

بررسی آزمایشگاهی مقاومت فشاری و جذب آب بتن مسلح با الیاف نایلون

هادی بلوکی پورساحلی^۱، مسیح امیری خمیری^۲، آرش غلامی^۳، سید طاها طباطبائی عقدا^{۴*}

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

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه، گروه عمران، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران

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

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

ایمیل: taha.tabatabaei@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از الیاف پلیمری مسلح کننده بتن که برای اهداف غیرسازه ای طراحی شده رواج پیدا کرده است. نوع شکل الیاف با برجستگی های روی سطح آن باعث میشود درگیری بسیار مناسبی در ماتریس بتن بوجود آید و در نهایت باعث افزایش شکل پذیری، افزایش جذب انرژی بتن و افزایش مقاومت ترک خوردگی گردد. ولی در مورد پارامترهای دوام بتن الیافی تحقیق کاربردی صورت نگرفته است. لذا در این مقاله تأثیر الیاف نایلون با شکل ظاهری نقش برجسته به‌طور مداوم در درصد‌های حجمی مختلف بر روی جذب آب بتن بررسی شده است. همچنین بررسی مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روزگی آزمونه‌های مکعبی نسبت به نمونه‌های شاهد سنجیده شده است. به این منظور ۵ طرح اختلاط با مکعب‌هایی به ابعاد 150x150x150 میلی‌متر جهت انجام آزمون جذب آب و مقاومت فشاری بتن الیافی و بتن شاهد در آزمایشگاه ساخته شدند و مطابق استانداردهای ASTM و BS به ترتیب مورد آزمون جذب آب و مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد برای الیاف نایلون در بعضی درصدها باعث افزایش جذب آب و مقاومت فشاری و در بعضی درصدها باعث کاهش هر دو پارامتر می‌شود و در نهایت درصد بهینه حجمی الیاف نایلون برای بیشترین مقاومت فشاری و کمترین جذب آب مشخص شد که درصد بهینه در هر دو پارامتر مقاومت و دوام یک درصد خاص است.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری، الیاف نایلون، بتن الیافی، جذب آب، دوام

۱. مقدمه

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 قابل‌توجهی 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 نایلون بر روی مقاومت فشاری و پارامتر جذب آب دوام نمونه‌های بتنی مسلح شده ساخته‌شده با بتن الیافی پرداخته خواهد شد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بتن خود تراکم مسلح شده به الیاف فولادی موردبررسی قرارگرفته است [۴-۲] اما ازجمله مشکلات عمده در استفاده از الیاف فولادی در ابتدای کار مسئله تجمع و گلوله شدن الیاف و کاهش کارآیی بتن، در مقادیر بالای استفاده هست. ازجمله الیافی که به‌عنوان جایگزین برای الیاف فولادی مورداستفاده 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 ساخته‌شده دست بشر هستند که از تحقیقات و توسعه در صنعت پتروشیمی و نساجی حاصل‌شده‌اند [۵]. الیاف مورداستفاده، از پلیمرهای آلی نتیجه شده‌اند که دارای فرمول‌های متفاوت هستند. الیافی که سعی شده در بتن با سیمان پرتلند استفاده شود عبارتند از: آکرلیک، آرامید، کربن، نایلون، پلی‌استر، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن. 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 خردشدگی [۶].

طول الیاف و شکل ظاهری فاکتورهای مهمی در بتن با الیاف مصنوعی است. خلاصه‌ای از مشخصات فیزیکی الیاف مصنوعی نایلون در جدول ۱-۲ آورده شده است [۵]. برخی از این الیاف مصنوعی ممکن است به‌عنوان عنصر مسلح کننده ثانویه بکار روند [۶]. در ادامه به معرفی مختصر الیاف مصنوعی نایلون پرداخته می‌شود:

نایلون اسم عام معرف خانواده پلیمرهایی است که مشخصه آنها خانواده‌ی عاملی آمیدها (CONH) است. انواع مختلفی از الیاف نایلون وجود دارند که در پوشاک، اثاثیه منزل، صنایع و پارچه مورد استفاده قرار می‌گیرد. الیاف نایلون یکی از اولین نوع‌های الیاف بکار رفته در بتن است. تاریخچه استفاده از این نوع الیاف مربوط به استفاده گروه مهندسی ارتش آمریکا برای افزایش مقاومت بتن در برابر انفجار هست.

الیاف نایلون دارای سختی و محکمی خوب و حالت الاستیک عالی هستند. الیاف نایلون در برابر حرارت، خیلی پایدار هستند و به همین دلیل در جاهایی که نیاز به این خصوصیت باشد مانند تایرها، از این الیاف استفاده می‌شود. نایلون در رطوبت ۴/۵ درصد آب‌دوست بوده اما خصوصیات رطوبتی بر روی کارایی یا جذب آب بتن در درصدهای پایین در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ درصد حجمی تأثیری ندارد ولی در صورت استفاده از درصدهای بیشتر باید مراقب بود. نایلون تقریباً یک ماده خنثی بوده و در برابر طیف وسیعی از مواد آلی و غیر آلی شامل قلیاهای قوی، مقاوم است. چندین گزارش نشان داده‌اند که با استفاده از حدود ۰/۵ تا ۳ درصد حجمی از الیاف نایلون، بهبودهایی اساسی در طاق، شکل‌پذیری و کنترل ترک‌خوردگی حاصل‌شده

است. الیاف نایلون باعث افزایش ظرفیت باربری بتن می‌گردند. تعدادی از تحقیقات، افزایش مقاومت خمشی را گزارش کرده‌اند و برخی ادعا کرده‌اند که الیاف نایلون، حتی با مقادیر زیاد، تأثیر کمی در افزایش مقاومت خمشی دارند [۵].

در تحقیقی مدندوست و همکاران در سال ۱۳۸۹ در مطالعات آزمایشگاهی با اندازه‌گیری مقاومت بتن‌های خودتراکم حاوی الیاف نایلون در دماهای مختلف یافتند که الیاف نایلون باعث بهبود رفتار بتن در مقابل فشار و کشش در دمای محیط می‌گردد ولی در دماهای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، مقاومت فشاری و کششی کاهش می‌یابد [۷]. همچنین در تحقیق دیگری مدندوست و مجرد در سال ۱۳۹۳ در آزمایشی تجربی میزان تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن و نایلون بر مقاومت فشاری بتن خودتراکم و رابطه آن با سرعت عبور امواج اولتراسونیک به این نتیجه رسیدند که افزودن الیاف نایلون تأثیر بسیار کمی در افزایش سرعت عبور امواج اولتراسونیک از بتن دارد [۸]. زلزله و همکاران در سال ۲۰۰۲ در تحقیقی نشان دادند که الیاف نایلون منجر به کاهش تورم، خروج فشار آب داخلی و بهبود مقاومت در برابر گسیختگی می‌شوند [۹]. بهفرنیا و بهروان در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که استفاده از الیاف پلی‌الیفن در پوشش بتنی تونل آب رفتار انعطاف‌پذیر به طرز چشمگیری بیشتر می‌شود [۱۰].

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱-۲ مصالح مصرفی

۱-۱-۲ مصالح سنگی

مصالح سنگی شامل شن و ماسه ۱۰۰٪ شکسته شده از معادن اطراف شهر بندرعباس است که مشخصات آن‌ها به ترتیب، ماسه (جدول ۱)، شن ریز (جدول ۲) و شن درشت (جدول ۳) در جداول مربوطه ارائه شده است.

جدول ۱: دانه‌بندی ماسه

نمره الک	۳/۸ اینچ	#۴	#۸	#۱۶	#۳۰	#۵۰	#۱۰۰
حد استاندارد ^۱	۱۰۰	۸۹-۱۰۰	۶۰-۱۰۰	۴۰-۹۰	۱۵-۵۴	۵-۴۰	۰-۱۵
نتیجه آزمون	۹۹/۵	۹۰/۵	۶۵/۴	۳۴	۱۹/۱	۶/۸	۱/۳

جدول ۲: دانه‌بندی سنگ‌دانه 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	۸۹	۵۲/۴	۱/۸

جدول ۳: دانه‌بندی سنگ‌دانه 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	۶۴/۹	۲/۸	۰/۴	۰/۱

^۱ استاندارد ملی ۳۰۲

۲-۱-۲ سایر مصالح

سیمان مورد استفاده در ساخت بتن مصرفی این پژوهش، سیمان پرتلند تیپ ۲ محصول کارخانه سیمان هرمزگان (خمیر) است.

جدول ۴: مشخصات شیمیایی سیمان

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

آب مصرف شده در این پژوهش آب شرب شهر بندرعباس بوده که دارای PH مناسب است و با استاندارد ASTM C1602 [۱۱] مطابقت دارد.

افزودنی مورد استفاده در طرح اختلاط بتن‌های ساخته شده از نوع فوق روان کننده بر پایه کربوکسیلاتی با وزن مخصوص ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و از افزودنی‌های نوع G بر اساس استاندارد ASTM C494 [۱۲] است.

جدول ۵: مشخصات فیزیکی و شیمیایی فوق روان کننده

ترکیب شیمیایی	کوپلیمرهای اصلاح شده پلی کربوکسیلیک اسید
طبیعت یونی	آنیونی
رنگ	سبز روشن
حالت فیزیکی	مایع
PH	۷
وزن مخصوص (kg/lit)	۱/۱
کلراید (PPM)	۵۰۰ Max

در این تحقیق از الیاف نایلون (شکل ۱) با طول ۴۰ میلی‌متر که مشخصات آن در جدول ۶ ذکر شده، در طرح اختلاط استفاده شده است.

جدول ۶: مشخصات الیاف

نام	نایلون
طول (mm)	۴۰
مقاومت کششی (MPa)	۴۰۰
وزن مخصوص (gr/cm ³)	۰/۹۵



شکل ۱: الیاف نایلون

۲-۲ طرح اختلاط و تعداد آزمون‌ها

در این پژوهش، میزان استفاده از مصالح در یک مترمکعب، نسبت آب به سیمان ثابت و درصد حجمی الیاف در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷: مشخصات طرح اختلاط بتن شاهد در یک مترمکعب

کد طرح	عیار مواد سیمانی (kg/m^3)	نسبت آب به مواد سیمانی	درصد حجمی الیاف	مقدار ماسه (kg/m^3)	مقدار شن ریز (kg/m^3)	مقدار شن درشت (kg/m^3)
OC	۴۰۰	۰/۴	۰	۸۷۷/۴	۷۲۲	۱۷۰/۲
FN1	۴۰۰	۰/۴	۰/۱۱	۸۷۷/۴	۷۲۲	۱۷۰/۲
FN3	۴۰۰	۰/۴	۰/۳۳	۸۷۷/۴	۷۲۲	۱۷۰/۲
FN6	۴۰۰	۰/۴	۰/۶۶	۸۷۷/۴	۷۲۲	۱۷۰/۲
FN9	۴۰۰	۰/۴	۰/۹۹	۸۷۷/۴	۷۲۲	۱۷۰/۲

در مجموع ۵ طرح اختلاط مورد آزمایش قرار گرفته با چهار درصد حجمی الیاف نایلون که در مجموع شامل ۳۰ آزمون مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر به شرح جدول ۸ است.

جدول ۸: تعداد آزمون‌ها مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر

مجموع تعداد آزمون‌ها	تعداد آزمون‌های هر طرح					نوع آزمایش
	شاهد	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۹۹	
۳۰	۳	۳	۳	۳	۳	مقاومت فشاری
	۳	۳	۳	۳	۳	جذب آب

۲-۳ ساخت آزمونه‌ها

معمولاً بتن مسلح با الیاف نایلون همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح با الیاف نایلون اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با وجود این، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداسازی یا پدیده گلوله‌ای شدن^۲ و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید [۱۳]. 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 یا حتی ۱ درصد حجمی با نسبت طول به قطر بالا) 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 [۱۳]. 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 ساخت آزمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: ساخت آزمونه‌ها

۲-۴ عمل‌آوری

برای ساخت نمونه‌های لازم برای آزمایش مقاومت فشاری از استاندارد BS 1881 [۱۶] استفاده شد و از قالب‌های مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر استفاده گردید. نمونه‌ها ۲۴ ساعت پس از بتن‌ریزی و قالب‌گیری از قالب خارج شدند و وارد حوضچه‌های عمل‌آوری شدند (شکل ۳) و به مدت ۲۷ روز در این حوضچه‌ها قرار گرفتند. دمای آب عمل‌آوری به صورت روزانه کنترل می‌گردید و سعی گردید دما در محدوده $22/5 \pm 2$ 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 ۳: عمل‌آوری

^۲ Balling

۲-۵ انجام آزمایش

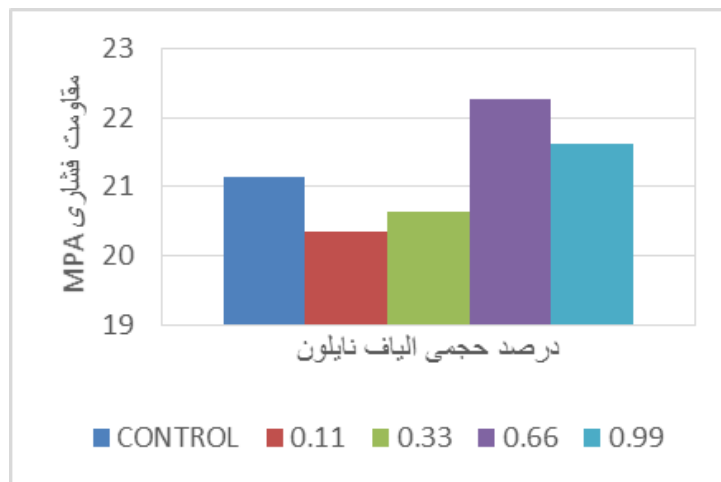
۲-۵-۱ بتن تازه

بر روی بتن تازه آزمایش دما ASTM C1064 [۱۷] انجام گرفت. با توجه به این که دمای بتن تازه پارامتر تأثیرگذاری بر مقاومت فشاری و جذب آب بتن است [۱۸]، دمای بتن به سستی ۳۲ درجه سلسیوس و همچنین اسلامپ بتن در محدوده ۱۰۰ الی ۱۵۰ میلی‌متر و قطر سیلان در محدوده ۴۷۰ الی ۵۴۰ میلی‌متر نگه‌داشته شد.

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 طرح و درصد حجمی در نمودار ۱ آورده شده است.



نمودار ۱: مقاومت فشاری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری در حالت استفاده از الیاف نایلون با ۰/۱۱ و ۰/۳۳ درصد حجمی نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته که این افت مقاومت در حالت ۰/۳۳ درصد حجمی نسبتاً کمتر می‌باشد. همچنین این نتایج در حالت استفاده از الیاف نایلون با ۰/۶۶ و ۰/۹۹ درصد حجمی نسبت به نمونه شاهد افزایش مقاومت داشته ایم که این افزایش مقاومت در حالت ۰/۶۶ درصد حجمی بیشتر از حالت ۰/۹۹ درصد حجمی می‌باشد.

۲-۵-۲-۲ آزمایش جذب آب کل

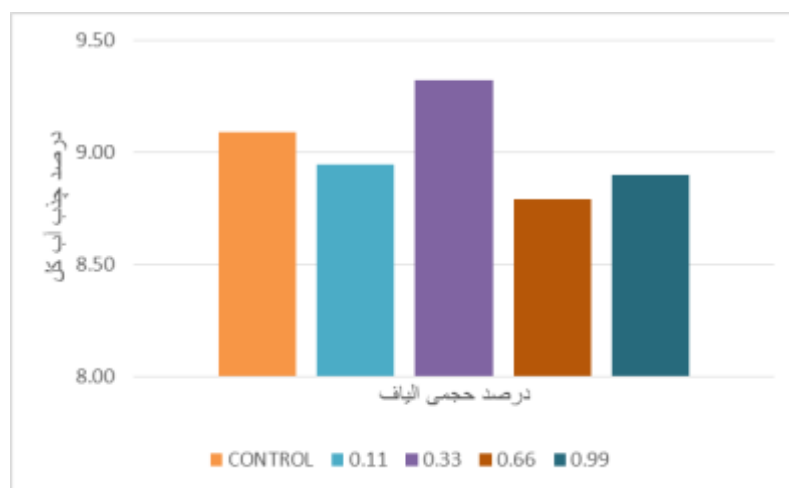
حجم منافذ در بتن به وسیله جذب آب سنجیده می‌شود. جذب آب را معمولاً به وسیله خشک نمودن آزمون تا جرم ثابت و غوطه‌ور کردن آن در آب و سنجش افزایش جرم، به صورت درصدی از جرم خشک می‌سنجند. اغلب بتن‌های خوب و مطلوب، دارای جذب آب خیلی کمتر از ۱۰ درصد جرمی می‌باشند [۱۹].

با توجه به اینکه جذب آب بتن به عنوان یکی از خصوصیات ریزساختار آن از لحاظ میزان خلل و فرج و پیوستگی آن‌ها با هم هست، نتایج حاصل از انجام آزمون بر طبق استاندارد ASTM C642، برای اندازه‌گیری 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 عمل‌آوری نمونه‌ها در سن ۲۸ روزگی، نمونه از آب خارج گردیده، وزن‌کشی می‌شود. سپس نمونه درون خشک‌کن با دمای ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و از دستگاه خارج و مجدداً توزین می‌گردد. مدت قرارگیری نمونه‌ها تا زمانی است که تفاضل وزن نمونه در حالت قبل و بعد از قرارگیری در خشک‌کن، از ۰/۵٪ وزن نمونه پس از خارج شدن از دستگاه کمتر باشد که حداقل ۴۸ ساعت زمان می‌برد. پس از آن نمونه موردنظر به مدت حداقل دو روز در آب و به صورت مغروق نگهداری و بعد از بیرون آوردن از آب و با سطح خشک توزین می‌شود. با استفاده از وزن خشک و خیس نمونه‌ها، میزان جذب آب آن تعیین می‌گردد [۲۰].

در این پروژه جذب آب آزمونه‌ها در سن ۲۸ روز اندازه‌گیری شد که نتایج میانگین آن برای هر طرح در نمودار ۲ آورده شده است. انجام آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: آزمایش جذب آب



نمودار ۲: جذب آب حجمی

نتایج آزمایش درصد جذب آب حجمی بتن در حالت استفاده از الیاف نایلون با ۰/۱۱ و ۰/۶۶ و ۰/۹۹ درصد حجمی نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته که در حالت ۰/۶۶ درصد حجمی نسبتاً این کاهش بیشتر می‌باشد. همچنین این نتایج در حالت استفاده از الیاف نایلون با ۰/۳۳ درصد حجمی نسبت به نمونه شاهد، افزایش جذب آب داشته ایم.

۳- نتیجه گیری

این تحقیق به منظور بررسی مقاومت فشاری و درصد جذب آب حجمی بتن با درصدهای مختلف الیاف نایلون انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که الیاف نایلون با ۰/۶۶ درصد حجمی مقاومت فشاری را افزایش می دهد ولی در درصد حجمی ۰/۹۹ کاهش مقاومت فشاری وجود دارد. همچنین در آزمایش درصد جذب آب حجمی بتن با ۰/۶۶ درصد حجمی الیاف نایلون میزان جذب آب کاهش می یابد. در نتیجه درصد بهینه برای داشتن بیشترین مقاومت فشاری و کمترین جذب آب حجمی ۰/۶۶ بدست آمد.

۴- قدردانی

از همکاری جناب آقای مهندس کامران واحدی در آزمایشگاه اطلس پی سازان خلیج فارس که در انجام آزمایش مقاومت فشاری همکاری کرده اند قدردانی می گردد. همچنین 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, (1994). *Synthetic Fibers For Concrete*, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), CIP 24.

[۷] مدن دوست، رحمت؛ فاطمه جهانی لطف آبادی و مرتضی حسینعلی بیگی، ۱۳۸۹، مقاومت بتن های خودتراکم حاوی الیاف نایلون در دماهای مختلف، دومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران

[۸] مدن دوست، رحمت و مصطفی مجرد، ۱۳۹۳، بررسی میزان تأثیر افزودن الیاف پلی پروپیلن و نایلون بر مقاومت فشاری بتن خودتراکم و رابطه آن با سرعت عبور امواج اولتراسونیک، اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه

- [9] Zellers, B. and Cruso, R. (2002). *Nycon nylon fibers add to hydration efficiency of cement, USA*
- [10] Behfarnia, K. and Behravan, A. (2014). Application of high performance polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. *Materials & Design*, 55, pp.274-279.
- [11] 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
- [12] ASTM C494 / C494M-16, (2016). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

[۱۳] خالو، علیرضا. (۱۳۷۸). رفتار و کاربردهای بتن الیافی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

- [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-12, (2012). Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [۱۸] 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.
- [۱۹] نوپل، ای.ام، ویژگی‌های بتن، هرمز فامیلی، گرمسار، موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، صفحه ۴۶۴-۳۶۳، ۱۳۹۱.
- [20] ASTM C642-13, (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org