



بررسی اثر درصد و نسبت ظاهری الیاف فولادی (ℓ/d) بر مقاومت فشاری بتن الیافی با مواد افزودنی

کاظم یاوری نسب^{۱*}، محمد نام آور جهرمی^۲، موسی رضایی^۳، امیر صادقی^۴

- ۱- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی(ع) یزد، ایران، Yavari_nasab@yahoo.com
۲- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی(ع) یزد، ایران، Mnjahromi73@gmail.com
۳- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی(ع) یزد، ایران، Mosa.Rezaei71@gmail.com
۴- گروه عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام علی(ع) یزد، ایران، Amirsadeghi@gmx.com

چکیده

بتن معمولی یک ماده نسبتاً ترد و شکننده است، در حالی که بتن الیافی که در ساخت آن علاوه بر سیمان، سنگدانه، آب و مواد افزودنی از الیاف در مخلوط بتن استفاده میشود، چون دارای مقاومت زیادتر و خاصیت جلوگیری از ترک خوردگی را داراست و رشته های الیاف بطور فعال در محدود کردن عرض ترک ها وارد عمل شده و باعث افزایش قابلیت بهره برداری بتن میشود، لذا نسبت به بتن معمولی برتری دارد. استفاده از الیاف در بتن باعث تغییراتی در مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مقاومت برشی، مقاومت در برابر بارهای دینامیکی، مقاومت مقطع در قبال ترک خوردگی، میزان جذب انرژی، میزان انقباض، خزش و سایش سطحی میشود. در نتیجه رفتار مقاومتی بتن الیافی باید مورد مطالعه قرار گیرد. مقاله حاضر حاصل تحقیقات آزمایشگاهی میباشد که اثر درصد و نسبت طول به قطر الیاف فولادی (ℓ/d) بر مقاومت فشاری بتن الیافی که در ساخت آن از مواد افزودنی شامل میکرو سیلیس و فوق روان کننده استفاده شده است را مورد تجزیه و تحلیل قرار میدهد.

واژگان کلیدی: بتن الیافی، الیاف فولادی، مقاومت فشاری، نسبت طول به قطر الیاف، میکرو سیلیس، فوق روان کننده

The effect of the apparent ratio of steel fiber concrete on the compressive strength fibers with additives

Abstract:

Conventional concrete is a relatively brittle material, while the fibers in concrete construction, in addition to cement, aggregates, water and additives for fibers used in concrete mix, because it has more strength and vitality is to prevent cracking and fiber strands are actively limiting the width of the cracks is concrete action and increased capacity utilization, it is superior to conventional concrete. The use of fibers in concrete to changes in compressive strength, tensile strength, flexural strength, shear strength, resistance to dynamic loads, cross-resistance to cracking, the rate of energy absorption, the rate of shrinkage, creep and wear of the surface. As a result, the behavior of fiber concrete strength should be studied. This article is the result of laboratory research and the effects of length to diameter ratio of steel fiber concrete on the compressive strength of the fiber in the manufacture of additives, including micro silica and the lubricant is used for the analysis.

Keywords: fiber concrete, steel fibers, compressive strength, fiber length to diameter ratio, micro silica, superplasticizer



۱- مقدمه

برای بهبود مقاومت در بتن همواره تحقیقات بسیاری صورت میگیرد. از جمله این تحقیقات در زمینه افزودن پوزولان ها و یا مواد جایگزین سیمان در بتن است. میکروسیلیس یا دوده سیلیس محصول جنبی صنایع قروسیلیکون است که همراه با گازها از کوره قوس الکتریکی خارج میشود. تحقیقات و بررسی های انجام شده نشان میدهند که در میان مواد افزودنی پوزولانی-میکروسیلیس به دلیل ذرات بسیار ریز و جدا از هم و همچنین درصد زیاد (حدود ۹۰٪) سیلیس غیر بلوری برای تهیه بتن با مقاومت بالا مناسب است [۱]. استفاده از میکرو سیلیس در بتن ریزی های مجاور سواحل دریاها به طور جدیدی مورد توجه مهندسين ساختمان قرار گرفته است به دلیل خصوصیات بارز پوزولانی میکرو سیلیس، استفاده از آن جهت بهبودخواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشورهای پیشرفته رو به افزایش است. آقایان دنواز و اسد الله زاده در مورد بررسی سنگدانه ها و میزان میکرو سیلیس بر مشخصات مکانیکی بتن های سبک الیافی تحقیقاتی داشته و معتقد اند مقاومت فشاری بتن با افزایش زمان و میزان میکرو سیلیس افزایش داشته است [۲]. بتن الیافی نوعی بتن است که ساخت آن از الیاف استفاده می کنند و سیمان، آب، سنگدانه و مواد افزودنی را همراه با الیاف مخلوط می کنند. الیاف باعث افزایش پیوستگی، مقاومت کششی، کاهش ترک های بتن و افزایش نرمی بتن میگردد. بتن به عنوان محصولی شناخته میشود که از اجزای مختلف جهت رسیدن به خصوصیات نهایی طراحی میشود. بتن پر مصرف ترین مصالح شناخته شده در مهندسی عمران است که روز به روز به استفاده از آن افزوده میشود. در این میان از یک سو با پیشرفت علم تکنولوژی و پیدایش سیستم های پیچیده تر و از سوی دیگر با روند رو به گسترش ساخت و سازهای عمرانی در سطح کلان، نیاز به بکار گیری مصالح ساختمانی جدید تر با کارایی بیشتر، بسیار محسوس میباشد [۳]. آقای پرش و همکاران بر روی ارزیابی بتن الیافی و نقش آن در ترمیم سازه ها تحقیقاتی داشته اند و استفاده از بتن الیافی را جهت ترمیم سازه ها مفید دانسته اند [۴]. آقای S.P.Shah در مورد افزایش مقاومت کششی بتن توسط الیاف تحقیقاتی داشته اند و به این نتیجه رسیده اند که مقاومت کششی بتن را میتوان بوسیله الیاف بالا برد [۵]. استفاده از مواد پوزولانی میتواند با بهبود ریز ساختار خمیر سیمان از طریق پر کردن حفرات ریز موجود در آن باعث بهبود خصوصیات مقاومتی و افزایش پایایی محصولات سیمانی شود [۶]. استفاده از الیاف مختلف در بتن و ساخت بتن الیافی به عنوان یک گام موثر در جلوگیری از انتشار ریز ترک ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب میشود [۷]. اضافه کردن الیاف تنها بر مقاومت فشاری نهایی بلکه بر رفتار بعد از اوج بتن نیز تاثیر گذار است. الیاف مصالح را محبوس کرده و انتشار ترک را به تاخیر می اندازد. در نتیجه یک افزایش در کرنش اوج و شکل پذیری بعد از اوج تولید میکند [۳]. جایگزینی ساروج و میکروسیلیس با سیمان به علت کمتر بودن چگالی این مواد در برابر سیمان باعث کاهش چگالی بتن ساخته شده میشود و هر چه مجموع درصد جایگزینی بیشتر باشد، این کاهش نیز بیشتر میشود [۸]. آقای رضانیان پور در مورد جایگزینی بخشی از سیمان پرتلند با مواد سیمانی مکمل همانند سربار کوره آهن گدازی-خاکستر بادی-دوده سیلیس مطالعاتی داشته و این مواد را جایگزین مناسب سیمان میدانند [۹]. قابلیت انعطافی که بتن الیافی دارد، همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف فولادی در جسم بتن بطور سه بعدی و به بیانی بهتر چند بعدی پراکنده می شود، در صورت تشکیل یک ترک که معمولا انتظار تغییر شکل می رود، در جهات مختلف، الیاف اتصالاتی را بوجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می نماید. بنابراین رشته های الیاف بطور فعال در محدود کردن عرض ترک ها وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک های زیاد همکاری می نماید و در نتیجه قابلیت بهره برداری بتن افزایش می یابد. انواع الیافی که در بتن مورد استفاده قرار می گیرد می توان الیاف پلاستیکی، شیشه ای، طبیعی، پلی اتیلن، آزبست، نایلونی و فولادی را نام برد که در اشکال و اندازه های مختلف تولید می شود. در جدول ۱ مشخصات برخی از الیاف آورده شده است [۱۰].

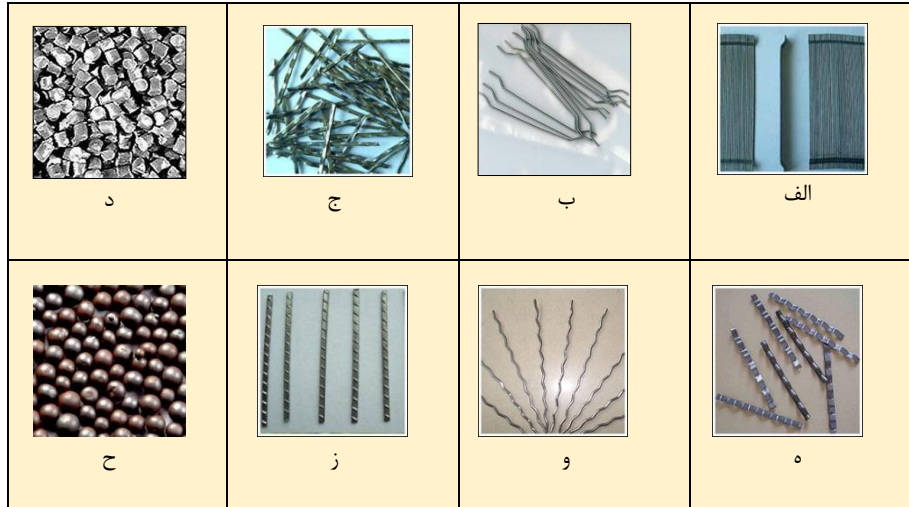
جدول (۱): مشخصات الیاف مورد استفاده در بتن الیافی

نوع الیاف	مقاومت کششی	مدول یانگ	حداکثر تغییر طول	وزن مخصوص	نوع الیاف
آزبست	۸۰-۱۴۰ Ksi	۱۲-۲۰×۱۰-۳ ksi	۰.۶ ~ %	۳.۲ gr/cm ^۳	Asbestos
شیشه	۱۵۰-۵۵۰ Ksi	۱۰×۱۰-۳ ksi	۱.۵-۳.۵ %	۲.۵ gr/cm ^۳	Glass
پلی اتیلن	~ ۱۰۰ Ksi	۰.۰۲-۰.۰۶×۱۰-۳ ksi	۰ ~ %	۰.۹۵ gr/cm ^۳	Polyethylene
فولاد	۴۰-۴۰۰ Ksi	۲۹×۱۰-۳ ksi	۰.۵-۳.۵ %	۷.۸ gr/cm ^۳	Steel

الیاف فولادی دارای مقاومت کششی بالا و مدول الاستیسیته ۲۰۰ Gpa میباشد. مشخصه تنش-کرنش آن شکل پذیر بوده و خزش کمتری را نشان میدهد [۴]. الیاف فولادی با جنس های مختلف، از لحاظ مقاومت کششی و همچنین به صورت ساده و راست و یا با قلاب انتهایی- به منظور



افزایش تنش چسبندگی با بتن - ساخته می شود. الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده که با توجه به قابلیت شکل پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب ترین و اقتصادی ترین نوع الیاف به حساب می آید [۱۰]. زاویه دار بودن الیاف فولادی تاثیر به سزایی در مقاومت بیرون کشیدگی الیاف دارد. انحراف الیاف از جهت تنش های کششی تاثیر قابل ملاحظه ای در مقاومت بیرون کشیدگی آنها خواهد داشت. مدل سازی های تئوریک در دهه ۶۰ میلادی نشان داد که در صورت توزیع الیاف بصورت دو و سه بعدی میزان تاثیر آنها به ترتیب به یک سوم و یک نهم حالت یک بعدی کاهش خواهد یافت [۱۱]. آقای مدنی و همکاران بر روی بتن های الیافی باش شکل پذیری و مقاومت کششی افزون تحقیقاتی داشته اند و استفاده از الیاف فولادی در بتن مسلح به میلگرد را ترجیح داده اند. بتن الیافی باعث بهبود عملکرد سازه در برابر زلزله میشود [۱۱]. سازه های بتن مسلح با الیاف فولادی عملکرد بسیار خوبی در هنگام اعمال بار های شدید دینامیکی دارند [۱۲].



شکل (۱)-انواع الیاف فولادی [۱۰]

۲- تاریخچه

گسیختگی مواد که به وسیله سیمان تهیه شده و می شکنند به علت ترد بودن آن می باشد. تقویت بتن توسط الیاف کوتاه به صورت تصادفی و نامنظم می شد و باعث تثبیت ترکها و استحکام کششی بتن می شود. در زمان های گذشته، از الیاف جهت تقویت ملات های ترد و شکننده استفاده می شد که مشهورترین و پرطرفدارترین آن که به علت ارزانی و در دسترس بودن کاه می باشد که برای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندووها در قبال ترک خوردگی که بعد از خشک شدن بوجود می آید، بکار رفته و در حال حاضر نیز ارزانتترین نوع ملات در مناطق روستایی کشور است [۱۳]. Joseph Lambot در سال ۱۸۴۷ پیشنهاد کرد که با اضافه کردن الیاف پیوسته به شکل سیم به بتن یک ماده ساختمانی جدیدی می توان تولید کرد [۱۴]. در سال ۱۹۱ یک سری آزمایشات برای مقاومت بتن بوسیله الیافهای کوتاه توسط Porter انجام شد. او با اضافه کردن گل میخ به بتن، افزایش مقاومت کششی و خردشدگی بتن را بدست آورد [۱۴]. در دهه ۱۹۵۰ برای اولین بار در کشور شوروی و بعد در کشور آمریکا در سال ۱۹۶۰ تحقیقاتی انجام شده در صورت استفاده از الیاف فولادی در ماتریس شکننده، تمرکز تنش در محل ترکهای بوجود آمده کاهش می یابد. بتن الیافی به نام های زیر در جهان موجود است آرماتورها که معروف به آرماتورهای با الیاف پلاستیکی (FRP) هستند از الیاف مختلفی چون الیاف شیشه ای (GFRP) الیاف آرامیدی (Afrp) و الیاف کربنی (CFRP) در یک رزین چسباننده تشکیل شده اند در دنیا معروف است. این مواد یکی از پر مصرف ترین مواد در مناطق سرد نظیر شمال آمریکا و کانادا و بعضی کشورهای اروپایی است که همراه با آن از سنگدانه های 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.

الیاف در همه حالات گسیختگی بخصوص آنهایی که مانند کشش مستقیم، خمش، ضربه و برش، موجب خستگی و کشیدگی میشوند، بر خواص مکانیکی بتن و ملات اثر میگذارد. تقویت بتن توسط الیاف، به شکل انتقال تنش، از زمینه به الیاف توسط برش سطحی است و اگر سطح الیاف آجدار باشد روند مزبور بصورت درگیری میان الیاف و زمینه خواهد بود. با ترک خوردن زمینه تنش میان الیاف و زمینه تقسیم میگردد و از آن پس کل تنش بطور افزایشنده ای به الیاف انتقال میابد [۱۶] [۱۵]. آقای حسن زاده و همکاران در مورد بررسی اثر پوزولان های مختلف بر عملکرد ملات و محیط سولفات تحقیقاتی داشته اند [۱۷]. میکروسلیس یک سوپر پوزولان است که در صورت کاربرد صحیح تاثیر بسیار قابل ملاحظه ای در افزایش مقاومت

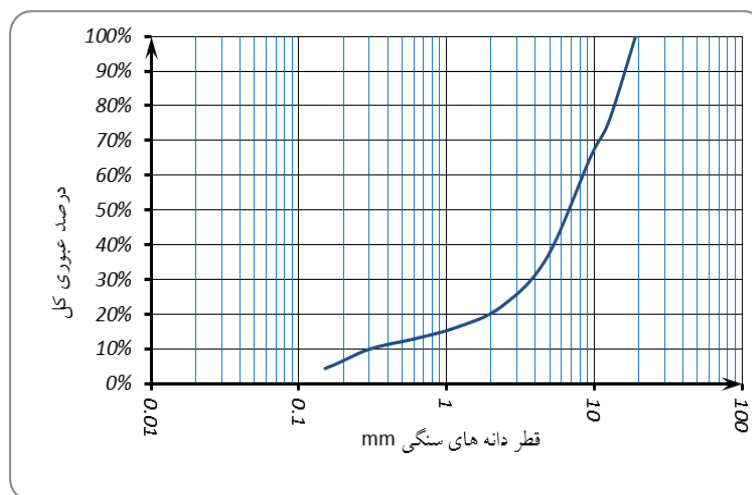


و دوام بتن دارد. میکروسیلیس در حرارت زایی بتن تا حد زیادی ناشی از همان مکانیزم‌هایی می‌باشد که منجر به افزایش دوام و مقاومت بتن می‌گردند، یعنی اثر پرکنندگی و واکنش پوزولانی. میکروسیلیس می‌تواند منجر به کاهش حرارت زایی بتن گردد. حرارت زایی یک گرم میکروسیلیس بیشتر از یک گرم سیمان پرتلند معمولی بوده و در مواردی بیشتر از ۲ برابر آن خواهد بود. لیکن مقاومت زایی بالاتر میکروسیلیس (۲ تا حدود ۴ برابر سیمان)، امکان کاهش مقدار کل مواد سیمانی بتن جهت دستیابی به یک مقاومت مشخص را فراهم ساخته و بدین شکل استفاده از میکروسیلیس می‌تواند منجر به کاهش حرارت زایی بتن گردد.

آقای Cioffi R.Colangelof و همکاران تحقیقاتی را در مورد تاثیر خاکستر بادی، دوده سیلیس و دو نوع ژئولیت با میزان اکسید های تشکیل دهنده متفاوت بر روی اختلاط بتن انجام دادند که در آنها ژئولیت تا ۴۰ درصد جایگزین سیمان مصرفی شده است. نتایج نشان می‌دهد که بتن خود تراکم حاوی ژئولیت با مقادیر جریان اسلامپ در محدوده ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر قابل تولید میباشد [۱۸]. آقای Saad و همکاران گزارش کرده اند که جایگزینی ۱۰ درصد وزن سیمان پرتلند با دوده سیلیس سبب بهبود خاصیت فیزیکی-مکانیکی و ریز ساختار بتن پس از قرار گیری در دمای بالا میشود [۱۹]. آقای علی صدرممتاز و همکاران بر اثر روی دماهای مختلف بر سیمان حاوی دوده سیلیس تحقیقاتی داشته اند و نتیجه این تحقیقات نشان داده است که اعمال درجه حرارت بالا باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش درصد افت وزن میشود [۲۰]. آقای Ghandehari و همکاران به بررسی تاثیر دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد بر خصوصیات مکانیکی بتن های با مقاومت بالا و همچنین دوده سیلیس با جانشینی ۰ و ۶ و ۱۰ درصد وزن سیمان بکار برده شده پرداختند. نتایج نشان دهنده بالاترین مقاومت فشاری و کششی باقی مانده توسط سیمان حاوی ده درصد دوده سیلیس بوده است [۲۱]. آقای Morsy و همکاران در مورد رفتار ملات بتن مخلوط حاوی نانو متاکائولن در دماهای بالا تحقیقاتی را داشته اند و به این نتیجه رسیده اند که دوده سیلیس و خاکستر بادی به عنوان یک روش موثر جهت افزایش مقاومت بتن در برابر آتش میباشد [۲۲]. آقای M.Rashid Hameed مطالعاتی بر روی خواص خمشی فلز تقویت شده با الیاف ترکیبی بتن داشته اند [۳]. آقای شکرچی زاده و همکاران تحقیقاتی را در مورد اثر جایگزینی میکروسیلیس و مقدار آب به سیمان در نفوذ یون کلراید داشته اند [۱۷]. نیما وظیفه خواه و همکارانش در مقاله ای مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی را مورد بررسی قرار دادند [۲۴].

۳- برنامه آزمایشگاهی

شن و ماسه مصرفی در تهیه بتن الیافی با حداکثر قطر شن ۱۲/۵ میلی متر بوده است. شن و ماسه از نوع کنکا سوری و سیمان مصرفی نیز از نوع پرتلند معمولی بوده است. فوق روان کننده مصرفی بر پایه نفتالین سولفات بوده و پودر میکرو سیلیس مطابق با استاندارد های ASTM C1204 میباشد. مقدار مصالح سنگی، سیمان، آب، میکروسیلیس و فوق روان کننده در تهیه نمونه های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. نسبت آب به سیمان در حالت عدم استفاده از فوق روان کننده ۰/۴۰ و در موقع استفاده از فوق روان کننده ۰/۲۵ میباشد. وزن مخصوص شن ۱۵۱۰ و ماسه ۱۴۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود. نسبت شن به ماسه تقریباً ۲ به ۱ میباشد. در نمودار ۱ منحنی دانه بندی سنگدانه ها آورده شده است.





نمودار (۱) - منحنی دانه بندی سنگدانه ها

جدول (۲): مقدار مصالح و آب در نمونه های بتنی ییافی

سیمان kg/m^3	شن kg/m^3	ماسه kg/m^3	میکروسیلیس kg/m^3	فوق روان کننده li/m^3
۳۵۰	۱۰۵۷	۷۱۵	۴۰	۱۲

برای تهیه بتن نخست شن و ماسه و سیمان و پودر میکرو سیلیس با توجه به نسبت های مربوطه توزین شده و سپس با هم مخلوط می شد و آنگاه الیاف مورد نیاز نیز با توجه به درصد مربوطه توزین و بر روی مخلوط مصالح سنگی و سیمان پاشیده می شد. بعد از اختلاط کامل و مجدد مخلوط، 4/5 آب مورد نیاز و تمامی فوق روان کننده به مخلوط اضافه شده و بعد از بهم زدن 1/5 آب باقیمانده بر روی مخلوط پاشیده می شد و دوباره مخلوط بهم زده می شد تا مخلوط از لحاظ رطوبت کاملا یکنواخت باشد. روش اختلاط در تمامی نمونه ها بصورت دستی است. عمل و بهره بتن در کلیه نمونه ها در روی میز ویبره انجام گرفته می شد. الیاف فولادی مورد استفاده در تحقیقات این مجموعه از تراشه های فولادی زائد می باشد که حداکثر قطر معادل این نوع الیاف ۱/۰ میلیمتر می باشد و طول الیاف با توجه به نیاز می تواند تهیه شود. از آنجا که قطر این نوع الیاف متفاوت و عملا قابل تفکیک نیست لذا بصورت در هم مورد تحقیق و آزمایش قرار گرفته است و لکن طول آن قابل تغییر و انتخاب است. نتایج مقاومت نمونه های فشاری مکعبی بتن خالص بدون الیاف در جدول ۳ آورده شده است.

جدول (۳): نتایج مقاومت نمونه های فشاری مکعبی بتن خالص و همراه با افزودنی

مبناء نمونه	مقاومت فشاری kg/cm^2	مقاومت فشاری متوسط kg/cm^2
فشاری بدون افزودنی	۴۳۵/۱ و ۴۲۰/۶ و ۴۴۸/۷	۴۳۴/۸
فشاری با افزودنی	۹۴۳/۵ و ۹۲۱/۴ و ۹۶۳/۶	۹۴۲/۸

۴- بررسی نتایج

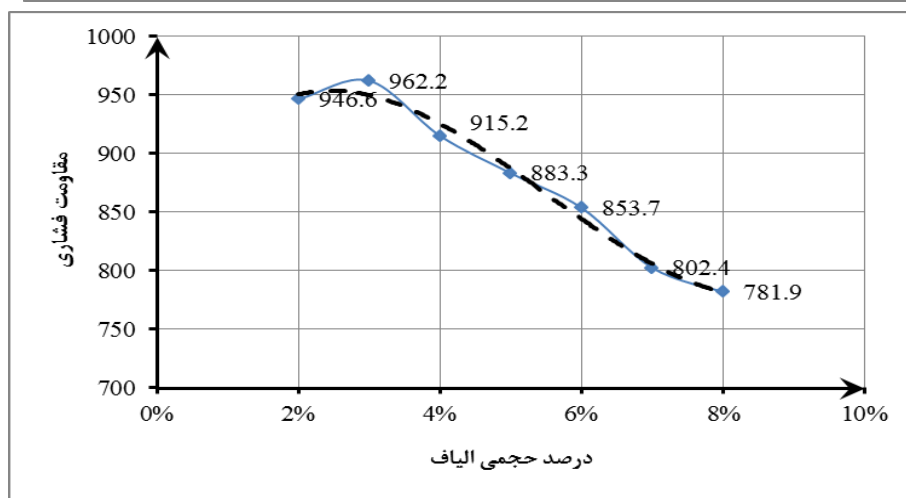
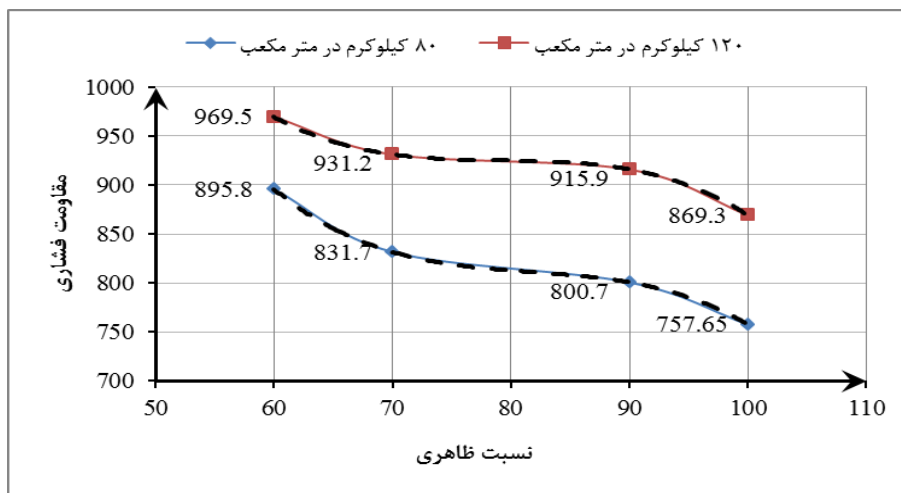
نمونه های آزمایشی برای تعیین مقاومت فشاری بتن ییافی - بر اساس آئین نامه JSCE ژاپن بوده است که ارتفاع آن دو برابر اندازه قطرش می باشد. دو سطح بالا و پائین نمونه فشاری که در دو فک دستگاه فشار قرار می گیرد، ضرورت دارد به منظور پرهیز از بروز تمرکز تنش، کاملا صاف باشد. بر اساس توصیه آئین نامه JSCE، حداکثر زبری سطح باید ۰/۲ میلی متر باشد. از این رو قالب های استوانه ای مورد استفاده برای این امر از نوع مخصوص است که دو سطح بالا و پائین آن به سطوحی که کاملا صاف و پرداخت شده هستند، منتهی می شود. حداقل تعداد نمونه های فشاری طبق این آئین نامه ۳ عدد است که میانگین مقاومت سه نمونه بیانگر مقاومت فشاری هر سری می باشد. مقاومت فشاری نمونه های بتن ییافی بر اساس رابطه ۱ تعیین می شود که در این رابطه، σ_c : مقاومت فشاری بر حسب kg/cm^2 ، P : حداکثر نیروی وارده تا گسیختگی نمونه بر حسب kg و D : قطر استوانه بر حسب cm .

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (1)$$

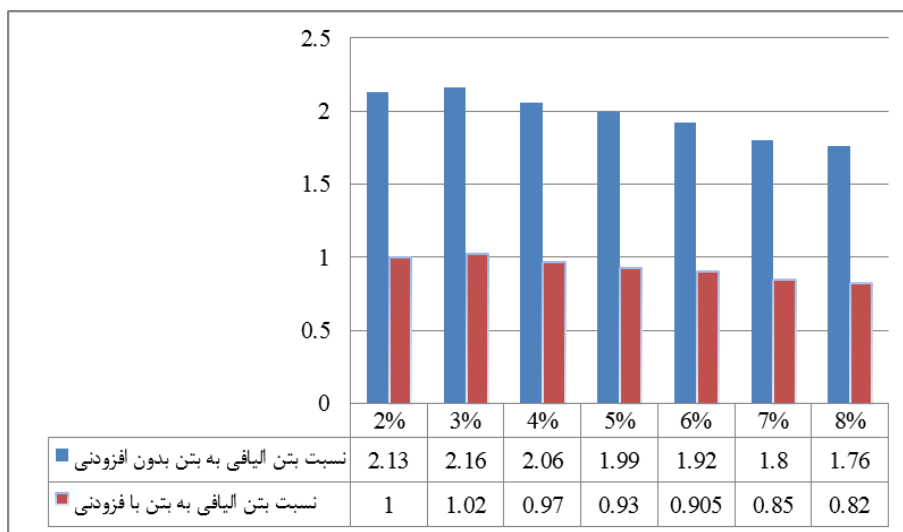
در نمودار ۲ نتایج آزمایشات مربوط به مقاومت فشاری بتن ییافی همراه با مواد افزودنی شامل میکروسیلیس و فوق روان کننده برحسب kg/cm^2 با $152 \times 305 mm \phi$ برای ۸۰ و ۱۲۰ کیلو گرم الیاف در متر مکعب بتن در مقابل نسب ظاهری الیاف l/d آورده شده آورده شده



است. در نمودار ۳ نتایج آزمایشات مربوط به مقاومت فشاری بتن الیافی همراه با مواد افزودنی شامل میکروسیلیس و فوق روان کننده برحسب kg/cm^2 در قایل درصد حجمی الیاف با $\ell/60 = 60$ با $\phi 152 \times 305mm$ آورده شده است. در نمودار ۴ نسبت مقاومت فشاری بتن الیافی به بتن با مواد افزودنی و بدون مواد افزودنی با در نظر گرفتن درصد حجمی الیاف آورده شده است.



نمودار (۳) : مقاومت فشاری بتن الیافی با $\phi 152 \times 305mm$ در مقابل درصد حجمی الیاف



نمودار (۴) : نسبت مقاومت فشاری بتن الیافی به بتن های با مواد افزودنی و بدون

۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده با ازدیاد درصد الیاف، مقاومت فشاری بتن الیافی ممکن است با افزایش و یا کاهش مقاومت همراه باشد. تنها تأثیر الیاف فولادی در نمونه های فشاری بتن الیافی، می تواند افزایش نسبی در مقاومت ترک خوردگی باشد. چنانچه درصد بسیار کمی از الیاف فولادی در بتن بکار رود، تأثیر الیاف در حد جاری شدن یا مقاومت نخستین ترک بتن الیافی خیلی ناچیز خواهد بود. با توجه به نمودار شماره ۲ اگر σ معرف تنش فشاری بر حسب kg/cm^2 و $\frac{l}{d}$ معرف نسبت ظاهری الیاف مصرفی در بتن باشد روابط

زیر با $R^2 = 1$ در بتن الیافی تولید شده با میکروسیلیس و فوق روان کننده مطابق با طرح اختلاط ارائه شده برقرار است.

$$\sigma = -0.0063\left(\frac{l}{d}\right)^3 + 1.5581\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 128.37\frac{l}{d} + 4359.5 \xrightarrow{\text{if}} \frac{l}{d} = 80 \frac{kg}{m^3} \quad (2)$$

$$\sigma = -0.0058\left(\frac{l}{d}\right)^3 + 1.3782\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 109.33\frac{l}{d} + 3820.8 \xrightarrow{\text{if}} \frac{l}{d} = 120 \frac{kg}{m^3} \quad (3)$$

با توجه به نمودار ۳ اگر σ معرف تنش فشاری بر حسب kg/cm^2 و ξ معرف درصد الیاف در حجم بتن باشد رابطه زیر با $R^2 = 0.9863$ در بتن الیافی تولید شده با میکروسیلیس و فوق روان کننده مطابق با طرح اختلاط ارائه شده برقرار است.

$$\sigma = 1572222.22\xi^3 - 259333.33\xi^2 + 9915.40\xi + 843.4 \quad (4)$$

با توجه به نمودار شماره ۴ بهترین نتیجه از اختلاط ۳ درصد الیاف فولادی در دو نوع بتن با افزودنی و بدون افزودنی حاصل میگردد. در رابطه با نقش الیاف فولادی در مقاومت فشاری بتن و نتایج حاصل از تحقیقات انجام یافته شاید بتوان گفت که بهتر است از کاربرد الیاف فولادی در مقاطع فشاری پرهیز گردد چرا که با توجه به کاهش اتفاقی مقاومت فشاری، ضرورتی بر این کاربرد نیست، مگر اینکه هدف خاصی از کاربرد الیاف فولادی نظیر تولید قطعات ضد ضربه، استفاده در جداره های کوره ها و... مد نظر باشد.



تشکر و قد دانی

در اینجا لازم است از دانشکده فنی امام علی (ع) یزد که آزمایشگاه بتن را در اختیار ما قرار دادند تشکر و قدردانی کنیم.

منابع و مراجع:

- [۱] Aitcin, P.C; Pinsonneaut; Rav, P;, "The use of condensed silica fume in concrete," ۱۹۸۱.
- [۲] دلنواز، علی؛ اسد الله زاده، آرش. "برسی اثر نوع سنگدانه و میزان میکروسیلیس بر مشخصات مکانیکی بتن های سبک الیافی." ششمین کنفرانس سالیانه بتن ایران-تهران، ۱۳۹۳.
- [۳] Hameed, M.Rashid, "Contribution of metallic fibers on the performance of reinforced concrete structures for the seismic application," ۲۰۱۰.
- [۴] پرش، یوسف؛ مرادی، اسماعیل؛ نجائی آبادی، فهمیه؛ "ازیابی بتن الیافی و نقش آن در ترمیم سازه ها،" تبریز، ۱۳۸۸.
- [۵] Shah, S.P., "Do fibers in crease the tensile strength of cement-based matrixes?," vol. ۸۸, no. ۶, ۱۹۹۱.
- [۶] ایران، موسسه استاندارد و تحقیقات، ویژگیهای پوزانهای طبیعی، ۱۳۷۳.
- [۷] Park, Seung Hun; Kim, Dong Joo; Ryu, Gum Sung; Taekkoh, Kyung, "Tensile behavior of Ultra High Performance Hybrid Fiber Reinforced Concrete," Vols. ۱۷۲-۱۸۴, ۲۰۱۲.
- [۸] محسن زاده، سجاد؛ هاشمی، میر کامران؛ قاسم زاده موسوی نژاد، سید حسین؛ "برسی خواص مکانیکی بتن سبک حاوی ساروج-میکروسیلیس-نانو سیلیس،" ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران، ۱۳۹۳.
- [۹] رمضانیان پور، ع.؛ "دوام بتن و نقش سیمانهای پوزولانی،" ۱۳۷۶.
- [۱۰] باوری نسب، کاظم؛ میر خلیلی، الهه سادات؛ "برسی اثر درصد و طول به قطر الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن الیافی،" پانزده همین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور-ارومیه، ۱۳۹۳.
- [۱۱] مدنی، سید امیر حسین؛ ضیغمی، احسان الله؛ فاضلی، امین؛ "بتن های الیافی با شکل پذیری و مقاومت کششی افزون،" همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین-کرج، ۱۳۹۲.
- [۱۲] Q. Fang and J. h. Zhang, "Three-dimensional modelling of steel fiber reinforced concrete material under intense dynamic loading," ۲۰۱۳.
- [۱۳] Mehta, p.k., "Concrete:structure,properties, and materials",prentice-hall inc., ۱۹۸۶.
- [۱۴] Antoine, E.N" ., "Fiber reinforced for concrete ", ۱۹۸۵ .
- [۱۵] ACI Committee ۵۴۴, "State-of-the-art report-on fiber reinforced concrete," concrete international, ۱۹۸۲.
- [۱۶] خالو، علیرضا؛ بیات ماکو، کامیار؛ "خواص بتن مسلح به الیاف فولادی تحت بارگذاری ضربه ای،" کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران، ۱۳۶۹.
- [۱۷] ربانی، شهاب؛ حسن زاده، محسن؛ آجودانیان، علیرضا؛ بهفرنیا، کیاچهره؛ "برسی اثر پوزولان های مختلف بر عملکرد ملات در محیط سولفات،" چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران، ۱۳۹۱.
- [۱۸] Cioffi, R; Colangelo, F; Caputo, D; Liguori, B, "Influence of High Volumes of Ultra-Fine Additions on Self-Compacting Concrete," vol. ۲۳۹, ۲۰۰۶.
- [۱۹] Saad, M; Abo-El-Enian, SA; Hanna, GB; Kotkata, MF;, "Effect of silica fume on the phase composition and microstructure of thermally treated concrete," ۱۹۹۶.
- [۲۰] صدر ممتازی، علی؛ حسن زاده، معین؛ نیک فر، صابر؛ صحرایی جوبنی، علی؛ "تاثیر درجه حرارت بالا بر خصوصیات ملات سیمانی حاوی دوده سیلیس،" ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران، ۱۳۹۳.
- [۲۱] Ghandehari, Masoud; Behnood, Ali; Khanzadi, Mostafa;, "Residual mechanical properties of high- strength concretes after exposure to elevated temperatures," Vols. ۵۹-۶۴, ۲۰۱۰.



[۲۲] Morsy, M.S; Al-Salloum, Y.A; Abbas, H; Alsayed, S.H.;, "Behavior of blended cement mortars containing nano metakaolin at elevated temperatures," Vols. ۹۰۰-۹۰۵, ۲۰۱۲.

[۲۳] شکرچی زاده, محمد; ریاضی, سیامک; صبری رزم, خدیجه; "اثر جایگزینی میکروسیلیس و مقدار آب به سیمان در نفوذ یون کلراید," ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران, ۱۳۹۳.

[۲۴] وظیفه خواه, نیما; مناف پور, علیرضا; "برسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی," پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد-ایران, ۱۳۸۹.