

تأثیر الیاف پلی پروپیلنی بر روی خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن

علی فروغی اصل^{*}

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

فریده حسین نژاد

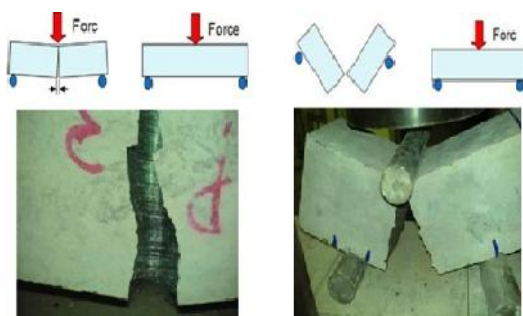
کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه تبریز

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از انواع مختلف الیاف در بتن افزایش رو به رشدی داشته است و هر نوع خاص از الیاف موجب بهبود ویژگی مشخصه‌ای از بتن می‌گردد، الیاف پلی پروپیلنی نیز نوعی الیاف پلیمری هستند که افزودن درصد‌های اندک آن موجب بهبودی چشمگیری در خواص بتن می‌شود. در این پژوهش با استفاده از مصالح محلی و مواد افزودنی میکروسیلیس به عنوان جایگزین سیمان و فوق‌روان‌ساز پلی کربوکسیلیک دو سری نمونه، نمونه‌های شاهد و مسلح به الیاف پلی پروپیلن رشته‌ای ۶ و ۱۲ میلی‌متری، به میزان ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد وزن سیمان ساخته شدند. بعد از عمل‌آوری در اتاقک بخار، آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. نمونه‌های مربوط به نفوذپذیری نیز بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری، به مدت ۲۴ ساعت تحت فشار ۵ بار، در دستگاه آزمایش نفوذپذیری قرار داده شدند تا با اندازه‌گیری عمق نفوذ آب، میزان نفوذپذیری با استفاده از رابطه Valenta محاسبه گردید، در نهایت، مقدار درصد الیاف و اثر الیاف بر مقدار نفوذپذیری و تغییرات آن با خواص مکانیکی بتن مورد بحث و بررسی قرار گرفت و مشخص شد که مقاومت فشاری اولیه نمونه‌های بتن الیافی نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده ولی با افزایش سن نمونه‌ها نتایج برعکس می‌گردند و بیشترین افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به مقدار الیاف مصرفی ۰/۸٪ بوده است و لی مقاومت کششی نمونه‌های بتن الیافی از همان سنین اولیه بتن نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان می‌دادند و نرخ افزایش با بالا رفتن سن بتن بیشتر می‌شد و بیشترین میزان افزایش مقاومت کششی نیز در سن ۲۸ روزه بتن و در نمونه‌های بتنی حاوی ۰/۴٪ الیاف مشاهده شد. در آزمایش‌های اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری نمونه‌ها، ضریب نفوذپذیری کلیه نمونه‌های تسلیح شده با الیاف پلی پروپیلنی در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافته بود و کمترین مقدار ضریب نفوذپذیری در نمونه‌های دارای ۰/۴٪ الیاف حاصل شد.

واژگان کلیدی: بتن الیافی، الیاف پلی پروپیلن، نفوذپذیری، فوق‌روان‌ساز، میکروسیلیس.

* نویسنده مسؤول: AForough@Tabrizu.ac.ir



۱- مقدمه

بتن معمولی از شن، ماسه، سیمان و آب تشکیل شده است که در آن با ملحوظ نمودن شن به عنوان اسکلت اصلی بتن، به وسیله چسبندگی ملات و خمیر سیمان و با عمل هیدراتاسیون و ایجاد بلورهای مقاوم در حدفاصل شن و ملات، توده بتن تشکیل می شود. این ماده ساختمانی با توجه به ساختار خود دارای مزایا و معایبی است که از آن جمله می توان به مقاومت فشاری بالا و مقاومت کششی پایین بتن اشاره نمود. مقاومت کششی پایین، سبب رفتار ترد بتن شده و عامل اصلی شکست ناگهانی و فروریختن سازه ها به هنگام وقوع زلزله و بادهای جانبی است. از اواسط قرن هیجدهم حل مشکل ترد بودن بتن را با تسلیح آن به وسیله میلگردهای فولادی، در جهت نیروهای کششی، برطرف نمودند اما در موارد متعددی جهت دقیق این نیروهای کششی معلوم نبوده و توزیع آن در تمام نقاط مورد نظر امکان پذیر نمی باشد، در نتیجه این نقص توزیع و از طرفی به دلیل جمع شدگی بتن در اثر خشک شدگی و دیگر عوامل طرح اختلاط، ترک هایی در بتن به وجود می آیند. عموماً ترک ها با گذشت زمان و افزایش تنش در داخل بتن توسعه یافته و مشکلاتی را در سازه های بتنی از جمله در میزان نفوذپذیری سازه های هیدرولیکی به وجود می آورند که بنوبه خود بررسی و توجه بیشتری را نیاز دارند.

در تسلیح الیافی بتن، در جریان عمل اختلاط، الیاف در درون بتن به طور نامنظم و در جهات مختلف پخش می شوند [۱]. در بتن تازه، با تعیین مقدار، نوع و اندازه مناسب الیاف، جمع شدگی و به تبع آن ترک ها به میزان قابل توجهی کاهش می یابند و از طرفی در بتن سخت شده، الیافی که به طور نامنظم پخش شده اند با متوقف کردن رشد ترک های ریز و ممانعت از ائتلاف آنها و پل زدن ترک های بزرگ و انتقال نیرو از عرض این ترک ها، مقاومت کششی و فشاری را افزایش و نفوذپذیری را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند در واقع الیاف با ایجاد پیوندهای مختلف با اجزای بتن، موجب انسداد و یا حبس تخلخل بتن شده و موجب کاهش نفوذپذیری و تکمیل هیدراتاسیون آن می گردند [۲].

شکل ۱- تفاوت شکست خمشی در بتن معمولی و بتن الیافی

در حالت کلی مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی بدون الیاف بشرح زیر می باشد [۳ و ۴]:

- ۱- افزایش دوام بتن؛
- ۲- قابلیت کششی بالای بتن و افزایش ظرفیت تغییر شکل نسبی آن؛
- ۳- قابلیت باربری بالا بعد از ترک خوردگی؛
- ۴- افزایش میزان جذب انرژی؛
- ۵- مقاومت در مقابل تنش های خستگی؛
- ۶- مقاومت بالا در مقابل ضربه؛
- ۷- مقاومت در مقابل تورق و سایش و هوازدگی سطح بتن؛
- ۸- سرعت بالای اجرا.

قابل ذکر است که بتن های مسلح الیافی جزو مناسب ترین مصالح مورد استفاده در ساخت بناهای مقاوم در برابر ضربه همچون سازه پناهگاه ها و انبارهای نگهداری مواد منفجره نیز به شمار می روند و بناهای ساخته شده از این نوع بتن قابلیت فوق العاده ای در جذب انرژی ضربه دارند [۵]. استفاده از این نوع بتن در ساخت باند فرودگاه ها، کف سالن های مختلف صنعتی و ورزشی، پی ماشین آلات سنگین در کارخانه ها، پل ها، پارکینگ ها، پیاده روها، روسازی راه ها، سازه های دریایی، کانال های آب، ساخت قطعات پیش ساخته ساختمانی همچون پانل ها و یا بتن پاششی (شاتکریت) روی سطوح انحدار سازه ها و شیروانی ها توسعه فراوانی یافته است [۶ و ۷].

۲- تاریخچه

در دهه ۱۹۵۰ برای اولین بار در کشور شوروی سابق و در سال ۱۹۶۰ در ایالات متحده تحقیقاتی در مورد استفاده از الیاف

- میکروسلیس از کارخانه فروسیلیس - از نای لرستان
- الیاف پلی پروپیلن نوع Staple
- در جدول (۱) خواص فیزیکی و شیمیایی فوق‌روان‌کننده
- مصرفی، در جدول (۲) خواص شیمیایی سیمان صوفیان، در جدول
- (۳) خواص فیزیکی و شیمیایی میکروسلیس، و در جدول (۴) مشخصات سنگدانه‌های مصرفی ارائه شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی فوق‌روان‌کننده

بنیان شیمیایی	چگالی	حالت فیزیکی	رنگ	PH	یون کلر
پلی کربوکسیلات	۱/۰۵	مایع	زرد روشن	۲/۵-۱/۵	ندارد

جدول ۲- خواص شیمیایی سیمان صوفیان

مقایسه با سیمان استاندارد	درصد اکسیدها		اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان
	سیمان استاندارد	سیمان مصرفی	
مجاز	۶۳-۶۶	۶۴/۵۹	CaO
مجاز	۲۰-۲۲	۲۲/۰۵	SiO ₂
مجاز	۵/۵-۷/۵	۵/۰۴	Al ₂ O ₃
مجاز	۳-۴/۵	۳/۴۷	Fe ₂ O ₃
مجاز	۱-۳	۱/۷۳	SO ₃

شن مورد استفاده شامل شن ریز و درشت بود که هر دو از معدن سرام تبریز بودند. جهت مطابقت دانه‌بندی سنگدانه‌ها با استاندارد ASTM C33-85 تصحیح دانه‌بندی ضروری بود، بعد از آزمودن نسبت‌های مختلف شن ریز و درشت، به ترتیب نسبت ۷۰٪ و ۳۰٪ از آنها دانه‌بندی بهینه را به دست داد. در مورد ماسه مصرفی با این که مقدار مدول نرمی ماسه بعد از تصحیح نیز بیش از مقدار استاندارد بود ولی با توجه به اینکه تأکید بر استفاده از مصالح محلی بود از همین مدول نرمی استفاده شد. نمودار دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های مصرفی با محدوده استاندارد در اشکال (۲) آورده شده است.

فولادی در مخلوط بتن صورت گرفت و نشان داده شد که تمرکز تنش در محل ترک‌های به وجود آمده به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

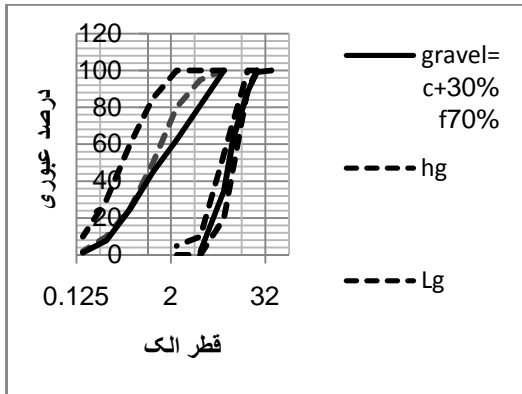
آر. چو و ک. کوبایاشی (R. Cho and K. Kobayashi) در بررسی رفتار خمشی نمونه‌های بتن تسلیح شده با الیاف پلی‌پروپیلنی در سال ۱۹۸۱ نشان دادند که تقویت الیافی با تحمل بار مفید بیشتر از بار اولین ترک، به وضوح سختی را افزایش می‌دهد و نیز رفتار بعد از ترک خوردگی به شدت متأثر از سرعت بارگذاری است چون تابع مشخصات ویسکو الاستیک الیاف پلی‌پروپیلنی است [۳]. در سال ۱۹۹۹ میلادی در ایالات متحده، مشخصات بتن ساخته شده با سیمان منبسط‌شونده و میکروسلیس و تسلیح شده با الیاف پلی‌پروپیلنی توسط حسام ا. توتوریجی (H. A. Touturiji) بررسی شد و مشخص گردید که استفاده از ۵٪ میکروسلیس با نسبت حجمی الیاف ۰/۳ درصد، برای کارهای ترمیمی از دیدگاه کارآیی، چسبندگی، مقاومت، تغییر طول و نفوذپذیری، طرح اختلاط بهینه‌ای می‌باشد [۱۱]. سی. گرکین (C.XQian) از چین و پی. ستروان (P.Stroeven) از هلند در سال ۲۰۰۰، بهینه‌کردن اندازه، حجم الیاف، حجم خاکستر بادی در بتن تسلیح شده با الیاف فلزی- پلی‌پروپیلنی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که حجم مشخصی از ذرات ریز همچون خاکستر بادی برای پراکندگی یکنواخت الیاف ضروری است و همچنین افزودن الیاف ریز فلزی تأثیر چشمگیری بر روی مقاومت فشاری داشته و نوع بزرگ‌تر الیاف باعث افزایش مقاومت کششی گسیختگی می‌گردد [۷].

ماتیاس زیمر و همکاران (Matthias Zeimret.al.) در سال ۲۰۰۶ در استرالیا در بررسی‌های خود نشان دادند که چگونه الیاف پلی‌پروپیلنی رفتار خردشدگی بتن درجا را بهبود می‌بخشند. نتایج به‌دست آمده دیدگاهی از نظر خردشدگی بتن با مقادیر مختلف الیاف پلی‌پروپیلنی را ارائه می‌دهد [۱۲].

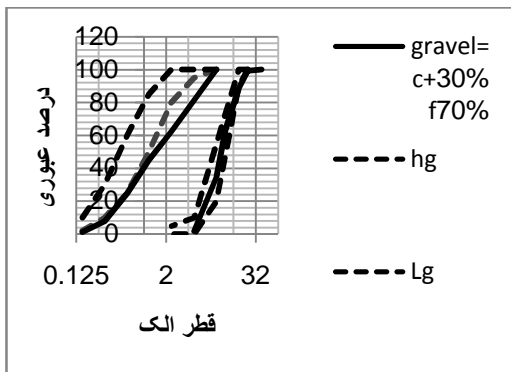
۴- مصالح مورد استفاده

- سیمان پرتلند تیپ II کارخانه صوفیان
- آب شرب شهری تبریز
- شن و ماسه رودخانه‌ای از معدن سرام - تبریز
- فوق‌روان‌کننده بر اساس پلی‌کربوکسیلات

الیاف مورد استفاده در این پژوهش الیاف پلی پروپیلنی از نوع Staple بوده که از کارخانجات داخلی تهیه شده بود که برخی مشخصات فیزیکی آن در جدول (۵) و حالت ظاهری آن در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۲ الف - منحنی دانه بندی ماسه مصرفی قبل از تصحیح



شکل ۲ ب - نمودار دانه بندی سنگدانه های طرح اختلاط

جدول ۵ - برخی مشخصات فیزیکی الیاف پلی پروپیلنی

جنس	پلی پروپیلن
نوع	staple
جذب آب	صفر
طول (mm)	۱۲ و ۶
قطر (um)	۲۲
نقطه ذوب (°C)	۱۶۰-۱۷۰
وزن مخصوص (gr/cm ³)	۰/۹۱
مقاومت کشش (MP)	۳۵۰-۴۰۰

جدول (۳) خواص فیزیکی و شیمیایی میکروسلیس

ردیف	ماده شیمیایی	محدوده مقادیر	نمونه (۱)	نمونه (۲)
۱	SiO ₂	۹۸-۷۵	۹۱/۱۰	۹۱/۷۰
۲	Al ₂ O ₃	۰/۰۳-۵/۷۸	۱/۵۵	۱/۰۰
۳	Fe ₂ O ₃	۰/۰۶-۴/۵۴	۲/۰۰	۰/۹۰
۴	CaO	۰/۰۱-۰/۸۳	۲/۲۴	۱/۶۸
۵	MgO	۰/۳۶-۰/۵۲	۰/۶۵	۱/۸۰
۶	Na ₂ O	۰/۱۷-۰/۲۳	-	-
۷	K ₂ O	۱/۰۲-۱/۱۵	-	-
۸	SO ₃	-	۰/۴۵	۰/۸۷
۹	Cl	-	-	۰/۰۸
۱۰	افت سرخ شدن	۰/۴۱-۲/۷۵	۲/۱۰	۲/۰۰

جدول ۴ - برخی خواص فیزیکی سنگدانه های مصرفی

سنگدانه	ماسه	شن تصحیحی
جذب آب (%)	۲/۱۵	۱/۰۴
دانسیته نسبی (Kg/m ³)	۲/۵	۲/۶۴
دانسیته خشک (Kg/m ³)	۲۴۹۸/۱۲	۲۶۳۳/۴
دانسیته نسبی اشباع (Kg/m ³)	۲/۵۶	۲/۶۶
دانسیته اشباع (Kg/m ³)	۲۵۵۱/۷	۲۶۵۳/۳۵
چگالی نسبی ظاهری	۲/۶۵	۲/۷۱
دانسیته ظاهری (Kg/m ³)	۲۶۴۳/۳	۲۷۰۳/۲۲

حداکثر اندازه سنگدانه های مصرفی $D_{max} = 19 \text{ mm}$

مدول نرمی ماسه مصرفی $FM = 3/48$

درصد قرار می‌گرفتند. آزمایش‌های تعیین مقاومت (شکل ۵) در سه سن ۳، ۷ و ۲۸ روزه بتن، برای ۳ درصد الیاف ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ با طول ۶ میلی‌متری صورت می‌گرفت و به منظور کاهش خطا، برای هر سنی ۳ نمونه تهیه شده بود که میانگین این سه نمونه به عنوان مقاومت نمونه مشخص می‌شد. نمونه‌های مربوط به نفوذپذیری نیز بعد از ۲۸ روز از اتاقک بخار بیرون آورده شده و به مدت ۲۴ ساعت داخل کوره الکتریکی با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده می‌شدند تا کاملاً خشک گردند، بعد از این مدت، نمونه‌های خشک توزین شده و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه نفوذپذیری موجود در آزمایشگاه مصالح دانشگاه تبریز جای می‌گرفتند (شکل ۴)، بعد از ۲۴ ساعت دوباره وزن نمونه اندازه‌گیری شده و مقدار آب نفوذی به نمونه‌ها و همچنین عمق نفوذ اندازه‌گیری می‌شد.



شکل ۴- دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری (آزمایشگاه بتن دانشگاه تبریز)



شکل ۵- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی و فشاری (آزمایشگاه بتن دانشگاه تبریز)



شکل ۳- بتن الیافی و الیاف پلی‌پروپیلنی - نوع staple

۵- طرح اختلاط

با تعیین مشخصات مصالح و تطبیق آنها با استانداردهای متداول به استناد ACI 211 و ACI 318 نمونه‌ها با طرح اختلاط مطابق جدول (۶) تهیه و مورد آزمایش‌های مختلف قرار گرفتند.

جدول ۶- طرح اختلاط نمونه‌ها

اختلاط	۱	۲	۳	۴
طول الیاف (mm)	--	۶	۶	۶
چسباننده/الیاف (PP/B)	۰	۰/۲	۰/۴	۰/۶
چسباننده/فوق روان کننده (SP/B)	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
چسباننده/ماسه (S/B)	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۸۴
چسباننده/شن (G/B)	۲/۱۴	۲/۱۴	۲/۱۴	۲/۱۴
چسباننده/میکروسلیس (SF/B)	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸
چسباننده/سیمان (C/B)	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱
چسباننده/آب (W/B)	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴

۶- مراحل تهیه نمونه‌ها

برای تهیه نمونه‌ها از مخلوط کننده نوع تابه‌ای استفاده شد. به منظور اختلاط بهتر الیاف در بتن، اولین ماده‌ای که در میکسر جای می‌گرفت الیاف بودند بعد از عمل اختلاط عمل نمونه‌گیری در قالب‌های استوانه‌ای ۳۰۰×۱۵۰mm صورت می‌گرفت. قالب‌ها در روی میز لرزان طی سه لایه با بتن پر می‌شدند و هرلایه به مدت ۳۰ تا ۶۰ ثانیه لرزانده می‌شد. (زمان لرزاندن در نسبت کمتر الیاف کم بود ولی با بالا رفتن نسبت حجمی الیاف زمان لرزاندن لازم نیز اضافه‌تر می‌شد). نمونه‌ها بعد از قالب‌گیری به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد آزمایشگاه گذاشته می‌شدند و بعد از ۲۴ ساعت، قالب‌ها باز شده و نمونه‌ها بعد از توزین، تا روز آزمایش داخل اتاقک بخار با دمای ۲۳ درجه و متوسط درصد رطوبت ۸۱

۲- نتایج آزمایش‌ها

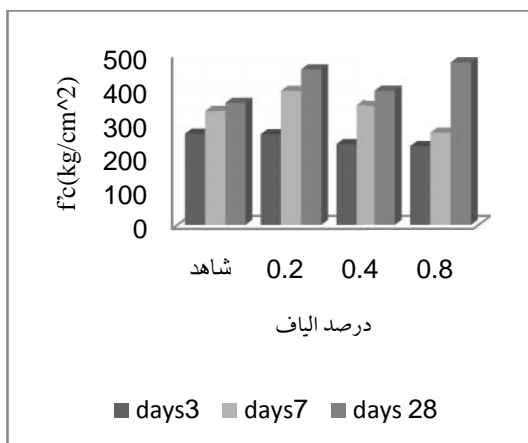
مقاومت فشاری

محیط کامل تر صورت گرفته لذا در سنین بالاتر بتن الیافی افزایش مقاومت قابل توجهی نسبت به نمونه بدون الیاف مشاهده می‌شود.

به علت بالا رفتن احتمال پدیده گلوله‌شدگی در بتن با بزرگتر شدن طول الیاف و افزایش درصد آن و کاهش احتمال توزیع یکنواخت الیاف برای الیاف ۱۲ میلی‌متری بیشترین افزایش مقاومت در ۰/۴ درصد الیاف مشاهده شد در حالی که برای الیاف ۶ میلی‌متری در ۰/۸ درصد الیاف به دست آمد.

مقاومت کششی

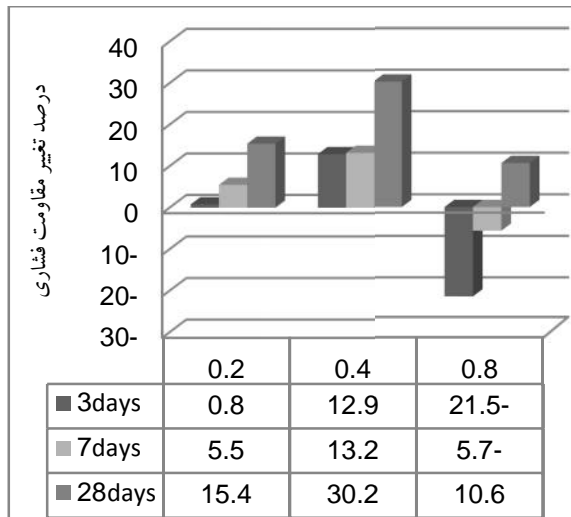
آزمایش کشش برزیلی بر روی نمونه‌ها به وسیله جک هیدرولیکی موجود در آزمایشگاه بتن دانشگاه تبریز صورت گرفت (شکل ۳). نتایج حاصله حاکی از این بود که در هر سه سن عمل‌آوری بتن، مقاومت کششی نمونه‌های بتن تسلیح شده با الیاف پلی‌پروپیلنی نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. در سن ۳ روزه بتن، برای درصد الیاف ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ مقدار افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد به ترتیب برابر با ۱۴/۷، ۷/۴ و ۵/۵ درصد بود، در سن ۷ روزه نیز میزان افزایش به ترتیب برابر ۹/۱، ۱۵/۷ و ۹/۱ درصد بود و بالاخره در سن ۲۸ روزه نرخ افزایش مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد در بتن‌های حاوی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ الیاف به ترتیب برابر ۸/۲، ۱۸/۶ و ۱۰/۴ درصد بود (شکل ۹ و ۱۰). همانطور که نتایج نشان می‌دهند بیشترین تأثیر مربوط به ۰/۴ درصد الیاف بوده است.



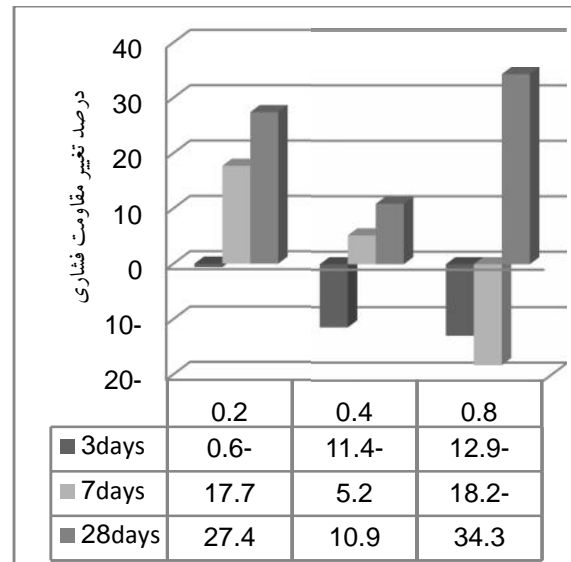
شکل ۹- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با درصد‌های مختلف الیاف ۶ میلی‌متری

مقاومت فشاری نمونه‌ها توسط دستگاه تمام اتوماتیک موجود در آزمایشگاه بتن دانشگاه تبریز اندازه‌گیری شد (شکل ۳). سرعت دستگاه روی 200 kg/cm^2 برای مقطع استوانه‌ای تنظیم شده بود و تلاش بر این بود که شرایط آزمایش برای همه نمونه‌ها یکسان باشد. نتایج حاصله نشان می‌داد در سن ۳ روزه بتن، کلیه نمونه‌های بتن الیافی نسبت به نمونه کاهش مقاومت داشتند، مقدار کاهش برای بتن‌های حاوی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد الیاف به ترتیب برابر با ۰/۶، ۱۱/۴ و ۱۲/۹ درصد بود. اما در سن ۷ روزه در ۰/۲ و ۰/۴ درصد الیاف به ترتیب شاهد افزایش مقاومت ۱۷/۷ و ۵/۲ درصدی و در ۰/۸ درصد الیاف کاهش مقاومت ۱۸/۲ درصدی را شاهد بودیم. در سن ۲۸ روزه بدون استثنا کلیه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش مقاومت داشتند، بیشترین افزایش مقاومت (۳۴/۳ درصد) مربوط به بیشترین درصد الیاف (۰/۸ درصد) بود. مقدار افزایش مقاومت در سن ۲۸ روزه برای نمونه‌های حاوی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد الیاف به ترتیب ۲۷/۴، ۱۰/۹ و ۳۴/۳ درصد بود (شکل‌های ۶ و ۷).

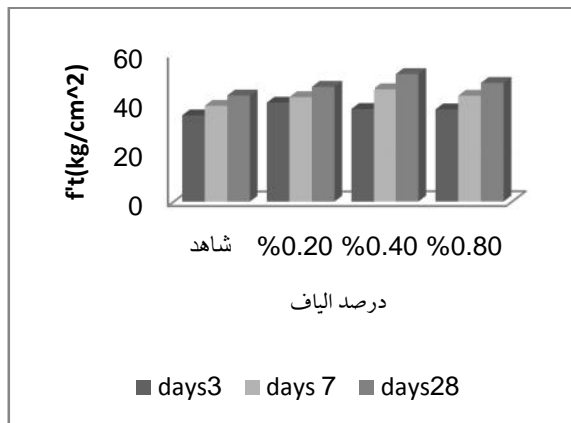
نتایج آزمایش‌های قبلی مربوط به الیاف ۱۲ میلی‌متری به این صورت بود که برای نمونه‌های حاوی ۰/۲ و ۰/۴ درصد الیاف ۱۲ میلی‌متری در سن ۳ روزه بتن به ترتیب ۰/۸ و ۱۲/۹ درصد افزایش مقاومت، در سن ۷ روزه بتن الیافی نیز به ترتیب ۵/۵ و ۱۳/۲ درصد افزایش و در سن ۲۸ روزه بتن به ترتیب ۱۵/۴ و ۳۰/۲ درصد افزایش مقاومت مشاهده شد. اما در مورد ۰/۸ درصد الیاف ۱۲ میلی‌متری در سنین ۳ و ۷ روزه به ترتیب شاهد کاهش ۲۱/۵ و ۵/۷ درصدی و در سن ۲۸ روزه بتن الیافی افزایش ۱۰/۶ درصدی را شاهد بودیم. بیشترین افزایش مقاومت (۳۰/۲ درصد) نیز در سن ۲۸ روزه و برای ۰/۴ درصد الیاف حاصل شد (شکل ۸) [۱۵]. در هر دو طول الیاف میزان افزایش مقاومت نسبت به نمونه بدون الیاف با بالا رفتن سن بتن افزایش یافته است. علت این پدیده به علت حبس تخلخل در نمونه‌های بتن الیافی و ممانعت از خروج آب بتن بوده است که در نتیجه آن بتن مدت زمان بیشتری در حالت خمیری باقی می‌ماند و همین پدیده در سنین اولیه بتن الیافی بعضاً باعث کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد شده است ولی از طرفی عمل هیدراتاسیون نیز به علت تداوم رطوبت در



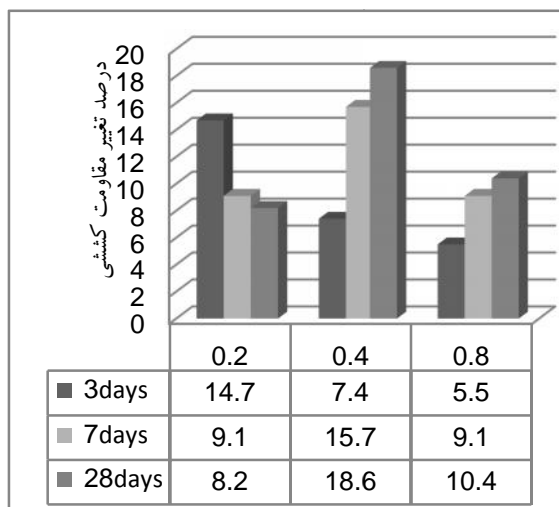
شکل ۸- درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های بتن الیافی با درصدهای مختلف الیاف ۱۲ میلی متری



شکل ۷- درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های بتن الیافی با درصدهای مختلف الیاف ۶ میلی متری



شکل ۹- مقاومت کششی نمونه‌های بتنی تسلیح شده با الیاف ۶ میلی متری



شکل ۱۰- درصد افزایش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی تسلیح شده با الیاف ۶ میلی متری

طبق آزمایش‌های قبلی در مورد طول الیاف ۱۲ میلی متری نیز در کلیه نمونه‌های مورد آزمایش و در هر سه سن عمل آوری بتن، نمونه‌های تسلیح شده با الیاف پلی پروپیلنی نسبت به نمونه شاهد، مقاومت کششی بیشتری نشان دادند. در سن ۳ روزه بتن، میزان افزایش مقاومت کششی برای درصد الیاف ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ به ترتیب ۹/۲، ۲/۸ و ۴/۶ بود و در سن ۷ روزه نیز میزان افزایش به ترتیب برابر ۲۳/۲، ۱۵/۸ و ۸/۳ درصد بود و بالاخره در سن ۲۸ روزه نرخ افزایش مقاومت به ترتیب برابر ۲۴/۶، ۱۲/۷ و ۱۲/۷ درصد بود (شکل ۱۱). بیشترین تأثیر نیز مربوط به ۰/۲ درصد الیاف بود [۱۵].

بررسی تئوریکی موضوع نشان می‌دهد که الیاف در نمونه‌های بتنی به صورت یک سری بست‌های کششی عمل می‌کنند و با بالا رفتن سن بتن نیز با تثبیت موقعیتشان در بتن عملکردشان بهتر می‌شود. الیاف بعد از ایجاد ترک نیز می‌توانند نقش پل و پل زدگی را در ساختار بتن ایجاد نمایند و با عبور تنش کششی از عرضشان مقاومت کششی نهایی را بالا ببرند ولی باید توجه داشت که مقدار الیاف نباید از یک مقدار معین تجاوز نماید زیرا با افزایش درصد الیاف خصوصاً در طول‌های بلندتر الیاف، احتمال انباشتگی افزایش یافته و عمل انباشتگی موجب ضعف کشش می‌گردد لذا تعیین مقدار بهینه ضروری خواهد بود.

$$v = \frac{\Delta W}{DAx}$$

W : مقدار افزایش وزن نمونه در طول آزمایش نفوذپذیری

$$\Delta W = W_2 - W_1$$

D : چگالی بتن

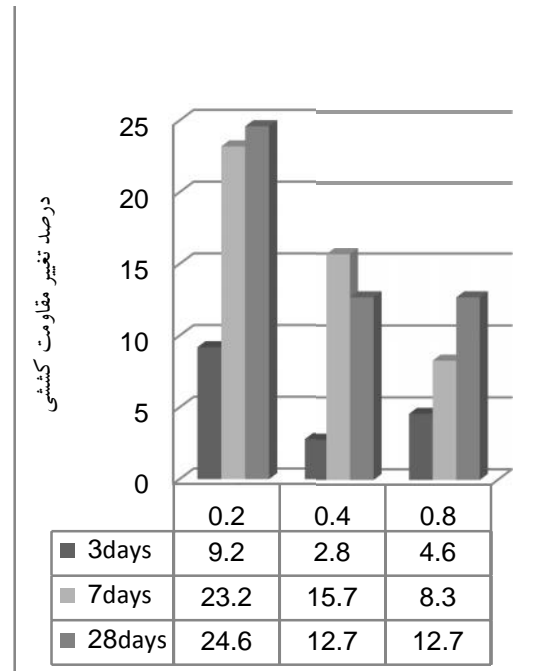
A : سطح مقطع عرضی نمونه

نتایج به دست آمده برای نفوذپذیری با استفاده از رابطه ولتا در جدول (۷) آورده شده است.

مقادیر ضرایب نفوذپذیری برای ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد الیاف ۶ میلی متری به ترتیب ۹، ۲۱/۷ و ۶/۳ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان می‌داد (شکل ۱۳). همانطور که مشاهده می‌شود کمترین مقدار ضریب نفوذپذیری در نمونه‌های بتن حاوی ۰/۴ درصد الیاف حاصل شد جدول (۷). پیش بینی می‌شود که عمر عمل‌آوری بر روی کاهش نفوذپذیری مؤثر خواهد بود. نتایج آزمایش‌های قبلی مربوط به الیاف ۱۲ میلی متری نیز نشان‌دهنده کاهش مقدار ضریب نفوذپذیری برای نمونه‌های بتن حاوی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد الیاف به ترتیب به میزان ۸۹/۷، ۱۷/۴ و ۵/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد بود و کمترین مقدار ضریب نفوذپذیری نیز در ۰/۲ درصد الیاف حاصل شده بود [۱۵]. علت کاهش نفوذپذیری در حضور الیاف نیز به علت قرارگیری الیاف بین راه‌های ارتباطی منافذ و مسدود کردن آن‌هاست که در نتیجه آن خاصیت مویینگی که عامل تشدید نفوذپذیری است حذف می‌گردد و نفوذپذیری کاهش می‌یابد.

جدول (۷) ضرایب نفوذپذیری نمونه‌ها با استفاده از رابطه والنتا (valenta)

طول الیاف مصرفی	درصد الیاف پلی پروپیلنی	ضریب نفوذپذیری (K)
۶ mm	۰/۲	$10^{-11} \times 1/31$
۶ mm	۰/۴	$10^{-11} \times 1/05$
۶ mm	۰/۸	$10^{-11} \times 1/35$
نمونه شاهد	-----	$10^{-11} \times 1/44$



شکل ۱۱- درصد افزایش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی تسلیح شده با الیاف ۱۲ میلی متری

نفوذپذیری

همانطوری که انتظار می‌رفت در کلیه نمونه‌های بتن الیافی، نفوذپذیری نسبت به نمونه شاهد کاهش داشت (شکل ۱۰) ولی میزان درصد کاهش با توجه به درصد الیاف متفاوت بود. به علت نفوذپذیری کم بتن، ضریب نفوذپذیری بتن با استفاده از روش والنتا (رابطه شماره ۱) که بر پایه عمق نفوذ سیال در درون نمونه بتنی می‌باشد محاسبه می‌شود:

معادله والنتا (Valenta):

$$k = \frac{x^2 v}{2\Delta HT} \quad (1)$$

k : ضریب نفوذپذیری آب (m/s)

x : عمق نفوذ (m)

v : حجم حفرات پر شده با آب در بخش نفوذ آب

H : فشار اعمال شده (1 bar = 10 m)

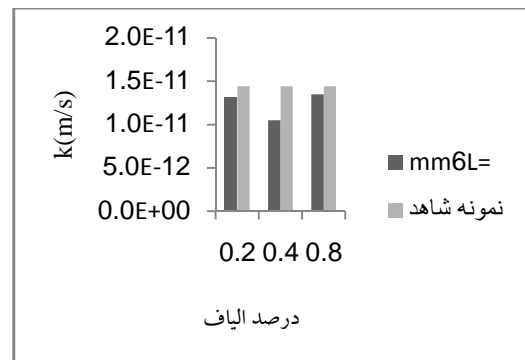
T : مدت زمانی که نمونه تحت فشار بوده است (sec).

مقدار v نشان‌دهنده حفرات مجزایی همچون حفرات هوا است که تا زمانی که نمونه تحت فشار قرار نگرفته بود با آب پر نشده بودند و می‌تواند از افزایش جرم بتن در طول آزمایش نفوذپذیری محاسبه گردد. در نظر داریم که تنها حفرات موجود در بخشی از نمونه که آب نفوذ کرده است می‌تواند در نظر گرفته شود.

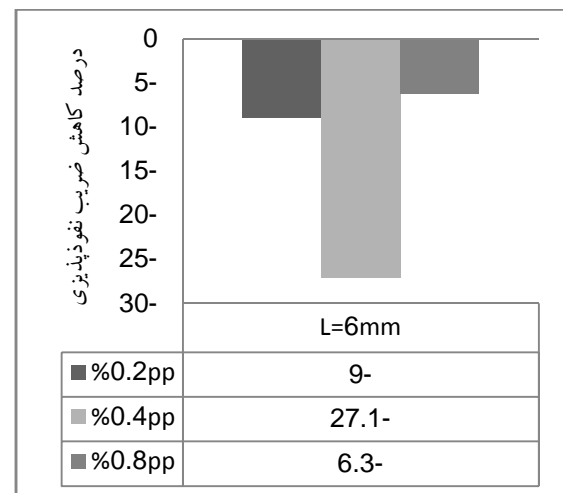
۳- در آزمایش‌های اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری نمونه‌ها، ضریب نفوذپذیری کلیه نمونه‌های تسلیح شده با الیاف پلی‌پروپیلنی در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافته بود و کمترین مقدار ضریب نفوذپذیری در نمونه‌های دارای ۰/۴٪ الیاف حاصل شد.

۱۲. مراجع

- [1]. Song, P.S., Hwang, S. and Sheu, B.C., Strength Properties of Nylon- and Polypropylene-Fiber Reinforced Concretes. *Cement and Concrete Research*, 35, 1546 – 1550, 2005.
- [2]. Passuello, Alexandra., Moriconi, Giacomo. and Shah, Surendra P., Cracking Behavior of Concrete with Shrinkage Reducing Admixtures and PVA Fibers. *Cement & Concrete Composites*, 31, 699–704, 2009.
- [3]. Kobayashi, K. and Cho, R., Flexural Behavior of Polyethylene Fiber Reinforced Concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Volume 3, Number 1. 1981.
- [5]. Nili, Mahmoud. and Afroughsabet, V., The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete. *Construction and Building Materials*, 24, 927–933, 2010.
- [6]. Yılmaz Arunta, H., Cemalgil, Selim., im ek, Osman., Durmu, Gökhan. and Erda, Mürsel., Effects of Super Plasticizer and Curing Conditions on Properties of Concrete with and without Fiber. *Materials Letters*, 62, 3441–3443, 2008.
- [7]. Qian, C.X. and Stroeven, P., Development of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre-Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Research*, 30, 63–69, 2000.
- [8]. Bentur, A., Mindess, S. and Vondranf, G., Bonding in Polypropylene Fibre Reinforced Concretes. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Volume 11, Number 3, 2008.
- [9]. Nanni, A. and Meamarian, N., Distribution and Opening of Fibrillated Polypropylene Fibers in Concrete. *Cement & Concrete Composites*, 13, 107-114, 1991.
- [10]. Rossi, P., Mechanical Behaviour of Metal-Fibre Reinforced Concretes. *Cement & Concrete Composites*, 14, 3-16, 1992.
- [11]. Toutanji, Houssam A., Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Expansive-Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, 13, 177, 1999.
- [12]. Zeiml, Matthias., Leithner, David., Lackner, Roman. And Mang, A., How Do Polypropylene Fibers Improve The Spalling Behavior of In-Situ



شکل (۱۲) ضریب نفوذپذیری نمونه‌های بتنی با درصدهای مختلف الیاف ۶ میلی‌متری



شکل (۱۳) درصد کاهش نفوذپذیری نمونه‌های بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد

۸. نتیجه‌گیری:

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته به شرح زیر است:

۱- مقاومت فشاری نمونه‌های بتن الیافی در سنین اولیه نسبت به نمونه شاهد بدون الیاف کاهش یافته بود و با افزایش درصد الیاف مقدار کاهش چشمگیرتر بود ولی با بالا رفتن سن بتن شاهد افزایش مقاومت نمونه‌های بتن الیافی نسبت به نمونه شاهد بودیم. بیشترین مقدار افزایش در سن ۲۸ روزه بتن نیز در ۰/۸ درصد الیاف حاصل شد.

۲- مقاومت کششی نمونه‌های بتن الیافی از همان سنین اولیه بتن نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان می‌داد و نرخ افزایش با بالا رفتن سن بتن بیشتر می‌شد. بیشترین میزان افزایش مقاومت کششی نیز در سن ۲۸ روزه بتن و در نمونه‌های بتنی حاوی ۰/۴٪ الیاف مشاهده شد.

- [14]. Miloud, B., Permeability and Porosity Characteristic of Steel Fiber Reinforced Concrete. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) Vol. 6, No. 4, Pages 317-330, 2005.
- [13]. Hsie, Machine., Tu, Chijen. and Song, P.S., Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Concrete. Materials Science and Engineering A, 494, 153–157, 2008.

The Effects of Polypropylene Fibers on Mechanical Properties and Permeability of Concrete

A. Foroughi-Asl^{*}

Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz

F. Hoseinnejad

Graduate Student, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz

(Received: 2014/2/9 - Accepted: 2014/4/5)

Abstract

In recent years, using of various fibers in concrete mix is growing and each type creates some specific property in concrete. Polypropylene (PP) fiber is a new type fiber with significant advantages in mechanical properties of fibrous concrete. In this research two series of concrete mix were made (without fibers - control concrete - and with PP fibers in length of 6 and 12 mm and in 0.2, 0.4, and 0.8 percent of cement content) by local aggregates(sand and gravel), Portland cement, silica fume (as pozzolan), and superplasticizer (as admixture with polycarboxylic base). The specimens were cured for 3, 7 and 28 days and tested for compressive and flexural strength. The specimens elected for measuring the permeability depth were tested under 5 atm. water head after 28 days curing and permeability index was calculated by Valenta equation. Results showed that early compressive strength of fibrous specimens was less than control specimens but by increasing the age of specimens, the strength will be increased and maximum compressive strength was for 28-d specimen with 0.8 percent of PP fiber but the flexural strength of fibrous specimens were more than normal specimens at all ages and the maximum flexural strength was for 28-d specimen with 0.4 percent of PP fiber. Permeability of fibrous specimens was less than normal specimens and the minimum value belongs to specimen with 0.4 percent of PP fiber.

Keywords: Fibrous concrete, Polypropylene fiber, Permeability, Superplasticizer, Silica Fume.

* Corresponding author: AForough@Tabrizu.ac.ir