



تأثیر طول الیاف پلی پروپیلن و درصد اختلاط آن در بتن بر روی خصوصیات مقاومت فشاری و

خمشی بتن

فرشاد لهراسبی^{۱*}، علی قاسم نیا^۲، عباس منصوری^۳

چکیده

نوع بتن مورد استفاده برای ساخت و ساز و نحوه تهیه آن در صنایع ساختمان سازی بسیار حائز اهمیت می باشد . امروزه تحقیقات زیادی در مورد استفاده از مواد گوناگون بعنوان تقویت کننده در بتن ها صورت گرفته است که از جمله موادی که کاربرد آن رو به گسترش می باشد الیاف نساجی است . استفاده از تقویت کننده هایی مانند الیاف پلی پروپیلن در انواع محصولات بتنی به جهت تقویت خواص بتن بعنوان یک راه کار مناسب می باشد که از دیرباز تا اکنون مورد بررسی بسیاری از محققین قرار گرفته است . در این تحقیق به تأثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن با طول های مختلف و درصد های وزنی معین در بتن و بررسی خواص ایجاد شده بخصوص در مورد مقاومت فشاری و خمشی بتن پرداخته شده است . نتایج حاصله از آزمایشات نشان می دهد که افزودن الیاف پلی پروپیلن در کمترین حالت ۴/۴ درصد و در بیشترین حالت ۹/۴ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری بتن و در مورد مقاومت خمشی افزودن این الیاف در کمترین حالت ۴ درصد و در بیشترین حالت ۶/۳ درصد باعث افزایش شده است . در مجموع استفاده از مقادیر معینی از الیاف در بتن نه تنها بر روی خواص فشاری و خمشی بتن تأثیر نامطلوب نمی گذارد بلکه باعث افزایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بتن نیز می گردد .

واژه های کلیدی : بتن الیافی ، مقاومت فشاری ، مقاومت خمشی ، الیاف پلی پروپیلن

Abstract

Nowadays the properties and the kind of concrete & cement product is very important because concrete is the most usual material that use for building.

Use of composites such as polypropylene fiber to reinforce the pressure and bending resistance of concrete as an effective method that is studied by the most of researcher. In this research, the effect of adding pp fiber with different length and different weight percent on the properties of concrete is studied. The test result shown that adding pp fiber in the minimum position 4.4 percent and at the maximum position 9.4 percent increased the pressure resistance and for the bending resistance adding this kind of fiber increase resistance about 6.3 percent . In addition using the certain amount of pp fiber on concrete not only reduces on the pressure and bending resistance but, also cause to increase these properties.

Key words: fiber concrete, pressure resistance, bending resistance, polypropylene fiber

*۱. گروه مهندسی نساجی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک ، اراک ، ایران. مسئول مکاتبات: F-Lohrasbi@iau-arak.ac.ir

۲. دانش آموخته و کارشناس ارشد نساجی ، گروه مهندسی نساجی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب ، تهران ، ایران.

۳. گروه مهندسی نساجی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب ، تهران ، ایران.

۱. مقدمه

در حال حاضر استفاده از الیاف پلی پروپیلن در انواع محصولات بتنی و سیمانی به جهت تقویت خواص مکانیکی و دیگر پارامترهای دوام بتن بعنوان یک راه حل مناسب مورد بررسی و مطالعه بسیاری از محققین قرار گرفته است. تحقیقات زیادی در مورد استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن برای تقویت خواص گوناگون بتن انجام گرفته است از جمله این تحقیقات عبارتند از: مقاوم سازی بتن با استفاده از الیاف [۱] ، تقویت بتن با استفاده از الیاف [۲] ، تقویت سیمان با استفاده از کامپوزیت الیاف [۳] ، افزایش خصوصیات مکانیکی بتن (مقاومت فشاری و مقاومت خمشی) با استفاده از الیاف پلی پروپیلن [۴] ، کنترل ترک های ایجاد شده در بتن [۵] ، توانمند سازی بتن از نظر حرارتی [۶] ، کنترل تغییرات ابعادی در بتن که در اثر ترک خوردگی ها بوجود می آید [۷] .

خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بتن از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد ، این خصوصیات شامل مقاومت فشاری ، مقاومت خمشی ، مقاومت برشی و خصوصیات فیزیکی بتن می باشد به همین جهت از مواد گوناگون بعنوان کامپوزیت برای تقویت بتن استفاده گردیده است که از جمله این مواد کامپوزیتی الیاف نساجی می باشد [۱] . در تحقیقات انجام شده توسط Hannat از الیاف مختلف مانند پلی استر ، پلی پروپیلن ، کولار برای بررسی میزان تاثیرگذاری الیاف بر روی خصوصیات بتن صورت گرفت که نتیجه تحقیقات نشاندهنده این مطلب بود که الیاف دارای عملکرد مناسب و مثبت بر روی خصوصیات بتن می باشند [۱] .

در دیگر تحقیقات که توسط آقای shen [۲] و آقایان shah و balaguru [۳] صورت گرفت از انواع مختلف الیاف (پلی پروپیلن ، پلی استر ، پلی اتیلن ، کولار ، نایلون ، کربن) برای مقاوم سازی بتن از نظر مقاومت فشاری ، خمشی و برشی صورت گرفت که نتایج حاصل از اختلاط الیاف با بتن نشاندهنده عملکرد مناسب الیاف بر روی خصوصیات فیزیکی بتن بوده و باعث افزایش ۵ درصدی مقاومت فشاری و خمشی بتن شده است [۳] .

از جمله الیافی که دارای عملکرد بهتر بوده و دارای مصرف بیشتر بعنوان تقویت کننده در بتن کاربرد دارد الیاف پلی پروپیلن می باشد . چرا که این الیاف که در حجم بتن به طور تصادفی پخش شوند همانند یک نوع اتصال بین دانه های بتن عمل کرده و مانع باز شدن ذرات و دانه های بتن از یکدیگر شده و هنگامیکه بتن تحت بار خمشی یا فشاری قرار می گیرد باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن می شوند در تحقیقاتی که توسط آقایان Alhozaimy و Soroushian انجام گرفت با استفاده از الیاف پلی پروپیلن به مقاوم سازی خصوصیات مکانیکی بتن پرداختند در این تحقیق از الیاف پلی پروپیلن با طول های ۱۹ و ۱۲ میلیمتر با درصد های اختلاط ۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/۳ ، و ۰/۴ درصد نسبت به وزن سیمان مصرفی و در قالب هایی به ابعاد یک متر مکعب تهیه گردید که در نتیجه با این درصد اختلاط باعث افزایش مقاومت فشاری تا ۷ درصد شده و در مورد مقاومت خمشی تا ۸ درصد دارای افزایش بودند [۴] .

الیاف پلی پروپیلن علاوه بر افزایش خصوصیات مقاومت فشاری و خمشی بر روی کنترل ترکها در بتن تاثیر مناسبی دارند . در تحقیقاتی که توسط آقایان Tan و Ma انجام گرفت از الیاف پلی پروپیلن با سطح مقاطع مختلف برای کاهش ترک هایی که در سطح بتن رخ می دهد استفاده شد که با افزایش الیاف پلی پروپیلن مقاومت بتن در برابر ترک خوردگی از ۰/۰۵ درصد تا ۰/۱۵ درصد افزایش یافت [۵] . بتن هنگامی که تحت حرارت شدید قرار می گیرد فشار داخلی در اثر تبخیر آب و ایجاد حرارت در داخل روزنه های بتن افزایش پیدا می کند و چون راه خروجی پیدا نمی کند باعث شکسته شدن و در نتیجه خرد شدن بتن می گردد در تحقیقات انجام گرفته توسط Penttala و Komonen استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن باعث افزایش انعطاف پذیری بتن و در کل افزایش مقاومت بتن در برابر انفجار و خرد شدن گشته است چراکه این الیاف در اثر حرارت در داخل بتن ذوب شده و باعث ایجاد روزنه هایی در بتن شده که فشار داخلی بتن را کاهش داده و در نتیجه باعث افزایش مقاومت حرارتی بتن می گردد [۶] .

۲. لوازم آزمایشگاهی

لوازم آزمایشگاهی شامل قالب هایی از جنس آهن برای قرار گیری مواد مخلوط شده که ابعاد قالب فشاری $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر و ابعاد قالب خمشی $15 \times 15 \times 90$ سانتیمتر می باشد، همزن برای مخلوط کردن سیمان و مصالح سنگی و یکنواخت کردن الیاف بکار برده شده در بتن مورد استفاده قرار گرفت و همچنین استفاده از چکش، میله های چوبی و آهنی برای پرس کردن مواد در قالب ها. دستگاههای مقاومت فشاری و مقاومت خمشی برای اندازه گیری مقاومت نمونه های بتن ساخته شده و شکستن نمونه ها که در اشکال ۱ و ۲ تصویری از دستگاههای مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۲. صفحه نمایش دستگاه مقاومت فشاری



شکل ۱. نمایی از دستگاه مقاومت فشاری

۳. مواد و روشها

سیمان مصرفی سیمان پرتلند تیپ II یا سیمان متوسط می باشد که علت انتخاب این نوع سیمان این بوده است که سیمان متوسط از نظر گیرش نه کندگیر بوده و نه زودگیر و از نظر تولید حرارت دارای درجه متوسطی می باشد و این نوع سیمان جزء پرمصرف ترین نوع سیمان در صنعت محسوب می گردد. نسبت وزنی آب به سیمان (W/C) در نظر گرفته شده $0/4$ می باشد. دانه های سنگی (شن و ماسه) مورد استفاده از نوع دانه های معمولی و با سطحی گوشه دار بوده تا از نظر درگیری با یکدیگر دارای عملکرد بهتر و مناسب تری باشند. الیاف پلی پروپیلن مورد مصرف در این تحقیق دارای طول های ۶، ۱۲ و ۱۹ میلیمتر بوده نمره همگی آنها ۳ دنیر (ضخامت ۲۲ میکرون) می باشد.

طرح اختلاط بتن به روش وزنی و حجمی طبق ACI-211 صورت گرفت و مواد آزمایشگاهی که شامل سیمان، آب و مصالح سنگی می باشد در قالب های مورد نظر ریخته شد و جهت تعیین نسبت های اختلاط مناسب الیاف در بتن پس از تعیین مشخصات فیزیکی و دانه بندی مصالح سنگی، چندین نمونه با درصد اختلاط مختلف الیاف نسبت به وزن سیمان مصرفی تهیه گردید مواد با استفاده از میله های چوبی و آهنی بخوبی پرس گردید و پس از گذشت ۲۴ ساعت اولیه نمونه های تهیه شده را از قالب بیرون آورده و وارد دوره مراقبت و نگهداری از بتن گشت که شامل ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روزه می باشد که در این مدت نمونه ها در درون استخر آب نگهداری می شد پس از پایان هر دوره مراقبت، مقاومت فشاری و خمشی بتن با استفاده از دستگاههای اشاره شده اندازه گیری می شود. در نهایت طرح نهایی و مناسب از نظر میزان درصد الیاف پلی پروپیلن که دارای مقاومت فشاری و خمشی مناسبی می باشد پس از شکستن نمونه های آزمایشی ساخته شد که میانگین حاصل از شکستن چهار نمونه بود. همانطور که اشاره شد در پایان هر دوره مراقبت، مقاومت نمونه مورد نظر از لحاظ مقاومت فشاری و مقاومت خمشی مورد بررسی قرار گرفت (دوره های مراقبت شامل ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز می باشد) و همچنین این نتایج، مقاومت حاصل از میانگین شکستن چهار نمونه می باشد (برای تعیین درصد اختلاط مناسب) و در ادامه در بخش

آزمایشات برای اطمینان از نتایج حاصل و بدست آوردن نتایج دقیق تر تعداد نمونه ها را به ده عدد رسانده و نتایج حاصل از آنها را در نمودارهای مربوطه مشخص کردیم .

۴. آزمایشات

مقاومت فشاری و خمشی جزء اولین و مهم ترین خصوصیت مکانیکی بتن می باشد چراکه بتن تهیه شده در ابتدا باید از مقاومت فشاری و خمشی خوبی برخوردار باشد تا عملکرد مناسبی در صنعت داشته باشد . در این تحقیق برای بررسی خصوصیات فیزیکی نمونه های بتن ساخته شده از آزمایش مقاومت فشاری برای تعیین میزان مقاومت فشار نمونه در برابر اعمال تنش و نیرو استفاده گردید و همچنین از آزمایش مقاومت خمشی برای تعیین میزان مقاومت نمونه در برابر خم شدن استفاده گردید .

در اشکال ۳ و ۴ نمونه ای از بتن شکسته شده و بتن در حال ترک خوردن نشان داده شده است .



شکل ۴. نمونه بتن در حال شکستن در دستگاه



شکل ۳. نمونه بتن شکسته شده

همچنین در جدول ۱ طرح اختلاط نهایی بتن به همراه درصد وزنی مناسب الیاف پلی پروپیلن آورده شده است که این درصد های وزنی متناسب نسبت به وزن سیمان مورد مصرفی در قالب تعیین گشته است .

جدول ۱. شماره نمونه ها به همراه درصد اختلاط الیاف

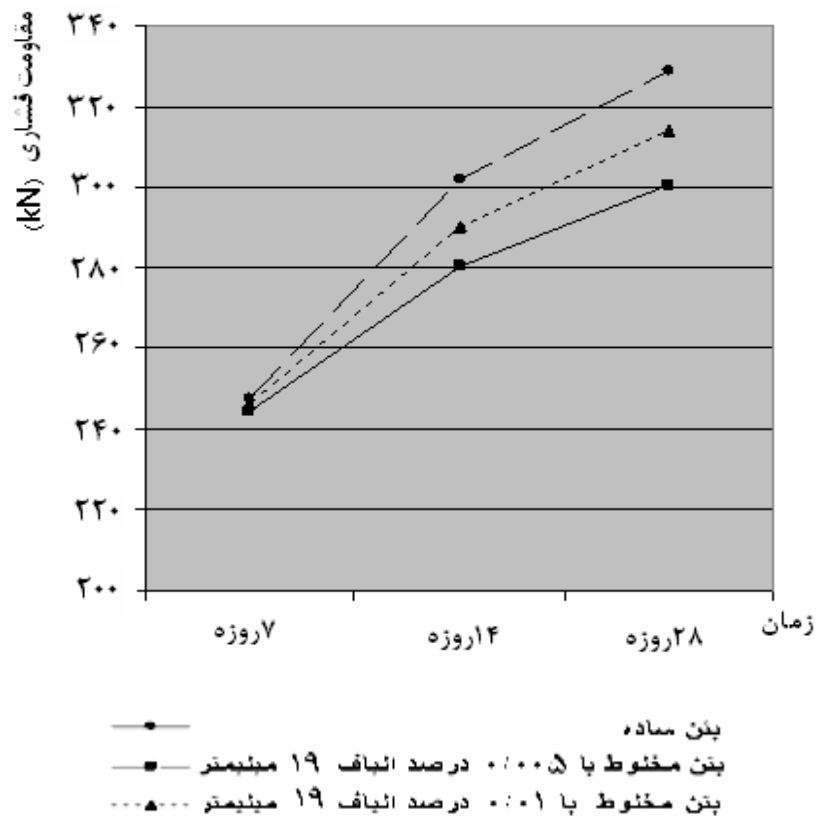
شماره نمونه	نوع اختلاط
۱	بتن ساده (بدون الیاف)
۲	بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۹ میلیمتر
۳	بتن مخلوط با ۰/۰۱ درصد الیاف ۱۹ میلیمتر
۴	بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۲ میلیمتر
۵	بتن مخلوط با ۰/۰۱ درصد الیاف ۶ میلیمتر

همانطور که اشاره گردید این نسبت درصد اختلاط انتخاب شده نتایج حاصل از شکستن چهار نمونه می باشد تا بتوانیم درصد اختلاط مناسب با طول الیاف مصرفی را بدست آوریم حال برای رسیدن به نتایج مناسب تر تعداد آزمایشات را برای هر یک از این نمونه ها افزایش می دهیم که به قرار زیر می گردد :

۱.۴. آزمایش مقاومت فشاری

۱.۴.۱. آزمایش مقاومت فشاری برای بتن مخلوط با الیاف ۱۹ میلیمتر

در شکل ۵ میانگین مقاومت فشاری در طی زمان های تعیین شده و میانگین حاصل از شکستن ده نمونه می باشد که مقایسه بین بتن ساده و بتن مخلوط با الیاف می باشد .

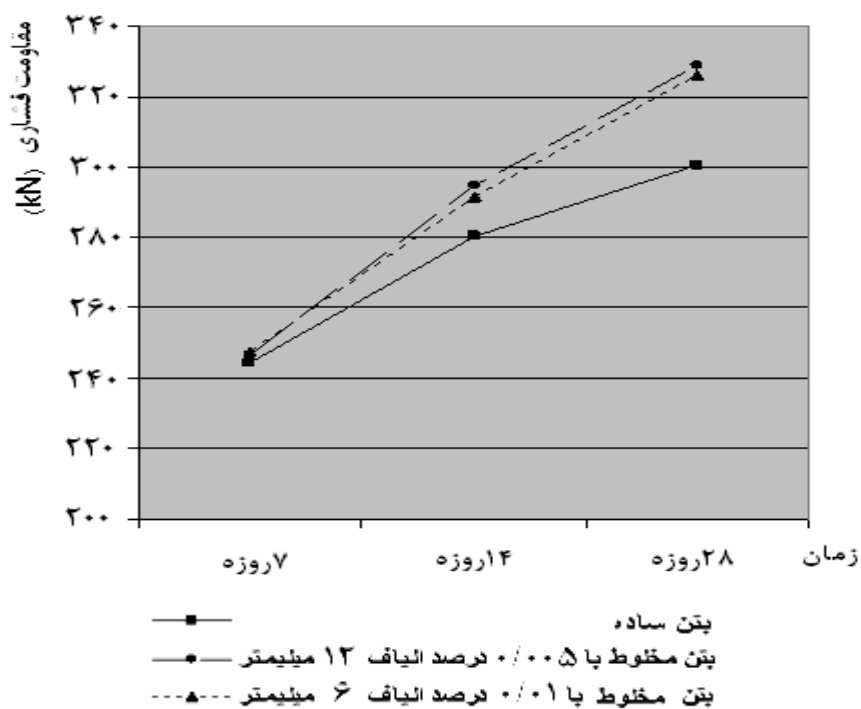


شکل ۵. مقایسه مقاومت فشاری بتن ساده با بتن مخلوط با الیاف ۱۹ میلیمتر

همانطور که در شکل نشان داده شده است بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۹ میلیمتر دارای مقاومت فشاری بیشتر نسبت به بتن ساده و بتن مخلوط با ۰/۰۱ درصد الیاف ۱۹ میلیمتر را دارا می باشد و روند صعودی نمودار در مدت زمان نگهداری ۲۸ روزه دارای روند افزایشی بیشتری می باشد .

۲.۱.۴. آزمایش مقاومت فشاری بتن مخلوط با الیاف ۱۲ و ۶ میلیمتر

در شکل ۶ میانگین مقاومت فشاری در طی زمان های تعیین شده و میانگین حاصل از شکستن ده نمونه می باشد که مقایسه بین بتن ساده و بتن مخلوط با الیاف می باشد .



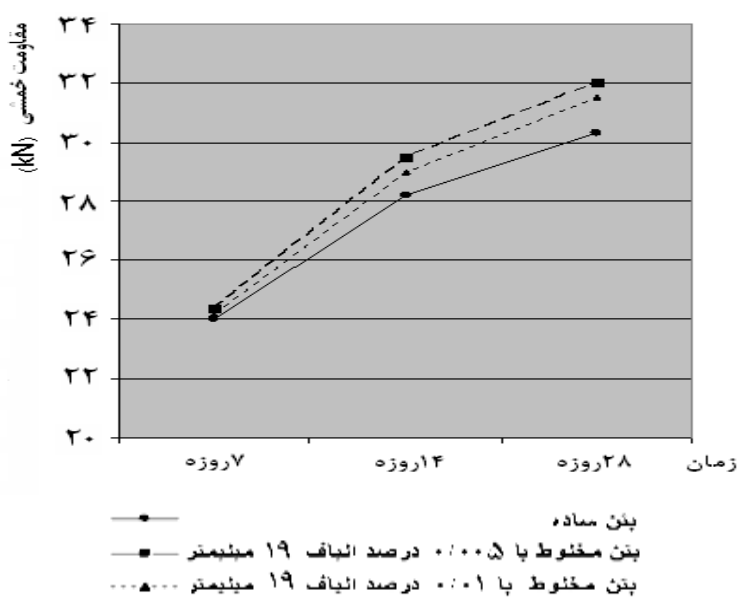
شکل ۶. مقایسه مقاومت فشاری بتن ساده با بتن مخلوط با الیاف ۱۲ و ۶ میلیمتر

بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۲ میلیمتر دارای مقاومت فشاری بیشتری می باشد و همچنین روند صعودی نمودار برای الیاف ۱۲ میلیمتر در مدت زمان نگهداری ۲۸ روزه بیشتر می باشد.

۵. آزمایش مقاومت خمشی

۵.۱. آزمایش مقاومت خمشی بتن مخلوط با الیاف ۱۹ میلیمتر

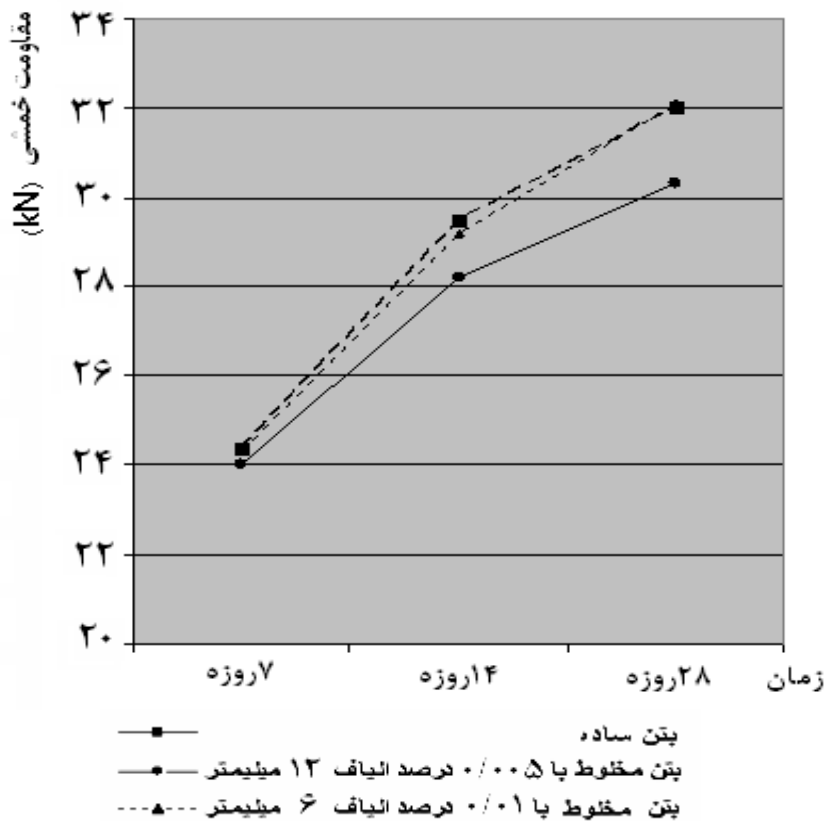
در شکل ۷ میانگین مقاومت خمشی در طی زمان های تعیین شده و میانگین حاصل از شکستن ده نمونه می باشد که مقایسه بین بتن ساده و بتن مخلوط با الیاف می باشد.



شکل ۷. مقایسه مقاومت خمشی بتن ساده با بتن مخلوط با الیاف ۱۹ میلیمتر

۲.۵. آزمایش مقاومت خمشی بتن مخلوط با الیاف ۶ و ۱۲ میلیمتر

شکل ۸ میانگین مقاومت خمشی در طی زمان های تعیین شده و میانگین حاصل از شکستن ده نمونه ، که مقایسه بین بتن ساده و بتن مخلوط با الیاف می باشد را نشان میدهد .



شکل ۸. مقایسه مقاومت خمشی بتن ساده و بتن مخلوط با الیاف ۶ و ۱۲ میلیمتر

بتن های مخلوط با الیاف در هر دو نمونه دارای مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بتن ساده می باشند و همانطور که مشاهده می گردد میزان افزایش مقاومت فشاری برای دوره مراقبت ۲۸ روزه دارای روند افزایشی و صعودی بیشتری نسبت به دو دوره زمان دیگر دارد.

۶. نتایج و مباحث

نتایج حاصل از آزمایشات صورت گرفته روی نمونه ها در خصوص اندازه گیری مقاومت فشاری و خمشی و تاثیر درصد اختلاط الیاف و اهمیت طول الیاف مورد بررسی قرار گرفت . در مورد تاثیر درصد اختلاط الیاف باید توجه کرد که درصد اختلاط الیاف بسیار مهم می باشد چرا که اگر این درصد زیاد در نظر گرفته شود الیاف توانایی یکنواخت شدن در سطح بتن را نداشته و بصورت نقاط گلوله ای شکل در می آیند که در هنگام نیرو وارد کردن این نقاط باعث تمرکز تنش شده و شکست زودتر حاصل می شود و اگر درصد اختلاط الیاف کم باشد ، عملکرد لازم را برای تقویت بتن به ما نمی دهد .

در مورد تاثیر طول الیاف ، الیاف با طول بلند از نظر اتصال بین دانه های بتن عملکرد بهتری دارند ولی از نقطه نظر نحوه مخلوط شدن نسبت به الیاف با طول کمتر عملکرد ضعیف تری دارند .

بررسی نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS

برای مقایسه کردن داده های بدست آمده با یکدیگر و تعیین اختلاف معنی دار بین میانگین نمونه های فشاری و خمشی در این تحقیق استفاده شد. نتایج حاصله نشان دهنده تایید و دارا بودن اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد بین

میانگین ها می باشد . نحوه بررسی داده ها با استفاده از نرم افزار به قرار زیر می باشد که برای هر یک از مقاومت بدست آمده از هر نمونه کدی به قرار زیر تعریف می شود:

مقاومت ۷ روزه بتن ساده کد ۱

مقاومت ۷ روزه بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۹ میلیمتر کد ۲

مقاومت ۷ روزه بتن مخلوط با ۰/۰۱ درصد الیاف ۱۹ میلیمتر کد ۳

مقاومت ۷ روزه بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۲ میلیمتر کد ۴

مقاومت ۷ روزه بتن مخلوط با ۰/۰۱ درصد الیاف ۶ میلیمتر کد ۵

همین کد ها برای مقاومت دیگر یعنی ۱۴ و ۲۸ روزه نیز در نظر گرفته شد با استفاده از نرم افزار میانگین حاصل از این کدها را در سطح معنی دار ۹۵ درصد تعیین گشت و سپس آزمون آنها را برای این میانگین ها اعمال کردیم .

۷. نتیجه گیری

طبق نتایج بدست آمده هرچه قدر طول الیاف در ضخامت ثابت بیشتر می شود (از طول ۶ به ۱۲ و ۱۹) از نظر افزایش در مقاومت فشاری و خمشی عملکرد بهتری هنگامیکه بتن تحت فشار و خمش قرار می گردند اجزای سازنده بتن در حال دور شدن و جدا شدن از یکدیگر می باشند و چون در داخل بتن حفره های بسیار کوچک آن هم به تعداد زیاد وجود دارد در نتیجه این حفره ها به جدا شدن ذرات و اجزای بتن کمک کرده و زودتر باعث شکستگی در بتن می گردند ولی در بتن الیافی ، الیاف در این منافذ و حفره های کوچک نفوذ کرده و هنگامیکه بتن تحت بار خمشی قرار می گیرد باعث این می شود که اجزای و ذرات بتن را در کنار یکدیگر نگه داشته و مانع از دور شدن و جدا شدن اجزای می گردد البته باید توجه کرد که میزان درصد اختلاط الیاف در بتن برای طول های بلندتر به گونه ای تعیین گردد که بتوان این الیاف را در سطح بتن بطور یکنواخت پراکنده کرد . طبق بررسی های انجام شده با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن در سطح بتن از ۰/۰۰۵ درصد تا ۰/۰۱ مقاومت فشاری تا ۳۱۴ و ۳۲۹ کیلو نیوتن افزایش یافته در مورد مقاومت خمشی از ۳۱/۵ تا ۳۲/۵ کیلو نیوتن افزایش هستیم پس مناسب ترین درصد اختلاط برای الیاف پلی پروپیلن در بتن ، بتن مخلوط با ۰/۰۰۵ درصد الیاف ۱۹ و ۱۲ میلیمتر می باشد . افزودن الیاف پلی پروپیلن در کمترین حالت ۴/۴ درصد و در بیشترین حالت ۹/۴ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری بتن و در مورد مقاومت خمشی افزودن این الیاف در کمترین حالت ۴ درصد و در بیشترین حالت ۶/۳ درصد باعث افزایش شده است . در مجموع استفاده از مقادیر معینی از الیاف در مخلوط های بتنی نه تنها بر روی خواص فشاری و خمشی بتن تاثیر نامطلوب نمی گذارد بلکه باعث افزایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بتن نیز می گردد . در مقایسه این نتایج با تحقیقات صورت گرفته توسط آقایان Alhozaimy و Soroushian در این زمینه نیز شاهد افزایش در مقاومت فشاری و خمشی بوده ولی با این تفاوت که در تحقیقات این افراد میزان درصد افزایش مقاومت فشاری و خمشی متفاوت می باشد (برای مقاومت فشاری ۷ درصد و برای مقاومت خمشی ۸ درصد) که این اختلافات به خاطر متفاوت بودن درصد های اختلاط الیاف در بتن می باشد که این تفاوت در درصد اختلاط الیاف ناشی از متفاوت بودن قالب های مورد استفاده در این تحقیق می باشد

۸. منابع :

- 1- D. J. Hannant, " Materials Science and Technology", 1995.
- 2- R. X. Shen., "Fiber Cement Products" ., 1984.
- 3- P.N. Balaguru, S.P. Shah., "Fiber-reinforced cement Composites" ., 1992.
- 4- A.M. Alhozaimy, P.Soroushian, F.Mirza., "Cement and Concrete Composites" ., 1996.
- 5- Y.Ma, M.Tan, K.Wu., Materials and Structures., April 2002.
- 6- Wongtanakitcharoen Thanasakand, E. Naaman , Materials and Structures, 2007.
- 7- Komonen and Penttala., Fire Technology, 2003
- 8- ACI Committee 211., August 2004 .
- 9- ASTM C-1116., Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete , 1997 .