

بررسی آزمایشگاهی تأثیر ترکیب الیاف ماکروستتیک و خرده لاستیک بر رفتار بتن

مهدی عباسی سردارآبادی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

احمد گنجعلی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

احسان کاشی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

حمیدرضا ایرانی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

چکیده

با گسترش روزافزون صنعت ساخت و ساز و کاربرد گسترده بتن به عنوان یکی از مصالح اصلی، ضرورت انجام پژوهش‌های جامع در زمینه خواص بتن و افزودنی‌های آن بیش از پیش احساس می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هم‌زمان الیاف ماکروستتیک و خرده لاستیک بر خواص مکانیکی بتن، شامل مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و حداکثر بار قابل تحمل دال بتنی، به صورت آزمایشگاهی انجام شده است. بدین منظور، ۲۴ نمونه بتنی با سه طرح اختلاط مختلف شامل ۱٪ الیاف کورتا و مقادیر ۵٪ و ۱۰٪ خرده لاستیک ساخته و آزمایش گردید. نتایج نشان داد طرح اختلاط حاوی ۵٪ خرده لاستیک و ۱٪ الیاف کورتا (CG5F1) در مقایسه با بتن شاهد موجب افزایش ۱۲٫۷٪ در مقاومت فشاری، ۵۰٫۸٪ در مقاومت خمشی و ۲۱٫۶٪ در ظرفیت باربری تحمل دال بتنی شد همچنین یافته‌ها نشان داد افزایش درصد خرده لاستیک به ۱۰٪ باعث کاهش شاخصهای مقاومتی و در مقابل الیاف ماکروستتیک کورتا موجب افزایش شاخصهای مقاومتی گردید. این نتایج بیانگر نقش مؤثر الیاف کورتا در بهبود عملکرد مکانیکی بتن و تعدیل اثرات منفی خرده لاستیک است.

واژه‌های کلیدی: الیاف ماکروستتیک، خرده لاستیک، بازبافتی، مقاومت بتن

* نویسنده مسئول: ahmad.ganjali@iau.ac.ir

۱- مقدمه

مقادیر لاستیک با ابعاد مختلف و عمل آوری های متفاوت را مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری بتن با خرده لاستیک در مقایسه با بتن معمولی کاهش شدیدی دارد به طوری که در کامپوزیت های حاوی ۵ درصد لاستیک با ابعاد mm ۵/۵۹ حدود ۴۱ درصد کاهش مقاومت وجود دارد با افزایش محتوای لاستیک به ۱۰ درصد وزنی، مقاومت فشاری ۳۳ درصد کاهش یافت. آنها عامل این کاهش را سوراخ های ریز موجود در دانه های لاستیکی دانستند که بطور معمول با آب پر شده و موجب ایجاد حفراتی در مخلوط می شدند [۶]. خالو و همکاران در سال (۲۰۰۸) ۲۰ و ۳۰ درصد خرده لاستیک را جایگزین ماسه کردند و مشاهده نمودند که مقاومت فشاری ۳۸ مگاپاسکال به ۱۶ و ۸ مگا پاسکال کاهش یافت [۷]. سوتسوس و همکاران در سال ۲۰۱۲ با آزمایش بر عملکرد خمشی بتن مسلح ساخته شده با الیاف فولاد و سنتیک به این نتیجه رسیدند که استفاده از الیاف فولادی و سنتیک در بتن به طور قابل توجهی چقرمگی خمشی را افزایش می دهد [۸]. البرتی و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مقایسه بین بتن مسلح حاوی الیاف پلی اولفین با بتن خود متراکم به این نتیجه رسیدند که طرح اختلاط بتن مسلح معمولی با الیاف پلی اولفین برای محیطی با خطر متوسط مناسب است از جمله شرایطی که در تماس مستقیم با آب های دریایی، مواد فرسایشی و ذوب و انجماد است [۹]. گل و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی استفاده از الیاف فولادی لاستیک های بازیافتی به عنوان جایگزینی برای الیاف فولادی در بتن مسلح می پردازد. هدف اصلی این تحقیق، کاهش تأثیرات زیست محیطی ناشی از دفع لاستیک های فرسوده و یافتن راه حلی برای استفاده مجدد از این مواد در صنعت بتن است که به این نتیجه رسیدند که بتن حاوی الیاف فولادی لاستیک های بازیافتی مقاومت فشاری کمتری حاصل می گردد [۱۰]. فازی و همکاران در سال ۲۰۲۰ بر روی خصوصیات بتن حاوی لاستیک از لحاظ استحکام، شکل پذیری، جذب صدا و مقاومت فشاری بتن لاستیکی تحقیق نمودند که نتیجه گرفتند تأثیر مواد افزودنی فوق بر مقاومت فشاری و شکل پذیری نهایی مخلوط های بتن لاستیکی مقاومت کمتری نسبت به مخلوط های بتن معمولی دارند. همچنین، بتن لاستیکی شکل پذیری و اتلاف انرژی بالاتری دارد [۱۱]. صالحی زاده و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی ارزیابی مقاومت بتن متخلخل و ساخته شده با استفاده از خرده لاستیک ضایعات

امروزه استفاده از افزودنی های متفاوتی از انواع الیاف، خرده لاستیک و ... با توجه به شرایط و محل مورد استفاده در بتن رایج شده است. از آنجایی که تأثیر ترکیب دو نوع افزودنی الیاف ماکروسنتتیک و خرده لاستیک در بتن تحقیقات زیادی صورت نگرفته است سعی گردید در این پژوهش تأثیرات این افزودنی بررسی گردد. در سال های اخیر استفاده از بتن های الیافی در مهندسی عمران و به ویژه سازه های جدید رواج گسترده ای پیدا کرده اند. بتن های الیافی در مقایسه با بتن های معمولی دارای مزایایی همچون بهبود شکل پذیری، کاهش طول ترک، ظرفیت خستگی بالا، چقرمگی و افزایش پایداری می باشند. مطالعات گسترده بر روی مشخصات مکانیکی بتن های الیافی نشان داده است که وجود الیاف نه تنها باعث افزایش مقاومت کششی بلکه موجب تثبیت ترک های به وجود آمده می گردد [۱]. الیاف می تواند از مواد طبیعی مانند آذیت، سیزال و سلولز یا یک محصول تولیدی مانند شیشه، فولاد، کربن و پلیمر ساخته شود. دو نوع متداول از الیاف را می توان الیاف فولادی و الیاف پلیمری در سازه های میکروسنتتیک (پلی پروپیلن) و ماکروسنتتیک (فورتا) برشمرد [۲]. زیمیل و همکارانش به این نتیجه رسیدند که استفاده از الیاف پلی پروپیلن می تواند رفتار خردشدگی بتن را بهبود ببخشد. این رفتار تا حد زیادی وابسته به ترک های ظاهر شده در ساعات اولیه بتن ریزی و تنش های کششی ایجاد شده ناشی از آن می باشد که تا زمان رسیدن بتن به مقاومت اولیه خود ادامه می یابد. چنین ترک هایی بستر مناسبی برای ورود عوامل خارجی را به درون بتن فراهم می سازند که می تواند منجر به خوردگی شود. پژوهش های انجام شده در این زمینه نشان داده است که استفاده کمتر از ۰/۵٪ حجمی الیاف پلی پروپیلن بهترین نتایج را برای جلوگیری از ایجاد ترک ها در پر داشته است [۳ و ۲]. از سوی دیگر استفاده از درصد های بالاتر الیاف بهترین نتایج را برای مقاومت های کششی و فشاری نشان داده اند در صورتی که باعث کاهش کارایی نیز شده اند [۴]. تگنیت همو و همکاران در سال ۲۰۰۵ با بررسی مکانیزم ریز ساختاری چسبندگی بین الیاف پلی اولفین و خمیر سیمان به این نتیجه رسیدند که مکانیزم چسبندگی بین الیاف پلی اولفین و خمیر سیمان مشابه است با یک مصالح متخلخل در تماس با خمیر سیمان [۵]. البانو و همکاران در سال (۲۰۰۵) مقاومت فشاری بتن حاوی

خمشى مورد بررسى قرار دادند. نتایج نشان داد که بتن مسلح به الیاف کربن از نظر مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته عملکرد بهتری نسبت به بتن مسلح به الیاف بازالت دارد [۱۶]. سردارآبادی و همکاران در سال ۲۰۲۵ پژوهشی تحت عنوان ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد ترکیبی الیاف ماکرو سنتتیک کورتا و خرده لاستیک در شکل پذیری و مقاومت فشاری دال بتن مسلح افزایش میزان خرده لاستیک سبب کاهش مقاومت فشاری دال‌های بتنی می‌شود، درحالی‌که حضور الیاف ماکرو سنتتیک با ایجاد پیوند مؤثر در ماتریس بتن، موجب بهبود رفتار مکانیکی و افزایش شکل‌پذیری می‌گردد [۱۷].

پژوهش مذکور به‌صورت آزمایشگاهی به بررسی تأثیر الیاف ماکروسنتتیک کورتا و خرده لاستیک بر بتن می‌باشد بدین منظور ۲۴ نمونه آزمایشگاهی ساخته شد که از این تعداد ۱۸ نمونه (خمشی، فشاری) و ۶ نمونه دال بتنی می‌باشد. در این پژوهش از ۳ طرح اختلاط متفاوت با درصد‌های متفاوت خرده لاستیک (۵ و ۱۰ درصد) و الیاف کورتا ۱ درصد و بتن معمولی بهره می‌بریم به جهت آزمایش نمونه‌های ساخته شده ۹ نمونه تحت بارگذاری فشاری، ۶ نمونه تحت بارگذاری فشاری دال بتنی، ۹ نمونه تحت بارگذاری خمشی قرار خواهد گرفت و در نهایت بر روی نتایج، مقاومت نمونه و حداکثر بار قابل تحمل تحت آزمایش‌های مذکور به بررسی پرداخته خواهد شد.

۲ - آزمایشگاه

در این پژوهش از مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه استفاده شده است و تمام مصالح سنگی مورد استفاده بر اساس منحنی دانه بندی استاندارد [18] ASTM C33 صورت گرفته است منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های مصرفی در این پروژه آزمایشگاهی از محل معمول شن و ماسه مورد استفاده در طرح‌های عمرانی شهر مشهد تهیه شده است. مصالح ریزدانه (ماسه) از نوع طبیعی و دو بارشور و مصالح درشت دانه شن از نوع شکسته مورد استفاده قرار گرفته است. سنگ‌دانه‌های درشت با نام شن شکسته با حداکثر قطر ۱۲/۵ میلی‌متر و با وزن مخصوص ۲/۷۸ g/cm^3 و جذب آب ۴/۲ درصد و سنگ‌دانه‌های ریز با نام ماسه با قطر حداکثر ۴/۷۵ میلی‌متر و مدول نرمی ۴/۶ و وزن مخصوص ۲/۹۴ g/cm^3 مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق سیمان

پرداختند و دریافتند حضور خرده لاستیک در طرح اختلاط بتن متخلخل بر کاهش مقاومت کششی، بیشتر از اثر آن بر کاهش مقاومت فشاری می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد جایگزینی خرده لاستیک و سنگ‌دانه در بتن متخلخل، درصد تخلخل و نفوذپذیری هر دو افزایش می‌یابند. همچنین مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های حاوی خرده لاستیک، پس از قرارگیری در محیط سولفاتی، نسبت به مقاومت فشاری و کششی سولفاته نمونه شاهد، کمتر است [۱۲]. فرخزاد و همکاران در سال ۲۰۲۱ طی تحقیقاتی به بررسی تأثیر الیاف ماکروسنتتیک و فولادی بر نمودار تنش-کرنش بتن الیافی و تأثیر متقابل آن بر دوام بتن پرداختند و نتیجه گرفتند استفاده از الیاف فولادی تأثیر به‌سزایی روی مقاومت فشاری در درصد بالا تر از ۰/۵ نداشته و مقاومت کششی را به صورت محسوسی افزایش داده و مقاومت الکتریکی را کاهش می‌دهد و همچنین الیاف ماکروسنتتیک پلی‌الفین و پلی‌پروپیلن تأثیر چندانی روی مقاومت فشاری نداشته و حتی در درصد‌های بالا مقاومت فشاری را کاهش داده است و تأثیر مثبتی روی مقاومت کششی و مقاومت الکتریکی و نفوذ آب تحت فشار داشته است و استفاده از الیاف باعث افزایش مساحت زیر منحنی تنش-کرنش شده است [۱۳]. خدابخشی و همکاران در سال ۲۰۲۲ طی تحقیقاتی به بررسی ارزیابی عملکرد بتن الیافی هیبریدی مسلح به الیاف فولادی، باریچپ و ماکروسنتتیک پرداختند و نتیجه گرفتند بتن‌های الیافی هیبرید بهترین عملکرد را در آزمون‌های کششی، فشاری، خمشی و جذب انرژی از خود نشان داده است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی و استفاده از بازه وسیعی در نسبت‌های اختلاط الیاف، می‌توان نوع و نسبت بهینه اختلاط را در بتن الیافی هیبریدی توصیه نمود [۱۴]. امیدی نسب و همکاران در سال ۲۰۲۲ پژوهشی تحت عنوان بررسی و مقایسه تأثیر الیاف‌های فولادی، پلی‌پروپیلن و کورتا در بهبود رفتار خمشی تیرهای بتن مسلح انجام دادند که نتایج نشان داده است تیرهای حاوی الیاف فولادی نسبت به الیاف‌های پلی‌پروپیلن و کورتا از لحاظ شاخصهای مقاومت خمشی، جذب انرژی و ظرفیت میلگرد‌های کششی عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد تیرهای حاوی الیاف کورتا شکل‌پذیری مطلوب‌تری نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن دارد. [۱۵]. کاویتا و همکاران (۲۰۲۴) رفتار بتن مسلح به الیاف کربن و بازالت را تحت آزمایش‌های مقاومت کششی و

پرتلند تیپ II می باشد. خصوصیات سیمان مصرفی در مورد استفاده بر اساس جدول ۲ بوده و خرده لاستیک از کارخانه جدول ۱ ارائه شده است. آب مورد استفاده در این آزمایش، بازیافت لاستیکی شهرداری مشهد مقدس با وزن مخصوص ۱۰۵۰ آب آشامیدنی شهری مشهد می باشد. مشخصات الیاف کورتا kg/m^3 و اندازه ۱ الی ۴ میلی متر تهیه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان

C_3A	C_4AF	C_2S	C_3S	CaO	N_2O	K_2O	Mgo	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
۵/۳	۱۲/۸	۲۲/۷	۵۰/۲۱	۶۲/۲۲	۰/۳۹	۰/۵۲	۱/۵۶	۳/۷۱	۰/۴۵	۲۱/۲

جدول ۲- درصد عبوری مصالح سنگدانه بر اساس استاندارد (ASTM C33)

شماره الک (mm)	۱۲/۵	۹/۵	Nb ۴	Nb ۸	Nb ۱۶	Nb ۳۰	Nb ۵۰	Nb ۱۰۰
شن	۱۰۰	۵۲	۱۰/۲	-	-	-	-	-
محدوده مجاز شن	۹۰-۱۰۰	۴۰-۷۰	۰-۱۵	-	-	-	-	-
ماسه	-	-	۹۶/۳	۸۷/۴	۵۸/۸	۳۴/۲	۱۰/۵	۱/۸
محدوده مجاز ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۵۰-۸۵	۲۵-۶۰	۵-۳۰	۰-۱۰

جدول ۳- مشخصات الیاف کورتا

مقاومت کششی (MP)	550 ± 25
مدول الاستیسته (GP)	$5/5 \pm 0/25$
ازدیاد طول (%)	$10 \pm 0/5$
وزن مخصوص (gr/cm^3)	۰/۹۱
طول (mm)	۴۰-۵۰
قطر (mm)	۰/۳

استفاده شده است. گروه یک شامل طرح اختلاط معمولی فاقد افزودنی گروه دو طرح اختلاط با مقادیر ۱ درصد الیاف ماکرو سنتتیک کورتا و ۵ درصد خرده لاستیک گروه سه طرح اختلاط با مقادیر ۱ درصد الیاف ماکرو سنتتیک کورتا و ۱۰ درصد خرده لاستیک با نسبت آب به سیمان یکسان ۰/۴۸ که اطلاعات کامل مربوط به طرح اختلاط ها در جدول ۴ نمایش داده شده است. نمونه های ساخته شده به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب شرب نحوی عمل آوری که تمام سطح بتن در طول این مدت در تماس با آب بود. پس از آن، نمونه ها در شرایط و دمای عادی آزمایشگاه تا زمان آزمایش نگهداری شدند.

۳- طرح اختلاط و عمل آوری

در این پژوهش از ۲۴ نمونه (۹ نمونه آزمایش فشاری، ۹ نمونه آزمایش خمشی، ۶ نمونه دال بتنی) با ۳ طرح اختلاط متفاوت

جدول ۴- مشخصات طرح اختلاط

ردیف	نوع بتن	نام طرح اختلاط	آب (kg)	سیمان (kg)	شن ریزدانه (mm ۴,۷۵-۹,۵) (kg)	شن درشت دانه (mm ۱۲,۵-۱۹,۵) (kg)	ماسه (kg)	خرده لاستیک (kg)	الیاف کورتا (kg)
۱	بتن معمولی	CS	۱۹۴	۴۰۴	۴۵۶/۳	۳۰۴/۲	۹۲۹/۵	۰	۰
۲	بتن با خرده لاستیک ۵٪ و ۱٪ الیاف کورتا	CG5F1	۱۹۴	۴۰۴	۴۵۶/۳	۳۰۴/۲	۹۱۰	۱۹/۵	۹/۱
۳	بتن با خرده لاستیک ۱۰٪ و ۱٪ الیاف کورتا	CG10F1	۱۹۴	۴۰۴	۴۵۶/۳	۳۰۴/۲	۸۹۰/۵	۳۹	۹/۱

۸*۸*۲۸ سانتی متر ساخته ، عمل آوری و بعد ۲۸ روز تحت بارگذاری در آزمایشگاه سازه قرار گرفت. با توجه به مطالب گفته شده انجام آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C39 [19] و برای آزمایش خمش مطابق با استاندارد ASTM C293 می باشد [20].

برای آزمایش دال‌های بتن مسلح، تعداد ۶ نمونه دال با ابعاد ۷×۱۰×۱۰ سانتی متر ساخته شد. دال بر روی تکیه گاه‌های ساده مفصلی در چهار طرف قرار گرفتند، به گونه‌ای که دهانه آزاد دال در هر طرف برابر با ۹۰ سانتی متر بود. بارگذاری به صورت فشاری از بالا و از طریق جک فشاری به ظرفیت ۲۰۰ تن و دقیقاً در مرکز دال انجام شد. هر دال با استفاده از آرماتور نمره ۶ با مقاومت تسلیم (2400 kg/cm^2) و فاصله ۱۵ سانتی متر بین میلگردها مسلح گردید. پس از عمل آوری نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز، به منظور اندازه‌گیری جابجایی و نیرو، از حسگر LVDT در مرکز دال استفاده گردید. داده‌های نیرو-جابجایی ثبت و نمودارهای مربوطه ترسیم شد تا شاخص‌های ظرفیت باربری نهایی استخراج شوند.

۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری قالب بتن با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی متر انتخاب و در هر طرح اختلاط ۳ نمونه و مجموعاً ۹ نمونه مطابق دستور العمل‌های استاندارد ASTM C39 عمل آوری و تحت بارگذاری قرار گرفته است. آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها توسط یک دستگاه تست یونیورسال به ظرفیت ۲۰۰۰ کیلونیوتن و تحت شرایط کنترل جابه جایی انجام شده است. همچنین نرخ بارگذاری تک محوره ۰/۳ مگاپاسکال بر ثانیه در نظر گرفته شده است. مقادیر ارائه شده برای مقاومت فشاری در بخش نتایج میانگینی از سه نمونه مکعبی در هر طرح اختلاط می باشند.

۴-۲- آزمایش مقاومت خمش

در این نوع آزمایش جهت تعیین مقاومت خمشی نمونه‌های منشوری (۸×۸×۲۸ سانتی متر) بر اساس استاندارد ساخته شده و در هر طرح اختلاط ۳ نمونه و در مجموع ۹ نمونه بارگذاری خمشی صورت تا مقاومت خمشی نمونه بر اساس استاندارد ASTM C293 تعیین شود. در این آزمایش یک لودسل به ظرفیت ۵۰ کیلونیوتن برای اندازه‌گیری بار در تیرهای منشوری



شکل ۱- نمونه آزمایشگاهی



الف-خرده لاستیک



ب-الیاف کورتا

شکل ۲- الیاف کورتا و خرده لاستیک

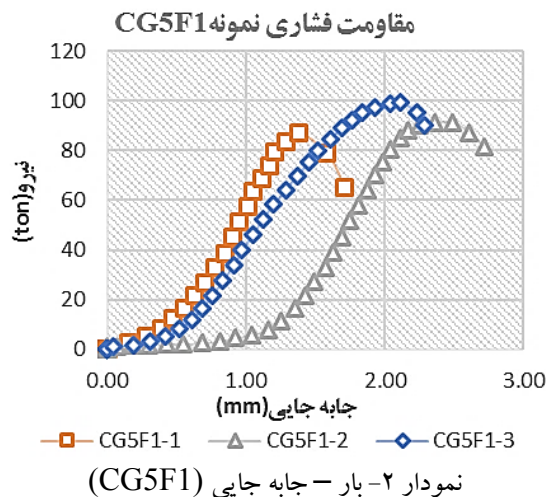
۴-۳- شرح آزمایش

هدف از انجام این تحقیق بررسی آزمایشگاهی تأثیر الیاف ماکروسنتتیک کورتا و خرده لاستیک بر روی خواص مکانیکی مقاومتی بتن می باشد. برای ساخت هر نوع بتن در ابعاد مختلف مکعبی و استوانه‌ای از ۳ طرح اختلاط استفاده گردیده است. ۹ نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی متر، ۶ نمونه دال بتنی جهت انجام آزمایش ظرفیت باربری دال بتنی به ابعاد ۷*۱۰*۱۰ سانتی متر و ۹ نمونه مکعب منشوری جهت انجام آزمایش خمش به ابعاد

۵-۱-۲- بتن دارای ۵ درصد خرده لاستیک و ادرصد

الیاف کورتا (CG5F1)

با توجه به نمودار (۲) و جدول (۶) طرح اختلاط (CG5F1) حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ۱ درصد الیاف کورتا می باشد مشاهده می گردد بار میانگین سه نمونه ۹۲/۶ ton و مقاومت فشاری میانگین سه نمونه ۴۱/۱ MPa می باشد که نسبت به بتن شاهد (CS) افزایش مقاومت آن ۱۲/۷۲ درصد می باشد.



جدول ۶- نتایج حداکثر بار - جابه جایی و مقاومت فشاری (CG5F1)

ردیف	نمونه	بار نهایی (ton)	جابه جایی نهایی (mm)	مقاومت فشاری (mpa)
۱	CG5F1-1	۸۷/۱۲	۱/۳۸	۳۸/۷
۲	CG5F1-2	۹۱/۴	۲/۴۹	۴۰/۶
۳	CG5F1-3	۹۹/۳	۲/۱۱	۴۴/۱
میانگین				
۴	مقاومت سه نمونه	۹۲/۶	۱/۹۹	۴۱/۱

۵-۱-۳- بتن دارای ۱۰ درصد خرده لاستیک و ادرصد

الیاف کورتا (CG10F1)

با توجه به نمودار (۳) و جدول (۷) طرح اختلاط (CG10F1) حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک و ۱ درصد الیاف کورتا می باشد. مشاهده می گردد که بار میانگین سه نمونه ۷۵/۹ ton و مقاومت فشاری میانگین سه نمونه ۳۳/۷ MPa می باشد که نسبت به بتن شاهد (CS) کاهش مقاومت آن ۷/۶ درصد می باشد.

استفاده شده و همه نمونه ها تحت بارگذاری یکنواخت به صورت حالت کنترل شده بار- جابه جایی قرار گرفته اند. مقاومت های خمشی نمونه ها به کمک رابطه (۱) تعیین می شود. P نشان دهنده نیروی حداکثر d و b به ترتیب ارتفاع و عرض نمونه و L نشان دهنده طول نمونه است. مقادیر گزارش شده از میانگین نتایج برای سه تست تکرار شده به دست آمده است.

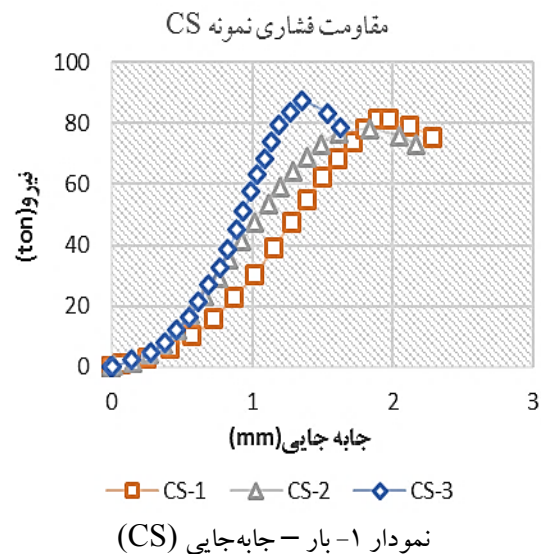
$$v_p = 1.5 \frac{pl}{bd^2} \quad (1)$$

۵- نتایج

۱-۵ نتایج آزمایشات مقاومت فشاری

۱-۱-۵- بتن شاهد فاقد افزودنی (CS)

با توجه به نمودار (۱) و جدول (۵) مشاهده می گردد که بار میانگین سه نمونه ۸۲/۱۵ ton و مقاومت فشاری میانگین سه نمونه ۳۶/۴۶ MPa می باشد.



جدول ۵- نتایج حداکثر بار - جابه جایی و مقاومت فشاری (CS)

ردیف	نمونه	بار نهایی (ton)	جابه جایی نهایی (mm)	مقاومت فشاری (mpa)
۱	CS-1	۸۱/۴	۱/۹۷	۳۶/۱
۲	CS-2	۷۷/۹۴	۱/۸۴	۳۴/۶
۳	CS-3	۸۷/۱۲	۱/۳۶	۳۸/۷
میانگین				
۴	مقاومت سه نمونه	۸۲/۱۵	۱/۷۲	۳۶/۴۶

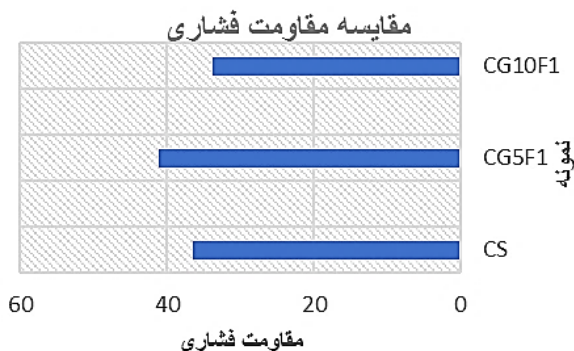
کاهش می‌یابد. با این حال، افزودن الیاف کورتا تأثیر مثبتی در جبران این کاهش داشته و موجب بهبود نسبی مقاومت فشاری می‌گردد. به‌طور کلی، بر اساس یافته‌های آزمایشگاهی، می‌توان نتیجه گرفت که خرده‌لاستیک عاملی کاهنده و الیاف کورتا عاملی تقویت‌کننده در رفتار فشاری بتن محسوب می‌شوند. از این‌رو، در پروژه‌هایی که مقاومت فشاری نقش تعیین‌کننده‌ای در طراحی سازه دارد، توصیه می‌شود از کاربرد خرده‌لاستیک اجتناب شده و به‌جای آن از الیاف کورتا بهره گرفته شود.



شکل ۴- شکست مقاومت فشاری و انتشار ترک (CG5F1)



شکل ۵- شکست مقاومت فشاری و انتشار ترک (CG10F1)

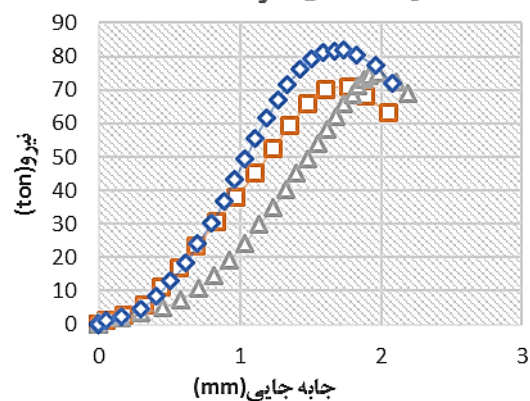


نمودار ۴- مقایسه مقاومت فشاری نهایی براساس طرح اختلاط بتن

جدول ۷- نتایج حداکثر بار - جابجایی و مقاومت فشاری (CG10F1)

ردیف	نمونه	بار نهایی (ton)	جابجایی نهایی (mm)	مقاومت فشاری (mpa)
۱	CG10F1-1	۷۰/۳	۱/۷۷	۳۱/۴
۲	CG10F1-2	۷۵/۲	۱/۹۸	۳۳/۴
۳	CG10F1-3	۸۲	۱/۷۴	۳۶/۴
۴	مقاومت سه نمونه میانگین	۷۵/۹	۱/۸۳	۳۳/۷

مقاومت فشاری نمونه CG10F1



نمودار ۳- بار - جابجایی (CG10F1)



شکل ۳- شکست مقاومت فشاری و انتشار ترک (CS)

۵-۱-۴- مقایسه نتایج میانگین نمونه های فشاری

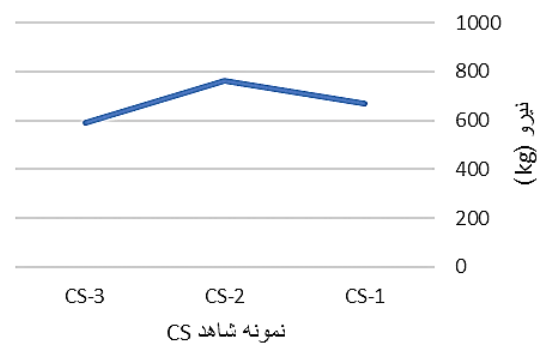
بررسی نتایج حاصل از مقایسه طرح‌های اختلاط مختلف با نمونه شاهد (بتن معمولی) نشان می‌دهد که با افزایش درصد خرده‌لاستیک در ترکیب بتن، مقاومت فشاری به‌طور قابل توجهی

۲-۵- نتایج آزمایشات مقاومت خمشی

۱-۲-۵- بتن شاهد فاقد افزودنی (CS)

با توجه به نمودار (۵) و جدول (۸) مشاهده می گردد که بار میانگین سه نمونه ۶۷۵/۹ kg و مقاومت خمشی میانگین سه نمونه ۵/۵ mpa می باشد.

حداکثر نیروی وارد شده خمشی نمونه CS



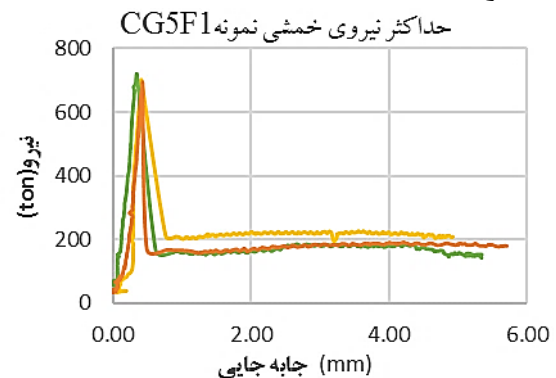
نمودار ۵- حداکثر بار خمشی (CS)

جدول ۸- نتایج حداکثر بار - جابجایی و مقاومت خمشی (CS)

ردیف	نمونه	بار ماکزیمم (kg)	جابجایی ماکزیمم (mm)	مقاومت خمشی (mpa)
۱	CS-1	۶۷۰/۷	—	۵/۵
۲	CS-2	۷۶۴/۸	—	۶/۲
۳	CS-3	۵۹۲/۳	—	۴/۸
۴	میانگین سه نمونه	۶۷۵/۹	—	۵/۵

۲-۲-۵- بتن دارای ۵۵ درصد خرده لاستیک و ادرصد

الیاف کورتا (CG5F1)



نمودار ۶- بار - جابجایی (CG5F1)

جدول ۹- نتایج حداکثر بار - جابجایی و مقاومت خمشی (CG5F1)

ردیف	نمونه	بار ماکزیمم (kg)	جابجایی ماکزیمم (mm)	مقاومت خمشی (mpa)
۱	CG5F1-1	۷۱۰/۲۱	۰/۴۱	۵/۸
۲	CG5F1-2	۷۳۰/۸	۰/۳۵	۵/۹
۳	CG5F1-3	۷۰۳/۳	۰/۴۳	۵/۷
۴	میانگین سه نمونه	۷۱۴/۷	۰/۳۹	۵/۸

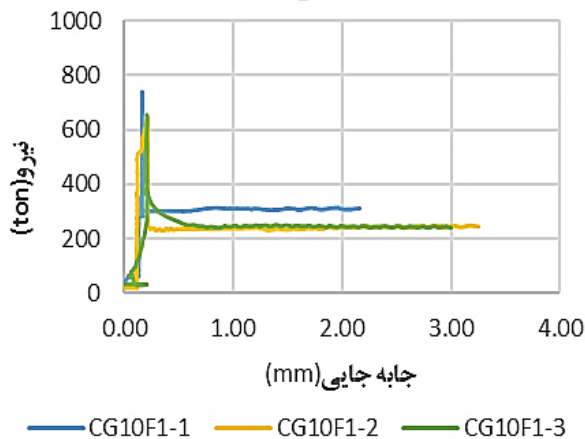
با توجه به نمودار (۶) و جدول (۹) طرح اختلاط (CG5F1) حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ادرصد الیاف کورتا می باشد مشاهده می گردد که بار میانگین سه نمونه ۷۱۴/۷۸ kg و مقاومت خمشی میانگین سه نمونه ۵/۸۶ (mpa) می باشد که نسبت به بتن شاهد (CS) افزایش مقاومت آن ۵/۸ درصد می باشد.

۳-۲-۵- بتن دارای ۱۰ درصد خرده لاستیک و ادرصد

الیاف کورتا (CG10F1)

با توجه به نمودار (۷) و جدول (۱۰) طرح اختلاط (CG10F1) حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک و ۱ درصد الیاف کورتا می باشد مشاهده می گردد که بار میانگین سه نمونه ۶۶۷/۴۷ kg و مقاومت خمشی میانگین سه نمونه ۵/۴۷ (mpa) می باشد که نسبت به بتن شاهد (CS) کاهش مقاومت آن ۱/۳ درصد می باشد.

حداکثر نیروی خمشی نمونه CG10F1

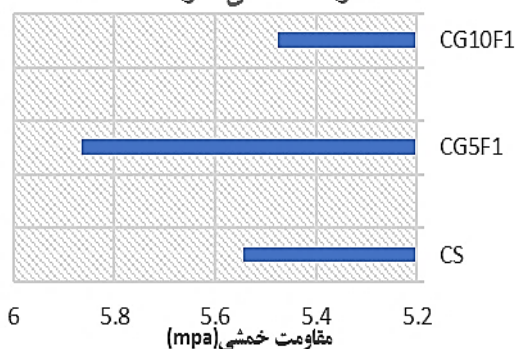


نمودار ۷- بار - جابجایی (CG10F1)

۵-۲-۴- مقایسه نتایج میانگین نمونه های خمشی

بررسی نتایج حاصل از مقایسه طرح های اختلاط مختلف با نمونه شاهد (بتن معمولی) نشان داد که افزایش درصد خرده لاستیک منجر به کاهش محسوس در مقاومت خمشی بتن می گردد. با این حال، افزودن الیاف کورتا تا حد قابل توجهی توانست این کاهش را جبران نموده و مقاومت خمشی را بهبود بخشد. بر اساس یافته های آزمایشگاهی، خرده لاستیک به عنوان عاملی کاهنده و الیاف کورتا به عنوان عاملی تقویت کننده در رفتار خمشی بتن شناخته می شوند.

مقاومت خمشی نمونه



نمودار ۸- مقایسه مقاومت خمشی نهایی بر اساس طرح اختلاط بتن

علاوه بر این، مطابق با نمودار شماره (۵)، نمونه بتن معمولی در آزمون خمش فاقد هرگونه رفتار شکل پذیر بود، در حالی که نمونه های حاوی الیاف کورتا رفتار شکل پذیر مطلوبی از خود نشان داده و توانایی جذب انرژی بالایی داشتند. این نتایج نشان دهنده اثر مثبت الیاف در بهبود عملکرد پس از ترک خوردگی و افزایش شکل پذیری نمونه ها است. از این رو، در کاربردهایی که مقاومت خمشی و رفتار شکل پذیر بتن از اهمیت بالایی برخوردار است، توصیه می شود از به کارگیری خرده لاستیک اجتناب شده و استفاده از الیاف کورتا مدنظر قرار گیرد.

۵-۳- نتایج بارگذاری فشاری بر دال بتن مسلح

۵-۳-۱- بتن شاهد فاقد افزودنی (CS)

مطابق نتایج حاصل از نمودار (۹) و جدول (۱۱)، میانگین حداکثر بار قابل تحمل توسط دو نمونه دال بتنی شاهد با کد CS، برابر با ۴۷۰۴/۸ کیلوگرم به دست آمده است. این مقدار به عنوان معیار پایه جهت ارزیابی و مقایسه عملکرد سایر نمونه های تقویت شده مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱۰- نتایج حداکثر بار - جابجایی و مقاومت خمشی (CG10F1)

ردیف	نمونه	بار ماکزیمم (kg)	جابجایی ماکزیمم (mm)	مقاومت فشاری (mpa)
۱	CG10F1-1	۷۲۹/۰۲	۰/۱۶	۵/۹۸
۲	CG10F1-2	۶۳۱/۸	۰/۲۱۰	۵/۱۸
۳	CG10F1-3	۶۴۱/۵	۰/۲۰۵	۵/۲۶
۴	میانگین سه نمونه	۶۶۷/۴	۰/۱۹۱	۵/۴۷



شکل ۶- شکست مقاومت خمشی و انتشار ترک (CS)



شکل ۷- شکست مقاومت خمشی و انتشار ترک (CG5F1)



شکل ۸- شکست مقاومت خمشی و انتشار ترک (CG10F1)

حضور همزمان الیاف ماکروستتیک در طرح اختلاط منجر به جبران اثرات منفی ناشی از لاستیک و حتی بهبود قابل توجه عملکرد نهایی شده است. در مقایسه با نمونه شاهد (CS) با ظرفیت باربری ۴۷۰۴/۸ کیلوگرم، نمونه CG5F1 افزایش ۲۱/۶ درصدی در تحمل حداکثر بار از خود نشان داده که عمدتاً به نقش مثبت الیاف در افزایش چقرمگی، کاهش گسترش ترک‌ها، و ارتقای انسجام ماتریس سیمانی نسبت داده می‌شود.

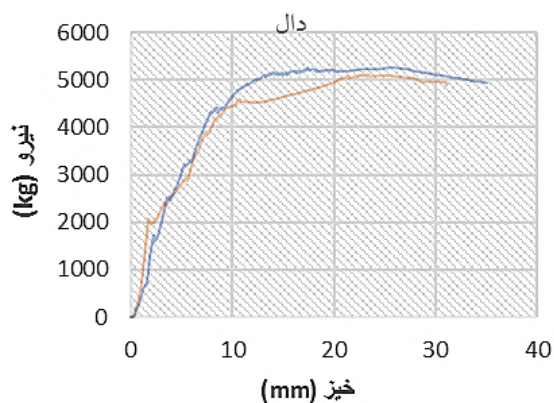
جدول ۱۲- حداکثر بار فشاری قابل تحمل (CG5F1)

ردیف	نمونه	بار نهایی (kg)
۱	CG5F1-1	۵۷۰۳/۱
۲	CG5F1-2	۵۷۴۷/۳
۳	میانگین مقاومت دو نمونه	۵۷۲۵/۲

۵-۳-۳- بتن دارای ۱۰ درصد خرده و ادرصد الیاف ماکروستتیک کورتا (CG10F1)

بر اساس داده‌های ارائه شده در نمودار (۱۱) و جدول (۱۳)، نمونه با طرح اختلاط CG10F1 که شامل ۱۰ درصد خرده لاستیک و ۱ درصد الیاف ماکروستتیک کورتا می‌باشد، میانگین حداکثر بار قابل تحمل سه نمونه برابر با ۵۱۶۱/۷ کیلوگرم گزارش شده است. این مقدار نشان‌دهنده افزایش ۹/۷ درصدی ظرفیت باربری نسبت به نمونه شاهد (CS) با طرح اختلاط معمولی است.

حداکثر بار فشاری قابل تحمل توسط CG10F0.5



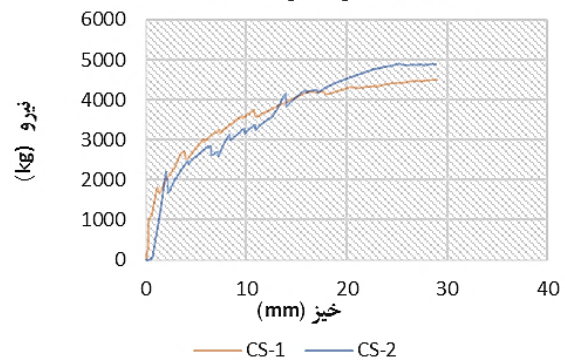
نمودار ۱۱- بار- جابجایی (CG10F1)

این نتایج بیانگر آن است که افزایش درصد خرده لاستیک به ۱۰ درصد باعث کاهش نسبی ظرفیت باربری دال در مقایسه با نمونه

جدول ۱۱- حداکثر بار فشاری قابل تحمل (CS)

ردیف	نمونه	بار نهایی ماکزیم (kg)
۱	CS-1	۴۵۱۳/۲
۲	CS-2	۴۸۹۶/۴
۳	میانگین مقاومت دو نمونه	۴۷۰۴/۸

حداکثر بار فشاری قابل تحمل توسط دال نمونه CS

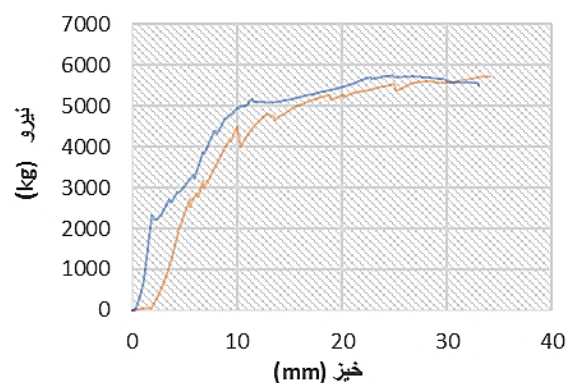


نمودار ۹- بار- جابجایی (CS)

۵-۳-۲- بتن دارای ۵ درصد خرده و ادرصد الیاف ماکروستتیک کورتا (CG5F1)

مطابق با داده‌های ارائه شده در نمودار (۱۰) و جدول (۱۲)، نمونه با کد CG5F1، متشکل از ۵ درصد خرده لاستیک به عنوان جایگزین جزئی مصالح سنگ‌دانه‌ای و ۱ درصد الیاف ماکروستتیک کورتا، موفق به ثبت میانگین حداکثر بار قابل تحمل معادل ۵۷۲۵/۲ کیلوگرم در سه تکرار آزمایش گردید.

حداکثر بار فشاری قابل تحمل توسط دال نمونه CG5F1



نمودار ۱۰- بار- جابجایی (CG5F1)

اگرچه افزودن خرده لاستیک به تنهایی معمولاً منجر به کاهش مقاومت مکانیکی بتن و افت ظرفیت باربری دال می‌شود، اما



الف - نمونه (CS)



ب - نمونه (CG5F1)



ج - نمونه (CG10F1)

شکل ۹- تصویر دال های بتنی

- به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که الیاف کورتا تنها افزودنی نیستند بلکه اجزای فعال سازه‌ای هستند که مقاومت مکانیکی بتن را افزایش می‌دهند. از سوی دیگر، اگرچه خرده لاستیک های بازیافتی مزایای زیست محیطی و اقتصادی دارند، تأثیر منفی آنها

CG5F1 شده، اما حضور الیاف ماکروستتیک همچنان نقش مؤثری در بهبود عملکرد سازه‌ای بتن ایفا کرده است.

جدول ۱۳- حداکثر بار فشاری قابل تحمل (CG10F1)

ردیف	نمونه	بار نهایی (kg)
۱	CG10F1-1	۵۰۹۵/۱
۲	CG10F1-2	۵۲۲۸۳
۳	میانگین مقاومت دو نمونه	۵۱۶۱/۷

شکل شماره ۹ نمایانگر تصویر آزمایش بارگذاری فشاری به صورت تک محوره و نحوه شکست نمونه‌ها می‌باشد بارگذاری به صورت فشاری از بالا و از طریق جک فشاری به ظرفیت ۲۰۰ تن و دقیقاً در مرکز دال و اندازه گیری جابجایی و نیرو، با استفاده از حسگر LVDT انجام گردید.

۶- بحث و نتایج

- بررسی آزمایشگاهی به وضوح تعامل پیچیده بین خرده لاستیک بازیافتی لاستیک و الیاف مصنوعی کورتا را بر عملکرد مکانیکی بتن نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که در حالی که افزودن خرده لاستیک به دلیل چسبندگی ضعیف با ماتریس سیمان و افزایش تخلخل داخلی معمولاً باعث کاهش مقاومت فشاری و خمشی می‌شود، این اثر منفی به طور قابل توجهی با استفاده مناسب از الیاف کورتا کاهش یافته یا حتی معکوس می‌گردد.

- نتایج مقاومت فشاری نشان می‌دهد که مخلوط‌های حاوی مقادیر متوسط لاستیک (۵٪) و میزان الیاف (۱٪) به ویژه CG5F1 بیشترین افزایش مقاومت را داشته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی بین الیاف کورتا و خرده لاستیک است که می‌تواند توزیع تنش و ظرفیت پل زنی ترک‌ها را به خصوص در ماتریس های متراکم بتن افزایش دهد. در مقابل، افزایش محتوای لاستیک به ۱۰٪ منجر به کاهش قابل توجه مقاومت شده که نشان‌دهنده تأثیر منفی لاستیک بیش از حد بر یکپارچگی سازه‌ای است. داده‌های مقاومت خمشی نیز این نتیجه را تأیید می‌کنند.

- نمونه‌های شاهد شکست ترد و با جذب انرژی کم داشتند، در حالی که مخلوط‌های تقویت شده با الیاف، شکل‌پذیری بالاتر و تأخیر در شکست تحت بارهای خمشی را نشان دادند.

بر مقاومت مکانیکی، استفاده از آن‌ها را در کاربردهای سازه‌ای محدود می‌کند مگر اینکه با تقویت الیافی کافی جبران شود.

- یافته‌ها نشان می‌دهد که در حالی که الیاف کورتا نقش مثبتی در عملکرد سازه‌ای دارند و برای کاربردهای سازه‌ای مناسب هستند، افزودن خرده لاستیک معمولاً مقاومت مکانیکی را کاهش داده و بنابراین بیشتر برای عناصر غیرسازه‌ای یا ثانویه بتن که در آن‌ها پایداری بر ظرفیت باربری ارجحیت دارد، مناسب است. در کاربردهای غیرسازه‌ای که جذب انرژی و سختی بر مقاومت مطلق اولویت دارد، می‌توان خرده لاستیک لاستیکی را با آزادی عمل بیشتری، به‌ویژه همراه با الیاف، استفاده کرد.

۷- نتیجه گیری

- طرح اختلاط CG5F1 حاوی ۵٪ خرده لاستیک و ۱٪ الیاف کورتا دارای مقاومت فشاری میانگین ۴۱/۱ مگاپاسکال است که نسبت به بتن شاهد (CS) افزایش حدود ۱۲/۷٪ را نشان می‌دهد. این افزایش بیانگر اثر هم‌افزایی الیاف کورتا در جبران تأثیر منفی خرده لاستیک و بهبود یکپارچگی ماتریس بتن است همچنین طرح اختلاط CG10F1 حاوی ۱۰٪ خرده لاستیک و ۱٪ الیاف کورتا مقاومت فشاری میانگین ۳۳۰۷ مگاپاسکال دارد که نسبت به بتن شاهد ۶/۷٪ کاهش مقاومت را نشان می‌دهد؛ این امر نشان‌دهنده تأثیر منفی بیش از حد خرده لاستیک بر عملکرد سازه‌ای بتن است.

۸- مراجع

- [۱] Amin, A., Foster, S. J., Gilbert, R. I., & Kaufmann, W. (2017), "Material characterisation of macro synthetic fibre reinforced concrete", *Cement and Concrete Composites*, 84, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.08.018>
- [۲] Zeiml, M., et al., How do polypropylene fibers improve the spalling behavior of in-situ concrete *Cement and concrete research*, 2006. 36(5): p. 929-942.
- [۳] Banthia, N., and Gupta, R., Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and concrete Research*, 2006. 36(7): p. 1263-1267.
- [۴] Zhang, P., and Li, Q.-f., Experiment and study on tensile strength of polypropylene fiber reinforced cement stabilized macadam. *Highway*, 2008. 4: p. 175-179.
- [۵] Tagnit-Hamou, A., Vanhove, Y. and Petrov, N. Microstructural analysis of the bond mechanism between polyolefin fibers and cement pastes.

- طرح اختلاط CG5F1 مقاومت خمشی میانگین ۵/۸ مگاپاسکال دارد که ۵/۸٪ افزایش نسبت به بتن شاهد را نشان می‌دهد، تأییدکننده اثر تقویتی الیاف کورتا بر توزیع تنش و تاخیر در شکست است همچنین طرح اختلاط CG10F1 مقاومت خمشی میانگین ۵/۴۷ مگاپاسکال دارد که ۱۰۳٪ کاهش نسبت به بتن شاهد را نشان می‌دهد، که بیانگر اثر منفی خرده لاستیک بیش از حد بر ظرفیت پل‌زنی ترک‌ها است.

- طرح CG5F1 در بیشترین ظرفیت بار را با ۵۷۲۵/۲ کیلوگرم موجب افزایش ۲۱/۶۸٪ ظرفیت باربری گردیده که اثر افزایش درصد الیاف در تقویت ماتریس بتنی و بهبود رفتار پس از ترک‌خوردگی را تأیید می‌کند. همچنین طرح CG10F1 با تحمل ظرفیت بار ۵۱۶۱/۷ کیلوگرم موجب افزایش ۹/۷٪ ظرفیت باربری گردیده، که نشان می‌دهد افزایش درصد الیاف تا حدی می‌تواند اثر منفی افزایش خرده لاستیک را کاهش دهد.

- "Behaviour of carbon and basalt fiber reinforced concrete under split tensile and flexural strength testing", Adv. Concrete Constr., 18(1), 2130. <https://doi.org/10.12989/acc.2024.18.1.021>
- [17] abbasi sardarabadi, mahdi, Ganjali, ahmad, Kashi, Ehsan, irani, hamidreza (2025). Experimental Evaluation of the Combined Effect of Macro-Synthetic korta Fibers and Crumb Rubber on the Ductility and Compressive Strength of Reinforced Concrete . *Analysis of Structure and Earthquake, 22(3), 100-111. 10.71507/civil.2025.1228445
- [18] ASTM C33. (2016). Standard Specification for Concrete Aggregates(2016)
- [۱۹] ASTM Standard Test, 2114, Method standard test for compressive strength of cylindrical concrete Specimens, ASTM C39, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 14-11.
- [۲۰] ASTM Standard Test, 2111, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, ASTM C496, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. 14-12.
- [۲۱] ASTM C293. (2016). Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with center-point loading). ASTM International West Conshohocken, PA.
- [۲۲] Ren, G.; Shang, H.; Zhang, P.; Zhao, T (2019). Bond Behaviour of Reinforced Recycled Concrete after Rapid Freezing-Thawing Cycles. Cold Reg. Sci. Technol., 157, 133–138
- [۲۳] Wang, J.; Dai, Q.; Si, R.; Guo, S (2019). Mechanical, Durability, and Microstructural Properties of Macro Synthetic Polypropylene (PP) Fiber-Reinforced Rubber Concrete. J. Clean. Prod., 234, 1351–1364.
- [۲۴] Abdelmonem, A.; El-Feky, M.S.; Nasr, E.S.A.R.; Kohail, M (2019) . Performance of High Strength Concrete Containing Recycled Rubber. Constr. Build. Mater., 227, 116660.
- [۲۵] Kurad, R.; Silvestre, J.D.; de Brito, J.; Ahmed, H (2017). Effect of Incorporation of High Volume of Recycled Concrete Aggregates and Fly Ash on the Strength and Global Warming Potential of Concrete. J. Clean. Prod., 166, 485–502.
- [۲۶] Khalhen, I. A., & Aghayari, R. (2023). Impact Resistance of Concrete Containing LLDPE–Waste Tire Rubber and Silica Fume. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 11(1), 60–75.
- Cement and Concrete Research, 35(2), pp.364-370,2005
- [6] Albano. C, Camacho. N, Reyes. J, Feliu. J, Hernandez. M. 2005. "Influence of Scrap Rubber Addition to portland I Concrete Composite". Composite Structure, 71, 439 -446
- [7] Khaloo, A. R., Dehestani, M., Rahmatabadi, P. 2008". Mechanical Properties of Concrete Containing a High Volume of Tire-Rubber Particles" , Waste Management 28, 2472-2482.
- [8] Soutsos, M., Le, T. and Lampropoulos, A. Flexural performance of fibre reinforced concrete made with steel and synthetic fibres. Construction and Building Materials, 36, pp.704-710, 2012.
- [۹] Alberti, M., Enfedaque, A. and Gálvez, J. (2015). Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 85, pp.182-194.
- [۱۰] Gul, S., & Naseer, S. (2019). Concrete Containing Recycled Rubber Steel Fiber. Procedia Structural Integrity, 18, 101–107
- [۱۱] Fawzy, H. M., Mustafa, S. A. A., & Elshazly, F. A. (2020). Rubberized concrete properties and its structural engineering applications – An overview. The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology, 30, 1–11
- [۱۲] salehizadeh, M. and Dizangian, B. (2020). Evaluation of strength of porous concrete made using scrap rubber. Concrete Research, 13(1), 113-128. doi: 10.22124/jcr.2020.14440.1393
- [۱۳] farokhzad, R. and Karimi, B. (2021). Investigation on The effect of macro synthetic and steel fibers on stress strain and mechanical properties and durability of fiber reinforced concrete. Concrete Research, 14(2), 69-82. doi: 10.22124/jcr.2021.18820.1481
- [14] Khodabakhshi, R. , Jafarniya, A. , Fayyaz, M. and Mohammad, S. (2022). Evaluating Mechanical Properties of hybrid fiber concrete reinforced. Concrete Research, 15(2), 65-78. doi: 10.22124/jcr.2022.19139.1495
- [15] F. Omidinasab, A. Eskandari, A. Sahraei Moghadam, Investigation and comparison of the influence of steel, polypropylene, and korta fibers in improving the flexural performance of reinforced concrete beams, Amirkabir J. Civil Eng., 54(7) (2022) 563-566
- [16] Kavitha, S. and Ravikumar, M. S. (2024),

Effect of Combined Macro-Synthetic Fibers and Crumb Rubber on Concrete Behavior: An Experimental Investigation

Mahdi Abbasi Sardarabadi

PhD student, Department of Civil Engineering, Sha.c., IslamicAzad University, Shahrood, Iran.

Ahmad Ganjali *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sha.c., Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

Ehsan Kashi

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sha.c., Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

Hamidreza Irani

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sha.c., Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

Abstract

As the construction industry rapidly grows and concrete continues to be widely used as a key building material, the necessity for comprehensive research on the properties of concrete and its additives has become increasingly apparent. The present study aims to investigate the combined effect of Corte macro synthetic fibers and crumb rubber on the mechanical properties of concrete, including compressive strength, flexural strength, maximum load capacity of concrete slabs, and ductility, through experimental testing. For this purpose, 24 specimens with three different mix designs containing 1% Corte fibers and 5% and 10% crumb rubber were prepared and tested. The results indicated that the mix design containing 5% crumb rubber and 1% Corte fibers (CG5F1) led to increases of 12.7% in compressive strength, 5.8% in flexural strength, and 21.6% in the maximum load capacity of concrete slabs compared to the control mix. These findings suggest that the addition of korte fibers can mitigate the potential adverse effects of crumb rubber and improve the mechanical properties of concrete.

Keywords: Macro-Synthetic, concrete, strength of concrete.

* Corresponding Author: ahmad.ganjali@iau.ac.ir