ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۳/۰۱/۲۵

بررسی و تحلیل چگونگی بهره بردن از ضایعات مواد پلاستیکی و گیاهی برای طراحی و تولید کامپوزیت های بتنی دوستدار محیط زیست

امیر شاطری*

*فارغ التحصیل مقطع کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

Amir.sh197799@gmail.com

چکیده

یکی از راه حل های بالقوه و موثر برای داشتن یک محیط زیست پاک تر و بدون آلاینده، به حداقل رساندن مصرف مواد غیرقابل تجزیه زیستی و کاهش ضایعات است. تولید و دفع زباله های پلاستیکی اثرات شدیدی بر محیط زیست دارد. استفاده از پسماندهای جامد در ساخت و سازهای پایدار به دلیل هزینه کمتر پسماندها و صرفه جویی در محل لازم برای دفن زباله مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. در این تحقیق و مقاله، امکان‌سنجی الیاف ضایعات پلاستیکی متالیز شده و خاکستر سوخت روغن پالم در تولید کامپوزیت‌های بتن با ارزیابی خواص مکانیکی و سرعت پالس اولتراسونیک مورد بررسی قرار گرفت. شش مخلوط بتن حاوی الیاف ضایعات پلاستیکی متالیز شده متفاوت از ۰ تا ۱,۲۵ درصد با طول ۲۰ میلی متر از سیمان پرتلند معمولی ساخته شد. شش مخلوط مختلف بتن با محتوای فیبر یکسان ساخته شد که در آن ۲۰ درصد خاکستر روغن پالم جایگزین سیمان پرتلند معمولی شد. نتایج این تحقیق و مقاله نشان می دهد که الیاف ضایعات پلاستیکی متالیز شده به همراه خاکستر روغن پالم کارایی بتن را کاهش می دهد. همچنین مشخص شده است که با افزودن الیاف ضایعات پلاستیکی متالیز شده به مخلوط‌های بتن، مقاومت فشاری برای هر دو مخلوط سیمان پرتلند معمولی و خاکستر سوخت روغن پالم در سنین اولیه کاهش می‌یابد. اگرچه در دوره پخت ۹۱ روزه، مخلوط ها حاوی خاکستر سوخت روغن پالم با مقاومت فشاری بالاتر از مخلوط های سیمان پرتلند معمولی هستند. مخلوط الیاف ضایعات پلاستیکی متالیز شده و خاکستر سوخت روغن پالم متعاقباً استحکام کششی و خمشی را افزایش داد و در نتیجه شکل‌پذیری را افزایش داد. در این تحقیق و مقاله نشان داده می شود که الیاف ضایعات پلاستیکی متالیز شده با بهبود خواص مکانیکی پتانسیل استفاده در بتن پایدار را دارند.

کلمات کلیدی: پایداری، بتن، خاکستر سوخت روغن پالم، الیاف ضایعات پلاستیکی فلزی، خواص فیزیکی و مکانیکی

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱- مقدمه

در ۵۰ سال گذشته، تولید انواع و اشکال مختلف پلاستیک در سراسر جهان رشد زیادی داشته است. پلاستیک ها به طور قابل توجهی باعث تولید مقادیر زیادی زباله شده اند. انواع مختلف پلاستیک به طور گسترده در همه زمینه ها و بیشتر در صنایع بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود. همانطور که صاحب نظران [۱-۲] بیان کردند، تولید کلی پلاستیک در اشکال مختلف تا حدود ۳۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۴ افزایش یافت. که به طور بحرانی برای تولید و دفع مقدار زیادی زباله پلاستیکی آغاز شد. در نتیجه، مدیریت ناکافی و مدیریت نادرست این زباله ها منجر به اثرات مضر، به عنوان مثال، خطرات سلامتی انسان، خطرات زندگی حیوانات، آلودگی خاک، و همچنین آلودگی آب و هوا بر محیط زیست می شود. با این وجود، اکثر این زباله‌های پلاستیکی قابلیت بازیافت و پردازش مجدد شیمیایی یا حرارتی را دارند، اما همه انواع زباله‌های پلاستیکی برای این دسته مناسب نیستند [۳]. فیلم‌های ضایعات پلاستیکی متالیز شده یکی از زباله‌های پلاستیکی هستند که تولید و به محل‌های دفن زباله در سراسر جهان ارسال می‌شوند. فیلم های ضایعات پلاستیکی متالیز شده پایه پلیمری هستند و با لایه نازکی از آلومینیوم پوشیده شده اند که عمدتاً در تولیدات بسته بندی مواد غذایی مصرف می شود. در میان تمام زباله های پلاستیکی، زباله های پلاستیکی متالیز شده برای استفاده مجدد و پردازش مجدد نامناسب هستند [۴-۵]. از آنجایی که تکنیک مناسبی برای بازفرآوری مجدد چنین مقدار وسیعی از زباله های پلاستیکی وجود ندارد، آنها را به محل دفن زباله و سپس سوزاندن می فرستند [۶]. بر این اساس، رویکردهای پایدار و قابل اعتماد برای دفع که جایگزین روش‌های فعلی می‌شوند، حیاتی شده‌اند. بتن پرکاربردترین مصالح ساختمانی در سراسر جهان است. کامپوزیت بتن شامل چسب های سیمانی، سنگدانه های درشت و ریز، به اضافه الیاف کوتاهی است که به طور یکنواخت در مخلوط توزیع شده اند. انواع مختلفی از الیاف کوتاه، اعم از فلزی یا پلیمری، بکر یا ضایعاتی، معمولاً برای بهبود شکل پذیری بتن استفاده می شود [۷]. به طور کلی، الیاف متداول مورد استفاده برای تقویت بتن عبارتند از الیاف فولادی و شیشه ای، الیاف پلی پروپیلن و نایلون، الیاف طبیعی و همچنین الیاف زباله [۸-۹]. در دهه‌های گذشته، در پاسخ به شناسایی مستمر سازه‌های پایدار، بادوام و شکل‌پذیر، جستجوی فناوری‌هایی که مصرف مواد زائد جامد در ساخت‌وساز را مجاز می‌سازد، جلب توجه کرده است. با توجه به مطالب گفته شده، محققین متعددی به بررسی تاثیر انواع ضایعات پلاستیکی بر خواص انواع بتن پرداخته‌اند [۱۰-۱۱]. بر اساس یافته‌های آنها، بیشتر ضایعات پلاستیکی قابلیت استفاده به عنوان الیاف در تولید بتن‌های پایدار را دارند تا از ایجاد ترک‌های ریز جلوگیری کرده و در نتیجه دوام بتن را افزایش دهند. با این وجود، پلاستیک‌های متالیزاسیون زباله، که منبع قابل توجهی از زباله‌های زباله هستند، هنوز به صورت الیافی در بتن استفاده نشده‌اند. استفاده از ضایعات حاصل از محصولات کشاورزی همچنین می تواند به ساخت و سازهای پایدارتر و سازگار با محیط زیست کمک کند. استفاده از ضایعات کشاورزی مانند خاکستر در مصالح ساختمانی برای عملکرد عالی آنها توصیه شده است [۱۲-۱۳]. علاوه بر این، خاکستر سوخت روغن پالم یک ضایعات کشاورزی است که مواد پوزولانی در نظر گرفته می شود. خاکستر سوخت روغن پالم از سوختن پوسته روغن نخل و پوسته هسته خرما در آسیاب روغن نخل به عنوان سوخت به دست می آید. در میان کشورهای تولید کننده محصولات روغن نخل، مالزی دومین تولید کننده است [۱۴]. همانطور که صاحب نظران گفته اند [۱۵]، تنها در مالزی، نزدیک به ۵ میلیون تن خاکستر سوخت روغن پالم در سال ۲۰۱۰ تولید و هدر رفت. این مواد زائد اکنون به عنوان خاکستر پوزولانی با ویژگی های کافی طبقه بندی می شود که می تواند با افزایش استحکام و دوام در صنایع بتن بازیافت شود. خواص انواع مختلف بتن [۱۶]. با در نظر گرفتن در دسترس بودن زباله‌های پلاستیکی و ماهیت پوزولانی خاکستر سوخت روغن پالم، کار تحقیقاتی گسترده‌ای در بخش ساختار و مواد دانشگاه فناوری مالزی برای بررسی مزایای بالقوه تولید مصالح ساختمانی پایدار انجام شد. هدف از این مطالعه استفاده از خاکستر سوخت روغن پالم به عنوان ماده سیمانی مکمل در بتن تقویت شده با الیاف ضایعات پودر سنگ مرمر در کسر حجمی ۰ تا ۱,۲۵ درصد بود. خواص حالت

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

تازه و سخت شده مانند کارایی، مقاومت فشاری، سرعت پالس اولتراسونیک، مقاومت کششی و خمشی مورد بررسی قرار گرفت و با سیمان پرتلند معمولی بدون هیچ الیاف مقایسه شد.

۲- پیشینه تحقیق و پژوهش

پژوهش‌های بسیاری برای توسعه و کاربرد زیست‌کامپوزیت‌های تقویت‌شده سازگار با محیط زیست برای استفاده در خودرو، ساخت‌وساز، بسته‌بندی و زمینه‌های پزشکی انجام شده‌است. در واقع افزودن نانوذرات باعث بهبود ویژگی‌های پلیمر شده، و سبب به‌کار بردن آن‌ها در صنایع خودروسازی و ساخت‌وساز و پزشکی می‌شود. ویژگی‌هایی که به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته‌اند، شامل افزایش خواص مکانیکی به عنوان مثال، مقاومت، مدول الاستیک و ثبات ابعادی (ویژگی‌های ترمومکانیکی و نفوذپذیری) به عنوان مثال، گاز، آب و هیدروکربن و پایداری حرارتی (کاهش میزان انتشار دود، مقاومت شیمیایی، ویژگی‌های ظاهری سطح، وزن و هدایت الکتریکی است). نانوکامپوزیت‌ها سامانه‌های دو فازی از ماتریس پلیمری و پرکننده‌اند. دلیل بهبود خواص مختلف نانوکامپوزیت‌ها مربوط به اندازه ذرات فاز پرکننده است. با کاهش اندازه ذرات فاز پرکننده، سطح ویژه افزایش و متوسط فاصله بین ذرات کاهش می‌یابد و سطح مشترک که مسئول ارتباط بین ماتریس و پرکننده است، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. در نتیجه، تعداد برهم‌کنش‌های بین ماتریس و پرکننده افزایش می‌یابد. این امر باعث بهبود خواص فیلم‌های نانوکامپوزیت نسبت به فیلم‌های معمولی می‌شود. در گذشته، علاقه عمده‌ای در استفاده از مواد مصنوعی مانند پلی‌استرهای آلیفاتیک، پلی‌استرهای آلیفاتیک معطر، پلی‌وینیل الکل، پلی‌استایرن، نانو رس، شیشه و الیاف کربن نانولوله‌های کربن و غیره برای تولید نانوکامپوزیت وجود داشت. در حال حاضر استفاده از این مواد، به دلیل کمبود ترکیبات آلی ناشی از کاهش نفت و منابع گاز و افزایش قیمت نفت و گاز به یک چالش بزرگ تبدیل شده‌است. نگرانی‌های زیست‌محیطی به دلیل تخریب یا سوزاندن این مواد و گرم شدن کره زمین، هزینه‌های غیر اقتصادی، ایجاد آلودگی در بازیافت و انتشار آن و مسمومیت مصرف‌کنندگان نیز وجود دارد. باتوجه به این نگرانی‌ها تلاش برای پیدایش موادی که می‌توانند بر این چالش‌ها غلبه کنند و باعث حفظ خواص مورد نیاز برای کاربردهای مختلف شوند یک ضرورت است. استفاده ازکامپوزیت‌های پلیمری از منابع تجدیدپذیر دارای مزایای بیشتر از منابع مصنوعی است، به ویژه استفاده از آن‌ها به عنوان راه حلی برای روبه‌رو شدن با مشکلات زیست‌محیطیِ ایجاد شده توسط زباله‌های پلاستیکی است. همچنین از آن‌ها به عنوان یک جایگزین برای حفظ توسعه پایدار اقتصادی و فناوری محیط زیست هستند. امروزه استفاده از کامپوزیت‌های سبز به‌طور گسترده‌ای با توجه به نوآوری مورد نیاز برای توسعه مواد از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر، حفظ مواد اولیه فسیلی، زیست‌تخریب‌پذیری و کاهش در حجم انتشار دی‌اکسید کربن به اتمسفر، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. استفاده از منابع کشاورزی مانند ضایعات و محصولات، برای تولید مواد سبز، از دلایل گسترش تحقیقات در زمینه نانوکامپوزیت‌های سبز است. انتظار می‌رود استفاده از نانوکامپوزیت‌های سبز به منظور بهبود سرعت تولید و سازگاری با محیط زیست افزایش یابد. مواد سبز موادی هستند که زیست‌تخریب‌پذیر و تجدیدپذیر باشند. از مزایای مهم در مورد کامپوزیت‌های سبز سازگاری آن‌ها با محیط زیست زیست‌تخریب‌پذیری و پایداری آن‌ها است. در پایان عمرشان آن‌ها را می‌توان بدون آسیب رساندن به محیط زیست به راحتی دفع یا کمپوست نمود. چالش‌های کامپوزیت‌های سبز اساساً شامل چالش‌های هنگام به دست آوردن پلیمرهای سبز که به عنوان ماتریس برای تولید مواد مرکب استفاده می‌شود، است. به پلیمری سبز گفته می‌شود، هنگامی که دارای خواص سازگار با محیط زیست مطلوب مانند قابلیت تجدید و تجزیه‌پذیری باشد. تجزیه زیستی به معنی تخریب پلیمر در محیط طبیعی است که شامل تغییر در ساختار شیمیایی، کاهش خواص مکانیکی و ساختاری و تغییر به ترکیبات دیگر سازگار با محیط زیست است. پلیمرهایی که از منابع طبیعی ساخته می‌شوند شامل نشاسته، لیگنین، سلولز استات،

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

پلی‌لاکتیک اسید، پلی‌هیدروکسی آلکانوآت‌ها، پلی‌هیدروکسی بوتیرات و برخی از منابع مصنوعی مانند پلی‌استرهای آلیفاتیک و پلی‌استرهای آروماتیک، پلی‌وینیل الکل، پلی الفین اصلاح شده و غیره هستند.

انواع کامپوزیت های سبز:

1 - کامپوزیت‌های برپایه نشاسته ترموپلاستیک: نشاسته یکی از زیست‌پلیمرهاست، که به دلیل فراوانی در طبیعت، قیمت ارزان و آسانی آماده‌سازی و قابلیت تولید فیلم و مواد بسته‌بندی سخت یا نیمه‌سخت از آن، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌است. با این وجود، این زیست‌پلیمر معایبی دارد که استفاده از آن را در تولید فیلم و سایر مواد بسته‌بندی محدود می‌سازد. این معایب عبارت‌اند از، مقاومت ضعیف فیلم آن در برابر رطوبت، خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف به دلیل آب‌دوستی زیاد نشاسته و تضعیف خواص مکانیکی فیلم در شرایطی مانند رطوبت نسبی زیاد. روش‌های مختلفی برای بهبود خواص فیلم نشاسته وجود دارد که یکی از جدیدترین آن‌ها اختلاط نشاسته با نانوپرکننده‌ها و تولید نانوکامپوزیت‌هاست.

2 - کامپوزیت‌های بر پایه پلی‌لالکتیک اسید: پلی لاکتیک اسید زیست‌پلیمری گرمانرم و آلیفاتیک خطی است. مونومرهای تشکیل‌دهنده آن لاکتیک اسید یا ۲-هیدروکسی پروپیونیک اسید است. در اثر پلیمریزاسیون تراکمی این مونومرها یا پلیمر شدن حلقه گشای الکتید می‌توان به پلی‌لاکتیک اسید دست یافت. با وجود مزایای زیادی که پلی‌لاکتیک اسید در مقایسه با سایر زیست‌پلیمرها دارد، استفاده آن در صنعت و رقابت با پلیمرهای صنعتی با چند چالش اصلی روبه‌روست، از جمله: نفوذپذیری زیاد به بخار آب و گازها، دمای ۰ انتقال شیشه‌های (کم، پایداری گرمایی ضعیف، ترد و شکننده بودن که نیاز به اصلاح و بهبود خواص را پیش از استفاده اجتناب‌ناپذیر می‌کند. برای غلبه بر این مشکلات می‌توان از راهکارهایی همچون استفاده از نرم‌کننده‌های مناسب، ترکیب با سایر پلیمرها، بهینه‌سازی شرایط تبلور و استفاده از افزودنی‌های مناسب برای تولید انواع کامپوزیت‌ها استفاده کرد. استفاده از نانوذرات و تولید نانوکامپوزیت برای بهبود خواص پلیمرها به دلیل تنوع و اثربخشی زیاد این ذرات بسیار مطرح است.

3 - کامپوزیت‌های بر پایه سلولز: سلولز به عنوان فراوان‌ترین زیست‌پلیمر و مشتقات حاصل از آن از افزودنی‌هایی هستند که سال‌هاست برای تولید چند سازه‌ها و اخیراً نانوچندسازه‌های سبز تماماً زیست‌تخریب‌پذیر از ترکیب الیاف طبیعی با رزین‌های زیست‌تخریب‌پذیر به کار گرفته شده‌اند. سلولز حاصل از محصولات کشاورزی به عنوان یک منبع پلیمرهای زیستی است، که می‌تواند جایگزین پلیمرهای نفتی شود. نانوکامپوزیت‌های سبز با موفقیت با استفاده از استات سلولز (CA) روان‌کننده تری‌اتیل سیترات (TEC) و خاک رس اصلاح شده از طریق ترکیب مذاب تولیده شده‌است. پلاستیک سلولزی با ۲۰ درصد وزنی استات سلولز خالص و ۲۰ درصد وزنی تری اتیل پالستی سیترات به عنوان ماتریس پلیمری برای تولید نانوکامپوزیت مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد، که نانوکامپوزیت‌های سلولزی مبتنی بر پلاستیک حاوی ۲ و ۰۰ درصد وزنی نانو رس ساختار بهتری نسبت به ۲۰ درصد وزنی نانو رس داشته است. مقاومت کششی، مدول و پایداری گرمایی پلاستیک سلولزی افزایش یافته‌است. اخیراً در پژوهشی، نانوکامپوزیتی بر پایه سلولز و نانو پلی پیرول با فرایند پلیمیزاسیون درجا آماده شد و به عنوان حسگر دمایی بررسی شد. همچنین پژوهش‌هایی در زمینه کاربرد نانوکامپوزیت‌های بر پایه سلولز در مصارف دارویی انجام شده است.

۳- جزئیات و روش تحقیق و پژوهش

در این تحقیق و مقاله سیمان پرتلند معمولی نوع I مطابق با استاندارد انجمن مواد و آزمون آمریکا ۲۰۰۷-۱۵۰ مصرف شد. بهترین نوع خاکستر سوخت روغن پالم را می توان از روغن درخت های نخل واقع در جوهور، مالزی جمع آوری کرد. قبل از اینکه خاکستر به عنوان جایگزین سیمان استفاده شود، ذرات بزرگتر حذف شدند و محتوای کربن به حداقل رسید و

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

سپس خاکستر در کوره در دمای ۹۵ تا ۱۰۵ درجه سانتی گراد نگهداری شد تا رطوبت تبخیر شود. پس از آن، خاکستر الک شد و ذرات عبور داده شده از یک غربال به اندازه ۱۵۰ میلی متر در دستگاه سایش لس آنجلس اصلاح شده آسیاب شدند. در نهایت، خاکستر سوخت روغن پالم بسیار خوب جمع آوری شد که مطابق با الزامات استاندارد بریتانیا ۳۸۹۲: قسمت ۱-۱۹۹۲ است. طبق مشخصات استاندارد انجمن مواد و آزمون آمریکا ۲۰۱۵-۶۱۸ می توان خاکستر سوخت روغن پالم به دست آمده را در کلاس C و F در نظر گرفت. جدول ۱ خواص شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند و خاکستر سوخت روغن نخل مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد. سنگدانه ریز مورد استفاده در این مطالعه ماسه رودخانه ای خرد نشده با حد بالایی ۴,۷۵ میلی متر، وزن مخصوص ۲,۶، جذب آب ۰,۷۰ درصد و مدول ریزش ۲,۳ بود. سنگدانه های درشت با حد بالایی ۱۰ میلی متر، وزن مخصوص ۲,۷ و جذب آب ۰,۵ درصد مصرف شد. همچنین برای بهبود جریان پذیری بتن تازه از فوق روان کننده با دوز ۱,۰ درصد استفاده شد. همچنین ضایعات پلاستیکی متالیز شده از نوع پلی پروپیلن از بسته بندی مواد غذایی جمع آوری و تمیز شد تا از هرگونه ناخالصی جلوگیری شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، لایه ها در عرض ثابت ۲ میلی متر و طول ۲۰ میلی متر به الیاف تبدیل می شوند. جدول ۲ ویژگی های رایج الیاف زبالهدهای پلاستیکی متالیز شده مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد. محتویات مختلف مواد مورد استفاده در ترکیبات مخلوط بتن در جدول ۳ نشان داده شده است. به طور کلی، دوازده دسته بتن با درصدهای مختلف الیاف برای مقاومت فشاری، مقاومت کششی و خمشی تهیه شد. اولین دسته به نام B۱ به عنوان یک مخلوط کنترل بدون هیچ الیاف و خاکستر سوخت روغن پالم ریخته گری شد. همراه با تمام مخلوط ها، شش مورد از آنها مخلوط های سیمان پرتلند معمولی حاوی الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده ۰ درصد؛ ۰,۲۵ درصد؛ ۰,۵۰ درصد؛ ۰,۷۵ درصد؛ ۱,۰ درصد و ۱,۲۵ درصد یعنی B۶ و B۱ بودند. شش مخلوط اضافی با خاکستر سوخت روغن پالم که ۲۰ درصد سیمان پرتلند معمولی را جایگزین دوزهای الیاف مشابه، یعنی B۷ و B۱۲ کرد، ریخته شد. مخلوط‌های بتن برای آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد بریتانیا ۲-۱۲۳۵۰ در سال ۲۰۰۹ و آزمایش زمان VeBe مطابق با استاندارد بریتانیا ۳-۱۲۳۵۰ در سال ۲۰۰۹ مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش سرعت پالس اولتراسونیک بر روی نمونه‌های مکعب مورد استفاده برای تست فشاری به دنبال استاندارد انجمن مواد و آزمون آمریکا ۰۹-۵۹۷. برای ارزیابی مقاومت فشاری مکعب، نمونه‌های مکعبی با اندازه ۱۰۰ میلی‌متر تهیه، ریخته‌گری شدند و طبق توصیه‌های استاندارد بریتانیا ۲-۱۲۳۹۰، ۲۰۰۹۳: آزمایش شدند. نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش‌های استحکام کششی و مدول الاستیسیته را با ابعاد ۱۰۰ میلی‌متر در ۲۰۰ میلی‌متر به ترتیب بر اساس استاندارد انجمن مواد و آزمون آمریکا ۱۱-۴۹۶ و ۱۴-۴۶۹ آزمایش کردند. علاوه بر این، آزمایش مقاومت خمشی نیز بر اساس استاندارد بریتانیا ۵-۱۲۳۹۰ در سال ۲۰۰۹، با استفاده از نمونه‌های منشوری با اندازه‌های ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰۰ میلی‌متر در ۵۰۰ میلی‌متر انجام شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- انجام آزمایشات عملی

به منظور بررسی اثرات الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده بر قوام بتن، آزمایش اسلامپ و آزمایش زمان VeBe انجام شد. نتایج آزمون های کارایی در شکل ۲ (الف، ب) نمایش داده شده است. می توان مشاهده کرد که کارایی مخلوط های بتن با افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده به طور قابل توجهی کاهش می یابد. از شکل ۲ (الف)، می توان مشاهده کرد که اسلامپ مخلوط کنترل ۱۹۰ میلی متر است. با گنجاندن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده با ۰,۲۵ درصد؛ ۰,۵ درصد؛ ۱ درصد و ۱,۲۵ درصد، مقادیر اسلامپ به ترتیب به ۳۰؛ ۴۰؛ ۶۵؛ ۸۰ و ۱۲۰ میلی متر کاهش یافت. علاوه بر این،

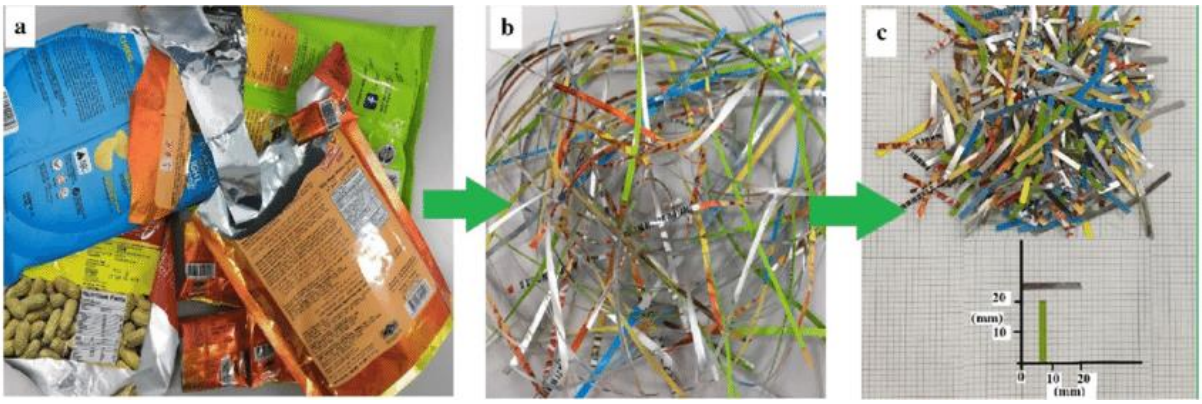
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

به دلیل مساحت سطح بالاتر خاکستر سوخت روغن پالم نسبت به سیمان پرتلند معمولی، ماتریس مقدار بیشتری آب را جذب می‌کند و در نتیجه، مخلوط را سفت‌تر می‌کند و منجر به کارایی پایین‌تر می‌شود [۱۷]. از نتایج ارائه شده در شکل ۲ (ب)، می توان مشاهده کرد که در مخلوط هایی با ۲۰ درصد خاکستر سوخت روغن پالم، زمان VeBe به ۱۶ ثانیه در مقایسه با ۱۹۰ میلی متر و ۱۵,۳ ثانیه برای بتن ساده سیمان پرتلند معمولی افزایش می یابد. تمایل مشابهی مانند مخلوط های سیمان پرتلند معمولی برای مخلوط های خاکستر سوخت روغن پالم تقویت شده با الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده مشاهده شد. مشخص شده است که گنجاندن فیبر زباله های پلاستیکی متالیزه در مخلوط ها باعث کاهش مقادیر اسلامپ و افزایش زمان VeBe می شود. افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیزه بر ویسکوزیته ماتریس تأثیر می گذارد. گنجاندن الیاف در دوزهای بالاتر، قوام مخلوط را نیز قطع می کند، که به اثر توپی شدن اجزای بتن و الیاف زباله های پلاستیکی متالیزه هدایت می شود [۱۸].

جدول ۱. خواص شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند معمولی و خاکستر سوخت روغن پالم.

مواد	وزن مخصوص	ظرافت بلین	مقدار خلوص	سیلیکون دی اکسید (درصد)	آلومینیوم اکسید (درصد)	اکسید آهن (درصد)	کلسیم اکسید (درصد)	منیزیم اکسید (درصد)	پتاسیم اکسید (درصد)	سولفور تری اکسید (درصد)	از دست دادن اشتعال
سیمان پرتلند معمولی	۳,۱۵	۳۹۹۰	۱,۰	۲۰,۴	۵,۲	۴,۱۹	۶۲,۴	۱,۵۵	۰,۰۰۵	۲,۱۱	۲,۳۶
خاکستر سوخت روغن پالم	۲,۴۲	۴۹۳۰	۲,۰	۶۲,۶	۴,۶۵	۸,۱۲	۵,۷	۳,۵۲	۹,۰۵	۱,۱۶	۶,۲۵



شکل ۱. الف) ضایعات پلاستیکی فلزی؛ ب) الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده؛ ج) الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده با طول ۲۰ میلی متر.

جدول ۲. خواص الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده.

کشیدگی (درصد)	استحکام کششی (مگاپاسکال)	ضخامت (میلی متر)	محدوده چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)	اندازه (طول×عرض) (میلی متر)	نوع پلاستیک	نوع رزین

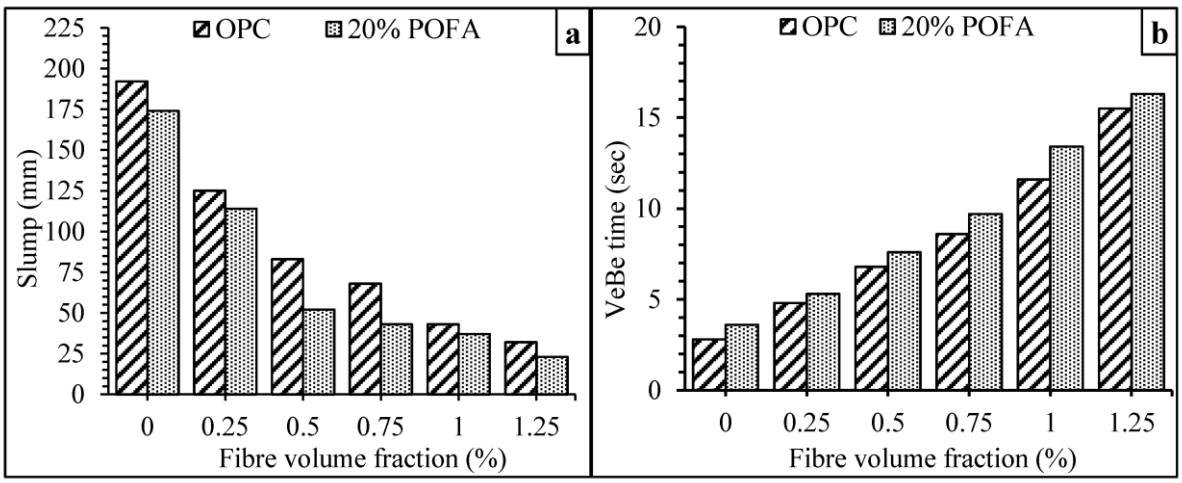
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۸ تا ۱۰	۶۰۰	۰,۰۷	۰,۹۱۵ تا ۰,۹۴۵	۲۰×۲	پلی اتیلن با چگالی کم	پلی پروپلین

جدول ۳. نسبت مخلوط بتن.

کسر حجمی فیبر (درصد)	سنگدانه های درشت (کیلوگرم بر متر مکعب)	سنگدانه های ریز (کیلوگرم بر متر مکعب)	آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	خاکستر سوخت روغن پالم (کیلوگرم بر متر مکعب)	سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	مخلوط
۰,۰	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	-	۴۴۵	B1
۰,۲۵	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	-	۴۴۵	B2
۰,۵۰	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	-	۴۴۵	B3
۰,۷۵	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	-	۴۴۵	B4
۱,۰	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	-	۴۴۵	B5
۱,۲۵	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	-	۴۴۵	B6
۰,۰	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	۸۹	۳۵۶	B7
۰,۲۵	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	۸۹	۳۵۶	B8
۰,۵۰	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	۸۹	۳۵۶	B9
۰,۷۵	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	۸۹	۳۵۶	B10
۱,۰	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	۸۹	۳۵۶	B11
۱,۲۵	۸۶۰	۸۳۰	۲۱۵	۸۹	۳۵۶	B12



شکل ۲. تاثیر الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده بر الف) کاهش و ب) زمان VeBe مخلوط بتن.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

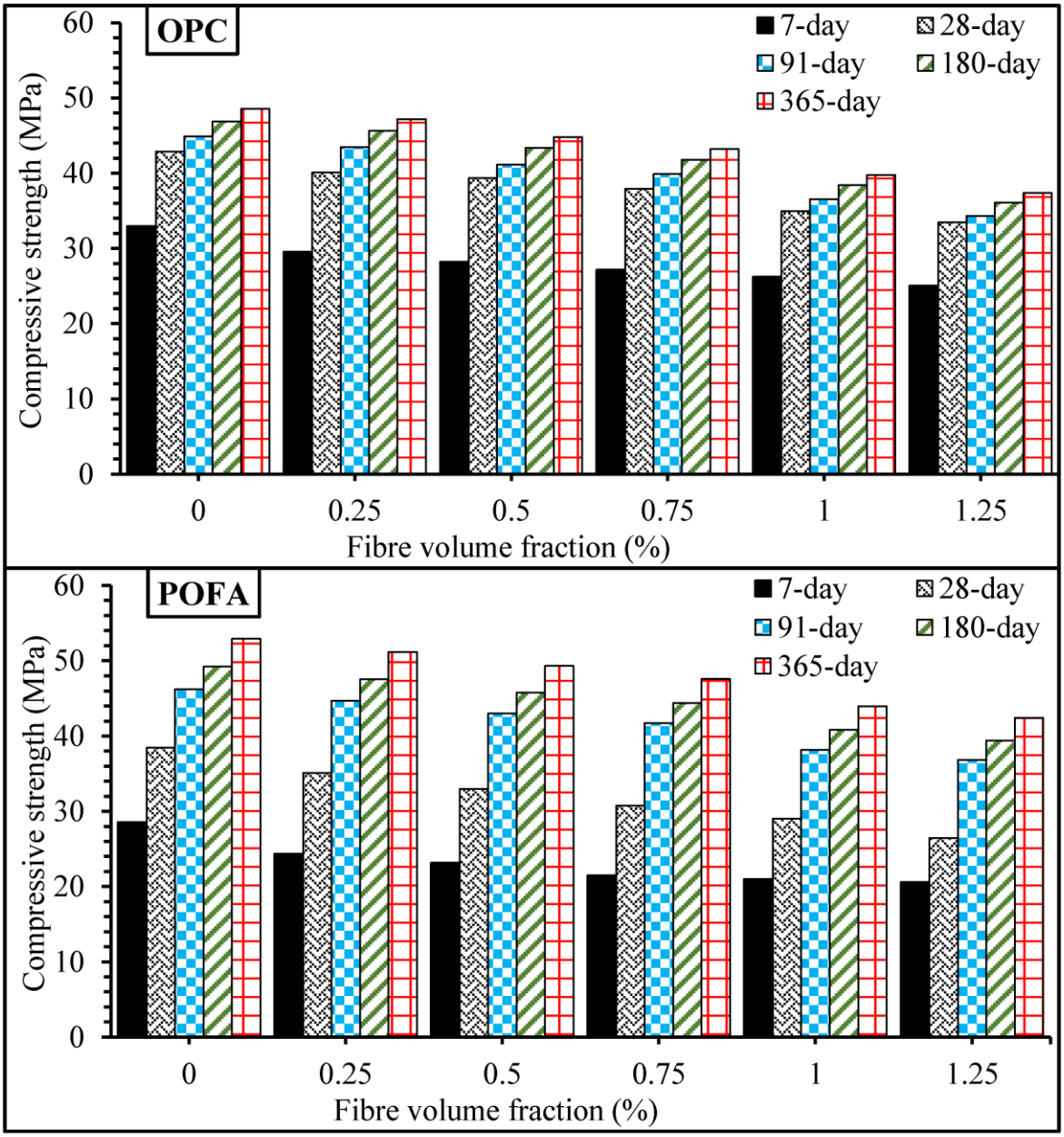
ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۴-۲- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری به دست آمده از نمونه های بتنی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که گنجاندن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده مقاومت فشاری بتن را کاهش می دهد. با مقایسه مقادیر مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط بتن ساده، گنجاندن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در دوزهای ۰,۲۵ درصد؛ ۰,۵ درصد؛ ۰,۷۵ درصد؛ ۱ درصد و ۱,۲۵ درصد باعث کاهش مقاومت فشاری مکعب به میزان ۶,۱ درصد؛ ۷,۵۳ درصد و ۱۱,۱۴ درصد شد. به ترتیب ۱۸ درصد و ۲۱,۲۵ درصد. در مخلوط های بتن ساده بدون الیاف و حاوی خاکستر سوخت روغن پالم ۲۰ درصد، کاهش بیشتر مقاومت فشاری ۱۳,۵ درصد در ۷ روز و ۱۰,۲ درصد در ۲۸ روز عمل آوری مربوط به مخلوط بتن مبتنی بر سیمان پرتلند معمولی مشاهده شد. با این حال، در دوره پخت ۹۱ روزه، مخلوط‌های بتن حاوی الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده و خاکستر سوخت روغن پالم به مقادیر مقاومت فشاری بالاتری نسبت به مخلوط‌های بتن مسلح با الیاف سیمان پرتلند معمولی دست یافتند. مشخص شده است که در دوره های پخت طولانی تر، وجود خاکستر سوخت روغن پالم به دلیل رفتار پوزولانی خاکستر روغن پالم، علاوه بر تشکیل ژل اضافی هیدرات سیلیکات کلسیم (C-S-H) در طول فرآیند هیدراتاسیون، استحکام بتن را افزایش داده و ماتریس را متراکم می کند. به منظور نشان دادن تصویر واضحی از نقش خاکستر سوخت روغن پالم و فرآیند هیدراتاسیون بر توسعه مقاومت بتن، آزمایش میکروگراف الکترونی روبشی (SEM) بر روی نمونه‌ها در سن ۹۱ روزگی انجام شد. از شکل ۴ می توان مشاهده کرد که توسعه ژل های هیدرات سیلیکات کلسیم در نمونه مبتنی بر خاکستر سوخت روغن پالم قابل توجه تر است. تصویر آزمایش میکروگراف الکترونی روبشی نشان می دهد که ژل های هیدرات سیلیکات کلسیم به طور یکنواخت در نمونه های محتوای خاکستر سوخت روغن پالم در امان هستند. توزیع یکنواخت ژل های هیدرات سیلیکات کلسیم به دلیل مصرف مقدار بیشتری از هیدروکسید کلسیم توسط عمل پوزولانی خاکستر سوخت روغن پالم در طول هیدراتاسیون است که باعث تشکیل ژل های اضافی هیدرات سیلیکات کلسیم و در نتیجه مقاومت بالاتر بتن می شود [۹].

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶



شکل ۳. تغییر در مقاومت فشاری مخلوط بتن تقویت شده با الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده.

۴-۳- استحکام کششی تقسیم

نتایج آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه های بتنی حاوی الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در شکل ۵ ارائه شده است. با افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده و افزایش دوز الیاف، مقاومت کششی بتن به طور قابل توجهی در مقایسه با مخلوط بتن شاهد بهبود یافت. افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در کسرهای حجمی مختلف به مخلوط‌های بتن مبتنی بر خاکستر سوخت روغن پالم منجر به ایجاد استحکام کششی شد. تقویت بتن ساده با الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده به ترتیب ۱۲,۰؛ ۱۸,۹؛ ۱۶,۹؛ ۱۳,۴ و ۸,۰ درصد استحکام کششی نمونه های با محتوای الیاف ۰,۲۵؛ ۰,۵؛ ۰,۷۵؛ ۱ و

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱,۲۵ درصد را افزایش داد. در دوره پخت ۹۱ روز نسبت به مخلوط شاهد. اگرچه برای مخلوط های حاوی خاکستر سوخت روغن پالم در دوره پخت ۹۱ روز و دوزهای فیبر ۰,۲۵ درصد؛ ۰,۵ درصد؛ ۰,۷۵ درصد؛ ۱ درصد و ۱,۲۵ درصد؛ استحکام کششی به ترتیب ۱۳,۱ درصد؛ ۲۲,۳ درصد؛ ۱۸,۰ درصد؛ ۱۴,۹ درصد و ۱۱,۴ درصد افزایش یافت. که با ترکیب کنترل مرتبط است. توسعه استحکام کششی ممکن است به دلیل سطح تعامل بزرگتر بین الیاف و خمیر سیمان باشد. در حالی که بار روی نمونه ها اعمال می شود و شکاف رخ می دهد، فیبرهای زباله های پلاستیکی متالیز شده بخش ها را به هم متصل می کنند. متعاقباً تنش‌های وارده بر نواحی شکافته را تداوم می‌بخشد و شکست ناگهانی بتن را قطع می‌کند. الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده مقاومت نمونه های بتنی را در برابر کشش غیرمستقیم افزایش داده و ظرفیت کرنش بتن را افزایش داده و در نتیجه مقادیر مقاومت کششی بالاتری را در پی خواهد داشت [۵].

۴-۴- استحکام خمشی

مقادیر اندازه گیری شده مقاومت خمشی نمونه های تقویت شده با الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در شکل ۶ نشان داده شده است. می توان تشخیص داد که افزودن و افزایش کسر حجمی فیبر منجر به افزایش استحکام خمشی می شود. حداکثر استحکام خمشی ۵,۹۵ مگاپاسکال برای نمونه های مبتنی بر خاکستر سوخت روغن پالم حاوی ۰,۵ درصد الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در سن ۹۱ روز ثبت شد. این بهبود در مخلوط‌های خاکستر سوخت روغن پالم به دلیل فعالیت پوزولانی بالاتر خاکستر سوخت روغن پالم در سنین پخت طولانی‌تر و همچنین ایجاد ژل‌های اضافی هیدرات سیلیکات کلسیم است [۱۸]. عمل پل زدن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده باعث مقاومت بیشتر در برابر ایجاد ترک در ناحیه کششی تیرها و در نتیجه افزایش مقاومت خمشی بتن می شود. در ناحیه تنش، الیاف از طریق عمل پل زدن، ترک ها را متوقف می کنند و در حین اعمال بار، از انتشار ترک ها جلوگیری می کنند.

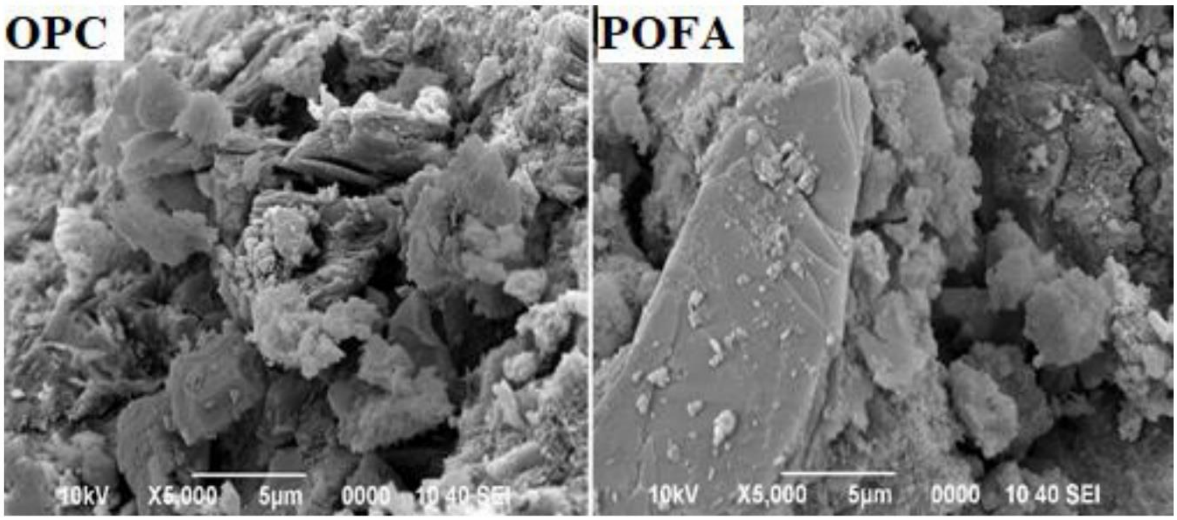
۴-۵- سرعت پالس اولتراسونیک

مقادیر ثبت شده سرعت پالس اولتراسونیک (UPV) نمونه‌های تقویت‌شده با الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در شکل ۷ نشان داده شده است. در حالی که در دوره های پخت طولانی تر، مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک با افزودن الیاف افزایش یافت. مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک بین ۴۲۷۲ متر بر ثانیه و ۴۳۴۹ متر بر ثانیه در سنین ۲۸ و ۹۱ روز برای مخلوط های بتن ساده ثبت شد. بر اساس مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک بدست آمده و مشخصات بیان شده [۱۹]، مخلوط بتن به عنوان یک بتن با کیفیت خوب در نظر گرفته می شود. افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده منجر به مقادیر بالاتر از سرعت پالس اولتراسونیک در دوره های پخت طولانی تر می شود. به عنوان مثال، مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک ثبت شده برای مخلوط های حاوی ۰,۲۵ درصد و ۰,۵ درصد در ۹۱ روز به ترتیب ۴۳۶۷ متر بر ثانیه و ۴۳۶۳ متر بر ثانیه است که بالاتر از مقادیر بدست آمده برای مخلوط بتن ساده است. با این حال، کاهشی در سرعت پالس اولتراسونیک بتن حاوی الیاف بیش از ۰,۷۵ درصد مشاهده شد. به خوبی شناخته شده است که افت سرعت پالس اولتراسونیک بتن می تواند به دلیل وجود حفره ها و ریز ترک ها باشد که قوام ماتریس ها با کسرهای حجمی بالا از الیاف را کاهش می دهد [۲۰-۲۲]. علاوه بر این، افزایش مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک نمونه‌های مبتنی بر خاکستر سوخت روغن پالم بیشتر در سنین پخت طولانی‌تر بود. مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک ۴۳۰۰ متر بر ثانیه و بالاتر ثبت شد که بتن را به عنوان بتن با کیفیت خوب طبقه بندی کرد [۲۳]. مقادیر بالاتر سرعت پالس

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

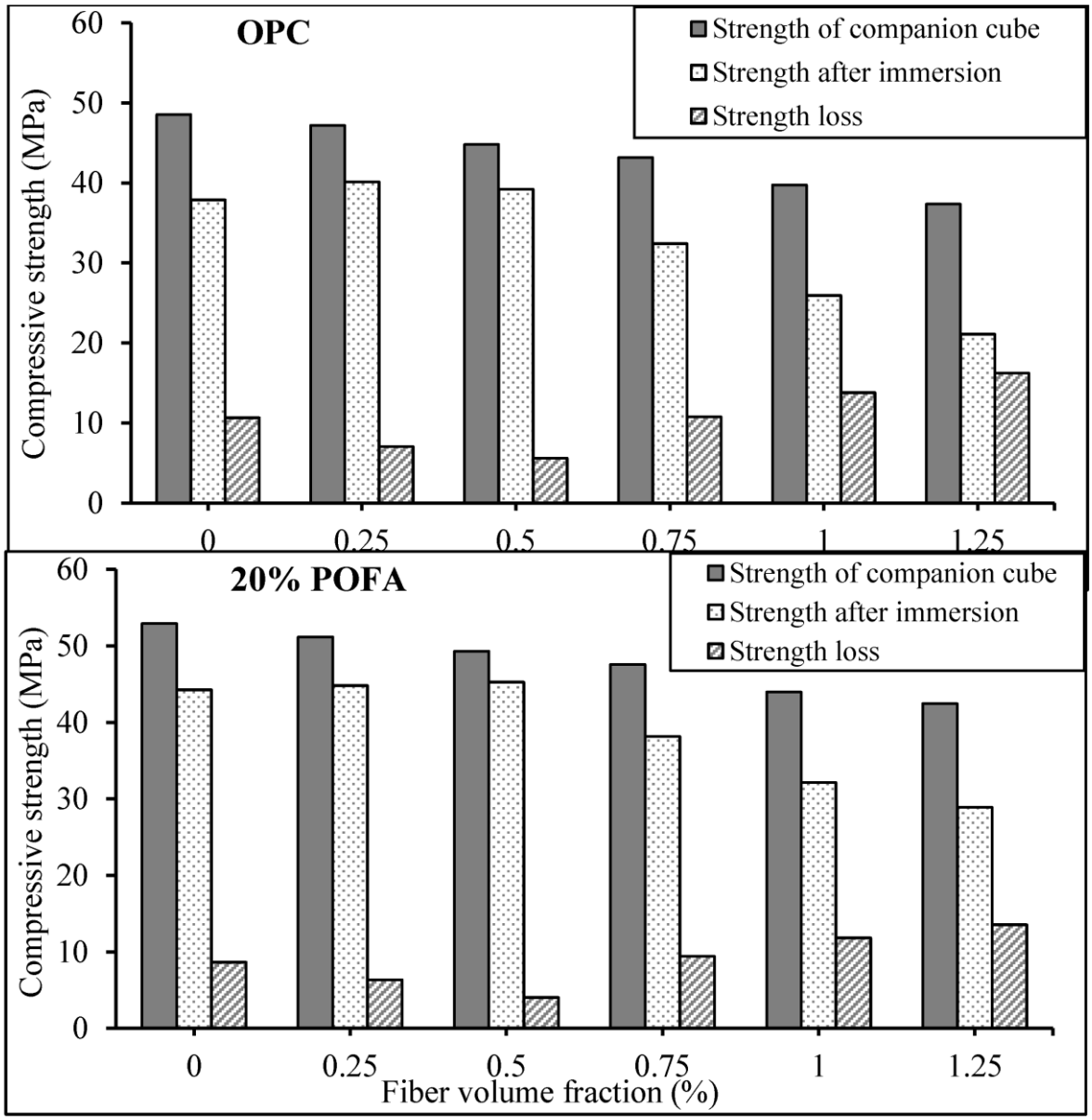
اولتراسونیک نمونه‌های خاکستر سوخت روغن پالم می‌تواند به دلیل ایجاد ژل‌های اضافی هیدرات سیلیکات کلسیم توسط عملکرد پوزولانی خاکستر سوخت روغن پالم باشد که منافذ را پر می‌کند و بتن را متراکم‌تر می‌کند [۲۴-۲۶].



شکل ۴. آزمایش میکروگراف الکترونی روبشی محصولات هیدراتاسیون در نمونه های بتن خاکستر سوخت روغن پالم و سیمان پرتلند معمولی.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

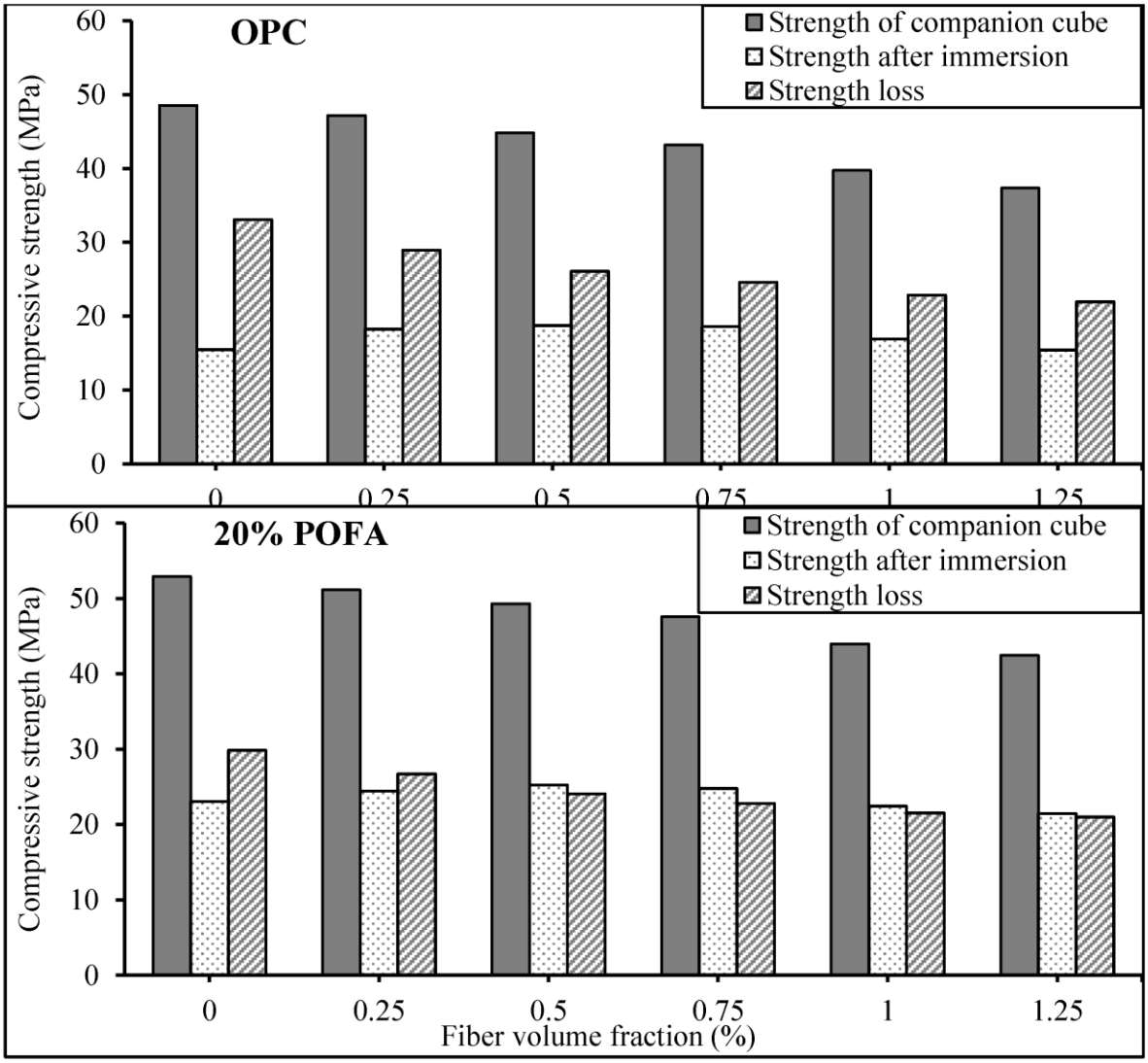
ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶



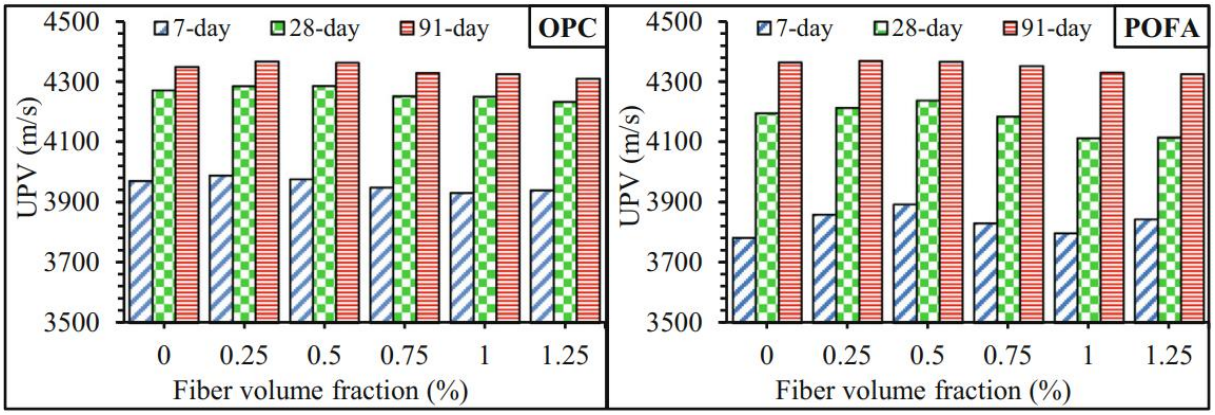
شکل ۵. اثرات الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده بر مقاومت کششی کامپوزیت های بتن.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶



شکل ۶. اثرات الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده بر مقاومت خمشی کامپوزیت های بتن.



شکل ۷. مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک مخلوط های مختلف بتن.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق و مقاله، خواص فیزیکی مکانیکی کامپوزیت های بتن پایدار مورد بررسی دقیق قرار گرفت. نتایج زیر بر اساس نتایج بررسی و بررسی به دست آمد. با افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده به مخلوط بتن، بتن سخت‌تر شد و کارایی آن کاهش یافت. در سنین اولیه، مقاومت فشاری مکعب با افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده و خاکستر سوخت روغن پالم اندکی کاهش یافت. با این حال، برای مخلوط های خاکستر سوخت روغن پالم، مقاومت فشاری بالاتر از مخلوط های سیمان پرتلند معمولی در سن ۹۱ روز بود. برخلاف کاهش مقاومت فشاری، پیشرفت‌های قابل‌توجهی در مقاومت‌های کششی و خمشی تمام نمونه‌های بتنی مشاهده شد. تمام نمونه های حاوی الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده مقادیر مقاومت کششی و خمشی بالاتری نسبت به مخلوط های بتن ساده به دست آوردند. گنجاندن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده در نمونه های بتنی به دلیل عمل پیوند الیاف، عملکرد شکل پذیری بهتری را نشان داد. علاوه بر این، مقادیر سرعت پالس اولتراسونیک به‌دست‌آمده از ۳۷۰۰ تا ۴۴۰۰ متر بر ثانیه برای مخلوط‌های حاوی الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده و خاکستر سوخت روغن پالم در تمام سنین به عنوان بتن با کیفیت خوب مشخص شد. تولید بتن دوستدار محیط زیست با افزودن الیاف زباله های پلاستیکی متالیز شده و خاکستر سوخت روغن پالم پتانسیل بالایی برای صنعتی شدن با عملکرد رضایت بخش برای کاربردهای سازه ای و غیر سازه ای دارد.

منابع و مراجع

1. L. Gu, T. Ozbakkaloglu, Use of recycled plastics in concrete: a critical review, Waste Manage. 51 (2016) 19–42.
2. R. Sharma, P.P. Bansal, Use of different forms of waste plastic in concrete – a review, J. Cleaner Prod. 112 (2016) 473–482.
3. H. Mohammadhosseini, M.M. Tahir, M.I. Sayyed, Strength and transport properties of concrete composites incorporating waste carpet fibres and palm oil fuel ash, J. Build. Eng. 20 (2018) 156–165.
4. H. Mohammadhosseini, N.H.A.S. Lim, A.R.M. Sam, M. Samadi, Effects of elevated temperatures on residual properties of concrete reinforced with waste polypropylene carpet fibers, Arabian J. Sci. Eng. 43 (4) (2018) 1673–1686.
5. A. Bhogayata, N.K. Arora, A. Nakum, Strength characteristics of concrete containing post-consumer metalized plastic waste, Int. J. Res. Eng. Technol. 4 (9) (2015) 430–434.
6. E. Aprianti, A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production–a review part II, J. Cleaner Prod. 142 (2017) 4178–4194.
7. A.S.M.A. Awal, H. Mohammadhosseini, Green concrete production incorporating waste carpet fiber and palm oil fuel ash, J. Cleaner Prod. 137 (2016) 157–166.
8. R.F. Zollo, Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, Cem. Concr. Compos. 19 (2) (1997) 107–122.
9. H. Mohammadhosseini, J.M. Yatim, Microstructure and residual properties of green concrete composites incorporating waste carpet fibers and palm oil fuel ash at elevated temperatures, J. Cleaner Prod. 144 (2017) 8–21.
10. S. Yin, R. Tuladhar, F. Shi, M. Combe, T. Collister, N. Sivakugan, Use of macro plastic fibers in concrete: a review, Constr. Build. Mater. 93 (2015) 180–188.
11. H. Mohammadhosseini, R. Alyousef, N.H.A.S. Lim, M.M. Tahir, H. Alabduljabbar, A.M. Mohamed, Creep and drying shrinkage performance of concrete composite comprising waste polypropylene carpet fibres and palm oil fuel ash, J. Build. Eng. 30 (2020) 101250.
12. V. Kannan, K. Ganesan, Synergic effect of pozzolanic materials on the structural properties of self-compacting concrete, Arabian J. Sci. Eng. 39 (4) (2014) 2601–2609.
13. H. Mohammadhosseini, J.M. Yatim, A.R.M. Sam, A.S.M.A. Awal, Durability performance of green concrete composites containing waste carpet fibers and palm oil fuel ash, J. Cleaner Prod. 144 (2017) 448–458.

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

14. H. Mohammadhosseini, A.S.M.A. Awal, J.M. Yatim, The impact resistance and mechanical properties of concrete reinforced with waste polypropylene carpet fibers, Constr. Build. Mater. 143 (2017) 147–157.
15. B. Alsubari, P. ShaFigureh, M. Jumaat, U. Alengaram, Palm Oil Fuel Ash as a Partial Cement Replacement for Producing Durable Self-consolidating High Strength Concrete, Arabian J. Sci. Eng. 39 (12) (2014) 8507–8516.
16. H. Mohammadhosseini, M.M. Tahir, Production of sustainable fibre-reinforced concrete incorporating waste chopped metallic film fibres and palm oil fuel ash, Sadhana 43 (10) (2018) 156.
17. M. Hsie, C. Tu, P.S. Song, Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber reinforced concrete, Mater. Sci. Eng., A 494 (1) (2008) 153-157.
18. H. Mohammadhosseini, R. Alyousef, N.H.A.S. Lim, M.M. Tahir, H. Alabduljabbar, A.M. Mohamed, M. Samadi, Waste metalized film food packaging as low cost and ecofriendly fibrous materials in the production of sustainable and green concrete composites, J. Cleaner Prod. 258 (2020) 120726.
19. A.M. Neville, J.J. Brooks, Concrete Technology, Second ed., Longman Group Ltd., 2010.
20. H. Mohammadhosseini, A.S.M.A. Awal, Physical and mechanical properties of concrete containing fibers from industrial carpet waste, Int. J. Res. Eng. Technol. 2 (12) (2013) 464–468.
21. N.H.A.S. Lim, H. Mohammadhosseini, M.M. Tahir, M. Samadi, A.R.M. Sam, Microstructure and strength properties of mortar containing waste ceramic nanoparticles, Arabian J. Sci. Eng. 43 (10) (2018) 5305–5313.
22. K.R. Akça, Ö. Çakır, M. Ipek, Properties of polypropylene fiber reinforced concrete using recycled aggregates, Constr. Build. Mater. 98 (2015) 620–630.
23. H. Mohammadhosseini, N.H.A.S. Lim, M.M. Tahir, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, M. Samadi, Enhanced performance of green mortar comprising high volume of ceramic waste in aggressive environments, Constr. Build. Mater. 212 (2019) 607–617.
24. R. Alyousef, H. Alabduljabbar, H. Mohammadhosseini, A.M. Mohamed, A. Siddika, F. Alrshoudi, A. Alaskar, Utilization of sheep wool as potential fibrous materials in the production of concrete composites, J. Build. Eng. 30 (2020) 101216.
25. H. Mohammadhosseini, M.M. Tahir, A. Alaskar, H. Alabduljabbar, R. Alyousef, Enhancement of strength and transport properties of a novel preplaced aggregate fiber reinforced concrete by adding waste polypropylene carpet fibers, J. Build. Eng. 27 (2020) 101003.
26. M. Samadi, K.W. Shah, G.F. Huseien, N.H.A.S. Lim, Influence of Glass Silica Waste Nano Powder on the Mechanical and Microstructure Properties of Alkali-Activated Mortars, Nanomaterials 10 (2) (2020) 324.