تحقیقات بتن
سال هشتم، شمارهٔ اوّل
بهار و تابستان ۹۴
ص۱۴۲- 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 خلیج‌فارس، بوشهر، ایران
علیرضا پولادی
کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر

چکیده
در این مقاله از مصالح سنگی استان بوشهر و سیمان تیپ ۲ دشتستان و الیاف پلی‌پروپیلنی، 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 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.

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

* نویسنده مسئول: vaghefi@pgu.ac.ir

۱- مقدمه

در دهه ۱۹۵۰برای اولین بار در کشور شوروی و بعد در کشور امریکا در سال ۱۹۶۰ طبق تحقیقات انجام‌شده، 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 تشکیل‌شده‌اند. 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 انجام‌گرفته توسط حبیبی و همکاران (۱۳۸۸) [۲] بر روی بتن‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن با طول‌های مختلف (۶، ۱۲ و ۱۹ میلی‌متر) و وزن‌های مختلف (۰/۶، ۱/۳، ۲ و ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) نشان می‌دهند که استحکام و مقاومت حرارتی نمونه‌های بتنی با استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن افزایش یافته است. آن‌ها نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۲۵۰×۲۵۰×۲۵۰ میلی‌متر را بعد از ۷ و ۲۸ روز از حوضچه آب خارج نمودند و جهت تست حرارتی نمونه‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن را در کوره ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت قراردادند. 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 ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و استوانه‌ای به ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متر و نمونه‌های مکعب مستطیل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی متر 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 فولادی و پلی‌پروپیلن پرداختند. آن‌ها برای آزمایش مقاومت فشاری از قالب‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و برای آزمایش مقاومت خمشی از قالب‌های مکعب مستطیل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی‌متر استفاده کردند. نمونه‌های بتنی مسلح به ترکیب الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن با نسبت‌های ۰ – ۱۰۰ درصد، ۷۵ – ۲۵ درصد، ۵۰ – ۵۰ درصد، ۲۵ – ۷۵ 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 پلی‌پروپیلن، ترکیب ۷۵ درصد الیاف فولادی و ۲۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن می‌باشد. گرنال 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، پلی‌پروپیلن، فیبر شیشه ای) 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 قراردادند. 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

...

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

با توجه به مطالعات صـورت گرفته، تاکنون تأثیر الیاف پروپیلنی، فولادی و فیبر شـیشـه‌ای بر مقاومت فشـاری و خمشـی نمونه‌های بتنی با اسـتفاده از مصـالح سـنگی اسـتان بوشـهر که دارای ۶۱۰ کیلومتر مرز آبی با خلیج فارس می باشـد، انجام نشـده که در این مقاله به این موضوع پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مصالح و ترکیبات بتن

جنس مصـالح سـنگدانه‌ای درشـت‌دانه (شـن نخودی و بادامی) و ریزدانه (ماسـه) مورد اسـتفاده در آزمایش‌های انجام‌شـده در این تحقیق، سـیلیس بوده و از اسـتان بوشـهر تهیه شـده اسـت. مصالح درشت‌دانه و ریزدانه با نسبت برابر ترکیب گردید. همچنین نسبت آب به سـیمان ۰/۵ می‌باشد [۹]. الیاف فیبر شیشه (نوع S-glass) بکار رفته در طرح اختلاط بتن به قطر ۱۷-۱۹ میکرون و طول ۳-۵۰ میلی‌متر، الیاف فولادی به قطر ۰/۶ – ۱/۲ میلی‌متر و طول ۵۰ میلی‌متر و الیاف پلی‌پروپیلن نیز به قطر ۰/۰۲۱ میلی‌متر و طول ۶ میلی‌متر می‌باشـند. در شکل‌های ۱ تا ۳ نمونه‌هایی از الیاف توزین شـده برای طرح اختلاط در این تحقیق نشـان داده شـده اند. برای ساخت نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت فشاری و خمشی از الیاف با نسـبت ۱ الی ۳ درصـد وزنی سیمان استفاده می‌گردد. در این تحقیق سـعی شـده 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].

شکل ۲- الیاف فیبر شیشه‌ای توزین شده برای طرح اختلاط

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

سپس مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های شاهد در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه توسـط دسـتگاه بتن شـکن تعیین و ثبت می‌شـوند. طرح اختلاط بتن با توجه به درصـد جذب آب شـن و ماسـه و مقاومت فشـاری $350\ kg/m^3$ که مورد نیاز این تحقیق بوده اسـت، تعیین گردیده اسـت. الیاف‌های فولادی، فیبر شـیشـه و پلی‌پروپیلن به صـورت 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 سـنین مورد نظر توسـط دستگاه بتن شکن تعیین و ثبـت گردیدند. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشـاری و خمشی نمونه‌های شاهد و الیافی، در جداول مربوط تنظیم گردیده و پس از ترسیم نمودارهای مقاومت‌ها در سنین مورد نظر، نتایج با یکدیگر مقایسـه شـده‌اند. در نهایت به بررسـی و تجزیه و تحلیل تأثیر الیاف بر مقاومت فشـاری و خمشـی نمونه‌ها پرداخته شـده 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 بتن‌ریزی، شن، ماسه، سیمان و آب با یکدیگر توسط مخلوط کن به مدت دو دقیقه مخلوط شدند و در پایان الیاف کـــه تمیز و عاری از هرگونه مواد زائد و روغن بود به تدریج به داخل مخلوط کن ریخته شد. پس از

اتمام اضافه کـردن الیاف بـه بـتن، اجـازه داده شـد کـه مخلوط کن به مدت سه دقیقه دیگر کار کند تا الیاف در تمام فضای بتن پخش‌شـده و مخلوط کاملاً یکنواختی حاصل گردد. معمولاً بتن مسلح به الیاف همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شـود. روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح به الیاف اساساً شـبیه طراحـی بتن ساده است. با این وجود، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلولـه‌ای شدن و ایجاد یک مخلـوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید. الیاف به خاطر آسانی پخـش بایـد به صورت خشـک وارد مخلـوط شـوند. در فراینـد سـاخت بـتن الیـافی بایـد از ایجـاد پدیـده گلوله‌ای شـدن (Balling) جلوگیری به عمل آید. در ایـن تـحقـیق از فوق روان کننـده CONPLAST SP432MS اسـتفاده گردید. این فوق روان کننده فاقد کلراید بوده که بر پایه پلیمرهای نفتالین سـولفونات تولید می‌شـود و به صـورت محلولی قهوه‌ای رنگ بوده که به سـرعت در آب پخش می شـود. فوق روان کننده CONPLAST SP432MS با اسـتاندارد BSEN 934-2 و اسـتاندارد 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 شـاهد (بدون الیاف) با سیمان تیپ ۲ دشتستان تهیه گردید. سپس الیاف فولادی، فیبر شـیشـه‌ای و پلی‌پروپیلن با درصـدهای ۱ الی ۳ درصـد وزن سـیمان به طور جداگانه به طرح اختلاط بتن شـاهد اضافه گردید. در جدول ۱ مقادیر و اجزاء طرح اختلاط مورد اسـتفاده در این تحقیق ارائه شـده اسـت. همان طور که در جدول ۱ مشـاهده می‌شـود، A-1 بیانگر طرح اختلاط نمونه بتن شاهد با سیمان تیپ ۲ می‌باشـد و مصـالح مصـرفی در طرح شـاهد شامل سیمان، آب، سـنگدانه درشـت (شـن) 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 بتن می‌باشـد. به عنوان نمونه، طرح اختلاط P-1 بیانگر ۱٪ وزن سیمان و الیاف پلی‌پروپیلن به میزان ۳/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بتن می‌بـاشـد. در جدول ۲، نوع آزمایشـات و تعداد نمونه‌ها جهت آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های شاهد و الیافی بیان شده است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد آزمایشات در ۱۱ طرح اختلاط انجام گردید، به‌طوری‌که ۲ طرح اختلاط مربوط به نمونه‌های بتنی بدون الیاف، ۳ طرح اختلاط مربوط به نمونـه‌های 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 بتن الیافی، ۲ طرح مربوط به آزمایشـات مقاومت فشـاری و خمشـی نمونه‌های بتن شاهد می‌باشند. در تمامی مراحل ساخت نمونه‌های بتنی الیافی، میزان و نوع سیمان، شن، ماسه و آب ثابت بوده و تنها میزان و نوع الیـاف تغییر می کنـد. در تمـامی مراحـل سـاخت نمونـه‌هـای بتنی برای آزمـایش مقـاومـت فشـاری از قالب‌های اسـتاندارد مکعبی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و اسـتوانه‌ای به ابعـاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متر و برای سـاخـت نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت خمشی از قالب‌های استاندارد مکعب مستطیل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی‌متر اسـتفاده گردید. تعداد کل نمونه‌ها در این تحقیق ۳۹۶ نمونه می‌باشـد 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 فشـاری، نمونه‌های مکعبی و اسـتوانه‌ای توسـط دسـتگاه بتن شـکن (مطابق شـکل ۴) تحت فشـار قرار می‌گیرند. بار به صـورت یکنواخت توسـط دو فک بالایی و پایینی دسـتگاه، به نمونه‌ها وارد می‌شـود. این نکته ضـروری اسـت که بار بدون تغییر ناگهانی و به صـورت پیوسـته باید به نمونه‌ها اعمال شـود. دسـتگاه بتن شـکن باید مجهز به وسایلی باشـد که بتوان نیروی گسـیختگی را پس از اتمام بارگذاری ثبت نماید. در این دسـتگاه نیروی گسـیختگی بر روی یک صـفحه مانیتور نمایش داده می‌شـود. محور عمودی سـمبه یا

پیستون باید با محور عمودی دستگاه منطبق بوده و در زمان بارگذاری جهت حرکت سمبه 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 ۱± میلی‌متر باشد.

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

کد طرح اختلاط	الیاف Kg/m³	سیمان تیپ ۲ Kg/m³	آب Kg/m³	فوق روان کننده Kg/m³	سنگدانه درشت Kg/m³	سنگدانه ریز Kg/m³	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	۲۴
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	۲۴
پلی‌پروپیلن	مقاومت فشاری	مکعبی	۳	۱۲	۳۶
		استوانه‌ای		۱۲	۳۶
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	۳۶
فولادی	مقاومت فشاری	مکعبی	۳	۱۲	۳۶
		استوانه‌ای		۱۲	۳۶
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	۳۶
فیبر شیشه‌ای	مقاومت فشاری	مکعبی	۳	۱۲	۳۶
		استوانه‌ای		۱۲	۳۶
	مقاومت خمشی	مکعب مستطیل		۱۲	۳۶
مجموع			۱۱	۱۴۴	۳۹۶

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 ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی‌متر انجام می‌شود. در روش ASTM C78 انتقال نیرو از دستگاه بتن شکن به نمونه بتنی به وسیله چهار تکیه‌گاه انجام می‌گیرد.

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 بیش تر 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.

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

الف

ب

شکل ۶- نمونه‌های بتنی مکعب مستطیل، الف: قبل و ب: بعد از آزمایش مقاومت خمشی

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

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

۳-۲- 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 با ۳٪ الیاف پلی‌پروپیلن و به میزان ٪۲۵/۲- می‌باشد و بیشترین درصد افزایش مقاومت فشاری مکعبی بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد مربوط به نمونه بتنی با ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای و به میزان ٪۲۷/۷۱ 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 ٪۳۰/۱۵- و ۳٪ الیاف فیبر شیشه‌ای به میزان ٪۵۱/۲۳ می‌باشد. همچنین برای مقاومت خمشی بتن الیافی نسبت به بتن شاهد کمترین و بیشترین درصد افزایش مقاومت به ترتیب مربوط به ۳٪ الیاف فولادی و به میزان ٪ 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 پلی‌پروپیلن	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 پلی‌پروپیلن و به میزان ٪۱۶/۲- می‌باشد و

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 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 آن ها در این جداول ارائه شده است.

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

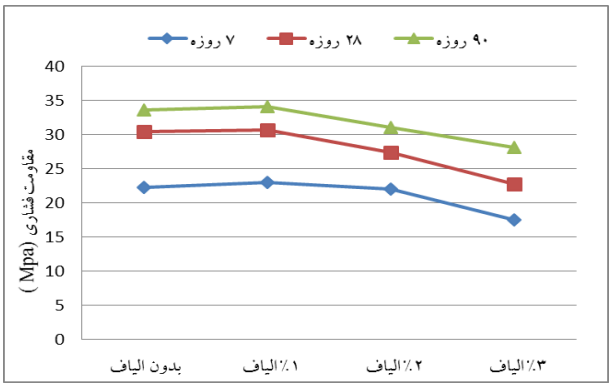
نوع الیاف	نوع نمونه	بتن شاهد	الیاف (۱٪)	الیاف (۲٪)	الیاف (۳٪)
الیاف پلی‌پروپیلن	مقاومت فشاری مکعبی (Mpa)	۳۰/۴۶	۳۰/۷۵	۲۷/۴۲	۲۲/۷۸
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	٪ ۰/۹۵	٪ ۹/۹۸-	٪ ۲۵/۲-
	مقاومت فشاری استوانه‌ای (Mpa)	۲۳/۱۵	۲۵/۲۲	۲۱/۱۱	۱۶/۱۷
	درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	----	٪ ۸/۹۴	٪ ۸/۸۱-	٪ ۳۰/۱۵-
	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

۳-۴- 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 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.

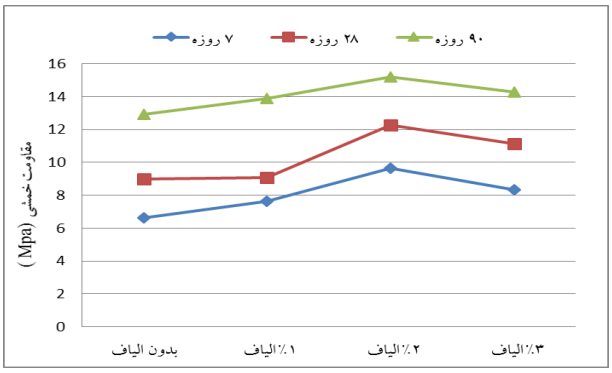
جدول ۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها در سن ۹۰ روزه

نوع الیاف	نوع نمونه	بتن شاهد	الیاف (۰/۱٪)	الیاف (۰/۲٪)	الیاف (۰/۳٪)
الیاف پلی‌پروپیلن	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 ٪



شکل ۷- نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مسلح به الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به بتن شاهد

در نمودار ۹۰ روزه نیز کاهش رشد مقاومت فشاری از الیاف ۰/۱٪ به ۰/۲٪ و از الیاف ۰/۲٪ به ۰/۳٪ به ترتیب برابر ۹/۰۴٪- و ۹/۱۳٪- می‌باشد. نمودار مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی با الیاف پلی‌پروپیلن 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 پلی‌پروپیلن در بتن، مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن افزایش می‌یابد. در نمودار ۷ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۰/۱٪، از بتن با الیاف ۰/۱٪ به ۰/۲٪ و از بتن با الیاف ۰/۲٪ به ۰/۳٪ به ترتیب برابر ۱۵/۵۶٪، ۲۶/۲۷٪ و ۱۳/۶۷٪- می‌باشد و بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۷ روزه در ۰/۲٪ الیاف پلی‌پروپیلن واقع شده است. در نمودار ۲۸ روزه منحنی رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۰/۱٪، از بتن با الیاف ۰/۱٪ به ۰/۲٪ و از بتن با الیاف ۰/۲٪ به ۰/۳٪ به ترتیب برابر ۱/۰۰٪، ۳۵/۱۷٪ و ۹/۲۲٪- می‌باشد که بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه در ۰/۲٪ الیاف پلی‌پروپیلن واقع شده است. در نمودار ۹۰ روزه کاهش رشد مقاومت خمشی از بتن شاهد به بتن با الیاف ۰/۱٪، از بتن با الیاف ۰/۱٪ به ۰/۲٪ و از بتن با الیاف ۰/۲٪ به ۰/۳٪ به ترتیب برابر ۸/۲۸٪ ۹/۵۸٪ و ۶/۱۸٪- می‌باشد. همچنین بیشترین رشد مقاومت خمشی در سن ۹۰ روزه در ۰/۲٪ الیاف پلی‌پروپیلن واقع شده است.

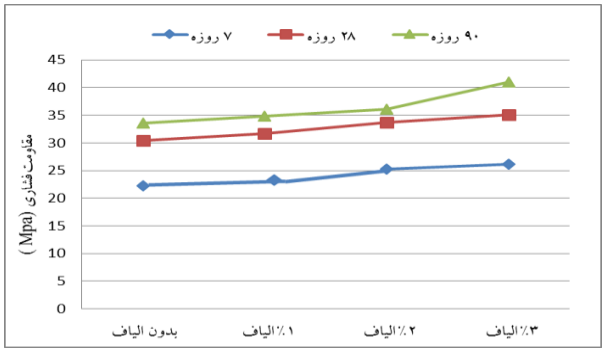


شکل ۸- نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی مسلح به الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به بتن شاهد

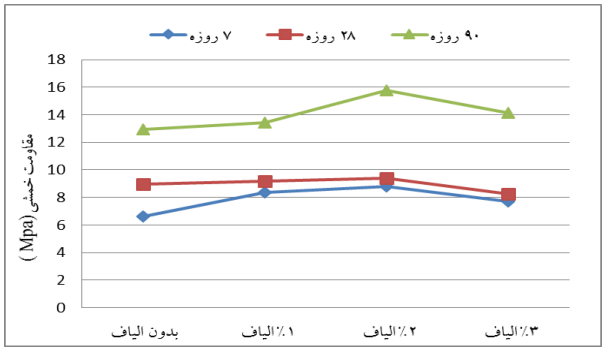
۳-۵- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی با الیاف فولادی

در شکل ۹ نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مسلح با ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف فولادی نسبت به بتن شاهد و در سنین 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 سنین 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 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



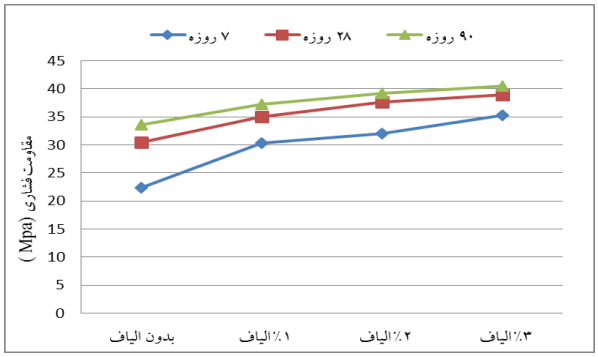
شکل ۱۰- نمودار تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی مسلح به الیاف فولادی نسبت به بتن شاهد

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،

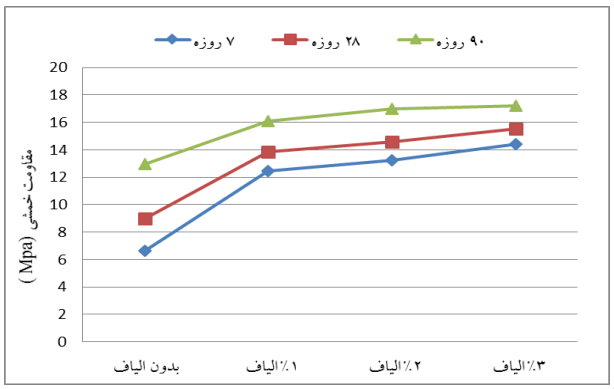
...

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 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 نتیجه گیری شده است.



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

۴- نتیجه گیری

این تحقیق با استفاده از مصالح شن و ماسه موجود در استان بوشهر، سیمان تیپ ۲ دشتستان، الیاف پلی‌پروپیلن، 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 وآزمایشات مقاومت فشاری مکعبی و استوانه‌ای و مقاومت خمشی انجام گردید. نتایج نشان داد که الیاف پلی‌پروپیلن 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

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

۲- مقاومت فشـاری بتن با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن کاهش می‌یابد. منحنی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف پلی‌پروپیلن در ۱ درصـد الیاف سیر صعودی و در محدوده ۲ الی ۳ درصد الیاف سـیر نزولی دارد و بیشـترین مقاومت فشـاری در ۱ درصـد الیاف پلی‌پروپیلن اتفاق افتاده است. مقاومت خمشی بتن با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن افزایش می‌یابد و بیشـترین مقاومت خمشـی در ۲ درصد الیاف پلی‌پروپیلن می‌باشد.

۳- منحنی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف فولادی در محدوده ۱ الی ۳ درصـد الیاف با افزایش الیاف سـیر صـعودی داشـته و بیشـترین مقاومت فشـاری در ۳ درصـد الیاف فولادی اتفاق افتاده اسـت. منحنی مقاومت خمشـی بتن با الیاف فولادی نشان می دهد که با افزودن ۱ و ۲ درصـد الیاف فولادی به بتن شـاهد، مقاومت خمشی افزایش و با افزودن ۳٪ الیاف فولادی به بتن شاهد مقاومت خمشـی کاهش پیدا می‌کند و بیشـترین مقاومت خمشـی در ۲ درصد الیاف خمشی می‌باشد.

۴- منحنی مقاومت فشـاری و خمشـی بتن مسلح به الیاف شیشه‌ای در محدوده ۱ الی ۳ درصـد الیاف با افزایش الیاف سـیر صـعودی داشـته و بیشـترین مقاومت فشـاری و خمشـی در ۳ درصـد الیاف شیشه‌ای اتفاق افتاده است.

۵- بهترین ترکیـب الیـاف با بتن شـاهد با سـیمان تیپ ۲ که هم مقاومت فشـاری و هم مقاومت خمشـی خوبی دارد، مربوط به ۳٪ الیاف شیشه‌ای می‌باشد.

۵- مراجع

۱. صنعتی فرد، سجاد. جاهد، حسین. «بتن الیافی و کاربردهای آن» دهمین کنفرانس دانشـجویی مهندسـی عمران، دانشـگاه زنجان، زنجان، ۱۳۸۲.

۲. حبیبی، سیما. نیلفروش زاده، حسـین. قربانی شبستری، سیاوش. «بررسی تـأثیـر الیاف پلی‌پروپیلن بر روی استحکام و مقاومت 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. "بررسـی آزمایشـگاهی 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. حسـینعلی بیگی، مرتضـی. برنجیان، جواد. لطفی عمران، امید. محمـد پورنیـک بین، ایمـان. "ارزیـابی قـابلیت جذب انرژی بتن خودتراکم الیافی حاوی ذرات نانوسـیلیس" دو فصلنامه تحقیقات بتن، جلد ۵، شماره ۱، صفحات ۱۹-۳۶، ۱۳۹۱.

۸ فروغی اصـل، علی. حسـین نژاد، فریـده. "تـأثیر الیـاف 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، علیرضـا. فیوض، علیرضـا. "بررسـی مقاومت فشـاری و خمشـی بتن با الیاف پلی‌پروپیلن و فولادی در شـرایط محیطی اسـتفـاده از آب دریـا (مطـالعـه موردی آب خلیج‌فارس)" دومین کنفرانس ملی مصـالح و سـازه‌های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ۱۳۹۲.

۱۰. واقفی، محمد. پولادی، علیرضـا. فیوض، علیرضـا. "بررسـی مقاومت فشـاری و خمشـی بتن با الیاف پلی‌پروپیلن در شـرایط محیطی اسـتفـاده از آب دریا (مطالعه موردی آب خلیج‌فارس)" هشـتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ۱۳۹۳.

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