نشریه علمی-تخصصی
پژوهش های نوین علوم مهندسی
ISSN: 2538-3809
سال هشتم، شماره ۱ (پیاپی: ۴۲)، بهار ۱۴۰۲

بررسی طرح اختلاطی تحت تاثیر الیاف مختلف به منظور تعیین مقادیر نسبی مواد تشکیل دهنده بتن

محمد ظفری[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵
کد مقاله: ۶۳۷۰۱

چکـیده

الیاف طبیعی که به کامپوزیت های سبز نیز معروف هستند، با محیط زیست سازگاری مناسبی دارند. هدف از انجام این تحقیق بررسی طرح اختلاطی تحت تاثیر الیاف مختلف به منظور تعیین مقادیر نسبی مواد تشکیل دهنده بتن می باشد. در این تحقیق به منظور کاهش تأثیرات ناشی از محیط قلیایی بتن، از الیاف شیشه‌ی مقاوم در محیط قلیایی و برای جلوگیری از تأثیر مخرب فرآیند هیدراسیون سیمان، از مواد پوزولانی با درصدهای مختلف استفاده شده است. به منظور بررسی مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و شاخص‌های طاقت در بتن تولید شده به دو روش پیش مخلوط و اسپری، ۱۵ طرح اختلاط حاوی درصدهای مختلف الیاف شیشه و مواد پوزولانی میکروسیلیس، متاکائولین و نانوسیلیس در روش پیش مخلوط و ۱۴ طرح اختلاط در روش اسپری، مورد آزمایش قرار گرفته است. از نتایج بدست آمده چنین می‌توان برداشت کرد که مقاومت فشاری در بتن مسلح به الیاف شیشه تا حد زیادی به کیفیت ملات بستگی دارد. بر این اساس ملاحظه می‌شود که اضافه نمودن الیاف شیشه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. با توجه به این نتایج، کاهش مقاوت فشاری نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در حضور مواد پوزولانی به حداقل می‌رسد.

واژگـان کلـیدی: طرح اختلاطی تحت تاثیر الیاف مختلف، تعیین مقادیر نسبی مواد تشکیل دهنده بتن

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، پردیس خودگردان ارس
moh.zafari2023@gmail.com)

۱- مقدمه

الیاف طبیعی که به کامپوزیت های سبز نیز معروف هستند، با محیط زیست سازگاری مناسبی دارند. از این رو استفاده از کامپوزیت های تقویت شده با الیاف طبیعی به طور گسترده ای در بخش های مختلف مانند خودروسازی، صنایع دریایی، بسته بندی مواد و موارد دیگر گسترش یافته است. این موضوع عمدتا به دلیل مزایای الیاف طبیعی در مقایسه با الیاف مصنوعی از جمله هزینه کم، چگالی پایین، آسیب رسانی کمتر به تجهیزات فرآوری، خواص مکانیکی نسبی خوب، تجدیدپذیری منابع و تجزیه پذیری بوده است.(Jumaidin, 2022) از شایع ترین گیاهان طبیعی مورد استفاده به عنوان فاز تقویت کننده در کامپوزیت ها می توان الیافی مانند جوت، کتان، کناف و سیسال را نام برد. با این وجود علیرغم کاربردهای وسیع الیاف طبیعی در تقویت کردن پلیمرها به منظور ساخت کامپوزیت ها با خواص بهبود یافته، تردی ذاتی پلیمرهای ترموست و چالش های متعدد دیگر از فرآیند ساخت تا تفرق الیاف، سازگاری شیمیایی پلیمر/الیاف و مشخصه یابی دقیق و ارتباط بین خواص مکانیکی ساختار توسعه گسترده کامپوزیت های الیاف طبیعی را هنوز به ویژه در مبحث استحکام ضربه آنها محدود کرده است.(Kumar, 2022) مهاربندهای معمولی دارای سختی بالایی بوده اما تحت فشار کمانش کرده شکل پذیری بسیار کمی دارند و به علت طراحی بر اساس عضو فشاری لاغر و کمانش عضوهای مهاربندی مساحت مقطع افزایش می یابد به جهت برطرف کردن این معایب در سال های اخیر سیستم مهاربندی جدیدی با عنوان مهاربند کمانش ناپذیر (BRB) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است(Zhang, 2015) قاب های مهاربندی با مهار بند کمانش ناپذیر (BRBF) یک رده خاص از قاب های مهار بندی شده هم مرکز (CBF) هستند این مهاربندها شکل پذیری و جذب انرژی بیشتری در مقایسه با مهاربندهای معمولی دارند زیرا با ایجاد رفتار یکسان عضو مهار بندی و تسلیم در فشار و کشش از کمانش کلی مهاربند و کاهش مقاومت مربوط به آن در نیروها و تغییر شکل های مربوط به جابه جایی نسبی طرح در طبقه ها جلوگیری می کند. در قاب های مهار بندی با مهار بند کمانش ناپذیر (BRBF) جذب انرژی در طی چرخه های تسلیم پایدار کششی فشاری صورت می پذیرد. قسمت اصلی مهاربند کمانش ناپذیر هسته فلزی معمولا فولادی است که با سازوکاری خارجی از کمانش آن در فشار جلوگیری می شود تاکنون روش های مختلفی برای جلوگیری از کمانش هسته در فشار پیشنهاد شده است (Ozbakkaloglu, 2015) متداولترین روش برای جلوگیری از کمانش هسته در فشار قرار دادن هسته در غلاف فولادی و پر کردن غلاف با ملاتی پرکننده مانند بتن است. مهاربندهای کمانش ناپذیر طوری ساخته می شوند که هسته بتواند در راستای طولی مستقل از ساز و کار جلوگیری از کمانش عمل کند به بیان دیگر تمام نیروی محوری که به مهاربند وارد می شود توسط هسته تحمل می شود با جلوگیری از کمانش هسته این المان می تواند در فشار همانند کشش جاری شده و بدین ترتیب توانایی جذب انرژی آن به طور چشمگیری افزایش می یابد. هاشم زهی (۱۴۰۱) بیان داشتند که در سازه‌های بتنی یکی از رایج‌ترین مشکلات، وجود ترک‌های گوناگون با منشأ رطوبتی، دمایی است. وجود این ترک‌ها سبب کاهش ظرفیت باربری، ورود یون‌های مهاجم و در نهایت کاهش عمر بهره‌برداری سازه‌ها محسوب می‌شود. با استفاده از الیاف می‌توان سبب کاهش انتشار ترک و یا به تأخیر انداختن وقوع آن شود. از سویی دیگر، برای جلوگیری از ورود یون‌های مهاجم، استفاده از مواد جایگزین سیمان و به منظور افزایش نفوذ ناپذیری بتن است .بتن سبز، بتن سازگار با محیط‌زیست است که در آن سیمان یا اجزاء تشکیل‌دهنده آن با جایگزین نمودن مواد زائد به‌جای مواد خام طبیعی، سبب کاهش مشکلات زیست محیطی و جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. (Othman, 2018) از جمله مواد جایگزین سیمان می‌تواند به میکروسیلیس و خاکستر پوسته برنج اشاره کرد. میکروسیلیس نوعی از دی‌اکسید سیلیکون است که به‌صورت پودری از تولید آلیاژ سیلیکون بدست می‌آید و همچنین خاکستر پوسته برنج یکی از مواد پوزولانی که از سوزاندن پوسته برنج بدست می‌آید که در تولید بتن می‌تواند جایگزین قسمتی از سیمان شود. بدین منظور تحقیق حاضر به دنبال بررسی طرح اختلاطی تحت تاثیر الیاف مختلف به منظور تعیین مقادیر نسبی مواد تشکیل دهنده ی بتن بود.

۲- نحوه‌ی محاسبه‌ی طرح‌های اختلاط

گام اول- در این مرحله مقدار الیاف شیشه‌ی استفاده شده برای هر طرح اختلاط محاسبه می‌شود. به این منظور ابتدا مقدار الیاف در یک متر مکعب بتن و سپس وزن الیاف استفاده شده در طرح اختلاط تعیین می‌شود.

$$U\ (kg/m^3) = W_f * Fiber\%$$

$$V_f = \frac{W_f}{G_f \times 1000}$$

گام دوم- در این مرحله به منظور محاسبه‌ی مقدار سیمان مصرفی، از روش حجمی استفاده شده است. به عبارت دیگر حجم سیمان برای ساخت یک متر مکعب بتن، با تفاضل مواد تشکیل دهنده‌ی بتن به جز سیمان، از یک به دست می آید.

$$1= V_f + V_w + V_c + V_s + V_{mk} + V_{sf} + V_{ns} + V_{sup} + A$$

با توجه به اینکه وزن مواد سیمانی عبارت است از مجموع وزن سیمان و مواد پوزولانی مورد استفاده و همچنین نسبت های آب به مواد سیمانی و ماسه به مواد سیمانی به ترتیب برابر با ۰/۳۵ و ۱ در نظر گرفته شده است (W/CM=0.35 و S/CM=1)، وزن سیمان موجود در طرح اختلاط به صورت زیر به دست می‌آید. همان‌طور که مشخص است، W_{CM} که بیانگر وزن مواد سیمانی در یک متر مکعب بتن می‌باشد، از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$W_{CM} = W_C + mk \times W_{CM} + sf \times W_{CM} + ns \times W_{CM}$$

$$1 - V_f - A = \frac{0.35 \times W_{CM}}{1000} + \frac{(1 - \%pozzolan)W_{CM}}{G_c \times 1000} + \frac{W_{CM}}{1 \times G_s \times 1000} + \frac{\%pozzolan \times W_{CM}}{G_{pozzolan} \times 1000} + \frac{sup \times W_{CM}}{G_{sup} \times 1000}$$

گام سوم- تعیین وزن مواد پوزولانی و فوق روان‌کننده که با توجه به اینکه مواد پوزولانی و فوق روان‌کننده بر حسب درصد وزنی مواد سیمانی در نظر گرفته شده است، به منظور محاسبه‌ی وزن این مواد به صورت زیر عمل می‌شود.

وزن ماده‌ی پوزولانی و یا فوق روان‌کننده = درصد ماده‌ی مورد استفاده $*W_{CM}$

گام چهارم- با توجه به اینکه نسبت S/CM در این تحقیق یک در نظر گرفته شده است، برای تعیین مقدار ماسه‌ی مورد استفاده می‌باید وزن ماسه را با وزن مصالح سیمانی مورد استفاده برابر در نظر گرفت.

گام پنجم- مقدار سیمان مورد استفاده به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$W_c = w_{cm}$ - درصد ماده پوزولانی $w_{cm} *$

گام ششم- محاسبه‌ی وزن آب مورد استفاده (W_w)

$W_{CM} * W_w = 0.35$

۳- نحوه‌ی اختلاط مواد و ساخت نمونه‌ها

جهت اختلاط و ساخت نمونه‌های بتنی، روش‌های مختلفی وجود دارد. نحوه‌ی اختلاط و ساخت نمونه‌های بتنی، در میزان کارایی و روانی بتن موثر می‌باشد. با توجه به کاهش شدید کارایی بتن در حضور الیاف شیشه و مواد پوزولانی، نحوه‌ی اختلاط این مواد احتیاج به دقت بسیار زیادی دارد. در این تحقیق برای ساخت نمونه‌ها از دو روش اسپری و پیش مخلوط استفاده شده است. به همین منظور در ادامه چگونگی اختلاط مواد و ساخت نمونه‌ها در این دو روش به شکل مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱- ساخت نمونه‌ها در روش پیش مخلوط

روشی که در این تحقیق برای ساخت بتن پیش مخلوط مورد استفاده قرار گرفته است، به شرح زیر می‌باشد:

ابتدا ماسه‌ی سیلیسی وسیمان در مخلوط‌کن به مدت ۳۰ ثانیه با هم مخلوط می‌شوند.

مواد پوزولانی (میکروسیلیس یا متاکائولین) به مخلوط اضافه شده و به مدت ۱ دقیقه مخلوط می‌شوند.

۷۰٪ آب مورد استفاده به مخلوط اضافه شده و سپس مواد به مدت ۱ دقیقه با هم مخلوط می‌شوند.

فوق روان‌کننده با باقی مانده‌ی آب مصرفی ترکیب شده و مقداری از این ترکیب به مدت ۳۰ ثانیه با مواد دیگر مخلوط می‌شود (از این ترکیب به اندازه‌ای استفاده می‌شود که ملات به روانی مورد نظر دست یابد).

در این مرحله به منظور پراکندگی یکنواخت الیاف شیشه در ملات، هم‌زمان با اختلاط مواد در مخلوط‌کن، الیاف به آهستگی به مخلوط اضافه می‌شود.

در صورت استفاده از نانوسیلیس در طرح‌های اختلاط:

ابتدا به مدت ۲ دقیقه، نانوسیلیس با ۷۰٪ آب موجود در یک ظرف به صورت جداگانه با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه مخلوط می‌شوند.

ماسه‌ی سیلیسی وسیمان در مخلوط‌کن به مدت ۳۰ ثانیه با هم مخلوط می‌شوند.

ترکیب آب و نانوسیلیس به مخلوط اضافه شده و مواد به مدت ۱ دقیقه با هم مخلوط می‌شوند.

ترکیب آب و فوق روان کننده به آهستگی به مخلوط اضافه شده و به مدت ۲ دقیقه با هم مخلوط می‌شوند.

بقیه‌ی مراحل، مشابه روند توضیح داده شده در بتن‌هایی که از نانوسیلیس در طرح اختلاط آن‌ها استفاده نشده است. می‌باشد.

۳-۲- ساخت نمونه‌ها در روش اسپری

برای ساخت بتن مسلح به الیاف شیشه در روش اسپری، از مراحل زیر پیروی می‌شود:

ابتدا آب و فوق روان‌کننده با هم مخلوط می‌شوند.

آب و فوق روان‌کننده به مواد پوزولانی اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه مخلوط می‌شوند.

سیمان و ماسه به دیگر مواد اضافه شده و به مدت ۱ دقیقه با هم مخلوط می‌شوند.

پس از انجام آزمایش اسلامپ، مخلوط تولید شده به مخزن دستگاه اسپری منتقل می‌شود.

دستگاه اسپری برای میزان الیاف مورد نظر، تنظیم شده و الیاف شیشه و ملات به طور همزمان از سر تفنگ اسپری بر قالب پاشیده می‌شوند.

۳-۳- تعیین درصد الیاف شیشه مصرفی در روش اسپری

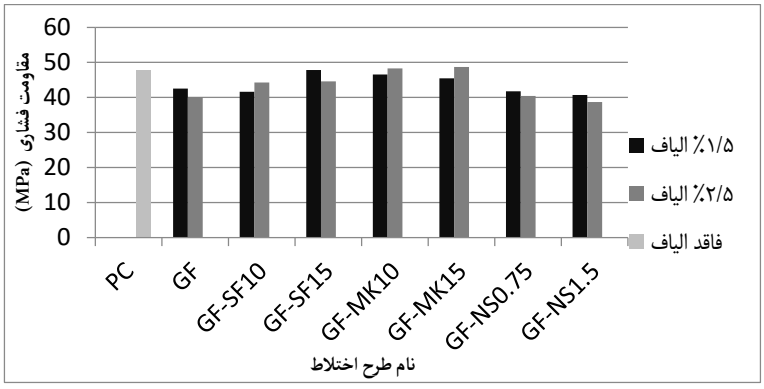
بر اساس استاندارد BS-EN 1170-2 از آزمایش واش‌اوت به منظور تعیین درصد الیاف شیشه‌ی مصرفی در سطح بتن استفاده می‌شود. برای انجام این آزمایش، سه الک با شبکه‌های ۳ میلی‌متری و ابعاد ۲۵*۱۰۰*۱۲۵ میلی‌متر که از سیم‌های فلزی به قطر ۰/۳ میلی‌متر تشکیل شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مرحله‌ی اول سه قطعه به ابعاد ۵۰*۱۵۰ میلی‌متر، از سه ناحیه‌ی بتن بریده می‌شود. مرحله‌ی دوم، این قطعات درون الک‌ها گذاشته شده و وزن الک به همراه بتن داخل آن اندازه‌گیری می‌شود. در مرحله‌ی سوم بتن در داخل الک‌ها به شکل کامل شسته می‌شود؛ به طوری‌که تنها الیاف شیشه درون الک باقی بماند. سپس این الک‌ها داخل گرمکن با درجه حرارت $^{\circ}C$ ۱۰۵ قرار داده می‌شوند. در مرحله‌ی آخر پس از خشک شدن کامل الیاف، الک‌ها از گرمکن خارج شده و وزن آن‌ها اندازه‌گیری می شود. به منظور محاسبه‌ی درصد الیاف شیشه‌ی موجود در بتن اسپری شده، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود.

$$\text{میزان الیاف استفاده شده} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

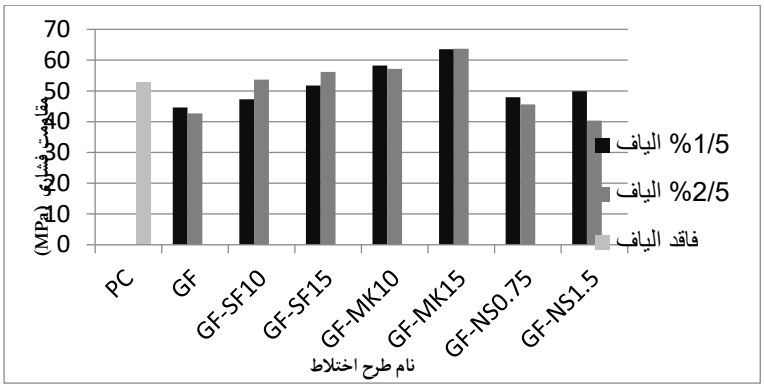
۴- یافته های تحقیق

۴-۱- تأثیر استفاده از الیاف شیشه بر روی مقاومت فشاری

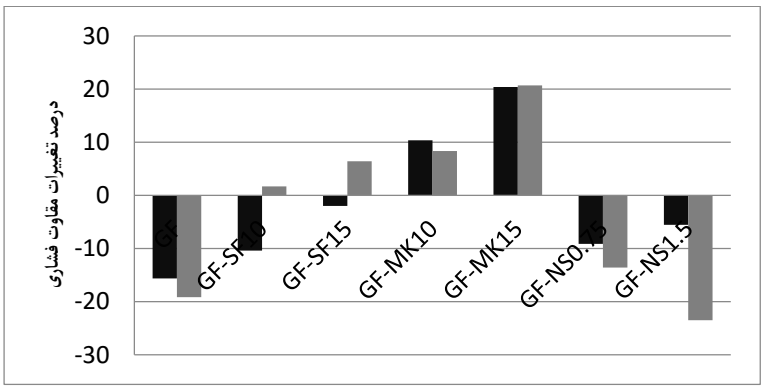
جهت بررسی تأثیر استفاده از الیاف شیشه بر روی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف شیشه، نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های تقویت شده با ۱/۵٪ و ۲/۵٪ الیاف، پس از گذشت ۷ و ۲۸ روز به ترتیب در نمودارهای ۱و۲ ترسیم شده است. سپس در نمودار ۳ درصد افزایش و یا کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی بتن مسلح به الیاف شیشه با نمونه فاقد الیاف شیشه مقایسه شده است.



نمودار۱. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مقاومت فشاری ۷ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه

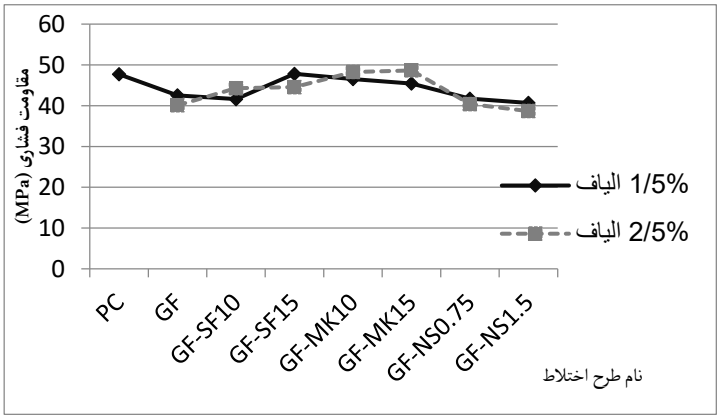


نمودار۲. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه

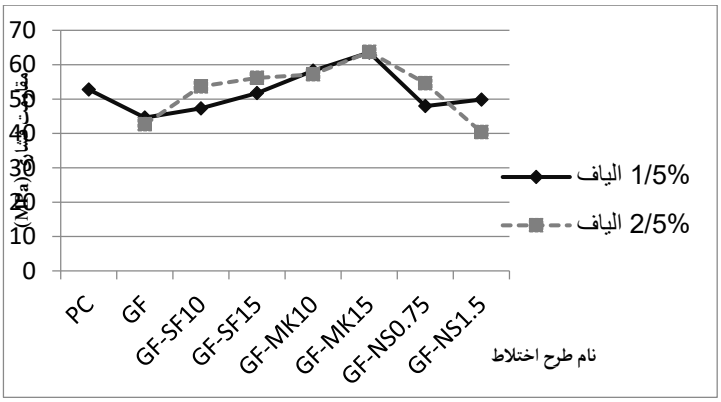


نمودار۳. درصد افزایش و یا کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی الیاف شیشه نسبت به نمونه‌های فاقد الیاف

به منظور بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه و حاوی سه ماده‌ی میکروسیلیس، نانوسیلیس و متاکائولین، نمودار مقایسه‌ی مقاومت فشاری آن‌ها در زمان‌های ۷ روز و ۲۸ روز، در نمودارهای ۴و۵ ارائه شده است.



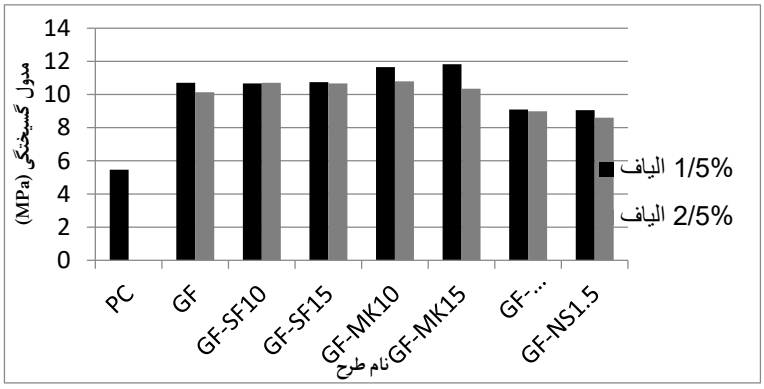
نمودار٤. مقاومت فشاری ۷ روزه تمام طرح‌های اختلاط



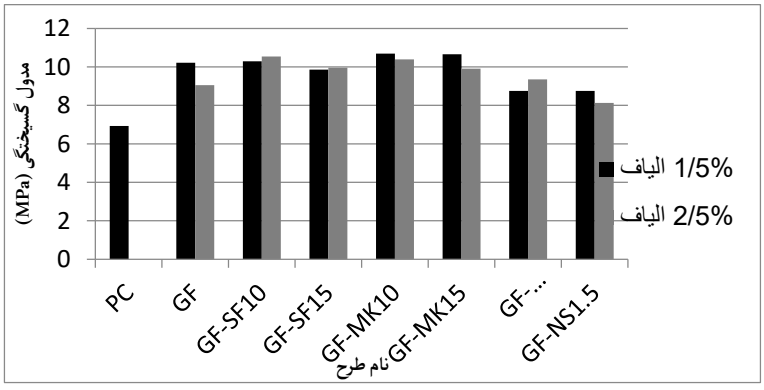
نمودار۵. مقاومت فشاری ۲۸ روزه تمام طرح‌های اختلاط

۴-۲- بررسی تأثیر الیاف شیشه و روش‌های تولید بتن مسلح به الیاف شیشه بر مدول گسیختگی

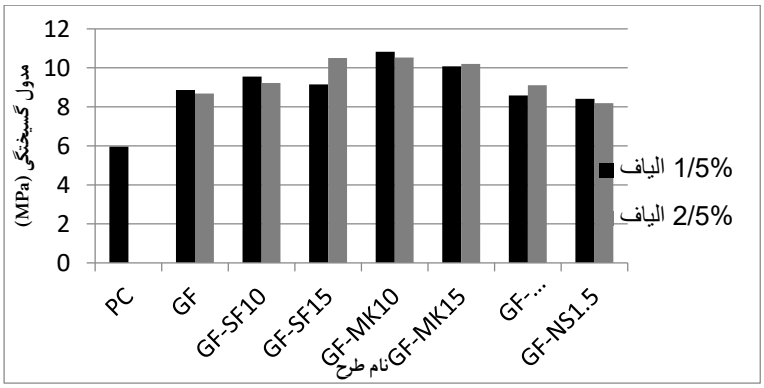
جهت بررسی تأثیر استفاده از الیاف شیشه بر مقاومت خمشی بتن مسلح به الیاف شیشه، نمودار تغییرات مدول گسیختگی نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در روش‌های پیش مخلوط و اسپری، در نمودارهای ۶ الی ۱۱ ترسیم شده است.



نمودار٦. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مدول گسیختگی ۷ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه در روش پیش مخلوط

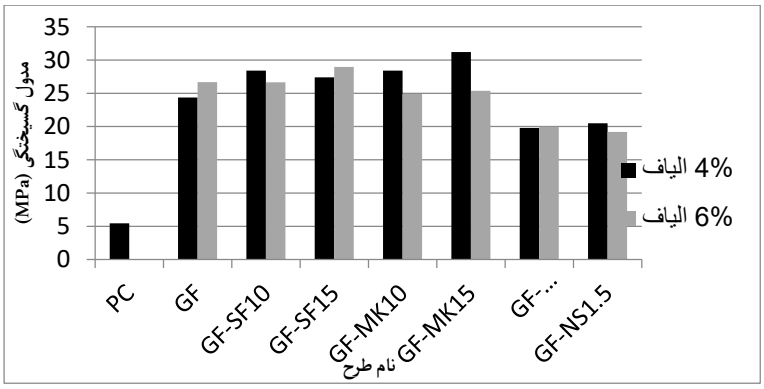


نمودار۷. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مدول گسیختگی ۲۸ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه در روش پیش مخلوط

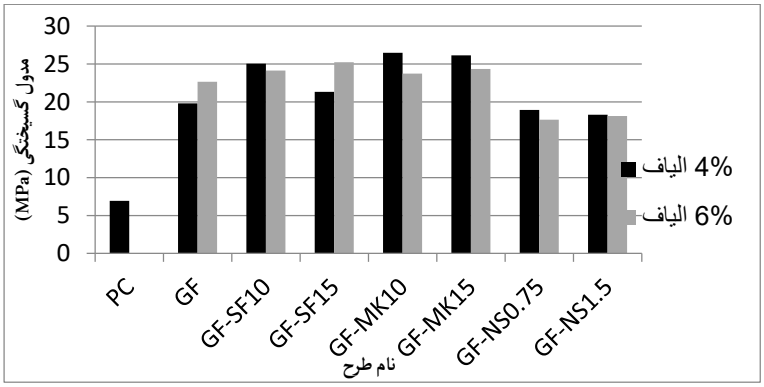


نمودار۸. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مدول گسیختگی ۹۰ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه در روش پیش مخلوط

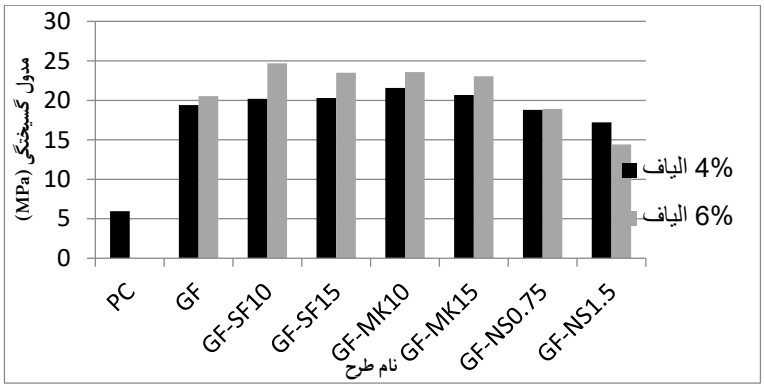
با دقت در این نتایج ملاحظه می‌شود که در بیشتر نمونه‌های ساخته شده به روش پیش مخلوط، با افزایش درصد الیاف شیشه از ۱/۵٪ به ۲/۵٪، مدول گسیختگی کاهش یافته است. به طور مثال با افزایش درصد الیاف شیشه از ۰ به ۱/۵٪، مدول گسیختگی ۷ روزه‌ی نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه نسبت به نمونه‌های شاهد (نمونه‌های فاقد الیاف) به میزان ۹۶/۱۵٪ افزایش یافته است؛ این در حالی است که با افزایش میزان الیاف شیشه از ۱/۵٪ به ۲/۵٪، بهبود مدول گسیختگی ۷ روزه نسبت به نمونه‌های شاهد از ۹۶/۱۵٪ به ۸۵/۵۸٪ کاهش یافته است. با توجه به این نتایج از میان تمامی طرح‌های تقویت شده با ۱/۵٪ و ۲/۵٪ الیاف شیشه، بیشترین مقاومت خمشی مربوط به طرح‌های تقویت شده با ۱/۵٪ الیاف شیشه و حاوی ۱۰٪ و ۱۵٪ متاکائولین بوده است. در صورت استفاده از نانوسیلیس در طرح‌های اختلاط، با افزایش درصد الیاف شیشه از ۱/۵٪ به ۲/۵٪، مقاومت خمشی به شدت کاهش یافته است. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، مقدار بهینه‌ی استفاده از الیاف شیشه در روش پیش مخلوط، به میزان ۱/۵٪ وزنی بتن یعنی در حدود ۳۳ کیلوگرم در متر مکعب و مطلوب‌ترین میزان برای استفاده از متاکائولین در حدود ۱۰٪ وزنی سیمان و برای میکروسیلیس به میزان ۱۵٪ وزنی سیمان بوده است.



نمودار۹. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مدول گسیختگی ۷ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه در روش اسپری



نمودار۱۰. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مدول گسیختگی ۲۸ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه در روش اسپری



نمودار۱۱. تأثیر میزان الیاف شیشه بر روی مدول گسیختگی ۹۰ روزه‌ی بتن مسلح شده به الیاف شیشه در روش اسپری

در نمودارهای ۹ تا۱۱ نیز مشاهده می‌شود که در تمامی نمونه‌های ساخته شده به روش اسپری، استفاده از الیاف شیشه، مدول گسیختگی بتن را نسبت به نمونه‌ی شاهد (نمونه‌ی فاقد الیاف) به شدت افزایش می‌دهد. با توجه به این نتایج، مدول گسیختگی نمونه‌های اسپری شده نسبت به نمونه‌های ساخته شده به روش پیش مخلوط، افزایش یافته است. با توجه به اینکه در روش اسپری بتن ریزی به کمک فشار هوا و به صورت افشانی انجام می‌شود، الیاف شیشه به صورت یکنواخت در سطح بتن پراکنده شده و بتن با کیفیت بالاتری تولید می‌شود. در این شرایط استفاده از الیاف شیشه با درصدهای بالاتری نسبت به روش پیش مخلوط امکان‌پذیر است. با بررسی این نتایج ملاحظه می‌شود که در روش اسپری، بهبود مدول گسیختگی نسبت به نمونه‌های شاهد با افزایش مقدار الیاف شیشه از ۴٪ تا ۵/۶٪ روند افزایشی و برای مقادیر بیشتر از ۵/۶٪ روند کاهشی داشته است. به طور مثال در نمونه‌های حاوی ۱۵٪ میکروسیلیس، با افزایش میزان الیاف از ۴/۱۲٪ به ۵/۶٪، مدول گسیختگی ۲۸ روزه‌ی این طرح از ۲۱/۳۳ MPa به ۲۵/۲۴ MPa افزایش یافته است؛ این در حالی است که با افزایش درصد الیاف شیشه از ۴/۵٪ به ۶٪، مدول گسیختگی نمونه‌های حاوی ۱۵٪ متاکائولین، از ۲۶/۱۳۴ MPa به ۲۴/۳۵ MPa کاهش یافته است. در نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۱۵٪ متاکائولین، برای تقویت نمونه‌ها با ۴٪ الیاف شیشه، به ترتیب از ۴/۲۹٪ و ۴/۵٪ الیاف شیشه و برای تقویت این دو طرح با ۶٪ الیاف شیشه، به ترتیب از ۵/۹٪ و ۶٪ الیاف شیشه استفاده شده است. در این شرایط، بیشترین مدول گسیختگی، مربوط به نمونه‌های تقویت شده با ۴/۵٪ الیاف شیشه و حاوی ۱۵٪ متاکائولین است. در این شرایط کمترین مقاومت خمشی در طرح‌های ساخته شده به روش اسپری، مربوط به نمونه‌های تقویت شده با ۶٪ الیاف شیشه و ۱/۵٪ نانوسیلیس می‌باشد. با توجه به نتایج مذکور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. مقدار بهینه‌ی استفاده از الیاف شیشه در روش اسپری به منظور رسیدن به بیشترین مدول گسیختگی، در حدود ۵٪ الی ۵/۶٪ وزنی بتن و مطلوب‌ترین میزان برای استفاده از متاکائولین و میکروسیلیس به میزان ۱۰٪ وزنی سیمان بوده است. بر خلاف انتظار، با مقایسه‌ی طرح‌های اختلاط حاوی میکروسیلیس و متاکائولین، مشخص است که مدول گسیختگی در طرح‌های تقویت شده با ۵/۶٪ الیاف شیشه و حاوی میکروسیلیس، نسبت به مدول گسیختگی در طرح‌های حاوی ۶٪ الیاف شیشه در حضور متاکائولین، مقدار بیشتری داشته است. دلیل این امر را می‌باید در میزان الیاف شیشه‌ی بکار رفته در این طرح‌ها جستجو کرد. در واقع استفاده از میزان بالای الیاف شیشه مانع از تراکم و درگیری مناسب بین سنگدانه‌ها و الیاف می‌شود.

۵- نتیجه گیری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری در نمونه‌های تقویت شده با ۱/۵٪ و ۲/۵٪ الیاف شیشه، به شرح زیر است. استفاده از الیاف شیشه در این تحقیق باعث کاهش کارایی بتن شده است. با توجه به این نتایج، در صورت استفاده از الیاف شیشه، مقاومت فشاری نمونه‌ها به شدت کاهش یافته است. استفاده از مواد پوزولانی باعث افزایش قابل توجه مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف شیشه شده است. بر این اساس بیشترین مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه، مربوط به نمونه‌های تقویت شده با ۲/۵٪ الیاف شیشه و حاوی متاکائولین است. در نمونه‌های تقویت شده با ۲/۵٪ الیاف شیشه، با افزایش میزان متاکائولین مصرفی از ۱۰٪ به ۱۵٪، مقاومت ۲۸ روزه‌ی نمونه‌ها از ۵۳/۶۶۵ MPa به ۵۶/۱۶ MPa افزایش یافته است. علت افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه در اثر استفاده از مواد پوزولانی، خاصیت پر کنندگی و پوزولانی این مواد است.

مواد پوزولانی با هیدروکسید کلسیم موجود در بتن واکنش می‌دهند و با تولید ژل سیمانی بیشتر، باعث چگال‌تر شدن بتن شده که این عامل نیز باعث افزایش مقاومت فشاری می گردد. استفاده از نانوسیلیس به همراه الیاف شیشه در بتن، باعث کاهش شدید کارایی بتن می‌شود. در این شرایط کمترین میزان مقاومت فشاری در نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه، مربوط به نمونه‌های

مسلح شده با ۲/۵٪ الیاف شیشه و ۱/۵٪ نانوسیلیس است. مسلح کردن نمونه‌ها به الیاف شیشه در هر دو روش پیش مخلوط و اسپری، باعث افزایش قابل توجه مدول گسیختگی می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص است که با گذشت زمان از ۷ روز به ۹۰ روز، مدول گسیختگی در نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در هر دو روش پیش مخلوط و اسپری، به دلیل آسیب‌های وارده به الیاف شیشه در محیط بتن، کاهش یافته است.

این مطالب نشان می‌دهد که مدول گسیختگی بتن مسلح به الیاف شیشه تا حدود زیادی به شرایط الیاف شیشه موجود در بتن بستگی دارد. استفاده از مواد پوزولانی باعث افزایش قابل توجه مدول گسیختگی بتن مسلح به الیاف شیشه در هر دو روش پیش مخلوط و اسپری شده است. در صورت استفاده از مواد پوزولانی در نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه، شدت کاهش مدول گسیختگی در طول زمان به تدریج کمتر می‌شود. مدول گسیختگی نمونه‌های اسپری شده نسبت به نمونه‌های ساخته شده به روش پیش مخلوط، دارای مقادیر بیشتری است. با توجه به اینکه در روش اسپری بتن ریزی به کمک فشار هوا و به صورت افشانی انجام می‌شود، الیاف شیشه به صورت یکنواخت در سطح بتن پراکنده شده و بتن با کیفیت بالاتری تولید می‌شود. در این شرایط استفاده از الیاف شیشه با درصدهای بالاتری نسبت به روش پیش مخلوط امکان‌پذیر است. در روش اسپری، با افزایش میزان الیاف شیشه مدول گسیختگی ابتدا افزایش می‌یابد؛ اما با ادامه‌ی افزایش میزان الیاف شیشه، مدول گسیختگی یک روند نزولی را طی می‌کند.

با توجه به این نتایج، بهبود مدول گسیختگی نسبت به نمونه‌های شاهد، با افزایش مقدار الیاف شیشه از ۴٪ تا ۵/۶٪ روند افزایشی و برای مقادیر بیشتر از ۵/۶٪ روند کاهشی داشته است. در نمونه‌های ساخته شده به روش اسپری، بیشترین مدول گسیختگی مربوط به نمونه‌های تقویت شده با ۴/۵٪ الیاف شیشه و ۱۵٪ متاکائولین می‌باشد. در این شرایط کمترین مدول گسیختگی در طرح‌های ساخته شده به روش اسپری، مربوط به نمونه‌های تقویت شده با ۶/۱٪ الیاف شیشه و ۱/۵٪ نانوسیلیس می‌باشد. با بررسی نمونه‌ها پس از انجام آزمایش، مشاهده شد که شکست در نمونه‌های فاقد الیاف شیشه به صورت ترد رخ داده است؛ اما شکست در نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه به صورت کاملا تدریجی و نرم بوده است.

در این شرایط در نمونه‌های ساخته شده به روش اسپری، مدول گسیختگی و جابجایی نمونه‌ها تا لحظه‌ی شکست، مقادیر بسیار بیشتری نسبت به نمونه‌های ساخته شده در روش پیش مخلوط داشته است. در نمونه‌های ساخته شده به روش پیش مخلوط، حداکثر بار قابل تحمل در بتن، با بار در انتهای ناحیه‌ی الاستیک (در لحظه‌ی ایجاد اولین ترک) تقریباً مقدار مشابهی دارد؛ در حالی‌که نمونه‌های ساخته شده به روش اسپری، پس از ترک خوردگی همچنان افزایش باربری از خود نشان می‌دهند. از نتایج بدست آمده چنین می‌توان برداشت کرد که مقاومت فشاری در بتن مسلح به الیاف شیشه تا حد زیادی به کیفیت ملات بستگی دارد. بر این اساس ملاحظه می‌شود که اضافه نمودن الیاف شیشه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. با توجه به این نتایج، کاهش مقاوت فشاری نمونه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در حضور مواد پوزولانی به حداقل می‌رسد.

۵-۱- پیشنهادها

از آنجا که خواص مکانیکی وابسته به الیاف شیشه با گذشت زمان تغییر می‌کند؛ لذا پیشنهاد می‌شود که به منظور بررسی دوام بتن مسلح به الیاف شیشه, خواص مکانیکی این بتن در شرایط تشدید یافته نظیر قرار دادن نمونه‌ها در آب داغ، سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن و سیکل‌های تر و خشک شدن مورد مطالعه قرار گیرد.

تأثیر استفاده از الیاف شیشه با ابعاد مختلف، بر خصوصیات مکانیکی بتن مسلح به الیاف شیشه مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از انواع و طول‌های متفاوت الیاف شیشه می‌تواند در جهت بررسی بهتر نقش طول الیاف بر روی پارامترهای مختلف مقاومت خمشی مثمر ثمر باشد.

منابع

۱. یاسین هاشم زهی، حامد صفای نیکو (۱۴۰۱) رفتار خمشی بتن مسلح به الیاف نایلون حاوی انواع مختلف مواد جایگزین سیمان در دریای عمان، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، دانشکده مهندسی دریا

2. Ilyas, R., Zuhri, M., Aisyah, H., Asyraf, M., Hassan, S., Zainudin, E., Sapuan, S., Sharma, S., Bangar, S. and Jumaidin, R., (2022) "Natural Fiber-Reinforced Polylactic Acid, Polylactic Acid Blends and Their Composites for Advanced Applications" Polymers, Vol. 14, No. 1, pp. 202.
3. Kumar, S., Manna, A. and Dang, R, (2022) A Review on Applications of Natural Fiber Reinforced Composites (Nfrcs)" Materials Today: Proceedings, Vol. 50, pp. 1632-1636.
4. Singh, M. K. and Zafar, S., (2021)Wettability, Absorption and Degradation Behavior of Microwave-Assisted Compression Molded Kenaf/Hdpe Composite Tank under Various Environments" Polymer Degradation and Stability, Vol. 185, pp. 109500.
5. Norizan, M. N., Alias, A. H., Sabaruddin, F., Asyraf, M., Shazleen, S., Mohidem, N Kamarudin, S., Norrrahim, M. N. F., Rushdan, A. I. and Ishak, M., (2021) Effect of Silane Treatments on Mechanical Performance of Kenaf Fibre Reinforced Polymer Composites: A Review" Functional Composites and Structures,.
6. Sapiai, N., Jumahat, A., Jawaid, M. and Khan, A., (2020) Effect of Mwcnt Surface Functionalisation and Distribution on Compressive Properties of Kenaf and Hybrid Kenaf/Glass Fibres Reinforced Polymer Composites" Polymers, Vol. 12, No. 11, pp. 2522,.
7. Nematollahi, M., Karevan, M., Fallah, M. and Farzin, M., (2020) Experimental and Numerical Study of the Critical Length of Short Kenaf Fiber Reinforced Polypropylene Composites" Fibers and Polymers, Vol. 21, No. 4, pp. 821-828.
8. Abolhasani, S., Fallah, F. and Akbari, J., (2019)"Manufacturing and Investigating Mechanical Properties of Polymeric Composites Reinforced with Natural Fibers" Modares Mechanical Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 75-83,.
9. Ning, X., Ding, Y., Zhang, F., & Zhang, Y. (2015). Experimental study and prediction model for flexural behavior of reinforced SCC beam containing steel fibers. Construction and Building Materials, 93, 644-653.
10. Afroughsabet, V., & Ozbakkaloglu, T. (2015). Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. Construction and building materials, 94, 73-82.