مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره نوزدهم، شماره ۵، سال ۱۳۹۸

ارزیابی اثر همزمان لاستیک و الیاف فولادی بازیافت شده از تایر ضایعاتی بر مقاومت سایشی بتن

میثم ولی‌زاده[۱]، گرشاسب خزائنی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* civil.eng.valizadeh@wtiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۸ **تاریخ پذیرش:** ۹۸/۷/۳۰

چکیده

امروزه از معضلات اصلی بشر حفظ محیط زیست در برابر وجود مواد ضایعاتی است. استفاده مجدد این مواد همچون لاستیک تایر ضایعاتی به عنوان جایگزینی بخشی از مصالح در ساخت بتن به عنوان یک استراتژی اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود. در این پژوهش به‌کارگیری همزمان پودر و خرده لاستیک و سیم و الیاف فولادی بازیافت شده از تایر ضایعاتی در مخلوط بتن، مورد بررسی مقاومت‌های سایشی و فشاری و وزن واحد حجم بتن قرار گرفته است. در این پژوهش در ۱۲ طرح اختلاط از جایگزینی پودر و خرده لاستیک با ماسه به مقدار ۹، ۵/۱۳، ۱۸، ۵/۲۲ و ۲۷ درصد حجمی ماسه و افزودن سیم و الیاف فولادی بازیافتی از تایر به مقدار ۵/۰ درصد حجمی استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد افزودن ۵۰٪ درصد الیاف فولادی بازیافتی به بتن حاوی ۹٪ پودر و خرده لاستیک، کاهش مقاومت فشاری را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش مقاومت سایشی می‌شود. با افزایش درصدهای جایگزینی پودر و خرده لاستیک با ماسه در مخلوط بتن همراه با ۵۰٪ درصد الیاف فولادی بازیافتی، مقاومت سایشی بتن افزایش اما مقاومت فشاری و وزن واحد حجم بتن کاهش می‌یابد. مقاومت سایشی این نوع بتن‌های حاوی مواد ضایعاتی نسبت به بتن شاهد تا ۵/۳۷٪ افزایش داشته است.

واژگان کلیدی: خرده لاستیک، تایر ضایعاتی، سیم فولادی، الیاف فولادی بازیافتی، مقاومت سایشی

۱-مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت بسیار زیاد صنعت خودروسازی و تولید و مصرف تایر کامیون‌ها و خودروهای سواری، به وجود آمدن تایرهای ضایعاتی نیز رو به رشد است. به‌کارگیری مواد ضایعاتی همچون لاستیک‌های تایر فرسوده در جهت جایگزینی با مصالح اولیه، اول منجر به کاهش آثار زیست محیطی و دوم

www.SID.ir

Archive of SID

موجب حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده می‌شود. محدود بودن منابع و حفظ محیط زیست لزوم بازیافت مواد و مصالح را اجتناب ناپذیر کرده است، برآورد شده است میلیون‌ها حلقه لاستیک تایر عمر مفید خود را هر ساله به پایان می‌رسانند و بیش از ۵۰٪ از آنها دفن و یا در محیط‌زیست رها می‌شوند [1]. بنابراین توجه به چگونگی مدیریت این مواد ضایعاتی بسیار اهمیت پیدا می‌کند که بهترین راه‌حل، بازیافت نمودن این تایرها است. استفاده از تکنیک‌های نوآورانه برای بازیافت میلیون‌ها حلقه تایر فرسوده بسیار مهم است. با این وجود بخش قابل ملاحظه‌ای از تایرهای فرسوده در برنامه‌های کاربردی مهندسی عمران، هر ساله مورد استفاده و بازیافت قرار می‌گیرد [2]. در مخلوط بتن می‌توان از اندازه‌های مختلف دانه‌های لاستیک استفاده کرد؛ از دانه‌های لاستیک با اندازه ۱۳ تا ۷۶ میلی‌متر، ۴۲۵/۰ تا ۷۵/۴ میلی‌متر و اندازه ۰۷۵/۰ تا ۴۷۵/۰ میلی‌متر به ترتیب می‌توان برای جایگزین شدن با شن، ماسه و سیمان در بتن استفاده نمود [3]. بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط برخی از پژوهشگران، استفاده از لاستیک تایر ضایعاتی در بتن باعث بهبود بسیاری از ویژگی‌های مکانیکی و دینامیکی بتن می‌شود [4]. پودر و خرده لاستیک موجود در بتن باعث محدود کردن سایش سطح بتن می‌شود، زیرا این ذرات از سطح صاف بتن خارج می‌شوند و مانند یک برس عمل می‌کنند، این عمل مقدار سایش شده را در سطح بتن کاهش می‌دهد و موجب افزایش مقاومت سایشی بتن می‌شود [5]. بتنی که دارای مقاومت در برابر سایش باشد را می‌توان در سازه‌های هیدرولیکی، تونل‌ها، پیاده‌روها، کف‌های صنعتی، بزرگراه‌های بتنی و یا در دیگر سطوح که نیروهای ساینده بین سطوح و اجسام در حال حرکت در طول بهره‌برداری وجود دارد، استفاده کرد [1]. همچنین می‌توان از سیم‌های فولادی تایر ضایعاتی به عنوان الیاف در بتن استفاده کرد، که استفاده از آنها علاوه بر رفع مشکل زیست محیطی، موجب افزایش یافتن مقاومت بتن می‌شود [6]. وجود قطعات لاستیک معمولاً به دلیل کاهش شدید مقاومت بتن، جایگزین مناسبی برای سنگدانه‌ها به نظر نمی‌رسد. با این حال مقدار ۵٪ از لاستیک در بتن تأثیر زیادی بر مقاومت بتن نمی‌گذارد [3]. با این وجود می‌توان با جایگزینی درصد کمی از قطعات لاستیک و استفاده از الیاف فولادی تایر ضایعاتی در این نوع بتن‌ها بخشی از کاهش مقاومت را بهبود بخشید و از دیگر مزایای خواص آن بهره‌مند شد.

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد مقاومت‌های فشاری، کششی و مدول الاستیسیته بتن حاوی ذرات لاستیک، نسبت به بتن شاهد کاهش داشته است و هرچه مقدار لاستیک افزایش می‌یابد، کاهش مقاومت‌ها نیز بیشتر می‌شود [7-10]. همچنین نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اندازه ذرات لاستیک نیز مانند مقدار آن، بر مقاومت بتن تأثیرگذار است و ریزتر بودن اندازه‌های لاستیک در بتن، کاهش مقاومت فشاری بیشتری را ایجاد می‌کند [11, 12]. وزن مخصوص بتن با وجود ذرات لاستیک کاهش می‌یابد و هرچه مقدار ذرات لاستیک بیشتر شود، کاهش وزن مخصوص نیز بیشتر می‌شود [7]. نتایج پژوهش گسوگلو و همکاران نشان می‌دهد با افزودن ۱۰ و ۲۰ درصد پودر لاستیک، مقاومت سایشی بتن به ترتیب حدود ۵۹ و ۸۱ ٪ افزایش داشته است و اینکه ذرات لاستیک کوچکتر از ۱ میلی‌متر مقاومت سایشی بالاتری نسبت به ذرات درشت، در بتن ایجاد می‌کنند. [13]. در پژوهش دیگری با اینکه ذرات لاستیک باعث کاهش مقاومت سایشی بتن شده اما ذرات ریز لاستیک به صورت مجزا نسبت به ذرات درشت، بهتر عمل کرده و ترکیب هر دو اندازه (عبوری از الک شماره ۶ و ۲۰) بهترین عملکرد را داشته است [14]. توماس و همکاران از ذرات لاستیک با دانه‌بندی ۶/۰ میلی‌متر (۴۰٪)، ۸ ٪ تا ۲ میلی‌متر (۳۵٪) و ۲ تا ۴ میلی‌متر (۲۵٪) با مقدارهای ۵/۲ تا ۲۰٪ در بتن استفاده نمودند. در نسبت‌های مختلف آب به سیمان مقدار سایش بتن حاوی لاستیک، کمتر و یا مشابه بتن شاهد است. و با افزایش مقدار لاستیک مقاومت سایشی بتن نیز افزایش یافته است [1]. در پژوهش گانسان و همکاران مقاومت سایشی بتن حاوی ۱۵٪ خرده لاستیک با اندازه کوچکتر از ۷۵/۴ میلی‌متر، ۲۰٪ افزایش یافته است [15]. اما در پژوهش گریدج و همکاران افزودن ۱۰٪ لاستیک با اندازه ۵/۰ تا ۴ میلی‌متر، مقاومت سایشی را افزایش، ولی افزودن ۲۰ و ۳۰٪ لاستیک، مقاومت سایشی را نسبت به بتن شاهد کاهش داده است [16]. در پژوهشی عنوان شده است بتن حاوی ذرات

www.SID.ir

Archive of SID

لاستیک نسبت به بتن حاوی میکروسیلیس مقاومت سایشی بهتری از خود نشان داده است [17].

حسنی و همکاران در تحقیقی از الیاف فولادی بازیافتی از تایر با قطر ۱ میلی‌متر و مقدار ۵/۰ درصد حجمی، در بتن حاوی ۵۰ و ۱۰۰٪ سنگدانه بازیافتی ناشی از نخاله‌های ساختمانی استفاده نمودند. نتایج نشان داده است که افزودن این الیاف‌ها در بتن‌های شاهد و حاوی ۵۰ و ۱۰۰٪ سنگدانه بازیافتی، به ترتیب باعث بهبود ۲/۳، ۳/۱۰ و ۹/۳ درصدی مقاومت فشاری آنها شده است [6]. سنگول از الیاف‌های فولادی بازیافتی از تایر با سه قطر متفاوت ۳/۰، ۶/۰ و ٤/۱ میلی‌متر در بتن استفاده کردند. بیشترین مقاومت فشاری مربوط به بتن حاوی ٤۰ kg/m^3 الیاف با قطر ۶/۰ میلی‌متر است که معادل افزایش ۶/۸ درصدی است. ایشان همچنین بر اساس بهینه سازی که انجام دادند بیان کرده‌اند، استفاده از الیاف فولادی تایر ضایعاتی می‌تواند یک راه حل مناسب برای بازیافت آن در بتن الیافی باشد [18]. سنتونز و همکاران بیان کرده‌اند، بی‌نظمی هندسی الیاف فولادی بازیافتی از تایر با متوسط قطر ۲٤/۰ میلی‌متر در بتن، ترک خوردگی را به تأخیر می‌اندازد و در نهایت مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. با استفاده از فوق روان‌کننده به نظر می‌رسد که می‌توان به اندازه کافی به کارآیی مشابه بتن شاهد دست یافت، همچنین رفتار مکانیکی پس از ترک خوردگی با استفاده از الیاف فولادی تایر، بهبود می‌یابد [19].

۲- روش‌های آزمایش

در این پژوهش پس از اندازه‌گیری دقیق مصالح و اختلاط کامل آنها، آزمون روانی بتن توسط دستگاه اسلامپ طبق استاندارد ASTM C143 انجام گرفت. برای عدم چسبندگی بین قالب و بتن داخل قالب‌های فلزی روغن‌کاری انجام شد. بتن‌ریزی و تراکم بتن بر اساس استاندارد BS 1881 انجام گرفت. نمونه‌ها بعد از ٢٤ ساعت از ساخت برای عمل‌آوری به مدت ۷ و ۲۸ روز برای آزمایش مقاومت فشاری و مدت ۲۸ روز برای آزمایش مقاومت در برابر سایش سطوح افقی بتن در حوضچه آب قرار داده شدند. آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر و بر اساس استاندارد BS1881 انجام گرفته است (شکل ۱). برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها از ۳ آزمونه در هر سن استفاده شد.

شکل ۱. دستگاه و نمونه‌ی آزمایش مقاومت فشاری

Fig. 1. Compressive strength test machine and specimen

برای آزمایش مقاومت سایشی سطوح افقی بتن از دستگاه ساخته شده با شماره ثبت اختراع ۲۹٦۷۵ الف/۸۹ مستقر در دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است. در این دستگاه ۸ آزمونه اسلایسی به صورت همزمان مورد آزمایش سایش سطح بتن قرار می‌گیرند. شکل (۲) دستگاه و نمونه‌های آزمایش شده مقاومت سایشی بتن را نشان می‌دهد. برای انجام آزمایش، وزن نمونه‌ها قبل از قرارگیری در دستگاه توسط ترازوی آزمایشگاهی ثبت شد و سپس بعد از انجام آزمایش به میزان ۱۰۰۰ دور چرخش سایش توسط غلطک دوار فلزی با نیروی ۲۰۰ کیلوگرم، دو مرتبه وزن آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقاومت بتن در برابر سایش (مقایسه‌ای)، از اختلاف کاهش وزن آزمونه‌های اسلایسی آزمایش مذکور استفاده شد. مقدار سایش نمونه‌ها نسبت به نمونه‌ی شاهد مقایسه شده‌اند و میزان کاهش یا افزایش مقاومت سایشی آنها گزارش شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲. دستگاه و نمونه‌های آزمایش مقاومت سایشی

Fig. 2. Abrasion resistance test machine and specimens

برای بدست آوردن وزن واحد حجم نیز از نمونه‌های مکعبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۱/۰ گرم و کولیس دیجیتالی استفاده شده است.

۳- مواد و مصالح مصرفی

۳-۱- سنگدانه‌ها

در این پژوهش سنگدانه‌ها از معادن غرب شهر تهران تهیه شده است. حداکثر اندازه درشت‌دانه سنگی مصرفی ۵/۱۲ میلی‌متر، وزن مخصوص ۶۱/۲ gr/cm^3 و درصد جذب آب آن ۳/۱ است. درشت‌دانه سنگی در محیط آزمایشگاه دو مرتبه شسته شدند تا عاری از هرگونه گرد و غبار باشند. ریزدانه سنگی از نوع ماسه طبیعی دو بار شسته است. وزن مخصوص ۲/۶۰ gr/cm^3، درصد جذب آب ۲/۲ و مدول نرمی آن ۱۸/۳ است. منحنی دانه‌بندی و حد استاندارد سنگدانه‌ها در شکل (۳ و ٤) نشان داده شده است.

شکل ۳. منحنی دانه‌بندی درشت‌دانه مصرفی طبق استاندارد ASTM C33

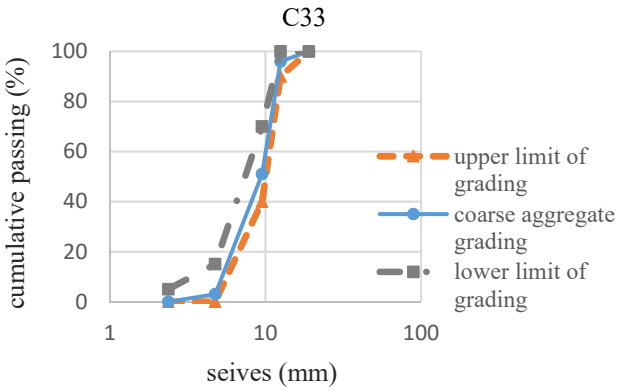

Fig. 3. Grading of coarse aggregate according to ASTM C33 standard

شکل ٤. منحنی دانه‌بندی ریزدانه مصرفی طبق استاندارد ASTM C33

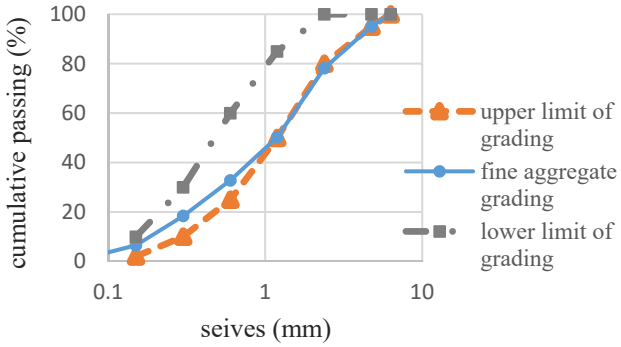

Fig. 4. Grading of fine aggregate according to ASTM C33 standard

۳-۲- سیمان

در مخلوط‌های بتن از سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان تهران که مطابق با مشخصات مطرح شده در استاندارد ASTM-C150 و استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ تولید شده است استفاده شده است.

۳-۳- فوق روان کننده

فوق روان‌کننده مصرفی بر پایه پلی‌کربوکسیلات و نسل چهارم روان‌سازهای بتن، فاقد یون کلراید، و مطابق با استاندارد ASTM C494 (TYPE F) و ASTM C1017 (TYPE I) است، که مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فوق روان کننده

Density (gr/cm³)	pH	Colour
1.05	7 ± 1	Brown

Table 1. Properties of super plasticizer

۳-٤- ذرات لاستیک

پودر و خرده لاستیک مصرفی از لاستیک‌های تایر ضایعاتی کامیون و از شهرک صنعتی اشتهارد تهیه شده است. وزن مخصوص آن ۱۵۵/۱ gr/cm^3 است و در آزمایشگاه به اندازه‌های مختلف الک شماره ٤ تا ۸، ۸ تا ۱٦ و الک شماره ۱٦ تا ۵۰ دانه‌بندی و از مواد زائد پاک شده است (شکل ۵).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵. ذرات لاستیک تایر ضایعاتی

Fig. 5. Waste tire rubber particles

۳-۵- سیم و الیاف فولادی

در این پژوهش از سیم و الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر ضایعاتی به مقدار ۵/۰ حجمی معادل ۳۹ kg/m^3 به منظور بررسی تأثیر آن بر بتن‌های حاوی پودر و خرده لاستیک، استفاده شده است که دارای وزن مخصوص ۷۸۰۰ kg/m^3 می‌باشد. سیم‌های فولادی طوقه در لبه‌های لاستیک که در این پژوهش به نام سیم فولادی نام برده می‌شوند، به شکل پیوسته و طول بسیار بلندی هستند که قابل استفاده در مخلوط بتن نیستند؛ از این‌رو در آزمایشگاه به قطعات کوچک و مشابه طول الیاف فولادی لاستیک تایر بریده شدند. سیم و الیاف فولادی بازیافتی از سایر مواد زائد تفکیک شده است. اندازه الیاف فولادی بازیافتی با متوسط قطر حدوداً ۳/۰ میلی‌متر و طول ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر است. این الیاف‌ها دارای نسبت طول به قطر بالاتری نسبت به سیم فولادی هستند. شکل (٦) الیاف فولادی بازیافتی را که سعی شده است عاری از ذرات لاستیک چسبیده به آن باشد، و جداسازی الیاف‌های پیچ خورده لاستیک‌دار را نشان می‌دهد. سیم فولادی نیز تقریباً با مقطع مستطیلی با متوسط ابعاد حدوداً ۲×٤/۱ میلی‌متر و طول ۱۵ تا ٤۰ میلی‌متر است که در شکل (۷) نشان داده شده است.

شکل ٦. الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر ضایعاتی

Fig. 6. Recycled steel fiber from waste tire

شکل ۷. سیم فولادی بازیافتی از لاستیک تایر ضایعاتی

Fig. 7. Recycled steel wire from waste tire

٤- روش و نسبت‌های اختلاط

در این پژوهش نسبت‌های مخلوط با توجه به دستورالعمل استاندارد ACI 211 طراحی شده است. عیار سیمان ۳۸۰ و نسبت آب به سیمان در تمامی طرح‌ها ٤۷/۰ ثابت است. در این پژوهش نمونه‌های مختلف با نمونه شاهد مقایسه می‌شوند و سعی شده است روانی نمونه‌ها نزدیک به بتن شاهد باشد، بدین منظور از فوق روان‌کننده استفاده شد. در ۲ طرح اختلاط از ۲ نوع دانه‌بندی پودر و خرده لاستیک به میزان ۹٪ حجمی ماسه استفاده شده است. به نحوی‌که در یک طرح میزان ذرات ریز لاستیک بیشتر است. در دیگر طرح‌ها، الیاف و سیم فولادی بازیافت شده از لاستیک تایر به صورت مجزا و ترکیب با یکدیگر، به مخلوط بتن حاوی ۹ درصد پودر و خرده لاستیک افزوده شده است. سپس با توجه به نتایج آزمایش مقاومت سایشی بتن، طرح شماره (٦) با درصدهای مختلف ۵/۱۳، ۱۸، ۵/۲۲ و ۲۷٪ درصد پودر و خرده لاستیک ساخته شده تا مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

روش اختلاط این‌گونه بوده است که در ابتدا مصالح ریزدانه و درشت‌دانه سنگی در مخلوط‌کن ریخته و با یکدیگر مخلوط شدند. سپس پودر و خرده لاستیک به مخلوط اضافه شدند. بعد از اختلاط کامل، مقداری از آب و کل سیمان مصرفی در داخل مخلوط‌کن ریخته و مخلوط شدند. در انتها از مقدار آب باقی‌مانده و فوق روان کننده محلولی ساخته شد و به مخلوط بتن افزوده شد تا تمامی مصالح ساخت بتن به صورت همگن با یکدیگر مخلوط شوند. همچنین اختلاط طرح‌های بتن حاوی الیاف و سیم فولادی بازیافت شده از لاستیک تایر به این‌گونه صورت گرفته است که افزودن الیاف و سیم فولادی بازیافتی بعد

www.SID.ir

Archive of SID

از اختلاط تمامی مصالح انجام گرفته است و به میزانی مخلوط شدند تا بتنی با ظاهری کاملاً یکنواخت ایجاد شود. الیاف و سیم فولادی بازیافتی به صورت آهسته به مخلوط در حال چرخش پاشیده شده است تا سعی شود پراکندگی و یکنواختی الیاف در کل مخلوط بتن به دست آید. در مجموع ۱۳ طرح اختلاط ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است که در جدول (۲) مقادیر مختلف مصالح در واحد حجم برای نمونه‌های مختلف نشان داده شده است.

در جدول (۲) نمونه PC نشان دهنده طرح اختلاط بتن شاهد است. RX نشان دهنده جایگزینی پودر و خرده لاستیک با ماسه است که دارای دانه‌بندی لاستیک با اندازه‌های ۳۸/۲ تا ۷۵/٤ میلی‌متر (۲۵ درصد)، ۱۹/۱ تا ۳۸/۲ میلی‌متر (۳۵٪) و ۳/۰ تا ۱۹/۱ میلی‌متر (٤۰٪) است. همچنین RY نشان دهنده دانه‌بندی لاستیک با اندازه‌های ۳۸/۲ تا ۷۵/٤ میلی‌متر (۵۰٪)، ۱۹/۱ تا ۳۸/۲ میلی‌متر (٤۰٪) و ۳/۰ تا ۱۹/۱ میلی‌متر (۱۰٪) است. و درصد حجمی جایگزینی با عددی که بعد از RX و RY آمده است، نشان داده می‌شود. حرف W و F به ترتیب نشان دهنده افزودن سیم و الیاف فولادی بازیافت شده از لاستیک تایر به بتن شاهد و بتن حاوی پودر و خرده لاستیک است، درصد حجمی افزودن آن به صورت عددی که بعد از حرف W و F آمده است مشخص می‌شود.

جدول ۲. جزئیات طرح‌های اختلاط بتن (kg/m^3)

Mix Design Number	Mix Design Name	Cement (kg)	Gravel (kg)	Sand (kg)	Rubber particles (kg)	Steel wire (kg)	Steel fibre (kg)	Super plasticizer (kg)	Slump (mm)
1	PC	380	930	832	-	-	-	0.57	70
2	RX9	380	930	757.1	33.3	-	-	0.57	75
3	RY9	380	930	757.1	33.3	-	-	0.76	70
4	RX9-W0.5	380	930	757.1	33.3	39	-	1.14	75
5	RY9-W0.5	380	930	757.1	33.3	39	-	1.14	70
6	RX9-F0.5	380	930	757.1	33.3	-	39	1.52	70
7	RY9-F0.5	380	930	757.1	33.3	-	39	1.90	65
8	RX9-W0.25-F0.25	380	930	757.1	33.3	19.5	19.5	1.52	75
9	RY9-W0.25-F0.25	380	930	757.1	33.3	19.5	19.5	1.71	70
10	RX13.5-F0.5	380	930	719.7	49.9	-	39	1.90	65
11	RX18-F0.5	380	930	682.2	66.5	-	39	2.09	65
12	RX22.5-F0.5	380	930	644.8	83.2	-	39	2.28	65
13	RX27-F0.5	380	930	607.4	99.8	-	39	2.28	60

Table 2. Concrete mixture details (kg/m^3)

۵- نتایج و بحث

۵-۱- آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به نتایج در شکل (۸) مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری بتن‌های حاوی ۹ درصد پودر و خرده لاستیک نسبت به بتن شاهد کاهش دارند. این کاهش مقاومت برای بتنی که دارای لاستیک با دانه‌بندی ریزتر است (نوع RX)، بیشتر می‌باشد، که در مقایسه با نتایج دیگر پژوهش‌ها [11,20-22] هماهنگی دارد. دلیل آن می‌تواند این باشد که پودر لاستیک در مخلوط بتن، تعداد پیوندهای ضعیف بیشتری را به علت بالا بودن سطح تماس ذرات پودر لاستیک نسبت به خرده لاستیک ایجاد می‌کند، و این پیوندهای ضعیف باعث گسیختگی زودتر در نمونه‌های حاوی پودر لاستیک نسبت به خرده لاستیک می‌شود [21]. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کمترین میزان کاهش مقاومت فشاری مربوط به بتن حاوی ۹٪ پودر و خرده لاستیک نوع RY همراه با ۵/۰ درصد الیاف فولادی (F0.5) است. می‌تواند دلیل آن درشت‌تر بودن دانه‌بندی لاستیک و همچنین وجود میزان مناسب الیاف فولادی و نسبت طول به قطر بالای آن نسبت به سیم فولادی باشد.

با توجه به شکل (۹) افزودن الیاف فولادی به بتن‌های حاوی ۹ درصد پودر و خرده لاستیک میزان کاهش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه آنها را بهبود بخشیده است. که دلیل آن می‌تواند مقاومت کردن الیاف فولادی در برابر فشار و همچنین نگه‌داشتن خرده‌های لاستیک موجود در بتن در یک ماتریس منسجم‌تر نسبت به حالت بدون الیاف باشد [23]. بهبود یافتن مقاومت فشاری با افزودن الیاف فولادی به این نوع بتن‌ها، بسیار بیشتر از افزودن سیم فولادی (سیم طوقه) و یا ترکیب با یکدیگر می‌باشد. در نتایج دیگر پژوهش‌ها نیز افزایش مقاومت فشاری بتن توسط الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر دیده می‌شود [6,24].

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۸. مقاومت فشاری بتن شاهد و بتن‌های حاوی ۹ درصد لاستیک همراه با سیم و الیاف فولادی

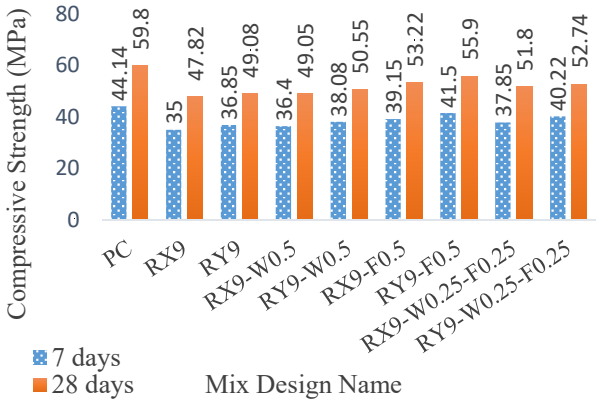

Fig. 8. Compressive strength of control concrete and concretes containing 9% rubber with wire and steel fiber

شکل ۹. تأثیر استفاده از سیم و الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن‌های حاوی ۹ درصد لاستیک

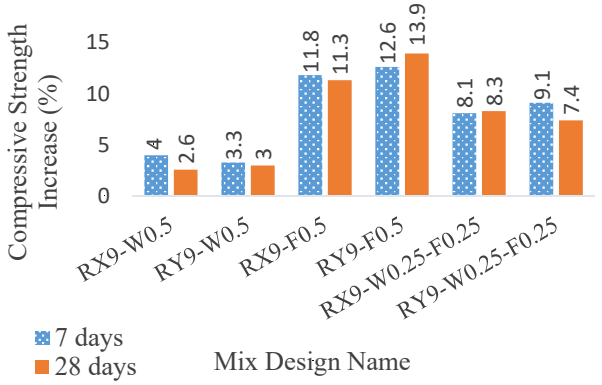

Fig. 9. Effect of wire and steel fibers on compressive strength of concrete containing 9% rubber

با توجه به نتایج مقاومت سایشی بتن، متغیر درصدهای جایگزینی پودر و خرده لاستیک همراه با ۰/۵ درصد الیاف فولادی در طرح شماره (٦) مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج مقاومت فشاری آنها در شکل (۱۰) آورده شده است. با توجه به مقاومت فشاری کسب شده در بتن‌های حاوی ۹، ۱۳/۵، ۱۸، ۲۲/۵ و ۲۷ درصد پودر و خرده لاستیک همراه با ۰/۵ درصد الیاف فولادی می‌توان عنوان کرد هر چقدر میزان جایگزینی پودر و خرده لاستیک در بتن افزایش یابد، مقاومت فشاری بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه کاهش بیشتری پیدا می‌کند. این کاهش مقاومت عمدتاً به دلیل عدم چسبندگی کافی بین ذرات لاستیک و خمیر سیمان نسبت به چسبندگی سنگدانه با خمیر سیمان است [3, 7]. از آنجا که مقاومت فشاری بتن به خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه بستگی دارد و ذرات لاستیک با بخشی از سنگدانه جایگزین می‌شود که دارای مقاومت کمتر نسبت به سنگدانه است، طبیعتاً کاهش مقاومت فشاری قابل درک است.

شکل ۱۰. مقاومت فشاری بتن حاوی درصدهای مختلف لاستیک همراه با الیاف فولادی

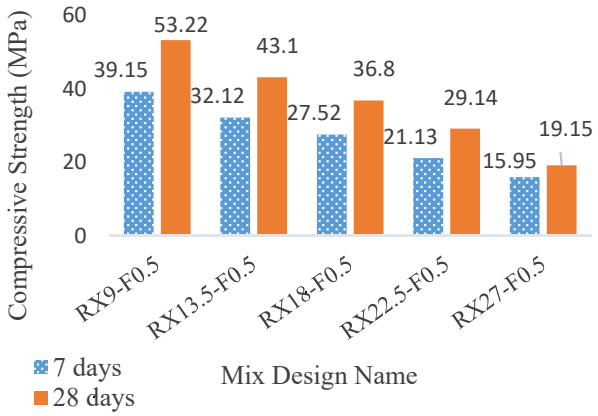

Fig. 10. Compressive strength of concretes containing various percentages of rubber with steel fibers

۵-۲- آزمایش مقاومت سایشی

در شکل (۱۱) نتایج نشان می‌دهد با اینکه پودر و خرده لاستیک مقاومت سایشی بتن را افزایش نداده است، ولی با این وجود، پودر و خرده لاستیک نوع RX نسبت به نوع RY در بتن، مقاومت سایشی بهتری از خود نشان داده است. می‌توان عنوان نمود اگر در بتن از دانه‌بندی ریزتر لاستیک استفاده شود مقاومت سایشی بالاتری نسبت به بتن حاوی خرده لاستیک بدست می‌آید. این موضوع در مقایسه با نتایج پژوهش‌های گذشته [13, 14] نیز دیده می‌شود. زیرا در تمامی طرح‌ها (حاوی الیاف و سیم فولادی) مشخص شده است نمونه‌هایی که دارای لاستیک با ذرات ریز بیشتری هستند مقاومت سایشی بهتری کسب نموده‌اند. اندازه قطعات لاستیک به طور قابل توجه‌ای بر مقاومت سایشی بتن اثرگذار است. و این افزایش مقاومت سایشی ممکن است به علت اثر فیبر ذرات لاستیک و حفظ یکپارچگی بیشتر خمیر سیمان باشد [13]. همان‌طور که مشهود است بهترین عملکرد مربوط به نمونه‌ی حاوی پودر و خرده لاستیک می‌باشد که در آن از ۰/۵ درصد الیاف فولادی استفاده شده (طرح RX9-F0.5) که باعث افزایش ۵/۷ درصدی مقاومت سایشی نسبت به بتن

www.SID.ir

Archive of SID

شاهد شده است. با استدلال از نتایج آزمایش‌ها می‌توان عنوان کرد در بتن‌های حاوی پودر و خرده لاستیک، اگر میزان پودر نسبت به خرده لاستیک در مخلوط بتن بیشتر باشد و از ۵/۰ درصد الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر که دارای نسبت طول به قطر بالایی هستند استفاده شود، مقاومت سایشی بتن بهبود می‌یابد. در غیر این صورت استفاده از سیم فولادی (سیم طوقه) تأثیر مثبتی بر مقاومت سایشی این نوع بتن‌ها نخواهد گذاشت.

شکل ۱۱. میزان سایش بتن شاهد و بتن‌های حاوی ۹ درصد لاستیک همراه با سیم و الیاف فولادی

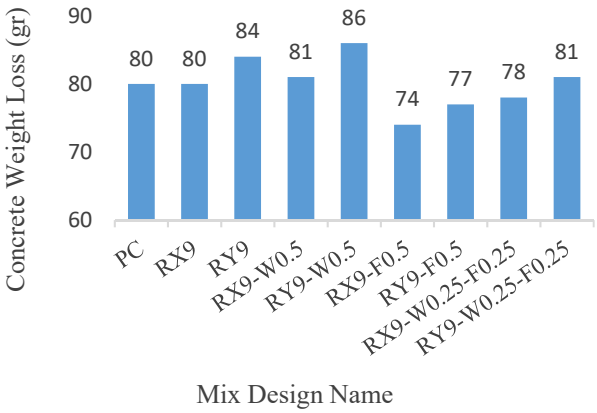

Fig. 11. Abrasion of control concrete and concretes containing 9% of rubber with wire and steel fibers

همان‌طور که بیان شد با توجه به نتایج مقاومت سایشی، طرح شماره (٦) که کمترین مقدار سایش را داشته است مورد بررسی متغیر درصدهای جایگزینی پودر و خرده لاستیک همراه با ۵/۰ درصد الیاف فولادی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۱۲) آمده است. با جایگزینی ۹، ۵/۱۳، ۱۸، ۵/۲۲ و ۲۷ درصد پودر و خرده لاستیک با ماسه همراه با ۵/۰ درصد الیاف فولادی در بتن، مقاومت فشاری کاهش یافت اما در شکل (۱۲) شاهد افزایش یافتن مقاومت سایشی این نوع بتن‌ها نسبت به بتن شاهد هستیم. در بسیاری از پژوهش‌ها استفاده از ذرات لاستیک در بتن، نتایج مثبت و منفی بر مقاومت سایشی بتن داشتند اما در این پژوهش دیده شد با افزودن ۵/۰ درصد الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر در این نوع بتن‌ها می‌توان نتایج تحقیقاتی [7, 17, 25] را تأیید نمود که عنوان داشتند با افزایش مقدار ذرات لاستیک مقاومت سایشی بتن افزایش می‌یابد. بیان شده است پودر و خرده لاستیک موجود در بتن باعث محدود کردن سایش سطح بتن می‌شود، زیرا این ذرات از سطح صاف بتن خارج می‌شوند و مانند یک برس عمل می‌کنند، این عمل مقدار سایش شده را در سطح بتن کاهش می‌دهد، و موجب افزایش مقاومت سایشی بتن می‌شود [5، 7]. با این حال در این پژوهش مانند پژوهش گریدچ و همکاران [16] مشخص شده است افزایش مقاومت سایشی تا درصد خاصی از جایگزینی پودر و خرده لاستیک بدست می‌آید. به نحوی که افزایش مقاومت سایشی تا جایگزینی ۱۸ درصد پودر و خرده لاستیک افزایش داشته و بعد از آن کمتر شده است و پیش‌بینی می‌شود اگر در این پژوهش از درصدهای بالاتر جایگزینی پودر و خرده لاستیک استفاده می‌شد، حتی کاهش مقاومت سایشی نسبت به بتن شاهد رخ می‌داد. مقاومت سایشی بتن حاوی ٪۱۸ پودر و خرده لاستیک همراه با ۵/۰ درصد الیاف فولادی بازیافتی از لاستیک تایر معادل ۵/۳۷ درصد نسبت به بتن شاهد افزایش داشته است.

شکل ۱۲. میزان سایش بتن حاوی درصدهای مختلف لاستیک همراه با الیاف فولادی

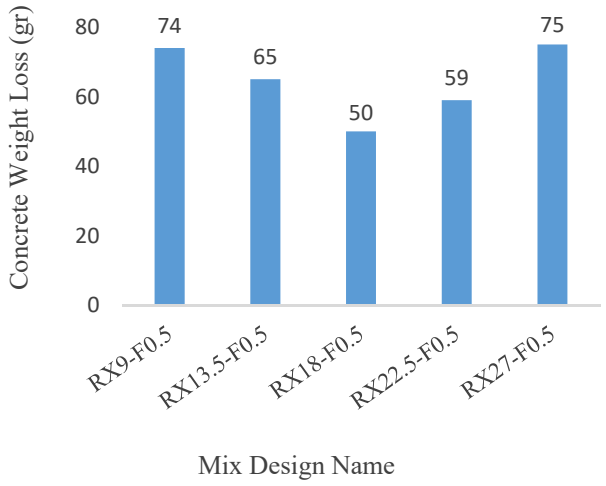

Fig. 12. Abrasion of concretes containing various percentages of rubber with steel fibers

۵-۳- وزن واحد حجم

جدول (۳) نشان می‌دهد وزن واحد حجم بتن با جایگزینی پودر و خرده لاستیک با ماسه در بتن کاهش می‌یابد و هرچه مقدار جایگزینی بیشتر می‌شود کاهش وزن واحد حجم بتن نیز افزایش می‌یابد. همچنین برای طرح‌هایی که حاوی ٤٪ پودر و خرده لاستیک (با و بدون سیم و الیاف فولادی) است، لاستیک نوع RX نسبت به نوع RY در بتن باعث کاهش وزن مخصوص

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتری شده است که با نتایج دیگر پژوهش‌ها [21, 26] نیز همخوانی دارد. با این حال تأثیر اندازه ذرات لاستیک نسبت به مقدار جایگزینی آن بسیار ناچیز است. کاهش وزن مخصوص بتن‌های حاوی ذرات لاستیک به دو عامل بستگی دارد: ۱- توانایی پودر و خرده لاستیک برای جذب هوا در سطح ناهموار خود ۲- پایین بودن وزن مخصوص آن نسبت به سنگدانه که با درصدی از سنگدانه در مخلوط بتن جایگزینی می‌شود. در طرح اختلاط به روش وزنی به دلیل اینکه ذرات لاستیک وزن مخصوص کمتری نسبت به سنگدانه در بتن دارد، حجم بیشتری از مخلوط را اشغال می‌کند که این امر منجر به کاهش وزن مخصوص بتن می‌شود [22].

جدول ۳. تغییر وزن در واحد حجم نمونه‌ها نسبت به بتن شاهد

Mix Design Number	Mix Design Name	Density (kg/m^3)	Change relative to control concrete (%)
1	PC	2385	-
2	RX9	2303	-3.4
3	RY9	2310	-3.1
4	RX9-W0.5	2325	-2.5
5	RY9-W0.5	2340	-1.9
6	RX9-F0.5	2319	-2.8
7	RY9-F0.5	2332	-2.2
8	RX9-W0.25-F0.25	2321	-2.7
9	RY9-W0.25-F0.25	2337	-2.0
10	RX13.5-F0.5	2279	-4.4
11	RX18-F0.5	2236	-6.2
12	RX22.5-F0.5	2192	-8.1
13	RX27-F0.5	2146	-10.0

Table 3. Weight change per unit volume of specimens relative to control concrete

٦- نتیجه‌گیری

- جایگزینی دانه‌بندی ریز نسبت به دانه‌بندی درشت لاستیک با ماسه در مخلوط بتن تأثیر بهتری بر مقاومت سایشی بتن ایجاد نموده است، اما برای مقاومت فشاری بتن بالعکس بوده است.

- افزودن سیم فولادی بازیافتی (سیم طوقه) به بتن حاوی پودر و خرده لاستیک مقاومت سایشی را کاهش داده و تأثیر مثبتی نیز بر مقاومت فشاری بتن ایجاد نکرده است. اما الیاف فولادی بازیافتی که دارای نسبت طول به قطر بالایی است مقاومت سایشی و فشاری این نوع بتن‌ها را بهبود بخشیده است.

- با جایگزینی پودر و خرده لاستیک با ماسه مقاومت فشاری بتن کاهش پیدا کرده و هرچه مقدار جایگزینی پودر و خرده لاستیک افزایش یافته است. طبیعتاً با افزایش جایگزینی، کاهش مقاومت فشاری نیز بیشتر می‌شود.

- با وجود ۵/۰ درصد الیاف فولادی بازیافتی مقاومت سایشی بتن‌های حاوی درصدهای مختلف پودر و خرده لاستیک افزایش یافته است، به نحوی‌که مقاومت سایشی نسبت به بتن شاهد ۲/٦ تا ۵/۳۷٪ افزایش داشته است.

- می‌توان بتن‌هایی که در معرض سایش سطوح مانند پیاده‌روها، کف کارخانه‌ها، پارکینگ‌های طبقاتی و غیره قرار دارند را از این نوع بتن‌هایی که دارای مقاومت سایشی بالاتری هستند ساخت و مورد استفاده قرار داد.

- از مزایای این نوع بتن‌ها کاهش دادن وزن مخصوص بتن است که علاوه بر سبک‌سازی بتن، باعث حذف مواد ضایعاتی نیز می‌گردد و کمک شایانی به حفظ محیط زیست می‌نماید.

۷- تشکر و قدردانی

از جناب آقای مصطفی قرشی مسئول آزمایشگاه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس برای همکاری در ساخت و آزمایش‌ها نمونه‌ها و همچنین از جناب آقای دکتر ابوالفضل حسنی برای هماهنگی‌های لازم کمال تشکر را داریم.

۸- مراجع

References

[1] Thomas B. S., Kumar S., Mehra P., Gupta R. C., Joseph M. & Csetenyi L. 2016 Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles. Construction and Building Materials, 124, 906-909.

[2] ETRMA. 2011 End of life tyres: A valuable resource with growing potential. europeantyre and rubber manufacturers association. Brussels, Belgium.

[3] Ganjian S., Khorami M. & Maghsoudi A. A. 2009 Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. Construction and Building Materials, 23, 1828-1836.

[4] Behfarnia K., Hasanzadeh M., Etemadi M. & Azimifar F. Mechanical properties of waste ground tire rubberized concrete. 1th National Conference on Concrete, Tehran, 2009. (In Persian)

[5] Thomas B. S. & Gupta R. C. 2016 Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. Journal of Cleaner Production, 113, 86-92.

[6] Hasani A., Ahmadi M. & Soleymani M. 2015 Role of recycled steel fibers from tires on concrete containing

www.SID.ir

Archive of SID

recycled aggregate from building waste. Concrete Research Quarterly Journal, **7**(2), 57-68. (In Persian)
[7] Thomas B. S., Gupta R. C., Kalla P. & Cseteneyi L. 2014 Strength, abrasion and permeation characteristics of cement concrete containing discarded rubber fine aggregates. Construction and Building Materials, 59, 204-212.
[8] Gesoglu M., Guneyisi E., Khoshnaw G. & Ipek S. 2014 Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers. Construction and Building Materials, 63, 206-213.
[9] Onuaguluchi O. & Panesar D. K. 2014 Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume. Cleaner Production, 82, 125-131.
[10] Parveen., Dass S. & Sharma A. 2013 Rubberized concrete: needs of good environment (overview). Emerging Technology and Advanced Engineering, **3**(3), 192-196.
[11] Youssf O., ElGaeady M. A., Mills J. E. & Ma X. 2014 An experimental investigation of crumb rubber concrete confined by fibre reinforced polymer tubes. Construction and Building Materials, 53, 522-532.
[12] Yung W. H., Yung L. C. & Hua L. H. 2013 A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 41, 665-672.
[13] Gesoglu M., Guneyisi E., Khoshnaw G. & Ipek S. 2014 Abrasion and freezing-thawing resistance of pervious concretes containing waste rubbers. Construction and Building Materials, 73, 19-24.
[14] Sukontasukkul P. & Chaikaew C. 2006 Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. Construction and Building Materials, 20, 450-457.
[15] Ganesan N., Raj B. & Shashikala A. P. 2012 Strength and durability of self compacting rubberized concrete. Indian Concrete Journal, 15-24.
[16] Grdic Z., Toplicic-Curcic G., Ristic N., Grdic D. & Mitkovic P. 2014 Hydro-abrasive resistance and mechanical properties of rubberized concrete. GRADEINAR, **66**(1), 11-20.
[17] Kang J., Zhang B. & Li G. 2012 The abrasion-resistance investigation of rubberized concrete. Journal of Wuhan University of Technology-Materials. Sci. Ed, 27(6), 1144-1148.
[18] Sengul O. 2016 Mechanical behavior of concretes containing waste steel fibers recovered from scrap tires. Construction and Building Materials, 122, 649-658.
[19] Centonze G., Leone M. & Aiello M. A. 2012 Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: amechanical characterization. Construction and Building Materials, 36, 46-57.
[20] Mohammadnezhad M. & Vafaei Najaran Yazdi A. H. Study application of concrete containing waste crumb ruuber in concrete blocks. Conference of Civil Students Across the Country, Orumieh, Iran, 2014. (In Persian)
[21] Karbalaei M. Study of mechanical properties of concrete containing waste crumb rubber. Unpublished MSc Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Iran, 2009. (In Persian)
[22] Albano C., Camacho N., Reyes J., Feliu J. L. & Hernandez M. 2005 Influence of scrap rubber to portland I concrete composites: destructive and non-destructive testing. Composite Structures, **71**(3-4), 439-446.
[23] Zarei A. & Hassani A. 2018 Evaluation of Recycled Products from Worn Tires Effect on the Mechanical Properties of Concrete Pavement. Modares Civil Engineering Journal, 18 (6), 143-153. (In Persian)
[24] Aiello M. A., Leuzzi F., Centonze G. & Maffezzoli A. 2009 Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: pull-out behaviour, compressive and flexural strength. Waste Management, 29, 1960-1970.
[25] Hashemi S. M. Study the effect of rubber powder and silica-fume on compressive strength and abrasion resistance of concrete. Unpublished MSc Thesis, Taft Branch-Islamic Azad University, Iran, 2017. (In Persian)
[26] Sukontasukkul P. 2009 Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. Construction and Building Materials, 23(2), 1084-1092.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of simultaneous effect of rubber and recycled steel fibers from waste tire on the abrasion resistance of concrete

Meisam Valizadeh[1], Garshasb Khazaeni[2*]

1- M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[*]**khazaeny@gmail.com**

Abstract:

Nowadays, one of the main problems of human being is the protection of the environment against the presence of waste materials. Every year millions of tires are discarded, thrown away or buried all over the world. One of these waste materials, waste tires are. Wired tires are made of rubber particles and steel fibers. Past research has shown that rubber particles and recycled steel fiber from waste tire, can be used in concrete. This type of steel fibers can have a positive effect on the mechanical properties of concrete. Rubber particles in concrete reduce the compressive strength. In some studies, it has been shown that rubber particles increase or decrease the abrasion resistance of concrete, and even the size of the rubber particles also affect the abrasion resistance of concrete. In this research, simultaneous application of powder and crumb rubber, wire and recycled steel fibers from waste tire in concrete mixture, has been investigated to study the abrasion and compressive strengths and unit weight of concrete. In this research, in 12 mixing designs, replacing of powder and crumb rubber with sand to the amount 9%, 13.5%, 18%, 22.5% and 27% by volume of sand and adding 0.5% by volume of wire and recycled steel fibers from waste tire has been used. In all designs, the cement cutie is 380 and the ratio of water to cement is 0.47 constant. In this research, different samples are compared with the control sample. Compressive strength were performed after 7 and 28 days. Also, abrasive resistance and weight per unit volume were performed after 28 days. The results of the experiments show that rubber particles with a fine gradation will have a better impact on the abrasion resistance. But this is not so that about compressive strength and it reduces more resistance. Based on the results, adding 0.5% recycled steel fibers with a length ratio to high diameter to concrete containing 9% of powder and crumb rubber, reduction in compressive strength improves and cause increased abrasion resistance. But the adding steel wire to concrete containing powder and crumb rubber reduces the abrasion resistance. Use the powder and crumb rubber with 0.5% recycled steel fibers, reduces the compressive strength and by increasing the amount of powder and crumb rubber, reduction of resistance will be more. The abrasion resistance of concrete containing powder and crumb rubber with with 0.5% recycled steel fibers is increased relative to the control concrete. By increasing the powder and crumb rubber content, the abrasion resistance increases, but this upward trend occurs to a certain percentage of powder and crumb rubber replacement with sand, and then the percentage of increasing abrasion resistance decreases. By increasing the powder and crumb rubber, weight loss will be increased. From this perspective, it causes the lightness of concrete which can be the advantage of using these waste materials in concrete. The abrasion resistance of concrete containing 9% of powder and crumb rubber with 0.5% recycled steel fibers has increased up to 37.5% relative to the control concrete.

Keywords: crumb rubber, waste tire, steel wire, recycled steel fiber, abrasion resistance

www.SID.ir