



بررسی مقاومت فشاری بتن معمولی با استفاده از خاکستر حاصل از زباله های صنعتی در مجتمع فناوری پسماند زیست به عنوان جایگزین بخشی از سیمان

مهدی جلالی^۱، رسول شادنیا^{۲*}، امیر حسین کیوانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه خيام مشهد

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری

۳- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه خيام مشهد

چکیده

با توجه به توسعه شهرنشینی و افزایش مقدار انواع زباله، یکی از راه های دفع زباله ها سوزاندن آنها در کارخانه های زباله سوزی می باشد. از طرف دیگر دفع خاکستر ناشی از این زباله ها یکی از دغدغه های این گونه کارخانه ها می باشد. در این تحقیق با انجام آزمایش های آزمایشگاهی سعی شده از خاکستر حاصل از زباله های صنعتی سوزانده شده در مجتمع فناوری پسماند ساوه به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی استفاده شود. در این تحقیق تأثیرات خاکستر تولید شده از این زباله ها، بر روی مقاومت فشاری بتن معمولی بررسی شده است. طرح اختلاط بتن ها بر اساس روش ملی طرح اختلاط بتن ایران انجام گردید. همچنین میزان جایگزینی خاکستر برابر با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سیمان می باشد. نتایج نشان می دهند که با افزایش میزان خاکستر، مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد اما مقاومت فشاری بدست آمده هنوز برای ساخت بتن هایی که نیاز به مقاومت فشاری کمتری دارند مانند بتن های پر کننده یا بتن سبک در کف سازی ساختمان قابل قبول می باشد. از طرف دیگر استفاده از این خاکستر در داخل بتن، نه تنها نگرانی کارخانه های زباله سوزی برای دفع این آلودگی را از بین می برد بلکه با استفاده به عنوان بخشی از سیمان مورد استفاده در بتن، باعث کاهش مصرف سیمان و به تبع آن کاهش گازهای گلخانه ای ناشی از تولید سیمان می گردد.

کلمات کلیدی: خاکستر، زباله، سیمان، مقاومت فشاری، بتن معمولی

۱. مقدمه

با توجه به صنعتی شدن و توسعه شهرنشینی، مقدار زباله های شهری بسیار سریع افزایش یافته و دفع زباله ها به علت افزایش حجم تولید زباله ها، هزینه های پیچیده ای ایجاد کرده است. از طرف دیگر کمبود محل های دفن زباله و هزینه های بالا باعث افزایش نگرانی بسیاری از شهرداری ها می شود. انواع پسماندها نظیر پسماندهای شهری، بیمارستانی، صنعتی و... از پسماندهای خطرناکی هستند که در صورت دفع غیراصولی، مطمئناً باعث آلودگی هوا، خاک، آبهای سطحی و

* Corresponding author: shadnia@hsu.ac.ir

زیرزمینی می شوند. یکی از راه های جلوگیری از این گونه آلودگی ها سوزاندن آنها با استفاده از دستگاه های زباله سوز می باشد.

مجمع فناوری پسماند زیست، اولین شرکت در زمینه مدیریت پسماند به صورت متمرکز با نظارت کارگروه مدیریت پسماند شهرستان ساوه و استان مرکزی با اخذ زمینی به مساحت ۲۳ هکتار جهت اجرای مرکز مدیریت و امحاء پسماندهای صنعتی و ویژه در شهرستان ساوه تحت نظارت اداره کل حفاظت محیط زیست استان مرکزی فعالیت خود را آغاز نمود و اکنون با دارا بودن پروانه بهره برداری از وزارت صنایع و معادن، مجوز سازمان حفاظت محیط زیست و نیز وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی بعنوان یک شرکت پیشرو در زمینه مدیریت پسماند در ایران فعالیت می نماید. این شرکت مأموریت خود را به کارگیری فناوری و تاسیسات به روز و پیشرفته و شیوه های عملیاتی مناسب و همچنین در نظر گرفتن اصول و استانداردهای مرتبط در جهت فراهم کردن محیطی سالم و ایمن می داند. علاوه بر آن امروزه با توجه به گسترش صنایع در جوامع و افزایش تولید پسماندها، رعایت استانداردهای ملی و بین المللی و استفاده از تکنولوژی های نوین مدیریت پسماند مجتمع را در رسیدن به ارائه خدمات مناسب به مشتریان مطمئن می سازد.

کوره های زباله سوز مجتمع فناوری پسماند زیست نشان داده شده در شکل ۱ شامل یک دستگاه جامدسوز از نوع کوره چرخان و یک دستگاه مایع سوز بستر شناور* با ظرفیت کلی امحاء ۲۵ تن در روز با تکنولوژی کشورهای اروپایی می باشد که برای امحاء پسماندهای صنعتی و ویژه جامد و مایع و لجن بوده و دمای عملیاتی در این کوره بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد بوده که قابلیت امحاء انواع پسماندهای صنعتی و ویژه از جمله: انواع پسماندهای صنایع نفت گاز و پتروشیمی، انواع سموم سنواتی به جز ارگانوکلره، انواع لجن ها، انواع ضایعات دارویی و بیمارستانی و سایر پسماندهای صنعتی و خطرناک قابل سوزاندن را دارا می باشد. اجزای این کوره زباله سوز بستر شناور شامل قسمتهای اصلی همچون سیلوی نگهداری پسماندهای جامد و مایع و فیدر، کوره بخش سوزاندن پسماندها، سیستم بازیافت گرما و سیستم تصفیه و کنترل آلودگی هوا می باشد.

از جمله خصوصیات این زباله سوز خواص گاز خروجی از کوره کمتر از استانداردهای ملی و بین المللی، مجهز به سیستم اندازه گیری گازهای خروجی از دودکش و حداقل اثرات منفی بر محیط زیست می باشد.



شکل ۱. کوره زباله سوز

* - Fluid Bed



امروزه بتن به عنوان پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان می باشد. آلوده کننده ترین بخش صنعت بتن، فرآیند تولید سیمان می باشد. از طرف دیگر مصرف سالانه منابع طبیعی، مانند سنگدانه ها و سایر مواد خام طبیعی برای تولید سیمان و بتن هم قابل توجه است. علاوه بر مصرف منابع عظیم، حجم قابل توجهی از آلودگی های هوا، آب و خاک نیز بدنبال تولید سیمان ایجاد می گردند.

این تولید عظیم سیمان علاوه بر مصرف مقادیر بالای انرژی باعث آزاد شدن مقادیر زیاد گاز کربن دی اکسید می شود. بنابراین لازم است تا جایی که امکان دارد سیمان مصرفی در بتن کاهش یابد. یکی از این راهکارها جایگزینی خاکستر زباله به جای بخشی از سیمان مصرفی در بتن می باشد، اصلی ترین مشکلی که در پیش روی ماست این است که بتن تولیدی با خاکستر بدست آمده از سوزاندن زباله و سیمان کمتر، پایداری و مقاومت لازم را داشته و از لحاظ اقتصادی قابل توجیه باشد. در این تحقیق تأثیر استفاده از جایگزین کردن ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد خاکستر به جای سیمان در مقاومت فشاری بتن بررسی شده است.

۲. مشخصات مصالح مصرفی:

۲-۱. سیمان

سیمان مورد استفاده در ساخت نمونه ها، سیمان تیپ ۲ تولید شده در کارخانه سیمان شهرستان جوین می باشد.

۲-۲. خاکستر زباله

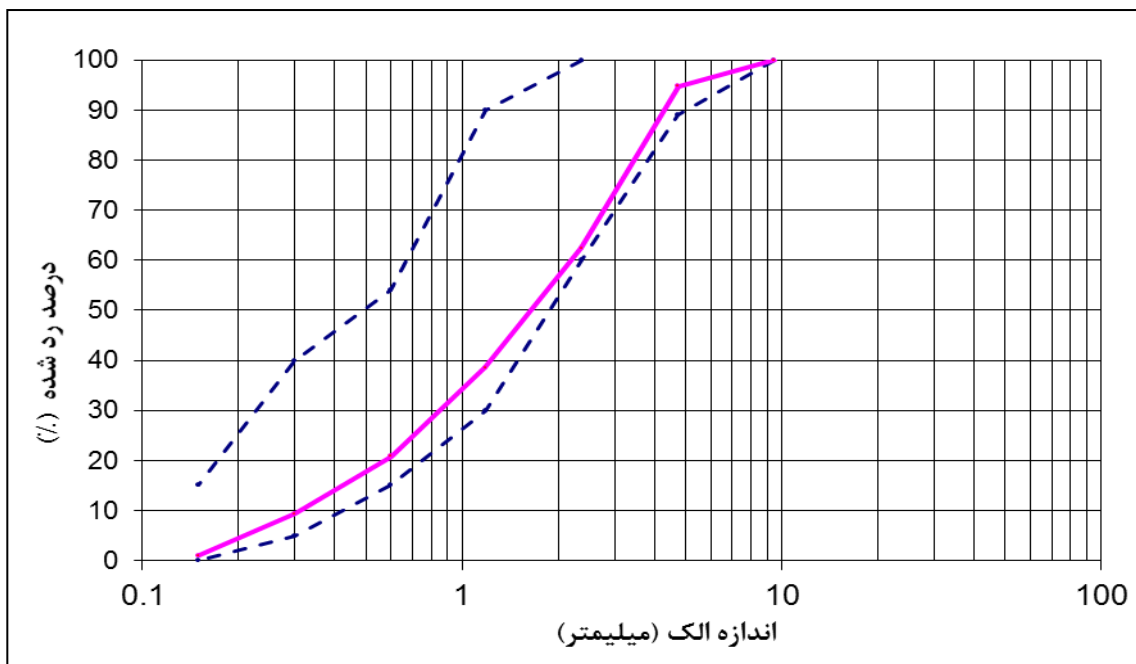
خاکستر مورد نیاز جهت جایگزین کردن بخشی از سیمان از مجتمع فناوری پسماند ساوه تهیه شد. به دلیل وجود برخی ناخالصی ها در خاکستر جهت استفاده در بتن، خاکستر قبل از استفاده در بتن از الک نمره ۱۸ (۱ میلیمتر) عبور داده شد.

۲-۳. آب

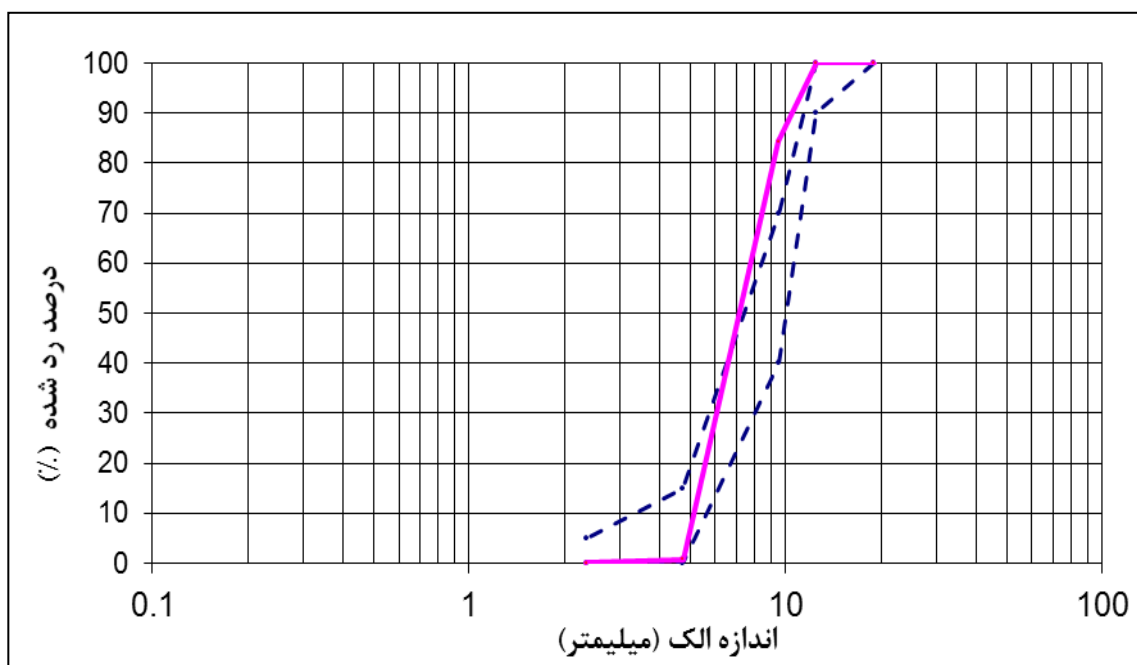
آب مصرفی، آب شرب شهرستان سبزوار میباشد که دارای PH مناسب است.

۲-۴. سنگدانه ها

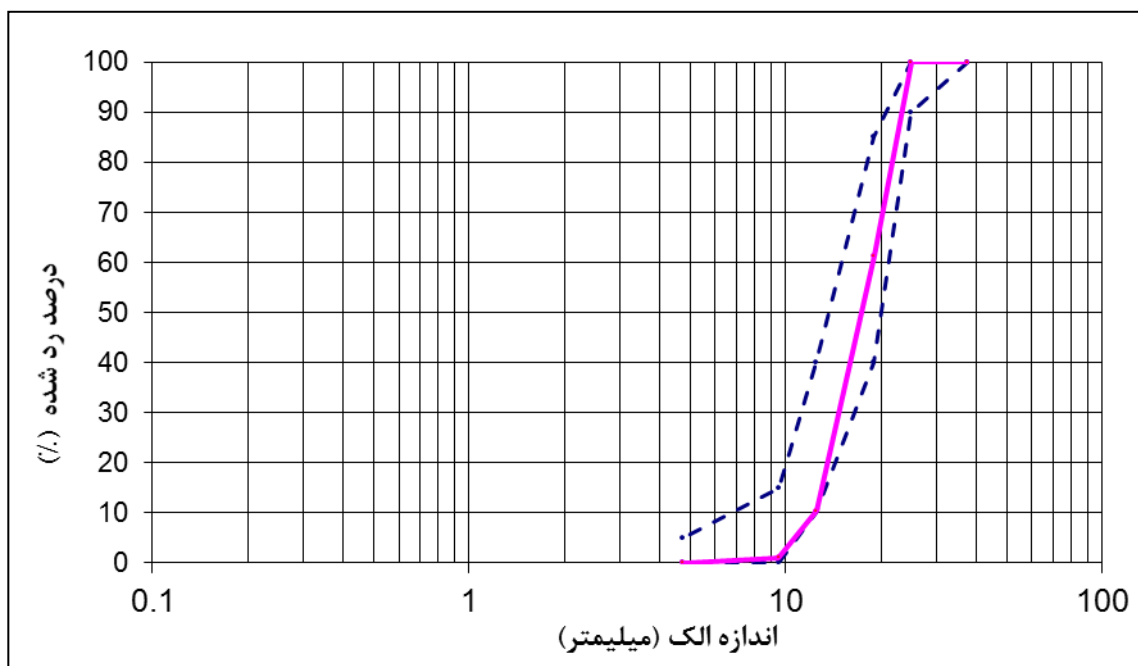
سنگدانه های مورد استفاده در بتن شامل دو نمونه شن درشت و شن ریز و یک نمونه ماسه از مصالح روستای ریوند شهرستان سبزوار تهیه شد که نمودار دانه بندی آنها در شکل های ۲ تا ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار دانه بندی ماسه مصرفی



شکل ۳. نمودار دانه بندی شن ریز مصرفی



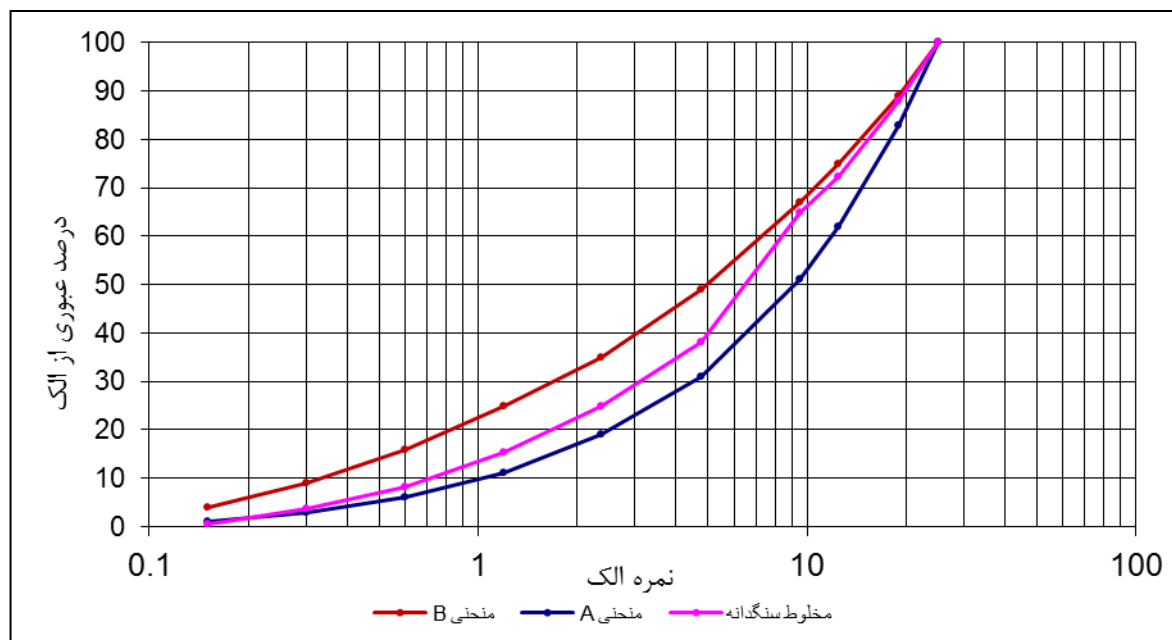
شکل ۴. نمودار دانه بندی شن درشت مصرفی

۳. طرح اختلاط بتن

ساخت نمونه های بتنی بر اساس طرح ملی مخلوط بتن ایران نشریه ۴۷۹ انجام شده است [۱]. پس از تهیه مصالح و اختلاط آنها به مدت ۵ دقیقه، برای ساخت نمونه ها از قالب استاندارد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر استفاده گردید. همچنین تراکم بتن تازه با استفاده از میله استاندارد در سه لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه انجام شد. اصلاح دانه بندی بر اساس آیین نامه طرح اختلاط ملی صورت گرفته و نمودار دانه بندی اصلاح شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همه نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و درون حوضچه آب آهک با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. مشخصات نمونه های تحت آزمایش در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. در همه طرح ها عیار سیمان، نسبت آب به سیمان و نوع دانه بندی ثابت در نظر گرفته شده و در تمامی طرح ها سعی شده تمامی شرایط ثابت نگه داشته شده و تنها میزان جایگزینی خاکستر تغییر کند.

جدول ۱- طرح اختلاط بتن (kg/m^3)

طرح	خاکستر (%)	خاکستر (kg)	آب (kg)	سیمان (kg)	شن درشت (kg)	شن ریز (kg)	ماسه (kg)	اسلامپ (cm)
A28	0	0	173	402	563	526	726	7.5
B28	10	40.2	173	361.8	563	526	726	7.5
C28	20	80.4	173	321.6	563	526	726	7.5
D28	30	120.6	173	281.4	563	526	726	7.5



شکل ۵: نمودار دانه بندی اصلاح شده

نسبت آب به سیمان w/c

با استفاده از نمودار شکل ۴-۱ صفحه ۱۳ از آیین نامه طرح اختلاط ملی و با توجه به مقاومت فشاری مشخصه مفروض در این تحقیق (برابر با ۳۰ مگاپاسکال) برای بتن معمولی (بدون خاکستر) و نیز انحراف معیار بدست آمده مطابق بخش ۳-۲-۲ از جدول ۳-۳ آیین نامه مذکور برابر با ۱۰/۵ و همچنین سیمان مصرفی با رده مقاومتی ۳۲۵ (رده مقاومتی سیمان پرتلند مصرفی نوع II، ۳۱۵ بوده که بر اساس آیین نامه طرح اختلاط ملی، می توان به هنگام استفاده از نمودار مذکور، آن را ۳۲۵ در نظر گرفت) و نهایتا با توجه به تیز گوشه بودن مصالح سنگدانه، نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۳ تعیین گردید.

۴. روش آزمایش

آزمایش های مقاومت فشاری بتن بر روی نمونه های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی متر بر اساس استاندارد بتن ایران تعیین شده است. در آزمایش مقاومت فشاری، نمونه ها با اعمال نیروی محوری فشاری با سرعت مشخص به حد مقاومت نهایی میرسند. مقاومت فشاری از تقسیم حدکثر نیروی تحمل شده توسط نمونه به سطح مقطع نمونه به دست می آید. در نهایت مقاومت فشاری به دست آمده از نمونه های مکعبی با اعمال ضریب بر اساس مقررات ملی بتن ایران به مقاومت فشاری نمونه استوانه ای استاندارد ۱۵ × ۳۰ سانتی متر بر حسب مگاپاسکال تبدیل می شوند.

جهت بررسی تاثیر خاکستر زباله بر روی مقاومت فشاری بتن معمولی، نمونه ها با صفر درصد خاکستر برای نمونه های شاهد و با ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درصد خاکستر به عنوان جایگزین سیمان ساخته شدند. تعداد نمونه ها برای هر درصد جایگزینی ۳ عدد بوده که میانگین مقاومت فشاری این سه نمونه به عنوان مقاومت فشاری بتن متناظر گزارش گردید. مقاومت فشاری نمونه ها بعد از عمل آوری در سن ۲۸ روزگی با استفاده از جک آزمایش فشاری (شکل ۶) اندازه گیری شد. نتایج به دست آمده میانگین ۳ نمونه می باشد.



شکل ۶. دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری

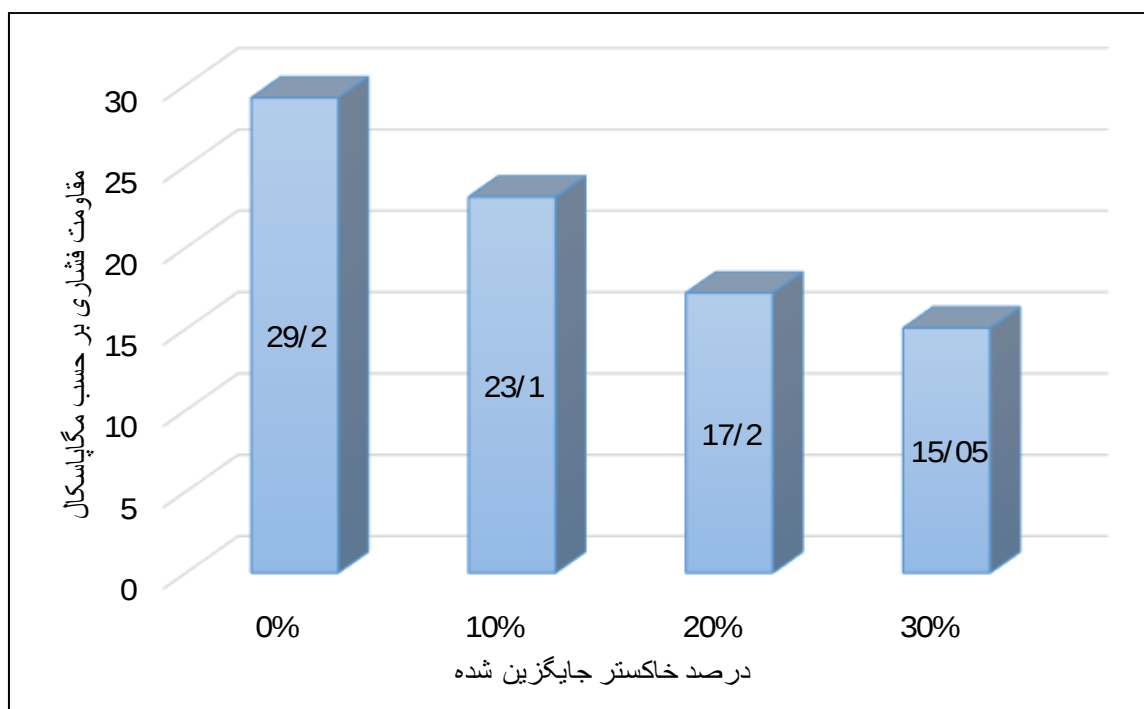
۵. نتایج و بحث

شکل ۷ نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتنی ۲۸ روزه با صفر، ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درصد خاکستر جایگزین شده با سیمان را نشان می دهد. با دقت در نمودار می توان مشاهده کرد که افزایش میزان خاکستر باعث کاهش مقاومت فشاری شده و این کاهش (نسبت به نمونه شاهد بدون خاکستر) برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد خاکستر به ترتیب برابر با ۲۱٪، ۴۲٪ و ۴۹٪ می باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده، عوامل زیر که در حین انجام آزمایش مشاهده گردید میتوانند دلایل احتمالی کاهش مقاومت بتن در اثر افزودن خاکستر به بتن باشند:

- در هنگام ساخت بتن نمونه های دارای خاکستر نسبت به نمونه های شاهد (که فاقد خاکستر می باشد) مقداری چربی در بتن مشاهده گردید؛ وجود این چربی ممکن است علت بخشی از کاهش مقاومت فشاری در نمونه های بتن دارای خاکستر باشد.

- همانطور که در شکل ۸ مشاهده می کنید پس از ۲۴ ساعت که نمونه ها از قالب خارج شد انحنایی (بادکردگی) در قسمت رویی نمونه ها مشاهده گردید که حاکی از افزایش حجم بتن پس از گیرش اولیه بود. در نمونه هایی که درصد جایگزینی خاکستر بیشتر بود این انحنای افزایش می یافت.



شکل ۷. مقاومت فشاری نمونه های بتنی

در نمونه بدون خاکستر که در سمت چپ شکل مشخص است هیچ گونه انحنایی مشاهده نمیشود ولی در نمونه های دارای خاکستر که به ترتیب با ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درصد سیمان جایگزین شده است همانطور که در شکل پیداست مقدار انحنای بیشتر شده است. همچنین خاکستر بر روی رنگ بتن تازه نیز تاثیر گذار بوده و هرچه مقدار خاکستر افزایش یافته رنگ بتن تیره تر میشود. اما در هنگام خشک شدن از این شدت تفاوت رنگ کاسته شده و تقریباً همه به رنگ بتن شاهد نزدیک میشود.



شکل ۸. انحنای بوجود آمده در سطح بتن



۶. جمع بندی و نتیجه گیری

براساس نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از تحقیق حاضر موارد زیر قابل استنتاج می باشد:

- نتایج نشان می دهند که با وجود کاهش مقاومت فشاری با افزایش خاکستر زباله، از بتن تولید شده هنوز می توان برای ساخت بتن هایی که نیاز به مقاومت فشاری کمتری دارند مانند بتن های پر کننده یا بتن سبک در کف سازی ساختمان استفاده نمود.
- با افزایش سن نمونه ها مقاومت فشاری افزایش می یابد که این روند نشاندهنده پیشرفت فرآیند بهبود ناحیه ی انتقال بین خمیر سیمان و سنگدانه می شود که ممکن است برای سن ۹۰ یا ۱۸۰ روز به مقاومت قابل قبولی برسد.
- با توجه به افزایش حجم مشاهده شده در بتن با افزایش میزان خاکستر جایگزین شده، شاید بتوان از این خاکستر در ساخت بتن های پر کننده ترکها و ترمیم سطوح بتنی که نیاز به مقاومت فشاری زیادی ندارند استفاده نمود. سیمان انبساطی به سیمان هیدرولیکی متشکل از سیلیکات های کلسیم، آلومینات های کلسیم و سولفات های کلسیم گفته می شود که پس از گیرش و در مرحله ابتدایی سخت شدن، انبساط حجمی چشمگیری از خود نشان دهد [۸]. ممکن است وجود این مواد در خاکستر باعث این انقباض شده باشد که باید با آزمایشهایی نظیر XRD از وجود آن مطمئن شد.
- یادآوری این مطلب نیز مفید به نظر می رسد که با توجه به اینکه نتایج حاصله منحصرأ مربوط به خاکستر موجود و روشهای به کار رفته در این تحقیق آزمایشگاهی بوده و ممکن است در هر بار سوزانده شدن، پسماندها دارای ترکیبات مختلفی بوده و اثر متفاوتی بر نتایج داشته باشند، جهت اظهار نظر قطعی تر و دقیق تر، به برنامه آزمایشگاهی گسترده تری نیاز خواهد بود.

۷. قدردانی

از همکاری مدیریت محترم و پرسنل مجتمع فناوری پسماند زیست قدردانی می شود.

۸. مراجع

۱. وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "روش ملی طرح مخلوط بتن"، نشریه شماره ض-۴۷۹، ۱۳۸۶
۱. ابراهیمی، آتیه؛ منیره سنگی و حسین پهلوان، "بررسی خواص مکانیکی و میزان تراوش سیمان ترکیب شده با خاکستر زباله بیمارستانی"، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، ایران، رشت، ۱۳۹۰
۲. رمضانپور، علی اکبر؛ مرتضی نیکروان؛ رضا مکنون و نوید ناشر احکامی، "تثبیت و جامدسازی خاکستر حاصل از سوخت زباله با استفاده از سیمان پرتلند و دوده سیلیس"، فصلنامه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۴
3. Tay, Joo-Hwa. "Ash from oil-palm waste as a concrete material." *Journal of Materials in Civil Engineering* 2, no. 2: 94-105. (1990)
4. Keppert, Martin, Zbyšek Pavlík, R. Cerny, and Pavel Reiterman. "Properties of concrete with municipal solid waste incinerator bottom ash." *Int Proc Comput Sci Inf Technol* 28: 127-131 (2012).



5. Tay, Joo-Hwa. "Ash from oil-palm waste as a concrete material." *Journal of Materials in Civil Engineering* 2, no. 2: 94-105. (1990)
6. Lynn, Ciarán J., Ravindra K. Dhir OBE, and Gurmel S. Ghataora. "Municipal incinerated bottom ash characteristics and potential for use as aggregate in concrete." *Construction and Building Materials* 127: 504-517 (2016).
7. Siddique, Rafat. "Use of municipal solid waste ash in concrete." *Resources, Conservation and Recycling* 55, no. 2: 83-91. (2010)
8. ASTM. "Standard specification for expansive hydraulic cement." *ASTM Standards* (2004).