

تحقیقات بتن

سال هشتم، شماره دوم

پائیز و زمستان ۹۴

ص ۷۱-۵۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۵

خصوصیات مکانیکی و محافظتی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره سرب و میکروسیلیس در برابر اشعه گاما

سید حسین قاسم‌زاده موسوی نژاد*

استادیار گروه سازه، دانشگاه گیلان

اشکان شهروزی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه گیلان

چکیده

در مطالعه حاضر، ضریب تضعیف خطی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره سرب و میکروسیلیس در برابر اشعه گامای ساطع شده از چشمه‌های $Co-60$ و $Cs-137$ به روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی مونت کارلو اندازه‌گیری شد. همچنین مقاومت فشاری و سرعت پالس اولتراسونیک نمونه‌ها تعیین گردید. دو سری مخلوط‌های بتنی طراحی و ساخته شدند. در ساخت مخلوط‌های سری اول درصد‌های مختلف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سرباره سرب جایگزین ماسه طبیعی شد و در ساخت مخلوط‌های سری دوم میکروسیلیس به اندازه ۱۰ درصد وزن سیمان به کلیه مخلوط‌های سری اول اضافه گردید. نتایج حاکی از تأثیر مثبت سرباره سرب و میکروسیلیس بر خواص محافظتی بتن‌ها در برابر اشعه گاما است به طوری که نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد سرباره سرب و میکروسیلیس که مقاومت فشاری مناسب ۶۲ مگا پاسکال را کسب کرد بالاترین ضریب تضعیف خطی را در برابر اشعه گاما نشان دادند. همچنین توافق نسبتاً خوبی بین نتایج روش تجربی و شبیه‌سازی مونت کارلو مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: اشعه گاما، بتن محافظ، سرباره سرب، ضریب تضعیف خطی، شبیه‌سازی مونت کارلو.

* نویسنده مسئول: h.mosavi@webmail.guilan.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه با سیر فزاینده پیشرفت علم و فن آوری، استفاده روزافزونی از اشعه رادیواکتیو در زمینه‌های مختلف مشاهده می‌شود. در کنار فایده‌های بسیار زیاد استفاده از رادیواکتیو، باید توجه داشت که این اشعه به سلول و بافت‌های زنده آسیب می‌رساند و حفاظ‌گذاری در برابر آن امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است [۱]. به منظور حفاظ‌گذاری در برابر اشعه، مواد جاذب باید دارای دانسیته بالا، ضریب تضعیف اشعه بالا و ویژگی‌های ساختاری مانند مقاومت بالا بوده و دارای قابلیت تهیه آسان و تولید ارزان باشند. با توجه به موارد مطرح‌شده در بالا، استفاده از بتن گزینه‌ای مناسب جهت حفاظ‌گذاری برای اشعه رادیواکتیو است [۲].

با توجه به این‌که بیشتر حجم بتن را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهند، بسته به نوع سنگدانه‌های استفاده‌شده در ساخت بتن، ویژگی‌های مکانیکی و خصوصیات محافظتی بتن در برابر اشعه بسیار متغیر خواهد بود. به نظر می‌رسد جایگزینی سرباره سرب با سنگدانه‌های طبیعی در مخلوط بتن، به دلیل وزن مخصوص بالای این سرباره و دربرداشتن عناصر سنگینی نظیر سرب، خواص محافظتی بتن در برابر اشعه را بهبود بخشد. ارزان بودن سرباره سرب نیز، تولید انبوه بتن حاوی این سرباره را دارای توجیه اقتصادی می‌کند. به‌علاوه، مصرف شدن سرباره سرب در بتن به کاهش انبساط این سرباره حاوی مواد سمی در محیط‌زیست می‌انجامد. همچنین جایگزینی این سرباره با سنگدانه‌های طبیعی منجر به حفظ منابع طبیعی می‌شود و اقدامی مناسب در جهت دستیابی به توسعه پایدار است. به‌علاوه، جهت ارتقا خواص محافظتی بتن در برابر اشعه با هدف کاستن از تخلخل و نفوذپذیری، استفاده از پوزولان‌های فعال امری اجتناب‌ناپذیر است. میکروسیلیس پوزولانی رایج است که به‌صورت افزودنی به مخلوط بتن اضافه می‌شود و به دلیل واکنش اکسید سیلیسیم موجود در آن با هیدروکسید کلسیم تولیدشده در فرآیند هیدراسیون سیمان منجر به کاهش تخلخل و نفوذپذیری و افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود [۳].

مطالعات بسیاری در زمینه بتن‌های محافظ در برابر اشعه انجام گرفته است. از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

باشتر خواص محافظتی در برابر اشعه را برای انواع مختلف بتن به دو روش تئوری و آزمایشگاهی بررسی کرد و توافق خوبی را بین مقادیر محاسبه‌شده و اندازه‌گیری شده گزارش کرد [۴]. نویل

درصدهای مختلف مگنتیت، ژئوتیت، هماتیت و ایلمنیت را جایگزین سنگدانه طبیعی نمود و خواص محافظتی بتن‌های ساخته‌شده را در برابر اشعه گاما اندازه‌گیری و گزارش کرد [۵]. آکورت و همکاران خواص محافظتی بتن‌های حاوی درصدهای مختلف باریت را بررسی کردند و تأثیر استفاده از مصالح باریتی به‌عنوان سنگدانه در بتن را بر بهبود خواص محافظتی بتن در برابر اشعه گاما مثبت ارزیابی کردند [۱]. آکورت و همکاران در پژوهشی دیگر، خواص محافظتی بتن‌های حاوی درصدهای مختلف ژئولیت را در برابر اشعه بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که بتن حاوی ژئولیت، محافظ مناسبی در برابر اشعه نیست [۶]. خاریتا و همکاران اثر اضافه کردن سه ترکیب بوریک اسید، بوریک فریت و بوراکس را در بتن، بر خواص مقاومتی و محافظتی در برابر اشعه گاما و نوترون بررسی کردند. نتایج حاکی از تأثیر مثبت اضافه کردن بوراکس در بتن با ضخامت ۱۰۰ سانتیمتر، برای جذب اشعه گاما بود [۷]. رضایی اچیلغ و همکاران خواص محافظتی بتن حاوی درصدهای مختلف سرب را بررسی کردند. مشاهدات حاکی از آن بود که افزودن پودر سرب به مقدار ۹۰٪ وزن سیمان در مخلوط بتن، بتن را به محافظی مناسب در برابر اشعه گاما تبدیل می‌کند [۸]. جنسل و همکاران در مقاله‌ای تأثیر هماتیت را بر خواص مکانیکی و محافظتی بتن در برابر اشعه‌ی گاما و نوترون بررسی کردند. نتایج آن‌ها حاکی از تأثیر مثبت هماتیت بر مقاومت بتن بود و همچنین افزایش مقدار هماتیت باعث تضعیف بیشتر اشعه گاما شد درحالی‌که در مورد نوترون، این افزایش به تضعیف بیشتر اشعه کمکی نکرد [۹]. سینق و همکاران خواص محافظتی بتن حاوی سرب به‌عنوان افزودنی و خاکستر بادی جایگزین سیمان را به دو روش شبیه‌سازی مونت کارلو و روش آزمایشگاهی بررسی کردند و نتایج را با بتن عادی حاوی خاکستر بادی مقایسه نمودند. نتایج تأثیر مثبت سرب در این نوع بتن را نشان داد [۱۰].

در مطالعه پیش رو، ضرایب تضعیف خطی بتن حاوی سرباره سرب و میکروسیلیس در برابر اشعه گاما توسط دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی مونت کارلو اندازه‌گیری شد. همچنین مقاومت فشاری و سرعت پالس اولتراسونیک مخلوط‌ها جهت ارزیابی قابلیت سازه‌ای و کیفیت بتن ساخته‌شده مورد بررسی قرار گرفت.

خصوصیات مکانیکی و محافظتی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره ...

عمل‌آوری آن‌ها بر مبنای توصیه‌های ارائه‌شده در استاندارد ASTM C511 انجام گرفت. نمونه‌ها پس از قالب‌گیری توسط میز ویبره متراکم شده و به وسیله نایلون پوشانده شدند. قالب‌ها بعد از ۲۴ ساعت باز شده و وزن مخصوص نمونه‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس، نمونه‌ها به حوضچه آب منتقل شدند و به مدت ۲۷ روز به صورت مستغرق در آب با دمای حدود 20 ± 2 درجه سلسیوس عمل‌آوری شدند. بعد از عمل‌آوری، یک سری از نمونه‌ها جهت انجام آزمایش پرتودهی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای 105 ± 5 درجه سلسیوس قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سایر نمونه‌هایی که برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و سرعت پالس اولتراسونیک آماده شده بودند، مدتی در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند تا سطح ظاهری‌شان خشک شود.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مصالح استفاده‌شده در ساخت بتن

	سرباره سرب (LS)	سیمان پرتلند (PC)	میکروسیلیس (SF)
SiO ₂	۲۲/۵	۲۱/۰۸	۹۶/۴۰
Al ₂ O ₃	۶/۹	۵/۳۶	۱/۳۲
Fe ₂ O ₃	-	۳/۶۴	۰/۸۷
CaO	۱۹	۶۴/۳۸	۰/۴۹
MgO	۱/۲	۲/۰۰ ± ۰/۱۰	۰/۹۷
SO ₃	-	۲/۱۰ ± ۰/۲۰	۰/۱۰
Na ₂ O	-	۰/۵	۰/۳۱
K ₂ O	-	۰/۸۲	۱/۰۱
P ₂ O	-	-	۰/۱۶
ZnO	۵/۶	-	-
FeO	۳۸/۶	-	-
Pb	۳/۲	-	-
Cu	۰/۹	-	-
Cr	۰/۳	-	-
Ag	۰/۵۵	-	-

جدول ۲- خواص فیزیکی سنگدانه‌های درشت، ریز و سرباره سرب

خواص	شن	ماسه	سرباره سرب
چگالی (gr/cm ³)	۱/۶۰	۱/۶۵	۳/۲۵
چگالی ظاهری (SSD)	۲/۷	۲/۷	۳/۶۴
جذب آب (%)	۲/۵	۳/۶	۴/۵

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- ویژگی‌های مصالح

مصالح مورد استفاده در ساخت مخلوط‌های بتن به شرح زیر است: مصالح سنگی: در این مطالعه، شن و ماسه طبیعی و رودخانه‌ای از کارخانه لوله‌سازی شمال واقع در شهر رشت تهیه گردید. دانه‌بندی سنگدانه‌ها در محدود استاندارد ASTM C33 قرار گرفت. سیمان: از سیمان پرتلند تیپ I-425 خمسه زنجان به منظور ساخت مخلوط‌های بتن استفاده گردید. سیمان مذکور دارای انطباق با استاندارد اروپا CEM I 42.5 N بود. آب: از آب شرب شهر رشت در ساخت و عمل‌آوری مخلوط‌های بتن استفاده گردید. آب شرب رشت، از لحاظ آشامیدن مشکل خاصی ندارد و معیارهای توصیه‌شده توسط استاندارد ASTM D1129 را رعایت می‌نماید.

سرباره سرب: سرباره سرب مورد استفاده در این مطالعه از شرکت ملی سرب و روی ایران واقع در شهر زنجان تهیه گردید. این سرباره جهت استفاده به عنوان ریزدانه، از الک نمره ۴ رد شد و قسمت ریزدانه آن در محدوده استاندارد ASTM C33 قرار گرفت. میکروسیلیس: میکروسیلیس مصرفی در این مطالعه از کارخانه فرو سلیس ایران تهیه گردید و به اندازه ۱۰٪ وزن سیمان به عنوان مکمل مواد چسباننده جایگزین سیمان گردید. فوق روان کننده: از فوق روان کننده محصول شرکت شیمی ساختمان و با نام تجاری فرکوپلاست P10-3R استفاده گردید. محصول مذکور بر پایه پلی کربوکسیلات‌های اصلاح‌شده نسل سوم و منطبق با استاندارد ASTM C494 Type G بود. مشخصات شیمیایی و فیزیکی مصالح مصرفی در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است.

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها و طرح اختلاط

طرح‌های اختلاط ارائه‌شده، مبتنی بر روش وزنی و بر اساس توصیه‌های ارائه‌شده در استاندارد ACI 211 است. نسبت آب به سیمان و عیار سیمان پس از آزمون و خطا، به ترتیب برابر ۰/۴ و 450 kg/m^3 در نظر گرفته شد. از فوق روان کننده با نسبت ۰/۳٪ وزن سیمان استفاده گردید. طرح‌های اختلاط و وزن مخصوص خشک (۱ روزه) مخلوط‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. آماده‌سازی و مخلوط کردن نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM C192 و

جدول ۳- طرح اختلاط نمونه‌های ساخته شده

وزن مخصوص خشک (یک‌روزه)	SP	MS	LS (S)	S	G	PC	W/C	MS	LS	مخلوط
Kg/m ³							-	%	%	
۲۴۴۹/۴	۱/۳۵	۰	۰	۷۶۲	۱۰۹۰	۴۵۰	۰/۴	۰	۰	CC
۲۴۴۸/۰	۱/۳۵	۴۵	۰	۷۶۲	۱۰۹۰	۴۰۵	۰/۴	۱۰	۰	MS10
۲۵۴۲/۶	۱/۳۵	۰	۲۵۷/۵۳	۵۷۱/۵	۱۰۹۰	۴۵۰	۰/۴	۰	۲۵	LS25
۲۵۳۱/۰	۱/۳۵	۴۵	۲۵۷/۵۳	۵۷۱/۵	۱۰۹۰	۴۰۵	۰/۴	۱۰	۲۵	LS25MS10
۲۶۰۱/۵	۱/۳۵	۰	۵۱۵/۰۶	۳۸۱	۱۰۹۰	۴۵۰	۰/۴	۰	۵۰	LS50
۲۵۸۹/۸	۱/۳۵	۴۵	۵۱۵/۰۶	۳۸۱	۱۰۹۰	۴۰۵	۰/۴	۱۰	۵۰	LS50MS10
۲۷۰۹/۲	۱/۳۵	۰	۷۷۲/۵۸	۱۹۰/۵	۱۰۹۰	۴۵۰	۰/۴	۰	۷۵	LS75
۲۶۵۶/۸	۱/۳۵	۴۵	۷۷۲/۵۸	۱۹۰/۵	۱۰۹۰	۴۰۵	۰/۴	۱۰	۷۵	LS75MS10
۲۷۲۶/۶	۱/۳۵	۰	۱۰۳۰/۱۱	۰	۱۰۹۰	۴۵۰	۰/۴	۰	۱۰۰	LS100
۲۷۳۸/۸	۱/۳۵	۴۵	۱۰۳۰/۱۱	۰	۱۰۹۰	۴۰۵	۰/۴	۱۰	۱۰۰	LS100MS10

LS: سرباره سرب PC: سیمان پرتلند MS: میکروسیلیس SP: فوق روان کننده

۳-۲- مقاومت فشاری

از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰ cm جهت تعیین مقاومت فشاری ۲۸ روزه استفاده گردید. نمونه‌ها مطابق استاندارد BS 1881: part 116 و با سرعت بارگذاری ۲/۵ KN/s مورد آزمایش قرار گرفتند.

۵-۲- پرتودهی

مونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰ cm به مدت ده دقیقه تحت تابش اشعه گامای ساطع شده از چشمه‌های Cs-137 و Co-60 قرار گرفتند. اکتیویته چشمه‌ها به ترتیب ۱/۱ و ۱/۰ میکرو کوری بود. Cs-137 فوتونی با انرژی ۰/۶۶۲ Mev و Co-60 دو فوتون با انرژی‌های ۱/۱۷۳ Mev و ۱/۳۳۲ Mev گسیل می‌کنند. اثر زمینه سه بار در غیاب چشمه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

از کولیماتور^۱ سربی استوانه‌ای با قطر خارجی ۱۲/۵ سانتیمتر و دارای حفره داخلی به صورت مخروط ناقص با قطر قاعده پایینی ۳ سانتی‌متر، قطر قاعده بالایی ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ سانتی‌متر در اطراف چشمه استفاده شد. نمونه بتنی در فاصله ۴ سانتی‌متر از چشمه قرار داده شدند. در این آزمایش از آشکارساز NaI(Tl) سه اینچ ساخت شرکت Amcrys روسیه استفاده شد. آشکارساز در فاصله ۱۷ سانتی‌متر از چشمه قرار داده شد و از استوانه سربی با قطر داخلی ۸/۵ سانتی‌متر و قطر خارجی ۱۲/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به‌عنوان حفاظ اطراف آشکارساز استفاده شد.

۴-۲- سرعت پالس اولتراسونیک (UPV)

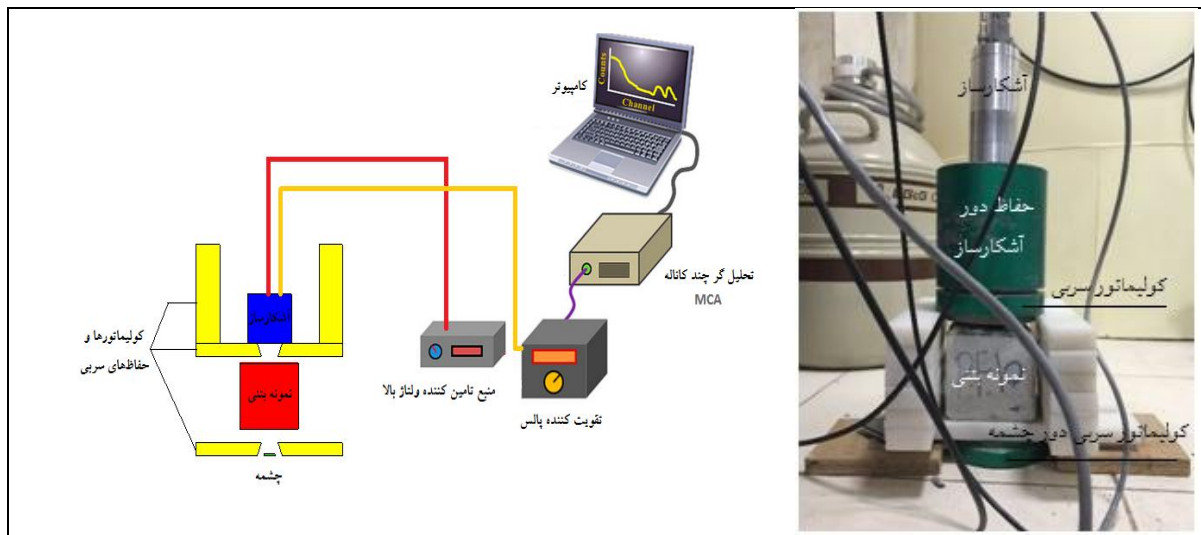
سرعت عبور امواج فراصوتی در سن ۲۸ روز برای نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰ cm مطابق استاندارد ASTM C597 مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در آرایش مولدها از روش مستقیم که مطلوب‌ترین آرایش قرارگیری مولدهاست استفاده گردید. فرکانس پالس‌های ارسالی ۶۰ kHz بود و مدت انتقال پالس برحسب میکروثانیه و با دقت ۰/۱ میکروثانیه اندازه‌گیری شد. بر اساس توصیه دیگر محققان، فرکانس مطلوب جهت ارزیابی بتن در بازه ۴۸-۸۰ kHz قرار دارد [۱۱]. دمای نمونه‌های بتنی، هم‌دمای آزمایشگاه (۲۵±۵) و طول مسیر نیز برابر ضخامت نمونه‌ها (۱۰ cm) بوده است.

¹ Collimator

خصوصیات مکانیکی و محافظتی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره ...

همچنین از کولیماتور سربی استوانه‌ای با قطر خارجی ۱۲/۵ سانتیمتر و دارای حفره داخلی به صورت مخروط ناقص با قطر قاعده پایینی ۲ سانتی‌متر، قطر قاعده بالایی ۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ سانتی‌متر در جلوی آشکارساز استفاده گردید. ولتاژ اعمال شده به شکل ۱ ارائه گردیده است.

همچنین از کولیماتور سربی استوانه‌ای با قطر خارجی ۱۲/۵ سانتیمتر و دارای حفره داخلی به صورت مخروط ناقص با قطر قاعده پایینی ۲ سانتی‌متر، قطر قاعده بالایی ۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ سانتی‌متر در جلوی آشکارساز استفاده گردید. ولتاژ اعمال شده به



شکل ۱- چیدمان آزمایش پرتودهی

۳-۲- چشمه

چشمه‌ها به صورت سطحی استوانه‌ای با توزیع ناهمگن توسط کارت چشمه عمومی SDEF و سایر پارامترهای مورد نیاز به کد معرفی شدند. راستای تابش ذرات جهت مثبت محور Z و عمود بر سطح بتن و آشکارساز در نظر گرفته شد.

۳-۳- تعریف ماده بتن

در کد MCNP، برای تعریف ماده باید درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده ماده مشخص باشد. به این منظور درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده کلیه مخلوط‌های بتنی بر مبنای نسبت‌های اختلاط و ترکیب شیمیایی اجزای سازنده (حاصل از آنالیز XRD و XRF و همچنین گزارش ارائه شده توسط کارخانه سازنده مصالح) محاسبه شد و در جدول ۴ ارائه گردید.

۳-۴- تعریف تالی^۲

خروجی کد، بر اساس نوع مسئله از تعریف تالی‌های مختلف حاصل می‌شود. به منظور محاسبه شار حجمی در سلول مربوط به

۳- شیب‌سازی با کد MCNP

MCNP، کد ترابرد ذرات به روش مونت کارلو^۱ است که به منظور مدل‌سازی ترابرد و اندرکنش ذرات رادیواکتیو با ماده استفاده می‌شود. این کد از کتابخانه‌های سطح مقطع برهم کنش‌های هسته‌ای استفاده می‌کند و کمیت‌های مورد نیاز را با خطای نسبی معین محاسبه می‌کند [۶]. در پژوهش حاضر، ضرایب تضعیف خطی برای کلیه مخلوط‌های بتنی ساخته شده، علاوه بر روش تجربی، توسط کد MCNP نسخه 4C نیز محاسبه گردید و بین نتایج تجربی و شیب‌سازی مقایسه صورت پذیرفت.

۳-۱- هندسه مدل

در کد MCNP، هندسه مدل توسط کارت‌های سلول و سطوح تعریف می‌شود. نمونه‌های مکعبی بتن توسط شش سطح صفحه‌ای موازی محورهای اصلی و آشکارساز توسط یک سطح استوانه‌ای موازی محور Z و دو سطح صفحه‌ای عمود بر محور اصلی استوانه به کد معرفی گردیدند. کولیماتورها و حفاظ‌های سربی نیز توسط سطوح استوانه‌ای، مخروطی و صفحه‌ای تعریف شدند.

² tally

¹ Monte Carlo

آشکارساز، تالی F4 به کد معرفی گردید. کنترل‌های آماری تأیید شد و خطای نسبی تاریخچه کلیه ذرات NPS=37500000 انتخاب شد. پس از اجرای کد، کلیه کمتر از ۱۰٪ به دست آمد.

جدول ۴- نسبت وزنی عناصر تشکیل‌دهنده مخلوط‌های بتن

LS100 MS10	LS100	LS75 MS10	LS75	LS50 MS10	LS50	LS25 MS10	LS25	MS10	CC	
۰/۱۷۶۹	۰/۱۷۱۲	۰/۱۹۲۷	۰/۱۸۶۸	۰/۲۰۹۲	۰/۲۰۳۲	۰/۲۲۶۷	۰/۲۲۰۵	۰/۲۴۵۰	۰/۲۳۸۶	Si
۰/۰۴۱۸	۰/۰۴۲۱	۰/۰۴۳۲	۰/۰۴۳۶	۰/۰۴۴۸	۰/۰۴۵۱	۰/۰۴۶۴	۰/۰۴۶۷	۰/۰۴۸۰	۰/۰۴۸۴	Al
۰/۱۳۶۴	۰/۱۳۶۷	۰/۱۱۴۴	۰/۱۱۴۷	۰/۰۹۱۳	۰/۰۹۱۶	۰/۰۶۶۹	۰/۰۶۷۳	۰/۰۴۱۳	۰/۰۴۱۷	Fe
۰/۱۴۷۸	۰/۱۵۵۳	۰/۱۴۳۶	۰/۱۵۱۳	۰/۱۳۹۱	۰/۱۴۷۰	۰/۱۳۴۵	۰/۱۴۲۵	۰/۱۲۹۵	۰/۱۳۷۸	Ca
۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۷۹	Mg
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۸	S
۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۹۱	۰/۰۱۰۴	۰/۰۱۰۴	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۳۲	Na
۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۸۲	۰/۰۲۰۷	۰/۰۲۰۷	K
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸	P
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	Mn
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	V
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۷	Ti
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	Cl
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	Ba
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	Sr
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	Rb
۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	Cu
۰/۰۲۰۹	۰/۰۲۰۹	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	Zn
۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	As
۰/۰۱۲۰	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	Pb
۰/۰۲۰۹	۰/۰۲۰۹	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	Sb
۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	Cr
۰/۳۹۹۵	۰/۳۹۶۸	۰/۴۱۷۸	۰/۴۱۵۲	۰/۴۳۷۲	۰/۴۳۴۴	۰/۴۵۷۵	۰/۴۵۴۷	۰/۴۷۸۹	۰/۴۷۶۰	O
۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۸۱	H

۴- نتایج و بحث

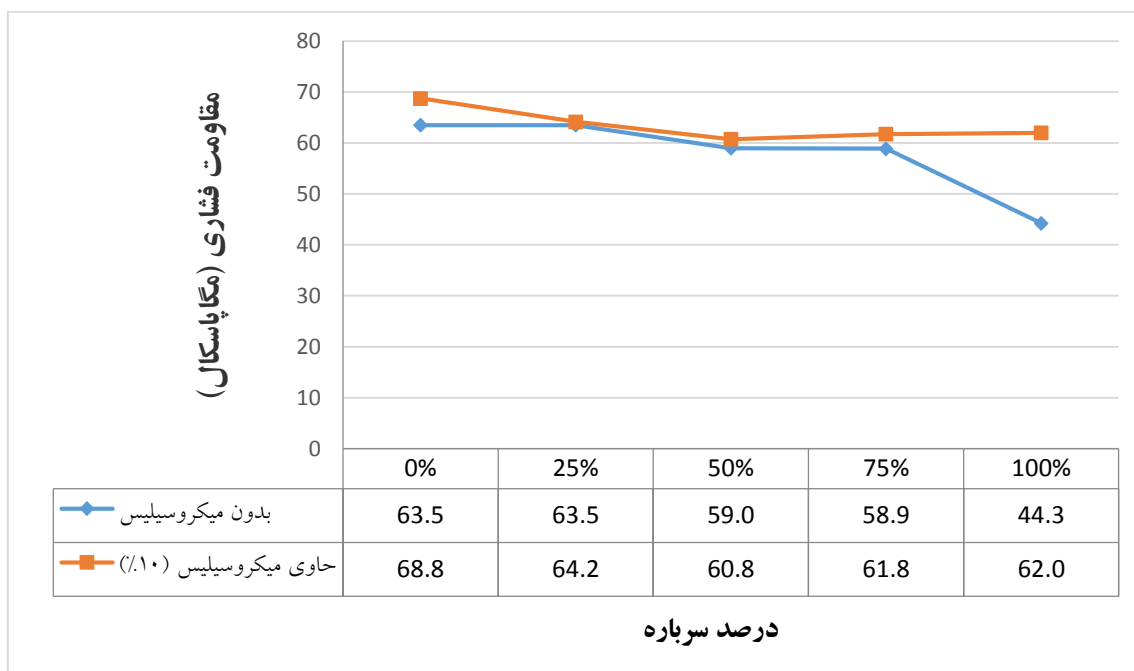
۴-۱- مقاومت فشاری

محسوس و ۲۴/۸ درصدی مقاومت فشاری گردید. به نظر می‌رسد با افزایش میزان سرباره سرب، با توجه به اینکه سرباره سرب نسبت به ماسه مصرفی حاوی مقدار کمتری عنصر سیلیسیم است، مقدار سیلیسیم موجود در بتن کاهش یافته و ژل هیدرو سیلیکات کلسیم کمتری در فرآیند هیدراسیون تولید می‌شود که در نتیجه آن مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. این کاهش شدید مقاومت با افزودن میکروسیلیس با نسبت ۱۰٪ وزن سیمان جبران گردید. چنین

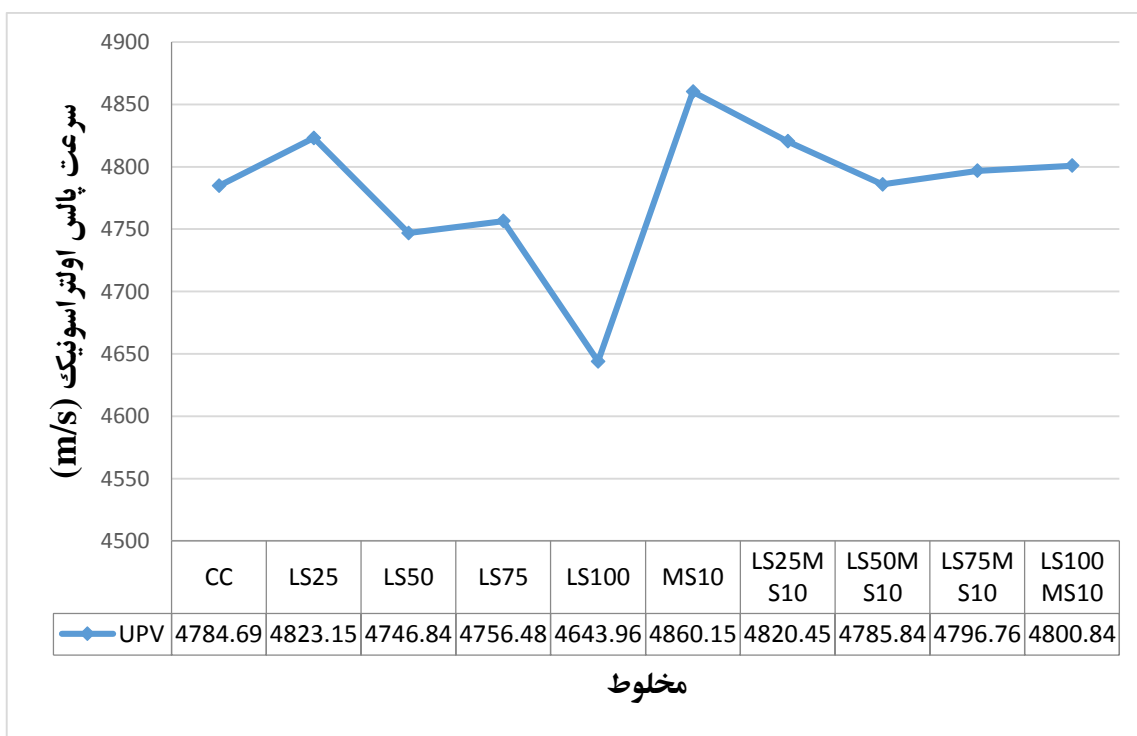
مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. کلیه نتایج از میانگین‌گیری بین سه نمونه به دست آمد. همان‌طور که در شکل مشخص است، با افزایش مقدار سرباره سرب جایگزین ماسه از ۰ تا ۷۵ درصد، مقاومت فشاری با اندکی کاهش مواجه شد. افزایش میزان سرباره سرب از ۷۵ به ۱۰۰ درصد باعث کاهش

خصوصیات مکانیکی و محافظتی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره ...

رفتاری در مقاله تحقیقی نبوی و قاسم‌زاده موسوی نژاد [۱۲] نیز گزارش شده است. همچنین مقایسه بین نمونه‌های حاوی میکروسیلیس با نمونه‌های بدون میکروسیلیس حاکی از آن است که افزودن پودر میکروسیلیس با نسبت ۱۰٪ وزن سیمان به مخلوط‌های حاوی ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد سرباره سرب جایگزین ریزدانه، مقاومت فشاری را به ترتیب ۸/۳، ۱/۱، ۳/۱، ۴/۹ و ۴۰/۰ درصد افزایش می‌دهد که این افزایش در مورد نمونه حاوی ۱۰۰٪ سرباره سرب، محسوس است.



شکل ۲- مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌ها بر حسب درصد سرباره



شکل ۳- سرعت پالس اولتراسونیک مخلوط‌های بتن

۲-۴- سرعت پالس اولتراسونیک (UPV)

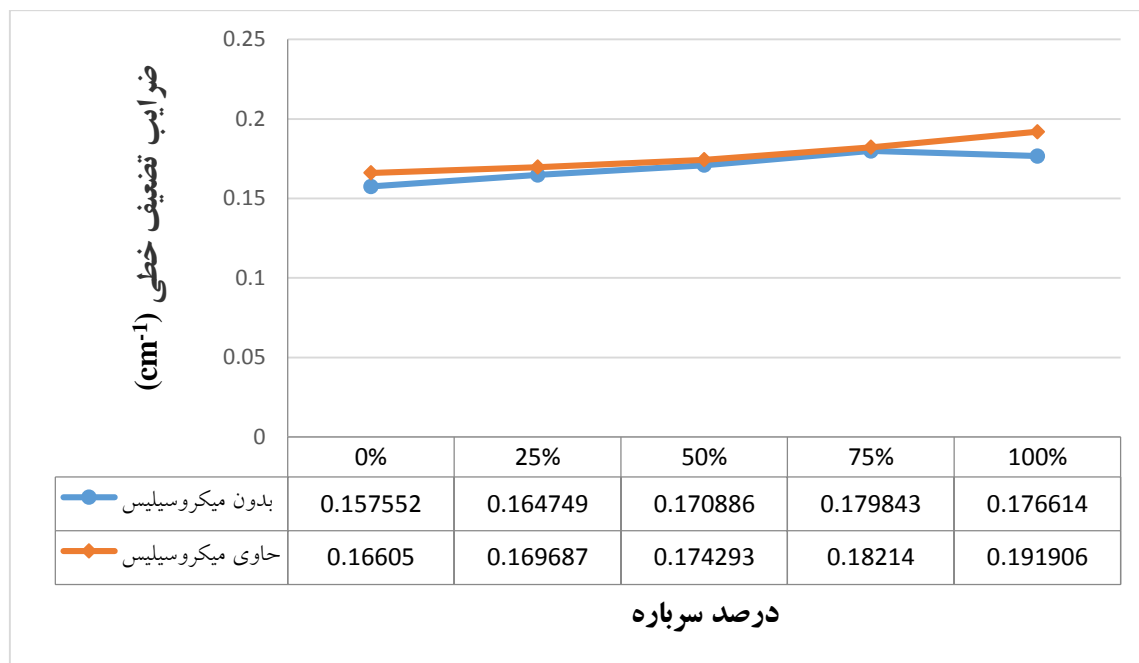
سرعت پالس اولتراسونیک برای مخلوط‌های بتنی ۲۸ روزه در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج ارائه شده برای هر مخلوط، حاصل میانگین‌گیری بین سه نمونه است. مقادیر سرعت پالس مخلوط‌های بتنی در محدوده ۴۸۶۰-۴۶۴۴ m/s قرار گرفتند. مطابق طبقه‌بندی وایت‌هرست^۱، سرعت پالس بیشتر از ۴۵۰۰ m/s بیانگر کیفیت عالی بتن است بنابراین کلیه مخلوط‌های بتنی به‌عنوان بتن‌های باکیفیت عالی تلقی می‌شوند. بیشترین و کم‌ترین مقدار سرعت پالس به ترتیب مربوط به نمونه MS10 و LS100 بود که بالاترین و پایین‌ترین مقدار مقاومت فشاری را در بین کلیه مخلوط‌ها دارا بودند. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که افزودن میکروسیلیس به مخلوط‌ها به افزایش سرعت پالس اولتراسونیک و در نتیجه بهبود کیفیت بتن منجر می‌شود که این بهبود کیفیت به معنی بتنی با خلل و فرج کم‌تر و در نتیجه بتن نفوذناپذیرتر است که این کاهش نفوذپذیری بتن تا حدودی باعث بهبود خواص محافظتی بتن در برابر اشعه گاما می‌شود.

۳-۴- ضریب تضعیف خطی

ضرایب تضعیف خطی کلیه نمونه‌های بتنی تعیین گردید. در محاسبه این ضریب از رابطه ۱ موسوم به رابطه بیر-لمبرت^۲ استفاده شد:

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

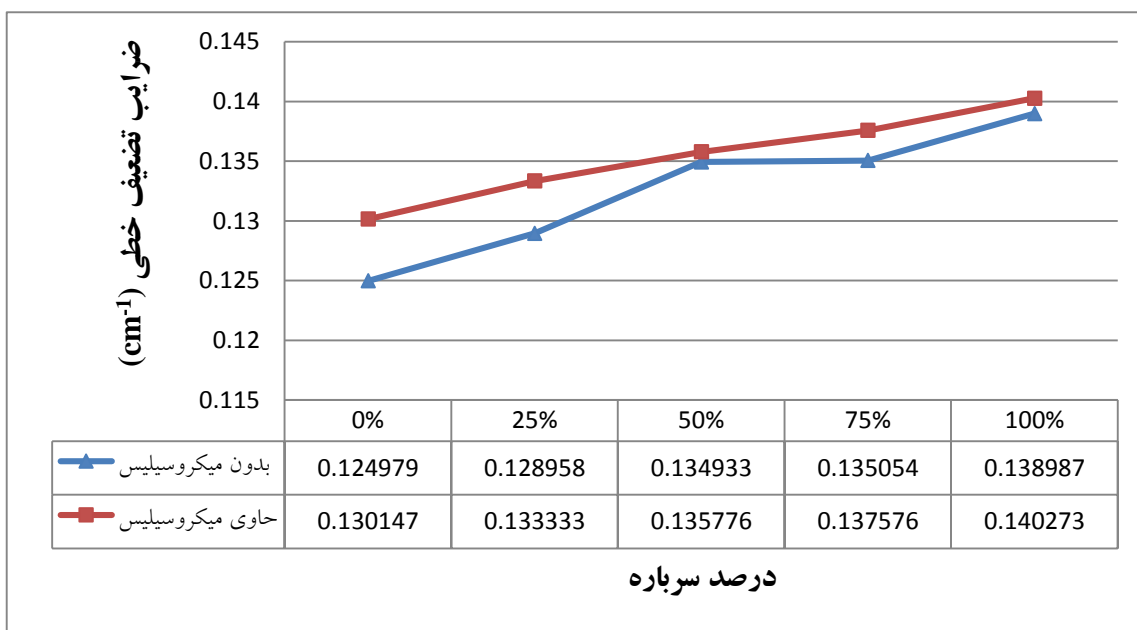
در این رابطه، X ضخامت بتن برحسب سانتی‌متر، I_0 تعداد شمارش ثبت شده در آشکارساز در محدوده قله فتوییک با کسر شمارش پیش‌زمینه در حالتی که نمونه بین چشمه و آشکارساز قرار ندارد و I تعداد شمارش ثبت شده در آشکارساز در محدوده قله فتوییک با کسر شمارش پیش‌زمینه در حالتی که نمونه بین چشمه و آشکارساز قرار دارد هستند. در محاسبه این ضریب برای هر مخلوط، سه نمونه و هر نمونه سه بار تحت تابش اشعه قرار گرفت و مقادیر مذکور از میانگین‌گیری بین ۹ داده محاسبه شدند. خطای نسبی برای کلیه نتایج ارائه شده کمتر از ۳٪ بود. مقدار ضرایب تضعیف خطی در انرژی‌های ۰/۶۶۲ Mev، ۱/۱۷۳ Mev و ۱/۳۳۳ Mev به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه گردیده است.



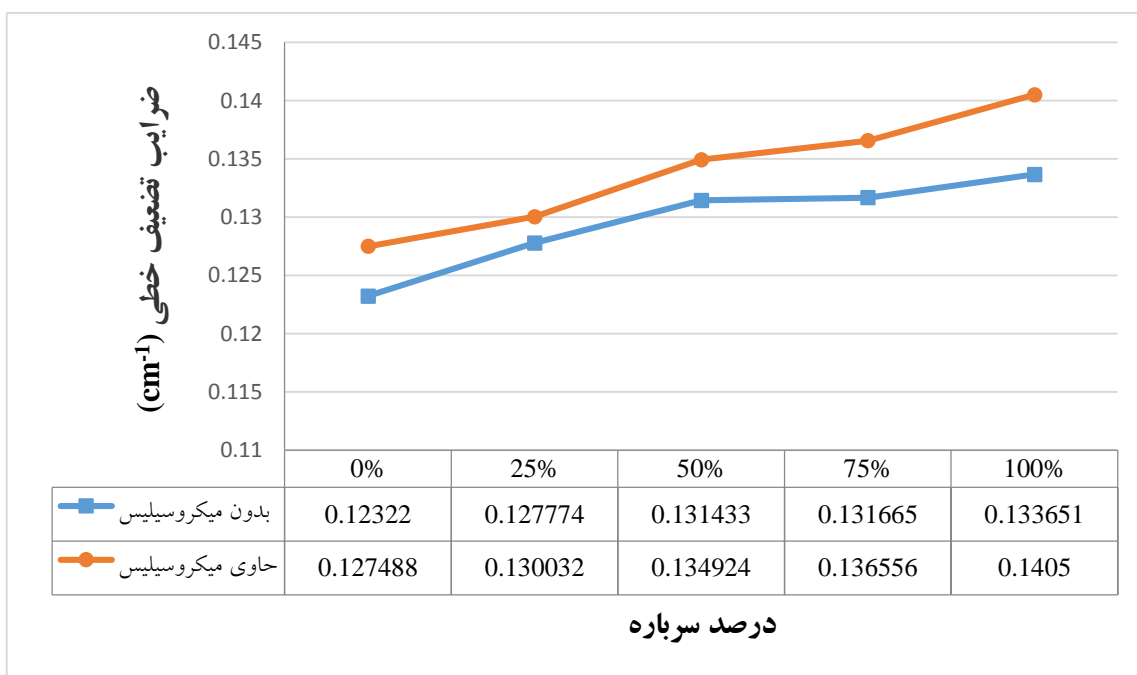
شکل ۴- ضرایب تضعیف خطی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره سرب در انرژی ۰/۶۶۲ Mev

² Beer-Lambert Law

¹ Whitehurst



شکل ۵- ضرایب تضعیف خطی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره سرب در انرژی 1173 MeV

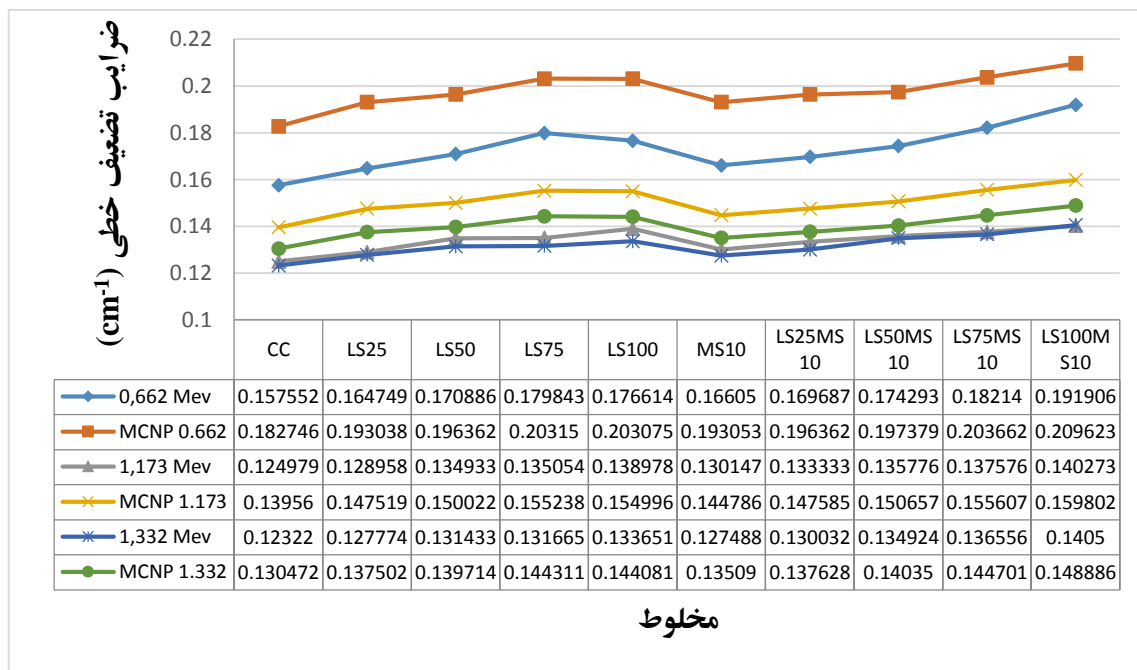


شکل ۶- ضرایب تضعیف خطی بتن‌های حاوی درصد‌های مختلف سرباره سرب در انرژی 1332 MeV

با وجود اینکه افزایش میزان سرباره سرب در بتن به معنی افزایش ریزدانه از ۷۵٪ به ۱۰۰٪ ضریب تضعیف خطی تحت اشعه گامای درصد عناصر با عدد اتمی بالاتر و افزایش چگالی بتن است که به بیشتر شدن مقدار ضرایب تضعیف می‌انجامد [۱۳]، نتایج حاکی از یک استثنا در این زمینه بود. افزایش میزان سرباره سرب جایگزین می‌رسد علت این موضوع، کاهش شدید مقاومت بتن و تخلخل ساطع شده از Cs-137 را با اندکی کاهش روبرو گردانید. به نظر می‌رسد علت این موضوع، کاهش شدید مقاومت بتن و تخلخل بیشتر مخلوط حاوی ۱۰۰٪ سرباره سرب نسبت به مخلوط حاوی

ضرایب تضعیف توسط رابطه ۱ صورت پذیرفت. نمودار مقایسه بین ضرایب تضعیف حاصل از روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی مونت کارلو در شکل ۷ ارائه گردید. همان‌طور که در شکل مشخص است بین نتایج شبیه‌سازی و روش آزمایشگاهی توافق نسبتاً خوبی مشاهده می‌شود. از آنجایی که شبیه‌سازی مونت کارلو تأثیر مقاومت بتن را بر ضرایب تضعیف منظور نمی‌کند و شرایط هندسی آزمایش در آن ایده‌آل فرض می‌شود، مقدار ضرایب تضعیف محاسبه‌شده به روش شبیه‌سازی نسبت به نتایج به‌دست‌آمده در آزمایشگاه کمی بیشتر بود [۱۵] ولی هر دو روش روند افزایشی و کاهش واحدی را برای بتن‌های ساخته‌شده نشان دادند. شکل ۸ درصد خطای شبیه‌سازی مونت کارلو را با در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی به‌عنوان عدد مرجع نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، بیشترین مقدار خطا ۱۷/۲٪ بود. همچنین با افزایش انرژی فوتون اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی کمتر شد به‌طوری‌که در انرژی ۱/۳۳۲ Mev نتایج شبیه‌سازی انطباق بیشتری با واقعیت داشتند.

۷۵٪ سرباره سرب باشد. همچنین مشاهدات حاکی از افزایش ضرایب تضعیف خطی با افزودن میکروسیلیس بود. بیشترین ضرایب تضعیف نیز در مخلوط LS100MS10 مشاهده گردید که ضرایب تضعیف آن در قیاس با بتن شاهد، در انرژی‌های Mev ۰/۶۶۲، ۱/۱۷۳ و ۱/۳۳۲ به ترتیب ۲/۲۱، ۸/۲۱ و ۱۴/۰ درصد افزایش بیشتر بود. همچنین همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است، با افزایش انرژی فوتون، ضرایب تضعیف خطی کاهش یافتند. تغییر مقادیر ضرایب تضعیف یک مخلوط با افزایش انرژی فوتون، ناشی از تغییر مکانیزم جذب و برهم‌کنش فوتون با ماده است. در انرژی‌های کم، متوسط و زیاد (بیشتر از Mev ۱/۰۲۲) مکانیزم اندرکنش غالب به ترتیب پدیده فوتوالکتریک^۱، پراکندگی کامپتون^۲ و تولید زوج^۳ است [۱۴]. علاوه بر روش آزمایشگاهی، ضرایب تضعیف خطی به‌وسیله کد MCNP-4C نیز محاسبه شدند. در کد، مقادیر شار حجمی توسط تالی F4 محاسبه گردید. مقادیر این تالی در انرژی موردنظر و برای حالتی که بتن بین چشمه و آشکارساز قرار ندارد متناظر I₀ و برای حالتی که بتن بین چشمه و آشکارساز قرار گرفته متناظر I هستند. محاسبه

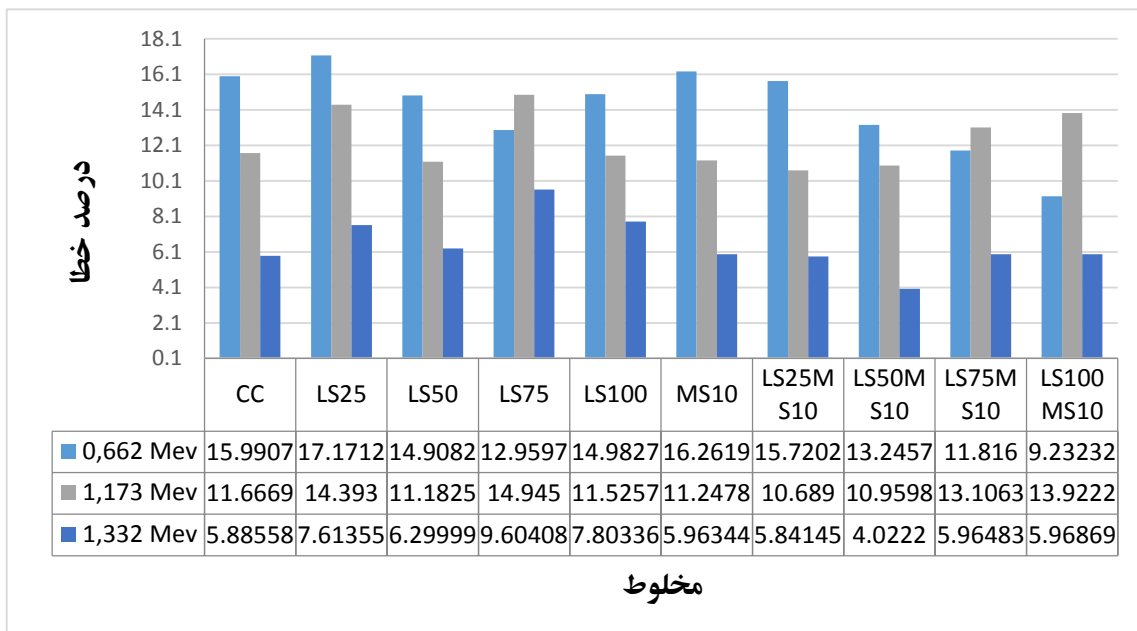


شکل ۷- ضرایب تضعیف خطی اندازه‌گیری شده و محاسبه‌شده با کد MCNP برای مخلوط‌های بتن

³ Pair production

¹ Photoelectric phenomena

² Compton scattering



شکل ۸- درصد خطای ضریب تضعیف محاسبه شده توسط MCNP

۵- نتیجه گیری

LS100MS10 که حاوی ۱۰۰٪ سرباره سرب جایگزین ماسه و میکروسیلیس با نسبت ۱۰٪ وزن سیمان بود بیشترین مقادیر ضرایب تضعیف خطی را در برابر اشعه گاما دارا بود. ضرایب تضعیف خطی این مخلوط در مقایسه با بتن شاهد، در انرژی‌های ۰,۶۶۲ Mev، ۱,۱۷۳ Mev و ۱,۳۳۲ Mev به ترتیب ۲۱/۸٪، ۱۲/۲٪ و ۱۴/۰٪ بیشتر بود.

۵- مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو با نتایج به دست آمده در آزمایشگاه توافق نسبتاً خوبی را نشان داد و روند افزایشی و کاهش ضرایب تضعیف در هر دو روش باهم انطباق داشتند.

۶- در بین مخلوط‌های ساخته شده، LS100MS10 با مقاومت فشاری عالی ۶۲ مگا پاسکال و بیشترین ضرایب تضعیف خطی در هر سه انرژی گامای مورد بررسی، جهت استفاده به عنوان حفاظ در برابر تابش اشعه گاما پیشنهاد می‌گردد.

۶- قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه اساتید و کارکنان دانشکده فیزیک و انرژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر به ویژه ریاست محترم دانشکده جناب پروفیسور حسین آفریده، مسئول مالی و اداری دانشکده آقای مهندس رسول سعیدی و مسئول آزمایشگاه هسته‌ای پیشرفته و نوترون آقای دکتر عقیل محمدی قدردانی نمایند.

در این پژوهش، تأثیر به کارگیری سرباره سرب و میکروسیلیس در بتن بر مقاومت فشاری، سرعت پالس اولتراسونیک و خواص محافظتی در برابر اشعه گاما مورد بررسی قرار گرفت. در محاسبه ضرایب تضعیف خطی علاوه بر روش آزمایشگاهی، از شبیه‌سازی مونت کارلو نیز استفاده گردید. نتایج به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

۱- با افزایش مقدار سرباره سرب جایگزین ریزدانه از ۷۵٪ به ۱۰۰٪ مقاومت فشاری با کاهش ۲۴/۸ درصدی مواجه گردید. همچنین، سرعت پالس اولتراسونیک که پارامتری جهت ارزیابی کیفیت بتن است نیز با کاهش محسوس روبرو شد.

۲- افزایش میزان سرباره سرب جایگزین ریزدانه از ۷۵٪ به ۱۰۰٪، ضریب تضعیف خطی در برابر اشعه گامای ساطع شده از چشمه Cs-137 را با کاهش اندکی مواجه کرد که افزودن میکروسیلیس با نسبت ۱۰٪ وزن سیمان این کاهش را به خوبی جبران نمود.

۳- جایگزینی میکروسیلیس با نسبت ۱۰ درصد وزن سیمان به مخلوط‌های ساخته شده، مقاومت فشاری و سرعت پالس اولتراسونیک را افزایش داد. در مورد مخلوط حاوی ۱۰۰٪ سرباره سرب جایگزین ریزدانه، این افزایش مقاومت فشاری محسوس تر بود.

۴- نتایج، تأثیر مثبت سرباره سرب و میکروسیلیس را بر خواص محافظتی بتن در برابر اشعه گاما نشان داد به طوری که مخلوط

۷- مراجع

میکروسلیس در سن ۲۸ روز" در پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن

ایران، تهران، ۱۵ مهرماه ۱۳۹۲.

- [13] Shirmardi S.P, Shamsaei M, Naserpour M, "Comparison of photon attenuation coefficients of various barite concretes and lead by MCNP code, XCOM and experimental data," *Annals of Nuclear Energy*, 55, 288-291, 2013.
- [14] Akkurt I, Mavi B, Akkurt A, Basyigit C, Kilinarslan S, Yalim H.A, "Study on Z-dependence of partial and total mass attenuation coefficients," *Spectrosc Radiat Transfer*, 94, 379-385, 2005.
- [۱۵] عظیم خانی، سارا، بررسی تأثیر مواد افزودنی بر بتن به‌عنوان حفاظ تابش گاما، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۸۹.
- [1] Akkurt I, Basyigit C, Akkas A, Kilincarslan S, Gunoglu K, "Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate," *Annals of Nuclear Energy*, 37, 910-914, 2010.
- [2] Akkurt I, Basyigit C, Akkas A, Kilincarslan S, Mavi B, Gunoglu K, "Determination of Some Heavyweight Aggregate Half Value Layer Thickness Used for Radiation Shielding," in *Proceedings of the International Congress on Advances in Applied Physics and Materials Science*, Antalya, 2012.
- [3] Mazloom M, Ramezani pour A.A, Brooks J.J, "Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete," *Cement & Concrete Composites*, 26, 347-357, 2004.
- [4] Bashter I.I, "Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes," *Annals of Nuclear Energy*, 24 (17), 1389-1401, 1977.
- [5] Neville A, "4th edition Properties of Concrete," New York, John Wiley and Sons, Inc, 1996,
- [6] Akkurt I, Akyildirim H, Mavi B, Kilincarslan S, Basyigit C, "Radiation shielding of concrete containing zeolite," *Radiation Measurements*, 45, 827-830, 2010.
- [7] Kharita M.H, Yousef S, AlNassar M, "Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete," *Progress in Nuclear Energy*, 53, 207-211, 2011.
- [8] Rezaei-Ochbelagh D, Azimkhani S, "Investigation of gamma-ray shielding properties of concrete containing different percentages of lead," *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 2282-2286, 2012.
- [9] Gencil O, Bozkurt A, Kam E, Korkut T, "Determination and calculation of gamma and neutron shielding characteristics of concretes containing different hematite proportions," *Annals of Nuclear Energy*, 38, 2719-2723, 2011.
- [10] Singh K, Singh S, Dhaliwal A.S, Singh G, "Gamma radiation shielding analysis of lead-flyash concrete", *Applied Radiation and Isotopes*, 95, 174-179, 2015.
- [11] Saad A, Abu-Qudias "Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves, construction and building materials, 19, 257-263, 2005
- [۱۲] نبوی، سید اسرافیل، قاسم‌زاده موسوی نژاد، سید حسین، "مطالعه و بررسی خواص بتن‌های ساخته‌شده از سرباره سرب و

Mechanical and Shielding properties of Concretes Containing Different Percentages of Lead Slag and Silica Fume against Gamma-Ray

S. H. Ghasemzadeh Mousavinejad *

Assistant Professor of Civil Engineering, University of Guilan

A. Shahrouzi

M.Sc, Department of Civil - Structural Engineering, University of Guilan

Abstract

In present study, linear attenuation coefficient of concretes containing different percentages of lead slag and silica fume against gamma-ray emitted from Cs-137 and Co-60 sources were measured using experimental and Monte Carlo simulation procedures. Moreover, compressive strength of concretes and ultrasonic pulse wave velocity test were determined as well. Two series of concrete mixes were designed and casted. The first series contained different percentages of 0, 25, 50, 75, and 100 lead slag replaced with natural sand. In the second series 10% silica fume replaced by cement weight was added to all mixes of the first series. The results showed positive effect of lead slag and silica fume on concrete shielding properties against gamma-ray such that specimens containing 100% lead slag and silica fume gained a very suitable compressive strength of 62 MPa, and exhibited highest shielding to gamma-ray. Relatively Good agreement was also observed in the trend of the results between the experimental and Monte Carlo simulation methods.

Keywords: Gamma-ray, shielding concrete, lead slag, linear attenuation coefficient, Monte Carlo simulation

* Corresponding Author: h.mosavi@webmail.guilan.ac.ir