

## نقش الیاف فلزی بازیافتی از لاستیک خودرو بر بتن حاوی سنگ‌دانه‌های بازیافتی ناشی از نخاله‌های ساختمانی

محسن احمدی

کارشناسی ارشد دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

ابوالفضل حسینی\*

استاد دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

محمدرضا سلیمانی کرمانی

استادیار پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه، مسکن و شهرسازی

### چکیده

محدود بودن منابع و حفظ محیط زیست، لزوم بازیافت مواد و مصالح را اجتناب ناپذیر کرده است. نخاله‌های حاصل از ساخت‌وساز و تخریب پتانسیل مناسبی برای بازیافت دارند. این مواد معمولاً بدون استفاده در زمین رها شده و یا دفن می‌شوند لذا، بازیافت آن‌ها ضمن حل مشکلات زیست محیطی باعث حفظ منابع طبیعی محدود نیز می‌گردد. نخاله‌های ساختمانی را می‌توان پس از تفکیک و خرد کردن، سرند کرده و به‌عنوان سنگدانه در ساخت بتن استفاده کرد. همچنین در صنعت بازیافت، آنچه پس از بازیافت لاستیک‌های فرسوده بجا می‌ماند پودر لاستیک و سیم‌های فلزی است. لذا، استفاده از این سیم‌های فلزی در بتن علاوه بر رفع مشکل زیست محیطی، باعث بهبود خصوصیات مکانیکی بتن نیز می‌گردد. در این تحقیق به بررسی نقش الیاف فلزی بازیافتی در بتن حاوی سنگ‌دانه‌های بازیافتی پرداخته شده است. درصد جایگزینی این نوع سنگدانه‌ها با درشت‌دانه‌های طبیعی به میزان ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ و میزان الیاف به کار رفته در طرح اختلاط‌ها ۵٪/۰ حجم بتن می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزودن الیاف فلزی بازیافتی به بتن با سنگدانه‌های بازیافتی، کمبود مقاومت این نوع بتن‌ها جبران می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: نخاله‌های ساختمانی، بتن، الیاف فلزی بازیافتی.

\* نویسنده مسئول: Hassani@modares.ac.ir

## ۱- مقدمه

بتن به پارامترهایی همچون مقاومت سنگدانه‌های بازیافتی، درصد جای‌گزینی سنگدانه‌ها، نسبت آب به سیمان و شرایط رطوبتی سنگدانه‌های بازیافتی، وابسته است [۵].

## ۲- مرور ادبیات

در مطالعه‌ای کارنیرو و همکاران در خصوص بررسی جایگزینی مصالح بازیافتی با ترکیب از ۵۵٪ ملات، ۲۰٪ بتن و ۲۵٪ آجر پرداختند. بتن با ۲۵٪ سنگدانه‌ای بازیافتی مقاومت بیشتری نسبت به بتن با سنگدانه‌های طبیعی دارد. علت افزایش مقاومت بتن با این سنگدانه‌ها تغییر در خرابی بتن (شکست سنگدانه‌ها) به علت چسبندگی بهتر سنگدانه‌های بازیافتی با خمیر سیمان می‌باشد [۵]. مطالعات دباب و کنای بررسی جایگزینی خرده آجر به عنوان سنگدانه در بتن است. کاهش مقاومت فشاری بتن با جایگزینی خرده آجر به عنوان درشت‌دانه، ریزدانه و هر دو به ترتیب ۳۵٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ در نظر گرفته شده است [۶]. و جیحو همکاران به بررسی درشت‌دانه‌ای بازیافتی بجای سنگدانه‌های طبیعی پرداختند. میزان کاهش مقاومت فشاری بتن حاوی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ سنگدانه‌های بازیافتی به ترتیب ۴٪، ۱۲٪، ۲۲٪ و ۲۷٪ گزارش شده است. نتایج نشان داد که درصد بهینه درشت‌دانه‌های بازیافتی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌باشد [۷]. زیانو و همکاران به مطالعه‌ی استفاده از درشت‌دانه‌های بازیافتی به میزان ۳۰٪ تا ۱۰۰٪ پرداختند و نتایج نشان داد که تا ۳۰٪ جایگزینی این گونه مصالح کاهش مقاومت فشاری بتن ناچیز می‌باشد [۸].

چوی و یان نشان دادند که استفاده همزمان از درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. دلیل این افزایش مقاومت به چسبندگی بالاتر درشت‌دانه‌های بازیافتی و خمیر سیمان نسبت داده شده است. افزایش چسبندگی بین سنگدانه‌های بازیافتی و خمیر سیمان بعلاوه تیز گوشه‌گی سنگدانه‌ها و ملات چسبیده قدیمی به سطح سنگدانه‌ها می‌باشد. سطح زبر و ناصاف سنگ‌دانه‌ها باعث نفوذ خمیر سیمان به حفرات درشت‌دانه‌های بازیافتی می‌شود که باعث گیرش بهتر خمیر سیمان و سنگ‌دانه می‌شود [۹].

به طور کلی سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت کمتری نسبت به سنگدانه‌های طبیعی دارند و به علت جذب آب بیشتر، بتن حاوی این گونه سنگ‌دانه‌ها مقاومت کمتری نسبت به بتن معمولی دارند.

در تهران روزانه بیش از ۴۲ هزار تن آوار ساختمانی دفع می‌شود [۱]. این حجم زیاد آوار تولیدی در تهران و به تبع آن در سایر کلان شهرها پیامدهای زیستی نامطلوبی دارد [۲]. یکی از راهکارها در مدیریت مصالح این گونه آوارها، بازیافت و استفاده مجدد از آن‌ها می‌باشد. نخاله‌ها را می‌توان بعد از جداسازی خرد نموده و بعد از سرند کردن به عنوان سنگدانه در بتن استفاده کرد.

سالانه در جهان حدود ۱ میلیارد حلقه لاستیک فرسوده بر محیط زیست تحمیل می‌شود که تنها ۳۳٪ آن به طور کامل بازیافت می‌گردد و باقی مانده آن یا در طبیعت رها شده و یا سوزانده و دفن می‌شود که سهم کشورمان در این میان، مصرف سالانه ۷ میلیون حلقه معادل ۲۰۰ هزار تن می‌باشد [۳]. یکی از راهکارهای ارائه شده برای کاهش میزان آلودگی این مواد به محیط زیست، بازیافت و استفاده مجدد از آنهاست. آنچه که پس از بازیافت لاستیک بجا می‌ماند معمولاً پودر لاستیک، سیم‌های فلزی و دیگر مواد زائد است. پودر لاستیک مجدداً در صنایع دیگر مانند تولید لاستیک‌های نو و یا قیر لاستیکی استفاده می‌شود اما باقی مانده مواد بازیافتی بدون استفاده در طبیعت رها می‌شوند. از سیم‌های فلزی موجود در باقی مانده بازیافت لاستیک خودرو می‌توان به عنوان الیاف در بتن استفاده کرد، که استفاده از آنها علاوه بر رفع مشکل زیست محیطی، باعث افزایش مقاومت بتن می‌گردد.

استفاده از سنگ‌دانه‌های بازیافتی ناشی از تخریب روسازی‌ها به عنوان جای‌گزین سنگ‌دانه در بتن از سال ۱۹۴۲ در آمریکا شروع شد [۴]. امروزه اکثر حجم نخاله‌های ساختمانی در کشورهای صنعتی ترکیبی از بتن است اما، در ایران آمارها نشان می‌دهند که بیشتر ساختمان‌های ساخته شده در دهه ۵۰ و قبل از آن در دست تخریب است که عمدتاً از نوع بنایی (آجری با سقف طاق ضربی) بوده و به ندرت با اسکلت بتنی می‌باشند [۱]. نخاله‌های موجود در کشور علاوه بر بتن مواد دیگری همچون آجر، خرده سنگ و دیگر مواد نیز موجود می‌باشد.

افزایش و کاهش مقاومت بتن با استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در گزارش‌ها آمده است، به طوری که تغییر در مقاومت این نوع

روز، آزمون‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیر مستقیم و مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت

#### ۴- مصالح مصرفی

##### ۴-۱- سنگدانه‌های طبیعی

سنگدانه‌های طبیعی استفاده شده در این تحقیق از نوع رودخانه‌ای سیلیسی می‌باشد که از معادن اطراف شهر تهران تهیه شده است. مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های مصرفی در جدول ۱ نشان داده شده است. در شکل‌های ۱ و ۲ دانه‌بندی و محدوده مربوط به دانه‌بندی شماره ۲ نشریه ۱۰۱ نشان داده شده است. همانطور که نمودارها نشان می‌دهد دانه بندی مصالح طبیعی مذکور در محدوده‌ی استاندارد قرار دارد.

##### ۴-۲- سنگدانه‌های بازیافتی

سنگدانه‌های بازیافتی مورد استفاده فقط درشت‌دانه بوده که ترکیبی از ۴۳/۲٪ خرد بتن، ۲۸/۶٪ خرد سنگ‌های ساختمانی، ۱۴/۲٪ خرد سرامیک و ۱۴/۰٪ خرد آجر می‌باشد. دانه‌بندی این نوع سنگ‌دانه‌ها مشابه با درشت‌دانه‌های طبیعی می‌باشد. همچنین مشخصات فیزیکی این نوع سنگدانه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

##### ۴-۳- سیمان

سیمان استفاده شده در این مطالعه از نوع پرتلند تیپ ۲، تولید کارخانه آبیگ، با توده ویژه  $3 \text{ gr/cm}^3$  و  $3/11$  و سطح ویژه  $27 \text{ gr/cm}^2$  است. در جدول ۲ مشخصات شیمیایی این سیمان نشان داده شده است.

##### ۴-۴- الیاف

الیاف فلزی به همراه دیگر مواد بازیافتی همچون ذرات لاستیک خودرو از یک کارگاه واقع در ساوه تهیه شده و سپس الیاف با قطر ۱ میلی‌متر از سایر مواد زائد تفکیک شده است. یکی از ویژگی‌های مهم الیاف که تاثیر به سزایی در افزایش مقاومت بتن دارد، نسبت ظاهری یا نسبت طول به قطر آن است. معمولاً نسبت ظاهری برای الیاف ۳۰ تا ۱۵۰ می‌باشد [۵]. به منظور بررسی تاثیر الیاف فولادی بازیافتی بر روی خواص مکانیکی بتن در طرح

راهکارهای گوناگونی برای جبران این کاهش مقاومت پیشنهاد شده است. افزودن خاکستر بادی، میکروسیلیس، افزایش مقدار سیمان و استفاده از انواع الیاف از جمله آن‌ها می‌باشد.

پراساد و همکارانش از خرده نخاله‌های ساختمانی و خرده بتن به عنوان سنگدانه‌های بازیافتی به میزان ۵۰٪ و ۱۰۰٪ و همچنین از الیاف شیشه‌ای و پلی پروپیلن در بتن استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت بتن کاهش می‌یابد اما با افزودن الیاف کاهش مقاومت جبران می‌شود. همچنین الیاف شیشه‌ای نسبت به الیاف پلی پروپیلن عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند [۱۰]. در مطالعه دیگری ویتلاکیلاوا از نخاله‌های ساختمانی و خرده بتن به صورت جداگانه به عنوان سنگدانه‌های بازیافتی به میزان ۱۰۰٪ به همراه الیاف پلی پروپیلن استفاده کرد. بر طبق گزارش ایشان سنگدانه‌های بازیافتی از خرده نخاله‌های ساختمانی نسبت به خرده بتن عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند [۱۱]. آوچات و کانه از خرده بتن به همراه الیاف فولادی و پلیمری در بتن استفاده کردند. بررسی‌ها نشان داد با افزایش الیاف در بتن با سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت‌های فشاری و خمشی افزایش می‌یابد [۱۲]. در مطالعه دیگری صدرممتازی و همکارانش از خرده بتن به میزان ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ به همراه الیاف پلی پروپیلن در بتن استفاده کردند طبق گزارش ایشان با افزایش سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش الیاف، مقاومت فشاری بتن به میزان ناچیزی کاهش می‌یابد [۱۳]. در مطالعه‌ای که توسط جاگاناداها راثو و همکاران بر روی الیاف شیشه‌ای در بتن با سنگدانه‌های بازیافتی انجام شد نتایج نشان داد که با افزایش الیاف تا ۰/۳٪ حجم بتن مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی افزایش می‌یابد [۱۴].

#### ۳- روش تحقیق

در این پژوهش سنگدانه‌های بازیافتی به میزان ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ جایگزین درشت‌دانه‌های طبیعی و همچنین از سیم‌های فلزی بازیافتی از لاستیک خودروهای فرسوده به عنوان الیاف با درصد حجمی ۰/۵٪ استفاده شده است و به منظور بررسی اثر سنگدانه‌ها بر مقاومت بتن از دانه‌بندی یکسان برای مصالح طبیعی و بازیافتی استفاده شده است. پس از ساخت بتن و عمل‌آوری بعد از ۲۸

شکل با ابعاد  $100 \times 100 \times 500$  میلیمتر تحت آزمون خمشی ۴ نقطه‌ای براساس استاندارد ASTM C1018 انجام گردید.

## ۷- نتایج و بحث

### ۷-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نتایج آزمون مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی در شکل ۳ آمده است. با توجه به شکل مذکور مشاهده می‌شود که با افزایش مصالح بازیافتی مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. میانگین مقاومت فشاری در نمونه شاهد (بدون الیاف و مصالح بازیافتی)  $37/1$  MPa می‌باشد. با جایگزینی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ مصالح بازیافتی با درشت‌دانه‌های طبیعی مقاومت فشاری به ترتیب به  $34/9$  MPa و  $33/5$  MPa می‌رسد. بنابراین مقاومت فشاری در هر دو نمونه نسبت به بتن شاهد بترتیب  $94/1$ ٪ و  $90/4$ ٪ می‌باشد. این کاهش مقاومت با نتایج آقایان دباب و کنای مطابقت دارد. طبق گزارش ایشان کاهش مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روز با جایگزینی درشت‌دانه، ریزدانه و هر دو به ترتیب ۳۵٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ می‌باشد [۶]. این مقدار کاهش مشاهده شده در مقاومت فشاری به علت مقاومت کم سنگدانه‌های بازیافتی، مخصوصاً سرامیک و آجر نسبت به مصالح طبیعی می‌باشد. مطابق با شکل ۳ با افزودن الیاف به میزان ۰/۵٪ در بتن با ۵۰٪ و ۱۰۰٪ سنگ‌دانه‌های بازیافتی باعث می‌شود که مقاومت فشاری بتن نسبت به حالت بدون الیاف به ترتیب به میزان  $3/2$ ٪،  $10/3$ ٪ و  $3/9$ ٪ افزایش یابد. عامل اصلی بر مقاومت فشاری بتن مقاومت سنگ‌دانه‌ها، خمیر سیمان و اتصال بین این دو ناحیه می‌باشد و افزودن الیاف در صورتی که نمونه‌ها به خوبی متراکم شده باشند تاثیر اندکی بر بهبود مقاومت فشاری دارد.

### ۷-۲- مقاومت کششی غیر مستقیم

نتایج آزمون مقاومت کششی غیر مستقیم در شکل ۴ آمده است. میانگین مقاومت کششی غیر مستقیم در نمونه شاهد  $3/29$  MPa می‌باشد با جایگزینی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ از مصالح بازیافتی با درشت‌دانه‌های طبیعی مقاومت کششی غیر مستقیم به ترتیب به  $3/04$  MPa و  $2/88$  MPa می‌رسد. همانند مقاومت فشاری، افزودن سنگدانه‌های بازیافتی باعث کاهش مقاومت کششی غیر مستقیم می‌شود. این نتایج با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد.

اختلاط‌ها از الیاف فولادی با قطر ۱ میلیمتر و با طول بین ۳۰ تا ۷۰ میلیمتر که معادل با نسبت ظاهری ۳۰ تا ۷۰ می‌باشد، استفاده شده است. خصوصیات الیاف فلزی بازیافتی در جدول ۳ نشان داده شده است.

## ۵- طرح اختلاط

طرح اختلاط استفاده شده در این تحقیق براساس ACI211.1-91 و به روش حجمی و با در نظر گرفتن مقاومت فشاری استوانه‌ای  $30$  MPa می‌باشد. نتایج طرح اختلاط در جدول ۴ آمده است. همچنین در جدول ۵ مقادیر مختلف مصالح در واحد حجم بتن برای نمونه‌های مختلف نشان داده شده است. در این تحقیق برای بررسی اثر سنگدانه‌های بازیافتی و الیاف مقدار نسبت آب به سیمان ثابت نگه داشته شده است. درشت‌دانه‌های بازیافتی و طبیعی قبل از اختلاط به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه ور شده‌اند و فاقد هر گونه مواد نامطلوب می‌باشند. همچنین این سنگدانه‌ها قبل از اختلاط به حالت اشباع با سطح خشک رسیده‌اند بنابراین سنگدانه‌های بازیافتی مخصوصاً خرده آجر هیچ مقدار از آب محاسبه شده در طرح اختلاط را جذب خود نمی‌کنند. همچنین ریزدانه‌های مصرفی چون در حالت خشک به مخلوط اضافه گردیده مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن به حالت اشباع با سطح خشک به آب مورد نیاز برای اختلاط اضافه گردید.

## ۶- روش‌های آزمایش

بعد از اختلاط مصالح، آزمون روانی بتن توسط دستگاه اسلامپ طبق استاندارد ASTM C143 صورت گرفت. همچنین بعد از بتن‌ریزی و عمل‌آوری به مدت ۲۸ روز، نمونه‌ها برای تعیین مقاومت‌های فشاری، کششی غیر مستقیم و خمشی مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد  $150 \times 150 \times 150$  میلیمتر و براساس استاندارد BS 1881-116 انجام گرفت. همچنین آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد  $150 \times 300$  میلیمتر طبق استاندارد ASTM C496-96 انجام گرفت. نمونه‌های تیری

می باشد اما با افزایش سنگ دانه های بازیافتی درصد شکستگی از وسط سنگ دانه ها افزایش می یابد به طوری که در نمونه بتنی با ۱۰۰٪ مصالح بازیافتی (شکل ۸) محل شکستگی تماماً از وسط سنگ دانه ها عبور کرده است. مطابق با شکل ۵ با افزودن ۰/۵٪ الیاف فلزی بازیافتی به نمونه شاهد، مقاومت خمشی به ۳/۹۱ Mpa می رسد که این مقدار الیاف باعث بهبود مقاومت خمشی به میزان ۲۸/۲٪ می شود. همچنین افزودن این مقدار الیاف به نمونه های با ۵۰٪ و ۱۰۰٪ سنگ دانه بازیافتی باعث افزایش مقاومت خمشی به ترتیب به میزان ۱۴/۰٪ و ۹/۱٪ می شود. مقاومت خمشی در نمونه های حاوی الیاف به درصد جایگزینی سنگ دانه های بازیافتی وابسته نیست به طوری که در نمونه های حاوی درصد های مختلف سنگ دانه های بازیافتی مقاومت خمشی تقریباً ۳/۹ Mpa می باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سنگ دانه های طبیعی و

بازیافتی

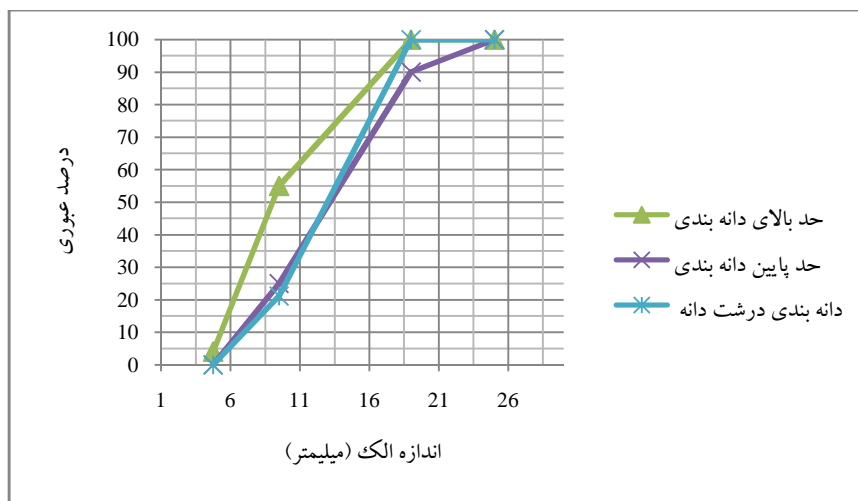
نوع سنگ دانه ها			استاندارد مربوطه	مشخصات سنگ دانه ها
ریزدانه طبیعی	درشت دانه بازیافتی	درشت دانه طبیعی		
۲/۳۸	۱۹	۱۹	ASTM C136	حداکثر اندازه ی اسمی (mm)
۲۶۰۰	۲۵۸۰	۲۶۱۰	ASTM C127	وزن مخصوص بالک (Kg/m <sup>3</sup> )
۲/۱	۶/۲۵	۱/۲۵	ASTM C127	درصد جذب آب در حالت اشباع با سطح خشک
۳/۰۳	-	-	ASTM C136	مدول نرمی

طبق گزارش وجیح و همکاران کاهش مقاومت کششی بتن با ۵۰ و ۱۰۰٪ درشت دانه های بازیافتی به ترتیب ۱۴٪ و ۲۳٪ می باشد [۷].

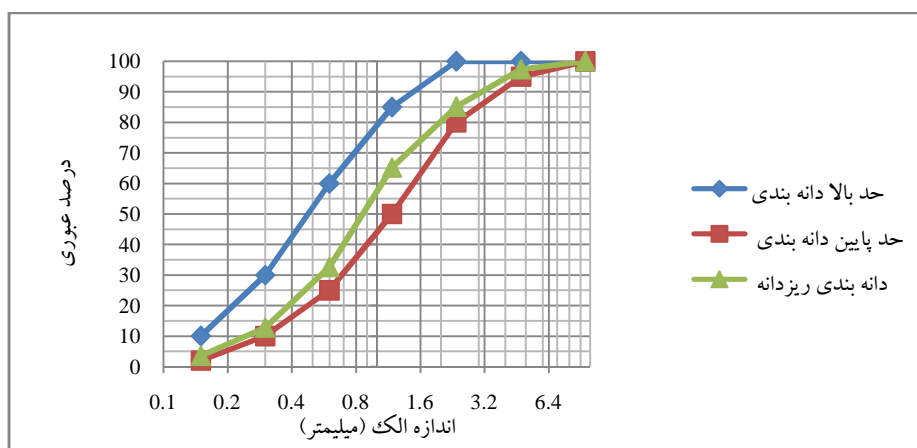
همانطور که شکل ۴ نشان می دهد با افزودن الیاف به میزان ۰/۵٪ در بتن با ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ سنگ دانه های بازیافتی باعث می شود که مقاومت کششی بتن نسبت به حالت بدون الیاف به ترتیب به میزان ۰/۴٪، ۳٪، ۲۸/۶٪ و ۳۰/۲٪ افزایش می یابد. افزودن الیاف فلزی به بتن باعث کاهش رشد ترک های بزرگ بعلا اتصال ترک ها توسط الیاف می شود که خود باعث افزایش مقاومت بتن می گردد [۵].

### ۳-۲- مقاومت خمشی

در شکل ۵ میانگین مقاومت خمشی نمونه ها با درصد های مختلف سنگدانه های بازیافتی به همراه ۰٪ و ۰/۵٪ الیاف آمده است. میانگین مقاومت خمشی در نمونه شاهد ۳/۰۵ MPa می باشد با جایگزینی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ از درشت دانه های طبیعی با مصالح بازیافتی مقاومت خمشی به ترتیب به ۳/۴۲ MPa و ۳/۵۱ MPa می رسد. بنابراین مقاومت خمشی بتن با ۵۰٪ و ۱۰۰٪ مصالح بازیافتی نسبت به بتن شاهد ۱۲۲/۰٪ و ۱۱۵/۰٪ می باشد که نشان می دهد مقاومت خمشی بتن با درصد های مختلف سنگدانه های بیش تر از بتن با سنگدانه های طبیعی می باشد. عاملی که می تواند توجیهی بر این ادعا باشد چسبندگی بهتر مصالح بازیافتی با خمیر سیمان نسبت به مصالح طبیعی می باشد. مصالح طبیعی از شن رودخانه ای با سطح صاف و گرد گوشه می باشد اما مصالح بازیافتی مصالحی شکسته شده و تیز گوشه با سطوح ناصاف می باشد افزایش چسبندگی بین سنگدانه های بازیافتی و خمیر سیمان بعلا تیز گوشگی این سنگدانه ها و ملات چسبیده قدیمی سطح سنگ دانه ها می باشد. سطح زبر و ناصاف سنگ دانه ها باعث نفوذ خمیر سیمان به حفرات درشت دانه های بازیافتی می شود و درگیری بهتری بین خمیر سیمان و سنگ دانه ها بوجود می آید [۵]. شکل های ۶ تا ۸ سطح شکست نمونه های بتنی با درصد های مختلف سنگدانه های بازیافتی را نشان می دهد. شکل ۶ مربوط به نمونه بتنی با ۰٪ مصالح بازیافتی می باشد که نشان می دهد در بعضی از قسمت ها شکستگی بتن از وسط سنگ دانه ها و در بعضی از قسمت ها از محل اتصال خمیر سیمان و سنگ دانه



شکل ۱- منحنی دانه بندی درشت دانه های طبیعی و بازیافتی



شکل ۲- منحنی دانه بندی ریزدانه مصرفی

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند تپ ۲

SO <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>
۲/۳	۳/۴	۳/۹	۵/۴	۶۴	۲۱

جدول ۳- مشخصات الیاف فلزی بازیافتی از لاستیک خودرو

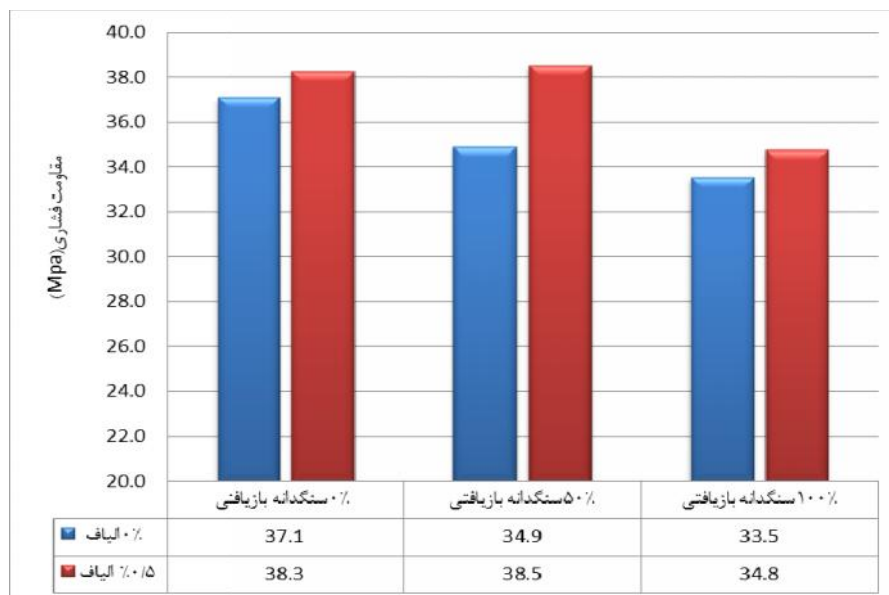
قطر الیاف (mm)	درصد افزایش طول هنگام پارگی	وزن مخصوص (kg/m <sup>3</sup> )	مدول الاستیسیته (kg/cm <sup>2</sup> )	مقاومت نهایی گسیختگی (kg/cm <sup>2</sup> )
۱	۱۰	۷۸۰۰	۴۱۰ <sup>۶</sup>	۱۸۰۰۰-۲۰۰۰۰

جدول ۴- طرح اختلاط بکاررفته در تحقیق

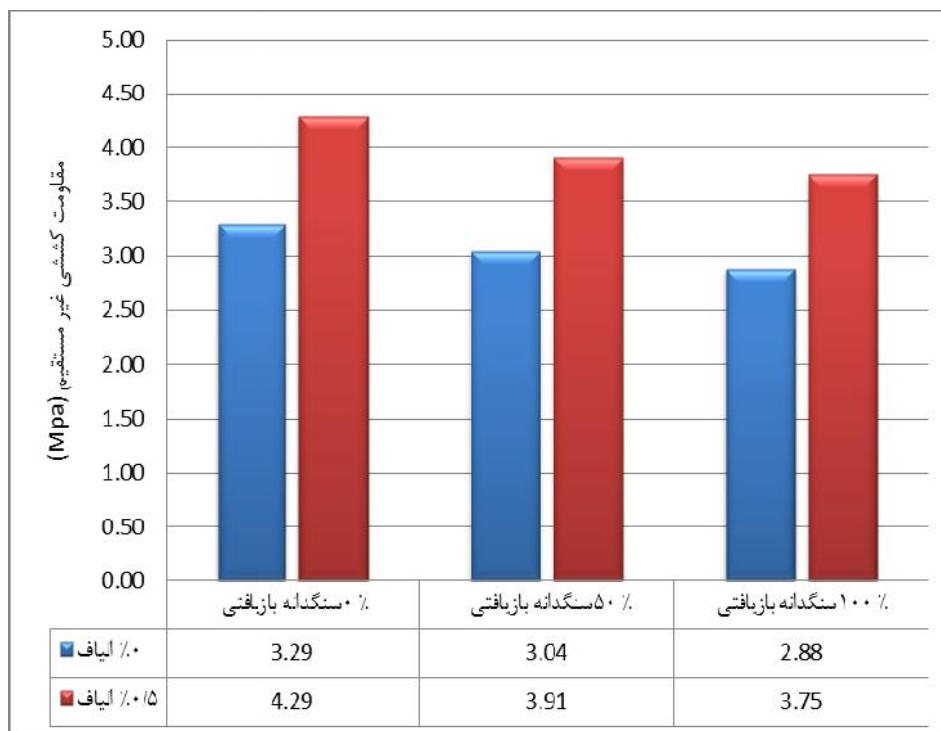
مقدار	مشخصات بتن
۳۰۰	مقاومت فشاری استوانه ایست بتن استاندارد $(\text{kg/cm}^2)$ $f_{c'}$
۳۵۲	عیار سیمان $(\text{kg/m}^3)$
۰/۵۴	w/c
۹۷۰	مقدار شن مصرفی $(\text{kg/m}^3)$
۸۳۱	مقدار ماسه مصرفی $(\text{kg/m}^3)$
۳۹	مقدار الیاف بازیافتی $(\text{kg/m}^3)$

جدول ۵- مقادیر مختلف مصالح در واحد حجم بتن

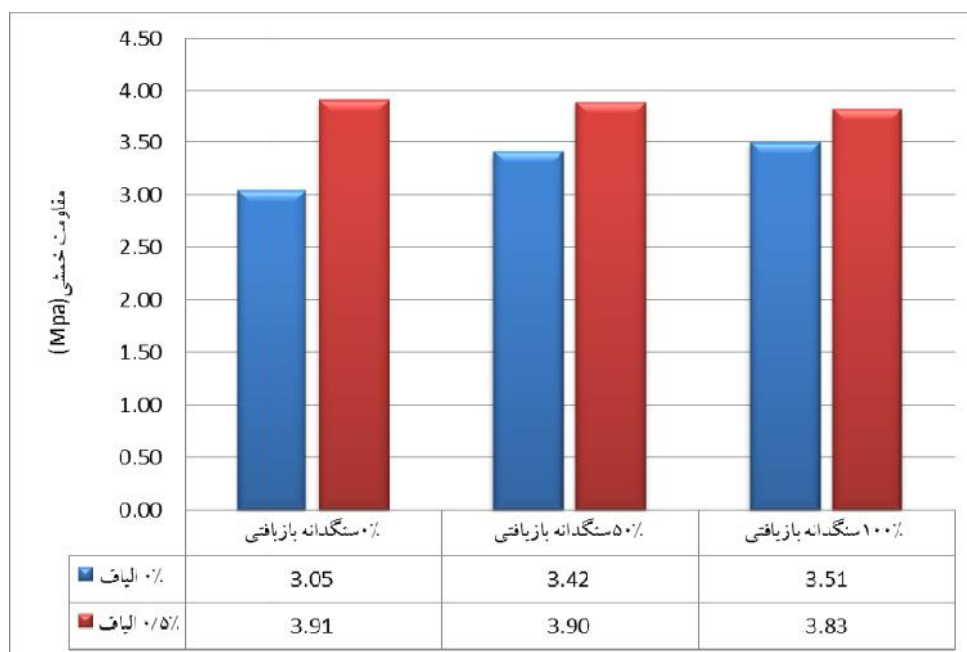
الیاف بازیافتی (kg)	آب (lits)	درشت دانه بازیافتی (kg)	درشت دانه طبیعی (kg)	ریزدانه (kg)	سیمان (kg)	نام طرح اختلاط
۰	۱۹۰	۰	۹۷۰	۸۳۱	۳۵۲	R0F0
۰	۱۹۰	۴۸۵	۴۸۵	۸۳۱	۳۵۲	R50F0
۰	۱۹۰	۹۷۰	۰	۸۳۱	۳۵۲	R100F0
۳۹	۱۹۰	۰	۹۷۰	۸۳۱	۳۵۲	R0F0/5
۳۹	۱۹۰	۴۸۵	۴۸۵	۸۳۱	۳۵۲	R50F0/5
۳۹	۱۹۰	۹۷۰	۰	۸۳۱	۳۵۲	R100F0/5



شکل ۳- مقاومت فشاری بر حسب درصدهای مختلف سنگدانه بازیافتی و الیاف

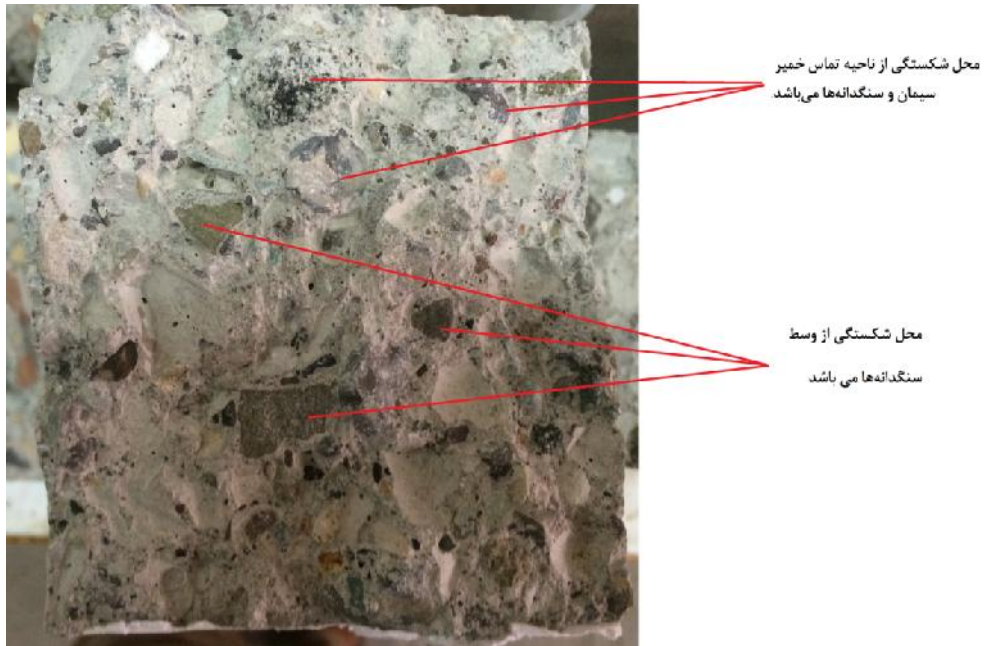


شکل ۴- مقاومت کششی غیر مستقیم بر حسب درصدهای مختلف سنگدانه باز یافتی و الیاف

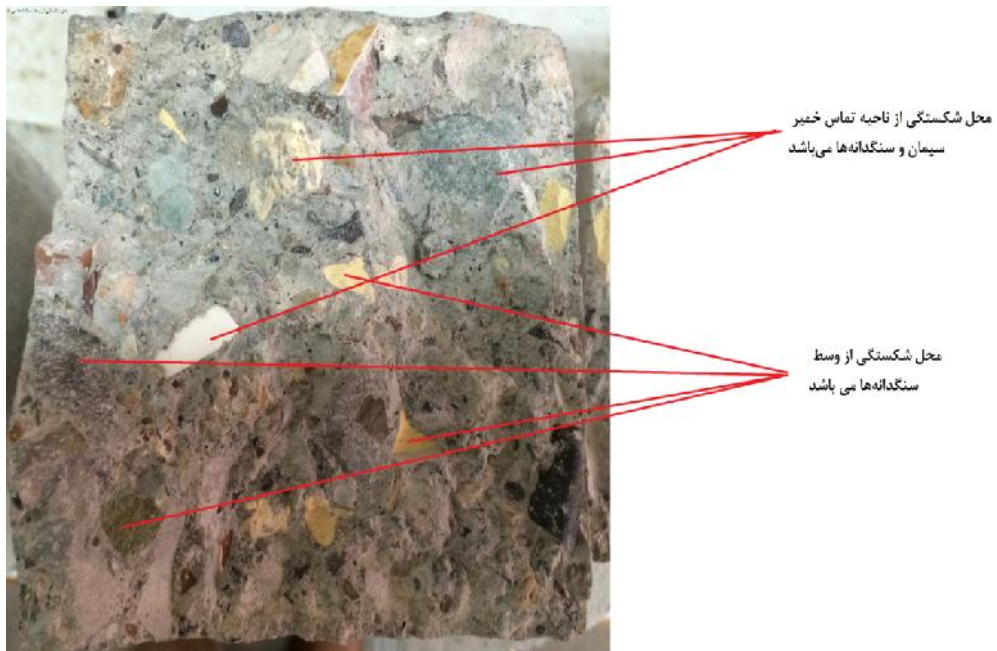


شکل ۵- مقاومت خمشی بر حسب درصدهای مختلف سنگدانه باز یافتی و الیاف

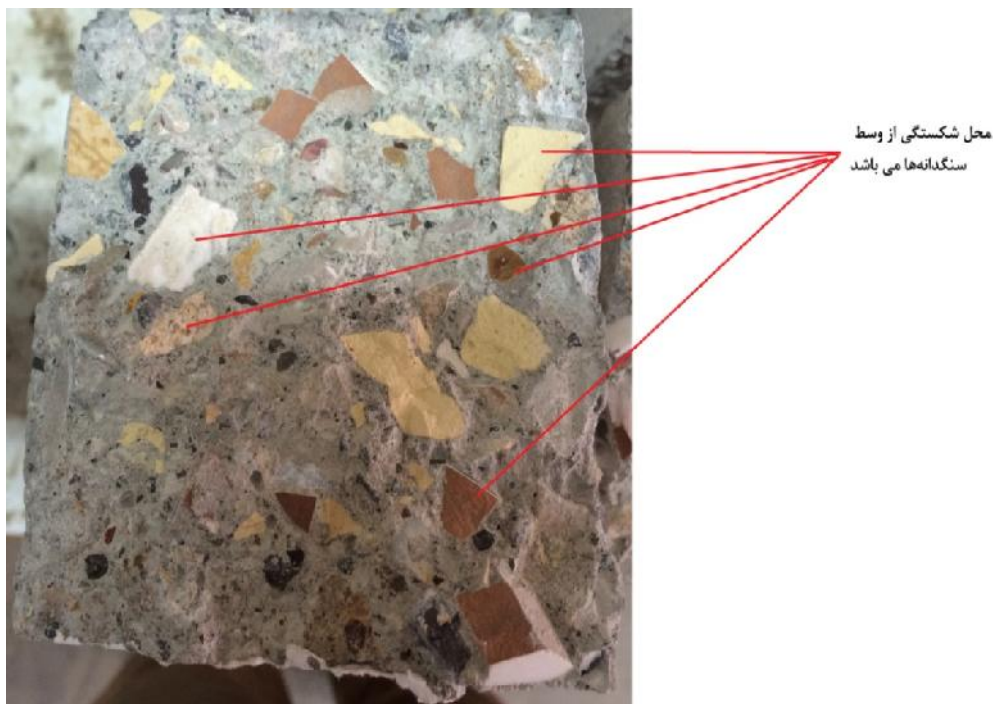




شکل ۶- سطح شکست نمونه بتنی با ۰٪ سنگ‌دانه‌های بازیافتی



شکل ۷- سطح شکست نمونه بتنی با ۵۰٪ سنگ‌دانه‌های بازیافتی



شکل ۸- سطح شکست نمونه بتنی با ۱۰٪ سنگدانه‌های بازیافتی

#### ۸- نتیجه گیری

مخلوط‌های حاوی بتن با سنگدانه‌های بازیافتی رفتار متفاوتی در مقاومت‌های فشاری، کششی غیر مستقیم و خمشی از خود نشان می‌دهد به طوری که با افزایش درصد جای‌گزینی مصالح بازیافتی مقاومت‌های فشاری و کششی غیر مستقیم کاهش، اما مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. تغییرات مقاومت بتن با سنگدانه‌های بازیافتی نسبت به سنگدانه‌های طبیعی به میزانی اندکی است و این به علت خلل و فرج و همچنین شکستگی سنگدانه‌های بازیافتی می‌باشد که این خلل و فرج باعث نفوذ خمیر سیمان به درون حفرات شده و درگیری بهتری خمیر سیمان با سنگدانه‌ها به وجود می‌آید لذا، کاهش مقاومت این گونه سنگدانه‌ها مخصوصاً آجر و سرامیک را جبران می‌کند. افزودن الیاف بازیافتی به میزان ۰/۵٪ حجم بتن باعث افزایش خواص مکانیکی بتن می‌شود اما این مقدار افزایش در مقاومت‌های کششی غیرمستقیم و خمشی بسیار بیش‌تر از مقاومت فشاری می‌باشد. به طور کلی می‌توان عنوان کرد که با افزودن الیاف به بتن با سنگدانه‌های بازیافتی کاهش مقاومت بتن به دلیل مقاومت پایین این گونه سنگدانه‌ها را می‌توان جبران کرد.

#### ۹- مراجع

- [۱]. ماجدی م ح، تابش ح، "مطالعات مقدماتی بازیافت آوارهای ساختمانی (ایستگاه آبعلی)". مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۶.
- [۲]. ماجدی م ح، مدنی ه، "مروری بر مدیریت آوارهای ساختمانی"، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۱.
- [۳]. صمدیان م، "گزارش بازیافت لاستیک"، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور تولید، ۱۳۸۵.
- [4]. M.N. James, W. Choi, T. Abu-Lebdeh, "use of recycled aggregate and fly ash in concrete pavement", American Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 2 , No. 4, pp.201-208, 2011.
- [5]. C.A. Carneiro, P.R.L. Lima, M.B. Leite, R.D.T. Filho, "Compressive stress-strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 46, pp. 886-893, 2008. 2014.
- [6]. F. Debieb, S. Kenai, "The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete", Construction and Building Material, Vol. 22, pp. 886-893, 2008.
- [7]. A.M. Wagih, H.Z. El-Karmoty, M. Ebid, S.H. Okba, "Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete", Housing and Building National

- [12]. G.D. Awchat, N.M. Kanhe, "Experimental Studies on Polymer Modified Steel Fibre Reinforced Recycled Aggregate Concrete", International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Vol. 2, pp. 126-134, 2013.
- [۱۳]. صدرممتازی ع، طهمورثی م ه، نصرتی ح، "ارزیابی خصوصیات بتن الیافی حاوی سنگ‌دانه‌های بازیافتی بتنی با استفاده از روش‌های غیر مخرب"، مجله تحقیقات بتن، سال ششم، شماره اول، ۱۳۹۳.
- [14]. K. Jagannadha Rao, T. Ahmed Khan, "Suitability of Glass Fibers in High Strength Recycled Aggregate Concrete-an Experimental Investigation", Civil Engineering (Building and Housing), Vol. 10, No.6, pp. 681-689, 2009.
- Research Center, Vol. 9, pp. 193-200, 2013.
- [8]. J. Xiao, J. Li, J. Sun, X. Hao, "Study on compressive strength of recycled aggregate concrete", Journal of Tongji University, pp. 1558-61, 2004.
- [9]. W.C. Choi, H.D. Yun, "Compressive behavior of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading", Engineering Structure, Vol. 41, pp. 285-293, 2012.
- [10]. M.L.V. Prasad, R. Kumar, "Mechanical Properties of fiber Reinforced Concretes Produced from Building Demolished Waste", Environmental Research And Development, Vol. 2 No. 2, pp. 180-187, 2007.
- [11]. V. Vytlačilova, "Behaviour of the Sustainable Fiber Reinforced Concrete with Recycled Aggregate after Loading", Mathematical Methods and Techniques in Engineering and Environmental Science, Vol. 2 No. 2, pp. 299-304, 2010.

## **Role of Recycled Steel Fibers from Tires on Concrete Containing Recycled Aggregate from Building Waste**

**M. Ahmadi**

**M.S. Department of Civil Engineering and environment, University Of TarbiatModares**

**A. Hassani\***

**Professor, Department of Civil Engineering environment, University Of TarbiatModares**

**M. Soleymani**

**Assistant Professor, Institute of Transportation, Ministry of Roads and Urban Development**

### **Abstract**

With limited material resources and fragile environment, the need to recycle materials is inevitable. Waste from construction and demolition has good potential for recycling. These materials are usually abandoned or buried in the ground without being efficiently used. Retrieve them, while solving environmental problems will also be conservation for limited natural resources. Construction waste can be separated after crushing, screening, and grading and then can be used as aggregate in concrete construction. In the recycling industry, what will be remained after recycling old tires are rubber powder and steel wires. Therefore, the use of steel wire in the concrete in addition to solving environmental problems, improve the mechanical properties of concrete too. In this study the role of recycled steel fibers in concrete containing recycled aggregates have been investigated. Rates of replacement of this type of aggregate with coarse natural aggregate are: 0%, 50% and 100%. The amount of fibers used in the mix design is 0.5% of concrete volume. The results showed that the addition of steel fibers in concrete with recycled aggregate, low resistance can be recovered.

**Keywords:** construction waste, concrete, recycled steel fiber.

---

\*Corresponding author: Hassani@modaresa.ac.ir