

مطالعه پارامترهای دوام و مقاومت بتن مسلح با الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین

هادی بلوکی پورساحلی^۱، آرش غلامی^۲، سید طاها طباطبائی عقد^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه، گروه عمران، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

۲- مربی و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، ایران

۳*- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واحد خلیج فارس (بندرعباس)، ایران

ایمیل: taha.tabatabaei@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر در دنیا کاربرد الیاف مصنوعی به منظور بهبود خواص مکانیکی و کاهش جمع شدگی بتن تازه و سخت شده، افزایش جذب انرژی و مقاومت در برابر ضربه بتن و جایگزینی آرماتورهای حرارتی و الیاف فلزی بسیار گسترش یافته است. ولی در مورد پارامترهای دوام بتن الیافی تحقیق کاربردی صورت نگرفته است. در این مقاله تأثیر الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین با سه شکل ظاهری فورتا فرو و کورتا بلند و بارچپ در درصدهای حجمی مختلف بر روی نفوذپذیری تحت فشار آب و مقاومت الکتریکی و جذب آب کل بتن بررسی شده است. همچنین مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌ها در سن ۲۸ روزگی نسبت به نمونه‌های شاهد سنجیده شده است. آزمون‌های مکعبی جهت انجام آزمون نفوذپذیری، جذب آب، مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری و آزمون‌های منشوری (تیر) جهت انجام آزمون خمشی (کشش غیرمستقیم) بتن الیافی و بتن شاهد در آزمایشگاه ساخته شدند. به این منظور ۱۰ طرح اختلاط با مکعب‌هایی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و تیرهایی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۶۰۰ را مطابق استانداردهای ASTM و BS که مجموعاً ۱۷۰ نمونه مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد افزایش الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین در بیشتر درصدها باعث افزایش خواص مکانیکی و همچنین باعث افزایش دوام کوتاه‌مدت است.

کلمات کلیدی: دوام، مقاومت، بتن الیافی، پلی اولفین، فورتا فرو، کورتا بلند، بارچپ، خمش، نفوذ

۱. مقدمه

با توجه به پیشرفت علم در قرن اخیر، علم شناخت انواع بتن و خواص آن‌ها نیز توسعه فراوانی داشته است، به نحوی که امروزه انواع مختلف بتن با مصالح مختلف تولید و استفاده می‌شود و هر یک خواص و کاربری مخصوص به خود را داراست. بتن معمولی ترد و شکننده است، بنابراین در صورتی که از میلگرد استفاده نشود، جهت رفع شکنندگی بتن باید مصالح دیگری نظیر الیاف به مخلوط اضافه نمود. استفاده از 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 نحوه تهیه نمونه‌ها و اندازه و شکل مصالح سنگدانه ای قرار دارند. الیاف، مقاومت کششی، شکل‌پذیری ملات و بتن را به نحو قابل توجهی افزایش می‌دهد. در حقیقت الیاف بعد از ترک‌خوردگی در میان صفحات ترک پل می‌زند و باعث افزایش چشمگیری در چقرمگی و ظرفیت جذب انرژی می‌گردد. امروزه بیشترین کاربرد بتن مسلح به الیاف به‌ویژه الیاف فولادی در دال‌ها، عرشه پل‌ها، روسازی پارکینگ‌ها، روکش‌ها و پوشش داخلی تونل‌ها و محیط‌های در معرض فرسایش بوده است [۱].

مطابق با مطالعه ذکرشده در بالا، در این مقاله به بررسی تأثیر الیاف پلی‌اولفین بر روی مقاومت فشاری، خمشی و پارامتر جذب آب، مقاومت الکتریکی و نفوذ تحت فشار آب برای دوام نمونه‌های بتنی مسلح شده با الیاف پرداخته شد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بتن خود تراکم مسلح شده به الیاف فولادی مورد بررسی قرار گرفته است [۲-۴] اما از جمله مشکلات عمده در استفاده از الیاف فولادی در ابتدای کار مسئله تجمع و گلوله شدن الیاف و کاهش کارایی بتن، در مقادیر بالای استفاده هست. از جمله الیافی که به‌عنوان جایگزین برای الیاف فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد الیاف پلی‌پروپیلن هست که این الیاف به علت دارا بودن مدول الاستیسته پایین عمده‌تاً برای کنترل ترک‌های بتن (ترک‌های نشست و جمع شدگی پلاستیک) که در ساعات اولیه به وجود می‌آیند استفاده می‌شود. الیاف پلی‌پروپیلن با مقاومت بالا بخصوص برای مقاومت در برابر جمع شدگی ملات و بهبود کارایی بتن حتی بعد از توسعه تنش‌های ناشی از ترک‌ها ساخته می‌شود.

الیاف مصنوعی، الیاف ساخته شده دست بشر هستند که از تحقیقات و توسعه در صنعت پتروشیمی و نساجی حاصل شده‌اند [۵]. الیاف مورد استفاده، از پلیمرهای آلی نتیجه شده‌اند که دارای فرمول‌های متفاوت هستند. الیافی که سعی شده در بتن با سیمان پرتلند استفاده شود عبارت‌اند از: آکرلیک^۱، آرامید^۲، کربن^۳، نایلون^۴، پلی‌استر^۵، پلی‌اتیلن^۶ و پلی‌پروپیلن^۷. برای خیلی از این الیاف، گزارش‌های تحقیقاتی یا آزمایشگاهی کمی وجود دارد [۵].

اضافه نمودن الیاف مصنوعی به بتن دارای مزیت‌هایی به‌قرار زیر است:

- کاهش ترک‌های گیرش پلاستیک
- کاهش ترک‌های افت پلاستیک
- کاهش نفوذپذیری بتن
- افزایش مقاومت ضربه‌ای و مقاومت در برابر سایش
- افزایش مقاومت در برابر خوردشدگی^۸ [۶].

طول الیاف و شکل ظاهری فاکتورهای مهمی در بتن با الیاف مصنوعی است. برخی از این الیاف مصنوعی ممکن است به‌عنوان عنصر مسلح کننده ثانویه بکار روند [۶].

بهرنیا و بهروان در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که استفاده از الیاف پلی‌الیفن در پوشش بتنی تونل آب رفتار انعطاف‌پذیر به طرز چشمگیری بیشتر و جذب انرژی بیشتر می‌شود [۷]. آلبرتی و همکاران در سال ۲۰۱۴ با ارزیابی تأثیر بر روی خواص مکانیکی و رفتار شکست الیاف پلی‌اولفین بتن خود متراکم پرداختند که نتایج نشان می‌دهد با اختلاط الیاف پلی‌اولفین کمی مقاومت

^۱ Acrylic
^۲ Aramid
^۳ Carbon
^۴ nylon
^۵ polyester
^۶ polyethylene
^۷ polypropylene
^۸ Shatter Resistance

فشاری بتن خود متراکم کاهش یافته است و همچنین این الیاف بهبود رفتار بتن تحت کشش و تنش‌های خمشی فراهم می‌کند [۸]. همچنین در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۵ در مقایسه بین الیاف پلی اولفین بتن مسلح و بیبره 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 [۹] و در پژوهش دیگری 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 بیبره شده مرسوم یکنواخت‌تر از آن‌هایی که بتن خود متراکم بود [۱۰]. دنگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ با آزمایش بر روی صفحه گرد معین برای 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 [۱۱].

۲. برنامه آزمایشگاهی

۱.۲ مصالح مصرفی

۱.۱.۲ سیمان

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

جدول ۱- مشخصات سیمان مصرفی

مشخصات (%)									نام
LOI	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	سیمان
۲	۰/۶	۰/۵	۱/۶	۱/۸	۶۳	۳/۵	۵	۲۱	

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 دانه‌بندی آن‌ها به ترتیب، ماسه (جدول ۲)، شن ریز (جدول ۳) و شن درشت (جدول ۴) در جداول مربوطه ارائه شده است.

جدول ۲- دانه‌بندی ماسه

#۱۰۰	#۵۰	#۳۰	#۱۶	#۸	#۴	۳/۸ اینچ	نمره الک	درصد
۰-۱۵	۵-۴۰	۱۵-۵۴	۴۰-۹۰	۶۰-۱۰۰	۸۹-۱۰۰	۱۰۰	حد استاندارد	
۵/۲	۱۵/۷	۳۱/۹	۴۴/۴	۷۱/۴	۱۰۰	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

^۹ استاندارد ملی ۳۰۲

جدول ۳- دانه بندی سنگ دانه درشت (شن ریز)

نمره الک	۱ اینچ	۳/۴ اینچ	۱/۲ اینچ	۳/۸ اینچ	#۴
حد استاندارد	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۲۰-۵۵	۰-۱۵	۰-۵
نتیجه آزمون	۱۰۰	۱۰۰	۹۷/۴	۶۰/۱	۲/۸

جدول ۴- دانه بندی سنگ دانه درشت (شن درشت)

نمره الک	۱ اینچ	۳/۴ اینچ	۱/۲ اینچ	۳/۸ اینچ	#۴
حد استاندارد	۹۰-۱۰۰	۴۰-۸۵	۱۰-۴۰	۰-۱۵	۰-۵
نتیجه آزمون	۱۰۰	۹۱/۲	۸	۰/۲	۰/۱

۳.۱.۲ الیاف

الیاف ماکروسنتتیک پلی اولفین با نام تجاری Korta Blend از شرکت گرانول سیرجان (شکل ۱) و Barchip از شرکت الاستو پلاستیک بریتانیا (شکل ۲) و Forta-Ferro از شرکت فورتا آمریکا (شکل ۱) با طول ۵۴ میلی متر که مشخصات آن ها به تفکیک در جدول ۵ 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 ۲: الیاف بارچیپ



شکل ۱: الیاف کورتا و فورتا

جدول ۵- مشخصات الیاف

نوع الیاف	شکل ظاهری	مقاومت کششی	مواد اولیه	رنگ	وزن مخصوص	طول	جذب آب	مقاومت شیمیایی	مدول الاستیسیته	نقطه ذوب
بارچیپ	به طور مداوم برجسته	۶۴۰	اولفین اصلاح شده	سفید	۰,۹۰	۵۴	ندارد	عالی	۱۰	۱۵۹-
فورتا فرو	تک رشته ای درهم تابیده و	۶۹۳*	پلی پروپیلن / کوپلیمر سفید	خاکستری و سفید	۰,۹۱	۵۴	ندارد	عالی	۶,۴*	۱۶۰

شبکه‌ای	خالص							
تک‌رشته‌ای	کوپلیمر	۴۸۹*	۰٫۹۱	۵۴	ندارد	عالی	۳٫۷*	۱۶۰-
درهم تابیده	خالص پلی							
۸۵ درصد و	اولفین							
شبکه‌ای ۱۰								
درصد و میکرو								
۵ درصد								

*مقاومت کششی و مدول الاستیسیته الیاف فورتا فرو و کورتا بلند بر اساس نتایج آزمایشگاه دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران است و مابقی داده‌های جدول از بروشور شرکت تولیدکننده است.

۴.۱.۲ سایر مصالح

آب مصرف‌شده 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 ۷ نشان داده شده است. در مجموع ۱۰ طرح اختلاط مورد آزمایش قرار گرفته که شامل ۳ طرح اختلاط با سه درصد حجمی از هر نوع الیاف بوده که در مجموع ۱۷۰ آزمون شامل ۱۴۰ آزمون مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر (تعداد ۴۰ آزمون برای مقاومت فشاری و ۳۰ آزمون برای جذب آب و ۳۰ آزمون برای نفوذ تحت فشار آب و ۴۰ آزمون برای مقاومت الکتریکی) و ۳۰ آزمون منشوری (تیر) با ابعاد ۱۵۰*۱۵۰*۶۰۰ میلی‌متر به شرح جدول ۶ است.

جدول ۶- تعداد آزمون برای هر طرح و آزمایش

نام طرح و آزمایش	شاهد	کورتا	کورتا	کورتا	فورتا	فورتا	فورتا	بارچپ	بارچپ	بارچپ
	۰/۳۳٪	۰/۶۶٪	۰/۹۹٪	۰/۳۳٪	۰/۶۶٪	۰/۹۹٪	۰/۳۳٪	۰/۶۶٪	۰/۹۹٪	۰/۳۳٪
مقاومت فشاری	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
مقاومت خمشی (تیر)	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
مقاومت الکتریکی	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
جذب آب کل	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
نفوذ تحت فشار آب	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳

جدول ۷- مشخصات طرح اختلاط بتن در یک مترمکعب

کد طرح	عیار مواد	نسبت آب	درصد	مقدار	مقدار	مقدار
	سیمانی	به مواد سیمانی	حجمی الیاف	ماسه	شن ریز	شن درشت
	(kg/m^3)			(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
FCT0	۴۰۰	۰/۴	۰	۸۰۱	۳۳۳/۷	۵۰۹/۶

۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۳۳	۰/۴	۴۰۰	FB33
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۶۶	۰/۴	۴۰۰	FB66
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۹۹	۰/۴	۴۰۰	FB99
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۳۳	۰/۴	۴۰۰	FKB33
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۶۶	۰/۴	۴۰۰	FKB66
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۹۹	۰/۴	۴۰۰	FKB99
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۳۳	۰/۴	۴۰۰	FFF33
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۶۶	۰/۴	۴۰۰	FFF66
۵۰۹/۶	۳۳۳/۷	۸۰۱	۰/۹۹	۰/۴	۴۰۰	FFF99

۳.۲ ساخت آزمون‌ها

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 این پدیده الیاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارایی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌گردد [۱۵].

در هر مرحله از ساخت، ابتدا میزان رطوبت نسبی مصالح سنگی بر اساس استاندارد ASTM C566 [۱۶] تعیین و پس از اصلاح طرح اختلاط، مصالح توزین و مخلوط شد. مراحل اضافه کردن الیاف در زمان ساخت آزمون‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: 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 [۱۷] 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 ۴) و به مدت ۲۷ روز در این حوضچه‌ها قرار

گرفتند. دمای آب عمل‌آوری به‌صورت 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 ۴: حوضچه آب

۵.۲ انجام آزمایش

۵.۲.۱ بتن تازه

بر روی بتن تازه آزمایش دما ASTM C1064 [۱۸] انجام گرفت (شکل ۵). با توجه به این‌که دمای بتن تازه پارامتر تأثیرگذاری بر مقاومت فشاری و جذب آب بتن است [۱۹]، 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.



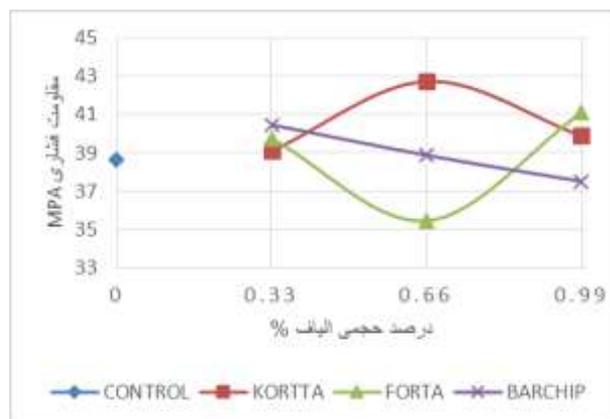
شکل ۵: اندازه‌گیری دما

۵.۲.۲ بتن سخت شده

۵.۲.۱.۲ آزمایش مقاومت فشاری

مهم‌ترین معیار مرغوبیت بتن معمولی آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد BS 1881 [۱۷] است. قبل از آزمایش، ابعاد نمونه‌ها به‌صورت دقیق با کولیس اندازه‌گیری شد که ابعاد به‌دست‌آمده در محاسبات مربوط به مقاومت فشاری دخالت داده شد. در

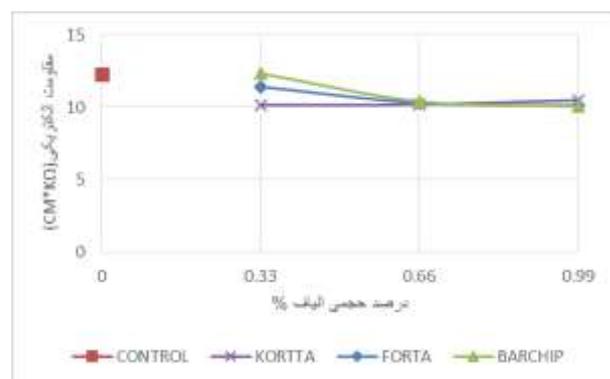
آزمایش مقاومت فشاری، نمونه‌های بتن با اعمال نیروی محوری فشاری با سرعت مشخص، به حد مقاومت نهایی می‌رسند. مقاومت فشاری از تقسیم حداکثر نیروی تحمل شده توسط نمونه، به سطح مقطع نمونه به دست می‌آید. در این پروژه مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روز اندازه‌گیری شد که نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۱ آورده شده است.



نمودار ۱: 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 نمونه در نظر گرفته شد. پس از باز کردن قالب، نمونه‌ها داخل حوضچه آب در طول مدت عمل‌آوری نگهداری شد. برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی نمونه‌ها از دستگاه مقاومت الکتریکی با جریان متناوب استفاده گردید (شکل ۷). مقاومت تمام وجوه نمونه در دو راستای قطری اندازه‌گیری و ثبت شده است که نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۲ آورده شده است. دستگاه مقاومت الکتریکی مورد استفاده در این پژوهش از نوع چهار پراپ ونر است [۲۰].

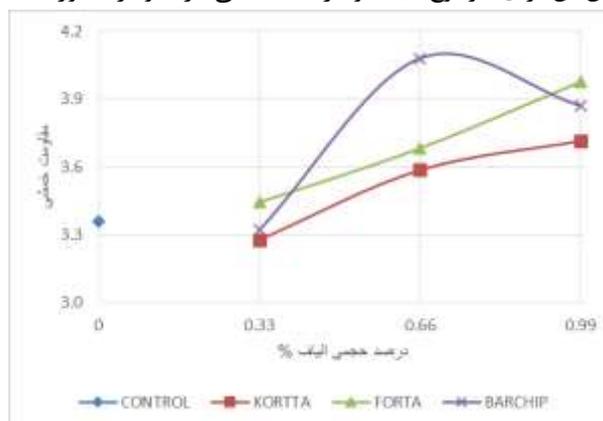


نمودار ۲: مقاومت الکتریکی

۲.۵.۲. آزمایش مقاومت خمشی

نمونه‌های ساخته شده جهت انجام این آزمایش دارای ابعاد ۱۵۰*۱۵۰*۶۰۰ میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM C1018 [۲۱] می‌باشند. شرایط عمل‌آوری این نمونه‌ها هم مطابق با آنچه برای آزمایش فشاری ذکر شد است. قبل از آزمایش، ابعاد نمونه‌ها

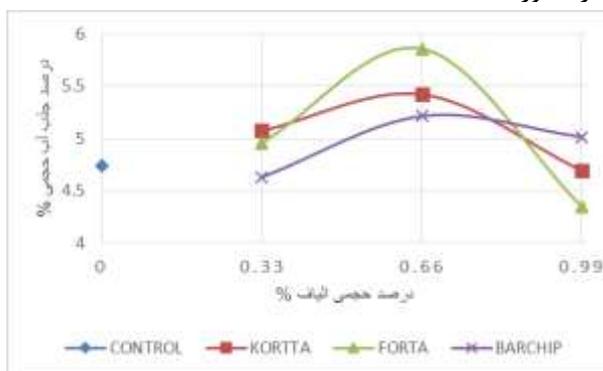
به صورت دقیق با کولیس اندازه گیری شد که ابعاد به دست آمده در محاسبات مربوط به مقاومت خمشی دخالت داده شد. نمونه ها حین انجام آزمایش ۹۰ درجه چرخانیده شد و بارگذاری در جهت عمود بر جهت بتن ریزی انجام گشت. سرعت بارگذاری برای ۰/۱ mm/min بود و برای تمام نمونه ها ثابت نگه داشته شد. این آزمایش توسط دستگاه موجود در آزمایشگاه مکانیک خاک استان هرمزگان انجام داده شد. نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۳ آورده شده است.



نمودار ۳: مقاومت خمشی

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 آن ها با هم است، نتایج حاصل از انجام آزمون بر طبق استاندارد ASTM C642، برای اندازه گیری چگالی، درصد جذب آب و درصد حفرات موجود در بتن سخت شده قابل استفاده است. روش انجام این آزمون بدین صورت است که پس از ساخت و عمل آوری نمونه ها در سن ۲۸ روزگی، نمونه از آب خارج گردیده، وزن کشی می شود. سپس نمونه درون خشک کن با دمای ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و از دستگاه خارج و مجدداً توزین می گردد. مدت قرارگیری نمونه ها تا زمانی است که تفاضل وزن نمونه در حالت قبل و بعد از قرارگیری در خشک کن، از ۰/۵٪ وزن نمونه پس از خارج شدن از دستگاه، کمتر باشد که حداقل ۴۸ ساعت است. پس از آن نمونه مورد نظر به مدت حداقل دو روز در آب و به صورت مغروق نگهداری و بعد از بیرون آوردن از آب و با سطح خشک توزین می شود. با استفاده از وزن خشک و خیس نمونه ها، میزان جذب آب آن توزین می گردد. [۲۲] نتایج میانگین آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۴ آورده شده است.

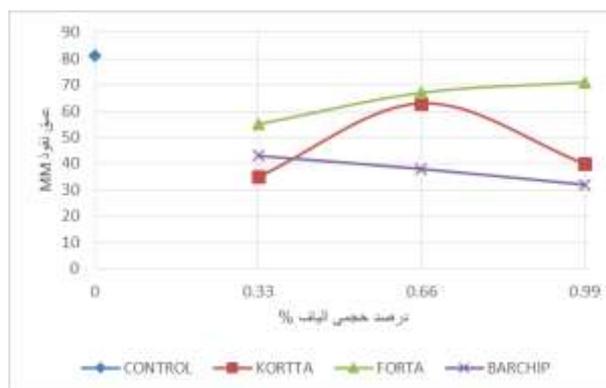


نمودار ۴- جذب آب کل

۲.۵.۲. آزمایش نفوذ پذیری 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 می پذیرد. در این آزمون نمونه ها باید از بالا و یا از پایین تحت فشار آب به میزان ۰/۵ بار (نیوتن بر میلی متر

مربع) برای یک دوره ۷۲ ساعته قرار گیرند به طوری که فشار در طول آزمایش ثابت باشد. پس از پایان دوره ۷۲ ساعته مورد نظر 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 بیشترین مقدار در بین هر سه نمونه است [۲۳]. نتایج آن برای هر نوع الیاف و درصد حجمی در نمودار ۵ آورده شده است.



نمودار ۵- عمق نفوذپذیری تحت فشار آب

۳. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، دو پارامتر مقاومت فشاری و خمشی برای بررسی خواص مکانیکی بتن الیافی و سه پارامتر مقاومت الکتریکی و جذب آب حجمی و نفوذ تحت فشار آب برای بررسی دوام کوتاه‌مدت بتن مسلح با الیاف ماکروسننتیک پلی اولفین مورد آزمون با سه برند الیاف مختلف انجام گرفت. بر این اساس، می‌توان موارد زیر را به‌عنوان نتایج اصلی این پژوهش بیان نمود.
 اضافه کردن الیاف بارچیپ به بتن به‌طور کلی تأثیر بسزایی در مقاومت فشاری ندارد. با اضافه کردن الیاف کورتا بلند در ۰/۶۶٪ درصد حجمی مقاومت فشاری به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد ولی برای الیاف فورتافرو این نتایج عکس است و در ۰/۶۶٪ حجمی باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود.
 نتایج مقاومت الکتریکی نشان می‌دهد الیاف ماکروسننتیک پلی اولفین با کاهش کمی مقاومت الکتریکی روند ثابتی در درصدهای مختلف الیاف دارد.
 افزایش درصد حجمی الیاف به‌طور کلی منجر به افزایش مقاومت خمشی می‌شود که این پارامتر مکانیکی در الیاف بارچیپ و فورتا فرو نسبت به کورتا بلند بیشتر است.
 نتایج نشان می‌دهد دو پارامتر دوام کوتاه‌مدت جذب آب حجمی و نفوذ تحت فشار آب بتن مسلح با الیاف ماکروسننتیک پلی اولفین افزایش می‌یابد. این الیاف با جلوگیری از نفوذ آب در بتن و در برخی درصدها کاهش جذب آب حجمی همراه است.

۴. قدردانی

نویسندگان نهایت تشکر و قدردانی را از پرسنل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واحد خلیج فارس (بندرعباس) دارند.

۵. مراجع

- [1] Khaloo, A.R. and Afshari, M. (2005). Flexural behavior of small steel fibre reinforced concrete slabs. *Cem Concr Compos* 27, 141-9
- [2] Balaguru, P. and Shah, S. (1992). *Fiber-reinforced cement composites*. New York: McGraw-Hill.
- [3] Bentur, A. and Mindess, S. (1990). *Fibre reinforced cementitious composites*. London: Elsevier Applied Science.
- [4] Bentur, A. and Mindess, S. (2014). *Fibre Reinforced Cementitious Composites, Second Edition*. Florence: CRC Press.
- [5] ACI Committee 544, (1997). *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI 544.1-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [6] National Ready Mixed Concrete Association, *Synthetic Fibers For Concrete* National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), CIP 24, 1994.
- [7] Behfarnia, K. and Behravan, A. (2014). Application of high performance polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. *Materials & Design*, 55, pp.274-279.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [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] خالو، علیرضا، (۱۳۷۸) رفتار و کاربردهای بتن الیافی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
- [16] ASTM C566-13, (2013). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [17] BS 1881: Part 116, (1983). *Testing concrete: Method for determination of compressive strength of concrete cubes*, British Standard Institution, London.
- [18] ASTM C1064 / C1064M-12, (2012). *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

[۱۹] هرمز فامیلی، محسن تدین، محمدرضا خوش‌سیما، (۱۳۸۹) اثر دمای ریختن بتن بر مقاومت فشاری و جذب آب جداول بتنی پرسی خشک تهیه‌شده باسیمان پرتلند، دومین کنفرانس ملی بتن ایران.

[20] FM5-578. (2004). Florida method of test for concrete resistivity as an electrical indicator for its permeability.

[21] ASTM C1018-97, (1997). Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) (Withdrawn 2006), ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

[22] ASTM C642-13, (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

[23] BS EN 12390-8, (2009). Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure, British Standard Institution, London.