



بررسی مقاومت سایشی بتن معمولی با افزودن 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

خلاصه

با توجه به روند سریع صنعتی شدن شهرها و افزایش پسماند های شهری و صنعتی و مشکلات جهت دفع این پسماند ها یکی از راه های دفع این پسماندها جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست سوزاندن آنها در کارخانه های زباله سوزی می باشد. این تحقیق به بررسی تاثیرات خاکستر حاصل از مجتمع فناوری پسماند شهر ساوه بر روی مقاومت سایشی بتن معمولی جهت استفاده در ساخت جداول بتنی پرداخته است. بتن استفاده شده در این تحقیق، از سیمان پرتلند معمولی و بر اساس روش ملی طرح اختلاط بتن ایران با مقاومت فشاری مشخصه ۳۰ مگاپاسگال و ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر برای سن ۲۸ روز ساخته شده و همچنین مقدار جایگزینی خاکستر زباله برابر صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سیمان می باشد. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده نشان می دهند که افزایش میزان خاکستر زباله جایگزین شده با سیمان در تولید جداول بتنی باعث کاهش در مقاومت سایشی می گردد؛ اما این کاهش مقاومت، بسیار جزئی بوده و مقاومت سایشی بتن همچنان در محدوده قابل قبول مقاومت سایشی استاندارد آیین نامه قرار داشته و لذا از بتن تولید شده با این خاکسترها همچنان می توان در ساخت جداول بتنی استفاده نمود.

کلمات کلیدی: مقاومت سایشی، خاکستر زباله سوز، بتن معمولی، جدول بتنی

۱. مقدمه

سالانه صدها تن پسماند از صنایع و شهر ها تولید می شود به طوریکه پسماند های تولید شده به یکی از معضلات اصلی در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. از طرف دیگر افزایش حجم تولید پسماند ها، هزینه های هنگفتی را به این کشورها تحمیل کرده است. همچنین کمبود محل های دفن زباله و هزینه های بالا در این امر باعث افزایش نگرانی بسیاری از شهرداری ها شده است. انواع پسماندها نظیر پسماندهای شهری، بیمارستانی، صنعتی و... از پسماندهای

* Corresponding author: shadnia@hsu.ac.ir



خطرناکی هستند که در صورت دفع غیراصولی، مطمئناً باعث آلودگی هوا، خاک، آبهای سطحی و زیرزمینی می شوند. یکی از راه های جلوگیری از این گونه آلودگی ها استفاده از دستگاه های زباله سوز می باشد.

امروزه بتن به عنوان پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان محسوب می شود. آلوده کننده ترین بخش صنعت بتن، فرآیند تولید سیمان می باشد. از طرف دیگر مصرف سالانه منابع اولیه طبیعی برای تولید سیمان نیز قابل توجه است. این تولید عظیم سیمان علاوه بر مصرف مقادیر بالای انرژی، باعث آزاد شدن مقادیر زیاد گاز کربن دی اکسید می شود. بنابراین استفاده از مواد جایگزین سیمان با هدف کاهش سیمان مصرفی در بتن مورد توجه ویژه محققین قرار گرفته است. یکی از این مواد جایگزین سیمان، خاکستر زباله می باشد که از بتن تولید شده بوسیله آن می توان در ساخت جداول یا کانال های بتنی انتقال فاضلاب استفاده نمود.

در استاندارد ASTM برای بتن، چهار آزمایش سایش ارائه شده است و برای برخی قطعات بتنی نیز از این آزمایش ها و یا آزمایش های دیگری استفاده می شود.

- ASTM C944 برای سایش بتن یا ملات (روش سمباده چرخان)

- ASTM C418 برای سایش بتن (روش ماسه پاشی)

- ASTM C779 برای سایش سطوح افقی بتنی (سه روش صفحه مدور سمباده ای چرخان، چرخ

استوانه ای دندانه دار، بلبرینگ چرخان)

- ASTM C1138 برای سایش بتن (روش زیر آب)

به نظر می رسد در تعریف آزمایش های سایش، دقت زیادی شده است تا نزدیکی بیشتری با واقعیت موجود داشته باشد که تنوع آزمایش ها را سبب گشته است.

در موارد مختلف برای هر نوع قطعه یا سطح در هر پروژه با کاربرد خاص، معیاری ارائه می شود که نشانه دوام بتن در برابر سایش است. در برخی استانداردهای دیگر آزمایش سایش چرخ عریض و آزمایش سایش Bohme پیش بینی شده است. برای مثال در استاندارد جداول بتنی (EN 1340) این دو آزمایش پیش بینی شده است و معیار خاصی در هر مورد ارائه شده است [۱]. جدول بتنی پیش ساخته، قطعه بتنی سیمانی است که به منظور جداسازی سطوح مختلف در یک تراز یا ترازهای ارتفاعی متفاوت به کار می رود.

چگونگی تأثیر اضافه کردن خاکستر بر مقاومت سایشی بتن، توسط محققین گذشته بررسی شده است [۲-۷]. در این تحقیق تأثیر اضافه کردن درصد های متفاوت خاکستر زباله به عنوان جایگزین بخشی از سیمان بر روی مقاومت سایشی بتن به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است.

۲. مشخصات مصالح مصرفی:

۲-۱. سیمان

سیمان مورد استفاده در ساخت نمونه ها، سیمان تیپ ۲ کارخانه سیمان شهرستان جوبین می باشد.

۲-۲. خاکستر زباله

خاکستر مورد نیاز جهت جایگزین کردن بخشی از سیمان، از مجتمع فناوری پسماند شهر ساوه تهیه شد. این مجتمع اولین شرکت در زمینه مدیریت پسماند است که به صورت متمرکز با نظارت کارگروه مدیریت پسماند شهرستان ساوه و

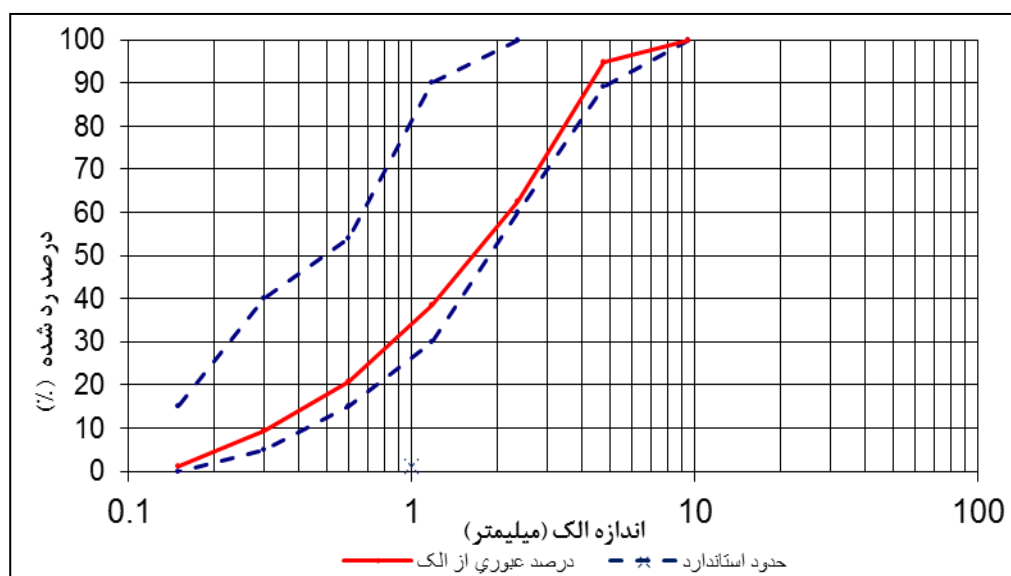
استان مرکزی فعالیت می کند. کوره های زباله سوز این مجتمع، برای امحاء پسماندهای صنعتی، پسماندهای ویژه جامد، مایع و لجن بوده و دمای عملیاتی در این کوره بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد می باشد که قابلیت امحاء انواع پسماندهای صنعتی و ویژه از جمله پسماندهای صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، سموم سنواتی به جز ارگانوکلره، انواع لجن ها، انواع ضایعات دارویی و بیمارستانی و سایر پسماندهای صنعتی و خطرناک قابل سوزاندن را دارا می باشد.

۲-۳. آب

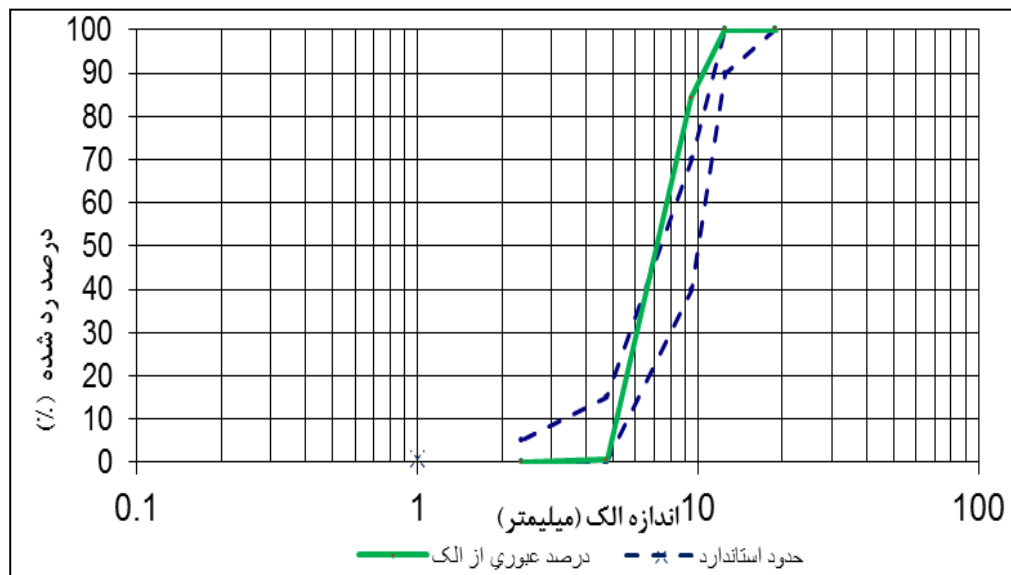
آب مصرفی، آب شرب شهرستان سبزوار می باشد که دارای PH مناسب است.

۲-۴. سنگدانه ها

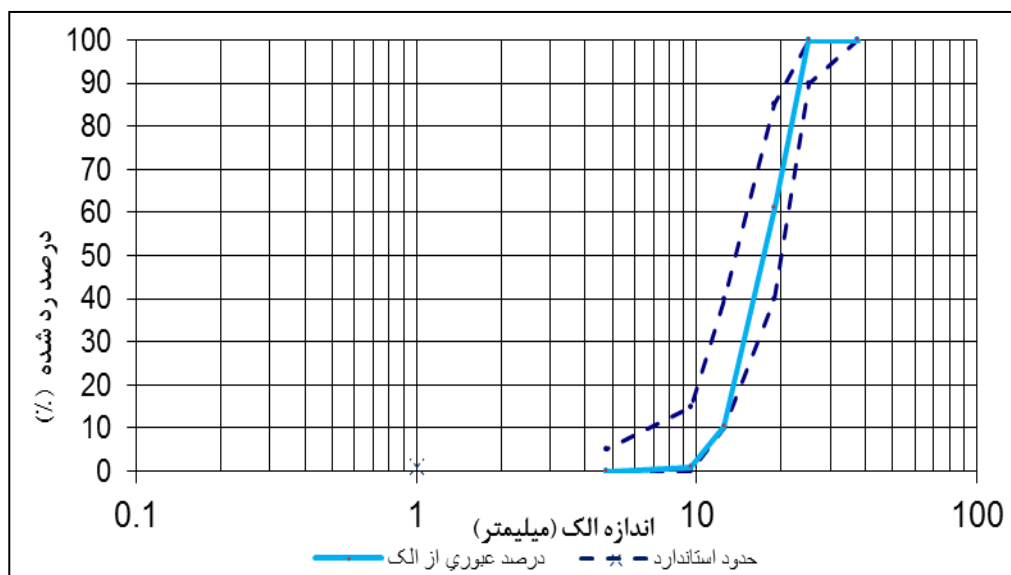
مصالح سنگدانه درشت دانه و ریز دانه از مصالح روستای ریوند شهرستان سبزوار تهیه شد که نمودار دانه بندی آنها در شکل ۱ تا ۳ آورده شده است.



شکل ۱. نمودار دانه بندی ماسه مصرفی

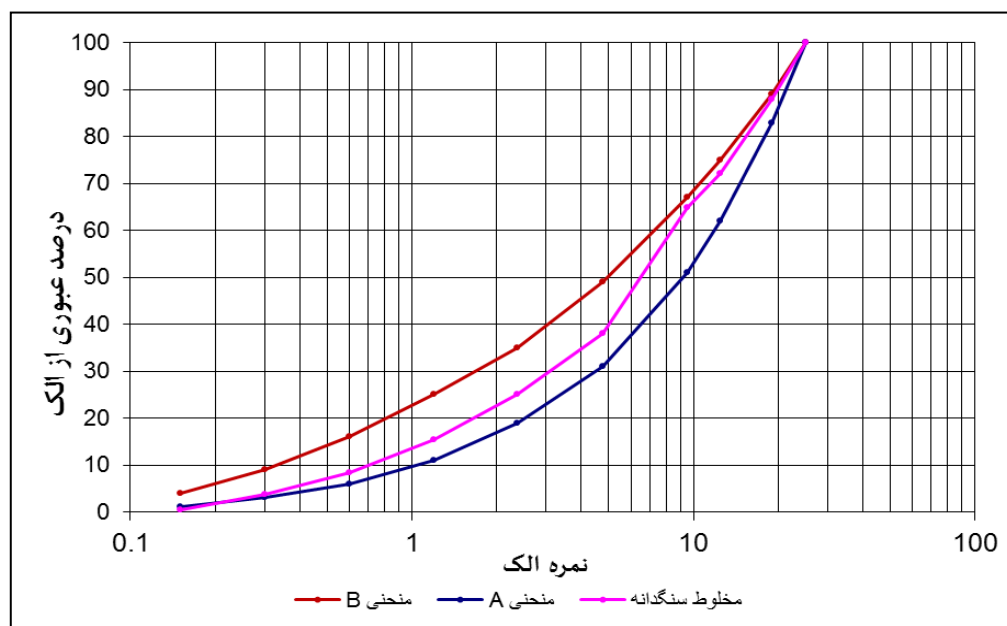


شکل ۲. نمودار دانه بندی شن ریز مصرفی



شکل ۳. نمودار دانه بندی شن درشت مصرفی

ساخت نمونه های بتنی بر اساس طرح ملی مخلوط بتن ایران نشریه ۴۷۹ انجام شده [۸] و نمودار دانه بندی اصلاح شده در شکل ۴ نشان داده شده است. پس از تهیه مصالح و اختلاط آنها به مدت ۵ دقیقه، برای ساخت نمونه ها از قالب استاندارد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر استفاده گردید.



شکل ۴. نمودار دانه بندی اصلاح شده

همچنین برای تراکم از میل استاندارد در سه لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه انجام شد. همه نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و درون حوضچه آب آهک با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. 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 و دیگر شرایط ثابت نگهداشته شده و تنها میزان خاکستر جایگزین شده تغییر کرده است. لازم به ذکر است که نسبت آب به سیمان (w/c) با استفاده از نمودار صفحه ۳۱ طرح اختلاط ملی بتن با در نظر گرفتن سیمان رده ۳۲۵ و تیز گوشه بودن سنگدانه ها برابر ۰/۴۳ به دست آمد.

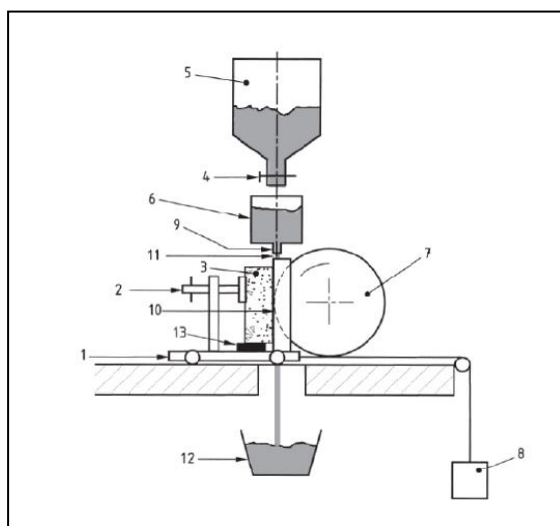
جدول ۱- طرح اختلاط بتن (kg/m³)

طرح	خاکستر (%)	آب (kg)	خاکستر (kg)	سیمان (kg)	شن درشت (kg)	شن ریز (kg)	ماسه (kg)
C0	0	173	0	402	563	526	726
C10	10	173	40.2	361.8	563	526	726
C20	20	173	80.4	321.6	563	526	726
C30	30	173	120.6	281.4	563	526	726

یادآوری می شود که بر اساس آیین نامه برای تست سایشی جداول بتنی، نمونه تحت آزمایش باید کل محصول یا بریده ای از آن با حداقل ابعاد 100×70 میلی متر و ضخامت (1 ± 60) میلی متر باشد. در این تحقیق نمونه های اولیه با ابعاد $150 \times 150 \times 150$ میلیمتر بر اساس استاندارد ملی ایران ساخته شده که برای آزمایش سایشی به ابعاد $150 \times 150 \times 75$ میلی متر برش داده شده و آماده تست سایشی شد.

۳. روش آزمایش

در این تحقیق، مقاومت سایشی بتن با استفاده از آزمون چرخ عریض تعیین شده است. ماشین سایش همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است باید از یک چرخ ساینده عریض، یک قیف ذخیره با یک یا دو شیر کنترل برای تنظیم ماده ساینده خروجی، یک قیف هدایتگر جریان، یک میز یا صفحه متحرک گیره دار و یک وزنه تشکیل شده باشد. در صورت استفاده از دو شیر کنترل، یکی از آن ها باید برای تنظیم آهنگ جریان به کار رود و شیر دیگر برای قطع و وصل جریان به کار گرفته می شود.



شکل ۵. دستگاه آزمایش مقاومت سایشی

چرخ عریض سایش باید از یک فولاد منطبق با استاندارد بند ۲-۲۴ با سختی بین HB ۲۳۰ و HB ۲۴۵ ساخته شود. قطر چرخ باید (1 ± 20) میلیمتر و عرض آن (1 ± 70) میلیمتر باشد. چرخ باید در مدت (3 ± 60) ثانیه به تعداد ۷۵ دور بچرخد.

برای اینکه شیار ایجاد شده بر روی نمونه ها راحت تر قابل رویت باشد، نمونه ها قبل از آزمایش همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، با اسپری رنگ شدند .



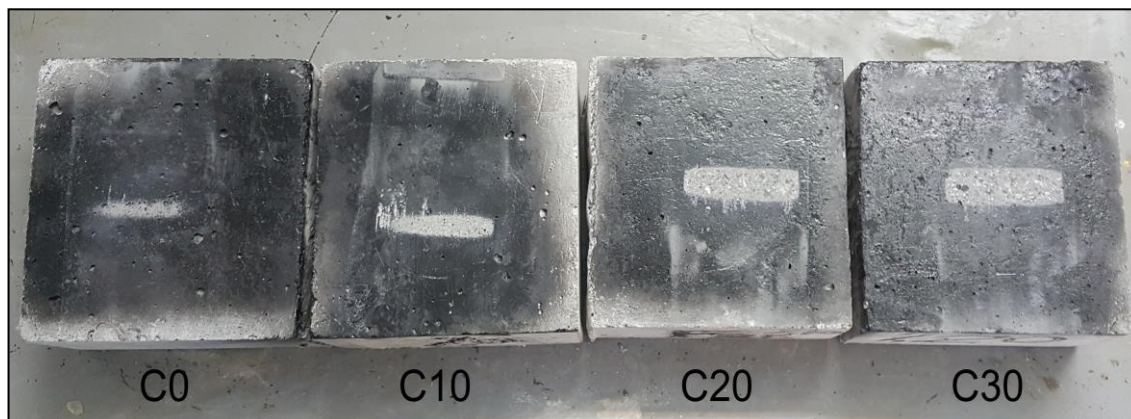
شکل ۶. آماده سازی نمونه جهت انجام آزمایش مقاومت سایشی

میز متحرک گیردار روی یک تکیه گاه غلتکی نصب شده است و به کمک وزنه به سمت چرخ کشیده می شود و با نیروی معینی به آن می چسبد و نیرو وارد می کند. قیف ذخیره دارای مواد ساینده ای است که یک قیف هدایتگر جریان را تغذیه می کند.

ابتدا قیف ذخیره از مواد ساینده خشک پر شده و میز متحرک گیره دار از چرخ سایش عریض دور می گردد. سپس نمونه به گونه ای در محل مورد نظر قرار می گیرد که فاصله شیار ایجاد شده از نمونه حداقل برابر با ۱۵ میلیمتر باشد. آنگاه نمونه بر روی گوه، محکم می گردد تا امکان جریان مواد ساینده را ایجاد کند. سپس نمونه در تماس با چرخ سایش قرار گرفته و شیر کنترل مخزن مواد ساینده حاوی آلومینات باز می شود. در پایان دستگاه تعیین مقاومت سایشی روشن می گردد تا در مدت زمان ۶۰ ثانیه با سرعت ۷۵ دور در دقیقه بچرخد.

۴. نتایج و بحث

آزمایش مقاومت سایشی بتن روی نمونه های مکعبی $150 \times 150 \times 75$ میلیمتر در شکل ۷ بر اساس استاندارد ۱۲۷۲۸ ایران برگرفته از استاندارد (EN 1340) مربوط به ویژگی ها و آزمایش های جداول بتنی تعیین شده است [۱]. جهت انتخاب بهترین مقدار مصرف خاکستر زباله، نمونه ها با صفر درصد خاکستر برای نمونه های شاهد و ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درصد خاکستر جایگزین سیمان برای مقاومت ۳۰ مگاپاسکال با اسلامپ ۵۰-۹۰ میلی متر مورد بررسی قرار گرفتند. مقاومت سایشی نمونه ها بعد از ۲۸ روز عمل آوری با استفاده از دستگاه سنجش مقاومت سایشی اندازه گیری شد. نتایج به دست آمده برای هر یک از درصد های خاکستر میانگین سه مقدار بدست آمده از سه نمونه آزمایش می باشد.

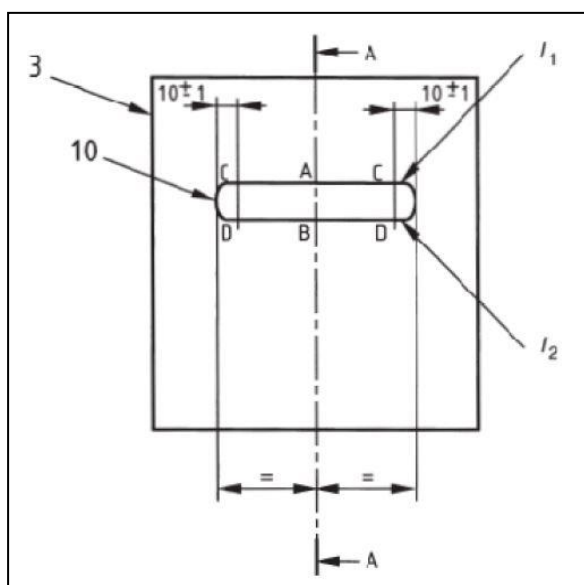


شکل ۷. تعدادی از نمونه های بتنی با درصدهای متفاوت خاکستر برای انجام آزمایشهای مقاومت سایشی

۱-۴. اندازه گیری شیار ایجاد شده

همانطور که در شکل ۸ آورده شده است ابتدا با استفاده از یک مداد نیم میلیمتری محدوده خارجی شیار با خط کش علامت گذاری و خط کشی گردید. (L1 و L2 در شکل ۸). سپس خط ACDB را از وسط شیار عمود بر خط وسط آن رسم کرده و با استفاده از یک کولیس، رقومی را که روی نقاط A و B در لبه داخلی حدود طول L1 و L2 شیار قرار گرفته را با تقریب ± 0.1 mm اندازه گیری کرده و آن را ثبت می کنیم.

برای واسنجی، اندازه گیری را به فاصله (1 ± 0) میلیمتر از هر انتهای شیار (C و D) انجام داده تا سه نتیجه به دست آید. نتیجه آزمون که همان بُعد تصحیح شده پس از اعمال ضرایب واسنجی است پس از گرد شدن با تقریب 0.5 میلیمتر گزارش می گردد. ضریب واسنجی اختلاف عددی بین ۲۰ و نتیجه واسنجی می باشد.



شکل ۸. اندازه گیری شیار نمونه ها

در جدول شماره ۲ اندازه شیارهای حاصل از آزمایش مقاومت سایشی آورده شده است که اندازه نهایی میانگین سه نمونه برای هر درصد جایگزینی می باشد.

جدول ۲- اندازه شیارهای بدست آمده از مقاومت سایشی

اندازه نهایی (mm)	CD (mm)	CB (mm)	AB (mm)	درصد جایگزینی	طرح
20.07	7.3	8.2	8.8	0	C0
20.16	9.70	10.40	12.40	10	C10
20.50	16.58	17.50	17.80	20	C20
20.93	19.50	20.30	21.30	30	C30

پس از اندازه گیری ابعاد شیارهای به دست آمده و ثبت میانگین نمونه ها، نتایج آزمایش با جدول ۳ مقایسه شده تا رده مقاومت سایشی نمونه ها به دست آید.

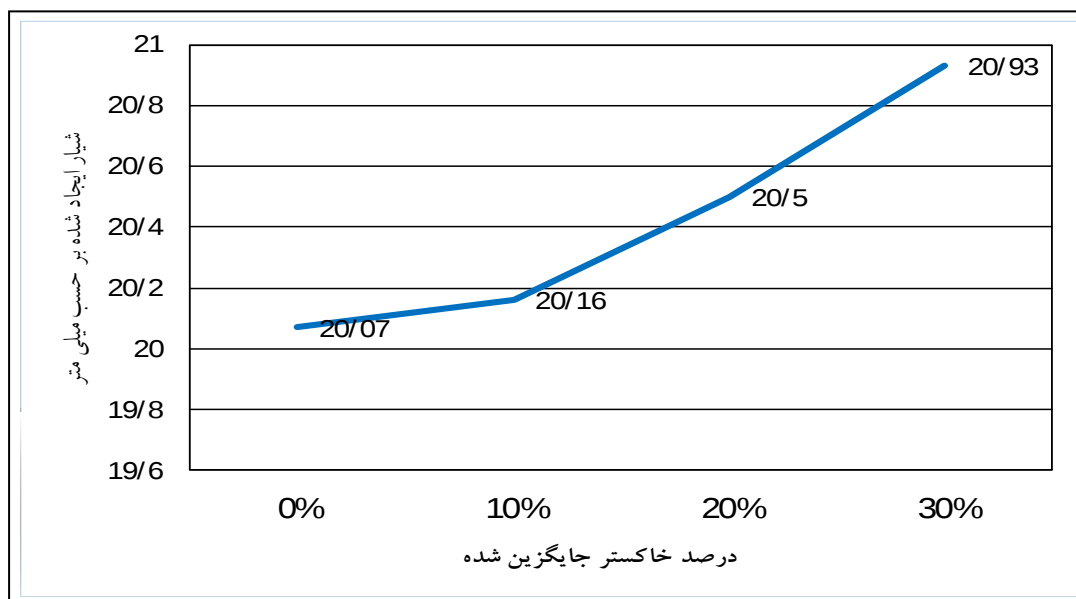
جدول ۳- رده های مقاومت سایشی [۱]

رده	نشانه	حداکثر سایش (چرخ عریض) mm	حداکثر سایش (Bohme) mm
ضعیف	F	-	-
متوسط	H	۲۳	۴ یا $20000\text{mm}^3/5000\text{mm}^2$
خوب	I	۲۰	۳/۶ یا $18000\text{mm}^3/5000\text{mm}^2$

۲-۴. محاسبه مقاومت سایشی

شکل ۹ نتایج آزمایشگاهی مقاومت سایشی نمونه های بتنی ۲۸ روزه با صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد خاکستر زباله جایگزین شده با سیمان را نشان می دهد. نتایج نشان می دهند که افزایش میزان خاکستر زباله باعث اندکی کاهش در مقاومت سایشی نمونه ها می گردد. همانطور که مشاهده می شود مقادیر مقاومت سایشی به ترتیب برای درصد های خاکستر جایگزین شده صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد برابر ۲۰/۰۷، ۲۰/۱۶، ۲۰/۵۰، ۲۰/۹۳ می باشد.

با توجه به جدول ۳ طبق استاندارد مورد استفاده در این آزمایش نتایج به دست آمده از مقاومت سایشی همگی در رده H (متوسط) قرار می گیرند که مقاومت سایشی قابل قبولی برای استفاده در جداول بتنی می باشد.



شکل شماره ۹. نمودار مقاومت سایشی نمونه های بتنی با درصد های متفاوت خاکستر

۵. جمع بندی و نتیجه گیری

این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی تاثیر خاکستر زباله حاصل از مجتمع فناوری پسماند شهر ساوه به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد استفاده در بتن بر روی مقاومت سایشی بتن جهت استفاده در ساخت جداول بتنی پرداخته است. نتایج نشان می دهند که افزایش مقدار خاکستر زباله جایگزین شده با سیمان باعث کاهش جزئی در مقاومت سایشی بتن می گردد؛ اما این کاهش جزئی در محدوده قابل قبول مقاومت سایشی استاندارد آیین نامه قرار داشته و لذا از بتن تولید شده با این خاکسترها همچنان می توان در ساخت جداول بتنی استفاده نمود.

هر چند جهت اظهار نظر قطعی تر و دقیق تر، به برنامه آزمایشگاهی گسترده تری نیاز می باشد، اما می توان گفت با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق شاید بتوان از خاکستر زباله به عنوان جایگزین بخشی از سیمان برای ساخت کانال های انتقال فاضلاب یا ساخت دیوارهای حایل خود ایستا و یا بلوک های جدا کننده وسط جاده ها استفاده کرد.

۶. قدردانی

از همکاری صمیمانه مدیریت محترم و پرسنل مجتمع فناوری پسماند زیست که نشان از توجه ویژه مدیریت محترم مجتمع به تحقیقات علمی دارد کمال سپاسگذاری و قدردانی می شود.



۷. مراجع

1. DIN EN 1340:Concrete kerb units, requirements and test methods. (2003)
2. Li, Hui, Mao-hua Zhang, and Jin-ping Ou. "Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement." *Wear* 260, no. 11-12 (): 1262-1266.(2006)
3. Longhi, Mattia, Marcelo Gonzalez, Sonia Rahman, Susan L. Tighe, and Cesare Sangiorgi. Evaluation of Strength and Abrasion Resistance of Pervious Concrete Mixes Using Three Types of Cements. No. 15-3369. (2015)
4. Chen, Yu, and Qisen Zhang. "Manufacturing technology of porous cement concrete for highway construction." In *Road Pavement Material Characterization and Rehabilitation: Selected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference*, pp. 22-33. (2009)
5. Lin, K. L., W. Ci Chang, D. F. Lin, H. L. Luo, and M. C. Tsai. "Effects of nano-SiO₂ and different ash particle sizes on sludge ash-cement mortar." *Journal of Environmental Management* 88, no. 4: 708-714. (2008)
۶. شیرگیر، بهروز؛ هادی علیزاده گودرزی و وحید شیرگیر، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر افزودنی نانوسیلیس بر مقاومت سایشی بتن نفوذپذیر در روسازی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۱۳۹۵
۷. ولی زاده، میثم؛ گرشاسب خزائی و جلال ولی زاده، "تاثیر قطعات لاستیک همراه با سیم و الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر ضایعاتی بر مقاومت های سایشی و فشاری بتن، اولین کنگره بین المللی صنعت ساختمان با محوریت تکنولوژی های نوین در صنعت ساختمان"، تبریز، مجمع مهندسان جوان استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹۷
۸. وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "روش ملی طرح مخلوط بتن"، نشریه شماره ض-۴۷۹، ۱۳۸۶