

تحقیقات بتن

سال هشتم، شماره اول

بهار و تابستان ۹۴

ص ۱۴۲-۱۲۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۰

## تأثیر الیاف پلی پروپیلن، فولادی و شیشه‌ای بر مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی با استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر

محمد واقفی \*

دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

علیرضا پولادی

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر

### چکیده

در این مقاله از مصالح سنگی استان بوشهر و سیمان تپ ۲ دشتستان و الیاف پلی پروپیلنی، فولادی، فیبر شیشه‌ای و فوق روان کننده در ۹ طرح اختلاط برای ساخت بتن استفاده شده است. نمونه‌های بتنی پس از ساخت در حوضچه آب نگهداری شده و مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها در زمان‌های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه اندازه‌گیری شده اند. نتایج بیانگر این است که بیشترین مقاومت فشاری و خمشی به ترتیب در ۱ و ۲ درصد الیاف پلی پروپیلن اتفاق افتاده است. درحالی که 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.

واژه‌های کلیدی: الیاف پلی پروپیلن و بتن، الیاف فولادی و بتن، الیاف فیبر شیشه‌ای و بتن، مقاومت فشاری و خمشی بتن.

\* نویسنده مسئول: vaghefi@pgu.ac.ir

## ۱- مقدمه

فولادی و پلی پروپیلن پرداختند. آن‌ها برای آزمایش مقاومت فشاری از قالب‌های مکعبی به ابعاد  $150 \times 150 \times 150$  میلی‌متر و برای آزمایش مقاومت خمشی از قالب‌های مکعب مستطیل به ابعاد  $100 \times 100 \times 500$  میلی‌متر استفاده کردند. نمونه‌های بتنی مسلح به ترکیب الیاف فولادی و پلی پروپیلن با نسبت‌های ۰-۱۰۰ درصد، ۲۵-۷۵ درصد، ۵۰-۵۰ درصد، ۷۵-۱۰۰ درصد و ۱۰۰-۰ درصد از حجم کل بتن ساخته گردید. آن‌ها با انجام این آزمایشات به این نتیجه رسیدند که بهترین ترکیب الیاف فولادی و پلی پروپیلن، ترکیب ۷۵ درصد الیاف فولادی و ۲۵ درصد الیاف پلی پروپیلن می‌باشد. گرنا و همکاران (۱۳۹۱) [۵] در تحقیق خود با ساخت ۳ طرح اختلاط بتن با الیاف فیبر شیشه و انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری، خمشی و کششی در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر روی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فیبر شیشه، به این نتیجه رسیدند که الیاف فیبر شیشه در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری، خمشی و کششی بتن می‌گردد. زنگنه (۱۳۹۱) [۶] در تحقیق خود با ساخت ۱۹ طرح اختلاط بتن با الیاف فولادی و فیبر شیشه‌ای و انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای و آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌های مکعب مستطیل در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بر روی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فولادی و شیشه‌ای، به این نتیجه رسیدند که الیاف فولادی و فیبر شیشه‌ای در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن می‌گردند. حسینعلی بیگی و همکاران (۱۳۹۱) [۷] در یک تحقیق آزمایشگاهی، اثر توأم نانو سیلیس و الیاف مختلف (فلزی، پلی پروپیلن، فیبر شیشه‌ای) بر چقرمگی، انرژی شکست و مقاومت خمشی بتن خود تراکم را بررسی کردند. بدین منظور آن‌ها ۴۰ طرح اختلاط شامل ۴ سری که به ترتیب حاوی ۰، ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی سیمان، نانو سیلیس که به صورت جای‌گزین با سیمان را مورد بررسی قرار دادند. بررسی نتایج آن نشان داد که حضور توأم الیاف و درصد بهینه نانو سیلیس موجب بهبود قابلیت‌های چقرمگی، انرژی شکست و مقاومت خمشی بتن می‌شود. فروغی اصل و حسین نژاد (۱۳۹۲) [۸] به بررسی تأثیر الیاف پلی پروپیلنی 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

در دهه ۱۹۵۰ برای اولین بار در کشور شوروی و بعد در کشور آمریکا در سال ۱۹۶۰ طبق تحقیقات انجام شده، در صورت استفاده از الیاف فولادی در ماتریس شکننده، تمرکز تنش در محل ترک‌های به وجود آمده کاهش می‌یابد. بتن الیافی که به نام آرماتورهای با الیاف پلاستیکی (FRP) معروف هستند از الیاف مختلفی چون الیاف شیشه‌ای (GFRP) الیاف آرامیدی (AFRP) و الیاف کربنی (CFRP) در یک رزین چسباننده تشکیل شده‌اند. این مواد یکی از پرمصرف‌ترین مواد در مناطق سرد نظیر شمال آمریکا و کانادا و بعضی کشورهای اروپایی است که همراه با آن از سنگدانه‌های هواساز نیز استفاده می‌شود. کاربرد صفحات با الیاف کربنی برای این تقویت بیشتر رایج گشته و در چندین پل در ژاپن و در بعضی کشورهای اروپایی از آن استفاده شده است [۱]. تحقیقات انجام گرفته توسط حیبی و همکاران (۱۳۸۸) [۲] بر روی بتن‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن با طول‌های مختلف (۶، ۱۲ و ۱۹ میلی‌متر) و وزن‌های مختلف (۰/۶، ۱/۳، ۲ و ۲/۷ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان می‌دهند که استحکام و مقاومت حرارتی نمونه‌های بتنی با استفاده از الیاف پلی پروپیلن افزایش یافته است. آن‌ها نمونه‌های مکعبی به ابعاد  $250 \times 250 \times 250$  میلی‌متر را بعد از ۷ و ۲۸ روز از حوضچه آب خارج نمودند و جهت تست حرارتی نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن را در کوره ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت قرار دادند. پس از آن تست‌های استحکام فشاری بر روی آن‌ها انجام گرفت. چندرامولی و همکاران (۱۳۸۹) [۳] معتقدند که با ۱/۵ درصد الیاف فیبر شیشه نسبت به وزن بتن، مدول گسیختگی در حدود ۲۰ درصد و چقرمگی حدود ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش نیروی لازم برای تغییر شکل بتن و افزایش چقرمگی، الیاف شیشه از انتشار ترک‌های بیشتر در بتن جلوگیری می‌کند. با ساخت نمونه‌های مکعبی بتنی به ابعاد  $150 \times 150 \times 150$  میلی‌متر و استوانه‌ای به ابعاد  $300 \times 150$  میلی‌متر و نمونه‌های مکعب مستطیل به ابعاد  $100 \times 100 \times 500$  میلی‌متر و انجام آزمایشات مقاومت فشاری، خمشی و کششی بر روی بتن الیافی و بتن شاهد به این نتیجه رسیدند که افزودن الیاف به بتن باعث افزایش مقاومت بتن می‌گردد. سینگ و همکاران (۱۳۸۹) [۴] به بررسی مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف

...



شکل ۲- الیاف فیبر شیشه‌ای توزین شده برای طرح اختلاط



شکل ۳- الیاف پلی پروپیلن توزین شده برای طرح اختلاط [۱۰].

سپس مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های شاهد در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه توسط دستگاه بتن شکن تعیین و ثبت می‌شوند. طرح اختلاط بتن با توجه به درصد جذب آب شن و ماسه و مقاومت فشاری  $350 \text{ kg/m}^3$  که مورد نیاز این تحقیق بوده است، تعیین گردیده است. الیاف‌های فولادی، فیبر شیشه و پلی پروپیلن به صورت مجزا و با نسبت‌های ۱٪، ۲٪ و ۳٪ درصد وزنی سیمان به طرح اختلاط شاهد اضافه شده‌اند. سپس مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتن الیافی در سنین مورد نظر توسط دستگاه بتن شکن تعیین و ثبت گردیدند. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های شاهد و الیافی، در جداول مربوط تنظیم گردیده و پس از ترسیم نمودارهای مقاومت‌ها در سنین مورد نظر، نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در نهایت به بررسی و تجزیه و تحلیل تأثیر الیاف بر مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها پرداخته شده است.

## ۲-۲ تهیه نمونه‌ها و روش انجام آزمایشات

برای طرح اختلاط بتن مورد استفاده از روش اختلاط استاندارد آئین نامه ACI-211 استفاده شده است. به هنگام بتن ریزی، شن، ماسه، سیمان و آب با یکدیگر توسط مخلوط کن به مدت دو دقیقه مخلوط شدند و در پایان الیاف که تمیز و عاری از هرگونه مواد زائد و روغن بود به تدریج به داخل مخلوط کن ریخته شد. پس از

مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به مقدار الیاف مصرفی ۰/۸ درصد بوده است. آن‌ها بیشترین میزان افزایش مقاومت کششی را در سن ۲۸ روزه‌ی بتن و در نمونه‌های بتنی حاوی ۰/۴ درصد الیاف مشاهده نمودند.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، تاکنون تأثیر الیاف پروپیلنی، فولادی و فیبر شیشه‌ای بر مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی با استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر که دارای ۶۱۰ کیلو متر مرز آبی با خلیج فارس می باشد، انجام نشده که در این مقاله به این موضوع پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مصالح و ترکیبات بتن

جنس مصالح سنگدانه‌ای درشت‌دانه (شن نخودی و بادامی) و ریزدانه (ماسه) مورد استفاده در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، سیلیس بوده و از استان بوشهر تهیه شده است. مصالح درشت‌دانه و ریزدانه با نسبت برابر ترکیب گردید. همچنین نسبت آب به سیمان ۰/۵ می باشد [۹]. الیاف فیبر شیشه (نوع S-glass) بکار رفته در طرح اختلاط بتن به قطر ۱۷-۱۹ میکرون و طول ۳-۵۰ میلی متر، الیاف فولادی به قطر ۰/۶ - ۱/۲ میلی متر و طول ۵۰ میلی متر و الیاف پلی پروپیلن نیز به قطر ۰/۲۱ میلی متر و طول ۶ میلی متر می باشند. در شکل‌های ۱ تا ۳ نمونه‌هایی از الیاف توزین شده برای طرح اختلاط در این تحقیق نشان داده شده‌اند. برای ساخت نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت فشاری و خمشی از الیاف با نسبت ۱ الی ۳ درصد وزنی سیمان استفاده می‌گردد. در این تحقیق سعی شده است ابتدا با انتخاب طرح اختلاط از ماسه، سیمان، شن (موجود در استان بوشهر) و آب، نمونه‌های بتنی بدون الیاف (شاهد) تهیه گردیده و بعد از ۲۴ ساعت که نمونه‌ها خشک گردیدند، در حوضچه آب معمولی قرار داده شوند.



شکل ۱- الیاف فولادی توزین شده برای طرح اختلاط [۹].

بتن می‌باشد. به عنوان نمونه، طرح اختلاط P-1 بیانگر ۱٪ وزن سیمان و الیاف پلی‌پروپیلن به میزان ۳/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بتن می‌باشد. در جدول ۲، نوع آزمایشات و تعداد نمونه‌ها جهت آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های شاهد و الیافی بیان شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد آزمایشات در ۱۱ طرح اختلاط انجام گردید، به طوری که ۲ طرح اختلاط مربوط به نمونه‌های بتنی بدون الیاف، ۳ طرح اختلاط مربوط به نمونه‌های بتنی با الیاف پلی‌پروپیلن، ۳ طرح اختلاط مربوط به نمونه‌های بتنی با الیاف فولادی و ۳ طرح اختلاط باقیمانده مربوط به نمونه‌های بتنی با الیاف فیبر شیشه‌ای می‌باشد. به عبارتی دیگر ۹ طرح مربوط به آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی الیافی، ۲ طرح مربوط به آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی شاهد می‌باشند. در تمامی مراحل ساخت نمونه‌های بتنی الیافی، میزان و نوع سیمان، شن، ماسه و آب ثابت بوده و تنها میزان و نوع الیاف تغییر می‌کند. در تمامی مراحل ساخت نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت فشاری از قالب‌های استاندارد مکعبی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و استوانه‌ای به ابعاد ۳۰۰×۱۵۰ میلی‌متر و برای ساخت نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت خمشی از قالب‌های استاندارد مکعب مستطیل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی‌متر استفاده گردید. تعداد کل نمونه‌ها در این تحقیق ۳۹۶ نمونه می‌باشد که از این تعداد، ۷۲ نمونه مربوط به بتن شاهد، ۱۰۸ نمونه مربوط به بتن با الیاف پلی‌پروپیلن، ۱۰۸ نمونه مربوط به بتن با الیاف فولادی و ۱۰۸ نمونه دیگر نیز مربوط به بتن با الیاف شیشه‌ای می‌باشد.

#### ۲-۴ شرح آزمایشات مقاومت‌های فشاری و خمشی بتن

در آزمایش مقاومت فشاری، نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای توسط دستگاه بتن شکن (مطابق شکل ۴) تحت فشار قرار می‌گیرند. بار به صورت یکنواخت توسط دو فک بالایی و پایینی دستگاه، به نمونه‌ها وارد می‌شود. این نکته ضروری است که بار بدون تغییر ناگهانی و به صورت پیوسته باید به نمونه‌ها اعمال شود. دستگاه بتن شکن باید مجهز به وسایلی باشد که بتوان نیروی گسیختگی را پس از اتمام بارگذاری ثبت نماید. در این دستگاه نیروی گسیختگی بر روی یک صفحه مانیتور نمایش داده می‌شود. محور عمودی سنبه یا

اتمام اضافه کردن الیاف به بتن، اجازه داده شد که مخلوط کن به مدت سه دقیقه دیگر کار کند تا الیاف در تمام فضای بتن پخش شده و مخلوط کاملاً یکنواختی حاصل گردد. معمولاً بتن مسلح به الیاف همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح به الیاف اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با این وجود، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلوله‌ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید. الیاف به خاطر آسانی پخش باید به صورت خشک وارد مخلوط شوند. در فرایند ساخت بتن الیافی باید از ایجاد پدیده گلوله‌ای شدن (Balling) جلوگیری به عمل آید. در این تحقیق از فوق روان کننده CONPLAST SP432MS استفاده گردید. این فوق روان کننده فاقد کلراید بوده که بر پایه پلیمرهای نفتالین سولفونات تولید می‌شود و به صورت محلولی قهوه‌ای رنگ بوده که به سرعت در آب پخش می‌شود. فوق روان کننده CONPLAST SP432MS با استاندارد BSEN 934-2 و استاندارد ASTM C494 به عنوان افزودنی تیپ B، تیپ D و تیپ G (بسته به میزان مصرف) مطابقت دارد.

#### ۲-۳ طرح اختلاط

در این تحقیق ابتدا یک طرح اختلاط برای بتن شاهد (بدون الیاف) با سیمان تیپ ۲ دشتستان تهیه گردید. سپس الیاف فولادی، فیبر شیشه‌ای و پلی‌پروپیلن با درصدهای ۱ الی ۳ درصد وزن سیمان به طور جداگانه به طرح اختلاط بتن شاهد اضافه گردید. در جدول ۱ مقادیر و اجزاء طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، A-1 بیانگر طرح اختلاط نمونه بتن شاهد با سیمان تیپ ۲ می‌باشد و مصالح مصرفی در طرح شاهد شامل سیمان، آب، سنگدانه درشت (شن) و سنگدانه ریز (ماسه) به ترتیب به مقدار ۳۵۰، ۱۸۲، ۸۵۷ و ۸۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب بتن می‌باشد. نسبت آب به سیمان در همه طرح اختلاط‌ها برابر ۰/۵ می‌باشد. نمونه‌های همه طرح اختلاط‌ها در حوضچه آب معمولی نگهداری می‌شوند. مقدار فوق روان کننده برای همه طرح اختلاط‌های بتن الیافی برابر ۱/۵ درصد وزن سیمان یعنی به میزان ۵/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب

...

پیستون باید با محور عمودی دستگاه منطبق بوده و در زمان بارگذاری جهت حرکت سنبه یا پیستون در طول محور عمودی دستگاه قرار گرفته باشد، بنابراین برآیند نیروها درست از مرکز نمونه عبور می‌کند. سطح استوانه پایینی دستگاه باید نسبت به محور آن عمود بوده و در حین بارگذاری نیز عمود باقی بماند. مرکز نشیمن‌گاه کروی فک بالایی باید در نقطه برخورد محور عمودی دستگاه با سطح پایینی فک بالایی دارای رواداری  $\pm 1$  میلی‌متر باشد.

جدول ۱- طرح‌های اختلاط مورد استفاده برای بررسی مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی

کد طرح اختلاط	الیاف $Kg/m^3$	سیمان نیپ ۲ $Kg/m^3$	ان $Kg/m^3$	فوق روان کننده $Kg/m^3$	سنگدانه درشت $Kg/m^3$	سنگدانه ریز $Kg/m^3$	w/c
A-1	-----	۳۵۰	۱۸۲	-----	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
P-1	۳/۵	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
P-2	۷	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
P-3	۱۰/۵	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
S-1	۳/۵	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
S-2	۷	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
S-3	۱۰/۵	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
G-1	۳/۵	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
G-2	۷	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵
G-3	۱۰/۵	۳۵۰	۱۸۲	۵/۲۵	۸۵۷	۸۵۹	۰/۵

در بتن‌های معمولی مقاومت فشاری و خمشی، به مقاومت ملات سیمان و چسبندگی بین ملات و سنگدانه‌ها بستگی دارند. مقاومت سنگدانه‌ها نیز بر مقاومت بتن معمولی موثر است ولی عموماً مقاومت سنگدانه‌ها بیشتر از مقاومت ملات سیمان می‌باشد. اگر شکست نمونه بتنی از محل سنگدانه‌ها اتفاق بیفتد می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت ملات سیمان از مقاومت سنگدانه‌ها بیشتر بوده است.

جدول ۲- تعداد نمونه‌ها و طرح اختلاط بتن شاهد و بتن الیافی تحقیق

نوع الیاف	نوع آزمایش	شکل نمونه‌ها	تعداد طرح اختلاط‌ها	تعداد نمونه‌ها	تعداد کل نمونه‌ها
بدون الیاف (شاهد)	مقاومت فشاری	مکعبی	۲	۱۲	۲۴
		استوانه‌ای		۱۲	
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	
پلی پروپیلن	مقاومت فشاری	مکعبی	۳	۱۲	۳۶
		استوانه‌ای		۱۲	
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	
فولادی	مقاومت فشاری	مکعبی	۳	۱۲	۳۶
		استوانه‌ای		۱۲	
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	
فیبر شیشه‌ای	مقاومت فشاری	مکعبی	۳	۱۲	۳۶
		استوانه‌ای		۱۲	
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	
مجموع			۱۱	۱۴۴	۳۹۶

کلیه آزمایشات انجام شده در این تحقیق با استفاده از تجهیزات مورد نیاز در آزمایشگاه مکانیک خاک مهندسین مشاور کوبان کاوش جنوب انجام شده است.



الف



ب

شکل ۵- نمونه‌های بتنی مکعب مستطیل، الف: قبل و ب: بعد از آزمایش مقاومت خمشی

یکی از ویژگی‌های یک بتن توانمند این است که شکست بتن در سنگدانه اتفاق بیفتد. در این تحقیق اکثر شکست نمونه‌های بتنی در محل شکست سنگدانه‌ها اتفاق افتاده است. در شکل ۵ نمونه‌هایی از شکست سنگدانه در بتن بر اثر آزمایش مقاومت فشاری دیده می‌شود.



شکل ۴- دستگاه بتن شکن جهت تست فشاری

آزمایش مقاومت خمشی بتن به روش ASTM C78 روی نمونه‌های مکعب مستطیل به ابعاد  $100 \times 100 \times 500$  میلی‌متر انجام می‌شود. در روش ASTM C78 انتقال نیرو از دستگاه بتن شکن به نمونه بتنی به وسیله چهار تکیه‌گاه انجام می‌گیرد.

### ۳- نتایج حاصل از آزمایشات

#### ۳-۱- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی در سن ۷ روزه

نتایج آزمایشات مقاومت فشاری مکعبی و استوانه‌ای و مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی و همچنین درصد افزایش و کاهش مقاومت‌ها نسبت به بتن شاهد در سن ۷ روزه در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بیشترین درصد کاهش مقاومت فشاری مکعبی بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد مربوط به نمونه بتنی با ۳٪ الیاف پلی‌پروپیلن و به میزان ۲۱/۲٪ می‌باشد و بیشترین درصد افزایش آن مربوط به نمونه بتنی با ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای و به میزان ۵۷/۹۸٪ می‌باشد. برای مقاومت فشاری استوانه‌ای بتن الیافی نسبت به بتن شاهد کمترین و بیشترین درصد افزایش مقاومت به ترتیب مربوط به ۳٪ الیاف پلی‌پروپیلن و به میزان ۲۴/۷۵٪ و ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای به میزان ۹۲/۸۰٪ می‌باشد. همچنین برای مقاومت خمشی بتن الیافی نسبت به بتن



شکل ۵- شکست سنگدانه بتن در اثر آزمایش مقاومت فشاری

دو تکیه‌گاه در زیر نمونه بتنی به فاصله ۳ برابر ارتفاع نمونه (۳۰ سانتی‌متر) و دو تکیه‌گاه در بالای نمونه بتنی به فاصله ۱ برابر ارتفاع نمونه (۱۰ سانتی‌متر) قرار می‌گیرد. تکیه‌گاه‌ها باید از جنس فولاد ضد زنگ ساخته شوند. طول آن‌ها باید حداقل ۱۰ میلی‌متر بیش‌تر از عرض نمونه‌ها بوده و محور همه تکیه‌گاه‌ها موازی یکدیگر باشد. در آزمایش مقاومت خمشی مانند آزمایش مقاومت فشاری، اکثر شکست نمونه‌ها در سنگدانه‌های بتن ایجاد می‌شود. در شکل ۶ نمونه‌های بتنی مکعب مستطیل، قبل و بعد از آزمایش مقاومت خمشی نشان داده شده است.

...

شاهد کمترین و بیشترین درصد افزایش مقاومت به ترتیب مربوط به ۱٪ الیاف پلی پروپیلن به میزان ۱۵/۵۶٪ و ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای به میزان ۱۱/۳۰٪ می‌باشد.

### ۲-۳- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روزه

نتایج آزمایشات مقاومت فشاری مکعبی و استوانه‌ای و مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی و درصد افزایش و کاهش مقاومت‌ها نسبت به بتن شاهد در سن ۲۸ روزه در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بیشترین درصد کاهش مقاومت فشاری مکعبی بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد مربوط به نمونه بتنی ۸/۲۴٪ و ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای به میزان ۷۳/۱۶٪ می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها در سن ۷ روزه

نوع الیاف	نوع نمونه	بتن شاهد	الیاف (۱٪)	الیاف (۲٪)	الیاف (۳٪)
الیاف پلی پروپیلن	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۲۲/۳۰	۲۳/۰۵	۲۲/۰۳	۱۷/۵۷
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۳/۳۶٪	-۱/۲۱٪	-۲۱/۲٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۱۶/۸۱	۱۸/۶۷	۱۷/۱۶	۱۲/۶۵
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱۱/۰۷٪	۲/۰۸٪	-۲۴/۷۵٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۶/۶۲	۷/۶۵	۹/۶۶	۸/۳۴
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱۵/۵۶٪	۴۵/۹۲٪	۲۵/۹۸٪
الیاف فولادی	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۲۲/۳۰	----	۲۵/۲۵	۲۶/۱۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	----	۱۳/۲۳٪	۱۷/۱۳٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۱۶/۸۱	۲۰/۳۰	۲۱/۹۷	۲۳/۲۵
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۲۰/۷۶٪	۳۰/۷۰٪	۳۸/۳۱٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۶/۶۲	۸/۳۴	۸/۷۸	۷/۷۰
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۲۵/۹۸٪	۳۲/۶۳٪	۱۶/۳۱٪
الیاف فیبر شیشه‌ای	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۲۲/۳۰	۳۰/۳۳	۳۲/۰۳	۳۵/۲۳
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۳۶/۰۱٪	۴۳/۶۳٪	۵۷/۹۸٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۱۶/۸۱	۲۵/۴۸	۲۸/۱۸	۳۲/۴۱
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۵۱/۵۸٪	۶۷/۶۴٪	۹۲/۸۰٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۶/۶۲	۱۲/۴۶	۱۳/۲۴	۱۴/۴۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۸۸/۲۲٪	۱۰۰٪	۱۱۷/۸۳٪

### ۳-۳- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی در سن ۹۰ روزه

نتایج آزمایشات مقاومت فشاری مکعبی و استوانه‌ای و مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی و همچنین درصد افزایش و کاهش مقاومت‌ها نسبت به بتن شاهد در سن ۹۰ روزه در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق جدول ۵، بیشترین درصد کاهش مقاومت فشاری مکعبی بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد مربوط به نمونه بتنی با ۳٪ الیاف پلی پروپیلن و به میزان ۱۶/۲٪ می‌باشد و

برای مقاومت خمشی بتن الیافی نسبت به بتن شاهد کمترین و بیشترین درصد افزایش مقاومت به ترتیب مربوط به ۱٪ الیاف فولادی و به میزان ۳/۷۸٪ و ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای به میزان ۳۳٪ می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که برای اطمینان از صحت نتایج، این تست‌ها دو بار انجام شده و متوسط نتایج آن‌ها در این جداول ارائه شده است.

بیشترین درصد افزایش مقاومت فشاری مکعبی بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد مربوط به نمونه بتنی با ۳٪ الیاف فولادی و به میزان ۲۲/۰۸٪ می‌باشد. برای مقاومت فشاری استوانه‌ای بتن الیافی نسبت به بتن شاهد کمترین و بیشترین درصد افزایش مقاومت به ترتیب مربوط به ۳٪ الیاف پلی‌پروپیلن و به میزان ۲۳/۸- و ۳٪ الیاف شیشه‌ای به میزان ۴۲/۶٪ می‌باشد. همچنین

جدول ۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه

نوع الیاف	نوع نمونه	بتن شاهد	الیاف (۱٪)	الیاف (۲٪)	الیاف (۳٪)
الیاف پلی‌پروپیلن	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۰/۴۶	۳۰/۷۵	۲۷/۴۲	۲۲/۷۸
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۰/۹۵٪	-۹/۹۸٪	-۲۵/۲٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۳/۱۵	۲۵/۲۲	۲۱/۱۱	۱۶/۱۷
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۸/۹۴٪	-۸/۸۱٪	-۳۰/۱۵٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۸/۹۸	۹/۰۷	۱۲/۲۶	۱۱/۱۳
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱/۰۰٪	۳۶/۵۳٪	۲۳/۹۴٪
الیاف فولادی	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۰/۴۶	۳۱/۶۶	۳۳/۶۹	۳۵/۰۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۳/۹۴٪	۱۰/۶۰٪	۱۴/۹۷٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۳/۱۵	۲۶/۵۹	۲۹/۳۰	۳۰/۸۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱۴/۸۶٪	۲۶/۵۶٪	۳۳/۱۳٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۸/۹۸	۹/۲۰	۹/۴۲	۸/۲۴
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۲/۴۵٪	۴/۸۹٪	-۸/۲۴٪
الیاف فیبر شیشه‌ای	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۰/۴۶	۳۵/۰۶	۳۷/۶۲	۳۸/۹۰
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱۵/۱۰٪	۲۳/۵۱٪	۲۷/۷۱٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۳/۱۵	۲۹/۸۰	۳۳/۴۸	۳۵/۰۱
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۲۸/۷۲٪	۴۴/۶۲٪	۵۱/۲۳٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۸/۹۸	۱۳/۸۸	۱۴/۵۷	۱۵/۵۵
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۵۴/۵۶٪	۶۲/۲۴٪	۷۳/۱۶٪

افزایش کمی نسبت به بتن شاهد از خود نشان می‌دهد که این افزایش برای سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۳/۳۶٪، ۰/۹۵٪ و ۱/۴۲٪ می‌باشد. در نمودار ۷ روزه، کاهش رشد مقاومت فشاری از الیاف ۱٪ به ۲٪ و از الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر با ۴/۴۳٪- و ۲۰/۲۵٪ می‌باشد. در درحالی که در نمودار ۲۸ روزه کاهش رشد مقاومت فشاری از الیاف ۱٪ به ۲٪ و از الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۱۰/۸۳٪- و ۱۶/۹۲٪ می‌باشد.

### ۴-۳- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی

#### نمونه‌های بتنی با الیاف پلی‌پروپیلن

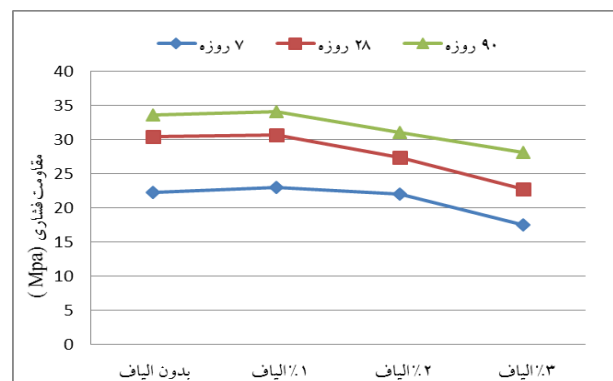
در شکل ۷، نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتن مکعبی مسلح با ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به بتن شاهد و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن در بتن، مقاومت فشاری کاهش یافته است. تنها مقاومت فشاری نمونه بتنی با ۱٪ الیاف پلی‌پروپیلن



جدول ۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها در سن ۹۰ روزه

نوع الیاف	نوع نمونه	بتن شاهد	الیاف (۱٪)	الیاف (۲٪)	الیاف (۳٪)
الیاف پلی پروپیلن	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۳/۶۰	۳۴/۰۸	۳۱/۰۰	۲۸/۱۷
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱/۴۲٪	-۷/۷۳٪	-۱۶/۲٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۵/۸۷	۲۷/۹۵	۲۳/۸۷	۱۹/۷۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۸/۰۴٪	-۷/۷۳٪	-۲۳/۸٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۱۲/۹۵	۱۳/۸۸	۱۵/۲۱	۱۴/۲۷
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۷/۱۸٪	۱۷/۴۵٪	۱۰/۱۹٪
الیاف فولادی	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۳/۶۰	۳۴/۸۵	۳۶/۱۲	۴۱/۰۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۳/۷۲٪	۷/۵۰٪	۲۲/۰۸٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۵/۸۷	۲۷/۹۲	۳۱/۷۸	۳۵/۶۹
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۷/۹۲٪	۲۲/۸۴٪	۳۷/۹۵٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۱۲/۹۵	۱۳/۴۴	۱۵/۷۵	۱۴/۱۳
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۳/۷۸٪	۲۱/۶۲٪	۹/۱۱٪
الیاف فیبر شیشه‌ای	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۳/۶۰	۳۷/۲۵	۳۹/۲۴	۴۰/۵۳
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۱۰/۸۶٪	۱۶/۷۸٪	۲۰/۶۲٪
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۵/۸۷	۳۱/۲۹	۳۴/۹۲	۳۶/۸۸
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۲۱/۰۰٪	۳۵/۰۰٪	۴۲/۶۰٪
	مقاومت خمشی (Mpa)	۱۲/۹۵	۱۶/۰۹	۱۶/۹۷	۱۷/۲۲
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	۲۴/۲۴٪	۳۱/۰۴٪	۳۳/۰۰٪

بتن، مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف پلی پروپیلن افزایش می‌یابد. در نمودار ۷ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۱۵/۵۶٪، ۲۶/۲۷٪ و ۱۳/۶۷٪ می‌باشد و بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۷ روزه در ۲٪ الیاف پلی پروپیلن واقع شده است. در نمودار ۲۸ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۱/۰۰٪، ۱۵/۱۷٪ و ۹/۲۲٪ می‌باشد که بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه در ۲٪ الیاف پلی پروپیلن واقع شده است. در نمودار ۹۰ روزه کاهش رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۸/۲۸٪، ۹/۵۸٪ و ۶/۱۸٪ می‌باشد. همچنین بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۹۰ روزه در ۲٪ الیاف پلی پروپیلن واقع شده است.

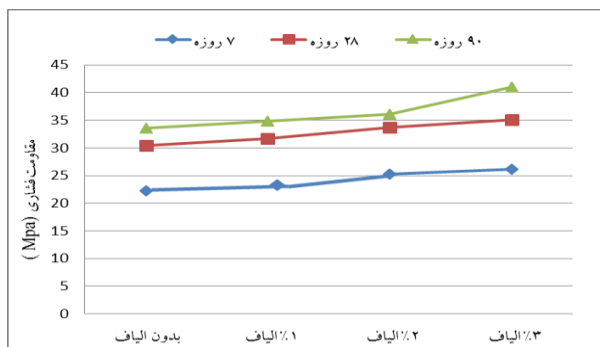


شکل ۷- نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مسلح

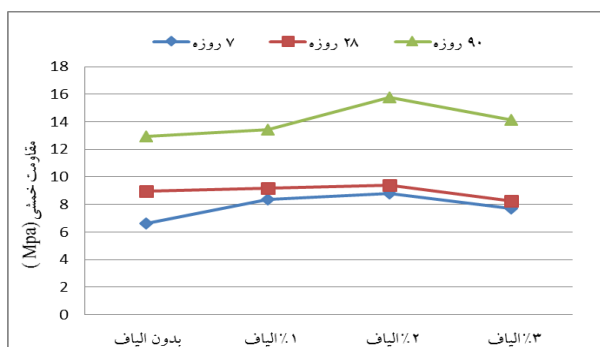
به الیاف پلی پروپیلن نسبت به بتن شاهد

در نمودار ۹۰ روزه نیز کاهش رشد مقاومت فشاری از الیاف ۱٪ به ۲٪ و از الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۹/۰۴٪ و ۹/۱۳٪ می‌باشد. نمودار مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی با الیاف پلی پروپیلن در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن در

با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۲۵/۹۸٪، ۵/۲۸٪ و ۱۲/۳۰٪ می‌باشد، بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۷ روزه در ۱٪ الیاف فولادی واقع شده است. در نمودار ۲۸ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۲/۴۵٪، ۲/۳۹٪ و ۱۲/۵۳٪ می‌باشد، بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه در ۱٪ الیاف فولادی واقع شده است. در نمودار ۹۰ روزه کاهش رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۳/۷۸٪، ۱۷/۱۹٪ و ۱۰/۲۹٪ می‌باشد و بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۹۰ روزه در ۲٪ الیاف فولادی مشاهده شده است.



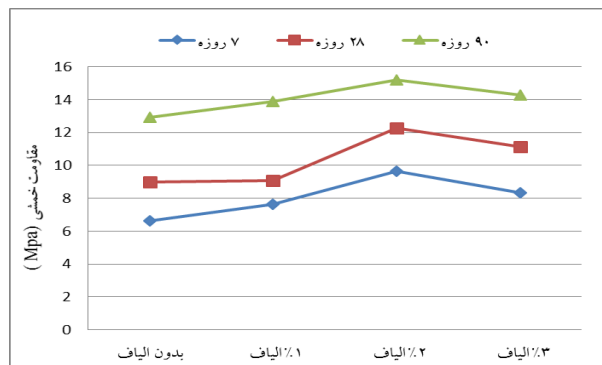
شکل ۹- نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مسلح به الیاف فولادی نسبت به بتن شاهد



شکل ۱۰- نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی مسلح به الیاف فولادی نسبت به بتن شاهد

### ۳-۶ نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی با الیاف فیبر شیشه‌ای

در شکل ۱۱، نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مسلح به ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف فیبر شیشه‌ای نسبت به بتن شاهد،



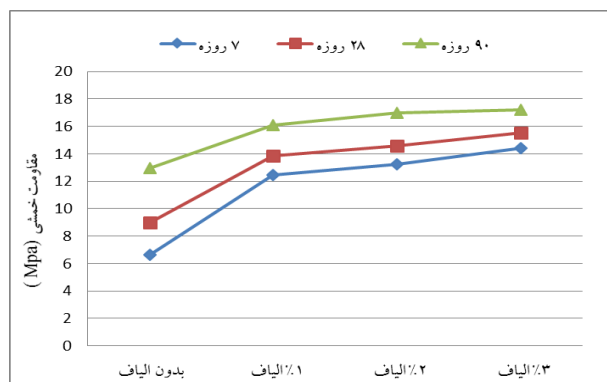
شکل ۸- نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی مسلح به الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به بتن شاهد

### ۳-۵ نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی با الیاف فولادی

در شکل ۹ نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مسلح با ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف فولادی نسبت به بتن شاهد و در سن ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که با افزایش درصد الیاف فولادی در بتن، مقاومت فشاری افزایش یافته است. در نمودار ۷ روزه منحنی رشد مقاومت فشاری از بتن شاهد به بتن با الیاف ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۳۱/۲۳٪ و ۳/۴۵٪ می‌باشد. در نمودار ۲۸ روزه منحنی رشد مقاومت فشاری از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۳/۹۴٪، ۶/۴۱٪ و ۳/۹۵٪ می‌باشد و بیشترین رشد مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه در ۲٪ الیاف فولادی مشاهده شده است. در نمودار ۹۰ روزه منحنی رشد مقاومت فشاری از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۳/۷۲٪، ۳/۶۴٪ و ۱۳/۵۷٪ می‌باشد، بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۹۰ روزه در ۳٪ الیاف فولادی واقع شده است.

نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های مکعب مستطیل مسلح به ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف فولادی نسبت به بتن شاهد، در سن ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، از نمونه شاهد تا نمونه بتنی با ۲ درصد الیاف فولادی، نمودار مقاومت خمشی سیر صعودی دارد و افزایش مقاومت خمشی را نشان می‌دهد و از نمونه بتنی حاوی ۲٪ تا ۳٪ الیاف فولادی، نمودار مقاومت خمشی سیر نزولی دارد و کاهش می‌یابد. در نمودار ۷ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن

می‌دهد. در نمودار ۷ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۸۸/۲۲٪، ۶/۲۶٪ و ۸/۹۱٪ می‌باشد، بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۷ روزه در ۱٪ الیاف فیبر شیشه‌ای واقع شده است. در نمودار ۲۸ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۵۴/۵۷٪، ۴/۹۷٪ و ۶/۷۳٪ می‌باشد. بیشترین رشد مقاومت خمشی نیز در سن ۲۸ روزه در ۱٪ الیاف فیبر شیشه‌ای واقع شده است. در نمودار ۹۰ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۲۴/۲۵٪، ۵/۴۷٪ و ۱/۴۷٪ می‌باشد، بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۹۰ روزه در ۱٪ الیاف فیبر شیشه‌ای نتیجه‌گیری شده است.



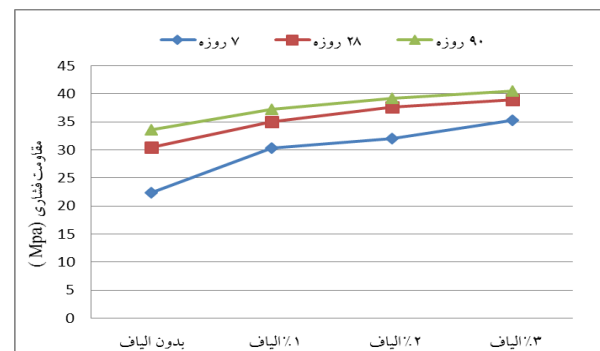
شکل ۱۲- نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های بتن مسلح به الیاف فیبر شیشه‌ای نسبت به بتن شاهد

#### ۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق با استفاده از مصالح شن و ماسه موجود در استان بوشهر، سیمان تیپ ۲ دشتستان، الیاف پلی پروپیلن، فولادی و شیشه‌ای و فوق روان کننده، در ۹ طرح اختلاط نمونه‌های بتن الیافی تهیه گردید. نمونه‌ها در حوضچه آب معمولی و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه قرار داده شد و آزمایشات مقاومت فشاری مکعبی و استوانه‌ای و مقاومت خمشی انجام گردید. نتایج نشان داد که الیاف پلی پروپیلن باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش مقاومت و همچنین الیاف فولادی و شیشه‌ای باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی می‌شود که در ذیل به آن اشاره می‌شود.

۱- بتن بدون الیاف دارای رفتار ترد و شکننده می‌باشد درحالی‌که بتن مسلح به الیاف‌ها، رفتار شکنندگی بتن را به

عمل‌آوری شده در آب معمولی و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف فیبر شیشه‌ای در بتن، مقاومت فشاری افزایش یافته است. روند رشد منحنی مقاومت فشاری نمونه شاهد و ۱٪ و ۲٪ و ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای برای سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به شرح ذیل می‌باشد: در نمودار ۷ روزه منحنی رشد مقاومت فشاری از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۳۶/۰۱٪، ۵/۶۱٪ و ۹/۹۹٪ می‌باشد، بیشترین رشد مقاومت فشاری در سن ۷ روزه در ۱٪ الیاف فیبر شیشه‌ای واقع شده است. در نمودار ۲۸ روزه منحنی رشد مقاومت فشاری از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۱۵/۱۰٪، ۷/۳۰٪ و ۳/۴۰٪ می‌باشد و بیشترین رشد مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه در ۱٪ الیاف فیبر شیشه‌ای واقع شده است. در حالی‌که در نمودار ۹۰ روزه منحنی رشد مقاومت فشاری از بتن شاهد به بتن با الیاف ۱٪، از بتن با الیاف ۱٪ به ۲٪ و از بتن با الیاف ۲٪ به ۳٪ به ترتیب برابر ۱۰/۸۶٪، ۵/۳۴٪ و ۳/۲۹٪ می‌باشد که بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۹۰ روزه در ۱٪ الیاف فیبر شیشه‌ای واقع شده است.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتنی مسلح به الیاف فیبر شیشه‌ای نسبت به بتن شاهد

در شکل ۱۲، نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های مکعب مستطیل مسلح به ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف شیشه‌ای نسبت به بتن شاهد، عمل‌آوری شده در آب معمولی و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، با افزایش درصد الیاف فیبر شیشه‌ای در بتن شاهد، نمودار مقاومت خمشی سیر صعودی دارد و افزایش مقاومت خمشی را نشان

حرارتی بتن» مجله علمی پژوهشی علوم و تکنولوژی نساجی، جلد ۴، شماره ۲، صفحات ۵۵-۵۶، ۱۳۸۹.

3. Chandramouli, K., Rao, S., Pannirselvam, N., Seshadri Sekhar, T., Sravana, P. "Strength properties of glass fiber concrete" ARPN journal of Engineering and Applied sciences, 5, 4, 1-6, 2010.

4. Singh, S. P., Singh, A. P., Bajaj, V. "Strength and Flexural Toughness of Concrete Reinforced with Steel-Polypropylene Hybrid Fibers" Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 11, 4, 494-507, 2010.

5. Gornale, A., Quadri, S. I., Quadri, S. M., Ali, S. M. A., Hussaini, S. S. "Strength Aspects of Glass Fibre Reinforced Concrete" International Journal of Scientific & Engineering Research, 3, 7, 1-5, 2012.

۶. زنگنه، کامران. "بررسی آزمایشگاهی تأثیر الیاف بر مقاومت بتن با استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر، صفحات ۲۰-۲۳، ۱۳۹۱.

۷. حسینعلی بیگی، مرتضی. برنجیان، جواد. لطفی عمران، امید. محمد پورنیک بین، ایمان. "ارزیابی قابلیت جذب انرژی بتن خودتراکم الیافی حاوی ذرات نانوسیلیس" دو فصلنامه تحقیقات بتن، جلد ۵، شماره ۱، صفحات ۱۹-۳۶، ۱۳۹۱.

۸. فروغی اصل، علی. حسین نژاد، فریده. "تأثیر الیاف پلی پروپیلینی بر روی خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن" دو فصلنامه تحقیقات بتن، جلد ۶، شماره ۱، صفحات ۱۱۵-۱۲۵، ۱۳۹۲.

۹. واقفی، محمد. پولادی، علیرضا. فیوض، علیرضا. "بررسی مقاومت فشاری و خمشی بتن با الیاف پلی پروپیلن و فولادی در شرایط محیطی استفاده از آب دریا (مطالعه موردی آب خلیج فارس)" دومین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ۱۳۹۲.

۱۰. واقفی، محمد. پولادی، علیرضا. فیوض، علیرضا. "بررسی مقاومت فشاری و خمشی بتن با الیاف پلی پروپیلن در شرایط محیطی استفاده از آب دریا (مطالعه موردی آب خلیج فارس)" هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ۱۳۹۳.

علت ممانعت از انتشار ترک و دوزندگی ترک‌ها، به طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد. بیشترین مقاومت در مقابل شکنندگی بتن در الیاف پلی پروپیلن مشاهده گردید که پس از شکست بتن نمونه از هم گسیخته نمی‌شود.

۲- مقاومت فشاری بتن با افزودن الیاف پلی پروپیلن کاهش می‌یابد. منحنی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن در ۱ درصد الیاف سیر صعودی و در محدوده ۲ الی ۳ درصد الیاف سیر نزولی دارد و بیشترین مقاومت فشاری در ۱ درصد الیاف پلی پروپیلن اتفاق افتاده است. مقاومت خمشی بتن با افزودن الیاف پلی پروپیلن افزایش می‌یابد و بیشترین مقاومت خمشی در ۲ درصد الیاف پلی پروپیلن می‌باشد.

۳- منحنی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف فولادی در محدوده ۱ الی ۳ درصد الیاف با افزایش الیاف سیر صعودی داشته و بیشترین مقاومت فشاری در ۳ درصد الیاف فولادی اتفاق افتاده است. منحنی مقاومت خمشی بتن با الیاف فولادی نشان می‌دهد که با افزودن ۱ و ۲ درصد الیاف فولادی به بتن شاهد، مقاومت خمشی افزایش و با افزودن ۳٪ الیاف فولادی به بتن شاهد مقاومت خمشی کاهش پیدا می‌کند و بیشترین مقاومت خمشی در ۲ درصد الیاف خمشی می‌باشد.

۴- منحنی مقاومت فشاری و خمشی بتن مسلح به الیاف شیشه‌ای در محدوده ۱ الی ۳ درصد الیاف با افزایش الیاف سیر صعودی داشته و بیشترین مقاومت فشاری و خمشی در ۳ درصد الیاف شیشه‌ای اتفاق افتاده است.

۵- بهترین ترکیب الیاف با بتن شاهد با سیمان تیپ ۲ که هم مقاومت فشاری و هم مقاومت خمشی خوبی دارد، مربوط به ۳٪ الیاف شیشه‌ای می‌باشد.

## ۵- مراجع

۱. صنعتی فرد، سجاد. جاهد، حسین. «بتن الیافی و کاربردهای آن» دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ۱۳۸۲.

۲. حبیبی، سیما. نیلفروش زاده، حسین. قربانی شبستری، سیاوش. «بررسی تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر روی استحکام و مقاومت

## The Effects of Polypropylene, Steel and Glass Fibers on Compressive and Flexural Strength of Concrete Samples Using the Aggregates in Bushehr

Mohammad Vaghefi\*

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

Alireza Pouladi

Msc, civil engineering, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

### Abstract

Using concrete reinforcement fibers improves the concrete desirable features including its strength, and sometimes provides the engineers with very light materials by reducing the concrete's weight. In the current study, type 2 Dashtestan cement, polypropylene, steel and glass fibers, and Superplasticizer were used in 9 mixture patterns to make the concrete. After they were built, concrete samples were kept in a regular water tank. Then, compressive and flexural strength of samples were measured in 7, 28, and 90 days. Results indicated that polypropylene fiber reinforced concrete's compressive strength curve, which was ascending at 1 percent range of fibers (the curve was upward), and descending at 2 to 3 percent fiber range (the curve was downward). In addition, Propylene fiber reinforced concrete's flexural strength curve which was ascending at 1 and 2 percent range of fibers (the curve was upward). At 3 percent range of fiber, it was descending (the curve was downward) and the highest compressive and flexural strength occurred at 1 and 2 percent range of polypropylene fiber respectively. Steel and glass fibers cause an increase in concrete samples compressive and flexural strength. The compressive strength of steel and glass fibers reinforced concrete at 1 to 3 percent range of fiber with an upward curve. The flexural strength of steel fiber reinforced concrete at 1 to 2 percent range of fiber with an upward curve, and at 3 percent range it had a downward curve, and the curve of flexural strength of glass fiber reinforced concrete at 1 to 3 percent of fiber with an upward curve. The highest compressive and flexural strength in steel fiber reinforced concrete occurred at 2 and 3 percent range of fiber respectively, and for glass fiber reinforced concrete, it was at 3 and 3 percent range of fiber respectively.

**Keywords:** Polypropylene Fiber and Concrete, Steel Fiber and Concrete, Glass Fiber and Concrete, Compressive and Flexural Strength.

---

\* Corresponding Author: vaghefi@pgu.ac.ir