

ارزیابی آزمایشگاهی برخی خواص مکانیکی بتن‌های الیافی

رضا خدابخشی

پژوهشگر، مرکز عمران و سازندگی دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه امام حسین (ع).

امین جعفرنیا

کارشناس ارشد، مرکز عمران و سازندگی دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه امام حسین (ع).

محمد فیاض *

استادیار، مرکز عمران و سازندگی دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه امام حسین (ع).

سعید محمد

استادیار، مرکز عمران و سازندگی دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه امام حسین (ع).

چکیده

در سال‌های اخیر، کاربرد الیاف مصنوعی به منظور بهبود خواص مکانیکی توسعه چشم‌گیری داشته است. استفاده از هر یک از انواع الیاف منجر به بهبود برخی خواص و ضعیف شدن سایر ویژگی‌ها شده است. استفاده هم‌زمان از چند نوع الیاف با درصدهای مختلف می‌تواند خواص مکانیکی بتن را تحت آزمایش‌های انجام شده ارتقاء داده و از ضعف‌های احتمالی جلوگیری نماید. در این تحقیق تأثیر الیاف با درصدهای حجمی مختلف بر مقاومت فشاری، خمشی و کششی نمونه‌ها در سنین مختلف نسبت به نمونه بدون الیاف (بتن پایه) سنجیده شده است. در این تحقیق با استفاده از ترکیب هم‌زمان الیاف فولادی، بارچپ و ماکروسنتتیک در نسبت‌های مختلف ترکیبی، خواص مکانیکی بتن مورد آزمایش قرار گرفته است. در این میان بتن‌های دارای الیاف فولادی بهترین عملکرد در کشش، فشار و خمش را از خود نشان دادند که در خمش در حدود ۳۸٪ و در کشش حدود ۸۰٪ باعث بهبود خواص مکانیکی بتن شده است.

واژه‌های کلیدی: بتن الیافی هیبریدی، الیاف فولادی، الیاف بارچپ، الیاف ماکروسنتتیک، خمش، کشش.

۱- مقدمه

۹۸٪ و ۱۲۶٪ رسید. یازیکی^۴ و همکاران تأثیر افزایش حجم الیاف فولادی را بر روی بتن مورد بررسی قرار دادند [۸]. الیاف با نسبت حجمی ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ مورد بررسی قرار گرفت. در نتایج خود مشاهده کردند افزایش الیاف فولادی مقاومت فشاری بتن را ۴ تا ۱۹٪ افزایش می‌دهد. همچنین افزایش الیاف فولادی سبب افزایش مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن گردید. سلطانزاده و همکاران روشی نوآورانه برای طراحی بتن تقویت‌شده با الیاف با کارایی بالا با خصوصیات رئولوژیکی و مکانیکی مناسب برای تولید عناصر بتنی پیش‌ساخته ارائه کردند [۹]. مشاهده شد که ترکیب الیاف فولادی در بتن می‌تواند شکنندگی بتن را کاهش داده و مود خرابی سازه بتن را تغییر دهد. آردانوی^۵ و همکاران به بررسی در زمینه کامپوزیت‌های مبتنی بر سیمان تقویت‌شده با الیاف سلولز، با تمرکز بر ترکیب آن‌ها، روش‌های آماده‌سازی، خواص مکانیکی و راهکارهای بهبود پیوند ماتریس الیاف پرداختند [۱۰]. در استفاده از انواع الیاف اگرچه پارامترهای مقاومت کششی، خمشی و فشاری می‌تواند بهبود یابد ولی این موضوع مصداق عمومی ندارد و لحاظ کردن برخی متغیرها نظیر نوع الیاف، زاویه قرارگیری و نسبت‌های اختلاط می‌تواند منجر به تغییر خصوصیات بتن گردد.

حسین و همکاران نشان دادند که افزودن الیاف پلی وینیل استات باعث افزایش مقاومت فشاری بتن نمی‌شود [۱۱]. در بیشتر موارد، دلیل کاهش استحکام فشاری احتمالاً پراکندگی الیاف، به‌طور خاص در بتن با محتوای فیبر بالا بسیار مشکل است و در نتیجه باعث کارایی ضعیف و ادغام ناقص می‌شود.

در مطالعه‌ای دیگر، تأثیر گنجانیدن ترکیبات معدنی و محتوای الیاف فولاد بر رفتار بتن مورد بررسی قرار گرفت. دو نوع مواد افزودنی معدنی دود سیلیس و سرباره کوره به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد از وزن سیمان استفاده شده است. علاوه بر این، یک الیاف فولادی تجاری با ابعاد (L = 55 میلی‌متر و L/D = 69) به مخلوط اضافه شد. مشاهده گردید وجود الیاف فولادی تأثیر معنی داری بر مقاومت فشاری بتن دارد. افزودن مقدار ۲٪ الیاف فولادی باعث افزایش حدود ۳۰٪ در مقاومت فشاری مخلوط با سرباره ۲۰٪

تقویت بتن با الیاف کوتاه به صورت تصادفی توزیع شده می‌تواند برخی از نگرانی‌های مربوط به شکنندگی بتن و مقاومت پایین در برابر رشد ترک را برطرف سازد. الیاف، که به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شوند، می‌توانند در ترمیم ترک‌ها در سطح خرد و کلان مؤثر باشند. در سطح میکرو، الیاف از شروع و رشد ترک‌ها جلوگیری می‌کنند و بعد از اینکه میکرو ترک‌ها به ترک‌های خرد تبدیل شدند، الیاف مکانیسم‌هایی را فراهم می‌کنند که از انتشار ناپایدار آن‌ها کاسته می‌شوند و یک پل کارآمد را فراهم می‌کنند [۱]. الیاف به صورت فلزی، پلیمری یا طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند [۲]. در بین انواع مختلف الیاف، الیاف فولادی (فلزی) متداول‌ترین مورد برای اکثر اهداف ساختاری و غیر ساختاری است [۳]. مشخصات مهندسی و مزایای اقتصادی بتن الیافی از بتن معمولی متمایز است، از این رو بتن الیافی در طیف گسترده‌ای از کاربردها در صنعت ساخت‌وساز محبوب می‌باشد. بتن الیافی در ساختمان‌های بلند مرتبه از بکارگیری ستون‌های بزرگ در طبقه‌های پایین جلوگیری می‌کند [۴]. بتن الیافی که برای پل‌های طولی استفاده می‌شود، بار مرده کمربندهای پل را کاهش می‌دهد و بنابراین باعث می‌شود تا عرض‌های زیرگذر بیشتری داشته باشد. بتن الیافی الهام‌بخش صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های تعمیر و نگهداری پل و درعین حال طولانی‌تر شدن عمر سرویس‌دهی پل هاست [۵].

طبق مطالعات مارار^۱ و همکاران، در هر نسبت ابعاد الیاف، مقاومت فشاری بتن الیافی با الیاف فولادی با افزایش حجم الیاف فولادی بهبود می‌یابد [۶]. سانگ^۲ و هانگ^۳ به بررسی خصوصیات مکانیکی بتن الیافی با فولاد با استحکام بالا پرداختند [۷]. این خواص شامل استحکام کششی، فشاری، مدول گسیختگی و شاخص چقرمگی بود. الیاف فولادی در کسر حجمی ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ اضافه شدند. مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف در حداکثر کسر حجمی ۱/۵٪ به حداکثر رسید، که یک افزایش ۱۵،۳٪ را از خود نشان داد. استحکام کششی و مدول گسیختگی بتن مسلح با الیاف با افزایش کسر حجمی بهبود یافته و به ترتیب در نسبت حجمی ۲٪ به افزایش

⁴ Yazıcı

⁵ Ardanuy

¹ Marar

² Song

³ Hwang

تراز فیبر به نمایش گذاشته است [۱۵]. در زمینه رفتار بتن الیافی هیبرید هادی و همکاران نمونه‌های بتن را با ترکیب الیاف فولادی و بارچپ در منطقه‌ای از خلیج فارس با جزر و مد زیاد آزمایش شد. خواص بتن از قبیل مقاومت خمشی، مقاومت فشاری و نفوذپذیری آب تحت فشار بررسی شد. مشاهده شده تغییر الیاف تأثیر می‌تواند مقاومت خمشی را تا ۲۸ درصد بهبود دهند. الیاف فولادی و بارچپ با ۳ نسبت ۰/۳۳ و ۰/۶۶ و ۰/۹۹ درصد حجم بتن استفاده شد و ترکیب این الیاف با هم نیز در ۳ دسته با نسبت‌های مختلف ۰/۳۳ فولادی و ۰/۶۶ بارچپ و ۰/۶۶ فولادی و ۰/۳۳ بارچپ و نسبت ۰/۵ درصد فولادی و ۰/۵ درصد بارچپ به کار برده شد. مشاهده شد تغییر الیاف تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری بتن نداشته و در ناحیه ۳۲ تا ۳۸ مگا پاسکال مقاومت فشاری کلیه نمونه‌ها بوده است [۱۶].

دیجیان^۵ و همکاران در زمینه بررسی تأثیر الیاف بارچپ بر رفتار بتن با مقاومت بالا آزمایش‌های خود را انجام دادند. از الیاف بارچپ برای کاهش انقباض بتن استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش حجم الیاف انقباض بتن در سنین پایین کاهش می‌یابد [۱۷].

سلیم^۶ و همکاران بتن الیافی با سنگ‌دانه‌های بازیافتی را تحت تنش فشاری بررسی کردند. الیاف استفاده شده از نوع ماکروستتیک با نسبت حجمی ۰/۵ و ۱ درصد بود. نشان داده شد که تأثیر الیاف بر بتنی که ۱۰۰٪ آن دارای سنگ‌دانه‌های بازیافتی بود نسبت به بتن با نسبت ۵۰٪ از سنگ‌دانه‌های بازیافتی بیشتر است [۱۸].

الیاف هیبریدی ترکیبی از الیاف استفاده شده در بتن با درصد‌های مختلف نسبت به حجم بتن برای بهبود خواص مکانیکی بتن الیافی است. با توجه به تحقیقات انجام شده بر روی بتن الیافی بررسی تأثیر هم‌زمان الیاف با نسبت‌های مختلف حجمی الیاف هیبریدی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مطالعات انجام شده بر روی الیاف گوناگون و اثرات مختلف و بعضاً متقابل بر رفتار بتن، ترکیب هم‌زمان الیاف فولادی با الیاف مقاوم در برابر عوامل محیطی نظیر بارچپ و الیاف ماکروستتیک می‌تواند خصوصیات مکانیکی و دوام بتن و مقاومت بتن را هم‌زمان ارتقاء دهد. در این

شد. علاوه بر این، نسبت ابعاد الیاف عامل مهم دیگری است که بر خواص بتن تأثیر می‌گذارد [۱۲].

همچنین ونگ^۱ و همکاران نشان دادند لحاظ کردن زوایای قرارگیری الیاف در بتن منجر به افزایش استحکام خمشی بتن می‌شود. دلیل این افزایش این است که بعد از ترک خوردگی ماتریس بتن، الیاف تنش‌هایی که به سازه بتنی اعمال می‌شود، تا زمان ترک خوردگی توسط پیوند بین سطحی الیاف و ماتریس تحمل می‌کنند [۱۳]. در زمینه رفتار بتن الیافی در سازه، پونیکویسکی^۲ و همکاران تأثیر جهت‌گیری الیاف بر استحکام خمشی تیرها را که از یک دیواره به ابعاد $1200 \times 1200 \times 150$ میلی‌متر بریده شده است، بررسی کردند. نشان داده شده است که نمونه‌های گرفته شده از قسمت پایین دیوار که در راستای افق از تراکم بهتری برخوردار بودند بهترین رفتار پس از ترک خوردگی را نشان می‌دهد [۱۴].

ایالت^۳ و لیلوات^۴ در زمینه تأثیر محتوای پلیمر و شیشه بر مقاومت و خشک شدن تحقیقات خود را انجام دادند. هدف از این مطالعه بررسی مقاومت فشاری، استحکام خمشی و انقباض خشک کردن بتن مسلح به الیاف شیشه‌ای و پلیمر با استفاده از تکنیک‌های مختلف بود. دو گروه از نمونه‌ها با استفاده از این تکنیک‌ها، طبقه‌بندی شدند: با استفاده از روش‌های اسپری و پیش آمیختن. از AR-Glass با میزان الیاف ۳ تا ۴ درصد حجمی مخلوط شد و همچنین از نسبت‌های استایرن بوتادین لاستیک ۰/۰، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ وزن سیمان استفاده شد. آزمایش‌ها مقاومت فشاری و خمشی در ۱ و ۲۸ روز انجام شد. تست‌های انقباض خشک بتن تا ۹۸ روز اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش میزان استایرن بوتادین لاستیک مقاومت فشاری بتن الیافی شیشه‌ای در هر دو روش اسپری و پیش آمیختن کاهش می‌یابد [۱۵]. از سوی دیگر، نتایج استحکام خمشی ۲۸ روزه بتن الیافی شیشه‌ای برای هر دو روش پیش آمیختن و اسپری شده با افزایش محتوای استایرن بوتادین لاستیک افزایش یافته است. مخلوط بتن الیافی شیشه‌ای با استفاده از روش اسپری مقاومت خمشی بالاتر از مخلوط‌های مربوطه را با استفاده از تکنیک پیش آمیختن به دلیل لایه دوبعدی

⁴ Leelawat

⁵ Dejian

⁶ Saleem

¹ Wang

² Ponikiewski

³ Ianleng

مشابه انواع دیگر الیاف از درصدهای ۱ تا ۲ استفاده شده است. در شکل ۳ و جدول ۳ الیاف ماکروسنتتیک استفاده شده و مشخصات آن ارائه شده است.

تحقیق خواص مکانیکی بتن هیبریدی نوین متشکل از ترکیب الیاف فولادی، بارچپ و ماکروسنتتیک با استفاده از نسبت‌های مختلف از الیاف بررسی شده است.



شکل ۲- الیاف بارچپ طرح اختلاط بتن

جدول ۲- مشخصات الیاف بارچپ

وزن مخصوص (kg/m^3)	۹۱۰
مقاومت کششی (MPa)	۶۴۰
طول (mm)	۵۰
قطر (mm)	۰/۹
رنگ	سفید-طوسی



شکل ۱- الیاف فولادی طرح اختلاط بتن

جدول ۱- مشخصات الیاف فولادی

وزن مخصوص (kg/m^3)	۷۸۵۰
مقاومت کششی (MPa)	$1200 <$
طول (mm)	۳۶
قطر (mm)	۰/۸
رنگ	خاکستری



شکل ۳- الیاف ماکروسنتتیک طرح اختلاط بتن

جدول ۳- مشخصات الیاف ماکروسنتتیک

وزن مخصوص (kg/m^3)	۹۱۰
مقاومت کششی (MPa)	۶۰۰
طول (mm)	۵۰
قطر (mm)	۰/۷
رنگ	نارنجی

الیاف بارچپ از جدیدترین انواع الیاف مورد استفاده در بتن بوده و می‌توان این الیاف را جایگزین الیاف فولادی دانست. این الیاف همانند پلی‌پروپیلن دارای وزن مخصوص ۹۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و پایه آن از پلی‌پروپیلن است. همانند الیاف فولادی از الیاف بارچپ با درصدهای مختلف استفاده شده است. در شکل ۲ الیاف بارچپ قابل مشاهده است. همچنین مشخصات الیاف بارچپ در جدول ۲ ارائه شده است.

الیاف ماکروسنتتیک نیز همانند بارچپ بوده ولی ظاهری متفاوت دارد و وزن مخصوص این الیاف همانند بارچپ است. در این طرح

مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح مخلوط بتن یا مقاومت هدف طرح اختلاط، به طور معمول به کمک مقاومت مشخصه و انحراف معیار مقاومت بتن ساخته شده در کارگاه به دست می آید.

از این رو با توجه به مقاومت مشخصه متعارف، مقدار ۳۰ تا ۴۰ مگا پاسکال در نظر گرفته شده است. اگر جداسدگی در بتن مشاهده شود می توان با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، افزایش ریزی بافت دانه بندی، افزایش سیمان یا مواد چسباننده، افزایش مواد پودری، کاهش کار آبی و یا کاهش نسبت آب به سیمان و یا ترکیبی از موارد فوق آن را مهار نمود. استفاده از مواد، از جمله اقداماتی است که معمولاً برای جلوگیری از جداسدگی، افزودنی لزجت زا، جهت بتن های خیلی روان با خود تراکم به کار گرفته می شود. این کار وقتی انجام می شود که نتوان به خوبی از سایر راه حل های ذکر شده بهره گیری نمود. در این طرح اختلاط الیاف همراه با سنگدانه به جام مخلوط کن افزوده گردید و سپس سایر مصالح مخلوط اضافه شدند. تراکم بتن ها با استفاده از میز ویرنه در آزمایشگاه انجام گرفت. بتن ها پس از عمل آوری ۲۴ ساعته باز شدند و پس از نام گذاری در محلول آب آهک اشباع برای سنجش مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه برای هر طرح اختلاط قرار داده شدند. جهت بررسی تأثیر الیاف، یک نمونه بتن پایه ساخته شده و سپس مقاومت الکتریکی و مقاومت تمام بتن های الیافی در برابر انفجار با آن مقایسه شده است. طبق مبحث نهم مقررات ملی از آزمایش V-B یا اسلامپ معکوس جهت روانی بتن استفاده می شود. در این طرح اختلاط با استفاده از آزمایش V-B و با افزودن فوق روان کننده به مخلوط برای آنکه زمان آزمایش V-B بین ۳ تا ۱۰ ثانیه باشد روانی بتن بررسی شد [۱۹].

مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح مخلوط بتن یا مقاومت هدف طرح اختلاط، به طور معمول به کمک مقاومت مشخصه و انحراف معیار مقاومت بتن ساخته شده در کارگاه به دست می آید. از این رو با توجه به مقاومت مشخصه متعارف، مقدار ۳۰ تا ۴۰ مگا پاسکال در نظر گرفته شده است. اگر جداسدگی در بتن مشاهده شود می توان با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، افزایش ریزی بافت دانه بندی، افزایش سیمان یا مواد چسباننده، افزایش مواد پودری، کاهش کار آبی و یا کاهش نسبت آب به سیمان و یا ترکیبی از موارد فوق آن را مهار نمود. استفاده از مواد، از جمله اقداماتی است که معمولاً برای جلوگیری از جداسدگی، افزودنی لزجت زا، جهت بتن های خیلی روان با خود تراکم به کار گرفته می شود. این کار وقتی انجام می شود که نتوان به خوبی از سایر راه حل های ذکر شده بهره گیری نمود. در این طرح اختلاط الیاف همراه با سنگدانه به جام مخلوط کن افزوده گردید و سپس سایر مصالح مخلوط اضافه شدند. تراکم بتن ها با استفاده از میز ویرنه در آزمایشگاه انجام گرفت. بتن ها پس از عمل آوری ۲۴ ساعته باز شدند و پس از نام گذاری در محلول آب آهک اشباع برای سنجش مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه برای هر طرح اختلاط قرار داده شدند. جهت بررسی تأثیر الیاف، یک نمونه بتن پایه ساخته شده و سپس مقاومت الکتریکی و مقاومت تمام بتن های الیافی در برابر انفجار با آن مقایسه شده است. طبق مبحث نهم مقررات ملی از آزمایش V-B یا اسلامپ معکوس جهت روانی بتن استفاده می شود. در این طرح اختلاط با استفاده از آزمایش V-B و با افزودن فوق روان کننده به مخلوط برای آنکه زمان آزمایش V-B بین ۳ تا ۱۰ ثانیه باشد روانی بتن بررسی شد [۱۹].

اگر بافت دانه بندی، درشت به نظر آید می توان با تغییر در منحنی دانه بندی، سهم سنگ دانه ریز (ماسه) را بیشتر نمود و یا از ماسه های ریز تری استفاده کرد. در اولین طرح مقدماتی با استفاده از ماسه و شن اصلاح شده، ملاحظه گردید که در ناحیه ۵ الی ۱۲ میلی متر کمبود مصالح دیده می شود. در این طرح که به عنوان طرح مقدماتی بوده، بافت بتن به صورت ناهمگن بوده و عدم پیوستگی مناسب است. به همین دلیل اصلاح ثانویه انجام برای شن و ماسه انجام گردید. در نهایت ۳۶/۸ درصد مصالح فیلتر شده بین الک ۴/۷۵ تا ۱۲ میلی متر به مصالح شنی اضافه شد و اصلاح انجام شده بر روی شن در شکل ۴ نمایان شده است. محاسبات مربوط به جزئیات طرح اختلاط بر اساس آیین نامه ACI-544 انجام شده است [۲۱].

در مرحله بعد مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه ای بتن برحسب ۳۵ مگا پاسکال در نظر گرفته شد که مقاومت هدف ضوابط آیین نامه آبا با استفاده از انحراف معیار و بر اساس رتبه بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن محاسبه شده است [۲۰].

۳- روش تحقیق

معمولاً بتن مسلح به الیاف همانند بتن معمولی ریخته و متراکم

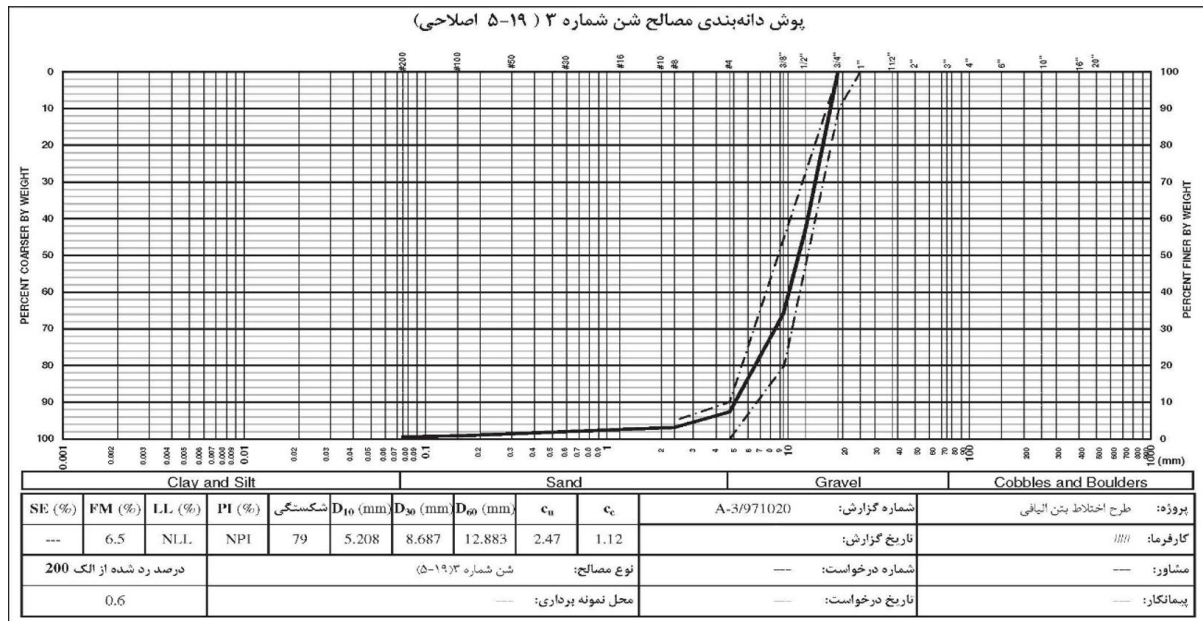
مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح مخلوط بتن یا مقاومت هدف طرح اختلاط، به طور معمول به کمک مقاومت مشخصه و انحراف معیار مقاومت بتن ساخته شده در کارگاه به دست می آید. از این رو با توجه به مقاومت مشخصه متعارف، مقدار ۳۰ تا ۴۰ مگا پاسکال در نظر گرفته شده است. اگر جداسدگی در بتن مشاهده شود می توان با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، افزایش ریزی بافت دانه بندی، افزایش سیمان یا مواد چسباننده، افزایش مواد پودری، کاهش کار آبی و یا کاهش نسبت آب به سیمان و یا ترکیبی از موارد فوق آن را مهار نمود. استفاده از مواد، از جمله اقداماتی است که معمولاً برای جلوگیری از جداسدگی، افزودنی لزجت زا، جهت بتن های خیلی روان با خود تراکم به کار گرفته می شود. این کار وقتی انجام می شود که نتوان به خوبی از سایر راه حل های ذکر شده بهره گیری نمود. در این طرح اختلاط الیاف همراه با سنگدانه به جام مخلوط کن افزوده گردید و سپس سایر مصالح مخلوط اضافه شدند. تراکم بتن ها با استفاده از میز ویرنه در آزمایشگاه انجام گرفت. بتن ها پس از عمل آوری ۲۴ ساعته باز شدند و پس از نام گذاری در محلول آب آهک اشباع برای سنجش مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه برای هر طرح اختلاط قرار داده شدند. جهت بررسی تأثیر الیاف، یک نمونه بتن پایه ساخته شده و سپس مقاومت الکتریکی و مقاومت تمام بتن های الیافی در برابر انفجار با آن مقایسه شده است. طبق مبحث نهم مقررات ملی از آزمایش V-B یا اسلامپ معکوس جهت روانی بتن استفاده می شود. در این طرح اختلاط با استفاده از آزمایش V-B و با افزودن فوق روان کننده به مخلوط برای آنکه زمان آزمایش V-B بین ۳ تا ۱۰ ثانیه باشد روانی بتن بررسی شد [۱۹].

۲-۱- سایر اجزا

فوق روان کننده استفاده شده مربوط به شرکت بتن شیمی از نوع NPC۱۰۲ است و به منظور افزایش کارایی و اسلامپ و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. مقدار مصرف این روان کننده ۰/۳ تا ۸/۰ درصد وزن سیمان مصرفی بوده و وزن مخصوص آن $1/05 \text{ g/cm}^3$ است.

در نمونه های ساخته شده از سیمان نوع ۲ کارخانه سیمان شمال استفاده شده است. به عنوان سیمان با مقاومت متوسط در برابر سولفات شناخته شده است. این سیمان عموماً در بتن ریزی های

می‌شود. مبنای روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح به الیاف شبیه طراحی بتن ساده است. با این وجود، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداسدگی اجزای بتن یا پدیده گلوله‌ای شدن الیاف و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید. الیاف به خاطر آسانی پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداسدگی اجزای بتن پخش معمولاً به صورت خشک وارد مخلوط شوند.



شکل ۴- شن اصلاح شده نهایی

زمان آزمایش ۳ الی ۱۰ ثانیه استفاده شده است. فوق روان کننده به مخلوط اضافه و هر مخلوط مورد آزمایش قرار گرفت [۲۱]. طرح اختلاط کلیه نمونه بتن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. نمونه‌ها با نسبت‌های حجمی مختلف الیاف و به صورت الیاف فولادی، ماکروستتیک و بارچپ ساخته و مطابق جدول ۴ در طرح اختلاط استفاده شده است.

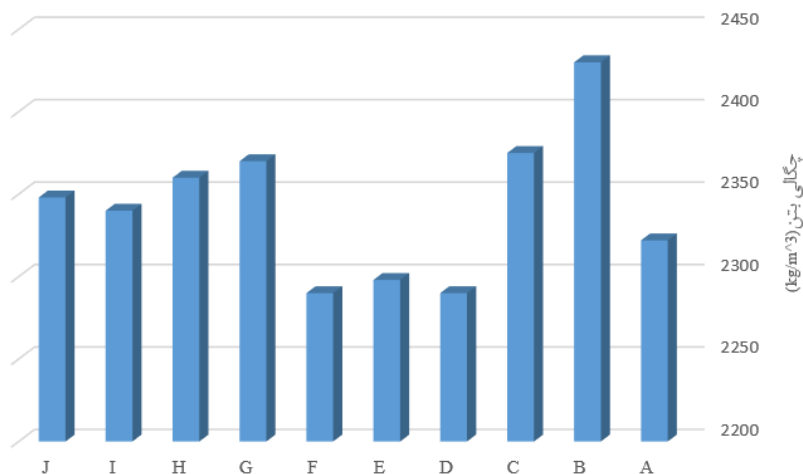
۴- تحلیل نتایج

خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده بین بتن‌های الیافی و پایه مطابق با طرح ارائه شده در بخش قبل مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۵ مقادیر چگالی بتن‌های الیافی با بتن پایه مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود چگالی بتن الیافی با نسبت ۲٪ الیاف فولادی نسبت به حجم بتن با اختلاف بیشترین چگالی را دارد و پس از آن نیز بتن الیافی با نسبت ۱٪ الیاف فولادی نسبت به حجم بتن بیشترین چگالی را دارد. کمترین میزان چگالی مربوط به بتن الیافی با نسبت ۲٪ الیاف بارچپ نسبت به حجم بتن و پس از آن بتن الیافی با نسبت ۲٪ الیاف ماکروستتیک نسبت به حجم بتن است. بتن پایه نیز پس از دو بتن ذکر شده کمترین میزان چگالی را دارد.

مشکل گلوله‌ای شدن اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد الیاف بیش از ۲ درصد حجمی و حتی ۱ درصد حجمی با نسبت طول به قطر بالا و یا اضافه کردن خیلی سریع الیاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد به وجود می‌آید. در این پدیده الیاف، نزدیک به هم جمع شده و در نتیجه سبب کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌گردد. در این طرح الیاف همراه با سنگ‌دانه به جام مخلوط کن اضافه شده و سپس سایر مصالح مخلوط افزوده شده است. بتن تازه در قالب‌های مربعی به ابعاد ۱۵ در ۱۵ ریخته و تراکم بتن‌ها با استفاده از میز و بهره در آزمایشگاه انجام گرفت. بتن‌ها پس از عمل‌آوری ۲۴ ساعته باز شدند و پس از کدگذاری در محلول آب‌آهک اشباع برای سنجش مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه برای هر طرح اختلاط قرار داده شدند. جهت بررسی تأثیر الیاف، یک نمونه بتن پایه ساخته شده و سپس مقاومت فشاری، خمشی و کششی تمام بتن‌های الیافی با آن مقایسه می‌گردند. مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برای اندازه‌گیری کارایی بتن الیافی نباید از آزمایش اسلامپ استفاده کرد بلکه آزمایش وی بی ملاک اندازه‌گیری کارایی بتن الیافی است [۱۹]. بنابراین از آزمایش وی بی، جهت روانی بتن با مدت

جدول ۴- مشخصات و طرح اختلاط بتن پایه و بتن های الیافی

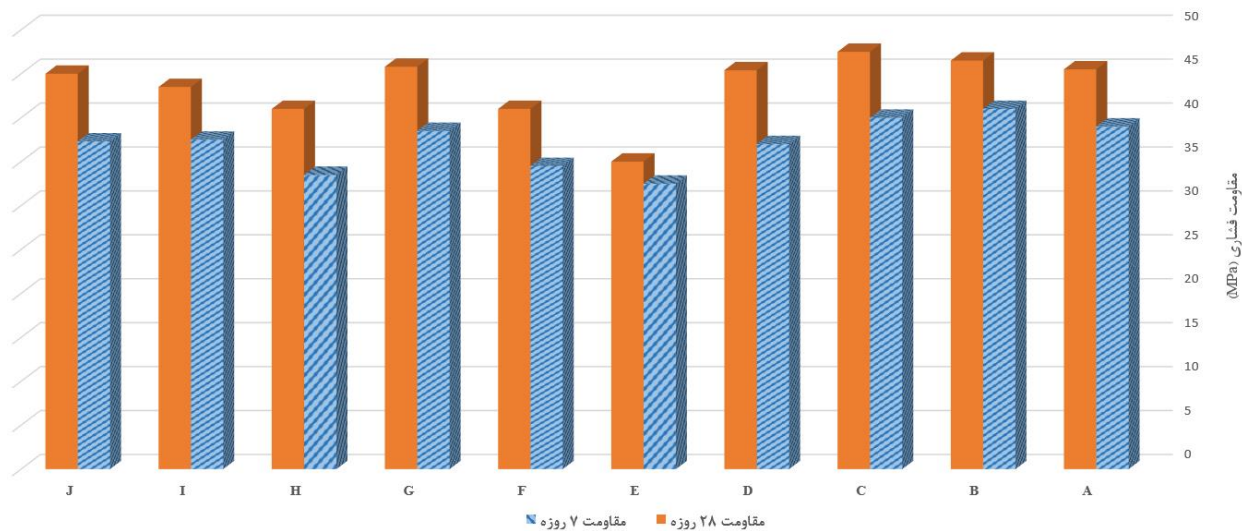
مشخصات طرح اختلاط بتن										
نمونه پایه	مقاومت استوانه ای درخواستی	اسلامپ	ماسه	شن	فوق روان کننده	الیاف				
(A)	(kg/cm ³)	(cm)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)				
	۳۵۰	۱۲/۵	۶۰	۴۰	۰/۷	۰				
نسبت های اختلاط وزنی مواد مصرفی برای تهیه یک مترمکعب بتن										
نام گذاری نمونه ها	آب واکنشی (لیتر)	آب جذبی (لیتر)	سیمان (kg)	ماسه (kg)	شن (kg)	نسبت الیاف فولادی	الیاف ماکرو سنتتیک	الیاف بارچیب	فوق روان کننده (kg)	درصد کل الیاف
A	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	-	-	-	۳/۱۲۲	-
B	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	٪۱۰۰	-	-	۳/۱۲۲	٪۲
C	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	٪۱۰۰	-	-	۳/۱۲۲	٪۱
D	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	-	٪۱۰۰	-	۳/۱۲۲	٪۲
E	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	-	٪۱۰۰	-	۳/۱۲۲	٪۱/۵
F	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	-	-	٪۱۰۰	۳/۱۲۲	٪۲
G	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	٪۶۰	٪۴۰	-	۳/۱۲۲	٪۲
H	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	٪۵۰	٪۵۰	-	۳/۱۲۲	٪۲
I	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	٪۵۰	٪۵۰	-	۳/۱۲۲	٪۱
J	۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	٪۶۰	٪۴۰	-	۳/۱۲۲	٪۱



شکل ۵- چگالی بتن های الیافی

در شکل ۶ مقاومت فشاری بتن های با درصد الیاف مختلف مقایسه شده است و مکانیسم گسیختگی نمونه های بتنی ساخته شده در جدول ۵ نمایش داده شده است. همان طور که از شکل ۶ مشخص است مقاومت فشاری بتن با الیاف فولادی به نسبت ٪۲ حجم بتن با مقدار بیش از ۴۰ مگا پاسکال بیشترین مقاومت فشاری را دارد و پس از آن نیز بتن با الیاف فولادی به نسبت ٪۱ حجم بتن بیشترین مقاومت فشاری زودرس ۷ روزه را دارد. بتن پایه نیز با مقدار ۳۸ مگا پاسکال مقاومت فشاری اولیه بالایی را از خود نشان داده است. همچنین بتن الیافی ماکروسنتتیک با حجم ٪۱/۵ کمترین میزان مقاومت فشاری زودرس ۷ روزه را با مقدار کمتر از ۳۳ مگا پاسکال از خود نشان داده است. ترکیب الیاف فولادی و ماکرو سنتتیک با نسبت ٪۲ حجم بتن و با نسبت ٪۵۰ به ٪۵۰

الیاف پس از نمونه ذکر شده کمترین مقاومت فشاری زودرس ۷ روزه با مقدار ۳۳ مگا پاسکال را دارا می باشد.



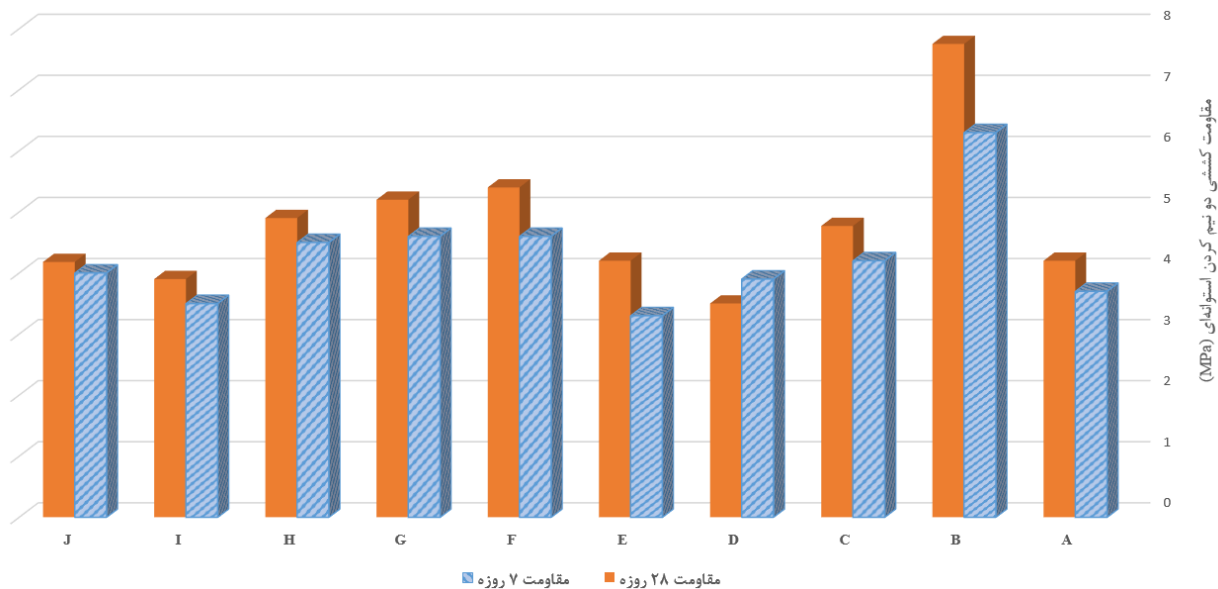
شکل ۶- مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه

جدول ۵- مکانیسم گسیختگی نمونه های بتنی

مکانیسم گسیختگی	نمونه	مکانیسم گسیختگی	نمونه
	F		A
	G		B
	H		C
	I		D
	J		E

بتن پایه در تطابق آزمایش‌های انجام شده توسط سانگ و هانگ بر روی تأثیر الیاف فولادی بر بتن با الیاف فولادی است [۷]. الیاف فولادی نیز در مقایسه با الیاف بارچپ مطابق آزمایشات هادی و همکاران تغییر الیاف تأثیر چندانی در مقاومت فشاری بتن نداشته است [۱۶]. عملکرد بهتر بتن با الیاف فولادی در آزمایش مقاومت فشاری به دلیل ضریب ارتجاعی بیشتر فولاد و در نتیجه بالا رفتن ضریب ارتجاعی بتن آزمایش شده است. الیاف فولادی در بتن مقاومت فشاری بتن را ۷٪ افزایش داده است این در حالی است که بتن با الیاف هیبریدی ماکروسنتتیک و فولاد در نسبت‌های مختلف تأثیری زیادی بر مقاومت فشاری بتن نداشته است. در شکل ۷ نمودارهای مقاومت کششی دو نیم کردن استوانه‌ای بتن‌های الیافی با بتن پایه مقایسه شده و ارائه شده است.

در خصوص مقاومت مشخصه ۲۸ روزه فشاری همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است مقاومت فشاری بتن با الیاف فولادی به نسبت ۱٪ حجم بتن با مقدار بیش از ۴۷ مگا پاسکال بیشترین مقاومت فشاری را دارد و پس از آن نیز بتن با الیاف فولادی به نسبت ۲٪ حجم بتن بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه را دارد. بتن پایه نیز با مقاومت ۴۵ مگا پاسکال مقاومت بالایی را از خود نشان داده است. کمترین میزان مقاومت فشاری ۲۸ روزه را بتن الیافی ماکروسنتتیک با حجم ۱/۵٪ با مقدار مقاومت کمتر از ۳۵ مگا پاسکال از خود نشان داده است. همچنین ترکیب الیاف فولادی و ماکروسنتتیک با نسبت ۲٪ حجم بتن و با نسبت ۵۰ به ۵۰٪ الیاف پس از نمونه ذکر شده کمترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه با مقدار ۴۱ مگا پاسکال را از خود نشان داده است. همچنین افزایش مقاومت فشاری بتن با الیاف فولادی نسبت به



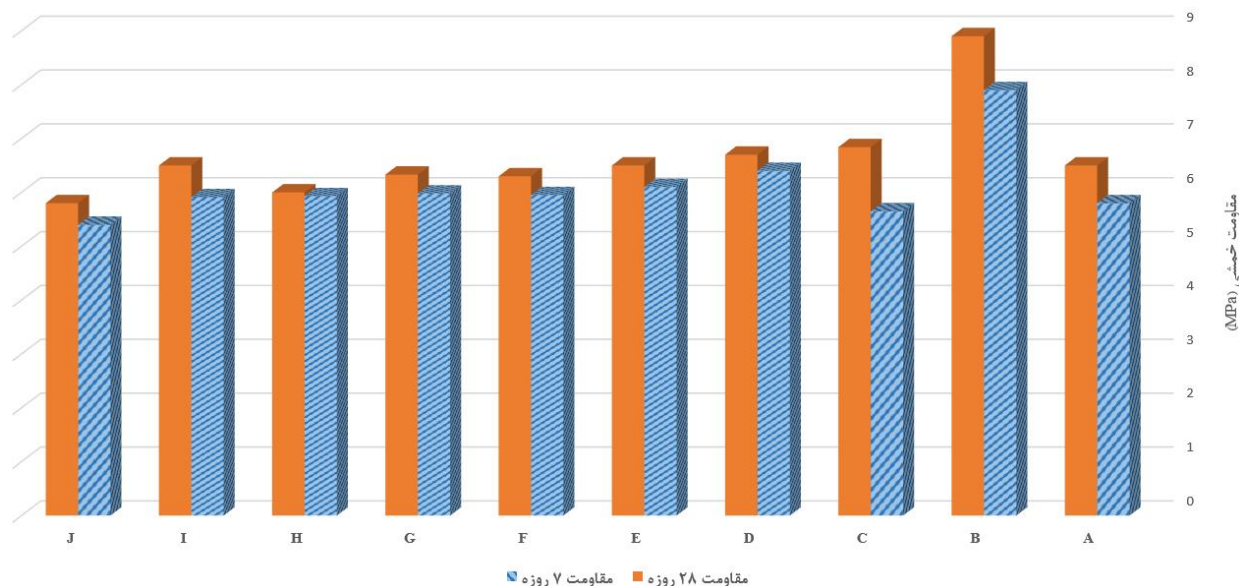
شکل ۷- مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روزه بتن‌های آزمایش شده

همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی به نسبت ۲٪ حجم بتن با مقدار ۶/۴ مگا پاسکال بیشترین مقاومت کششی را دارد که اختلاف مقدار آن با سایر بتن‌ها به طرز چشمگیری بیشتر بوده است و پس از آن بتن با الیاف بارچپ به نسبت ۲٪ حجم بتن بیشترین مقاومت کششی ۲۸ روزه با مقدار ۵/۴ مگا پاسکال را دارا است. کمترین میزان مقاومت کششی ۲۸ روزه را بتن الیافی ماکروسنتتیک با حجم ۲٪ با مقدار ۳/۵ مگا پاسکال از خود نشان داده است. همچنین ترکیب الیاف فولادی و ماکروسنتتیک با نسبت ۱٪ حجم بتن و با نسبت ۵۰ به ۵۰٪ الیاف پس از

همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی به نسبت ۲٪ حجم بتن با مقدار ۶/۴ مگا پاسکال بیشترین مقاومت کششی را دارد که اختلاف مقدار آن با سایر بتن‌ها به طرز چشمگیری بیشتر بوده است و پس از آن بتن با الیاف بارچپ به نسبت ۲٪ حجم بتن بیشترین مقاومت کششی زودرس ۷ روزه با مقدار ۴/۶ مگا پاسکال را دارد. کمترین میزان مقاومت کششی زودرس ۷ روزه را بتن الیافی ماکروسنتتیک با حجم ۱/۵٪ با مقدار ۳/۳ مگا پاسکال از خود نشان داده است. همچنین ترکیب الیاف فولادی و ماکروسنتتیک با نسبت ۱٪ حجم بتن و با نسبت ۵۰ به ۵۰٪ الیاف پس از نمونه ذکر شده کمترین مقاومت کششی زودرس ۷ روزه با مقدار

آزمایش مقاومت کششی ناشی از مقاومت کششی بالاتر الیاف فولادی در مقابل سایر الیاف استفاده شده است. افزایش حجم الیاف فولادی مقاومت کششی بتن را ۱۰ تا ۸۰ درصد افزایش می‌دهد. همچنین بتن ساخته شده با الیاف هیبریدی مقاومت کششی بتن را تا ۲۰٪ نسبت به بتن پایه افزایش داده است. رفتار خمشی بتن در شکل ۸ با استفاده از نمودارهای مقاومت خمشی بتن‌های الیافی با بتن پایه مقایسه شده است.

نمونه ذکر شده کمترین مقاومت کششی زودرس ۷ روزه با مقدار ۳/۹ مگا پاسکال را از خود نشان داده است. بتن پایه در مقایسه با بتن‌های الیافی در کشش عملکرد ضعیفی را در مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه از خود نشان داده است. همچنین افزایش مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی نسبت به بتن پایه در تطابق آزمایش‌های انجام شده توسط سانگ و هانگ و یازیکی بر روی تأثیر الیاف فولادی بر بتن با الیاف فولادی است [۷ و ۸]. عملکرد بهتر بتن با الیاف فولادی در



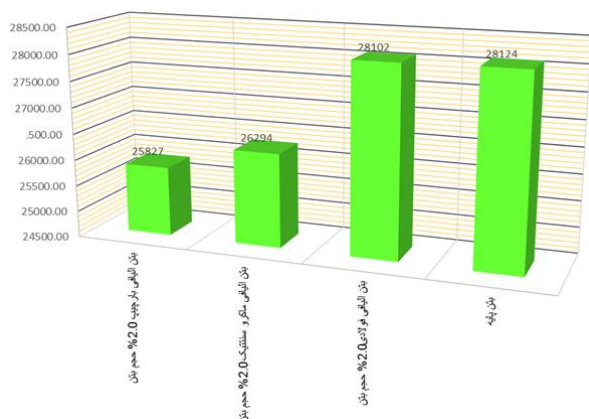
شکل ۸- مقاومت خمشی ۷ و ۲۸ روزه

فولادی به نسبت ۲٪ حجم بتن با مقدار ۸/۹ مگا پاسکال بیشترین مقاومت خمشی را از خود نشان داده است که اختلاف مقدار آن با سایر بتن‌ها قابل توجه است و پس از آن بتن با الیاف فولادی به نسبت ۱٪ حجم بتن بیشترین مقاومت خمشی ۲۸ روزه با مقدار ۶/۸ مگا پاسکال را دارد. کمترین میزان مقاومت خمشی ۲۸ روزه را بتن الیافی با ۱٪ حجم بتن با نسبت الیاف ۴۰٪ ماکروستتیک و ۶۰٪ فولاد با مقدار ۵/۸ مگا پاسکال از خود نشان داده است. بتن الیافی فولادی و ماکروستتیک با نسبت ۲٪ حجم بتن و نسبت الیاف برابر نیز پس از نمونه ذکر شده کمترین مقاومت خمشی ۲۸ روزه با مقدار ۶ مگا پاسکال را از خود نشان داده است. بتن پایه نیز با مقاومت خمشی ۶/۵ مگا پاسکال عملکردی هم‌رده بتن الیافی ترکیبی از ماکروستتیک و الیاف فولادی با نسبت ۱ درصد حجمی بتن را از خود نشان داده است. افزایش مقاومت خمشی بتن با الیاف فولادی در راستای آزمایش‌های انجام شده توسط یازیکی است [۸]. مطابق تحقیقات هادی و همکاران خمش در خمش بتن الیافی تا ۳۸

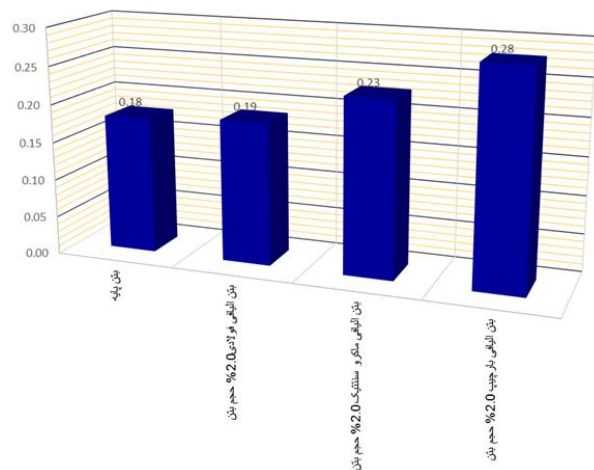
همان‌طور که از شکل ۸ مشخص است مقاومت خمشی بتن با الیاف فولادی به نسبت ۲٪ حجم بتن با مقدار ۷/۹ مگا پاسکال بیشترین مقاومت خمشی را از خود نشان داده است که اختلاف مقدار آن با سایر بتن‌ها قابل توجه بوده است و پس از آن بتن با الیاف ماکروستتیک به نسبت ۲٪ حجم بتن بیشترین مقاومت خمشی زودرس ۷ روزه با مقدار ۶/۴ مگا پاسکال را دارد. کمترین میزان مقاومت خمشی زودرس ۷ روزه را بتن الیافی با ۱٪ حجم بتن با نسبت الیاف ۴۰٪ ماکروستتیک و ۶۰٪ فولاد با مقدار ۵/۴ مگا پاسکال از خود نشان داده است. همچنین بتن الیافی فولادی با نسبت ۱٪ حجم بتن پس از نمونه ذکر شده کمترین مقاومت خمشی زودرس ۷ روزه با مقدار ۵/۶ مگا پاسکال را از خود نشان داده است. بتن پایه نیز با مقاومت خمشی ۵/۸ مگا پاسکال عملکرد ضعیفی از خود نشان داده است.

در مورد عملکرد خمشی ۲۸ روزه بتن‌های آزمایش شده نیز همان‌طور که از شکل ۸ مشخص است مقاومت خمشی بتن با الیاف

نتایج ضریب ارتجاعی و ضریب پواسون ۲۸ روزه بتن یافی مطابق استاندارد ایران با نرخ دو درصد با بتن پایه در شکل ۱۱ و ۱۲ مقایسه شده است. در نمونه‌های ۲۸ روزه ضریب ارتجاعی بتن پایه بیشترین مقدار و پس از آن بتن با الیاف فولادی بیشترین مقدار را با اختلاف ناچیز دارد. کمترین ضریب ارتجاعی نیز مربوط به بتن با الیاف بارچپ است. ضریب پواسون بتن با الیاف بارچپ در نمونه‌های ۲۸ روزه بیشترین مقدار و بتن پایه مجدداً در نمونه ۲۸ روزه نیز کمترین میزان ضریب پواسون را دارد.



شکل ۱۱- ضریب ارتجاعی بتن یافی ۲۸ روزه



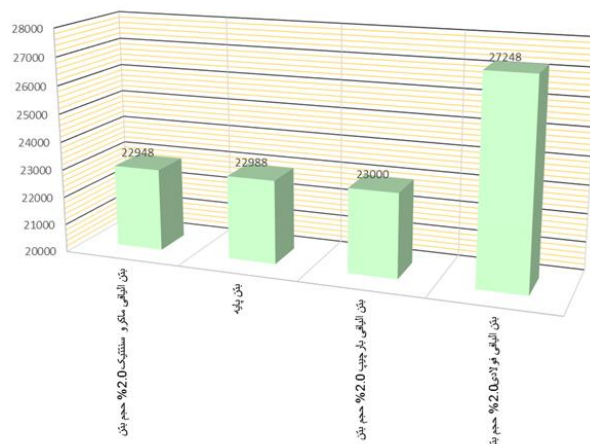
شکل ۱۲- ضریب پواسون بتن یافی ۲۸ روزه

۵- نتیجه گیری

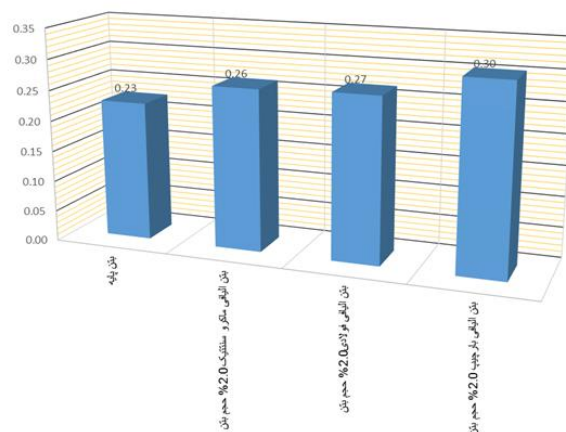
در این تحقیق به بررسی رفتار بتن یافی با استفاده از ترکیب الیاف فولادی، الیاف بارچپ و ماکرو سنستیک با نسبت‌های حجمی ۱ و ۲ و ۱/۵ حجمی بتن پرداخته شد. مقاومت خمشی، مقاومت کششی دونیم کردن و مقاومت فشاری بتن بررسی شد. همچنین ضریب پواسون و ضریب ارتجاعی بتن یافی با نسبت حجمی ۲٪

درصد منجر به بهبود خواص مکانیکی بتن شده است [۱۶]. بتن با الیاف فولادی مقاومت خمشی بتن را تا ۵۰٪ افزایش داده و بتن هیبریدی مقاومت خمشی بتن را تا ۶٪ افزایش می‌دهد که سبب افزایش مقاومت خمشی بتن می‌شود.

نتایج ضریب ارتجاعی و ضریب پواسون ۷ روزه بتن یافی با نرخ دو درصد با بتن پایه در شکل ۹ و ۱۰ مقایسه شده است. ضریب ارتجاعی بتن خاصیتی از بتن که با ضریب زاویه یا همان تانژانت منحنی تنش- کرنش (تغییر طول نسبی) بتن برابر است. ضریب ارتجاعی بتن با الیاف فولادی بیشترین مقدار را در نمونه‌های ۷ روزه و کمترین مقدار را بتن با الیاف ماکرو سنستیک از دارا است. نسبت تغییر شکل‌های نسبی (کرنش) جانبی به کرنش‌های محوری در محدوده ارتجاعی، ضریب پواسون نام دارد. ضریب پواسون بتن با الیاف بارچپ بیشترین مقدار ضریب پواسون و کمترین مقدار ضریب پواسون را بتن پایه و بتن با الیاف ماکرو سنستیک دارا است.



شکل ۹- ضریب ارتجاعی بتن یافی ۷ روزه



شکل ۱۰- نسبت پواسون بتن یافی ۷ روزه

71, 2014, 89-96.

[4] Swamy, R. N. "High-strength concrete-material properties and structural behavior." Special Publication 87, 1985, 119-146.

[5] Rabbat, Basile G., and Henry G. Russell. "Optimized sections for precast, prestressed bridge girders." 1982.

[6] Marar, Khaled, Özgür Eren, and Tahir Celik. "Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber-reinforced concrete." *Materials letters* 47, no.4-5, 2001, 297-304.

[7] Song, P. S., and S. Hwang. "Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete." *Construction and Building Materials* 18, no.9, 2004, 669-673.

[8] Yazıcı, Şemsi, Gözde İnan, and Volkan Tabak. "Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC." *Construction and Building Materials* 21, no.6, 2007, 1250-1253.

[9] Soltanzadeh, Fatemeh, Joaquim AO Barros, and R. F. C. Santos. "High performance fiber reinforced concrete for the shear reinforcement: experimental and numerical research." *Construction and Building Materials* 77, 2015, 94-109.

[10] Ardanuy, Mònica, Josep Claramunt, and Romildo Dias Toledo Filho. "Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research." *Construction and building materials* 79, 2015, 115-128.

[11] Hossain, K. M. A., M. Lachemi, M. Sammour, and M. Sonebi. "Strength and fracture energy characteristics of self-consolidating concrete incorporating polyvinyl alcohol, steel and hybrid fibres." *Construction and Building Materials* 45, 2013, 20-29.

[12] Kaïkea, Adel, Djamel Achoura, François Duplan, and Lidia Rizzuti. "Effect of mineral admixtures and steel fiber volume contents on the behavior of high performance fiber reinforced concrete." *Materials & Design* 63, 2014, 493-499.

[13] Wang, Jun-Yan, Kok-Seng Chia, Jat-Yuen Richard Liew, and Min-Hong Zhang. "Flexural performance of fiber-reinforced ultra lightweight cement composites with low fiber content." *Cement and Concrete Composites* 43, 2013, 39-47.

[14] Ponikiewski, Tomasz, Jacek Katzer, Monika Bugdol, and Marcin Rudzki. "Steel fibre spacing in self-compacting concrete precast walls by X-ray computed tomography." *Materials and Structures* 48, no.12, 2015, 3863-3874.

[15] Ianleng, Rathanan, and Thatchavee Leelawat. "Effect of applying techniques and polymer content on strength and drying shrinkage of glass fiber

الياف نسبت به بتن مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که:

- مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن الياف فولادی به نسبت ۱ و ۲٪ بیشترین مقاومت فشاری را داشته و کمترین مقاومت فشاری مربوط به بتن با الياف ماکروسنتتیک به نسبت حجمی ۱/۵ درصد حجم بتن بوده است.

- مقاومت خمشی بتن با الياف فولادی با نسبت حجمی ۲٪ بتن بیشترین مقاومت خمشی را داشته و بتن اليافی هیبرید با ترکیب الياف ماکروسنتتیک و الياف فولادی کمترین میزان مقاومت خمشی ۷ و ۲۸ روزه را از خود نشان داد.

- در زمینه مقاومت کششی نیز بتن دارای الياف فولادی با نسبت ۲٪ حجم بتن بیشترین مقاومت کششی را از خود نشان داد و کمترین مقاومت کششی مربوط به بتن هیبرید با الياف ماکروسنتتیک و الياف فولادی بود.

- بیشترین ضریب پواسون ۷ و ۲۸ روزه مربوط به بتن با الياف بارچیب بود که نشان از انبساط جانبی بیشتر هنگام فشرده شدن نسبت به سایر نمونه‌ها را دارد و بیشترین میزان ضریب ارتجاعی مربوط به بتن با الياف فولادی بوده است.

- در میان بتن‌های ساخته شده بتن اليافی هیبرید و بتن اليافی با الياف تک بهترین عملکرد را بتن اليافی با الياف فولادی در مقاومت‌های مختلف کششی، فشاری و خمشی از خود نشان داد که نشان از عملکرد بهتر این الياف نسبت به سایر نمونه‌ها ساخته شده داشته است.

- در بتن‌های اليافی هیبرید بهترین مقاومت در برابر خمش و مقاومت فشاری و کششی مربوط به بتن اليافی هیبرید متشکل از الياف ماکروسنتتیک و الياف فولادی بوده است.

۶- مراجع

[1] Balaguru PN, Shah SP. "Fiber-reinforced cement composites." *Fiber-reinforced cement composites*. 531p, 1992.

[2] Arisoy, Bengi, and Hwai-Chung Wu. "Material characteristics of high performance lightweight concrete reinforced with PVA." *Construction and Building Materials* 22, no.4, 2008: 635-645.

[3] Zhang, X. X., A. M. Abd Elazim, G. Ruiz, and R. C. Yu. "Fracture behaviour of steel fibre-reinforced concrete at a wide range of loading rates." *International Journal of Impact Engineering*

reinforced concrete." In MATEC Web of Conferences. 138, 03006, 2017.

[16] Poorsaheli, Hadi Bolooki, Amir Behravan, and Seyed Taha Tabatabaei Aghda. "Durability performance of hybrid reinforced concretes (steel fiber+ polyolefin fiber) in a harsh marine tidal zone of Persian Gulf." *Construction and Building Materials* 266, 2021, 121176.

[17] Shen, Dejian, Chuyuan Wen, Pengfei Zhu, Yuhua Wu, and Jiaojiao Yuan. "Influence of Barchip fiber on early-age autogenous shrinkage of high strength concrete." *Construction and Building Materials* 256, 2020, 119223.

[18] Kazmi, Syed Minhaj Saleem, Muhammad Junaid Munir, Yu-Fei Wu, Indubhushan Patnaikuni, Yingwu Zhou, and Feng Xing. "Axial stress-strain behavior of macro-synthetic fiber reinforced recycled aggregate concrete." *Cement and Concrete Composites* 97, 2019, 341-356.

[19] Ministry of Roads and City Planning, *Design and implementation of reinforced concrete buildings*. Tehran: Iran Development Publishing, 2013.

[20] Management and Planning Organization, *Iranian Concrete Regulations (ABA)*. Tehran: Management and Planning Organization, 2000.

[21] Daniel, J. I., V. S. Gopalaratnam, and M. A. Galinat. "State-of-the-art report on fiber reinforced concrete, ACI Committee 544, Report 544, 1R-96." American Concrete Institute, Detroit, USA, 2002.

Laboratory evaluation of mechanical properties of fiber concrete

R. Khodabakhshy

Researcher, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

A.Jafarniya

Master, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

M. Fayyaz *

Assistant Professor, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

S. Mohamad

Assistant Professor, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Abstract

In recent years, the use of synthetic fibers to improve mechanical properties and reduce the shrinkage of fresh and hardened concrete, increase energy absorption and impact resistance of concrete, and replace thermal reinforcement with fibers have greatly expanded. The use of various types of fiber has led to the improvement of some properties and the weakening of other properties. Simultaneous use of several types of fibers with designed ratios can enhance the mentioned properties simultaneously and prevent possible weaknesses. In this study, the effect of fibers with various volumetric percentages on compressive, flexural and tensile strength of the samples at different ages compared to the control sample has been measured. The simultaneous combination of steel, barchip and macro-synthetics fibers with different ratios, compressive performance, flexural and tensile performance of concrete has been tested. Among the constructed concretes, the best performance of reinforced concrete with steel fibers in different tensile, compressive, and bending strengths has shown that these fibers perform better than other constructed samples. In hybrid fiber concrete, the best performance in bending and compressive strength and tensile strength has been related to hybrid fiber concrete consisting of macrosynthetics fibers and steel fibers.

Keywords: Fiber concrete, Steel fibers, Barchip fibers, Macro-synthetic fibers, Tensile, Bending.

* Corresponding Author: m.fayyaz@modares.ac.ir