



[www.cpjournals.com](http://www.cpjournals.com)

نشریه عمران و پروژه  
Civil & Project Journal (CPJ)

## Laboratory study of the effect of various fibers on the physical and chemical properties of fiber concrete

Mehdi Vajdian<sup>۱</sup>, Kian Asghari<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>- Faculty, School of Civil Engineering, College of Civil Engineering, Islamic Azad University of Aligudarz, Aligudarz, Iran

Email: [m.vajdian@gmail.com](mailto:m.vajdian@gmail.com)

<sup>۲\*</sup>- M.Sc. of Structural Engineering, School of Civil Engineering, College of Civil Engineering, Islamic Azad University of Aligudarz, Aligudarz, Iran

Email: [kianasghari۷۷۷@gmail.com](mailto:kianasghari۷۷۷@gmail.com)

### ABSTRACT

*The use of fiber concrete can have a significant change in the quantity and quality of running structures or future plans of the country. Fiber concrete is actually a composite that increases the tensile strength by applying the reinforcing fiber inside the concrete mixture and is not easily break down under the impact of impact loads. This composite combination has the proper integration and continuity and the possibility of using concrete as a possible material to produce wiggly-resistant surfaces. The use of macrosynthetic fibers increased the physical and chemical properties of concrete and reduced shrinkage of fresh and hardened concrete. Macrosynthetic fiber can be a suitable replacement for metal fiber and thermal rebars, so the use of this type of fiber has spread in recent years. Fiber concrete is currently widely used in various applications such as highways, foundations, military industries, protection walls, and other cases. In this research, the reason for the necessity of using kortta fiber, construction method, mechanical properties of fiber concrete samples according to the results of applications and research has been discussed.*

**Keywords:** Fiber concrete, Physical and chemical properties, Macrosynthetic fiber, Composite, Kortta fiber



www.cpjournals.com

## نشریه عمران و پروژه

Civil & Project Journal (CPJ)

# بررسی آزمایشگاهی تأثیر انواع الیاف بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی بتن الیافی

کیان اصغری<sup>۱\*</sup>، مهدی وجدیان<sup>۲</sup>

\*- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی الیگودرز، الیگودرز، ایران  
پست الکترونیکی: kianasghari777@gmail.com

۲- هیأت علمی، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی الیگودرز، الیگودرز، ایران  
پست الکترونیکی: m.vajdian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

### چکیده

استفاده از بتن الیافی می تواند تحول چشمگیری در کم و کیف سازه های در دست اجرا یا طرح های آینده کشور داشته باشد. بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، تحت اثر بار های ضربه ای به راحتی از هم پاشیده نمی شود و مقاومت کششی آن فوق العاده افزایش می یابد. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل پذیر جهت تولید سطوح مقاوم پیرانحنا را فراهم می آورد. امروزه استفاده از الیاف های ماکروسینتتیک باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی بتن و کاهش جمع شدگی بتن تازه و سخت شده می شود. الیاف ماکروسینتتیک جایگزین مناسبی برای الیاف فلزی و آرماتور های حرارتی می باشد، به همین دلیل مصرف این نوع از الیاف در سال های اخیر گسترش یافته است. در این تحقیق دلیل ضرورت استفاده از الیاف کورتا، کاربرد های بتن الیافی، نحوه ساخت و خواص مکانیکی نمونه های مسلح به الیاف با توجه به نتایج کاربرد ها و پژوهش های انجام شده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: بتن الیافی، خواص فیزیکی و شیمیایی، الیاف ماکروسینتتیک، کامپوزیت، الیاف کورتا

## ۱- مقدمه

ایده بتن سبک به منظور کاهش وزن ساختمان و به تبع آن کاهش نیروی زلزله مطرح شده است. کم بودن مقاومت بتن سبک عامل مهمی در محدود شدن دامنه کاربرد این نوع بتن می باشد. بدین منظور بتن سبک الیافی یکی از مصالح ساختمانی است که به وسیله آمیختن مخلوط مناسبی از سیمان، آب، پوکه معدنی (لیکا) و الیاف به وجود می آید. امروز بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح جهان و به عنوان ماده ساختمانی قرن بیست و یکم شناخته شده است. ساخت این ماده مرکب با استفاده از ارزان ترین و در دسترس ترین مواد ساده از یک سو انعطاف پذیری، خواص مقاومتی و دوام آن از سوی دیگر و نیز استفاده از موادی در ساخت آن که به پاکسازی و کاهش آلودگی محیط زیست کمک می نماید، موجب آن شده که بتن به عنوان مصالح ممتاز مطرح شود [۱].

به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد ممکن، در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می شود، متداول شده است. الیاف، مقاومت کششی و شکل پذیری ملات و بتن را به نحو قابل توجهی افزایش داده و رفتار بتن را از حالت ترد به حالت نرم و شکل پذیر در می آورد. هم اکنون الیاف به عنوان یکی از موارد ساختمانی به همراه بتن در اکثر کشورها به نحو چشمگیری مورد استفاده قرار می گیرد. تکنولوژی بتن پرمقاومت توسعه ای جدید در صنعت ساخت سازه های بتنی محسوب می شود. بدین دلیل نیاز به استفاده از الیاف در بتن پرمقاومت کاملاً مشهود است. جهت افزایش مقاومت کششی و جلوگیری از گسترش ترک و بویژه افزایش نرمی از الیاف در بتن استفاده می شود. بتن تقویت شده با الیاف خواص مناسبی همچون مقاومت فوق العاده، قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن را دارا می باشد که متناسب با آن ها می توان موارد کاربرد فراوانی برای آن یافت. امروزه کاربرد بتن با نرمی بالاتر که بتواند تغییر شکل های زیاد را بدون شکست تحمل نماید، مورد توجه قرار گرفته است. مقاومت فشاری فوق العاده بالا از بتن مسلح شده با الیاف با استفاده از دانه بندی مناسب که به طور همگن مخلوط شده باشند، بدست می آید. از سوی دیگر، کنترل آسیب به طور عمده به دلیل تقسیم تصادفی از فیبرهای تقویت کننده در اختلاط حاصل می شود. تحقیقات در خصوص تأمین نرمی لازم در بتن با الیاف های مختلف و حتی حذف آرماتور در حال انجام می باشد. هدف از کاربرد الیاف در بتن افزایش مقاومت کششی، کنترل گسترش ترک ها و افزایش طاقت بتن می باشد. در صورت تشکیل یک ترک در جهات مختلف الیاف اتصالاتی را بوجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می نماید. بنابراین رشته های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترکهای زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می دهند تا قطعه بتنی بتواند در مقابل بارهای وارده در یک مقطع ترک خورده تغییر شکل های زیادی را پس از نقطه حداکثر تنش تحمل نماید [۲].

مدرسی و همکاران تاثیر آب خلیج فارس بر خواص مقاومتی بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن را بررسی کردند. نتایج آزمایشات نشان می دهد که مقاومت فشاری بتن با افزودن الیاف، تاثیر سوی شرایط مخرب خلیج فارس بر مقاومت فشاری بتن کمتر می شود. همچنین شرایط محیطی خلیج فارس باعث کاهش مقاومت خمشی بتن می شود اما با افزودن ۳ کیلوگرم الیاف پلی پروپیلن به هر متر مکعب بتن می توان تاثیر سوء شرایط محیطی خلیج فارس را بر مقاومت خمشی بتن خنثی کرد [۳].

سونگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ میلادی تاثیر الیاف پلی پروپیلن مقاوم در برابر قلیایی ها را بر مقاومت فشاری بتن های سبک بررسی کردند و بدین نتیجه دست یافتند که بین مقدار الیاف مصرفی و مقدار مقاومت فشاری بتن الیاف دار رابطه وجود دارد. ایشان با افزایش مصرف الیاف در ترکیب بتن ها توانستند مقاومت بتن های تولید شده را افزایش دهند [۴].

دکتر پرمالاتا و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی خواص مقاومت بتن های حاوی الیاف پلی پروپیلن را در رده های مقاومتی مختلف بررسی کردند و دریافتند که مصرف ۱ درصد حجمی از الیاف پلی پروپیلن تا ۱۲ برابر باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن ها شده است [۵].

در آیین نامه های بتن دنیا اکثراً علت تفاوت مقاومت فشاری را عمدتاً ناشی از تفاوت ابعاد و شکل دو نمونه بتنی می دانند. در این پژوهش اثر نوع بتن نیز به عنوان یک پارامتر مستقل روی ضرایب تبدیل بررسی می گردد.

## ۲- مصالح مصرفی

امروزه با پیشرفت علم و فناوری در زمینه بتن های الیاف دار مشخص شده است که مسئله دوام بتن در محیط های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. مشاهده خرابی هایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن ها، در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشورهای در حال توسعه، افکار و اذهان مهندسان و شیمیدانان را به سمت طرح بتن هایی با ویژگی خاص و با دوام لازم سوق داده است. در این راستا در پاره ای از کشورها دستورالعمل ها و استانداردهای خاصی نیز برای طرح بتن با عملکرد بالا تهیه شده و طراحان و مجریان در بعضی از این کشورهای پیشرفته، ملزم به رعایت این دستورالعمل ها گشته اند. بنابراین در تحقیق صورت یافته انتخاب مصالحی اعم از نوع سیمان و پوکه معدنی (لیکا) با سایز های مورد نظر نقش ویژه ای در ساخت بتن های مقاوم داشته است. کیفیت و الزامات آب مصرفی در بتن با عملکرد بسیار بالا، همانند بتن معمولی باید تمیز و عاری از مواد زیان آور باشد. آب استفاده شده در این تحقیق، از آب شرب شهر الیگودرز تهیه شده است که از نظر کیفیت مورد قبول می باشد.

پس از تهیه مصالح درشت دانه و انتقال آن به انبار آزمایشگاه با شستشوی مصالح و دانه بندی آنها براساس دانه بندی استاندارد ملی ایران به شماره ۷۶۵۷-ISIRI [۶] صورت می پذیرد. مواد مضر موجود در مصالح حذف و دانه بندی اصلاح گردید.

همچنین پس از تهیه ریز دانه اقدام به دانه بندی آن براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۷۶۵۷-ISIRI [۶] نمودیم، قبل از ساختن نمونه ها، درصد رطوبت دانه ها اندازه گیری شد و در جدول ضمن ارائه مشخصات دانه بندی نمونه ای از ریز دانه، مقادیر مربوطه با محدوده مجاز توصیه شده توسط استاندارد ملی ایران مقایسه نموده ایم.

جدول ۱: نتایج آزمایش دانه بندی لیکای ریز دانه

شماره الک	وزن الک (gr)	وزن الک با لیکا (gr)	وزن مصالح (gr)	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده هر الک	درصد رد شده هر الک
۴	۴۹۲	۵۴۸	۵۶	۶/۵۹	۶/۵۹	۹۳/۴۱
۸	۳۰۲	۳۹۷	۹۵	۱۱/۱۸	۱۷/۷۷	۸۲/۲۳
۱۶	۳۴۰	۴۴۸	۱۰۸	۱۲/۷۱	۳۰/۴۸	۶۶/۵۲
۳۰	۳۴۹	۵۴۶	۱۹۷	۲۳/۱۷	۵۳/۶۵	۴۶/۳۵
۴۰	۴۰۰	۵۲۶	۱۲۶	۱۴/۸۲	۶۸/۴۷	۳۱/۵۳
۵۰	۳۳۹	۴۲۸	۸۹	۱۰/۴۷	۷۸/۹۴	۲۱/۰۶
۷۰	۳۶۰	۴۴۴	۸۴	۹/۸۸	۸۸/۸۲	۱۱/۱۸
۱۰۰	۲۶۰	۳۴۱	۸۱	۹/۵۳	۹۸/۳۵	۱/۶۵
زیر الک	۵۰۲	۵۱۶	۱۴	۱/۶۵	۱۰۰	۰
مجموع			۸۵۰	۱۰۰	۴۴۳/۰۷	۳۵۲/۹۳

جدول ۲: نتایج آزمایش دانه بندی لیکای درشت دانه

شماره الک	وزن الک (gr)	وزن الک با لیکا (gr)	وزن مصالح (gr)	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده هر الک	درصد رد شده هر الک
۱۲/۷	۳۶۵	۳۶۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۱۱/۲	۲۷۲	۲۷۲	۰	۰	۰	۱۰۰
۹/۵۱	۳۴۰	۳۴۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۸	۳۴۹	۴۵۴	۳۲	۸/۳۱	۸/۳۱	۹۱/۶۹
۶/۳۶	۴۰۰	۷۶۳	۱۱۶	۳۰/۱۳	۳۸/۴۴	۶۱/۵۶
۵/۶	۳۳۹	۵۵۶	۸۲	۲۱/۳۱	۵۹/۷۵	۴۰/۲۵
۴/۷۶	۴۹۲	۷۸۵	۱۴۱	۳۶/۶۲	۹۶/۳۷	۳/۶۳
۲/۳۸	۳۰۲	۳۲۴	۱۴	۳/۶۳	۱۰۰	۰
زیر الک	۵۰۲	۵۰۲	۰	۰	۱۰۰	۰

## ۲-۱- الیاف

در این تحقیق از الیاف کبریتی (از مواد اصلاح شده پلی پروپیلن) و پلی پروپیلن که به صورت چاقد هستند، با نسبت ۱ درصد حجمی بتن استفاده گردیده است. این الیاف ها محصول کشور ایران از کارخانه نانو و نخ سیرجان می باشد که مشخصات آنها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات الیاف های مصرف شده [۷]

نقطه ذوب (C°)	مقاومت کششی (MPa)	مدول الاستیسیته (GPa)	چگالی جرمی (gr/cm <sup>3</sup> )	طول الیاف (mm)	نوع الیاف
۱۶۰-۱۷۰	۴۵۰-۷۰۰	۳/۵-۷	۰/۹۱	۵۰	کبریتی
۱۶۰-۱۷۰	۳۰۰-۴۰۰	۳-۴	۰/۹۱	۳۰	پلی پروپیلن

## ۲-۲- سیمان

سیمان ماده ی اصلی چسباننده در بتن است. سیمان های مختلف بسته به درصد ترکیباتی که دارند می توانند ویژگی های شیمیایی متفاوتی از خود نشان دهند. در این تحقیق سیمان استفاده شده، در طرح مخلوط های مختلف از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه درود (بدون ذرات نانو و میکروسیلیس) می باشد. این نوع سیمان مطابق با مشخصات مطرح شده در استاندارد ملی ایران به شماره ISIRI-۳۸۹ [۸] و استاندارد ASTM C ۱۵۰ تولید می شود و دارای حداکثر (C<sub>3</sub>A) میزان ۸ درصد می باشد. که ویژگی آن در جدول ۴ آورده شده است. همچنین آنالیز شیمیایی سیمان درود تیپ ۲ نیز در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۴: مشخصات سیمان مصرفی

مقدار در استاندارد ISIRI-۳۸۹	سطح مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	انبساط اتوکلاو %	زمان گیرش			فشاری مقاومت (kg/cm <sup>2</sup> )		حرارت هیدراسیون (Cal/gr)
			اولیه	نهایی	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	
ISIRI-۳۸۹	≥۲۸۰۰	<۰/۸	≥۴۵	≤۳۶۰	>۱۰۰	>۱۷۵	>۳۱۵	<۷۰

جدول ۵: آنالیز شیمیایی سیمان درود

آنالیز شیمیایی	L.O.I %	InR %	SO <sub>r</sub> %	MgO %	SiO <sub>r</sub> %	Fe <sub>۲</sub> O <sub>r</sub> %	Al <sub>۲</sub> O <sub>r</sub> %	C <sub>3</sub> A %
مقدار در استاندارد ISIRI-۳۸۹	≤۳	≤۰/۷۵	≤۳	≤۵	≥۲۰	<۶	≤۶	<۸

## ۳- طرح اختلاط

در مورد طرح اختلاط بتن الیافی در کمیته ACI ۵۴۴-۳R توضیح داده شده است. طرح نهایی با تغییرات صورت گرفته به دلیل کاربرد الیاف پلی پروپیلن و کبریتی برای ساخت نمونه ها انتخاب گردید.

جدول ۶: جزئیات اختلاط بتن مصرفی برای نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر

سیمان (kg/m <sup>3</sup> )	لیکای ریز دانه (kg/m <sup>3</sup> )	لیکای درشت دانه (kg/m <sup>3</sup> )	آب (kg/m <sup>3</sup> )	آب سیمان
۳۱۲	۸۵۰	۳۸۵	۱۷۳	۰/۵۵

جدول ۷: جزئیات اختلاط بتن مصرفی برای نمونه های مکعبی (۱۵×۱۵×۱۵) سانتیمتر

سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب
۱۰۳۰	۲۸۰۵	۱۲۷۰	۵۷۱	۰/۵۵

جدول ۸: جزئیات اختلاط بتن مصرفی برای نمونه های مکعبی (۲۰×۲۰×۲۰) سانتیمتر

سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب
۲۴۳۳	۶۶۳۰	۳۰۰۳	۱۳۴۹	۰/۵۵

جدول ۹: جزئیات اختلاط بتن مصرفی برای نمونه های مکعبی (۲۵×۲۵×۲۵) سانتیمتر

سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب
۴۷۲۷	۱۲۸۷۷	۵۸۳۳	۲۶۲۱	۰/۵۵

جدول ۱۰: جزئیات اختلاط بتن مصرفی برای نمونه های مکعبی (۳۰×۳۰×۳۰) سانتیمتر

سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب
۸۰۴۹	۲۱۹۳۰	۹۹۳۳	۴۴۶۳	۰/۵۵

جدول ۱۱: جزئیات اختلاط بتن مصرفی برای نمونه های استوانه ای (۱۵×۳۰) سانتیمتر

سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب	سیمان آب
۱۵۲۹	۴۱۶۵	۱۸۸۶	۸۴۸	۰/۵۵

جدول ۱۲: جزئیات الیاف مصرف شده برای نمونه های بتن الیافی

مقدار ۱ درصد حجمی الیاف (gr)					
نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر	نمونه های (۱۵×۱۵×۱۵) سانتیمتر	نمونه های (۲۰×۲۰×۲۰) سانتیمتر	نمونه های (۲۵×۲۵×۲۵) سانتیمتر	نمونه های (۳۰×۳۰×۳۰) سانتیمتر	نمونه های (۱۵×۳۰) سانتیمتر
۱۰	۳۴	۸۰	۱۵۶	۲۷۰	۵۳

#### ۴- ساخت و عمل آوری نمونه ها

مراحل ساخت بتن الیافی براساس آیین نامه کمیته ۵۴۴-ACI انجام شد. ساخت بتن شامل مراحل توزین و پیمانه کردن و همچنین اختلاط اجزاء آن می باشد. رعایت نسبت ها و مقادیر اجزاء بتن (طرح مخلوط بتن) با توجه به رواداری های مورد نظر در آیین نامه کمیته ۵۴۴-ACI ضرورت دارد.

با توجه به آزمایش مقاومت فشاری و کششی برای نمونه های استوانه ای در مجموع تعداد ۵ نمونه استوانه ای با ابعاد (۱۵×۳۰) سانتیمتر ساخته شد. با توجه به آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه های مکعبی با ابعاد متغیر در مجموع تعداد ۲۹ نمونه مکعبی بتن

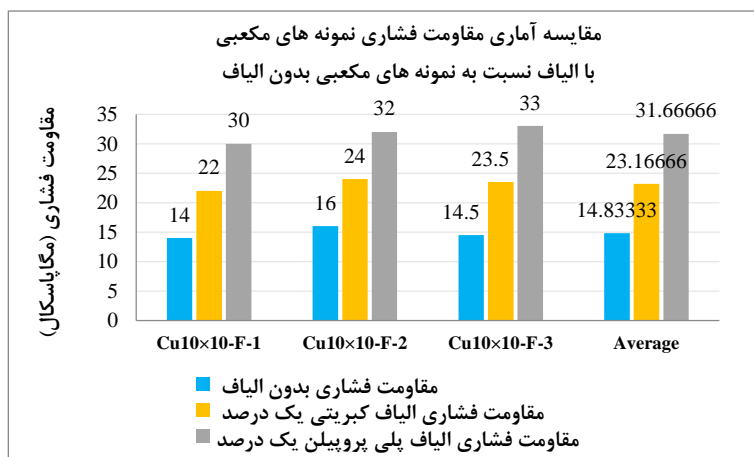
الیافی با ابعاد متغیر (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر)، (۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر)، (۲۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر)، (۲۵×۲۵×۲۵ سانتیمتر) و (۳۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر) ساخته شد.

عمل آوری نمونه های ساخته شده در ابعاد مختلف مکعبی و استوانه ای در این بخش از تحقیق، عمل آوری مرطوب (آب با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد) می باشد. در این عمل آوری بعد از نگهداری نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب، نمونه ها به مدت ۲۸ روز در حوضچه ی آب قرار می گیرند.

## ۵- شرح آزمایش

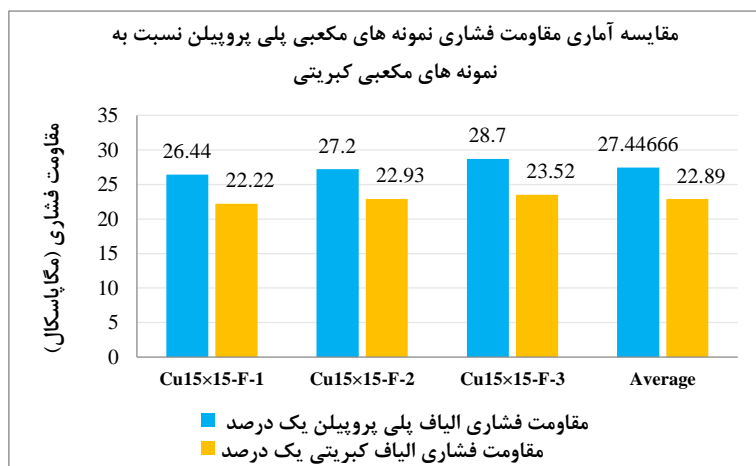
هدف از انجام این تحقیق بررسی آزمایشگاهی تأثیر انواع الیاف بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی بتن مسلح به الیاف می باشد. برای ساخت هر نوع بتن در ابعاد مختلف مکعبی و استوانه ای از دو نوع الیاف مختلف استفاده شد. در تحقیق صورت یافته از یک طرح اختلاط (ACI-۵۴۴) با ثابت نگاه داشتن مقادیر وزنی سایر مصالح و با الیاف متفاوت شامل ۲ سری استفاده شد، که سری A بتن ساخته شده با الیاف مش فیبرله شده از جنس کبریتی و سری B بتن ساخته شده با الیاف مش فیبرله شده از جنس پلی پروپیلن حاوی ۱ درصد حجمی الیاف و نیز یک طرح اختلاط (ACI-۵۴۴) مشابه همان طرح اختلاط بتن الیافی برای نمونه های شاهد با ثابت نگاه داشتن مقادیر وزنی سایر مصالح و بدون الیاف به منظور بررسی خواص مکانیکی بتن الیافی با وزن مخصوص بالا استفاده گردید. نمونه های ساخته شده مطابق آیین نامه مبحث نهم از مقررات ملی ساختمان در دو نوع استاندارد استوانه ای به ابعاد (۱۵×۳۰ سانتیمتر) و استاندارد مکعبی با ابعاد متغیر (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر)، (۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر)، (۲۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر)، (۲۵×۲۵×۲۵ سانتیمتر) و (۳۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر) جهت انجام پژوهش و انجام آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت کششی، انجام پذیرفت. همچنین با بررسی بتن های ساخته شده با پارامترهای مکانیکی متفاوت (مطابق طرح اختلاط پیشنهادی ACI-۵۴۴) و نمونه گیری های بعمل آمده، نمونه های ساخته شده در سن مورد نظر تحت آزمایش های دوام قرار گرفتند و با یکدیگر مقایسه شدند. با توجه به مطالب گفته شده انجام آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C۳۹ [۹]، آزمایش مقاومت کششی (برزیلی) مطابق استاندارد ASTM C۴۹۶ [۱۰]، استاندارد ملی ایران به شماره ISIRI-۲۱۰ [۱۱] برای محیط سولفوریک اسید، استاندارد ملی ایران به شماره ISIRI-۲۰۹ [۱۲] برای محیط اسیدی (کلریدریک اسید)، آزمایش نفوذ پذیری یا جذب آب در بتن سخت شده طبق استاندارد ASTM C۶۴۲ [۱۳]، آزمایش لس آنجلس یا تست سایش مطابق استاندارد ASTM C۹۴۴ [۱۴] برای سایش بتن یا ملات (به روش سمباده چرخان) انجام می پذیرد.

## ۶- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و کششی



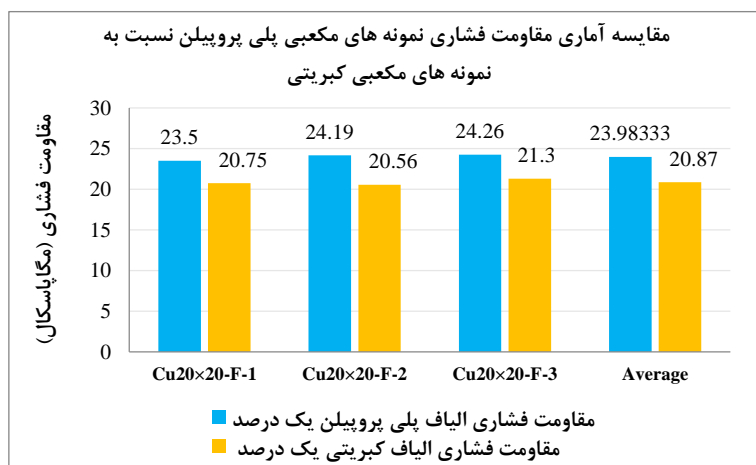
شکل ۱: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر با الیاف نسبت به بدون الیاف

در نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر مسلح به الیاف پلی پروپیلن نمونه با ۱ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه های بدون درصد حجمی الیاف کمترین مقدار مقاومت فشاری را دارند. میانگین مقاومت نمونه های بدون الیاف به نسبت میانگین مقاومت نمونه های مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر ۳۵/۹۶ درصد کاهش مقاومت داشته است. همچنین میانگین مقاومت نمونه های بدون الیاف به نسبت میانگین مقاومت نمونه های مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر ۵۳/۱۵ درصد کاهش مقاومت داشته است.



شکل ۲: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های (۱۵×۱۵×۱۵) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

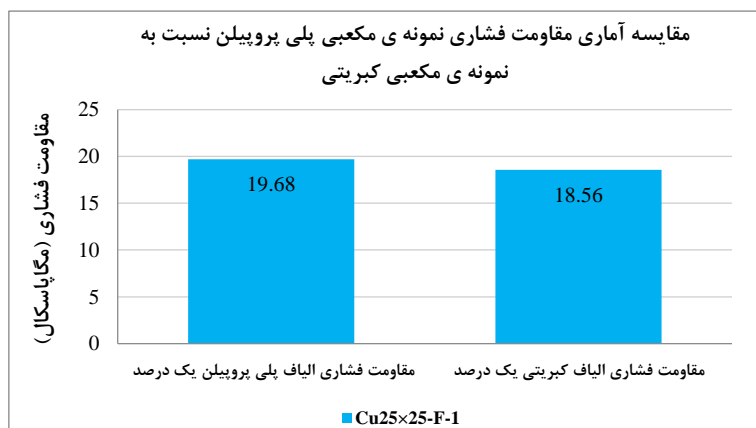
در نمونه های (۱۵×۱۵×۱۵) سانتیمتر مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر نمونه با ۱ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه های مسلح به الیاف کبریتی با ۱ درصد حجمی الیاف کمترین مقدار مقاومت فشاری را دارند. در نمونه ی اول مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۴/۲۲ مگاپاسکال یا ۱۵/۹۶ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی اول مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر کاهش یافته است. در نمونه ی دوم مسلح به الیاف کبریتی مقدار ۴/۲۷ مگاپاسکال یا ۱۵/۶۹ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی دوم مسلح به الیاف پلی پروپیلن کاهش یافته است. در نمونه ی سوم مسلح به الیاف کبریتی مقدار ۵/۱۸ مگاپاسکال یا ۱۸/۰۴ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی سوم مسلح به الیاف پلی پروپیلن کاهش یافته است.



شکل ۳: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های (۲۰×۲۰×۲۰) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

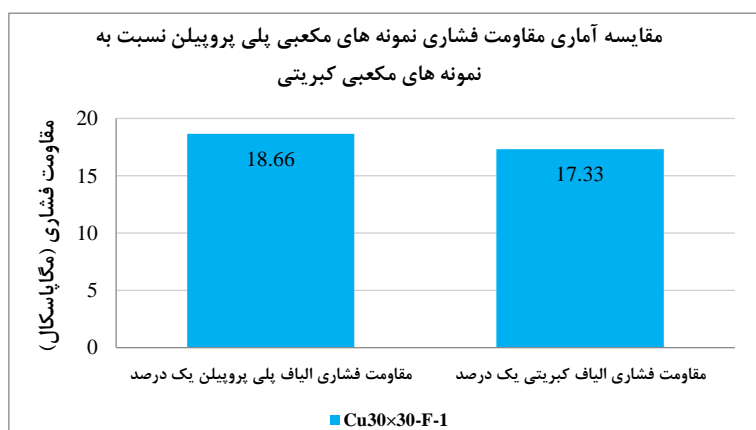


در نمونه های (۲۰×۲۰×۲۰) سانتیمتر مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر نمونه با ۱ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه های مسلح به الیاف کبریتی با ۱ درصد حجمی الیاف کمترین مقدار مقاومت فشاری را دارند. در نمونه ی اول مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۲/۷۵ مگاپاسکال یا ۱۱/۷۰ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی اول مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر کاهش یافته است. در نمونه ی دوم مسلح به الیاف کبریتی مقدار ۳/۶۳ مگاپاسکال یا ۱۵ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی دوم مسلح به الیاف پلی پروپیلن کاهش یافته است. در نمونه ی سوم مسلح به الیاف کبریتی مقدار ۲/۹۶ مگاپاسکال یا ۱۲/۲۰ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی سوم مسلح به الیاف پلی پروپیلن کاهش یافته است.



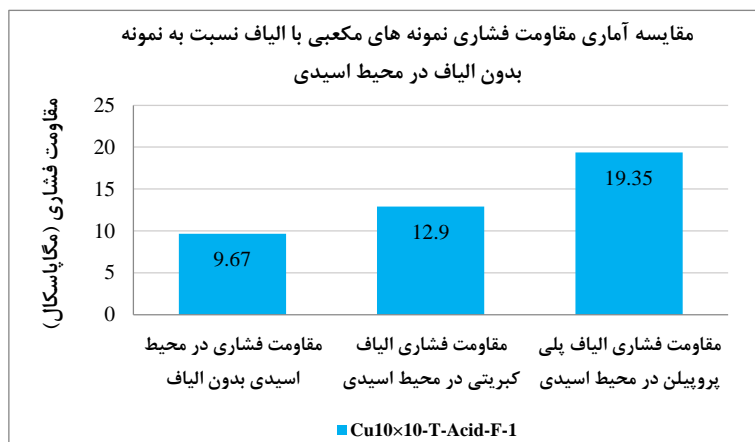
شکل ۴: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های (۲۵×۲۵×۲۵) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

در نمونه ی (۲۵×۲۵×۲۵) سانتیمتر مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۱/۱۲ مگاپاسکال یا ۵/۶۹ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر کاهش یافته است.



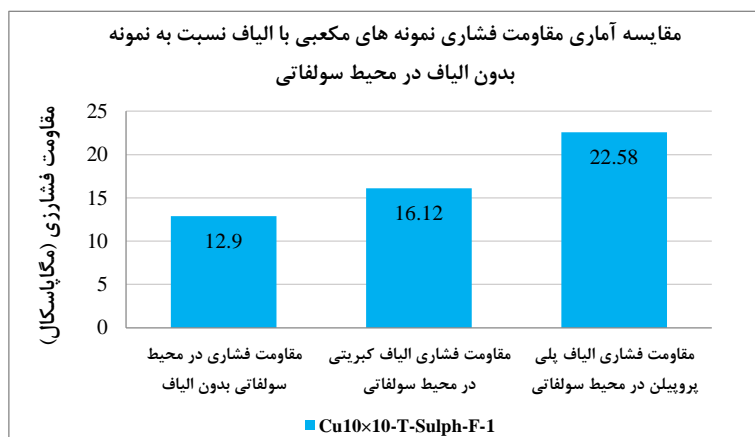
شکل ۵: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های (۳۰×۳۰×۳۰) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

در نمونه ی (۳۰×۳۰×۳۰) سانتیمتر مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۱/۳۳ مگاپاسکال یا ۷/۱۲ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر کاهش یافته است.



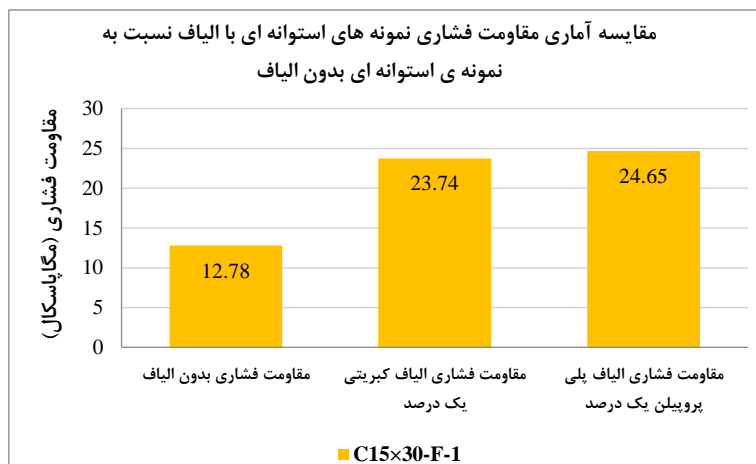
شکل ۶: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های مکعبی در محیط اسیدی

در نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن در محیط اسیدی با طول ۳۰ میلیمتر مقدار ۱۲/۳۱ مگاپاسکال یا ۳۸/۸۸ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر در محیط معمولی کاهش یافته است. در نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی در محیط اسیدی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۱۰/۲۶ مگاپاسکال یا ۴۴/۳۰ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر در محیط معمولی کاهش یافته است. همچنین در نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی در محیط اسیدی مقدار ۶/۴۵ مگاپاسکال یا ۳۳/۳۳ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن در محیط اسیدی کاهش یافته است.



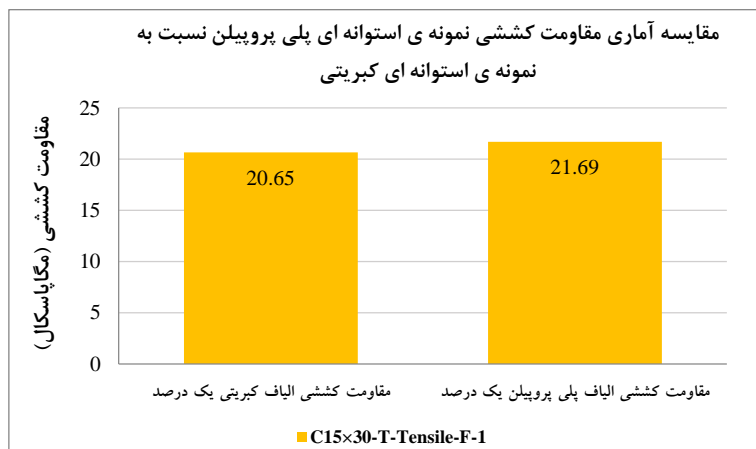
شکل ۷: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های مکعبی در محیط سولفاتی

در نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن در محیط سولفاتی با طول ۳۰ میلیمتر مقدار ۹/۰۸ مگاپاسکال یا ۲۸/۶۷ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر در محیط معمولی کاهش یافته است. در نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی در محیط سولفاتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۷/۰۴ مگاپاسکال یا ۳۰/۳۹ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر در محیط معمولی کاهش یافته است. همچنین در نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی در محیط سولفاتی مقدار ۶/۴۶ مگاپاسکال یا ۲۸/۶۰ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن در محیط سولفاتی کاهش یافته است.



شکل ۸: مقایسه مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای (۱۵×۳۰) سانتیمتر با الیاف نسبت به بدون الیاف

در نمونه ی استوانه ای مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر نمونه با ۱ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه بدون درصد حجمی الیاف کمترین مقدار مقاومت فشاری را دارد. در نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۰/۹۱ مگاپاسکال یا ۳/۶۹ درصد مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر کاهش یافته است.



شکل ۹: مقایسه مقاومت کششی نمونه های استوانه ای (۱۵×۳۰) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

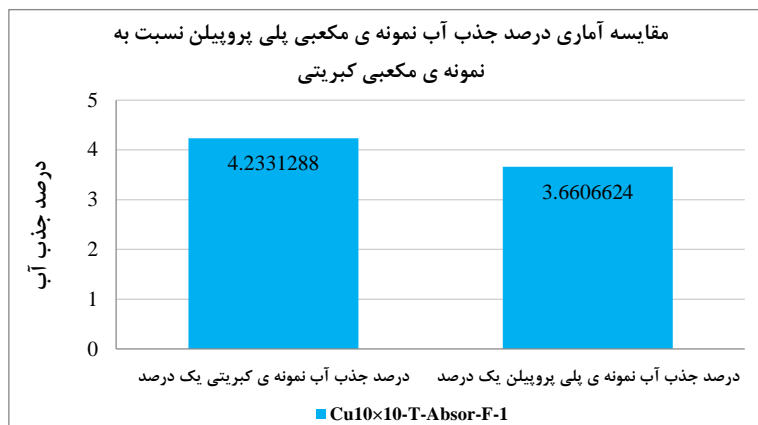
در نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی با طول ۵۰ میلیمتر مقدار ۱/۰۴ مگاپاسکال مقاومت کششی نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن با طول ۳۰ میلیمتر کاهش یافته است. این یعنی نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی به نسبت نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن ۴/۷۹ درصد کاهش مقاومت داشته است. بنابراین استفاده از الیاف پلی پروپیلن برای جبران ضعف بتن در ناحیه کششی بسیار موثرتر از الیاف کبریتی می باشد.

## ۷- نتایج آزمایش تست نفوذ آب

در آزمایش نفوذ پذیری یا جذب آب در بتن سخت شده عموماً مقدار جذب آب سنگدانه ها متناسب با اندازه و جنس آنها در حالت SSD بین ۰/۳ تا ۴/۵ درصد می باشد. مقدار درصد جذب آب آزمونه ها در هر زمان با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

m (وزن نمونه خشک) و m (وزن نمونه مرطوب) است.



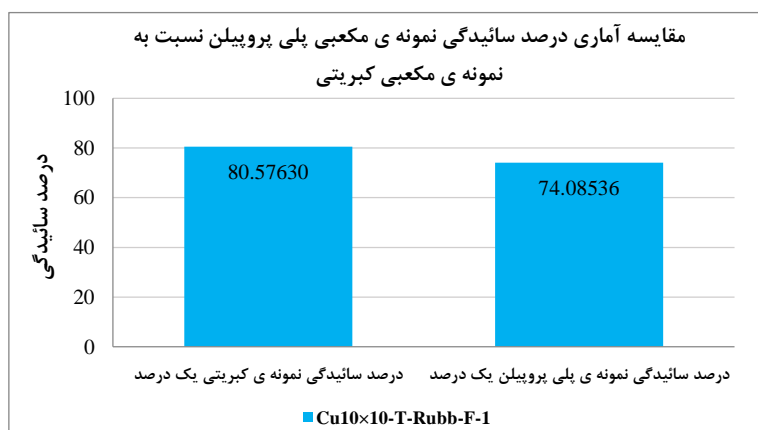
شکل ۱۰: مقایسه درصد جذب آب نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

در نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن جذب آب کمتری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی صورت گرفته است. بنابراین الیاف پلی پروپیلن برای جلوگیری از نفوذ آب در بتن در فصول سرد و سیکل های یخبندان موثرتر می باشد.

## ۸- نتایج آزمایش تست سایش

در آزمایش لس آنجلس یا تست سایش به روش سمباده چرخان درصد سائیدگی از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن نهایی}} \times 100 \quad (2)$$



شکل ۱۱: مقایسه درصد سائیدگی نمونه های (۱۰×۱۰×۱۰) سانتیمتر با الیاف پلی پروپیلن و کبریتی

در نمونه ی مسلح به الیاف پلی پروپیلن سائیدگی کمتری نسبت به نمونه ی مسلح به الیاف کبریتی صورت گرفته است. بنابراین الیاف پلی پروپیلن نسبت به الیاف کبریتی در مقابل ضربه های وارده بر نمونه های بتن الیافی مقاومت بهتری را از خود نشان می دهد.

## ۱۰- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر یک طرح اختلاط با ثابت نگه داشتن مقادیر وزنی سایر مصالح به دست آمده است. الیاف استفاده شده، الیاف کبریتی و الیاف پلی پروپیلن اصلاح شده (کورتا) می باشد. حداکثر الیاف استفاده شده به میزان ۱ درصد حجمی نمونه های بتنی است. طبق یافته های تحقیق نتایج حاصل از افزودن الیاف به صورت زیر ارائه شده است:

۱- با افزودن الیاف کبریتی، مقاومت فشاری نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) مقدار ۹ مگاپاسکال یا ۲۸/۴۲ درصد، نمونه های (۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر) مقدار ۴/۵۵ مگاپاسکال یا ۱۶/۵۸ درصد، نمونه های (۲۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر) مقدار ۳/۱۱ مگاپاسکال یا ۱۲/۹۶ درصد، نمونه های (۲۵×۲۵×۲۵ سانتیمتر) مقدار ۱/۱۲ مگاپاسکال یا ۵/۶۹ درصد و نمونه های (۳۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر) مقدار ۱/۳۳ مگاپاسکال یا ۷/۱۲ درصد در مقایسه با افزودن الیاف پلی پروپیلن کاهش یافته است.

۲- با افزودن الیاف کبریتی، مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای (۱۵×۳۰ سانتیمتر) در مقایسه با افزودن الیاف پلی پروپیلن، مقدار ۰/۹۱ مگاپاسکال یا ۳/۶۹ درصد کاهش یافته است.

۳- از آنجایی که مقاومت کششی بتن در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری آن است، با افزودن الیاف کبریتی، مقاومت کششی نمونه های (۱۵×۳۰ سانتیمتر) در مقایسه با افزودن الیاف پلی پروپیلن، مقدار ۰/۰۹ مگاپاسکال یا ۷/۰۸ درصد کاهش یافته است. بنابراین استفاده از الیاف پلی پروپیلن برای جبران ضعف بتن در ناحیه کششی بسیار موثر می باشد.

۴- با افزودن الیاف کبریتی، مقاومت فشاری نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) در محیط اسیدی مقدار ۶/۴۵ مگاپاسکال یا ۳۳/۳۳ درصد نسبت به نمونه های پلی پروپیلن کاهش یافته است. همچنین مقاومت فشاری برای نمونه های کبریتی در محیط سولفاتی مقدار ۶/۴۶ مگاپاسکال یا ۲۸/۶ درصد نسبت به نمونه های مسلح به الیاف پلی پروپیلن کاهش یافته است.

۵- با افزودن الیاف کبریتی، درصد جذب آب یا نفوذ پذیری نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) در مقایسه با افزودن الیاف پلی پروپیلن، مقدار ۰/۵۷ درصد کاهش یافته است. همچنین درصد سائیدگی یا سایش نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر) در مقایسه با افزودن الیاف پلی پروپیلن، مقدار ۶/۴۹ درصد کاهش یافته است.

## مراجع

- [۱] Neville and Brooks, ۲۰۰۲, Concrete Technology, translated by Ramezani pour, A, Shah Nazari, M. , Ninth Edition, Azarang Publications, Tehran.
- [۲] Vazifekhhah, N., Manafpour, A., ۲۰۱۲, Laboratory study of tensile strength of concrete with polypropylene fibers, Journal of Civil and Environmental Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Volume ۴۲, Number ۴, pp. ۴۷-۵۶ .
- [۳] Modarresi, M., Rahnama, H., Farahani, A., ۲۰۱۱, The effect of seawater on the properties of concrete with polypropylene fibers, Sixth National Congress of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.
- [۴] Song, P. S., Hwang, S. and Sheu, B. C., ۲۰۰۵, Strength properties of polypropylene fiber reinforced concretes, Cement and concrete research, vol. ۳۵, pp. ۱۵۴۶-۱۵۵۰.
- [۵] Dr Premalatha, J et al., ۲۰۱۱, Performance enhancement of concrete using polypropylene fibres, Proceedings of the international UKIERI concrete congress new delhi india ۸-۱۰, pp. ۳۱-۴۲.
- [۶] Iran Institute of Standards and Industrial Research, ۲۰۰۴, Properties of light aggregates used in concrete blocks, Standard No. ۷۶۵۷, First Edition, pp. ۱-۱۴.

- [۷] Sirjan Nano and Yarn, ۱۳۹۸, A Study of Micro and Macrosynthetic Fibers in the Scientific Journal of Concrete Materials and Structures, Iranian Concrete Scientific Association, Fourth Year, pp. ۱۱۴-۱۳۰ .
- [۸] Iranian Institute of Standards and Industrial Research, ۱۹۹۹, Properties of Portland Cement, Standard No. ۳۸۹, Third Revision, Eighth Edition, Pages ۱ to ۱۲.
- [۹] ASTM Standard Test, ۲۰۱۴, Method standard test for compressive strength of cylindrical concrete Specimens, ASTM C۳۹, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. ۰۴-۰۱.
- [۱۰] ASTM Standard Test, ۲۰۱۱, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, ASTM C۴۹۶, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. ۰۴-۰۲.
- [۱۱] Iranian Institute of Standards and Industrial Research, ۲۰۰۱, Industrial Sulfuric Acid - Properties and Test Methods, Standard Number ۲۱۰, Second Revision, pp. ۱- ۶۸.
- [۱۲] Iranian Institute of Standards and Industrial Research, ۲۰۰۲, Hydrochloric acid-characteristics and test methods, standard number ۲۰۹, second revision, first edition, pp. ۱-۵۸.
- [۱۳] ASTM Standard Test, ۲۰۱۳, Method of test for density, Absorption, and voids in hardened concrete, ASTM C۶۴۲, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. ۰۴-۰۱.
- [۱۴] ASTM Standard Test, ۲۰۰۰, Method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method, ASTM C ۹۴۴, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, vol. ۰۴-۰۲.