

# Investigating the Effects of Substituting Non-fired Black Soil Waste for Cement on the Mechanical and Flubility Properties of Concrete

*Moharrer, Amir hossein\**

*Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran*

*Ghaedian, Davood*

*Department of Civil Engineering, Azad and Islamic University of Eqlid*

*Eftekhar, Mohammad hossein*

*Technical Manager and Engineering of Bonyad Beton Company*

*Research paper*

## Abstract

Considering cement as the main constituent material of concrete, in recent years, it has received significant attention from researchers and scientists in the construction industry due to high direct and indirect costs. Non-burnt black soil, which is extracted as waste material from ceramic tile factories, is a recognized problem, and its utilization in other industries can have a positive impact on environmental preservation. In this study, 216 samples were prepared in the form of 24 mix ratios and at ages of 7, 28, and 90 days. After conducting compressive strength and slump tests, as well as electron microscopy imaging, it can be observed that the optimal utilization of non-burnt black soil waste can bring about changes in the compressive strength of concrete at higher ages, indicating the potential use of this waste as a substitute for cement in concrete to reduce the cost of the final product and promote environmental preservation towards sustainable development. In this study, it was observed that a replacement percentage of 5% and 10% of black soil with cement at 28 days and a replacement percentage of 15% at 90 days can be introduced as the optimal substitution percentage.

**Keywords:** Green Concrete, Non-Burnt Black Soil Waste Powder, Concrete Compressive Strength, Cement Substitution, Material Recycling, Environment

**\*Corresponding Author:** Moharrer, Amir hossein

moharrer, A., ghaedian, D., eftekhar, H. Investigating the Effects of Substituting Non-fired Black Soil Waste for Cement on the Mechanical and Flubility Properties of Concrete. Journal of Concrete Structures and Materials, 2023; 8(1): 193-172. <http://doi.org/10.30478/jcsm.2023.419013.1345>

2538-5828/ © 2023 The Authors. Published by Iranian Concrete Society

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

# بررسی اثر جایگزینی پسماند معادن خاک نسوز با سیمان در مشخصات مکانیکی و رئولوژی بتن

امیرحسین محرر

گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

(نویسنده مسئول)

moharrer.o@gmail.com

داوود قانديان رونيزی

هیات علمی گروه عمران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید

dghaedian@gmail.com

محمدحسین افتخار

مدیر امور فنی و مهندسی بنیاد بتن ایران

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

## چکیده

با توجه به اینکه سیمان بعنوان اصلی ترین مصالح تشکیل دهنده بتن در سال های اخیر بعلت هزینه های مستقیم و غیر مستقیم زیاد مورد توجه دانشمندان و محققین حوزه صنعت ساختمان بوده است. خاک سیاه نسوز که بعنوان مواد زائد از معادن کارخانجات کاشی سازی استخراج می شود بعنوان معضل شناخته شده و در صورت استفاده در صنایع دیگر می تواند برای حفظ محیط زیست موثر باشد. در این پژوهش ۲۱۶ نمونه در قالب ۲۴ نسبت مخلوط و در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه ساخته و پس از انجام آزمایشات مقاومت فشاری و اسلامپ و همچنین عکسبرداری الکترونی می توان دریافت که استفاده از میزان بهینه پسماند خاک سیاه نسوز می تواند تغییری در مقاومت فشاری بتن در سنین بالا ننماید که خود این می تواند نشانگر مثبت بودن امکان استفاده از این پسماند به جای سیمان در بتن بمنظور کاهش هزینه محصول نهایی و حفظ محیط زیست در راستای توسعه پایدار باشد. در این پژوهش مشاهده گردید در درصد جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد خاک سیاه با سیمان در مقاومت ۲۸ روزه و درصد جایگزینی ۱۵ درصد در مقاومت ۹۰ روزه بعنوان درصد بهینه جایگزینی معرفی شدند.

**کلمات کلیدی:** بتن سبز، پودر پسماند خاک سیاه نسوز، مقاومت فشاری بتن، جایگزین سیمان، بازیافت مصالح، محیط زیست.

محققان در عصر حاضر تلاش کرده اند تا به کمک پسماندهای حاصل از فعالیت های صنعتی کاربردهایی را بمنظور بهبود خواص ویژه در صنعت بتن یا جایگزین سیمان ایجاد نمایند (۲؛ ۴؛ ۱۰)، کاهش مصرف مواد سیمانی از دو نظر در جامعه های پیشرفته قابل توجه بوده است مهمترین عاملی که محققان را به بررسی چنین مسائلی گرایش داده است این است که به طور رایج دفع پسماندهای صنعتی و ساختمانی بسیار هزینه بر و به عنوان یک عامل مضر و به خطر انداز محیط زیست می باشد و استفاده از این پسماندهای صنایع دیگر این هزینه ها و مضرات را بشدت کاهش می دهد، با توجه به اینکه در صنعت بتن سیمان از گرانترین مصالح است اگر بتوان از مواد پسماند صنایع دیگر بعنوان جایگزین سیمان استفاده نمود و عیار سیمان مورد استفاده در بتن را به این وسیله کاهش داد هم از لحاظ اقتصادی بتن تولیدی به صرفه است هم مشکل ضرر و آسیب محیط زیست می تواند مثرم ثمر باشد (۱۶؛ ۱۷؛ ۲۸). علاوه بر این در پژوهشگران گذشته اثبات نموده اند که استفاده از موادی پسماند همچون پوزولان، پوسته سوخته برنج و پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین سیمانی مزایای خوبی را در مشخصات مکانیکی و خواص رئولوژی و کارایی بتن به دنبال داشته است. که کاهش هزینه بتن تولیدی، افزایش دوام و پایداری و حفاظت از محیط زیست بعلاوه کاهش عیار سیمان مصرفی از مزایایی بوده که محققان به آن اشاره نموده اند (۱؛ ۷؛ ۱۱؛ ۱۵؛ ۲۷؛ ۳۱). محرر و همکاران نیز در پژوهشی به بررسی اثر کوارتز و زئولیت که هر دو دارای عنصر سیلیس با خلوص بالا هستند در بتن در معرض میدان مغناطیسه پرداخته است و محققان در این پژوهش به افزایش مقاومت فشاری بتن در اثر افزودن مواد پایه سیلیسی تحت میدان مغناطیسه و غیر از حضور میدان مغناطیسه گزارش نمودند (۱۸؛ ۱۹).

دفع پسماند های حاصل از سنبلاست می تواند غیر اقتصادی و آلوده کننده محیط زیست باشد، زیرا اغلب به محل های دفن زباله ختم می شود یا به طور غیرقانونی تخلیه می شود. استفاده مجدد از پسماند های دستگاه های سنبلاست که حاصل از سایش سنگدانه های ماسه سیلیسی هستند در مصالح ساختمانی از جمله بتن می تواند راه حلی مناسبی برای رفع این معضل باشد (۳). محمدزاده و رحمانی (۱۷) در سال ۱۳۹۹ در آزمایشگاه دانشگاه زنجان تاثیر پودر سنگ آهک بر مشخصات مکانیکی بتن پودری بررسی نمودند آن ها در گزارش حاصل از پژوهش خود اعلام داشته اند که خواص مقاومتی و روانی بتن تازه ساخته شده با پودر سنگ آهک به مراتب بهتر از نمونه بتن های شاهد فاقد پودر سنگ آهک می باشد از آنجایی که کارخانه تولید سیمان پس از حمل و نقل و نیروگاههای تولید انرژی بعنوان سومین عامل انسانی تولیدکننده گاز گلخانه ای دی اکسید کربن شناخته می شود، هر تن سیمان تولیدی حدود ۱۰۰ کیلوگرم گاز دی اکسید کربن به اتمسفر اضافه می گردد که اگر بتوان موادی همچون پودر سنگ آهک را جایگزین بخشی از سیمان نمود نقش بسزایی در جلوگیری از گرم شدن کره زمین خواهد داشت.

سپاستین سولوادوری و همکاران (۲۴) در سال ۲۰۲۰ به بررسی اثر اضافه نمودن دورریز ساقه نیشکر بر خواص بتن پودری اکتیو پرداخته است در این پژوهش اعلام گردید که با افزایش میزان پسماند نیشکر که حاوی سیلیس است تا ۵،۱۲ درصد، خود می تواند از منظر محیط زیستی، اقتصادی، کنترل دوام و کنترل جمع شدگی بتن نتایج قابل قبولی را ارائه دهد با توجه به اینکه خمیر سیمان عامل اصلی ترکهای جمع شدگی می باشند با کاهش عیار سیمان خطر ترک خوردگی حاصل از جمع شدگی نیز کاهش می یابد، که این دو نتیجه در تحقیقات کولپاردی و همکاران در سال (۶) ۱۹۹۷ و تام و همکاران (۲۶) در سال ۲۰۱۲ نیز مشاهده گردیده است. محرر (۳۲) در پژوهشی که در سال ۱۴۰۲ بر روی امکان استفاده از پسماند دستگاه سنبلاست در بتن پرداخته بود دریافت که با توجه به خلوص بالای سیلیس در این پسماند می توان در درصد های بهینه بدون کاهش مقاومت پسماند سنبلاست را با سیمان جایگزین نمایند و خود این امر علاوه بر کاهش هزینه بتن تولیدی برای حفظ محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه ای کارخانجات سیمان کمک شایانی می نماید.

تاپیک و پروسک (۲۹) در سال ۲۰۱۷ بر روی بررسی اثر استفاده از بتن بازیافتی و پودر سنگ سیلیس بر روی مقاومت مکانیکی و پروسه هیدراتاسیون سیمان پژوهشی آزمایشگاهی انجام دادند و از نتایج آزمایشگاهی دریافتند که افزایش میزان جایگزینی می‌تواند تاثیر بسزایی در خواص مکانیکی بتن داشته باشد از جمله مقاومت فشاری آزمونه هایی که ۱۰ درصد وزن سیمان پودر سیلیس جایگزین می‌شود می‌تواند تا ۲۰ درصد افزایش را در بتن ایجاد نماید. این در حالی است که با افزایش میان جایگزینی پودر سنگدانه سیلیسی با سیمان مقاومت فشاری بتن ۶۵ درصد نسبت به مقاومت فشاری نمونه شاهد کاهش می‌یابد که این نشان دهنده لزوم استفاده از درصد بهینه جایگزینی در بتن است. محققین در ادامه با تحقیق در خصوص میزان جریان حرارت زایی و آزاد کردن حرارت توانستند تاثیر افزودن مصالح متفاوت بر بتن از آزمایش حرارت زایی را تعیین نمایند.

آقای سوکمانا و همکاران (۲۵) در سال ۲۰۱۹ به بررسی امکان جایگزینی پسماند ماسه کارخانه سندبلاست به جای سیمان در مراحل ساخت بتن پرداخته است. ایشان دریافتند که جایگزینی پودر ماسه سیلیسی با سیمان در بتن باعث بهبود خواص فیزیکی بتن و دوام بتن تا جایگزینی ۴۰ درصد می‌گردد و از طرفی دیگر با کاهش عیار سیمان و جلوگیری از ورود پسماند در طبیعت به حفظ محیط زیست و کاهش هزینه تولید در پروژه های عمرانی کمک شایانی می‌کند.

غلامپور و همکاران در سال ۲۰۲۱ نیز به بررسی اثرات افزودن ماسه پسماند در بتن پرداخته اند و نتیجه این تحقیق نشان از افزایش و بهبود خواص مکانیکی بتن و همچنین کاهش آلودگی محیط زیست گردیده است.

سو و همکاران (۹) نیز در سال ۲۰۲۱ به بررسی اثر ترکیبات شیمیایی و اندازه دانه بندی ذرات پسماند دارای عنصر سیلیس بر خواص بتن پرداخته است و نتایج حاصل نشان می‌دهد که ترکیبات شیمیایی و اندازه ذرات پسماند تاثیر کاملا مستقیمی بر مقاومت فشاری و خمشی بتن و دوام و پایداری بتن دارد.

کریم و همکاران (۱۲؛ ۱۳) در دو پژوهش جداگانه که با موضوع امکان سنجی و بررسی اثر استفاده از پسماند ماسه ای کارخانه سند بلاست و خاکستر بادی در قطعات پیش ساخته بتن با مقاومت بالا در سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به پرداخته اند، نتایج حاصل نشان از افزایش مقاومت فشاری و همچنین کاهش میزان جذب آب آزمونه ها داشته است.

کاور و همکاران (۱۴) نیز در طی تحقیقات آزمایشگاهی در خصوص ویژگی های بتن ساخته شده با پسماند ماسه سیلیسی که در سال ۲۰۱۲ انتشار داده اند به این نتایج دست یافته اند که مدت زمان عمل‌آوری به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد و این کاهش چشمگیر مدت زمان عمل‌آوری بدون تاثیر منفی بر مقاومت مکانیکی بتن گزارش گردیده است.

دمیس و همکاران (۵؛ ۸) در سال ۲۰۱۸ و چوداری و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی تاثیر افزودن خاکستر بادی و پسماند پودر شیشه سیلیسی پرداخته اند، ایشان در نتایج پژوهش آزمایشگاهی خود به این نتیجه دست یافتند که این دو مواد می‌تواند در تولید و ساخت بتن با توانمندی بالا مورد استفاده قرار گیرد که با بهبود مقاومت و دوام بتن در محصول نهایی همراه است.

پاراشار و همکاران (۲۲) در پژوهشی که در سال ۲۰۲۱ در خصوص تاثیر افزودن پسماند ماسه در ویژگی های بتن خودمترکم تازه و سخت شده انجام داده اند به این نتایج دست یافته اند که پسماند ماسه سیلیس می‌تواند نیاز به عملیات لرزاننده در مرحله جایدگی و تراکم در قالب را به صورت چشمگیری کاهش داده و کارپذیری و کارایی بتن را بهبود دهد و همچنین دریافتند که مقاومت بتن تا ۱۰ درصد جایگزینی کاهشی اتفاق نمی‌افتد.

پاچیده و قلهکی (۲۰) نیز در در آزمایشگاه بتن دانشگاه سمنان به بررسی اثر جایگزینی پودر سیلیس بر مقاومت‌های فشاری و خمشی و کششی بتن تحت حرارت آتش پرداختند که ایشان در گزارش نهایی اعلام داشتند که در نمونه های حاوی سیلیس مقاومت‌های فشاری و کششی بتن و همچنین خمشی بتن را در این شرایط نسبت به نمونه شاهد فاقد سیلیس بهبود می‌بخشد.



## پسماند خاک نسوز کارخانه کاشی

پسماند حاصل از استخراج خاک نسوز سیاه کارخانه کاشی سازی از معدن شمال استان فارس تهیه گردید و در این پژوهش استفاده گردید. معدن مورد استفاده بمنظور تهیه خاک نسوز مورد استفاده در ساخت نسبت مخلوط ها استقلال بوده است. اندازه ذرات می بایست توسط آسیاب خرد شوند و پس از الک شدن ذرات کمتر از ۹۰ میکرون (عبوری از الک شماره ۱۷۰) مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات فیزیکی خاک نسوز سیاه مطابق جدول شماره ۲ تعیین گردیده است.

جدول شماره ۲ - خصوصیات فیزیکی خاک نسوز سیاه

مشخصات	مقدار
اندازه ذرات	کمتر از ۹۰ میکرون
سطح ویژه (gr/cm <sup>2</sup> )	۴۳۰۰
رطوبت	صفر درصد
رنگ	مشکی

در ادامه جدول شماره ۳ مشخصات آنالیز شیمیایی خاک نسوز سیاه معدن استقلال را می توان ملاحظه نمود. از جدول مشخصات آنالیز شیمیایی می توان ملاحظه نمود که میزان خلوص درصد سیلیس مواد نسبت به سایر عناصر بالا می باشد.

جدول شماره ۳ - جدول آنالیز شیمیایی خاک سیاه نسوز

عناصر	درصد معدن استقلال
SiO <sub>2</sub>	۴۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶.۵
CaO	۲.۵
MgO	۰.۱
SO <sub>3</sub>	۴.۵
K <sub>2</sub> O	۱.۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰.۲
Na <sub>2</sub> O	۰.۷
L.O.I	۸.۸
جرم مخصوص (kg/m <sup>3</sup> )	۳.۰۵
سطح مخصوص (cm <sup>2</sup> /gr)	۴۳۰۰



سانتی‌متر محاسبه و ساخته شد. به طور معمول برای ساخت بتن های حاوی مواد ریز دانه یا ماسه با مدول نرمی زیاد می‌بایست برای جبران ریزی سنگدانه از آب بیشتری استفاده نمود ، در این شرایط با توجه به اینکه مواد فوق روان کننده استفاده نمی‌گردد نسبت آب به سیمان می‌بایست بین ۰,۴ الی ۰,۵ در نظر گرفت تا بتوان جبران ریزی سنگدانه را نمود. دلیل استفاده از دو عیار سیمان بمنظور بررسی هر چه بهتر تاثیر میزان افزایش وزنی سیمان در این جایگزینی بوده است.

#### مراحل ساخت بتن در این پژوهش:

۱- تهیه مصالح و آسیاب پسماند خاک سیاه معادن

۲- مخلوط مصالح خشک

۳- اختلاط آب و تکمیل مراحل اختلاط

ابتدا مواد خشک با هم مخلوط شده و خوب به وسیله میکسر آزمایشگاه ترکیب می شوند. سپس در مرحله دوم مواد بمدت ۷۰ دور مخلوط شده و نهایتاً در انتهای مرحله آب مورد نیاز طرح به مخلوط اضافه می‌گردد و بمدت ۵ دقیقه بخوبی ترکیب می‌گردد و مخلوط همگن بتن ، آماده ریختن درون قالب می شود.



### مشخصات نسبت مخلوط

برای انجام این پژوهش ۲۴ نسبت مخلوط ساخته شده که متشکل از دو عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بوده که نسبت آب به مواد سیمانی ۰,۳ و ۰,۴ و ۰,۵ و نسبت جایگزینی پودر خاک سیاه نسوز با سیمان ۰,۵، ۱۰، ۱۵ و ۰ درصد وزن سیمان بعنوان پارامترهای متغیر نسبت مخلوط پژوهش انتخاب گردیده است. نسبت‌های نسبت مخلوط برای یک متر مکعب بتن با توجه به مشخصات ACI ۲۱۱,۱ در جدول شماره ۴ ارائه شده است در این جدول نسبت آب به مواد سیمانی W/Cm ارائه شده است که منظور از مواد سیمانی مجموع سیمان و پوزولان استفاده شده در نسبت مخلوط می باشد.

شماره طرح	پوزولان (%)	عیار سیمانی (kg/m)	W/C	سیمان (kg/m <sup>3</sup> )	پوزولان (kg/m <sup>3</sup> )	شن بادامی (kg/m <sup>3</sup> )	شن نخودی (kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (kg/m <sup>3</sup> )
p ۰	۰	۳۵۰	۰/۳	۳۵۰	۰	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۱	۵	۳۵۰	۰/۳	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۲	۱۰	۳۵۰	۰/۳	۳۱۵	۳۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۳	۱۵	۳۵۰	۰/۳	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۴	۰	۳۵۰	۰/۴	۳۵۰	۰	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۵	۵	۳۵۰	۰/۴	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۶	۱۰	۳۵۰	۰/۴	۳۱۵	۳۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۷	۱۵	۳۵۰	۰/۴	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۸	۰	۳۵۰	۰/۵	۳۵۰	۰	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۹	۵	۳۵۰	۰/۵	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۱۰	۱۰	۳۵۰	۰/۵	۳۱۵	۳۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۱۱	۱۵	۳۵۰	۰/۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۲۱۵	۱۶۰	۱۴۸۰
p ۱۲	۰	۴۵۰	۰/۳	۳۵۰	۰	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۳	۵	۴۵۰	۰/۳	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۴	۱۰	۴۵۰	۰/۳	۳۱۵	۳۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۵	۱۵	۴۵۰	۰/۳	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۶	۰	۴۵۰	۰/۴	۳۵۰	۰	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۷	۵	۴۵۰	۰/۴	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۸	۱۰	۴۵۰	۰/۴	۳۱۵	۳۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۱۹	۱۵	۴۵۰	۰/۴	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۲۰	۰	۴۵۰	۰/۵	۳۵۰	۰	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۲۱	۵	۴۵۰	۰/۵	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۲۲	۱۰	۴۵۰	۰/۵	۳۱۵	۳۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰
p ۲۳	۱۵	۴۵۰	۰/۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰۰

## برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش ۲۱۶ نمونه بتنی ساخته و مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته شده است. همگی نمونه های مکعبی ۱۵\*۱۵ سانتی متر ساخته شده است و در سه سن ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه و ارزیابی خاصیت رئولوژی بتن اتمامی نسبت مخلوط ها آزمایش اسلامپ گرفته شد و تاثیر جایگزینی پودر پسماند خاک سیاه با سیمان مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه به توضیحات آزمایشات انجام شده پرداخته شده است:

### آزمایش مقاومت فشاری:

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۱۵\*۱۵\*۱۵ سانتی متر انجام گردید. آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ملی ایران بدین صورت که ابتدا نسبت مخلوط بتن انجام می گردد و پس از جایدهی در قالب های مکعبی در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه پس از عمل آوری نمونه ها از حوضچه خارج شده و سطوح آن ها خشک شده به حالت اشباع و بمنظور بارگذاری زیرجک آماده می گردد، نکته حائز اهمیت در خصوص انتخاب سطح بارگذاری این است که حتما می بایست سطحی انتخاب گردد که صاف و بدون زائده باشد که خطایی در پروسه بارگذاری روی ندهد.

### آزمایش اسلامپ:

برای تعیین خواص کارپذیری بتن تازه و کارایی بتن ساخته شده آزمایش تعیین روانی یا همان اسلامپ بتن مطابق با استاندارد ASTM C143 انجام گردید.

### مشخصه پژوهش:

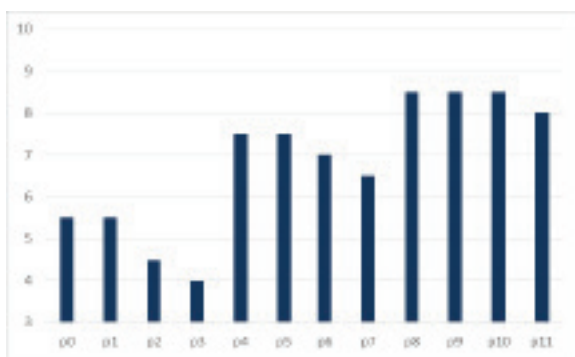
در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی اثر جایگزینی پودر پسماند خاک سیاه نسوز کارخانجات کاشی سازی با سیمان پرداخته شده است، که در صنعت بعنوان یک پسماند و دور ریز محسوب می شود و برای کارخانجات و معادن مربوطه دفع این ماده هم از لحاظ محیط زیستی هم از لحاظ اقتصادی دچار مشکل شده است، نوآوری این تحقیق در این است که تاکنون در خصوص این پسماند که دفع آن برای صنایع یک معضل و برای محیط زیست یک ضرر به حساب می آید پژوهش جامع و کاملی انجام نگردیده است حال با توجه بر اینکه در سال های اخیر با توجه به کمبود انرژی کارخانجات سیمان را در دو فصل تابستان و زمستان با معضل تعطیلی مواجه می کند نگارندگان این مقاله با باور بر اینکه مواد پسماند خاک سیاه نسوز بعنوان پوزولان دارای سیلیس می تواند بعنوان یک مکمل سیمان و بعنوان یک ماده چسباننده در ملات سیمان و بتن نقش ایفا کند این پژوهش را انجام داده و در ادامه به نتایج حاصله از آن اشاره می کنند.

## نتایج و بحث

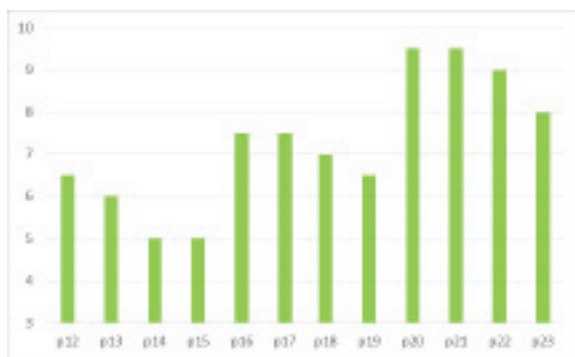
### کارایی و روانی بتن تازه:

نتایج آزمایش روانی بتن در دو بخش جداگانه مطرح و بررسی گردید ۱- نمونه های بتن با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب که در شکل شماره ۲ و ۲-نمونه های دارای ۴۵۰ کیلوگرم سیمان در هر مترمکعب در شکل شماره ۳ قابل مشاهده می باشد. همانطور که در نمودارهای مربوط به اسلامپ ملاحظه می نمایید نمونه هایی که در نسبت مخلوط هایی که همراه با افزایش میزان

درصد جایگزینی پسماند خاک سیاه نسوز با سیمان می باشد میزان اسلامپ با کاهش همراه است، که این کاهش چشمگیر می تواند به علت ریز تر بودن و خاصیت جاذب بودن آب توسط پودر سیلیس باشد. نسبت مخلوط محاسبه شده برای دو عیار ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و با نسبت آب به سیمان ۰,۳ که در حالت بدون حضور پوزولان با فرض در نظر گرفتن اسلامپ ۵۵ میلی متر و ۶۵ میلی متر بوده است که پس از جایگزینی ۱۵ درصد پودر پسماند خاک نسوز سیاه با سیمان میزان روانی و کارایی بتن تازه با ۳۰ درصد افت به اسلامپ عدد ۴۰ میلی متر و ۵۰ میلی متر کاهش یافت. در ادامه نیز می توان ملاحظه نمود که به علت افزایش میزان نسبت آب به سیمان در هر دو عیار سیمان افزایش میزان اسلامپ اتفاق می افتد ولی با جایگزینی پوزولان و سیمان همانطور که توقع می رود افت اسلامپ اتفاق می افتد این کاهش در نمونه با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در جایگزینی ۱۵ درصد پوزولان با سیمان شدت بیشتری نسبت به سایر نتایج داشته که می توان در نمودار کاهش مقدار اسلامپ را مشاهده نمود.



شکل شماره ۳ - نمودار اسلامپ نسبت مخلوط با عیار ۳۵۰



شکل شماره ۴ - نمودار اسلامپ نسبت مخلوط با عیار ۴۵۰

## مقاومت فشاری :

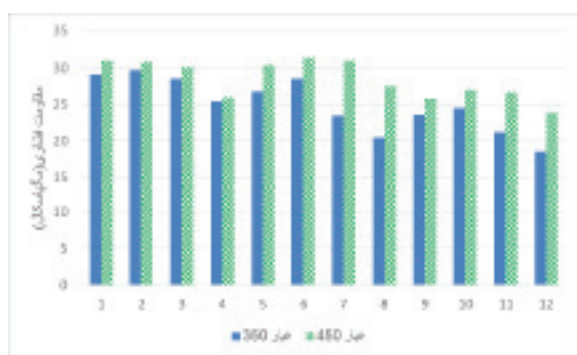
در جدول شماره ۵ می توان نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری آزمون های مکعبی در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه را بررسی نمود.

شماره طرح	پوزولان (%)	W/C	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت فشاری ۹۰ روزه
p ۰	۰	۰/۳	۲۴/۲	۲۹	۳۱/۱
p ۱	۵	۰/۳	۲۵/۱	۲۹/۷	۳۱/۶
p ۲	۱۰	۰/۳	۲۳/۸	۲۸/۵	۳۲
p ۳	۱۵	۰/۳	۲۰/۸	۲۵/۵	۲۶/۵
p ۴	۰	۰/۴	۲۲/۲	۲۶/۷	۲۸/۸
p ۵	۵	۰/۴	۲۳/۸	۲۸/۵	۳۰/۳
p ۶	۱۰	۰/۴	۲۰/۶	۲۳/۴	۲۸
p ۷	۱۵	۰/۴	۱۹/۸	۲۰/۵	۲۷/۱
p ۸	۰	۰/۵	۲۰/۵	۲۳/۶	۲۵/۹
p ۹	۵	۰/۵	۲۱/۴	۲۴/۵	۲۷/۶
p ۱۰	۱۰	۰/۵	۱۹/۵	۲۱/۲	۲۴/۸
p ۱۱	۱۵	۰/۵	۱۸/۳	۱۸/۶	۲۳/۶
p ۱۲	۰	۰/۳	۲۶	۳۱	۳۴/۲
p ۱۳	۵	۰/۳	۲۵/۴	۳۰/۷	۳۳/۱
p ۱۴	۱۰	۰/۳	۲۴/۸	۳۰	۳۵
p ۱۵	۱۵	۰/۳	۲۱/۲	۲۶	۳۱/۲
p ۱۶	۰	۰/۴	۲۵/۴	۳۰/۳	۳۱/۵
p ۱۷	۵	۰/۴	۲۶/۴	۳۱/۴	۳۲/۸
p ۱۸	۱۰	۰/۴	۲۵/۷	۳۱	۳۲
p ۱۹	۱۵	۰/۴	۲۲/۵	۲۷/۵	۲۹/۸
p ۲۰	۰	۰/۵	۲۲	۲۵/۸	۳۰/۱
p ۲۱	۵	۰/۵	۲۲/۳	۲۶/۹	۳۱/۳
p ۲۲	۱۰	۰/۵	۲۲/۲	۲۶/۶	۳۰/۹
p ۲۳	۱۵	۰/۵	۱۹/۵	۲۳/۹	۲۸/۲

نمودار شکل شماره ۴ مقایسه اثر جایگزینی پودر پسماند خاک سیاه کارخانه کاشی سازی در نتایج آزمایشگاهی مقاومت فشاری ۷ روزه مکعبی در دو نسبت مخلوط با عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوگرم می باشد. در نمودار زیر نمونه های الی ۴ نسبت آب به سیمان ۰,۳ و نمونه های ۵ الی ۸ نسبت آب به سیمان ۰,۴ و نهایتاً سایر نمونه ها نسبت آب به سیمان ۰,۵ را دارا می باشند. از روی این نمودار میزان و شدت کاهش و افزایش مقاومت فشاری را می توان بررسی و نتیجه گیری کرد. همانطور که ملاحظه می گردد از

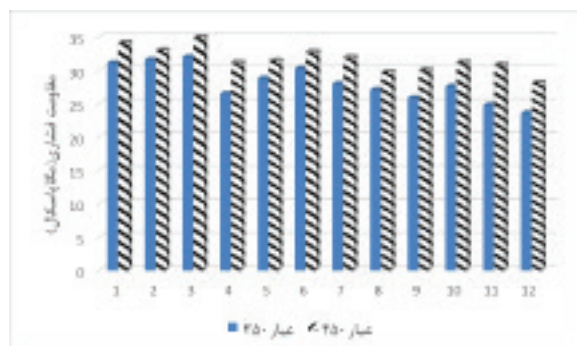
روی نمودار می توان نتیجه گیری کرد تاثیر جایگزین نمودن پودر خاک سیاه نسوز با سیمان در نسبت مخلوط عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش مقاومت بسیار کمتری نسبت به نسبت مخلوط های عیار ۳۵۰ کیلوگرم داشته است که دلیل آن می تواند حجم و وزن بیشتر استفاده از پودر خاک سیاه نسوز در این نسبت مخلوط باشد.

در ادامه به بررسی نمودار شکل شماره ۵ مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های مکعبی پرداخته می شود. همانطور که ملاحظه می گردد در این نمودار در نسبت مخلوط های که میزان جایگزینی مواد پسماند آن ها ۱۵ درصد و نسبت آب به سیمان ۰,۵ تعیین گردیده نسبت به سایر نسبت مخلوط ها با کاهش مقاومت در سنین ۲۸ روزگی مواجه خواهد بود که این کاهش مقاومت می تواند به علت زیاد بودن میزان کاهش سیمان برای کسب مقاومت ۲۸ روزه بوده است. در ادامه به این موضوع اشاره می شود که این کاهش مقاومت در سنین ۹۰ روزه و بیشتر به علت ورود فاز سیلیسی پسماند در بتن باعث جبران می شود و تا حدودی این اختلاف بهبود می یابد.



شکل شماره ۵- مقاومت فشاری ۲۸ روز

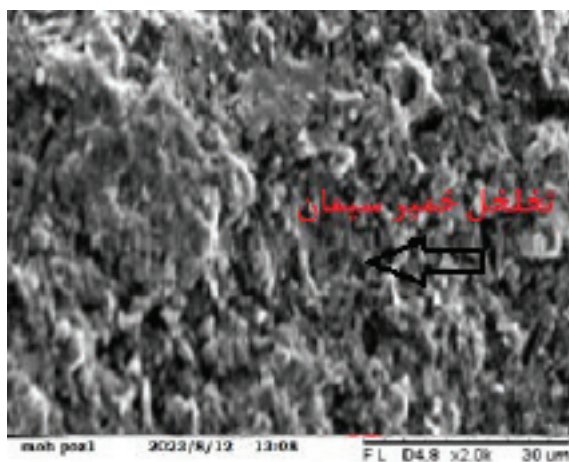
نتایج پیشرفت مقاومت فشاری نمونه های بتنی مکعب ۱۵\*۱۵ سانتی متری با توجه به سن آزمون ها در سن ۹۰ روزه مطابق نمودار شکل شماره ۶ ارائه شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده می توان نتیجه گرفت مقاومت ۹۰ روزه بتن ساخته شده با مواد جایگزین پسماند خاک نسوز سیاه نسبت به نمونه های ۲۸ روزه همواره همراه با افزایش مقاومت بوده که بیشترین افزایش مقاومت مربوط به نمونه های نسبت مخلوط های با درصد جایگزینی ۱۵ درصد در تمامی ردیف های مقایسه ای مشابه بوده است که بیشترین میزان افزایش مقاومت ۲۴,۵ درصد افزایش مقاومت را می توان ملاحظه نمود که مربوط به نسبت مخلوط عیار ۳۵۰ با نسبت آب به سیمان ۰,۴ می باشد. که این افزایش مقاومت در سنین بالا را می توان بعلت واکنش فاز های مقاومتی سیمان با هیدروکسید کلسیم و تبدیل شدن به هیدروکسید سیلیکات کلسیم که عامل اصلی مقاومت در بتن است عنوان کرد.



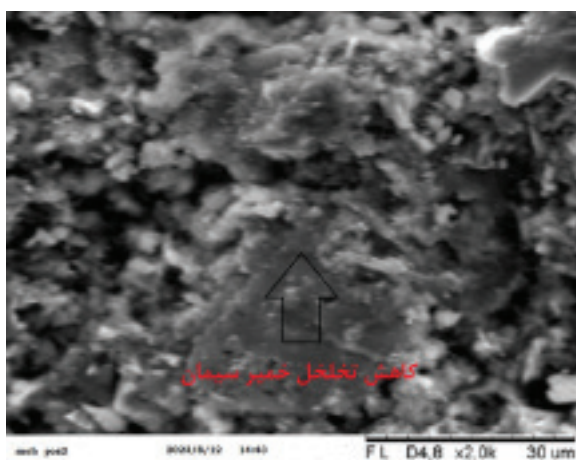
شکل شماره ۶- مقاومت ۹۰ روز

## نتایج عکسبرداری SEM

شکل شماره ۸ و شکل شماره ۷ مربوط به تصویر عکسبرداری الکترونی مقیاس بالای ریزساختار های بتن دارای پودر پسماند خاک سیاه نسوزدر سنین ۷ روزه و ۹۰ روزه بوده است. همانطور که در تصویر یاد شده ملاحظه می‌گردد نمونه بتن ۷ روزه دارای خلل و فرجی هستند که پس از گذشت ۹۰ روز که اکثر ذرات پودر پسماند خاک سیاه توانسته اند با فاز های مقاومتی سیمان وارد واکنش شوند و خلل و فرج موجود در بتن را از بین ببرند جسم متراکمی را پدید آورند که همین امر باعث افزایش مقاومت چشمگیر بتن در سنین ۹۰ روزه نسبت به نمونه های ۷ و ۲۸ روزه شده است.



شکل شماره ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ۷ روزه



شکل شماره ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ۹۰ روز

## نتیجه گیری

۱. با توجه به درصد بالای حضور سیلیس در پسماند خاک سیاه نسوز می توان بعنوان مواد افزودنی جایگزین سیمانی در بتن مورد استفاده قرار گیرد.
۲. تراکم بتن با افزایش درصد میزان جایگزینی پودر پسماند خاک سیاه نسوز و همینطور افزایش عمر بتن همواره همراه با افزایش بوده و همین امر می تواند باعث افزایش مقاومت بتن و کاهش نفوذپذیری بتن گردد.
۳. کارایی بتن با افزایش میزان نسبت آب به سیمان افزایش می یابد ولی با افزایش میزان جایگزینی پسماند خاک سیاه به علت درصد جذب بالای آب کاهش شدید عدد اسلامپ را می توان ملاحظه نمود.
۴. مقاومت ۷ روزه نمونه های بتنی حاوی ۵ و ۱۰ درصد جایگزینی پسماند در نسبت مخلوط دارای عیار ۴۵۰ کیلوگرم در نسبت های آب به سیمان ۰,۳ و ۰,۴ قابل قبول شناخته شده و کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد آن نداشته است.
۵. مقاومت ۷ روزه نمونه های بتنی حاوی ۵ درصد جایگزینی پسماند با سیمان در نسبت مخلوط دارای عیار ۳۵۰ کیلوگرم در نسبت های ۰,۳ و ۰,۴ قابل قبول شناخته شده است و بعضاً افزایش مقاومت کمی را نتیجه داده است که این افزایش مقاومت بنظر می رسد بعلمت پر کردن فضای متخلخل بتن توسط خاک سیاه نسوز بوده است.
۶. مقاومت ۲۸ روزه بتن در نمونه های با جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد پودر پسماند با سیمان کاهش مقاومت چشمگیری نداده است که خود این می تواند یک نتیجه بسیار خوب و قابل قبول در این پژوهش می باشد از سوی دیگر مقاومت آزمونه های دارای ۱۵ درصد جایگزینی پسماند خاک سیاه با سیمان کاهش مقاومت قابل ملاحظه ای را نمایش می دهد.
۷. مقاومت بتن در آزمونه های ۹۰ روزه با نسبت مخلوط ۴۵۰ کیلوگرم و درصد جایگزینی ۱۵ درصد کاهش بسیار اندکی را نسبت به نمونه های ۲۸ و ۷ روزه را نمایش می دهد که این نشان از تبدیل فاز C-H به فاز اصلی مقاومت یعنی C-S-H در دراز مدت می باشد.
۸. در نتایج حاصل از عکسبرداری الکترونی با مقیاس بالا از بتن های حاوی پودر خاک سیاه نسوز در دو سن ۷ و ۹۰ روزه می توان ملاحظه نمود که تخلخل آزمونه ها به دلیل حضور و واکنش با فاز های خمیر سیمان در بتن کاهش چشمگیری داشته است.

## منابع

- [1] Abdulrahman, H., Muhamad, R., Visintin, P., & Shukri, A. A. (2022). Mechanical properties and bond stress-slip behaviour of fly ash geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 327, 126909. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126909>
- [2] Ahmad, J., Majdi, A., Babeker Elhag, A., Deifalla, A. F., Soomro, M., Isleem, H. F., & Qaidi, S. (2022). A step towards sustainable concrete with substitution of plastic waste in concrete: Overview on mechanical, durability and microstructure analysis. *Crystals*, 12(7), 944. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cryst12070944>
- [3] Bechikh, A., Klinkova, O., Maalej, Y., Tawfiq, I., & Nasri, R. (2020). Sandblasting parameter variation effect on galvanized steel surface chemical composition, roughness and free energy. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 102, 102653. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102653>
- [4] Branca, T. A., Colla, V., Algermissen, D., Granbom, H., Martini, U., Morillon, A., Pietruck, R., & Rosendahl, S. (2020). Reuse and recycling of by-products in the steel sector: Recent achievements paving the way to circular economy and industrial symbiosis in Europe. *Metals*, 10(3), 345. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met10030345>



- [5] Choudhary, R., Gupta, R., Nagar, R., & Jain, A. (2020). Sorptivity characteristics of high strength self-consolidating concrete produced by marble waste powder, fly ash, and micro silica. *Materials Today: Proceedings*, 32, 531-535. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.287>
- [6] Collepardi, S., Coppola, L., Troli, R., & Collepardi, M. (1997). Mechanical properties of modified reactive powder concrete. *ACI Special Publications*, 173, 1-22.
- [7] De Maeijer, P. K., Craeye, B., Snellings, R., Kazemi-Kamyab, H., Loots, M., Janssens, K., & Nuyts, G. (2020). Effect of ultra-fine fly ash on concrete performance and durability. *Construction and Building Materials*, 263, 120493. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120493>
- [8] Demiss, B. A., Oyawa, W. O., & Shitote, S. M. (2018). Mechanical and microstructural properties of recycled reactive powder concrete containing waste glass powder and fly ash at standard curing. *Cogent Engineering*, 5(1), 1464877. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1464877>
- [9] Gholampour, A., Zheng, J., & Ozbakkaloglu, T. (2021). Development of waste-based concretes containing foundry sand, recycled fine aggregate, ground granulated blast furnace slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, 267, 121004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121004>
- [10] Hosseini, S. A. (2020). Application of various types of recycled waste materials in concrete constructions. *Advances in concrete construction*, 9(5), 479. <https://doi.org/https://doi.org/10.12989/acc.2020.9.5.479>
- [11] Jafari, K., & Rajabipour, F. (2021). Performance of impure calcined clay as a pozzolan in concrete. *Transportation Research Record*, 2675(2), 98-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0361198120953140>
- [12] Karim, M., Zain, M., Jamil, M., & Lai, F. (2011). Significance of waste materials in sustainable concrete and sustainable development. *International Journal of Biotechnology and Environmental Management*, 18, 43-47.
- [13] Karim, M., Zain, M., Jamil, M., Lai, F., & Islam, M. (2012). Strength of mortar and concrete as influenced by rice husk ash: A review. *World Applied Sciences Journal*, 19(10), 1501-1513. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.19.10.533>
- [14] Kaur, G., Siddique, R., & Rajor, A. (2012). Properties of concrete containing fungal treated waste foundry sand. *Construction and Building Materials*, 29, 82-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.091>
- [15] Li, P. P., Brouwers, H., Chen, W., & Yu, Q. (2020). Optimization and characterization of high-volume limestone powder in sustainable ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 242, 118112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118112>
- [16] Liew, K., & Akbar, A. (2020). The recent progress of recycled steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 232, 117232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117232>
- [17] Mohammadzadeh, C. N., & Rahmani, H. (2021). The effect of limestone powder on mechanical properties of Reactive Powder Concrete (RPC). <https://www.sid.ir/paper/1036766/fa>



- [18] Moharrer, A., Gholhaki, M., Rezaifar, O., & Kheyroddin, A. (2023). *Study on Mechanical and Microstructural Properties of the Magnetized Cement Mortar Incorporating Quartz Grains and Natural Zeolite*. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47(3), 1399-1410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40996-022-01008-3>
- [19] Moharrer, A., Rezaeefar, o., Kheiroldin, a., & Gholhaki, m. (2021). *Examining the Impact of Magnetic Field on Compressive Strength of Cement Paste with Quartz Aggregate and Zeolite*. *Karafan*, 18(1), 151-166. <https://doi.org/10.48301/KSSA.2021.283937.1504> (in persian)
- [20] Pachideh, G., & Gholhaki, M. (2020). *Assessment of post-heat behavior of cement mortar incorporating silica fume and granulated blast-furnace slag*. *Journal of Structural Fire Engineering*, 11(2), 221-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/JSFE-11-2018-0038>
- [21] Pachideh, G., Gholhaki, M., & Moshtagh, A. (2020). *Experimental study on mechanical strength of porous concrete pavement containing pozzolans*. *Advances in Civil Engineering Materials*, 9(1), 38-52. <https://doi.org/https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/suco.202100567>
- [22] Parashar, A., Aggarwal, P., Saini, B., Aggarwal, Y., & Bishnoi, S. (2020). *Study on performance enhancement of self-compacting concrete incorporating waste foundry sand*. *Construction and Building Materials*, 251, 118875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118875>
- [23] Qomariah, Q., Sugiharti, S., & Riyanto, S. (2020). *The utilization of sandblasting sand waste for mortar and normal concrete*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,
- [24] Sebaştin, S., Priya, A. K., Karthick, A., Sathyamurthy, R., & Ghosh, A. (2020). *Agro waste sugarcane bagasse as a cementitious material for reactive powder concrete*. *Clean Technologies*, 2(4), 476-491. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cleantechnol2040030>
- [25] Sukmana, N. C., Melati, M. S., Setyawan, M. I., Prayoggi, E., & Anggarini, U. (2019). *Optimization of cellular lightweight concrete using silica sand of sandblasting waste based on factorial experimental design*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,
- [26] Tam, C. M., Tam, V. W., & Ng, K. M. (2012). *Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong*. *Construction and Building Materials*, 26(1), 79-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.05.006>
- [27] Teixeira, E. R., Camões, A., & Branco, F. (2019). *Valorisation of wood fly ash on concrete*. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 292-310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.028>
- [28] Toghroli, A., Shariati, M., Sajedi, F., Ibrahim, Z., Koting, S., Mohamad, E. T., & Khorami, M. (2018). *A review on pavement porous concrete using recycled waste materials*. *Smart Struct. Syst*, 22(4), 433-440. <https://doi.org/https://doi.org/10.12989/sss.2018.22.4.433>
- [29] Topič, J., & Prošek, Z. (2017). *Hydration process and mechanical properties of cement paste with recycled concrete powder and silica sand powder*. <http://hdl.handle.net/10467/105986>
- [30] Toufigh, V., & Pachideh, G. (2022). *Cementitious mortars containing pozzolana under elevated temperatures*. *Structural Concrete*, 23(5), 3294-3312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/suco.202100567>
- [31] Zhuang, W., Li, S., Wang, Z., Zhang, Z., & Yu, Q. (2022). *Impact of micromechanics on dynamic compressive behavior of ultra-high performance concrete containing limestone powder*.

Composites Part B: Engineering, 243, 110160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110160>

[۳۲] محرر، ا. (۲۰۲۳). بررسی اثر جایگزینی پسماند ماسه حاصل از کارخانه سند بلاست با سیمان در مشخصات رئولوژی و مکانیکی بتن. فصلنامه علمی کارافن،

-. <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.409074.2640>