

مطالعه آزمایشگاهی پارامترهای دوام بتن مسلح با الیاف پلیمری در حاشیه خلیج فارس

سید طاها طباطبائی عقدا^۱، هادی بلوکی پورساحلی^۲، آرش غلامی^۳

- ۱- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واحد خلیج فارس (بندرعباس)، ایران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، گروه عمران، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
- ۳- مربی و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، ایران

چکیده

با توجه به پیشرفت دانش در سده اخیر، دانش شناخت انواع بتن و ویژگی آن‌ها نیز گسترش فراوانی داشته است، به گونه‌ای که امروزه انواع گوناگون بتن با مصالح مختلف ساخته و استفاده می‌شود و هر یک ویژگی و کاربری ویژه به خود را داراست. بتن معمولی ترد و شکننده است، بنابراین چنانچه از میلگرد استفاده نشود، جهت رفع شکنندگی بتن باید مصالح دیگری نظیر الیاف به مخلوط اضافه نمود. به کار بردن الیاف در بتن و ساخت بتن مسلح شده به الیاف موجب بهبود عملکرد اعضا و تغییر و بهبود خصوصیات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری، کششی و خمشی این اعضا می‌گردد. خواص مکانیکی بتن الیافی تحت تأثیر نوع، درصد، نسبت طول به قطر معادل، مقاومت زمینه، اندازه، شکل و روش تهیه نمونه‌ها و اندازه و شکل مصالح سنگدانه ای قرار دارند. الیاف، مقاومت کششی، شکل‌پذیری ملات و بتن را به گونه قابل توجهی افزایش می‌دهد. در حقیقت الیاف پس از ترک‌خوردگی در میان صفحات ترک پل می‌زند و باعث افزایش چشمگیری در چقرمگی و گنجایش جذب انرژی می‌گردد. در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی کاربرد الیاف پلیمری در بتن پرداخته شده است. بدین منظور در این مطالعه، مقایسه‌ای بین رفتار بتن با الیاف نایلون و پلی‌اولفین و ترکیب الیاف پلی‌پروپیلن و پلی‌اولفین و نیز بتن معمولی انجام و مزایا و معایب آن بررسی شده است. در این پژوهش با افزودن سه درصد حجمی ۰/۳۳ و ۰/۶۶ و ۰/۹۹ الیاف پلی‌اولفین و پلی‌پروپیلن با سه شکل مختلف و نایلون به‌طور جداگانه به مخلوط بتن، تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه، مقاومت الکتریکی، پتانسیل نیم‌پیل ۹۰ و ۱۸۰ روزه، جذب آب کل و نفوذپذیری تحت فشار آب نسبت به نمونه‌ی شاهد سنجیده شده است. روش انجام تمام آزمایش‌ها با استانداردهای معتبر مطابقت دارند. نتایج حاصل نشان می‌دهند کاربرد الیاف پلی‌اولفین در مقاومت الکتریکی مؤثر نیست اما بر مقاومت فشاری، پتانسیل نیم‌پیل، نفوذ تحت فشار آب و جذب آب تأثیرات قابل ملاحظه‌ای دارد. همچنین الیاف کورتا بلند در مشخصه دوام پتانسیل نیم‌پیل دارای عملکردی بسیار بهتر

از فورتا و نایلون دارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که استفاده از الیاف پلیمری باعث افزایش دوام بتنی سازه و عمره بهره‌برداری از سازه افزایش می‌یابد.
کلمات کلیدی: دوام، مقاومت، بتن الیافی، نایلون، فورتا فرو، کورتا بلند، بارچپ، پتانسیل نیم‌پیل، نفوذ

۱- مقدمه

امروزه بتن یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی به حساب می‌آید. مزیت‌های بتن مانند شکل‌پذیری و قالب‌پذیری راحت، مقاومت در برابر آتش نسبت به چوب و فولاد، پایداری بهتر در برابر تأثیرات تخریبی آب و هوایی، تولید راحت و در نهایت ارزان‌تر بودن آن باعث گردیده از این ماده استقبال خوبی به عمل آید؛ اما در کنار این مزیت‌ها، بتن معایبی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به افزایش وزن قطعات ساخته‌شده با بتن، مقاومت کششی پایین، تردشکنی اشاره نمود. نیروهای کششی یا به‌واسطه اعمال بار، تغییرشکل‌ها و یا حتی به‌واسطه اثرات مستقل بار، مانند تغییر درجه حرارت به وجود می‌آید [۱].

افزودن الیاف به بتن باعث افزایش مقاومت کششی، خمشی، برشی، افزایش مقاومت ترک‌خوردگی، کنترل ترک‌خوردگی و در برخی موارد باعث افزایش مقاومت فشاری می‌گردد [۲]. از دیگر مزیت‌های افزودن الیاف به بتن می‌توان به افزایش مقاومت در برابر کاویتاسیون، افزایش شکل‌پذیری، افزایش طاقت، افزایش مقاومت در برابر سایش، فرسایش، آبرفتی و خزش اشاره نمود [۲ و ۳]. همچنین به دلیل وجود الیاف، ترک‌های کم‌عرض تر و در فواصل کمتر به وجود می‌آید. در نتیجه آسیب‌پذیری آرماتورها بر اثر خوردگی، کاهش یافته و دوام بتن نیز افزایش می‌یابد [۲ و ۴].

با توجه به مزیت‌های بتن الیافی که به اختصار به آن اشاره شد، این ایده به ذهن خطور می‌کند که می‌توان بتن الیافی را برای سازه‌هایی استفاده نمود که تحلیل و طراحی هم‌چنین مدت‌زمان بهره‌برداری از آن سازه، درگیر با پارامترهایی باشد که الیاف اثر مثبت بر روی آن‌ها می‌گذارد. سازه‌هایی مانند کف محوطه اسکله و پوشش داخلی بتنی تونل و... نام برد. انتخاب و طراحی آن‌ها به پارامترهایی نظیر مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت الکتریکی، نفوذپذیری، ضریب پواسون، عرض ترک، مقاومت در برابر کاویتاسیون و مقاومت در برابر سایش وابسته است. پس می‌توان انتظار داشت، استفاده از بتن الیافی در این سازه‌ها بتواند باعث اقتصادی شدن طرح گردد. در این تحقیق، به بررسی کاربرد نوع جدیدی از الیاف



ماکروسنتتیک به نام پلی اولفین پرداخته می‌شود. این الیاف، الیاف جدیدی هستند و تاکنون هیچ نتیجه رسمی از نتایج آزمایشگاهی انجام شده بر روی نمونه‌های این نوع بتن الیافی و به‌خصوص جهت استفاده در محوطه کف اسکله منتشر نشده است؛ بنابراین در راستای انجام این تحقیق، با در نظر گرفتن تأثیرات استفاده از این نوع الیاف بر بتن‌های معمولی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعات بر روی بتن معمولی با افزودن سه درصد مختلف چهار نوع الیاف نایلون و بارچپ و فورتا فرو و کورتا بلند به‌طور جداگانه برای ساخت نمونه‌ها، تغییرات خصوصیات مقاومت فشاری، پتانسیل نیم‌پیل، مقاومت الکتریکی، جذب آب کل و میزان نفوذپذیری تحت فشار آب به داخل این چهار نوع بتن الیافی نسبت به نمونه‌ی شاهد سنجیده می‌شود. در حقیقت در این بخش هدف از مطالعه، مقایسه‌ای بین رفتار بتن با الیاف نایلون و بارچپ و فورتا فرو و کورتا بلند و هم‌چنین مقایسه با رفتار بتن معمولی است.

بهرنیا و بهروان در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که استفاده از الیاف پلی الیفن در پوشش بتنی تونل آب رفتار انعطاف‌پذیر به طرز چشمگیری بیشتر و جذب انرژی بیشتر می‌شود [۵]. Alberti و همکاران در سال ۲۰۱۴ با ارزیابی تأثیر بر روی خواص مکانیکی و رفتار شکست الیاف پلی اولفین بتن خود متراکم پرداختند که نتایج نشان می‌دهد با اختلاط الیاف پلی اولفین کمی مقاومت فشاری بتن خود متراکم کاهش یافته است و همچنین این الیاف بهبود رفتار بتن تحت کشش و تنش‌های خمشی فراهم می‌کند [۶]. Alberti و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مقایسه بین الیاف پلی اولفین بتن مسلح و بیره معمولی با بتن خود متراکم به این نتیجه رسیدند که طرح اختلاط بتن مسلح معمولی با الیاف پلی اولفین برای محیطی با خطر متوسط مناسب است از جمله شرایطی که در تماس مستقیم با آب‌های دریایی، مواد فرسایشی و ذوب و انجماد است [۷]. Alberti و همکاران در سال ۲۰۱۶ با مطالعه بر توزیع الیاف و جهت‌گیری الیاف پلی اولفین ماکرو سنتتیک در عناصر بتن مسلح به این نتیجه رسیدند که توزیع فیبر در نمونه بتن و بیره شده مرسوم یکنواخت‌تر از آن‌هایی که بتن خود متراکم بود [۸]. Deng و همکاران در سال ۲۰۱۶ با آزمایش بر روی صفحه گرد معین برای بررسی خاصیت الیاف ماکرو پلی اولفین بتن مسلح به این نتیجه رسیدند که بهبود قابل توجهی در چقرمگی و عملکرد پس از ترک بتن رخ می‌دهد [۹]. Alberti و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مشاهده دقیق آنالیز ریز الیاف پلی اولفین و خمیر سیمان نشان دادند که رابطه خوبی از استمرار بین ژل CSH و الیاف پلی اولفین وجود دارد که بدون هیچ حفره و ناپیوستگی برقرار است [۱۰].

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱.۲ مصالح مصرفی

۱.۱.۲ سیمان

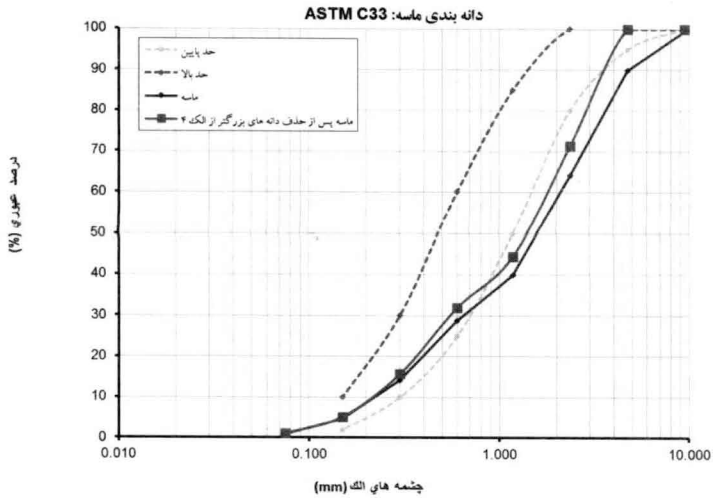
سیمان مورد استفاده در ساخت بتن مصرفی این تحقیق، سیمان پرتلند تیپ ۲ محصول کارخانه سیمان هرمزگان (خمیر) است. مشخصات سیمان در جدول ۱ ارائه شده است.

۲.۱.۲ مصالح سنگی

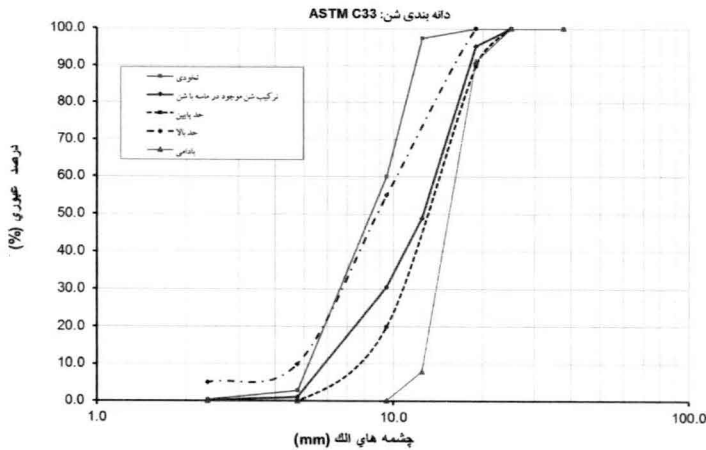
مصالح سنگی شامل شن و ماسه ۱۰۰٪ شکسته شده از معادن ایسین و قلعه قاضی اطراف شهر بندرعباس است که مشخصات دانه بندی آن‌ها به ترتیب، ماسه (نمودار ۱)، شن ریز و درشت (نمودار ۲) در نمودارهای مربوطه ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ترکیب شیمیایی سیمان مصرفی

	MIN		MAX			MIN		MAX	
	(%)					(%)			
Silicon Dioxide	SiO ₂	۲۰,۵۰	۲۲,۰		Insoluble Residue	I.R.	۰,۱۰	۰,۷۰	
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	۴,۶۰	۵,۳۰		Free Lime	Free CaO	۰,۷۰	۱,۴۰	
Ferric Oxide	Fe ₂ O ₂	۳,۵۰	۴,۰۰		Lime Saturation Factor	LSF	۹۲,۰	۹۷,۰	
Calcium Oxide	CaO	۶۳,۰۰	۶۵,۰۰		Silica Module	SiM	۲,۴۰	۲,۶۰	
Magnesium Oxide	MgO	۱,۵۰	۲,۵۰		Alomina Module	AIM	۱,۲۰	۱,۴۰	
Sulphur Trioxide	SO ₃	۱,۵۰	۲,۵۰		Tricalcium Silicate	C3S	۵۰,۰۰	۶۰,۰۰	
Potassium Oxide	K ₂ O	۰,۵۰	۰,۷۰		Dicalcium Silicate	C2S	۱۵,۰۰	۲۵,۰۰	
Sodium Oxide	Na ₂ O	۰,۳۰	۰,۵۰		Tricalcium Aluminate	C3A	۵,۰۰	۸,۰۰	
Loss on Ignition	L.O.I	۱,۰۰	۲,۵۰		Tetracalcium Alumino Ferrite	C4AF	۱۰,۰۰	۱۲,۰۰	



نمودار ۱ نمودار دانه بندی ماسه طبق استاندارد ASTM C33 [۱۱]

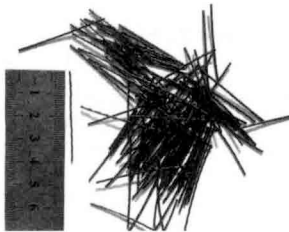


نمودار ۲ نمودار دانه بندی شن طبق استاندارد ASTM C33 [۱۱]

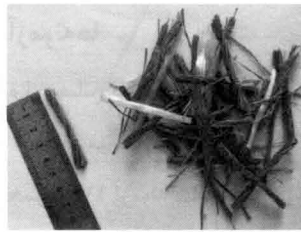
۳.۱.۲ الیاف

الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین با نام تجاری Kortta Blend از شرکت گرانول سیرجان (شکل ۲) و Barchip از شرکت الاستو پلاستیک (شکل ۱) و Forta-Ferro از شرکت فورتا (شکل ۲) با طول ۵۴ میلی متر و الیاف Nylon (شکل ۳) با طول ۴۰ میلی متر که هیچ کدام جذب آب ندارند و مقاومت شیمیایی

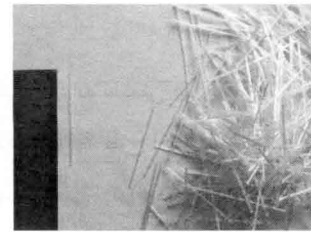
عالی دارند مشخصات آن‌ها به تفکیک در جدول ۲ ذکر شده، در طرح اختلاط استفاده شده است. (الیاف فورتا فرو و کورتا بلند از لحاظ شکل ظاهری مشابه یکدیگر ولی از لحاظ کیفی متفاوت هستند)



شکل ۳: الیاف نایلون



شکل ۲: الیاف کورتا و فورتا



شکل ۱: الیاف بارچیپ

جدول ۲- مشخصات الیاف

مدول الاستیسیته (GPa)	طول (mm)	وزن مخصوص	رنگ	مواد اولیه	مقاومت کششی	شکل ظاهری	نوع الیاف
۱۰	۵۴	۰/۹۰-۰/۹۲	سفید	اولفین اصلاح شده	۶۴۰	به‌طور مداوم برجسته	بارچیپ
۴/۷	۵۴	۰/۹۱	خاکستری و سفید	پلی پروپیلن / کوپلیمر خالص	۶۶۰-۵۷۰	تک‌رشته‌ای درهم تابیده و شبکه‌ای	فورتا فرو
۳/۷-۵	۵۴	۰/۹۱	خاکستری و سفید	کوپلیمر خالص پلی اولفین	۸۰۰-۴۵۰	تک‌رشته‌ای درهم تابیده و شبکه‌ای	کورتا بلند
۳/۵	۴۰	۰/۹۵	مشکی	پلی آمید	۴۰۰	تک‌رشته‌ای	نایلون

۴.۱.۲ سایر مصالح

آب مصرف شده در این پژوهش آب شرب شهر بندرعباس است که دارای PH مناسب است و با استاندارد ASTM C1602 [۱۲] مطابقت دارد.

افزودنی مورد استفاده در طرح اختلاط بتن‌های ساخته‌شده از نوع فوق روان کننده بر پایه کربوکسیلاتی با وزن مخصوص ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب که بر اساس استاندارد ASTM C494 [۱۳] است.

۲.۲ طرح اختلاط و تعداد آزمون‌ها

در این پژوهش، میزان استفاده از مصالح در یک مترمکعب و نسبت آب به سیمان در جدول ۳ نشان داده شده است. در مجموع ۱۳ طرح اختلاط مورد آزمایش قرار گرفته که شامل ۴ طرح اختلاط با سه درصد حجمی از هر نوع الیاف بوده که در مجموع ۱۷۶ آزمون شامل ۱۵۶ آزمون مکعبی $۱۵۰ * ۱۵۰ * ۱۵۰$ میلی‌متر (تعداد ۳۹ آزمون برای مقاومت فشاری و ۳۹ آزمون برای جذب آب و ۳۹ آزمون برای نفوذ تحت فشار آب و ۳۹ آزمون برای مقاومت الکتریکی) و ۲۰ آزمون منشوری (تیر) با ابعاد $۱۵۰ * ۱۵۰ * ۶۰۰$ میلی‌متر به شرح جدول ۴ است.

جدول ۳- مشخصات طرح اختلاط بتن در یک مترمکعب

کد طرح	سیمان (kg/m ³)	نسبت آب به سیمان	درصد حجمی الیاف	مقدار ماسه (kg/m ³)	مقدار شن ریز (kg/m ³)	مقدار شن درشت (kg/m ³)
FCT0	۴۰۰	۰/۴	۰	۸۷۹/۲	۳۵۴/۶	۵۳۵/۱

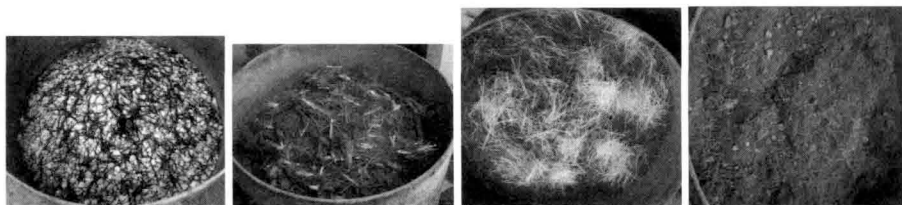
جدول ۴- تعداد آزمون برای هر طرح و آزمایش

شماره طرح	نام طرح	مقاومت فشاری	پتانسیل نیم پیل	مقاومت الکتریکی	جذب آب کل	نفوذ تحت فشار آب
FCT0	شاهد	۳	۲	۳	۳	۳
FB33	کورتا بلند ۰/۳۳٪	۳	۲	۳	۳	۳
FB66	کورتا بلند ۰/۶۶٪	۳	۲	۳	۳	۳
FB99	کورتا بلند ۰/۹۹٪	۳	۲	۳	۳	۳
FKB33	بارچیب ۰/۳۳٪	۳	۲	۳	۳	۳
FKB66	بارچیب ۰/۶۶٪	۳	۲	۳	۳	۳
FKB99	بارچیب ۰/۹۹٪	۳	۲	۳	۳	۳
FFF33	فورتا فرو ۰/۳۳٪	۳	۲	۳	۳	۳
FFF66	فورتا فرو ۰/۶۶٪	۳	۲	۳	۳	۳
FFF99	فورتا فرو ۰/۹۹٪	۳	۲	۳	۳	۳
FN33	نایلون ۰/۳۳٪	۳	-	۳	۳	۳
FN66	نایلون ۰/۶۶٪	۳	-	۳	۳	۳
FN99	نایلون ۰/۹۹٪	۳	-	۳	۳	۳

۳.۲ ساخت آزمونه‌ها

الیاف به خاطر آسانی پخش باید به صورت خشک وارد مخلوط شوند. مشکل گلوله‌ای شدن اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد الیاف (بیش از ۲ درصد حجمی) و یا اضافه کردن خیلی سریع الیاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد به وجود می‌آید [۱۴].

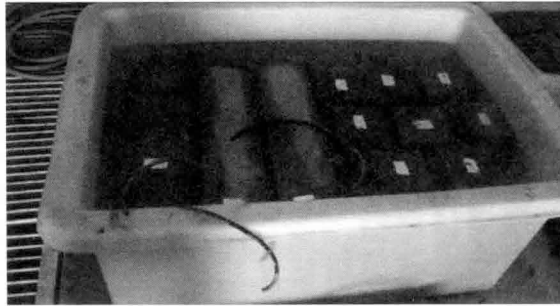
در هر مرحله از ساخت، ابتدا میزان رطوبت نسبی مصالح سنگی بر اساس استاندارد ASTM C566 [۱۵] تعیین و پس از اصلاح طرح اختلاط، مصالح توزین و مخلوط شد. مراحل اضافه کردن الیاف در زمان ساخت آزمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- اضافه کردن الیاف به مصالح خشک

۴.۲ عمل‌آوری

برای ساخت نمونه‌های لازم برای آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی و جذب آب کل و نفوذ تحت فشار آب از استاندارد BS 1881 [۱۶] استفاده شد و از قالب‌های مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر استفاده گردید. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت بتن‌ریزی و قالب‌گیری از قالب خارج شدند و وارد حوضچه‌های عمل‌آوری شدند (شکل ۵) و به مدت ۲۷ روز در این حوضچه‌ها قرار گرفتند. دمای آب عمل‌آوری به صورت روزانه کنترل می‌گردید و سعی گردید دما در محدوده ۲۰ درجه سلسیوس با انداختن یخ در حوضچه حفظ شود. نمونه‌ها پس از ۲۷ روز قرارگیری در محیط مرطوب در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل ۵- حوضچه آب

۲.۵ انجام آزمایش

۲.۵.۱ بتن تازه

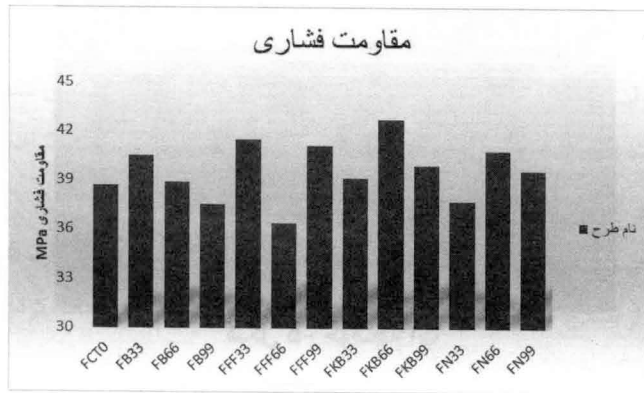
بر روی بتن تازه آزمایش دما ASTM C1064 [۱۷] انجام گرفت. دمای بتن در محدوده ۲۴ الی ۲۷ درجه سلسیوس و همچنین سعی گردید اسلامپ بتن در محدوده ۱۲۰ الی ۱۵۰ میلی‌متر و قطر سیلان در محدوده ۴۳۰ الی ۵۳۰ میلی‌متر نگهداشته شود.

۲.۵.۲ بتن سخت شده

۲.۵.۲.۱ آزمایش مقاومت فشاری

مهم‌ترین معیار مرغوبیت بتن معمولی آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد BS 1881 [۱۶] است. قبل از آزمایش، ابعاد نمونه‌ها به صورت دقیق با کولیس اندازه‌گیری شد که ابعاد به دست آمده در محاسبات مربوط به مقاومت فشاری دخالت داده شد. در آزمایش مقاومت فشاری، نمونه‌های بتن با اعمال نیروی محوری فشاری با سرعت مشخص، به حد مقاومت نهایی می‌رسند. مقاومت فشاری از تقسیم حداکثر نیروی تحمل شده توسط نمونه، به سطح مقطع نمونه به دست می‌آید.

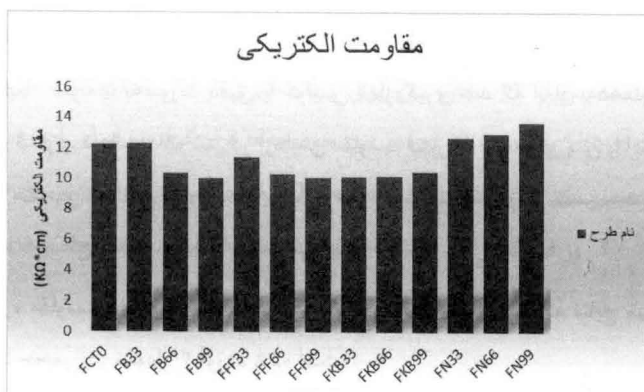
در این پروژه مقاومت فشاری آزمون‌ها در سن ۲۸ روز اندازه‌گیری شد که نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۳ آورده شده است.



نمودار ۳- مقاومت فشاری

۲.۵.۲. آزمایش مقاومت الکتریکی ویژه

آزمایش مقاومت الکتریکی برای کلیه طرح‌ها، در سن ۲۸ روزگی بر روی مکعب‌های بتنی، با ابعاد ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر انجام گرفت. برای هر طرح اختلاط چهار آزمون در نظر گرفته شد. پس از باز کردن قالب، آزمون‌ها داخل حوضچه آب در طول مدت عمل‌آوری نگهداری شد [۱۸]. برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی آزمون‌ها از دستگاه مقاومت الکتریکی با جریان متناوب استفاده گردید (شکل ۶). مقاومت تمام وجوه آزمون در دو راستای قطری اندازه‌گیری و ثبت شده است که نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۴ آورده شده است.



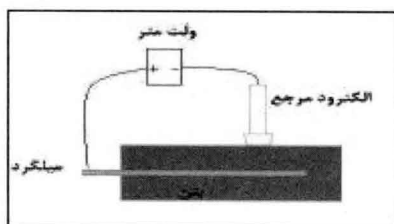
نمودار ۴- مقاومت الکتریکی



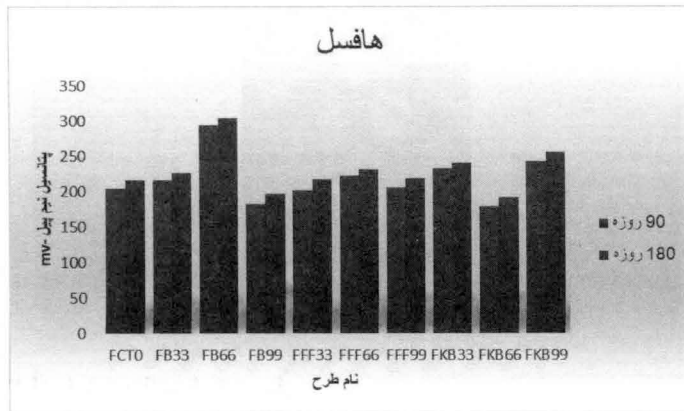
شکل ۶- آزمایش مقاومت الکتریکی ویژه

۲.۵.۳ آزمایش پتانسیل نیم پیل

در این آزمایش که بر اساس استاندارد ASTM C 876 انجام می شود [۱۹]، اختلاف پتانسیل یک الکتروود مرجع که بر سطح بتن قرار میگیرد با میلگرد مدفون در بتن اندازه گیری می گردد. در این تحقیق از الکتروود مس-سولفات مس، به عنوان الکتروود مرجع استفاده شده است. شکل ۳ طرح شماتیک از آزمایش نیم پیل را نشان می دهد. نمونه های آزمایشگاهی ساخته شده در این پژوهش نیز همانند شکل ۷ ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفتند. جزئیات بیشتر ابعاد و تعداد نمونه ها در جدول ۴ آورده شده است. اعداد آورده شده در نمودار ۵ میانگین نتایج قرائت شده از سه نقطه از نمونه است.



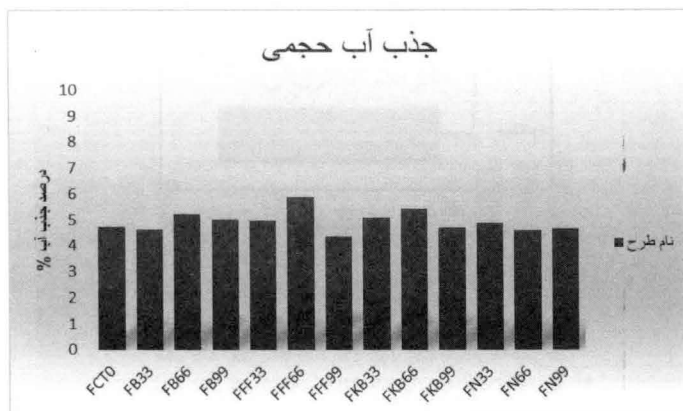
شکل ۷- طرح شماتیک آزمایش نیم پیل



نمودار ۵- نتایج آزمایش نیم پیل در سن ۹۰ و ۱۸۰ روزگی

۴.۲.۵.۲ آزمایش جذب آب کل

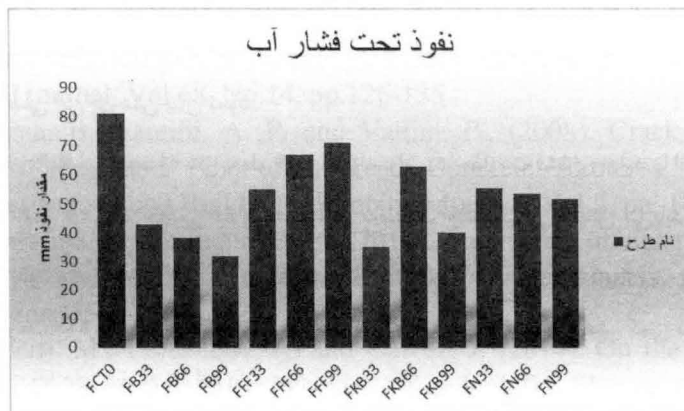
با توجه به اینکه جذب آب بتن به عنوان یکی از خصوصیات ریزساختار آن از لحاظ میزان خلل و فرج و پیوستگی آن‌ها باهم است، نتایج حاصل از انجام آزمون بر طبق استاندارد ASTM C642، برای اندازه‌گیری درصد جذب آب در بتن سخت شده قابل استفاده است [۲۰]. نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۶ آورده شده است.



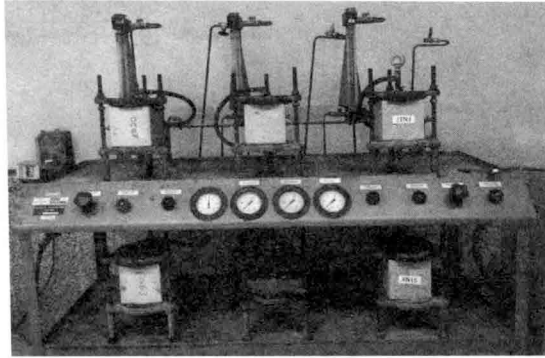
نمودار ۶- جذب آب کل

۵.۲. ۵. آزمایش نفوذپذیری تحت فشار آب

در حقیقت این آزمون، برای تعیین میزان مقاومت بتن در مقابل نفوذ آب تحت فشار است که به طور معمول در سن ۲۸ و ۳۰ روزگی بتن صورت می‌پذیرد. در این آزمون نمونه‌ها باید از بالا و یا از پایین تحت فشار آب به میزان ۰/۵ بار (نیوتن بر میلی‌متر مربع) برای یک دوره ۷۲ ساعته قرار گیرند به طوری که فشار در طول آزمایش ثابت باشد. پس از پایان دوره ۷۲ ساعته موردنظر بلافاصله پس از رهاسازی فشار آب نمونه‌ها را از وسط و از وجهی که در معرض فشار آب قرار داشت به ۲ قسمت تقسیم می‌کنیم. پس از ۵ الی ۱۰ دقیقه قسمت خشک نمونه را علامت‌گذاری کرده و به این ترتیب عمق رطوبت را اندازه‌گیری می‌کنیم (واحد mm) به این ترتیب با در نظر گرفتن بیشترین عمق تعیین شده حد نفوذ آب در بتن تخمین زده می‌شود. منظور از مقدار عمق نفوذ، طبق بند ۷ آیین نامه عمق نفوذ تحت فشار آب بیشترین مقدار در بین هر سه نمونه است [۲۱]. نتایج آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۷ آورده شده است.



نمودار ۷- عمق نفوذپذیری تحت فشار آب



شکل ۸- دستگاه نفوذ تحت فشار آب

۳- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک پارامتر مقاومت فشاری برای بررسی خواص مکانیکی بتن الیافی و چهار پارامتر پتانسیل نیم پیل و مقاومت الکتریکی و جذب آب حجمی و نفوذ تحت فشار آب برای بررسی دوام بتن مسلح با الیاف ماکروسنتتیک مورد آزمون با چهار نوع الیاف مختلف انجام گرفت. بر این اساس، می توان موارد زیر را به عنوان نتایج اصلی این پژوهش بیان نمود.

اضافه کردن الیاف بارچیب به بتن به طور کلی تأثیر بسزایی در مقاومت فشاری ندارد. با اضافه کردن الیاف کورتا بلند در ۰/۱۶۶٪ درصد حجمی مقاومت فشاری به صورت چشمگیری افزایش می یابد ولی برای الیاف فورتافرو این نتایج عکس است و در ۰/۱۶۶٪ حجمی باعث کاهش مقاومت فشاری می شود.

نتایج مقاومت الکتریکی نشان می دهد الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین با کاهش کمی مقاومت الکتریکی روند ثابتی در درصدهای مختلف الیاف دارد.

نتایج نشان می دهد دو پارامتر دوام جذب آب حجمی و نفوذ تحت فشار آب بتن مسلح با الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین افزایش می یابد. این الیاف با جلوگیری از نفوذ آب در بتن و در برخی درصدها کاهش جذب آب حجمی همراه است.

نتایج این آزمایش نشان دهنده کاهش اختلاف پتانسیل با به کارگیری الیاف در برخی درصدهای حجمی است، به طوری که در بارچیب ۰/۹۹ و کورتا بلند ۰/۱۶۶ درصد حجمی اختلاف پتانسیل نسبت به نمونه شاهد کمتر شد.

در کل می توان نتیجه گرفت الیاف باعث افزایش دوام می شود و دیدگاهی که بنظر می رسد الیاف باعث افزایش خلل و فرج می کند، رد می شود.

۴- قدردانی

بخش ساخت و عمل آوری نمونه‌ها و انجام برخی آزمایش‌ها در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واحد خلیج فارس (بندرعباس) صورت گرفت لذا نویسندگان نهایت تشکر و قدردانی را از مسئولین این مرکز دارند.

۵- مراجع

- [1]. Gilbert, R.I. and Mickleborough, N.C., (2005). Design of prestressed concrete, SponPress, London and NewYork.
- [2]. ACI Committee 544, (1997). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.1-97, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [3]. Shah, S.P., Rangan, B.V., (1971), Fiber reinforced concrete properties, ACI journal, Vol.68, No.14, pp.126-135.
- [4]. Chiaia, B., Fantilli, A. P. and Vallini, P., (2008). Crack Patterns in Reinforced and Fiber Reinforced Concrete Structures, The Open Construction and Building Technology Journal, Vol.2, pp. 146-155.
- [5]. Behfarnia, K. and Behravan, A. (2014). Application of high performance polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. Materials & Design, 55, pp.274-279.
- [6]. Alberti, M., Enfedaque, A. and Gálvez, J. (2014). On the mechanical properties and fracture behavior of polyolefin fiber-reinforced self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 55, pp.274-288.
- [7]. Alberti, M., Enfedaque, A. and Gálvez, J. (2015). Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 85, pp.182-194.
- [8]. Alberti, M., Enfedaque, A., Gálvez, J. and Agrawal, V. (2016). Fibre distribution and orientation of macro-synthetic polyolefin fibre reinforced concrete elements. Construction and Building Materials, 122,



- pp.505-517.
- [9]. Deng, Z., Shi, F., Yin, S. and Tuladhar, R. (2016). Characterisation of macro polyolefin fibre reinforcement in concrete through round determinate panel test. *Construction and Building Materials*, 121, pp.229-235.
- [10]. Alberti, M., Enfedaque, A., Gálvez, J. and Ferreras, A. (2016). Pull-out behaviour and interface critical parameters of polyolefin fibres embedded in mortar and self-compacting concrete matrixes. *Construction and Building Materials*, 112, pp.607-622.
- [11]. ASTM C33 / C33M-16e1, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org
- [12]. ASTM C1602 / C1602M-12, (2012). Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [13]. ASTM C494 / C494M-16, (2016). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [14]. ACI Committee 544, (1998). Guide for specifying, proportioning, mixing, placing, and finishing steel fiber reinforced concrete, American Concrete Institute (ACI), report No, ACI 544.3R-93.
- [15]. ASTM C566-13, (2013). Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [16]. BS 1881: Part 116, (1983). Testing concrete: Method for determination of compressive strength of concrete cubes, British Standard Institution, London.
- [17]. ASTM C1064 / C1064M-17, (2017). Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [18]. FM5-578. (2004). Florida method of test for concrete resistivity as an electrical indicator for its permeability.

- [19]. ASTM C876-15, (2015). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [20]. ASTM C642-13, (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [21]. BS EN 12390-8, (2009). Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure, British Standard Institution, London.