

اندازه‌گیری ضرایب آلبدوی نوترون‌های حرارتی برای بتن حاوی باریم و بیسموت

عظیم‌خانی، سارا^(۱) - ذوالفقارپور، فرهاد*^(۱) - ضیایی، فرهود^(۲)

دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم، گروه فیزیک

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

در این مقاله، بتن حاوی درصد‌های مختلفی از باریم و بیسموت را به عنوان بازتابنده نوترون‌های حرارتی مورد بررسی قرار داده‌ایم. بدین منظور میزان شار بازتابی از نمونه‌های بتنی حاوی درصد‌های مختلفی از باریم و بیسموت را با استفاده از چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ و آشکارساز نوترونی BF_3 ثبت کرده و سپس ضرایب آلبدوی نوترون‌های حرارتی را برای نمونه‌های بتنی به صورت تجربی اندازه‌گیری کرده‌ایم. با مقایسه بتن معمولی و بتن حاوی باریم و بیسموت مشخص شد که با افزودن باریم، میزان بازتاب نوترون‌های حرارتی کاهش پیدا می‌کند. در مقابل، با افزایش درصد بیسموت، ضرایب آلبدوی نوترون‌های حرارتی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بتن، ضریب آلبدو، بیسموت، آشکارساز BF_3

مقدمه:

بتن یک ماده پرکاربرد در زمینه حفاظ‌سازی در برابر پرتوهای گاما است. مهم‌ترین عامل در برهمکنش پرتوهای گاما با ماده اثر فتوالکتریک است که با توان چهارم عدد اتمی متناسب است [۱]. بنابراین به منظور افزایش خاصیت حفاظتی بتن در برابر پرتوهای گاما از موادی با عددهای اتمی بالا در ساختار بتن استفاده می‌شود [۲، ۳]. تأثیر سیمان حاوی سرب و انواع سنگ معدن آهن مانند مگنتیت Fe_3O_4 ، هماتیت Fe_2O_3 و ژئوتیت FeO(OH) به جای سنگدانه‌های معمولی بر میزان تضعیف‌کنندگی بتن مورد بررسی قرار گرفته است [۴، ۵]. بتن در اطراف چشمه‌های گاما به عنوان حفاظ اولیه و در سیستم‌های حاوی نوترون به عنوان حفاظ ثانویه بکار می‌رود. در چشمه‌های نوترونی علاوه بر پرتوهای گامایی که ممکن است در خود چشمه تولید شود، در برخورد نوترون با مواد اطراف مانند کندکننده، ماده جاذب و حفاظ‌های اطراف گاماها ثانویه نیز تولید می‌شود. در این سیستم‌های نوترونی، بتن می‌تواند علاوه بر حفاظت در برابر پرتوهای گاما در بازتاب نوترون‌های حرارتی نیز مؤثر باشد و به عنوان بازتابنده از نشت نوتون‌های حرارتی جلوگیری کند. در بررسی خاصیت بازتابندگی یک ماده در برابر نوترون‌های حرارتی، ضریب آلبدوی نوترون‌های حرارتی اندازه‌گیری می‌شود که به صورت نسبت جریان نوترون‌های خروجی از بازتابنده به جریان نوترون‌های ورودی به بازتابنده تعریف می‌شود [۶]. ضریب آلبدو با افزایش سطح مقطع پراکندگی و کاهش سطح مقطع

جذب ماده بازتابنده افزایش می‌یابد [۷]. بنابراین انتخاب مواد افزودنی به بتن که همزمان اثر حفاظتی در برابر پرتوهای گاما و خاصیت بازتابندگی نوترون‌های حرارتی را داشته باشند از اهمیت زیادی برخوردار است. در این کار، به منظور بررسی خاصیت بازتابندگی بتن‌های سنگین در برابر نوترون‌های حرارتی، درصد‌های مختلفی از باریم به عنوان جایگزین سنگدانه و بیسموت به عنوان جایگزین سیمان مطابق با استاندارد ASTM^۱ ساخته شده و شار نوترون‌های بازتابی از این نمونه‌ها با استفاده از چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ و آشکارساز BF_3 به صورت تجربی اندازه‌گیری شده است. سپس ضرایب آلودی نوترون‌های حرارتی برای بتن‌های حاوی درصد‌های مختلفی از باریم و بیسموت محاسبه شده است.

روش کار:

ابتدا نمونه بتنی بدون افزودن باریم و بیسموت به شکل مکعب در ابعاد $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ ساخته شد. سپس دو سری از نمونه‌های بتنی حاوی درصد‌های مختلفی از باریم و بیسموت ساخته شدند. باریم به شکل سنگدانه و بیسموت به صورت پودر در حد ریزی دانه‌های سیمان (حدود چند میکرومتر) مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش دانه‌بندی سنگدانه‌ها نیز با رعایت استاندارد ASTM انجام گرفت. در سری اول، درصد‌های مختلفی از سنگدانه‌های باریم به شکل باریت (BaSO_4) جایگزین سنگدانه‌های معمولی شد. در سری دوم درصد‌های مختلف بیسموت جایگزین بخشی از سیمان در بتن معمولی شد. درصد‌های مختلف بیسموت به بتن‌های حاوی باریم سری اول نیز اضافه شد. نمونه‌های بتنی بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج و به مدت ۲۳ روز در آب قرار داده شدند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شدند. بعد از آماده‌سازی نمونه‌های بتنی مراحل پرتودهی در روز ۱۲۷م انجام گرفت. در این مرحله هر یک از نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه تحت تابش پرتو در برابر چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ با قدرت $5/2 \text{ Ci}$ قرار گرفتند. برای حرارتی کردن نوترون‌ها از کندکننده آب استفاده کردیم. آشکارساز BF_3 با قطر $2/5 \text{ cm}$ و ارتفاع 20 cm با ولتاژ اعمالی 2320 V ، تحلیل‌گر چندکاناله MCA و نرم‌افزار NTMCA برای ثبت طیف حاصل از نوترون‌های بازتابی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین از کادمیوم به عنوان جذب نوترون استفاده کردیم. پیکربندی استفاده شده برای اندازه‌گیری میزان بازتاب نوترون‌های حرارتی از نمونه‌های بتنی در شکل (۱) نشان داده شده است.

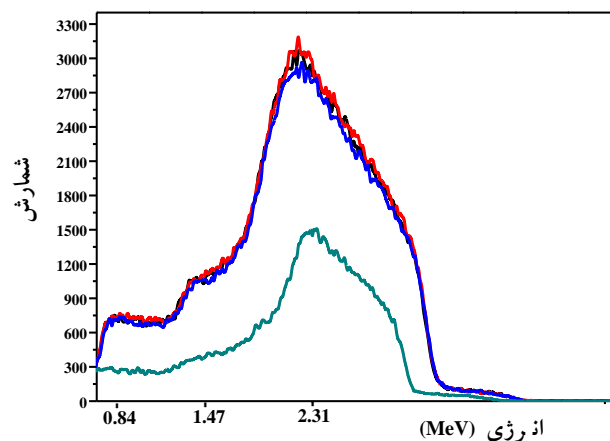
¹ American Society for Testing and Materials



شکل (۱). تصویر آزمایش پرتودهی به بتن و آشکارسازی نوترون‌های بازتابی توسط آشکارساز BF_3 .

نتایج:

طیف ارتفاع پالس به دست آمده از آشکارساز BF_3 با استفاده از نرم‌افزار NTMCA برای بتن معمولی، بتن حاوی ۱۵٪ بیسموت و ۱۰۰٪ سنگدانه باریمی و بدون حضور بتن در شکل (۲) نشان داده شده است. در اثر برخورد نوترون‌های حرارتی با ^{10}B در آشکارساز BF_3 ، ذرات یوننده 4He و $^7Li^*$ (با احتمال ۹۴٪) با Q برابر $2.31 MeV$ تولید می‌شوند. همچنین به دلیل اثر دیواره، در انرژی $1/47 MeV$ و $0.84 MeV$ ناپیوستگی‌هایی در طیف مشاهده می‌شود. با جمع زیر این منحنی‌های شمارش بعد از حذف شمارش‌های مربوط به پرتوهای گاما در کانال‌های پایین (کانال‌های زیر ۵۰) شمارش نوترون‌های حرارتی بازتابی از بتن بدست می‌آید.

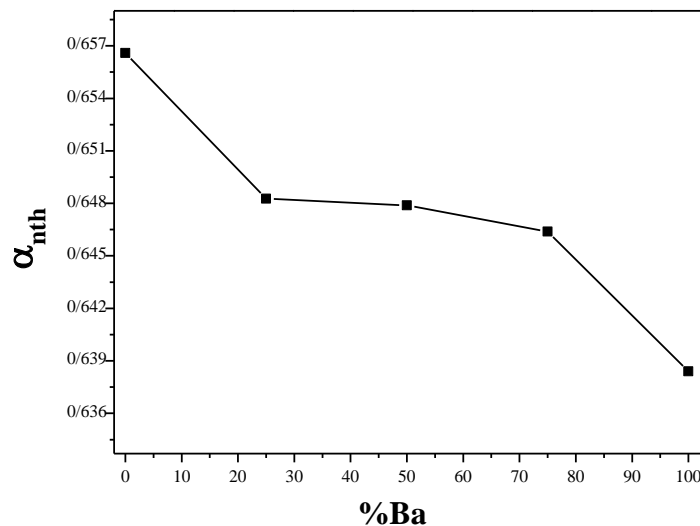


شکل (۲). طیف ارتفاع پالس ثبت شده توسط آشکارساز BF_3 از بتن معمولی (منحنی مشکی رنگ)، بتن حاوی ۱۵٪ بیسموت (منحنی قرمز رنگ)، بتن حاوی ۱۰۰٪ سنگدانه باریم (منحنی آبی رنگ) و بدون بازتابنده (منحنی سبز رنگ).

همان طوری که در شکل (۲) مشاهده می‌شود در حضور بتن شمارش نوترون‌های حرارتی افزایش می‌یابد و بیشترین میزان آن به ترتیب مربوط به بتن حاوی بیسموت، بتن معمولی و بتن حاوی باریم می‌باشد. با توجه به میزان نوترون‌های بازتابی می‌توان خاصیت بازتابی نمونه‌های بتنی را بر حسب ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی محاسبه کرد. ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی طبق رابطه زیر بدست می‌آید [۶]:

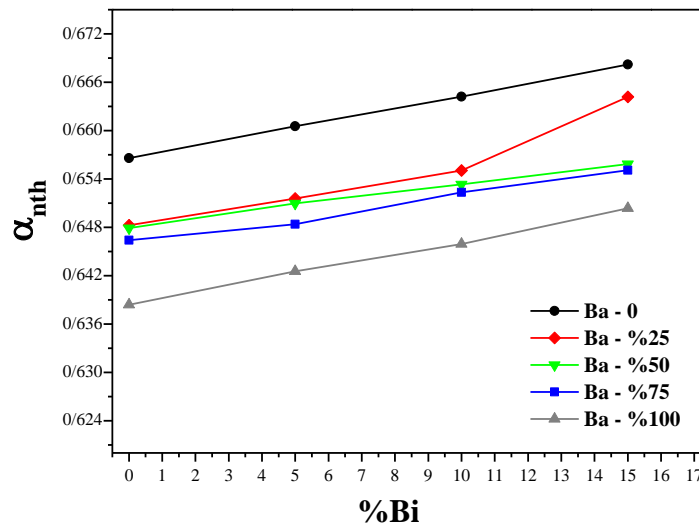
$$\alpha = \frac{J_{out}}{J_{in}} \quad (1)$$

در این رابطه J_{out} نوترون‌های خروجی از بازتابنده و J_{in} نوترون‌های فرودی به بازتابنده است. برای محاسبه J_{in} آشکارساز BF_3 در موقعیت مربوط به نمونه‌های بتنی قرار گرفته و طیف نوتروهای حرارتی فرودی به آن ثبت شده است. نتایج به دست آمده برای ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی به عنوان تابعی از درصد سنگدانه باریتی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳). ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی مربوط به نمونه‌های بتنی بر حسب درصد وزنی باریم نسبت به وزن سنگدانه.

طبق شکل (۳) مشاهده می‌شود که با افزایش درصد باریم ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی کاهش می‌یابد. ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی مربوط به نمونه‌های بتنی حاوی درصد‌های مختلف بیسموت در شکل (۴) نشان داده شده است. همان طوری که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در بتن معمولی و در نمونه‌های بتنی حاوی درصد‌های مختلف باریم با افزایش درصد بیسموت، ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی افزایش پیدا می‌کند.



شکل (۴). ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی بر حسب درصد وزنی بیسموت نسبت به وزن سیمان در نمونه‌های بتنی به ازای سنگدانه معمولی و درصدهای مختلفی از سنگدانه باریمی.

بحث و نتیجه‌گیری:

ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی مربوط به نمونه‌های بتنی حاوی درصدهای مختلفی از باریم و بیسموت را با استفاده از چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ و آشکارساز BF_3 به صورت تجربی اندازه‌گیری کردیم. مطابق شکل (۳)، در بتن حاوی ۱۰۰٪ سنگدانه باریمی میزان ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی برابر با ۰/۶۳۸ و برای بتن معمولی برابر با ۰/۶۵۶ است. در شرایط هندسی ثابت، ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی به ترکیبات ماده بازتابنده بستگی دارد. بنابراین سطح مقطع ترکیبات ماده بازتابنده در میزان بازتاب نوترون‌های حرارتی تعیین‌کننده است. سطح مقطع پراکندگی کشسان باریم برای نوترون‌های حرارتی ۳/۳۸ بارن و سطح مقطع جذب آن برای نوترون‌های حرارتی ۱/۱ بارن است [۸]. سطح مقطع جذب باریم برای نوترون‌های حرارتی در مقایسه با سطح مقطع جذب بتن بدون سنگدانه باریمی (۰/۰۱۵ بارن) بیشتر است، بنابراین با توجه به وابستگی ضریب آلدوی نوترون به سطح مقطع‌های کشسان و جذب ماده بازتابنده، با افزایش درصد باریم در نمونه‌های بتنی ضریب آلدوی نوترون‌های حرارتی مطابق با شکل (۳) کاهش می‌یابد. اگرچه بازتاب نوترون‌های حرارتی مربوط به بتن حاوی ۱۰۰٪ سنگدانه باریمی در مقایسه با عدم حضور بازتابنده ۲/۶۰ برابر است و به دلیل عدد اتمی ۵۶ و چگالی بالای آن در مقایسه با سنگدانه‌های معمولی می‌تواند در برابر پرتوهای گاما اولیه و ثانویه چشمه نوترونی مؤثر باشد ولی افزایش درصد باریم باعث کاهش بازتاب نوترون‌های حرارتی می‌شود. در مقابل افزایش درصد بیسموت جایگزین شده با سیمان مورد استفاده در

نمونه‌های بتنی باعث افزایش بازتاب نوترون‌های حرارتی می‌شود. سطح مقطع پراکندگی کشسان بیسموت برای نوترون‌های حرارتی برابر با $9/156$ بارن و سطح مقطع جذب آن برای نوترون‌های حرارتی $0/0338$ بارن است [۸]. به دلیل سطح مقطع جذب پایین و سطح مقطع کشسان بالای بیسموت در مقایسه با سیمان، افزایش درصد بیسموت باعث افزایش بازتاب نوترون‌های حرارتی از نمونه‌های بتنی می‌شود. مطابق با شکل (۴) این افزایش هم در بتن معمولی و هم در نمونه‌های بتنی حاوی سنگدانه باریمی مشاهده می‌شود. همچنین به دلیل چگالی بالای بیسموت ($9/80 \text{ g/cm}^3$) و عدد اتمی 83 در برابر پرتوهای گاما نیز حفاظ مناسبی است. با توجه به اینکه بیشترین حجم بتن مربوط به سنگدانه است و سیمان کمتر از یک چهارم حجم بتن را تشکیل می‌دهد، استفاده از بیسموت تا درصدهای بالا ممکن نیست و از طرفی به دلیل کنترل مقاومت فشاری بتن از بیسموت تا 15% وزن سیمان استفاده کردیم. بنابراین استفاده همزمان از سنگدانه باریتی و بیسموت به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی می‌تواند حفاظ مناسبی در برابر پرتوهای گاما باشد و حضور بیسموت باعث افزایش بازتاب نوترون‌های حرارتی شود.

مراجع:

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurements. *Structural shielding design and evaluation for megavoltage x- and gamma-ray radiotherapy facilities*. Bethesda, MD, USA. NCRP Report 151, 69-72. 2005.
- [2] Akkurt, I., Akhyildirim, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C. Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy* 52, 620-623. 2010.
- [3] Rezaei-Ochbelagh, D., Azimkhani, S., Gasemzadeh-Mosavinejad, H. Investigation of gamma-ray shielding properties of concrete containing different percentages of lead. *Applied Radiation and Isotopes*. 70, 2282-2286. 2012.
- [4] Neville, A.M. *Properties of Concrete*. Addison Wesley Longman Limited Edinburgh Gate, Harlow Essex, England. 1996.
- [5] El-Hosiny, F.I., El-Faramawy, N.A. Shielding of gamma radiation by hydrated Portland cement-lead pastes. *Radiation Measurements*. 32, 93-99. 2000.
- [6] Mehboob, K., Ahmed, R., Ali, M., Tabassam, U. Thermal neutron albedo measurements for multilithic reflectors. *Annals of Nuclear Energy*. 62, 1-7. 2013.
- [7] Dawahra, S., Khattab, K., Saba, G. Study the effects of different reflector types on the neutronic parameters of the 10 MW MTR reactor using the MCNP4C code. *Annals of Nuclear Energy*. 85, 1115-1118. 2015.
- [8] Sears, V.F. Neutron scattering lengths and cross section. *Neutron News*. 3, No 3. 29-37. 1992.