP results. The dose rate of $100 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ at 3 m distance from DENA come from experimental value of neutron yield of 108 neutron per pulse which is much higher than back ground value. The calculations were performed to investigate the optimized compound and thickness to reduce the equivalent dose rate in tissue to the permitted level, $0.1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$. The dose-rate calculations were obtained by two methods for confirmation as well, the deposited energies of neutron and gamma in soft tissue and transferring them to dose values and also, using the flux-to-dose conversion coefficients from ANSI/ANS standards.

Keywords: Fusion neutron shielding, polymeric boronated compounds, shield critical items, Monte Carlo codes, MCNPX, GEANT4

* Corresponding Author E-mail: ftabbakh@aeoi.org.ir