بررسی آزمایشگاهی تاثیر الیاف فولادی بر مقاومت فشاری و کششی بتن با مقاومت معمولی

محمد کاظم شربتدار[۱]، پوریا پاک نهاد[۲]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

P.Paknahad۷۲@gmail.com

چکیده

رفتار ترد و شکننده بتن، ضعف در برابر بارهای کششی و عدم شکل پذیری ذاتی مهندسین را مجبور به استفاده از الیاف کرده است. در حال حاضر تسلیح اعضای بتنی به وسیله ی آزماتورهای فولادی و الیاف گسسته تلاشی جهت غلبه بر آن می باشد. افزودن الیاف به بتن باعث رشد مقاومتی، بهبود رفتار تنش-کرنش و افزایش شکل پذیری خواهد شد. همچنین، به خاطر توزیع تصادفی الیاف، بتن های الیافی از رشد ترک در ماتریس بتن تا حد زیاد جلوگیری می کنند. امروزه استفاده از الیاف فولادی با توجه به ویژگی های منحصر به فردشان بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. لذا در این تحقیق آزمایشگاهی، با انتخاب الیاف فولادی سینوسی و افزودن آنها با درصد های مختلف به نوع بتن معمولی سعی بر بررسی رفتار این بتن الیافی ترکیبی گشته است. الیاف فولادی سینوسی با درصد های ۰,۵، ۱، ۱,۵ و ۲ درصد به بتن معمولی افزوده می شود. نتایج نشان دهنده ی این امر می باشند که با افزودن تا ۲ درصد الیاف فولادی سینوسی به بتن معمولی، بیشترین مقاومت فشاری، کششی حاصل می شود که مقدار مقاومت فشاری را تا ۲۶ درصد و مقاومت کششی را تا ۵۴ درصد افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: مقاومت ضربه، الیاف فولادی سینوسی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی ، بتن معمولی.

۱. مقدمه

از زمان های کهن، الیاف برای مسلح کردن مصالح ترد مورد استفاده قرار می گر فته اند انواع جایگزین الیاف از دهه ۱۹۶۰ بکار گرفته شده اند[۱]. طبق تعریف ACI۵۴۴.IR-۸۸ بتن مسلح یا بتن الیافی بتنی است که با سیمان هیدرولیکی، مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه و ... و الیاف مجزا و غیر پیوسته ساخته می شود. بتن تقویت شده با الیاف (FRC) دارای سیمان پرتلند استاندارد و الیاف کوتاه است، این الیاف باعث کاهش ترک خوردگی و افزایش شکل پذیری شده و گاهی حتی جایگزین میله های فلزی می شود. نخستین کاربرد الیاف به صورت نوین در نیمه دهه ۱۸۰۰، به شکل سیمان پرتلند تقویت شده با آزبست بود. می توان گفت که چنین شیوه ای از دیرباز مورد توجه بوده چرا که در گذشته بجای سیمان از رس استفاده می شده و بجای الیاف مصنوعی از کاه بهره می جستند. [۴-۲]. در سال های اخیر ویژگی های مصالح مهندسی مانند سرامیک، پلاستیک، سیمان و گچ با انواع الیاف بهبود یافته اند. مشخصات مصالح از جمله مقاومت کششی، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، مقاومت در برابر ترک خوردگی، کنترل ترک، دوام، خستگی، مقاومت در برابر ضربه و سایش، جمع شدگی، انبساط، ویژگی های حرارتی و مقاومت در برابر آتش سوزی توسط الیاف بهینه شده اند. در این سال ها مطالعات قابل ملاحظه ای در تکنولوژی بتن الیافی (FRC) در جهان انجام گرفته و تمایل صنایع و موقعیتهای اقتصادی در این زمینه، شاهدی بر توسعه فن آوری مصالح مسلح با الیاف می باشند. نتایج این مطالعات گسترده در مقالات و کنفرانس های متعددی ارائه شده است. کمیته ۵۴۴ اولین گزارش خود را در خصوص بتن الیافی در سال ۱۹۷۳ منتشر نمود که (ACI) انجمن بتن امریکا در اروپا نیز RILEM در سال های اخیر مورد بازبینی مجدد قرار گرفته است.کمیته بتن الیافی گزارش هایی را در این خصوص انتشار داده است[۵و۶]. هدف از مسلح نمودن بتن با الیاف، افزایش مقاومت کششی، جلوگیری از توسعه ترک ها و افزایش سختی به

وسیله انتقال تنش در عرض مقطع یک ترک می باشد. بدین ترتیب در مقایسه با بتن بدون الیاف، امکان تغییر شکل های بزرگتری فراهم می شود[۷]. متداول ترین نوع بتن الیافی، بتن مسلح به الیاف فولادی است که به ویژه کاربردهای سازه ای آن مورد توجه می باشد. در یک رویکرد با فرض مصالح کامپوزیت در این نوع بتن، خواص بتن الیافی وابسته به مشخصات الیاف (درصد حجمی، مقاومت، مدول الاستیسیته و پارامتر چسبندگی الیاف)، مشخصات بتن (مقاومت، نوع مصالح) و مشخصات سطح مشترک الیاف و بتن می باشد. ویژگیهای الیاف فولادی به شرح زیر می باشد:

- افزایش مقاومت در برابر سستی، مقاومت کششی با انعطاف بالا، مقاومت در برابر نیروی شکست، مقاومت فشاری
- مقاومت در برابر انفجار بسیار بالا (انجام اصلاح در شکست ترک ها)
- ایجاد نیروی پس تنیدگی بعد از وقوع انفجار
- افزایش ماندگاری و دوام
- افزایش پایداری در زمان بهبود مقاومت و جلو گیری از سستی در زمان زلزله
- جلوگیری از ترک (کنترل ترک) با انقباض پلاستیکی ترک ها
- بهبود هزینه ها، قابلیت ساخت و ایمنی بدون نیاز به مش و صفحات مش[۲و۳].

Gual، Duzgun در سال ۲۰۰۵ تحقیقی در مورد اثر الیاف فولادی بر خصوصیات مکانیکی بتن دانه سبک انجام دادند. الیاف فولادی با نسبت های ۰/۵، ۱/۰،و ۱/۵ درصد حجمی و همچنین، نسبت های ۲۵٪ و ۵۰٪ و ۷۵٪ و ۱۰۰٪ دانه سبک به جای دانه معمولی به کار گرفته شد [۹]. در آزمایش وزنه افتان که توسط کمیته ACI ۵۴۴ [۶] بر روی بتن های مسلح به الیاف پلی پروپیلن و با درصد حجمی بین ۰/۱ تا ۲، انجام شده، نتایج نشان می دهد که مقاومت ضربه هم در ترک اولیه و هم در شکست نهایی با افزودن الیاف پلی پروپیلن نسبت به بتن ساده افزایش یافته است [۱۰]. ناتاراج و همکارانش نیز بر روی مقاومت بتن مسلح به الیاف فولادی با نسبت طول به قطر ۴۰ و در دو رده مقاومتی ۳۰ و ۵۰ مگاپاسکال تحقیق کردند که در هر یک از نسبت های آب به سیمان از ۳ درصد حجمی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ استفاده کردند [۱۱]. نتایج سحر خیزان بیانگر آن بوده است که با افزودن درصد های مختلف الیاف در سن هفت روزه تغییر خاصی در مقاومت نمونه حاصل نشده ولی در سن ۲۸ روزگی مقاومت فشاری و کششی افزایش یافته است[۱۲]. سزاری و اشکذری در سال ۱۳۹۷ در مقاله ای به بررسی عملکرد ضربه ای بتن با مقاومت بالا و بتن فوق توانمند الیافی تحت برخورد پرتابه پرداختند [۱۳]. زنگانه و باقری در مقاله ای به بررسی ضربه آماری مقاومت ضربه‌ای بتن واکنش مبتنی بر پودر واکنش زا و بتن واکنش مبتنی بر پودر واکنش زای مسلح به الیاف فولادی پرداختند. [۱۴].

به طور کلی، در این مطالعه ی آزمایشگاهی سعی گردیده تا مطالعات بیشتری در زمینه ی بتن با الیاف فولادی سینوسی صورت گیرد. با استفاده از نتایج این مطالعه می توان بتن ترکیبی جدیدی به عنوان بتن قابل اجرا به مهندسین معرفی نمود و این بتن را وارد صنعت ساختمان سازی نمود تا از ویژگی های منحصر به فرد آن در شرایط خاص استفاده نمود.

۲. مصالح مصرفی

سیمان مورد استفاده، تیپ پرتلند تیپ دو کارخانه جوین می‌باشد. آبی که برای مخلوط بتن استفاده شده ، آب شرب شهری می باشد. به طورکلی آب مصرفی برای عملیات اجرایی باید صاف و عاری از مقادیر زیادی از مواد روغنی، اسیدی، قلیایی و املاح و دیگر مواد مضر باشد. ماسه مورد استفاده از نوع شسته بوده که از کارخانه ی سنگواره ی آهوان تهیه گردیده است. بر اساس گزارشات وزن مخصوص ماسه برابر با ۱,۰۸ تن بر متر مکعب می باشد. شن مصرفی از نوع بادامی و نخودی بوده و از کارخانه ی سنگواره آهوان تهیه گردیده است. حداکثر اندازه ی اسمی شن های مصرفی ۱۹ میلیمتر برای شن بادامی و ۱۲/۵ میلیمتر برای شن نخودی می باشد. وزن مخصوص شن نخودی و بادامی به ترتیب برابر با ۱,۸۳ و ۱,۷۷تن بر متر مکعب می باشد. Reobilt ۵۶۱ با مشخصات جدول ۱ جهت افزایش کارایی و روانی بتن طراحی گردیده است که مانند دیگر روان کننده ها باعث کاهش شدید مقدار آب به سیمان می گردد. ترکیبات اصلی R-۵۶۱ موادی هستند که دارای فعالیت سطحی بالایی می باشند که از لحظه ی ورود به بتن بر اثر نیروی دافعه الکترواستاتیکی با دفع ذرات از یکدیگر شده که بدین ترتیب ذرات در همه جای بتن پراکنده می شود. این ماده ذرات ریز موجود در مخلوط بتن را پخش نمونه و سبب می شود که آب موجود در مخلوط به نحو موثری عمل کند. کاهش مقدار آب مصرفی در بتن، منجر به افزایش قابل توجه مقاومت بتن می گردد. در این آزمایش از روان کننده در ساخت بتن با مقاومت بالا استفاده گردیده است.

جدول ۱- مشخصات روان کننده Reobilt ۵۶۱

مشخصات فیزیکی- شیمیایی	
شکل ظاهری	**مایع**
رنگ	قهوه ای
وزن مخصوص (gr/cm^3)	1.15 ± 0.05
یون کلر	کمتر از ۰,۱ درصد وزنی
PH	7 ± 1

الیاف فولادی سینوسی بطول ۵۰ میلی متر مدل ۵۰NL۰۸۰ UN با مشخصات جدول ۲ و شکل ۱ می باشند که این محصول در بسته بندی های ۲۰ کیلوگرمی عرضه می گردد. با افزودن الیاف به بتن مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت خمشی(مقاومت اولین ترک بتن) بهبود می یابد و مقاومت در برابر ضربه بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. ابعاد الیاف نقش مهمی در تعیین زمان اثر بخشی الیاف هنگام ترک خوردگی بتن دارد. الیاف با قطر کمتر با ایجاد پل میان ریزترک ها مقاومت بتن را افزایش می دهند و الیاف با قطر بیشتر(بیشتر از ۰,۰۵میلیمتر) با ایجاد پل میان ترک های بزرگ تر طاقت بتن پس از ترک خوردگی را بالا می برند. برخی مشخصات فیزیکی الیاف بطور مستقیم عملکرد بتن را تحت تاثیر قرار می دهند.

جدول ۲- مشخصات الیاف فولادی سینوسی

طول mm	50
قطر بر mm	0.75
مقاومت کششی MPa	1100
وزن واحد kg/m^3	7500

شکل ۱- نمونه ای از الیاف فولادی سینوسی

۳. طرح اختلاط و نام گذاری نمونه ها

در این آزمایش انتخاب نمونه ها بصورتی صورت گرفته شده است که نمونه های بتنی معمولی با درصد الیاف های فولادی سینوسی (با درصد های ۰، ۰,۵، ۱، ۱,۵ و ۲) ساخته شده اند. از روان کننده ی Reobilt ۵۶۱ در طرح اختلاط استفاده گردید. میزان درصد درصد انتخابی الیاف های فولادی به گونه ای می باشد تا از تجمع الیاف و گوله شدن آنها جلوگیری شود. بتن مرجع بتن معمولی (pc) با میزان ۰٪ الیاف برای مقایسه ویژگی های مکانیکی نمونه های ترکیبی با الیاف فولادی ذکر شده در بالا، انتخاب گردیده است. در این مطالعه آزمایشگاهی از بتن معمولی با رده ی مقاومتی بتن ۳۰استفاده گردید. در جدول ۳ طرح اختلاط نمونه های مورد آزمایش آورده شده است.

جدول ۳- طرح اختلاط نمونه های بتن معمولی با الیاف فولادی

شماره طرح اختلاط	نام طرح اختلاط	آب (kg)	سیمان (kg)	شن (kg)	ماسه (kg)	درصد حجمی الیاف فولادی سینوسی	الیاف فولادی سینوسی (kg)
۱	pc	۱۵۴,۳۷	۳۸۵	۹۹۴,۸۵	۱۰۹۷,۷۷	۰	۰
۲	FRC-S۰,۵٪	۱۵۴,۳۷	۳۸۵	۹۹۴,۸۵	۱۰۹۷,۷۷	.۰	۳۹
۳	FRC-S۱٪	۱۵۴,۳۷	۳۸۵	۹۹۴,۸۵	۱۰۹۷,۷۷	۱	۷۸
۴	FRC-S۱,۵٪	۱۵۴,۳۷	۳۸۵	۹۹۴,۸۵	۱۰۹۷,۷۷	۱,۵	۱۱۷
۵	FRC-S۲٪	۱۵۴,۳۷	۳۸۵	۹۹۴,۸۵	۱۰۹۷,۷۷	۲	۱۵۶

۴. نحوه ی کلی ساخت نمونه های بتنی

در ابتدا ماسه ی سنگ، پودر سنگ اضافه و شن بادامی و نخودی به مدت دو دقیقه در میکسر گردانده می شوند. سپس، یک سوم آب مصرفی به مخلوط اضافه می گردد و بعد از مقداری مخلوط شدن سیمان اضافه می گردد و به مدت ۴ دقیقه در میکسر گردانده می شود. یک سوم بعدی آب اضافه می شود تا مخلوط رقیق تر شود و در نهایت باقیمانده ی آب و روان کننده به مخلوط افزوده می شود و ۴ دقیقه ی دیگر مخلوط می شوند. پس از آن الیاف فولادی که توصیه شده است در مرحله ی آخر افزوده شود، اضافه می گردد. مخلوط بتن آماده شده در قالب های استوانه ای استاندارد ریخته شده تا برای آزمایش های مربوطه آماده گردد. بتن قالب ریزی شده به مدت ۲۸ روز عمل آوری می گردد.

۵. نتایج آزمایش مقاومت فشاری

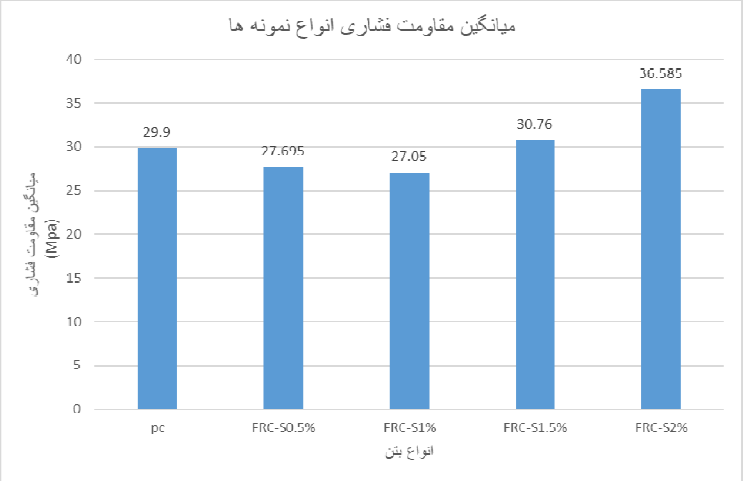
این آزمایش متداول ترین آزمایشی است که در مورد کیفیت بتن سخت شده صورت می گیرد. آزمایش تعیین مقاومت فشاری مطابق استاندارد EN 12390-3 و شکل ۲ انجام شده است. برای تعیین مقاومت فشاری مخلوط های ساخته شده از نمونه های استوانه ای استاندارد ۱۵*۳۰ سانتی متر استفاده شده است. پس از بیرون آوردن نمونه ها از قالب، جهت عمل آوری به درون حوضچه آب با دمای تقریبی ۲۰ درجه سانتی گراد انتقال یافته و در سن ۲۸ روزه از آب خارج شده و آزمایش مقاومت فشاری بر روی آنها انجام می شود. برای تعیین مقاومت فشاری از جک با ظرفیت ۲۰ تن استفاده می شود که سرعت بارگذاری آن ۳ کیلو نیوتن بر ثانیه (مطابق استاندارد مربوطه) می باشد.

شکل ۲- جک شکننده ی نمونه های بتن ترکیبی

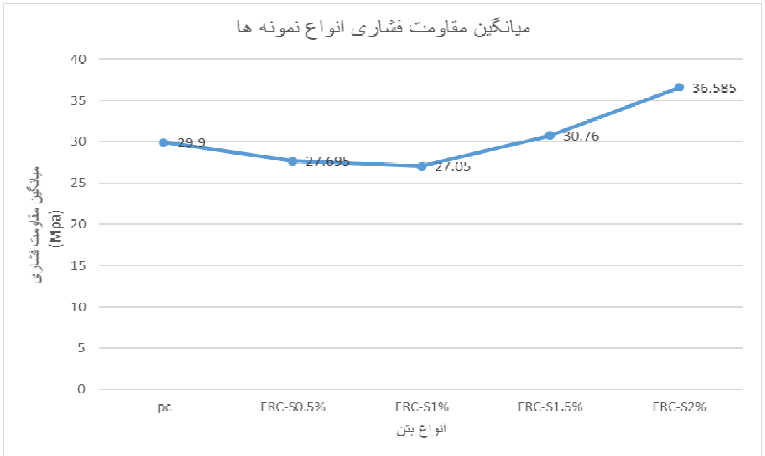
اثر درصدهای مختلف الیاف فولادی بر مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای بتن معمولی با مقاومت کمتر از ۴۰ مگاپاسکال در اینجا بررسی می گردد که نتایج حاصل شده در جدول ۴ و اشکال ۳ و ۴ ارائه شده اند.

جدول ۴- متوسط مقاومت فشاری نمونه های ترکیبی با و بدون الیاف فولادی

نمونه	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)
pc	۲۹,۹
FRC-S۰,۵٪	۲۷,۷
FRC-S۱٪	۲۷,۰۵
FRC-S۱,۵٪	۳۰,۷۶
FRC-S۲٪	۳۶,۶



شکل۳- متوسط مقاومت فشاری نمونه های ترکیبی بتنی با و بدون الیاف



شکل۴- تغییرات مقاومت فشاری نمونه های ترکیبی با افزایش درصد الیاف فولادی سینوسی

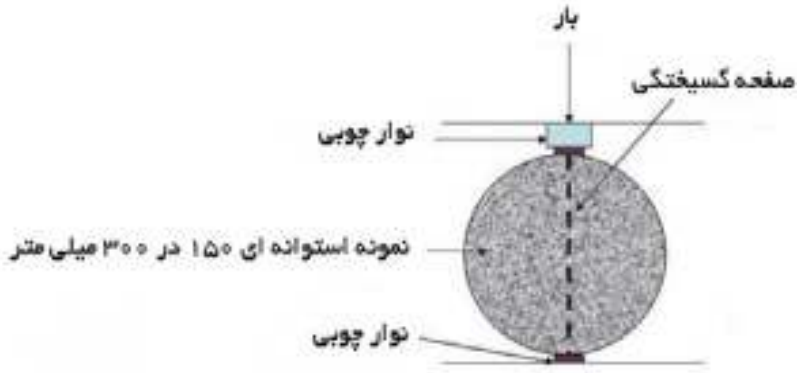
بر اساس آزمایش مقاومت فشاری، میزان مقاومت فشاری نمونه ی بتنی معمولی بدون الیاف برابر با ۲۹,۹ مگاپاسکال می باشد. با افزودن الیاف فولادی

سینوسی، مقاومت فشاری همانگونه که انتظار می رود، افزایش می یابد. نمونه ی FRC-S۲٪ دارای بیشترین مقدار مقاومت فشاری می باشد که نسبت به نمونه ی pc نشان دهنده ی ۲۶ درصد افزایش مقاومت فشاری می باشد. بنابراین میزان ۲٪ الیاف سینوسی به عنوان مقدار بهینه می باشد.

در شکل ۴ می توان روند تغییرات مقاومت فشاری با بر اساس تغیرات درصد الیاف فولادی مشاهده نمود. همونطور که در شکل نیز دیده می شود با افزایش الیاف فولادی سینوسی به بتن معمولی به میزان ۰,۵ و ۱ درصد مقاومت فشاری کاهش می یابد که این میزان کاهش به ترتیب برابر با ۷ و ۱۰ درصد می باشد. در ادامه، با افزایش ۱,۵ درصدی الیاف فولادی سینوسی مقاومت فشاری تنها به میزان ۳٪ افزایش می یابد که مقدار ناچیزی می باشد. اما با افزودن ۲ درصد الیاف فولادی مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای ۲۶ درصد افزایش یافته است. بنابراین تنها افزودن ۲ درصد الیاف فولادی سینوسی باعث بهبود عملکرد بتن در زمینه آزمایش مقاومت فشاری می گردد و در دیگر درصدها یا مقاومت کاهش یافته و یا افزایش بسیار اندکی داشته است. در نتیجه، همانطور که در بالا گفته شد، در صد بهینه ی الیاف فولادی سینوسی ۲ درصد می باشد.

۶. نتایج آزمایش تعیین مقاومت کششی به روش برزیلی

این آزمایش بر اساس روش استاندارد ASTM C۴۹۶ مطابق شکل ۵ بر روی نمونه های استوانه ای انجام می گیرد. شرایط تهیه و نگهداری این نمونه ها مانند نمونه های فشاری است. روش انجام آزمایش بدین صورت است که قطر و ارتفاع نمونه ی اندازه گیری شده و دو سطح قاعده نمونه توسط دو خط عمود بر هم علامت گذاری می شود وسپس نمونه در بین صفحات جک بتن شکن قرار می گیرد. برای تقسیم متوازن از دو نوار چوبی در بالا و پایین نمونه ها استفاده می شود. بار به تدریج افزایش یافته و در اثر فشار در جهت عمود بر امتداد فشار کشش ایجاد شده و نمونه گسیخته می شود. افزایش بار به صورت یکنواخت و با سرعت ۱۴ کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع در دقیقه تا زمان گسیختگی نمونه خواهد بود. در این زمان حداکثربار وارده توسط دستگاه قرائت و ثبت می گردد.



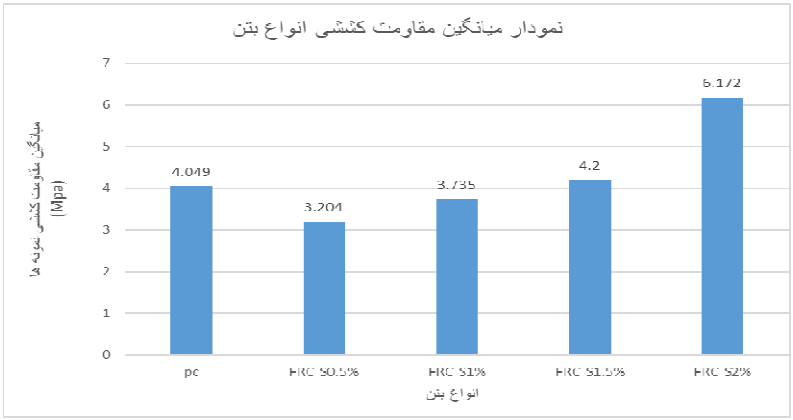
شکل ۵- آزمایش مقاومت کششی بتن یا تست برزیلی

اثر درصدهای مختلف الیاف فولادی بر مقاومت کششی نمونه های استوانه ای بتن معمولی در اینجا بررسی می گردد و نتایج حاصل شده در جدول ۵ و اشکال ۶ و ۷ ارائه شده اند.

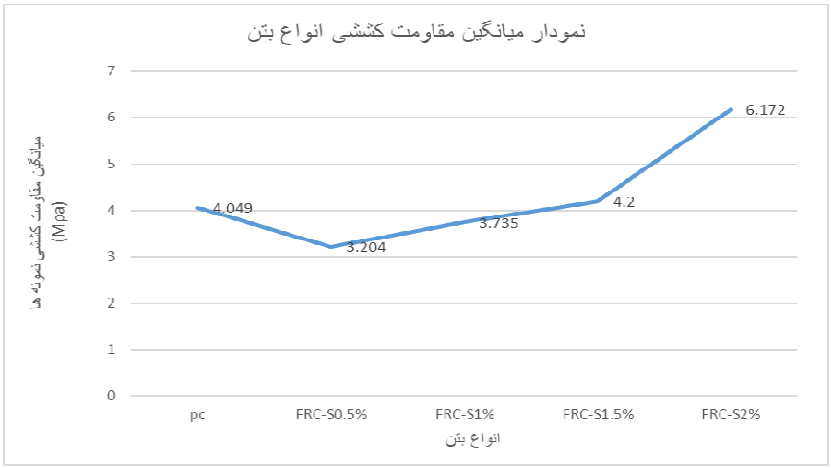
جدول ۵- مقاومت کششی نمونه های ترکیبی با الیاف فولادی

نمونه	مقاومت کششی (مگاپاسکال)
pc	۴,۰۵
FRC-S۰,۵٪	۳,۲۱
FRC-S۱٪	۳,۷۴
FRC-S۱,۵٪	۴,۲
FRC-S۲٪	۶,۱۷۲

بر اساس آزمایش مقاومت کششی، میزان مقاومت کششی نمونه ی بتنی معمولی بدون الیاف برابر با ۴,۰۵ مگاپاسکال می باشد. با افزودن الیاف فولادی سینوسی مقاومت کششی نمونه های ترکیبی با الیاف سینوسی کاهش می یابد تا زمانی که درصد الیاف به ۱,۵ درصد می رسد، مقاومت کششی اندکی افزایش می یابد. اما با افزودن ۲ درصدی الیاف سینوسی (FRC-S۲٪) مقاومت به ۶,۱۷۲ مگاپاسگال نیز می رسد که نسبت به نمونه ی بتن معمولی مرجع دارای ۵۲ درصد افزایش مقاومت کششی از خود نشان می دهد. بنابراین میزان ۲٪ الیاف سینوسی به عنوان مقدار بهینه می باشد.



شکل ۶- میانگین مقاومت کششی نمونه های ترکیبی با بتن الیافی



شکل ۷- تغییرات مقاومت کششی نمونه های ترکیبی با افزایش درصد الیاف فولادی سینوسی

در شکل ۷ می توان روند تغییرات مقاومت کششی با بر اساس تغیرات درصد الیاف فولادی مشاهده نمود. همونطور که در شکل نیز دیده می شود با افزایش الیاف فولادی سینوسی به بتن معمولی به میزان ۰,۵ و ۱ درصد مقاومت فشاری کاهش می یابد که این میزان کاهش به ترتیب برابر با ۲۰ و ۱۶ درصد می باشد. در ادامه، با افزایش ۱,۵ درصدی الیاف فولادی سینوسی مقاومت کششی تنها به میزان ۴٪ افزایش می یابد که مقدار ناچیزی می باشد. اما با افزودن ۲ درصد الیاف فولادی مقاومت کششی نمونه های استوانه ای ۵۲ درصد افزایش یافته است. همانطور که در نمودار مقاومت کششی و فشاری نمونه ها مشاهده می شود، میزان ۲٪ الیاف فولادی سینوسی درصد بهینه می باشد که هم مقاومت کششی و هم مقاومت فشاری را به میزان مطلوبی افزایش می دهد.

۷. نتیجه گیری

بر اساس تحقیقات صورت گرفته، متداول ترین نوع بتن الیافی، بتن مسلح به الیاف فولادی است که به ویژه کاربردهای سازه ای آن مورد توجه می باشد. از ویژگی های بتن الیافی فولادی می توان به افزایش مقاومت در برابر سستی، مقاومت کششی با انعطاف بالا، مقاومت در برابر نیروی شکست، مقاومت فشاری، افزایش مقاومت در برابر ترک ها بعد از خشک شدن، مقاومت در برابر انفجار بسیار بالا (انجام اصلاح در شکست ترک ها)، ایجاد نیروی پس تنیدگی بعد از

وقوع انفجار، افزایش ماندگاری و دوام و ..... اشاره کرد. پس از انجام آزمایش های ذکر شده در این مقاله، در بررسی اثر الیاف فولادی بر روی مقاومت فشاری نمونه های بتن معمولی و بتن مقاومت بالا، نتیجه گردید که افزودن ۲ درصدی الیاف سینوسی به بتن معمولی ، باعث افزایش مقاومت فشاری تا ۲۶ درصد می گردد. در بررسی اثر الیاف فولادی بر مقاومت کششی غیر مستقیم بتن معمولی ، مشاهده می شود که با افزودن ۲ درصد الیاف فولادی سینوسی، مقاومت کششی ۵۲ افزایش می یابد.

۸. مراجع

[۱] خالو، ع.، (۱۳۹۱)"بررسی ترک های جمع شدگی در بتن مسلح به الیاف پلی پروپلین"، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۲] Damtoft, J. S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D., Gartner, E. M., (۲۰۰۸) "Sustainable Development and Climate Change Initiatives.", Cement and Concrete Research., Vol. ۳۸, pp. ۱۱۵-127.

[۳] American Concrete Institute, (۱۹۹۶) "Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units", ACI ۵۲۳,۲R.

[۴] American Concrete Institute, ASTM International ,(۲۰۰۹) "Standard Specification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Wall Construction Units", ASTM C۱۶۹۳.

[۵] Nunez, E., Nunez, S. A., Fouad, F. H.,(۲۰۱۰) "Sustainability in Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Construction", in Autoclaved Aerated Concrete, ed. Limbachiya and Roberts,

[۶] ACI Committee ۵۴۴, (۱۹۹۴) "Design considerations for steel fiber reinforced concrete", ACI Committee ۵۴۴ Report ۵۴۴,۴R-۸8, American Concrete Institute, Detroit.

[۷] درویشی ، رضا ، (۱۳۹۱)"مطالعه ی آزمایشگاهی اثر الیاف در بتن های الیافی در مقابل بارهای ضربه ای مکانیکی"، پایان نامه، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی.

[۸] Victor C Li, Shuxin Wang and Chynthia Wu,(۲۰۰۱) "Tensile Strain Hardening of PV-ECC". ACI Material Journal.

[۹] AkNn Duzgun Oguz, Gul Rustem, Cuneyt Aydin Abdulkadir, (۲۰۰۵) "Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural lightweight aggregate concrete ", Materials Letters ۵۹, pp. ۳۳۵۷ – ۳۳۶۳.

[۱۰] ACI Committee ۵۴۴, (۱۹۹۶) "State-of-the-Art report on fiber reinforced concrete", ACI committee 544 report 544.1R-96, American Concrete Institute, Detroit.

[۱۱] Nataraja, M. C., Nagaraj, T. S. and Basavaraja, S. B., Reproportioning of steel fiber reinforced concrete mixes and their impact resistance, Cement and Concrete Research, ۲۰۰۵, Vol. ۳۵, pp. ۲۳۵۰-2359.

[۱۲] سحر خیزان، س.، (۱۳۹۴)"بررسی ویژگی مکانیکی بتن حاوی الیاف ترکیبیِ فولادی و پلی پرو پیلن"، مجله ی تحقیقات بتن، سال هشتم، شماره ی دوم.

[۱۳] سزاری، م.، اشکذری، ق.، (۱۳۹۷)"بررسی عملکرد ضربه ای بتن با مقاومت بالا و بتن فوق توانمند الیافی تحت برخورد پرتابه"، مجله علمی ـ پژوهشی علوم و فن آوری های نوین، سال نهم، شماره ۳، پاییز.

[۱۴] باقری، ع.،حمید زنگانه، ح.، (۱۳۹۶)"بررسی ضربه آماری مقاومت ضربه‌ای بتن واکنش مبتنی بر پودر واکنش زا و بتن واکنش مبتنی بر پودر واکنش زای مسلح به الیاف فولادی"، نشریه ی مهندسی عمران دانشگاه امیرکبیر، سال ۴۲، شماره ی ۳.