Journal of Structural and Construction Engineering, 12(07), 2025, pp. 156-182

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

An Experimental Study on the Mechanical Behavior and Durability of Concrete Containing Different Proportions of Coffee Waste

Ashkan KhodaBandehLou [1*], Hamid Reza Oskouei[2]

**1-Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran*
2-M.Sc. Student of Soil and Foundation Engineering, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

ABSTRACT

Today, with the increasing population of metropolitan areas and changes in lifestyle, waste production has significantly increased. This highlights the necessity of developing recycling infrastructure and utilizing these materials in the construction industry more than ever. One type of recyclable waste that can be used in building materials is coffee grounds. Currently, coffee is one of the most popular beverages in the world. In recent years, coffee consumption in Iran has grown significantly. Coffee grounds account for a considerable amount of waste, and there is no effective mechanism for recycling them. In this research, to recycle coffee waste in concrete, five mix designs with varying ratios of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% by weight of cement were used. The conducted tests include assessing slump, compressive strength, tensile strength, initial and secondary water absorption, acid durability, and the microstructure of concrete. The results of this research showed that the use of coffee waste in concrete initially increases its compressive strength. However, as the setting age increases, the 90-day compressive strength decreases, and the cement paste deteriorates. On the other hand, coffee waste contains compounds that enhance its durability against acids. Therefore, the more coffee waste in the concrete, the greater the acid durability, and the damage caused by acids decreases. Overall, using small amounts (maximum of 5%) can be applied in landscaping, exposed concrete, and flooring.

ARTICLE INFO

Receive Date: 11 April 2025
Revise Date: 06 June 2025
Accept Date: 12 July 2025

Keywords:
Recycled Concrete
Coffee Waste
Coffee Recycling
Green Concrete
Mechanical Properties

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2025.514152.3689

*Corresponding author: Ashkan KhodaBandehLou
Email address: a.khodabandehlou@iau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مطالعه آزمایشگاهی رفتار مکانیکی و دوام بتن حاوی نسبت‌های مختلف پسماند قهوه

اشکان خدابنده‌لو[1*]، حمیدرضا اسکویی[2]

*۱- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
۲- کارشناسی ارشد خاک و پی، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه

چکیده

امروزه با افزایش جمعیت کلان شهرها و تغییر سبک زندگی، تولید پسماندها به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این موضوع، ضرورت توسعه زیرساخت‌های بازیافت و استفاده از این مواد در صنعت ساختمان را بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. یکی از انواع پسماندهای قابل بازیافت که امکان استفاده در مصالح ساختمانی را دارد پسماند قهوه می‌باشد. در حال حاضر قهوه یکی از پرطرفدارترین نوشیدنی‌های جهان است. در طی سال‌های اخیر، مصرف قهوه در ایران رشد چشمگیری داشته. پسماند قهوه حجم قابل توجهی از پسماند را به خود تخصیص داده و سازوکار موثری برای بازیافت آن وجود ندارد. در این تحقیق با هدف بازیافت پسماند قهوه در بتن از ۵ طرح مخلوط با نسبت‌های مختلف ۰٪، ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵ ٪ و ۱۰٪ وزنی سیمان استفاده گردید. آزمایشات انجام شده شامل بررسی اسلامپ، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، میزان جذب آب اولیه و ثانویه، دوام اسیدی و بررسی ریزساختار بتن می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پسماند قهوه در بتن ابتدا باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. اما با افزایش سن گیرش، مقاومت فشاری ۹۰ روزه کاهش یافته و خمیره سیمان دچار زوال می‌گردد. از طرفی پسماند قهوه حاوی ترکیباتی است که دوام آن را در برابر اسیدها افزایش می‌دهد. بطوریکه هرچه میزان پسماند قهوه در بتن افزایش یابد، دوام اسیدی بیشتر شده و میزان خرابی ایجاد شده توسط اسید کاهش پیدا می‌کند. بطور کلی استفاده از مقادیر کم (حداکثر ۵٪) می‌تواند در بتن‌های محوطه‌سازی، اکسپوز و کفسازی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: بتن بازیافتی، پسماند قهوه، بازیافت قهوه، بتن سبز، خواص مکانیکی

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۴۰۴/۰۱/۲۲	۱۴۰۴/۰۳/۱۶	۱۴۰۴/۰۴/۲۱	۱۴۰۴/۰۴/۲۱	۱۴۰۴/۰۷/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2025.514152.3689
					10.22065/jsce.2025.514152.3689

*نویسنده مسئول: اشکان خدابنده‌لو
پست الکترونیکی: a.khodabandehlou@iau.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه رشد جمعیت شهری منجر به افزایش چشمگیر حجم پسماندها شده است. این موضوع، ضرورت توسعه زیرساخت‌های بازیافت و استفاده از این مواد در صنعت ساختمان را بیشتر از پیش نشان می‌دهد. در حال حاضر، بسیاری از کشورهای توسعه یافته به دلیل کمبود منابع طبیعی و مکان‌های دفن زباله، مصالح ساختمانی را با استفاده از مواد قابل بازیافت تولید می‌کنند. استفاده از این روش، افزون بر مزایای زیست‌محیطی، زمینه‌ساز فرصت‌های اقتصادی همچون ایجاد اشتغال و جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی می‌شود. بازیافت پسماندها شامل مراحل مختلفی چون جمع‌آوری، جداسازی، پردازش و تولید محصولات جدید است که می‌تواند زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی کشورها را تقویت کند[۱]. صنعت بازیافت در سال‌های اخیر به یکی از بخش‌های پررونق اقتصادی تبدیل شده و در حوزه‌های مختلفی از جمله ساخت‌وساز و مسکن، نقش چشمگیری ایفا کرده است. بطوریکه دفن سالانه ۱۶ میلیون تن زباله علاوه بر آسیب‌های محیط زیستی، فرصت‌های اقتصادی و اشتغال را از بین می‌برد[۲]. براساس آمار منتشر شده، ایران سالانه حدود ۲۰ میلیون تن زباله تولید می‌کند که تنها ۲۰٪ آن به چرخه بازیافت وارد می‌شود. این در حالی است که میانگین جهانی نرخ بازیافت، ۷۰٪ است. این اختلاف نشان می‌دهد که کشور ایران دارای پتانسیل بسیار بالایی در توسعه صنعت بازیافت خواهد داشت[۳].

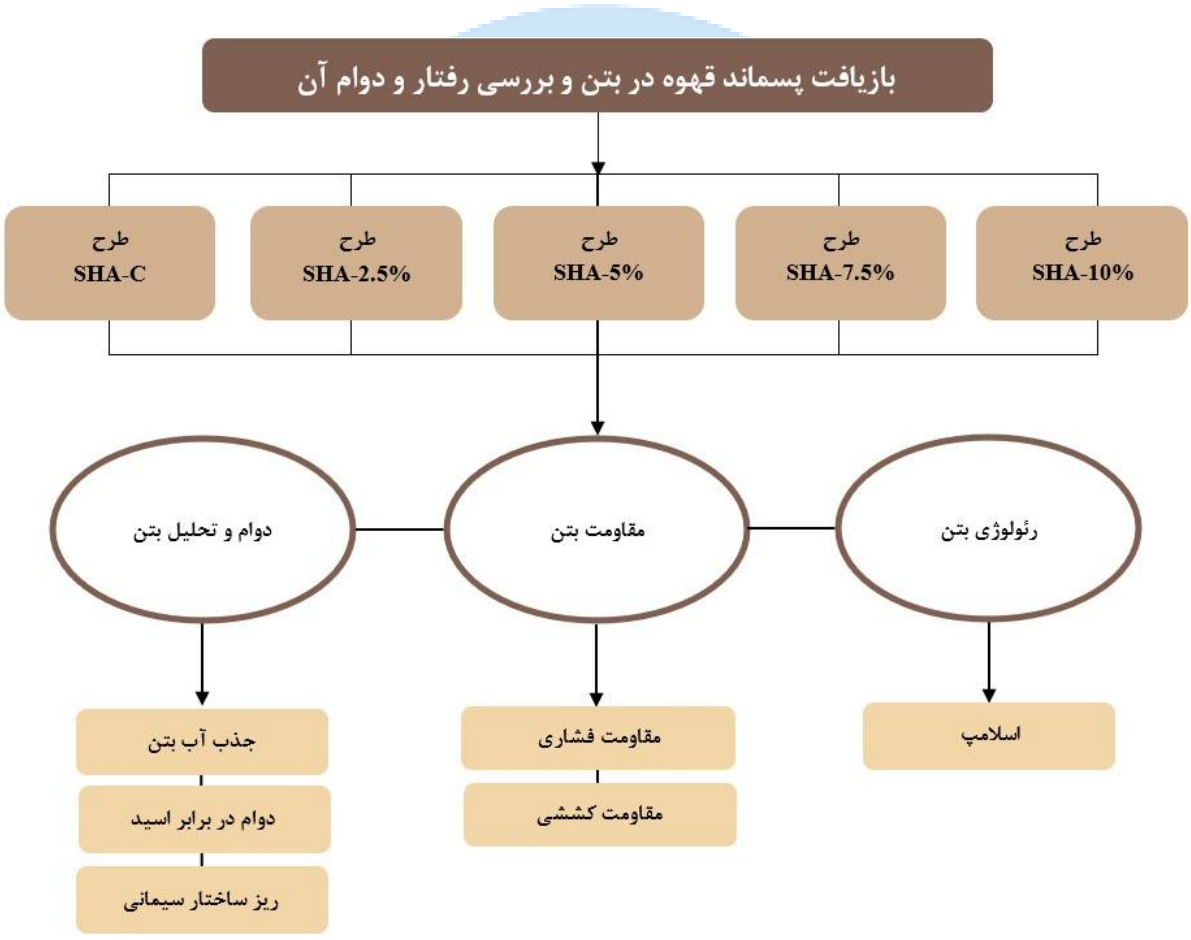
تخمین زده شده که روزانه حدود دو میلیارد فنجان قهوه در جهان مصرف می‌شود و این نوشیدنی در زمره پرمصرف‌ترین نوشیدنی‌ها قرار دارد. براساس آمار، حجم واردات انواع قهوه به ایران در سال‌های اخیر رشد قابل‌توجهی داشته است. آمارهای ارائه شده توسط گمرک نشان می‌دهد که میزان واردات قهوه از ۷/۶۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۶ به بیش از ۳۰ هزار تن در سال ۱۴۰۰ رسیده است. بخش بزرگ این واردات برای مصارف داخلی استفاده می‌شود. سرانه مصرف قهوه در ایران در سال ۱۴۰۲ به طور میانگین حدود ۴۰۰ گرم برای هر نفر اعلام شده است. این روند نشان‌دهنده افزایش مصرف قهوه در ایران طی سال‌های اخیر است و پیش‌بینی می‌شود که این مصرف همچنان در حال گسترش باشد. با این حال، بخش عمده‌ای از پسماند قهوه پس از مصرف به‌عنوان زباله دور ریخته می‌شود. از طرفی حدود ۵۰٪ از این پسماندها تبدیل به زباله شده و تنها ۳۵٪ آن به کود کمپوست تبدیل می‌شود[۴]. عمدتاً این پسماندها در اطراف شهرها دفن می‌شوند و این مقدار دفن زباله مصرفی اثرات مخربی بر محیط زیست دارد. علت اصلی این مسئله، تولید گاز متان ناشی از پوسیدن پسماند قهوه و شیرابه‌هایی است که با نفوذ به سفره‌های آب زیرزمینی، آن‌ها را آلوده می‌کند. در حالیکه با اتخاذ تدابیری می‌توان پسماند قهوه را بازیافت و از آن در تولید محصولاتی مانند مصالح ساختمانی بهره برد. بازیافت این نوع پسماند در کشورهای اروپایی رایج است. بطوریکه مراکزی جهت خرید و جمع‌آوری پسماند قهوه از دیگر کشورها راه‌اندازی شده و از این پسماندها در صنایع مختلفی، همچون کشاورزی، تولید محصولات آرایشی و مصالح ساختمانی استفاده می‌شود[۵]. پسماند قهوه را می‌توان به راحتی از مراکز عرضه نوشیدنی قهوه، به ویژه کافی‌شاپ‌هایی که غالباً در کلان‌شهرها فعالیت دارند، جمع‌آوری و بازیافت کرد. از آنجا که مصرف قهوه در مناطق روستایی یا کوچک کمتر است، نیازی به تفکیک پسماندهای خانگی نیست و می‌توان آن را از کافه‌ها و دیگر مراکز فروش قهوه سازمان‌دهی کرد.

بتن، به‌عنوان پرمصرف‌ترین محصول ساختمانی، نیاز به منابع طبیعی زیادی دارد. افزایش تعداد پروژه‌های عمرانی به ویژه در کشورهای در حال توسعه، نگرانی‌ها در رابطه با استفاده بی‌رویه از منابع معدنی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از دفن زباله‌ها را افزایش داده است. بتن‌های سبز به عنوان مصالح دوستدار محیط زیست، به دلیل تولید با استفاده از مواد ضایعاتی و انرژی کمتر، نه‌تنها تأثیرات منفی بر محیط زیست را کاهش می‌دهند، بلکه می‌توانند هزینه‌های ساخت را نیز کاهش دهند[۶]. این بتن‌ها با استفاده از مواد دورریز نظیر خاکستر زباله، ضایعات کشاورزی و پسماندهای غذایی یا معدنی تولید شده و در پروژه‌های عمرانی در بسیاری از کشورهای پیشرفته کاربرد دارند. یکی از راه‌حل‌های نوین در این زمینه، استفاده از پسماند پسماند قهوه در تولید مصالح ساختمانی است. استفاده از پسماند قهوه در صنعت ساخت‌وساز می‌تواند موجب کاهش مصرف منابع طبیعی مانند شن و ماسه شود و در عین حال به کاهش دفن زباله‌ها کمک کند[۷]. محققان در سراسر دنیا بر روی توسعه راهکارهای استفاده مجدد از این پسماندها کار می‌کنند و انتظار می‌رود که در آینده، کاربرد بتن حاوی پسماند قهوه به ویژه در صنعت ساخت و ساز گسترش یابد.

تاکنون تحقیقات کمی در زمینه استفاده از پسماند قهوه در تولید ملات یا بتن انجام شده. این نظریه برای اولین بار در کشور ژاپن در سال ۲۰۱۵ میلادی انجام گرفت که طی آن از پسماند قهوه در تولید ملات سیمانی استفاده گردید. اما نکته قابل توجه آن است که تحقیقات در زمینه استفاده از پسماند قهوه در بتن در سراسر دنیا طی سه سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته و در حال گسترش است. اخیراً کیلمارتین لینچ و همکاران برای انجام یک تحقیق در دانشگاه ملبورن استرالیا، پسماند قهوه را از کافه‌های اطراف دانشگاه ملبورن جمع‌آوری کردند و آن را در دمای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برای تبدیل به بیوچار[1] حرارت دادند. نسبت جایگزینی پسماند قهوه در بتن به میزان ۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ حجمی به عنوان جایگزینی برای ماسه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌های حاوی ۱۵٪ پسماند قهوه بجای ماسه که در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت‌دهی شده است، منجر به افزایش ۲۹٪ مقاومت فشاری آن می‌شود[۱۰]. جویندوز و همکاران در سال ۲۰۲۳ به بررسی استفاده از پسماند قهوه مصرف شده به عنوان فیلر بجای بخشی از ماسه در تولید بتن و بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام حرارتی آن پرداختند. در این تحقیق پسماند قهوه مصرفی در نسبت‌های مختلف حجمی ۰٪، ۵٪، ۱۰ ٪، ۱۵ ٪ و ۲۰٪ جایگزین ماسه گردید و میزان اسلامپ، تخلخل و مقاومت حرارتی بتن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پسماند قهوه در بتن میزان اسلامپ را کاهش می‌دهد. اما دوام حرارتی بتن را افزایش داده که می‌توان از آن بعنوان یک عایق حرارتی استفاده نمود[۱۱]. زین و همکاران در سال ۲۰۲۳ به بررسی تاثیر اختلاط خاکستر پوسته قهوه به عنوان جایگزین بخشی از سیمان به همراه خاکستر بادی در بتن پرداختند. در این تحقیق گزارش شده که پوسته قهوه دارای مقادیر بالای سیلیس می‌باشد که این عنصر در واکنش هیدراتاسیون سیمان، می‌تواند خاصیت چسبندگی بتن را افزایش دهد. سپس خاکستر پوسته قهوه در نسبت‌های مختلف وزنی ۰٪، ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ جایگزین بخشی از سیمان گردید و همراه با ۵٪ خاکستر بادی در اختلاط بتن مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که هر چه میزان خاکستر پوسته قهوه بیشتر باشد، مقاومت فشاری بتن کمتر می‌شود. زیرا خاکستر پوسته قهوه همراه با خاکستر بادی از واکنش سیمان با آهک جلوگیری می‌کند و از رسیدن آب کافی در مخلوط بتن برای رسیدن به حداکثر چسبندگی جلوگیری می‌کند[۱۲]. تسیما و همکاران در سال ۲۰۲۲ میلادی به بررسی تاثیر خاکستر پوسته قهوه به عنوان پرکننده در مخلوط آسفالت با قیر پرداختند. در این تحقیق به بررسی تاثیر خاکستر پوسته قهوه در مقایسه با گرد سنگ بازالتی بر عملکرد مخلوط‌های آسفالت قیری برای راهسازی پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از خاکستر پوسته قهوه و گرد سنگ بازالت دارای مقاومت قابل قبولی است[۱۳]. گیدفاو و همکاران در سال ۲۰۲۲ به بررسی تاثیر خاکستر پوسته قهوه به عنوان جایگزینی بخشی از سیمان در بتن پرداختند. در این تحقیق از خاکستر پوسته قهوه در نسبت‌های وزنی ۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ سیمان در بتن استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش میزان خاکستر پوسته قهوه در بتن، میزان مقاومت کاهش می‌یابد. بطوریکه مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه دارای ۵٪ و ۲۰٪ خاکستر پوسته قهوه در محدوده ۳۰٪ تا ۲۵٪ کاهش می‌یابد[۱۴]. اسفاو و همکاران در سال ۲۰۲۲ میلادی به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اثر خاکستر پسماند قهوه بجای بخشی از سیمان در بتن پرداختند. در این تحقیق از خاکستر پسماند قهوه بجای بخشی از سیمان در نسبت‌های مختلف وزنی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ سیمان در بتن استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش میزان جایگزینی خاکستر ضایعات قهوه در بتن، اترینگایت سیمانی افزایش یافته و میزان سیلیکات سیمان کاهش می‌یابد. همچنین افزودن ۵٪ خاکستر پسماند قهوه در بتن تاثیر مخربی بر روی مقاومت فشاری، کششی و خمشی ندارد و استفاده از حداکثر ۱۰٪ تاثیر بسیار کمی بر روی بتن خواهد داشت[۱۵]. انیسا و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی اثر پسماند قهوه در بتن و دوام آن در برابر حرارت پرداختند. در این تحقیق از پسماند قهوه به میزان ۵٪ وزنی جایگزین سیمان در بتن شد. سپس نمونه‌های بتن در کوره در معرض دمای ۶۰۰ و ۷۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پسماند قهوه در بتن می‌تواند دوام بتن را در برابر حرارت افزایش داده و مدت زمان پایایی بتن را در هنگام آتش‌سوزی افزایش دهد[۱۶]. المدیا و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی جایگزینی بخشی از ماسه با پوسته قهوه برای تولید بتن پرداختند. در این تحقیق از پوسته قهوه به میزان ۵٪ حجمی ماسه با نسبت‌های مختلف سیمان، آب، شن و ماسه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که جایگزینی پوسته قهوه به جای بخشی از ماسه رضایت بخش خواهد بود. بطوریکه با استفاده از این ماده مقاومت فشاری بتن کمتر از ۲۰ مگاپاسکل نخواهد شد و پوسته قهوه باعث کاهش مقاومت فشاری نمی‌شود[۱۷].

[1] ذغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی

جمع‌بندی نتایج بدست آمده از تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که افزودن پسماند قهوه به بتن، بهتر است کمتر از ۱۰٪ وزنی سیمان باشد. همچنین بتن حاوی پسماند قهوه، عایق حرارتی بهتری نسبت به بتن معمولی است[۱۰-۱۷]. این امر می‌تواند به کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها کمک کند. اما در حال حاضر، اطلاعات کافی در مورد رفتار دراز مدت این نوع بتن در دسترس نیست و تحقیقات بیشتری در این زمینه لازم است. از طرفی تاکنون در کشور ایران مطالعه موثری بر روی بازیافت پسماند قهوه در بتن صورت نگرفته و هیچ تحقیق معتبر علمی به زبان فارسی در این راستا منتشر نشده. تاکنون عمده استفاده از ضایعات قهوه در بتن بصورت آسیاب یا خاکستر پوسته قهوه بوده که بعنوان استفاده از ضایعات کشاورزی در بتن محسوب می‌شود. اما پوسته قهوه معمولاً در کشورهایی به وفور یافت می‌شود که دانه‌های قهوه را در سطح وسیع کشت می‌کنند. در کشور ایران حجم کشت و تولید دانه قهوه به اندازه‌ای نیست که بازیافت پوسته آن پاسخگوی نیاز بازیافت در بتن باشد. اما با توجه به آنکه حجم واردات دانه و پودر قهوه در کشور رو به گسترش است و رها کردن پسماند آن در محل دفن زباله می‌تواند باعث آلودگی محیط زیست شود باید به بازیافت پسماند آن روی آورد. یکی دیگر از جنبه‌های نوآوری این تحقیق استفاده از پسماند قهوه در بتن و بررسی دوام آن در برابر شرایط اسیدی می‌باشد. شکل شماره ۱ فلوچارت انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱ فلوچارت مراحل آزمایش این تحقیق

۲- مواد و مصالح

۲-۱- سنگدانه

سنگدانه مصرفی جهت ساخت بتن دارای حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر بوده که از معدن دوکوهک استان فارس تهیه گردید. وزن مخصوص ظاهری در حالت اشباع با سطح خشک[2] برای شن ۲۶۳۰و برای ماسه ۲۶۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب می‌باشد. همچنین میزان جذب آب شن برابر با ۱/۵٪ و برای ماسه ۲/۳٪ می‌باشد. جدول شماره ۱ سایر مشخصات فیزیکی سنگدانه مصرفی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ مشخصات شن مصرفی مورد استفاده در ساخت بتن

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول نرمی	میزان جذب آب	وزن مخصوص SSD
	mm		٪	kg/m³
مخلوط بادامی و نخودی	۱۹	-	۱/۵	۲۶۳۰
ماسه	۴/۷۵	۳/۱	۲/۳	۲۶۰۰

۲-۲- سیمان

در این تحقیق از سیمان سفید نی‌ریز استفاده شد. چگالی این سیمان برابر با ۳/۱۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. آنالیز شیمیایی و مشخصات فیزیکی این سیمان در جدول شماره ۳ و ۴ درج شده که منطبق بر شناسه فنی شرکت سازنده این محصول می‌باشد.

جدول ۲ ساختار شیمیایی سیمان سفید نی‌ریز

SiO_4	AL_2O_3	FE_2O_3	MgO	OS_3	L.O.I	I.R	C_3A
٪۲۰	٪۶	٪۶	٪۵	٪۳	٪۳	٪۰/۷۵	٪۸

جدول ۳ مشخصات فیزیکی سیمان سفید نی ریز

سطح مخصوص (بلین)	انبساط اولیه (اتوکلاو)	زمان گیرش (min)		مقاومت فشاری (kg/cm²)			وزن مخصوص
cm²/gr	٪	اولیه	نهایی	۳روزه	۷روزه	۲۸روزه	gr/cm³
۲۸۰۰	۰/۰۷	۱۵۰	۱۸۵	۱۲۰	۲۵۰	۳۷۰	۳/۱

۲-۳- پسماند قهوه

پسماند قهوه مورد استفاده در این تحقیق از ضایعات روزانه چند کافه مختلف تأمین گردید. پسماندهای جمع‌آوری شده طی ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا رطوبت آن خشک گردید. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط (۲۵ الی ۳۸ درجه سانتی‌گراد) در فضای باز قرار گرفت. پس از آنکه پسماند قهوه به دمای تعادل رسید در نسبت‌های مخلف وزنی در بتن مورد

[2] SSD

استفاده قرار گرفت. همچنین بوسیله آزمایش EDX[3] ساختار شیمیایی این ماده مشخص شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی پسماند قهوه مصرفی به شرح جدول شماره ۵ و ۶ می‌باشد. شکل شماره ۲ پسماند قهوه مصرفی و انجام آزمایش EDX را نشان می‌دهد.

جدول ۴ خصوصیات فیزیکی پسماند قهوه

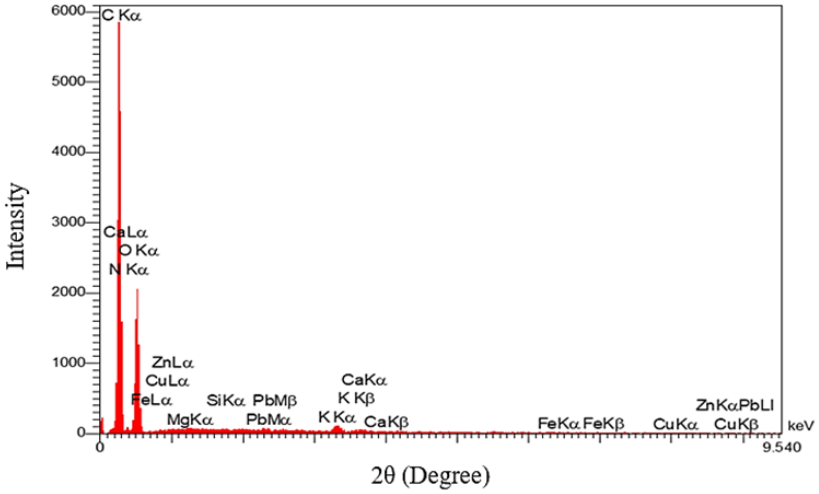
نام لاتین	Coffee
شکل ظاهری	پودر جامد
حداکثر اندازه	۰/۳ mm
چگالی	۰/۳۵g/cm^3
شکل ذرات	کروی
pH	۴/۵ - ۵
میزان جذب آب	٪۲۳

جدول ۵ خصوصیات شیمیایی پسماند قهوه

نماد عنصر	نام عنصر	درصد
C	کربن	٪ ۴۳
N	نیتروژن	٪ ۱۵/۶
K	پتاسیم	٪ ۱/۵
Fe	آهن	٪ ۳/۷
Ca	کلسیم	٪ ۲۰/۷
Mg	منیزیم	٪ ۰/۷
Cu	مس	٪ ۵/۹
Zn	روی	٪ ۸/۱
Pb	سرب	٪ ۰/۷

[3] Energy-Dispersive X-ray spectroscopy

شکل ۲ سمت راست پسماند قهوه مصرفی و سمت چپ مربوط به آزمایش EDX



شکل ۳ گراف EDX جهت شناسنایی فازهای پسماند قهوه بازیافتی

۲-۴- ابر روان‌کننده

از آنجا که پسماند قهوه قابلیت بالایی در جذب آب دارد، به منظور کنترل و حفظ اسلامپ بتن، استفاده از ابرروان‌کننده ضروری است. از طرفی رطوبت بالای پسماند قهوه باعث می‌شود که این ماده مستعد رشد کپک باشد. به همین خاطر برای ساخت اَبرروان کننده مصرفی با همکاری عوامل فنی شرکت سیوان، اقدام به ساخت محصولی ضدقارچ و ضدکپک گردید تا علاوه بر کاهش نسبت آب به سیمان و حفظ اسلامپ بتن، موجب جلوگیری از ایجاد قارچ و کپک در بتن گردد. شکل شماره ۴ اَبرروان کننده مصرفی که بصورت انحصاری خاصیت ضد قارچ و ضد کپک را دارد، نشان می‌دهد.

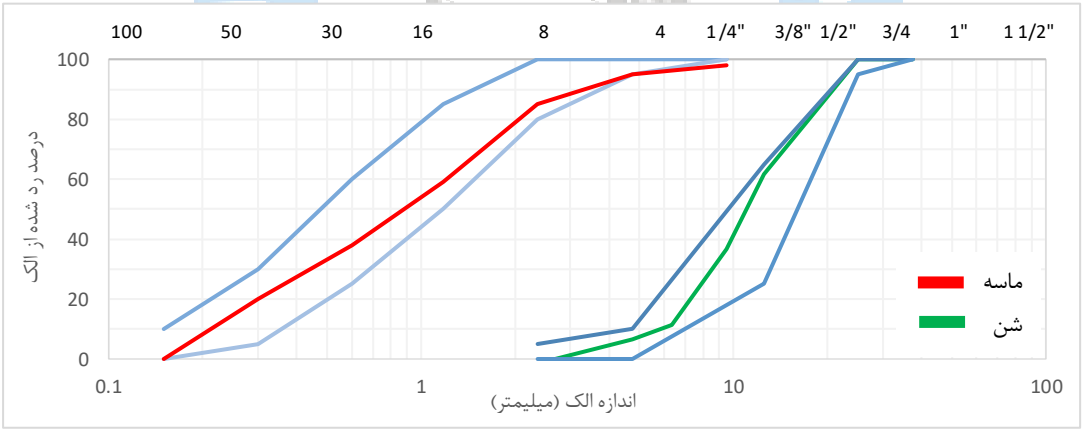
جدول ۶ خصوصیات فیزیکی اَبر روان کننده برپایه کربوکسیلات

رنگ	وزن مخصوص	استاندارد	یون کلر	pH	حالت فیزیکی	مقدار جایگزینی
قهوه‌ای	۱/۲ gr/cm^3	ASTM C1017	کمتر از ۰/۱٪	۵/۵۸	مایع	۱٪ تا ۳٪ وزنی سیمان

شکل ۴ آبرروان کننده مصرفی بر پایه پلی کربوکسیلات و خواص ضد قارچ و ضد کپک

۳- دانه بندی

در آزمایش دانه‌بندی سنگدانه‌ها، مصالح سنگی با ایجاد لرزه از میان الک‌های شماره‌گذاری‌شده عبور داده شدند و اندازه و مقدار سنگدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک را توزین گردید. در این تحقیق، دانه‌بندی سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM-C136 انجام شد. پس از محاسبه درصد تجمعی ذرات عبوری از هر الک، این مقادیر با منحنی استاندارد ASTM-C33 مقایسه شدند[۸]. در شکل شماره ۵ منحنی دانه‌بندی سنگدانه نشان داده شده که محور عمودی، درصد تجمعی عبور داده شده از هر الک و محور افقی، شماره الک را نشان می‌دهد.



شکل ۵ دانه بندی شن و ماسه مورد استفاده جهت ساخت بتن و انطباق آن با محدوده استاندارد ASTM-C33

۴- برنامه آزمایشگاهی و طرح مخلوط

در این تحقیق برای انجام آزمایشات مجموعاً ۹۵ نمونه ساخته شد. برای آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه ۴۵ نمونه مکعبی ۱۵ سانتیمتری، برای تعیین میزان جذب آب در بتن در سن ۲۸ روزه تعداد ۱۰ نمونه مکعبی ۱۰ سانتیمتری، برای تعیین مقاومت کششی بتن در سن ۲۸ روزه تعداد ۱۰ نمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتیمتری ساخته شد. متغیرهای موجود در این تحقیق نسبت‌های مختلف وزنی پسماند قهوه می‌باشد. بطوریکه چهار طرح مخلوط با پسماند قهوه در نسبت‌های مختلف ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ وزنی سیمان و یک طرح مخلوط شاهد برای مقایسه نتایج با یکدیگر تهیه گردید. اوزان مصرفی طرح مخلوط‌ها بر اساس استاندارد ACI-211 و پیشینیه تحقیق تنظیم گردید. همچنین برای افزایش کیفیت رنگ‌پذیری بتن از سیمان سفید بجای سیمان سیاه استفاده شد. عیار سیمان

مصرفی در بتن ۴۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴ در نظر گرفته شد. میزان مصرف ابرروان‌کننده ۱٪ وزنی عیار سیمان در نظر گرفته شد. جدول شماره ۸ و ۹ به ترتیب طرح اختلاط و مقادیر وزنی مصالح مصرفی برای ساخت هر متر مکعب، استاندارد آزمایش، نوع و تعداد نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷ طرح اختلاط و مقادیر وزنی مصالح برای ساخت هر متر مکعب بتن

ردیف	نام	سیمان سفید	شن	ماسه	پسماند قهوه	آب	آبرروان کننده
		kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	lit/m³
۱	CONTROL	۴۵۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۰	۱۸۰	۴/۵
۲	SHA-2.5%	۴۵۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۱۱/۲۵	۱۸۰	۴/۵
۳	SHA-5%	۴۵۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۲۲/۵	۱۸۰	۴/۵
۴	SHA-7.5%	۴۵۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۳۳/۷۵	۱۸۰	۴/۵
۵	SHA-10%	۴۵۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۴۵	۱۸۰	۴/۵

جدول ۸ شرح آزمایش، نوع و تعداد نمونه و شماره استاندارد آزمایش بکار رفته در این تحقیق

طرح اختلاط	مقاومت فشاری		مقاومت کششی	جذب آب	دوام در برابر اسید	
	۷ روزه	۲۸روزه	۹۰روزه	۲۸روزه	۲۸روزه	۳۰ روز	۶۰ روز
SHA-C	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳
SHA-2.5%	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳
SHA-5%	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳
SHA-7.5%	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳
SHA-10%	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳
جمع	۱۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵

ردیف	شرح ازمایش	شماره استاندارد آزمایش	ابعاد نمونه (سانتیمتر)
۱	الک سنگدانه	ASTM-C136	توده ۳۰۰۰ گرمی
۲	دانه‌بندی سنگدانه	ASTM-C33	توده ۱۰۰۰ گرمی
۳	جذب آب سنگدانه	ASTM-C128	توده ۵۰۰ گرمی
۴	اسلامپ	ASTM-C143	بتن تازه
۵	مقاومت فشاری	BS-EN 12350-3	مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵
۶	مقاومت کششی	ASTM-C496	استوانه ۱۵*۳۰
۷	جذب آب بتن سخت شده	ASTM-C642	مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰
۸	دوام در برابر اسید	ASTM-C267	مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵

۹	آنالیز شیمیایی پسماند قهوه	ISO-15632	توده ۱۰۰ گرمی
۱۰	تصویر الکترونی روبشی (SEM)	ISO-16700	قطعات بتن در اندازه < ۰/۵mm

شکل ۶ برخی از نمونه‌های ساخته شده جهت انجام آزمایشات

۵- انحراف از معیار داده

میزان انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین داده‌ها چه میزان از مقدار متوسط فاصله دارند. اگر انحراف معیار مجموعه‌ای از داده‌ها نزدیک به صفر باشد، نشانه آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند. در حالیکه انحراف معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل توجه داده‌ها می‌باشد. به طور کلی واریانس و انحراف معیار، معیارهای پراکندگی هستند که درجه تغییر پذیری، گسترش یا پراکندگی یک متغیر را تعیین می‌کنند[۲۷]. در این تحقیق میزان انحراف از معیار داده‌ها از طریق رابطه ذیل الذکر محاسبه شده است.

در ابتدا از رابطه شماره ۱ میزان میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های مورد آزمایش تعیین می‌شود[۲۷]:

$$A = \frac{\sum \chi_i}{N} \quad (۱)$$

در گام دوم از رابطه شماره ۲ مربع اختلاف میزان هر داده محاسبه می‌شود[۲۷]:

$$m = (\chi_i - A)^2 \quad (۲)$$

در گام سوم از رابطه شماره ۳ انحراف معیار نمونه محاسبه می‌شود[۲۷]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{N-1}} \quad (۳)$$

در نهایت از رابطه شماره ۴ میزان ضریب تغییر محاسبه می‌شود[۲۷]:

$$V = \frac{S}{A} \times 100 \quad (۴)$$

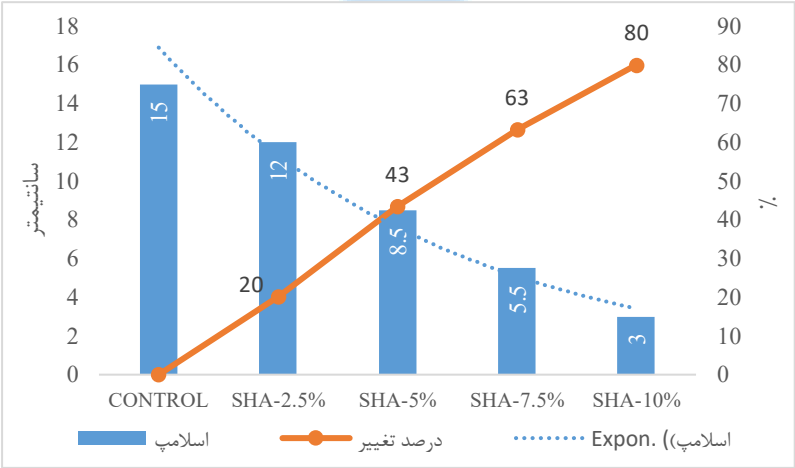
Σxi =مجموع مقاومت فشاری نمونه‌ها

N= تعداد نمونه‌ها

۶- یافته‌ها

۶-۱- اسلامپ

در این تحقیق یکی از عوامل اثرگذار بر روی اسلامپ بتن، پسماند قهوه مصرفی می‌باشد که در نسبت‌های مختلف وزنی در بتن مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که پودر قهوه جذب آب بسیار بالایی دارد، انتظار می‌رفت که میزان اسلامپ بتن تحت اثر این ماده کاهش یابد که همین امر نیز محقق شد. بطوریکه در طرح SHA-2.5%, 5%, 7.5% , 10% اسلامپ بتن نسبت به طرح کنترل به ترتیب ۲۰٪، ۴۳٪، ۶۳٪ و ۸۰٪ کاهش یافت. طبق نتایج بدست آمده مشخص گردید که میزان اسلامپ طرح SHA-2.5% و SHA-5% در دسته اسلامپ متوسط و میزان اسلامپ طرح SHA-7.5% در دسته اسلامپ کم و میزان اسلامپ طرح SHA-10% در دسته اسلامپ خیلی کم قرار می‌گیرد. البته در این تحقیق جهت حفظ اسلامپ و کارایی بتن از آبرروان کننده استفاده شد. در غیر اینصورت میزان اسلامپ بتن تحت تاثیر پسماند قهوه، بسیار کمتر از حد اعلام شده قرار می‌گرفت. شکل شماره ۷ میزان اسلامپ طرح‌ها و مقایسه نتایج را با یکدیگر نشان می‌دهد. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که افزایش میزان پسماند قهوه در بتن با کاهش اسلامپ رابطه غیرخطی دارد.



شکل ۷ مقایسه میزان اسلامپ کلیه طرح مخلوط‌ها

۶-۲- مقاومت فشاری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن حاوی پسماند قهوه در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به شرح جدول و شکل شماره ۹ و ۸ می‌باشد. طرح (SHA-C) به‌عنوان مرجع و بدون استفاده از پسماند قهوه در نظر گرفته شد. مقاومت فشاری این نمونه در سن ۷ روزه ۱۹/۷ مگاپاسکال، در سن ۲۸ روزه ۲۶/۲ مگاپاسکال و در سن ۹۰ روزه ۲۹/۸ مگاپاسکال اندازه‌گیری شده است. این مقادیر به‌عنوان پایه برای مقایسه با سایر نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. در طرح SHA-2.5% که شامل ۲/۵٪ پسماند قهوه است، مقاومت فشاری در سن ۷ روزه ۱۷/۸ مگاپاسکال، در ۲۸ روزه ۲۴/۳ مگاپاسکال و در ۹۰ روزه ۲۵/۸ مگاپاسکال بدست آمد. میزان تغییر مقاومت نسبت به نمونه شاهد در این سنین به ترتیب ۱۰٪، ۷٪ و ۱۳٪ کاهش را نشان می‌دهد. این کاهش نسبتاً کم است و نشان می‌دهد که در این سطح جایگزینی، اُفت مقاومت چندان قابل توجه نیست. در طرح SHA-5% که شامل ۵٪ پسماند قهوه است، مقاومت فشاری در سن ۷ روزه ۱۵/۴ مگاپاسکال، در ۲۸ روزه ۲۱/۶ مگاپاسکال و در ۹۰ روزه ۲۰/۸ مگاپاسکال ثبت شد. میزان کاهش مقاومت در این سنین به ترتیب ۲٪، ۱۸٪ و ۳۰٪ محاسبه شد که نشان دهنده کاهش چشمگیر مقاومت در دراز مدت است. در طرح SHA-7.5% که ۷/۵٪ پسماند قهوه اضافه شده، مقاومت فشاری در سن ۷ روزه ۱۲/۱ مگاپاسکال، در ۲۸ روزه ۱۸/۲ مگاپاسکال و در ۹۰ روزه ۱۷/۲ مگاپاسکال بدست آمد. در این طرح، میزان کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد در سنین مختلف ۳۹٪، ۳۱٪ و ۴۲٪ است که کاهش محسوسی را نشان می‌دهد و حاکی از ضعف عملکرد مکانیکی بتن در این سطح جایگزینی است. در طرح SHA-10% که شامل ۱۰٪ وزنی پسماند قهوه است، مقاومت فشاری

به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. بطوریکه در سن ۷ روزه مقاومت ۸/۳ مگاپاسکال، در ۲۸ روزه ۱۴/۸ مگاپاسکال و در ۹۰ روزه ۱۳/۵ مگاپاسکال ثبت شده است. میزان کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۵۸٪، ۴۴٪ و ۵۵٪ بوده که نشان دهنده ضعف قابل‌ملاحظه در تحمل بار فشاری است.

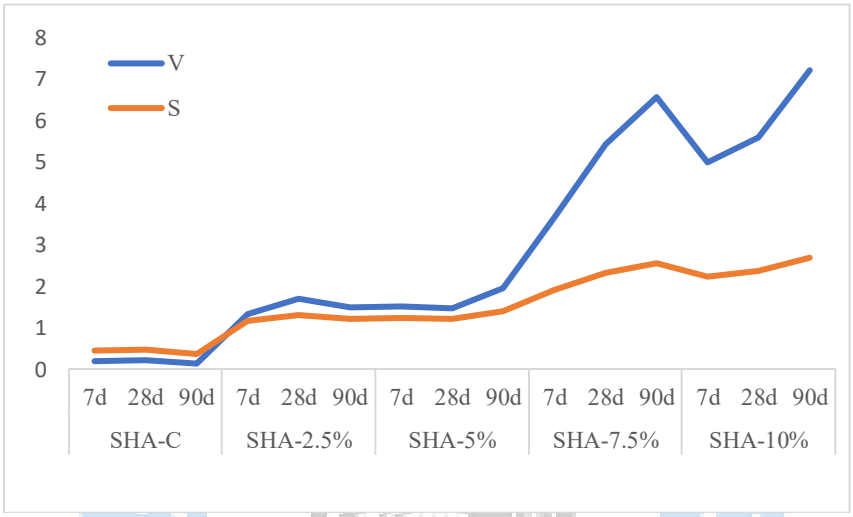
طبق نتایج بدست آمده، می‌توان دریافت که با افزایش درصد پسماند قهوه، مقاومت فشاری بتن در تمامی سنین کاهش می‌یابد. کاهش مقاومت در سن ۷ روزه نشان دهنده تأثیر پسماند قهوه بر فرآیند هیدراتاسیون سیمان است. بطوریکه ممکن است تأثیر بازدارنده‌ای بر تشکیل محصولات هیدراتاسیون داشته باشد که منجر به کاهش مقاومت اولیه می‌شود. در سن ۲۸ و ۹۰ روزه، روند کاهش مقاومت همچنان ادامه دارد، اما میزان کاهش در سن ۹۰ روزه بیشتر از سن ۲۸ روزه است. این نشان می‌دهد که استفاده از پسماند قهوه در نسبت‌های بالا، تأثیر منفی بر مقاومت بلند مدت دارد. همچنین رشد کپک و قارچ در سنین بالاتر (۹۰ روز) باعث کاهش مقاومت فشاری و زوال بتن خواهد شد. بطوریکه اثر آبرروان کننده ضد قارچ و ضد کپک در بتن دائمی نبوده و در طی بلند مدت اثر خود را از دست داده است. در حالیکه کاهش میزان مقاومت طرح SHA-2.5% در تمامی سنین بطور میانگین کمتر از ۱۵٪ است که با توجه به مزایای زیست محیطی که در پی دارد، به نوعی توجیه‌پذیر است. اما مشروط به آنکه بتوان با ایجاد اتخاذ روش‌های موثر جلوی رشد قارچ و کپک را در بتن گرفت. در غیر اینصورت در بلند مدت بتن دچار زوال و خرابی خواهد شد. کاهش مقاومت بتن در اثر رشد قارچ و کپک بوجود می‌آید که بنظر می‌رسد استفاده از مواد ضد قارچ و ضد کپک در بتن به اندازه کافی موثر نبوده و صرفاً اثر کوتاه مدت دارد. بنظر می‌رسد که اگر قبل از استفاده از پسماند قهوه آن را در دمای بالا حرارت داده شود تا تمام ویژگی پسماند قهوه از بین رود و رطوبت آن جذب گردد، بدون نیاز به مواد شیمیایی خاصی مانند انواع ضد قارچ یا ضد کپک، بتوان از آن بعنوان فیلر استفاده کرد. همچنین شکل شماره ۹ آهنگ رشد مقاومت بتن را در سنین مختلف نشان می‌دهد. طبق این شکل مشخص شد که استفاده از پسماند قهوه در بتن موجب افزایش سن گیرش و اخلال در روند واکنش هیدراتاسیون سیمان می‌شود.

در این تحقیق، به منظور ارزیابی دقیق‌تر اثر پسماند قهوه بر مقاومت فشاری بتن، از روش تحلیل آماری انحراف معیار نتایج آزمایش استفاده شد. در این راستا، ارتباط بین مقاومت فشاری مخلوط‌های مختلف در سنین مختلف و میزان تغییرات نتایج نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول شماره ۱۰ ارائه شد. بر اساس یافته‌ها، میانگین مقاومت فشاری هر سه نمونه ۹۰ روزه مربوط به طرح مخلوط SHA-C کمترین مقادیر انحراف معیار (S) و ضریب تغییر (V) را نشان داده است. در حالیکه همین پارامترها در نمونه‌های ۹۰ روزه طرح مخلوط SHA-10% در بالاترین مقدار خود قرار گرفتند. این موضوع بیانگر آن است که افزایش درصد پسماند قهوه در مخلوط بتن موجب افزایش میزان پراکندگی نتایج و در نتیجه کاهش یکنواختی مشخصات مکانیکی بتن می‌شود. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که حضور میزان بالای ذرات پسماند قهوه در مخلوط بتن منجر به ایجاد نواحی ضعیف و نقاط حساس به شکست در ساختار بتن خواهد شد و این موضوع می‌تواند خواص مکانیکی و پایداری بتن را تحت تأثیر منفی قرار دهد. بدین ترتیب، کاربرد مقادیر زیاد پسماند قهوه در بتن بدون رعایت ملاحظات فنی می‌تواند موجب افزایش عدم اطمینان در عملکرد سازه‌ای بتن و نوسان نتایج مقاومت فشاری گردد.

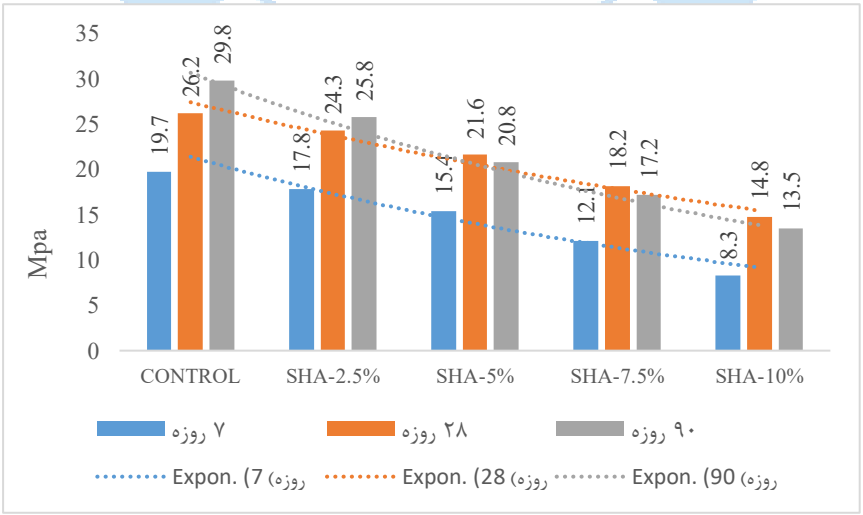
جدول ۹ مقایسه میزان مقاومت فشاری کلیه طرح مخلوط‌ها

نام طرح	سن نمونه	مقاومت فشاری مکعبی			میانگین مقاومت نمونه مکعبی	میانگین مقاومت نمونه استوانه‌ای	تغییرات	درصد ضریب تغییرات (V)	انحراف از معیار (S)
		MPa			MPa	MPa	%		
SHA-C	۷ روزه	۱۹/۲	۲۰/۰	۱۹/۹	۱۹/۷	۱۴/۷	۰	۰/۱۹	۰/۴۴
	۲۸ روزه	۲۶/۶	۲۵/۷	۲۶/۳	۲۶/۲	۲۱/۲	۰	۰/۲۱	۰/۴۶
	۹۰ روزه	۲۹/۵	۳۰/۲	۲۹/۷	۲۹/۸	۲۴/۸	۰	۰/۱۳	۰/۳۶
SHA-2.5%	۷ روزه	۱۶/۵	۱۸/۲	۱۸/۷	۱۷/۸	۱۲/۸	۱۰	۱/۳۳	۱/۱۵
	۲۸ روزه	۲۵/۰	۲۲/۸	۲۵/۱	۲۴/۳	۱۹/۳	۷	۱/۶۹	۱/۳۰
	۹۰ روزه	۲۵/۰	۲۵/۲	۲۷/۲	۲۵/۸	۲۰/۸	۱۳	۱/۴۸	۱/۲۲

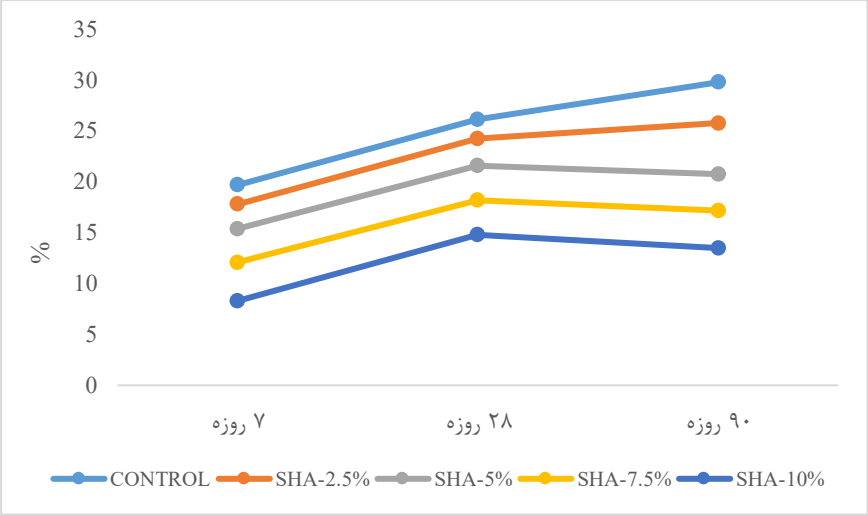
SHA-5%	۷ روزه	۱۴/۹	۱۴/۵	۱۶/۸	۱۵/۴	۱۰/۴	۲	۱/۵۱	۱/۲۳
	۲۸ روزه	۲۰/۵	۲۲/۹	۲۱/۴	۲۱/۶	۱۶/۶	۱۸	۱/۴۷	۱/۲۱
	۹۰ روزه	۲۱/۴	۱۹/۲	۲۱/۸	۲۰/۸	۱۵/۸	۳۰	۱/۹۶	۱/۴۰
SHA-7.5%	۷ روزه	۱۰/۹	۱۴/۳	۱۱/۱	۱۲/۱	۷/۱	۳۹	۳/۶۴	۱/۹۱
	۲۸ روزه	۲۰/۸	۱۶/۳	۱۷/۵	۱۸/۲	۱۳/۲	۳۱	۵/۴۳	۲/۳۳
	۹۰ روزه	۱۶/۹	۱۴/۸	۱۹/۹	۱۷/۲	۱۲/۲	۴۲	۶/۵۷	۲/۵۶
SHA-10%	۷ روزه	۱۰/۸	۶/۵	۷/۶	۸/۳	۳/۳	۵۸	۴/۹۹	۲/۲۳
	۲۸ روزه	۱۲/۶	۱۷/۳	۱۴/۵	۱۴/۸	۹/۸	۴۴	۵/۵۹	۲/۳۶
	۹۰ روزه	۱۶/۴	۱۳/۰	۱۱/۱	۱۳/۵	۸/۵	۵۵	۷/۲۱	۲/۶۹



شکل ۸ مقایسه میزان انحراف از معیار داده‌ها



شکل ۹ مقایسه میزان مقاومت فشاری کلیه طرح مخلوطها



شکل ۱۰ مقایسه روند کسب گیرش مقاومت فشاری کلیه طرح مخلوط‌ها

شکل ۱۱ نمونه‌های بتن حاوی پسماند قهوه پس از آزمایش مقاومت فشاری

شکل سمت راست: جذب رطوبت بالا و حفظ آن در نواحی مرکزی بتن ناشی از افزودن پسماند قهوه را نشان می‌دهد

شکل وسط: شکست بتن از ناحیه خمیره سیمان در اثر ضعف ایجاد شده بدلیل افزودن پسماند قهوه و سالم ماندن سنگدانه را نشان می‌دهد

شکل سمت چپ: زوال خمیره سیمان در اثر افزودن پسماند قهوه در بتن و سالم ماندن سنگدانه‌ها را نشان می‌دهد

در خصوص استفاده از پسماند قهوه در بتن نتایج سایر تحقیقات پیشین گزارشات متناقضی ارائه شده است. جمع‌بندی نتایج سایر تحقیقات پیشین در خصوص استفاده از پسماند پودر قهوه بر روی مقاومت فشاری بتن، به شرح جدول شماره ۱۰ می‌باشد. مطابق آنچه بیان شده میزان مقاومت فشاری بتن تا حد زیادی به چگونگی روش استفاده از پسماند قهوه در بتن و آنکه بعنوان مکمل مواد سیمانی یا جایگزین مواد سنگی باشد بستگی دارد.

جدول ۱۰ مقایسه گزارش سایر تحقیقات پیشین در خصوص مقاومت فشاری بتن حاوی پسماند قهوه

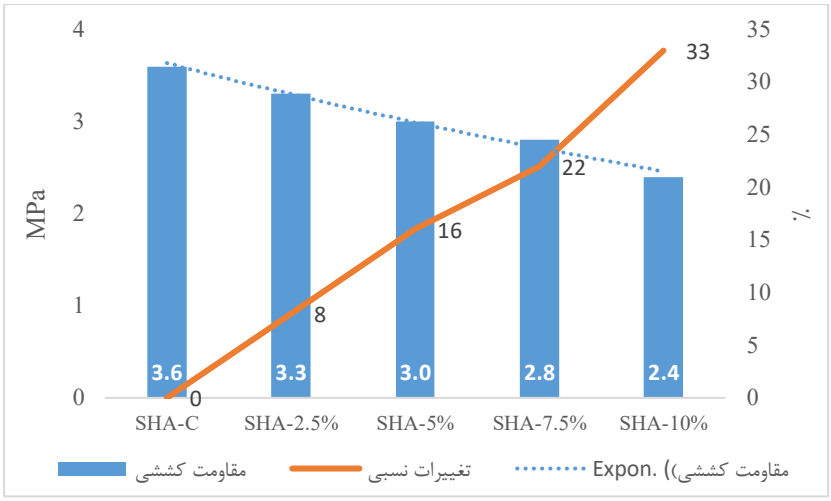
ردیف	بعنوان جایگزین بخشی از ماسه	بعنوان مکمل مواد سیمانی	سایر افزودنی‌ها	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	رفرنس
۱	پسماند قهوه	–	خاکستر بادی	۱۰/۹	۱۵/۸	[۲۶]

۲	پسماند قهوه	–	سرباره	۱۳	۱۷/۳	[۲۷]
۳	پسماند قهوه	–	خاکستر بادی، سرباره، آهک	۵/۵	۱۱/۵	[۲۸]
۴	پسماند قهوه	–	خاکستر بادی، پوسته برنج	۴/۳	–	[۲۹]
۵	پسماند قهوه	–	سرباره، خاکستر نیشکر	۳	–	[۳۰]
۶	خرده شیشه	پسماند قهوه	سرباره، پودر شیشه	۱۲	–	[۳۱]
۷	–	٪۵ پسماند قهوه	خاکستر بادی	۱۰/۵	۱۳/۵	[۳۲]
		٪۱۰ پسماند قهوه		۱۰	۱۰/۷	
		٪۱۵ پسماند قهوه		۹	۵/۱	
۸	–	٪۵ پسماند قهوه	–	۲۶	۳۸/۵	[۳۳]
		٪۱۰ پسماند قهوه		۲۱/۴	۳۳/۳	
		٪۱۵ پسماند قهوه		۱۷	۲۹/۶	
		٪۲۰ پسماند قهوه		۱۴/۵	۲۵/۴	
		٪۲۵ پسماند قهوه		۴/۷	۱۶/۶	

۶-۳- مقاومت کششی

تاکنون ثابت شده که میزان مقاومت کششی بتن ارتباط مستقیمی با مقاومت فشاری آن دارد. بنابراین عوامل موثر و تاثیرگذار بر روی مقاومت فشاری بتن بر روی میزان مقاومت کششی اثر خواهد داشت[۲۴]. آزمایش مقاومت کششی بتن با استفاده از پسماند قهوه در نسبت‌های وزنی مختلف نشان داد که هرچه میزان پسماند قهوه در ترکیب افزایش یابد، مقاومت کششی کاهش می‌یابد. نمونه کنترل (SHA-C) که بدون پسماند قهوه بود، مقاومت کششی برابر با ۳/۶ مگاپاسکال داشت که به عنوان مبنای مقایسه استفاده شد. با اضافه کردن ۲٪/۵ وزنی پسماند قهوه (SHA-2.5%)، مقاومت به ۳/۳ مگاپاسکال کاهش یافت که بیانگر کاهش نسبی ۸٪ است. در نمونه SHA-5% که شامل ۵٪ وزنی پسماند قهوه است، مقاومت ۳/۰ مگاپاسکال ثبت شد که معادل کاهش ۱۶٪ است. برای نمونه SHA-7.5% با افزودن ۷/۵٪ وزنی، مقاومت به ۲/۸ مگاپاسکال رسید، که معادل ۲۲٪ کاهش نسبت به نمونه کنترل می‌باشد. در نهایت نمونه SHA-10% که ۱۰٪ وزنی پسماند قهوه داشت، مقاومت آن به ۲/۴ مگاپاسکال کاهش یافت که حاکی از یک اُفت ۳۳٪ است. شکل شماره ۱۱ نتایج بدست آمده از این آزمایش را نشان می‌دهد.

دلایل کاهش مقاومت کششی بتن ناشی از جذب آب توسط پسماند قهوه می‌باشد که به افزایش تخلخل و کاهش مقاومت منجر شود. همچنین توزیع نایکنواخت ذرات پسماند قهوه در ماتریس سیمان نیز می‌تواند سبب ایجاد نواحی ضعیف‌تر و تضعیف مقاومت کششی بتن شود.

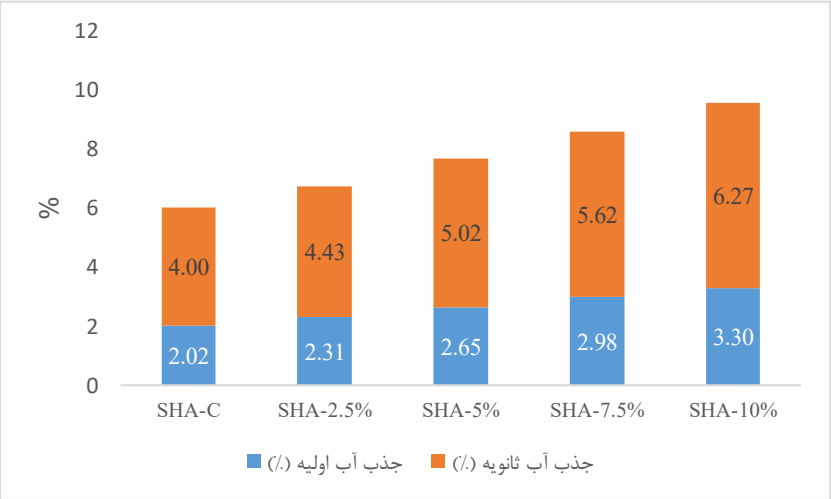


شکل ۱۲ مقایسه میزان مقاومت کششی کلیه طرح مخلوط‌ها

شکل ۱۳ آزمایش مقاومت کششی

۶-۴- جذب آب در بتن سخت شده

طرح SHA-C که بدون پسماند قهوه است، جذب آب اولیه بسیار پایین‌تری نسبت به سایر طرح‌ها دارد (۲/۰۲٪) و جذب آب ثانویه آن نیز در رده متوسط قرار می‌گیرد. اما طرح‌های با پسماند قهوه (SHA-2.5% تا SHA-10%) به‌طور تدریجی جذب آب بیشتری را نشان داده‌اند. طرح SHA-10% بیشترین جذب آب را به ویژه در بخش جذب آب ثانویه (۷۲ ساعت به میزان ۶/۲۷ ٪) نشان می‌دهد. آبا به منظور سنجش کیفیت بتن در آزمایش جذب آب، بتن‌های با جذب آب ۵ ٪ و بالاتر را در رده ضعیف، ۳٪ تا ۵٪ را در رده متوسط و کمتر از ۳٪ را در رده خوب دسته بندی کرده است. همچنین در این آیین نامه، برای پایایی بتن در محیط‌های خورنده و دریایی مانند سازه‌های بتنی در تماس با خلیج فارس و دریای عمان، حداکثر میزان جذب آب را در قسمت‌هایی که در ناحیه جزر و مد و ناحیه پاشش فوق العاده شدید و سازه‌های نگهدارنده‌های آب و تصفیه خانه فاضلاب ۳/۵ ٪ تعیین کرده است[۹]. میزان جذب آب ثانویه طرح SHA-2.5%, 5% نسبت به استاندارد آبا جذب آب برابر یا کمتر از ۵٪ است. اما با توجه به افزایش تدریجی پسماند قهوه، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پسماند قهوه باعث افزایش جذب آب در بتن می‌شود. این امر ناشی از افزایش تخلخل و جذب آب بالای پسماند قهوه در بتن است که می‌تواند تأثیرات منفی بر عملکرد بتن در محیط‌های خورنده و دریایی داشته باشد. زیرا بتن با جذب آب بالاتر می‌تواند در معرض آسیب بیشتری قرار گیرد. شکل شماره ۱۳ نتایج بدست آمده از این آزمایش را نشان می‌دهد.



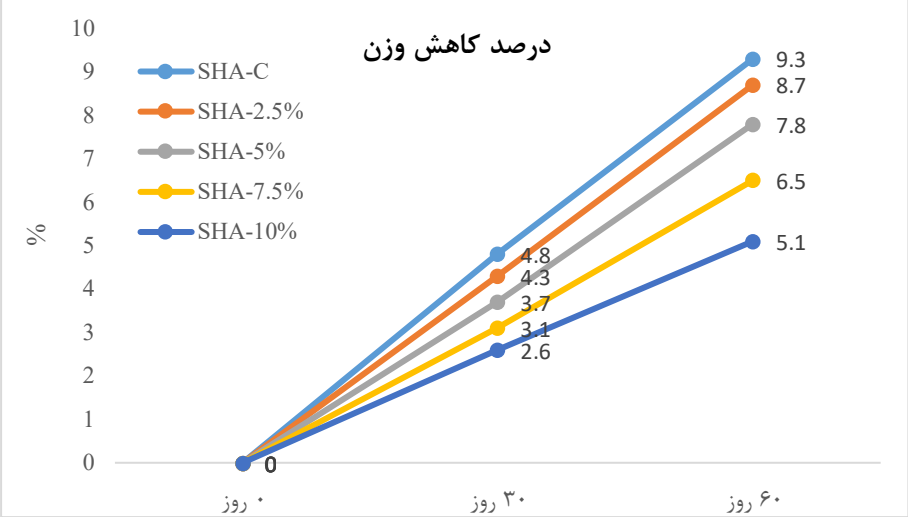
شکل ۱۴ مقایسه میزان جذب آب اولیه و ثانویه کلیه نمونه‌ها و تغییرات نسبی آن‌ها

شکل ۱۵ آزمایش جذب آب در بتن سخت شده

۶-۵- دوام اسیدی

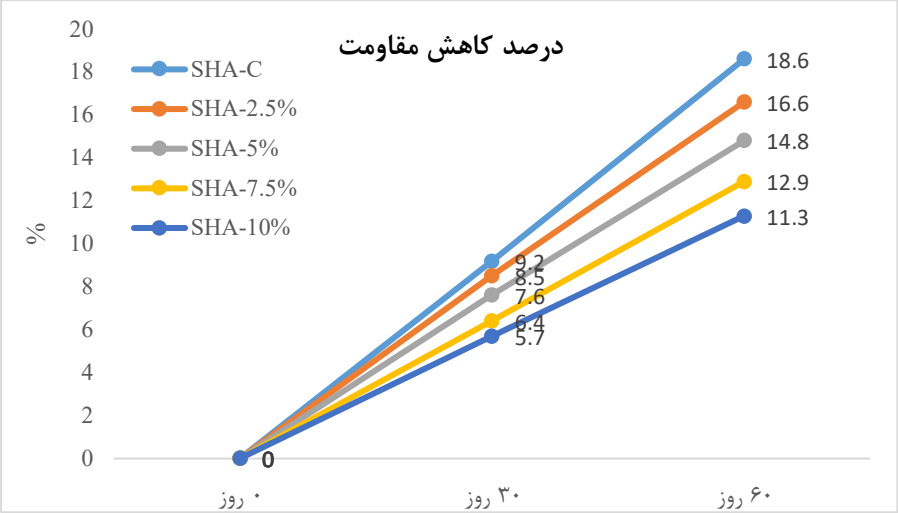
با توجه به نوع کاربرد بتن، این احتمال وجود دارد که بتن در معرض عوامل جوی مانند بارش باران‌های اسیدی قرار گیرد. شدت اسیدی بودن این باران‌ها در مناطق مختلف متغیر است و به میزان آلودگی محیط بستگی دارد. باران اسیدی به دلیل داشتن اسیدهای سولفوریک و نیتریک می‌تواند به خمیره سیمان بتن آسیب برساند و با نفوذ به ناحیه مویینه، به تدریج باعث خوردگی و زوال سیمان شود. با این حال، دوام بتن در برابر باران اسیدی به نوع ترکیبات و تا حدودی به میزان تراکم آن وابسته است[۲۵,۲۶]. در این تحقیق، به منظور ارزیابی مقاومت بتن حاوی پسماند قهوه تحت شرایط اسیدی، شاخص‌هایی نظیر کاهش مقاومت فشاری، کاهش وزن نمونه و تغییر شکل ظاهری مورد سنجش قرار گرفته است. میزان کاهش وزن نمونه‌ها پس از قرارگیری طی ۳۰ و ۶۰ روز در حوضچه اسید به شرح شکل شماره ۱۵ می‌باشد. در طرح SHA-C (کنترل)، وزن اولیه نمونه ۸۰۳۰ گرم بود که پس از ۳۰ روز به ۷۶۶۲ گرم (کاهش ۴/۸۰٪) و پس از ۶۰ روز به ۷۳۴۷ گرم (کاهش ۹/۳۰٪) رسید. در طرح SHA-2.5%، وزن اولیه ۷۹۶۰ گرم بود که پس از ۳۰ روز به ۷۶۳۲ گرم (کاهش ۴٪/۳۰) و پس از ۶۰ روز به ۷۳۲۳ گرم (کاهش ۸/۷۰٪) کاهش یافت. در طرح SHA-5%، وزن اولیه ۷۸۹۰ گرم بود که پس از ۳۰ روز به

۷۶۰۸ گرم (کاهش ۳/۷۰٪) و پس از ۶۰ روز به ۷۳۱۹ گرم (کاهش ۷/۸۰٪) رسید. در طرح SHA-7.5%، وزن اولیه ۷۸۱۰ گرم بود که پس از ۳۰ روز به ۷۵۷۵ گرم (کاهش ۳/۱۰٪) و پس از ۶۰ روز به ۷۳۳۳ گرم (کاهش ۶/۵۰٪) کاهش پیدا کرد. در طرح SHA-10%، وزن اولیه ۷۷۲۰ گرم بود که پس از ۳۰ روز به ۷۵۲۴ گرم (کاهش ۲/۶۰٪) و پس از ۶۰ روز به ۷۳۴۵ گرم (کاهش ۵/۱۰٪) رسید.



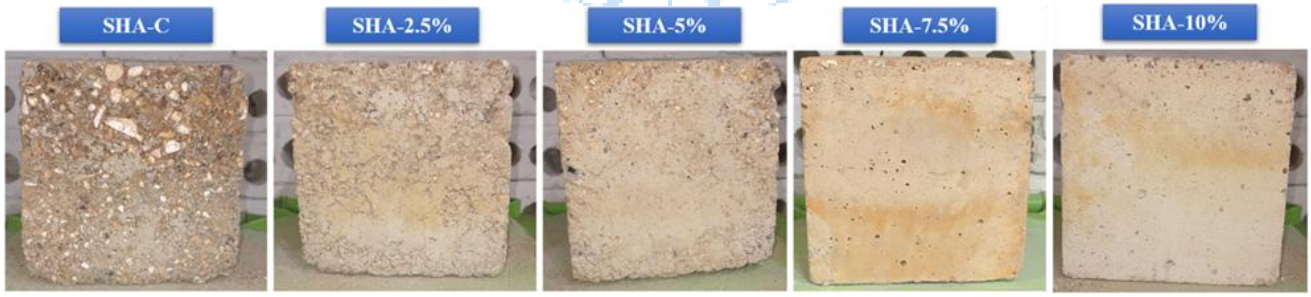
شکل ۱۶ میزان کاهش وزن نمونه‌ها پس از قرارگیری در حوضچه اسید و تغییرات نسبی آن‌ها

همچنین، میزان کاهش مقاومت فشاری بتن‌ها در برابر شرایط اسیدی به شرح شکل شماره ۱۶می‌باشد. در طرح SHA-C (کنترل)، مقاومت اولیه ۲۶/۲ مگاپاسکال بود که پس از ۳۰ روز به ۲۴/۰ مگاپاسکال (کاهش ۹/۲٪) و پس از ۶۰ روز به ۲۲/۱ مگاپاسکال (کاهش ۱۸/۶٪) کاهش یافت. در طرح SHA-2.5%، مقاومت اولیه ۲۴/۳ مگاپاسکال بود که پس از ۳۰ روز به ۲۲/۴ مگاپاسکال (کاهش ۸/۵ ٪) و پس از ۶۰ روز به ۲۰/۸ مگاپاسکال (کاهش ۱۶/۶٪) رسید. در طرح SHA-5%، مقاومت اولیه ۲۱/۶ مگاپاسکال بود که پس از ۳۰ روز به ۲۰/۱ مگاپاسکال (کاهش ۷/۶ ٪) و پس از ۶۰ روز به ۱۸/۸ مگاپاسکال (کاهش ۱۴/۸٪) کاهش پیدا کرد. در طرح SHA-7.5%، مقاومت اولیه ۱۸/۲ مگاپاسکال بود که پس از ۳۰ روز به ۱۷/۱ مگاپاسکال (کاهش ۶/۴ ٪) و پس از ۶۰ روز به ۱۶/۱ مگاپاسکال (کاهش ۱۲/۹٪) رسید. در طرح SHA-10%، مقاومت اولیه ۱۴/۸ مگاپاسکال بود که پس از ۳۰ روز به ۱۴/۰ مگاپاسکال (کاهش ۵/۷ ٪) و پس از ۶۰ روز به ۱۳/۳ مگاپاسکال (کاهش ۱۱/۳٪) کاهش یافت.



شکل ۱۷ میزان کاهش مقاومت نمونه‌ها پس از قرارگیری در حوضچه اسید و تغییرات نسبی آن‌ها

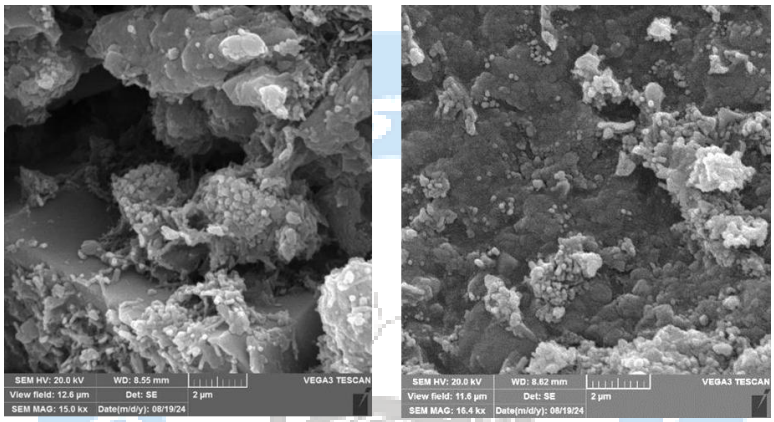
با بررسی شکل نمونه‌ها پس از خارج شدن از حوضچه اسیدی، می‌توان تغییر شکل ظاهری را به وضوح مشاهده نمود. رسوب، تغییر شکل ظاهری، تغییر رنگ و شن نما شدن بدنه بتن از جمله عوارضی است که در اثر قرارگیری بتن در حوضچه اسیدی ایجاد شده. با مقایسه وضعیت ظاهری نمونه‌ها با یکدیگر مشهود است که هرچه میزان وزن پسماند قهوه در بتن افزایش یابد، دوام بیشتر شده و میزان خرابی ایجاد شده توسط اسید کاهش پیدا کرده. پسماند قهوه حاوی ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدان است که این ترکیبات به بتن در برابر اسیدها مقاومت می‌دهند. این ترکیبات به ویژه در برابر تغییرات محیطی که موجب کاهش دوام بتن می‌شوند، از جمله مواجهه با اسیدها، تأثیر مثبتی دارند. همچنین پسماند قهوه توانایی خنثی‌سازی اثرات تخریبی اسیدهای با pH پایین را دارد. این ویژگی باعث می‌شود که بتن در برابر باران‌های اسیدی و دیگر محیط‌های خورنده مقاوم‌تر شود. از طرفی در شرایط اسیدی، باران‌های اسیدی می‌توانند ژل C-S-H (کلسیم سیلیکات هیدراته) که یکی از اجزای اصلی و مهم در ساختار خمیر سیمان است را حل کرده و باعث تخریب ساختاری بتن شوند. این تخریب به کاهش استحکام بتن و همچنین آسیب به انسجام داخلی آن منجر می‌شود. واکنش‌های شیمیایی که در نتیجه باران‌های اسیدی به‌ویژه با حضور ترکیباتی همچون سولفوریک و نیتریک اسید صورت می‌گیرند، سبب حل شدن این ترکیبات و در نتیجه تضعیف ساختار بتن می‌شود. این امر می‌تواند باعث تخریب بیشتر نمونه کنترل شود.



شکل ۱۸ مقایسه زوال ظاهری نمونه‌ها پس از قراگیری در حوضچه اسید

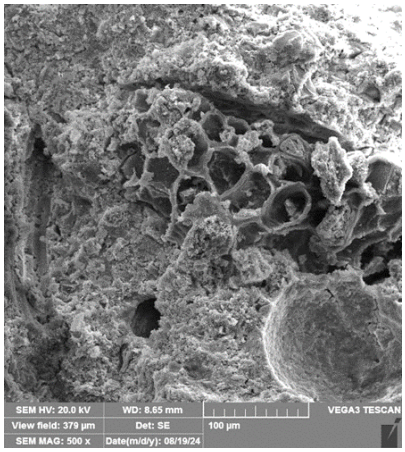
۶-۶- تصاویر الکترونی روبشی

بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که افزودن پسماند قهوه به بتن باعث رشد کپک می‌شود که می‌تواند پتانسیل تخریب بتن را از نظر ساختاری و خصوصیات مکانیکی را افزایش دهد. پسماند قهوه به دلیل دارا بودن ترکیبات آلی (مانند کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و نیتروژن آلی) شرایط مناسبی را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم آورد. زیرا رشد میکروارگانیسم‌ها می‌تواند ساختار بتن را از درون متخلخل نماید و باعث ایجاد ترک‌هایی در سطح شود. این تخلخل جذب آب را افزایش می‌دهد و فرآیندهای مخربی مانند یخزدگی و انبساط را تشدید می‌کند. اما برای جلوگیری از رشد کپک باید با استفاده از طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (آزمایش EDX) ترکیبات شیمیایی سطح بتن شناسایی شده و ترکیبات آلی پسماند قهوه و نقش آن در تغذیه و تسهیل رشد کپک مورد بررسی قرار گرفته و همچنین با جداسازی و کشت، گونه‌های دقیق کپک شناسایی شوند. شکل شماره ۱۸ کپک‌های ایجاد شده ناسی از افزودن پسماند قهوه در بتن را نشان می‌دهد که در معرض رطوبت ایجاد و گسترش یافتند.



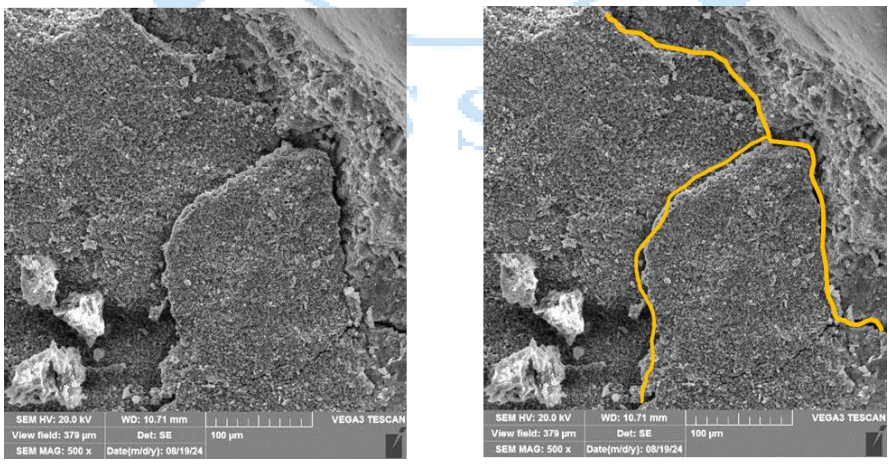
شکل ۱۹ نمایش کپک ایجاد شده در ساختار ماتریس سیمان در اثر افزودن پسماند قهوه در بتن

شکل شماره ۱۹ ساختار سطح بتن حاوی پسماند قهوه را نشان می‌دهد که به طور واضح دارای تخلخل‌های بزرگ است. استفاده از پسماند قهوه در بتن منجر به افزایش تخلخل و کاهش پیوند بین اجزا می‌شود که این موضوع می‌تواند مقاومت مکانیکی و دوام بتن را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. مقاطع حفره‌دار و شبکه‌ای به‌وضوح نشان‌دهنده اثرات حضور مواد آلی پسماند قهوه است که درون بتن محصور شده‌اند. ظاهر لایه‌های ناهموار و شکسته نشان دهنده اتصال ضعیف بین ذرات قهوه و ماتریس سیمانی است.

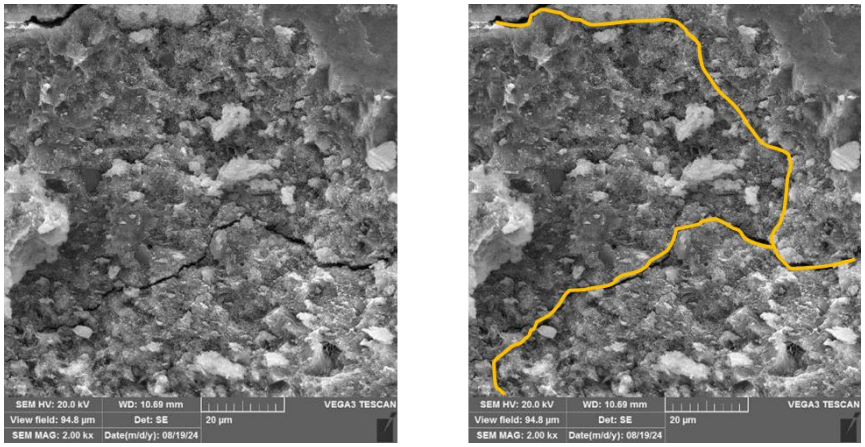


شکل ۲۰ نمایش حفره ایجاده شده در ماتریس سیمان در اثر افزودن پسماند قهوه در بتن

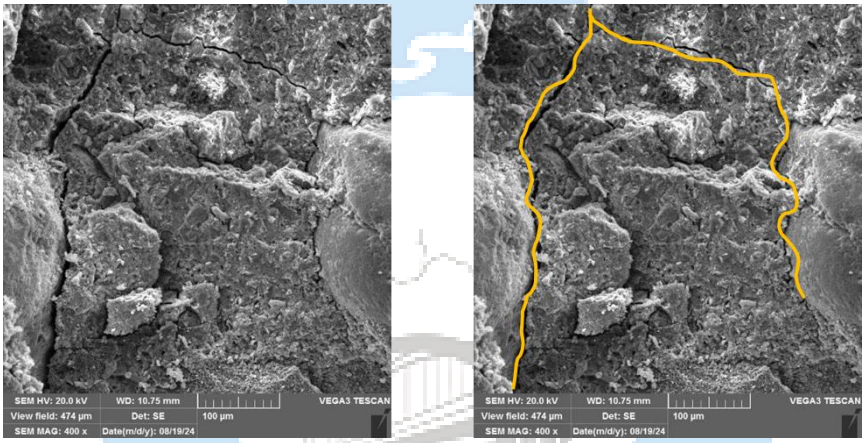
شکل شماره ۲۰ تا ۲۳ نشان می‌دهند که ترک‌ها در چندین ناحیه از سطح بتن ظاهر شدند و بیشتر در نزدیکی منافذ و نواحی متخلخل ایجاده شده. ترک‌ها در ساختار بتن به‌عنوان یکی از نشانه‌های بارز ضعف و تغییرات در رفتار مکانیکی آن در نظر گرفته می‌شوند. پسماند قهوه به‌عنوان یک ماده ارگانیک ممکن است با برخی ترکیبات شیمیایی موجود در سیمان واکنش دهد. این واکنش‌ها می‌توانند باعث تولید مواد جانبی باشند که ساختار بتن را ضعیف می‌کنند. به‌ویژه اگر پسماند قهوه حاوی ترکیباتی مانند کافئین، آنتی‌اکسیدان‌ها یا مواد روغنی باشد، ممکن است اثرات منفی بر فرایند هیدراتاسیون سیمان و چگالی ساختار بتن داشته باشد. در نتیجه، نواحی ضعیف‌تر و ترک‌خورده‌تری ایجاد می‌شود. همچنین افزودن پسماند قهوه ممکن است به دلیل ماهیت غیرسخت‌کننده یا جذب آب آن، باعث ایجاد نابرابری در فرآیند انقباض بتن گردد. به‌عبارت دیگر، پسماند قهوه ممکن است باعث ایجاد بخش‌های خشک و نواحی متخلخل شود که در زمان انقباض بتن به راحتی ترک می‌خورند. از طرفی تخلخل‌های زیاد در بتن باعث می‌شوند که مواد درون آن به‌ویژه در نواحی متخلخل بیشتر تحت فشار قرار گیرند و این می‌تواند منجر به ایجاد ترک‌های سطحی یا عمقی شود. اگر پسماند قهوه در ترکیب بتن زیاد باشد، احتمال تشکیل نواحی متخلخل بیشتر می‌شود و بنابراین ترک‌ها به‌ویژه در نقاطی که این منافذ زیادتر است، ظهور پیدا می‌کنند.



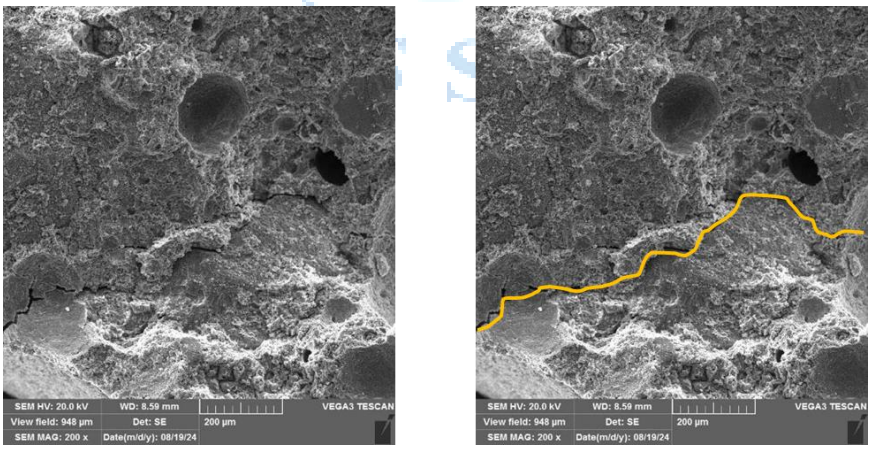
شکل ۲۱ نمایش ترک ایجاد شده در اثر ضعف ناشی از افزودن پسماند قهوه و عدم چسبندگی بین سنگدانه و سیمان



شکل ۲۲ نمایش ترک ایجاد شده در اثر ضعف ناشی از افزودن پسماند قهوه و زوال خمیره سیمان

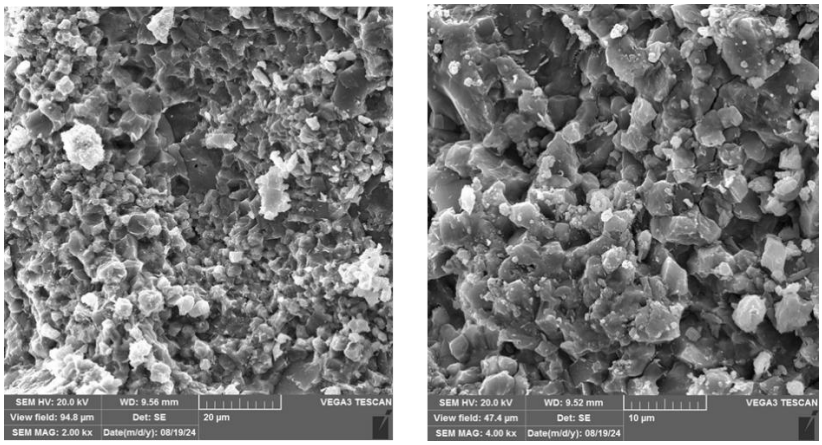


شکل ۲۳ نمایش ترک ایجاد شده در اثر ضعف ناشی از افزودن پسماند قهوه و عدم چسبندگی بین سنگدانه و سیمان



شکل ۲۴ نمایش ترک ایجاد شده در اثر ضعف ناشی از افزودن پسماند قهوه و عدم چسبندگی بین سنگدانه و سیمان

شکل شماره ۲۴ ساختار پسماند قهوه را در حضور ماتریس سیمانی نشان می‌دهد.



شکل ۲۵ نمایش ساختار پسماند قهوه در مجاورت مواد سیمانی مانند هیدروکسید کلسیم

۷- بحث

در این تحقیق تلاش گردید تا مزایا و معایب استفاده از پسماند قهوه در بتن مورد بررسی قرار گیرد. امروزه در کشور، بطور روزانه حجم زیادی پسماند قهوه به محیط زیست تحمیل می‌شود که سازوکار موثری برای بازیافت این ماده وجود ندارد. بطوریکه بخش عمده‌ای از این پسماندها بعنوان زباله در محل‌های دفن زباله در اطراف شهرها رها یا دفن می‌شود. بارگیری و انتقال این پسماندها و سرانجام دفن کردن آن برای شهرداری‌ها هزینه‌های گزافی دارد. علاوه بر آن پسماند قهوه بعنوان یک زباله باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی و آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی خواهد شد. ادامه روند فعلی باعث از بین رفتن سرمایه‌های در گردش، زمینه سازی برای آلودگی بیشتر محیط زیست، از بین رفتن فرصت‌های شغلی می‌شود. بنابراین لازم است تا تدابیری برای کاهش حجم پسماند مصرفی بکار گرفته شود. وجود این مشکلات و تهدیدها امروزه ایجاب می‌کند تا برای کاهش تولید سیمان و نیز کاهش حجم پسماندهای دورریز به چرخه بازیافت مصالح روی آوریم و بوسیله بازیافت پسماندهای ساختمانی در تولید بناهای جدید اقدامات موثری صورت گیرد. لذا با توجه به منافع اقتصادی و زیست محیطی بلند مدت با بهره‌گیری از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، می‌توان در جهت توسعه بازیافت نیز قوانینی وضع نمود و اجرا کرد. از طرفی شایسته است با انجام تحقیقات و سرمایه‌گذاری بیشتر در این حوزه، از محققین برای تهیه دستورالعمل‌های بکارگیری از پسماند ساختمانی برای تولید مصالح جدید حمایت شود. تاکنون نتایج منتشر شده در خصوص استفاده از پسماند قهوه در بتن نشان می‌دهد که پسماند قهوه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه می‌شود[۱۰-۱۷]. نتایج آزمایش مقاومت فشاری در این تحقیق این ادعا را تایید می‌کند. این کاهش در طرح‌های حاوی ۷/۵٪ و ۱۰٪ پسماند قهوه به وضوح مشهود است. به‌طور خاص، نمونه SHA-10% در سن ۲۸ روز مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه کنترل نشان دادند. این امر به دلیل تأثیر منفی پسماند قهوه بر فرآیند هیدراتاسیون سیمان است که منجر به تشکیل ساختار ضعیف‌تری در ماتریس بتن می‌شود. علاوه بر آن در این تحقیق نتایج مقاومت فشاری ۹۰ روزه نشان داد که رشد قارچ و کپک که در مجاورت رطوبت خمیره سیمان ایجاد می‌شود، می‌تواند مقاومت فشاری بتن را کاهش دهد که این عامل در اثر خرابی و زوال سیمان در اثر افزایش پسماند قهوه رخ می‌دهد. حضور ترکیبات آلی در پسماند قهوه می‌تواند شرایط مناسبی برای رشد میکرو ارگانیسم‌ها و قارچ‌ها ایجاد کند. این امر ممکن است موجب تخریب ساختار بتن و افزایش تخلخل آن شود، به‌ویژه در شرایط مرطوب که بتن در معرض رشد قارچ و کپک قرار می‌گیرد. با توجه به آنکه هنگام دم کردن قهوه، بطور کامل عصاره آن گرفته نمی‌شود، املاح و عناصری در پسماند قهوه باقی می‌ماند که باعث بروز این مشکل می‌شود. بنابراین بنظر می‌رسد که اگر قبل از استفاده پسماند قهوه در بتن، در دمای بالا حرارت داده شود تا تبدیل به یک فیلر خنثی شود، بر این چالش بتوان غلبه کرد.

همانند مقاومت فشاری، مقاومت کششی بتن نیز با افزایش درصد پسماند قهوه کاهش می‌یابد. این کاهش در نمونه‌های حاوی پسماند قهوه، تا ۳۳٪ نسبت به نمونه کنترل مشاهده شد. پسماند قهوه به دلیل ایجاد تخلخل‌های زیاد و تغییر در پیوستگی ذرات، می‌تواند

نواحی ضعیفی در ساختار بتن ایجاد کند که این امر منجر به کاهش ظرفیت کششی بتن می‌شود. یکی از مهم‌ترین نتایج تحقیق، افزایش جذب آب و تخلخل بتن‌های حاوی پسماند قهوه است. این افزایش به‌ویژه در نمونه‌هایی که درصد پسماند قهوه بالاتر از ۵٪ دارند، قابل توجه است. جذب آب در نمونه SHA-10% به ۶/۲۷٪ رسید که نشان‌دهنده تخلخل بیشتر و آسیب‌پذیری بیشتر بتن در برابر شرایط محیطی است. افزایش تخلخل به‌طور مستقیم با کاهش دوام بتن در محیط‌های خورنده و مرطوب ارتباط دارد. یکی از ویژگی‌های مثبت پسماند قهوه در بتن، بهبود مقاومت آن در برابر باران‌های اسیدی است. ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدان موجود در پسماند قهوه می‌توانند به کاهش اثرات تخریبی اسیدها کمک کنند. در آزمایش‌های انجام شده، بتن‌های حاوی پسماند قهوه، خصوصاً نمونه SHA-10%، کاهش کمتری در وزن و مقاومت فشاری در برابر باران‌های اسیدی داشتند. پسماند قهوه در بتن می‌تواند به عنوان یک مانع نسبی برای خوردگی عمل کند. از آنجایی که پسماند قهوه حاوی ترکیبات آلی است که خاصیت ضد اکسیدانی دارند، این ماده می‌تواند به کاهش سرعت خوردگی در بتن کمک کند.

یکی دیگر از اهداف این تحقیق، تغییر رنگ بتن بود که می‌بایست در اثر افزودن پسماند قهوه با سیمان سفید بوجود آید. بطوریکه در تحقیق تسما و همکاران[۲۳] گزارش شد که استفاده از پسماند قهوه در آسفالت گرم موجب تغییر رنگ آسفالت به رنگ قهوه‌ای خواهد شد. اما نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پسماند قهوه با سیمان سفید در بتن، تغییر رنگ محسوسی را ایجاد نخواهد کرد. شکل شماره ۲۵ رنگ آسفالت قهوای[۲۳] با رنگ بتن ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۲۶ مقایسه میزان رنگ‌دهی پسماند قهوه بر روی آسفالت [۲۳] و بتن مورد تحقیق

با بررسی کلیه نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توان اذعان داشت که استفاده از طرح SHA-2.5% (حداکثر ۲/۵٪ پسماند قهوه در بتن) مشروط بر آنکه بتوان جلوی بروز رشد قارچ و کپک را در آن گرفت، برای مصارف غیرسازه‌ای توجیه‌پذیر است. استفاده از این بتن با توجه به مزایای زیست محیطی که دارد می‌تواند در محوطه سازی، جداول بتنی، ساخت دیوارهای غیربابر، ساخت نمای بتنی، سردرب ورودی و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

۸- نتیجه گیری

برخی از مهم‌ترین نتایج بدست آمده در این تحقیق به شرح زیر است:

۱. استفاده از پسماند قهوه در بتن موجب کاهش اسلامپ بتن می‌شود. بطوریکه در طرح SHA-2.5%, 5%, 7.5%, 10% میزان اسلامپ به ترتیب ۲۰٪، ۴۳٪، ۶۳٪ و ۸۰٪ کاهش یافته است.

۲. افزودن پسماند قهوه در مقادیر بالا (بیش از ۵٪) منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. بطوریکه در طرح SHA-2.5% مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه ۷٪ کاهش یافت، در حالیکه این کاهش در طرح SHA-10% به ۴۴٪ می‌رسد.

۳. افزودن پسماند قهوه منجر به کاهش مقاومت کششی بتن می‌شود. بطوریکه در طرح SHA-2.5% مقاومت کششی ۸٪ کاهش یافت. این مقدار در طرح SHA-10% معادل ۳۳٪ کاهش بود.

۴. افزودن پسماند قهوه منجر به افزایش جذب آب بتن می‌شود. بطوریکه میزان جذب آب نهایی در نمونه کنترل برابر با ۴٪ بود، اما در طرح SHA-10%، این مقدار به ۶/۲۷٪ رسید.

۵. نمونه‌های حاوی پسماند قهوه، کاهش وزن کمتری را در برابر باران‌های اسیدی نشان دادند. این ویژگی در طرح SHA-10% تا ۲۵٪ بهبود یافت.

منابع

1. Sadegh, G., & Radmard Ghadiri. (2021). The role of project manager coaching skills in obtaining feedback from interactive communication with project stakeholders (case project of landscaping and cultural buildings of Mashhad Airport). Civil Engineering and Project, 3(9), 51–68.
2. Razavi, S. M. H., & Azimi-Dal-Arastaghi, A. (2018). Investigating outdoor landscaping criteria in the design and construction of urban sports venues. Sports Management and Development, 3(1), 15–24.
3. Shahriari, L., Golshan, M. R., & Awad Nejad, F. (2023). The effect of waste brick powder on the frost resistance and durability of concrete with the aim of making recycled concrete in sustainable development. Concrete Materials and Structures. https://doi.org/10.30478/jcsm.2023.400173.1324
4. Tehran Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture. (2023). Total coffee import statistics. Retrieved from https://www.tccim.ir/
5. Salar, Y., Moatar, F., & Khazri, M. (2014). Factors affecting gas production in landfills. Man and Environment, 12(1), 28–39.
6. Samimi, K., Pakan, M., & Sinai, Y. (2022). A review of the components of cities using porous concrete towards sustainable development. Concrete Materials and Structures, 7(1), 46–59.
7. Zare, M., Shahriari, L., Parhodeh, A., & Karbakhsh, M. (2020). Investigating the effects of concrete on the sustainable development of urban spaces (case study: Shiraz metropolis). Quarterly Journal of Urban Research and Planning, 10(39), 75–88.
8. Heravi, G., Laighe, S., & Maher, A. (2017). Survey and evaluation of the prefabricated concrete building construction industry with a sustainable development approach using SWOT analysis. Amirkabir Civil Engineering Journal, 49(3), 603–618.
9. Roychand, R., Kilmartin-Lynch, S., Saberian, M., Li, J., & Li, C. Q. (2025). Translating lab success to the field: Evaluating coffee biochar-enhanced concrete in real-world construction. Case Studies in Construction Materials, 22, e04233.
10. Guendouz, M., Boukhelkhal, D., Triki, Z., Mechantel, A., & Boukerma, T. (2023). Effect of using spent coffee grounds wastes as aggregates on physical and thermal properties of sand concrete. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, 9(3).
11. Zein, K. C. S., & Ariadi, P. N. (2023, February). Effect of mixing coffee husk ash and as a cement replacement on the strength of concrete. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1140(1), 012019.
12. Tessema, A. T., Alene, G. A., & Wolelaw, N. M. (2022). The influence of coffee husk ash as a filler on the performance of bituminous concrete mix. Advances in Materials Science and Engineering.
13. Gedefaw, A., Worku Yifru, B., Endale, S. A., Habtegebreal, B. T., & Yehualaw, M. D. (2022). Experimental investigation on the effects of coffee husk ash as partial replacement of cement on concrete properties. Advances in Materials Science and Engineering, 2022.
14. Asfaw, F. B., Hareru, W. K., & Ghebrab, T. T. (2022). Physical and chemical characterization of coffee husk ash effect on partial replacement of cement in concrete production. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 13(1), 167–184.
15. Anisah, A., Nugroho, M., Handoyo, S. S., Musalamah, S., Maulana, A., Ramadhan, M. A., & Sumarsono, R. A. (2021, March). Furnace temperature of coffee grounds as organic waste-based cementitious material in concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1098(2), 022087.

16. De Almeida, A. C., Da Silva, M. A. L., De Abreu, Q. C., Da Silva, A. L., Martins, S. P. R., & Pereira, C. D. S. S. (2019). Evaluation of partial sand replacement by coffee husks in concrete production. Journal of Environmental Science and Engineering, B, 8(4), 129–133.
17. Saberian, M., Li, J., Donnoli, A., Bonderenko, E., Oliva, P., Gill, B., & Siddique, R. (2021). Recycling of spent coffee grounds in construction materials: A review. Journal of Cleaner Production, 289, 125837.
18. Moreno, L. J. A., Lemus, D. D. S. Z., Rosero, J. L., Morales, D. M. A., Castaño, L. M. S., & Cuervo, D. P. (2020). Evaluation of aquifer contamination risk in urban expansion areas as a tool for the integrated management of groundwater resources: Case of coffee growing region, Colombia. Groundwater for Sustainable Development, 10, 100298.
19. Cibelli, M., Cimini, A., Cerchiara, G., & Moresi, M. (2021). Carbon footprint of different methods of coffee preparation. Sustainable Production and Consumption, 27, 1614–1625.
20. Lachheb, A., Allouhi, A., El Marhoune, M., Saadani, R., Kousksou, T., Jamil, A., & Oussouaddi, O. (2019). Thermal insulation improvement in construction materials by adding spent coffee grounds: An experimental and simulation study. Journal of Cleaner Production, 209, 1411–1419.
21. Demissew, A., Fufa, F., & Assefa, S. (2019). Partial replacement of cement by coffee husk ash for C-25 concrete production. Journal of Civil Engineering, Science and Technology, 10(1), 12–21.
22. Tessema, A. T., Wolelaw, N. M., & Alene, G. A. (2022). Experimental evaluation of coffee husk ash as a filler in hot mix asphalt concrete productions. Advances in Civil Engineering, 2022(1), 6726700.
23. Ricciardi, P., Torchia, F., Belloni, E., Lascaro, E., & Buratti, C. (2017). Environmental characterisation of coffee chaff: A new recycled material for building applications. Construction and Building Materials, 147, 185–193.
24. Lin, L. K., Kuo, T. M., & Hsu, Y. S. (2016). The application and evaluation research of coffee residue ash into mortar. Journal of Material Cycles and Waste Management, 18, 541–551.
25. Arulrajah, A., Kua, T.-A., Phetchuay, C., Horpibulsuk, S., Mahghoolpilehrood, F., & Disfani, M. M. (2016). Spent coffee grounds–fly ash geopolymer used as an embankment structural fill material. Journal of Materials in Civil Engineering, 28(5), 04015197. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001496.
26. Kua, T. A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J., & Shen, S. L. (2016). Strength assessment of spent coffee grounds-geopolymer cement utilizing slag and fly ash precursors. Construction and Building Materials, 115, 565–575.
27. Kua, T. A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J., & Suksiripattanapong, C. (2017). Engineering and environmental evaluation of spent coffee grounds stabilized with industrial by-products as a road subgrade material. Clean Technologies and Environmental Policy, 19, 63–75.
28. Suksiripattanapong, C., Kua, T. A., Arulrajah, A., Maghool, F., & Horpibulsuk, S. (2017). Strength and microstructure properties of spent coffee grounds stabilized with rice husk ash and slag geopolymers. Construction and Building Materials, 146, 312–320.
29. Arulrajah, A., Kua, T. A., Suksiripattanapong, C., Horpibulsuk, S., & Shen, J. S. (2017). Compressive strength and microstructural properties of spent coffee grounds-bagasse ash based geopolymers with slag supplements. Journal of Cleaner Production, 162, 1491–1501.
30. Arulrajah, A., Kua, T. A., Horpibulsuk, S., Mirzababaei, M., & Chinkulkijniwat, A. (2017). Recycled glass as a supplementary filler material in spent coffee grounds geopolymers. Construction and Building Materials, 151, 18–27.
31. Arulrajah, A., Kua, T. A., Suksiripattanapong, C., & Horpibulsuk, S. (2017). Stiffness and strength properties of spent coffee grounds-recycled glass geopolymers. Road Materials and Pavement Design.
32. Hareru, W. K., Asfaw, F. B., & Ghebrab, T. T. (2022). Physical and chemical characterization of coffee husk ash effect on partial replacement of cement in concrete production. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 13(1), 167–184.