Archive of SID

نشریه علمی – پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶، شماره ۴، سال ۱۳۹۸، صفحه ۲۳۱ تا ۲۴۷

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)

www.jsce.ir

تأثیر مقدار و نوع الیاف و فنر فلزی بازیافتی بر خصوصیات بتن معمولی

قاسم پاچیده[۱]، مجید قلهکی[۲*]، امین مشتاق[۳]

۱-دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۲-دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۳-مربی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه گرمسار، گرمسار، ایران

چکیده

بتن به عنوان یک ماده ی ساختمانی عملکردی ضعیفی در کشش داشته و این مسأله باعث وقوع ترک و خزش می شود. با گذشت زمان و افزایش تنش ها، ترک ها زیاد شده و در عمق بتن نفوذ می کنند. به همین جهت از الیاف فولادی جهت جلوگیری از رشد بیش از حد ترک ها استفاده می شود. استفاده از الیاف یا مواد بازیافتی در بتن، باعث بهبود مقاومت، شکل پذیری و دوام بتن می شود. لذا یکی از پیشنهادات بمنظور بهبود خواص مکانیکی بتن، استفاده از الیاف و مصالح جایگزین نظیر فنر فلزی بازیافتی است. در این مقاله به مطالعه ی آزمایشگاهی عملکرد بتن های حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن و فنرهای فلزی بازیافتی با بکار بردن درصدهای حجمی ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ درصد پرداخته شد. بدین منظور تعدادی نمونه ی استوانه ای و منشوری جهت انجام آزمایشات مقاومت فشاری، کششی و خمشی ساخته و در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که استفاده از فنر فلزی بازیافتی در بتن، عملکرد مطلوب تری نسبت به سایر الیاف ها در کنترل ترک های ناشی از کشش دارد. همچنین در درصدهای کم، استفاده از فنر بهبود بیشتری در خصوصیات مکانیکی بتن دارد. همچنین الیاف پلی پروپیلن و فنر فلزی تا ۲ برابر طاقت خمشی بتن را افزایش داده، که این مقدار برای استفاده از الیاف فولادی به ۱۳ برابر می رسد.

کلمات کلیدی: بتن، الیاف فولادی، الیاف پلی پروپیلن، فنر فلزی بازیافتی، مشخصات مکانیکی.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi: 10.22065/jsce.2018.101782.1350
۱۳۹۶/۰۷/۲۹	۱۳۹۶/۱۲/۰۸	۱۳۹۷/۰۲/۱۴	۱۳۹۷/۰۲/۱۴	۱۳۹۸/۱۰/۰۱	https://10.22065/jsce.2018.101782.1350

*نویسنده مسئول: مجید قلهکی

پست الکترونیکی: mgholhaki@semnan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

The effect of quantity and type of fibers and recycled metal springs on concrete properties

Pachideh Ghasem[a]. gholhaki, Majid[*b]. Moshtagh, Amin[C]

a. Phd Candidate, Civil Faculty, Semnan university, Semnan, Iran.
b. Associate Professor, Civil Faculty, Semnan university, Semnan, Iran.
c. MSc, Civil Faculty, Garmsar University, Garmsar, Iran.

ABSTRACT

The use of fibers or recycled materials in concrete will results in improving the strength, plasticity and durability of concrete. Therefore, one of the suggestions to improve the mechanical properties of concrete is the use of fibers as well as alternative materials such as recycled steel springs. In this paper, we investigate the performance of concretes containing steel and polypropylene fibers and recycled metal springs using 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 percent volumetric percentages. For this purpose, a number of cylindrical and prismatic samples at the age of 28 days were tested for compressive, tensile and flexural strength tests. It should be noted that the steel fibers used have a length and diameter of 50 and 0.8 mm, polypropylene fiber has 12 mm length, as well as a metal spring with a wire diameter of 0.8 mm, a length of 25 mm and a hole diameter of 8 mm. The results indicate that the use of recycled metal springs in concrete has a better performance than other fibers in the control of cracks caused by tension. Also, in low percentages, the use of springs has improved the mechanical properties of concrete. Also, polypropylene fibers and metal springs increase the flexural strength of concrete up to 2 times, which for the use of steel fibers this amounts to 13 times. So, with better recognition and changes in the type and characteristics of the spring, better resistance can be achieved.

ARTICLE INFO

Receive Date: 21 October 2017
Revise Date: 27 February 2018
Accept Date: 04 May 2018

Keywords:
Concrete, Steel fiber, Polypropylene fiber, Recycled Steel Springs, mechanical properties.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.101782.1350

*Corresponding author: gholhaki, Majid Email address: mgholhaki@semnan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

بتن به عنوان یک ماده ی ساختمانی عملکردی ضعیفی در کشش داشته و این مسأله باعث وقوع ترک و خزش می شود. با گذشت زمان و افزایش تنش ها، ترک ها زیاد شده و در عمق بتن نفوذ می کنند. به همین جهت از الیاف فولادی جهت جلوگیری از رشد بیش از حد ترک ها استفاده می شود [۱-۲].

بعلت ترکیب شدن الیاف بصورت یکنواخت در بتن، در همه ی جهات در بتن قرار می گیرند. با سخت شدن بتن، بین الیاف و ذرات بتن پل زده شده که از رشد ریزترک ها جلوگیری می کند. البته علاوه بر الیاف فولادی، الیاف پلیمری، کربنی و... نیز در بتن بکار می رود. در میان الیاف پلیمری، الیاف پلی پروپیلن یکی از رایج ترین و محبوب ترین الیاف ها در میان محققان است [۳-۸].

مقاومت کششی بتن در حدود ۰/۱ مقاومت فشاری آن می باشد، بنابراین اکثر ترک ها در بتن تحت تنش های کششی ایجاد می شود [۹]. با وجود اینکه الیاف فولادی در کنترل ترک تحت تنش های وارده به بتن موثر هستند اما در تنش های بالا توانایی جلوگیری از رشد بیش از حد ترک ها را ندارند [۱۰].

یائو و همکاران در سال ۲۰۰۳ ، بتن حاوی الیاف فولادی، کربنی و پلی پروپیلن با درصدهای مختلف را مورد آزمایشِ مقاومت خمشی قرار دادند. نتایج آزمایش ها نشان داد که در هر صورت اضافه کردن الیاف، بتن را نسبت به بتن معمولی مقاوم تر و شکل پذیرتر می سازد. بیشترین مقاومت خمشی مربوط به الیاف فولادی است که این مسئله نشان دهنده خواص مناسب این نوع الیاف است. درحالی که الیاف دیگر مثل الیاف فولادی تغییر اساسی در مشخصات بتن ایجاد نکردند. نتایج نشان داد که ترکیب الیاف فولادی با الیاف کربنی منجر به بیشترین مقاومت شده است [۱۱].

کورشی و همکاران خواص بتن با مقاومت بالا را با افزودن الیاف فولادی بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش الیاف فولادی، مقاومت کششی به صورت خطی افزایش می یابد و سرعت افزایش در ۵ روز اول بیشتر می باشد [۱۲].

ماتیاس و همکاران در سال ۲۰۰۶ در استرالیا در بررسی های خود نشان دادندکه چگونه الیاف پلی پروپیلنی رفتار خردشدگی بتن درجا را بهبود می بخشند. نتایج به دست آمده دیدگاهی از نظر خردشدگی بتن با مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلنی را ارائه می دهد [۱۳].

بانتیا و شاه بتن الیافی از دو دسته از الیاف با جنس یکسان و اندازه های مختلف را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که الیاف کوچکتر بین ترک های کوچک پل زده و رشد ریزترک ها را کنترل کرده و از به هم پیوستن آن ها جلوگیری نموده و به میزان قابل توجهی باعث بهبود مقاومت خمشی می شود [۱۵-۱۴].

پژوهش دیگری از بانتیا بر روی بتن الیافی از دو دسته الیاف با یک اندازه و دو جنس مختلف نشان داد که الیاف سخت تر و با مدول الاستیسیته ی بالاتر منجر به مقاومت در برابر اولین ترک و مقاومت نهایی شده و نوع دیگر که تقریباً انعطاف پذیر است منجر به بهبود مقاومت خمشی بعد از اولین ترک می شود [۵].

برای بهبود نقاط ضعف بتن، مطالعات متعدد بر روی بتن تقویت شده با الیاف انجام شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد بتن تقویت شده با الیاف کوتاه پلاستیکی عملکرد بتن را به طور قابل توجهی بهبود می بخشد و ضعف های آن از قبیل قدرت کششی کم، انعطاف پذیری پایین و ظرفیت جذب انرژی کم را از بین می برد [۲۲-۱۶].

لیمباچیا و همکاران در سال ۲۰۰۰ با مطالعه بر روی بتن های بازیافتی، به این نتیجه رسیدند که مقاومت فشاری بتن بازیافتی بستگی به نوع سنگدانه ها و خصوصیات آن دارد. نسبت آب به سیمان، درصد جایگزینی سنگدانه های بازیافتی بجای سنگدانه های طبیعی و میزان چسبندگی ملات از جمله مهمترین عوامل موثر بر مقاومت فشاری بتن بازیافتی هستند [۲۳].

جداکیویچ و کلیژویچ در سال ۲۰۰۲ به مطالعه ی تأثیر افزودن سنگدانه های بازیافتی به بتن های با مقاومت بالا پرداختند. بتن های بکار رفته با عمر ۲ تا ۷ سال با مقاومت متوسط و بالا بوده که خصوصیات مکانیکی آن ها با یکدیگر مقایسه گردید [۲۴].

www.SID.ir

Archive of SID

کارنیرو و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی جایگزینی مصالح بازیافتی با ترکیبی از ۵۵ درصد ملات، ۲۰ درصد بتن و ۲۵ درصد سنگدانه بازیافتی پرداختند. نتایج نشان داد که با جایگزینی ۲۵ درصد سنگدانه های بازیافتی بجای سنگدانه های طبیعی، مقاومت بتن افزایش می یابد. علت این افزایش مقاومت، چسبندگی بهتر سنگدانه های بازیافتی با خمیر سیمان می باشد [۲۵].

خالو و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی عملکرد بتن های خودتراکم متشکل از درشت دانه های بازیافتی پرداختند. طبق این پژوهش، آن ها با بکارگیری سنگدانه های بازیافتی به عنوان درشت دانه با درصدهای جایگزینی مختلف نسبت به درشت دانه ی طبیعی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) به این نتیجه رسیدند که بکارگیری سنگدانه های بازیافتی موجب افت خواص رئولوژیک بتن های خودتراکم شده و دستیابی به خواص خودتراکمی را دشوار می سازد. همچنین جایگزینی ۲۵٪ درشت دانه ی بازیافتی با درشت دانه ی غیر بازیافتی (طبیعی) بهترین حالت ممکن برای ساخت بتن خودتراکم بازیافتی می باشد [۲۶].

همچنین کیم و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی عملکرد بتن های مسلح شده با الیاف پلی استر (PET) بازیافتی پرداختند. بدین منظور با مقادیر ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد به بتن افزوده شده و با سایر الیاف های موجود، از جمله الیاف پلی پروپیلن مقایسه شد. نتایج نشان داد که هرچه مقدار PET بازیافتی در بتن کمتر شود، مقاومت فشاری و مدول الاستیک بتن افزایش یافته که نسبت به وجود الیاف پلی پروپیلن در بتن، عملکرد بهتری دارد [۲۷].

چوی و یان در سال ۲۰۱۲ به مطالعه ی تأثیر استفاده ی همزمان از درشت دانه و ریزدانه ی بازیافتی بر مقاومت بتن پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده ی همزمان از درشت دانه و ریزدانه ی بازیافتی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می شود. یکی از دلایل این افزایش مقاومت، چسبندگی بالاتر درشت دانه های بازیافتی و خمیر سیمان می باشد [۲۸].

صدرممتازی و همکاران در سال ۲۰۱۴ با استفاده از روش های غیر مخرب به بررسی خصوصیات بتن الیافی حاوی سنگدانه های بازیافتی بتن پرداختند. در این پژوهش با بکار بردن الیاف پلی پروپیلن به طول ۶ میلی متر و با درصدهای حجمی ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ در بتن که با جایگزینی ریزدانه و درشت دانه ی بازیافتی با درصدهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ ساخته شده، به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد حجمی الیاف پلی پروپیلن در بتن های بازیافتی، سرعت امواج فراصوتی و درصد جذب آب بتن کاهش و مقاومت الکتریکی افزایش یافت [۲۹].

احمدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی تأثیر افزودن الیاف فلزی بازیافتی از لاستیک خودرو بر بتن حاوی سنگدانه های بازیافتی پرداختند. درصد جایگزینی این نوع سنگدانه ها با درشت دانه های طبیعی به میزان ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد و میزان الیاف بکار رفته ۰/۵ درصد حجم بتن می باشد. نتایج نشان داد که با افزودن الیاف فلزی بازیافتی به بتن با سنگدانه های بازیافتی، کمبود مقاومت این نوع بتن ها جبران می گردد [۳۰]. پارک و همکاران در سال ۲۰۱۵ با افزودن الیاف‌های فولادی و پلی‌پروپیلن به بتن ساخته شده از خرده‌های لاستیک، رفتار بتن را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که با افزودن همزمان الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن مقاومت بتن بیشتر از حالتی خواهد بود که تنها از یک نوع الیاف در بتن استفاده شود [۳۱و۳۲] همچنین افروغ ثابت و اوزباکالوگلو در سال ۲۰۱۵ با بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام بتن‌های با مقاومت بالا و حاوی الیاف‌های فولادی و پلی‌پروپیلن به این نتیجه رسیدند که از بین درصدهای مختلف استفاده از الیاف، بهترین حالت مربوط به استفاده از ۰/۸۵ درصد الیاف فولادی و ۰/۱۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن می‌باشد. همچنین جذب آب و دوام بتن‌های الیافی به نوع و میزان الیاف بکار رفته در بتن بستگی دارد [۳۳].

مستعلی و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی خصوصیات مکانیکی و مقاومت ضربه ی بتن های حاوی الیاف CFRP بازیافتی پرداختند. الیاف CFRP با مقادیر ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد و با اندازه های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی متر به بتن اضافه شدند. طبق نتایج بدست آمده، با افزایش درصد و طول الیاف CFRP بازیافتی در بتن، مشخصات مکانیکی و مقاومت ضربه ای افزایش یافته اما کارایی بتن کاهش می یابد [۳۴].

قلهکی و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی اثر حرارت بر بتن‌های حاوی الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن پرداختند. آن‌ها دو طرح اختلاط با عیارهای سیمان ۴۰۰ و ۷۰۰ و نسبت حجمی ۰/۶ درصد کل بتن از الیاف استفاده کردند. نتایج نشان داد که در شرایط پس از حرارت، مقاومت فشاری بتن‌های حاوی الیاف فولادی حدود ۴۰ درصد بیشتر از مقاومت فشاری بتن‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن می باشد [۳۵].

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین طی تحقیقات دیگری که توسط قلهکی و پاچیده در سال ۲۰۱۸ انجام شد، به بررسی تأثیر افزایش دما بر روی بتن های حاوی فنر فلزی بازیافتی و مقایسه ی عملکرد آن ها با الیاف های رایج پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از مقدار ۰/۲ درصد فنر در بتن با باعث بهبود مقاومت فشاری و کششی بتن تا حدود ۳ برابر نمونه‌ی شاهد شده، اما هرچه میزان استفاده از آن در بتن افزایش یابد از مقاومت آن نیز کاسته می‌شود. همچنین مقاومت فشاری بتن با درصد بهینه‌ی فنر در دماهای مختلف حدود ۲ الی ۳ برابر بتن حاوی الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن بوده و مقاومت کششی آن نیز تا حدودی نزدیک به مقاومت الیاف فولادی می‌باشد. همچنین وجود فنر در بتن، عرض ترک‌های بوجود آمده پس از انجام تست مقاومت کششی را تا ۳ برابر کاهش می‌دهد [۳۶].

شیرازی بیدآبادی و اکبری در سال ۲۰۱۷ به بررسی بتن متشکل از سنگدانه های بازیافتی تقویت شده با الیاف پرداختند. ابتدا تأثیر ابعاد و میزان جایگزینی سنگدانه های بازیافتی و سپس تأثیر افزودن الیاف پلی پروپیلن و فولادی در بهبود خواص مکانیکی بتن بازیافتی بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که افزودن الیاف فولادی به بتن با سنگدانه های بازیافتی تأثیر بیشتری در بهبود خواص مقاومتی نسبت به الیاف پلی پروپیلن دارد [۳۷].

در این مقاله با توجه به مطالعات انجام شده و خلأهای تحقیقاتی موجود، به بررسی تأثیر افزودن الیاف فولادی و پلی پروپیلن و همچنین فنر فلزی بازیافت شده، بر خوصصیات مکانیکی و فیزیکی بتن پرداخته خواهد شد. بدین منظور تعدادی نمونه ی استوانه ای و منشوری جهت انجام تست مقاومت فشاری، کششی و خمشی ساخته می شود. الیاف و فنر با مقادیر ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ درصد حجمی به بتن اضافه می شود. در نهایت با مقایسه ی عملکرد هر یک در بتن و تغییرات آن ها، رابطه ای برای تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن ارائه می شود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این مطالعه تعداد ۱۱۷ عدد نمونه ی استوانه ای و منشوری بتن حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن و همچنین فنر فلزی بازیافتی با درصدهای اختلاط ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ جهت تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی ساخته شد.

۲-۱- مشخصات مصالح طرح اختلاط

جدول ۱ مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت بتن مورد آزمایش را نشان می دهد. همچنین مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف فولادی، پلی پروپیلن و فنر فلزی بازیافتی استفاده شده در جدول ۲ آورده شده است. شکل ۱ تصویر الیاف ها و فنر فلزی بازیافتی مصرفی در این مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۱: مشخصات مصالح مصرفی در بتن

سیمان	شن	ماسه	آب	نوع روان کننده
تیپ ۲ (شاهرود)	گوهر	دوبارشور	آب شرب شهر تهران	ابر روان ساز کربوکسیلاتی

جدول ۲: خواص فیزیکی و مکانیکی الیاف و فنر فلزی بازیافتی

نام الیاف	مقطع	طول (mm)	قطر (mm)	قطر/طول	مقاومت کششی (MPa)	چگالی (kg/m^3)	مدول الاستیسیته (GPa)
فنر فلزی	دایره	۲۵	۰/۸	۳۱/۲۵	>۱۲۰۰	۷۸۵۰	۱۶۰
الیاف فولادی	دایره	۵۰	۰/۸	۶۲/۵۰	>۱۲۰۰	۷۸۵۰	۱۶۰
الیاف پلی پروپیلن	دایره	۱۲	بسیار ناچیز	-	۴۰۰	۹۱۰	۳/۹-۳/۵

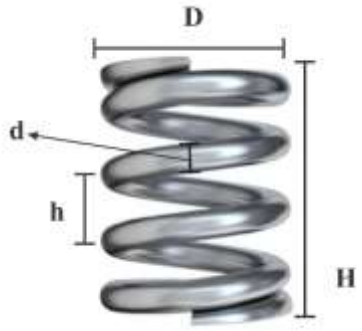
www.SID.ir

Archive of SID

الف- الیاف پلی پروپیلن ب- الیاف فولادی پ- فنر فلزی

شکل ۱: تصویر الیاف و فنر

فنر های بکار رفته در این پژوهش، از جنس گالوانیزه بوده و از بازیافت فنرهای مورد استفاده در صنعت لوازم التحریر استفاده شده است. قابل ذکر است که خصوصیات گالوانیزه از جمله مقاومت حرارتی، مدول الاستیسیته، چگالی و... تقریباً با خصوصیات فولاد برابر بوده و رفتار مشابهی دارند. جزئیات هندسی نمای فنر فلزی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: جزئیات هندسی نمای فنر فلزی

که در آن، D قطر حفره ی فنر (در این پژوهش برابر ۸ میلی متر)، d قطر مفتول فنر که برابر ۰/۸ میلی متر، H طول فنر (۲/۵ سانتی متر) و h مقدار هر گام فنر می باشد.

همچنین بر روی مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت بتن، در آزمایشگاه مکانیک خاک معدن شن و ماسه ی تیغاب ورامین آزمایش دانه بندی انجام شد. بر طبق این پژوهش، به ذرات کوچکتر از ۵ میلی متر ماسه، ذرات بین ۵ الی ۱۸ میلی متر شن ریزدانه (نخودی) و به ذرات بین ۱۸ تا ۳۲ میلی متر شن درشت دانه (بادامی) اطلاق می شود. با توجه به اینکه از هر سایز از سنگدانه ها به نسبت مناسبی استفاده شده، لذا اجزای سنگی بتن از پراکندگی مناسبی برخوردار می باشد.

۲-۲- صحت سنجی طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن مورد استفاده مطابق دستورالعمل "طرح اختلاط بتن به روش آبا" [۳۸] می باشد. بدلیل تغییرات در مقدار مقاومت بتن ناشی از غیریکنواختی احتمالی در مصالح، اجزای بتن، ساختن، ریختن، تراکم، عمل آوری و... مخلوط بتن باید طوری طراحی گردد که از مقاومت میانگین بیشتری نسبت به مقاومت موردنظر برخوردار باشد.

در گام نخست باید اسلامپ مناسب انتخاب شود. طبق روش آبا، اسلامپ ۰ تا ۲۵ میلی متر بعنوان درجه کارایی خیلی پایین، ۲۵ تا ۵۰ میلی متر بعنوان درجه کارایی پایین، ۵۰ تا ۱۰۰ میلی متر بعنوان درجه کارایی متوسط و نهایتاً اسلامپ ۱۰۰ تا ۱۸۰ میلی متر بعنوان درجه کارایی بالا معرفی می گردد. بنابراین با توجه به اینکه در این مقاله از بتن معمولی باید استفاده شود، اسلامپ ۵۰ تا ۱۰۰ میلی متر را که برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و نیز برای مقاطع با آرماتوربندی زیاد و با ویبره مناسب است، انتخاب می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

در گام دوم، با توجه به اینکه نظارت عالیه بر ساخت و کنترل های لازم باید وجود داشته باشد، رتبه بندی کارگاه در سطح "الف" قرار گرفته و با توجه به مقاومت مشخصه بتن (۲۵ مگاپاسکال)، انحراف معیار حدود ۳/۵ بدست می آید.
در گام سوم، باید نسبت آب به سیمان تقریبی اختلاط تعیین شود. با توجه به شرایط محیطی متوسط شهر سمنان، حداکثر نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵ می باشد.
در نهایت با توجه به درصد شکستگی سنگدانه ها، حداکثر قطر سنگدانه ها و... مقادیر سیمان و آب آزاد بتن محاسبه می شود. با توجه به اینکه حداکثر اندازه سنگدانه ها برابر ۳۲ میلی متر بوده، لذا بایستی حداقل مقدار سیمان در هر مترمکعب بتن برابر ۲۵۰ کیلوگرم باشد. با توجه به لحاظ نمودن موارد استاندارد اختلاط بتن به روش آبا، طرح اختلاط نسبت وزنی مصالح در جدول ۳ آورده شده است.
مطابق جدول ۳، نسبت آب به سیمان مورد استفاده در این پژوهش برابر با ۰/۴۹ در نظر گرفته شد. همچنین از مجموع کل سنگدانه ها (شن و ماسه)، ۴۸٪ شن و ٪۵۲ ماسه استفاده و نحوه ی اختلاط الیاف و فنر به نسبت حجمی کل بتن صورت گرفت. کلیه ی مراحل اختلاط، ساخت و عمل آوری نمونه های استوانه ای، در آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه سمنان انجام شد.

جدول ۳: نسبت طرح اختلاط مصالح مصرفی در بتن (معیار وزنی)

شن ریزدانه	شن درشت دانه	ماسه	سیمان	آب
۰/۵۸	۰/۳۵	۱	۰/۴۵	۰/۲۳

نحوه‌ی اختلاط مصالح برای ساخت بتن، طبق آیین‌نامه ASTMC192 انجام شد. ابتدا شن ریزدانه (نخودی) به میکسر اضافه شده، سپس حدود یک‌سوم آب به آن افزوده و میکسر روشن شد و شروع به چرخیدن کرد. در نهایت به تدریج ماسه طبیعی، سیمان و آب باقیمانده به میکسر اضافه شد. الیاف و فنر به تدریج در حدود ۲ الی ۳ دقیقه به بتن اضافه و به مدت ۳ دقیقه نیز میکسر در این حالت چرخید. پس از اینکه بتن حاوی الیاف یا فنر ساخته شد، آزمایش اسلامپ بتن طبق آیین‌نامه ASTMC143 انجام شد.

۲-۳- روش آزمایش

عمل آوری نمونه ها مطابق استاندارد ISIRI581 [۳۹] و بر روی بتن با سن ۲۸ روزه اعمال گردید. ابتدا به میزان مورد نظر (طبق طرح اختلاط) مخلوط بتن به همراه الیاف یا فنر و ابر روان کننده ساخته، سپس نمونه گیری بتن ها در نمونه های استوانه ای و منشوری به تعداد مجموعاً ۱۱۷ عدد (برای هر حالت، ۳ عدد نمونه ساخته شد) انجام شد. هر قالب، در سه مرحله بتن ریزی و در هر بار ویبره گردید. پس از مدت ۲۴ ساعت قالب ها باز و داخل حوضچه ی آب (دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد) قرار داده و نمونه ها پس از مدت ۲۸ روز از داخل حوضچه ی آب خارج شدند. سپس کلیه نمونه ها در زیر جک، تحت آزمایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی قرار گرفتند. سرعت بارگذاری دستگاه ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه بر طبق استاندارد EN-12390-13 [۴۰] انتخاب گردید. لازم به ذکر است، کلیه مراحل ساخت، عمل آوری و انجام تست ها در آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه سمنان انجام شد. تصاویری از محل ساخت و برخی از نمونه های ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

الف) بتونیر برقی ۱۵۰ لیتری

ب) برخی از نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه

شکل ۳: محل ساخت نمونه ها

www.SID.ir

Archive of SID

۳- انجام آزمایش و بررسی نمونه ها

پس از خارج کردن نمونه ها از داخل حوضچه ی آب و خشک شدن آب سطح بتن، کلیه ی نمونه ها در زیر جک قرار گرفته و مقاومت فشاری، کششی و خمشی هر یک اندازه گیری شد.

۳-۱- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق آیین‌نامه ASTMC39 انجام شد نمای کلی نحوه ی انجام آزمایش مقاومت فشاری و همچنین نحوه ی شکست نمونه ها در زیر جک که توسط جک هیدرولیک با ظرفیت ۲۰۰ کیلو نیوتن و سرعت بارگذاری ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه انجام شد، در شکل ۴ نشان داده شده است.

الف: نحوه ی قرارگیری نمونه در زیر جک

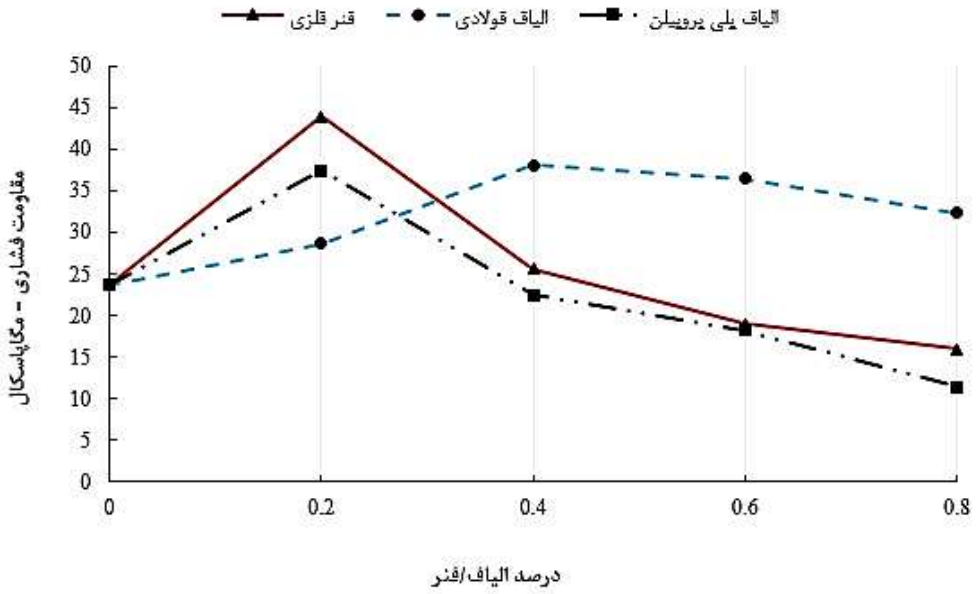
ب: شکست نمونه ها پس از تست مقاومت فشاری

شکل ۴: آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها

همانطور که از شکل ۴-الف مشخص است، برای انجام تست مقاومت فشاری، نمونه ها بین دو فک که به فاصله ی ۲۰ سانتی متر از یکدیگر قرار دارند، قرار گرفته و با سرعت مناسب تحت فشار قرار می گیرند. شکل ۴-ب نحوه ی ایجاد ترک هنگام وقوع شکست نمونه ها در زیر جک را نشان می دهد. همانطور که پیداست نمونه ها بصورت ترک های عمیق قطری شکسته می شوند. شکل ۵ تغییرات مقاومت فشاری نمونه ها با درصدهای مختلف الیاف و فنر را نشان می دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: مقاومت فشاری بر حسب درصد الیاف/فنر

با توجه به شکل ۵، با افزایش مقدار الیاف یا فنر در بتن رفتار متفاوتی مشاهده می شود. بطوری که در برخی حالات باعث افزایش و در برخی باعث کاهش مقاومت فشاری بتن نسبت به نمونه ی شاهد می شود. نمونه ی حاوی الیاف پلی پروپیلن و فنر فلزی تا مقدار ۰/۲ درصد و نمونه ی حاوی الیاف فولادی تا مقدار ۰/۴ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می گردد. با تقریب مناسبی می توان گفت الیاف پلی پروپیلن و فنر فلزی بازیافتی رفتار تقریباً مشابهی دارند، بطوری که استفاده ی بیش از حد از فنر در بتن به علت اینکه فضای زیادی را در بتن اشغال می نماید، ارتباط بین سنگدانه ها کاهش و باعث ایجاد حفره ای در داخل بتن می گردد که منجر به کاهش مقاومت بتن می شود. اما در درصدهای کم از جمله ۰/۲ درصد، استفاده از فنر در بتن در حدود ۵۴ درصد مقاومت بیشتری نسبت به الیاف فولادی و ۸۵ درصد نسبت به نمونه ی شاهد دارد. همچنین در برخی از حالات از جمله نمونه های حاوی ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ درصد الیاف پلی پروپیلن، مقاومت فشاری نسبت به نمونه ی شاهد کاهش یافت که این مقدار کاهش به ترتیب برابر ۵٪، ۱۳٪ و ۴۷٪ می باشد. در نمونه های حاوی فنر در مقدار استفاده از ۰/۶ و ۰/۸ درصد، مقاومت فشاری نمونه ها به ترتیب ۲۰٪ و ۳۲٪ نسبت به نمونه ی شاهد کاهش یافت. اما در تمامی حالات استفاده از الیاف فولادی هیچگونه کاهش مقاومتی نسبت به نمونه ی شاهد مشاهده نشد. لذا از آنجا که نوع، جنس، طول، ضخامت و سایر ویژگی های فنر بر رفتار آن در بتن تأثیرگذار می باشد، مطالعه ی تحقیقات بیشتر در این زمینه توصیه می شود. یکی از مزایای الیاف فولادی نسبت به الیاف پلی پروپیلن و فنر فلزی در این است که نمونه های حاوی الیاف فولادی همواره مقاومت بیشتری نسبت به نمونه ی شاهد دارد.

با جمع بندی نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه ها می توان گفت با توجه به طرح اختلاط استفاده شده در این تحقیق، استفاده از الیاف فولادی در بتن در درصدهای بالا و استفاده از فنر فلزی و الیاف پلی پروپیلن در درصدهای کم در بتن قابل استفاده است. اما از آنجایی که فنر فلزی بکار رفته در بتن، از بازیافت فنرهای استفاده شده در صنعت لوازم التحریر بدست آمده است، لذا می توان با بکار بردن آن در بتن تا حد زیادی در هزینه ی ساخت بتن صرفه جویی نمود. البته با تغییرات در ویژگی های فیزیکی فنر و استفاده ی آن در بتن، می توان به مقاومتی به مراتب بیشتر از الیاف فولادی دست یافت.

۳-۲- مقاومت کششی

برای انجام آزمایش مقاومت کششی نمونه ها، از روش کشش غیر مستقیم یا روش برزیلی استفاده شد. روش انجام آزمایش بدین صورت است که نمونه بصورت افقی یا خوابیده در زیر جک قرار گرفته بطوری که هیچگونه انحرافی در راستای خود ندارد. سپس جک

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرولیک مورد نظر با اعمال نیرو، منجر به شکست نمونه می شود. جک هیدرولیک مورد استفاده، دارای ظرفیت ۲۰۰ کیلونیوتن بوده و با سرعت ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه بار را اعمال می کند.

شکل ۶ نحوه ی ایجاد ترک در نمونه ها پس از آزمایش مقاومت کششی را نشان می دهد. همانطور که پیداست، کلیه ی ترک ها در نواحی نزدیک به قطر مقطع رخ داده و از ابتدا تا انتهای آن را در بر گرفته است. با توجه به اینکه یکی از نقش های اصلی الیاف پلی پروپیلن در بتن، جلوگیری از وقوع ترک های عمیق بوده اما با توجه به شکل ۶-پ وجود فنر فلزی بازیافتی در بتن به علت خاصیت ارتجاعی فنر، نقش بهتری در برابر جلوگیری از وقوع ترک های عمیق ایجاد نمود. ترک در نمونه های حاوی الیاف فولادی نیز تقریباً مشابه الیاف پلی پروپیلن بوده با این تفاوت که ترک ها بصورت شاخه ای گسترش یافته که این پدیده در سازه های عظیم می تواند بسیار خطرناک باشد.

الف: بتن حاوی الیاف فولادی **ب: بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن** **پ: بتن حاوی فنر فلزی**

شکل ۶: رشد ترک در نمونه ها

شکل ۷ روند تغییرات مقاومت کششی نمونه با توجه به درصدهای مختلف الیاف یا فنر را نشان می دهد. با افزایش استفاده از الیاف فولادی در بتن تا مقدار ۰/۶ درصد، مقاومت کششی افزایش یافته و در مقدار ۰/۸ درصد کاهش یافت. البته این مقدار کاهشی نسبت به حالت استفاده از ۰/۶ درصد الیاف بوده، اما در کل نسبت به نمونه ی شاهد ۱/۵۳ برابر افزایش مقاومت کششی داشته است. همچنین در مقادیر استفاده از ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد الیاف فولادی در بتن، مقاومت کششی به ترتیب ۱/۰۰۸، ۱/۴۵ و ۱/۶۴ برابر نمونه ی شاهد شده است. بنابراین می توان گفت که در مقادیر کم استفاده از الیاف فولادی نمی توان انتظار افزایش مقاومت کششی محسوسی داشت.

با افزایش درصد استفاده از فنر فلزی در بتن، تا مقدار ۰/۲ درصد مقاومت کششی افزایش یافته و سپس با شیب ملایمی بطور پیوسته از مقاومت کششی کاسته شده، بطوری که در مقدار ۰/۲ درصد بیشترین مقاومت کششی را دارد. همچنین در همه ی حالات استفاده از فنر فلزی در بتن، مقاومت کششی نسبت به نمونه ی شاهد بهبود بخشیده شد. در مقادیر ۰/۲ تا ۰/۸ درصد استفاده از فنر، مقاومت کششی به ترتیب ۱/۴۲، ۱/۲۷، ۱/۲۶ و ۱/۰۹ برابر نسبت به نمونه ی شاهد افزایش داشته است. با افزایش درصد ایستفاده از فنر در بتن، بنا بر روند کاهشی مقاومت کششی که مشاهده می شود، می توان حدس زد که در مقدار استفاده از ۱/۰ درصد فنر در بتن مقاومت کششی نمونه ها نسبت به نمونه ی شاهد کاهش یابد. بنابراین بطور کلی با توجه به احتمال درهم پیچیدگی فنرها با یکدیگر و همچنین ایجاد فاصله بین سنگدانه ها توسط پیچ و خم های فنر، استفاده از آن در مقادیر بیش از ۰/۲ درصد (در شرایط طرح اختلاط این مقاله) بلحاظ فنی و اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

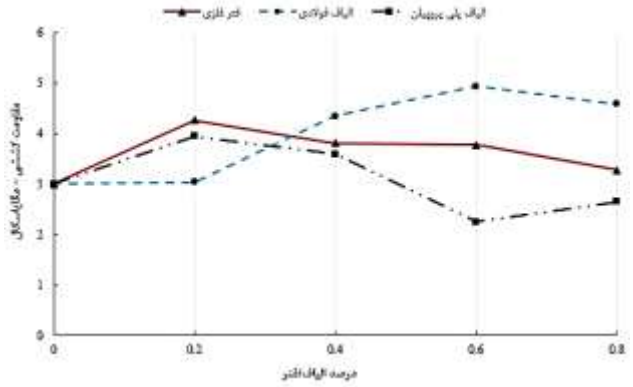
رفتار الیاف پلی پروپیلن در بتن نسبت به فنر و الیاف فولادی کمی متفاوت است. بطوری که تا مقدار ۰/۲ درصد افزایش، از ۰/۲ تا ۰/۶ درصد کاهش و از ۰/۶ تا ۰/۸ درصد مجدداً مقاومت کششی افزایش می یابد که علت این امر را می توان به رفتار متفاوت الیاف و ارتباط و چسبندگی بین سنگدانه ها و خمیر سیمان در هنگام تست کشش وابسته دانست. اما با مقایسه ی مقادیر بدست آمده از مقاومت کششی نمونه های حاوی الیاف پلی پروپیلن نسبت به نمونه ی شاهد، می توان گفت که در مقادیر استفاده از ۰/۲ و ۰/۴ درصد مقاومت کششی به ترتیب ۱/۳۱ و ۱/۱۹ برابر افزایش و در مقادیر ۰/۶ و ۰/۸ درصد به ترتیب ۲۵٪و ۱۲٪ کاهش یافت. لازم به ذکر است که نمی توان بصورت

www.SID.ir

Archive of SID

مطلق از الیاف پلی پروپیلن انتظار افزایش مقاومت زیادی داشت، چراکه نقش اصلی این نوع از الیاف در بتن کنترل ترک و بحث پوست شدن آن می باشد.

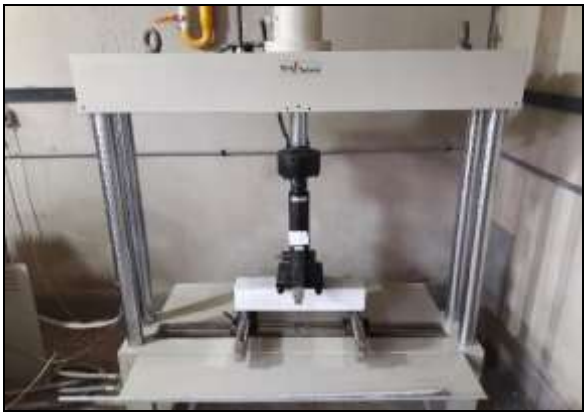
با بررسی جزء به جزء مواد در درصدهای یکسان می توان گفت، در مقدار ۰/۲ درصد استفاده از الیاف یا فنر، نمونه های حاوی فنر بیشترین و الیاف فولادی کمترین مقاومت کششی را داشته و الیاف پلی پروپیلن تقریباً در حد وسط این دو مقدار می باشد. در مقدار ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ درصد، الیاف فولادی و پلی پروپیلن به تریتب بیشترین و کمترین مقاومت کششی را دارند. با توجه به اینکه توجه به مسأله ی اقتصادی در پروژه های عمرانی از اهمیت ویژه ای در پیشبرد پروژه برخوردار است و همچنین بازیافتی بودن فنرها، می توان در مقادیر کم از فنر فلزی بازیافتی در تقویت و مسلح نمودن بتن استفاده نمود. طبیعتاً با تغییر خصوصیات فنر و با بکار بردن درصدهای مختلف از آن، می توان به نتایج بهینه تری نیز دست یافت. در حالت کلی نمونه های حاوی فنر فلزی بازیافتی، نسبت به نمونه ی شاهد از افت مقاومت کمتری برخوردار بوده، بنابراین استفاده از فنر به منظور بهبود مقاومت کششی بتن، از ضریب اطمینان بیشتری نسبت به سایر الیاف ها برخوردار می باشد.

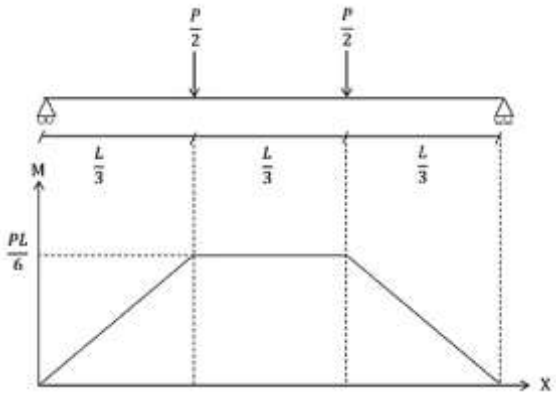


شکل ۷: مقاومت کششی بر حسب درصد الیاف/فنر

۳-۳- مقاومت خمشی (مدول گسیختگی)

برای انجام آزمایش مقاومت خمشی (مدول گسیختگی)، از تست خمش چهار نقطه ای استفاده شد. نحوه ی انجام آزمایش در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۸-الف مشاهده می شود، بارگذاری در یک سوم میانی تیر انجام شده و باعث ایجاد خمش کامل در نمونه ها می شود. همچنین با توجه به اینکه خمش کامل در یک سوم میانی تیر رخ می دهد، لذا شکست نمونه در این ناحیه اتفاق می افتد.





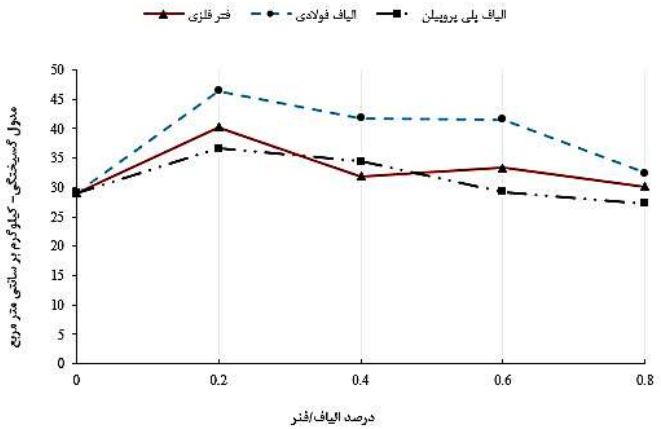
(ب) (الف)

شکل ۸: نحوه ی انجام آزمایش خمش بر روی نمونه ها. الف: بارگذاری در یک سوم میانی تیر، ب: نمای کلی جک بارگذاری

www.SID.ir

Archive of SID

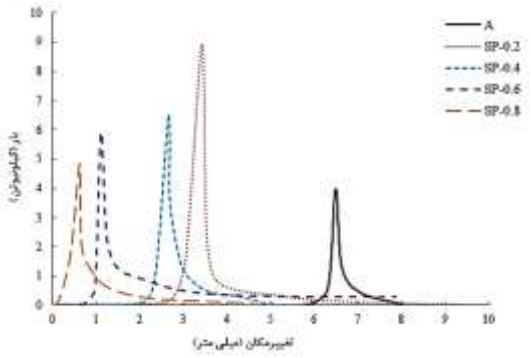
شکل ۹ تغییرات مدول گسیختگی نمونه ها با توجه به درصدهای مختلف الیاف یا فنر را نشان می دهد. همانطور که از شکل ۹ مشاهده می شود، بطور کلی با افزایش مقدار الیاف یا فنر در بتن، پیوسته از مقدار مدول گسیختگی بتن کاسته می شود. استفاده از الیاف یا فنر به مقدار ۰/۲ درصد حجمی، بیشترین مدول گسیختگی را داشته بطوری که نمونه های حاوی الیاف فولادی، پلی پروپیلن و فنر به ترتیب ۱/۶۰، ۱/۲۶ و ۱/۳۹ برابر نسبت به نمونه ی شاهد افزایش مقاومت داشته و از این مقدار فراتر باعث کاهش در مقدار مدول گسیختگی شد. همچنین در تمامی نمونه ها بجز نمونه ی حاوی ۰/۸ درصد الیاف پلی پروپیلن، مدول گسیختگی نسبت به نمونه ی شاهد از ۱/۰۰۷ تا ۱/۶۰ برابر افزایش یافت. اما بطور کلی در همه ی حالات، نمونه های حاوی الیاف فولادی دارای بیشترین مدول گسیختگی می باشد. با تغییر در مشخصات فنر می توان به نتایج بهتری دست یافت. با افزایش مقدار الیاف یا فنر در بتن در درصدهای بالاتر از ۰/۸، به تدریج مقاومت نمونه از نمونه ی شاهد نیز کمتر می شود و نتایج خوبی در بر نخواهد داشت. بنابراین با یک تقریب مناسبی می توان گفت در محدوده ی ۰/۲ تا ۰/۶ درصد، بهینه ترین حالت استفاده از الیاف یا فنر طبق طرح اختلاطی که در این مطالعه استفاده شده می باشد.



شکل ۹: مدول گسیختگی بر حسب درصد الیاف/فنر

۳-۴- طاقت خمشی

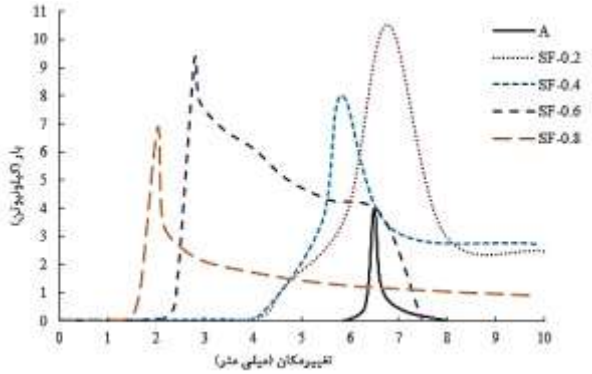
با توجه به اینکه مهمترین اثر الیاف بر روی بتن، افزایش شکل پذیری می باشد، اندازه گیری طاقت خمشی در کارهای اکثر محققین مورد توجه قرار داشته است. به همین جهت در این مطالعه نیز نمونه های منشوری ۵۰*۱۰*۱۰ سانتی متر در سن ۲۸ روز مورد آزمایش خمش قرار گرفته و نمودار بار-تغییرمکان برای آن ها رسم می گردد. سطح زیر نمودار بار-تغییرمکان به عنوان طاقت خمشی تعیین می شود. اشکال ۱۰ الی ۱۲ به ترتیب منحنی بار-تغییرمکان برای نمونه های حاوی فنر فلزی (SP)، الیاف فولادی (SF)، الیاف پلی پروپیلن (PPF) و همچنین نمونه ی شاهد (A) را نشان می دهد. همچنین مقادیر طاقت خمشی، بار حداکثر و بار شکست تیر بتنی در جدول ۴ نشان داده شده است.



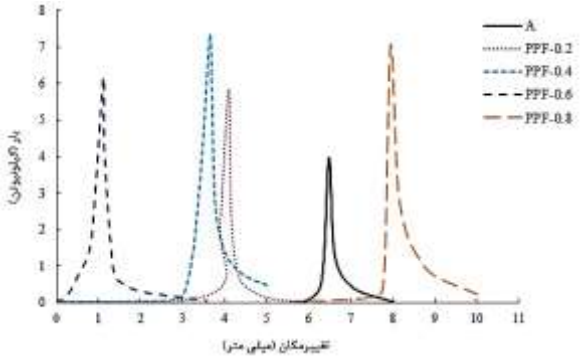
شکل ۱۰: منحنی بار-تغییرمکان تست خمش نمونه های حاوی فنر فلزی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱: منحنی بار-تغییرمکان تست خمش نمونه های حاوی الیاف فولادی



شکل ۱۲: منحنی بار-تغییرمکان تست خمش نمونه های حاوی الیاف پلی پروپیلن

جدول ۴: طاقت خمشی نمونه ها

نام نمونه	**بار حداکثر** (کیلونیوتن)	**بار شکست** (کیلونیوتن)	**طاقت خمشی** (کیلونیوتن.متر)
A	3.97	0.41	1.175
SP-0.2	8.75	0.66	3.25
SP-0.4	6.50	0.77	2.5
SP-0.6	5.89	1.29	3
SP-0.8	4.79	0.59	2.25
SF-0.2	10.55	2.72	22.5
SF-0.4	8.01	3.26	19
SF-0.6	9.22	6.08	24
SF-0.8	6.85	2.66	13
PPF-0.2	5.84	0.71	1.5
PPF-0.4	7.31	1.4	3.25
PPF-0.6	6.18	0.81	2.25
PPF-0.8	7.04	1.26	2.75

همانطور که از جدول ۴ مشاهده می شود، بطور کلی طاقت خمشی تیرهای حاوی فنر فلزی بازیافتی و الیاف پلی پروپیلن تا ۲ برابر نسبت به نمونه ی شاهد، طاقت خمشی را افزایش می دهند اما استفاده از الیاف فولادی در بتن، تا ۱۳ برابر باعث بهبود طاقت خمشی می شود.

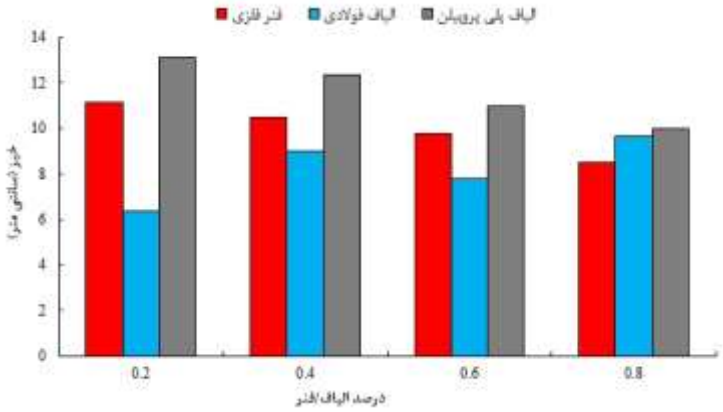
www.SID.ir

Archive of SID

این مقدار افزایش چشمگیر در بهبود طاقت خمشی را می توان به ارتباط مناسب و پیوستگی بهتر بین الیاف فولادی، سنگدانه ها و خمیر سیمان دانست.

۳-۵- مقدار خیز نهایی نمونه ها در تست خمش

درحین انجام تست خمش تیرهای بتنی به کمک LVDT مقدار خیز هر تیر تا رسیدن به انهدام کامل اندازه گیری شد. همانطور که از شکل ۱۳ مشاهده می شود، در تیرهای بتنی حاوی فنر فلزی، بدلیل افزایش درگیر شدن فنرها در بتن و افزایش تحمل تیر در برابر خمش، با افزایش درصد استفاده از فنر مقدار خیز کاهش می یابد. در تیرهای حاوی الیاف فولادی رفتار نامنظمی مشاهده می شود. بطوری که با افزایش درصد استفاده از الیاف فولادی در بتن، بصورت یک در میان مقدار خیز تغییر افزایش یا کاهش می یابد. شناخت دقیق تر رفتار این نوع از الیاف نیازمند تحقیقات بیشتری می باشد. همچنین با افزایش استفاده از الیاف پلی پروپیلن در تیر بتنی، پیوسته از مقدار خیز کاسته می شود. علت این پدیده را می توان به پل زدن الیاف و مقاومت کششی بالای آن وابسته دانست.



شکل ۱۳: تغییرات خیز نمونه ها در تست خمش

۴- بررسی و تفسیر نتایج آزمایشات

با توجه به انجام آزمایش های مقاومت فشاری، کششی و خمشی بر روی نمونه ها، نتایج بدست آمده بصورت زیر مقایسه می شود.

۴-۱- مقایسه ی مقاومت های حداقل و حداکثر

با توجه به اینکه همواره تعیین درصد بهینه ی استفاده از الیاف یا هر ماده ی افزودنی در بتن، به لحاظ فنی و اقتصادی حائز اهمیت بوده، لذا با مقایسه ی مقاومت های بیشینه و کمینه ی بدست آمده از نتایج آزمایشات مقاومت فشاری، کششی و خمشی می توان به درک بهتری از استفاده ی مناسب از الیاف یا فنر در بتن رسید. در جدول ۵ مقایسه ی مقادیر مقاومت ها با یکدیگر آورده شده است.

جدول ۵: مقاومت های ماکزیموم و مینیمم

	ماکزیمم مقاومت فشاری	مینیمم مقاومت فشاری	ماکزیمم مقاومت کششی	مینیمم مقاومت کششی	ماکزیمم مقاومت خمشی	مینیمم مقاومت خمشی
الیاف فولادی			■		■	
الیاف پلی پروپیلن		■		■		■
فنر فلزی بازیافتی	■					

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور که از جدول ۵ مشاهده می شود، کمترین مقادیر مقاومت های فشاری، کششی و خمشی مربوط به نمونه های حاوی الیاف پلی پروپیلن می باشد. همچنین بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه های حاوی فنر فلزی بازیافتی و بیشترین مقاومت کششی و خمشی مربوط به نمونه های حاوی الیاف فولادی می باشد. از آنجایی که عملکرد اصلی بتن در فشار می باشد و حتی گاهی اوقات در محاسبات، از قسمت کششی بتن صرفنظر می شود، لذا مقاومت فشاری بتن از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد، بنابراین می توان گفت استفاده از فنرهای فلزی بازیافت شده ی بکار رفته در این پژوهش، گزینه ی بهتری نسبت به سایر الیاف ها بوده و استفاده از آن هم به لحاظ فنی و هم به لحاظ اقتصادی توجیه پذیرتر است.

۴-۲- روابط پیشنهادی جهت تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی

با توجه به اینکه مقادیر بدست آمده از این پژوهش، از پیوستگی مناسبی برخوردار بوده، با برازش منحنی های درجه دوم برای هر نمودار، روابطی جهت تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن های حاوی الیاف و فنر در جدول ۶ پیشنهاد شده است.

جدول ۶: روابط پیشنهادی جهت پیش بینی مقاومت نمونه ها بر حسب دما و درصد فنر بکار رفته

نوع آزمایش		تابع رگرسیون	ضریب رگرسیون (R^2)
مقاومت فشاری	الیاف فولادی	$F'_c = -51.964X^2 + 54.071X + 22.653$	0.90
	الیاف پلی پروپیلن	$F'_c = -54.464X^2 + 21.621X + 27.063$	0.71
	فنر فلزی	$F'_c = -61.964X^2 + 29.381X + 28.767$	0.52
مقاومت کششی	الیاف فولادی	$F_T = -2.6321X^2 + 4.6387X + 2.751$	0.83
	الیاف پلی پروپیلن	$F_T = -3.6929X^2 + 1.7443X + 3.2694$	0.47
	فنر فلزی	$F_T = -5.55X^2 + 4.458X + 3.168$	0.71
مقاومت خمشی	الیاف فولادی	$F_r = -86.946X^2 + 70.532X + 30.878$	0.81
	الیاف پلی پروپیلن	$F_r = -39.625X^2 + 26.265X + 30.31$	0.73
	فنر فلزی	$F_r = -33.571X^2 + 24.547X + 31.134$	0.35

همانطور که مشاهده می شود، ضریب رگرسیون اکثر روابط نزدیک به ۱ بوده، لذا روابط پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردارند. در این روابط F'_c و F_T و F_r مقاومت فشاری، کششی و خمشی نمونه ها و X پارامتر مربوط به درصد الیاف یا فنر بکار رفته در بتن می باشد. روابط فوق برای طرح اختلاط موجود در این مقاله بوده، لذا جهت ارائه ی روابط بیشتر در آینده قابل ارائه است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، تعدادی نمونه ی استوانه ای و منشوری بتن حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن و فنر فلزی بازیافتی در درصدهای حجمی ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ تحت آزمایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی قرار گرفتند که نتایج زیر حاصل شد:

- استفاده از الیاف پلی پروپیلن و فنر فلزی بازیافتی به مقدار ۰/۲ درصد حجمی بتن سبب بیشترین افزایش مقاومت فشاری به ترتیب ۱/۵۸ و ۱/۸۶ برابر نمونه شاهد (نمونه ای که هیچگونه الیاف یا فنری در آن بکار نرفته باشد) می شود، که برای الیاف فولادی بیشترین مقاومت فشاری مربوط به استفاده از ۰/۴ درصد الیاف که سبب بیشترین افزایش مقاومت فشاری تا مقدار ۱/۶ برابر نسبت به نمونه ی شاهد می شود.

- استفاده از فنر فلزی بازیافتی در بتن در مقایسه با الیاف فولادی و پلی پروپیلن عملکرد بهتری در کنترل ترک های ناشی از تست کشش دارد.

- مقاومت کششی نمونه ها در درصدهای حجمی کمتر از ۰/۴ درصد استفاده از فنر فلزی بازیافتی، و در درصدهای بالاتر از ۰/۴ درصد استفاده از الیاف فولادی به ترتیب ۱/۴۲ و ۱/۶۴ برابر نسبت به نمونه ی شاهد افزایش یافت.

www.SID.ir

Archive of SID

- استفاده از الیاف فولادی در بهبود مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) بتن عملکرد بهتری نسبت به فنر فلزی بازیافتی و الیاف پلی پروپیلن دارد. بطوری که در همه ی درصدهای استفاده شده، استفاده از الیاف فولادی جهت بهبود مقاومت خمشی بتن مناسبتر می باشد. در مقدار استفاده از ۰/۲ درصد از الیاف فولادی در بتن، مقاومت خمشی تا حدود ۱/۴۶ برابر نسبت به نمونه ی شاهد افزایش یافت، که این مقدار برای نمونه های حاوی فنر و الیاف پلی پروپیلن به ترتیب برابر ۱/۳۹ و ۱/۲۶ می باشد.

- استفاده از الیاف پلی پروپیلن و فنر فلزی بازیافتی باعث بهبود طاقت خمشی تا ۲ برابر نمونه ی شاهد شده اما استفاده از الیاف فولادی تا ۱۳ برابر طاقت خمشی را افزایش می دهد. بنابراین نمی توان انتظار طاقت خمشی چندان زیادی از بتن حاوی فنر و الیاف پلی‌پروپیلن داشت.

منابع

[1] M. Grzybowski, S.P. Shah. (1990). “Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete”, ACI Materials. 87 (2) 138– 148.
[2] I. Padron, R.F. Zollo. “Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of portland cement concrete and mortar”, ACI Materials. 87 (4) 327– 332. 1990.
[3] Z. Bayasi, J. Zeng. (1993). “Properties of polypropylene fiber reinforced concrete”, ACI Materials. 90 (6) 605– 610.
[4] P. Soroushian, H. Elyamany, A. Tlili, K. Ostowari. (1998). “Mixed-mode fracture properties of concrete reinforced with low volume fractions of steel and polypropylene fibers, Cement and Concrete Composite. 20, 67– 78.
[5] K. Wang, S.P. Shah, P. Phuaksuk. (2001). “Plastic shrinkage cracking in concrete materials—Influence of fly ash and fibers”, ACI Materials. 98 (6) 458– 464.
[6] Z. Bayasi, M.A. Dhaheri. (2002). “Effect of exposure to elevated temperature on polypropylene fiber-reinforced concrete”, ACI Materials. 99 (1) 22– 26.
[7] R.F. Zollo, C.D. Hays. (1998). “Engineering material properties of a fiber reinforced cellular concrete”, ACI Materials. 95 (5) 631– 635.
[8] B. Mu, C. Meyer, S. Shimanovich. (2002). “Improving the interface bond between fiber mesh and cementitious matrix”, Cement and Concrete Research. 32 (5) 783– 787.
[9] Sanjuan MA, Moragues A. (1997). “Polypropylene-x mortar mixes: optimization to control plastic shrinkage”. Composite Science and Technology, 57:655–60.
[10] Qian CX, Stroeven P. (2000). “Development of hybrid polypropylene–steel fibrereinforced concrete”. Cement and Concrete Research. 30:63–9.
[11] Wu Yao, Jie Li, Keru Wu. (2003). “Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction”. J. Cement and Concrete Research 33. 27-30.
[12] Quresh L A et. Al. (2008). "Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength concrete", Proceedings. International Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee.UK, pp 173-185.
[13] Zeiml, Matthias.,Leithner, David., Lackner, Roman. AndMang, A. (2006). “How Do Polypropylene Fibers Improve The Spalling Behavior of In-Situ Concrete?”. Cement and Concrete Research, 36, 929–942.
[14] N. Banthia, A. Moncef, K. Chokri, J. Sheng. (1995). “Uniaxial tensile response of microfiber reinforced cement composites ”, Journal of Materials and Structures, RILEM 28 (183), p.p. 507–517.
[15] S.P. Shah. (1991). “Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrices ”, ACI Materials, RILEM 88 (6), p.p. 595–602.
[16] Banthia N, Sheng J. (1996). “Fracture toughness of micro-fiber reinforced cement composites”. Cem Concr Comp. 18(4):251–69.
[17] Bayasi MZ, Zeng J. (1997). “Composite slab construction utilizing carbon fiber reinforced mortar”. ACI Structural. 94(4):442–6.
[18] Dwarakanath HV, Nagaraj TS. (1992). “Deformational behavior of fiber-reinforced concrete beams in bending”. Structural Engineering. ASCE;118(10):2691–8.
[19] Mu B, Li Z, Peng J. (2000). “Short fiber-reinforced cementitious extruded plates with high percentage of slag and different fibers. Cement and Concrete Research. 30(8):1277–82.
[20] Li VC, Kanda T. (1988). “Engineered cementitious composites for structural applications”. Material of Civil Engineering, ASCE 10(2):66–9.
[21] Kanda T, Li VC. (1988). “Interface property and apparent strength of a high-strength hydrophilic fiber in cement matrix”. J Material of Civil Engineering, ASCE;10(1):5–13.
[22] Li VC, Horii H, Kabele P, Kanda T, Lim YM. (2000). “Repair and retrofit with engineered cementitious composites”. Engineering Fracture Mechanic. 65(2–3):317–34.

www.SID.ir

Archive of SID

[23] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). “Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete”. Materials and Structures, 33, 574–580.
[24] Ajdukiewicz, A. Kliszczewicz, A. (2002). “Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HP/HPC”, Cement and Concrete Composite. 24(2): 269-279.
[25] C.A. Carneiro, P.R.L. Lima, M.B. Leite, R.D.T. Filho. (2008). “Compressive stress–strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete”, Cement and Concrete Composites, Vol. 46, pp. 886-893.
[26] Khaloo, A. Khodavirdi, M.M. Hoseini, P. (2010). “Analysis the Building of Self-Compacting Concrete Using Coarse Recycled Grains". Journals of Concrete Research. Year Three, No.1, pp. 9-20.
[27] Sung Bae Kim, Na Hyun Yi, Hyun Young Kim, Jang-Ho Jay Kim, Young-Chul Song. (2010). “Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete”, Cement & Concrete Composites. 32, 232-240.
[28] W.C. Choi, H.D. Yun. (2012). “Compressive behaviour of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading”, Engineering Structure, Vol. 41, pp. 285–293.
[29] Sadrmomtazi, A. Tahmooresi, M.H. Nosrati, H. (2014). “ Evaluration of Fiber Reinforced Containing Recyvled Concrete Aggregates with Non-Destructive Methods”. Journal of Concrete Thechnology. (6), Vol. 1, pp. 73-86.
[30] Ahmadi, M. Hassani, A. Soleymani, M. (2015). “Role of Recycled Steel Fibers from Tires on Concrete Containing Recycled Aggregate from Building Waste”. Journal of Concrete Thechnology. (7), Vol. 2, pp. 57-68.
[31] Park, Y., Abolmaali, A., Mohammadagha, M. and Lee, S. (2014). “Flexural Characteristics of Rubberized Hybrid Concrete Reinforced with Steel and Synthetic Fibers”, Advances in Civil Engineering Materials (ASTM), 3(1), pp. 495-508.
[32] Park, Y., Abolmaali, A., Mohammadagha, M. and Lee, S. (2015). “Structural performance of dry-cast rubberized concrete pipes with steel and synthetic fibers”, Construction and Building Materials, 77, pp. 218-226.
[33] Vahid Afroughsabet a, Togay Ozbakkaloglu, (2015). “Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers”, Construction and Building Materials, 94,73–82.
[34] M. Mastali, A. Dalvand, A. Sattarifard, (2016). “The impact resistance and mechanical properties of the reinforced self compacting concrete incorporating recycled CFRP fiber with different lengths and dosages”. Composites. DOI: 10.1016/j.compositesb.
[35] Gholhaki, M. Pachideh,GH. Rezaeefar, O. (2017). “Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete Containing Steel Fibres, and Polypropylene in high temperatures”, Journal of Structural and Construction Engineering (JSCE). DOI: 10.22065/jsce.2017.77392.1072. (in Persian).
[36] Gholhaki, M. Pachideh,GH. (2018). “Assessing Effect of Temperature Rise on the Concrete Containing Recycled Metal Spring and Its Comparison with Ordinary Fibres”, Journal of Structural and Construction Engineering (JSCE). DOI: 10.22065/jsce.2018.93911.1278. (in Persian).
[37] Shirazi Bidabadi, M. Akbari, M. (2017). “Evaluation of Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Recycled Concrete: The Effect of Dimensions and Amount of Recycled Aggregate, Type and Amount of Fibers". Journal of Structural engineering and construction. Fourth Year, No.1, pp. 138-150.
[38] Iran Concrete Regulation (ABA). (2000). No. 120 of the Organization for Management and Planning of the Country. Pages 85-98. (in Persian).
[39] INSO581. (2015). concrete-making curing concrete test specimens in the laboratory- code of practice, 2nd.revision.
[40] NF EN 12390-13 AFNOR. (2013). Testing hardened concrete, in: Determination of Secant Modulus of Elasticity in Compression, pages 18–455.

www.SID.ir