

مقایسه اثر الیاف شیشه و نایلون بر خصوصیات مکانیکی بتن خودتراکم

کد (E)

70E

محمد حسین متین پور^۱، مسعود ملکی^۲، هادی نصیری^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه عمران، تبریز، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی زلزله - دانشگاه تبریز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی - دانشگاه ارومیه

1. Email: Matinpour@iaut.ac.ir

2*. Email: M.maleki92@ms.tabrizu.ac.ir

3. Email: nasiri.civil@gmail.com

تلفن: ۰۹۱۴۱۱۵۴۶۴۵

تلفن: ۰۹۱۴۴۰۰۵۹۸۹

تلفن: ۰۹۱۴۹۱۳۲۸۳۴

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از بتن خود تراکم بدلیل خواص فیزیکی ویژه در حالت تازه و همچنین خواص مکانیکی قابل قبول در حالت سخت شده در صنعت ساخت و ساز رونق ویژه ای پیدا کرده است. با توجه به خاصیت جمع شدگی بالای بتن‌های خود تراکم، همواره شاهد ایجاد ترک‌های انقباضی در آنها می‌باشیم. به منظور کنترل توسعه ترک‌های موئین به وجود آمده در بتن تحت تنش‌های اعمال شده و افزایش مقاومت بتن به ویژه مقاومت کششی، استفاده از الیاف در مخلوط‌های بتن توسط محققین توصیه شده است. الیاف نایلون و شیشه از جمله الیاف‌های ارزان قیمت و در دسترس می باشند که از آن‌ها به عنوان المان‌های کششی به منظور تسلیح بتن استفاده می شود. در این پژوهش، با انجام مطالعات آزمایشگاهی در صدد بررسی و مقایسه تاثیر افزودن این دو نوع الیاف با درصدهای مختلف بر روی خصوصیات مکانیکی بتن‌های خودتراکم بر آمده‌ایم. الیاف شیشه و نایلون با نسبت‌های ۰،۵، ۱، ۱،۵ و ۲ درصد حجم بتن در ترکیب بتن خود تراکم مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج بدست آمده، حاکی از بهبود خصوصیات مکانیکی بتن به ویژه مقاومت کششی بتن خودتراکم می باشد.

واژه های کلیدی:

بتن خود تراکم، الیاف شیشه، الیاف نایلون، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

Comparison of Effects of Glass and Nylon Fibers on Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete

Code (E)

Code 70E

M.Matinpour¹, M.Maleki², H.Nasiry³

1. Department of Engineering, College of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2. MSc. Civil Engineering- Earthquake Engineering, University of Tabriz
3. MSc. Civil Engineering- Geotechnical Engineering, Urmia University

1. Email: Matinpour@iaut.ac.ir
- 2*. Email: M.maleki92@ms.tabrizu.ac.ir
3. Email: nasiri.civil@gmail.com

- Tell: 09141154645
Tell: 09144005989
Tell: 09149132834

Abstract

In recent years the use of self-compacting concrete, because of its special characteristics at fresh state and its acceptable mechanical properties after hardening, has risen in construction. According to the great potential of shrinkage in self-compacting concrete, contraction cracks have always occurred in it. In order to control the propagation of the micro cracks on concrete's surface, that are caused by applied stresses, and improve the strength of concrete, especially tensile strength, the use of fibers in concrete mixes has been stressed by researchers.

Nylon and glass fibers are the cheapest and the most available fibers that are used as tensile elements in self-compacting concrete in order to reinforce it. In this research through the experimental tests, we evaluate the effects of using glass and nylon fibers with different proportions on the mechanical properties of self-compacting concrete. Glass and nylon fibers with ratio of 0.5, 1, 1.5 & 2 kg/m³ are used in this research. The results validated the positive effect of using these fibers on improvement of mechanical properties of self-compacting concrete, especially tensile strength.

Key words

Self-compacting concrete, glass fibers, nylon fibers, compressive strength, tensile strength.

۱- مقدمه

با توسعه اقتصادی و صنعتی رو به رشد در دنیا بویژه کشورهای در حال توسعه مانند ایران، صنعت ساختمان رونق فراوانی پیدا کرده است. نیاز به اجرای پروژه‌های عظیم و مختلف موجب رشد روزافزون در استفاده از بتن به عنوان یکی از مصالح ساختمانی پرکاربرد در ایران گردیده است. در طی سالیان گذشته، دستیابی به بتنی با قابلیت خودترازی (خود تراکمی) بدون افت در مقاومت، روانی و یا جداشدگی، آرزوی مهندسین عمران در سرتاسر دنیا بوده است [۱].

بتن خودتراکم در سال ۱۹۸۶ توسط H.Okamura ارائه گردید و از آن پس بود که مورد استقبال گسترده محققین و مهندسین عمران قرار گرفت. وی در خلال تحقیقات خود دریافت که علت اصلی ضعف دوام و کارایی بتن در سازه‌های ساخته شده در ژاپن عدم یکپارچگی بتن در هنگام بتن ریزی می‌باشد که با تحقیقات خود بر روی بتن خودتراکم، این نقاط ضعف را برطرف نمود [۳]. همچنین مطالعات دیگری توسط Ozawa در جهت توسعه بتن خود تراکم در سال ۱۹۸۹ انجام گردید [۴]. صحت نتایج پژوهش‌های این دو محقق در بسیاری از مقالات علمی و پژوهشی به اثبات رسیده است.

بتن خودتراکم به بتنی اطلاق می‌گردد که دارای خاصیت سیال گونه باشد و تراکم آن بدون نیاز به انرژی خارجی انجام گردد. علاوه بر آن در حین و پس از بتن ریزی بصورت یکپارچه باقی بماند و به راحتی در خلال آرماتورهای متراکم حرکت کند [۲]. از جمله دلایل سوق یافتن مهندسین عمران به استفاده از بتن خود تراکم در پروژه‌های مختلف را می‌توان به اجرای سریع تر ساختمان‌ها، کاهش نیروی انسانی بدلیل خود تراکمی بودن، بهبود دوام بعلت کاهش نفوذ پذیری و آزادی عمل بیشتر در طراحی مقاطع می‌باشد [۲].

جهت دستیابی به بتن خود تراکم با کیفیت مطلوب بایستی شاخص‌های تعریف شده زیر در مخلوط بتن مورد بررسی قرار گیرد [۵]:

- ۱- توانایی جریان یابی و پرکنندگی.
- ۲- توانایی عبور.
- ۳- مقاومت در برابر جداشدگی و پارگی.

تفاوت اجرای بتن خود تراکم با بتن معمولی در کاربرد مواد سیمانی، استفاده از پودر سنگ به منظور ماده اصلاح کننده ویسکوزیته با حضور دیگر مواد افزودنی به ویژه ماده فوق روان کننده می‌باشد [۶]. در طرح اختلاط بتن خودتراکم، برای تولید بتنی با پایداری و قابلیت تراکم مطلوب علاوه بر استفاده از افزودنی‌های شیمیایی، استفاده از مواد پودری و همچنین کاهش حجم درشت دانه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [۷]. عبارت پودر در بتن خودتراکم با استناد به آیین‌نامه EFNARC، به عناصری از بتن که دارای قطر کوچکتر از ۱۲۵ میکرومتر هستند، مانند بخشی از ماسه، سیمان و فیلر، اطلاق می‌گردد [۸]. توجه به این نکته ضروری است که دوام بتن خودتراکم در هنگام طراحی مخلوط شامل مقادیر آب، سیمان، سنگدانه و مواد افزودنی معدنی همچنین کارایی در نظر گرفته می‌شود.

در بتن خودتراکم، در سنین اولیه جمع شدگی و خزش بیشتری نسبت به بتن معمولی ملاحظه می‌گردد [۵]. علاوه بر آن بتن غیر مسلح در برابر تلاش‌های کششی ضعیف می‌باشد. عموماً جهت جبران این ضعف از بتن مسلح استفاده می‌گردد. بتن مسلح به میلگردهای فولادی نیز همواره در معرض خوردگی می‌باشند که در دراز مدت سبب ایجاد مشکلاتی برای سازه می‌گردند [۹]. علت وقوع پدیده خوردگی در آرماتورها، ترک‌های ایجاد شده در سطح خارجی اعضای بتنی می‌باشد که باعث ایجاد کرنش‌هایی در اعضا می‌گردد.

استفاده از الیاف از زمان‌های قدیم جهت مسلح کردن بتن، امری بسیار رایج بوده است. استفاده از کاهگل در بنای ساختمان‌های کهن نمونه تاریخی استفاده از الیاف در امر ساخت و ساز می‌باشد. در سال‌های اخیر نیز استفاده از انواع الیاف در بتن رواج پیدا کرده است. افزایش استفاده از بتن‌های الیافی به این دلیل است که تقویت بتن با الیاف، چقرمگی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت در برابر ضربه، مود شکست بتن و عمر مفید سازه را افزایش می‌دهد [۱۰]. کاربرد اصلی این الیاف در کم کردن طول ترک‌های ایجاد شده در سطح بتن در طی فرآیند گیرش می‌باشد [۱۱]. هزاران الیاف کوتاه که به صورت تصادفی در بتن و در طول اختلاط پراکنده و توزیع می‌شوند و خواص بتن را در همه راستاها بهبود می‌بخشند [۱۲]. این الیاف نیروی کششی در عرض ترک‌ها را مهار کرده و از رشد و گسترش آنها در طی فرآیند گیرش جلوگیری می‌کند. این الیاف با ایجاد ارتباط بین ریز ترک‌ها، توانایی بتن در تحمل تنش‌های بیشتر از حد تحمل خود را بهبود می‌بخشد [۱۳]. هنگامی که نیرو به کامپوزیت سیمان وارد می‌گردد و ترک‌ها در بتن آغاز می‌گردد، در صورتی که الیاف دارای استحکام کافی باشند، برای جلوگیری از رشد ترک‌ها، الیاف بین این ترک‌ها پل زده و از گسترش ترک جلوگیری می‌کنند [۹].

الیاف با طول‌های چند میلیمتر تا چند سانتی‌متر جزء الیاف کوتاه هستند. این الیاف به صورت ناپوسته‌اند و عمدتاً بصورت تصادفی در ماتریس سیمان پخش می‌شوند. این الیاف به میزان آرماتورهای فولادی در تحمل تلاش‌های کششی نمی‌توانند به بتن کمک کنند اما از آنجایی که می‌توانند در فواصل خیلی نزدیک به هم قرار گیرند در کنترل ترک خوردگی و طول ایجاد آنها موثراند [۱۴].

ذکر این نکته ضروری است که حضور الیاف در بتن و بویژه در بتن خودتراکم، تا یک حد معین موجب بهبود خواص مکانیکی آن می‌گردد و پس از آن شاهد تاثیر منفی این الیاف بویژه بر میزان مقاومت فشاری بتن خواهیم بود. علت این امر افزایش نیاز بتن به آب و کاهش کارپذیری مخلوط بتن می‌باشد که در عمل موجب کاهش کیفیت بتن می‌گردد [۱۵]. علاوه بر آن، نحوه قرار گیری الیاف در بتن به صورت نامنظم است و در همه جای بتن به یک میزان نیست. کارایی این الیاف زمانی است که در جهت نیرو قرار گرفته باشد در حالی که این امر در عمل امکان‌پذیر نیست و نمی‌توان از تمام ظرفیت الیاف در جهت تقویت ماتریس سیمانی استفاده نمود.

خواص مکانیکی بتن‌های الیافی علاوه بر متاثر بودن از نوع الیاف بستگی زیادی به نسبت طول به قطر الیاف، مقدار الیاف، مقاومت ماتریس، اندازه، شکل و روش آماده سازی نمونه‌ها و اندازه سنگدانه‌ها دارد [۱۰].

در سال‌های اخیر محققان زیادی به بررسی میزان تاثیر استفاده از الیاف مختلف بر خواص مکانیکی بتن خود تراکم پرداخته‌اند. آلبرتی و همکاران [۱۶] در مقاله خود به بررسی امکان استفاده از الیاف پلیوفین پرداختند. نتایج نشان می‌دهند که می‌توان با استفاده از این الیاف به میزان ۱۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن مقاومت فشاری را به میزان ۳۸ درصد افزایش داد. همچنین سانگ و همکاران [۱۷] نیز با استفاده از الیاف نایلون و پلی پروپیلن توانستند مقاومت فشاری بتن خود تراکم را در بهترین حالت به میزان ۲۴ درصد افزایش دهند.

در این پژوهش آزمایشگاهی، الیاف شیشه و نایلون با توجه به در دسترس بودن و هزینه کمتر در مقایسه با سایر الیاف، انتخاب گردید. هدف از این پژوهش، مطالعه تاثیر الیاف شیشه و نایلون بر خواص مکانیکی بتن خودتراکم، شامل مقاومت فشاری و کششی، می‌باشد. در انتها نتایج نمونه‌های حاوی الیاف شیشه و نایلون با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در بخش آزمایشگاهی این پژوهش ابتدا به ساخت بتن خودتراکمی که محدوده‌های تعیین شده استانداردهای مربوطه برای پارامترهای بتن تازه را تامین کند، پرداخته شد و سپس با آزمون‌های مکرر و سعی و خطا طرح اختلاط بهینه انتخاب گردید. در

ادامه دو نوع الیاف در دسترس شیشه و نایلون به مخلوط بتن افزوده گردید و پس از عمل آوری نمونه‌ها مقاومت آنها مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سیمان

سیمان مصرفی در این پژوهش از نوع سیمان پرتلند پوزولانی تیپ II بوده که از کارخانه سیمان صوفیان تهیه گردیده است. همچنین جهت یکسان‌سازی سیمان‌های مصرفی در این پژوهش با یکدیگر مخلوط شده‌اند. مشخصات و اجزای تشکیل دهنده این سیمان بر طبق مشخصات ارائه شده توسط کارخانه سازنده مطابق جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان صوفیان.

| Other | C ₄ AF | C ₃ A | C ₂ S | C ₃ S | FreeCaO | SO ₃ | MgO | CaO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | L.O.I |
|-------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------|-----------------|------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|
| ۱,۸۴ | ۱۱,۴۴ | ۶,۸۱ | ۲۰,۹۶ | ۵۱,۳۰ | ۱,۱۵ | ۱,۹۱ | ۲,۰۵ | ۶۳,۴۶ | ۳,۷۶ | ۴,۹۷ | ۲۰,۸۱ | ۲,۰۰ |

۲-۱-۲- مواد افزودنی (فوق روان ساز و سیال کننده بتن)

در این پژوهش از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر استفاده گردید. بنابر توصیه سازنده، میزان مصرف فوق روان کننده بین ۰,۳ تا ۲ درصد وزن سیمان می باشد. بر طبق پژوهش‌های انجام گرفته و نتایج مقالات ارائه شده، میزان بهینه فوق روان ساز در بتن خودتراکم به میزان ۲ درصد وزن سیمان می‌باشد. همچنین از ماده سیال کننده بتن که در بتن های خود تراکم کاربرد دارد استفاده گردید. مقدار مصرف این ماده بنابر توصیه سازنده ۰,۳ تا ۰,۷ درصد وزن سیمان می باشد که در این پژوهش به میزان ۰,۳ درصد وزن سیمان استفاده گردید.

۲-۱-۳- سنگدانه ها

در این پژوهش دو نوع سنگدانه بکار برده شده است. سنگدانه درشت و سنگدانه ریز. هر یک از این نوع سنگدانه ها دارای دو نوع سنگدانه شکسته و گرد گوشه می‌باشد که از نوع شکسته بکار برده شده است. همچنین سنگدانه‌های بکار برده شده در این پژوهش همگی از منبع محلی (تبریز) تهیه گردیده‌اند. بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه (D_{max}) مصرفی در طرح‌های اختلاط ارائه شده برابر ۱۹ میلیمتر می‌باشد. آزمایش دانه بندی مطابق با استاندارد ASTM C33-87 برای شن و ماسه انجام گردید و مدول نرمی ماسه برابر ۳ همچنین درصد خاک ماسه برابر ۲ بدست آمد.

۲-۱-۴- مواد پرکننده (فیلر)

جهت ایجاد روانی قابل قبول و پایداری مناسب در مخلوط بتن خودتراکم، کاهش میزان مصرف شن و همچنین به دلیل الزامات رئولوژی خاص بتن خودتراکم، استفاده از فیلر در مخلوط این نوع بتن الزامی است. در این پژوهش از پودر سنگ گرانیتی که از معدن محلی (تبریز) تهیه شده بود، بعنوان فیلر استفاده گردید. اندازه فیلر معمولاً کمتر از ۱۲۵ میکرومتر می‌باشد.

۲-۱-۵- الیاف شیشه

الیاف شیشه مورد استفاده در این پژوهش از نوع چاچد و با طول ۱۲ میلیمتر می باشد که از تولید کننده داخلی (هشتگرد) تهیه گردید.



شکل ۱. الیاف شیشه مصرفی در این پژوهش

الیاف شیشه به دلایل مختلفی نظیر قیمت پایین، استحکام کششی بالا و مقاومت شیمیایی بالا می تواند انتخاب مناسبی برای بهبود مشخصات مکانیکی بتن های خود تراکم باشد. مشخصات الیاف شیشه مطابق جدول زیر می باشد:

جدول ۲- مشخصات الیاف شیشه.

| وزن مخصوص (gr/cm^3) | ضریب ارتجاعی (GPa) | مقاومت کششی (GPa) | کرنش گسیختگی (%) | نسبت طول به قطر |
|--|--------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| ۲,۶ | ۸۰,۰ | ۲,۰ - ۴,۰ | ۲,۰ - ۳,۵ | ۲۰۰ |

۲-۱-۶- الیاف نایلون

الیاف نایلون مصرفی در این پژوهش به عنوان ماده اولیه در تولید کیسه های نایلونی (گونی نایلونی) کاربرد دارد.



شکل ۲. الیاف نایلون مصرفی در این پژوهش

جدول ۳- مشخصات الیاف نایلون.

| طول (mm) | عرض (mm) | ضخامت (mm) | وزن واحد طول (gr/m) | مقاومت در نقطه پارگی (kg/cm^2) | درصد کشش در نقطه پارگی (%) |
|----------|----------|------------|---------------------|---|-------------------------------|
| ۲۰±۱ | ۲,۵ | ۰,۸ | ۰,۱۶ | ۴۰۰ | ۲۰ |

۲-۲- نسبت های اختلاط

ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران - تهران - ۱۵ مهرماه ۱۳۹۳

جهت اجرای این پژوهش ۳ طرح اختلاط بهینه بتن خود تراکم با عیار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب انتخاب گردید و پس از بررسی مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها طرح اختلاطی با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت آب به سیمان ۰،۴ و نسبت آب به مواد پودری ۰،۲۸ به منظور بررسی خواص مکانیکی بتن خود تراکم مسلح به الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر و الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر با بتن خود تراکم بدون الیاف انتخاب گردید. بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه مصرفی در این پژوهش (D_{max}) ۱۹ میلیمتر می باشد. میزان الیاف شیشه و نایلون مصرفی به ترتیب ۰،۵، ۱، ۱،۵ و ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب می باشد. طرح های اختلاط استفاده شده در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- طرح های اختلاط استفاده شده.

| معرف مخلوط | شن (kg/m^3) | ماسه (kg/m^3) | سیمان (kg/m^3) | پودر سنگ (kg/m^3) | آب (kg/m^3) | سیال کننده (kg/m^3) | فوق روان کننده (kg/m^3) | الیاف شیشه (kg/m^3) | الیاف نایلون (kg/m^3) |
|------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| A | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۰ | ۰ |
| B | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۰،۵ | ۰ |
| C | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۱ | ۰ |
| D | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۱،۵ | ۰ |
| E | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۲ | ۰ |
| F | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۰ | ۰،۵ |
| G | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۰ | ۱ |
| H | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۰ | ۱،۵ |
| I | ۷۹۶ | ۹۳۰ | ۳۵۰ | ۱۵۰ | ۱۴۰ | ۱،۰۵ | ۷ | ۰ | ۲ |

۲-۳- آزمایش های انجام گرفته

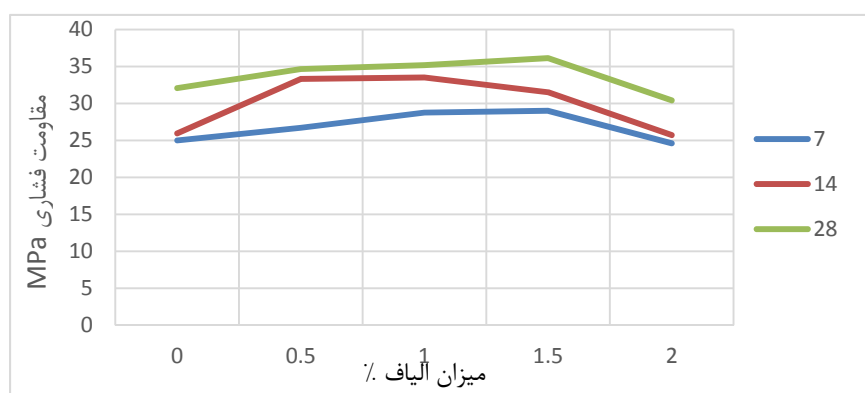
آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و همچنین برای بررسی کارایی بتن ساخته شده آزمایش های اسلامپ کوچک و حلقه J بر روی نمونه ها برای ارزیابی کیفیت بتن خود تراکم تهیه شده در حین این پژوهش، انجام گرفت. آزمایش های اسلامپ و حلقه J صرفاً جهت کنترل کارایی بتن انجام گرفت و هدف پژوهش حاضر صرفاً بررسی خواص مکانیکی بتن خود تراکم مسلح به الیاف شیشه و نایلون می باشد. در بررسی های انجام گرفته همچنین با توجه به نکات ذکر شده در مقالات پژوهشگران مشخص شد که با افزودن الیاف به مخلوط بتن خود تراکم، از روانی بتن مقداری کاسته می شود که برای جبران این کاهش روانی سعی بر آن بوده است که مخلوط اولیه دارای روانی زیادی باشد. آزمایش های ذکر شده بر روی سه نمونه از مخلوط بتن خود تراکم انجام گرفت، نوع اول دارای الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر و نوع دوم دارای الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر و نوع سوم بدون الیاف به عنوان نمونه شاهد. تنها پارامتری که در تهیه نمونه ها متغیر می باشد میزان الیاف مصرفی است. مطابق استاندارد BS1881-116:1983 از هر طرح اختلاط ۳ نمونه مکعبی $15 \times 15 \times 15$ سانتیمتر جهت تعیین مقاومت فشاری و بررسی آن در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تهیه گردید. نمونه ها پس از ۲۴ ساعت نگهداری در قالب به مدت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز در آب معمولی عمل آوری شدند و سپس روی آنها آزمایش مقاومت فشاری انجام گردید.

طبق استاندارد ASTM-C496 از هر طرح اختلاط ۳ نمونه استوانه ای با قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر جهت تعیین مقاومت کششی و بررسی آن در سنین ۷ و ۲۸ روزه تهیه گردید. نمونه ها پس از ۲۴ ساعت نگهداری در قالب به مدت ۷ و ۲۸ روز در آب معمولی عمل آوری شدند. به منظور تعیین مقاومت کششی نمونه های تهیه شده از روش شکافت (برزلی) استفاده گردید.

۳- شرح و تفصیل نتایج

۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نمونه‌های سخت شده و عمل آوری شده در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه و دارای درصد‌های مختلف الیاف تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. در شکل (۳) برای الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر، تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها برای درصد‌های مختلف الیاف نشان داده شده است. همچنین شکل (۴) مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر می‌باشد همان طور که ملاحظه می‌شود بیشترین میزان مقاومت فشاری بتن خود تراکم مسلح به الیاف شیشه، در میزان الیاف ۱،۵ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می‌آید. همچنین برای الیاف نایلون، بیشترین میزان مقاومت فشاری در میزان الیاف ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می‌آید.

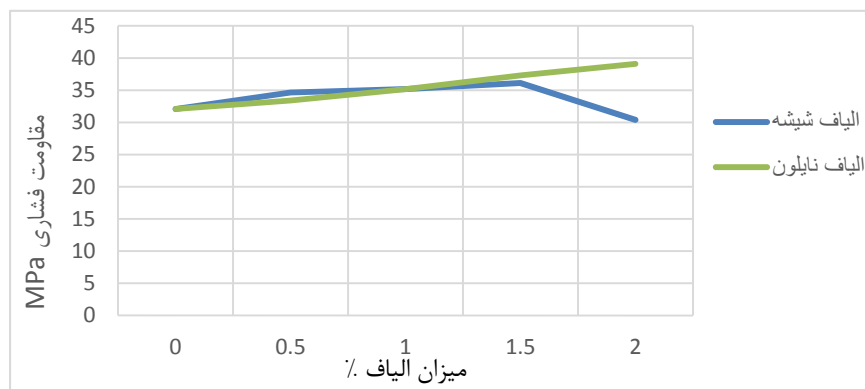


شکل ۳. نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های حاوی الیاف شیشه.



شکل ۴. نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های حاوی الیاف نایلون.

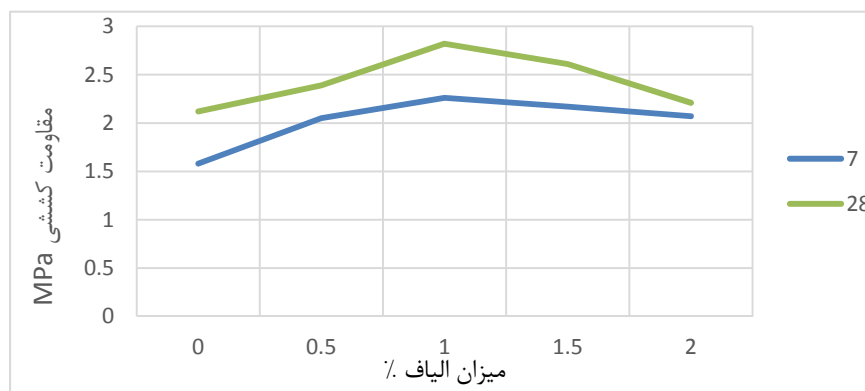
شکل (۵)، مقایسه اثرگذاری استفاده از الیاف شیشه و نایلون بر مقاومت فشاری بتن خودتراکم در سن ۲۸ روز را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که بیشترین میزان مقاومت بتن خودتراکم در سن ۲۸ روز با استفاده از الیاف نایلون به میزان ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می‌آید. ذکر این نکته ضروری است که در پروژه‌های عمرانی مقاومت بتن اغلب در سن ۲۸ روز مورد نظر است و بدین علت نتایج مربوط به آن آورده شده است.



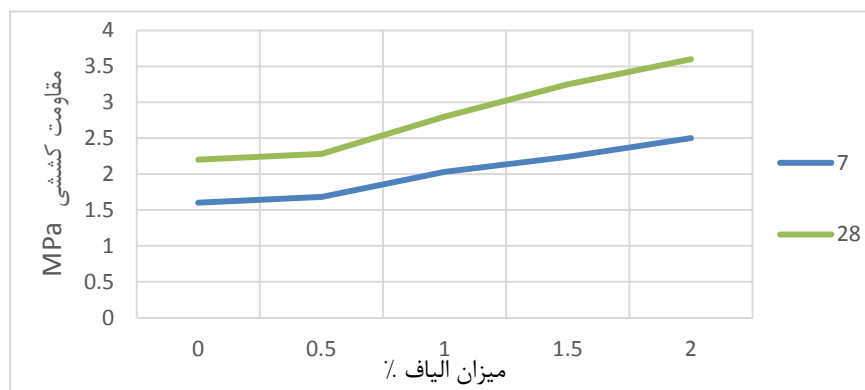
شکل ۵. مقایسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های حاوی الیاف شیشه و نایلون در سن ۲۸ روز بتن.

۳-۲- آزمایش مقاومت کششی

بر روی نمونه‌های بتن سخت شده دارای درصد‌های مختلف الیاف شیشه و نایلون و عمل آوری شده در سنین ۷ و ۲۸ روزه، آزمایش مقاومت کششی انجام گردید. در شکل (۶) برای الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر، تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها برای درصد‌های مختلف الیاف نشان داده شده است. همچنین شکل (۷) مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر می‌باشد همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین میزان مقاومت کششی بتن خود تراکم مسلح به الیاف شیشه، در میزان الیاف ۱ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می‌آید. همچنین برای الیاف نایلون، بیشترین میزان مقاومت کششی در میزان الیاف ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می‌آید.



شکل ۶. نتایج آزمایش مقاومت کششی برای نمونه‌های حاوی الیاف شیشه.



شکل ۷. نتایج آزمایش مقاومت کششی برای نمونه‌های حاوی الیاف نایلون.

شکل (۸)، مقایسه اثرگذاری استفاده از الیاف شیشه و نایلون بر مقاومت کششی بتن خودتراکم در سن ۲۸ روز را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که بیشترین میزان مقاومت کششی بتن خودتراکم در سن ۲۸ روز با استفاده از الیاف نایلون به میزان ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می‌آید. ذکر این نکته ضروری است که در پروژه‌های عمرانی مقاومت بتن اغلب در سن ۲۸ سال مورد نظر است و بدین علت نتایج مربوط به آن آورده شده است.



شکل ۸. نتایج آزمایش مقاومت کششی برای نمونه‌های حاوی الیاف نایلون.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش آزمایشگاهی، مقایسه‌ای بین میزان اثر بخشی استفاده از الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر و همچنین الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر بر خواص مکانیکی بتن خودتراکم بررسی گردیده است. با بررسی شکل‌های ۳ تا ۸ و مقایسه نتایج نمونه‌های بتن خود تراکم حاوی الیاف با نمونه‌های بدون الیاف (شاهد) می‌توان نتایج پژوهش حاضر را به شرح زیر ارائه نمود:

- ۱- علاوه بر نوع روان کننده و میزان مصرف آن در بتن که پس از انجام آزمایش‌های متعدد بدست می‌آید، می‌توان به این نکته اشاره کرد که با استفاده از فوق روان کننده و الیاف شیشه و نایلون در بتن خود تراکم، می‌توان خواص مکانیکی آن را بهبود بخشید.
- ۲- در صورت استفاده از الیاف شیشه یا نایلون در بتن خودتراکم می‌توان از گسیختگی ناگهانی بتن تحت اثر تلاش‌های کششی و فشاری جلوگیری نمود.
- ۳- این الیاف که با فاصله کم نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند، در ماتریس سیمان با پل زدن بین اجزای بتن، موجب بهم پیوستن اعضای بتن به یکدیگر گردیده و در نتیجه شاهد افزایش شکل‌پذیری بتن خواهیم بود. اما بایستی در نظر داشت که در صورت استفاده بیش از حد از الیاف، پدیده گلوله شدن الیاف نیز رخ می‌دهد. این پدیده موجب می‌شود که در هنگام انتخاب میزان الیاف علاوه بر پارامتر روانی بتن، کاهش مقاومت فشاری نیز در نظر گرفته شود.
- ۴- افزودن الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر و الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر به مخلوط بتن خود تراکم موجب افزایش مقاومت فشاری و کششی می‌گردد. نقش اصلی الیاف در بتن، پس از ایجاد ترک در ماتریس سیمانی می‌باشد که با مقاومت در برابر بیرون کشیدگی، موجب افزایش قابل توجهی در مقاومت گسیختگی نهایی و شکل‌پذیری مخلوط می‌گردد.

- ۵- افزودن مقدار زیاد الیاف شیشه به مخلوط بتن خود تراکم موجب کاهش مقاومت فشاری و کششی می گردد که علت اصلی این امر کاهش روانی مخلوط، افزایش اصطکاک مخلوط و عدم تراکم مناسب است. استفاده بیش از حد از الیاف همچنین موجب افزایش میزان هوای محبوس در داخل بتن می گردد.
- ۶- در یک نسبت ثابت آب به سیمان و در حالت استفاده از الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر و به میزان ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب، شاهد بیشترین مقدار افزایش در مقاومت فشاری به میزان تقریبی ۲۱ درصد نسبت به مقاومت بتن شاهد خواهیم بود. در حالت استفاده از الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر و به میزان ۱,۵ کیلوگرم در هر متر مکعب، شاهد بیشترین میزان افزایش مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد به میزان ۱۲,۵ درصد خواهیم بود. یکی از علل تحقق این امر می تواند کاهش ترک ها و متصل شدن آنها به یکدیگر باشد. علت دیگر کوچک بودن بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه مصرفی باشد که الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر در فاز بتن عمل می کند و این الیاف با بتن به صورت یکپارچه سبب افزایش مقاومت فشاری می گردد.
- ۷- در یک نسبت ثابت آب به سیمان و در صورت استفاده از الیاف نایلون با طول ۲۰ میلیمتر و به میزان ۱ کیلوگرم بر متر مکعب شاهد بیشترین میزان افزایش در مقاومت کششی برابر ۳۳ درصد خواهیم بود. در حالت استفاده از الیاف شیشه با طول ۱۲ میلیمتر و به میزان ۱ کیلوگرم در هر متر مکعب، شاهد بیشترین میزان افزایش در مقاومت کششی به میزان ۶۳ درصد خواهیم بود. علت این امر نیز می تواند نقش الیاف در به هم پیوسته کردن مخلوط بتن باشد. همچنین این الیاف با توجه به طول خود در فاز بتن عمل می کنند. افزایش مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه در حدود ۳۳ درصد می باشد.
- ۸- به طور کلی بر اساس نتایج بدست آمده، مقدار بهینه الیاف نایلون برای دستیابی به مخلوطی با روانی و خواص مکانیکی مناسب و همچنین کمترین میزان ترک های انقباضی در سطح بتن برای الیاف با طول ۲۰ میلیمتر برابر ۲ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن می باشد. همچنین مقدار بهینه الیاف شیشه برای دستیابی به مخلوطی با روانی و خواص مکانیکی مناسب و همچنین کمترین میزان ترک های انقباضی در سطح بتن برای الیاف با طول ۱۲ میلیمتر و نسبت طول به قطر ۲۰۰، برابر ۱ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن می باشد.

۵- قدردانی

نویسنده وظیفه خود می داند که از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز بخاطر حمایت های مالی جهت انجام این پژوهش بر طبق قرار داد طرح پژوهشی تشکر نماید.

مراجع

- [1]. Khanzadi, M, "Fresh and Early age Properties of High Flowing Concrete", The Thesis in BuildingMaterial Division, Graduate School of Hokkaido University, Sapparo, Japan, June 1996.
- [2]. Okamura, H., "Self Compacting High Performance Concrete", Concrete International, V.19, No.7, July 1997, pp.50-54.[3].EFNARC., (2005), "the European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, production and use".
- [4].Hajim Okamura, Masahiro Oucchi, "Self Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology.
- [5].Bonen, D. & Shah, S. (2005), "Fresh and hardened properties of self -consolidating concrete,"Journal of Progress in Structural Engineering and Materials No 7, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, pp 14-26
- [6]. M. L. Nehdi& M. T. Bassuoni., "Durability of Self-Compacting Concrete to Combined Effects of Sulphate attack and Frost action", Journal of Materials and Structures, Vol.41, 2008, pp.1657-1679.

- [7]. The European guidelines for self-compacting concrete; specification production and use. EFNARC; May 2005.
- [8]. Zerbino, R., Giaccio, G. & Isaia, G.C., "Concrete incorporating rice-husk ash without processing", *Construction and Building Materials*, 25, 371-378, 2011.
- [9]. Brown, R., Shukla, A. and Natarajan. K., R., "Fiber Reinforcement of Concrete Structures" University of Rhode Island, URITC Project No.536101, September 2002.
- [10]. Victor, C. Li., Fischer, G., 'Advance Composite Material in Flexural Member for Auto Adaptive Structural Member', *Fiber Proceeding of 11th Fib Congress*, 2002.
- [11]. Sivakumar, A., and Santhanam, M., "A quantitative study on the plastic shrinkage crack in high strength hybrid fiber reinforced concrete" *Cement & Concrete Composites*, pp 575-581.
- [12]. Vondran, G.L., Nagabhusanam, M., Ramakrishnan, V., "Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes", *Fiber Reinforced Cements and Concretes, Recent Developments.*, Edited by Swamy, R.N., Barr, B., pp 533-543, September 1989.
- [13]. Jansson, Anette, *Fibers in Reinforced Concrete Structures-Analysis Experimental and design*, Civil and Environmental Engineering, (2008).
- [14]. Murugesan., R., Nattesan.S.C., Suji.D., "Experimental Study on Behaviors of Polypropylene Fibrous Concrete Beams", *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, no 8, 2007, pp 1101-1109.
- [۱۵]. مهتا- مونته ئیرو، ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)، ترجمه رمضانیان پور، ع-ا. قدوسی، پ. گنجیان، ا. چاپ اول، ۱۳۸۳.
- [16]. Alberti, M.G., Enfedaque., J.C., "On the mechanical properties and fracture behavior of polyolefin fiber-reinforced self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, Vol55, pp274-288, 2014.
- [17]. Song PS, Hwang S, Sheu BC. Strength properties of nylon- and polypropylene fiber-reinforced concretes. *Cem Concr Res* 2005;35(8):1546-50.
- [18]. ASTM C136-06. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; 2006.
- [19]. ASTM C496/496-11. Standard Test Method for splitting Tensile strength of cylindrical Concrete Specimens.
- [20]. BS 1881-116:1983. Testing Concrete Method for Determination of compression Strength of Concrete Cubes.