

بررسی استفاده توأم از میکروژل الیافی، حاوی الیاف پلی پروپیلن و الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن

فرهاد پیرمحمدی علیشاه*

استادیار، گروه عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران.

مهدی محمدرضایی

استادیار، گروه عمران، واحد تسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران.

چکیده

بتن یکی از پر مصرف ترین مصالح مورد استفاده در صنعت ساختمان است لذا در سال های اخیر رویکرد متخصصان صنعت ساختمان به ارتقای کیفیت این محصول معطوف شده است. جهت رسیدن به این هدف، در سال های اخیر، استفاده از نسبت آب به سیمان کمتر با کمک فوق روان کننده ها، و نیز استفاده از پوزولان های طبیعی و یا مصنوعی، و همچنین استفاده از الیاف از جنس ها و با مشخصات متفاوت، در ترکیب بتن، معمول شده است. در این پژوهش به مطالعه آزمایشگاهی اثر استفاده توأم از میکروژل الیافی و الیاف فولادی بر روی خواص مکانیکی پرداخته شده است. میکروژل الیافی شامل میکروسلیس (دوده سیلیسی)، الیاف پلی پروپیلن (الیاف PP) و فوق روان کننده می باشد. الیاف فولادی مصرفی به طول ۵ سانتی متر و قطر ۰/۸ میلی متر و به صورت انتهای قلاب دار می باشد. تأثیر میکروژل و الیاف فولادی هر کدام در پنج نسبت میکروژل الیافی ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ درصد و الیاف فولادی نیز به نسبت های ۰، ۰/۵، ۱، ۲ درصد مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. در مجموع ۲۵ طرح اختلاط مورد آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت خمشی برای بررسی خواص مکانیکی قرار گرفت. نتایج آزمایش های مقاومت فشاری و خمشی بیانگر آن بوده است که با افزودن درصدهای مختلف الیاف درصد افزایش در مقاومت فشاری در اکثر نمونه های ۷ روزه نسبت به نمونه های ۲۸ روزه بهبود بیشتری یافته اند. بیشترین رشد مقاومتی مربوط به نمونه های حاوی ۵ درصد میکروژل الیافی و ۲ درصد الیاف فولادی بوده است. همچنین ارزیابی خواص مهندسی سنگ دانه ها نشان می دهد که به ترتیب خواص مقاومتی، سایش، وزن مخصوص و تخلخل، شکل و بافت، دوام و پایداری سنگ دانه ها بیشترین تأثیر را بر مقاومت بتن دارند..

واژه های کلیدی: میکروژل الیافی، میکروسلیس، الیاف پلی پروپیلن، الیاف فولادی، بتن الیافی.

* نویسنده مسئول: Petrofarhad@iaushab.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح جهان و به عنوان ماده ساختمانی قرن بیست و یکم شناخته شده است. ساخت این ماده مرکب با استفاده از ارزانترین و در دسترس ترین مواد ساده از یک سو، انعطاف پذیری، خواص مقاومتی و دوام آن از سوی دیگر و نیز استفاده از موادی در ساخت آن که به پاکسازی و کاهش آلودگی محیط زیست کمک می نماید موجب آن شده است که بتن به عنوان مصالح ممتاز مطرح شود [۱].

بتن ماده ای است که دارای مقاومت زیاد در فشار بوده و از این رو استفاده از آن برای قطعات تحت فشار مانند ستون ها و قوس ها بسیار مناسب است. لیکن علیرغم مقاومت فشاری قابل توجه، مقاومت کششی کم و شکنندگی نسبتاً زیاد بتن استفاده از آن را برای قطعاتی که تماماً یا به طور موضعی تحت کشش هستند را محدود می نماید [۲].

این عیب اساسی بتن در عمل با مسلح کردن آن با استقرار آرماتورهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می گردد. شایان ذکر است که در موارد متعددی جهت این نیروهای کششی به طور دقیق معلوم نیست. همچنین با توجه به اینکه آرماتور بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می دهد، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع همگن و ایزوتروپ باشد صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می شود متداول شده است [۳].

مقاومت یک ماده به توانایی و تحمل آن در برابر تنش ها اطلاق می شود. بنابراین در بتن، مقاومت به تنش مورد نیاز برای شکست آن اطلاق می شود که اندازه مترادف با درجه گسیختگی است که در آن تنش وارده به حداکثر خود رسیده است. در طرح و کنترل کیفیت بتن، مقاومت کمیته است اگر که اغلب مشخص می گردد و بسیاری از خواص بتن نظیر مدول ارتجاعی، نفوذ ناپذیری، دوام و... مستقیماً با مقاومت بتن در ارتباط می باشند. در مقایسه با سایر خواص بتن، مقاومت بتن خاصیتی می باشد که به سادگی قابل آزمایش و اندازه گیری می باشد. مقاومت بتن، یک تصویر کلی از کیفیت بتن به دست می دهد زیرا این خاصیت با ساختار سخت شده خمیر سیمان ارتباط مستقیم دارد [۳].

۲- پیشینه تحقیق

سحرخیزان و سعیدی جم در پژوهشی بتن با نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۵ و عیار سیمان ۴۰۰ و درصد های مختلف الیاف فولادی و پلی پروپیلن هم بصورت مجزا و هم بصورت ترکیبی ساخته و مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش های مقاومت فشاری و کششی و آزمایش تنش-کرنش، بیانگر آن بوده است که با افزودن درصد های مختلف الیاف در سن هفت روزه تغییر خاصی در مقاومت نمونه ها حاصل نشده ولی در سن ۲۸ روزه مقاومت فشاری و کششی افزایش یافته است [۳].

حسامی و همکاران، خواص مکانیکی بتن فوق توانمند غیر مسلح و مسلح شده به الیاف فولادی، پلی پروپیلن و پلی وینیل الکل را مورد بررسی قرار دادند. ابتدا طرح اختلاط پایه ای در نظر گرفته شده است و با تغییر در نوع و اندازه ی مصالح و همچنین با اعمال عمل آوری های متفاوت مقاومت فشاری نمونه ها به ۲۱۲ مگاپاسگال رسیده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه آزمایشگاهی نشان می دهد نمونه های حاوی ۲ درصد الیاف بهترین عملکرد مکانیکی را داشته، و هم چنین نمونه های دارای ۱٫۵ درصد الیاف پلی پروپیلن و ۰٫۵ درصد الیاف پلی وینیل الکل بیشترین شکل پذیری را برای بتن ایجاد کرده است [۴].

تاتانجی و همکاران نفوذپذیری بتن حاوی الیاف PP و دوده - سیلیکا را مورد مطالعه قرار دادند، آنها بیان نمودند که وارد کردن الیاف PP به داخل بتن حاوی دوده سیلیکا نفوذپذیری بتن را افزایش می دهد و الیاف کوتاه تر در صورت ثابت ماندن درصد حجمی الیاف نفوذپذیری بتن را کاهش می دهد [۵].

وی سان و همکاران توانستند به کمک عامل منبسط کننده و الیاف هیبریدی پلی پروپیلن، پل وینیل کلراید (PVA) و فولاد ساختار خلل و فرج بتن را اصلاح کنند و بهترین نتیجه را برای مقاومت به نفوذپذیری و انقباض بتن به دست آورند [۶].

در سال ۲۰۰۶ چون خیانگ و همکاران نشان دادند که چگونه می توان با ترکیب الیاف پلی پروپیلن و الیاف فلزی باعث تقویت مشخصات مکانیکی بتن گردید. آنها با اضافه کردن الیاف در محدوده ۰/۹۵ - ۰٪ و ساختن قطعات منشوری در ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰ میلی متر مکعب به این نتیجه رسیدند که ظرفیت بارگذاری قطعات به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد [۷].

زینگ زیسان و همکاران با تحقیق بر اثرات الیاف PP روی بتن

قلاب دار می‌باشد. تأثیر میکروژل و الیاف فولادی هر کدام در پنج نسبت میکروژل الیافی ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ درصد و الیاف فولادی نیز به نسبت‌های ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ درصد مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. در مجموع ۲۵ طرح اختلاط مورد آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت خمشی برای بررسی خواص مکانیکی قرار گرفت. در پژوهش‌های قبلی که توسط محققین انجام گرفته به علت ثابت فرض کردن بعضی از افزودنی‌ها مثل روان کننده‌ها و الیاف‌ها، بعد از افزایش میکروسلیس تا حدی، از مقاومت فشاری و خمشی بتن کاسته می‌شود، ولی در تحقیق حاضر، میکروژل الیافی به علت اینکه تمام مواد در آن به صورت مخلوط وجود دارد، با افزایش مقدار آن در طرح اختلاط‌ها تمام مواد از جمله میکروسلیس، الیاف پلی- پروپیلن و روان کننده به صورت یکنواخت افزایش یافته‌اند، شاهد کاهش مقاومت نمی‌باشیم.

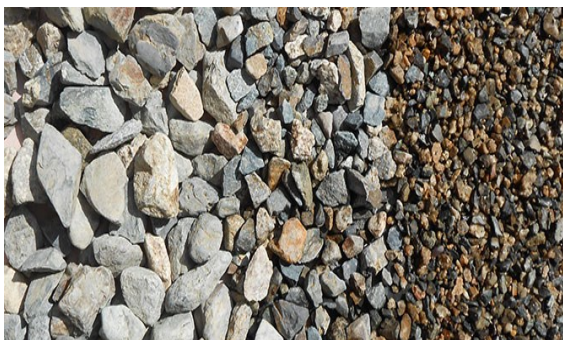
۴- مصالح مورد استفاده

۴-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده جهت ساخت بتن، سیمان پرتلند پوزولانی ساخت شرکت سیمان صوفیان تحت عنوان سیمان‌های آمیخته مطابق با استاندارد ASTM C 496 [۱۲] می‌باشد. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان مورد استفاده را نشان می‌دهد. این خواص در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده و با خواص سیمان پرتلند پوزولانی استاندارد [۱۳] مقایسه شده است.

۴-۲- سنگ‌دانه‌ها

سنگ‌دانه‌های استفاده شده در این تحقیق طبق تقسیم‌بندی انجمن بتن آمریکا [۱۴] سنگ شکسته می‌باشند که از فرایند سنگ‌شکنی سنگ‌هایی که در ادامه توصیف می‌شوند، بدست آمده است (شکل ۱، ۲ و ۳).



شکل ۱- تصویری از سنگ‌دانه‌های آذرین مصرفی

نشان دادند که این الیاف به طور قابل ملاحظه‌ای ساختمان میکروسکوپی بتن را تغییر می‌دهد. آنها دریافتند که چگونه می‌توان با الیاف pp بلوره شدن $ca(OH)_2$ را کاهش داد و به این ترتیب حفرات ریز و ترک‌های بتن را پر نمود. آنها همچنین نشان دادند که مقدار بهینه این الیاف برای عملکرد مناسب بتن 0.9 kg/m^3 می‌باشد [۸].

مقصودیان و همکاران در تحقیقی به بررسی تأثیر ترکیب الیاف فولادی موج‌دار با قلاب انتهایی و پلی‌پروپیلن اصلاح شده بر رفتار برشی تیرهای بتن آرمه با مقاومت معمولی پرداخته‌اند. بعد از اعمال بارگذاری چهار نقطه‌ای مشاهده شد که الیاف ترکیبی فولادی و پلی‌پروپیلن می‌تواند جایگزین مناسبی برای آرماتور برشی حداقل در تیرهای بتن مسلح باشد [۹].

واقفی و فولادی تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن، فولادی و شیشه‌ای بر مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی با استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر این است که بیشترین مقاومت فشاری و خمشی به ترتیب در ۱ و ۲ درصد الیاف پلی‌پروپیلن اتفاق افتاده است. درحالی‌که الیاف فولادی و فیبر شیشه‌ای باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی گردیده و بیشترین مقاومت فشاری و خمشی برای نمونه‌های بتنی مسلح به الیاف فولادی به ترتیب در ۳ و ۲ درصد الیاف و برای نمونه‌های مسلح به الیاف فیبر شیشه‌ای به ترتیب در ۳ و ۳ درصد مشاهده شده است [۱۰].

فروغی اصل و حسین نژاد به بررسی تأثیر الیاف پلی‌پروپیلنی بر خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن پرداختند. نتایج آنها بیانگر این است که مقاومت فشاری اولیه نمونه‌های بتن الیافی نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده ولی با افزایش سن نمونه‌ها، نتایج برعکس می‌گردد و بیشترین افزایش، مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به مقدار الیاف مصنوعی ۰/۸ درصد بوده است [۱۱].

۳- روش تحقیق

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی تأثیر استفاده همزمان از میکروژل الیافی و الیاف فولادی بر روی خواص مکانیکی می‌پردازیم. میکروژل الیافی شامل میکروسلیس (دوده سیلیسی)، الیاف پلی‌پروپیلن (الیاف pp) و فوق روان کننده می‌باشد. الیاف فولادی مصرفی به طول ۵ سانتی‌متر و قطر ۰/۸ میلی‌متر و به صورت انتهایی

و همچنین دارای خواص فیزیکی و مقاومتی متفاوت باشد. سنگ‌دانه‌های آذرین به کار گرفته شده شامل آندزیت، گرانیت، دیوریت، بازالت، توف و سنگ‌های رسوبی نیز شامل لوماشل، ماسه‌سنگ و دولومیت می‌باشد. نمونه‌های گنایس و مرمر نیز در رده سنگ‌های دگرگونی قرار می‌گیرند. پس از شناسایی ابتدایی سنگ‌ها در معدن، از آنها نمونه‌گیری شده و پس از بسته بندی به آزمایشگاه انتقال یافته است. این معدن در استان آذربایجان شرقی و در مناطق مختلف نظیر شبستر، تبریز، مراغه، اهر و مرند قرار دارند. برای مطالعه خواص سنگ‌شناسی از نمونه‌ها مقطع نازک تهیه و با میکروسکوپ مطالعه شد. در بررسی مقاطع میکروسکوپی، بافت، ساخت و دگرسانی مطالعه گردید. برای پی بردن به کانی‌های تشکیل دهنده و مطالعه بیشتر، آنالیز شیمیایی نیز از نمونه‌ها تهیه گردید [۱۵]. خصوصیات سنگ‌شناسی



شکل ۲- تصویری از سنگ‌دانه‌های رسوبی مصرفی



شکل ۳- تصویری از سنگ‌دانه‌های دگرگونی مصرفی

۴-۲-۱- خواص سنگ‌شناسی سنگ‌دانه‌ها

در انتخاب سنگ‌دانه‌ها دقت شده است که از گروه‌های مختلف سنگ‌دانه‌های استفاده شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان مورد استفاده

ترکیب شیمیایی		خواص فیزیکی و مکانیکی بتن		
مقدار درصد	نام ترکیب	سیمان استفاده شده	ویژگی استاندارد	نام ویژگی
۱/۵۰	L.O.I	۳۴۰	۳۰۰	نرمی (متر مربع بر کیلوگرم)
۰/۵۳	Na ₂ O			سلامت
۲/۸۴	MgO	۰/۹۸	۱/۰ حداکثر	انبساط کلی (میلی متر)
۴/۵۷	Al ₂ O ₃	۰/۰۷۷	۰/۸ حداکثر	انبساط در کوره (درصد)
۲۲/۵	SiO ₂			زمان گیرش (دقیقه)
۰/۱	P ₂ O ₅	۱۱۰	۳۰ حداقل	اولیه
۲/۰۱	SO ₃	۱۶۰	۶۰۰ حداکثر	نهایی
۰/۹۶	K ₂ O			مقاومت فشاری (مگاپاسکال)
۶۲/۱۲	CaO	۳۳	۱۶ حداقل	۳ روزه
۰/۲۳	TiO ₂	۴۱	۲۲ حداقل	۷ روزه
۰/۱۵	MnO	۵۲	۳۳ حداقل	۲۸ روزه
۲/۴۹	Fe ₂ O ₃	-	-	-

جدول ۲- خصوصیات سنگ‌شناسی سنگ‌دانه‌ها

نام تجاری	لوماشل	توف	ماسه‌سنگ	آندزیت	دیوریت
نام پترولوژی	آواری-زیستی	توف	ماسه‌سنگ	تراکی داسیت	کوارتز مونزونیت
دگرسانی و هوازدگی	هوازدگی زیاد	دگرسانی زیاد	هوازدگی زیاد	دگرسانی ناچیز	دگرسانی بیوتیت
رخ و شیستوزیته	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
کانی‌های عمده	خرده صدف	کوارتز	کوارتز	پلاژیوکلاز	کوارتز
	فلدسپار	فلدسپات	پلاژیوکلاز	بیوتیت	بیوتیت
	فلدسپار	پلاژیوکلاز	فلدسپار	فلدسپار	فلدسپار

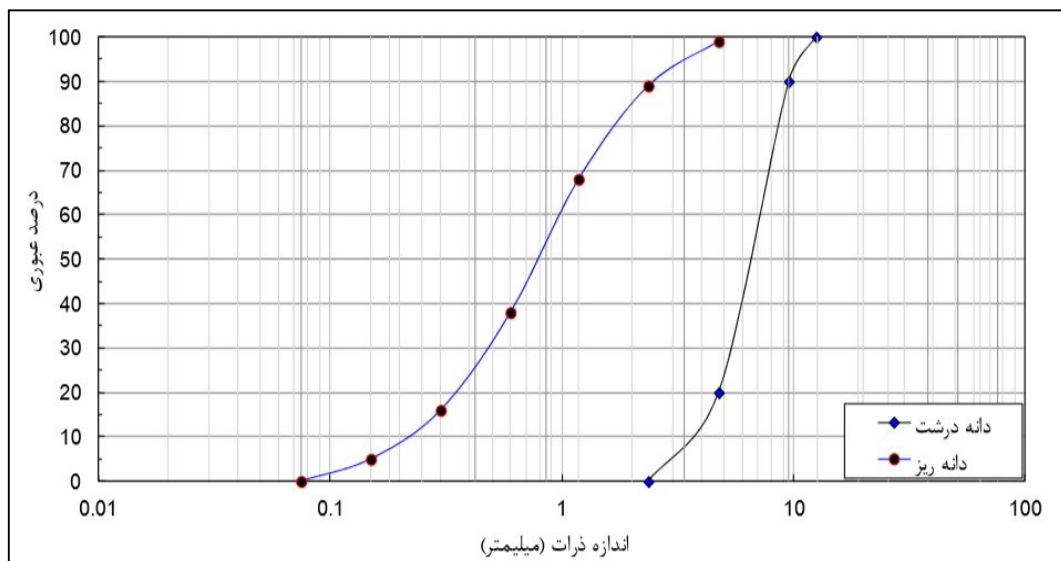
۴-۲-۲- خصوصیات فیزیکی سنگ‌دانه‌ها

به صورت مکعبی خرد می‌نماید. تعیین ضریب تورق و تطویل سنگ‌دانه‌ها بر اساس BS EN 933-4:2008 و BS 812-105:1989 [۱۸] انجام شده است. از آنجایی که همه نمونه‌ها بایک دستگاه سنگ‌شکن شکسته شده‌اند، ضریب تورق و ضریب تطویل آنها اختلاف کمی نشان داده و کمتر از ۴۰ می‌باشد. همچنین جهت اطمینان از یکسان بودن شکل سنگ‌دانه‌های استفاده شده، پس از شکستن سنگ‌دانه‌ها و سرند کردن آنها، میزان ذرات پولکی شکل در سنگ‌دانه‌های مورد استفاده به کمتر از ۵ درصد محدود شده است (جدول ۳).

الف- شکل سنگ‌دانه: سنگ‌دانه‌های طبیعی از لحاظ زمین‌شناسی بر اساس اندیس گردشدگی و کرویت تقسیم‌بندی می‌شوند. روش آنالیز شکل سنگ‌دانه‌ها در فضای دو بعدی توسط [۱۶] پیشنهاد شده است. این روش بر پایه روش توسعه یافته توسط [۱۷] می‌باشد که روشی دقیقی و استاندارد شده‌ای برای تعیین شکل سنگ‌دانه‌ها می‌باشد. در این مطالعه از سنگ‌دانه‌های شکسته استفاده شده است. به دلیل تأثیر شکل سنگ‌دانه‌ها از خصوصیات دستگاه سنگ‌شکن، از دستگاهی استفاده شده که ذرات را بطور تقریبی

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی سنگ‌دانه‌ها

نام	بافت (%)	هوازدگی (%)	تخلخل (%)	جذب آب (%)	وزن مخصوص	سرعت موج فشاری (m/s)
شرایط توف	درشت ۸۰	درشت ۲۷	درشت ۱۷	درشت ۵/۱۴	درشت ۲/۵۰	خشک ۴۲۶۳
ماسه سنگ	درشت ۸۱	درشت ۹۶	درشت ۱۲	درشت ۵/۱۲	درشت ۲/۶۰	خشک ۴۱۳۴
مرمر	درشت ۳۲	درشت ۸	درشت ۹	درشت ۳/۱۳	درشت ۲/۶۸	خشک ۶۵۶۱
لوماشل	درشت ۹۶	درشت ۹۴	درشت ۲۳	درشت ۷/۰۰	درشت ۱۲	خشک ۳۰۰۸
گرانیت	درشت ۱۱	درشت ۷	درشت ۸	درشت ۳/۳۰	درشت ۲/۶۷	خشک ۴۶۸۷
گنایس	درشت ۱۶	درشت ۹۴	درشت ۱۰	درشت ۴/۱۰	درشت ۲/۷۹	خشک ۲۸۰۸
دولومیت	درشت ۷۲	درشت ۲۳	درشت ۱۸	درشت ۳/۵۸	درشت ۲/۷۴	خشک ۶۰۵۰
دیوریت	درشت ۲۱	درشت ۹۷	درشت ۱۷	درشت ۶/۰۰	درشت ۲/۴۰	خشک ۴۰۲۳
بازالت	درشت ۲۷	درشت ۷۶	درشت ۱۲	درشت ۳/۶۸	درشت ۲/۹۰	خشک ۶۰۷۶
آندزیت	درشت ۳۴	درشت ۲۴	درشت ۲۹	درشت ۵/۱۴	درشت ۲/۵۵	خشک ۳۳۲۶



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه

۴-۲-۳- خصوصیات مکانیکی سنگ‌دانه‌ها

ب- مقاومت کششی برزلی سنگ‌دانه‌ها: این آزمایش بر اساس روش پیشنهادی ISRM [۱۹] بر روی نمونه‌هایی با نسبت طول به قطر ۵/۰ در دو حالت خشک و اشباع انجام شده است.

ج- ارزش فشاری سنگ‌دانه‌ها (ACV): این آزمایش طبق استاندارد (BS EN 1097-2:1998) (BS 812-110:1990) بر روی نمونه‌ها به صورت خشک و اشباع انجام گرفته است [۱۹].

د- ارزش ضربه‌ای سنگ‌دانه‌ها (AIV): این آزمایش نیز طبق (BS EN 1097-2:1998) (BS 812-112:1990) انجام گرفته است [۱۹].

ه - سختی و اجهشی چکش اشمیت سنگ‌دانه‌ها: آزمایش سختی و اجهشی چکش اشمیت مطابق با ISRM [۱۹] بر روی سطح صاف نمونه‌های سنگ بکر انجام شده است. نوع چکش به کار رفته N34 بوده که دارای انرژی برخوردی ۰/۷۴ و عمود بر نمونه انجام شده است.

جهت کسب خواص مکانیکی سنگ‌دانه‌ها آزمایش‌های متعددی انجام شده است. در ابتدا از نمونه‌ها مغزه‌هایی با قطر ۵۴ میلی‌متر با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر تهیه شده است. پس از آماده‌سازی مغزه‌ها، آزمایش‌های لازم در شرایط خشک و اشباع بر روی آنها صورت گرفته است (جدول ۴).

الف - مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ‌دانه‌ها: برای انجام آزمایش مقاومت تک‌محوری فشاری طبق روش پیشنهادی ISRM [۱۹]، از نمونه‌هایی به شکل استوانه‌ای با نسبت ارتفاع به قطر ۲ الی ۲/۵ استفاده شده است. نمونه مورد آزمایش پس از استقرار در دستگاه با سرعت ۰/۱ تا ۰/۳ مگاپاسکال در ثانیه تا حد گسیختگی بارگذاری می‌شود.

جدول ۴- خصوصیات مکانیکی سنگ‌دانه‌ها

نام	مقاومت فشاری (MPa)		مقاومت کششی (MPa)		ارزش ضربه (%)		ارزش فشاری (%)		عدد چکش اشمیت
	خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	
شرایط توف	۱۰۷/۰۳	۵۷/۸۸	۱۱/۵۰	۹/۹۴	۱۲/۳۱	۱۷/۲۱	۱۳/۳۳	۱۵/۰۲	۴۷
ماسه‌سنگ	۱۷/۰۰	۱۵/۰۰	۳/۵۰	۳/۲۰	۲۴/۰۰	۲۸/۰۰	۲۹/۰۰	۳۱/۰۰	۲۵
مرمر	۹۷/۷۴	۶۸/۷۸	۸/۱۵	۵/۷۳	۲۶/۹۹	۳۱/۸۳	۳۶/۱۱	۳۹/۲۷	۳۰
لوماشل	۱۱/۴۰	۶/۲۸	۱/۶۰	۱/۱۰	۴۶/۰۲	۵۳/۲۰	۶۶/۲۳	۷۰/۶۸	۱۰
گرانیت	۱۲۰/۳۲	۱۱۵/۶	۱۱/۶۶	۸/۶۵	۱۷/۵۹	۱۸/۵۶	۲۰/۴۴	۲۰/۸۱	۲۹
گنایس	۶۹/۹۰	۵۳/۳۰	۷/۶۸	۶/۹۴	۱۷/۹۱	۲۱/۱۱	۳۰/۸۰	۳۳/۴۴	۳۷
دولومیت	۸۹/۵۶	۶۹/۲۹	۷/۰۸	۵/۴۷	۱۲/۳۲	۱۶/۰۸	۲۴/۵۴	۳۰/۸۳	۴۶
دیوریت	۳۵/۰۰	۲۸/۰۰	۲/۹۰	۲/۷۰	۲۶/۶۸	۲۹/۰۱	۴۴/۸۱	۴۸/۶۶	۱۱
بازالت	۹۲/۰۰	۷۸/۰۰	۱۰/۲۶	۷/۶۹	۱۳/۱۷	۱۵/۱۹	۲۵/۶۲	۲۹/۸۴	۳۵
آندزیت	۶۷/۷۱	۵۶/۷۹	۹/۰۱	۷/۰۸	۱۸/۶۲	۲۱/۳۴	۳۳/۸۲	۳۸/۴۱	۴۰

۴-۳- آب

میکروژل مصرفی به شرح زیر می‌باشد (جدول ۵).

برای ساخت بتن از آب شهر شبستر استفاده شده است که طبق استاندارد BS 3148: 1990 (BS EN 1008:2002) [۲۰] این آب از لحاظ اسیدیته و یون کلر برای مصرف در بتن مناسب می‌باشد. همچنین آب عاری از مواد روغنی، جلبک و مواد زاید دیگر بوده است [۲۰].

جدول ۵- مشخصات میکروژل الیافی

حالت فیزیکی	دوغاب غلیظ
وزن مخصوص	$1.44 \pm 0.05 \frac{g}{cm^3}$
رنگ	خاکستری تیره
آلاینده‌گی محیط زیست	ندارد
یون کلر	ندارد (کمتر از استاندارد ISIRI 2930)

۴-۴- میکروژل الیافی

میکروژل الیافی استفاده شده در این تحقیق، از شرکت آبادگران تهیه شده است که ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی

۴-۵- مواد مورد استفاده در میکروژل الیافی

۴-۵-۱- میکروسیلیس (دوده سیلیسی)

این ماده که با نام‌های دیگری مانند دوده سیلیسی نیز شناخته می‌شود، یک نوع پوزولان مصنوعی می‌باشد که از آن به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در بتن می‌توان استفاده نمود. این ماده محصول فرعی کوره‌های قوس الکتریکی در صنایع تولید فلز سیلیسیم و آلیاژ فروسیلیسیم می‌باشد. میکروسیلیس پوزولان بسیار فعال است که نیازمندی به آب را به طور محسوسی افزایش می‌دهد، مگر آنکه همراه با آن مواد افزودنی کاهنده آب به کار برده شود.

۴-۵-۲- کاهنده قوی آب بتن

عملکرد کلی فوق روان‌کننده‌ها، جدایش و پراکندن دانه‌های سیمان از یکدیگر به کمک نیروهای دافعه ناشی از بارهای الکترواستاتیکی می‌باشد. این مواد در زمان اختلاط، جذب سطح دانه‌های سیمان شده و به آنها بار منفی می‌دهند، این عمل منجر به ایجاد نیروی دافعه بین ذرات سیمان و پراکندن آنها می‌شوند. این اثر به نام پخش‌کنندگی شناخته می‌شود. مکانیزم پخش‌کنندگی الکترواستاتیکی علاوه بر پخش دانه‌های سیمان، آب محبوس در لخته‌های سیمانی را نیز آزاد و صرف بهبود روانی مخلوط می‌کند. فوق روان‌کننده‌ها بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر، علاوه بر افزایش مقاومت فشاری در سنین اولیه و دراز مدت، باعث افزایش مقاومت خمشی، افزایش مدول الاستیسیته و بهبود چسبندگی بتن و آرماتور شده و مقاومت بهتر را در برابر کرناتاسیون و خواص مکانیکی بیشتر را در پی دارند. اما استفاده بیش از اندازه آنها به دلیل هوازایی موجب کاهش مقاومت بتن می‌گردد. این ماده جهت حفظ یا افزایش کارایی بتن هنگام بتن ریزی و کاهش مقدار آب و دما بتن و تأخیر دهنده گیرش بتن می‌باشد.

۴-۵-۳- الیاف پلی پروپیلن

یکی از انواع الیاف مصنوعی پلیمری، الیاف پلی پروپیلن می‌باشد که استفاده از آن در کاهش ترک‌های آبرفتگی، افزایش شکل-پذیری و طاقت بتن و نیز افزایش مقاومت ضربه‌ای بتن مؤثر است.

۴-۶- الیاف فولادی

الیاف فولادی دارای شکل و قطرهای گوناگونی بوده و نحوه ساخت

آنها نیز متفاوت است. الیاف فولادی که در حال حاضر در بازارهای جهانی موجود است، عمدتاً بر اساس چهار روش زیر تولید می‌شوند: کشیدن و بریدن سیم‌های فولادی (الیاف سیمی) با سطح مقطع دایره‌ای نورد و برش ورق‌های فولادی (الیاف برشی) با سطح مقطع مستطیلی با استفاده از مواد مذاب (الیاف ریخته‌گری) با سطح مقطع هلالی تراشیدن سطح ورق‌های فولادی (الیاف ماشینی) با سطح مقطع هلالی، مثلثی یا تاب خورده. همچنین با توجه به شکل‌پذیری فولاد، به راحتی می‌توان گیرداری الیاف را در بتن تأمین کرد. به همین منظور می‌توان شکل‌های مختلف از قبیل انتهای خمیده، انتهای قلابدار، دم پهن، موجدار، خورده تراشه نامنظم و... را تولید کرد که الیاف فولادی مورد استفاده در این پروژه از نوع قلابدار می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶- جدول مشخصات الیاف فولادی

مواد با استاندارد	ASTM 510M
مقاومت کششی	۱۲۰۰-۷۰۰ MPa
شکل ظاهری	الیاف جدا از هم بدون موج
وزن مخصوص	۱/۹
میزان جمع شونده	کمتر از ۰/۰۶ درصد
قطر الیاف	۰/۸ mm
طول الیاف	۵۰ mm

۵- ساخت بتن

در این تحقیق نسبت اختلاط مصالح جهت ساخت بتن بر اساس روش حجمی جهت همه سنگ‌دانه‌ها یکسان بوده است، این طرح پس از تبدیل به وزنی جهت هر سنگ‌دانه در جدول ۷ نشان داده شده است. در این طرح اختلاط، نسبت آب به سیمان برابر با ۰/۴۴ و مقاومت فشاری طراحی برابر با ۲۵ مگاپاسکال تعیین شده است. همچنین اسلامپ این طرح برابر با ۳۰ میلیمتر و درصد هوای غیرعمدی در بتن نیز یک درصد در نظر گرفته شده است. پس از تعیین مشخصات مصالح و طرح اختلاط، ساخت بتن بر اساس نسبت وزنی مصالح مختلف در آزمایشگاه و به وسیله دستگاه مخلوط‌کن انجام گرفت (جدول ۷).

آزمایش اسلامپ مطابق ASTM C 143-90 [۲۱] برای هر طرح اختلاط انجام شده است (ASTM C143) [۲۱]. مقدار

از مهم ترین معایب این نوع طرح اختلاط می توان با توجه به پیمانۀ حجمی مصالح هنگام بتن ریزی با وسایل (فرغون، بیل و سطل) استفاده از مصالح نامرغوب و تغییر دانه بندی و رطوبت مصالح در پروژه ها و فصول مختلف، استفاده از یک اختلاط (با فرمول مشخص) با بتن ریزی های متفاوت مناسب نیست.

۶- بحث و نتیجه گیری

۶-۱- آزمایش مقاومت فشاری و نتایج آن

در این تحقیق جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری از استاندارد ASTM C39 [۲۲] استفاده گردید. در این طرح از نمونه مکعبی به ابعاد ۱۵ سانتیمتر استفاده شده است. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه هایی که به مدت ۷ و ۲۸ روز در داخل آب نگهداری شده اند، انجام گرفته است.

برای هر مخلوط بتنی، با مشخصات مشابه هم، شش نمونه (دو نمونه ۷ روزه، دو نمونه ۲۸ روزه و دو نمونه ۹۰ روزه) و یک نمونه شاهد ساخته شده است که دو نمونه ۹۰ روزه فقط برای مقایسه درصد کاهش در محیط سولفات سدیم بکار گرفته خواهد شد. پس با توجه به این که ۲۵ طرح اختلاط در نظر گرفته شده، تعداد ۲۵ آزمایش فشاری انجام گرفته شد که تعداد ۱۷۵ نمونه به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر، جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری مورد استفاده قرار گرفته اند.

نتایج میانگین مقاومت فشاری دو نمونه مشابه هم در جدول های ۸ تا ۱۲ و شکل های ۶ تا ۱۵ ارائه شده اند. نمونه های مکعبی را در داخل دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری قرار می دهیم. بار را با سرعت یکنواخت افزایش می دهیم تا نمونه شکسته شود. بار نهایی را ثبت نموده و مقاومت فشاری را با تقسیم نیرو بر سطح مقطع نمونه ها محاسبه می نمایم.

اسلامپ اندازه گیری شده برای هر مخلوط بتنی بین ۲۸ تا ۳۲ میلی متر متغیر بوده است. پس از نمونه گیری، سطح خارجی نمونه ها تا ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و به وسیله گونی پوشش داده شد و در پایان این مدت، نمونه ها از قالب خارج و در حوضچه بتن که حاوی آب 22 ± 2 درجه سانتیگراد بود، تا زمان انجام آزمایش های فشاری و خمشی نگهداری شده است (شکل ۵).

جدول ۷- طرح اختلاط وزنی جهت هر سنگ دانه

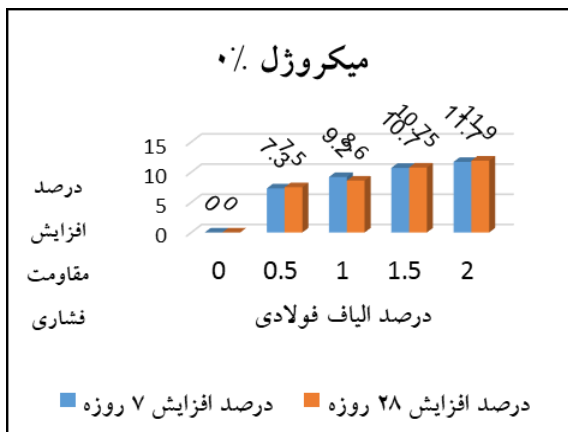
نوع مصالح	سیمان (kg)	آب (kg)	هوا (%)	ماسه (kg)	شن (kg)
توف	۳۴۰	۱۵۰	۱	۷۷۰	۸۹۶
ماسه سنگ	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۰۲	۹۳۱
مرمر	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۴۷	۹۶۰
لوماشل	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۱۹	۹۹۸
گرانیت	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۵۰	۹۵۵
گنایس	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۵۳	۹۹۹
دولومیت	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۵۵	۹۸۱
دیوریت	۳۴۰	۱۵۰	۱	۷۵۴	۸۶۰
بازالت	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۹۶	۱۰۳۸
آندزیت	۳۴۰	۱۵۰	۱	۸۰۲	۹۱۳



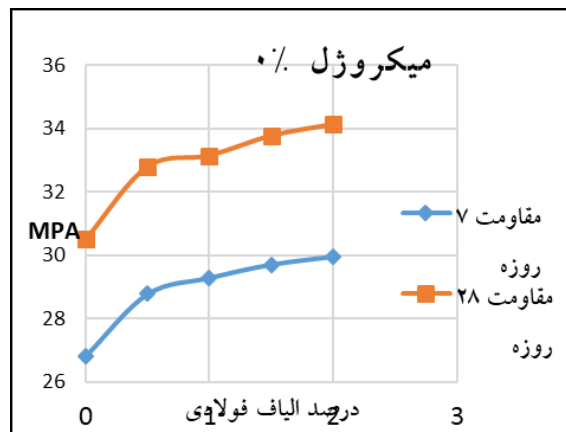
شکل ۵- تصویری از نمونه های بتنی ساخته شده در آزمایشگاه بتن و مراحل عمل آوری آنها

جدول ۸- نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط A1

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه MPa	میانگین مقاومت ۲۸ روزه MPa	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
	۰۱		۰	۲۶/۸۲	۳۰/۵	۰	۰
	۰۴		۰/۵	۲۸/۷۸	۳۲/۸	۷/۳	۷/۵
A ₁	۰۷	۰	۱	۲۹/۲۹	۳۳/۱۵	۹/۲	۸/۶
	۱۰		۱/۵	۲۹/۷۱	۳۳/۷۸	۱۰/۷	۱۰/۷۵
	۱۳		۲	۲۹/۹۶	۳۴/۱۴	۱۱/۷	۱۱/۹



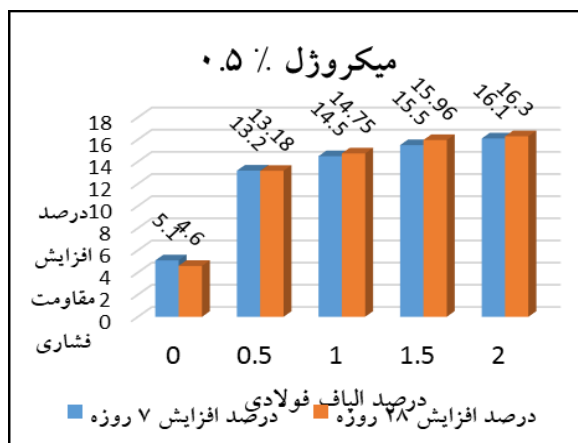
شکل ۷- درصد افزایش مقاومت فشاری طرح اختلاط A1



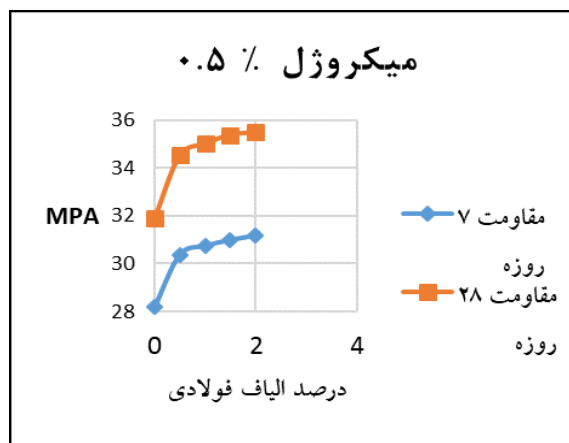
شکل ۶- مقاومت فشاری طرح اختلاط A1

جدول ۹- نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط A2

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
A2	۱۶	۰	۰	۲۸/۲	۳۱/۹	۵/۱	۴/۶
	۱۹	۰/۵	۰/۵	۳۰/۳۶	۳۴/۵۲	۱۳/۲	۱۳/۱۸
	۲۲	۰/۵	۱	۳۰/۷۳	۳۵	۱۴/۵	۱۴/۷۵
	۲۵	۱/۵	۱/۵	۳۰/۹۷	۳۵/۳۷	۱۵/۵	۱۵/۹۶
	۲۸	۲	۲	۳۱/۱۵	۳۵/۴۸	۱۶/۱	۱۶/۳



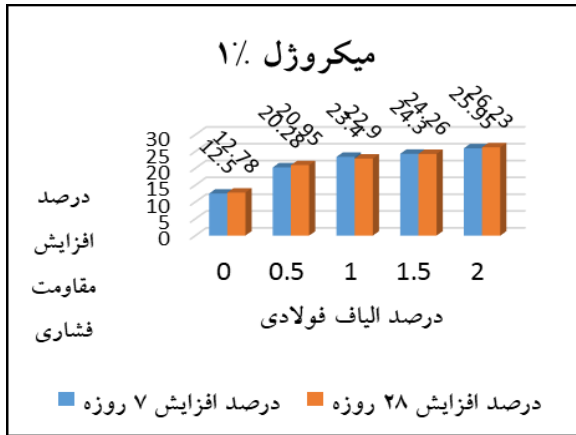
شکل ۹- درصد افزایش مقاومت فشاری طرح اختلاط A2



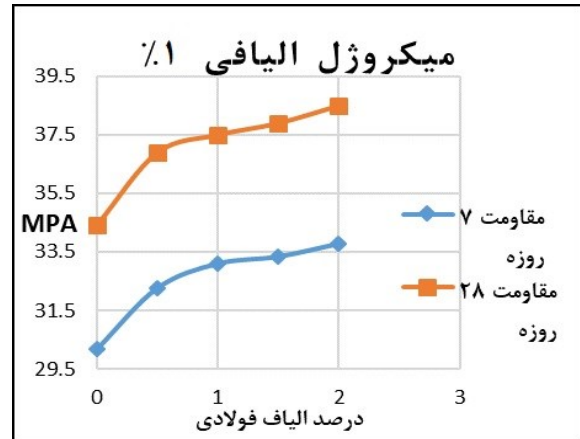
شکل ۸- مقاومت فشاری طرح اختلاط A2

جدول ۱۰- نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط A3

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
A3	۳۱	۰	۰	۳۰/۱۷	۳۴/۴	۱۲/۵	۱۲/۷۸
	۳۴	۰/۵	۰/۵	۳۲/۲۶	۳۶/۸۹	۲۰/۲۸	۲۰/۹۵
	۳۷	۱	۱	۳۳/۱	۳۷/۵	۲۳/۴	۲۲/۹
	۴۰	۱/۵	۱/۵	۳۳/۳۴	۳۷/۹	۲۴/۳	۲۴/۲۶
	۴۳	۲	۲	۳۳/۷۸	۳۸/۵	۲۵/۹۵	۲۶/۲۳



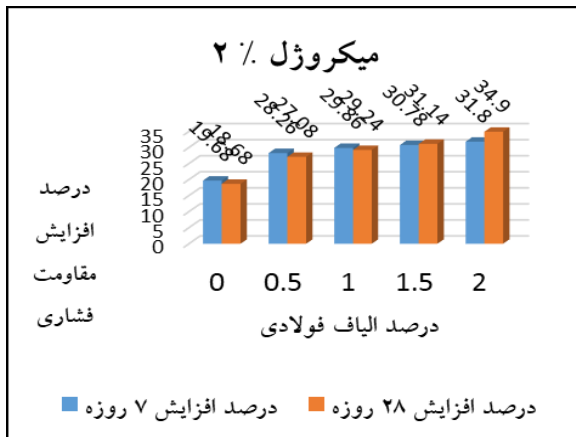
شکل ۱۱- درصد افزایش مقاومت فشاری طرح اختلاط A3



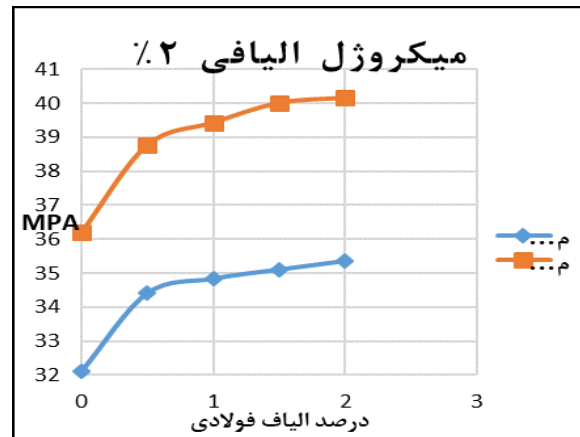
شکل ۱۰- مقاومت فشاری طرح اختلاط A3

جدول ۱۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط A4

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
	۴۶	۰	۰	۳۲/۱	۳۶/۲	۱۹/۶۸	۱۸/۶۸
	۴۹	۰/۵	۰/۵	۳۴/۴	۳۸/۷۶	۲۸/۲۶	۲۷/۰۸
A4	۵۲	۲	۱	۳۴/۸۳	۳۹/۴۲	۲۹/۸۶	۲۹/۲۴
	۵۵	۱/۵	۱/۵	۳۵/۱	۴۰	۳۰/۷۸	۳۱/۱۴
	۵۸	۲	۲	۳۵/۳۵	۴۰/۱۵	۳۱/۸	۳۴/۹



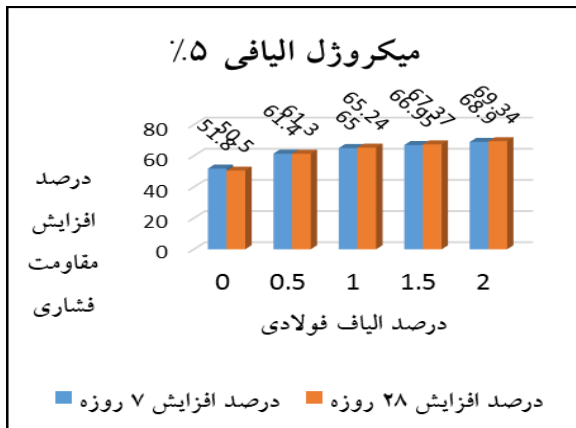
شکل ۱۳- درصد افزایش مقاومت فشاری طرح اختلاط A4



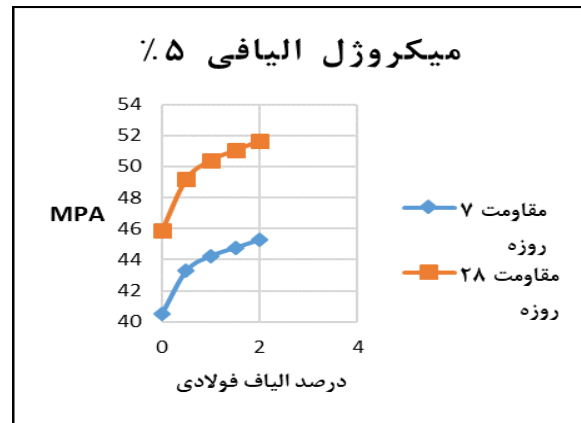
شکل ۱۲- مقاومت فشاری طرح اختلاط A4

جدول ۱۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط A5

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
	۶۱	۰	۰	۴۰/۵۲	۴۵/۹	۵۱/۸	۵۰/۵
	۶۴	۰/۵	۰/۵	۴۳/۳	۴۹/۲	۶۱/۴	۶۱/۳
A5	۶۷	۵	۱	۴۴/۲۵	۵۰/۴	۶۵	۶۵/۲۴
	۷۰	۱/۵	۱/۵	۴۴/۷۸	۵۱/۰۵	۶۶/۹۵	۶۷/۳۷
	۷۳	۲	۲	۴۵/۳	۵۱/۶۵	۶۸/۹	۶۹/۳۴



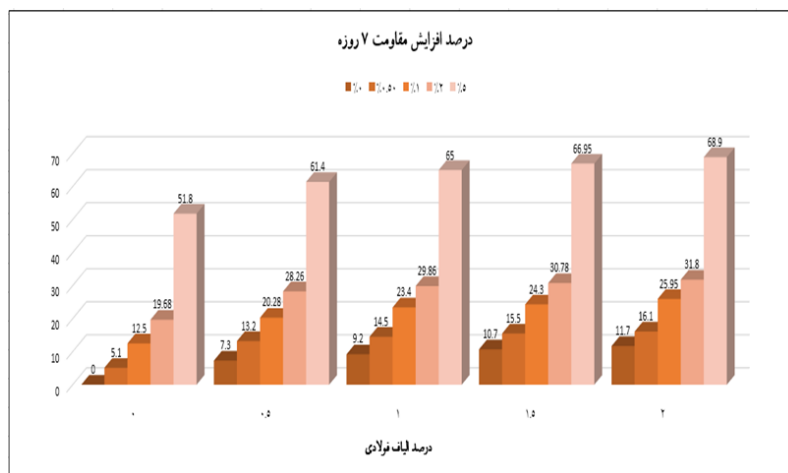
شکل ۱۵- درصد افزایش مقاومت فشاری طرح اختلاط A5



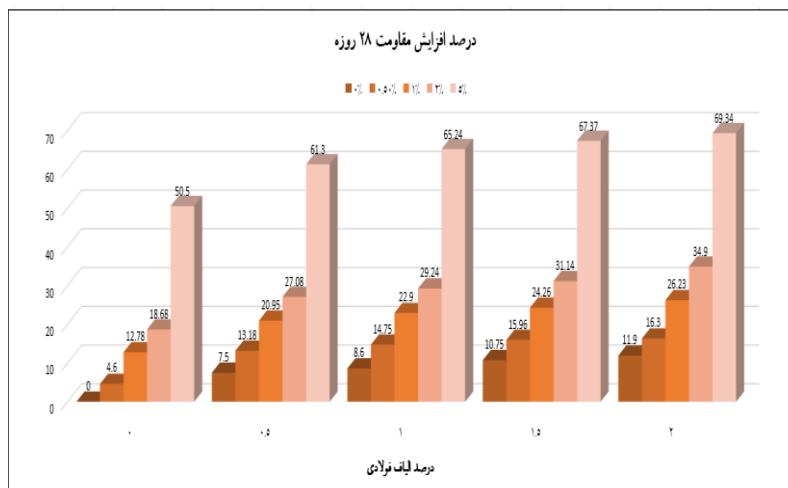
شکل ۱۴- مقاومت فشاری طرح اختلاط A5

فشاری داشته‌اند، که بر حسب تغییر در میزان آن، مقدار افزایش با پنج رنگ مختلف نشان داده شده است. با توجه به روند آزمایش مقاومت فشاری و نتایج آن انتظار می‌رود با افزایش میکروژل الیافی به مقدار بیش از ۵ درصد باز هم مقاومت فشاری افزایش یابد.

۲-۶- بررسی کلی نمودارهای آزمایش مقاومت فشاری
شکل‌های (۱۶ و ۱۷) مقادیر افزایش در مقاومت‌های فشاری، به ازای درصد‌های مختلف میکروژل الیافی را نشان می‌دهد. نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف میکروژل الیافی افزایش قابل توجهی در مقاومت



شکل ۱۶- درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه به ازای درصد‌های مختلف میکروژل الیافی



شکل ۱۷- درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه به ازای درصد‌های مختلف میکروژل الیافی

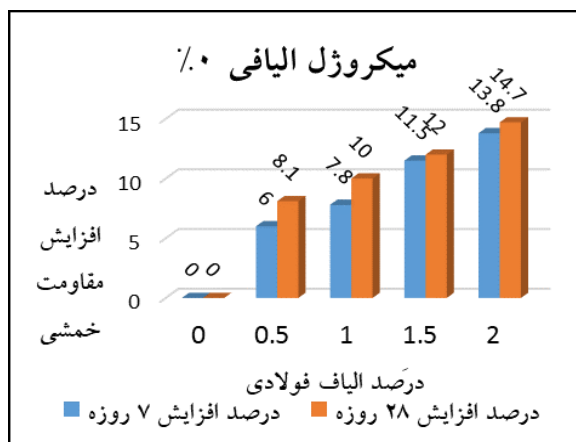
۳-۶- آزمایش مقاومت خمشی و نتایج آن

بتنی مشخص نموده، سپس نمونه‌ها در داخل دستگاه خمش قرار داده می‌شوند. باید به یاد داشته باشیم که نمونه‌ها را به پهلو در دستگاه قرار می‌دهیم تا سطح صاف در زیر جک قرارگیرد. نیرو با سرعت یکنواخت افزایش داده می‌شود تا نمونه گسیخته شود. مدول گسیختگی با استفاده از رابطه $R=(P \times L)/(b \times d^2)$ محاسبه می‌شود، P نیروی وارده به نمونه بر حسب نیوتن، L ، d ، b به ترتیب طول نمونه، ارتفاع و پهنا، بر حسب میلی‌متر می‌باشند [۲۳]. نتایج میانگین مقاومت خمشی دو نمونه مشابه هم در جدول‌های ۱۳ تا ۱۷ و شکل‌های ۱۸ تا ۲۷ ارائه شده‌اند.

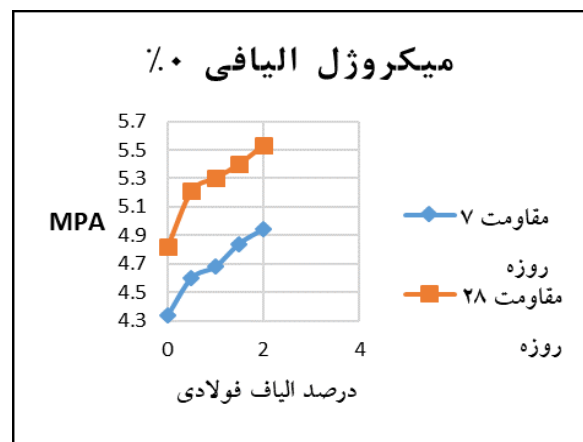
در این تحقیق، آزمایش مقاومت خمشی بر اساس استاندارد ASTM C78 [۲۳] بارگذاری به روش یک سوم دهانه انجام پذیرفته است. آزمایش مقاومت خمشی روی نمونه‌هایی که به مدت ۷ و ۲۸ روز در داخل آب نگهداری شده‌اند، انجام پذیرفته است. از هر مخلوط بتنی با مشخصات و شرایط عمل‌آوری مشابه دو نمونه جهت گرفتن میانگین و یک نمونه شاهد ساخته شده است. لذا جمعاً ۱۲۵ نمونه به ابعاد $15 \times 15 \times 50$ سانتیمتر، جهت انجام آزمایش مقاومت خمشی ساخته شده‌اند. محل اعمال بار و تکیه‌گاهها را با مداد بر روی نمونه‌های

جدول ۱۳- نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای طرح اختلاط B1

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه MPa	میانگین مقاومت ۲۸ روزه MPa	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
	۰۲		۰	۴/۳۴	۴/۸۲	۰	۰
	۰۵		۰/۵	۴/۶	۵/۲۱	۸/۱	۶
B1	۰۸	۰	۱	۴/۶۸	۵/۳	۱۰	۷/۸
	۱۱		۱/۵	۴/۸۴	۵/۴	۱۲	۱۱/۵
	۱۴		۲	۴/۹۴	۵/۵۳	۱۴/۷	۱۳/۸



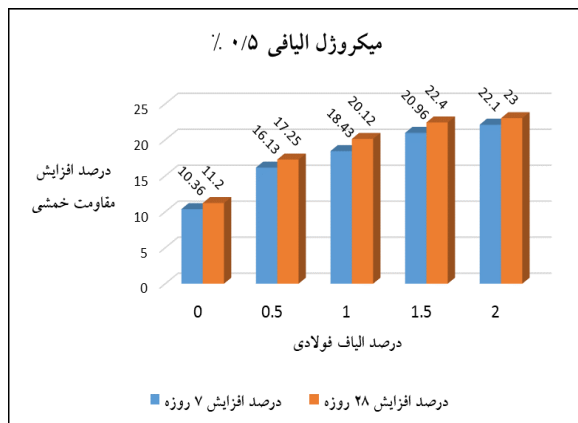
شکل ۱۹- درصد افزایش مقاومت خمشی طرح اختلاط B1



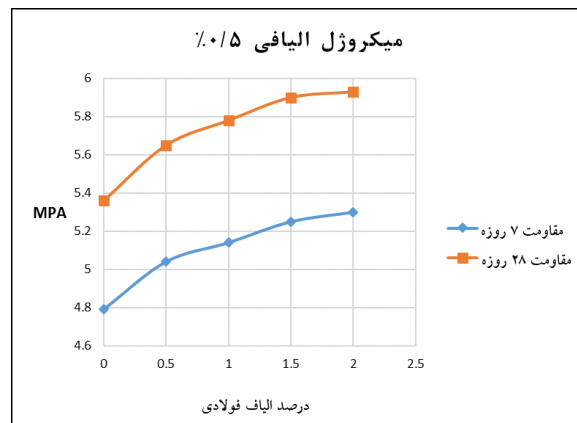
شکل ۱۸- مقاومت خمشی طرح اختلاط B1

جدول ۱۴- نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای طرح اختلاط B2

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه MPa	میانگین مقاومت ۲۸ روزه MPa	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
	۱۷		۰	۴/۷۹	۵/۳۶	۱۱/۲	۱۰/۳۶
	۲۰		۰/۵	۵/۰۴	۵/۶۵	۱۷/۲۵	۱۶/۱۳
B2	۲۳	۰/۵	۱	۵/۱۴	۵/۷۸	۲۰/۱۲	۱۸/۴۳
	۲۶		۱/۵	۵/۲۵	۵/۹	۲۲/۴	۲۰/۹۶
	۲۹		۲	۵/۳	۵/۹۳	۲۳	۲۲/۱



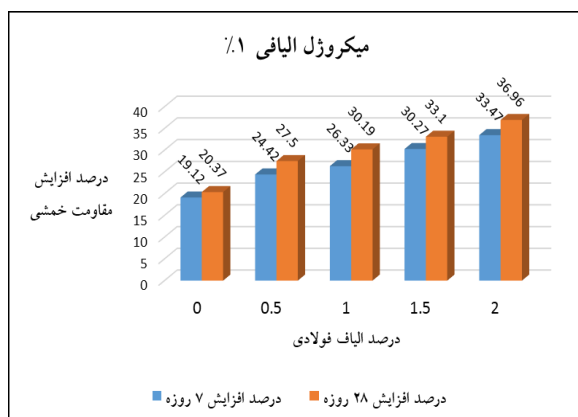
شکل ۲۱- درصد افزایش مقاومت خمشی طرح اختلاط B₂



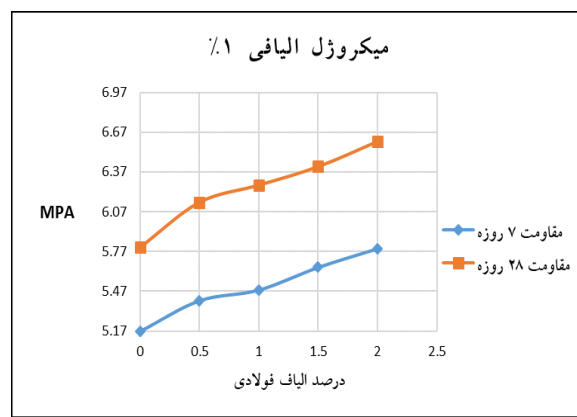
شکل ۲۰- مقاومت خمشی طرح اختلاط B₂

جدول ۱۵- نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای طرح اختلاط B₃

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش مقاومت ۷ روزه	درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه
B ₃	۳۲	۰	۰	۵/۱۷	۵/۸	۱۹/۱۲	۲۰/۳۷
	۳۵	۰/۵	۰/۵	۵/۳۵	۶/۱۴	۲۳/۲۷	۲۷/۵
	۳۸	۱	۱	۵/۴۸	۶/۲۷	۲۶/۳۳	۳۰/۱۹
	۴۱	۱/۵	۱/۵	۵/۶۵	۶/۴۱	۳۰/۲۷	۳۳/۱
	۴۴	۲	۲	۵/۷۹	۶/۶	۳۳/۴۷	۳۶/۹۶



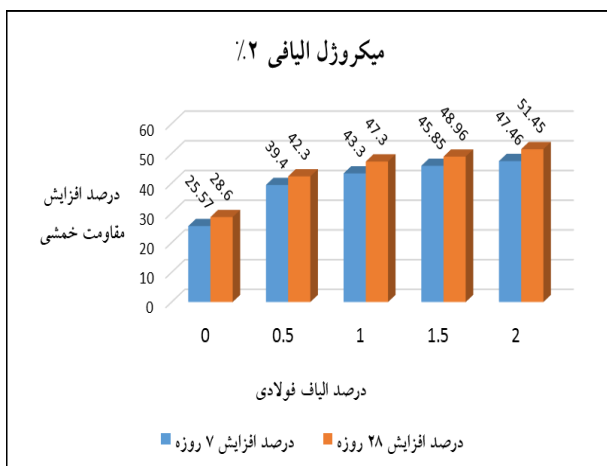
شکل ۲۳- درصد افزایش مقاومت خمشی طرح اختلاط B₃



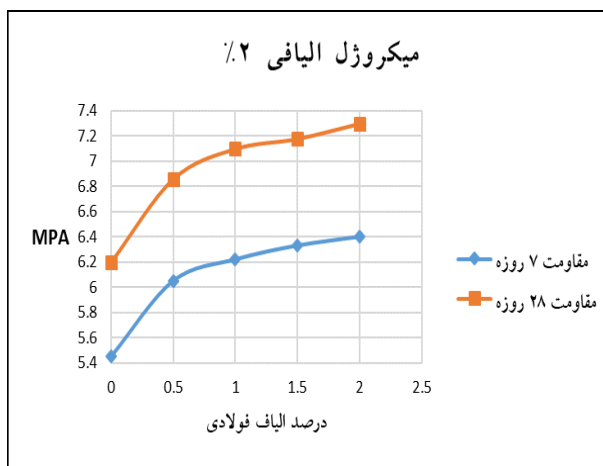
شکل ۲۲- مقاومت خمشی طرح اختلاط B₃

جدول ۱۶- نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای طرح اختلاط B₄

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش مقاومت ۷ روزه	درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه
B ₄	۴۷	۰	۰	۵/۴۵	۶/۲	۲۵/۵۷	۲۸/۶
	۵۰	۰/۵	۰/۵	۶/۰۵	۶/۸۶	۳۹/۴	۴۲/۳
	۵۳	۲	۱	۶/۲۲	۷/۱	۴۳/۳	۴۷/۳
	۵۶	۱/۵	۱/۵	۶/۳۳	۷/۱۸	۴۵/۸۵	۴۸/۹۶
	۵۹	۲	۲	۶/۴	۷/۳	۴۷/۴۶	۵۱/۴۵



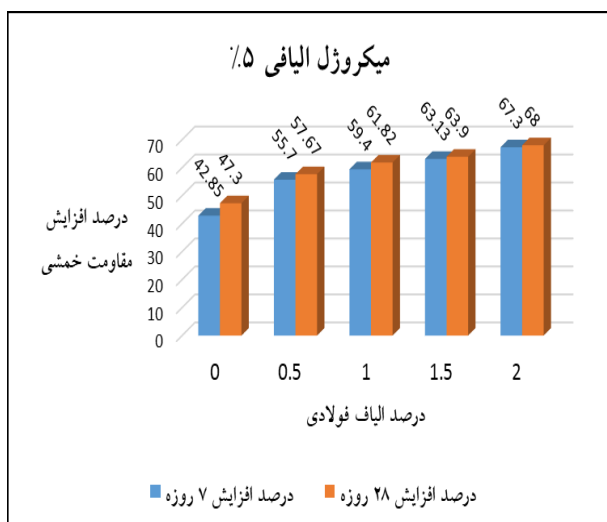
شکل ۲۵- درصد افزایش مقاومت خمشی طرح اختلاط B4



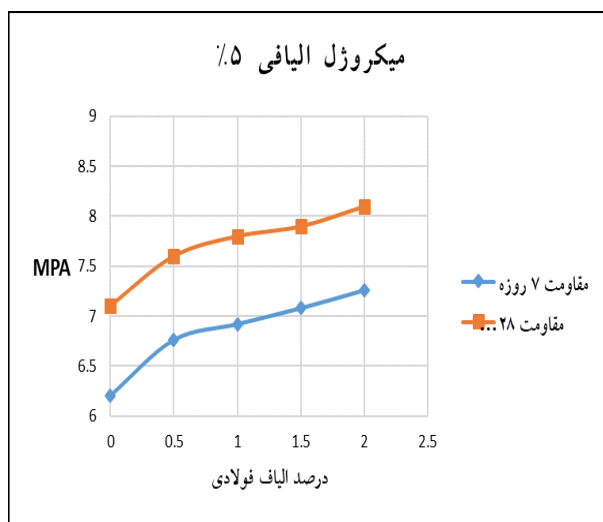
شکل ۲۴- مقاومت خمشی طرح اختلاط B4

جدول ۱۷- نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای طرح اختلاط B5

ردیف	شماره طرح اختلاط	میکروژل الیافی (%)	الیاف فولادی (%)	میانگین مقاومت ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت ۲۸ روزه (MPa)	درصد افزایش ۷ روزه	درصد افزایش ۲۸ روزه
	۶۲	۰	۰	۶/۲	۷/۱	۴۲/۸۵	۴۷/۳
	۶۵	۰/۵	۰/۵	۶/۷۶	۷/۶	۵۵/۷	۵۷/۶۷
B5	۶۸	۵	۱	۶/۹۲	۷/۸	۵۹/۴	۶۱/۸۲
	۷۱	۵	۱/۵	۷/۰۸	۷/۹	۶۳/۱۳	۶۳/۹
	۷۴	۵	۲	۷/۲۶	۸/۱	۶۷/۳	۶۸



شکل ۲۷- درصد افزایش مقاومت خمشی طرح اختلاط B5



شکل ۲۶- مقاومت خمشی طرح اختلاط B5

مقاومت خمشی با شیب ملایمی رو به افزایش است و علت این امر وجود الیاف فولادی در بتن می‌باشد. زیرا الیاف فولادی مانند پلی

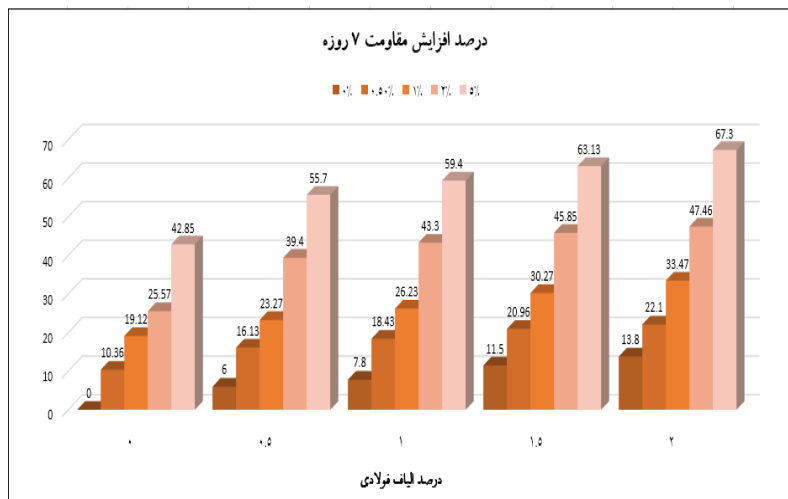
۶-۴- بررسی کلی نمودارهای آزمایش مقاومت خمشی با توجه به شکل‌های (۲۸ و ۲۹) می‌توان این استنباط را کرد که

با نسبت آب به مواد سیمانی ثابت نشان می‌دهند که با افزودن درصد میکروژل الیافی و الیاف فولادی، نسبت مقاومت خمشی به فشاری افزایش می‌یابد (نمونه‌های با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴). در این مقاله سعی بر مقایسه بین بتن‌های حاوی الیاف‌های فوق از نظر مقاومت فشاری و خمشی برای تولید ورق‌های بتنی با مقاومت بالا شد، که در آخر نشان داده شد بتن حاوی الیاف فولادی نشان می‌دهد که افزایش در مقاومت حداکثر خمشی به علت استفاده از الیاف، بیشتر از افزایش در مقاومت‌های فشاری را دارا می‌باشد. در الیاف پلیمری نشان داده شد که میزان اثرگذاری به نسبت الیاف فولادی کم رنگ‌تر است.

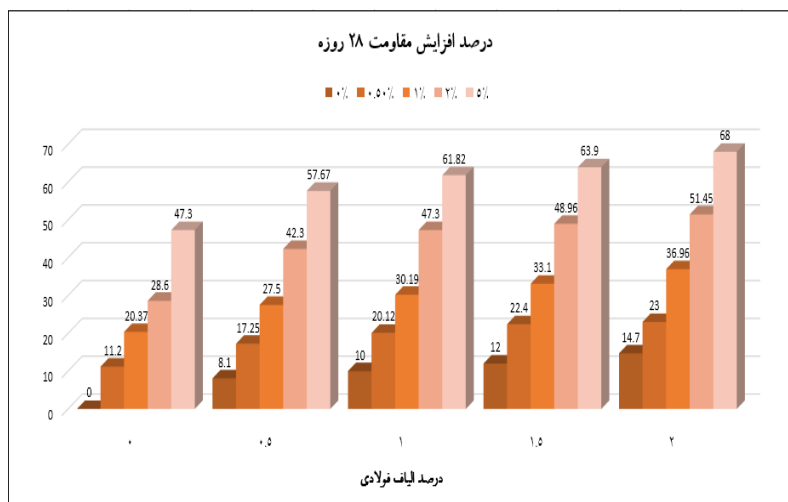
در داخل بتن عمل کرده و با توجه به حالت کشسانی فولاد مانع از گسیختگی کامل نمونه از هم می‌شود. در مراحل بعد با افزودن میکروژل الیافی که دارای الیاف پلی‌پروپیلن در داخل آن می‌باشد مانع از ایجاد ترک‌های زود هنگام در ناحیه کششی و داخل نمونه بتنی می‌شود و مقاومت بتن را به صورت قابل توجهی افزایش می‌دهد.

۶-۵- نسبت مقاومت خمشی به مقاومت فشاری نمونه‌ها

مقادیر نسبت مقاومت خمشی به فشاری نمونه‌ها در جدول ۱۸ محاسبه شده‌اند. مقادیر نسبت مقاومت خمشی به فشاری نمونه‌های



شکل ۲۸- درصد افزایش مقاومت خمشی نمونه‌های ۷ روزه به ازای درصدهای مختلف میکروژل الیافی



شکل ۲۹- درصد افزایش مقاومت خمشی نمونه‌های ۲۸ روزه به ازای درصدهای مختلف میکروژل الیافی

جدول ۱۸- نتایج نسبت مقاومت خمشی به مقاومت فشاری نمونه‌ها

ردیف	میکروژل الیافی %	الیاف فولادی %	نسبت مقاومت خمشی به فشاری بتن ۷ روزه	نسبت مقاومت خمشی به فشاری بتن ۲۸ روزه
		۰	۰/۱۶۲	۰/۱۵۸
		۰/۵	۰/۱۶	۰/۱۶۱
۱	۰	۱	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹
		۱/۵	۰/۱۶۳	۰/۱۶
		۲	۰/۱۶۵	۰/۱۶۱
		۰	۰/۱۷	۰/۱۶۸
		۰/۵	۰/۱۶۶	۰/۱۶۳
۲	۰/۵	۱	۰/۱۶۷	۰/۱۶۵
		۱/۵	۰/۱۶۹	۰/۱۶۶
		۲	۰/۱۷۱	۰/۱۶۷
		۰	۰/۱۷۱	۰/۱۶۸
		۰/۵	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶
۳	۱	۱	۰/۱۶۵	۰/۱۶۷
		۱/۵	۰/۱۶۹	۰/۱۶۹
		۲	۰/۱۷۲	۰/۱۷۱
		۰	۰/۱۶۹	۰/۱۷۱
		۰/۵	۰/۱۷۵	۰/۱۷۷
۴	۲	۱	۰/۱۷۸	۰/۱۸
		۱/۵	۰/۱۸	۰/۱۷۹
		۲	۰/۱۸۲	۰/۱۸۱
		۰	۰/۱۵۳	۰/۱۵۴
		۰/۵	۰/۱۵۶	۰/۱۵۴
۵	۵	۱	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶
		۱/۵	۰/۱۵۸	۰/۱۵۴
		۲	۰/۱۶	۰/۱۵۷

۷- نتیجه گیری

۳- استفاده از الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت خمشی بتن می-گردد. زیرا این الیاف به علت مقاومت کششی زیاد بعد از اینکه بتن دچار ترک در قسمت کششی گردید و شروع به پیشروی کرد، الیاف فولادی هستند که مانند پلی مستحکم در برابر پیشرفت ترک‌ها قرار می‌گیرد و باعث مقاومت بیشتر نسبت به بتن بدون الیاف می‌گردد و مانع از گسیختگی سریع نمونه‌ها می‌شود.

۴- میکروسلیس به کار گرفته شده در محلول میکروژل الیافی باعث کاهش روانی خواهد شد که برای بهبود این امر شرکت سازنده با افزایش درصدی فوق روان‌کننده این مشکل را بخوبی حل نموده است.

۱- در این مقاله سعی بر مقایسه بین بتن‌های حاوی الیاف پلی-پروپیلن و الیاف فولادی از نظر مقاومت فشاری و خمشی شد، بتن حاوی الیاف فولادی نشان می‌دهد که افزایش در مقاومت حداکثر خمشی به علت استفاده از الیاف، بیشتر از افزایش در مقاومت‌های فشاری را دارا می‌باشد. در الیاف پلیمری نشان داده شد که میزان اثرگذاری به نسبت الیاف فولادی کم‌رنگ‌تر است.

۲- درصد افزایش در مقاومت فشاری در اکثر نمونه‌های ۷ روزه نسبت به نمونه‌های ۲۸ روزه بهبود بیشتری یافته‌اند.

[5] Toutanji, H., Mc Neil, S., Bayasi, Z., Chloride permeability and impact resistance of polypropylene fiber reinforced silica fume concrete, *Cement and Concrete Research*, 28(7): 961-968, 1998.

[6] Sun, V., Chen, H., Luo, X., Qian, H., the effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete, *Cement and Concrete Research* 31: 595-601, 2001.

[7] Chunxiang Qian., Piet, Stroeven., Fracture properties of concrete reinforced with steel-polypropylene hybrid fibres, Southeast University, Nanjing 210096, People's Republic of China, 2006.

[8] Zengzhi, Sun., Qinwu, Xu., Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete, University of Texas at Austin, TX 78712, USA, 2009.

[۹] مقصودیان، شهرام، جندقی علایی، فرشید، و نعمت زاده، مهدی. بررسی تأثیر الیاف ترکیبی فولادی موج دار-قلاّب دار و پلی پروپیلن اصلاح شده بر رفتار برشی تیرهای بتن آرمه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و روابط تجربی. مهندسی عمران امیرکبیر (امیرکبیر)، ۵۳(۴)، ۱۴۲۵-۱۴۴۲، ۱۴۰۰.

[۱۰] واقفی، محمد، و پولادی، علیرضا. تأثیر الیاف پلی پروپیلن فولادی و شیشه ای بر مقاومت فشاری و خمشی نمونه های بتنی با استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر. تحقیقات بتن، ۸(۱)، ۱۲۹-۱۴۲، ۱۳۹۴.

[۱۱] فروغی اصل، ف.، حسین نژاد، ع.، تأثیر الیاف پروپیلنی بر روی خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن. دو فصلنامه تحقیقات بتن، جلد ۶، شماره ۱، صفحات ۱۱۵-۱۲۵، ۱۳۹۲.

[12] ASTM C496 / C496M-17, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

[13] Gambhir, M. L., Concrete technology, third edition, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1986.

[۱۴] رمضانپور، ع.ا.، طاحونی، ش.، پیدایش، م.، دستنامه اجرای بتن، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران، ۱۳۸۰.

[۱۵] پیرمحمدی، ف.، تقی پور، ب.، بررسی تأثیر شکل، ترکیب و نوع کانی های تشکیل دهنده سنگ دانه ها بر مقاومت فشاری بتن پایان نامه کارشناسی ارشد عمران سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر، ۱۲۴ صفحه، ۱۳۹۸.

۵- با توجه به اینکه الیاف فولادی تأثیر زیادی در افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن ایجاد می کند ولی با توجه به جدول نسبت مقاومت خمشی به فشاری می توان دریافت که تأثیر الیاف فولادی در خمش به مراتب بیشتر از مقاومت فشاری بتن می باشد.

۶- در پژوهش های قبلی که توسط محققین انجام گرفته به علت ثابت فرض کردن بعضی از افزودنی ها مثل روان کننده ها و الیاف ها، بعد از افزایش میکروسیلیس تا حدی، از مقاومت فشاری و خمشی بتن کاسته می شود، ولی در میکروژل الیافی به علت اینکه تمام مواد در آن به صورت مخلوط وجود دارد و با افزایش مقدار آن در طرح اختلاط ها تمام مواد از جمله میکروسیلیس، الیاف پلی پروپیلن و روان کننده به صورت یکنواخت افزایش می یابد به این علت شاهد کاهش مقاومت نشدیم.

۷- نمونه های بتنی در ترکیب ۵٪ میکروژل الیافی و ۲٪ الیاف فولادی به حداکثر مقاومت رسیده فلذا اگر درصد ترکیب ها را افزایش دهیم شاهد افزایش دوباره در مقاومت ها خواهیم بود.

۸- قدردانی

اینجانب بر خود لازم می دانم از ریاست، معاونت پژوهشی و اساتید گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر و همچنین از آقای مهندس طباطبایی، کارشناس آزمایشگاه بتن دانشگاه به خاطر همکاری های صمیمانه، تشکر و قدردانی نمایم.

۹- مراجع

[۱] مهتا، پ.، م و مونته، ع.، ریز ساختار، خواص و اجزای بتن تکنولوژی بتن پیشرفته. ترجمه دکتر علی اکبر رمضانپور، پرویز قدسی و اسماعیل گنجیان. دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۵.

[۲] رخشانی مهر، مهراله، بخشی، حسین. بررسی تأثیر مقدار الیاف و رده مقاومت بر مشخصات مکانیکی بتن با الیاف فولادی. تحقیقات بتن، ۸(۱): ۱۰۱-۱۱۲، ۱۳۹۴.

[۳] سحرخیزان، سروش، و سعیدی جم، سعید. بررسی ویژگی مکانیکی بتن حاوی الیاف ترکیبی فولادی و پلی پروپیلن. تحقیقات بتن، ۸(۲)، ۱۲۹-۱۴۶، ۱۳۹۴.

[۴] حسامی، ابراهیم، مستوفی نژاد، داوود، و افتخار، محمدرضا. بررسی خواص مکانیکی بتن فوق توانمند غیر مسلح و مسلح شده به الیاف فولادی، پلی پروپیلن و پلی وینیل الکل. تحقیقات بتن، ۱۲(۴)، ۵-۱۸، ۱۳۹۸.

- [16] Rittenhouse G, A, visual method of estimating 2-dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*. 13(2):7981.1943, 2006.
- [17] Wadell, H., Volume, shape and roundness of rock particles. *Journal of geology*. 40:443–511932, 2014.
- [18] British Standard Institution, BS 812-105.1:(BS EN 933-4), Methods for determination of particle shape. Flakiness index, London, 2008.
- [19] ISRM, in: E.T. Brown (Ed.), *Rock Characterization Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods*, Pergamon, Oxford, 211 pp, 1981.
- [20] British Standard Institution, BS 3148:(BS EN-1008), *Mixing Water for Concrete-Specification for Sampling, Testing and Assessing the Suitability of Water*. BSI, London, 2002
- [21] ASTM C143 / C143M -12, *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, vol. 4.08, ASTM, Philadelphia, PA, 1990.
- [22] ASTM C39 / C39M-21, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.
- [23] ASTM C78 / C78M-21, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.

Investigation of combined use of fiber microgels containing polypropylene fibers and steel fibers on mechanical properties of concrete

Farhad Pirmohammadi Alishah *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran.

Mehdi Mohammadrezaei

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tasuj Branch, Islamic Azad University, Tasuj, Iran.

Abstract

Concrete is one of the widely consumed building materials in the construction industry, the experts have paid more attention to concrete quality improvement during the last years. Among the specifications of the concrete which have been paid attention to by the researchers are compressive strength and tensile strength. So, to attain this goal, in the recent years, using a less ratio of water to cement with superplasticizers and natural and or synthetic pozzolans and also with fibers of different materials and specifications in the concrete mixture is a normal method. In this research, the effect of the combined use of fibre microgels and steel fibres on the mechanical properties and durability of concrete has been studied in a laboratory. Fiber microgels include micro-silica (silica fume), polypropylene fibers (pp fibers) and superplasticizers. Consumable steel fibers are 5 cm long and 0.8 mm in diameter with a hooked end. The effect of microgels and steel fibers were each compared and evaluated in five ratios of fibrous microgels 0, 0.5, 1, 2, 5% and steel fibers in ratios of 0, 0.5, 1, 1.5, 2%. A total of 25 mixing designs were tested for compressive and flexural strength to evaluate mechanical properties. The results of compressive and bending strength tests have shown that by adding different percentages of fibers, the percentage of increase in compressive strength in most of the 7-day samples has improved more than the 28-day samples. The highest resistance growth was related to the samples containing 5% fibrous microgel and 2% steel fibers. Also, the evaluation of engineering properties of aggregates shows that the properties of resistance, wear, specific weight and porosity, shape and texture, durability and stability of aggregates have the greatest impact on concrete strength.

Keywords: Microgel fiber, Microsilis, Pp fiber, Steel fiber, Fiber concrete.

* Corresponding Author: Petrofarhad@iaushab.ac.ir

