

خصوصیات بتن سنگین حاوی سنگدانه سربراره سرب برای محافظت در برابر پرتوهای گاما

احمدرضا، ذوالفقاری*؛ علی، یداللهی؛ علی محمد، آجرلو^۲

۱- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه چرخه سوخت

۲- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، گروه مهندسی سازه و ژئوتکنیک

چکیده

تحقیق حاضر به بررسی امکان استفاده از سربراره سرب تولیدی در فرآیند بازیافت باتری های سربی به عنوان سنگدانه در تولید بتن می‌پردازد. برای این منظور مقاومت مکانیکی و ضریب تضعیف پرتو گاما برای نمونه‌های سیمانی تهیه شده با جایگزینی ۴۰ تا ۶۰ درصد سربراره سرب به جای سنگدانه طبیعی اندازه‌گیری شده است. همچنین تاثیر ۱ تا ۵ درصد پودر سرب در زمان گیرش نمونه‌های سیمانی اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که با افزایش میزان سربراره سرب، چگالی، مقاومت مکانیکی و ضریب تضعیف پرتو گاما برای نمونه‌های سیمانی افزایش قابل توجه پیدا می‌کند، ولی افزودن پودر سرب به خمیر سیمان زمان گیرش آن را شبیه سیمانهای دیر گیر به تاخیر می‌اندازد.

کلید واژه: بتن سنگین، سربراره سرب، پرتو گاما، مقاومت مکانیکی، ضریب تضعیف

۱- مقدمه

امروزه استفاده از بتن به عنوان سپر محافظ در مقابل پرتوهای پر انرژی گاما بسیار متداول است. معمولاً اگر محدودیت فضا در حفاظ‌گذاری مطرح نباشد، بتن معمولی محافظ خوبی برای پرتوهای گاما خواهد بود ولی از آنجاییکه ضخامت بتن رابطه مستقیم با میزان تضعیف پرتو دارد و دیوارهای ضخیم بتنی هزینه زیادی در برداشته و فضای زیادی نیز اشغال می‌کنند، استفاده از بتن‌های سنگین و با چگالی بالا برای کاهش ضخامت دیوارها ترجیح داده می‌شود [۱]. سربراره سرب که به عنوان محصول جانبی فرآیند تولید سرب خالص از باتریهای فرسوده شناخته می‌شود، حاوی مقادیر زیادی سرب و سایر فلزات سنگین می‌باشد از اینرو می‌توان از آن به عنوان مصالح اولیه در تولید بتنهای سنگین استفاده نمود. مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از سربراره سرب در بتن [۲و۳] نشان می‌دهند که استفاده از این ماده به عنوان سنگدانه در مخلوط های بتنی باعث بهبود مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های تولیدی می‌گردد. با توجه به تولید روزافزون سرب از باتریهای فرسوده، حجم زیاد سربراره تولیدی در این فرایند، به یک مشکل مهم زیست محیطی تبدیل شده به همین دلیل کاربرد سربراره به عنوان سنگدانه در تولید بلوک‌های بتنی از نقطه نظر زیست محیطی، اهمیت بسیار بالایی داشته در عین حال بتن تولیدی نیز به دلیل وجود عناصر فلزی سنگین با عدد اتمی بالا می‌تواند به عنوان یک حفاظ موثر در مقابل تابش پرتوهای گاما مورد استفاده قرار بگیرد [۴].

۲- روش کار

وقتی از سرباره سرب به عنوان مصالح اولیه در تولید بتن استفاده می‌شود، سه معیار اصلی باید مد نظر قرار گیرد: سازگاری سرباره سرب با سایر مواد، ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی بتن تولیدی و هزینه بتن تولیدی [۴]. استفاده موفقیت آمیز از سرباره سرب به عنوان مصالح بتن به برآورده کردن این سه معیار وابسته است. برای این منظور آزمونهای زمان گیرش سیمان، مقاومت فشاری، خمشی و کششی و همچنین ضریب تضعیف پرتو گاما بر روی نمونه‌های سیمانی با نسبتهای مختلف سرباره سرب دست اول و دست دوم انجام شده است.

۲-۱- مشخصات مصالح مورد استفاده

مصالح مورد استفاده در این تحقیق شامل: ماسه طبیعی از نوع رودخانه‌ای و با چگالی $2/47$ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و دانه بندی آن بر اساس استاندارد ASTM C778 می‌باشد [۵]. سیمان مصرفی، از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ سبزواری می‌باشد. سرباره سرب مورد استفاده در تحقیق از گارگاه بازیافت باتریهای فرسوده تهیه شده و مطابق با استاندارد ASTM C778 دانه بندی شده است. سرباره سرب دست اول بدست آمده از فرآیند ذوب باتریهای فرسوده، حاوی ۴۵ درصد سرب بوده لذا با ذوب دوباره، سرب باقیمانده آن را جدا می‌کنند. سرباره این مرحله که به عنوان سرباره دست دوم شناخته می‌شود حاوی ۵ درصد سرب می‌باشد. چگالی سرباره دست اول $4/08$ و چگالی سرباره دست دوم $2/74$ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. آب مصرفی در آزمایش نیز از آب شرب می‌باشد.

۲-۲- زمان گیرش سیمان پرتلند نوع ۲ حاوی پودر سرب

گیرش واژه‌ای است که برای توصیف تغییر وضعیت سیمان از حالت خمیری به حالت جامد به کار می‌رود [۶]. پیش بینی زمان‌های گیرش اولیه و نهایی بتن در برنامه ریزی مراحل مختلف عملیات اجرایی بتن از قبیل حمل، پمپ، ریختن در قالب، متراکم نمودن و پرداخت سطحی بتن به طور کامل موثر است. از اینرو اطلاع از تاثیر سرباره سرب بر زمان گیرش بتن بسیار ضروری به نظر می‌رسد. برای تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر سیمان از روش سوزن و یکات طبق استاندارد ASTM C191 استفاده می‌شود [۷]. برای انجام این آزمون از نمونه‌های خمیر سیمان حاوی ۰ تا ۵ درصد پودر سرب با میزان رطوبت نرمال سیمان، استفاده شده است.

۲-۳- مقاومت مکانیکی نمونه‌های سیمانی

مقاومت مکانیکی از جمله ویژگیهای بسیار مهم بتن در کاربردهای سازه‌ای می‌باشد. به طور کلی مقاومت ملات یا بتن به انسجام خمیر سیمان، چسبندگی سیمان به سنگدانه‌ها و تا حدی به مقاومت خود سنگدانه‌ها بستگی دارد [۸]. به منظور بررسی تاثیر سرباره سرب دست اول و دست دوم بر مقاومت مکانیکی بتن از نمونه‌های سیمانی تهیه شده از یک قسمت وزنی سیمان، سه قسمت وزنی ماسه و نصف قسمت وزنی آب استفاده شده است. در تهیه این نمونه‌ها به جای ماسه، سرباره سرب نوع اول و نوع دوم با نسبتهای ۴۰ تا ۶۰ درصد جایگزین گردید. جزئیات مربوط به طرح اختلاط نمونه‌های آزمایش در جدول شماره ۱ آورده شده است.

مقاومت خمشی با استفاده از نمونه‌های منشوری به ابعاد $40 \times 40 \times 160$ میلیمتر و بر اساس استاندارد ASTM

C۳۴۸ تعیین گردید [۹]. پس از شکستن نمونه‌های خمشی، طبق استاندارد ASTM C۳۴۹ از قطعات باقیمانده برای تعیین مقاومت فشاری استفاده شده است [۱۰].
برای نمونه‌های با سطح مقطع مربعی نیز مطابق با استاندارد BS I۸۱ (Part ۱۱۷) مقدار مقاومت کششی ناشی از دونیم شدن (روش برزلیلی) تعیین شده است [۱۱].

جدول ۱: طرح اختلاط نمونه‌های سیمانی حاوی سنگدانه سرب

نسبت وزنی سنگدانه سرب	نسبت وزنی سنگدانه طبیعی	نسبت وزنی آب	نسبت وزنی سیمان	علامت اختصاری	نوع ترکیب
۰	۳	۰/۵	۱	NC	نمونه ملات سیمان معمولی
۱/۲	۱/۸	۰/۵	۱	C-LSa۴۰	نمونه سیمانی حاوی ۴۰ درصد سنگدانه سرب (نوع ۱)
۱/۵	۱/۵	۰/۵	۱	C-LSa۵۰	نمونه سیمانی حاوی ۵۰ درصد سنگدانه سرب (نوع ۱)
۱/۸	۱/۲	۰/۵	۱	C-LSa۶۰	نمونه سیمانی حاوی ۶۰ درصد سنگدانه سرب (نوع ۱)
۱/۲	۱/۸	۰/۵	۱	C-L'Sa۴۰	نمونه سیمانی حاوی ۴۰ درصد سنگدانه سرب (نوع ۲)
۱/۵	۱/۵	۰/۵	۱	C-L'Sa۵۰	نمونه سیمانی حاوی ۵۰ درصد سنگدانه سرب (نوع ۲)
۱/۸	۱/۲	۰/۵	۱	C-L'Sa۶۰	نمونه سیمانی حاوی ۶۰ درصد سنگدانه سرب (نوع ۲)

۲-۴- اندازه گیری میزان تضعیف پرتوهای گاما

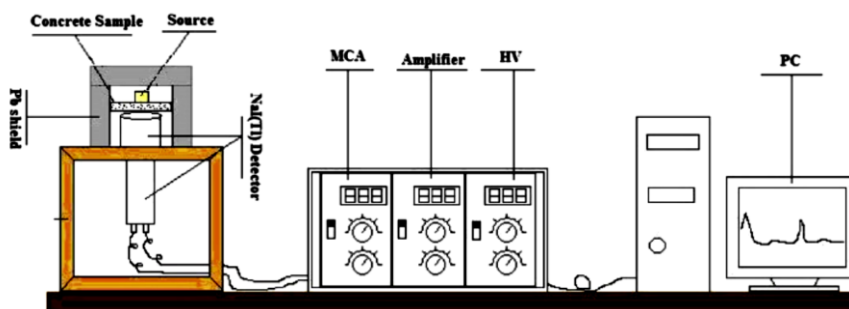
برای تعیین میزان تضعیف پرتو گاما، برای هر طرح اختلاط ۳ نمونه با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و ضخامتهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. چشمه‌ی گاما مورد استفاده ^{۱۳۷}Cs با اکتیویته ۲ میلی کوری و آشکارساز نیز از نوع NaI می‌باشد. طرح شماتیک نحوه قرارگیری نمونه‌ها بین منبع پرتو گاما و آشکارساز در شکل ۱ نشان داده شده است. برای محاسبه میزان تضعیف پرتو گاما از رابطه (۱) استفاده گردید.

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که: I، شدت پرتو گامای اولیه، I شدت پرتو گاما پس از عبور از لایه بتنی، t ضخامت ماده جاذب، μ ضریب تضعیف می‌باشد.

پس از محاسبه ضریب تضعیف برای ضخامتهای مختلف، میانگین آنها به عنوان مقدار نهایی گزارش می‌شود. ضخامت نیم لایه جذب پرتو گاما نیز از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \quad \text{رابطه (۲)}$$



شکل ۱: طرح شماتیک سیستم اندازه‌گیری میزان تضعیف پرتو گاما

۳- نتایج

نتایج مربوط به زمان گیرش اولیه و نهایی نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزودن ۱ تا ۵ درصد پودر سرب به خمیر سیمان، زمان گیرش آن ۳۰ تا ۸۰ درصد به تعویق می‌افتد.

جدول ۲: تاثیر پودر سرب در زمان گیرش سیمان نوع ۲

نسبت وزنی سرب به سیمان	۰٪	۱٪	۳٪	۵٪
زمان گیرش اولیه-زمان گیرش نهایی (دقیقه)	۱۹۵-۱۵۶	۲۹۰-۲۱۵	۳۳۰-۲۶۰	۳۵۷-۲۹۴

نتایج مربوط به مقاومت فشاری، خمشی و کششی ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌ها و همچنین ضریب تضعیف و ضخامت نیم لایه جذب آنها در جدول شماره ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج، جایگزینی ۴۰ تا ۶۰ درصد سرباره دست اول (حاوی ۴۵ درصد سرب) به جای سنگدانه طبیعی موجب افزایش ۲۵ تا ۳۸ درصد در مقاومت فشاری و افزایش ۱۲ تا ۲۲ درصد در ضریب تضعیف پرتوهای گاما می‌شود. در حالیکه با جایگزینی ۴۰ تا ۶۰ درصد سرباره دست دوم (حاوی ۵ درصد سرب)، ۳ تا ۱۷ درصد افزایش در مقاومت فشاری و ۳ تا ۸ درصد افزایش در ضریب تضعیف پرتوهای گاما مشاهده می‌شود. در شکل ۲- الف تاثیر سرباره سرب بر مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف به خوبی نشان داده شده است. در شکل ۲- ب نیز تغییرات ضریب تضعیف بتن برای درصدهای مختلف سرباره سرب نشان داده شده است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

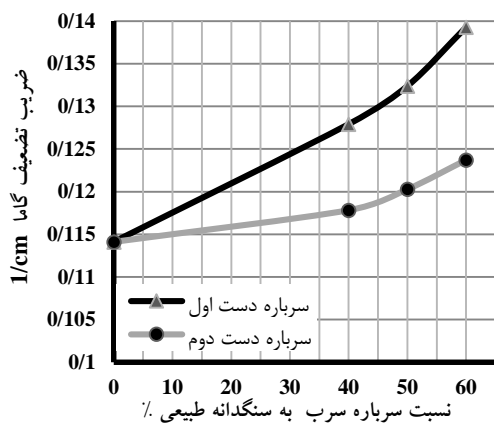
نتایج آزمایشات نشان می‌دهد، در حالت کلی جایگزینی سرباره سرب به عنوان سنگدانه در تولید بتن، باعث افزایش چگالی، مقاومت مکانیکی و ضریب تضعیف آن می‌شود ولی گیرش بتن را به تاخیر می‌اندازد. بر اساس استاندارد ASTM C ۱۵۰ زمان گیرش سیمان باید در محدوده ۴۵ تا ۳۷۵ دقیقه باشد [۱۲]. طبق نتایج بدست آمده با افزودن پودر سرب تا ۵ درصد وزنی سیمان، زمان گیرش همچنان در محدوده استاندارد قرار دارد ولی



استفاده از درصدهای بالاتر سرب، ممکن است مشکل ساز شود. از اینرو دانه‌بندی سنگدانه سرب مصرفی به گونه‌ای اصلاح می‌شود که میزان پودر سرب موجود در آن، کمتر از ۵ درصد وزنی سیمان باشد، تا باعث تاخیر بیش از حد در زمان گیرش نگردد.

جدول ۳: مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های سیمانی حاوی سنگدانه‌های سرباره سرب

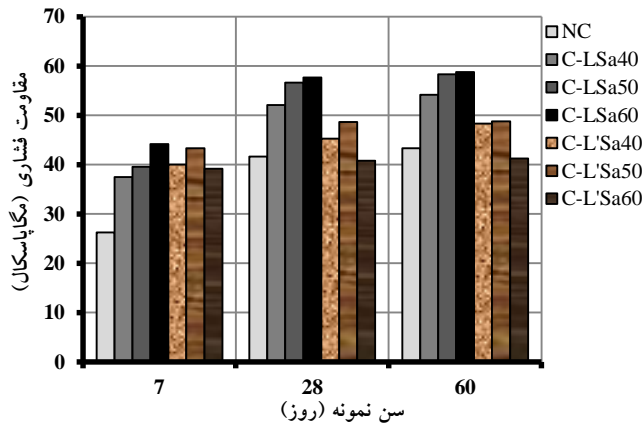
ردیف	علامت اختصاری	سن نمونه (روز)	دانسیته (gr/cm^3)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)	مقاومت کشش ناشی از دو نیم شدن (MPa)	ضریب تضعیف گاما ($1/\text{cm}$)	نیم لایه جذب (cm)
۱	NC	۷	۲/۱۹۵	۲۶/۲۵	۶/۵۶	۲/۰۹	۰/۱۱۴۱	۶/۰۷۴
		۲۸	۲/۱۸۵	۴۱/۶۶	۷/۲۶	۳/۱۸		
۲	C-L'Sa _{۴۰}	۷	۲/۲۷۱	۴۰	۵/۸۶	۳/۷۱	۰/۱۱۷۸	۵/۸۸۱
		۲۸	۲/۲۶۸	۴۵/۲۸	۷/۰۳	۳/۸۹		
۳	C-L'Sa _{۵۰}	۷	۲/۲۹۸	۴۳/۳۳	۵/۸۶	۴/۳۱	۰/۱۲۰۳	۵/۵۷۶
		۲۸	۲/۳۱۱	۴۸/۶۸	۶/۰۹	۳/۰۸		
۴	C-L'Sa _{۶۰}	۷	۲/۳۲۲	۳۹/۱۷	۵/۸۶	۳/۱۰	۰/۱۲۳۷	۵/۶۰۱
		۲۸	۲/۳۴۵	۴۳/۰۵	۷/۳۰	۳/۲۹		
۵	C-L'Sa _{۴۰}	۷	۲/۳۶۲	۳۷/۵۰	۵/۲۷	۲/۳۱	۰/۱۲۷۹	۵/۴۱۸
		۲۸	۲/۴۵۱	۵۲/۰۸	۷/۵۰	۳/۷۱		
۶	C-L'Sa _{۵۰}	۷	۲/۴۷۸	۳۹/۵۸	۶/۰۹	۲/۸۳	۰/۱۳۲۴	۵/۲۳۵
		۲۸	۲/۵۱۶	۵۶/۶۰	۷/۸۰	۳/۴۰		
۷	C-L'Sa _{۶۰}	۷	۲/۵۷۵	۴۴/۱۷	۶/۳۰	۴/۴۰	۰/۱۳۹۳	۴/۹۷۵
		۲۸	۲/۵۳۱	۵۷/۶۹	۸/۲۰	۴/۴۲		



(ب)

شکل ۲ الف) تاثیر سرباره سرب بر مقاومت فشاری

نمونه‌های بتن در سنین مختلف



(الف)

شکل ۲ ب) تاثیر سرباره سرب بر ضریب تضعیف

نمونه‌های بتن در سنین مختلف

با توجه به نمودارهای شکل ۲، سرباره دست اول تاثیر بیشتری بر روی بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی بتن محافظ اشعه دارد، بطوریکه ماکزیمم مقاومت فشاری بدست آمده از جایگزینی سرباره دست اول حدود ۲۰



درصد بیشتر از مقدار مشابه حاصل از جایگزینی سرباره دست دوم می‌باشد. علاوه بر این ضریب تضعیف نمونه‌های حاوی سرباره دست اول نیز به دلیل درصد بیشتر سرب و در نتیجه چگالی بالاتر به طور متوسط ۱۰ درصد بیشتر از نمونه‌های حاوی سرباره دست دوم می‌باشد.

با بررسی نتایج، مشخص است که استفاده از سرباره سرب در تولید بتن، دو معیار اول (سازگاری سرباره سرب با سایر مواد، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن تولیدی) را برآورده می‌کند. لذا برای تصمیم‌گیری نهایی باید هزینه‌های بتن تولیدی مورد ارزیابی قرار گیرند. سرباره سرب نسبت به مصالح سنگین مشابه، ارزاتر بوده علاوه بر این، سرباره سرب جزء ضایعات صنعتی به شمار می‌آید از اینرو استفاده از آن در بتن موجب صرفه جویی در استفاده از منابع طبیعی و همچنین کاهش مشکلات زیست محیطی می‌گردد. در تولید بتن سرباره سرب، استفاده از سرباره دست دوم به علت ارزاتر بودن نسبت به سرباره دست اول، موجب کاهش هزینه مصالح اولیه می‌شود، اما به دلیل ضریب تضعیف کمتر، ضخامت بتن مورد نیاز برای حفاظ‌گذاری بیشتر شده در نتیجه حجم مصالح مصرفی افزایش یافته و به همان نسبت هزینه‌ها زیاد می‌شوند. به همین دلیل برای برآورد هزینه نهایی بتن حاوی سرباره سرب، باید همه مزایا و معایب مهندسی و اقتصادی مصالح در نظر گرفته شوند. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش، استفاده از هر دو نوع سرباره سرب به عنوان سنگدانه در تولید بتن محافظ اشعه، باعث کاهش ضخامت و در نتیجه کاهش هزینه ساخت حفاظ می‌شود و علاوه بر این از نقطه نظر زیست محیطی، اهمیت بسیار بالایی دارد.

۵- مراجع

- [۱] Kaplan.M.F, "Concrete Radiation Shielding", Longman Scientific, First Published, ۱۹۸۹.
- [۲] M.E.A. Metwally, "Utilizing of slag produced from recycling of spent lead-batteries as concrete aggregate" Alexandria Engineering Journal, Vol. ۴۴, No. ۶, ۸۸۳-۸۹۲, ۲۰۰۵.
- [۳] Penpolcharoen.M, "Utilization of secondary lead slag as construction material", Cement and Concrete Research Vol. ۳۵, No. ۶, ۱۰۵۰-۱۰۵۵, ۲۰۰۵.
- [۴] Saikia.N, "Recycled Aggregate in Concrete Use of Industrial, Construction and Demolition Waste", Springer-Verlag, London, First Published, ۲۰۱۳.
- [۵] ASTM C۷۷۸, "Specification for Standard Sand".
- [۶] Mehta.P.K, "Concrete Structures, properties and materials", Englewood cliffs, ۱۹۹۳.
- [۷] ASTM C۱۹۱, "Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement".
- [۸] Neville.A.M, "Properties of Concrete", John Wiley & Sons Inc, Fifth Edition, ۱۹۹۷.
- [۹] ASTM C۳۴۸, "Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars".
- [۱۰] ASTM C۳۴۹, "Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars".
- [۱۱] BS I۸۸۱ (Part ۱۱۷), "Method for determination of tensile splitting strength".
- [۱۲] ASTM C۱۵۰, "Standard Specification for Portland Cement".