مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره ۲۴، شماره ۳، سال ۱۴۰۳
صفحات ۷ تا ۱۴

بررسی اثر ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین بر خواص مکانیکی و دوام بتن حاوی پودر پومیس و فلدسپار

کمیل مومنی*[۱] و کریم مختاری[۲]

۱ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای
۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه جهاد دانشگاهی رشت

Email: kmomeni@tvu.ac.ir

(دریافت: [۱۴۰۲/۰۸/۰۲] پذیرش: [۱۴۰۲/۱۲/۰۹])

چکیده

بتن یک ماده ترد محسوب می‌شود، به طوری که رفتار آن تحت اثر نیروهای فشاری و کششی متفاوت است و مقاومت بتن در کشش بسیار کمتر از مقاومت فشاری آن است. برای جبران این ضعف، استفاده از ماده‌ای که بتواند مقاومت کششی بتن را افزایش دهد امری ضروری است. یکی از راهکارهای پیشنهادی که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، استفاده از انواع الیاف در مخلوط بتنی است. در پژوهش حاضر از ترکیب دو نوع الیاف فولادی و پلی‌اولفین در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. الیاف فولادی با درصد حجمی ۱٪ و الیاف پلی‌اولفین با درصدهای حجمی ۱٪ و ۲٪ مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین پودر پومیس و فلدسپار با درصدهای وزنی ۱۰٪ و ۲۰٪ به صورت تکی و ترکیب (با نسبت‌های مساوی) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده نشان داده است که استفاده از ترکیب الیاف-های فولادی و پلی‌اولفین باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌های حاوی پودر پومیس و فلدسپار می‌شود، به طوری که درصد بهینه ترکیب ۱٪ الیاف فولادی و ۱٪ الیاف پلی‌اولفین است. استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین اثر قابل توجهی بر بهبود مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی پودر پومیس دارد به طوری که استفاده از ترکیب ۱٪ الیاف فولادی و ۱٪ الیاف پلی‌اولفین در طرح حاوی ۱۰٪ پودر پومیس باعث دستیابی به بهترین عملکرد خمشی در سن ۲۸ روزه می‌شود.

واژگان کلیدی: بتن الیافی، جذب انرژی، پودر پومیس، فلدسپار، الیاف.

۱- مقدمه

امروزه کاربرد بتن الیافی به دلیل مزایای آن نسبت به بتن غیر مسلح گسترش یافته است. از جمله این مزایا می‌توان میزان جذب انرژی بالا، بهبود چشم‌گیر رفتار بتن در ناحیه بعد از ایجاد اولین ترک، بهبود مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه و جلوگیری از ایجاد و گسترش ترک‌های جمع شدگی را نام برد. با توجه به اینکه کاربرد یک نوع الیاف، خواص مطلوب مذکور را در گستره محدود بهبود می‌بخشد، امروزه کاربرد بتن الیافی هیبریدی گسترش یافته است [1, 2]. وجود معایب ذاتی در بتن همچون ترد شکنی و عدم شکل‌پذیری باعث شده است تا پژوهشگران با استفاده از انواع الیاف به بهبود ویژگی‌های رفتاری بتن بپردازند و ضعف بتن را در شکست ترد بهبود ببخشند و مقاومت کششی آن را افزایش دهند. پس استفاده از بتنی که بتواند ویژگی‌های شکل‌پذیری مناسب داشته باشد

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

می‌تواند به عنوان گامی موثر برای رفع مشکلات صنایع ساختمانی شناخته شود [3, 4]. بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با به‌کارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی و فشاری آن، افزایش فوق‌العاده‌ای می‌یابد. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل‌پذیر برای تولید سطوح مقاوم پرانحنا را فراهم می‌آورد. بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است و تحت اثر بارهای ضربه‌ای به راحتی از هم پاشیده نمی‌شود. شاهد تاریخی این فناوری، کاربرد کاهگل در بنای ساختمان است [5, 6].). الیاف فولادی بیش‌ترین کاربرد را در تهیه بتن الیافی دارند. این الیاف برای نخستین بار در سال ۱۹۶۲ میلادی در آمریکا تولید شدند. الیاف فولادی به دلیل افزایش دادن مقاومت و شکل‌پذیری بتن، تنوع در شکل ظاهری برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی و اجرائی بتن، اختلاط آسان آنها با مواد افزودنی بتن، دوام زیاد و آسان بودن قالب‌بندی برای بتن‌ریزی، بیش‌تر از سایر الیاف مورد توجه پژوهشگران و دست اندرکاران اجرائی قطعات و سازه‌های بتنی قرار دارند. الیاف فولادی دارای اشکال مقطع و اندازه‌های متفاوتی هستند. الیاف فولادی با مقطع دایره‌ای غالبا دارای قطرهای ۰/۲۵ میلی‌متر الی ۰/۸ میلی‌متر هستند [7, 8].. استفاده از الیاف در طرح اختلاط بتن، باعث بهبود خواص بتن از جمله بازشدگی ترک، شکل‌پذیری وغیره در یک بازه محدود می‌شود. برای نمونه، والتون و مجومدار در پژوهش خود در حدود ۳۰ سال پیش مزیت ترکیب الیاف‌های آلی (پلیپروپیلن و نایلون) و معدنی (شیشه، آزبست، کربن و غیره) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مقاومت کششی و طاقت خمشی بتن در اثر استفاده از الیاف بهبود می‌یابد [9]. پژوهشگران دیگر از جمله بانتیا و زو، در تحقیقات خود خواص بتن الیافی و بتن الیافی هیبریدی (ترکیب چند نوع الیاف) را با استفاده از روش آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که اختلاط صحیح یک مخلوط هیبریدی منجر به برهم‌کنش مثبت الیاف‌ها و درنتیجه باعث بهبود عملکرد بتن الیافی هیبریدی نسبت به بتن الیافی حاوی یک نوع الیاف خواهد شد [10, 11]. با این وجود از جمله مشکلات کاربرد این دسته الیاف، اثرپذیری از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، زنگ زدگی، قیمت بالا و همچنین افزایش وزن سازه بتنی است. از طرفی بتن الیافی مسلح به الیاف پلیپروپیلن سبک است و هیچ یک از عیب‌های یاد شده بتن الیافی فولادی را ندارد [12].

تأثیر الیاف هیبریدی فولاد-پلی پروپیلن روی خواص کششی بتن با مقاومت بالا توسط آزمایش‌های شکافت برزیلی شبه استاتیک و دینامیک در پژوهشی آزمایشگاهی توسط گوو همکاران (۲۰۱۹) [13]. بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان داده است که مقاومت کششی شکاف نمونه‌های بتنی با افزایش محتوای الیاف فولادی ابتدا افزایش می‌یابد و سپس با افزایش محتوای الیاف پلی پروپیلن کاهش می‌یابد. استفاده ترکیبی از الیاف فولادی و الیاف پلی پروپیلن نه تنها مقاومت کششی نمونه‌های بتنی را بهبود می‌بخشد، بلکه خطر شکست ترد بتن را نیز کاهش می‌دهد. به ویژه هنگامی که محتوای الیاف فولادی ۲/۵ ٪ باشد. در پژوهشی آزمایشگاهی در سال ۲۰۲۰ [14]. اثر هم‌افزایی لاستیک و الیاف فولادی بر مقاومت مکانیکی، چقرمگی خمشی و ویژگی‌های میدان کرنش بتن لاستیکی تقویت‌شده با الیاف فولادی بررسی شده است. نتایج تجربی نشان داده است که لاستیک می‌تواند مقاومت باقیمانده (بیشترین افزایش ۱۲۸/۸ درصد) بتن مسلح با الیاف فولادی را در آزمایش‌های خمشی افزایش دهد، اما بر مقاومت خمشی آن تأثیر منفی دارد. علاوه بر این، الیاف فولادی و جهت‌گیری الیاف فولادی، استحکام خمشی، مقاومت در برابر ترک و چقرمگی خمشی را ارتقاء می‌دهد.

اگر بتن از جمع شدن باز داشته شود، تنش‌های کششی ایجاد شده باعث ترک خوردن مقطع می‌شوند. در بتن‌هایی با نسبت آب به سیمان بالاتر از ۰/٤٥، جمع شدگی ناشی از خشک شدن به عنوان مهم‌ترین عامل ایجاد ترک در سنین اولیه است. جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن از همان ابتدا یعنی دقیقه آغاز بتن‌ریزی و حتی قبل از افزایش ظرفیت باربری بتن آغاز می‌شود که بستگی به خواص بتن، شکل اعضای بتنی و شرایط محیطی دارد. چون جمع‌شدگی به دلیل کمبود آب در

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

بافت بتن بر سطح اعضا تحمیل می‌شود، کرنش در این قسمت از اعضا ایجاد شده و ترک‌هایی با عنوان Drying Shrinkage از نواحی سطحی که در تماس با محیط هستند اغاز می‌شود. از نتایج آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که با استفاده از مقادیر مناسب الیاف، جمع شدگی و به دنبال آن ترک‌ها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابند [3, 15].

۲- برنامه آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن حاوی پودر پومیس و فلدسپار، ۱۹ طرح اختلاط ساخته شده است. سنگدانه مصرفی برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی شامل درشت دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) است. شن مصرفی مخلوط رودخانه‌ای بوده و از کارخانه لوله‌سازی شمال رشت تهیه شده است. بیشترین اندازه دانه‌های آن ۱۲/۵ میلی‌متر، وزن مخصوص ظاهری و جذب آب ۱/۱ درصد است. همچنین ماسه مورد استفاده، رودخانه‌ای و گرد گوشه بوده و دارای وزن مخصوص ظاهری ۲/٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جذب آب ۲/۵٪ است، همچنین توده ویژه ماسه مصرفی در حالت اشباع با سطح خشک برابر ۲٦۱۱ kg/m^3 است. دانه‌بندی سنگدانه‌ها براساس استاندارد ASTM C33 انجام شده است. در این پژوهش از پودر پومیس و فلدسپار با درصدهای وزنی ۱۰٪ و ۲۰٪ به صورت تکی و ترکیب (با نسبت‌های مساوی) به عنوان جایگزین بخشی از سیمان استفاده شده است.

در پژوهش حاضر از ترکیب دو نوع الیاف فولادی و پلی‌اولفین در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. الیاف فولادی با درصد حجمی ۱٪ و الیاف پلی‌اولفین با درصدهای حجمی ۱٪ و ۲٪ مورد استفاده قرار گرفته است. الیاف پلی‌اولفین یکی از انواع الیاف‌های پلیمری محسوب می‌شود. یکی دیگر از انواع الیاف‌های پر مصرف در ساخت بتن‌های الیافی، الیاف فولادی است. الیاف فولادی مصرفی از شرکت ب آ اس اف (BASF) ایران تهیه شده است.

نسبت آب به مواد سیمانی برای تمامی مخلوط‌ها یکسان و برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. در نام‌گذاری طرح‌های اختلاط، حروف P و F به ترتیب نشان دهنده پودر پومیس و فلدسپار و اعداد پس از این حروف نشان دهنده درصد جایگزینی این مواد است. همچنین حروف S و O به ترتیب نشان دهنده الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین است.

جدول ۱. مشخصات الیاف پلی‌اولفین

Length (mm)	Density (gr/cm^3)	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Strength (MPa)
54	0.91	7-8	570-660

Table 1. Mechanical properties of polyolefin fiber

جدول ۲. مشخصات مکانیکی و فیزیکی الیاف فولادی

Length (mm)	Diameter (mm)	L/D	Tensile Strength (MPa)	Density (kg/m^3)
36	0.8	45	1200	7850

Mechanical and physical properties of steel fiber.**Table 2**

۳- نتایج حاصل از آزمایش‌ها

۳-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری برای تمامی نمونه‌های آزمایشگاهی پس از عمل‌آوری تا سنین ۷ و ۲۸ روز و براساس استاندارد ASTM C109 و روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر انجام شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۱) مشاهده می‌شود که در میان نمونه‌های عمل‌آوری شده تا سن ۷ روز، بهترین عملکرد در آزمایش مقاومت فشاری مربوط به طرح شاهد و برابر ۳۸ مگاپاسکال است و با افزودن پودر پومیس و پودر فلدسپار مقاومت فشاری ۷ روزه کاهش یافته است.

شکل ۱. نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه

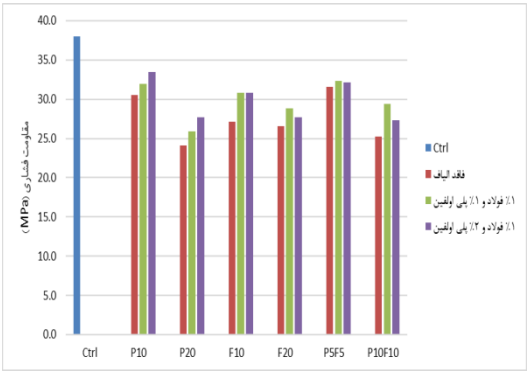

Fig. 1. The results of 7-day concrete compression strength test

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سن ۷ روز همچنین نشان می‌دهد که در مخلوط‌های دو جزئی (حاوی سیمان و یک ماده پوزولانی) در جایگزینی ۱۰٪ مخلوط‌های حاوی پودر پومیس، عملکرد بهتری در مقایسه با نمونه‌های مشابه حاوی فلدسپار نتیجه می‌دهند و با افزایش درصد جایگزینی به ۲۰٪ مخلوط‌های حاوی فلدسپار، عملکرد بهتری کسب کرده‌اند. بررسی نتایج نشان می‌دهد افزودن ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین به مخلوط‌های دو و سه جزئی باعث بهبود مقاومت فشاری ۷ روزه می‌شود، اما همچنان نسبت به نمونه شاهد نتایج ضعیف‌تری کسب کرده‌اند.(شکل ۲)

شکل ۲. نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه

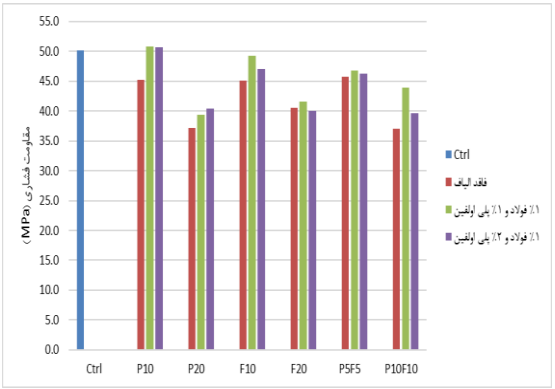

Fig. 2. The results of 28-day concrete compression strength test

بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سن عمل‌آوری تا ۲۸ روز، تمامی طرح‌های حاوی پودر پومیس و فلدسپار در حالت فاقد الیاف مقاومت فشاری ۲۸ روزه کمتری نسبت به نمونه شاهد نتیجه داده‌اند و همچنان بهترین عملکرد مربوط به طرح P5F5 (حاوی ۵٪ فلدسپار و ۵٪ پودر پومیس) است. در حالت کلی استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌های حاوی پودر پومیس و فلدسپار می‌شود، به طوری که درصد بهینه ترکیب ۱٪ الیاف فولادی و ۱٪ الیاف پلی‌اولفین است و با افزایش درصد الیاف پلی‌اولفین به ۲٪ با توجه به افزایش احتمال پدیده گلوله شدن الیاف پلی‌اولفین مشاهده می‌شود مقاومت فشاری ۲۸ روزه کاهش می‌یابد.

۲-۳- نتایج آزمایش مقاومت خمشی

آزمایش مقاومت خمشی با هدف بررسی مقاومت در برابر شکست تیر یا دال بتنی غیر مسلح مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر این آزمایش با استفاده از روش سه نقطه‌ای و مطابق استاندارد ASTM C348 و پس از عمل‌آوری تا سنین ۷ و ۲۸ روز انجام شده است.

بررسی نتایج آزمایش مقاومت خمشی پس از عمل‌آوری تا سن ۷ روز نشان می‌دهد در حالتی که نمونه‌ها بدون الیاف هستند، استفاده از پودر پومیس و پودر فلدسپار باعث افت مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد می‌شود (شکل ۳).

شکل ۳. مقاومت خمشی پس از عمل‌آوری ۷ روزه

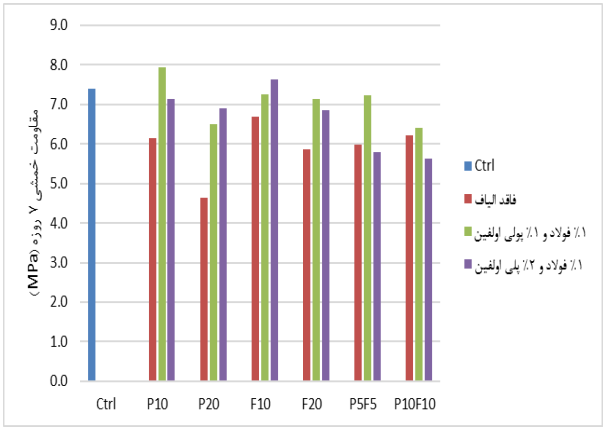

Fig. 3. The results of 7-day concrete flexural strength test

در این بین، بیشترین کاهش در جایگزینی ۲۰٪ پودر پومیس به دست آمده است، به طوری که ۳۷/۲٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش مقاومت خمشی نتیجه داده است.

افزایش سن عمل‌آوری از ۷ به ۲۸ روز تاثیر قابل توجهی بر بهبود مقاومت خمشی طرح‌های حاوی مواد پوزولانی (پودر پومیس و فلدسپار) دارد به طوری که هرچند طرح‌های P10 و P20 مقاومت خمشی ۲۸روزه کمتری نسبت به نمونه شاهد نتیجه داده‌اند، اما میزان افت مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد در مقایسه با سن ۷ روز بسیار کاهش یافته است. افزایش درصد جایگزینی پودر پومیس اثری منفی بر نتایج آزمایش مقاومت خمشی ۲۸ روزه دارد. بهترین عملکرد در آزمایش مقاومت خمشی پس از عمل‌آوری ۲۸ روزه در میان طرح‌های بدون الیاف مربوط به طرح F20 (حاوی ۲۰٪ فلدسپار) است

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

که ۱۳/۶٪ مقاومت خمشی بالاتری نسبت به نمونه شاهد کسب کرده است (شکل ٤).

۳-۳- نتایج جذب انرژی

مهمترین مشخصه بتن الیافی خاصیت جذب انرژی، انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر ضربه است. به همین دلیل امروزه این بتن نقش بسیار جدی در پیشرفت تکنولوژی بتن ایفا می‌کند. در پژوهش حاضر نیز از ترکیب دو نوع الیاف فولادی و الیاف پلی‌اولفین با ۲ ترکیب مختلف ۱٪ فولاد و ۱٪ پلی‌اولفین و ۱٪ فولاد ۲٪ پلی‌اولفین استفاده شده است. نتایج مربوط به آزمایش جذب انرژی با توجه به سطح زیر منحنی نیرو–جابه‌جایی و بر حسب (N.mm) برای تمامی نمونه‌ها محاسبه و نتایج آن در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل ٤. مقاومت خمشی پس از عمل‌آوری ۲۸ روزه

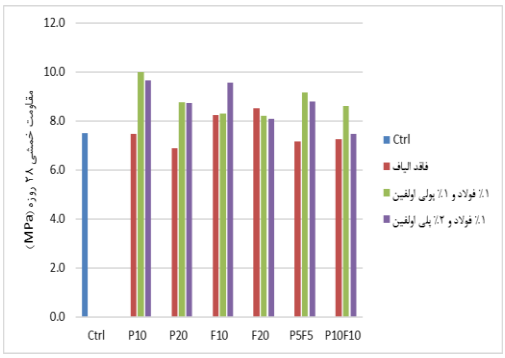

Fig. 4. The results of 28-day concrete flexural strength test

بر اساس نتایج، حضور ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین باعث افزایش قابل توجهی در قابلیت جذب انرژی و افزایش شکل‌پذیری نمونه‌های بتنی حاوی پودر پومیس و فلدسپار می‌شود و نشان می‌دهد حضور الیاف تا حد زیادی باعث افزایش کرنش شکست می‌شود. افزودن الیاف موجب جلوگیری از طویل شدن ترک‌ها و اتصال آنها به همدیگر می‌شود. وجود فیبر مناسب در مسیر ترک باعث دوخته شدن انتهای ترک می‌شود و بدین ترتیب بتن الیافی تنش‌های بزرگتری را بعد از رسیدن به بیشترین تنش و در مرحله بعد از ترک خوردگی تحمل می‌کند. بر اساس نتایج جذب انرژی همچنین مشاهده می‌شود که افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌اولفین در برخی از نمونه‌ها اثری مثبت بر بهبود نسبی شکل‌پذیری دارد و در برخی دیگر باعث کاهش این مشخصه می‌شود. این موضوع تحت تاثیر محتوا و درصد حجمی مواد پوزولانی (پودر پومیس و فلدسپار) در مخلوط سیمانی است.

بررسی و مقایسه منحنی‌های نیرو–جابه‌جایی نشان می‌دهد با توجه به سطح زیر منحنی، طرح حاوی ۲۰٪ پودر پومیس در مقایسه با سایر طرح‌های اختلاط از انرژی شکست بالاتری برخوردار است همچنین طرح حاوی ۱۰٪ فلدسپار نیز عملکرد مناسبی در انرژی شکست نتیجه داده است و با افزایش درصد جایگزینی فلدسپار در این مخلوط به ۲۰٪ سطح زیر منحنی نیرو–جابه‌جایی به طور قابل توجهی کاهش یافته است (شکل ٦). همچنین با توجه به شکل (۷) طرح حاوی ۱۰٪ پودر پومیس و حاوی ۱٪ الیاف فولادی و ۲٪ الیاف پلی‌اولفین جذب انرژی بالاتری نسبت به سایر طرح‌ها نتیجه داده است، در حالی که در مخلوط حاوی ۲۰٪ پودر پومیس افزایش درصد جایگزینی پودر پومیس باعث کاهش سطح منحنی نیرو–جابه‌جایی و انرژی شکست شده است.

شکل ۵: نتایج آزمایش جذب انرژی

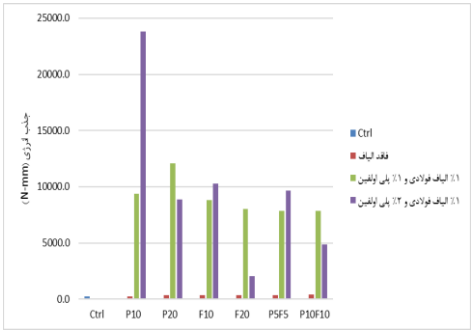

Fig. 5. Energy absorbing test results

شکل ٦. منحنی نیرو–جابه‌جایی نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف فولادی و ۱٪ الیاف پلی اولفین

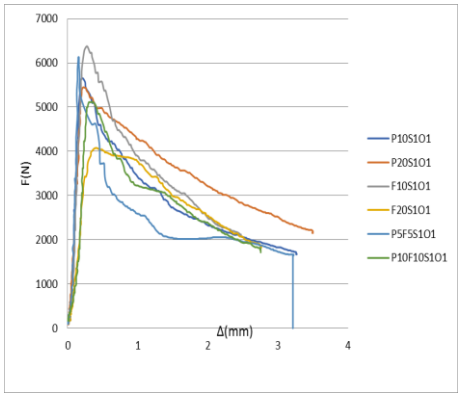

Fig. 6. Force-Displacement curve of the samples with 1% steel fiber and 1% polyolefin fiber

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

شکل ۷. منحنی نیرو-جابه‌جایی نمونه‌های حاوی پودر پومیس

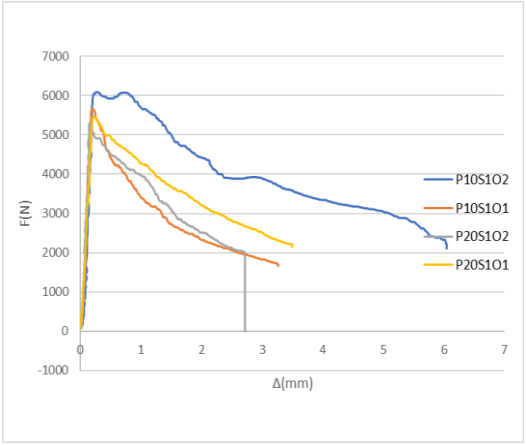

Fig. 7. Force-Displacement curve of the samples with pumice powder

٤-٣- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

توانایی بتن در برابر انتقال یون‌هایی که به محیط بتن وارد می‌شوند و از طریق ریز ساختارهای موجود در آن جابه‌جا می‌شوند، تحت تاثیر پارامتری است که با عنوان مقاومت الکتریکی نام برده می‌شود، پس می‌توان رابطه‌ای مستقیم میان مقاومت الکتریکی و پارامترهای مرتبط با دوام از جمله نفوذپذیری در نظر گرفت. بررسی نتایج حاصل از آزمایش مقاومت الکتریکی نشان می‌دهد که استفاده از پودر پومیس با جایگزینی ۱۰٪ به عنوان جایگزین سیمان در مخلوط فاقد الیاف باعث افزایش حدود ۳ درصدی مقاومت الکتریکی نسبت به نمونه شاهد می‌شود و در سایر مخلوطها مقاومت الکتریکی کمتری نسبت به نمونه شاهد بدست آمده است.

شکل ۸. نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

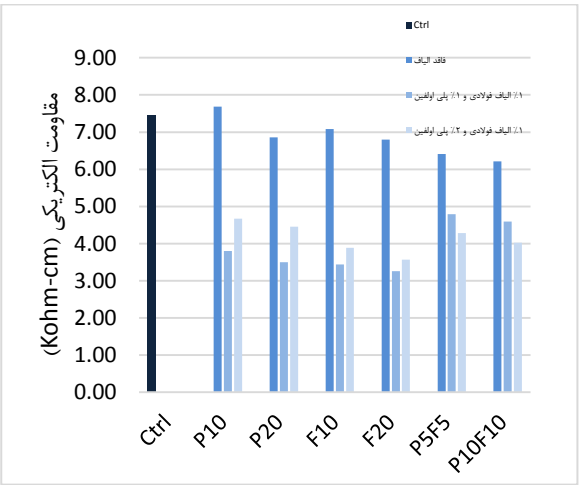

Fig. 8. Electrical resistance test results

افزایش درصد جایگزینی هر دو ماده پودر پومیس و پودر فلدسپار باعث کاهش مقاومت الکتریکی شده است، همچنین نتایج نشان می‌دهد استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی وپلی‌اولفین اثر کاهشی قابل توجهی بر نتایج مقاومت الکتریکی خواهد داشت که این تاثیر در مخلوط‌های دو جزئی در مقایسه با مخلوط‌های سه جزئی بیشتر است. شکل (۸) نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی را نشان می‌دهد.

٥-٣- نتایج آزمایش جذب آب

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش جذب آب مطابق شکل (۹) مشاهده می‌شود که استفاده از پودر پومیس وفلدسپار به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، باعث افزایش نتایج جذب آب می‌شود که این موضوع در اثر استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین شدت یافته است. بررسی نتایج همچنین نشان می‌دهد افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌اولفین از ۱ به ۲ درصد، باعث افزایش جذب آب می‌شود که این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش فضاهای خالی در نواحی اتصال الیاف به خمیر و همچنین افزایش میل به پدیده گلوله شدن الیاف در مخلوط سیمانی باشد.

٤- نتیجه‌گیری

۱) استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین باعث بهبود مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های حاوی پودر پومیس و فلدسپار می‌شود، اما همچنان نسبت به نمونه شاهد مقاومت فشاری کمتری نتیجه داده است.

۲) استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌های حاوی پودر پومیس و فلدسپار می‌شود، به طوری که درصد بهینه ترکیب ۱٪ الیاف فولادی و ۱٪ الیاف پلی‌اولفین است.

۳) استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین باعث افزایش قابل توجهی در قابلیت جذب انرژی و افزایش شکل‌پذیری نمونه‌های بتنی حاوی پودر پومیس و فلدسپار می‌شود و نشان می‌دهد حضور الیاف تا حد زیادی باعث افزایش کرنش شکست می‌شود.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

شکل ۹. نتایج آزمایش جذب آب

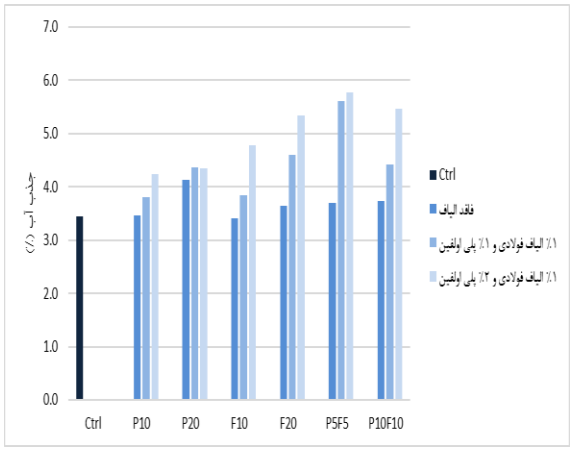

Fig. 9. Water Absorbing test results

٤) افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌اولفین در برخی از نمونه-ها اثری مثبت بر بهبود نسبی شکل‌پذیری دارد و در برخی دیگر باعث کاهش این مشخصه می‌شود. این موضوع تحت تاثیر محتوا و درصد حجمی مواد پوزولانی (پودر پومیس و فلدسپار) در مخلوط سیمانی است.

٥) افزایش درصد جایگزینی هر دو ماده پودر پومیس و پودر فلدسپار باعث کاهش مقاومت الکتریکی شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی وپلی-اولفین اثر کاهشی قابل توجهی بر نتایج مقاومت الکتریکی دارد.

٦) استفاده از پودر پومیس وفلدسپار به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، باعث افزایش نتایج جذب آب می‌شود که این موضوع در اثر استفاده از ترکیب الیاف‌های فولادی و پلی‌اولفین شدت یافته است.

۵- مراجع

1. Altun F., Haktanir T., Ari K., “Effects of steel fiber addition on mechanical properties of concrete and RC beams”, Construction and building materials, vol. 21 (2007), pp. 654-61. (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2005.12.006).
2. Köksal F., Altun F., Yiğit İ., Şahin Y., “Combined effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of high strength concretes”, Construction and building materials. vol. 22 (2008), pp. 1874-1880. (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.04.017).
3. Naaman AE., Wongtanakitcharoen T., Hauser G., “Influence of different fibers on plastic shrinkage cracking of concrete”, ACI materials Journal, 2005, vol. 102(1).
4. Taheri A., Parhizkar T., Ghodusi P., and Bagheri A.R., “Application of fibers in concrete and cement products”, Road, Housing & Urban Development Research Center; 2008 (In Persian).
5. Keyvani A., “Principles and technology of concrete reinforced with steel fibers”, Roudaki, 1990 (In Persian).
6. Zhang P., Han S., Ng S., Wang X-H., “Fiber Reinforced Concrete with Application in Civil Engineering”, Advances in Civil Engineering, vol. 2018, 1698905(1-4) (doi: 10.1155/2018/169805).
7. Kalpana M., Tayu A., “Light weight steel fibre reinforced concrete:A review”, Materials Today: Proceedings, vol 22(3), 2020, pp. 884-886. (doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.095).
8. Soufeiani L., Raman SN., Jumaat MZB., Alengaram UJ., Ghadyani G., and Mendis P., “Influences of the volume fraction and shape of steel fibers on fiber-reinforced concrete subjected to dynamic loading–A review”, Engineering Structures. vol. 124, 2016, pp. 405-417. (doi: 10.1016/j.engstruct.2016.06.029).
9. Walton P., Majumdar AJ., “Cement-based composites with mixtures of different types of fibres”,. Composites., vol. 6(5), 1975, pp. 209-216. (doi: 10.1016/0010-4361(75)90416-4).
10. Banthia N., Moncef A., Chokri K., and Sheng J., “Uniaxial tensile response of microfibre reinforced cement composites”, Materials and Structures, vol. 28, 1995, pp. 507-517. (doi: 10.1007/BF02473155).
11. Xu G., Magnani S., and Hannant D., “Durability of hybrid polypropylene-glass fibre cement corrugated sheets”, Cement and Concrete Composites. Vol 20(1), 1998, pp. 79-84. (doi: 10.1016/S0958-9465(97)00075-9).
12. Glavind M., and Aarre T., “High-strength concrete with increased fracture-toughness”, MRS Online Proceedings Library, vol. 211, 1990, pp. 39-46. (doi: 10.1557/PROC-211-39).
13. Guo H., Tao J., Chen Y., Li D., Jia B., and Zhai Y., “Effect of steel and polypropylene fibers on the quasi-static and dynamic splitting tensile properties of high-strength concrete”. Construction and Building Materials, vol. 224, 2019, pp. 504-514. (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.096).
14. Liu R., Li H., Jiang Q., and Meng X., “Experimental investigation on flexural properties of directional steel fiber reinforced rubberized concrete”, Structures, vol. 27, 2020, pp. 1660-1669. (doi: 10.1016/j.istruc.2020.08.007).
15. Choi J., Zi G., Hino S., Yamaguchi K., and Kim S., “Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all-lightweight concrete”, Construction and Building Materials, vol. 69, 2014, pp. 381-389. (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.074).

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]

Investigation of the Effect of the Combination of Steel and Polyolefin Fibers on the Mechanical Properties and Durability of the Concrete with Pumice Powder and Feldspar

Komeil Momeni[*1], Karim Mokhtari[2]

1Assistant professor of Civil Engineering Department, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
2MSc student, Academic Center for Education, Culture, and Research, Rasht, Iran

kmomeni@tvu.ac.ir

Abstract

Concretes have different behavior in the tensile and compressive loading. Concretes have a strong compressive strength, but the tensile strength of them is weak. To compensate for this weak tensile strength, it is necessary to use materials with high tensile strength. Steel fibers have been widely used in recent years because of their high energy absorbing capacity, scientific improvement of the concrete behavior after the creation of the first crack, and improvement of the bending and impact strength. Fiber concretes are a type of composite materials. In this concrete, fibers were used in the concrete mix design and increased significantly the tensile and compressive strength of the concrete. In this paper, the combination of steel fibers and polyolefin fiber in the construction of the concrete cube specimens was used. The steel fibers with a volume percentage of 1% and polyolefin with a volume percentage of 1% and 2% were used in the concrete mix design. Also, pumice powder and feldspar with a weight percentage of 10% and 20% individually and in combination with the same proportion were used. The 19th concrete mix design was constructed and experimental tests were performed on them to investigate the mechanical properties of the specimens. The compressive test on the 100×100 mm cubic specimens according to ASTM C109 and the three-point flexural test according to ASTM C348 at the age of 7 and 28 days of the specimens were conducted. The results exhibited that the combination of the steel fibers and polyolefin fibers led to an increase in the 28-day concrete compression strength test of the specimens with pumice powder and feldspar. The optimal percentage of the combination is the steel fiber with 1% and polyolefin with 1%. Also, the use of fiber and polyolefin fibers improved the flexural strength of the specimens with pumice powder. It should be mentioned that a combination of the steel fiber and polyolefin with 1% in the specimens with 10% pumice powder achieves the best flexural strength at the age of 28 days. Also, the combination of the steel fibers and polyolefin fibers improved the compressive strength of the specimens with pumice powder and feldspar at the age of 7 days, but they resulted the lower compressive strength in comparison with the control specimen. Also, the use of these fibers led to an increase in the energy-absorbing capacity and the ductility of the specimens by increasing the fracture strain of the concrete. Depending on the amount of the pumice powder and feldspar in the concrete mix design, increasing the volume percentage of the fibers has a positive or negative effect on the ductility of the specimens. Also, increasing the weight percentage of the pumice powder and feldspar reduced the electrical resistance of the specimens. It should be noted that a combination of steel fibers and polyolefin fibers has a significant effect on the decrease of the electrical resistance. The use of the pumice powder and feldspar increased the water-absorbing capacity of the specimens and it intensified due to the use of the fibers.

Keywords: Fiber Concrete, Energy Absorbing, Pumice Powder, Feldspar, Fiber

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-02-07]

[DOI: 10.22034.24.3.7]