

بهینه سازی خواص حفاظتی کامپوزیت PE-(B/Ti/W/Pb) در برابر تابش چشمه نوترونی با بهره گیری از روش طراحی آزمایش سطح پاسخ

زهرا سلطانی^{۱*} - اسکندر اسدی امیرآبادی^۲ - غلامرضا اطاعتی^۱ - امیرمحمد بیگزاده^۱

۱- دانشگاه صنعتی امیر کبیر - دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک

۲- دانشگاه پیام نور، واحد تهران مرکز - دانشکده علوم پایه - گروه فیزیک

چکیده

حفاظ سازی چشمه های نوترون با توجه به قدرت چشمه و نوع کاربرد آن متفاوت بوده و هنوز از موضوعات مورد تحقیق در دنیا می باشد. طراحی حفاظ وابسته به نوع و قدرت چشمه و نیز پارامترهای انتظاری از حفاظ، متفاوت است. در این پژوهش به منظور طراحی حفاظ پرتوهای نوترون حاصل از بمباران هدف تالیم با پروتونهای $MeV 28.5$ از روش طراحی آزمایش ۳۱ نوع حفاظ کامپوزیت پلیمری همراه با درصدهای مختلف از عناصر بور، تیتانیم، تنگستن و سرب طراحی و با استفاده از کد مونت کارلو دز مجموع نوترون و گاما به عنوان خروجی محاسبه شد. به کمک مدل‌های بدست آمده و تکنیک تصمیم گیری چند هدفه فازی درصد بهینه عناصر به میزان ۲۰٪ بور و ۱۸٫۱۸٪ تنگستن برآورد شد.

کلید واژه: حفاظ پرتوها، کامپوزیت، کد مونت کارلو، روش سطح پاسخ، بهینه سازی.

۱- مقدمه

حفاظ‌های کامپوزیت شامل یک کند کننده نوترون سریع و یک ماده جاذب نوترون گرمایی می‌باشند. از جمله مواد کندکننده می‌توان به آب، پارافین و دیگر مواد هیدروژن دار اشاره نمود. از مواد جاذب نوترون که سطح مقطع بالایی برای جذب نوترون گرمایی دارند، کادمیوم، بور و لیتیم را می‌توان نام برد. که در صورت ترکیب با پلیمرها علاوه بر کاهش دز نوترون گرمایی در بیرون حفاظ، احتمال اندرکنش‌هایی مانند $H(n,\gamma)D$ و تولید گاماهاى پرنرژى ثانویه $E_\gamma = 2223 keV$ را در داخل حفاظ کم می‌کنند. درصد ترکیب این حفاظ‌ها با توجه به نوع کاربرد آنها با هم فرق می‌کنند. اما اصلی که در همه حال صادق است داشتن کمترین دز در بیرون حفاظ با کمترین ابعاد می‌باشد [۱-۲].

برای تعیین متغیرهای اثرگذار در پاسخ می توان از تکنیک های مربوط به طراحی آزمایش و برای مرحله بهینه سازی می توان از مباحث روش شناسی رویه پاسخ RSM^۱ استفاده نمود [۳]. روش سطح پاسخ عمدتاً برای بهبود یک مشخصه کیفی به کار رفته است اما از آنجا که هر فرآیند و محصولی بیش از یک مشخصه کیفی دارند به عنوان مثال قابلیت تضعیف نوترون و گاما و استحکام مکانیکی بالا دو مشخصه کیفی (دو پاسخ) برای کامپوزیت محسوب می شود، بهینه یابی چند پاسخ در چارچوب RSM اهمیت ویژه ای دارد. در این پژوهش RSM جهت حداقل نمودن دز مجموع نوترون و گاما در خارج از حفاظ به کار رفته است.

مراحل بهینه یابی چند پاسخ در چارچوب RSM را می توان به صورت زیر خلاصه کرد [۳-۴]:

- ۱- تعریف دقیق مسئله
- ۲- مشخص نمودن مهمترین مشخصه های کیفی محصول مورد نظر
- ۳- مشخص نمودن متغیرهای تأثیر گذار و مشخص نمودن متغیرهای قابل کنترل از میان آنها
- ۴- انتخاب طرح آزمایشی مناسب، تعیین سطوح عوامل و جمع آوری اطلاعات در چارچوب آن
- ۵- بدست آوردن رویه های سطح پاسخ
- ۶- بهینه یابی مشخصه های کیفی از روش سطح پاسخ
- ۷- انجام آزمایش های تأییدی و تنظیم فرایند بر اساس جواب به دست آمده

۲- مواد و روش ها

۱-۲ تعیین متغیرهای پاسخ

برای تولید کامپوزیت PE-(B/Ti/W/Pb) ماتریس پلیمر، ماده تقویت کننده و سایر افزودنیها تحت فرآیند ساخت مشخصی با همدیگر ترکیب می شوند. محصول تولیدی دارای مشخصه هایی مانند خواص مکانیکی (استحکام کششی، مدول یانگ، استحکام ضربه و...)، خواص حرارتی، نفوذ پذیری، توان تضعیف نوترونی، هزینه و موارد دیگری است که متغیرهای پاسخ محسوب می شوند.

^۱ Response Surface Methodology

از میان متغیر های پاسخ شناسایی شده، متغیر پاسخ (توان تضعیف پرتو های نوترون در انرژی های مختلف) به دلیل اینکه به راحتی و با استفاده از کد شبیه سازی MCNPX به دست می آید انتخاب شد.

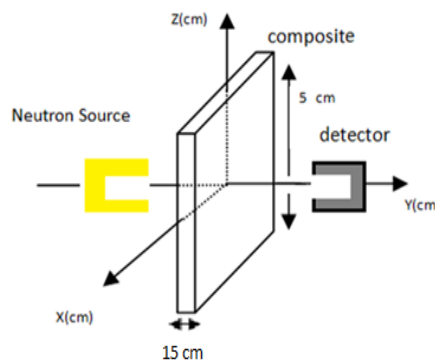
۲-۲ انتخاب عوامل تأثیر گذار و شناسایی فاکتورها

عمده ترین مسئله ای که در طراحی آزمایش ها با آن روبرو هستیم شناسایی عوامل (فاکتورها) برای اندازه گیری میباشد. در این تحقیق درصد بورون، تنگستن، تیتانیوم و سرب چهار عامل اثر گذار اولیه انتخاب شدند.

۲-۳ انتخاب طرح آزمایش

مرحله بعدی در انجام این فعالیت انتخاب طرحی است که بر اساس آن باید آزمایش انجام شود. در آزمایش های مبتنی بر چندین عامل که در آنها مطالعه اثر توام عوامل بر پاسخ ضروری است طرحهای عاملی به صورتی وسیع کاربرد دارند. لذا درصد بورون، تنگستن، تیتانیوم و سرب، به عنوان متغیر های قابل کنترل در ساخت کامپوزیت در نظر گرفته شد. و سطوح انتخابی آنها نیز از ۰ درصد تا ۲۰ درصد برای هر چهار ماده انتخاب شد. در ادامه توسط نرم افزار minitab تعداد ۳۱ آزمایش طراحی شد. برای به دست آوردن متغیر پاسخ که همان حداقل دز مجموع نوترون و گاما می باشد از برنامه MCNPX استفاده شد. به عنوان مثال در آزمایش شماره ۱ در کامپوزیت از ۱۵ درصد بور، ۱۵ درصد تنگستن، ۵ درصد تیتانیوم و ۱۵ درصد سرب در نظر گرفته شد.

به منظور شبیه سازی خصوصیات حفاظ سازی پلی اتیلن های بوردار، از هندسه ای مطابق شکل ۱ استفاده شد. جهت بررسی اثر حفاظ های طراحی شده، از پرتوهای نوترون حاصل از بمباران هدف تالیم با پروتون های MeV ۲۸٫۵ استفاده شده است. بیناب نرمالیزه شده به یک کل نوترون های حاصل از مس و تالیوم در جدول ۱ آورده شده است [۵]. شدت چشمه $10^{13} \times 22$ رآ هم چنین چشمه به صورت سطحی و یکسو شده با مساحت ۵۰ سانتیمتر مربع و در جهت منفی محور Yها تابش می کند. مساحت این چشمه به گونه ای می باشد که تمامی سطح حفاظ را پوشش می دهد ضخامت نیز در تمام آزمایش های طراحی شده ثابت و برابر با ۱۵ سانتی متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). دز مجموع نوترون و گاما در فاصله یک متری نسبت به چشمه محاسبه شد.





۲ و ۳ اسفند ماه ۱۳۹۱
دانشگاه فردوسی مشهد

نوردهمین کنفرانس
رابطه



Nuclear society of Iran
19 th Iranian's Nuclear Conference
20-21February , 2013
Ferdowsi University of Mashhad

19 th Iranian's Nuclear Conference

شکل ۱- هندسه مورد استفاده در شبیه سازی

جدول ۱- بیناب نوترونهاى حاصل از کل هدف تالیم و زیر لایه مسی که توسط پروتون های با انرژی MeV ۲۸٫۵ بمباران می شود [۵].

Neutron Energy (MeV)	Normalized Spectrum(1/MeV)	Neutron Energy (MeV)	Normalized Spectrum(1/MeV)	Neutron Energy (MeV)	Normalized Spectrum(1/MeV)
۰٫۲۵	۰٫۱۳۵۵	۷٫۷۵	۰٫۰۰۴۹	۱۴٫۷۵	۰٫۰۰۰۶
۰٫۷۵	۰٫۱۸۶۱	۸٫۲۵	۰٫۰۰۴۱	۱۵٫۲۵	۰٫۰۰۰۶
۱٫۲۵	۰٫۱۶۴۰	۸٫۷۵	۰٫۰۰۳۴	۱۵٫۷۵	۰٫۰۰۰۵
۱٫۷۵	۰٫۱۲۸۹	۹٫۲۵	۰٫۰۰۲۸	۱۶٫۲۵	۰٫۰۰۰۴
۲٫۲۵	۰٫۰۹۶۸	۹٫۷۵	۰٫۰۰۲۴	۱۶٫۷۵	۰٫۰۰۰۴
۲٫۷۵	۰٫۰۷۱۰	۱۰٫۲۵	۰٫۰۰۲۱	۱۷٫۲۵	۰٫۰۰۰۳
۳٫۲۵	۰٫۰۴۹۳	۱۰٫۷۵	۰٫۰۰۱۸	۱۷٫۷۵	۰٫۰۰۰۳
۳٫۷۵	۰٫۰۴۱۶	۱۱٫۲۵	۰٫۰۰۱۵	۱۸٫۲۵	۰٫۰۰۰۳
۴٫۲۵	۰٫۰۲۸۴	۱۱٫۷۵	۰٫۰۰۱۳	۱۸٫۷۵	۰٫۰۰۰۲
۴٫۷۵	۰٫۰۲۱۴	۱۲٫۲۵	۰٫۰۰۱۲	۱۹٫۲۵	۰٫۰۰۰۲
۵٫۲۵	۰٫۰۱۶۳	۱۲٫۷۵	۰٫۰۰۱۰	۱۹٫۷۵	۰٫۰۰۰۲
۵٫۷۵	۰٫۰۱۲۵	۱۳٫۲۵	۰٫۰۰۰۹	۲۰٫۲۵	۰٫۰۰۰۱
۶٫۲۵	۰٫۰۰۹۸	۱۳٫۷۵	۰٫۰۰۱۱	۲۰٫۷۵	۰٫۰۰۰۱
۶٫۷۵	۰٫۰۰۷۸	۱۴٫۲۵	۰٫۰۰۰۸	۲۱٫۲۵	۰٫۰۰۰۱

در ادامه برنامه McnpX را اجرا کرده و نتیجه در ستون Total Dose وارد شد (جدول ۲).

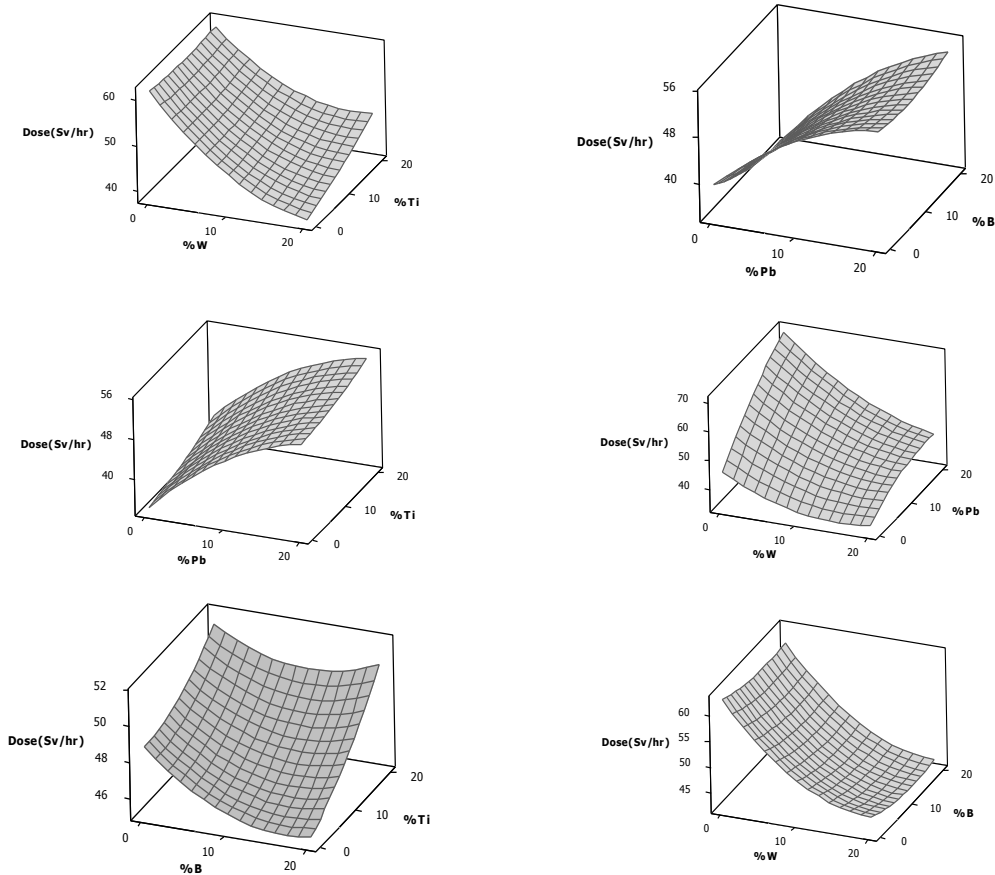
جدول ۲- آزمایش های طراحی شده

Run	Wt% W	Wt% Pb	Wt% B	Wt% Ti	Total Dose(μSv/hr)	Run	Wt % W	Wt % Pb	Wt % B	Wt % Ti	Total Dose(μSv/hr)
۱	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۴٫۴۴E+۰۷	۱۶	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۶۴E+۰۷
۲	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۴٫۵۳E+۰۷	۱۷	۰٫۱	۰	۰٫۱	۰٫۱	۳٫۳۸E+۰۷
۳	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۳٫۶۰E+۰۷	۱۸	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰	۴٫۶۶E+۰۷
۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۴٫۴۳E+۰۷	۱۹	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۴٫۴۲E+۰۷
۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۴٫۵۲E+۰۷	۲۰	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱	۰٫۱	۵٫۳۶E+۰۷
۶	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۵٫۸۰E+۰۷	۲۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۶۳E+۰۷
۷	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۴٫۰۵E+۰۷	۲۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱	۴٫۵۶E+۰۷
۸	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۳٫۶۵E+۰۷	۲۳	۰٫۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۱۲E+۰۷
۹	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۶۴E+۰۷	۲۴	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۵٫۶۰E+۰۷
۱۰	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۵٫۴۱E+۰۷	۲۵	۰٫۱	۰٫۱	۰	۰٫۱	۴٫۸۷E+۰۷
۱۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۲	۴٫۸۳E+۰۷	۲۶	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۶۲E+۰۷
۱۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۴۸E+۰۷	۲۷	۰	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۶٫۱۵E+۰۷
۱۳	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۵۲E+۰۷	۲۸	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۴٫۵۹E+۰۷
۱۴	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۴٫۶۶E+۰۷	۲۹	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۴٫۱۹E+۰۷
۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۴٫۶۳E+۰۷	۳۰	۰٫۰۵	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۵٫۴۷E+۰۷
						۳۱	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۴٫۶۳E+۰۷

۳- نتایج

۳-۱ طرح برازش مدل

دراکثر مسائلی مربوط به RSM از چند جمله‌ای‌ها و توابع خطی برای برازش مدل استفاده می‌شود. به دلیل این که منظور، بهینه‌سازی است و به دلیل این که مکان نقطه بهینه قبل از اجرای آزمایش نامعلوم است لذا از طرحی که در تمام امتداد دقتی یکسان در بردارد استفاده می‌شود. در اینجا از مدل مرتبه دوم برای برازش مدل استفاده شده است. برای اینکه به قدر کافی به مقدار بهینه نزدیک شویم معمولاً مدل درجه دوم برای تقریب پاسخ لازم می‌شود، این مدل دارای مقدار R^2 ، ضریب تعیین چندگانه، بیشتری از مدل مرتبه اول و یا مدل مرتبه اول با اثرات متقابل است و همچنین دارای (میانگین مجذور خطا) کمتری از آن می‌باشد. یکی از طرحهای بکار رفته برای برازش مدل مرتبه دوم، طرح مرکب مرکزی است. در شکل ۲ منحنی پاسخ سطحی دز مجموع نوترون و گاما نسبت به درصد بور، تنگستن، تیتانیوم و سرب رسم شده است. در هر یک از نمودارها دز مجموع نوترون و گاما نسبت به دو عامل رسم شده و برای دو عامل دیگر مقدار متوسط ۱۰٪ توسط نرم افزار در نظر گرفته شده است. در ادامه معادله رویه‌ها بر حسب درصد عناصر تشکیل دهنده (بور، تنگستن و...) برای یافتن نقاط مینیمم که معرف حداقل میزان دز می‌باشد، به دست آمد.



شکل ۲- منحنی پاسخ سطحی دز مجموع نوترون و گاما نسبت به درصد بور، تنگستن، تیتانیوم و سرب.

۲-۳ بدست آوردن یک جواب بهینه

در ادامه معادله های رویه ها به کمک نرم افزار minitab، به دست آمد سپس با استفاده از نرم افزار متلب، نقاط مینیمم معادلات که نشاندهنده کمترین میزان دز میباشد محاسبه شد. بر این اساس برای داشتن دزی در محدوده ۲۰۰ سیورت درصد اجزا تشکیل دهنده باید شامل ۲۰٪ بورون و ۱۸٪ تنگستن باشد. لازم به ذکر است که این دز در فاصله ۱ متری نسبت به چشمه می باشد. در فواصل دورتر نسبت به چشمه و افزایش ضخامت حفاظ دز نیز متعاقبا کاهش می یابد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا فرایند ساخت کامپوزیت با شناسایی یک متغیر پاسخ و چهار عامل یا متغیر مستقل از طریق طرح عاملی در زمینه مبحث طراحی آزمایش ها مورد بررسی قرار گرفت. چهار عامل این آزمایش ها به صورت درصد بورون، تنگستن تیتانیم، و سرب مطرح شدند. با انتخاب دز مجموع نوترون و گاما به عنوان متغیر پاسخ اول ۳۱ آزمایش انجام شد. در ادامه با استفاده از مبحث روش شناسی رویه پاسخ، مدل های بدست آمده و تکنیک تصمیم گیری چند هدفه فازی مقدار بهینه به میزان ۲۰ درصد ماده جذب کننده (تقویت کننده) بورون، ۱۸٪ درصد تنگستن دز را از ۱۵۰ Sv/hr به میزان ۲۰ Sv/hr در فاصله ۱ متری از هدف تالیم کاهش می دهد.

مراجع

- [۱]. S.E. Agbemava B.J.B. Nyarko, J.J. Fletcher, R.B.M. Sogbadji, E. Mensimah, M. Asamoah, Thermal neutron cross section determination of short-to-medium lived nuclides using a ^{240}Pu Am-Be neutron source, Annals of Nuclear Energy ۳۸ (۲۰۱۱) ۱۷۳۷-۱۷۴۲
- [۲]. M.H. Kharita, S. Yousef, M. AlNassar, Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete, Progress in Nuclear Energy ۵۳ (۲۰۱۱) ۲۰۷-۲۱۱
- [۳]. Loy C., Goh T., Xie M. and Tsui K. (۲۰۰۰) "Design of Experiments Considering Multiple Engineering Characteristics" Proceeding of the ۲۰۰۰ IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology pp ۸۷۴-۸۸۰.
- [۴] Li Quanhong, Fu Caili, Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein Food Chemistry ۹۲ (۲۰۰۵) ۷۰۱-۷۰۶
- [۵] پایان نامه، ناهید حاجیلو و همکاران، همانند سازی ترابرد و جویبارش نوترون ها در اتاق هدف تالیم سیکلوترون Cyclone^{۳۰} با استفاده از کد کامپیوتری MCNP