



بررسی رفتار تیرهای عمیق ساخته شده با سنگدانه‌های بازیافتی-مروری

دکتر ابوالفضل عربزاده

دانشیار گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مهدی خاکزادعربلو

دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

سنگدانه‌های بتن بازیافتی (RCA^1) به عنوان یک جایگزین پایدار برای سنگدانه‌های طبیعی در ساخت و ساز شهرت یافته‌اند. در این مطالعه مروری، مقاومت برشی تیرهای عمیق حاوی RCA ، RAP^2 و الیاف فولادی با و بدون بازشدگی جان را بررسی شد. در این مطالعه مروری مشاهده شد که هر یک از این عوامل تاثیر مستقیم با رفتار برشی تیر دارد و استفاده از هر یک از این موارد، رفتار برشی و شکل پذیری تیر را تحت تاثیر قرار می دهد. استفاده از الیاف فولادی مقاومت فشاری بتن بازیافتی را افزایش داده در نتیجه مقاومت برشی تیر، افزایش می یابد. همچنین وجود بازشدگی جان در این نوع تیرها باعث تاثیر منفی بر مقاومت برشی تیرهای عمیق دارد. استفاده از مواد بازیافتی و بهینه سازی مواد افزودنی، در عین حفظ عملکرد قابل قبول، به شیوه‌های ساخت و ساز پایدار کمک نمود.

واژگان کلیدی: تیر، تیر عمیق، سنگدانه بازیافتی، مقاومت برشی

¹ - Recycled concrete aggregate

² - Recycled aggregate pavement



مقدمه

تیرهای عمیق بتن مسلح به دلیل هندسه‌شان، شرایط مرزی و رفتاری که در مقایسه با تیرهای معمولی دارند، نوع خاصی از تیرها محسوب می‌شوند. این تیرها دارای نسبت دهانه به عمق موثر کمتر از ۵ هستند. در سازه‌هایی که از این تیرها استفاده می‌شود، چندین حالت احتمالی از آزمایش‌های فیزیکی شناسایی شده است. با وجود حجم زیادی از تحقیقات انجام شده در قرن گذشته، هنوز روش یکسانی برای پیش‌بینی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح وجود ندارد. این امر اصولاً به دلیل مکانیسم پیچیده‌ای است که با شکست برشی تیرهای بتن مسلح مرتبط است. در جوامع بین‌المللی، علاقه شدیدی به مطالعه رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح از نظر مقاومت برشی وجود دارد که توسط مطالعات تجربی متعدد در دهه‌های اخیر بیان شده است. این مطالعات به بهبود روش‌های برآورد ظرفیت برشی در این نوع سازه‌ها کمک می‌کند. همچنین مشاهده شده است که نواحی از این نوع تیرها با ناپیوستگی یا اختلال شدید در میدان‌های تنش (ناحیه D) وجود دارد. در این عناصر، فرضیه مقاطع مسطح تئوری خمشی کلاسیک، بر اساس روش‌های سنتی طراحی و مقاطع آزمایشی معتبر نیست. تحقیقات برای درک رفتار تیرهای عمیق نسبت به تیرهای معمولی سابقه کوتاهی دارد. در دهه ۱۹۶۰، آزمایش‌هایی برای ارزیابی ظرفیت تیرهای عمیق توسط دو پایوا و سیس (۱۹۶۵) و راماکریشنان و آنانتانارایانا (۱۹۶۸) انجام شد. این آزمایش‌ها نشان داد که حالت‌های شکست تیرهای عمیق به نسبت دهانه به عمق (a/d) وابسته است و شکست برشی تیرهایی که نسبت (a/d) کمتر از ۲.۰ دارند همیشه به دلیل شکست شکافتی استرات‌های بتنی مورب آغاز می‌شود.

طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن یک فرآیند سیستماتیک برای تعیین نسبت‌های مناسب مواد تشکیل‌دهنده بتن است به گونه‌ای که بتن تولیدی دارای ویژگی‌های مورد نظر برای یک پروژه خاص باشد. این طرح شامل انتخاب مواد مناسب و تعیین نسبت‌های دقیق آب، سیمان، سنگدانه‌های ریز و درشت و افزودنی‌ها، به منظور رسیدن به مقاومت، کارایی، دوام و سایر خواص مورد نیاز در بتن است.

تعیین خواص مورد نیاز بتن:

مقاومت فشاری مورد نیاز، که اغلب بر حسب مگاپاسکال (MPa) بیان می‌شود. دوام در برابر شرایط محیطی خاص مانند: یخ‌زدگی و آب‌شدگی، خوردگی، یا نفوذپذیری. کارایی مورد نظر برای قالب‌ریزی و ارتعاش.

انتخاب مواد:

سیمان: نوع سیمان مورد استفاده (معمولاً تیپ I، II، III، و غیره). سنگدانه‌ها: اندازه، نوع، و کیفیت سنگدانه‌های ریز (ماسه) و درشت (شن). آب: کیفیت آب مخلوط. افزودنی‌ها: استفاده از افزودنی‌ها برای بهبود خواص بتن (مانند کاهش آب، تسریع یا تأخیر در گیرش).

تعیین نسبت آب به سیمان (w/c):

این نسبت بر اساس مقاومت فشاری و دوام مورد نظر تعیین می‌شود. نسبت‌های پایین‌تر W/C به مقاومت بالاتر و دوام بهتر منجر می‌شود.

محاسبه نسبت‌های مواد:

محاسبه کل آب مورد نیاز برای دستیابی به کارایی لازم. محاسبه مقدار سیمان با استفاده از نسبت W/C. تعیین حجم کلی سنگدانه‌های مورد نیاز، با توجه به حداکثر اندازه سنگدانه و حجم اشغالی آن‌ها در مخلوط. توزیع سنگدانه‌های ریز و درشت بر اساس معیارهای طراحی مانند مدول نرمی.



آزمایش بتن:

تهیه نمونه‌های آزمایشی بتن با استفاده از طرح اختلاط پیشنهادی.
آزمایش‌های کارایی مانند روانی، جداسدگی، و وقت گیرش.
آزمایش‌های مقاومت فشاری در روزهای ۷، ۱۴، و ۲۸.
ارزیابی دوام در شرایط محیطی مشابه با محل پروژه.

مشخصات مصالح

در طرح اختلاط بتن، مصالح مورد استفاده برای تولید بتن بسیار حائز اهمیت هستند. در ادامه، مشخصات مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط بتن توضیح داده شده:

آب:

آب برای ساخت و عمل‌آوری بتن یک عنصر بسیار مهم است. برای تولید بتن با کیفیت، باید آبی را انتخاب کنیم که به مشخصات زیر تطابق داشته باشد.

تمیزی: آب باید تمیز و خالی از مواد زیان‌آور مانند روغن، اسید، باز، نمک و مواد آلی باشد.
صافی: آب باید صاف و بدون ذرات معلق باشد.

PH³ مناسب: مقدار PH آب بتن باید در محدوده ۵ تا ۵/۸ باشد.

عدم حاوی مواد مضر: آب نباید حاوی مواد مضر مانند سولفات‌ها، کلرورها و غیره باشد.

همچنین، در مراحل ساخت و عمل‌آوری بتن، آب‌های مصرفی در کامیون‌های حمل بتن، آب‌های آزاد موجود در سنگدانه‌ها، آب‌های به کار رفته در انواع افزودنی بتن، دوغاب‌سازی و مواد افزودنی معدنی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. به طور کلی، آب آشامیدنی یکی از آب‌های مطلوب برای ساخت بتن است، اگر مزه یا بوی خاصی نداشته و عاری از ذرات زیان‌آور باشد. همچنین، آب‌های زیرزمینی نیز می‌توانند برای تولید بتن مناسب باشند، اما قبل از استفاده باید آن‌ها را آزمایش کنیم. در موارد خاص، آب دریا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما باید با دقت آزمایش شود. به طور کلی، انتخاب آب مناسب برای بتن، تأثیر زیادی بر خصوصیات و کیفیت نهایی بتن دارد. بنابراین، انتخاب آب با دقت و توجه به مشخصات فوق اهمیت دارد.

سیمان:

سیمان، به عنوان یکی از اجزای اصلی بتن، نقش مهمی در کیفیت و خصوصیات نهایی بتن ایفا می‌کند. برای تولید بتن با کیفیت، مشخصات زیر باید در نظر گرفته شود:

نوع سیمان: در طرح اختلاط بتن، از سیمان پرتلند تیپ ۲ با نرمی بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ بلین و وزن مخصوص $\frac{g}{cm^3}$ ۳/۱ استفاده می‌شود.

تمیزی سیمان: سیمان باید تمیز و خالی از ذرات زیان‌آور مانند خاک، روغن و مواد غیرمعدنی باشد.

مقدار سیمان: مقدار سیمان در بتن باید مطابق با نسبت‌های اختلاط تعیین شده باشد.

مقاومت سیمان: سیمان باید دارای مقاومت مناسب باشد تا به تشکیل مقاومت بتن کمک کند.

سنگدانه‌ی درشت طبیعی:

در طرح اختلاط بتن، مصالح سنگی (سنگدانه‌ها) نقش مهمی در کیفیت و خصوصیات نهایی بتن ایفا می‌کنند. مشخصات درشت دانه‌ها باید با دقت تعیین شوند. در ادامه، به توضیح مشخصات درشت دانه‌ها پرداخته شده مانند:
گروه درشت دانه‌ها: درشت دانه‌ها قطری حدود ۲ mm تا ۶۹ دارند و به عنوان "شن" نامیده می‌شوند.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه: حداکثر اندازه اسمی سنگدانه در بتن باید مطابق با استانداردهای مربوطه تعیین شود. برای مثال، در بتن آرمه، حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها ۳۸ mm و در بتن حجیم غیرمسلح ۶۳ mm است.

سنگدانه‌های بازیافتی:

در برخی موارد، از سنگدانه‌های بازیافتی نیز می‌توان در طرح اختلاط بتن استفاده کرد. نتایج آزمایشات نشان داده‌اند که با افزایش درشت دانه‌های بازیافتی، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد.

ماسه (ریزدانه):

ماسه، به عنوان یکی از مهم‌ترین مصالح در تولید بتن، نقش بسیار مهمی در کیفیت و خصوصیات نهایی بتن ایفا می‌کند. برای تولید بتن با کیفیت، مشخصات مناسبی رتایت شود. بهترین دانه‌بندی برای ماسه آن است که قطر ۳۳ درصد دانه‌های آن بین ۰/۰۸ تا ۰/۵ mm، ۳۳ درصد دانه‌های آن بین ۰/۵ mm تا ۱ mm، و بقیه دانه‌ها بین ۱ mm تا ۲ mm باشد. منشأ ماسه می‌تواند از منابع مختلفی مانند رودخانه‌ها، سواحل و بیابان‌ها تهیه شود. خواص مکانیکی ماسه باید دارای مقاومت مناسب در برابر فشار، خمش و سایش باشد و همچنین خواص فیزیکی ماسه نباید حاوی مواد آلی، نمک، گل و غیره باشد. به علاوه‌ی مطالب ذکر شده خواص شیمیایی ماسه نباید حاوی مواد مضر مانند سولفات‌ها باشد.

مقایسه تیرهای عمیق ساخته شده با سنگدانه های طبیعی و بازیافتی ساختمانی و روسازی

تحلیل رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح با استفاده از سنگدانه‌های مختلف و نوع تقویت‌کننده‌ها موضوعی جالب و حیاتی در مهندسی سازه است. در مطالعه‌ای که توسط رضا سلطان‌آبادی و همکارانش در دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد، رفتار تیرهای عمیق بتن مسلح حاوی سنگدانه‌های درشت طبیعی (NCA)، سنگدانه‌های بتن بازیافتی (RCA) و سنگدانه‌های روسازی آسفالتی بازیافتی (RAP) به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، پارامترهای مورد نیاز برای استفاده در تحلیل اجزای محدود غیرخطی به تفصیل مورد بحث قرار گرفت و نتایج تحلیل عددی برای تیرهای عمیق حاوی NCA، RCA و RAP با نتایج تجربی تایید شد. نتایج نشان داد که تیرهای عمیق حاوی NCA و RCA تقریباً رفتار مشابهی را برای هر نسبت a/h و L/h نشان می‌دهند، در حالی که تیرهای عمیق RAP متفاوت از دو نمونه مربوطه رفتار می‌کنند. تیرهای عمیق ساخته شده با RCA و NCA رفتار شکننده‌ای برای هر مقدار نسبت a/h و L/h داشتند، در حالی که آنهایی که حاوی RAP بودند شکل‌پذیری بیشتری را نشان دادند. همچنین، جذب انرژی در تیرهای عمیق RAP نسبت به نمونه‌های NCA و RCA بسیار بیشتر بود. انرژی جذب شده در تیرهای عمیق NCA و RCA تقریباً یکسان بود. پدیده اثر اندازه در تیرهای عمیق ساخته شده با NCA و RCA تقریباً مشابه بود، در حالی که در تیرهای عمیق RAP، شدت این اثر کمتر بود. با استفاده از نمودارهای بدست آمده از تحقیقات ایشان می‌توان مورد تایید بودن استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی را در صنعت ساخت و ساز تایید کرد.

عوامل موثر بر رفتار تیرها

عوامل متعددی بر رفتار این نوع از تیرها تاثیر دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

نسبت دهانه به ارتفاع متفاوت

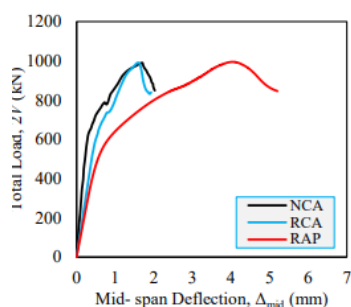
نسبت L/h به عنوان یکی دیگر از پارامترهای مهم در رفتار تیرهای عمیق در نظر گرفته می‌شود. اگرچه رفتار تیرهای عمیق تحت بارهای متمرکز عمدتاً توسط نسبت a/h تعیین می‌شود، نسبت L/h را می‌توان به عنوان پارامتر مؤثر دیگری در نظر گرفت. شکل‌های ۱

تا ۶، مقایسه ای بین تیرهای عمیق حاوی RCA، NCA و RAP را برای مقادیر مختلف نسبت L/h با نسبت a/h یکسان نشان می دهد. همانطور که در نتایج نشان داده شده است، ظرفیت تیرهای عمیق با افزایش نسبت L/h کاهش یافت، در حالی که نسبت a/h ثابت ماند. این کاهش به طور متوسط حدود ۲۰ درصد برای پرتوهای عمیق حاوی RCA و NCA و ۳۰ درصد برای نمونه های حاوی RAP بود که نشان دهنده حساسیت بیشتر نمونه های RAP به نسبت L/h است.

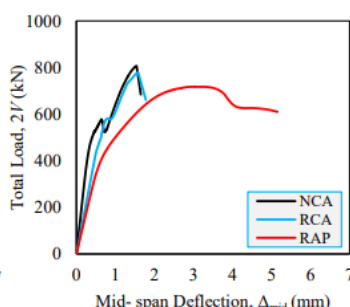
Evaluation of the variation in the L/h and a/h ratios

1	2.0	0.5	0.5	950
2		0.75		
3	3	0.5	0.5	650
4		0.75		
5		1.0		
6		1.25		

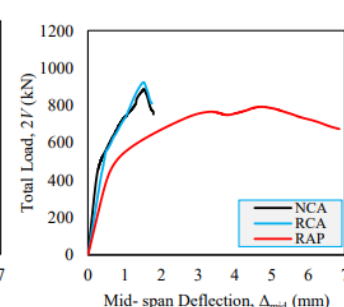
نسبت های مختلف دهانه به ارتفاع تیر. جدول ۱



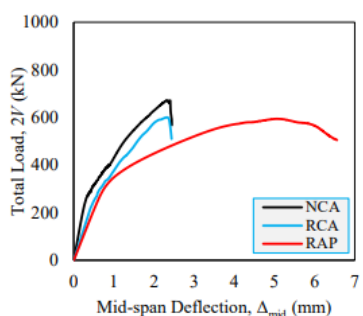
شکل ۱



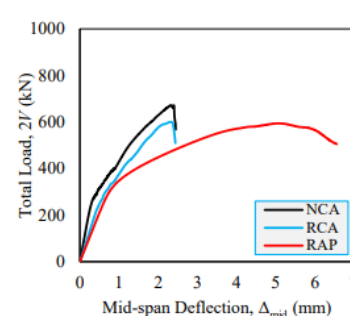
شکل ۲



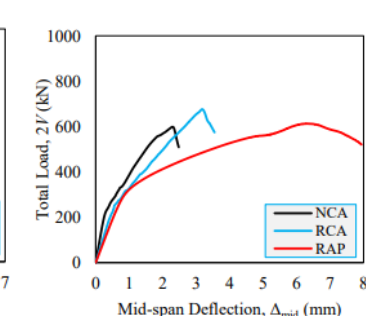
شکل ۱



شکل ۴



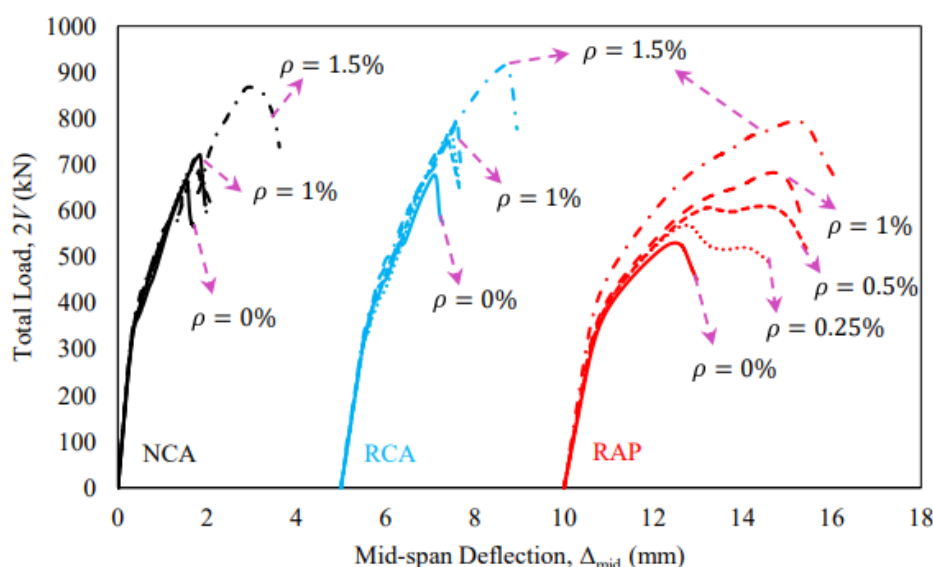
شکل ۵



شکل ۶

ارزیابی اثرات تقویت کننده های جان

نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که یک تیر عمیق بتنی بدون آرماتورهای افقی و عمودی (یعنی $\rho_v = \rho_h = 0\%$) ظرفیت برشی کمتری نسبت به نمونه‌های مربوطه با تقویت‌کننده‌های شبکه دارد. آیین نامه ACI 318-19 این کاهش را با استفاده از ضریب استرات، β_s در نظر می‌گیرد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تا ۱۰ درصد از آرماتورهای شبکه تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت برشی تیرهای عمیق حاوی RCA و NCA مشاهده نمی‌شود. بیش از این درصد ممکن است عملی نباشد. اما رفتار تیرهای عمیق بتنی با RAP با افزایش درصد آرماتورهای شبکه به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد که نشان دهنده تأثیر مثبت آرماتورهای بتنی بر رفتار و ظرفیت این تیرها است. بنابراین، برای ارزیابی دقیق ظرفیت پرتو عمیق RAP، باید تقویت‌کننده‌های وب در نظر گرفته شوند.



شکل ۷. تأثیر تقویت جان.

تأثیر الیاف فولادی در تیرهای عمیق بدون بازشدگی جان

برای بررسی بیشتر تیرهای عمیق ساخته شده با سنگدانه‌های بازیافتی به بررسی پارامترهای مختلف مانده افزودن الیاف فولادی به بتن بازیافتی مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور به مطالعه‌ای تحقیقات ناسی کچوه و همکارانش می‌پردازیم. نتایج یک بررسی تجربی با هدف مطالعه اثر الیاف فولادی بر رفتار برشی تیرهای عمیق بتن ساخته شده با سنگدانه بتن صد در صد بازیافتی (RCA) در مقاله ایشان ارائه شده است. این مطالعه شامل آزمایش هفت نمونه تیر عمیق بتنی با نسبت دهانه برشی به عمق $1/6$ بود. دو تیر از سنگدانه‌های طبیعی (NA) بدون الیاف فولادی، دو تیر از صد درصد RCA بدون الیاف فولادی و سه تیر از بتن مبتنی بر RCA با الیاف فولادی در کسر حجمی ۱، ۲ و ۳ درصد ساخته شده است. دو تا از تیرهای بدون الیاف فولادی دارای حداقل آرماتور برشی بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تیر با 10% RCA بدون الیاف فولادی سختی پس از ترک خوردگی کمتر، بار ترک برشی کاهش یافته و ظرفیت برشی کمتری نسبت به تیر کنترل مبتنی بر NA نشان می‌دهد. اثر مخرب RCA بر پاسخ برشی در حضور حداقل آرماتور برشی کمتر مشخص بود. افزودن الیاف فولادی به طور قابل توجهی پاسخ برشی تیرهای مبتنی بر RCA را بهبود بخشید. سختی پس از ترک خوردگی تیرهای بتنی مبتنی بر RCA با الیاف فولادی با تیر مشابه بدون الیاف فولادی حاوی حداقل آرماتور برشی مطابقت دارد. استفاده از الیاف فولادی در تیرهای RCA با درصد حجمی ۱ و ۲ درصد به ترتیب ۸۰ و ۹۰ درصد ظرفیت برشی تیر مشابه با حداقل



آرماتور برشی را بازیابی کرد. پاسخ نمونه RCA با درصد حجمی ۳ درصد، از تیر کنترل مبتنی بر NA با حداقل تقویت برشی بهتر بود، که نشان می‌دهد الیاف فولادی می‌توانند در تیرهای عمیق RCA به عنوان جایگزینی برای حداقل آرماتور برشی استفاده شوند. ظرفیت برشی به دست آمده از آزمایش‌ها با پیش‌بینی‌های مدل‌های تحلیلی منتشر شده مقایسه شد. این تحقیق بینشی از عملکرد ساختاری تیرهای عمیق RC ساخته شده با الیاف RCA و فولاد در کسرهای حجمی مختلف ارائه کرد. جایگزینی NA با RCA باعث حفظ منابع طبیعی، کاهش هزینه و کاهش اثرات زیست محیطی مرتبط با ذخیره سازی زباله های ساختمانی و تخریب می شود. استفاده از الیاف فولادی در سازه های بتنی مبتنی بر RCA به عنوان جایگزینی برای تقویت برشی سنتی می‌تواند هزینه اولیه الیاف فولادی را جبران کند، تراکم فولاد را از بین ببرد، خطر نقص و ترک را کاهش دهد و در نتیجه عمر مفید را افزایش دهد.

تاثیر الیاف فولادی در تیرهای عمیق با بازشدگی جان

نانسی کچوه و همکارانش به بررسی تیرهای عمیق ساخته شده با سنگدانه‌های بازیافتی (RCA) با بازشدگی جان پرداختند. این مطالعه نشان داد که جایگزینی سنگدانه‌های طبیعی با RCA در تیرهای عمیق با بازشو، کاهش ظرفیت برشی ۱۳ تا ۱۸ درصدی را به همراه دارد. افزودن الیاف فولادی به طور قابل ملاحظه‌ای پاسخ برشی این تیرها را بهبود داد و افزایش ظرفیت برشی ناشی از الیاف فولادی بین ۳۹ تا ۸۴ درصد بود، در حالی که استفاده از خاموت‌های فولادی معمولی تنها ۱۸ درصد افزایش ظرفیت داشت. به کارگیری الیاف فولادی ۱ درصد در تیرهای RCA بدون خاموت فولادی، ظرفیت برشی اولیه تیرهای ساخته شده با سنگدانه‌های طبیعی و خاموت‌های فولادی را تا ۹۶ درصد بازیابی کرد.

نتیجه

می‌توان نتایج زیر را از مطالعه‌ی مروری بدست آورد:

الف) تیرهای حاوی NCA و RCA رفتار مشابهی داشتند، اما تیرهای RAP رفتار متفاوتی نشان دارند. تیرهای حاوی RCA و NCA رفتار شکننده‌تری داشتند، در حالی که تیرهای RAP شکل‌پذیری بیشتری نشان دادند. همچنین، جذب انرژی در تیرهای RAP بیشتر بود. ده تیر با دو نسبت طول به عمق مختلف، نتایج نشان داد که جایگزینی NCA با ۵۰ درصد RCA و RAP باعث کاهش ظرفیت برشی تیرها شد، اما با جایگزینی ۱۰۰ درصدی و اصلاح طرح اختلاط، ظرفیت برشی تقریباً برابر بود. تیرهای RAP بیشترین و تیرهای RCA کمترین مقاومت ذخیره شده را داشتند.

ب) افزودن الیاف فولادی به طور قابل توجهی پاسخ برشی تیرهای مبتنی بر RCA را بهبود بخشید و می‌تواند به عنوان جایگزینی برای حداقل آرماتور برشی استفاده شود. همچنین نتایج نشان داد که تیرهای RCA با بازشو کاهش ظرفیت برشی داشتند، اما استفاده از الیاف فولادی بهبود قابل ملاحظه‌ای در پاسخ برشی این تیرها ایجاد کرد.

ج) بتن سنگدانه بازیافتی در مقایسه با بتن سنگدانه طبیعی دارای مقاومت فشاری، خمشی و شکستگی ضعیف‌تری است، اما حداکثر مقاومت باربری تفاوت قابل توجهی ندارد.

مراجع

- Arabzadeh, A., Rahaie, A. R., & Aghayari, R. (2009). A Simple strut-and-tie model for prediction of ultimate shear strength of RC deep beams. *International Journal of Civil Engineering*, 7(3), 141–153.
- Kachouh, N., El-Maaddawy, T., El-Hassan, H., & El-Ariss, B. (2021). Shear behavior of steel-fiber-reinforced recycled aggregate concrete deep beams. *Buildings*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/buildings11090423>
- Kachouh, N., El-Maaddawy, T., El-Hassan, H., & El-Ariss, B. (2022). Shear Response of Recycled Aggregates Concrete Deep Beams Containing Steel Fibers and Web Openings. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020945>
- Rodríguez, G., Main, P., Correspondant, A., Douglas, J., & Rocha, B. (2017). *Study of the behavior of reinforced concrete deep beams . Estimate of the ultimate shear capacity*. 318(2011), 43–56. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.1.43>
- Soltanabadi, R., & Behfarnia, K. (2022). Shear strength of reinforced concrete deep beams containing recycled concrete aggregate and recycled asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 314(July 2021). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125597>
- Soltanabadi, R., Behfarnia, K., & Mamazizi, A. (2022). Numerical investigation of RC deep beams containing recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 324(December 2021), 126713. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126713>

Investigating the behavior of beams made with recycled aggregates-a review

Abolfazl arabzadeh

Associate Professor of Structure Department,
Faculty of Civil Engineering and Environment,
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Mahdi khakzad arablou

Master's student, Faculty of Civil Engineering and
Environment, Tarbiat Modares University, Tehran,
Iran

1-1-

Abstract - ۲-۱

Recycled concrete aggregates (RCA) are known as a sustainable alternative to ۳-۱ natural aggregates in construction. In this review study, the shear strength of deep beams containing RCA, RAP and steel fibers with and without webbing was investigated. In this review study, it was observed that each of these factors has a direct effect on the shear behavior of the beam and the use of each of these factors affects the shear behavior and ductility of the beam. The use of steel fibers increases the compressive strength of recycled concrete, and as a result, the shear strength of the beam increases. Also, the presence of web openings in these types of beams has a negative effect on the shear strength of deep beams. The use of recycled materials and optimization of additives, while maintaining acceptable performance, contributed to sustainable construction methods

Keywords: Beam, deep beam, recycled aggregate, shear strength. - ۱-۴