فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰
صفحات ۱۲۴-۱۳۵
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

بررسی اثر استفاده از الیاف های مختلف بر خصوصیات مکانیکی بتن پودری واکنش پذیر

ایمان امامی
کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران .

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر استفاده از الیاف های مختلف بر خصوصیات مکانیکی بتن پودری واکنش پذیر(RPC) صورت گرفته است، داده ها با استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی گردآوری و تحلیل آماری به کمک نرم افزار spss و اکسل صورت گرفته است. نتایج نشان داد . با مقایسه بتون بدون الیاف و الیاف دار می توان گفت که با گذشت زمان مقاومت فشاری بتون الیاف دار افزایش یافته و الیاف منجر به افزایش مقاومت فشار مکانیکی می گردد . با مقایسه بتون الیاف دار خمشی و فشاری می توان گفت که بتون الیاف دار فشاری مقاومت بیشتری نسبت به بتون الیاف دار خمشی داشته است. با مقایسه مقاومت کششی و فشاری بتون الیاف دار در آب معمولی و آب جوش می توان گفت که در آب معمولی مقاومت خمشی و فشاری بیش از آب جوش بوده است. با مقایسه بتون الیاف دار خمشی و فشاری می توان گفت که بتون الیاف دار فشاری مقاومت بیشتری نسبت به بتون الیاف دار خمشی داشته است . با مقایسه مقاومت کششی و فشاری بتون الیاف دار در آب معمولی و آب جوش می توان گفت که در آب معمولی مقاومت خمشی و فشاری بیش از آب جوش بوده است . در مقایسه بتون بدون الیاف در آب جوش و آب معمولی نتایج نشان داده است که تفاوت چندانی وجود ندارد .

کلیدواژه: بتن، الیاف فشار مکانیکی و آب جوش

۱- مقدمه

تکنولوژی بتن الیافی نمونه دیگری از کاربرد کامپوزیت ها به عنوان یک فن آوری نوین در صنعت ساخت و ساز می باشد، بدین منظور مطلب حاضر سعی در معرفی این تکنولوژی خواهد داشت. از جمله مواد جدیدی که جایگاه ویژه ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی‌های بتن و الیاف تقویت کننده می باشد. استفاده از افزودنی های بتن باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می گردد و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فرا راه مهندسین بنا قرار می دهد. بدون بهره گیری از این افزودنی ها بنای برج بزرگ میلاد در شهر تهران امکان پذیر نمی بود. الیاف تقویت کننده نیز از دیگر مواد عصر حاضر هستند که کاربرد های فراوانی در قسمت های مختلف ساختمان یافته اند . این الیاف که بیشتر شامل الیاف شیشه، پلی پروپیلن و گاه کربن نیز می شود، در ساخت انواع بتن های الیافی کاربرد فراوان دارد. همچنین از الیاف شیشه می توان در تولید آرماتورهای سبک و بسیار مقاوم در برابر خوردگی بهره برد. این الیاف جایگاه نسبتاً مناسبی در تعمیر بناها و تقویت سازه های صدمه دیده دارند و می توانند مقاومت پیچشی و برشی مناسبی پدید آورند. علاوه بر اینها از ورقه های پارچه‌ای فایبر گلاس نیز در تقویت انواع قطعات ساخته شده از بتن مسلح می توان استفاده نمود (کیوانی ،۱۳۶۹) .

بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی و فشاری 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 پرانحنا را فراهم می آورد. بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است و تحت اثر بارهای ضربه ای به راحتی ازهم پاشیده نمی شود .شاهد تاریخی این فن آوری، کاربرد کاهگل در بناهای ساختمان است. در واقع بتن الیافی نوع پیشرفته این تکنولوژی می باشد که الیاف طبیعی و مصنوعی جدید، جانشین کاه، و سیمان جانشین گل بکار رفته در کاهگل شده است. امروزه با استفاده از الیاف شیشه، پلی پروپیلن، فولاد و بعضاً کربن، تولید انواع بتن های کامپوزیتی در کاربردهای مختلف صنعتی ممکن گردیده و بکارگیری آنها در کشورهای پیشرفته دنیا مورد قبول صنعت ساختمان واقع شده است(خالو،۱۳۷۱).

تاکنون مشخص شده است که انواع الیافها می توانند ظرفیت کرنش مقاومت دربرابر ضربه میزان جذب انرژی مقاومت سایشی و مقاومت کششی بتن را افزایش دهند. بطور کلی برای کاربرد در سازه الیاف فولادی میتواند نقش مکملی برای میلگرد داشته باشد. الیاف فولادی با پخش ترکها مقابله میکنند ومقاومت بتن را در برابر خستگی ضربه جمع شدگی وتنشهای حرارتی افزایش داده و بتن در همه مدهای شکست روی خواص مکانیکی بتن تاثیر مثبت میگذارد.از اهم متغیرهایی که بر خواص بتن با الیاف فولادی اثر میگذراند میتوان به خواص ماتریس بتن بازدهی الیاف و مقدار الیاف اشاره کرد.تکنولوژی بتن پرمقاومت توسعه ای جدید در صنعت ساخت سازه های بتنی محسوب میشود. در بتن سخت شده مقاومت و دوام دو عامل اصلی بوده وهر چه مقاومت فشاری بتن بیشتر می شود بتن تردتر شده ودر نتیجه مقاومت کششی آن به نسبت افزایش مقاومت فشاری افزایش نمی یابد و نیز از تحمل کرنش پایینتر برخوردار است. بدین دلیل نیاز به استفاده از الیاف در بتن پرمقاومت کاملا مشهود است .جهت افزایش مقاومت کششی و جلوگیری از گسترش ترک و بویژه افزایش نرمی از الیاف در بتن استفاده میشود. مقدار افزایش با تغییر این مقاومت ها بستگی به مقاومت بتن بدون الیاف شکل الیاف ودرصد الیاف دارد(کیوانی ،۱۳۶۹) .

بتن معمولی یکی از مصالح معمول در ساخت و ساز است که با مشکلاتی نظیر مقاومت و دوام پایین دربرابر خوردگی ناشی از نفوذ یون کلروسولفور در شرایط خاص مواجه است . به همین دلیل محققان اقدام به جایگزین کردن بتن مقاوم تر به نام بتن با عملکرد بالا(HPC) نمودند .سپس بتنهای با عملکرد فوقالعاده(UHPC) طراحی شد و در نهایت تلاش دست اندرکاران دانش بتن منجر به ساخت بتنهای پودری واکنشی (RPC) گردید (معراجی و همکاران ،۱۳۹۱)

با مقایسه ی رفتار مکانیکی بتن پودری در مقایسه با سایر بتنهای موجود عملکرد مکانیکی بهتر را نشان می دهد. بتن پودری واکنشی از سال 1990 گسترش چشمگیری پیدا نمود. قبل از آن HPC مهمترین و مناسبترین گزینه برای بتن های با مقاومت مناسب و عملکرد بالا بود.

اولین سازه ساخته شده با RPC پلی است در شربروک کبک که در طراحی و ساخت آن از بتن RPC استفاده شده و این امر باعث کاهش قابل توجه مقاطع بتن ی از لحاظ ابعاد و وزن شده است (خداویردی زنجانی و همکاران ،۱۳۹۱) .

مصالح متداول مورد کاربرد در ساخت بتنRPC عبارت اند از سیمان پرتلند، پودر کوارتز، دوده سیلیسی، فوق روان کننده و الیاف فولادی(صدر ممتازی و نصرتی ،۱۳۹۲).

جهت دستیابی به مقاومت و کیفیت بالاتر، در کنار سیمان پرتلند از خاکستر بادی و میکروسیلیس استفاده می شود . با توجه به اینکه تهیه کوارتز نیز هزینهٔ زیادی را می طلبد، جهت کاهش هزینه ها در ساخت بتن پودری استفاده از سنگدانه های طبیعی با اندازه 3 میلیمتر و پایین پیشنهاد شده است (رحمت آبادی ،۱۳۹۲).

گزارشهای ارائه شده درخصوص مطالعات تحقیقاتی و آزمایشگاهی در زمینهٔ ساخت بتنهای پودری با توجه به نسبتاً جدید بودن نوع بتن در سطح جهانی محدود بوده و در داخل کشور نیز گزارش مطالعاتی ارائه شده است . در همین راستا نیز ساخت و تولید بتنهای ویژه با توجه به کاربردهای ویژه آنها در سازه های خاص حائز اهمیت بوده و لزوم شناسایی و بررسی عملکرد آنها ضروری است(شهابیان ،۱۳۹۲).

از جمله بتنهای فوق توانمندی که در سال 1994 توسط یک شرکت ساختمانی فرانسوی به ثبت رسید بتن پودری واکنش پذیر (Reactive Powder Concrete) یا RPC میباشد .در این نوع بتن با حذف درشت دانه ها و جایگزینی آنها با ماسه سیلیسی ریزدانه با اندازه قطر حداکثر 600 میکرومتر و با به کار بردن مقدار زیادی میکروسلیس و با نسبت آب به سیمان پایین به خواص فوق العاده ای از جمله مقاومت فشاری بسیار بالا(حداقل 150 MPa) ، چگالی تراکمی زیاد، نفوذپذیری کم و دوام بسیار بالا دست یافته اند .از دیگر مصالح مهم به کار رفته دراین نوع بتن، الیاف فولادی ریز با مقاومت کششی بالا میباشد که سبب افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت خمشی، شکل پذیری و جذب انرژی بتن میشود .در این تحقیق سعی شده است تا اثر استفاده از الیاف مختلف بر خواص بتن RPC بررسی شود . بدین منظور نوعی الیاف فولادی مستقیم کوتاه و نوعی الیاف کربن ریز شده (CFRP)مورداستفاده قرار گرفتند. مقدار الیاف فولادی به میزان حدودا 2.5% حجمی و مقدار الیاف کربن در حدود 2.5% وزن سیمان مصرفی، در نظر گرفته شدند .نمونه های مکعبی مقاومت فشاری و نمونه های منشوری مقاومت خمشی از بتن RPC با به کار بردن الیاف مختلف در آزمایشگاه بتن ، ساخته شده و اثر این الیاف بر روی خواص بتن ازجمله مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و چقرمگی آن بررسی می شود . نتایج نشان داد که بتن تهیه شده با الیاف فولادی بهترین عملکرد فشاری و خمشی را دارا میباشد .همچنین با اینکه افزودن الیاف کربن ریز به بتن RPC تهیه شده، برخلاف انتظار، سبب افزایش مقاومت فشاری و خمشی نشد ولی چقرمگی و ظرفیت جذب انرژی آن را تا حدی افزایش داد(مروتی و کرمی ،۱۳۸۸).

اضافه کردن الیاف به بتن RPC بشدت بر کاهش کارایی بتن تازه تاثیر می گذارد.

- در بتن خود تراکم می توان قسمت باز سیمان را با مواد پوزولانی همچون خاکستر بادی، میکروسیلیس، پودر سنگ آهک و پودر سرباره جایگزین نمود.
- الیاف با طولهای بیشتر نیاز به آب و ملات بیشتری هم دارد.
- حرارت دادن الیاف منجر به پلیمریزاسیون و تجزیه این مواد می شود.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر استفاده از الیاف های مختلف بر خصوصیات مکانیکی بتن پودری واکنش پذیر RPC با مصالح بومی و نیز مطالعه برخی از پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد آن است.

روش تحقیق

همانطور که قبلاً اشاره شد، مصالح مصرفی در ساخت RPC شامل سیمان، ماسه سیلیسی، پودرسیلیس، میکروسیلیس، فوق – روان کننده ، الیاف فولادی و آب میباشد . مصالح و طرح اختلاط به کار رفته، بر اساس نتایج تحقیق صورت گرفته میباشند [9] .سیمان تیپ I ، با مشخصات فیزیکی و شیمیایی استاندارد، مورد استفاده قرار گرفت .میکروسیلیس به کار رفته، ، محصول کارخانه صنعتی فروآلیاژ ایران میباشد .

آزمایشهای بتن :کلیه آزمایشهای صورت گرفته بر روی مخلوط های ساخته شده در دو وضعیت بتن تازه و بتن سخت شده انجام شده است.

آزمایش بتن تازه :آزمایش اسلامپ برای کارایی بتن تازه در نظر گرفته شد .این آزمایش مطابق با استاندارد انجام شد .نتایج این آزمایش حاکی از آن است که افزودن الیاف اسلامپ بتن سبک را به شدتASTM C143 کاهش میدهد که بیشترین میزان افت اسلامپ در بتن حاوی الیاف فولاد و پلی پروپلین مشاهده شد.

آزمایشهای بتن سخت شده:

آزمایش تعیین مقاومت فشاری:۶ نمونه مکعبی با ابعاد 10 در 10 در 10 برای بدست آوردن مقاومت فشاری در سنین 7 و 28و 90 روزه مطابق استاندارد BS1881 Part ۱۱۶ .مطابق در نظر گرفته شد.

آزمایش تعیین مقاومت کششی به روش دو نیم شدن :آزمایش تعیین مقاومت کششی به روش دو نیم شدن بر اساس استانداردASTM C۴۹۶ بر روی دو نمونه ی استوانه اس با قطر 150 میلی متر و ارتفاع 300 میلی متر در سن 90 روز انجام شد.

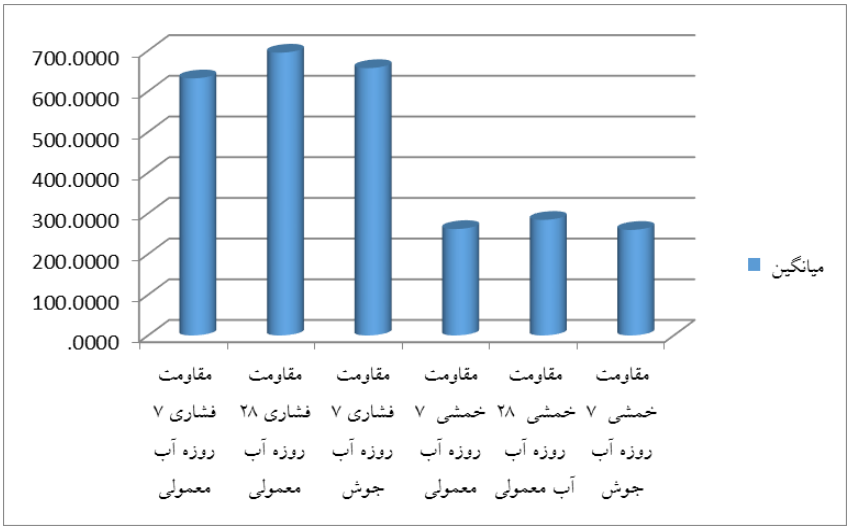
آزمایش تعیین مقاومت خمشی :آزمایش تعیین مقاومت خمشی بر روی دو نمونه ی منشوری 100 در 100 در میلی متر طبق استانداردASTM C۱۰۱۸ در سن 90 روزه انجام شد و بارگذاری انجام شد.

آزمایش تنش-کرنش :این آزمایش بر روی دو نمونه ی استوانه ای به قطر 150 میلی متر و ارتفاع 300 میلی متر در سن 90 روز مطابق استانداردASTM C۴۹۶ انجام شد**.** داده ها با استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی گردآوری و در قالب جداول داده های خام وارد میگردد .سپس با استفاده از آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، آزمایش شکل پذیری، آزمایش میزان تنش کرنش، داده ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد .نتایج حاصل در قالب جداول و نمودارهای تحلیلی توسط نرم افزار اکسل(Excel) تبیین میگردد.

نتایج

آزمونهای فشاری (۱۰×۱۰) و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) بدون الیاف

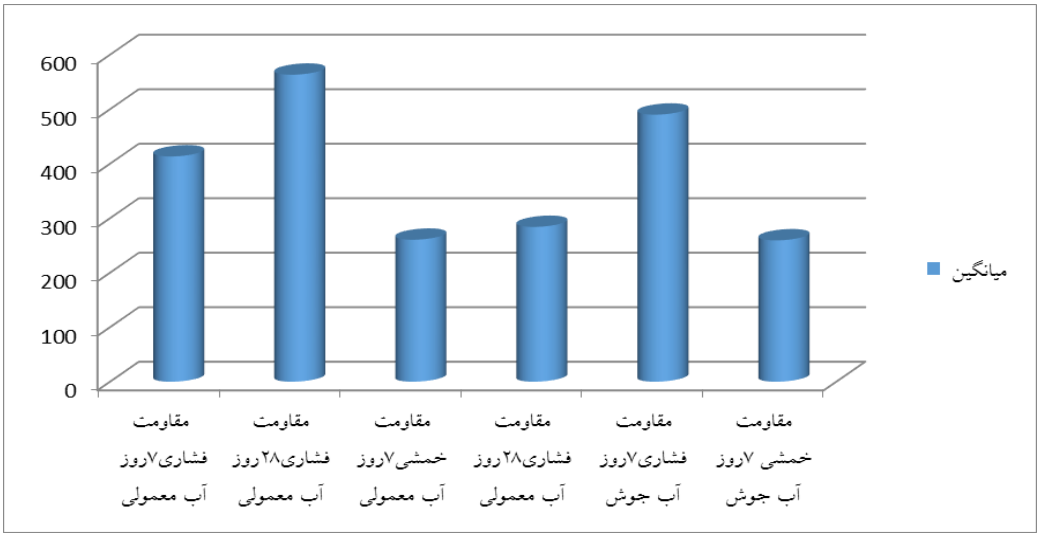
مطابق شکل ۱ نتایج نشان داد که میانگین مقاومت فشاری در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بترتیب ۲۹۰ و ۳۴۷,۷ و انحراف معیار ۱۰ و ۳۲,۱ می باشد . در ارتباط با مقاومت کششی در در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه نتایج نشان داد بترتیب میانگین ۳۳۳,۳و ۱۵۹,۷ و انحراف معیار ۳۰,۵ و ۵,۷ می باشد . در ارتباط با مقاومت فشاری در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۱۷۸,۲ و انحراف معیار ۴,۳ می باشد و در ارتباط با مقاومت خمشی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۱۶۲,۶ و انحراف معیار ۹,۵ می باشد .



شکل۱: نتایج آزمونهای فشاری (۱۰×۱۰) و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) بدون الیاف (kg/cm^2)

آزمونهای فشاری (۱۰×۱۰) و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) با الیاف

مطابق شکل ۲نتایج نشان داد که میانگین مقاومت فشاری در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بترتیب ۴۱۳/۳ و ۵۶۳/۳ و انحراف معیار ۸۷/۴ و ۲۰/۲ می باشد . در ارتباط با مقاومت کششی در در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه نتایج نشان داد بترتیب میانگین ۲۶۰/۵و ۲۸۴ و انحراف معیار ۲/۲ و ۶/۱ می باشد . در ارتباط با مقاومت فشاری در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۴۹۰ و انحراف معیار ۴۰ می باشد و در ارتباط با مقاومت خمشی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۳۰۰/۳ و انحراف معیار ۱۰/۱ می باشد .



شکل۲: نتایج آزمونهای فشاری (۱۰×۱۰) و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) با الیاف (kg/cm^2)

آزمونهای فشاری (۵×۵)و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) بدون الیاف

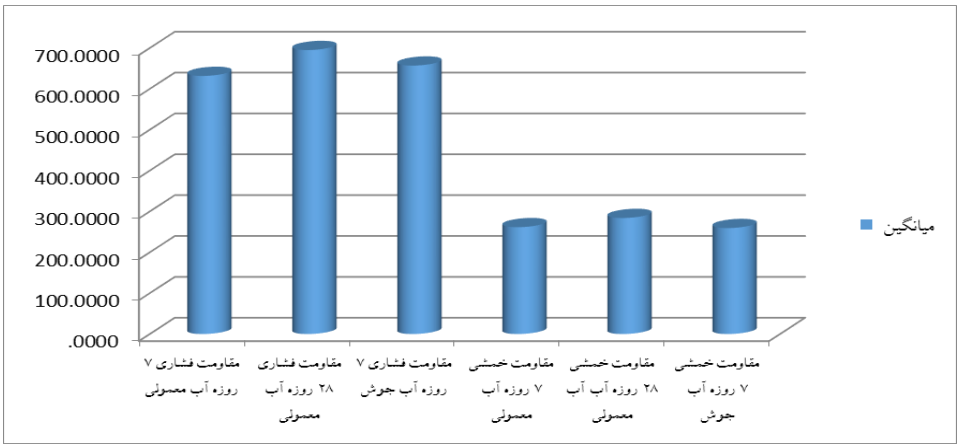
مطابق شکل ۳ نتایج نشان داد که میانگین مقاومت فشاری در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بترتیب۴۹۱/۳ و ۶۳۲ و انحراف معیار ۸۰ و ۱۶ می باشد . در ارتباط با مقاومت کششی در در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه نتایج نشان داد بترتیب میانگین ۱۵۹/۷ و ۱۷۸/۲ و انحراف معیار ۵/۷ و ۴/۳ می باشد . در ارتباط با

مقاومت فشاری در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۴۹۳/۶ و انحراف معیار ۱۷/۱ می باشد و در ارتباط با مقاومت خمشی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۱۷۲/۶ و انحراف معیار ۹/۴ می باشد .

شکل۳: نتایج آزمونهای فشاری (۵×۵) و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) بدون الیاف (kg/cm^2)

آزمونهای فشاری (۵×۵)و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) با الیاف

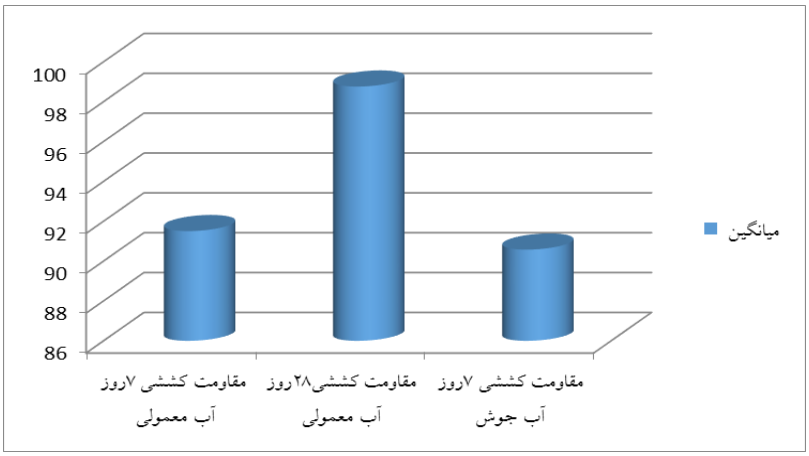
مطابق شکل ۳ نتایج نشان داد که میانگین مقاومت فشاری در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بترتیب ۶۳۱,۷و ۶۹۵ و انحراف معیار ۱۲,۵۸و ۳۰,۷ می باشد . در ارتباط با مقاومت کششی در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه نتایج نشان داد بترتیب میانگین ۲۶۱,۵و ۲۸۴ و انحراف معیار ۳,۶ و ۶,۱ می باشد . در ارتباط با مقاومت فشاری در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۶۵۷ و انحراف معیار ۸,۵ می باشد و در ارتباط با مقاومت خمشی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در باز زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۲۵۹,۳ و انحراف معیار ۱۰,۱ می باشد .



شکل۳: نتایج آزمونهای فشاری (۵×۵) و خمشی(۱۴,۲×۴×۴) با الیاف (kg/cm^2)

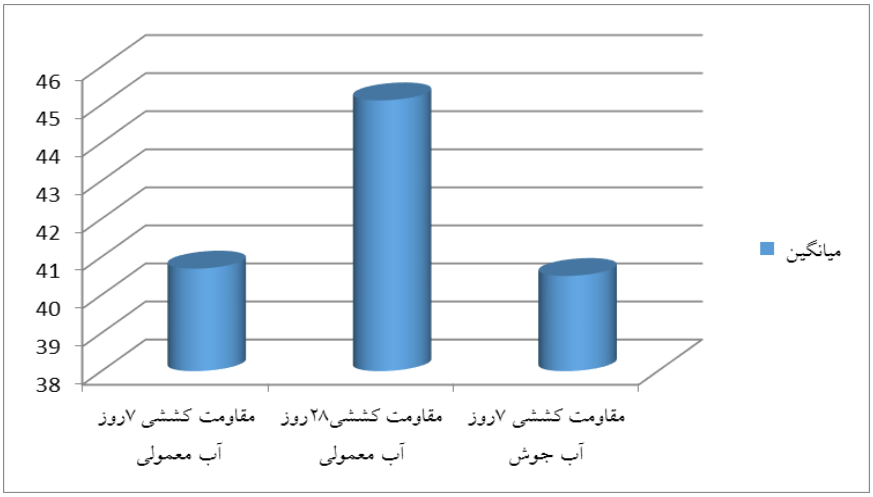
آزمون های مقاومت کششی با الیاف

مطابق شکل ۴ نتایج نشان داد که میانگین مقاومت کششی در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بترتیب۹۱/۵ و ۹۸/۷ و انحراف معیار ۴/۱ و ۴/۶ می باشد . در ارتباط با مقاومت کششی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۹۰/۵ و انحراف معیار ۴ می باشد .



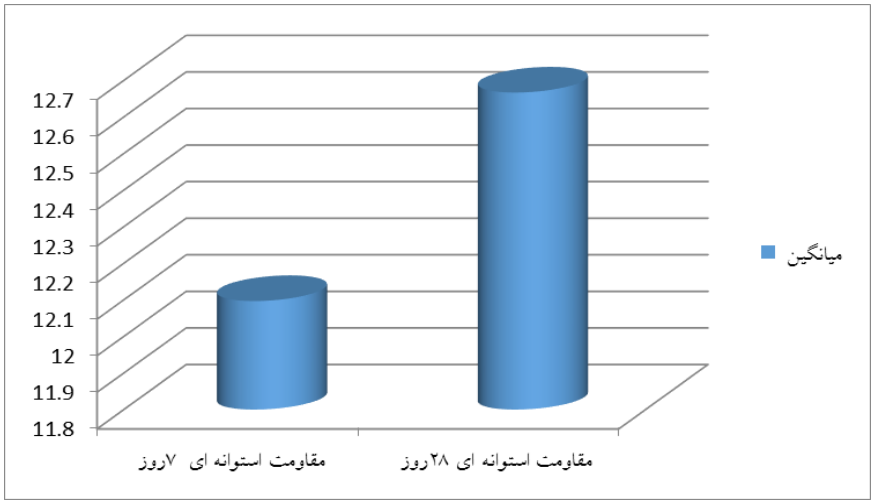
شکل۴: آزمون های مقاومت کششی با الیاف(kg/cm^2)

مطابق شکل ۵ نتایج نشان داد که میانگین مقاومت کششی در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بترتیب ۴۰/۷ و ۴۵/۱ و انحراف معیار ۱/۸ و ۱/۳ می باشد . در ارتباط با مقاومت کششی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد میانگین ۴۰/۵ و انحراف معیار ۱/۴ می باشد



شکل ۵ : آزمون های مقاومت کششی بدون الیاف(kg/cm^2)

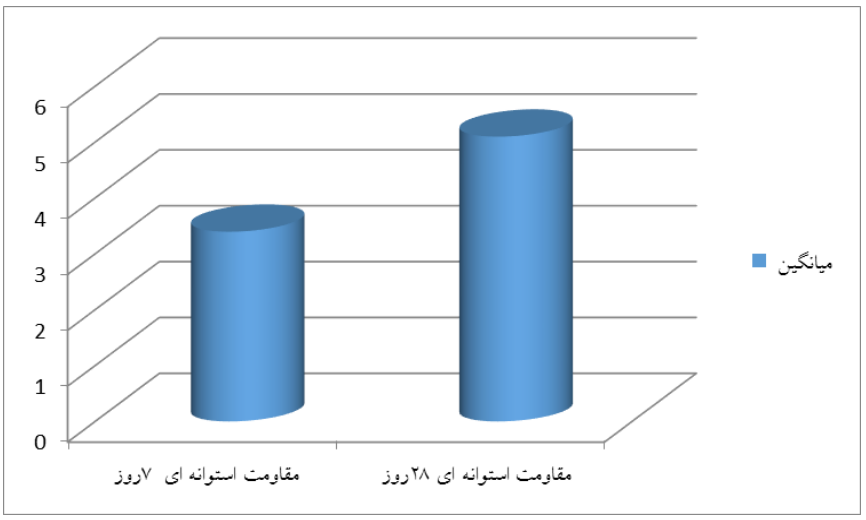
مطابق شکل ۶ نتایج نشان داد که میانگین و انحراف معیار تنش استوانه ای بعد از ۷ روز ۱۲/۱ و ۰/۷ و میانگین و انحراف معیار بعد از ۲۸ روز ۱۲/۶ و ۱/۱ می باشد .



شکل۶: آزمون تنش استوانه ای بدون الیاف(kg/cm^2)

آزمایش تنش استوانه ای (۱۰× ۲۰) با الیاف

مطابق شکل ۷ نتایج نشان داد که میانگین و انحراف معیار تنش استوانه ای بعد از ۷ روز ۳/۴ و ۰/۴ و میانگین و انحراف معیار بعد از ۲۸ روز ۵/۱ و ۰/۶ می باشد .



شکل۷: آزمون تنش استوانه ای با الیاف(kg/cm^2)

بحث و نتیجه گیری

تکنولوژی بتن الیافی نمونه دیگری از کاربرد کامپوزیت ها به عنوان یک فن آوری نوین در صنعت ساخت و ساز می باشد. بدین منظور مطلب حاضر سعی در معرفی این تکنولوژی خواهد داشت.

از جمله مواد جدیدی که جایگاه ویژه ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی‌های بتن و الیاف تقویت کننده می باشد. استفاده از افزودنی های بتن باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می گردد و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فرا راه مهندسین بنا قرار می دهد. بدون بهره گیری از این افزودنی ها بنای برج بزرگ میلاد در شهر تهران امکان پذیر نمی بود. الیاف تقویت کننده نیز از دیگر مواد عصر حاضر هستند که کاربرد های فراوانی در قسمت های مختلف ساختمان یافته اند.

این الیاف که بیشتر شامل الیاف شیشه، پلی پروپیلن و گاه کربن نیز می شود، در ساخت انواع بتن های الیافی کاربرد فراوان دارد. همچنین از الیاف شیشه می توان در تولید آرماتورهای سبک و بسیار مقاوم در برابر خوردگی بهره برد. این الیاف جایگاه

نسبتاً مناسبی در تعمیر بناها و تقویت سازه های صدمه دیده دارند و می توانند مقاومت پیچشی و برشی مناسبی پدید آورند. علاوه بر اینها از ورقه های پارچه‌ای فایبر گلاس نیز در تقویت انواع قطعات ساخته شده از بتن مسلح می توان استفاده نمود .

بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی و فشاری 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 پرانحنا را فراهم می آورد. بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است و تحت اثر بارهای ضربه ای به راحتی ازهم پاشیده نمی شود .شاهد تاریخی این فن آوری، کاربرد کاهگل در بناهای ساختمان است. در واقع بتن الیافی نوع پیشرفته این تکنولوژی می باشد که الیاف طبیعی و مصنوعی جدید، جانشین کاه، و سیمان جانشین گل بکار رفته در کاهگل شده است. امروزه با استفاده از الیاف شیشه، پلی پروپیلن، فولاد و بعضاً کربن، تولید انواع بتن های کامپوزیتی در کاربردهای مختلف صنعتی ممکن گردیده و بکارگیری آنها در کشورهای پیشرفته دنیا مورد قبول صنعت ساختمان واقع شده است .

تاکنون مشخص شده است که انواع الیافها می توانند ظرفیت کرنش مقاومت دربرابر ضربه میزان جذب انرژی مقاومت سایشی و مقاومت کششی بتن را افزایش دهند. بطور کلی برای کاربرد در سازه الیاف فولادی میتواند نقش مکملی برای میلگرد داشته باشد. الیاف فولادی با پخش ترکها مقابله میکنند ومقاومت بتن را در برابر خستگی ضربه جمع شدگی وتنشهای حرارتی افزایش داده و بتن در همه مدهای شکست روی خواص مکانیکی بتن تاثیر مثبت میگذارد.از اهم متغیرهایی که بر خواص بتن با الیاف فولادی اثر میگذراند میتوان به خواص ماتریس بتن بازدهی الیاف و مقدار الیاف اشاره کرد.تکنولوژی بتن پرمقاومت توسعه ای جدید در صنعت ساخت سازه های بتنی محسوب میشود. در بتن سخت شده مقاومت و دوام دو عامل اصلی بوده وهر چه مقاومت فشاری بتن بیشتر می شود بتن تردتر شده ودر نتیجه مقاومت کششی آن به نسبت افزایش مقاومت فشاری افزایش نمی یابد و نیز از تحمل کرنش پایینتر برخوردار است. بدین دلیل نیاز به استفاده از الیاف در بتن پرمقاومت کاملا مشهود است .جهت افزایش مقاومت کششی و جلوگیری از گسترش ترک و بویژه افزایش نرمی از الیاف در بتن استفاده میشود. مقدار افزایش با تغییر این مقاومت ها بستگی به مقاومت بتن بدون الیاف شکل الیاف ودرصد الیاف دارد .

بتن پرمقاومت شامل الیاف فولادی، ترکیبی است از سیمان، مصالح سنگی، آب، فوق روان کننده، دوده سیلیس وهمچنین درصدی از الیاف فولادی که بطور درهم و کاملا اتفاقی ودر جهات مختلف در مخلوط پراکنده شده است. وجود الیاف فولادی مشخصات مکانیکی بتن را نسبت به حالت بهبود می‌بخشد. بتن پرمقاومت یک ماده ترد وشکننده است در حالیکه افزودن الیاف فولادی به بتن پرمقاومت سبب بهبود رفتار ترد بتن وتغییرمد شکست آن می‌گردد. مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن بدون الیاف را می توان بطور خلاصه بشرح ذیل بیان داشت:

۱- مقاومت در مقابل تورق وسایش
۲- مقاومت در مقابل تنش های خستگی
۳- مقاومت عالی در مقابل ضربه
۴- قابلیت کششی وظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی
۵- قابلیت باربری بعد از ترک خوردگی
۶- افزایش در میزان جذب انرژی

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 در همه جهات پراکنده می شود در صورت تشکیل یک ترک 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 وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترکهای زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می دهند.

در ارتباط با مقایسه مقاومت فشاری بتن در آب معمولی (۲۰ درجه سانتی گراد) نتایج نشان داد که در بازه های زمانی ۷ و ۲۸ روز میانگین مقاومت فشاری در بتن الیاف دار بیش از بتون بدون الیاف بوده است بطوریکه در بتون الیاف دار در بازه زمانی ۷

روزه میانگین مقاومت فشاری۴۱۳/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است ولی در بتون بدون الیاف ۲۹۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . در بازه زمانی ۲۸ روزه این مقاومت نیز افزایش داشته است بطوریکه در بتون الیاف دار ۵۶۳/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون بدون الیاف ۳۴۷/۷ می باشد . با مقایسه بتون بدون الیاف و الیاف دار می توان گفت که با گذشت زمان مقاومت فشاری بتون الیاف دار افزایش یافته و الیاف منجر به افزایش مقاومت فشار مکانیکی می گردد .

در ارتباط با مقایسه مقاومت خمشی بتن در آب معمولی (۲۰ درجه سانتی گراد) نتایج نشان داد که در بازه های زمانی ۷ و ۲۸ روز میانگین مقاومت خمشی در بتن الیاف دار و بدون الیاف متفاوت است بطوریکه در بازه زمانی ۷ روز میانگین مقاومت خمشی در بتون الیاف دار ۲۶۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع ولی در بتون بدون الیاف این مقدار ۳۳۳/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است که می توان نتیجه گرفت بتون الیاف دار در بازه ۷ روز نسبت به بتون بدون الیاف مقاومت کمتری داشته است . در ارتباط با بازه زمانی ۲۸ روز نتایج نشان داد که مقاومت خمشی بتون الیاف دار بیش از بتون بدون الیاف بوده است بطوریکه مقاومت خمشی در بتون بدون الیاف ۱۵۹/۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون الیاف دار ۲۸۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد . در مجموع می توان گفت که گذشت زمان در افزایش مقاوت خمشی بتون الیاف دار تاثیر دارد و بتون الیاف دار با گذشت زمان در مقابله با مقاومت وارد شده نتایج بهتری نسبت به مراحل اولیه داشته است .

با مقایسه بتون الیاف دار خمشی و فشاری می توان گفت که بتون الیاف دار فشاری مقاومت بیشتری نسبت به بتون الیاف دار خمشی داشته است .

در ارتباط با بررسی مقاومت فشاری و خمشی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد که مقاومت فشاری بتون الیاف دار بیشتر از بتون بدون الیاف بوده است بطوریکه در بتون الیاف دار مقاومت فشاری ۴۹۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون بدون الیاف این مقدار ۱۷۸/۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . در ارتباط با مقاومت خمشی در آب جوش ۹۰ درجه نتایج نشان داد که مقاومت خمشی بتون الیاف دار بیش از بتون بدون الیاف بوده بطوریکه در بتون بدون الیاف ۱۶۲/۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون الیاف دار ۲۵۹/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . با مقایسه مقاومت خمشی و فشاری بتون الیاف دار می توان نتیجه گرفت مقاومت فشاری بیش از مقاومت خمشی بوده است .

با مقایسه مقاومت کششی و فشاری بتون الیاف دار در آب معمولی و آب جوش می توان گفت که در آب معمولی مقاومت خمشی و فشاری بیش از آب جوش بوده است . نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج رحمت آبادی (۱۳۹۲) همخوانی دارد . در این پژوهش، تاثیر افزودن الیاف فولادی بر مقاومت فشاری و کششی ۲۸ روزه RPC نیز با انجام آزمایش‌هایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش بیانگر آن است که میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های با ۱، ۲ و ۳ درصد حجمی از الیاف، به ترتیب ۶ ۲۰ و ۵ درصد نسبت به نمونه های بدون الیاف افزایش نشان می‌دهد. این افزایش در مقاومت کششی به ترتیب مشابه برابر ۴۶، ۷۳ و ۶۶ درصد می‌باشد. توانایی RPC در ترمیم و تقویت تیرهای بتنی از موضوعات قابل توجه و کاربردی این نوع بتن بوده، که در ادامه این پژوهش به آن پرداخته شده است.نتایج این تحقیق نیز با نتایج خالو و همکاران(۱۳۹۰) همخوانی دارد زیرا نتایج آزمایشها و تحلیل نشان میدهد که طرح اختلاط با 15 درصد دوده سیلیسی بهینه بوده و بیشترین مقاومتهای خمشی و فشاری در هر سه حالت مختلف رژیم عمل آوری فراهم می آورد . همچنین با نتایج معراجی و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی ندارد . معراجی و همکاران نتیجه گرفتند با اینکه افزودن الیاف کربن ریز به بتن RPC تهیه شده، برخلاف انتظار، سبب افزایش مقاومت فشاری و خمشی نشد ولی چقرمگی و ظرفیت جذب انرژی آن را تا حدی افزایش داد.

در ارتباط با مقایسه مقاومت فشاری بتن در آب معمولی (۲۰ درجه سانتی گراد) نتایج نشان داد که در بازه های زمانی ۷ و ۲۸ روز میانگین مقاومت فشاری در بتن الیاف دار بیش از بتون بدون الیاف بوده است بطوریکه در بتون الیاف دار در بازه زمانی ۷ روزه میانگین مقاومت فشاری۶۳۱/۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است ولی در بتون بدون الیاف ۴۹۱/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . در بازه زمانی ۲۸ روزه این مقاومت نیز افزایش داشته است بطوریکه در بتون الیاف دار ۶۹۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون بدون الیاف ۶۳۲ می باشد . با مقایسه بتون بدون الیاف و الیاف دار می توان گفت که با گذشت زمان مقاومت فشاری بتون الیاف دار افزایش یافته و الیاف منجر به افزایش مقاومت فشار مکانیکی می گردد .

در ارتباط با مقایسه مقاومت خمشی بتن در آب معمولی (۲۰ درجه سانتی گراد) نتایج نشان داد که در بازه های زمانی ۷ و ۲۸ روز میانگین مقاومت خمشی در بتن الیاف دار و بدون الیاف متفاوت است بطوریکه در بازه زمانی ۷ روز میانگین مقاومت خمشی در بتون الیاف دار ۲۶۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع ولی در بتون بدون الیاف این مقدار ۱۵۹/۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است که می توان نتیجه گرفت بتون الیاف دار در بازه ۷ روز نسبت به بتون بدون الیاف مقاومت بیشتری داشته است . در ارتباط با بازه زمانی ۲۸ روز نتایج نشان داد که مقاومت خمشی بتون الیاف دار بیش از بتون بدون الیاف بوده است بطوریکه مقاومت خمشی در بتون بدون الیاف ۱۷۸/۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون الیاف دار ۲۸۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد . در مجموع می توان گفت که گذشت زمان در افزایش مقاوت خمشی بتون الیاف دار تاثیر دارد و بتون الیاف دار با گذشت زمان در مقابله با مقاومت وارد شده نتایج بهتری نسبت به مراحل اولیه داشته است .

با مقایسه بتون الیاف دار خمشی و فشاری می توان گفت که بتون الیاف دار فشاری مقاومت بیشتری نسبت به بتون الیاف دار خمشی داشته است .

در ارتباط با بررسی مقاومت فشاری و خمشی در آب جوش ۹۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ روزه نتایج نشان داد که مقاومت فشاری بتون الیاف دار بیشتر از بتون بدون الیاف بوده است بطوریکه در بتون الیاف دار مقاومت فشاری ۶۵۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون بدون الیاف این مقدار ۴۹۳/۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . در ارتباط با مقاومت خمشی در آب جوش ۹۰ درجه نتایج نشان داد که مقاومت خمشی بتون الیاف دار بیش از بتون بدون الیاف بوده بطوریکه در بتون بدون الیاف ۱۷۲/۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون الیاف دار ۳۰۰/۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . با مقایسه مقاومت خمشی و فشاری بتون الیاف دار می توان نتیجه گرفت مقاومت فشاری بیش از مقاومت خمشی بوده است .

با مقایسه مقاومت کششی و فشاری بتون الیاف دار در آب معمولی و آب جوش می توان گفت که در آب معمولی مقاومت خمشی و فشاری بیش از آب جوش بوده است . نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج رحمت آبادی (۱۳۹۲) همخوانی دارد . نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج رحمت آبادی (۱۳۹۲) همخوانی دارد . در این پژوهش، تاثیر افزودن الیاف فولادی بر مقاومت فشاری و کششی ۲۸ روزه RPC نیز با انجام آزمایش‌هایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش بیانگر آن است که میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های با ۱، ۲ و ۳ درصد حجمی از الیاف، به ترتیب ۶ ۲۰ و ۵ درصد نسبت به نمونه های بدون الیاف افزایش نشان می‌دهد. این افزایش در مقاومت کششی به ترتیب مشابه برابر ۴۶، ۷۳ و ۶۶ درصد می‌باشد. توانایی RPC در ترمیم و تقویت تیرهای بتنی از موضوعات قابل توجه و کاربردی این نوع بتن بوده، که در ادامه این پژوهش به آن پرداخته شده است. همچنین با نتایج معراجی و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی ندارد . معراجی و همکاران نتیجه گرفتند با اینکه افزودن الیاف کربن ریز به بتن RPC تهیه شده، برخلاف انتظار، سبب افزایش مقاومت فشاری و خمشی نشد ولی چقرمگی و ظرفیت جذب انرژی آن را تا حدی افزایش داد.

برای بررسی آزمون های مقاومت کششی با الیاف مقاومت کششی یک بار در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه و بار دیگر مقاومت کششی در آب جوش۹۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ روزه بررسی گردید. نتایج نشان دادکه در بازه زمانی ۷ روز در آب معمولی ۲۰ درجه سانتی گراد میانگین مقاومت کششی در بتون الیاف دار ۹۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بازه زمانی ۲۸ روز مقاومت کششی ۹۸/۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . نتایج نشان می دهد که بازه زمانی ۲۸ روز بتون الیاف دار مقاومت کششی بیشتری داشته و می توان دلیل این امر را گذشت زمان دانست .در ارتباط با مقاومت کششی در آب جوش ۹۰ درجه نتایج نشان داد که مقاومت کششی بتون الیاف دار ۹۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . در مقایسه بتون الیاف دار در آب جوش و آب معمولی نتایج نشان داده است که بتون دارای الیاف در آب جوش مقاومت بیشتری نسبت به آب معمولی داشته است.

برای بررسی آزمون های مقاومت کششی بدون الیاف مقاومت کششی یک بار در آب ۲۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه و بار دیگر مقاومت کششی در آب جوش۹۰ درجه سانتی گراد در بازه زمانی ۷ روزه بررسی گردید. نتایج نشان دادکه در بازه زمانی ۷ روز در آب معمولی ۲۰ درجه سانتی گراد میانگین مقاومت کششی در بتون بدون الیاف ۴۰/۷

کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بازه زمانی ۲۸ روز مقاومت کششی ۴۵/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . نتایج نشان می دهد که بازه زمانی ۲۸ روز بتون بدون الیاف مقاومت کششی بیشتری داشته و می توان دلیل این امر را گذشت زمان دانست .در ارتباط با مقاومت کششی در آب جوش ۹۰ درجه نتایج نشان داد که مقاومت کششی بتون بدون الیاف ۴۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است . در مقایسه بتون بدون الیاف در آب جوش و آب معمولی نتایج نشان داده است که تفاوت چندانی وجود ندارد .

با مقایسه مقاومت کششی بتون الیاف دار با بتون بدون الیاف می توان نتیجه گرفت که بتون ا لیاف دار مقاومت بیشتری دارد و الیاف سبب شده که مقاومت کششی بتون افزایش چشمگیری داشته باشد . نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش مسعودی (۱۳۹۰) همخوانی دارد .

برای بررسی آزمون تنش استوانه ای در بازه زمانی ۷ و ۲۸ روزه بررسی گردید. نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۷ روز در بتون بدون الیاف ۱۲/۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در بتون الیاف دار میانگین ۳/۴ بوده است . در ارتباط با نتایج حاصل از بازه زمانی ۲۸ روز ، نتایج نشان داد که در بتن بدون الیاف میانگین ۱۲/۶ و در بتن الیاف دار میانگین ۵/۱ می باشد . با مقایسه بتون الیاف دار و بتون بدون الیاف نتایج حاکی این است که بتون بدون الیاف در آزمایش تنش استوانه ای میانگین بیشتری از مقاومت نسبت به بتن الیاف دار داشته است .

منابع

معراجی لیلا ; افشین،حسن; عابدی کریم(۱۳۹۲) اثر الیاف مختلف بر خواص بتن پودری واکنش پذیر پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران

۲- خداویردی زنجانی، محمد مهدی; خالو، علیرضا; عزیزی، خلیل(۱۳۹۱) مطالعهٔ آزمایشگاهی تأثیر مقدار دوده سیلیسی روی عملکرد بتن پودری واکنشی(RPC)

۳- صدرممتازی، علی؛ نصرتی، حسن (1392)بررسی خصوصیات بتن خودتراکم الیافی حاوی
مواد مکمل سیمانی با استفاده از روش فراصوتی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و
توسعه پایدار شهری

[4].Richard P, Cheyrezy M. "Composition of reactive powder concretes", Cement and Concrete Research, 25, 1501–1511, 1995

[5].Cheyrezy M, Maret V, Frouin L. "Microstructural analysis of RPC (Reactive Powder Concrete)", Cement and Concrete Research, 25, 1491–1500, 1995.

[6].Roux N, Andrade C, Sanjuan M.A. "Experimental study of durability of reactive powder concretes", Journal of Materials in Civil Engineering, 8, 1–6, 1996.

[7].Bonneau O, Lachemi M, Dallaire É, Dugat J, Aïtcin P.C. "Mechanical properties and durability of two industrial reactive powder concretes", ACI Materials Journal, 94, 286–290, 1997.

[8].Chan Y.W, Chu S.H. "Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete", Cement and Concrete Research, 34, 1167–1172, 2004.

[9].Wille K, Naaman A.E, Parra-Montesinos G. J. "Ultra-high performance concrete with compressive Strength exceeding 150 MPa (22 ksi): a simpler way", ACI Materials Journal, 108,