



نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، سال اول، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۳

بررسی مواد افزودنی به بتن جهت بهبود نقش حفاظتی آن در برابر تابش نوترونی با استفاده

از کد MCNPX

قربان اشکور خدابخشی^{۱*}، داریوش رضایی اوچبالغ^۲، نعمت الله بخشی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کاربرد پرتوها، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه کاربرد پرتوها، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۸/۲۵ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹)

چکیده

با توسعه فناوری هسته‌ای در دنیا و استفاده از این تکنولوژی در صنعت و مراکز درمانی، توجه کشورها به این مقوله و سرمایه گذاری در این حوزه بیشتر شده است. به دلیل وجود تابش های هسته‌ای همچون گاما و نوترون و از طرفی مضر بودن اینگونه پرتوها برای سلامت انسان‌ها، در این نوع مراکز برای جلوگیری از آثار جبران ناپذیر این نوع پرتوها باید حفاظ هایی ساخته شود تا علاوه بر کاهش انرژی و شدت این نوع تابش ها، صرفه اقتصادی نیز داشته باشد. در طراحی این نوع حفاظ ها، نقش سازه‌ای بتن نیز باید در نظر گرفته شود. لذا در راستای تامین دو نکته ذکر شده، ذهن محققان به تولید بتنی با خاصیت حفاظتی معطوف می‌شود. بتن ماده‌ای است که بعد از آب بیشترین مصرف و کاربرد را در جهان داراست. تولید بتن با خاصیت حفاظتی می‌تواند خدمت بزرگی به بشریت باشد. در این تحقیق تلاش شده است با استفاده از کد MCNPX برای تولید بتن‌های محافظ، نوع مواد افزودنی مناسب همچون بور و هیدروژن را شناسایی کرده، و رفتار این نوع بتن‌ها در برابر تابش نوترونی بر حسب افزودن موادی مثل پلی اتیلن و کاربرد بور بررسی شود. در این راستا چشمه نوترونی دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر شبیه سازی شده و نتایج نشان دهنده روند رو به کاهشی شار نوترونی با افزایش درصد پلی اتیلن و کاربرد بور به بتن است.

واژه‌های کلیدی: بتن، تابش های هسته‌ای، حفاظ، نوترون، کد MCNPX

* تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، گروه کاربرد پرتوها.

پست الکترونیکی: ghorban.mij77@yahoo.com

۱. مقدمه

تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در سطح دنیا بر روی بتن‌های محافظ تابش‌های هسته‌ای مورد بازبینی قرار گرفته و سپس به بررسی نقش مواد افزودنی به بتن به منظور حفاظت در برابر نوترون و نتایج آنها با استفاده از کد MCNPX پرداخته می‌شود.

۳. مواد افزودنی به بتن برای تضعیف نوترون

برای حفاظ بتنی نوترون، موادی اضافه می‌شود که سطح مقطع جذب آن بالا باشد. چون نوترون‌ها بازه انرژی وسیعی دارند و احتمال اندرکنش نوترون با ماده به میزان انرژی آن وابسته است، انتخاب ماده‌ای که بتواند نوترون‌های با این گستره انرژی را جذب کند دشوار می‌باشد. بنابراین در حفاظ‌گذاری برای نوترون‌ها بایستی ترتیبی اتخاذ شود که انرژی آنها به یک بازه کوچکتر تبدیل شود (که به این کار اصطلاحاً کندسازی می‌گویند). از فیزیک مکانیک می‌دانیم که در برخورد بین دو جسم اگر جرم دو جسم یکسان باشد در حین برخورد بیشترین انرژی جسم پرتابه به هدف منتقل می‌شود. با توجه به این خاصیت مواد، باید از موادی استفاده کنیم که بیشترین انرژی را از نوترون بگیرد، یعنی موادی انتخاب گردد که هم جرم نوترون باشد، که بهترین گزینه برای این امر هیدروژن می‌باشد. لذا در امر حفاظ‌سازی برای نوترون‌ها از مواد هیدروژن دار یا مواد با عدد اتمی پایین استفاده می‌کنند. از جمله این مواد می‌توان به پارافین، پلی اتیلن و آب اشاره کرد [۴]. بعد از کندسازی نوترون با این مواد انرژی نوترون‌ها به حدی می‌رسد که احتمال جذب آن بالا می‌رود. همچنین موادی هستند که سطح مقطع جذب نوترونی بالایی دارند، که از این مواد هم می‌توان برای افزودن به بتن جهت حفاظت نوترونی بهره برد، که از جمله این مواد می‌توان بور و لیتیم را نام برد که در ادامه به اختصار آنها را شرح می‌دهیم:

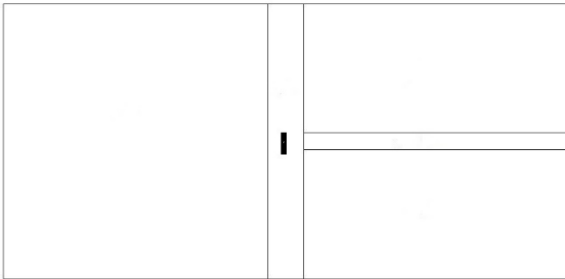
با توجه به کاربرد روز افزون صنعت هسته‌ای، اهمیت ایمنی در این صنعت روز به روز بیشتر احساس می‌گردد. در مراکز کار با پرتو، وجود تابش‌های هسته‌ای می‌تواند آثار جبران‌ناپذیری برای افرادی که به نحوی با این پرتوها سر و کار دارند به وجود آورد.

لذا مسئله حفاظ‌سازی در این امر بسیار ضروری است. یکی از حفاظ‌های پر کاربرد برای تابش‌های هسته‌ای بتن می‌باشد. بتن به علت سادگی در ساخت، ارزان بودن و راحت بودن ایجاد تغییرات در ساختار آن می‌تواند به طور گسترده برای حفاظ‌سازی تابش‌های هسته‌ای مورد استفاده قرار گیرد. برای ساخت یک حفاظ مناسب از جنس بتن بایستی ویژگی‌هایی که برای یک حفاظ مد نظر است مورد توجه قرار گیرد. از جمله این ویژگی‌ها و خواص عبارتند از: نوع تابش، نوع اندرکنش تابش مورد نظر با ماده، مقدار دز تابش مورد نظر در پشت حفاظ، مقاومت فشاری، مقاومت حرارتی [۱]. در این پژوهش به بررسی ویژگی‌های لازم برای حفاظ بتنی و مواد افزودنی به آن برای پرتو نوترون با استفاده از کد MCNPX پرداخته شده است. همچنین سعی شده تا برخی از ویژگی‌های بتن و مواد افزودنی به بتن که برای حفاظ‌سازی تابش‌های هسته‌ای نیاز است، مورد بررسی قرار گیرد.

۲. روش انجام کار

استفاده از بتن برای حفاظ تابش‌های هسته‌ای یک نیاز ضروری در صنعت هسته‌ای کشور محسوب می‌شود و از آنجا که منابع فارسی در این زمینه بسیار محدود بوده، لذا انجام پژوهش در این زمینه می‌تواند موجب شناخت و به کارگیری فراوان این ماده در صنعت هسته‌ای شود. در این مقاله ابتدا

کرده و تولید نوترون می‌کند. به ازای هر ۱ میلیون ذره آلفا، ۷۲ نوترون تولید می‌گردد [۵]. چشمه به شکل استوانه‌ای با ارتفاع ۲۰ سانتی متر و قطر ۵ سانتی متر در مرکز تانک محتوی آب به ارتفاع ۱۶۰ سانتی متر و قطر ۱۶۰ سانتی متر تعبیه شده است. لوله‌ای به قطر ۱۰ سانتی متر و طول ۸۰ سانتی متر به صورت افقی در ارتفاع ۸۰ سانتی متری از کف تانک برای خروج شار نوترونی وجود دارد. شبیه‌سازی چشمه براساس این اطلاعات انجام گرفت. شکل ۱ نمایی از سطح مقطع عمودی این مجموعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از سطح مقطع چشمه نوترونی شبیه‌سازی شده

همچنین نمونه‌های بتنی مکعب‌هایی با ابعاد ۱۵ سانتی متر در نظر گرفته و بین چشمه و شمارنده قرار داده شد. آشکارساز یا شمارنده شبیه‌سازی شده در این پژوهش شمارنده BF_3 با طول فعال $31/5$ سانتی متر و قطر $2/5$ سانتی متر با دیواره‌ای از جنس استنلیس استیل ۳۱۶ به ضخامت ۱ میلی متر در نظر گرفته شد.

پوسته کادمیومی به ضخامت ۱ میلی متر در اطراف آن در شعاع ۹ سانتی متری برای جذب نوترون‌های حرارتی مدل شد. برای مسطح شدن پاسخ شمارنده یاد شده لایه‌ای پلی اتیلنی به قطر ۳۸ سانتی متر در اطراف شمارنده قرار داده شد

بور: یکی از ایزوتوپ‌های عنصر بور، یعنی ^{10}B (با درصد فراوانی ۱۹,۹)، دارای سطح مقطع جذب بالایی در مقابل کاربید بور و گرافیت بوراته به عنوان حفاظ استفاده می‌گردد. نوترون‌های کم انرژی می‌باشد. عنصر بور به صورت بنابراین یکی از مواد افزودنی به بتن جهت ساخت حفاظ نوترونی می‌تواند ترکیبات بور دار باشد [۲].

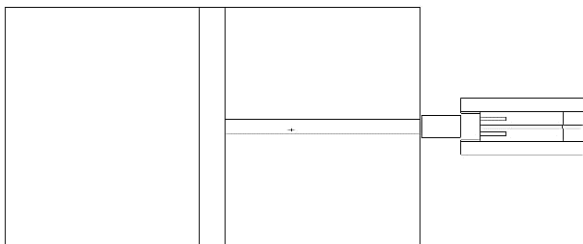
یک نکته مهم این است که بور می‌تواند اثرات زیان‌آوری روی گیرش و سخت شدن بتن داشته باشد و نباید در حفاظ به مقدار زیاد استفاده گردد. مصالح مهم بور در استاندارد ASTM C638 لیست شده‌اند. از نمونه‌ی این نوع مصالح کلمانیت^۱، بوروکلسیت، اولکسیت^۲، پایگیت و تورمالین^۳ می‌باشند [۳]. لیتیم: همانند بور ایزوتوپ 6Li (با فراوانی ۷,۵ درصد) سطح مقطع جذب نوترونی بالایی دارد. لیتیم به لحاظ تجاری به صورت پلی اتیلن لیتیم و در اشکال گوناگون عرضه می‌شود [۲].

در این تحقیق از پلی اتیلن (CH_2) به عنوان ماده هیدروژن دار و از کاربید بور (B_4C) به عنوان ماده بور دار استفاده شده است.

۴. شبیه‌سازی با استفاده از کد MCNPX

برای بررسی تاثیر مواد افزودنی به بتن بر تضعیف تابش نوترونی، چشمه نوترونی دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) با استفاده از کد MCNPX مدل‌سازی شد. این چشمه نوترونی آمرسیوم-برلیوم، یعنی از نوع چشمه‌های (α, n) با فعالیت ۱۵ کوری است. در این چشمه ذرات آلفای ساطع شده از آمرسیوم به برلیوم برخورد

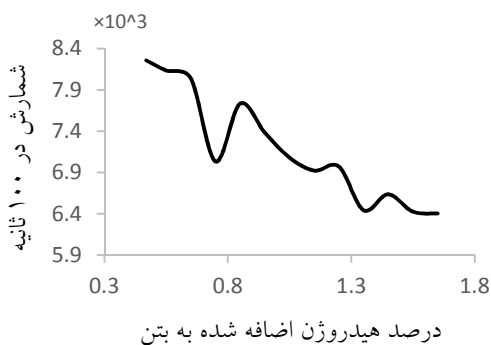
1-Colemanite
2-Ulexite
3-Tourmaline



شکل ۳. مجموعه چشمه، نمونه بتنی و شمارنده

۱.۴ تحلیل نتایج شبیه سازی

در مرحله اول نمونه مکعبی با درصد هایی مختلفی از هیدروژن با افزودن پلی اتیلن به بتن در نظر گرفته شد و نتایج بدست آمده بر حسب درصد های هیدروژن افزوده شده رسم گردید. همان گونه که در شکل ۴ می بینیم با افزایش درصد هیدروژن به بتن روند شار نوترونی رو به کاهش است، ولی نوساناتی در آن مشاهده می گردد. در مرحله بعد به نمونه های بتنی درصد های مختلفی از بور با افزودن کاربرد بور در نظر گرفته شد و نتایج بدست آمده بر حسب درصد های بور افزوده شده رسم گردید.



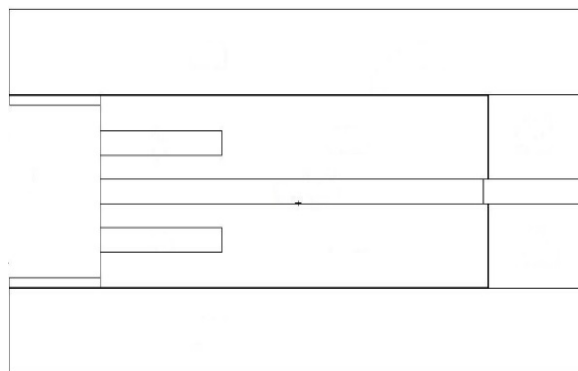
شکل ۴. تغییرات شمارش نوترونی بر حسب افزایش درصد هیدروژن به بتن

که از این لایه پوسته ای استوانه ای به ضخامت ۲/۵ سانتی متر و به ارتفاع ۱۰ سانتی متر این لایه خالی شده است (شکل ۲) [۶]. درصد جرمی عناصر تشکیل دهنده مربوط به مواد به کار رفته در کد (به غیر از بتن) از منبع ۷ گرفته شد.

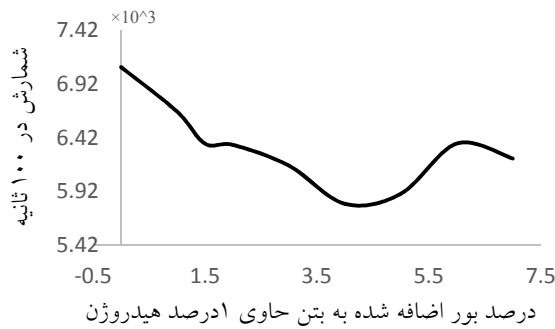
همچنین مجموعه چشمه، نمونه بتنی و شمارنده در شکل ۳ نشان داده شده است. برای شمارش نوترونهای عبوری ضمن در نظر گرفتن تاثیر واکنش (n, α) از تالی های مربوطه استفاده شد. در هر مرحله تعداد ۱۰^۷ تاریخچه بررسی شد. همانطور که می دانیم کد بعد از انجام محاسبات نتیجه را به یک نرمالیزه می کند، لذا برای اثر دادن فعالیت چشمه در نتیجه محاسبات، مقادیر بدست آمده برای شمارش محاسبات در $3/996 \times 10^9$ طبق رابطه زیر ضرب شد [۸].

$$15ci \times \frac{3.7 \times 10^{10} Bq}{1ci} \times \frac{1\alpha/s}{1Bq} \times \frac{72n}{10^6\alpha} \times 100s = 3.996 \times 10^9 n \quad (1)$$

در محاسبات فوق زمان شمارش ۱۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد.



شکل ۲. شمارنده BF3 شبیه سازی شده و مجموعه اطراف آن



شکل ۶. تغییرات شار نوترونی برای بتنی که حاوی ۱ درصد هیدروژن برحسب افزایش درصد بور به آن

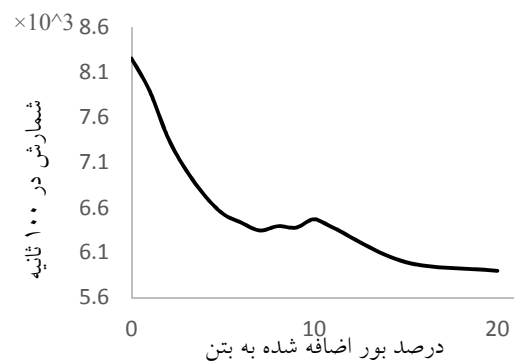
۵. نتیجه گیری

باتوجه به اینکه استفاده از بتن به عنوان حفاظ برای تابش-های هسته‌ای در مراکز پرتویی در کشور ضروری بوده و همچنین اینکه مراکز پرتویی و هسته‌ای کشور روز به روز در حال گسترش و توسعه می‌باشد، لذا مطالعه و بررسی جهت شناخت و بهبود نقش حفاظتی بتن‌های مورد استفاده در این مراکز لازم می‌باشد. با بررسی‌های فوق می‌توان به این نتیجه رسید که بررسی و شناخت مقدار و نوع مواد افزودنی به بتن برای ساخت یک حفاظ مناسب ضروریست. برای ساخت بتن حفاظتی نوترون‌ها، بایستی از موادی با عناصر تشکیل دهنده سبک (عدد اتمی پایین) همچون پودر پلی اتیلن و مواد جاذب مثل پودر اسید بوریک و کاربید بور در مخلوط این نوع بتن‌ها استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بتونی که حاوی یک درصد هیدروژن و ۴٫۵ درصد بور باشد می‌تواند حافظ نوترونی مناسبی قلمداد شود. از طرفی بتن‌های حاوی یک درصد هیدروژن و ۱٫۵ درصد پلی اتیلن نیز حفاظ نوترونی مناسبی می‌تواند باشد. اما باید استحکام بتن را نیز در نظر گرفت.

در شکل ۵ مشاهده می‌شود که همانند پلی اتیلن برای کاربید بور نیز روند رو به کاهش شار نوترونی را داریم. این کاهش شار در کاربید بور نسبت به پلی اتیلن کمتر است. چون با افزودن درصد بیشتری از بور به بتن، کاهش شاری به اندازه کاهش شار در بتن‌هایی که هیدروژن با درصد کمتر اضافه کردیم مشاهده می‌شود.

در مرحله آخر در نمونه‌ها به مواد افزودنی به صورت ترکیبی از پلی اتیلن و کاربید بور اضافه شد. مقدار پلی اتیلن اضافه شده به ازای ۱ درصد هیدروژن اضافه گردید و سپس درصد‌های مختلفی از کاربید بور و متعاقب آن درصد‌های مختلفی از بور اضافه شد که نتیجه آن در شکل ۶ مشاهده می‌گردد.

همانگونه که مشاهده می‌گردد کاهش شار نوترونی نسبت به مرحله اول و دوم شدیدتر است. ولی وجود یک قله در قسمت انتهایی نمودار جای سوال دارد. لازم به ذکر است در تمام نمودارها محور قائم تعداد نوترون‌های شمارش شده در ۱۰۰ ثانیه است و واحد ندارد.



شکل ۵. تغییرات شمارش نوترونی بر حسب افزایش درصد بور به بتن

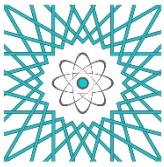
با سنگدانه های بوردار طبیعی و مصنوعی برای استفاده در حفاظ پرتوهای نوترون، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

- [4] H. Cember, Introduction to Health Physics, Pergamon Press, the University of California, 2008.
- [5] A. Chilton, Principle of radiation shielding, Prentice-Hall, New jersey, 1984.
- [6] G. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, University of Michigan, 2010.
- [7] R.J. McConn et al, Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling, Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352, 2011.
- [8] Los Alamos National Laboratory, Rsicc Computer Code Collection MCNPX™ 2.4.0, Los Alamos, New Mexico, 2002.

برای بررسی استحکام بتن باید تست های مخرب روی نمونه ها انجام گیرد. انجام تست های مخرب و کارهای تجربی این تحقیق در مرحله دوم پروژه صورت گرفته و نتایج گزارش خواهد شد.

مراجع

- [۱] ن. بخشی، غ. رئیس علی، ع. مهدوی، ف. فروزانفر، فرآیند طراحی و ساخت بتن های ویژه حفاظ تابشهای هسته ای (نوترون و گاما)، سیزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۵.
- [۲] س. بیات، م. وهابی، ع. حسین زاده، حفاظ سازی تابش، انتشارات سیمای دانش، تهران، ۱۳۹۳.
- [۳] ن. بخشی، غ. رئیس علی، ع. مهدوی، ف. فروزانفر، ن. حاجیلو، طراحی، ساخت و بررسی خواص بتن حاوی بور ساخته شده



Study of concrete additives to improve its protective role against neutron radiation by using MCNPX code

Q. Eshkevar Khodabakhshi^{1*}, D. Rezaei Ochbelagh², N. Bakhshi³

1. M. Sc. Student, Department of Energy Engineering and Physics, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran

2. Associate professor, Department of Energy Engineering and Physics, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran

3. Ph. D student, Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

** Corresponding author's E-mail: ghorban.mij77@yahoo.com*

(Received: 16/11/2014 - Accepted: 8/2/2015)

ABSTRACT

With the development of nuclear technology in the world and the use of the technology in industry and medical centers, the countries in this category, and investment in this area has increased. Because of nuclear-radiation such as gamma and neutron radiation, and also such harmful to human health, in these centers to avoid irreversible effects of this type of radiation, shielding that must be made in addition to decrease of energy and intensity of this type of radiation, the economy well. In design of this type of shieldings, role of the structural concrete must also be considered. Therefore, in order to provide the two things mentioned, the mind is focused on researchers to produce concrete with protective properties. Concrete is a substance that has highest application and consumption in the world after water. Production of concrete with protective properties can be a great service to humanity. In this study, we have tried to use the MCNPX code for identifying additional material such as boron and hydrogen, to produce concrete protective properties, and investigated the treat of this kind of concrete against neutron radiation by adding materials such as polyethylene and boron carbide. In this context, neutron sources of Department of Energy Engineering and Physics of Amirkabir University of Technology simulated and the results show a declining trend of neutron flux with increase of the percentage of polyethylene and boron carbide in concrete.

Keywords: *Concrete, nuclear radiation, shield, neutrons, MCNPX code*