بررسی اثر اندازه بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی

یاسین مختاری
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان
mokhtari_yasin@yahoo.com

سید روح ا... موسوی
دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان وبلوچستان، زاهدان
s.r.mousavi@eng.usb.ac.ir

سید حجت ا... موسوی
مربی گروه مهندسی عمران، دانشگاه زابل، زابل
h.mousavi@uoz.ac.irp

چکیده

استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی در بتن امکان‌سنجی نوینی را برای بازچرخانی مواد در صنعت ساختمان‌سازی بوجود آورده است. از نکات قابل توجه در استفاده از بتن، تغییر خواص مکانیکی با تغییر اندازه نمونه‌ها می باشد که به این رفتار اثر اندازه گفته می‌شود. آزمایش مقاومت فشاری برروی نمونه‌های مکعبی با اندازه‌های متغیر، استوانه استاندارد ۳۰*۱۵ سانتی‌متر انجام‌شده و نمونه‌های مکعبی ۱۰و ۱۵ سانتی‌متر تحت آزمایش‌های جذب آب و نفوذپذیری قرار گرفته‌اند. با قرار دادن نتایج مقاومت فشاری در رابطه اصلاح شده بازانت و با استفاده از رگرسیون خطی، ضرایب تجربیα و β بدست آمد. با لحاظ کردن این ضرایب، نسبت مقاومت فشاری نمونه مکعب به استوانه استاندارد حاصل شد.

بررسی نتایج در بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی نشان می دهد افزودن ۱/۵ درصد الیاف فولادی، باعث بهبود مشخصات مکانیکی، دوام و کاهش اثر اندازه می گردد و همچنین با افزودن ۱/۵ درصد الیاف فولادی به بتن بازیافتی، مقاومت فشاری مکعب های۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ و استوانه استاندارد به ترتیب ۱۳/۱۶، ۱/۸، ۱۳/۳۹، ۱۰/۳۲ و ۱۷/۶۸ درصد افزایش می یابد و اختلاف بین مقاومت فشاری نمونه های مکعبی نسبت به نمونه استوانه استاندارد کاهش می یابد.

کلمات کلیدی

اثر اندازه – بتن بازیافتی – سنگدانه بازیافتی – الیاف فولادی – دوام.

ABSTRACT

Utilizing recycled aggregates in concrete makes new feasibility study possible for recirculation of materials in construction industry. One of the considerable points in using concrete is the alteration of mechanical properties by changing specimen size that is called size effect. Compressive strength test was conducted on cubic samples with variable sizes and standard cylinder 15*30. Water absorption and penetrability tests were conducted on 10 and 15 centimeter cubic samples. By replacing the results of compressive strength test in modified Bazantt's formula and applying linear regression, empirical coefficients of α and β were obtained. By applying these coefficients in the above formula, the ratio of compressive strength of cube sample to standard cylinder was obtained.

Examining the results for recycled concrete shows that by increasing the size of specimens, compressive strength declines which suggests the size effect on recycled concrete. In addition, adding 1.5% steel fibers to recycled concrete enhances the mechanical properties and durability and the size effect is decreased and the difference between standard cylindrical and cubic compressive strength is decreased too.

KEYWORDS
Size effect – Recycled concrete – Recycled aggregates – Steel fibers – Durability.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۶ تاریخ آخرین اصلاحات :۲۲/ ۱۳۹۷/۰۶ تاریخ پذیرش : ۳۰/ ۶ /۱۳۹۷

۱- مقدمه

استفاده از بتن در صنعت ساخت و ساز روز به روز در حال افزایش است. با توجه به محدودیت عمر سازه های بتنی و همچنین تخریب سازه های بتنی در اثر عوامل طبیعی نظیر سیل ، زلزله و ...، محیط زیست همواره با حجم انبوهی از بتن های تخریبی مواجه خواهد بود که سبب تخریب آن خواهد شد. از طرفی منابع معدنی جهت تولید سنگدانه ها نیز محدود می باشند که در آینده ای نه چندان دور ناگزیر باید از این بتن های تخریبی به صورت سنگدانه های ضایعاتی بتنی و به عنوان جایگزینی برای سنگدانه های طبیعی استفاده کرد تا بتوان منابع طبیعی را حفظ نمود.

از نکات قابل توجه در استفاده از بتن در اعضای سازه‌ای، غیر همگن بودن و ترد بودن بتن می‌باشد و چون بتن یک ماده غیر همگن و ترد است خواص مکانیکی آن با تغییر در اندازه نمونه‌ها تغییر می‌یابد، به این رفتار اثر اندازه گفته می‌شود. حال که از بتن در اعضای سازه‌ای استفاده می‌شود بایستی پدیده اثر اندازه نیز مورد توجه قرار گیرد.

به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی جسم بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر از رشته های نازک و نسبتا درازی که در تمام حجم بتن، بطور همگن و درهم پراکنده می گردد، استفاده می شود. کاربرد اینگونه رشته ها یا الیاف در بتن و بطور کلی در ملات ها قدمت تاریخی دارد [۱].

خواص مکانیکی بتن حاوی سنگدانه های ریزدانه بازیافتی توسط اوانگلیستا (Evangelista) و بریتو (Brito) در سال ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت و با انجام آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی شکاف خوردگی، مدول الاستیسیته و مقاومت سایشی این نتیجه را گرفتند که استفاده از ترکیبات بتنی بازیافتی خوب تا سقف ۳۰ درصد ویژگی های مکانیکی بتن را به خطر نمی اندازد [۵]. دل ویسو (del-Viso) و همکاران در سال ۲۰۰۷ اثر شکل و اندازه نمونه-های مکعبی و استوانه‌ای را بر روی بتن پر مقاومت مورد ارزیابی قرار دادند. آنها یک نسبت جدید بین مقاومت استوانه استاندارد و مقاومت بدست‌آمده از مکعب‌های با اندازه مختلف پیشنهاد کردند. همچنین دریافتند که نمونه های بزرگتر در مقایسه با نمونه های مشابه کوچکتر، بر حسب تنش، مقاومت کمتری داشته و اثر اندازه در نمونه های مکعبی نسبت به نمونه های استوانه ای بیشتر می باشد [۶]. مینگ‌ژی (Ming-Zhe) و همکاران در سال ۲۰۰۸ جهت بررسی تاثیر الیاف فولادی بر روی مقاومت فشاری و اثر اندازه مقاومت فشاری در بتن پودری واکنشی(Reactive Powder Concrete- RPC)، سه طرح اختلاط با مقدار مشخص الیاف فولادی به ترتیب ۰٪، ۱٪ و ۲٪ در قالب‌های مکعبی با اندازه اضلاع ۵۰، ۷۰/۷، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر مورد استفاده قرار دادند و دریافتند که با افزایش اندازه نمونه، مقاومت نمونه بتنی کاهش می یابد. [۷]. زیکا (Zeqa) و دی مایو (Di Maio) در سال ۲۰۱۱ در یک تحقیق، دوام بتن های ساخته شده با ریزدانه بازیافتی با درصدهای متفاوت صفر،۲۰ و۳۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که بتن های بازیافتی با توجه به محدودیت هایی که توسط آیین نامه های بین المللی مختلف برای بتن سازه ای نشان داده شده است، رفتار نسبتا مناسب و با دوام دارند [۸]. نوین (Nguen) و همکاران در سال ۲۰۱۲ اثر اندازه را بر روی پاسخ رفتار بتن فوق توانمند الیافی ارزیابی نمودند. آنها دو طرح اختلاط که اولی دارای ۱/۵ درصد الیاف که شامل ۱ درصد الیاف فولادی پیچ و خم‌دار و ۰/۵درصد الیاف فولادی با سطح صاف و دیگری دارای ۲درصد الیاف شامل ۱درصد الیاف فولادی پیچ و خم‌دار و ۱درصد الیاف فولادی با سطح صاف را بر روی سه اندازه از تیر با ابعاد۱۵۰*۵۰*۵۰ و۳۰۰*۱۰۰*۱۰۰ و ۴۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر مورد بررسی قرار دادند. به این نتیجه رسیدند هنگامی که اندازه نمونه کاهش پیدا می-کند مقاومت خمشی و ظرفیت انرژی جذب شده از دو طرح اختلاط به طور قابل توجه افزایش پیدا می‌کند و نیز شکل‌پذیری کشش محوری دو طرح اختلاط با ظرفیت کرنش در یک محدوده ۰/۵تا ۰/۶ درصد در اثر اندازه بر اساس آزمایش خمش چهار نقطه‌ای Four- 4PBT (Point Bending Test) تاثیرپذیر است[۹]. نیکبین و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی اثر اندازه در نمونه های مکعبی با ابعاد (۷/۵،۵ ، ۱۰ ، ۱۲/۵و۱۵) سانتی متری با سه طرح اختلاط بتن خودتراکم پرداختند. جهات بارگذاری و جایگذاری نیز به عنوان عامل مهم دیگری بر روی خواص مکانیکی بتن مورد ارزیابی قرار گرفته شد. پس از آزمایش مشخص شد که نسبت های مقاومت نمونه های استوانه استاندارد به مقاومت نمونه مکعبی با جهت بارگذاری موازی در حدود ۲۵ درصد بالاتر از موارد جهت بارگذاری طبیعی است [۱۰]. جادیلسون (Jodilson) و همکاران در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی اثر الیاف فولادی در رفتار تنش کرنش بتن بازیافتی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش سنگدانه بازیافتی حاصل از زباله های ساخت وساز وتخریب با درصدهای صفر و ۲۵ درصد جایگزین سنگدانه های طبیعی شدند. الیاف فولادی با طول۳۵ میلی متر و انتهای قلاب دار و نسبت ابعاد (نسبت طول به قطر) ۶۵ به بتن بازیافتی اضافه شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افزودن الیاف فولادی و سنگدانه‌های بازیافتی باعث افزایش مقاومت مکانیکی و اصلاح فرایند شکست نسبت به بتن مرجع می شود[۱۱]. نتایج آزمایش

های پدرو (Pedro) و همکاران در سال۲۰۱۷ برروی خواص طولانی مدت، دوام و خواص مکانیکی بتن دارای ترکیب همزمان سنگدانه درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی، کاهش مقاومت کششی و مدول الاسیسیته بتن بازیافتی را نشان می دهد [۱۲].

اضافه‌کردن الیاف نه تنها بر مقاومت‌فشاری نهایی بلکه بر رفتار بعد ازنقطه اوج منحنی تنش-کرنش بتن نیز تأثیرگذار است. الیاف، مصالح را محبوس کرده و انتشار ترک را به تأخیر می‌اندازد [۱]. در نتیجه یک افزایش در کرنش اوج و شکل‌پذیری بعد از نقطه اوج تولید می‌کند [۲]. با این وجود مقاومتی که از آزمایش نمونه‌های بتنی با اندازه

کوچکتر بدست می‌آید ممکن است با مقاومت نمونه‌های بتنی با اندازهٔ استاندارد متفاوت باشد، لذا تعیین ارتباط بین مقاومت نمونه‌های با اندازه‌های مختلف حائز اهمیت است تا با انجام آزمایش بر روی نمونه-های کوچکتر و اعمال ضرایب خاص، بتوان مقاومت نمونه‌های بزرگتر را تخمین زد. پارامتر مورد نظر و مهم در این پژوهش، اثر الیاف فولادی بر روی اثر اندازه در بتن بازیافتی می باشد. جهت ارزیابی اثر اندازه در بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی مقاومت فشاری نمونه ها در رابطه اصلاح شده بازانت قرار گرفته و با استفاده از رگرسیون خطی، ضرایب تجربی رابطه اصلاح شده بازانت محاسبه شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

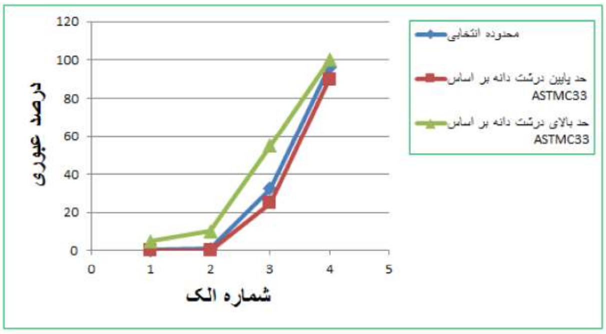
۲-۱- مشخصات مصالح مورد استفاده

مصالح سنگی مورد استفاده در این پژوهش سنگدانه های طبیعی و بازیافتی می باشد. در این پژوهش ابتدا بتن معمولی با استفاده از سنگدانه های طبیعی ساخته شد و بعد ۲۸ روز عمل آوری بتن، نمونه های بتن معمولی با استفاده از سنگ شکن خرد شده و با الک کردن نمونه های خرد شده با استفاده از الک های استاندارد، سنگدانه های بازیافتی مورد نیاز تامین گردید. در جدول۱، مشخصات فیزیکی سنگدانه های بازیافتی (Recycle Aggregate) و سنگدانه های طبیعی(Natural Aggregate) به منظور مقایسه قرار داده شده است.

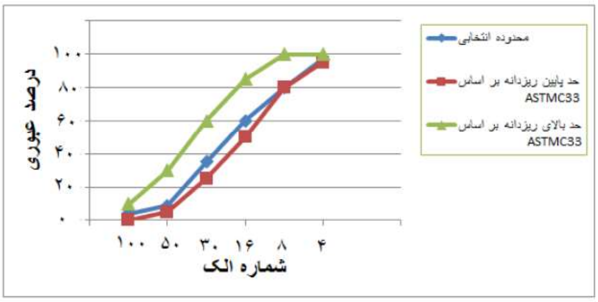
جدول۱: مشخصات فیزیکی سنگدانه بازیافتی و سنگدانه طبیعی

خصوصیات فیزیکی		جرم مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	جذب آب(٪)	اندازه بزرگ-ترین دانه mm	جرم مخصوص فضایی $\frac{kg}{m^3}$	مدول نرمی
CA	NA	۲۹۳۷	۱/۲۱	۲۵	۱۴۲۴/۶	–
	RA	۲۳۵۲/۴	۵/۲۷	۲۵	۱۱۶۶/۴	–
FA	NA	۲۵۸۵/۱	۱/۳۱	۹/۵	–	۳/۱
	RA	۲۱۶۰	۶/۰۲	۹/۵	–	۳/۱

دانه بندی سنگدانه های ریزدانه (Fine Aggregate) و درشت دانه (Coarse Aggregate) مورد استفاده در طرح اختلاط‌های بتن معمولی و بازیافتی طبق جدول۲، در محدوده توصیه شده آیین نامه ASTM C33[۱۳] قرار گرفته و منحنی دانه بندی مصالح سنگی درشت دانه و ریزدانه در نمودارهای شکل۱ و ۲ قابل مشاهده می باشد.



شکل۱: منحنی دانه بندی درشت دانه طبیعی و بازیافتی (شن)



شکل۲: منحنی دانه بندی ریزدانه طبیعی و بازیافتی (ماسه

جدول۲: محدوده توصیه شده آیین نامه ASTM C33

نوع سنگدانه	شماره الک	محدوده مجاز درصد عبوری مطابق با ASTM C33	درصد عبوری
ریزدانه	100	۰-۱۰	۳/۹
	50	۵-۳۰	۱۰
	30	۲۵-۶۰	۳۵/۸
	16	۵۰-۸۵	۶۰/۳
	8	۸۰-۱۰۰	۸۰/۸
	4	۹۵-۱۰۰	۹۶/۸
	3/8 in	۱۰۰	۱۰۰
درشت دانه	8	۰-۵	/۳۳
	4	۰-۱۰	۱
	3/8 in	۲۵-۵۵	۳۲/۳۳
	3/4 in	۹۰-۱۰۰	۹۶/۳۳

سیمان مورد استفاده در این پژوهش، سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان سیستان می‌باشد. وزن مخصوص سیمان بر اساس استاندارد ASTM C188-03 [۱۴] برابر ۲۸۹۵/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است.

همچنین برای ساخت نمونه ها و عمل آوری بتن از آب شرب استفاده شده است.

۲-۱-۱- فوق‌روان‌کننده مصرفی

در این پژوهش جهت ساخت بتن بازیافتی و جبران جذب آب سنگدانه های بازیافتی و تامین کارایی از یک فوق‌روان‌کننده با عنوان تجاری N-260-N محصول شرکت نامیکاران استفاده شده است. این فوق‌روان‌کننده مطابق با ASTM C494 Type f [۱۵] و استاندارد ۲۹۳۰ تولید شده است.

۲-۱-۲- الیاف فولادی

در این پژوهش از الیاف فولادی که بصورت دو انتها قلاب دار هستند استفاده گردیده است. این الیاف محصول کشور چین می‌باشد. رشته‌های فولادی که دارای دو برجستگی قلاب‌شکل در دو انتهای خود هستند ما بین اجزای تشکیل دهنده بتن قرارگرفته و با توزیع نامنظم خود ارتباط پیوسته‌ای بین اجزای بتن ایجاد می‌کند. این توزیع نامنظم و شکل هندسی باعث پیشگیری از ایجاد ریزترک در بتن می‌گردد.

۲-۲- طرح اختلاط

۲-۲-۱- بتن معمولی (Natural Concrete)

برای تامین سنگدانه مورد نیاز بتن بازیافتی، مقدار ۱/۵ متر مکعب بتن معمولی با طرح اختلاط جدول۳، که بر اساس آیین نامه ACI [۳] بدست آمده به عنوان بتن شاخص با نسبت های مشخص مصالح ساخته شده و در قالب های موقت و شاهد ریخته شد و به مدت ۲۸ روز در استخر آزمایشگاه عمل آوری گردید.

جدول ۳. طرح اختلاط بتن معمولی

مصالح	وزن(کیلوگرم) در یک متر مکعب
آب	۱۹۵
سیمان	۳۹۰
ماسه	۹۵۳/۹۱
شن	۸۹۷/۴۹۸

۲-۲-۲- بتن بازیافتی (Recycle Concrete)

در ساخت بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی، سنگدانه های درشت بازیافتی با همان دانه بندی بتن معمولی جایگزین شده اند و مصالح ریز دانه طبیعی به دلیل جذب آب بالای ریزدانه بازیافتی بدون جایگزینی و با همان دانه بندی مصالح ریزدانه بتن معمولی مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به جذب آب بالای سنگدانه های بازیافتی و وجود الیاف فولادی و نیاز به تامین اسلامپ در محدوده آیین نامه و در نتیجه کارایی مناسب بتن بازیافتی، در طرح اختلاط های بتن بازیافتی حداقل فوق روان کننده اضافه شد. درصد حداقل فوق روان کننده مورد نیاز با انجام چند آزمایش ۱/۵ درصد بدست آمد و مقدار ۱/۵ درصد وزن سیمان فوق روان کننده به طرح اضافه شد. در این پژوهش به دلیل بررسی اثر اندازه در بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی تمام پارامترها ثابت در نظر گرفته شد. تنها پارامتر متغیر درصد الیاف فولادی می باشد. در جدول۴، طرح اختلاط بتن بازیافتی قرار داده شده است. در این طرح اختلاط جذب آب سنگدانه در نظر گرفته شده است.

جدول۴: طرح اختلاط بتن بازیافتی (کیلوگرم بر مترمکعب)

نام طرح	RC	RCSF0.5%	RCSF 1%	RCSF 1.5%
شن	۸۹۷/۴۹۸	۸۹۷/۴۹۸	۸۹۷/۴۹۸	۸۹۷/۴۹۸
ماسه	۹۵۳/۹۱	۹۵۳/۹۱	۹۵۳/۹۱	۹۵۳/۹۱
سیمان	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰
آب	۲۵۴/۸۲	۲۵۴/۸۲	۲۵۴/۸۲	۲۵۴/۸۲
٪۱/۵ فوق روان کننده	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵
الیاف فولادی	۰	۳۹/۲۵	۷۸/۵	۱۱۷/۷۵

۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آزمایش‌ها

تعداد و نوع نمونه، سن نمونه و سایر مشخصات مربوط به نمونه ها در جدول۵ و نامگذاری طرح‌ها در جدول۶، بیان شده است. ابتدا سطوح داخلی قالب‌ها با روغن مخصوص قالب چرب گردید (شکل۳)، سپس بتن به درون قالب ریخته شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت تمامی نمونه‌ها از قالب خارج و تا زمان انجام آزمایش های مقاومت فشاری و دوام به مدت ۲۸ روز در حوضچه با دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت عمل‌آوری قرار گرفت.

شکل۳: آماده سازی قالب‌ها

جدول۵: مشخصات هر طرح

آزمایش	طرح	سن	قالب (سانتی‌متر)	تعداد آزمونه
مقاومت فشاری	NC-RC	۲۸ روزه	استوانه استاندارد ۱۵×۳۰	۳
			مکعب ۵	۳
			مکعب ۷/۵	۳
			مکعب ۱۰	۳
			مکعب ۱۲/۵	۳
			مکعب ۱۵	۳
جذب آب	NC-RC	۲۸ روزه	مکعب ۱۰	۳
نفوذ پذیری	NC-RC	۲۸ روزه	مکعب ۱۵	۳
مجموع نمونه ها در هر طرح				۲۴
مجموع نمونه ها در ۵ طرح بتن معمولی و بازیافتی				۱۲۰

جدول۶: نامگذاری طرح ها

نام لاتین به اختصار	نام لاتین	نام فارسی
NC	Natural Concrete	بتن معمولی
RC	Recycle Concrete	بتن بازیافتی
RCSF 0.5%	Recycle Concrete Steel Fiber 0.5%	بتن بازیافتی حاوی۰/۵درصد الیاف
RCSF 1%	Recycle Concrete Steel Fiber 1%	بتن بازیافتی حاوی۱درصد الیاف
RCSF 1.5%	Recycle Concrete Steel Fiber 1.5%	بتن بازیافتی حاوی۱/۵درصد الیاف

۳- تحلیل و بررسی نتایج

۳-۱- آزمایش جریان اسلامپ

در این تحقیق به منظور بررسی کارایی یا روانی بتن آزمایش اسلامپ انجام شده است که نتایج آن در جدول ۷. ارائه شده است.

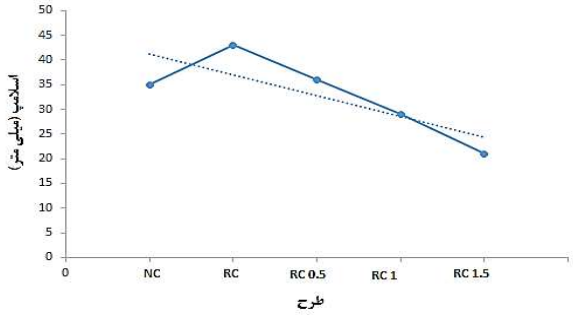
جدول ۷: نتایج حاصل از آزمایش اسلامپ بتن

نام طرح	اسلامپ(میلی متر)
NC	۳۵
RC	۴۳
RCSF0.5%	۳۶
RCSF1%	۲۹
RCSF1.5%	۲۱

در ادامه به تفسیر نتایج حاصل از آزمایش بتن تازه پرداخته خواهد شد.

دراین پژوهش افزودن الیاف فولادی و سنگدانه های بازیافتی به هر طرح، باعث کاهش اسلامپ و در نتیجه کاهش کارایی بتن بازیافتی نسبت به بتن مرجع می شود. در طرح بتن بازیافتی با توجه به استفاده از فوق روان کننده، لذا اسلامپ آن نسبت بتن معمولی بیشتر شده است.

تغییرات کارایی بتن برای هر ۵ مخلوط بتنی در شکل۴. نشان داده شده است. با توجه به شکل۴. مشخص می‌شود که با افزایش در حجم الیاف فولادی، کارایی بتن، کاهش می یابد.



شکل۴. نمودار مربوط به آزمایش اسلامپ طرح‌ها

۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر طبقASTM C39 M-09a [۱۶] برای استوانه ۱۵×۳۰ سانتی‌متر و مکعب‌های با ابعاد (۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵) سانتی‌متر انجام شده است. جهت تعیین مقاومت فشاری نمونه ها، در هر اندازه از سه آزمونه استفاده شده است .پس از شکستن آزمونه ها (شکل۵)، اقدام به میانگین گیری از سه عدد بدست آمده برای هر اندازه شده و عدد میانگین به عنوان مقاومت نهایی نمونه در نظر گرفته می شود.

الف

ب

شکل۵

الف: چگونگی شکست نمونه بتن بازیافتی حاوی الیاف

ب: چگونگی شکست نمونه بتن معمولی

نتایج آزمایش مقاومت فشاری در جدول۸، ارائه شده است. طبق جدول ۸، با افزودن درصدهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ الیاف فولادی به بتن بازیافتی، مقاومت فشاری نمونه استوانه استاندارد به ترتیب ۱۱/۹۹ درصد کاهش، ۱۰/۷۰درصد افزایش و ۱۷/۶۸ درصد افزایش یافته است. وقتی درصد الیاف فولادی موجود در بتن از صفر به ۰/۵ درصد افزایش می یابد، مقاومت فشاری متوسط نمونه های مکعب ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵و ۱۵ به ترتیب ۱۰/۴۷، ۹/۰۴، ۳/۰۱، ۱/۹۶ و ۰/۸۶ درصد افزایش و مقاومت فشاری متوسط نمونه استوانه۱۲درصد کاهش می یابد. با افزایش درصد الیاف فولادی موجود در بتن بازیافتی به ۱ درصد، مقاومت فشاری متوسط نمونه های مکعب ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵و استوانه ای به ترتیب ۱۵/۱۶، ۸/۸۴، ۹/۲۴، ۱۳/۶۳ و ۷/۸۷ و ۱۰/۷درصد افزایش می یابد و با افزایش به ٪۱/۵ درصد، مقاومت فشاری متوسط نمونه های مکعب ۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ و استوانه ای به ترتیب ۱۳/۱۶، ۱/۸، ۱۳/۳۹ ، ۱۰/۳۲ و ۱۷/۶۸ درصد افزایش و مقاومت فشاری نمونه های مکعب ۷/۵ ، ۰/۱۶ کاهش می یابد. با توجه به نتایج بدست آمده می توان افزایش مقاومت فشاری در بتن بازیافتی را با افزودن درصدهای ۱ و ۱/۵ الیاف فولادی بر اساس دوختن لبه های ترک توجیه نمود. الیاف فولادی بکار رفته در این پژوهش از نوع قلابدار می باشند که با کنترل ترک ها در بتن بازیافتی، مقاومت بتن را در مقابل گشوده شدن ترک ها افزایش می‌دهد[۲].

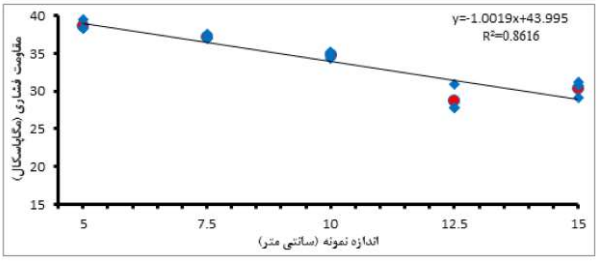
جدول۸: نتایج آزمایش مقاومت فشاری (مگاپاسکال)

نمونه	طرح	آزمونه۱	آزمونه۲	آزمونه۳	میانگین
استوانه ۳۰*۱۵	NC	۲۴/۵۲	۱۹/۵۰	۲۵/۲۱	۲۳/۰۸
	RC	۲۱/۷۵	۲۳/۲۵	۲۶/۷۷	۲۳/۹۲
	RC0.5	۱۸/۲۳	۲۵/۹۰	۱۹/۰۴	۲۱/۰۵
	RC1	۲۳/۷۷	۲۹/۱۹	۲۶/۴۸	۲۶/۴۸
	RC1.5	۲۵/۹۶	۲۷/۹۲	۳۰/۵۷	۲۸/۱۵
مکعب۵	NC	۳۸/۳۳	۳۸/۳۳	۳۹/۵۵	۳۸/۷۴
	RC	۳۴/۸۴	۳۳/۰۳	۳۵/۴۷	۳۴/۱۱
	RC0.5	۳۷/۲۰	۳۸/۷۴	۳۷/۱۰	۳۷/۶۸
	RC1	۴۰/۷۷	۳۹/۹۶	۳۷/۱۰	۳۹/۲۸
	RC1.5	۳۷/۱۰	۳۸/۷۴	۳۹/۹۶	۳۸/۶۰
مکعب۷/۵	NC	۳۶/۹۷	۳۷/۵۱	۳۶/۹۷	۳۷/۱۵
	RC	۳۷/۸۸	۴۰/۲۳	۳۴/۶۱	۳۷/۵۷
	RC0.5	۳۹/۶۹	۴۰/۹۶	۴۲/۰۴	۴۰/۹۰
	RC1	۴۰/۵۹	۴۰/۵۹	۴۱/۵۰	۴۰/۸۹
	RC1.5	۳۲/۸۰	۳۹/۶۹	۴۰/۰۵	۳۷/۵۱
مکعب۱۰	NC	۳۴/۲۵	۳۴/۸۴	۳۵/۲۷	۳۴/۷۹
	RC	۳۶/۱۹	۳۵/۹۸	۳۶/۲۹	۳۶/۱۵
	RC0.5	۳۵/۸۸	۳۶/۹۰	۳۸/۹۴	۳۷/۲۴
	RC1	۳۸/۲۳	۴۰/۲۷	۳۹/۹۶	۳۹/۴۹
	RC1.5	۳۷/۳۱	۳۵/۸۸	۳۷/۲۱	۳۶/۸۰
مکعب۱۲/۵	NC	۲۷/۷۹	۳۰/۸۶	۲۷/۸۶	۲۸/۸۴
	RC	۲۹/۱۶	۲۷/۴۰	۳۰/۶۰	۲۹/۰۵
	RC0.5	۲۷/۷۹	۳۰/۸۶	۲۷/۸۶	۲۹/۶۲
	RC1	۳۱/۰۵	۳۳/۶۶	۳۴/۳۲	۳۳/۰۱
	RC1.5	۳۲/۵۵	۳۲/۸۲	۳۳/۴۷	۳۲/۹۴
مکعب۱۵	NC	۲۹/۱۸	۳۱/۱۷	۳۰/۷۶	۳۰/۳۷
	RC	۳۲/۳۹	۲۷/۷۷	۲۹/۹۹	۳۰/۰۵
	RC0.5	۲۸/۸۶	۳۱/۳۵	۳۰/۷۲	۳۰/۳۱
	RC1	۳۳/۲۵	۳۳/۱۲	۳۰/۹۰	۳۲/۴۲
	RC1.5	۳۰/۸۵	۳۲/۶۷	۳۵/۹۳	۳۳/۱۵

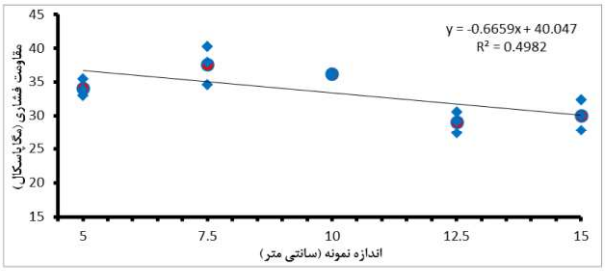
۳-۲-۱- پدیده اثر اندازه

۳-۲-۱-۱-وجود اثر اندازه در طرح‌ها

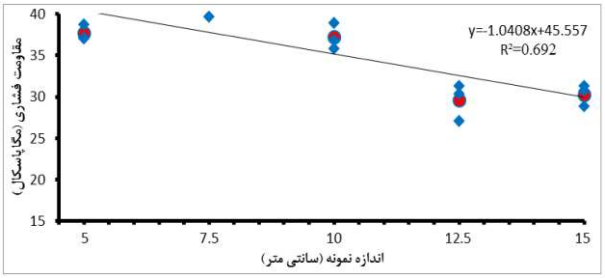
در شکل۶ تا ۱۰ ، مقاومت فشاری مربوط به نمونه های مکعبی برای طرح‌های بتن معمولی و بازیافتی بصورت جداگانه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد نمونه‌های مکعبی، مقاومت فشاری کل طرح‌ها (طرح بتن معمولی و طرح‌های بازیافتی دارای الیاف فولادی) کاهش می‌یابد. روند کاهش مقاومت فشاری با افزایش ابعاد نمونه، نشان دهنده وجود پدیده اثر اندازه است. با توجه مسئله فوق می توان قانون اثر اندازه را در بتن بازیافتی اعمال کرد.



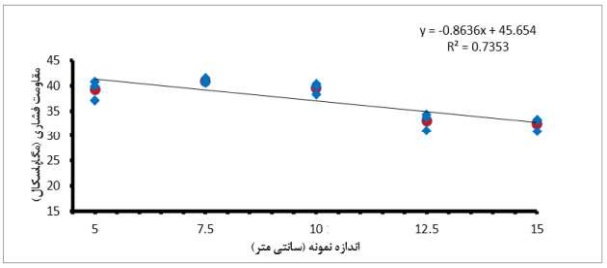
شکل۶: تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی برای طرح NC



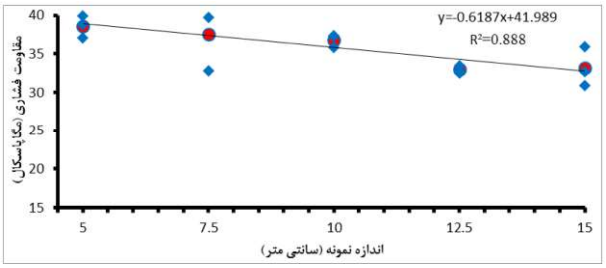
شکل۷: تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی برای طرح RC



شکل۸: تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی برای طرح RCSF 0.5%



شکل۹: تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های برای طرح RCSF 1%



شکل۱۰: تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی برای طرح RCSF 1.5%

در نمودارهای فوق هرچه شیب نمودار یا همان ضریب x در رابطه به دست آمده برای خط برازش کمتر باشد یعنی پدیده اثر اندازه کاهش یافته است و هرچه شیب بیشتر شود اثر اندازه تشدید یافته است به طور کلی در تمامی طرح ها، پدیده اثر اندازه قابل مشاهده می باشد.

۳-۲-۱-۲-بررسی قانون اثر اندازه بازانت و اصلاح رابطه بازانت برای بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی

بازانت (Bazant) در سال ۱۹۸۴ از طریق تعداد زیادی آزمایش و همچنین بر اساس تئوری مکانیک شکست غیر خطی، اثر اندازه بر روی مقاومت فشاری بتن را با موفقیت نشان داد. در قانون اثر اندازه بازانت فرض شده که نرخ انرژی پتانسیل آزاد شده در شکست وابسته به طول و پهنای منطقه نوار ترک تشکیل شده می باشد که به همراه تعدادی ترک‌های ریز بوجود می‌آید[۴].

بازانت همچنین دریافت که عرض مسیر ترک متناسب با حداکثر اندازه سنگدانه(d_a) است. به دلیل پیروی تعادل انرژی با گسترش ترک یک فرمول پایه‌ای از تحلیل ابعادی برای شرح دادن اثر اندازه به صورت زیر بدست آمد[۴].

$$\sigma_N = \frac{\beta}{\sqrt{1+\frac{D}{\lambda d_a}}} f_t' \qquad (۱)$$

در این رابطه، σ_N تنش اسمی در گسیختگی است، f_t' پارامتر مقاومت کششی بتن، β و λ ضرایب تجربی هستند و D بعد نمونه مکعبی می باشد. پس از آن قانون اثر اندازه اصلاح شده MSEL (Modified Size Effect Law) با رویکردی متفاوت توسط کیم (Kim) و همکاران[۱۷]، بازانت[۱۸] و بازانت ژیانگ (Xiang) [۱۹] ، بوسیله اضافه کردن مقدار مقاومت مستقل $\alpha f_t'$ به قانون اثر اندازه SEL (Size Effect Law)، برای پیش‌بینی مقاومت اعضای بتنی با و بدون ترک‌های اولیه و با ترک‌های مشابه و غیر مشابه ارائه شد، که بصورت زیر می‌باشد [۷]:

$$\sigma_N = \frac{\beta}{\sqrt{1+\frac{D}{\lambda d_a}}} f_t' + \alpha f_t' \qquad (۲)$$

که در آن α یک ثابت تجربی و $\alpha f_t'$ مشخص کننده مقدار مقاومت مستقل از بعد نمونه می‌باشد. به همین دلیل در این پژوهش از قانون اثر اندازه اصلاح شده بازانت جهت بررسی اثر اندازه در بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی استفاده می‌شود، زیرا قانون اثر اندازه اصلاح شده بازانت هم با مواد نیمه ترد مانند بتن سازگار است و هم اثر مقاومت مستقل برای اعضای بدون ترک‌های اولیه در آن دیده شده است.

از آنجایی که باید مطالعات اثر اندازه را در گسیختگی فشاری بررسی کرد می‌بایست مقاومت کششی f_t' استفاده شده در قانون اثر اندازه اصلاح شده MSEL، با مقاومت فشاری استوانه استاندارد f_c' جایگزین شود. این جایگزینی می‌تواند انجام شود هر چند که مکانیزم شکست گسیختگی کششی نسبت به گسیختگی فشاری متفاوت است اما گسیختگی نهایی هر دو بعلت گسترش ترک‌های کششی بزرگ می‌باشد که نشان دهنده گسیختگی کششی یا مود یک گسیختگی است[۲۰].

بنابراین استفاده از مقاومت فشاری استوانه استاندارد f_c' بجای مقاومت کششی f_t' در قانون اثر اندازه اصلاح شده MSEL، بدلیل اینکه گسیختگی نهایی مکانیزم شکست گسیختگی کششی و فشاری بعلت گسترش ترک‌های بزرگ می‌باشد فرض قابل اطمینانی است و این فرض در این پژوهش در نظر گرفته شده است. در نتیجه این رابطه بصورت زیر بیان می‌شود [۲۰]:

$$\sigma_N = \frac{\beta}{\sqrt{1+\frac{D}{\lambda d_a}}} f_c' + \alpha f_c' \qquad (۳)$$

در ادامه با استفاده از داده‌های تجربی و روش حداقل مربعات، ضرائب تجربی α و β بدست می‌آید. برای این منظور در هر طرح اختلاط و برای هر اندازه از نمونه ها، مقادیر f_{cu}، f_c'، D، d_a و λ که به ترتیب مقاومت فشاری مکعب‌ها، مقاومت فشاری استوانه استاندارد، اندازه ضلع عضو، حداکثر اندازه سنگدانه و ثابت تجربی، در رابطه اثر اندازه اصلاح‌شده بازانت جایگذاری می‌شود و در نهایت رابطه اثر اندازه اصلاح‌شده بازانت به فرم $y=\beta x+\alpha$ تبدیل می‌شود که مقادیر x و y در جدول۸، بیان شده است. لازم به ذکر است که مقدار λ طبق توصیه بازانت[۲۰]، در تجزیه و تحلیل رگرسیون برابر با ۲ در نظر گرفته شده

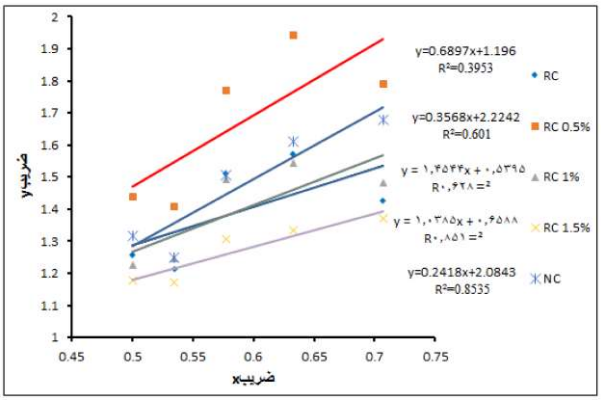
است. سپس توسط روش حداقل مربعات مناسب‌ترین α و β برای هر طرح اختلاط بدست می‌آید (جدول۱۰). همچنین برازش مربوط به مناسب‌ترین α و β برای پنج طرح در شکل۹، قابل مشاهده می باشد. مقادیر x و y به شرح زیر می باشد:

$$x = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{D}{\lambda d_a}}} \qquad (۴)$$

$$y = \frac{f_{cu}(D)}{f_c'} \qquad (۵)$$

جدول۹: مقادیر x و y در رابطه اصلاح شده اثر اندازه بازانت

طرح	ابعاد نمونه مکعبی(cm)	x	y
NC	۵	۰/۷۰۷	۱/۶۸۷
	۷/۵	۰/۶۳۲	۱/۶۰۹
	۱۰	۰/۵۷۷	۱/۵۰۷
	۱۲/۵	۰/۵۳۴	۱/۲۴۹
	۱۵	۰/۵	۱/۳۱۵
RC	۵	۰/۷۰۷	۱/۴۲۶
	۷/۵	۰/۶۳۲	۱/۵۷۰
	۱۰	۰/۵۷۷	۱/۵۱۱
	۱۲/۵	۰/۵۳۴	۱/۲۱۴
	۱۵	۰/۵	۱/۲۵۶
RCSF0.5	۵	۰/۷۰۷	۱/۷۹۰
	۷/۵	۰/۶۳۲	۱/۹۴۲
	۱۰	۰/۵۷۷	۱/۷۶۹
	۱۲/۵	۰/۵۳۴	۱/۴۰۷
	۱۵	۰/۵	۱/۴۳۹
RCSF1	۵	۰/۷۰۷	۱/۴۸۳
	۷/۵	۰/۶۳۲	۱/۵۴۴
	۱۰	۰/۵۷۷	۱/۴۹۱
	۱۲/۵	۰/۵۳۴	۱/۲۴۶
	۱۵	۰/۵	۱/۲۲۴
RCSF1.5	۵	۰/۷۰۷	۱/۳۷۱
	۷/۵	۰/۶۳۲	۱/۳۳۲
	۱۰	۰/۵۷۷	۱/۳۰۷
	۱۲/۵	۰/۵۳۴	۱/۱۷۰
	۱۵	۰/۵	۱/۱۷۷



شکل۱۱: برازش مربوط به مناسب‌ترین α و β برای ۵ طرح

با توجه به نمودار شکل۱۱، تغییر سنگدانه های طبیعی و استفاده از سنگدانه های بازیافتی باعث کاهش ضریب شکل شده و با افزودن ۰/۵ درصد الیاف فولادی به بتن بازیافتی افزایش ضریب شکل وبا افزودن ۱ و ۱/۵ درصد الیاف فولادی به بتن بازیافتی کاهش ضریب شکل اتفاق می افتد و کاهش ضریب شکل بیانگر این مسئله می باشد که مقاومت نمونه استوانه استاندارد و نمونه مکعبی به هم نزدیک می شوند.

جدول ۱۰. مناسب ترین ضرایب α و β برای طرح ها

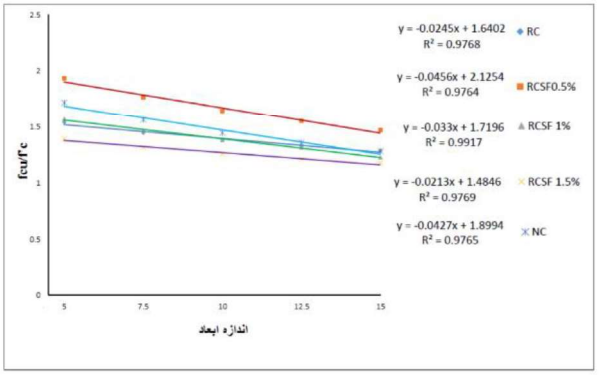
طرح اختلاط	پارامترهای تجربی قانون اثر اندازه اصلاحی بازانت $\frac{f_{cu}(D)}{f_c'} = \frac{\beta}{\sqrt{1+\frac{D}{\lambda d_a}}} + \alpha$	
	β	α
NC	۲/۰۸۴۳	۰/۲۴۱۸
RC	۱/۱۹۶	۰/۶۸۹۷
RCSF0.5	۲/۲۲۴۲	۰/۳۵۶۸
RCSF1	۱/۴۵۴۴	۰/۵۳۹۵
RCSF1.5	۱/۰۳۸۵	۰/۶۵۸۸

÷بعد از اینکه مناسب‌ترین α و β، برای طرح‌های NC و RC و بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی، بدست آمد، با جایگذاری مناسب-ترین α و β و نیز قرار دادن D، d_a و λ در سمت راست رابطه اصلاح-شده بازانت برای طرح‌های NC، RC ، RCSF 0.5%، RCSF 1% و RCSF 1.5% نسبت f_{cu}/f_c' برای پیش‌بینی اثر شکل و اندازه و همچنین ضرایب تبدیل مقاومت بدست خواهد آمد. (جدول۱۱)

جدول۱۱: استفاده از مناسب‌ترین α و β در رابطه اصلاح‌شده بازانت برای ۵ طرح

طرح	ابعاد نمونه مکعبی(cm)	f_{cu}/f_c'
NC	۵	۱/۷۱۶
	۷/۵	۱/۵۶
	۱۰	۱/۴۴۵
	۱۲/۵	۱/۳۵۶
	۱۵	۱/۲۸۴
RC	۵	۱/۵۳۵
	۷/۵	۱/۴۴۶
	۱۰	۱/۳۸
	۱۲/۵	۱/۳۲۹
	۱۵	۱/۲۸۷۷
RCSF0.5	۵	۱/۹۳
	۷/۵	۱/۷۶۳
	۱۰	۱/۶۴۱
	۱۲/۵	۱/۵۴۶
	۱۵	۱/۴۶۹
RCSF1	۵	۱/۵۶۸
	۷/۵	۱/۴۵۹
	۱۰	۱/۳۷۹
	۱۲/۵	۱/۳۱۷
	۱۵	۱/۲۲۷
RCSF1.5	۵	۱/۳۹۳
	۷/۵	۱/۳۱۶
	۱۰	۱/۲۵۸
	۱۲/۵	۱/۲۱۴
	۱۵	۱/۱۷۸

مقادیر نسبت‌های f_{cu}/f_c' مربوط به طرح‌های NC ، RC ، RCSF0.5%، RCSF1% و RCSF1.5% که توسط رابطه اثر اندازه اصلاح‌شده بازانت بدست آمده است در شکل ۱۰، بوسیله روش حداقل مربعات نشان داده شده است.



شکل۱۲. نسبت‌های f_{cu}/f_c' استخراج‌شده از رابطه اثر اندازه اصلاح‌شده بازانت مربوط به ۵ طرح

شکل ۱۲، نشان می‌دهد که هر چه ابعاد نمونه کوچکتر شود اختلاف بین مقاومت مکعبی و استوانه‌ای شدیدتر خواهد بود و این اختلاف در بتن بازیافتی حاوی الیاف فولادی با افزایش الیاف فولادی کاهش می یابد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت با افزایش الیاف فولادی در بتن بازیافتی ضریب شکل و اثر اندازه کاهش می یابند. یکی از دلایل وجود اثر اندازه گسترش ترک‌خوردگی‌ها است. با شروع ترک خوردگی در بتن بازیافتی، الیاف فولادی نقش خود را در دوختن ترک و محدود کردن اندازه ترک بازی کرده و از ادامه ترک خوردگی حتی با ادامه بارگذاری تا حدودی جلوگیری بعمل می‌آورد لذا افزودن ۱/۵ درصد الیاف فولادی به بتن بازیافتی می تواند بخوبی این نقش را ایفا کند و باعث کاهش اثر اندازه در بتن بازیافتی شود.

در نمودار فوق شیب نمودار نشان دهنده اثر اندازه در هر طرح اختلاط می باشد، در طرح RC نسبت به NC شیب و در نتیجه اثر اندازه کاهش می یابد و با افزودن ۰/۵درصد الیاف فولادی به طرح RC اثر اندازه افزایش می یابد و با افزودن درصد های ۱و ۱/۵ به طرح RC اثر اندازه کاهش می یابد و در طرح RCSF 1.5% نسبت به بتن ساده نیز اثر اندازه کمتری مشاهده می شود.

۳-۲-۱-۳-مقایسه ضرایب تبدیل مقاومت فشاری مکعب به استوانه استاندارد پژوهش با ضرایب تبدیل آیین نامه بتن ایران

بر اساس آیین‌نامه بتن ایران، ضریب تبدیل مقاومت فشاری نمونه مکعب ۱۵ سانتی‌متر به استوانه استاندارد برابر ۰/۸۵ می‌باشد. در جدول ۱۲ مقادیر ضریب تبدیل آیین نامه بتن آبا و مقادیر حاصل از این پژوهش مقایسه شده است.

جدول ۱۲. مقایسه ضرایب تبدیل حاصل شده در این پژوهش و آیین نامه بتن ایران

طرح	f_{cu}	f_c'	ضریب تبدیل پژوهش	ضریب تبدیل آبا
NC	۳۰/۳۷	۲۳/۰۸	۰/۷۶	۰/۸۵
RC	۳۰/۰۵	۲۳/۹۲	۰/۸	۰/۸۵
RCSF0.5	۳۰/۳۱	۲۱/۰۵	۰/۶۹	۰/۸۵
RCSF1	۳۲/۴۲	۲۶/۴۸	۰/۸۲	۰/۸۵
RCSF1.5	۳۳/۱۵	۲۸/۱۵	۰/۸۵	۰/۸۵

همانطور که ملاحظه می گردد با افزودن الیاف فولادی تا ۱/۵ درصد، ضریب تبدیل نسبت به بتن معمولی افزایش می یابد و این ضریب با ضریب تبدیل در آیین نامه بتن ایران برابر می‌شود. در واقع می توان نتیجه گرفت با افزودن الیاف فولادی به بتن بازیافتی اختلاف بین مقاومت فشاری نمونه های مکعبی نسبت به نمونه استوانه استاندارد کاهش می یابد.

۳-۳-آزمایش جذب آب

در این پژوهش آزمایش جذب آب طبق استاندارد ASTM C642-02 [۲۱] انجام شد. طبق استاندارد نمونه مکعبی باید حداقل حجم ۳۵۰ سانتی متر مکعب و حداقل وزن ۸۰۰ گرم را دارا باشد که در این پژوهش ۳عدد آزمونه مکعبی با ابعاد ۱۰ سانتی متر انتخاب گردیده شد. پس از عمل آوری بتن به مدت ۲۸ روز، نمونه ها ابتدا در دستگاه اون به مدت ۴۸ ساعت با دمای۱۱۰-۱۰۰ سانتی گراد خشک گردید و سپس توزین شدند (وزن خشک اولیه). مقدار درصد جذب آب آزمونه ها در هر زمان با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$100 * ((m-m_0)/m_0)$=درصد آب جذب شده

m= وزن نمونه مرطوب

m_0= وزن نمونه خشک

در ادامه نتایج آزمایش جذب آب بر روی نمونه های بتن معمولی و بازیافتی حاوی الیاف طی جدول ۱۳ ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱۳. نتایج آزمایش جذب آب

طرح	NC	RC	RCSF0.5	RCSF1	RCSF1.5
آزمونه اول	۶/۵۵	۸/۴۹	۸/۴۵	۸/۳۷	۷/۹۹
آزمونه دوم	۶/۲۸	۸/۰۱	۷/۸۳	۸/۱۱	۷/۳۴
آزمونه سوم	۶/۶۴	۷/۹۸	۸/۴۱	۸/۳۷	۷/۳۳
میانگین	۶/۴۹	۸/۱۶	۸/۲۳	۸/۲۸	۷/۵۵
درصد تغییر نسبت به NC	۰	+۲۵/۷۳	+۲۶/۸۱	+۲۷/۵۸	+۱۶/۳۳
درصد تغییر نسبت به RC	-	۰	+۰/۸۵	+۱/۴۷	-۷/۴۷

در بتن بازیافتی با توجه به وجود گرد مخلوط سیمان هیدراته شده اطراف سنگدانه ها، جذب آب بیشتری نسبت به بتن معمولی وجود دارد و با افزودن درصدهای ۰/۵ ،۱ و ۱/۵ الیاف فولادی به بتن بازیافتی، جذب آب بتن بازیافتی به ترتیب ۰/۸۵درصد افزایش،۱/۴۷درصد افزایش و ۷/۴۷ درصد کاهش می یابد. این روند بیانگر این مسئله است که افزودن الیاف فولادی با درصدهای ۰/۵ ،۱ و۱/۵ نمی تواند نقیصه افزایش جذب آب در بتن بازیافتی را به طور کامل برطرف کند.

۳-۴-آزمایش نفوذپذیری

در این آزمایش آب با فشار به یک نمونه بتنی وارد می شود. بعد شکستن نمونه با اندازه گیری عمق نفوذ آب می توان معیاری برای تعیین نفوذپذیری بتن سخت شده بدست آورد. در این پژوهش آزمایش نفوذپذیری طبق استاندارد BS EN 12390-8 [۲۲] انجام شد. طبق این استاندارد نمونه مکعب ۱۵ سانتی متری به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه تحت فشار آب پنج اتمسفر قرار می گیرد و سپس با جک بتن شکن شکسته شده و عمق نفوذ آب در نمونه بتن بدست می آید. در ادامه نتایج آزمایش نفوذپذیری طی جدول ۱۴. ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱۴. نتایج آزمایش نفوذپذیری

طرح	حداکثر عمق نفوذ(cm)	درصد تغییر نسبت به NC	درصد تغییر نسبت به RC
NC	۳/۱	۰	-
RC	۲/۳	-۲۵/۸۰	۰
RCSF0.5	۱/۳۷	-۵۵/۸۰	-۴۰/۴۳
RCSF1	۲/۱	-۳۲/۲۶	-۸/۶۹
RCSF1.5	۲	-۳۵/۴۸	-۱۳/۰۴

آزمایش نفوذپذیری مانند آزمایش جذب آب یکی از آزمایش های است که خصوصیات ریزساختار بتن از لحاظ میزان خلل و فرج و پیوستگی آنها باهم را بیان می کند. ولی تابع ساده ای از تخلل نمی باشد. با توجه به نتایج با افزودن الیاف فولادی به بتن بازیافتی تا ۰/۵ ،۱و ۱/۵ درصد، به ترتیب، ۴۰/۴۳ درصد، ۸/۶۹ درصد و ۱۳/۰۴ درصد کاهش نسبت به بتن بازیافتی شاهد ایجاد می کند.

۴-نتایج

در این تحقیق، تاثیر الیاف فولادی برروی بتن بازیافتی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

۱- در طرح بتن معمولی با افزایش ابعاد نمونه های مکعبی، کاهش مقاومت صورت می گیرد که این مسئله بیانگر وجود پدیده اثر اندازه در طرح بتن معمولی می باشد.

۲- در بتن بازیافتی با افزودن ۰/۵درصد الیاف فولادی بجز نمونه استوانه ای بقیه نمونه های مکعبی افزایش مقاومت دارند و با افزودن ۱درصد الیاف فولادی، مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ و نمونه استوانه استاندارد افزایش می یابند و با افزودن ۱/۵ درصد الیاف فولادی، مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ و

اساس ـــ

Jodilson A.,C.; Paulo R.,L.; Mônica B.,L.; Romildo D., T.; "Compressive stress–strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete",Cement & Concrete Composites, Vol. 46, pp. 65–72, 2014 [11]

Pedro D., a.; Brito J.,d.; Evangelista L.; "*Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties*" , Construction and Building Materials, Vol. 154, pp. 294–309, 2017 [12]

ASTM Standard C33, **"***Specification for Concrete Aggregates*". [13]

ASTM C188-95; "*Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*",2003 [14]

ASTM C494 -17**,**" *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*". [15]

ASTM C39 / C39M - 09a; "*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*". [16]

Kim J.,K.; Seok H.,E.; Hong K.,P.; "*Size effect in concrete structures without initial crac*k," Special Publication, Vol. 118, pp. 179-196,1990. [17]

Bazant, Z. P.; "*Size effect in blunt fracture: concrete, rock, metal*", Engineering Mechanics, Vol. 110, p.p 518–535,1984. [18]

Bazant Z.,P.; Xiang Y.;"*Size effect in compression fracture:splitting crack band propagation*",Engineering Mechanics, Vol. 123, pp. 162–72, 1997. [19]

Yi S.,T.; Yang E.,L.; Choi J.,C.; "*Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete*", Nuclear Engineering and Design, Vol. 236, pp. 115-127, 2006 [20]

ASTM C 642 – 06, "*Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*", [21]

BS EN 12390-8, "*Depth of penetration of water under pressure*"**,**2009 [22]

نمونه استوانه استاندارد افزایش و مقاومت فشاری نمونه مکعب ۷/۵ کاهش می یابد.

۳- در بتن بازیافتی با افزودن ۱/۵ درصد الیاف فولادی، مشخصات مکانیکی بهبود می یابد.

۴- با توجه به رابطه اصلاح شده اثر اندازه بازانت، با افزودن الیاف فولادی تا ۰/۵ درصد در بتن بازیافتی، اثر اندازه و اثر شکل افزایش می یابد و با افزودن الیاف فولادی تا ۱ و ۱/۵ درصد در بتن بازیافتی،به علت جلوگیری از ادامه ترک خوردگی در بتن بازیافتی، اثر اندازه و اثر شکل کاهش می یابد.

۵- در بتن بازیافتی با افزودن الیاف فولادی تا ۱/۵ درصد، جذب آب و نفوذپذیری به ترتیب ۷/۴۷ و ۱۳/۰۴ کاهش پیدا می کند.

۵-مراجع

[۱] کیوانی، ع؛ **بتن الیافی و کاربرد آن در سازه‌های بتنی**، *کارگاه-های تخصصی بتن*، شیراز ،۱۳۸۴.

[۱] توکلی، ح. فلاح تبار شیاده، م؛ **بررسی تاثیر الیاف بر مقاومت فشاری و کششی بتن های خودتراکم الیافی**، پنجمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران (۱۳۹۲).

[۲] طاحونی.ش. کتاب؛ **طراحی سازه های بتن مسلح**، انتشارات دهخدا، سال۱۳۸۳

[۴] اصفهانی، م. کتاب؛ **مکانیک شکست بتن**، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۸۶).

[5] Evangelista L., a.; Brito J.,d.; "*Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates*",Cement & Concrete Composites, Vol, 29, pp. 397–401, 2007

[6] Del Viso J.,R.; Carmona J.,R.; Ruiz G.; **"***Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete*", Cement and Concrete Research, Vol. 38, pp. 386-395, 2008

[7] Ming-zhe A.; Li-jun Z.; Quan-xin Y.; "*Size effect on compressive strength of reactive powder concrete*", Journal of China University of Mining and Technology, Vol. 18, pp. 279-282, 2008

[8] Ziqa C.,j.; Di Maio A.,A.; " *Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements*",Waste Management,Vol. 31, pp. 2336-40, 2011

[9] Nguyen D.,L.; Kim D.,J.; Ryu G.,S.; Koh K.,T.; **"***Size effect on flexural behavior of ultra-high-performance hybrid fiber-reinforced concrete*", Composites Part B: Engineering, Vol. 45, pp. 1104-1116, 2013

[10] Nikbin I.,M.; Dehestani M.; Beygi M.,H.,A.; Rezvani M.;"*Effects of cube size and placement direction on compressive strength of self-consolidating concrete*", Construction and Building Materials, Vol. 59, pp. 144-150, 2014