



مقایسه بتن حاوی پودر باریت و گرافیت در برابر پرتو گاما و کد MCNP

سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد*، سمیرا کاظمی راد

مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۰۸-۱۴
بازنگری: ۱۳۹۷-۱۰-۰۹
پذیرش: ۱۳۹۷-۱۱-۱۵
ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۱۱-۲۷

کلمات کلیدی:

بتن
پودر باریت
پودر گرافیت
پرتو گاما
کد MCNP

خلاصه: با توجه به توسعه فناوری هسته‌ای در دنیا و استفاده از این تکنولوژی در صنعت و مراکز درمانی، توجه و سرمایه گذاری کشورها در این حوزه بیشتر شده است. در این پژوهش، بتن‌های مقاوم در برابر پرتو در دو سری ساخته شده‌اند. در سری اول شامل پودر باریت با درصد‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزین ماسه و در سری دوم پودر باریت با درصد‌های ذکر شده به همراه ۱۰ درصد پودر گرافیت تهیه شد. در این پژوهش، عیار سیمان 400 kg/m^3 و نسبت آب به سیمان ۰/۴ و به بتن‌های حاوی مواد افزودنی نیز ۱۰٪ میکروسیلیس نیز اضافه شده است. خواص مکانیکی این بتن‌ها مانند مقاومت فشاری و مقاومت کششی تعیین گردید. همچنین اثر آن‌ها به عنوان حفاظی در برابر پرتو گاما با استفاده از چشمه ^{137}CS مورد آزمایش تجربی قرار گرفتند و سپس به وسیله کد شبیه سازی MCNP به روش مونت کارلو مورد مطالعه و مقایسه قرار داده شده است. نتایج حاکی از آن بود که نمونه‌ی حاوی ۱۰٪ پودر باریت به همراه ۱۰٪ پودر گرافیت می‌تواند مقدار بهینه جهت حفاظت در برابر اشعه گاما باشد. همچنین مقایسه نتایج آزمایش تجربی با کد MCNP توافق نسبتاً خوبی را نشان داد و روند افزایش و کاهش آن تقریباً یکسان بوده است.

۱- مقدمه

برابر نیست. در بحث حفاظ سازی، تابش‌های نوترون و گاما از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، زیرا به دلیل بدون بار بودن می‌توانند ضخامت‌های نسبتاً زیادی از حفاظ را پشت سر گذاشته و در بالا بردن آهنگ دز در بیرون حفاظ مشارکت داشته باشند [۱]. در کنار فایده‌های بسیار زیاد استفاده از رادیواکتیو، باید توجه داشت که این اشعه به سلول و بافت‌های زنده آسیب می‌رساند و حفاظ گذاری در برابر آن امری ضروری و اجتناب ناپذیر است [۲]. به منظور حفاظ گذاری در برابر اشعه، مواد جاذب باید دارای دانسیته بالا، ضریب تضعیف اشعه بالا، ویژگی‌های ساختاری با مقاومت بالا و دارای قابلیت تهیه آسان و تولید ارزان باشند. با توجه به موارد فوق‌الذکر، استفاده از بتن گزینه‌ای

امروزه در جهان و از جمله در کشور ما، استفاده از تکنولوژی هسته‌ای در زمینه‌های گوناگون نیروگاهی، صنعتی، کشاورزی و پزشکی رو به گسترش است. یکی از مهمترین مسائل در فناوری هسته‌ای، حفاظت در برابر تابش‌های هسته‌ای است تا از آثار زیان بار زیست محیطی، بیماری‌زا و همچنین آثار مخربی که آن‌ها روی برخی از ابزارهای اندازه‌گیری دقیق دارند، جلوگیری شود. از دیدگاه حفاظ سازی، همه‌ی تابش‌ها و ذرات از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند، زیرا میزان نفوذ و تأثیرگذاری آن‌ها در مواد مختلف از جمله بافت زنده

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: h.mosavi@guilan.ac.ir



را افزایش دهد. نالک^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۰] که ترکیبات مختلف بتن با فیبر بازالت را مورد بررسی قرار دادند به این نتیجه رسیدند که فیبر بازالت یک ماده نسبتاً ارزان است که می‌تواند به جای فیبرهای فلزی به عنوان تقویت کننده استفاده شود. فیبر بازالت تقریباً ۱۰ برابر قدرت استحکام بتن‌های فولادی است. ضریب تضعیف خطی گاما با افزودن فیبر بازالت به بتن در هر مورد افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که بتن مسلح حاوی بازالت دارای خصوصیات محافظتی نسبت به بتن معمولی در برابر اشعه گاما است. مدبولی^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۱۱] از بتن استاندارد و پنج ماده مانند کاربید بور، ایلمنیت، فرو بورون، گالینا و باریت استفاده نمودند و به این نتیجه رسید که بتن حاوی کاربید بور برای حفاظت در برابر پرتو نوترون یکی از بهترین‌ها و باریت بهترین کاهنده نوترون است. همچنین بتن گالینا نیز می‌تواند در حفاظت در برابر پرتو گاما موثر باشد. در تحقیقات انجام شده معمولاً از سنگدانه‌های مورد نظر در ساخت بتن استفاده شده است و آزمایشات پرتو اشعه روی بتن از نوع سنگین انجام گردید. اما در این تحقیق از نوع پودر باریت و گرافیت استفاده شده که نه تنها قبلاً در مطالعات دیگران مورد استفاده قرار نگرفته بلکه برخی از نمونه‌های آزمایشی تهیه شده در درصدهای متفاوت جایگزینی پودرها در رده بتن معمولی و تعدادی نیز در رده بتن سنگین قرار می‌گیرند که تأثیر پرتو روی رده‌های مذکور بررسی شده است. همچنین وجود معادن باریت در کشور ما و قیمت نسبتاً مناسب و بی خطر بودن این ماده علت دیگر استفاده از این ماده در این تحقیق است.

۲- مواد و مصالح مورد استفاده

۲-۱- مواد سیمانی مصرفی

مواد سیمانی مصرفی در این پژوهش شامل سیمان نوع دو دیلمان و میکروسیلیس در کلیه مخلوط‌ها می‌باشد. آنالیز و خصوصیات سیمان در جدول‌های ۱ تا ۳ آورده شده است. چگالی سیمان در حدود 3 gr/cm^3 تا 3 gr/cm^3 می‌باشد.

۲-۲- سنگدانه‌ها

شن مورد استفاده از کارخانه تولید قطعات بتنی تهیه شده است. به دلیل وجود ذرات بزرگتر از ۱۹ میلی متر، شن را از الک

- 6 6 Nul
7 Madbouly

مناسب جهت حفاظت‌گذاری برای اشعه رادیواکتیو است [۳]. باریت به علت داشتن وزن مخصوص بالا و ارزان بودن مورد استفاده فراوان در صنعت حفاری نفت و گاز، صنایع رنگ سازی، پلاستیک دارویی (به علت خاصیت جذب اشعه رادیواکتیو)، مواد شیمیایی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین می‌تواند گزینه مناسبی جهت حفاظت در برابر پرتو گاما باشد.

۱-۱- پیشینه تحقیق

خاریتا^۱ و همکاران [۴] اثر اضافه کردن سه ترکیب بوریک اسید، بوراکس و بوریک فریت را در بتن، بر خواص مقاومتی و محافظتی در برابر اشعه‌ی گاما و نوترون بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که اضافه کردن بوراکس در بتن با ضخامت ۱۰۰ سانتی متر، برای جذب اشعه‌ی گاما تأثیر مثبت دارد. نویل [۵] درصد‌های مختلف مگنتیت، ژئولیت، هماتیت و ایلمنیت را جایگزین سنگدانه طبیعی نمود و خواص محافظتی بتن‌های ساخته شده را در برابر اشعه گاما اندازه‌گیری و گزارش کرد. بوذرجمهری^۳ و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۶، نمونه‌های سنگین بتن با استفاده از سنگ معدن باریت تولید کردند. نمونه‌های آنها دارای تراکم در محدوده ۳۱۸۰ تا ۳۵۵۰ کیلوگرم در متر مکعب بوده و مانع خوبی برای تابش می‌باشد. کانسو^۴ در سال ۲۰۱۳ [۷] در مطالعه خود دریافته است که در مقایسه با بتن بازالت، بتن مگنتیت دارای خواص جذب بهتر نه تنها برای نوترون‌های آهسته و سریع بلکه برای اشعه گاما نیز مناسب می‌باشد. خاریتا و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۸] جهت بررسی تأثیر افزودن پودر کربن بر خواص بتن هماتیت برای حفاظت تابشی، مشخص کردند که افزودن ۶ درصد وزنی پودر کربن به بتن باعث افزایش مقاومت آن در حدود ۱۵ درصد شد. با این حال ویژگی‌های حفاظتی برای هر دو پرتو گاما و نوترون با افزایش مقدار پودر کربن کاهش یافت. کورکات^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۹] خصوصیات محافظتی نوترونی را در معادن کولمانیت، اولکسیت و تینکال با درصد‌های متفاوتی از بور را مورد مطالعه قرار دادند. مشاهده گردید که افزایش غلظت اتم‌های بور می‌تواند خواص حفاظتی نوترونی

- 1 Kharita
2 Neville
3 Bouzarjomehri
4 Kansouh
5 5 Korkut

جدول ۱. مقاومت فشاری سیمان تیپ ۲*
Table 1. Compressive strength of cement type 2

| نوع محصول | مقاومت فشاری ۲ روزه (kg/cm ²) | مقاومت فشاری ۳ روزه (kg/cm ²) | مقاومت فشاری ۷ روزه (kg/cm ²) | مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kg/cm ²) |
|---------------------|--|--|--|---|
| سیمان پرتلند تیپ II | ۲۰۵-۲۲۵ | ۲۴۰-۲۷۰ | ۳۷۰-۴۳۰ | ۵۵۰-۶۲۰ |

* <http://www.gilancement.com>

جدول ۲. خصوصیات سیمان تیپ ۲*
Table 2. Properties of type 2 cement

| نوع محصول | سطح ویژه (cm ² /gr) | زمان گیرش اولیه دقیقه | زمان گیرش نهایی دقیقه | انبساط ناشی از اتوکلاو (%) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| سیمان پرتلند تیپ II | ۳۰۰۰-۳۲۰۰ | ۱۲۰-۱۵۰ | ۱۹۰-۲۲۰ | حداکثر ۰/۱۵ |

* <http://www.gilancement.com>

جدول ۳. آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ و میکروسیلیس** و**
Table 3. Chemical analysis of Portland cement type 2 and microsilica * and **

| مواد سیمانی | ترکیب شیمیایی | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O |
|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|---------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|
| سیمان * | نسبت وزنی (%) | ۲۲/۱- ۲۱/۷ | ۴/۹-۵/۳ | ۳/۴-۳/۸ | ۶۶/۰- ۶۵/۰ | ۱/۳-۱/۵ | ۱/۵-۱/۸ | ۰/۶۰- ۰/۵۰ | ۰/۳۵- ۰/۲۵ | - |
| میکروسیلیس ** | نسبت وزنی (%) | ۹۶/۴۰ | ۱/۳۲ | ۰/۸۷ | ۰/۴۹ | ۰/۹۷ | ۰/۱۰ | ۱/۰۱ | ۰/۳۱ | ۰/۱۶ |

* <http://www.gilancement.com>

** <http://www.iran-ifc.com>

نمودار ۲ آورده شده است.

۲-۳- آب و ماده افزودنی فوق روان کننده

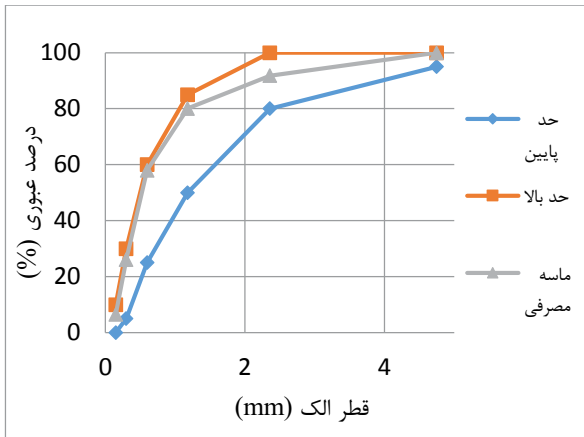
برای ساخت و عمل آوری نمونه‌های بتنی از آب شرب شهر رشت استفاده گردید. همچنین، برای تامین کارآیی مورد نیاز از فوق روان کننده پلی کربوکسیلات اتر P10-3R نیز استفاده شده است.

۲-۴- پودر باریت

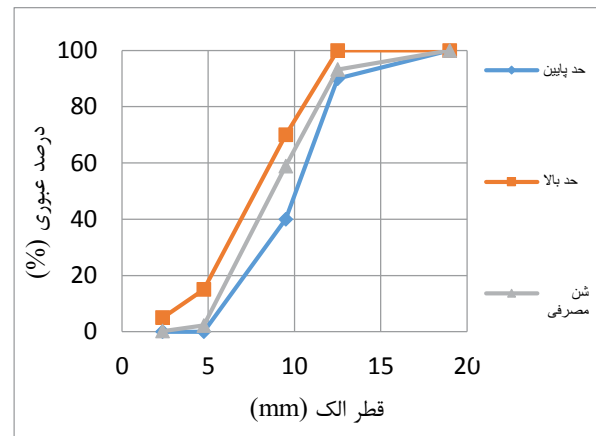
پودر باریت مصرفی از کارخانه‌ی کانی کاو کاشان دارای خصوصیات مندرج در جدول ۴ تهیه گردید. پودر باریت به عنوان

۳/۴ اینچ رد کرده و شن در محدوده ی دانه بندی ASTM C33 قرار گرفت. وزن مخصوص شن مصرفی ۶۳ gr/cm³، وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک آن ۲/۷ gr/cm³ و جذب آب آن ۲/۲ درصد و حداکثر اندازه ی آن ۱۹ میلی متر است. منحنی دانه بندی شن مصرفی در شکل ۱ نشان داده شده است.

ماسه‌ی مورد استفاده نیز از کارخانه ی تولید قطعات بتنی و از نوع رودخانه ای و با اندازه‌ی (۰-۳) است که در محدوده‌ی دانه بندی ASTM C33 قرار گرفت. وزن مخصوص ماسه‌ی مصرفی ۱/۷۴ gr/cm³، وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک آن ۲/۷ gr/cm³، جذب آب آن ۳/۸۵ درصد است. منحنی دانه بندی ماسه مصرفی در



شکل ۲. منحنی دانه بندی ماسه
Fig. 2. Sand granulation curve



شکل ۱. منحنی دانه بندی شن
Fig. 1. Sand granulation curve

جدول ۵. خصوصیات پودر گرافیت ***
Table 5. Properties of graphite powder

| | |
|-------------|-------------------------|
| عدد اتمی | ۶ |
| وزن مولکولی | ۱۲/۰۱ gr/mol |
| PH | >>۷ |
| وزن مخصوص | ۲/۲۲ gr/cm ³ |

***www.pourian-chemical.com

جدول ۴. خصوصیات پودر باریت *
Table 4. Properties of barite powder

| | |
|-----------------------------------|------------------------|
| وزن مخصوص | ۴/۲ gr/cm ³ |
| فلزات قلیایی محلول به عنوان کلسیم | ۱۲۰ ppm |
| PH | ۶/۵ |
| محلول در آب | ٪ ۰/۰۸ |

* www.kanikav.com

وزن سیمان نیز استفاده گردید. برای ساخت بتن، ابتدا سنگدانه‌ها به مدت ۱ دقیقه مخلوط شدند، سپس سیمان را اضافه کرده و بعد از ۱ دقیقه اختلاط نیمی از آب به آن اضافه و سپس بقیه آب به همراه فوق روان کننده محلول در آب در مدت ۱ دقیقه به آرامی به مخلوط اضافه شده است و عمل اختلاط ۱ دقیقه دیگر برای ترکیب کامل ادامه یافت. پس از اطمینان از اسلامپ مناسب بتن تازه (۳ تا ۵ سانتیمتر)، نمونه‌های استاندارد مکعبی ۱۰ سانتی متری برای کلیه آزمایش‌ها و نمونه‌های استاندارد استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتی متری فقط برای آزمایش کششی تهیه گردید. پس از ساخت، نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت عمل آوری مرطوب تا زمان آزمایش در آب نگهداری شدند. جدول ۶ طرح‌های اختلاط نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

۳- روش آزمایش و نتایج

آزمایش‌های انجام گرفته در سه بخش خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و آزمایش‌های غیر مخرب امواج اولتراسونیک و پرتو اشعه گاما ارزیابی شده‌اند. Ba=باریت، G=گرافیت و عدد بعد از Ba و G به

جایگزین ماسه که در محدوده استاندارد ASTM C33 قرار دارد استفاده شده است. وزن مخصوص پودر باریت $4/2 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد. پودر گرافیت استفاده شده جایگزین نسبی سیمان از شرکت شیمیایی پوریان تهران تهیه شده است. وزن مخصوص آن $2/22 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد. خصوصیات پودر گرافیت در جدول ۵ آورده شده است.

۲- نسبت‌های اختلاط و شیوه ساخت

در این تحقیق، نسبت‌های اختلاط بر اساس استاندارد ACI 211 طراحی شده است. نمونه‌ها در ۱۲ سری ساخته شده است که شامل بتن کنترل و بتن با درصدهای مختلف ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از پودر باریت جایگزین ماسه فاقد پودر گرافیت و حاوی ۱۰٪ پودر گرافیت می‌باشد. همچنین به میزان ۱۰٪ میکروسیلیس نیز به کلیه نمونه‌های حاوی مواد افزودنی اضافه شده است. نسبت آب به سیمان ۰/۴ و عیار سیمان کلیه‌ی مخلوط‌ها 400 kg/m^3 در نظر گرفته شده است. از فوق روان کننده با نسبت ۰/۳ درصد

جدول ۶. مشخصات طرح‌های اختلاط
Table 6. Specifications of the mix designs

| طرح اختلاط | نوع مخلوط | سیمان (kg/m ³) | شن (kg/m ³) | ماسه (kg/m ³) | آب (kg/m ³) | پودرباریت (%) | پودرگرافیت (%) | میکروسلیس (kg/m ³) |
|------------|-----------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|----------------|--------------------------------|
| ۱ | CC | ۴۰۰ | ۸۶۰ | ۸۲۰ | ۱۶۰ | - | - | - |
| ۲ | MS10 | ۳۶۰ | ۸۶۰ | ۸۲۰ | ۱۶۰ | - | - | ۴۰ |
| ۳ | Ba10 | ۳۶۰ | ۸۶۰ | ۷۳۸ | ۱۶۰ | ۱۰ | - | ۴۰ |
| ۴ | Ba25 | ۳۶۰ | ۸۶۰ | ۶۱۵ | ۱۶۰ | ۲۵ | - | ۴۰ |
| ۵ | Ba50 | ۳۶۰ | ۸۶۰ | ۴۱۰ | ۱۶۰ | ۵۰ | - | ۴۰ |
| ۶ | Ba75 | ۳۶۰ | ۸۶۰ | ۲۰۵ | ۱۶۰ | ۷۵ | - | ۴۰ |
| ۷ | Ba100 | ۳۶۰ | ۸۶۰ | ۰ | ۱۶۰ | ۱۰۰ | - | ۴۰ |
| ۸ | Ba10G10 | ۳۲۰ | ۸۶۰ | ۷۳۸ | ۱۶۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۴۰ |
| ۹ | Ba25G10 | ۳۲۰ | ۸۶۰ | ۶۱۵ | ۱۶۰ | ۲۵ | ۱۰ | ۴۰ |
| ۱۰ | Ba50G10 | ۳۲۰ | ۸۶۰ | ۴۱۰ | ۱۶۰ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ |
| ۱۱ | Ba75G10 | ۳۲۰ | ۸۶۰ | ۲۰۵ | ۱۶۰ | ۷۵ | ۱۰ | ۴۰ |
| ۱۲ | Ba100G10 | ۳۲۰ | ۸۶۰ | . | ۱۶۰ | ۱۰۰ | ۱۰ | ۴۰ |

شرایط مرطوب به طور پیوسته با سرعت ۰/۲۵ Mpa/s بارگذاری گردید.

مقاومت کششی: این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C496 به روش شکافت، بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با ارتفاع ۳۰ cm و قطر ۱۵ cm که بصورت افقی در دستگاه بتن شکن قرار داده شده انجام گردید (شکل ۳). سپس، مقدار تنش کششی از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد:

$$F_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا F_t تنش کششی (Mpa)، P بار شکست (N)، L طول نمونه (mm) و D قطر استوانه (mm) است.

۳-۳ سرعت پالس اولتراسونیک و پرتو دهی اشعه گاما
آزمایش سرعت پالس اولتراسونیک: منطبق بر استاندارد ASTM C597 انجام شده است. در آرایش مولدها از روش مستقیم که مطلوب‌ترین آرایش قرار گیری مولدها است استفاده گردید و فرکانس پالس‌های ارسالی ۶۰ kHz بوده است. همچنین مدت انتقال پالس بر حسب میکروثانیه و با دقت ۰/۱ میکروثانیه اندازه گیری شده

ترتیب نمایانگر مقدار درصد پودر باریت و پودر گرافیت در بتن است.

۳-۱ درصد جذب آب و چگالی

آزمایش درصد جذب آب: برای نمونه‌های ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM C642 انجام شده است. ابتدا نمونه بتنی را تا خشک کردن به جرم ثابت وزن کرده و بعد به مدت ۴۸ ساعت در آب تا حد اشباع کامل قرار می‌گیرد، سپس وزن نمونه با سطح خشک را اندازه گرفته و با استفاده از رابطه ، درصد جذب آب بدست می‌آید.

آزمایش چگالی بتن: هدف از این آزمایش تعیین وزن جامد بتن نسبت به حجم کل بتن سخت شده و بر اساس استاندارد ASTM C642 می‌باشد. اندازه گیری آن طبقه بندی بتن را مشخص می‌کند. در این آزمایش وزن جرم بتن نسبت به حجم آن در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) اندازه گیری می‌شود.

۳-۲ مقاومت‌های فشاری و کششی

مقاومت فشاری بتن: برای انجام آن، مطابق با استاندارد BS¹ 1881: part 116 نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی متری ۲۸ روزه در

1 British Standard



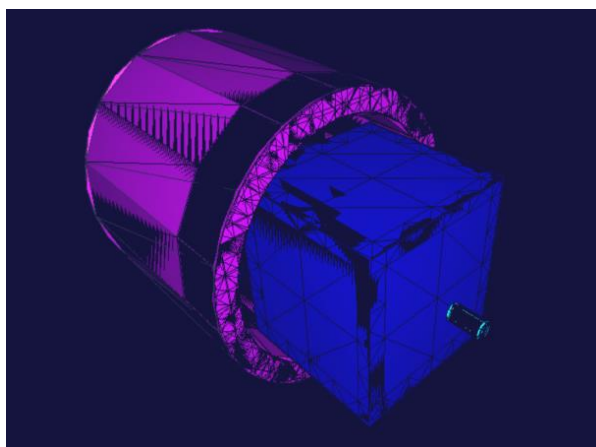
شکل ۴. چیدمان آزمایش پرتو دهی به بتن توسط چشمه گاما و شمارش توسط آشکار ساز NaI(Tl)

Fig. 4. Setup of the radiation test by gamma source and counting by the NaI (TI) detector



شکل ۳. تصویر نمونه دو نیم شده استوانه‌ای تحت آزمایش شکافت برزیلی

Fig. 3. Sample image of a two-pixel cylindrical test of Brazilian splitting test



شکل ۵. طرح فضایی سیستم بدست آمده از کد MCNP
Fig. 5. Spatial layout of the system derived from the MCNP code

در این آزمایش، ضرایب تضعیف خطی کلیه نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۲ تعیین گردید.

$$\mu = \frac{1}{X} \ln \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

در این رابطه، X ، ضخامت بتن بر حسب cm، I_0 تعداد شمارش ثبت شده در آشکارساز در عدم حضور نمونه و I تعداد شمارش ثبت شده در حضور نمونه بتنی است.

۳-۴ شبیه سازی با کد MCNP

MCNP، کد ترابرد ذرات به روش مونت کارلو^۱ است که به

است. بر اساس توصیه‌های مطرح شده توسط سایر محققان، فرکانس مطلوب جهت ارزیابی بتن در بازه ی ۸۰-۴۸ kHz قرار دارد.

آزمایش پرتو دهی: آزمایش پرتو نگاری بر روی نمونه‌های ۲۸ روزه که تحت اشعه گاما توسط چشمه CS-137 با انرژی ۳/۷MBq قرار گرفتند انجام شد. آشکارساز مورد استفاده یدور سدیم تالیوم دار NaI(Tl) به ابعاد «۲×۲» و تحلیلگر چند کاناله MCA و نرم افزار Cassy Lab نیز برای آنالیز نتایج مورد استفاده قرار گرفتند. ولتاژ اعمال شده به آشکارساز ۵۰۰ ولت است. نمونه‌های بتنی در فاصله ۲ سانتی‌متر از آشکارساز و ۱ سانتی‌متر از چشمه قرار داده شده‌اند. جهت کاهش تابش زمینه در اطراف آشکارساز حفاظ سربی قرار داده شد. شکل ۴ نحوه چیدمان آزمایش پرتو گاما را نشان می‌دهد.

1 Monte Carlo

مقدار عناصر موجود در خمیر سیمان شناسایی شده و ارزیابی نسبت Ca/Si در C-S-H امکانپذیر می‌گردد. دو آنالیز از نمونه‌های منتخب انجام شده است. برای بررسی اجمالی از نسبت Ca/Si، تحلیل EDS از ریزنگار SEM با بزرگنمایی یکسان استخراج گردید.

۴- نتایج آزمایش و تفسیر

۴-۱ درصد جذب آب و چگالی

نتایج درصد جذب آب مطابق شکل ۶ ارائه گردیده است. مطابق شکل می‌توان به این نتیجه رسید که وجود درصدهای مختلف پودر باریت و پودر گرافیت درصد جذب آب نمونه‌ها را کاهش می‌دهند. زیرا سولفات باریم که ماده اصلی پودر باریت است جذب آب پایینی دارد و گیرش سنگدانه‌ها با خمیر سیمانی را کاهش می‌دهد. همچنین این خصوصیات نیز در پودر گرافیت نیز وجود دارد و کاهش در صورت وجود پودر گرافیت به مراتب بیشتر است.

شکل ۷ نمودار چگالی ۲۸ روزه نمونه‌ها را نشان می‌دهد. پودر باریت به علت داشتن چگالی بالاتر نسبت به ماسه، با افزایش درصدی از آن در سری اول نمونه‌ها موجب افزایش چگالی نمونه‌های بتنی می‌گردد. اما در سری دوم که ترکیب درصدهای پودر باریت به همراه ۱۰ درصد پودر گرافیت است، به دلیل جایگزینی نسبی پودر گرافیت با چگالی کمتر (۲۲ gr/cm³) به جای سیمان باعث افت چگالی شده ولی با افزایش درصدهای پودر باریت، روند آن مطابق نمونه‌های سری اول افزایشی است. همان طور که مشخص است، وجود پودر باریت و پودر گرافیت باعث افزایش چگالی بتن مخصوصا

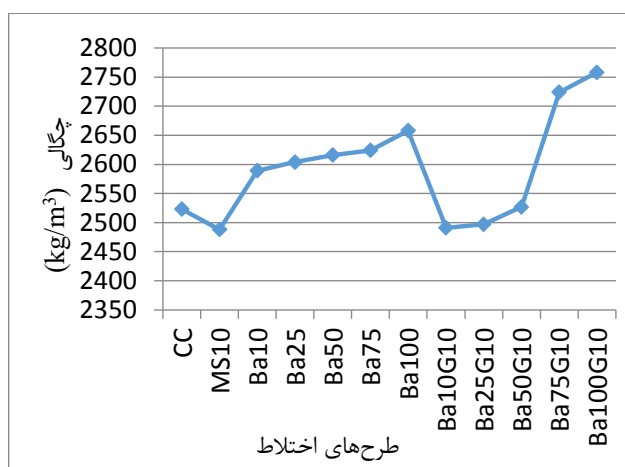
منظور مدل سازی تراپرد و اندرکنش ذرات رادیواکتیو با ماده استفاده می‌شود [۱۲] در این تحقیق ضرایب تضعیف خطی نمونه‌های بتنی، توسط کد MCNP نسخه X محاسبه گردید و مقایسه نیز بین نتایج تجربی و شبیه سازی صورت پذیرفت. یک برنامه MCNP شامل موارد زیر است:

- ۱- سلول: تعریف سلول شامل شماره سلول، شماره‌ی ماده، چگالی و شماره‌ی سطوح است.
- ۲- سطوح: سطوح مکعب، کره، استوانه، بیضی و ... که بر اساس شماره‌ی سطوح در کارت سلول تعریف می‌شوند، قابل استفاده‌اند.
- ۳- چشمه: ابتدا نوع چشمه و سپس سایر اطلاعات عمومی چشمه در کارت SDEF تعیین می‌شود.
- ۴- تعریف ماده در بتن: در این کد برای تعریف ماده باید درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده ماده بطور مشخص در برنامه وارد شود.
- ۵- تالی: اطلاعات خروجی کد از تالی F4 استفاده گردید. NPS نیز ۵۰۰۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

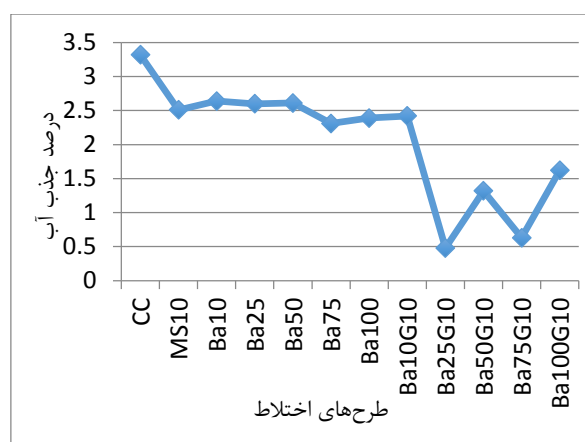
شکل ۵ فضا سازی طراحی چشمه و نمونه بتنی به همراه آشکارساز را در نرم افزار MCNP نسخه X نشان می‌دهد. جهت نوشتن کد، لازم است مشخصات بتن، آشکار ساز، ماده حفاظ سربی اطراف آشکارساز و چشمه را تعریف و سپس با استفاده از درصد وزنی عناصر موجود در بتن و همچنین سایر اطلاعات کد نویسی کامل می‌گردد.

۵-۳ آنالیز طیف سنجی پراکنده انرژی EDS

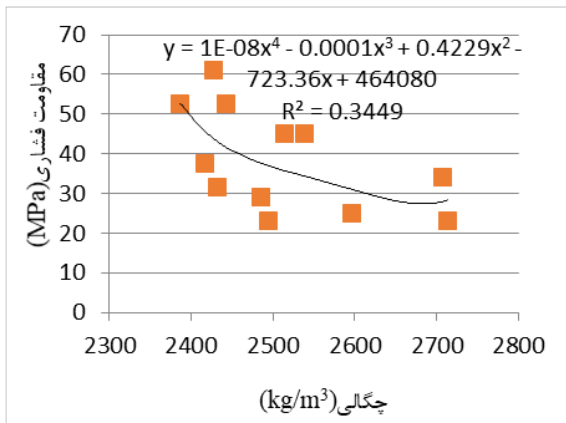
EDS برای ارزیابی ریز ساختار بتن بکار برده می‌شود که در آن



شکل ۷. تغییرات چگالی ۲۸ روزه
Fig. 7. 28-day density changes

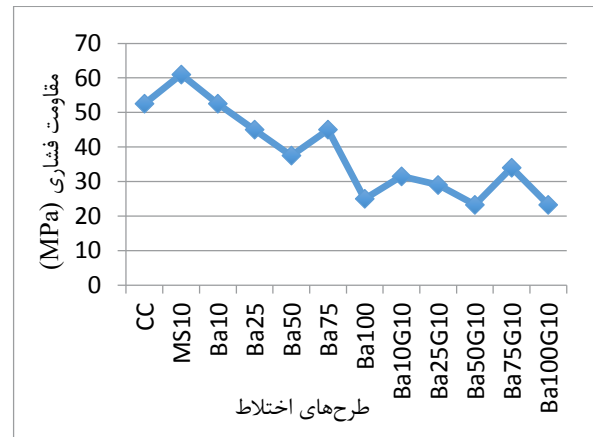


شکل ۶. درصد جذب آب ۲۸ روزه مخلوط‌های بتن
Fig. 6. Percentage of 28-day water absorption of concrete mixtures



شکل ۹. رابطه بین مقاومت فشاری و چگالی

Fig. 9. Relationship between compressive strength and density



شکل ۸. تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه
Fig. 8. 28-day compressive strength changes

یافت. قلی پور فیضی و همکاران [۱۳] از بتن سنگین تولیدی با سنگدانه‌های باریت مشاهده کردند که با وجود افزایش چگالی در نمونه‌ها مقاومت فشاری نه تنها افزایش پیدا نکرد بلکه کاهش قابل ملاحظه‌ای نیز داشت. همچنین یداللهی و همکاران [۱۴] از سرباره سرب استفاده کرده و بتن سنگین تولید نمودند، که در مطالعه آنها نیز رابطه مشخصی بین مقاومت فشاری و چگالی وجود نداشته است. می‌توان نتیجه گرفت که رابطه خطی مشخصی بین مقاومت فشاری و چگالی در بتن سنگین وجود ندارد، اما تحت معادله درجه ۴ به بالاترین ضریب همبستگی خود می‌رسد.

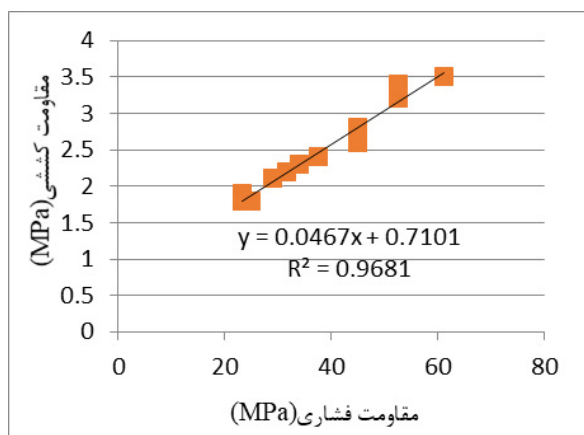
مقاومت کششی: به طور کلی بتن‌ها مقاومت کششی کمتری نسبت به مقاومت فشاری دارند و این آزمایش مقاومت کششی نمونه‌ها را نسبت به بتن کنترل مقایسه می‌کند. مقاومت کششی نسبت مستقیم با مقاومت فشاری دارد و تقریباً در حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد مقاومت فشاری است. شکل ۱۰ که نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها را نشان می‌دهد، می‌توان چنین استنباط کرد که استحکام کششی تنها به طبیعت و اندازه مصالح به کار رفته در ساخت بتن‌ها بستگی دارد، پس می‌توان مقاومت کششی را بیشتر به خمیر سیمان موجود و میزان چسبندگی ترکیبات خمیر به سنگدانه‌ها نسبت داد. از آنجایی که درصد جذب آب باریت بسیار کم است، از این رو چسبندگی خمیر به پودر باریت نیز کاهش می‌یابد. همچنین این کاهش با وجود پودر گرافیت به مراتب بیشتر نیز می‌شود اما روند افزایشی و یا کاهش‌ی هر دو سری نمونه‌ها تقریباً مشابه است. رابطه بین مقاومت فشاری و کششی همان گونه که در شکل ۱۱ مشخص است، پراکندگی متمرکز

برای نمونه‌های Ba100G10 و Ba75G10 می‌شود و آنها را در رده بتن‌های سنگین قرار می‌دهد.

۴-۱ مقاومت فشاری و کششی

مقاومت فشاری: هدف از انجام این آزمایش به دست آوردن نمونه ایده آل با مقاومت فشاری بالاتر در مقایسه با ضریب تضعیف خطی بهتر می‌باشد. مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌ها در شکل ۸ از میانگین گیری بین سه نمونه بدست آمده است. با توجه به شکل، تقریباً یک روند کاهش مقاومت فشاری در بین نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف پودر باریت و پودر گرافیت دیده می‌شود و این نمایانگر این است که بتن حاوی پودر باریت مقاومت فشاری بتن را نسبت به بتن کنترل کاهش می‌دهد. دلیل این رخداد را می‌توان به پائین بودن جذب آب پودر باریت نسبت داد که باعث کاهش چسبندگی آنها به خمیر سیمان می‌شود. همچنین این کاهش در صورت وجود پودر گرافیت بیشتر می‌شود. به خاطر جذب آب کمتر، چسبندگی آنها به مواد سیمانی کاهش پیدا کرده و بنابراین مقاومت فشاری نیز کاهش می‌یابد. وجود پودر باریت و پودر گرافیت اگرچه باعث افزایش چگالی بتن می‌شود، ولی مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. روند افزایشی و کاهش‌ی در نمونه‌های سری اول و دوم تقریباً یکسان است و نشان دهنده مقاومت فشاری بیشتر بتن کنترل نسبت به بتن حاوی پودر باریت است.

رابطه بین چگالی و مقاومت فشاری مطابق شکل ۹ است. در برخی از نمونه‌ها حتی با افزایش چگالی، مقاومت فشاری کاهش



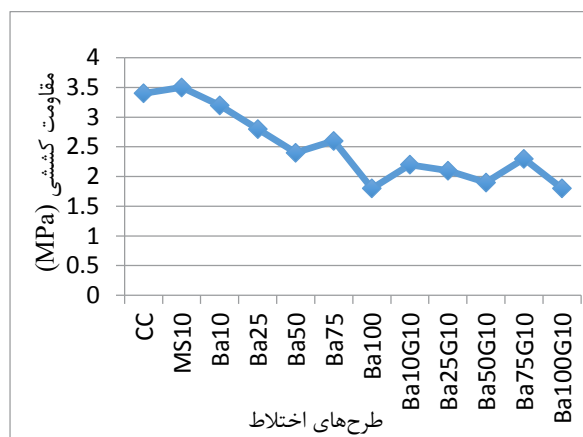
شکل ۱۱. رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی
Fig. 11. Relationship between compressive strength and tensile strength

به تنهایی و پودر باریت به همراه پودر گرافیت را نشان می‌دهد. در هر دو شکل ۱۳ و ۱۴ این رابطه خطی و ضریب همبستگی آن‌ها در محاسبه در حدود ۰/۸ است که نمایانگر رابطه مستقیم و قوی بین آن‌ها می‌باشد و افزایش یک پارامتر موجب افزایش پارامتر دیگر می‌شود و برعکس.

ضریب تضعیف خطی: ضریب تضعیف خطی بیشتر به این معناست که بتن در شرایط ایده آل تری قرار دارد و میزان کاهش شار خروجی پرتو گاما را نشان می‌دهد و این یعنی حفاظت بیشتر در برابر پرتو اشعه.

شکل ۱۵، ضرایب تضعیف خطی نمونه‌های بتنی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، ضریب تضعیف خطی نمونه حاوی ۱۰٪ پودر باریت به همراه ۱۰٪ پودر گرافیت از بقیه نمونه‌ها بیشتر است. به نظر می‌رسد که این نمونه دارای مقدار بهینه‌ای جهت حفاظت در برابر پرتو گاما است. کاهش شدید ضریب تضعیف خطی نمونه حاوی ۵۰٪ پودر باریت در بین سایر نمونه‌ها، با توجه به اینکه سرعت پالس اولتراسونیک آن نیز کاهش یافته منطقی به نظر می‌رسد و به نوعی صحت آزمایش‌های انجام شده را نشان می‌دهد.

همچنین شکل ۱۶ ضرایب تضعیف خطی بتن‌های حاوی پودر باریت به تنهایی و ترکیب آن را به همراه پودر گرافیت به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که بیشترین ضریب تضعیف خطی مربوط به طرح مخلوط ۱۰٪ پودر باریت به همراه ۱۰٪ پودر گرافیت است و نشان می‌دهد که این طرح حالت بهینه را بین سایر طرح‌های مخلوط جهت حفاظت در برابر پرتو گاما دارد. همچنین

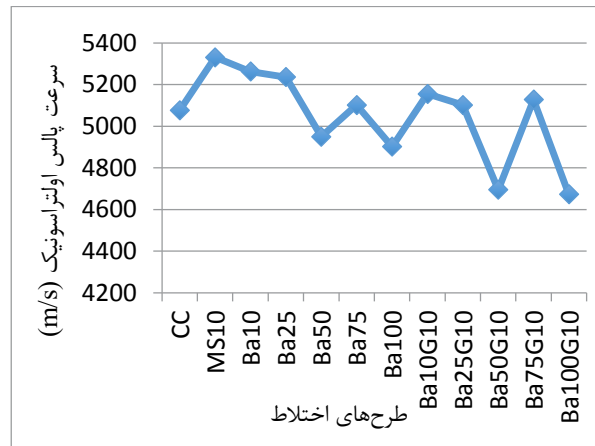


شکل ۱۰. تغییرات مقاومت کششی ۲۸ روزه
Fig. 10. 28-day tensile strength changes

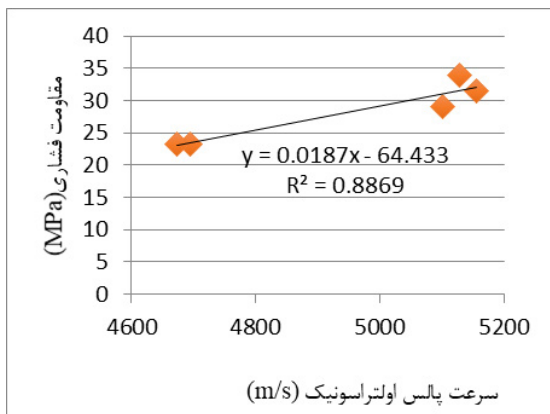
وجود رابطه خطی قوی بین آن‌ها را تأیید می‌کند و ضریب همبستگی بالا نمایانگر این رابطه مستقیم است.

۴-۲ آزمایش سرعت پالس اولتراسونیک و ضریب تضعیف خطی

آزمایش سرعت پالس اولتراسونیک: هدف از این آزمایش تعیین کیفیت بتن‌های ساخته شده است. شکل ۱۲ سرعت پالس اولتراسونیک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مطابق شکل، سرعت پالس اولتراسونیک نمونه حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس از بقیه طرح‌ها بیشتر است و این بیانگر این است که این طرح دارای کیفیت خمیر بهتری بواسطه خاصیت پوزولانی و پرکنندگی میکروسیلیس نسبت به سایر نمونه‌ها است. بعلاوه، روند تغییرات سرعت پالس هم راستا با تغییرات مقاومت فشاری است که نشان دهنده صحت آزمایشات است. در مجموع همه‌ی نمونه‌ها دارای سرعت پالس اولتراسونیک بیش از $m/ s4500$ هستند که مطابق با طبقه بندی وایت هرست [۱۵]، بیانگر کیفیت عالی بتن‌ها است. همچنین مخلوط حاوی ۱۰۰٪ پودر باریت به همراه ۱۰٪ پودر گرافیت دارای کمترین سرعت پالس اولتراسونیک است که نشان می‌دهد که این طرح علی‌رغم دارا بودن بالاترین چگالی در بین سایر طرح‌ها در برابر سرعت موج اولتراسونیک مقاوم تر است. بعلاوه، این نشان می‌دهد که سرعت موج التراسونیک بتن سنگین هم جهت با بتن معمولی نیست و نیاز به مطالعه بیشتری دارد. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نمایانگر روابط بین نمودارهای مربوط به اولتراسونیک و مقاومت فشاری در دو حالت حاوی پودر باریت

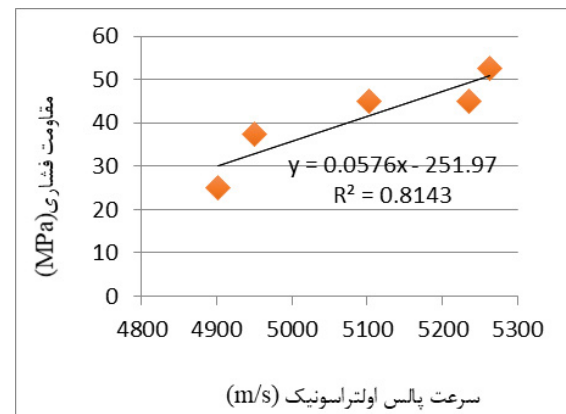


شکل ۱۲. نتایج سرعت پالس اولتراسونیک نمونه‌های ۲۸ روزه
 Fig. 12. Ultrasonic pulse velocity results of 28-day samples



شکل ۱۴. رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت پالس اولتراسونیک در نمونه‌های حاوی پودر باریت و پودر گرافیت

Fig. 14. Relationship between compressive strength and ultrasonic pulse velocity in samples containing barite powder and graphite powder



شکل ۱۳. رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت پالس اولتراسونیک در نمونه‌های حاوی پودر باریت

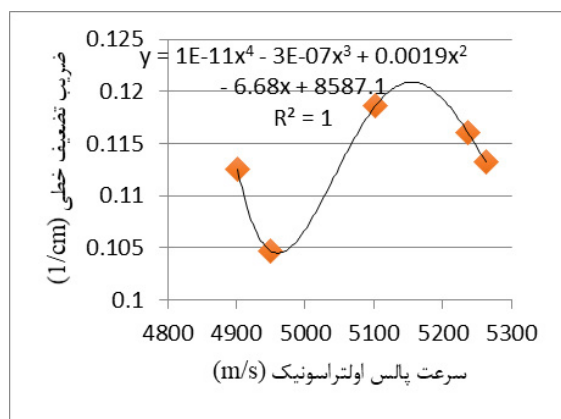
Fig. 13. Relationship between compressive strength and ultrasonic pulse velocity in samples containing barite powder

و اطمینان از صحت نتایج تجربی است. در کد MCNP، از درصد وزنی عناصر بدست آمده از نتایج آنالیز آزمایش EDS استفاده شده است. شکل‌های ۱۹ و ۲۰ به ترتیب عکس‌های الکترونی و شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نمودار آنالیز نمونه کنترل و نمونه منتخب ۱۰٪ باریت به همراه ۱۰٪ گرافیت را بعنوان نمونه مطلوب نشان می‌دهد. قسمت‌های مشخص شده بر روی شکل‌ها، بزرگنمایی شده و نمودار آنالیز نمونه‌ها از آن بدست آمده است. همچنین مشاهده می‌شود که حفره‌ها یعنی قسمت‌های تیره رنگ، در نمونه ی حاوی پودر باریت و گرافیت به مراتب بیشتر است و این فضاها ی خالی به معنای عدم چسبندگی است که علت افت مقاومت نیز می‌باشد. همچنین در نمونه کنترل

مشاهده می‌شود که وجود پودر گرافیت در نمونه‌ها منجر به افزایش ضریب تضعیف خطی شده و به این معنی است که وجود درصد کمی از پودر گرافیت نیز می‌تواند مؤثر گردد. همچنین شکل‌های ۱۷ و ۱۸ رابطه بین اولتراسونیک و ضریب تضعیف خطی را در دو حالت پودر باریت به تنهایی و پودر باریت به همراه پودر گرافیت نشان می‌دهد. ضریب همبستگی قوی نمونه‌ها با استفاده از معادله درجه ۴ بدست می‌آید.

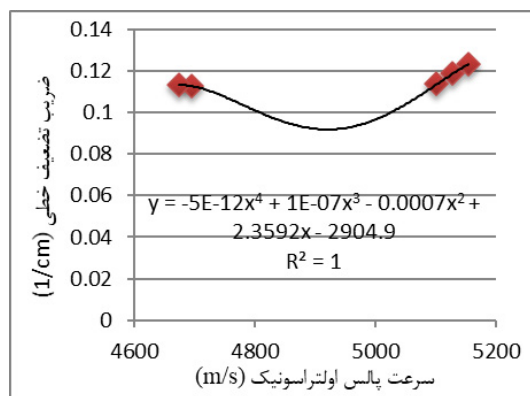
۳-۴ نتایج شبیه سازی

هدف از این شبیه سازی مقایسه نتایج تجربی با نتایج نظری



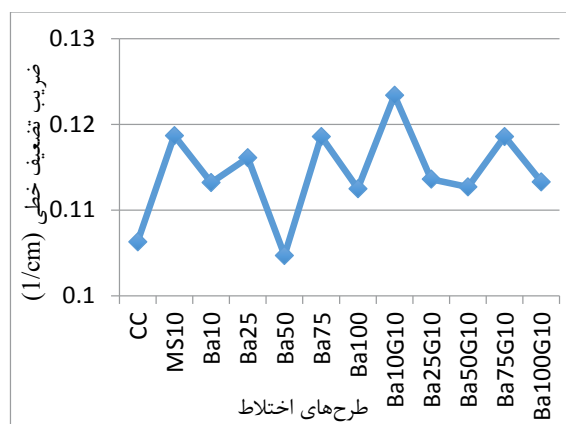
شکل ۱۷. رابطه سرعت پالس اولتراسونیک و ضریب تضعیف خطی در نمونه‌های حاوی پودر باریت

Fig. 17. Relationship between ultrasonic pulse velocity and linear attenuation coefficient in samples containing barite powder



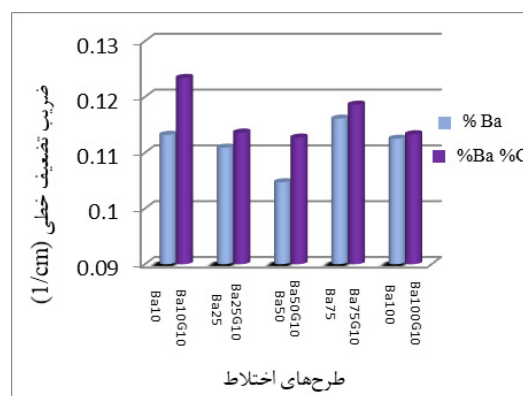
شکل ۱۸. رابطه سرعت پالس اولتراسونیک و ضریب تضعیف خطی در نمونه‌های حاوی پودر باریت و پودر گرافیت

Fig. 18. Relationship between ultrasonic pulse velocity and linear attenuation coefficient in samples containing barite powder and graphite powder



شکل ۱۵. ضرایب تضعیف خطی کلیه نمونه‌ها

Fig. 15. Linear attenuation coefficients of all samples



شکل ۱۶. مقایسه نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف پودر باریت و نمونه‌های ترکیبی حاوی پودر باریت و پودر گرافیت

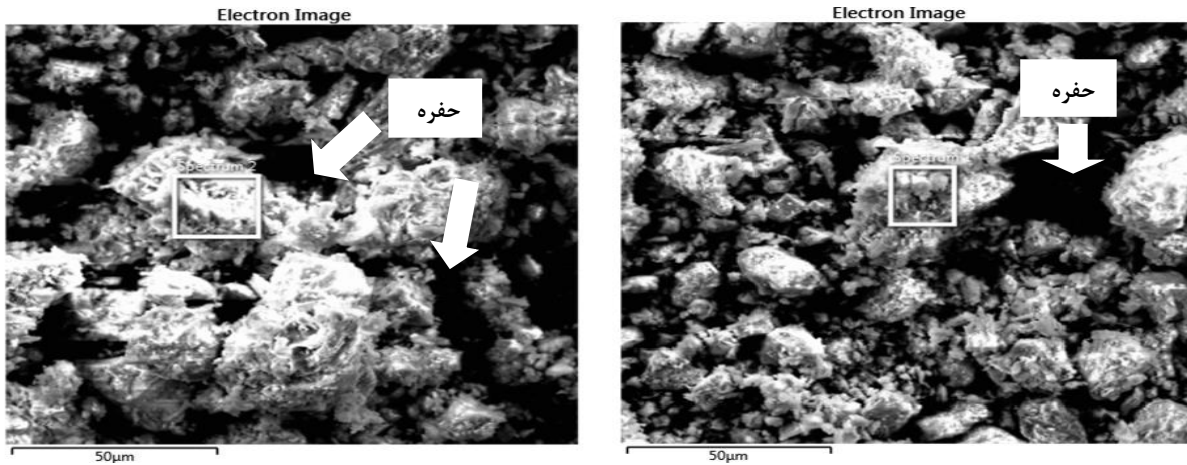
Fig. 16. Comparison of samples containing different percentages of barite powder and mixed samples containing barite powder and graphite powder

EDS استفاده شده است. در مطالعه پلنگ^۱ و همکاران [۱۶] گزارش شده که نسبت Ca/Si در C-S-H یک عامل اصلی در مقاومت مکانیکی ترکیبات سیمانی است. در شبیه سازی مولکولی پیش بینی شده است که Ca/Si در حدود ۱ می تواند ترکیب سیمانی ۶۰ تا ۹۰٪ سخت تر از بتن با Ca/Si برابر با ۱/۷ ایجاد کند. آنالیز EDS این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین Ca/Si در نمونه‌های شاهد بالاتر از ۱ است و میانگین نمونه‌های Ba10G10 کم تر از ۱ است و بنابراین از استحکام فشاری بالاتری برخوردار است.

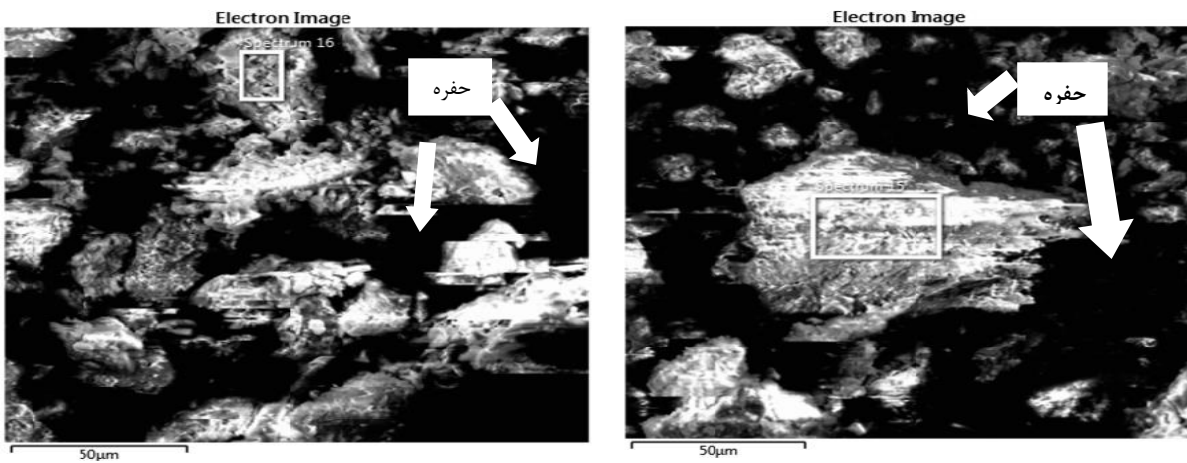
نتایج محاسبه ضرایب تضعیف خطی توسط کد MCNP

مقدار حفره‌ها کم تر و بطور نسبی مقاومت آن بالاتر است.

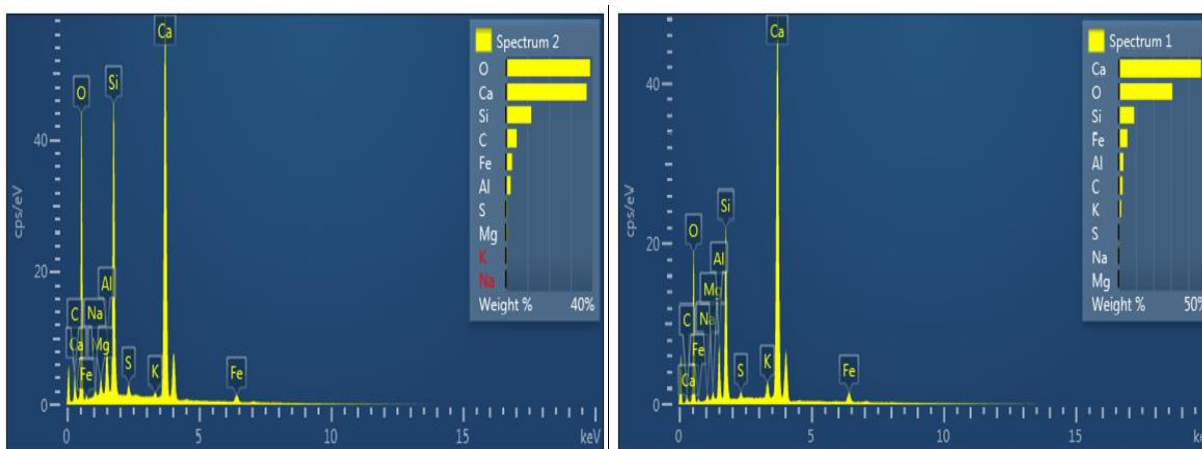
از روی نمودار آنالیز و درصد وزنی نمونه‌های منتخب به عنوان کم‌ترین و بیشترین ضریب تضعیف خطی، می توان نمودار شکل ۲۳ را بدست آورد. از این نمودار مقایسه ای بین درصد عناصر موجود در نمونه‌ها می توان به این نتیجه رسید که افزایش درصد عناصر موجود در بتن، در نمونه ۱۰٪ پودر باریت به همراه ۱۰٪ پودر گرافیت، به خصوص افزایش عناصر اکسیژن، کلسیم و سیلیسیم می تواند احتمالاً موجب افزایش ضریب تضعیف خطی در نمونه مورد نظر باشد. برای بررسی نسبت Ca/Si ماتریس سیمان مخلوط‌های منتخب از آنالیز



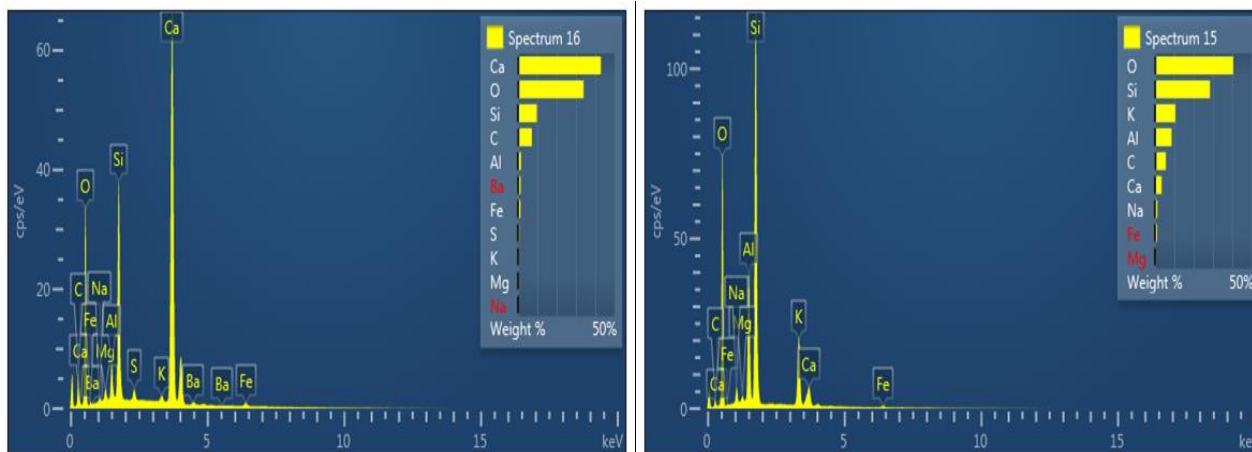
شکل ۱۹. عکس‌های الکترونی گرفته شده توسط آزمایش EDS برای نمونه کنترل
 Fig. 19. The electron images taken by the EDS test for the control sample



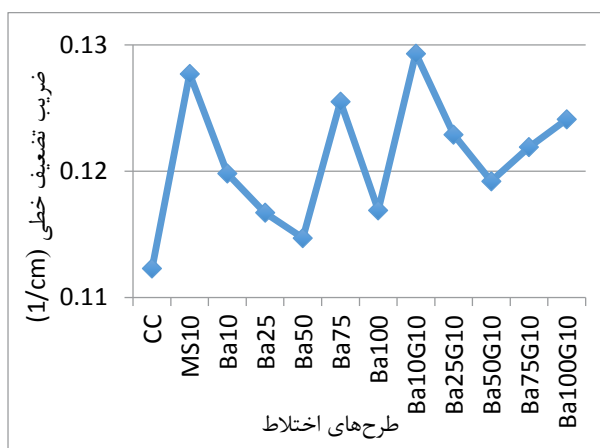
شکل ۲۰. عکس‌های الکترونی گرفته شده توسط آزمایش EDS برای نمونه Ba10G10
 Fig. 20. The electron images taken by the EDS test for the Ba10G10 sample



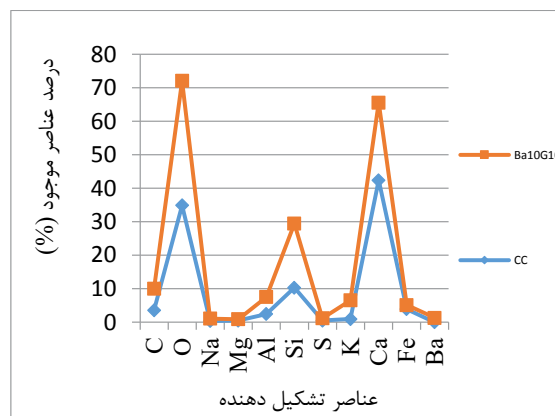
شکل ۲۱. نمودار آنالیز کنترل تحت آزمایش EDS
 Fig. 21. Analysis chart of control sample under EDS test



شکل ۲۲ نمودار آنالیز نمونه Ba10G10 تحت آزمایش EDS
Fig. 22. Analysis chart of Ba10G10 sample under EDS test



شکل ۲۴. ضرایب تضعیف خطی با کد MCNP
Fig. 24. Linear attenuation coefficients by MCNP code



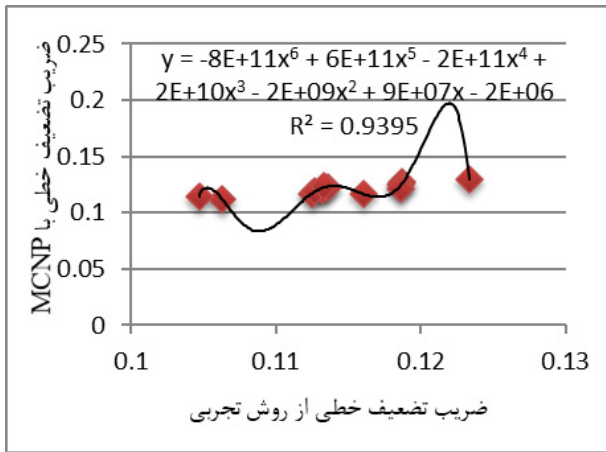
شکل ۲۳. نمودارهای مقایسه‌ای عناصر تشکیل دهنده نمونه کنترل و Ba10G10
Fig. 23. Comparison graphs of control element components and Ba10G10

داده شده است. ضریب همبستگی خطی آنها ۰/۷ در محاسبه بدست آمد که با توجه به شکل و استفاده از معادله درجه ۶ این مقدار تا ۰/۹ افزایش می‌یابد.

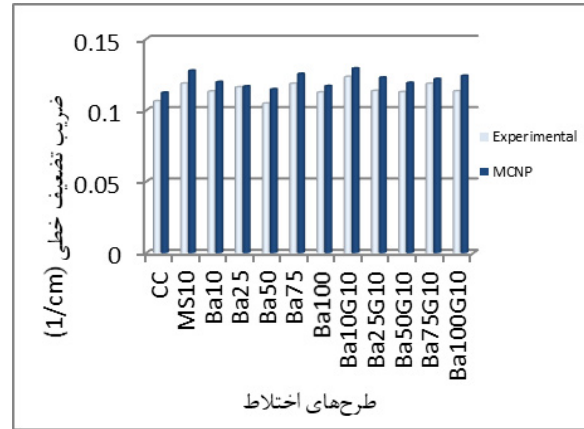
در این قسمت برای مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج دیگران چند نمونه مقاله به همراه نتایج آن‌ها آورده شده است. لازم به ذکر است که همه آزمایش‌ها تحت چشمه سزیم ۱۳۷ قرار گرفته است. یداللهی و همکاران در سال ۹۴ [۱۴]، از سرباره سرب جهت حفاظ در برابر پرتو گاما استفاده کرده و بتن سنگین تولید نمودند، در این تحقیق از دو نوع سرباره به میزان ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد با دو نوع چگالی استفاده شده است و علامت پریم نمایانگر سرباره سری

در شکل ۲۴ ارائه شده است. همچنین، نمودار مقایسه‌ای بین نتایج تجربی و شبیه سازی نیز در شکل ۲۵ نشان داده شده است. نتایج، توافق نسبتاً خوبی را بین این دو روش نشان می‌دهد. از آنجایی که شرایط هندسی در شبیه سازی مونت کارلو ایده آل فرض شده و تأثیر مقاومت بتن در آن منظور نمی‌شود، بنابراین مقدار ضرایب تضعیف محاسبه شده توسط کد MCNP در مقایسه با نتایج تجربی کمی بیشتر (در حدود ۵/۴۴ درصد) است و می‌توان گفت که روند افزایش و کاهش هر دو روش تقریباً یکسان است.

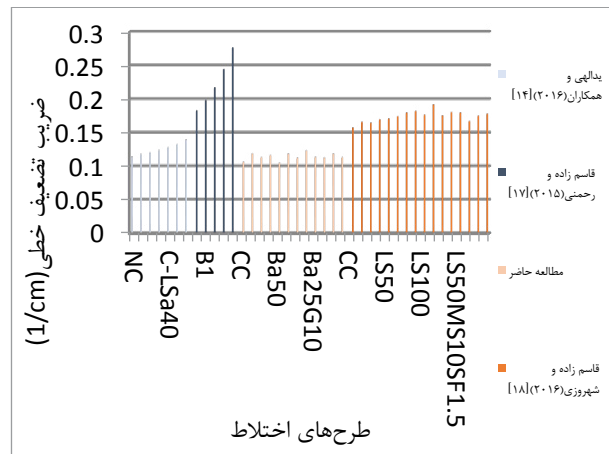
همچنین برازش نمودارهای مربوط به ضریب تضعیف خطی مطابق با نتایج تجربی و کد MCNP به صورت شکل ۲۶ نمایش



شکل ۲۶. رابطه ضریب تضعیف خطی تجربی و کد MCNP
 Fig. 26. Relationship between experimental linear attenuation coefficient and MCNP code



شکل ۲۵. مقایسه ضرایب تضعیف خطی اندازه‌گیری شده با محاسبه شده توسط کد MCNP
 Fig. 25. Comparison of measured linear attenuation coefficients with calculated by MCNP code



شکل ۲۷. مقایسه ضرایب خطی مطالعات مختلف
 Fig. 27. Comparison of linear coefficients of different studies

آن بود که نمونه حاوی ۱۰۰٪ سرباره و ۱۰٪ میکروسیلیس می‌تواند بهترین نتیجه را در بین نمونه‌ها داشته باشد. نتایج تحقیقات مذکور به همراه نتایج این پژوهش به صورت مقایسه‌ای در نمودار ۲۷ آورده شده است. اگر چه سرب می‌تواند تضعیف خطی را افزایش دهد، اما به دلیل هزینه بالا و خطرناک بودن آن برای انسان و محیط زیست بهتر است از مواد جایگزین استفاده شود. همچنین سنگدانه باریت به دلیل چگال تر بودن، بتن‌های سنگین را تولید می‌کند. در این پژوهش سعی بر این بود تا از پودر باریت در جهت کاهش هزینه و حمل و نقل راحت تر و حفاظ مناسب پرتو گاما با افزودنی پودر گرافیت استفاده شود. همچنین پودر باریت ناخالصی‌های کمتری نسبت به سنگدانه باریت داشته و می‌تواند گزینه مناسبی جهت استفاده در برابر پرتو گاما باشد. لازم به ذکر است که

دوم^۱ است. نتیجه این بود که سرباره نوع اول به دلیل بالا بودن چگالی آن گزینه بهتری جهت استفاده به عنوان حفاظ در برابر تابش گاما می‌باشد. قاسم زاده موسوی نژاد و رحمنی [۱۷] از سنگدانه باریت به مقدار ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به عنوان حفاظ گاما استفاده کردند. نتیجه نشان داد که سنگدانه باریت می‌تواند حفاظ مناسبی برای پرتو گاما باشد. قاسم زاده موسوی نژاد و شهروزی [۱۸] در تحقیقی دیگر از سرباره سرب با درصدهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ همراه و بدون ۱۰٪ میکروسیلیس استفاده کردند و نتایج حاکی از

* سرباره سرب سری اول بدست آمده از فرآیند ذوب باتری‌های فرسوده، خود ۱ درصد زیادی سرب است به همین دلیل دوباره آن را در کوره ذوب کرده تا سرب باقی مانده آن را جداسازی کنند. سرباره به دست آمده در این مرحله که به عنوان سرباره سری دوم شناخته می‌شود حاوی مقادیر سرب بسیار کم تری است.

- Energy, 37 (2010) 910-914.
- [3] C. Basyigit, I.Akkurt, A.Akkas, S.Kilincarslan, B.Mavi, K.Gunoglu, Determination of Some Heavyweight Aggregate Half Value Layer Thickness Used for Radiation Shielding, in Proceedings of the International Congress on Advances Applied Physics and Materials Science, in Antalya, (2012).
- [4] M.H.Kharita, S.Yousef, M.ALNassar, Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete, Progress in Nuclear Energy, 53 (2011) 207-211.
- [5] A. Neville, Properties of Concrete, John Wiley and Sons, Inc. New York, 4 (1996).
- [6] F. Bouzarjomehri, T. Bayat, M.H.Dashti, J.Ghisari, N.Abdoli, Co 60 γ -ray attenuation coefficient of barite concrete, Iran. J. Radiat. Res, (2006) 71-75.
- [7] W.A. Kansouh, Reactor Fast and Slow Neutrons and Total Gamma Rays Distributions through Different Locally Prepared Concretes, Journal of Nuclear Energy Science & Power Generation Technology, (2013).
- [8] M.H. Kharita, S.Yousef, M.ALNassar, The effect of carbon powder addition on the properties of hematite radiation shielding concrete, Progress in Nuclear Energy 51 (2009) 388-392.
- [9] T. Korkut, A.Karabulut, G.Budak, Investigation of neutron shielding properties depending on number of boron atoms for colemanite and tincal ores by experiments and FLUKA MONTE Carlo simulations, Applied Radiation and Isotopes, 70 (2012) 341.
- [10] H. Nulk, C.Ipbuker, V.Gulik, A.Biland, A.Tkaczyk, The investigation of gamma and neutron shielding properties of concrete including basalt fibre for nuclear energy applications, Conference: 2nd International Symposium on Cement-based Materials for Nuclear Wastes, At Avignon, France, (2014).
- [11] A. M. Madbouly, Amal A. El- Sawy, Calculation of Gamma and Neutron Parameters for Some Concrete Materials as Radiation Shields for Nuclear Facilities, International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, 3(8) (2018) 7-17.

نمونه‌های مطرح شده همگی در برابر چشمه سزیم ۱۳۷ قرار گرفتند اما فعالیت چشمه آن‌ها با یکدیگر متفاوت بوده است.

۵- نتیجه‌گیری

۱. از نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه و نمودار ضریب تضعیف خطی می‌توان این نتیجه را گرفت که وجود پودر باریت و پودر گرافیت در نمونه‌ها اگر چه ضریب تضعیف خطی را افزایش می‌دهند ولی مقاومت فشاری را کاهش خواهند داد.
۲. از روی نمودار مقایسه‌ای ضریب تضعیف خطی می‌توان این نتیجه را گرفت که وجود پودر گرافیت در بتن باعث افزایش ضریب تضعیف خطی نمونه‌ها می‌گردد.
۳. وجود بیشترین ضریب تضعیف خطی مربوط به پرتو گاما مطابق با نمودار شکل مربوطه، این نتیجه را بدست می‌دهد که مخلوط حاوی ۱۰٪ پودر باریت به همراه ۱۰٪ پودر گرافیت می‌تواند گزینه مناسبی جهت حفاظت در برابر پرتوگاما باشد. همچنین می‌توان کاهش مقاومت فشاری آن را در مقابل نمونه‌ی کنترل به وسیله افزایش درصد میکروسیلیس و افزودنی‌های دیگر جبران نمود.
۴. مقایسه بین نتایج شبیه سازی مونت کارلو با نتایج تجربی توافق نسبتاً خوبی را نشان داد و روند افزایشی و کاهش ضرایب تضعیف در هر دو روش با هم منطبق بودند.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند که از زحمات بی دریغ مسئولین آزمایشگاه بتن دانشگاه گیلان و همچنین مسئولین دانشکده فیزیک دانشگاه محقق اردبیلی به ویژه جناب آقای دکتر ذوالفقارپور مدیر تحصیلات تکمیلی و سرکار خانم دکتر عظیم خانی تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

- [1] A.B.Chilton, J.K. Shultis, and R.E. Faw, Principles of Radiation Shielding, Prentice-Hall Englewood Cliffs, 488 (1984).
- [2] I.Akkurt, H.Akyıldırım, B.Mavi, S.Kilincarslan, C.Basyigit, Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate, Annals of Nuclear

- [16] J.Ronald, M. Pellenq, A. Kushima, R. Shamsavari, J. Krystyn, V. Vliet, M. J. Buehler, S. Yip, F. J. Ulm, A realistic molecular model of cement hydrates, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(38), 2009, 16102-16107
- [17] S. H. Ghasemzadeh Mousavinejad, A. Rahmani, Investigating the effect of barite in concrete as a gamma-ray protective device, 10th International Congress on Civil Engineering, (2015) (in Persian.)
- [18] S. H. Ghasemzadeh Mousavinejad, A. Shahrouzi, Mechanical and Shielding properties of Concretes Containing Different Percentages of Lead Slag and Silica Fume against Gamma-Ray, Concrete research, (2016) 59-71 (in Persian.)
- [12] I. Akkurt, H. Akyıldırım, B. Mavi, S. Kilincarslan, C. Basyigit, Radiation shielding of concrete containing zeolite, Radiation Measurements, 45 (2010) 827-830.
- [13] M. Gholipour Feizi, A. Mojtehed, M. A. Lotfollahi Yaghin, Testing and Evaluating the Mechanical Properties of Concrete Made of Heavy Barite Aggregates, Structural Analysis Quarterly, 12(1) (2015) 35-42 (in Persian.)
- [14] A. Yadllahi, A. M. Ajorloo, A. R. Zolfaghari, Protection against gamma rays using heavy concrete containing lead slag, Engineering Geology Journal, 9 (2016) 3193-3206 (in Persian.)
- [15] E. A. Whitehurst, Soniscope Tests Concrete Structures, Journal of the American Concrete Institute, 47(1951) 443-444.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. H. Ghasemzadeh Mosavinejad, S. Kazemi Rad, Comparison of Concrete Containing Barite and Graphite Powder against Gamma-ray and MCNP Code, Amirkabir J. Civil Eng., 52(5) (2020) 1143-1158.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15248.5861](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15248.5861)

