



کتابخانه کنفرانس  
۹۶۱۷۰۸۲۸۲



# کتابنامه پذیرش و ارائه مقاله

پنجمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در

## مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری

و چهارمین نمایشگاه تخصصی انبوه سازان مسکن و ساختمان استان تهران



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



انجمن علمی کارفرمایان و سازان  
مسکن و ساختمان استان تهران

Code: CAUP-07060394

ID: ۷۰۶

بدین وسیله کوای می شود مقاله با عنوان:

بررسی رفتار برشی تیرهای بتنی ساخته شده از سنگدانه بازیافتی

به نویسندگی: حمیدرضا چاکلی، منصور قلعه نوی، آرش کریمی پور، محسن خطیبی نیا

در پنجمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، که در مورخ ۱۳ و ۱۴ دی ماه ۱۳۹۶ در سالن همایش های بین المللی برج میلاد برگزار شد، با

حضور ایشان به صورت سخنرانی ارائه گردید. این مقاله در پایگاه استنادی جهان اسلام "ISC" و پایگاه مرجع دانش "CIVILICA" نمایه خواهد شد.

دکتر سید بهرام بهشتی اول  
رئیس علمی کنفرانس



دکتر محمد رضا کاوانور  
رئیس کنفرانس

www.CAUP.ir



انجمن سازان شهری ایران



برج میلاد تهران



انجمن سازان شهری ایران



موسسه تحقیقات عمران ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



انجمن سازان شهری ایران



Conference code:  
9617082802



# Certificate



K. N. Toosi  
University of Technology



Mass Housing  
and Building of Tehran

Code: CAUP-07060394  
ID: 706

## 5<sup>th</sup> National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management 4<sup>th</sup> Exhibition of Mass Housing and Building of Tehran

This is to certify that

**Hamidreza Chaboki, Mansour Ghalehnovi, Arash Karimipour, Mohsen Khatibinia**

gave an oral presentation of their paper entitled:  
**Study on the shear behavior of recycled concrete beams**

at the “5<sup>th</sup> National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and  
Urban Management”

Held on January 3 and 4, 2018 at International Conference Center Milad Tower, Tehran, Iran.

The paper will be indexed in ISC and CIVILICA data bases.

Dr. B Beheshti Aval  
Scientific Secretary



Dr. M. Kavianpoor  
Conference Chair

www.CAUP.ir



Iran APF



Milad Tower



CIVIL



Asatid Behsazan  
Iranian Ins



Tehran CEO



Tehran Municipality



PNU



NTOIR



Islamic Azad University



BHRC



Ministry of Roads &  
Urban Development

## بررسی رفتار برشی تیرهای بتنی ساخته شده از سنگدانه بازیافتی

حمیدرضا چابکی<sup>۱</sup>، منصور قلعه نوی<sup>۲\*</sup>، آرش کریمی پور<sup>۳</sup>، محسن خطیبی نیا<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

**Email: Ghalehnovi@um.ac.ir**

### خلاصه

حفظ محیط زیست و کاهش میزان مصالح دورریز در طبیعت از موضوعات بسیار مهم است. امروزه مسئله استفاده از مصالح بازیافتی حاصل از تخریب ساختمان های فرسوده و استفاده مجدد از این مصالح در ساخت بتن مورد توجه قرار گرفته است. در این بررسی اثر افزودن مصالح حاصل از تخریب ساختمان ها به عنوان سنگدانه در تهیه مخلوط بتن مطالعه شده است. هدف از انجام این بررسی تعیین رفتار برشی، ظرفیت برشی در تیرهای بتن مسلح ساخته شده از سنگدانه بازیافتی است. در ساخت نمونه های مورد نظر از سنگدانه بازیافتی به ترتیبی با مقدار ۰٪ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰٪ جایگزین سنگدانه طبیعی استفاده شده است. نمونه ها تحت انجام آزمایش خمش چهارنقطه ای استاتیکی بررسی شدند. از این رو، با بررسی نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی به بررسی رفتار برشی تیرهای بتن مسلح دارای سنگدانه بازیافتی پرداخته شده است. نتایج بدست آمده از این بررسی نشان می دهد که اختلاف قابل ملاحظه ای در رفتار برشی تیرهای ساخته شده از سنگدانه بازیافتی و طبیعی وجود دارد.

**واژگان کلیدی:** ظرفیت برشی، تیرهای بتن مسلح، سنگدانه بازیافتی، ترک خوردگی

### مقدمه

حفظ محیط زیست و کاهش ریختن مصالح حاصل از تخریب سازه های قدیمی امروزه از اهمیت بسزایی برخوردار است. مصالح حاصل از تخریب سازه ها شامل مصالح گچی، سیمانی، کاشی، سرامیک، سنگ، آجر و غیره میشود. این مصالح بعد از تخریب ساختمان به بیرون مناطق مسکونی حمل شده و در محیط زیست رها میشوند. امروزه با توجه به پیشرفت علم توجه قابل ملاحظه ای به بازیافت این مصالح و استفاده مجدد از این مصالح در ساخت بتن شده است. این مصالح دارای اندازه های مختلف هستند و میتوان از آنها به عنوان جایگزین سیمان و یا سنگدانه استفاده کرد. از این رو، در سالهای اخیر بررسی های مختلفی در خصوص استفاده از این مصالح به عنوان جایگزین سنگدانه ها در بتن انجام شده است [۸-۱]. نتایج بدست آمده از این بررسی ها نشان می دهد که اثرگذاری سنگدانه های بازیافتی از سنگدانه های طبیعی کمتر است. علت این موضوع را می توان به تغییر واکنش سنگدانه ها با خمیر سیمان، سطح ویژه سنگدانه ها، نسبت جذب آب آنها و میزان تخلیل ایجاد شده بدلیل استفاده از سنگدانه بازیافتی بجای سنگدانه طبیعی دانست. همسن امر میتواند باعث تاثیر منفی در مشخصات مکانیکی بتن ساخته شده نظیر کارایی، میزان نفوذ هوا و مقاومت بتن شود [۹-۱۱]. از این رو بررسی های زیادی به منظور افزایش مقاومت مکانیکی تیرهای ساخته شده از سنگدانه های بازیافتی توسط محقق ها انجام شده است. شی و همکارانش [۱۰]، نظریه جدیدی را برای افزایش مقاومت و رفتار فیزیکی تیرهای بتنی دارای سنگدانه بازیافتی ارائه دادند. از این رو به منظور جبران ضعف ایجاد در بتن بدلیل استفاده از سنگدانه های بازیافتی، روشهایی توسط محققین نظیر استفاده از دستگاہ سنگ شکن به منظور یکپارہ سازی

سنگدانه ها [۱۲]، خیساندن در آب قبل از استفاده در بتن [۱۳ و ۱۴]، آمولسیون پلیمر و باردارکردن سنگدانه ها [۱۵ و ۱۶]، دوغاب پوزولان [۱۷] و غیره پیشنهاد شده است. با توجه به بررسی های انجام شده میتوان گفت که خیساندن در آب قبل از استفاده در بتن موثرترین روش برای افزایش اثرگذاری استفاده از سنگدانه های بازیافتی در خمیر سیمان است.

تیم و همکارانش [۱۸] و اسلامی و رملی [۱۹] بررسی هایی در خصوص رفتار مکانیکی و جذب آب بتن دارای سنگدانه بازیافتی انجام دادند. نتایج بررسی های شان داده که میزان جذب آب سیمان زمانی که سنگدانه های بازیافتی در اسید قرار داده می شوند بهبود پیدا می کند. بیشتر تحقیقات منتشر شده بر روی مشخصات بتن دارای سنگدانه بازیافتی تازه و سفت شده با استفاده از نمونه های استوانه ای بوده اسات. تعداد کمی بررسی بر روی رفتار سازه ای اینگونه بتن ها در ساخت اعضای نظیر تیر انجام شده است [۲۰-۲۵]. در نتیجه با توجه به بررسی های انجام شده، داشتن نظری به رفتار سازه ای برشی بتن دارای سنگدانه می تواند معقول باشد.

فاطی فازل و همکاران [۲۶] یک روش معادل پیشنهاد کردند روش حجم (EMV) یک طراحی ترکیبی ویژه برای ساخت بتن دارای سنگدانه بازیافتی فراهم می کند نتایج نشان داد که ظرفیت فشاری بتن دارای سنگدانه بازیافتی کمتر از بتن معمولی است. افزون بر این، چوی فونتبا و همکاران [۲۷] اثر افزودن سیلیسیم ۰.۸٪ را مورد مطالعه قرار داد استحکام برشی هشت تیر با ۵۰٪ جایگزین سنگدانه بازیافتی نشان داد که تفاوت قابل توجهی در این حالت تفاوت قابل ملاحظه ای در ظرفیت فشاری بین بتن معمولی و بتن سنگدانه بازیافتی وجود ندارد ولی با افزودن سیلیس مایع ترک خوردگی کاهش قابل ملاحظه ای مییابد.

### روابط حاکم بر تعیین ظرفیت برشی

در این بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش ها با روابط ارائه شده در آیین نامه ها و مکانیک شکست برای تعیین ظرفیت برشی مورد مقایسه قرار گرفت. ظرفیت برشی بتن مطابق آیین نامه ACI 318M-14 بصورت زیر محاسبه میشود [۲۸].

$$V_c = \left( 0.16\sqrt{f'_c} + 17 \frac{\rho_t}{a} \right) bd \leq 0.29\sqrt{f'_c}bd \quad (1)$$

در این رابطه  $V_c$  مقاومت برشی تئوری بتن عضو است،  $\rho_t$  نسبت آرماتور طولی برای تیر،  $f'_c$  مقاومت فشاری بتن،  $b$  عرض مقطع نمونه،  $d$  ارتفاع موثر نمونه و  $a$  عرض دهانه برشی است. افزون بر این ظرفیت برشی بتن مطابق آیین نامه Eurocode 2-05 بصورت زیر بدست می آید [۲۹]:

$$V_c = (0.18k(100\rho_t f'_c)^{\frac{1}{3}})bd \geq (0.035k^{\frac{3}{2}}\sqrt{f'_c})bd \quad (2)$$

K در رابطه فوق بصورت زیر محاسبه میشود.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{a}} \leq 2.0 \quad (3)$$

افزون بر روابط ارائه شده توسط آیین نامه ها بررسی های زیادی توسط محقق ها انجام شده است [۳۰-۳۲]. سوتی [۳۰] رابطه ی زیر را به منظور تحلیل مقاومت برشی تیر بتنی ارائه کرده است:

$$V_c = 2.21(f'_c \rho_t)^{\frac{d}{a}}^{1/3} bd \quad (4)$$

گاستیل و می [۳۱] رابطه ی زیر را با توجه به انرژی شکست برای تعیین ظرفیت برشی بتن تیر بتنی ارائه کردند

$$V_c = 0.15 \left( \frac{37.41}{\sqrt{d}} \right) \left( \frac{3d}{a} \right)^{\frac{1}{3}} (100\rho_t)^{\frac{1}{6}} (1 - \sqrt{\rho_t})^{\frac{2}{3}} (f'_c)^{0.35} bd \quad (5)$$

بازانت و یو [۳۲] با توجه به نحوه ی شکست نمونه و تئوری های مکانیک شکست رابطه زیر را به منظور تعیین ظرفیت برشی بتن ارائه کردند:

$$V_c = (3.5 \sqrt{\frac{f'_c D_0}{a}}) bd \leq 3.5 \sqrt{f'_c} bd \quad (6)$$

که در آن

$$D_0 = 7\rho_t^{2/3} \quad (7)$$

مصالح

سیمان

سیمان مورد استفاده در تمام نمونه ها سیمان پرتلند نوع ۱ است. مشخصات شیمیایی این سیمان در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان مصرف شده

درصد ترکیبات شیمیایی (%)								مصالح
وزن مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)	CaO	H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
۳,۱۰	-	-	-	۶۲,۵	۳,۳۵	۵,۵۷	۲۱,۳۶	سیمان
۰,۹۰	۱۲,۵	۴۵,۵	۲۸,۵	-	-	-	۲۸,۵	پتاهیدرات متاسلیکات سدیم

سنگدانه

ریزدانه استفاده شده در این بررسی ماسه طبیعی بوده است. درشتدانه های مورد استفاده دوبار شسته شده و سپس بطور کامل خشک شدند. بزرگترین اندازه درشتدانه استفاده شده ۲۰ میلیمتر است. سنگدانه های بازیافتی مورد استفاده حاصل از تخریب منزلی مسکونی بدست آمده است. متوسط مقاومت فشاری بدست آمده از بتن ساخته شده با این سنگدانه ها بین ۲۵ تا ۳۵ مگاپاسکال بعد از ۲۸ روز عمل آوری بوده است. حداقل و حداکثر اندازه سنگدانه بازیافتی مورد استفاده در این بررسی بترتیب برابر با ۵میلیمتر و ۲۰ میلیمتر بوده است. مشخصات سنگدانه طبیعی و بازیافتی مورد استفاده در این بررسی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات سنگدانه های مورد استفاده

سنگدانه	درصد عبوری (%) بر اساس اندازه سنگدانه (میلیمتر)				
		۲,۳۶	۴,۷۵	۹,۵	۱۲,۵
طبیعی	۰,۲	۰,۷	۴۳	۶۹,۲	۱۰۰
بازیافتی	۰,۱	۰,۶	۴۱	۶۸,۱	۱۰۰

### مطالعه آزمایشگاهی

#### طرح اختلاط

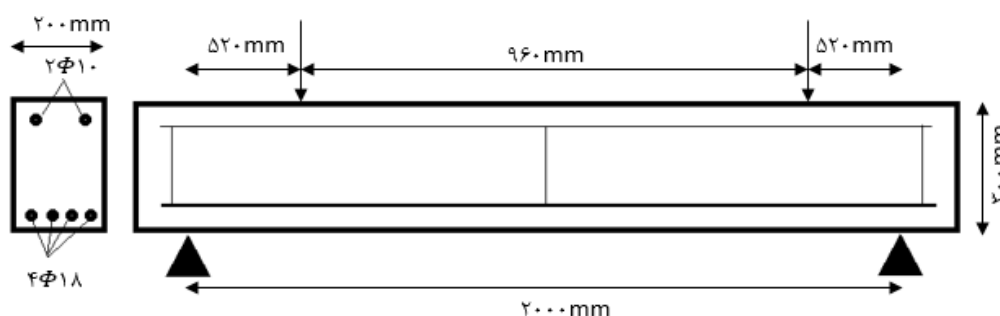
سه طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰,۵ برای تمام نمونه ها با اسلامپ ۳۰-۹۰ میلیمتر و مقاومت فشاری ۲۸ رو میانگین ۲۸ مگاپاسکال بدست آمد. برای تعیین مقاومت فشاری نمونه ها، از هر نمونه تیر اصلی سه نمونه استوانه ای با قطر و ارتفاع ۱۵۰ و ۳۰۰ میلیمتر تهیه شد. مقاومت فشاری هر نمونه تیر از متوسط مقاومت بدست آمده حاصل از آزمایش هر سه عدد نمونه استوانه ای در نظر گرفته شد. مشخصات طرح اختلاط های مورد استفاده در جدول (۳) ارائه شده است. نمونه دارای صفر درصد سنگدانه بازیافتی جایگزین سنگدانه طبیعی به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. در دو طرح اختلاط دیگر سنگدانه بازیافتی با درصد جایگزینی ۵۰٪ و ۱۰۰٪ اضافه شد. در این جایگزینی مقدار سیمان و نسبت آب به سیمان ثابت در نظر گرفته شد.

جدول ۳- مشخصات طرح اختلاط

اسلامپ (میلیمتر)	درشتدانه (کیلوگرم بر مترمکعب)		ریزدانه (کیلوگرم بر مترمکعب)	آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب)	طرح اختلاط
	بازیافتی	طبیعی				
۷۲	۰	۹۸۵	۷۷۵	۱۶۰	۳۲۰	بدون سنگدانه بازیافتی
۵۵	۴۹۲,۵	۴۹۲,۵	۷۷۵	۱۶۰	۳۲۰	۵۰٪ جایگزین
۳۴	۹۸۵	۰	۷۷۵	۱۶۰	۳۲۰	۱۰۰٪ جایگزین

## مشخصات نمونه ها

در این بررسی سه نمونه تیر بتنی مورد مطالعه قرار گرفت. تمام تیرها فاقد خاموت بود و تنها از تعدادی به منظور نگهداشتن میلگردهای فشاری استفاده شد. ارتفاع مقطع، عرض مقطع و طول تیر بترتیب ۳۰۰، ۲۰۰ و ۲۴۴۰ میلیمتر است. مقدار آرماتور طولی برای بدست آوردن ظرفیت برشی تیر مطابق ACI 318M-14 در نظر گرفته شد [۲۸]. به منظور تسطیح نمونه ها از ۴ عدد آرماتور با قطر ۱۸ به عنوان آرماتور کششی و ۲ عدد آرماتور به قطر ۱۰ به عنوان آرماتور فشاری مطابق شکل (۱) استفاده شد. مقاومت تسلیم و نهایی آرماتورهای مورد استفاده حاصل از تست کشش مستقیم مطابق شکل (۲) برابر با ۴۵۰ و ۶۳۰ مگاپاسکال بدست آمد. نامگذاری نمونه ها در جدول (۴) ارائه شده است. در این جدول R و N بیانگر طرح اختلاط دارای سنگدانه طبیعی و بازیافتی است. عدد پشت درصد بیانگر درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی است به عنوان مثال ۵۰٪ بیانگر نمونه دارای ۵۰ درصد جایگزین سنگدانه بازیافتی است.



شکل ۱- مشخصات هندسی نمونه ها



شکل ۲- آزمایش کشش مستقیم میلگرد

جدول ۴- نامگذاری نمونه ها

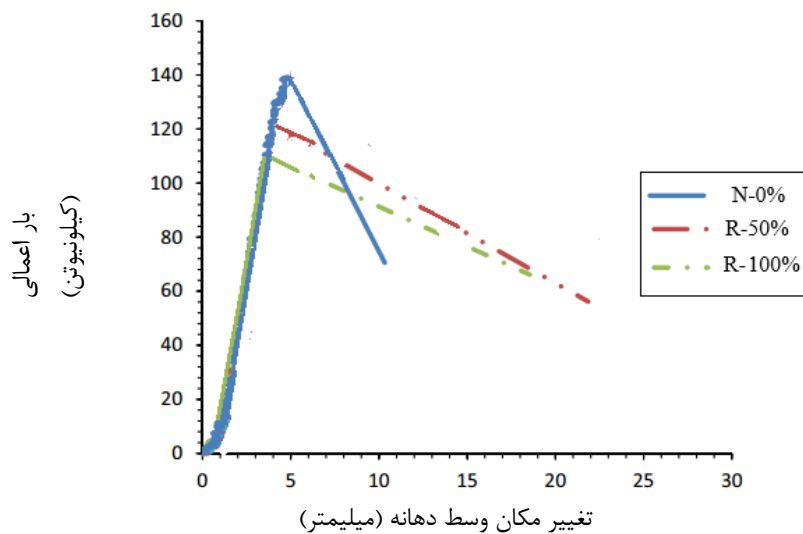
نام نمونه	مقاومت فشاری متوسط بتن بر حسب مگاپاسکال	بیشینه ظرفیت فشاری (کیلونیوتن)	بیشینه مقاومت برشی بتن محاسبه شده (کیلونیوتن)
N-0%	۲۸	۱۳۸,۶۷	۶۹,۳۳
R-50%	۲۵	۱۱۷,۸۹	۵۸,۹۴
R-100%	۲۳	۱۱۰,۰۸	۵۵,۰۴

## دستگاه انجام آزمایش خمش

آزمایش خمش چهارنقطه ای استاتیکی به منظور تعیین رفتار تیرها مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه بصورت تغییر تغییر مکان کنترل با بیشینه ظرفیت ۴۰۰ کیلونیوتن است. تکیه گاه ها به فاصله ۲۲۰ میلیمتری از هر انتهای تیر بصورت مفصلی قرار داده شد. به منظور تعیین تغییر مکان، یک تغییر مکان سنج دیجیتالی (LVDT) در وسط تیر به منظور تعیین تغییر مکان مورد نظر قرار داده شد. سپس نتایج بدست آمده از بار و تغییر مکان در سیستم ثبت شد.

## بحث و بررسی نتایج

در این بررسی تمام نمونه ها تحت برش گسیخته شدند. رفتار برشی این نمونه ها در شکل (۳) نشان داده شده است. ظرفیت برشی نمونه های دارای جایگزین سنگدانه بازیافتی با نمونه شاهد (فاقد سنگدانه بازیافتی) مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که از این شکل مشخص است بیشینه ظرفیت نمونه ها با افزودن سنگدانه بازیافتی کاهش پیدا میکند. این موضوع در حالی است که بعد از رسیدن به بیشینه ظرفیت تیر، ظرفیت برشی تیر در نمونه شاهد سریع تر از نمونه دارای سنگدانه بازیافتی کاهش پیدا میکند. این امر با افزایش درصد جایگزین سنگدانه بازیافتی محسوس تر شده است به نحوی که با جایگزین کردن ۱۰۰ درصد سنگدانه بازیافتی بیشینه ظرفیت کاهش یافته است ولی بیشینه تغییر مکان افزایش یافته و افت ایجاد شده در ظرفیت برشی به با شیب کمتری کاهش پیدا کرده است.



شکل ۳- نمودار بار-تغییر مکان نمونه ها

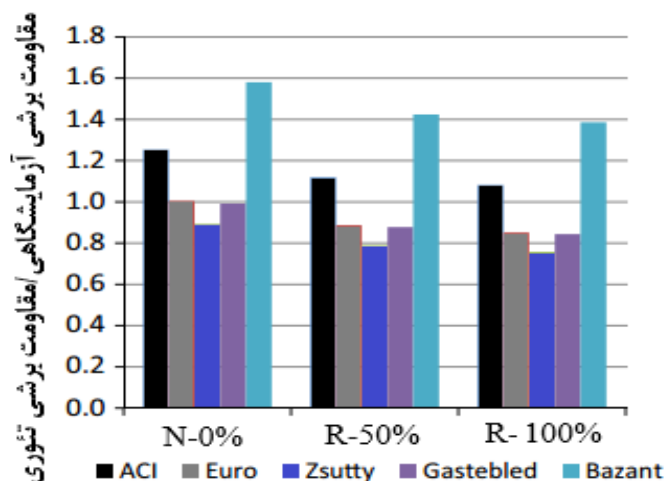
با توجه به ظرفیت بدست آمده، توزیع ترک خوردگی و گسترش مسیر ترک در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به ترک خوردگی های بدست آمده مشخص شد که گسیختگی در تمام نمونه ها بصورت برشی است. افزون بر این با افزایش درصد جایگزین سنگدانه بازیافتی گسیختگی برشی افزایش یافته و عرض ترک خوردگی به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. همانطور که از شکل (۴) مشخص می شود با جایگزینی ۱۰۰٪ سنگدانه بازیافتی تقریباً تیر از ناحیه تکیه گاه و در امتداد ترک خوردگی برشی به دو قسمت تبدیل شده و گسیختگی برشی به طور کامل اتفاق افتاده است.





شکل ۴- ترک خوردگی و مسیر گسترش ترک‌ها

با توجه به نتایج بدست آمده و توضیحات ارائه شده در خصوص روابط ارائه شده در تعیین ظرفیت برشی نمونه‌ها، نتایج بدست آمده از آزمایشات با روابط پیشنهاد شده مورد مقایسه قرار گرفته است. این مقایسه در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به این شکل نسبت مقاومت برشی بدست آمده نسبت به هریک از روابط ارائه شده برای نمونه شاهد بین ۱ تا ۱٫۲ و برای نمونه با جایگزین سنگدانه بازیافتی بین ۰٫۸ تا ۱٫۱ تغییر میکند. طبق این بررسی آیین نامه ACI ظرفیت برشی را دست پایین در نظر می‌گیرد. از طرف دیگر آیین نامه اروپا همین مقدار ظرفیت را بصورت دست بالا ارائه میکند. افزون بر این با توجه به روابط مکانیک شکست پیشنهاد شده توسط محققین، رابطه ی سوتی [۳۱] و گاستبل و می [۳۲] ظرفیت برشی بتن را بصورت قابل اطمینان و دست بالا در نظر می‌گیرند در حالیکه رابطه بازانت و یو [۳۳] ظرفیت را بصورت دست پایین و غیر قابل اطمینان محاسبه می‌کند.



شکل ۵- مقایسه ظرفیت برشی بدست آمده با روابط پیشنهاد شده

## نتیجه گیری

در این بررسی اثر استفاده از سنگدانه های بازیافتی بجای سنگدانه های طبیعی در ساخت تیرهای بتنی مورد مطالعه قرار گرفت. هدف از این بررسی تعیین رفتار برشی تیرهای بتنی و مقایسه نتایج بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی با روابط ارائه شده در آیین نامه ها و محققین است. بدین منظور سه نمونه تیر بتن مسلح با درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این بررسی نتایج زیر بدست آمد:

- ۱- در تعیین ظرفیت برشی تیرهای ساخته شده از سنگدانه بازیافتی آیین نامه ACI ظرفیت برشی را به صورت دست پایین و غیرقابل اعتماد تعیین میکند این در حالی است که آیین نامه اروپا این ظرفیت را دست بالا و قابل اعتماد ارائه میکند.
- ۲- با جایگزینی سنگدانه بازیافتی ظرفیت برشی کاهش می یابد به نحوی که با افزایش میزان جایگزینی این ظرفیت به مقدار بیشتری کاهش می یابد. این در حالی است که بعد از رسیدن به بیشینه ظرفیت برشی، افت ظرفیت در نمونه فاقد سنگدانه بازیافتی بیشتر است و تغییر مکان در نمونه با جایگزین سنگدانه بازیافتی بیشتر از نمونه شاهد است.
- ۳- با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه بازیافتی عرض ترکها افزایش یافته و ترک خوردگی گسترش بیشتری پیدا میکند.

## منابع

- [1] Pedro, D., Brito, J. De and Evangelista, L. (2015) "Performance of concrete made with aggregates recycled from precasting industry waste – influence of the crushing process", Mater. Struct. 48 (12) 3965–3978.
- [2] Pedro, D., Brito, J. De and Evangelista, L. (2014) "Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete", Constr. Build. Mater. 71 141–151.
- [3] André, A., Brito, J. De. Rosa, A. and Pedro, D. (2014) "Durability performance of concrete incorporating coarse aggregates from marble industry waste, J. Cleaner Prod. 65 389–396.
- [4] Seo, D.S. and Choi, H.B. (2014) "Effects of the old cement mortar attached to the recycled aggregate surface on the bond characteristics between aggregate and cement mortar", Constr. Build. Mater. 59. 72–77.
- [5] Marie, I. and Quiasrawi, H. (2012) "Closed-loop recycling of recycled concrete aggregates", J. Cleaner Prod. 37 243–248.
- [6] Koenders, E. Pepe, M. and Martinelli, E. (2014) "Compressive strength and hydration processes of concrete with recycled aggregates", Cem. Concr. Res. 56. 203–212.
- [7] Bravo, M., Brito, J. De Pontes, J. and Evangelista, L. (2015) "Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants", Constr. Build. Mater. 77. 357–369.
- [8] Yildirim, S., Meyer, C. and Herfellner, S. (2015) "Effects of internal curing on the strength, drying shrinkage and freeze–thaw resistance of concrete containing recycled concrete aggregates", Constr. Build. Mater. 91. 288–296.
- [9] Qasrawi, H. and Marie, I. (2013) "Towards better understanding of concrete containing recycled concrete aggregate", Adv. Mater. Sci. Eng. 8.

- [10] Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W. Chong, L. and Xie, Z. (2016) "Performance enhancement of recycled concrete aggregate: a review", *J. Cleaner Prod.* 112. 466–472.
- [11] Rahal, K. (2007) "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate", *Build. Environ.* 42. 407–415.
- [12] Bru, K. Touz, S. Bourgeois, F. Lippiatt, N. and Menard, Y.(2014) "Assessment of a microwave-assisted recycling process for the recovery of high-quality aggregates from concrete waste", *Int. J. Miner. Process.* 126. 90–98.
- [13] Katz, A. (2004) "Treatments for the improvement of recycled aggregate", *J. Mater. Civ. Eng.* 16 (6). 597–603.
- [14] Ismail, S. and Ramli, M. (2013) "Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications", *Constr. Build. Mater.* 44. 464–476.
- [15] Spaeth, V. and Tegguer, A. (2013) "Improvement of recycled concrete aggregate properties by polymer treatments", *Int. J. Sustainable Built Environ.* 2. 143–152.
- [16] Kou, S.C. and Poon, C.S. (2010) "Properties of concrete prepared with PVA-impregnated recycled concrete aggregates", *Cem. Concr. Compos.* 32 (8). 649–654.
- [17] Dilbas, H. Simsek, M. and Cakır, O. (2014) "An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume", *Constr. Build. Mater.* 61. 50–59.
- [18] Tam, V. Tam, C.M. and Le, K.N. (2007) "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches", *Resour. Conserv. Recycl.* 50. 82–101.
- [19] Ismail, S. and Ramli, M. (2014) "Mechanical strength and drying shrinkage properties of concrete containing treated coarse recycled concrete aggregates", *Constr. Build. Mater.* 68. 726–739
- [20] Xiao, J. Xie, H. and Yang, Z. (2012) "Shear transfer across a crack in recycled aggregate concrete", *Cem. Concr. Res.* 42. 700–709.
- [21] Kim, S.W., Jeong, C.Y., Lee, J.S. and Kim, K.H. (2013) "Size effect in shear failure of reinforced concrete beams with recycled aggregate", *J. Asian Archit. Build. Eng.* 12 (2) 323–330.
- [22] Arezoumandi, M. Smith, A., Volz, J. and Khayat, K. (2015) "An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate", *Eng. Struct.* 88 154–162.
- [23] Reis, N., Brito, J. De. Correia, J. and Arruda, M. (2015) "punching behaviour of concrete slabs incorporating coarse recycled concrete aggregates", *Eng. Struct.* 100 238–248.
- [24] Schubert, S., Hoffmann, C. Leemann, A., Moser, K. and Motavalli, M. (2012) "Recycled aggregate concrete: experimental shear resistance of slabs without shear reinforcement", *Eng. Struct.* 41 490–497.
- [25] Li, C.Y., Li, G.X., Shao, W. Guo, Q. and Liu, R. (2013) "Shear-crack behaviors of reinforced fullrecycled aggregate concrete beams", *Appl. Mech. Mater.* 438–439 794–799.

- [26] Fathifazl, G., Razaqpur, A.G. Isgor, O. Abbas, A. Fournier, B. and Foo, S. (2011) "Shear capacity evaluation of steel reinforced recycled concrete (RRC) beams", *Eng. Struct.* 33. 1025–1033.
- [27] Fonteboa G., Abella, M. Lage, M. and Lopez, E. (2009) "Structural shear behaviour of recycled concrete with silica fume", *Constr. Build. Mater.* 23 (11) 3406– 3410.
- [28] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14)*, American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Michigan, 2014.
- [29] European Committee for Standardization. *Eurocode No. 2. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings*, 2005.
- [30] Zsutty, T. (1968) "Beam shear strength prediction by analysis of existing data", *ACI Struct. J.* 65. 943–951.
- [31] Gastebled, O. and May, L. (2001) "Mechanics model applied to shear failure of reinforced concrete beams without stirrups", *ACI Struct. J.* 98 (2) 184–190.
- [32] Bazant, Z. and Yu, Q. (2005) "Designing against size effect on shear strength of reinforced concrete beams without stirrups", *J. Struct. Eng.* 113 (12). 1877–1885.