Iranian Concrete Society

Effect of Combined Additive of Recycled Materials Obtained from Used Car Tires on the Durability Properties of Rolled Concrete

Mohammad Mehdi Mobasher
M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

*Mohammad Mahdi Jabbari**
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Research paper

Abstract

Considering the urban issues caused by the environmental problems of accumulating the increasing volume of used tires, it can be expected that the use of recycled materials obtained from used tires in the concrete mix will affect the mechanical properties and durability of concrete. In this research, the effect of the combined additive of worn tire recycled materials (shredded rubber, rubber cotton fibers and rubber metal fibers) on the durability properties of rolled concrete was investigated. The samples made by combining recycled materials were processed for 28 and 90 days. The results of the experiments showed that by adding 3% of rubber crumb and 5% of rubber metal fibers in rolled concrete, the compressive strength increased by 6.9% compared to the control sample in the conditions of the melting and freezing cycle. Also, the compressive strength of rolled concrete in sulfated environment has increased by 14.7% compared to the control sample by adding 3% of rubber crumb and adding 5% of metal fibers. The wear percentage of roller concrete has also decreased by 3.21% compared to the control sample by adding 7% of rubber crumb and adding 10% of rubber metal fibers. In the case of rolled concrete containing rubber fibers, despite the problems of mixing these fibers in concrete, only increase in relative abrasion resistance in concrete is observed, and no particular improvement was observed in other characteristics of concrete samples.

Key words: Rolled Concrete, Crumb Rubber, Rubber Cotton Fibers, Metal Rubber Ribers, Concrete Additives, Concrete Durability.

***Corresponding Auther**: Mohammad Mahdi Jabbari
Mobasher, M. M., Jabbari, M. M. The Effect of the Combined Additive of Recycled Materials Obtained from Used Car Tires on the Curability Properties of Rolled Concrete. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 2023; 8(1): 171-152. http://doi.org/10.30478/jcsm.2023.378522.1309
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/).

انجمن علمی بتن ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱-۱۰-۳۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲-۰۸-۱۰

تاثیر افزودنی ترکیبی مواد بازیافتی حاصل از لاستیک فرسوده خودرو بر خصوصیات دوام بتن غلتکی

محمدمهدی مباشر

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

دکتر محمدمهدی جباری

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز ، ایران

(نویسنده مسئول)

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

با توجه به معضلات شهری ناشی از مشکلات زیست محیطی انباشته شدن حجم در حال رشد لاستیک‌های فرسوده و کاربرد این مواد در بتنهای بازیافتی، می‌توان انتظار داشت استفاده از مواد بازیافتی حاصل از لاستیک‌های فرسوده در مخلوط بتن، بر روی خواص مکانیکی و دوام بتن تأثیرگذار باشد. در این تحقیق، تاثیر افزودنی ترکیبی مواد بازیافتی از لاستیک فرسوده (خرده لاستیک، الیاف نخی لاستیک و الیاف فلزی لاستیک) بر خصوصیات دوام بتن غلتکی بررسی شد. نمونه‌های ساخته شده با ترکیب مواد بازیافتی، به مدت ۲۸ و ۹۰ روز عمل‌آوری شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، با افزودن ۳٪ خرده لاستیک و افزودن ۵٪ الیاف فلزی لاستیک در بتن غلتکی، مقاومت فشاری در شرایط آزمایش سیکل ذوب و انجماد به میزان ۶/۹٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. همچنین مقاومت فشاری بتن غلتکی در محیط سولفاته نیز با افزودن ۳٪ خرده لاستیک و افزودن ۵٪ الیاف فلزی، به میزان ۱۴/۷٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. درصد افت سایشی بتن غلتکی نیز با افزودن ۷٪ خرده لاستیک و افزودن ۱۰٪ الیاف فلزی لاستیک، به میزان ۳/۲۱٪ نسبت به نمونه شاهد، کاهش داشته است. در خصوص بتن غلتکی حاوی الیاف نخی لاستیک نیز، علاوه بر مشکلات اختلاط این الیاف در بتن، تنها شاهد افزایش مقاوت سایشی نسبی در بتن بودهایم و در دیگر خصوصیات مورد بررسی در نمونه‌های بتنی، بهبود خاصی مشاهده نشد.

کلمات کلیدی: بتن غلتکی، خرده لاستیک، الیاف نخی لاستیک، الیاف فلزی لاستیک، مواد افزودنی بتن، دوام بتن.

۱- مقدمه

رشد و توسعه تکنولوژی جهانی و افزایش تولید و عرضه و تقاضای اتومبیل به عنوان وسیله اصلی حمل و نقل باعث رشد چشمگیر این ماده شده است. با افزایش تعداد خودروها، مشکل اصلی مواجهه با لاستیکهای فرسوده بوده که باعث آلودگی محیط زیست میشوند. یکی دیگر از معضلات در انبار کردن لاستیک فرسوده خطر آتش سوزی است که باعث آزاد شدن مقدار قابل توجهی گازهای سمی و هیدروکربن در جو میشود و نهایتاً منجر به ایجاد آلودگی محیط زیست می‌شود[۲]. ازجمله راهکارهایی که در سالهای اخیر در تعدادی از کشورهای جهان برای مقابله با مشکل انباشت لاستیکهای فرسوده خودرو ارائه کردهاند، تبدیل این لاستیکهای فرسوده به اجزا و قسمتهای قابل استفاده در بتن است با این وجود به دلیل حساس بودن زیاد خصوصیات و رفتار بتن با مقدار ونوع مواد اضافه شده به مخلوط آن، انجام تحقیقات دقیق علمی در مورد بررسی مشخصات مکانیکی و رفتاری بتنهای حاصله امری لازم و ضروری است. یکی از مشکلات جوامع مختلف تولید مواد و باقیمانده‌های صنعتی، زباله‌های جامد و نحوهی دفع این مواد میباشد. امروزه حجم زیاد لاستیکهای فرسوده باتوجه به عدم تجزیه پذیری در طبیعت باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی فراوان شده است. درحال حاضر استفاده از لاستیک‌های فرسوده در بتنهای معمولی با توجه به کاربرد زیاد آن در صنعت به عنوان یک گزینه مناسب برای دفع این ضایعات مطرح میباشد. از لاستیکهای ضایعاتی می‌توان جهت بهبود برخی خواص مکانیکی بتن استفاده نمود. امروزه نتیجه تحقیقات و بررسیها نشان می‌دهد که امر بازیافت لاستیکهای فرسوده نه تنها آثار مخرب بر محیط زیست ندارد و مشکلات مدیریتی این بخش را حل میکند بلکه منشاء توسعه صنعتی و سودآوری اقتصادی و فرآوری و تولید محصولات دیگری نیز میباشد. آنچه که پس از بازیافت لاستیک‌ها فرسوده به جا می‌ماند، معمولاً پودر لاستیک، سیمهای فلزی و دیگر مواد زائد است. با توجه به اینکه بتن مخلوطی از سیمان، سنگدانه با اندازه‌های مختلف و آب است و در سالهای اخیر تحقیقات متعددی درمورد استفاده از انواع مختلفی از پوزولانها و ذرات پودری و ریز حاصل از بازیافت فرایندهای صنعتی مختلف نظیر ذرات پودری برجامانده از کوره‌های آهنگدازی و یا سوخت زغال سنگ در بتن انجام شده است همچنین استفاده از الیاف با جنسهای مختلف ازجمله الیاف فولادی به عنوان گزینه‌هایی در ارتقای کیفیت و خواص بتن پیشنهاد وانجام شده است، می‌توان نتیجه گرفت استفاده از پودر لاستیک و الیاف فولادی حاصل از بازیافت لاستیک‌های فرسوده در بتن به عنوان مواد افزودنی، می‌تواند یکی از راهکارهای استفاده مجدد و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از لاستیک‌های فرسوده باشد[۶، ۷ و ۹].

در این تحقیق سعی شده است که نقش استفاده از مواد حاصل از بازیافت لاستیکهای فرسوده در مخلوط بتن غلتکی بر روی پارامترهای معرف دوام این نوع از بتن مورد بررسی قرار گیرد. تعیین این وابستگی و مقایسه این شاخصها با خصوصیات بتن غلتکی بدون استفاده از این مواد، اولاً می‌تواند درصد مقادیر بهینه مواد بازیافتی مصرفی را که منجر به بهترین مشخصات دوام برای بتن غلتکی می‌شود تعیین نماید و ثانیاً می‌تواند در تعیین مصارف اجرایی بتنهای غلتکی حاوی انواع مواد حاصل از بازیافت لاستیک با توجه به شرایط محیطی هر حالت، موثر باشد.

بتن غلتکی برای روسازی جاده‌ها[1](RCCP)، به عنوان رویه اصلی راه جهت تأمین استقامت باربری سازه روسازی استفاده میشود [۱۱]. از جمله مزایای روسازی بتنی غلتکی میتوان به مصرف کم سیمان، استفاده از وسائل متداول اجرای روسازیهای آسفالتی، امکان استفاده از مصالح با محدودیت کمتر در مشخصات فنی و عدم نیاز به آرماتور، قالب بندی و تعبیه درز اشاره کرد[۴]. اختلاف اصلی بین بتن غلتکی و بتن معمولی در ارتباط با روش طرح اختلاط و اجرای بتن روسازی، فواصل درزها و ظاهر رویه می‌باشد. با توجه به

[1] Roller Compacted Concrete Pavements

میزان آب کم مصرفی بتن غلتکی و اسلامپ تقریبا صفر این نوع بتن، در اغلب مراجع علمی نیز به عنوان یک راهنمای کلی چنین آمده است که بتن غلتکی باید ظرف مدت ۴۵ دقیقه از زمان شروع مخلوط نمودن آن متراکم گردد[۱۳و۱۵]. بتن غلتکی دارای مصالح ریزدانه (عبوری از الک شماره ۴) و درشتدانه(مانده روی الک شماره ۴) میباشد. مصالح درشتدانه معمولاً شن شکسته، طبیعی یا ترکیبی از آن‌ها است و مصالح ریزدانه شامل ماسه طبیعی، شکسته یا ترکیبی از آن‌ها است[۱۴]. مصالح بازیافتی که در طبیعت رها شده و فضای زیادی را اشغال کرده‌اند میتوانند به عنوان جایگزین سنگدانه‌های بتن غلتکی مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی اثرات اقتصادی و زیست محیطی زیادی از جمله کاهش فضای زیادی که به حجم بالای مصالح دورریختنی تعلق می‌گیرد، کاهش استفاده از سنگدانه‌های طبیعی همچنین دست نخورده و باقی ماندن منابع را به دنبال دارد[۱۷].

با توجه به افزایش روز افزون ترافیک در محور کوار به فیروز آباد و با توجه به توسعه معادن پارس جنوبی و تردد ماشین آلات سنگین پس از بررسی بار ترافیکی در جهت حل مشکلات روسازی راه و بعد از طرح مشکلات و تخمی‌ن روزانه ترافیک شرکت مجری این طرح با در نظر گرفتن تمامی جوانب و محاسن بتن غلتکی نسبت به آسفالت اقدامات لازم جهت بالا بردن سطح ایمنی راه از بتن غلتکی به جای مخلوط آسفالتی در این محور استفاده شد[۱۲].

کریشناوهمکاران در سال ۲۰۱۶ مطالعاتی درباره مقاومت سایشی بتن غلتکی دارای ماسه مصنوعی و خاکستر بادی انجام دادند. در این تحقیق بتن غلتکی با مقادیر صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد خاکستر بادی جایگزین سیمان شده و همچنین طرحهای دارای ۱۰۰ درصد ماسه استاندارد، ۱۰۰ درصد ماسه مصنوعی و ترکیب ۵۰ درصدی از ماسه مصنوعی و استاندارد ساخته شد. آزمایشات مقاومت فشاری، خمشی و دوروش آزمون سایش کانتابرو[2] و مقاومت سایش سطحی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. مطالعات نشان داد که با افزایش مقدار خاکستر بادی مقاومت فشاری برای همه ترکیبها کاهش پیدا میکند اما این کاهش برای ترکیبی که ۵۰ درصد ماسه استاندارد و ۵۰ درصد ماسه طبیعی دارد کمتر است. این پدیده ناشی از عملکرد پوزولانی خاکستر بادی است و با گذشت زمان این اثر کمتر مشاهده میشود. همچنین مشخص شد که از آزمون کانتبارو میتوان به عنوان یک روش اندازهگیری مقاومت در برابر سایش روسازیهای بتن غلتکی استفاده کرد[۱۸].

کربلایی و همکاران در سال ۲۰۱۰ مقاومت فشاری بتن معمولی حاوی خرده لاستیک به همراه نانوسیلیس را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند، خواص مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس را مورد بررسی قرار دادند. نسبت آب به سیمان در طرح‌ها ثابت بوده و از خرده لاستیک به ابعاد ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهند که با افزایش درصد خرده لاستیک در بتن مقاومت فشاری کاهش می‌یابد و با افزودن نانوسیلیس می‌توان این کاهش مقاومت را بهبود بخشید. با افزایش درصد لاستیک در بتن، شاهد گسیختگی آرامتری بوده که این رفتار نشان دهنده قابلیت جذب انرژی بالا و طاقت بالای بتن حاوی لاستیک در فشار است؛ همچنین با افزودن ۵ و ۱۰ درصد خرده لاستیک در بتن شاهد افزایش جذب انرژی در بتن هستیم. با توجه به نتایج این مقاله در کل می‌توان نتیجه گرفت که افزودن لاستیک سبب بهبود شکست ترد بتن شده و با افزودن پوزولان نانوسیلیس نیز مقاومت فشاری بتن حاوی لاستیک افزایش می‌یابد[۸].

دبیب[3] و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثر استفاده از مواد قابل بازیافت آسفالت بر روی عملکرد بتن غلتکی پرداختند. در این بررسی درصدهای مختلف از مصالح آسفالتی بازیافتی به عنوان ریزدانه و درشتدانه جایگزین مصالح استاندارد شد. خواص مکانیکی و دوام بتن غلتکی دارای ۵۰ یا ۱۰۰ درصد مصالح بازیافتی با بتن غلتکی دارای مصالح استاندارد مقایسه گردید. مواد بازیافتی به صورت ورجین (بدون استخراج قیر) استفاده شدند. شن، ماسه و ترکیب آن دو با نسبت ۵۰ و ۱۰۰ از مصالح یازیافتی، جایگزین مصالح

[2] Kantabro Loss test
[3] Debieb

استاندارد شدند. این مطالعه نشان داد که استفاده از مصالح بازیافتی به دلیل ذرات قیر متصل به ذرات بازیافتی، باعث کاهش مقاومت فشاری و کششی در همه نمونه‌ها میشود. وقتی ۱۰۰ درصد ماسه طبیعی با ۱۰۰ درصد ریزدانه بازیافتی جایگزین شود باعث کاهش ۳۲ درصدی مقاومت و وقتی ۱۰۰ درصد مصالح درشتدانه طبیعی با ۱۰۰ درصد مصالح درشتدانه بازیافتی جایگزین شود باعث ۵۵ درصدی کاهش مقاومت میشود[۱۹].

اصلانیان و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی اثر پودر سنگ آهک و سرباره بر خواص دوام بتن روسازی غلتکی شامل جذب آب، نفوذ گاز اکسیژن و مقاومت سایشی پرداخته شده است. با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته روی ۵ نمونه که شامل نمونه شاهد، نمونه‌هایی با جایگزینی میزان ۱۵٪ و ۳۰٪ از ریزدانه با پودر سنگ آهک و همچنین میزان ۱۵٪ و ۳۰ ٪ از سیمان با سرباره و مقایسه نتایج بدست آمده، مشاهده گردید که این جایگزینی باعث بهبود برخی از خواص دوام روسازی بتن غلتکی می‌گردد[۱].

نیلی و همکاران در سال ۱۳۹۶ شش طرح مخلوط از نظر کارایی، مقاومت فشاری و دوام در برابر پوسته شدگی در حضور نمکهای یخ زدا را بررسی نمودند. نتایج حاصله نشان داد که استفاده از سرباره گرچه موجب کاهش مصرف سیمان شده اما افت کارایی، کاهش مقاومت فشاری و کاهش شدید دوام در برابر پوسته شدگی را باعث شده است؛ اما استفاده از پودر می‌کرو سیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان هم به طور مجزا و هم به صورت ترکیبی با سرباره، در طرح مخلو طهای مختلف، کارایی بتن غلتکی تازه را در محدوده مطلوب قرار داده و علاوه بر بهبود خواص مکانیکی، موجب بهبود شاخص دوام نیز گردیده است [۱۰].

حقنژاد و مدرس در سال ۱۳۹۷ اثر نسبت آب به سیمان به همراه اثر ترکیب الیاف مرکب پلی پروپیلن بازیافتی و فورتا بر زمان وی بی و دوام ذوب و انجماد در حضور نمک یخ زدای NaCl مخلوط‌های روسازی بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار دادند. مقایسه نتایج انواع نمونه‌های تهیه شده با نسبت آب به سیمان و الیاف مختلف نشان داد که افزایش میزان الیاف و کاهش نسبت آب به سیمان موجب افزایش زمان وی بی شد. همچنین مشخص شد که نمونه‌های با الیاف ۱ کیلوگرم در متر مکعب در دوره‌های مختلف ذوب و انجماد در حضور نمک یخ زدا دوام بهتری دارند[۵].

افضلی نینز و همکاران در سال ۱۳۹۹ به بررسی اثر الیاف ماکروسنتتیک بر خواص مکانیکی و برخی پارامترهای دوام بتنغلتکی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از الیاف ماکروسنتتیک، تأثیر چندانی بر مقاومت سایشی نداشته اما عمق نفوذ آب تحت فشار بتن غلتکی مسلح با الیاف ماکروسنتتیک کاهش یافته است[۳].

خالو و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی نشان داد که بر خلاف بتن ساده، حالت شکست در بتن لاستیکی به آرامی و یکنواخت رخ می دهد و هیچ گونه جدایی در نمونه ایجاد نمی کند. عرض ترک و سرعت انتشار آن در بتن لاستیکی کمتر از بتن ساده است. تجزیه و تحلیل اولتراسونیک کاهش زیادی در مدول اولتراسونیک و جذب صدای بالا برای بتن لاستیکی نشان می دهد [۱۶].

۲- روش انجام تحقیق

جهت انجام تحقیق ابتدا مطابق استانداردهای بین‌المللی معتبر، طرح مخلوط بتن جهت ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی تهیه شد و سپس درصدهای مختلفی از انواع مصالح بدست آمده خاصل از بازیافت لاستیکهای فرسوده، جایگزین مصالح مصرفی در طرح مخلوط شده است. در این راستا، مطابق استانداردهای موجود مخلوط بتن تهیه و نمونه‌های بتن غلتکی ساخته شده است.

جهت تأمین مصالح بازیافتی حاصل از لاستیک فرسوده، از تولیدات یک کارگاه تولیدی مطابق شکل۱، استفاده شده است. در این کارگاه تولیدی، سه سایز مختلف خرده لاستیک، الیاف سیمی و الیاف نخی بازیافتی، مطابق شکل ۲ تولید و در آزمایش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل۱- تصاویر خط بازیافت لاستیک فرسوده و تولید خرده لاستیک و الیاف های فلزی و نخی

شکل۲- تصاویر مصالح بازیافتی لاستیک فرسوده (الف، ب وپ: خرده لاستیک در سه اندازه مختلف ج: الیاف فلزی چ: الیاف نخی بازیافتی)

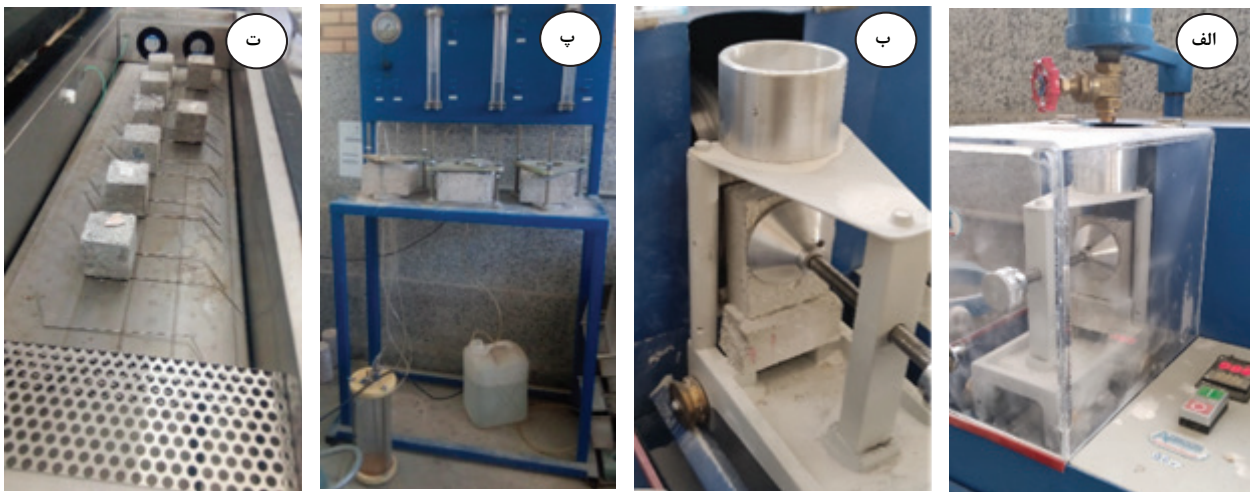
پس از ساخت نمونه‌ها با درنظرگرفتن شرایط مختلف نظیر میزان تراکم صورت گرفته، با انجام آزمونهایی نظیر آزمایش جذب آب، آزمایش تعیین نفوذپذیری، آزمایش ذوب انجماد، آزمایش تعیین مقاومت سایشی، مشخصه‌های دوام نمونه‌های بتن غلتکی مورد بررسی با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی مطابق شکل ۳ تعیین شده و طبق نتایج به دست آمده و نمودارهای ترسیم شده، تغییرات هریک از شاخصهای مرتبط با دوام بتن، برحسب درصد مواد حاصل از بازیافت لاستیک مصرفی بررسی و نقش این مواد افزودنی بر دوام بتن غلتکی ارزیابی گردید. آزمایش‌های مورد نظر جهت بررسی دوام بتن بر اساس استانداردهای اشاره شده در زیر انجام می‌گیرد:

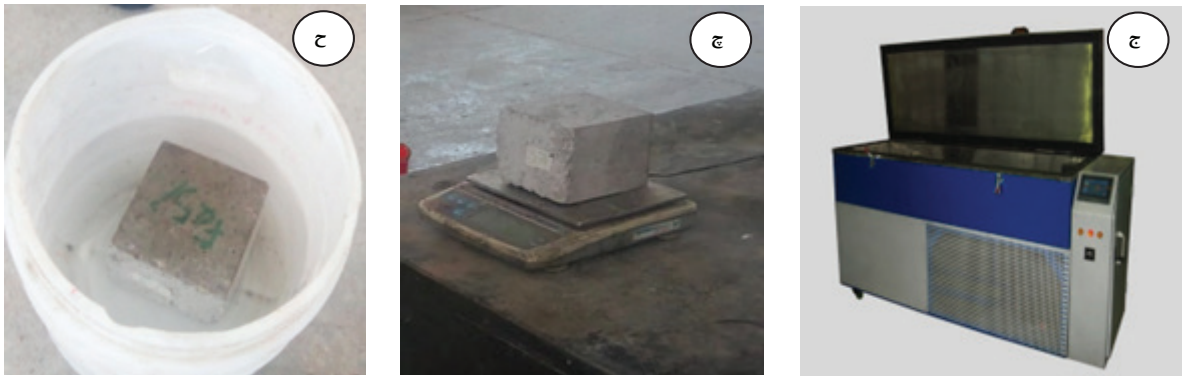
آزمایش‌های دوام در برابر سیکل ذوب و انجماد (ASTM C۶۶۶)

آزمایش سایش (ASTM C944)

آزمایش نفوذپذیری (ASTM C803-82) یا شماره استاندارد ملی ۵-۳۲۰۱

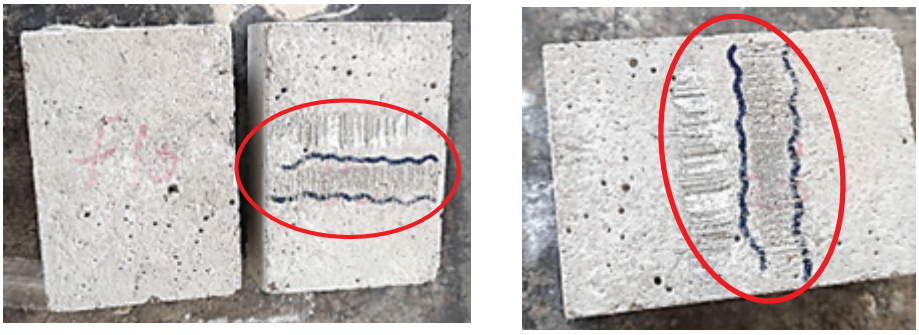
آزمایش جذب آب (ASTM C642) یا شماره استاندارد ملی ۱۲۲-۱۶۰۸



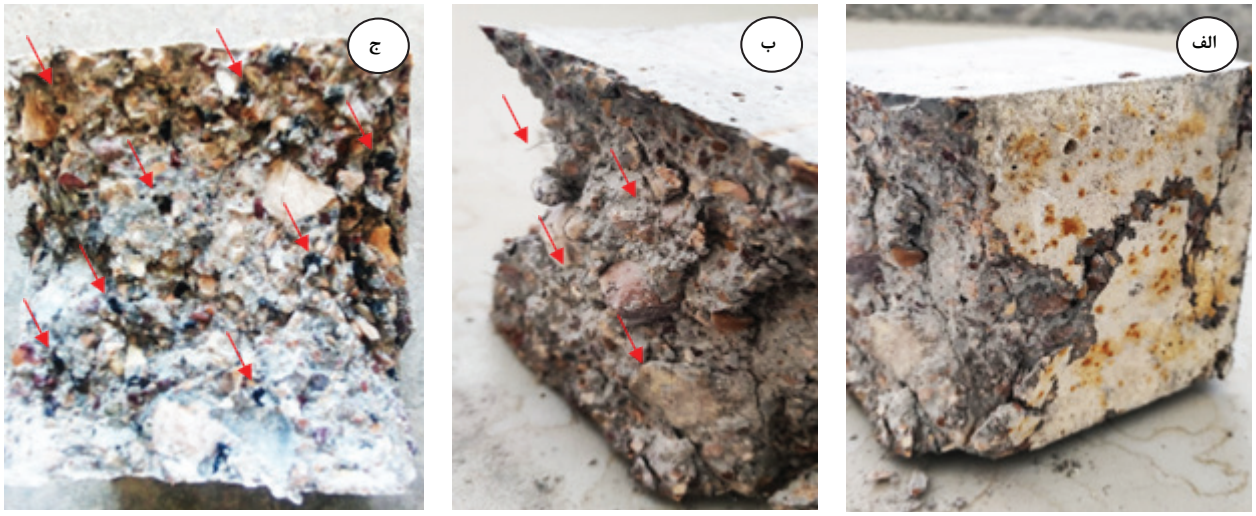


شکل۳- تصاویر تجهیزات آزمایشگاهی (الف و ب: سایش سطحی پ: نفوذپذیری ت و ج : سیکل ذوب و انجماد چ و ح: جذب آب)

نمونه‌های ساخته شده پس از انجام آزمایش‌های مرتبط با دوام بتن طبق استانداردهای اشاره شده، مورد آزمایش مقاومت فشاری نیز قرار گرفتند. در شکل ۴ و ۵، تصویر تعدادی از نمونه‌هایی که مورد آزمایش قرار گرفتهاند، نشان داده شده است.



شکل۴- تصاویر نمونه هایی قبل و بعداز آزمایش سایش سطحی



شکل۵- تصاویر نمونه هایی که مورد آزمایش فشاری قرار گرفته‌اند

(الف:نحوه گسیختگی نمونه مکعبی تحت نیروی فشاری ب: پراکندگی الیاف فلزی در نمونه بتنی ج: پراکندگی خرده لاستیک در نمونه بتنی)

۳- نتایج آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

بر اساس توضیحات ارائه شده، نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مختلف، مطابق جداول و نمودارهای زیر ثبت و مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۳-۱- نتایج آزمایش سیکل ذوب و انجماد بتن با خرده لاستیک

نتایج آزمایش‌های سیکل ذوب و انجماد بتن تنها با افزودنی یکی از افزودنیهای خرده لاستیک، الیاف نخی لاستیک و یا الیاف فلزی لاستیک، طبق جدول ۱ بدست آمده است.

جدول ۱- مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن با خرده لاستیک، الیاف نخی لاستیک و الیاف فلزی لاستیک

ردیف	عنوان نمونه	درصد خرده لاستیک	درصد الیاف فلزی	درصد الیاف نخی	مقاومت فشاری		مقاومت کششی	
					مقاومت فشاری ۲۸روزه Kg/cm^2	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Kg/cm^2	مقاومت کششی ۲۸ روزه Kg/cm^2	مقاومت کششی ۹۰روزه Kg/cm^2
۱	sh	۰	۰	۰	۲۱۲	۲۳۴/۵	۱۷۸	۱۶۳
۲	P_1	۳	۰	۰	۲۱۳/۳	۲۳۵/۵	۱۹۱	۱۸۲
۳	P_2	۵	۰	۰	۱۶۰	۱۷۷/۶	۱۳۳	۱۲۴
۴	P_3	۷	۰	۰	۱۲۰	۱۳۷/۸	۹۳	۸۴
۵	L_1	۰	۲		۱۷۷	۱۸۲	۱۵۵	۱۴۶
۶	L_2	۰	۴	۰	۱۷۳/۴	۱۷۷/۵	۱۵۱	۱۴۲
۷	L_3	۰	۶	۰	۱۵۵/۵	۱۶۰	۱۳۳	۱۲۴
۸	S_1	۰	۰	۳	۲۲۶/۶	۲۴۴/۴	۲۰۴	۲۰۰
۹	S_2	۰	۰	۵	۲۴۴	۲۶۲	۲۲۲	۲۱۷
۱۰	S_3	۰	۰	۱۰	۲۴۰	۲۵۳/۱	۲۱۷	۲۱۳

۳-۲- نتایج آزمایش سیکل ذوب و انجماد بتن با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک

نتایج آزمایش‌های سیکل ذوب و انجماد بتن با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک، طبق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲- مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن با درصد خرده لاستیک و درصد الیاف نخی لاستیک

ردیف	عنوان نمونه	درصد خرده لاستیک	درصد الیاف نخی لاستیک	مقاومت فشاری		مقاومت کششی	
				مقاومت فشاری ۲۸ روزه Kg/cm^2	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Kg/cm^2	مقاومت کششی ۲۸ روزه Kg/cm^2	مقاومت کششی ۹۰ روزه Kg/cm^2
۱	P_1	۳	۰	۲۱۳/۳	۲۳۵/۵	۱۹۱	۱۸۲
۲	P_1L_1	۳	۲	۱۹۵	۲۰۰	۱۷۴	۱۶۸
۳	P_1L_2	۳	۴	۱۹۱/۳	۱۹۰	۱۶۸	۱۶۴
۴	P_1L_3	۳	۶	۱۷۷	۱۸۲	۱۵۵	۱۵۰
۵	P_2	۵	۰	۱۶۰	۱۷۷/۶	۱۳۳	۱۲۴
۶	P_2L_1	۵	۲	۱۴۲	۱۴۴/۳	۱۲۰	۱۱۶
۷	P_2L_2	۵	۴	۱۳۷/۵	۱۳۹/۱	۱۱۵	۱۱۰
۸	P_2L_3	۵	۶	۱۲۸/۹	۱۳۱/۳	۱۰۶	۱۰۲
۹	P_3	۷	۰	۱۲۰	۱۳۷/۸	۹۳	۸۴
۱۰	P_3L_1	۷	۲	۱۰۶	۱۰۷/۵	۸۴	۸۰
۱۱	P_3L_2	۷	۴	۹۷/۵	۱۰۰/۲	۷۶	۷۱
۱۲	P_3L_3	۷	۶	۸۸/۶	۹۰/۷	۶۵	۶۲

۳-۳- نتایج سیکل ذوب و انجماد بتن با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک

نتایج آزمایش‌های سیکل ذوب و انجماد بتن با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک، طبق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳- مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن با خرده لاستیک و درصد الیاف فلزی لاستیک

ردیف	عنوان نمونه	درصد خرده لاستیک	درصد الیاف فلزی لاستیک	مقاومت فشاری		مقاومت کششی	
				مقاومت فشاری ۲۸ روزه Kg/cm^2	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Kg/cm^2	مقاومت فشاری ۲۸ روزه Kg/cm^2	مقاومت فشاری ۹۰ روزه Kg/cm^2
۱	P_1	۳	۰	۲۱۳/۳	۲۳۵/۵	۱۹۱	۱۸۲
۲	P_1S_1	۳	۳	۲۲۲	۲۳۵/۲	۱۹۵	۱۸۶
۳	P_1S_2	۳	۵	۲۲۶/۸	۲۴۰	۲۰۰	۱۹۵
۴	P_1S_3	۳	۱۰	۲۱۷	۲۳۱/۳	۱۵۱	۱۴۶
۵	P_2	۵	۰	۱۶۰	۱۷۷/۶	۱۳۳	۱۲۴
۶	P_2S_1	۵	۳	۱۶۸/۳	۱۸۶/۷	۱۴۲	۱۳۳
۷	P_2S_2	۵	۵	۱۷۷	۲۰۰	۱۴۶	۱۴۲
۸	P_2S_3	۵	۱۰	۱۷۳/۱	۱۹۵/۵	۱۴۲	۱۳۹
۹	P_3	۷	۰	۱۲۰	۱۳۷/۸	۹۳	۸۴
۱۰	P_3S_1	۷	۳	۱۳۳/۲	۱۳۸	۱۰۶	۹۷
۱۱	P_3S_2	۷	۵	۱۲۸/۵	۱۴۲	۱۰۲	۹۳
۱۲	P_3S_3	۷	۱۰	۱۲۸	۱۳۳/۵	۹۷	۸۸

۳-۴- نتایج درصد جذب آب، میزان نفوذ آب و درصد افت سایشی با خرده لاستیک

نتایج آزمایش‌های درصد جذب آب، میزان نفوذ آب و درصد افت سایشی نمونه‌های بتنی، طبق جدول ۴ بدست آمده است.

جدول ۴-درصد جذب آب، میزان نفوذ آب و درصد افت سایشی بتن با خرده لاستیک

ردیف	عنوان نمونه	درصد خرده لاستیک	درصد الیاف فلزی	درصد الیاف نخی	درصد جذب		میزان نفوذ آب		درصد افت سایشی	
							میزان نفوذ آب ۲۸ روزه	میزان نفوذ آب ۹۰ روزه	درصد سایش ۲۸ روزه	درصد سایش ۹۰ روزه
۱	sh	۰	۰	۰	۳/۴۲	۳/۵۸	۰/۰۳۱	۰/۰۳۳	۰/۰۴۳۸	۰/۰۴۳۵
۲	P_1	۳	۰	۰	۳/۳۸	۳/۵۴	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳۳
۳	P_2	۵	۰	۰	۳/۳۲	۳/۴۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۴۳۲	۰/۰۴۳
۴	P_3	۷	۰	۰	۳/۲۸	۳/۴۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲۹
۵	L_1	۰	۲	۰	۳/۴۵	۳/۷	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴۱	۰/۰۴۴
۶	L_2	۰	۴	۰	۳/۵۱	۳/۷۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۸	۰/۰۴۳۸	۰/۰۴۳۶
۷	L_3	۰	۶	۰	۳/۵۶	۳/۸۲	۰/۰۳۹	۰/۰۴	۰/۰۴۳۶	۰/۰۴۳۳

۸	S_1	۰	۰	۳	۳/۳۳	۳/۴۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲
۹	S_2	۰	۰	۵	۳/۲۷	۳/۴۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۲۷	۰/۰۴۱۷
۱۰	S_3	۰	۰	۱۰	۳/۲۲	۳/۳۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴۲۳	۰/۰۴۱۵

۳-۵- نتایج درصد جذب آب با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی و فلزی لاستیک

نتایج آزمایش‌های درصد جذب آب با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی و فلزی لاستیک به طور جداگانه، طبق جدول ۵ بدست آمده است.

جدول ۵-درصد جذب آب، میزان نفوذ آب و درصد افت سایشی بتن با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک

ردیف	عنوان نمونه	درصد خرده لاستیک	درصد الیاف نخی لاستیک	درصد جذب		میزان نفوذ آب		درصد افت سایشی	
				درصد جذب آب ۲۸ روزه	درصد جذب آب ۲۸ روزه	میزان نفوذ آب ۲۸ روزه	میزان نفوذ آب ۹۰ روزه	درصد سایش ۲۸ روزه	درصد سایش ۹۰ روزه
۱	P_1	۰	۰	۳/۳۸	۳/۵۴	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳۳
۲	P_1L_1	۳	۲	۳/۴۱	۳/۶۲	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۴۳۷	۰/۰۴۳
۳	P_1L_2	۳	۴	۳/۴۵	۳/۷	۰/۰۳۳	۰/۰۳۶	۰/۰۴۳۸	۰/۰۴۳۲
۴	P_1L_3	۳	۶	۳/۵	۳/۷۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۷	۰/۰۴۴۱	۰/۰۴۳۵
۵	P_2	۰	۰	۳/۳۲	۳/۴۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۴۳۲	۰/۰۴۳
۶	P_2L_1	۵	۲	۳/۳۸	۳/۵۳	۰/۰۲۹	۰/۰۳۳	۰/۰۴۳۳	۰/۰۴۲۷
۷	P_2L_2	۵	۴	۳/۴۲	۳/۶۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۶	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳
۸	P_2L_3	۵	۶	۳/۴۸	۳/۷	۰/۰۳۴	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳۶	۰/۰۴۳۱
۹	P_3	۰	۰	۳/۲۸	۳/۴۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲۹
۱۰	P_3L_1	۷	۲	۳/۴۳	۳/۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۰۴۳۲	۰/۰۴۲۶
۱۱	P_3L_2	۷	۴	۳/۴۷	۳/۶۵	۰/۰۳۲	۰/۰۳۶	۰/۰۴۳۴	۰/۰۴۲۹
۱۲	P_3L_3	۷	۶	۳/۵۱	۳/۷۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳۱

۳-۶- نتایج درصد جذب آب در بتن با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک

نتایج آزمایش‌های درصد جذب آب با درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک، طبق جدول ۶ بدست آمده است.

جدول ۶-درصد جذب آب، میزان نفوذ آب و درصد افت سایشی بتن با ۳ درصد خرده لاستیک و الیاف فلزی

ردیف	عنوان نمونه	درصد خرده لاستیک	درصد الیاف فلزی لاستیک	درصد جذب		میزان نفوذ آب		درصد افت سایشی	
				درصد جذب آب ۲۸ روزه	درصد جذب آب ۹۰ روزه	میزان نفوذ آب ۲۸ روزه	میزان نفوذ آب ۹۰ روزه	درصد سایش ۲۸ روزه	درصد سایش ۹۰ روزه
۱	P_1	۰	۰	۳/۳۸	۳/۵۴	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳۳
۲	P_1S_1	۳	۳	۳/۳۱	۳/۳۵	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۴۳۳	۰/۰۴۳۱
۳	P_1S_2	۳	۵	۳/۲۸	۳/۳۱	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲۹
۴	P_1S_3	۳	۱۰	۳/۲۵	۳/۲۹	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۲۷	۰/۰۴۲۵
۱	P_2	۵	۰	۳/۳۲	۳/۴۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰۴۳۲	۰/۰۴۳
۲	P_2S_1	۵	۳	۳/۲۴	۳/۲۹	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴۳۱	۰/۰۴۳
۳	P_2S_2	۵	۵	۳/۲۱	۳/۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳	۰/۰۴۲۸	۰/۰۴۲۶
۴	P_2S_3	۵	۱۰	۳/۲	۳/۲۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳	۰/۰۴۲۲	۰/۰۴۲۱
۱	P_3	۷	۰	۳/۲۸	۳/۴۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲۹
۲	P_3S_1	۷	۳	۳/۲۴	۳/۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲۸	۰/۰۴۲۷
۳	P_3S_2	۷	۵	۳/۲۱	۳/۲۶	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۴۲۶	۰/۰۴۲۴
۴	P_3S_3	۷	۱۰	۳/۱۹	۳/۲۳	۰/۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۴۲۱	۰/۰۴۲

۴- تحلیل نتایج

با توجه به بررسی نتایج مندرج در جدولهای ۱ تا ۶ و همچنین نمودارهای نشان داده شده در شکلهای ۱ تا ۸، می‌توان خلاصه و تحلیل نتایج به دست آمده را به شرح زیر بیان کرد:

۴-۱- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سیکل ذوب و انجماد:

میزان مقاومت فشاری سیکل ذوب و انجماد بتن با ۳ درصد خرده لاستیک جایگزین ماسه نسبت به نمونه شاهد تنها به میزان ۰/۶۱ درصد افزایش مقاومت داشته است. میزان مقاومت فشاری در سیکل ذوب و انجماد بتن با افزودن درصدهای مختلف درصد الیاف نخی لاستیک کاهش مقاومت داشته است و مقاومت فشاری در سیکل ذوب و انجماد بتن با افزودن ۵ درصد الیاف فلزی، نسبت به نمونه شاهد به میزان ۱۵/۱ درصد افزایش مقاومت داشته است.

از طرف دیگر مقاومت فشاری بتن با ترکیب درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک، نسبت به نمونه شاهد کاهش مقاومت داشته است. مقاومت فشاری بتن با ترکیب ۳ درصد خرده لاستیک و افزودن ۵ درصد الیاف فلزی لاستیک نیز نسبت به نمونه شاهد به میزان ۶/۹ افزایش مقاومت داشته است. مقاومت فشاری بتن با ترکیب درصدهای بالاتر خرده لاستیک و افزودن درصدهای مختلف الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد کاهش مقاومت داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص اینگونه استنباط می‌شود که با افزودن درصد محدودی از خرده لاستیک در سیکل ذوب و انجماد، با کاهش جذب آب، میزان یخ زدگی کمتر شده و مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد افزایش می یابد. اما با افزایش درصد خرده لاستیک، چون سطح تماس خرده لاستیک با بتن بیشتر شده و باعث جذب آب بیشتر می‌شود و از طرفی پراکندگی یکنواخت خرده لاستیک نیز کمتر می‌شود، میزان مقاومت کاهش می یابد.

همچنین با افزودن الیاف نخی لاستیک در نمونه های سیکل ذوب و انجماد، از طرفی الیاف در بتن باعث جذب آب شده و از طرف دیگر به دلیل جمع شدگی الیاف با هم، پراکندگی مناسبی در بتن نداشته و باعث کاهش مقاومت فشاری در آزمایش سیکل ذوب و انجماد می‌شود.

الیاف فلزی لاستیک نیز در بتن به دلیل عدم جذب آب و مشخصات مکانیکی خود تا درصد خاصی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن در سیکل ذوب و انجماد می‌گردد ولی با افزایش درصد این الیاف، به دلیل به دلیل تراکم مناسب، شاهد کاهش مقاومت فشاری خواهیم بود.

۴-۲- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش درصد جذب آب

با توجه به نتایج به دست آمده از افزودن مواد بازیافتی لاستیک فرسوده به صورت جداگانه، بتن با ۷ درصد خرده لاستیک جایگزین ماسه نسبت به نمونه شاهد به میزان ۴/۱درصد کاهش درصد جذب آب داشته است. درصد جذب آب در بتن با افزودن ۲ و ۴ و ۶ درصد الیاف نخی لاستیک افزایش داشته است. همچنین درصد جذب آب در بتن با افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به میزان ۷/۵ درصد کاهش داشته است.

به صورت افزودن ترکیبی مواد بازیافتی لاستیک، درصد جذب آب در بتن با ترکیب درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است اما درصد جذب آب در بتن با ترکیب ۳ ، ۵ و ۷ درصد خرده لاستیک و افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۳/۸ و ۴/۷ و ۵/۶ کاهش داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده اینگونه استنباط می‌شود که استفاده از درصد محدودی از خرده لاستیک جایگزین ماسه به دلیل جذب آب کمتر نسبت به ماسه باعث کاهش جذب آب می‌گردد. اما افزایش میزان خرده لاستیک به دلیل عدم چسبندگی بتن باعث ایجاد تخلخل و افزایش جذب آب می‌گردد.

از طرف دیگر، استفاده از الیاف نخی لاستیک به دلیل قدرت جذب آب زیاد این الیاف، باعث افزایش جذب آب بتن می‌گردد. با استفاده از الیاف فلزی نیز به دلیل قدرت جذب آب کم این الیاف، باعث کاهش جذب آب بتن می‌گردد ولی با افزایش میزان الیاف فلزی، عدم چسبندگی تودهای این الیاف با بتن، باعث ایجاد تخلخل و افزایش درصد جذب آب می‌گردد.

۴-۳- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش نفوذ آب:

با توجه به نتایج به دست آمده از افزودن مواد بازیافتی لاستیک فرسوده به صورت جداگانه، بتن با ۷ درصد خرده لاستیک جایگزین ماسه نسبت به نمونه شاهد به میزان ۱۹/۳ درصد کاهش نفوذپذیری داشته است. نفوذ آب در بتن با افزودن ۲ و ۴ و ۶ درصد الیاف نخی لاستیک افزایش داشته است. نفوذ آب در بتن با افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به میزان ۲۲/۶ درصد کاهش داشته است.

به صورت افزودن ترکیبی مواد بازیافتی لاستیک نیز، نفوذ آب در بتن با ترکیب درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. همچنین درصد جذب آب در بتن با ترکیب ۳ ، ۵ و ۷ درصد خرده لاستیک و افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۱۳/۸، ۲۴/۱ و ۳۱/۰ کاهش داشته است.

با توجه به بررسی نتایج به دست آمده اینگونه استنباط می‌گردد، با افزایش میزان خرده لاستیک با درصد خاص که جایگزین ماسه شده است، به دلیل کاهش میزان ماسه و از طرف دیگر عدم جذب آب توسط خرده لاستیک، به طور مشابه با نتایج آزمایش جذب آب، میزان نفوذ در بتن کاهش پیدا می‌کند. البته با افزایش میزان خرده لاستیک و به علت عدم پراکنددگی مناسب در حجم

بتن، باعث افزایش نفوذپذیری بتن می‌شود. در خصوص افزودن الیاف نخی لاستیکی نیز اینگونه استنباط می‌گردد که به دلیل قدرت جذب آب این الیاف و همچنین به دلیل پدیده به هم چسبیدگی الیاف به یکدیگر، باعث ایجاد تخلخل و نفوذ پذیری بتن می‌گردد. افزودن الیاف فلزی لاستیک نیز در بتن با عدم قدرت جذب آب در صورت پراکندگی مناسب، میزان نفوذ پذیری را افزایش می‌دهد.

۴-۴- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش درصد افت سایشی بتن:

با توجه به نتایج به دست آمده از افزودن مواد بازیافتی لاستیک فرسوده به صورت جداگانه، درصد افت سایشی بتن با ۷ درصد خرده لاستیک جایگزین ماسه نسبت به نمونه شاهد به میزان ۱/۴درصد کاهش درصد داشته است. درصد افت سایشی بتن با افزودن ۶ درصد الیاف نخی لاستیک به میزان ناچیز ۰/۴ درصد کاهش درصد داشته است. درصد افت سایشی بتن با افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به میزان ۴/۶ درصد کاهش داشته است.

به صورت افزودن ترکیبی مواد بازیافتی لاستیک نیز، درصد افت سایشی بتن با ترکیب ۳ ، ۵ و ۷ درصد خرده لاستیک و افزودن ۲ درصد الیاف نخی لاستیک ۰/۶۹ ، ۱/۴ و ۱/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است. همچنین درصد افت سایشی بتن با ترکیب ۳ ، ۵ و ۷ درصد خرده لاستیک و افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۱/۸ ، ۲/۹۹ و ۳/۲۱ درصد کاهش داشته است.

با توجه به بررسی نتایج به دست آمده اینگونه استنباط می‌گردد، با افزایش خرده لاستیک به بتن به دلیل مشخصات مکانیکی و خاصیت الاستیک بیشتر خرده لاستیک نسبت به سایر مصالح بتن، میزان درصد افت سایشی بتن با خرده لاستیک کاهش یافته و در نتیجه مقاومت سایشی بیشتر می‌شود. از طرف دیگر بتن غلتکی حاوی الیاف نخی لاستیک به دلیل اینکه بخشی از مصالح سطح بتن نیز توسط الیاف پوشش پیدا می‌کند در نتیجه این پوشش باعث افزایش جزئی مقاوت سایشی بتن می‌شود. به طور مشابه، الیاف فلزی لاستیک نیز به دلیل مقاومت سایشی بالایی که دارد، با قرار گرفتن در مصالح بتن، باعث افزایش مقاومت سایشی بتن گردیده و درصد افت سایشی را کاهش داده است.

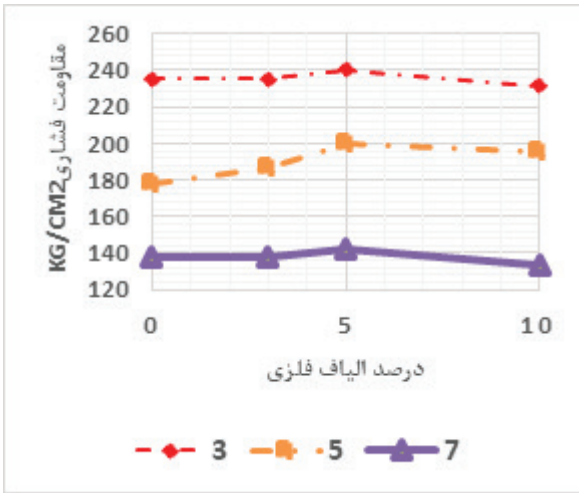
۴-۵- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن در محیط سولفاته:

با توجه به نتایج به دست آمده از افزودن مواد بازیافتی لاستیک فرسوده به صورت جداگانه، مقاومت فشاری بتن با ۳ درصد خرده لاستیک جایگزین ماسه نسبت به نمونه شاهد به میزان ۱۱/۶درصد افزایش مقاومت داشته است. مقاومت فشاری بتن با افزودن ۲ و ۴ و ۶ درصد الیاف نخی لاستیک افزایش داشته است. مقاومت فشاری بتن با افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به میزان ۷/۵ درصد کاهش داشته است.

به صورت افزودن ترکیبی مواد بازیافتی لاستیک نیز، مقاومت فشاری بتن با ترکیب درصدهای مختلف خرده لاستیک و الیاف نخی لاستیک نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است. مقاومت فشاری بتن با ترکیب ۳ و ۵ درصد خرده لاستیک و افزودن ۵ درصد الیاف فلزی لاستیک نسبت به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۱۴/۷ و ۱۴/۵ درصد افزایش داشته است.

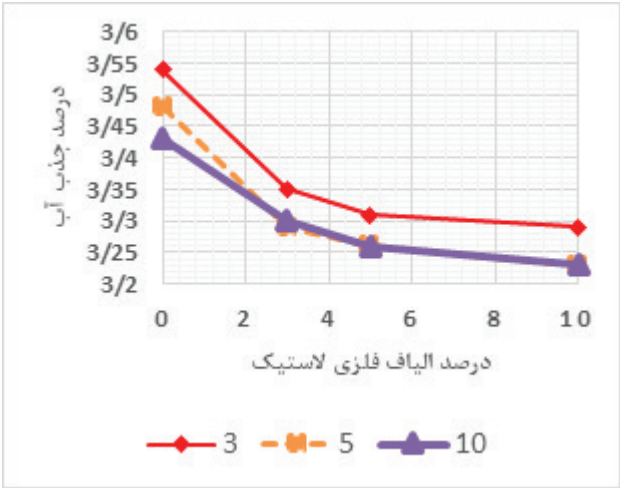
با توجه به بررسی نتایج به دست آمده اینگونه استنباط می‌گردد، با افزودن خرده لاستیک به بتن به دلیل اینکه خرده لاستیک نسبت به مصالح سنگی مقاومت بیشتری در محیط سولفاته دارد باعث افزایش مقاومت فشاری بتن در محیط سولفاته شده است. اما با افزایش بیشتر خرده لاستیک و افزایش تخلخل به دلیل عدم پراکندگی مناسب خرده لاستیک در حجم بتن، محلول سولفات نفوذ بیشتری در بتن داشته و باعث ایجاد خوردگی و کاهش مقاومت بتن دراین محیط گردیده است. بتن حاوی الیاف نخی لاستیکی به

دلیل جذب آب توسط الیاف باعث ایجاد محیط آسیب پذیرتر در بتن گردیده و باعث کاهش مقاومت بتن می‌گردد. از طرف دیگر بتن حاوی الیاف فلزی لاستیک به دلیل اینکه الیاف فلزی لاستیک مقاومت بیشتری نسبت به بقیه مصالح نسبت به محلول سولفات دارد و همچنین عدم جذب آب توسط الیاف فلزی لاستیک باعث کاهش قدرت نفوذ در بتن می‌گردد، این موضوع نیز باعث افزایش مقاومت بتن گردیده است.



شکل ۶: نمودار مقایسه مقاومت فشاری بتن

با خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک

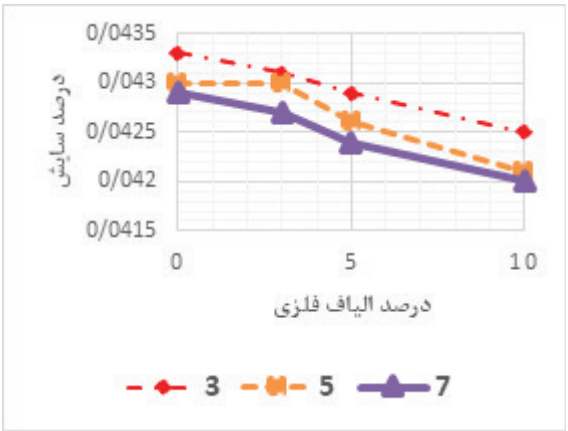


شکل ۷: نمودار مقایسه درصد جذب آب در بتن

با خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک

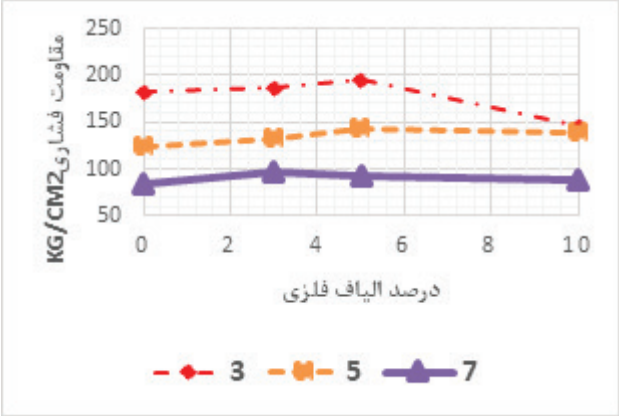
شکل ۸: نمودار مقایسه نفوذ آب در بتن

با خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک



شکل ۹: نمودار مقایسه درصد سایش بتن

با خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک



شکل ۱۰- نمودار مقایسه مقاومت فشاری بتن با خرده لاستیک و الیاف فلزی لاستیک در محیط سولفاته

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دستآمده و تحلیل صورت گرفته در خصوص افزودن مصالح بازیافتی حاصل از لاستیک فرسوده در بتن غلطکی به صورت جداگانه یا ترکیبی، می‌توان نتایج کلی زیر را استنباط نمود. لازم به ذکر است که نتایج حاصله منطبق با برخی نتایج تحقیقات جداگانه انجام شده بر روی متغیرهای مورد نظر در بتنهای غیر غلطکی بوده است که کاربرد دو ماده خرده لاستیک و الیاف فلزی را در اکثر موارد مفید نشان می‌دهد.

۵-۱- مقاومت فشاری سیکل ذوب و انجماد در بتن غلطکی با افزودن ترکیبی مواد بازیافتی، در حالت ۳ درصد خرده لاستیک و افزودن ۵ درصد الیاف فلزی، افزایشی حدود ۶/۹ درصد نسبت به نمونه شاهد داشته است. در این خصوص افزودن درصد مشخصی از ترکیب خرده لاستیک و الیاف فلزی، باعث کاهش جذب آب و میزان یخ زدگی شده و مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد افزایش می یابد. اما با افزایش درصد خرده لاستیک و الیاف فلزی، با عدم پراکندگی یکنواخت و دیگر موارد مطرح شده در این تحقیق، میزان مقاومت کاهش می یابد. با افزودن الیاف نخی لاستیک نیز با افزایش میزان جذب آب و جمع شدگی این الیاف با هم، باعث کاهش مقاومت فشاری در آزمایش سیکل ذوب و انجماد می‌شود.

۵-۲- درصد جذب آب بتن غلتکی با افزودن ۳ درصد خرده لاستیک وافزودن ۱۰درصد الیاف فلزی مقاومت فشاری بتن ۵/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش جذب آب داشته است. بنابراین با استفاده از درصد محدودی از خرده لاستیک و الیاف فلزی به دلیل جذب آب کمتر نسبت به ماسه، باعث کاهش جذب آب می‌گردد. اما افزایش میزان خرده لاستیک و الیاف فلزی به دلیل عدم چسبندگی بتن وعدم پراکندگی مناسب، باعث ایجاد تخلخل و افزایش جذب آب می‌گردد. از طرف دیگر، استفاده از الیاف نخی لاستیک به دلیل قدرت جذب آب زیاد این الیاف و عدم پراکندگی مناسب در حجم بتن، باعث افزایش جذب آب بتن می‌گردد.

۵-۳- در خصوص میزان نفوذ آب در بتن غلتکی با افزودن ۷ درصد خرده لاستیک وافزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی مقاومت فشاری بتن ۳۱ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش نفوذ داشته است. به طور مشابه با دلایل ذکر شده در خصوص میزان جذب آب، میزان نفوذپذیری بتن نیز با افزایش خرده لاستیک و الیاف فلزی تا درصد مشخصی به دلیل کم قدرت جذب آب این مواد کاهش یافته و با افزودن الیاف نخی لاستیکی نیز میزان نفوذپذیری افزایش می‌یابد.

۵-۴- درصد افت سایشی بتن غلتکی با افزودن ۷ درصد خرده لاستیک و افزودن ۱۰ درصد الیاف فلزی بتن، به میزان ۳/۲۱ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است. اینگونه استنباط می‌گردد، با افزودن خرده لاستیک و الیاف بازیافتی به ویژه الیاف فلزی به بتن، به دلیل مقاومت سایشی این مواد نسبت به سایر مصالح بتن، میزان درصد افت سایشی بتن کاهش یافته و در نتیجه مقاومت سایشی بیشتر می‌شود.

۵-۵- مقاومت فشاری بتن غلطکی در محیط سولفاته با ۳ درصد وافزودن ۵ درصد الیاف فلزی مقاومت فشاری بتن ۱۴/۷ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش مقاومت داشته است. اینگونه استنباط می‌گردد، با افزودن درصد خاصی از خرده لاستیک و الیاف فلزی به بتن، به دلیل مقاومت بیشتر این مواد در محیط سولفاته، باعث افزایش مقاومت فشاری بتن در محیط سولفاته شده است. اما با افزایش بیشتر این مواد به دلیل عدم پراکندگی مناسب و ایجاد تخلخل، کاهش مقاومت بتن دراین محیط گردیده است. بتن حاوی الیاف نخی لاستیکی نیز به دلیل جذب مواد سولفاته توسط الیاف باعث ایجاد محیط آسیب پذیرتر در بتن گردیده و باعث کاهش مقاومت بتن می‌گردد.

پیشنهادات

با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌گردد با انتخاب درصدهای مناسب از خرده لاستیک و الیاف فلزی در بتن غلطکی، علاوه بر کمک در کاهش مخاطرات محیط زیستی ناشی از انباشت لاستیکهای فرسوده، ضمن تأمی‌ن مقاومت اولیه کافی مورد نیاز، برخی خصوصیات دوام این بتن را بهبود بخشید.

در رابطه با تحقیقات آینده نیز پیشنهاد می‌گردد با توجه به نامناسب بودن الیاف نخی لاستیک فرسوده جهت استفاده در بتن غلطکی، استفاده از این الیاف جهت تولید بتن سبک سازه‌ای با تأمی‌ن شرایط خاص اختلاط، مورد بررسی قرار گیرد.

همچنین با توجه به امکان برش الیاف فلزی لاستیک با طول متفاوت، پیشنهاد می‌گردد تغییر طول این الیاف نیز به عنوان یک متغیر در خصوصیات مکانیکی انواع بتن، مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

لازم است از مجموعه آزمایشگاه گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز به خاطر حمایت های فنی و آزمایشگاهی جهت انجام این تحقیق، کمال تشکر خود را اعلام داریم.

منابع

[۱] اصلانیان، زهرا و چینی، مهدی و افتخار، محمدحسین و شاکر، سعید،۱۳۹۵،بررسی اثر پودر سنگ آهک و سرباره بر دوام روسازی بتن غلتکی،هشتمین کنفرانس ملی بتن ایران،قرچک.

[۲] اعتمادی، محسن و حسن زاده، محسن و قوامی، سیده مهرناز،۱۳۸۸،بررسی تاثیر الیاف لاستیک ضایعاتی بر خصوصیات مکانیکی بتن،فستیوال سراسری بتن،تهران.

[۳] افضلی نینز، اویس و دوست محمدی، علیرضا و مصطفوی، سیدمحمدامیر،۱۳۹۹،بررسی خواص مکانیکی و پارامترهای دوام بتن غلتکی مسلح به الیاف ماکروسنتتیک، دوازدهمین کنفرانس ملی بتن،تهران.

]۴[حسنی، ابوالفضل و آزادی، عابدین،۱۳۸۳،کاربرد بتن غلتکی در روسازی‌های راه‌ها، اولین کنگره ملی مهندسی عمران،تهران.

]۵[حق نژاد، مهدی و مدرس، امیر،۱۳۹۷،بررسی کارایی و دوام بتن غلتکی روسازی راه حاوی الیاف مرکب بازیافتی،کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران،تهران.

[۶] صدرایی، حمید و خالو، علیرضا و عبدوس، هاتف و علایی، عماد،۱۳۹۸،تعیین خصوصیات مکانیکی بتن ساخته شده از سنگدانه‌های بازیافتی و ترکیبات حاصل از لاستیک بازیافتی، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت،تهران.
[۷] قادری، سپیده و محرم نژاد، ناصر و جلیلی، مجتبی،۱۳۹۰،مدیریت لاستیکهای فرسوده د رکشور،اولین همایش فناوری‌های پالایش در محیط زیست،تهران.
[۸] کربلایی، م.، سهرابی، م.، ۱۳۹۰. بررسی و مقایسه مقاومت فشاری بتن دارای خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس. مهندسی عمران امیرکبیر (امیرکبیر).
[۹] ماجدی اردکانی، محمد حسین، ۱۳۸۳، مطالعات مقدماتی بازیافت آوارهای ساختمانی (ایستگاه آبعلی)، طرح پژوهشی- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
[۱۰] نیلی، محمود و عبداله زاده، شهریار و بیات، مهدی،۱۳۹۶،بررسی تاثیر دوده سیلیسی و سرباره بر خواص مکانیکی و دوام یخبندان بتن‌های غلتکی روسازی،دومین کنفرانس ملی رویه‌های بتنی،تهران.
[۱۱] نشریه ۳۵۴ راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور.
[۱۲] هادیان فرد، محمدعلی، نیک محمدی، علیرضا، و هاشمی، علی،۱۳۹۴. ارزیابی و مقایسه فنی و اقتصادی روسازی بتن. چهارمین پژوهش‌های نوین در علوم فناوری، تهران.

[13] Abu-Khashaba, M.I., Adam, I. and El-Ashaal, A., 2014. Investigating the possibility of constructing low cost roller compacted concrete dam. Alexandria Engineering Journal, 53(1), pp.131-142.

[14] Harrington, D.S., Abdo, F., Adaska, W.S., Hazaree, C., Ceylan, H. and Bektas, F., 2010. Guide for roller-compacted concrete pavements (No. Item Code: SN298). National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.

[15] Husein Malkawi, A.I., Mutasher, S.A. and Qiu, T.J., 2003. Thermal-structural modeling and temperature control of roller compacted concrete gravity dam. Journal of performance of constructed facilities, 17(4), pp.177-187.

[16] Khaloo, A. R., Dehestani, M., & Rahmatabadi, P. (2008). Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles. Waste management, 28(12), 2472-2482.

[17] Modarres, A. and Hosseini, Z., 2014. Mechanical properties of roller compacted concrete containing rice husk ash with original and recycled asphalt pavement material. Materials & Design, 64, pp.227-236.

[18] Rao, S.K., Sravana, P. and Rao, T.C., 2016. Investigating the effect of M-sand on abrasion resistance of Fly Ash Roller Compacted Concrete (FRCC). Construction and Building Materials, 118, pp.352-363.

[19] Settari, C., Debieb, F., Kadri, E.H. and Boukendakdji, O., 2015. Assessing the effects of recycled asphalt pavement materials on the performance of roller compacted concrete. Construction and Building Materials, 101, pp.617-621.

Iranian Concrete Society

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 Auther:** 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/).