

تحقیقات بتن

سال دهم، شماره دوم

تابستان ۹۶

ص ۳۱ - ۱۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۸

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت خمشی و فشاری پانل های بتن مسلح به الیاف شیشه

محمد علی عسگری

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه دانشگاه سمنان

محمد کاظم شربتدار*

دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

چکیده

استفاده از الیاف یک گام مؤثر در جلوگیری از انتشار ریز ترک ها در جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می شود و نیاز به یک طرح اختلاط بهینه جهت کسب مقاومت های مکانیکی قابل قبول می باشد. در این مقاله یک تحقیق آزمایشگاهی با در نظر گرفتن متغیر های مختلفی مانند نوع الیاف شیشه، درصد الیاف، درصد و نوع سیمان و نوع سنگدانه و پارامترهای دیگر، با ساخت و آزمایش ۴۲ نمونه مکعبی بتنی فشاری و ۷۸ پانل خمشی بتنی GFRC انجام شده است. نمونه های خمشی تحت بارگذاری های گسترده، متمرکز، و رفت و برگشتی قرار گرفتند. نتایج نشان داد درصد الیاف زیاد تر منجر به افزایش مصرف سیمان، میزان جذب انرژی، ضریب طاقت، و حداکثر بار تحملی در پانل های خمشی تحت بار گسترده و بارگذاری رفت و برگشتی تا ۳۷ درصد و افزایش تعداد سیکل های لازم رسیدن به مقاومت نهایی در بارگذاری رفت و برگشتی شد...

واژه های کلیدی: بتن الیافی GFRC، مقاومت خمشی، گسترش ترک ها، بارگذاری گسترده، جذب انرژی.

* نویسنده مسئول: msharbatdar@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

شده اند باعث پایداری و مقاومت طرح خواهد شد [۱۴]. سوامی و همکارانش، یک تحلیل رگرسیون بر روی نتایج آزمایش های انجام شده روی خمیر سیمان، ملات و بتن های الیافی انجام داده و از انواع نسبت های اختلاط و شکل های هندسی الیاف استفاده نموده و ثابت هایی را برای محاسبه تنش نظیر اولین ترک و تنش خمشی نهایی در بتن های الیافی را بدست آوردند [۱۵]. طبق نظریه شاه، مکانیزم افزایش طاقت بتن الیافی به این صورت است که بتن الیافی بعد از ایجاد اولین ترک در خمیر سیمان، بار وارده را تحمل می نماید به شرط آن که مقاومت الیاف در برابر بیرون کشیده شدن آن ها در اولین ترک، بیش از بار در هنگام وقوع اولین ترک باشد و اگر تنش های پیوستگی از مقاومت پیوستگی بیشتر نگردد در خمیر سیمان ترک های دیگری بوجود می آید و این روند تا آنجا ادامه می یابد که الیاف شکسته شوند و یا اینکه به علت از بین رفتن پیوستگی، الیاف از درون بتن بیرون کشیده شوند [۱۶، ۱۹]. اطلاعات بدست آمده نشان می دهد که افزودن الیاف به میزان ۰/۹ و ۲٪ حجمی بتن، مقاومت خمشی و کرنش به ترتیب تا ۳۰٪ و ۱۰ برابر ملات غیر مسلح است [۱۷]. بر اساس گزارش ACI 544 کل انرژی جذب شده، در هنگام از بین رفتن پیوستگی الیاف و قبل از جدا شدن از ماتریس از روی سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان اندازه گیری می شود و این مشخصه در بتن الیافی ۱۰ تا ۴۰ مرتبه بیشتر از انرژی نظیر در بتن ساده می باشد [۲۰]. مکانیزم جمع شدگی در مصالح سیمانی پیچیده است و الیاف با مدول الاستیسیته پایین تر برای جلوگیری از ترک های ناشی از جمع شدگی خمیری مؤثرترند [۲۴]. بیشترین کاربرد عملی بتن های حاوی الیاف شیشه ای GFRC در اروپا و ایران به منظور زیباسازی و نماسازی در ساختمان بوده که نمونه های آن پروژه های برج بین المللی تهران، مجتمع تجاری خلیج فارس در شیراز می باشد.

۲- نمونه های آزمایشگاهی

برای بررسی میزان کمی و مقایسه ای تأثیر الیاف شیشه ای بر روی خواص فشاری بتن GFRC، ۴۲ نمونه مکعبی ۱۰۰ میلی متری فشاری در طرح اختلاط های متفاوت از دو نوع الیاف Glass (الیاف ساخته شده توسط شرکت NEG ژاپن و الیاف ساخته شده توسط شرکت Cinoma چین) با مشخصات داده شده در جدول ۱ با دو نوع سیمان سفید و خاکستری و ۸۱ پانل بتنی خمشی به

لازم است در طراحی سازه های بتنی برای مناطق مختلف علاوه بر مسأله مقاومت و تحمل بار در طول مدت بهره دهی، پایایی و دوام آن نیز مد نظر قرار گیرد. انهدام و زوال بتن به شدت به تشکیل ترک ها و ریز ترک ها در اثر بارگذاری و یا تأثیرات محیطی وابسته است [۱]. استفاده از الیاف در بتن و ساخت بتن الیافی به عنوان یک گام مؤثر در جلوگیری از انتشار ریز ترک ها و ترک ها در جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می شود و بتن های الیافی توانمند که نسل پیشرفته بتن های الیافی به شمار رفته و در آن حجم الیاف از ۲٪ تا ۲۰٪ متفاوت می باشد [۲]. پل زدن الیاف ها باعث یکپارچگی بتن و افزایش تغییر شکل های زیاد مقاومت خمشی و کششی به دلیل دوزندگی الیاف خواهد شد [۳، ۴]. مهمترین مشخصه بتن های الیافی، خاصیت جذب انرژی، انعطاف پذیری و مقاومت آن در مقابل ضربه است و به عنوان یک ماده جدید و اقتصادی در مسائل ساختمانی محسوب می شود [۵]. مشکل عمده این ماده مرکب، عدم تحمل نیروهای کششی می باشد که برای بهبود این مشکل می توان از ترکیبات سیمانی اصلاح شده استفاده نمود [۶]. استفاده از بتن پر مقاومت الیافی، کاربردهایی نظیر استفاده در طرح های معماری خاص، سازه های با درجه اهمیت زیاد و محصولات پیش ساخته یافته است [۷ و ۸]. با این که کاربرد سازه های الیاف در کمیته ۳۱۸ - ACI ارائه نشده است، از الیاف به عنوان مسلح کننده مضاعف در سازه ها و قطعات بتنی استفاده می شود [۹]. بتن های الیافی بر خلاف بتن های الیافی معمولی پس از ترک خوردن مقاومت خود را از دست نداده و قادر به تحمل تغییر شکل ها و کرنش کششی و ارائه رفتار سخت شدگی کرنشی می باشند [۱۰]. به عنوان یک قانون اصلی، در بتن های الیافی نحوه پل بندی الیاف در ناحیه ترک خورده یکی از مهم ترین پارامترها به شمار می آید و به طور کلی این رفتار بوسیله منحنی $\sigma - \delta$ معرفی می گردد [۱۱]. با تخمین مقدار دقیق الیاف و همچنین خواص ماتریس می توان با کنترل ترک های ایجاد شده، میزان سختی بتن را تعیین نمود و همچنین با استفاده از الیاف در ترکیب بتن، عرض ترک را می توان کنترل نمود و به انهدام ترد بتن کمک نمود [۱۲]. آئین نامه ACI 544/2R توصیه های درخصوص کارایی و دیگر خواص بتن های الیافی ارائه داده است [۱۳]. توانایی خود تراکمی طرح هایی که با الیاف تقویت

الیاف از یکدیگر به مدت چند روز این اصطکاک کمتر می گردد. جدول ۳ مشخصات نمونه های مکعبی با دو نوع سیمان سفید (CW) و خاکستری (CG) را نشان می دهد.

جدول ۱. مشخصات الیاف Glass

نوع الیاف	شرکت تولید کننده	طول mm	قطر mm	چگالی Ton/m ³	مقاومت کششی MPa	مدول الاستیسیته GPa	Zr02 %
Glass	NEG ژاپن	۱۲	۱/۲	۲/۷۴	۲۴۸۰	۶/۷۸	۲۰
Glass	چین CINOMA	۱۲	۱/۲	۲/۶۵	۲۳۵۰	۶/۷۳	۱۶/۲

جدول ۲- طرح اختلاط (یک متر مکعب بتن)

مصالح	مشخصه	طرح اختلاط ۱	طرح اختلاط ۲	طرح اختلاط ۳
سیمان Kg	تیپ ۲	۹۰۰	۸۰۰	۷۰۰
مصالح سنگی ۱-۱-۱ میلی متر، Kg	سنگ شکسته جوشقان	۳۷۴	۴۳۸	۵۰۲
مصالح سنگی ۱-۱-۱ میلی متر، Kg	سنگ شکسته جوشقان	۴۷۸	۵۵۲	۶۲۷
آب، Lit	آب شرب	۳۴۲	۲۰۴	۲۶۶
فوق روان کننده Kg	Structru 530	۶،۷۵	۶	۵،۲۵

۲-۲- ویژگی های پانل های بتنی

تعداد پانل های تحت بارگذاری گسترده طبق جدول ۴، ۷۸ پانل بوده که ۷۲ پانل با ضخامت ۴۰ میلیمتر (BG1 تا BG18) و BW1 تا BW18) و ۶ پانل با ضخامت ۶۰ و ۲۰ میلیمتر (BW19 تا BW24) بوده است. مطابق جدول ۴، ۳ پانل با ضخامت ۶۰ میلیمتر تحت بارگذاری تک محوری قرار گرفته (BW19A تا BW21A) تا بتوان شرایط بارگذاری شده را نسبت به حالت بارگذاری گسترده مقایسه نمود. پس از تست و آنالیز نتایج بارگذاری گسترده و بار متمرکز، رفتار پانل های ساخته شده از بتن حاوی الیاف شیشه، مطابق جدول ۴، ۳ پانل با ضخامت ۶۰ میلیمتر (BCW1 تا BCW3) تحت بارهای رفت و برگشتی قرار گرفتند. برای این نوع از بارگذاری از جک دو طرفه و هم چنین بارسنج دو طرفه استفاده گردید. قالب بر روی میز تراکم (ویبره) قرار گرفته و عمل تراکم (لرزاندن) پس از هر بتن ریزی انجام می گیرد. وجود الیاف در بتن تا حد زیادی از بروز ترک خوردگی های جمع شدگی ممانعت بعمل می آورد، پس از گذشت زمان تقریبی ۲۰ ساعت از ساخت آزمونه، قالب پانل ها باز شده و نمونه ها برای عمل آوری به مدت ۲۸ روز در پوشش نایلونی در دمای محیط (حدود ۲۸ درجه) قرار گرفته است.

ابعاد ۲۰۰×۸۰ میلی متر در ضخامت های ۶۰، ۴۰، ۲۰ میلی متر تحت بارگذاری گسترده و متمرکز و رفت و برگشتی تهیه و مورد آزمایشات مربوطه قرار گرفتند.

۲-۱- مشخصات نمونه های مکعبی

در حالت کلی سه طرح اختلاط در این طرح تحقیقاتی مد نظر قرار گرفته است. بهینه ساختن سیمان مصرفی همراه با دستیابی به خواص مطلوب بتن مسلح به الیاف شیشه ای، به عنوان هدف این تحقیق در ساخت این طرح ها خواهد بود. انواع این سه طرح اختلاط با مراحل و مقادیر ترکیب مصالح و درصدهای مربوطه در جدول ۲ نشان داده شده اند. دو نوع سیمان مورد استفاده، از نوع تیپ II خاکستری و سفید تولید سیمان ساوه در رده مقاومتی 395 kg/cm^2 و با سه مقدار ۷۰۰، ۸۰۰، و ۹۰۰ کیلوگرم بوده است. نسبت $\frac{W}{C}$ در همه نمونه ها یکسان و برابر ۰/۳۸ بوده است. دو نوع متفاوت الیاف در این سه نوع طرح اختلاط بکار رفته که علاوه بر نمونه های بدون الیاف، نمونه های بتنی الیافی با ۱، ۱/۵، و ۲ درصد در نظر گرفته شده اند. سنگدانه مورد نظر از نوع سنگ شکسته سفید آهکی و نیز مصالح خاکستری رودخانه ای، سخت و تمیز و با دانه بندی مناسب بین ۰-۳ میلی متر استفاده شده است. برای کاهش نسبت آب به سیمان و دست یابی به کارایی لازم از فوق روان کننده بر پایه کربوکسیلیک با نام تجاری structru 530 استفاده شده است. افزودن این نوع از مواد مضاعف، تاثیر سوئی درکسب مقاومت نهایی نداشته و با افزایش مقاومت اولیه سبب خروج قطعات پیش ساخته در سن کم از قالب، مناسب خواهند بود. نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری پس از تهیه شدن به مدت ۲۸ روز در آب نگهداری شده و یک روز قبل از آزمایش از آب خارج شده اند. مشخصات کلی نمونه های مکعبی در جدول ۳ داده شده اند. قابل ذکر است که از بین ۴۲ نمونه، ۳۶ نمونه بصورت الیافی و ۶ نمونه بدون الیاف در نظر گرفته شده اند تا پارامترهای فوق در طرح بتن با وجود الیاف و بدون آن بررسی گردند. یکی از مهم ترین مشکلات ساخت بتن های الیافی، گلوله شدن الیاف در مرحله ساخت بتن می باشد که برای جلوگیری از گلوله شدن، الیاف بایستی به نحوی در حجم بتن پراکنده گردد که مخلوط همگنی ایجاد شود. احتمال رخداد این پدیده در الیاف NEG Glass ناچیز بود ولی در الیاف Glass Cinoma، اصطکاک بیشتر بوده و قبل از ساخت بتن با جدا کردن

جدول ۳- مشخصات نمونه های مکعبی الیافی

نماینه	مدت عمل آوری	ابعاد نمونه	طول الیاف	وزن الیاف	حجم الیاف	نوع الیاف	مصالح در متر مکعب					نماینه طرح
							تقوین گنده	آب	مصالح سنگی ۳-۱ میلی متر	مصالح سنگی ۱۰-۱ میلی متر	سیمان	
تعداد نمونه	روز	mm	mm	Kg m ³	%		Kg	Lit	Kg	Kg	Kg	
1	28	100×100×100	12	27.4	1	NEG Glass	6.75	342	478	374	900	CW-1
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	NEG Glass	6.75	342	478	374	900	CW-2
1	28	100×100×100	12	54.8	2	NEG Glass	6.75	342	478	374	900	CW-3
1	28	100×100×100	-----	0	0	-----	6.75	342	478	374	900	CW-4
1	28	100×100×100	12	27.4	1	NEG Glass	6	304	552	438	800	CW-5
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	NEG Glass	6	304	552	438	800	CW-6
1	28	100×100×100	12	54.8	2	NEG Glass	6	304	552	438	800	CW-7
1	28	100×100×100	-----	0	0	-----	6	304	552	438	800	CW-8
1	28	100×100×100	12	27.4	1	NEG Glass	5.25	266	627	502	700	CW-9
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	NEG Glass	5.25	266	627	502	700	CW-10
1	28	100×100×100	12	54.8	2	NEG Glass	5.25	266	627	502	700	CW-11
1	28	100×100×100	-----	0	0	-----	5.25	266	627	502	700	CW-12
1	28	100×100×100	12	27.4	1	sinoma Glass	6.75	342	478	374	900	CW-13
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	sinoma Glass	6.75	342	478	374	900	CW-14
1	28	100×100×100	12	54.8	2	sinoma Glass	6.75	342	478	374	900	CW-15
1	28	100×100×100	12	27.4	1	sinoma Glass	6	304	552	438	800	CW-16
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	sinoma Glass	6	304	552	438	800	CW-17
1	28	100×100×100	12	54.8	2	sinoma Glass	6	304	552	438	800	CW-18
1	28	100×100×100	12	27.4	1	sinoma Glass	5.25	266	627	502	700	CW-19
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	sinoma Glass	5.25	266	627	502	700	CW-20
1	28	100×100×100	12	54.8	2	sinoma Glass	5.25	266	627	502	700	CW-21
21	مجموع نمونه ها											

نماینه	مدت عمل آوری	ابعاد نمونه	طول الیاف	وزن الیاف	حجم الیاف	نوع الیاف	مصالح در متر مکعب					نماینه طرح
							تقوین گنده	آب	مصالح سنگی ۳-۱ میلی متر	مصالح سنگی ۱۰-۱ میلی متر	سیمان	
تعداد نمونه	روز	mm	mm	Kg m ³	%		Kg	Lit	Kg	Kg	Kg	
1	28	100×100×100	12	27.4	1	NEG Glass	6.75	342	478	374	900	CG-1
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	NEG Glass	6.75	342	478	374	900	CG-2
1	28	100×100×100	12	54.8	2	NEG Glass	6.75	342	478	374	900	CG-3
1	28	100×100×100	-----	0	0	-----	6.75	342	478	374	900	CG-4
1	28	100×100×100	12	27.4	1	NEG Glass	6	304	552	438	800	CG-5
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	NEG Glass	6	304	552	438	800	CG-6
1	28	100×100×100	12	54.8	2	NEG Glass	6	304	552	438	800	CG-7
1	28	100×100×100	-----	0	0	-----	6	304	552	438	800	CG-8
1	28	100×100×100	12	27.4	1	NEG Glass	5.25	266	627	502	700	CG-9
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	NEG Glass	5.25	266	627	502	700	CG-10
1	28	100×100×100	12	54.8	2	NEG Glass	5.25	266	627	502	700	CG-11
1	28	100×100×100	-----	0	0	-----	5.25	266	627	502	700	CG-12
1	28	100×100×100	12	27.4	1	sinoma Glass	6.75	342	478	374	900	CG-13
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	sinoma Glass	6.75	342	478	374	900	CG-14
1	28	100×100×100	12	54.8	2	sinoma Glass	6.75	342	478	374	900	CG-15
1	28	100×100×100	12	27.4	1	sinoma Glass	6	304	552	438	800	CG-16
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	sinoma Glass	6	304	552	438	800	CG-17
1	28	100×100×100	12	54.8	2	sinoma Glass	6	304	552	438	800	CG-18
1	28	100×100×100	12	27.4	1	sinoma Glass	5.25	266	627	502	700	CG-19
1	28	100×100×100	12	41.1	1.5	sinoma Glass	5.25	266	627	502	700	CG-20
1	28	100×100×100	12	54.8	2	sinoma Glass	5.25	266	627	502	700	CG-21
21	مجموع نمونه ها											

۳- طراحی چیدمان آزمایشات

شرایط برای نزدیک شدن به فرم مورد نظر با سه صفحه با ضخامت ۳ میلی متر مطابق شکل ۱ محقق شود و تغییر مکان پلیت ها و نمونه بتنی یکسان شد. آزمایش بارگذاری تک محوری مطابق شکل ۲- الف با اعمال نیرو در وسط نمونه و برای انجام بارگذاری رفت و برگشتی، بوسیله یک جک دو طرفه مطابق شکل ۲-ب که بتواند فشار و کشش را به نمونه اعمال کند و به یک نقطه ثابت بسته شده انجام می شود و از یک بارسنج دو طرفه که توانایی سنجش بار فشاری و کششی را دارد استفاده شده است.

آزمایش مقاومت فشاری امروزه به عنوان معمول ترین آزمایش مشخصه کیفیت بتن استفاده شده است. برای آزمایش مقاومت خمشی گسترده، مدلی از رفتار خمشی که بتواند بار را به صورت گسترده به سطح نمونه برساند مدل سازی گردید تا مشابه بار وارده گسترده باد در برخورد به یک پانل پوسته ای ساخته شده از بتن مسلح به الیاف شیشه ای می باشد که قرار است بعنوان قطعات نما استفاده شوند. مدل مورد نظر در چهار مرحله آزمایش شد تا بهترین

جدول ۴- مشخصات پانل های بتنی یبافی خمشی ساخته شده با دو نوع سیمان تحت بارهای متفاوت

نماینه طرح	نوع الیاف	مصالح در متر مکعب					حجم الیاف %	وزن الیاف Kg m ³	طول الیاف mm	ابعاد نمونه mm	ضخامت پانل mm	مدت عمل آوری روز	تعداد نمونه
		سیمان Kg	مصاح سنگی ۱-۰۰ میلی متر Kg	مصاح سنگی ۳-۰۱ میلی متر Kg	آب Lit	قیق روغن کهنده Kg							
BW-1	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	12	800x200	40	28	2	
BW-2	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BW-3	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	40	28	2	
BW-4	NEG Glass	800	438	552	304	6	27.4	1	800x200	40	28	2	
BW-5	NEG Glass	800	438	552	304	6	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BW-6	NEG Glass	800	438	552	304	6	54.8	2	800x200	40	28	2	
BW-7	NEG Glass	700	502	627	266	5.25	27.4	1	800x200	40	28	2	
BW-8	NEG Glass	700	502	627	266	5.25	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BW-9	NEG Glass	700	502	627	266	5.25	54.8	2	800x200	40	28	2	
BW-10	sinoma Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	40	28	2	
BW-11	sinoma Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BW-12	sinoma Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	40	28	2	
BW-13	sinoma Glass	800	438	552	304	6	27.4	1	800x200	40	28	2	
BW-14	sinoma Glass	800	438	552	304	6	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BW-15	sinoma Glass	800	438	552	304	6	54.8	2	800x200	40	28	2	
BW-16	sinoma Glass	700	502	627	266	5.25	27.4	1	800x200	40	28	2	
BW-17	sinoma Glass	700	502	627	266	5.25	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BW-18	sinoma Glass	700	502	627	266	5.25	54.8	2	800x200	40	28	2	
36	مجموع نمونه ها												

نماینه طرح	نوع الیاف	مصالح در متر مکعب					حجم الیاف %	وزن الیاف Kg m ³	طول الیاف mm	ابعاد نمونه mm	ضخامت پانل mm	مدت عمل آوری روز	تعداد نمونه
		سیمان Kg	مصاح سنگی ۱-۰۰ میلی متر Kg	مصاح سنگی ۳-۰۱ میلی متر Kg	آب Lit	قیق روغن کهنده Kg							
BG-1	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	40	28	2	
BG-2	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BG-3	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	40	28	2	
BG-4	NEG Glass	800	438	552	304	6	27.4	1	800x200	40	28	2	
BG-5	NEG Glass	800	438	552	304	6	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BG-6	NEG Glass	800	438	552	304	6	54.8	2	800x200	40	28	2	
BG-7	NEG Glass	700	502	627	266	5.25	27.4	1	800x200	40	28	2	
BG-8	NEG Glass	700	502	627	266	5.25	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BG-9	NEG Glass	700	502	627	266	5.25	54.8	2	800x200	40	28	2	
BG-10	sinoma Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	40	28	2	
BG-11	sinoma Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BG-12	sinoma Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	40	28	2	
BG-13	sinoma Glass	800	438	552	304	6	27.4	1	800x200	40	28	2	
BG-14	sinoma Glass	800	438	552	304	6	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BG-15	sinoma Glass	800	438	552	304	6	54.8	2	800x200	40	28	2	
BG-16	sinoma Glass	700	502	627	266	5.25	27.4	1	800x200	40	28	2	
BG-17	sinoma Glass	700	502	627	266	5.25	41.1	1.5	800x200	40	28	2	
BG-18	sinoma Glass	700	502	627	266	5.25	54.8	2	800x200	40	28	2	
36	مجموع نمونه ها												

نماینه طرح	نوع الیاف	مصالح در متر مکعب					حجم الیاف %	وزن الیاف Kg m ³	طول الیاف mm	ابعاد نمونه mm	ضخامت پانل mm	مدت عمل آوری روز	تعداد نمونه
		سیمان Kg	مصاح سنگی ۱-۰۰ میلی متر Kg	مصاح سنگی ۳-۰۱ میلی متر Kg	آب Lit	قیق روغن کهنده Kg							
BW-19	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	60	28	1	
BW-20	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	60	28	1	
BW-21	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	60	28	1	
BW-22	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	20	28	1	
BW-23	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	20	28	1	
BW-24	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	20	28	1	
6	مجموع نمونه ها												

BW-19A	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	60	28	1
BW-20A	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	60	28	1
BW-21A	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	60	28	1
3	مجموع نمونه ها											

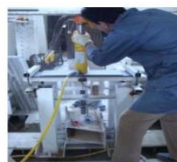
BCW-1	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	27.4	1	800x200	60	28	1
BCW-2	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	41.1	1.5	800x200	60	28	1
BCW-3	NEG Glass	900	374	478	342	6.75	54.8	2	800x200	60	28	1
3	مجموع نمونه ها											

جدول ۵- نتایج مقاومت فشاری نمونه های سیمان سفید و

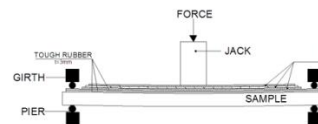
خاکستری

مقاومت فشاری Kg/cm ²	درصد الیاف	نوع الیاف	نماینه	گروه
380	1	NEG Glass	CW-1	1
405	1.5	NEG Glass	CW-2	
430	2	NEG Glass	CW-3	
490	بتن معمولی بدون الیاف		CW-4	
332	1	NEG Glass	CW-5	2
467	1.5	NEG Glass	CW-6	
409	2	NEG Glass	CW-7	
390	بتن معمولی بدون الیاف		CW-8	
382	1	NEG Glass	CW-9	3
332	1.5	NEG Glass	CW-10	
415	2	NEG Glass	CW-11	
410	بتن معمولی بدون الیاف		CW-12	
398	1	sinoma Glass	CW-13	1
489	1.5	sinoma Glass	CW-14	
467	2	sinoma Glass	CW-15	
490	بتن معمولی بدون الیاف		CW-4	
300	1	sinoma Glass	CW-16	2
400	1.5	sinoma Glass	CW-17	
519	2	sinoma Glass	CW-18	
390	بتن معمولی بدون الیاف		CW-8	
372	1	sinoma Glass	CW-19	3
455	1.5	sinoma Glass	CW-20	
431	2	sinoma Glass	CW-21	
410	بتن معمولی بدون الیاف		CW-12	

مقاومت فشاری Kg/cm ²	درصد الیاف	نوع الیاف	نماینه	گروه
376	1	NEG Glass	CG-1	۱
427	1.5	NEG Glass	CG-2	
339	2	NEG Glass	CG-3	
418	بتن معمولی بدون الیاف		CG-4	
314	1	NEG Glass	CG-5	2
363	1.5	NEG Glass	CG-6	
395	2	NEG Glass	CG-7	
360	بتن معمولی بدون الیاف		CG-8	
355	1	NEG Glass	CW-9	3
363	1.5	NEG Glass	CW-10	
300	2	NEG Glass	CW-11	
300	بتن معمولی بدون الیاف		CW-12	
385	1	sinoma Glass	CW-13	1
450	1.5	sinoma Glass	CW-14	
440	2	sinoma Glass	CW-15	
418	بتن معمولی بدون الیاف		CW-4	
290	1	sinoma Glass	CW-16	2
380	1.5	sinoma Glass	CW-17	
500	2	sinoma Glass	CW-18	
360	بتن معمولی بدون الیاف		CW-8	
270	1	sinoma Glass	CW-19	3
430	1.5	sinoma Glass	CW-20	
410	2	sinoma Glass	CW-21	
300	بتن معمولی بدون الیاف		CW-12	



ب- نمای واقعی



الف- نمای شماتیک

شکل ۱- چیدمان بارگذاری گسترده



ب- رفت و برگشتی



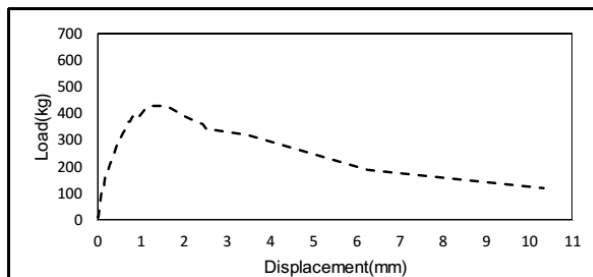
الف- تک محوری

شکل ۲- آزمایش بارگذاری تک محوری و رفت و برگشتی

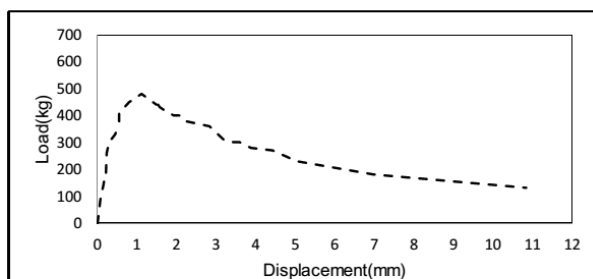
۴- مشاهدات و نتایج اولیه آزمایشات

لذا در جدول ۵ نتایج آزمون مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های GFRC سیمان سفید و خاکستری ارائه شده است. در نمونه های بدون الیاف، با نزدیک شدن به حداکثر بار تحملی قسمت های محیطی نمونه از نمونه جدا می گردد در حالی که در نمونه های بتنی مسلح به الیاف، وجود الیاف باعث منسجم شدن اجزاء بتن شده بود و باعث جلوگیری از خرد و تکه تکه شدن نمونه می گردد. برای انجام آزمایش مقاومت خمشی، با اعمال بار بر روی نمونه و افزایش تغییر مکان تا حدود یک میلی متر هیچ گونه اتفاقی رخ نداده و روند تحملی افزایش بار بر روی نمونه ادامه می یابد. با ایجاد تغییر مکان در حدود یک میلی متر در وسط نمونه یک ترک عرضی دیده می- شود. این حدود تغییر مکان در طرح اختلاط های متفاوت کمی متغیر بوده و هرچه میزان سیمان در طرح اختلاط بیشتر باشد پس از ایجاد ترک تحمل بار بیشتر به میزان الیاف و نحوه توزیع آن وابسته است و در آزمایشات با وجود الیاف بیشتر در طرح اختلاط شاهد باربری بیشتر پانل و همچنین تحمل تغییر مکان بیشتری بوده ایم. برای هر تست دو نمونه تهیه شده بود که متوسط آن ها در اینجا آورده شده است. نمایه BW-1 الی BW-9 مربوط به نمونه های بتن سفید حاوی الیاف NEG Glass، نمایه BW-10 الی BW-18 مربوط به نمونه های بتن سفید حاوی الیاف Cinoma Glass، نمایه BG-1 الی BG-9 مربوط به نمونه های بتن خاکستری حاوی الیاف NEG Glass و نمایه BG-10 الی BG-18 مربوط به نمونه های بتن خاکستری حاوی الیاف Cinoma Glass می باشند.

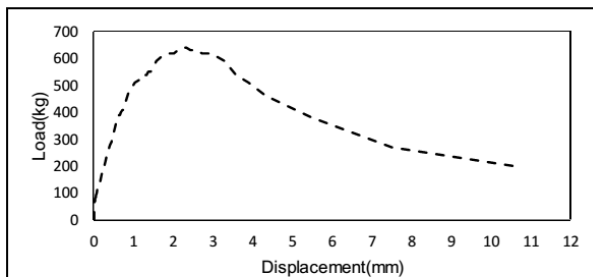
افزایش میزان الیاف به مخلوط بتنی باعث افزایش ظرفیت فشاری می‌شود این در حالی است که مقاومت خود نمونه بتنی بدون الیاف تقریباً از تمامی حالات دیگر، بیشتر می‌باشد. مقاومت فشاری طرح اختلاط ۱ و ۳ نشان از بالاتر بودن این مشخصه نسبت به طرح اختلاط ۲ دارد.



الف- نمونه BW-19 با ۱٪ الیاف



ب- نمونه BW-20 با ۱.۵٪ الیاف

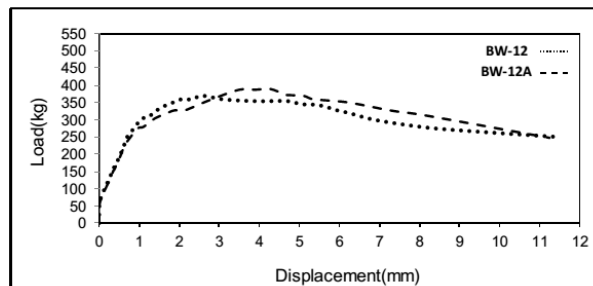
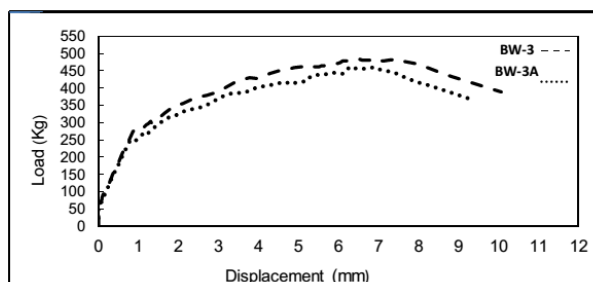


ج- نمونه BW-21 با ۲٪ الیاف

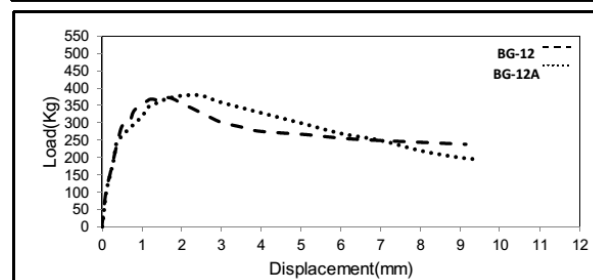
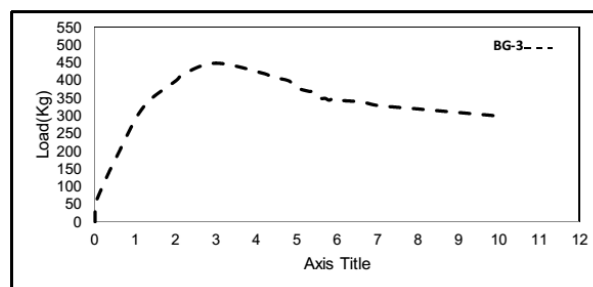
شکل ۵- نمودار بار - تغییر مکان نمونه های بتنی خمشی تحت بارهای متمرکز

روند تغییرات مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی با مصالح سفید و الیاف NEG مشابه است اما ظرفیت فشاری کمتری را در این نمونه‌ها مشاهده می‌کنیم. در این مقایسه دو پارامتر مصالح و الیاف متغیر است و حجم الیاف NEG نقش چندانی در ظرفیت فشاری بتن نخواهد داشت حال آن که این مطلب در مورد الیاف Cinoma Glass کاملاً برعکس است و تغییرات حجم الیاف در افزایش ظرفیت فشاری دیده می‌شود به نحوی که با وجود ۱.۵٪ از الیاف Cinoma Glass ظرفیت فشاری نمونه‌ها نسبت به

شکل های ۳ و ۴ نمونه هایی از نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی خمشی الیافی ساخته شده با مصالح و سیمان سفید و سیمان خاکستری حاوی انواع الیاف را نشان می دهند. شکل های ۵ و ۶ نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتن الیافی ساخته شده با مصالح و سیمان سفید حاوی الیاف NEG Glass تحت بارگذاری تک محوری و رفت و برگشتی را نشان می دهد.



شکل ۳- نمونه نمودار بار-تغییر مکان نمونه های سیمان سفید



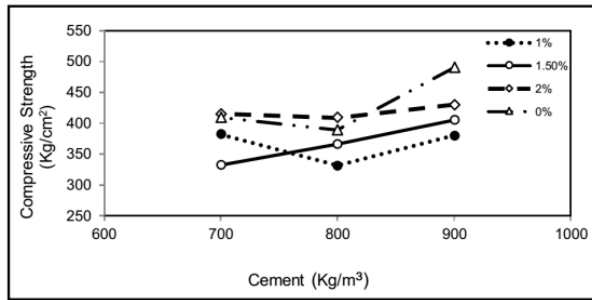
شکل ۴- نمونه نمودار بار-تغییر مکان نمونه های سیمان خاکستری

۵- تجزیه و تحلیل نتایج

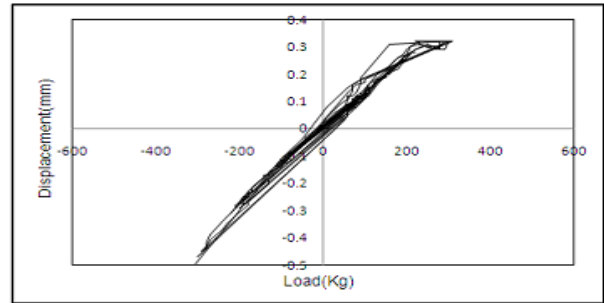
اثر و نوع و مقدار سیمان سفید و الیاف در مقاومت فشاری نمونه های CW-1 الی CW-21 در شکل ۷ ملاحظه می شود که

خاکستری به ترتیب ۱۶/۳، ۱۸/۳ و ۲۳/۳ درصد و برای نمونه های ساخته شده با الیاف Cinoma Glass با ترکیب ۰/۱، ۱/۵ و ۲/۰ به ترتیب ۴۱/۶، ۲۸ و ۲۲/۳ درصد می باشد.

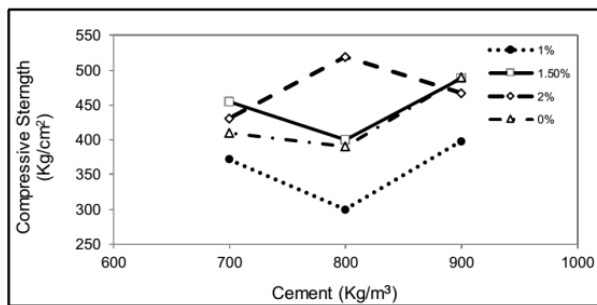
نمونه های بدون الیاف کاملاً بالاتر بوده است. اثر و نوع و مقدار سیمان خاکستری و الیاف در مقاومت فشاری نمونه های CG-1 الی CG-21 در شکل ۸ ملاحظه می شود.



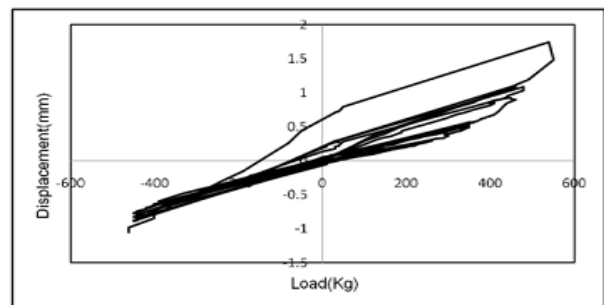
الف- الیاف NEG Glass



الف - ۱٪

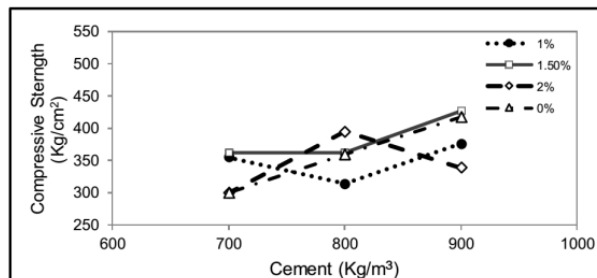


ب- الیاف Cinoma

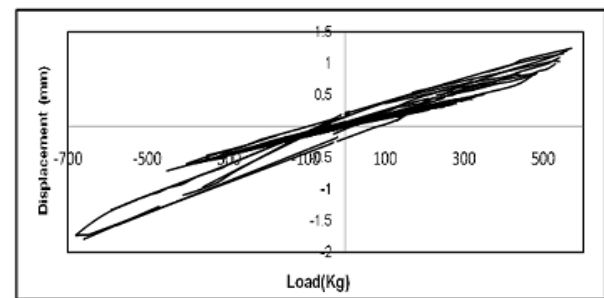


ب - ۱/۵٪

شکل ۷- اثر الیاف در نمونه های ساخته شده با سیمان و مصالح سفید

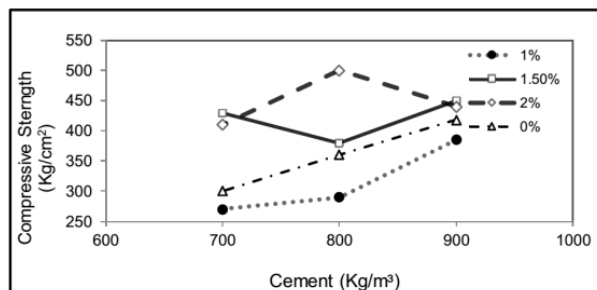


الف- الیاف NEG Glass



ج - ۲٪

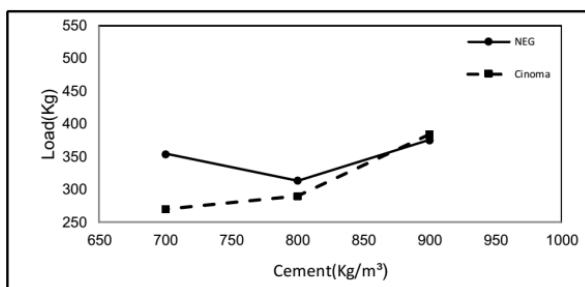
شکل ۶- نمودار بار - تغییر مکان نمونه های بتنی خمشی تحت بارهای رفت و برگشتی



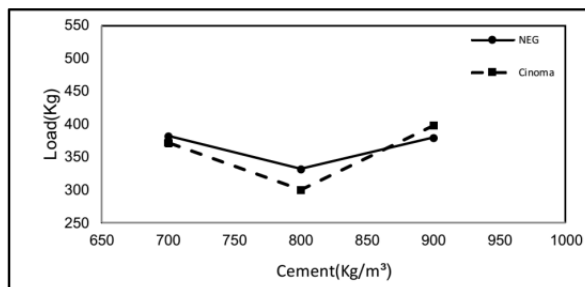
ب- الیاف Cinoma

شکل ۸- اثر الیاف در نمونه های ساخته شده با سیمان و مصالح خاکستری

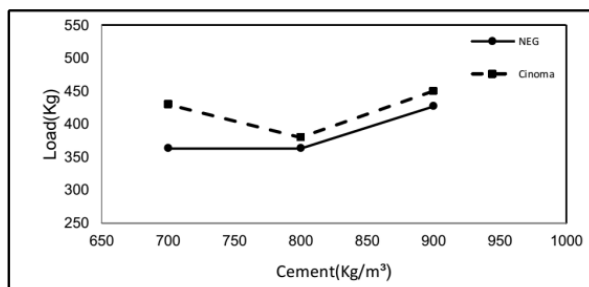
در اکثر نمودارها می توان از برتری مصالح و سیمان سفید نسبت به مصالح و سیمان خاکستری اطمینان حاصل نمود. تنها در دو طرح از ۳۶ طرح اختلاط، طرح ۱ و ۳، بتن با ۱/۵٪ الیاف NEG Glass نسبت به مصالح خاکستری ظرفیت بالاتری دارد که با توجه به کیفیت مصالح سفید این انتظار نیز دور از انتظار نبوده است. مطابق اشکال ۹ و ۱۰ میانگین افزایش مقاومت فشاری برای نمونه های ساخته شده بین نمونه های با سیمان و مصالح سفید و الیاف NEG Glass با ترکیب ۰/۱، ۱/۵ و ۲٪ نسبت به مصالح و سیمان



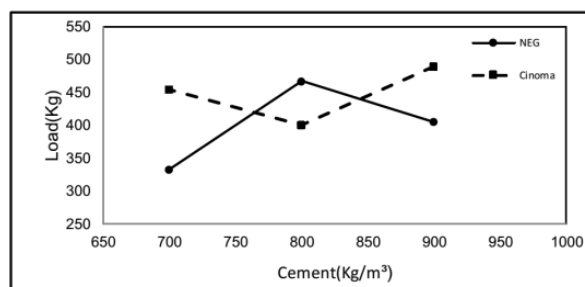
الف-۱٪



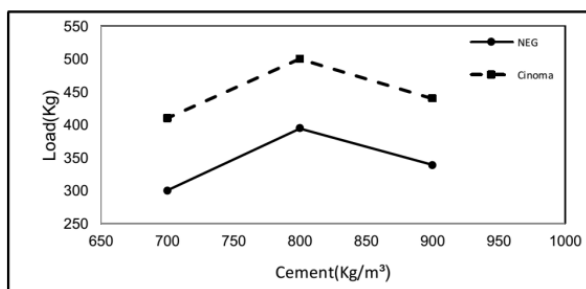
الف-۱٪



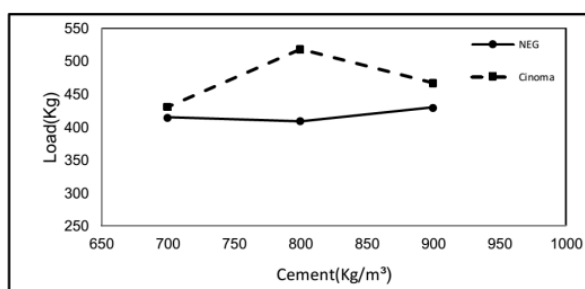
ب-۱/۵٪



ب-۱/۵٪



ج-۲٪



ج-۲٪

شکل ۱۰- اثر درصد و نوع الیاف بر روی مقاومت فشاری بتن با سیمان و مصالح خاکستری

جدول ۷- مشخصه های مقاومت خمشی نمونه های آزمایشی

نماینه طرح	میانگین بار در حد خمشی (Kg)	میانگین حداکثر بار خمشی (Kg)	میانگین میزان جذب انرژی (Kj)	ضریب طاق‌ت
BW-1, 1A	240	253	24/2	6
BW-2, 2A	262	364	26/5	11/2
BW-3, 3A	280	472.5	37	12/5
BW-4, 4A	230	254	18/5	4/3
BW-5, 5A	265	284.5	20/3	9/1
BW-6, 6A	280	473	30/8	10/8
BW-7, 7A	225	226	12	3/9
BW-8, 8A	265	298	17/3	8
BW-9, 9A	275	402.5	35/95	9/3

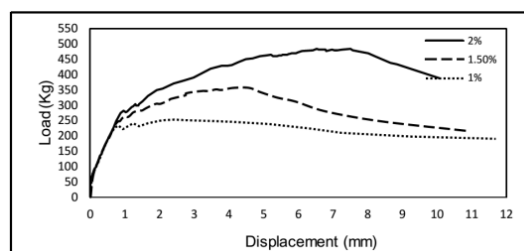
نماینه طرح	میانگین بار در حد خمشی (Kg)	میانگین حداکثر بار خمشی (Kg)	میانگین میزان جذب انرژی (Kj)	ضریب طاق‌ت
BW-10, 10A	200	223/5	13/4	4/4
BW-11, 11A	310	314	15/34	8/1
BW-12, 12A	280	385	22	8/6
BW-13, 13A	140	212/5	11/3	4/7
BW-14, 14A	350	342	16/2	9/1
BW-15, 15A	380	363/5	19/25	10/3
BW-16, 16A	230	199	9/5	4
BW-17, 17A	260	254	13/45	4/6
BW-18, 18A	360	325/5	17/46	7/3

شکل ۹- اثر درصد و نوع الیاف بر روی مقاومت فشاری بتن با سیمان و مصالح سفید

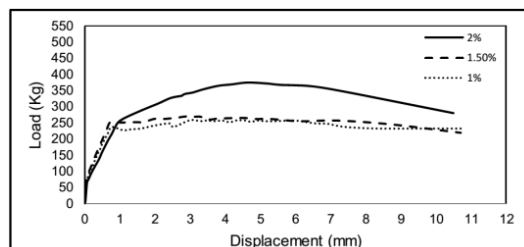
میانگین افزایش مقاومت فشاری برای نمونه های ساخته شده با سیمان و مصالح سفید، الیاف NEG Glass با ترکیب ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ نسبت به نمونه با الیاف Cinoma Glass به ترتیب ۲/۲-، ۱۱/۵ و ۱۳ درصد می باشد. میانگین افزایش مقاومت فشاری برای نمونه های ساخته شده با سیمان و مصالح خاکستری، الیاف NEG Glass با ترکیب ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ نسبت به نمونه با الیاف Cinoma Glass به ترتیب ۹/۵-، ۹/۳ و ۳۰/۶ درصد می باشد. در جدول ۷ پارامترهای مهم نمونه های مقاومت خمشی برای مقایسه میزان تأثیر مؤلفه هایی نظیر درصد حجمی الیاف و سیمان سفید آورده شده است. در شکل ۱۱ عملکرد پانل تحت بار گسترده را با درصد الیاف مختلف می توان به راحتی قیاس نمود. پانل های با درصد الیاف بالاتر ظرفیت باربری و در نتیجه جذب انرژی بیشتری داشته و هر چه درصد حجمی الیاف در مخلوط بتن بیشتر باشد، نمونه بعد از ترک خوردن ماتریس سیمان به روند صعودی تحمل بار بیشتر ادامه می دهد.

در شکل ۱۲ تأثیر این مؤلفه ها در هر یک از پارامترهای حداکثر بارحد خطی، حداکثر بار تحملی و انرژی جذب شده توسط پانل بتنی و نیز ضریب طاقت IIO، به صورت نمودار مقایسه ای آمده است. پانل های دارای ۲٪ الیاف، حداکثر حد تحملی ماتریس بیشتری نسبت به پانل های دارای ۱٪ و ۱/۵٪ دارند، پس از زایل شدن حد تحمل ماتریس سیمان، الیاف مجبور به تحمل بار می شوند. وارد شدن یکباره بار به الیاف به خصوص در ماتریس های با حد تحمل زیاد بار در حد خطی ممکن است منجر به بیرون کشیدگی الیاف از درون ماتریس شود و حجم الیاف و تعداد آن در منطقه ترک می تواند باعث توزیع تنش شود، طبیعی است که حجم زیادتر الیاف یا با توزیع شدت بار زیاد می تواند مؤثر باشد یا با بار کم و تحمل تغییر شکل بیشتر به ادامه باربری پانل کمک خواهد نمود. این مطلب کمک شایانی به شکل پذیری و انعطاف پذیری این نوع محصول بتنی خواهد نمود. برای بررسی اثر نوع الیاف Glass در پارامترهای مؤثر مقاومت خمشی، این مشخصه ها در جدول ۸ مقایسه شده و نرخ رشد این مشخصه ها در پانل های ساخته شده با الیاف NEG Glass نسبت به پانل های ساخته شده با الیاف Cinoma Glass آمده است. ترکیب همگن الیاف NEG Glass در مخلوط بتنی یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در افزایش مؤلفه های شاخص بتن الیافی بوده و این برتری مشخصه ها با درصد تفاوت دیده می شود. از معایب استفاده از الیاف های Cinoma Glass، وجود الکتریسیته ساکن بین الیاف است که باعث چسبیدن الیاف به یکدیگر می شود. مهم ترین پارامتر در مقاومت خمشی، میزان جذب انرژی می باشد که بالا بودن این مشخصه نشانه آن است که یا بار تحملی بیشتر بوده است و یا تغییر مکان حداکثر و یا هر دو پارامتر. هر یک از این دو مشخصه می تواند پارامتر کاربردی در استفاده از این نوع بتن های خاص باشد.

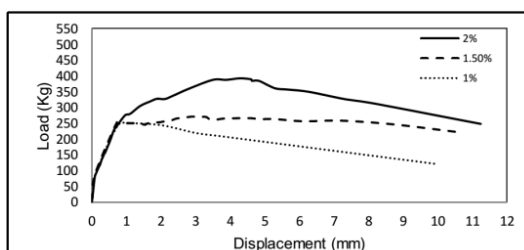
نتایج فوق نشان می دهد که رفتار پانل های بتنی مسلح به الیاف NEG Glass تفاوت قابل ملاحظه ای نسبت به پانل های بتنی مسلح به الیاف Cinoma Glass دارند. در این پانل ها با استفاده از درصد های مختلف الیاف، تا نزدیک به دو برابر در میزان جذب انرژی، تفاوت خواهیم داشت. تمامی نتایج ارائه شده تا کنون نشان از بالاتر بودن تمامی مشخصات در طرح اختلاط ۱ در بتن های با الیاف NEG Glass می باشد.



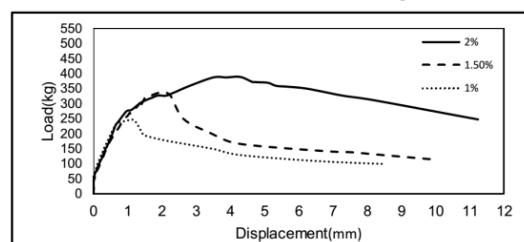
الف- نمونه های BW-1 الی BW-3



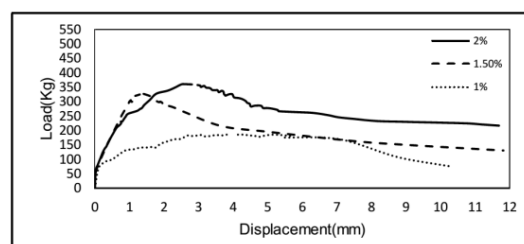
ب- نمونه های BW-4 الی BW-6



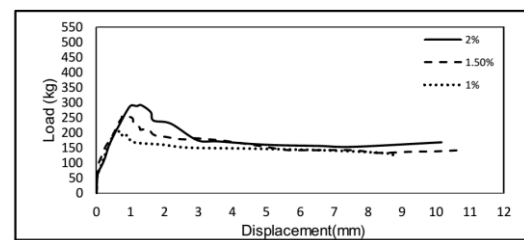
ج- نمونه های BW-7 الی BW-9



د- نمونه های BW-10 الی BW-12

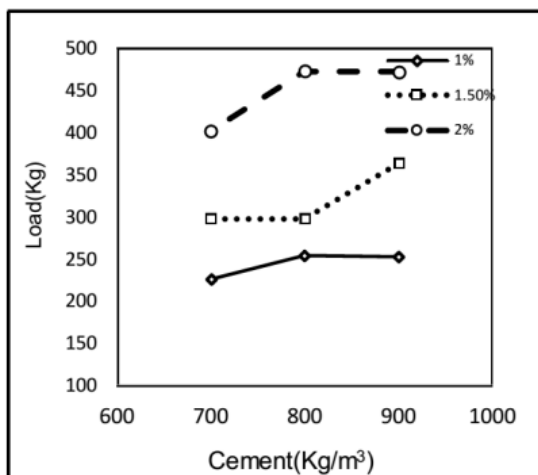


ه- نمونه های BW-13 الی BW-15

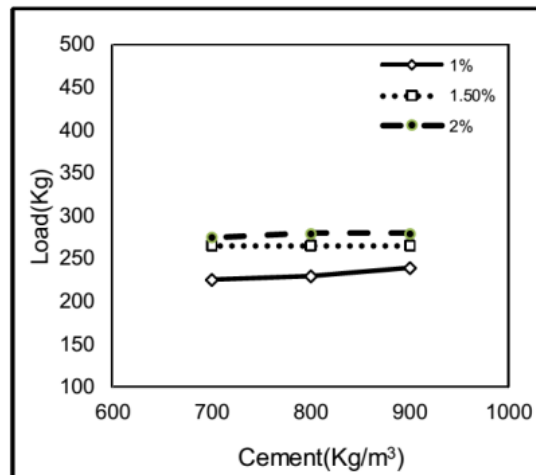


و- نمونه های BW-16 الی BW-18

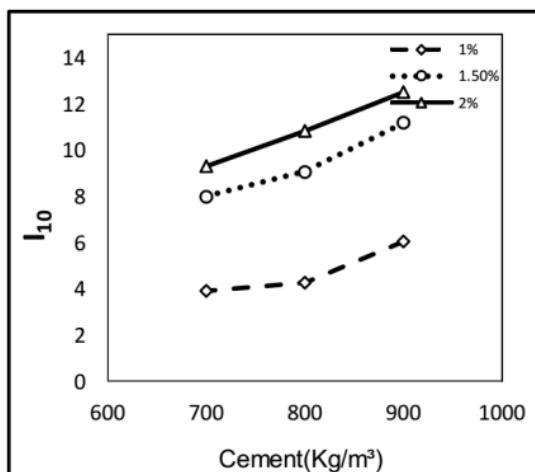
شکل ۱۱- مقایسه نمودار بار - تغییر مکان پانل های ساخته شده با سیمان و مصالح سفید و انواع الیاف



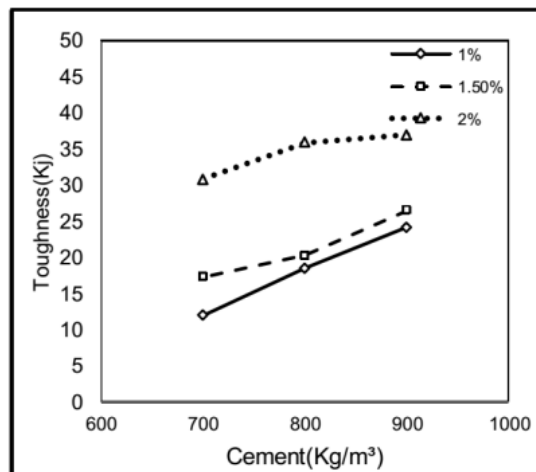
ب - حداکثر بار تحملی بر حسب سیمان



الف - حداکثر بار خمشی بر حسب سیمان



د - ضریب طاق I10



ج - انرژی جذب شده بر حسب سیمان

شکل ۱۲ - تأثیر درصد حجمی الیاف بر روی پارامترهای مقاومت خمشی پانل‌های ساخته شده (BW-1 الی BW-9)

جدول ۸- مقایسه پارامترهای مهم در آزمون مقاومت خمشی پانل‌های بتنی با سیمان و مصالح سفید مسلح به الیاف NEG Glass

نسبت به پانل‌های بتنی مسلح به الیاف Cinoma Glass

نمایه طرح	افزایش بار در خمشی %	افزایش حداکثر بار تحملی %	افزایش جذب انرژی %	درصد افزایش ضریب طاق (I10) %
BW-1 و 10A, BW-10 و 10A	20,0	13,2	80,6	36,9
BW-2 و 2A, BW-11 و 11A	-15,5	15,9	72,75	38,9
BW-3 و 3A, BW-12 و 12A	0,0	22,7	68,18	46,0
BW-4 و 4A, BW-12 و 12A	64,3	19,5	63,72	-9,4
BW-5 و 5A, BW-14 و 14A	-24,3	-16,8	25,31	-0,6
BW-6 و 6A, BW-14 و 14A	-26,3	30,1	60	5,6
BW-7 و 7A, BW-16 و 16A	-2,2	13,6	26,32	-1,8
BW-8 و 8A, BW-16 و 16A	1,9	17,3	28,62	75,1
BW-9 و 9A, BW-18 و 18A	-23,6	23,7	105,9	27,9

در خمش را به دنبال دارد. در جدول ۹ مشخصات نمونه های BG 1- الی BG-18 پانل های GFRC با مصالح و سیمان خاکستری که از روی نمودار بار- تغییر مکان استخراج شده آمده است. با مقایسه نتایج مشاهده می شود که اضافه شدن سیمان سفید در طرح های اختلاط به مصالح سفید باعث افزایش بار تحملی و انرژی جذب شده می شود. قیاس های فوق با فرض الیاف NEG Glass در هر دو حالت با مصالح و سیمان سفید و مصالح و سیمان خاکستری صورت گرفته است. با جایگزین کردن الیاف Cinoma Glass به جای NEG Glass روند فوق صادق نیست. رفتار مصالح و سیمان سفید و خاکستری با الیاف Cinoma Glass مشابهت بیشتری داشته و این مطلب در مورد حداکثر بار تحملی در دو مصالح روند کاملاً مشابهی داشته و موارد حداکثر بار خطی و جذب انرژی تنها و در حالت ۲٪ الیاف کاملاً مشابه است. در جدول ۱۰ اثر نوع الیاف در پارامترهای مهم مقاومت خمشی در نمونه پانل های بتنی با مصالح و سیمان خاکستری مقایسه شده است. در این جدول نسبت رشد پارامترهای مهم پانل های بتنی ساخته شده با الیاف NEG Glass نسبت به پانلهای بتنی ساخته شده با الیاف Cinoma Glass آورده شده است.

نتایج نشان می دهد که تحمل بار با افزودن درصد الیاف، روند صعودی داشته و حضور ۲٪ الیاف NEG در پانل بتنی باعث ادامه روند صعودی ظرفیت باربری در تمامی طرح اختلاط ها می شود. روند تأثیر درصد حجمی الیاف بر روی پارامترهای مقاومت خمشی پانل ها با بررسی چهار مشخصه حداکثر بار خطی، حداکثر بار تحملی، انرژی جذب شده و ضریب طاقت I10 انجام شد که در بین مشخصه های فوق دو پارامتر انرژی جذب شده و ضریب طاقت به جهت اهمیت شکل پذیر بودن بتن های الیافی اهمیت بیشتری دارند. مهم ترین مشخصه یعنی انرژی جذب شده در الیاف NEG بازه ۱۰ تا ۴۰ کیلو ژول داشته، در حالی که در الیاف Cinoma این بازه به ۱۰ تا ۲۰ کیلو ژول محدود می شود. در پانل های بتنی با الیاف NEG با اضافه شدن درصد حجمی الیاف و همچنین مقدار سیمان بر میزان ضریب طاقت افزوده می گردد، در حالی که در پانل های بتنی با الیاف Cinoma روند درصد حجمی الیاف و میزان ضریب طاقت مطابقت دارد، ولی با مقدار سیمان مشابه نیست و در طرح اختلاط ۲ بیشترین ضریب طاقت مشاهده می شود. در صورت استفاده از مصالح و سیمان سفید با الیاف NEG، طرح اختلاط او در صورت استفاده از الیاف Cinoma، طرح اختلاط ۲ نتیجه بهتری

جدول ۹- مشخصه های نمونه های ۱ BG - الی ۱۸ BG طبق نمودار بار- تغییر مکان

نوع الیاف	نماینده طرح	میانگین بار در حد خطی (Kg)	میانگین حداکثر بار تحملی (Kg)	میانگین میزان جذب انرژی (Kj)	ضریب طاقت I10
1	BG -1, 1A	12	205	۱۷/۵	3
	BG -2, 2A	160	2۸2	18/13	6
	BG -3, 3A	230	4۵۰	28	7/1
2	BG -4, 4A	200	223	13/53	5/1
	BG -5, 5A	280	312	15/2	6/8
	BG -6, 6A	330	473	23	10/6
3	BG -7, 7A	230	242	15/3	6/5
	BG -8, 8A	260	323	16	10/8
	BG -9, 9A	370	444	18/4	12
1	BG -10, 10A	250	240	8/2	4/6
	BG -11, 11A	280	312	14/32	2/7
	BG -12, 12A	300	380	19	8/4
2	BG -13, 13A	170	184	7/5	5/2
	BG -14, 14A	260	257	12/1	6/7
	BG -15, 15A	270	350	15/11	10/9
3	BG -16, 16A	140	185	6/7	4/8
	BG -17, 17A	240	244	8/2	4/2
	BG -18, 18A	290	345	12/09	9/2

جدول ۱۰- مقایسه پارامترهای مهم در آزمون مقاومت خمشی پانل های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری مسلح به الیاف NEG

Glass نسبت به پانل های بتنی مسلح به الیاف Cinoma Glass

درصد افزایش ضریب مقاومت (d10) %	درصد افزایش جذب انرژی %	درصد افزایش حداکثر بار تحملی %	درصد افزایش بار در حد خطی %	نمایه طرح
-34/2	113/4	-14.6	-29/4	BG-1 و 1A , BG-10 و 10A
123/1	26/61	-9/6	-18/1	BG-2 و 2A , BG-11 و 11A
-15/3	47/37	18/4	-39/1	BG-3 و 3A , BG-11 و 11A
-1/8	80/4	21.2	-42/5	BG-4 و 4A , BG-13 و 13A
0/9	25/62	21.4	-5/4	BG-5 و 5A , BG-14 و 14A
-2/6	52/22	35.1	-57/6	BG-6 و 6A , BG-15 و 15A
34/7	128/4	30.8	-2/2	BG-7 و 7A , BG-16 و 16A
153/1	95/12	32.4	1/9	BG-8 و 8A , BG-16 و 16A
31/2	52/19	28.7	-62/8	BG-9 و 9A , BG-18 و 18A

برای تشخیص تفاوت نتایج در نوع بارگذاری ، آزمایش بارگذاری تک محوری بر روی نمونه های BW-19A و BW-20A انجام شده و نتایج آن با حالت بارگذاری گسترده بر روی نمونه های BW-19 و BW-20 مقایسه می گردد. این نتایج که در جدول ۱۲ ارائه شده حاکی از آن است که حداکثر بار تحملی در شکل بارگذاری گسترده در حدود ۵ تا ۱۰ درصد بیشتر از بارگذاری متمرکز بوده که این مطلب به علت توزیع بار و در نتیجه عدم تمرکز تنش و همچنین بکارگیری از پتانسیل الیاف در تحمل تنش می باشد. در این حالت بارگذاری همچنین میزان جذب انرژی ۲۲ تا ۳۶ درصد بیشتر از حالت بارگذاری تک محوری می باشد. به تعبیری در پانل های ۱٪ الیاف مقدار اختلاف ۲۲٪ و در پانل های ۲٪ الیاف این اختلاف ۳۶٪ می باشد یعنی با افزایش مقدار الیاف، اختلاف قابل توجهی بین رفتار نمونه تحت بار گسترده و متمرکز به وجود می آید.

عمده بار وارده به قطعات GFRC نصب شده به عنوان قطعات نما، بار باد پیش بینی شده است. عملکرد این بار در لحظه اولیه به حالت فشاری بوده و با فاصله زمانی چند ثانیه با ایجاد کشش در سطح، عملکرد متفاوتی خواهد داشت. از این رو با مدل بار رفت و برگشتی اثر این نوع بارگذاری را در چند نمونه محدود با ضخامت ۶۰ میلی متر بررسی نموده و با رسم منحنی بار- تغییر مکان نمونه ها و رسم منحنی پوش مطابق شکل ۱۴، این نمودار را با نمودار بارگذاری تک محوری مقایسه می نماییم.

روند تغییرات مشخصه ها علاوه بر نوع و درصد الیاف به نوع مصالح و درصد حجمی الیاف بر روی مشخصه های مقاومت خمشی نمونه های بتن الیافی با مصالح و سیمان خاکستری نیز وابسته خواهد بود. حداکثر بار تحملی با مقدار سیمان بکار رفته در طرح اختلاط نرخ تغییرات زیادی ندارد در حالی که این مشخصه با تغییر درصد الیاف قویاً رشد می کند. انرژی جذب شده در طرح اختلاط ۱ در تمامی حالات بیشتر بوده و هر چه میزان الیاف طرح بیشتر باشد این مشخصه نیز بیشتر خواهد بود.

در جدول ۱۱ روند بارگذاری گسترده بر روی نمونه های با ضخامت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی متر به منظور تخمین مشخصات دیگر ضخامت ها مشخص شده است. یقیناً برای تخمین صحیح باید از آزمایش بر روی نمونه ها با گستره ضخامت بیشتری به نتیجه گیری رسید. با این حال به علت امکانات محدود این پژوهش بر روی دامنه ضخامت ۲۰ تا ۶۰ میلی متر انجام شده است. تمامی نمونه های فوق در طرح اختلاط ۱ و با الیاف NEG Glass ساخته شده است. در شکل ۱۳ می توان به شیب زیاد تغییرات در دو پارامتر بررسی شده با ضخامت ۲۰ الی ۴۰ میلی متر اشاره نمود. این نرخ تغییرات در ضخامت ۴۰ الی ۶۰ میلی متر تغییرات کمتری دارد. در این شکل ها می توان مشخصه های فوق را در ضخامت های نزدیک به دامنه مورد بررسی تخمین زد. با درون یابی غیر خطی در اعداد جدول ۱۶ برای پانل با ضخامت ۱۵ میلی متر و حضور ۲ درصد الیاف در طرح اختلاط حداکثر بار تحملی ۸۸ کیلو گرم و انرژی جذب شده ۴ کیلو ژول خواهد بود.

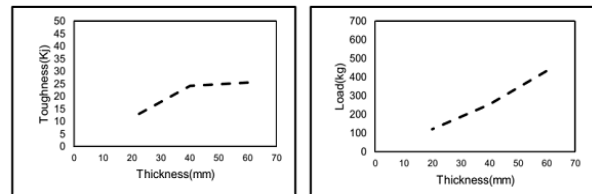
جدول ۱۱- مشخصه های نمونه ها با ضخامت های مختلف در

طرح اختلاط ۱

الیاف %	نماینه	ضخامت (mm)	حداکثر بار تحملی (Kg)	میزان جذب انرژی (Kj)	ضریب طاقت I ₁₀
1	BW-19	60	430	25/4	5/43
	BW-1	40	253	24/2	6
	BW-22	20	120	11/35	9/5
1/5	BW-20	60	480	31/37	5/7
	BW-2	40	364	26/5	10/2
	BW-23	20	170	11/82	7/8
2	BW-21	60	640	40/94	6/7
	BW-3	40	472/5	37	12/5
	BW-24	20	180	14/31	11/9

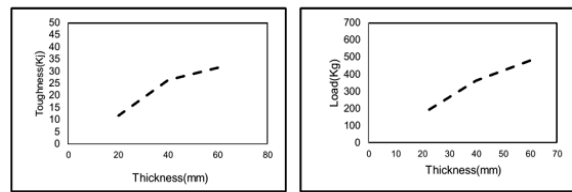
سیکل بارگذاری و هم چنین حداکثر بار تحملی تا ۲۵ درصد افزایش خواهد داشت. با مطالعه نمودارهای پوش در می یابیم که بارگذاری رفت و برگشتی فقط منطقه خطی منحنی بارگذاری تک محوری را شامل شده است. در منحنی های بار - تغییر مکان تحت بارگذاری رفت و برگشتی با سیکل های برابر، رفتار نمونه در حالت اعمال بار فشاری و کششی تقریباً یکسان بوده است و در این نمودار کاملاً خطی رفتار شده است.

برای رسم منحنی پوش، اولین بار فشاری در هر سیکل را از نتایج بارگذاری رفت و برگشتی استخراج نموده و با داشتن تغییر مکان معادل آن منحنی پوش قابل ترسیم در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.



الف- ۱٪ الیاف

با مطالعه این نمودارها در می یابیم که بارگذاری رفت و برگشتی فقط منطقه خطی منحنی بارگذاری تک محوری را شامل شده است. این مطلب به هیچ عنوان نمی تواند به مفهوم عدم نقش الیاف به حساب آید چرا که نمونه بدون الیاف قادر به تحمل سیکل های بارگذاری نبوده و در اینجا به نقش الیاف در انسجام ماتریس خمیر سیمان پی خواهیم برد. در منحنی های بار - تغییر مکان تحت بارگذاری رفت و برگشتی با سیکل های برابر، رفتار نمونه در حالت اعمال بار فشاری و کششی تقریباً یکسان بوده است و در این نمودار کاملاً خطی رفتار شده است.

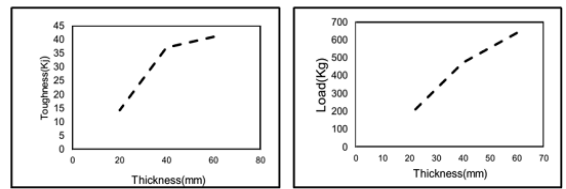


ب- ۱/۵٪ الیاف

جدول ۱۲- مشخصه های نمونه ها در دو حالت بارگذاری تک

محوری و گسترده

الیاف %	حالت بارگذاری	حداکثر بار تحملی (Kg)	میزان جذب انرژی (Kj)	ضریب طاقت I ₁₀	نماینه
1	متمركز	400	20/77	5/17	BW-19A
	گسترده	430	25/4	5/43	BW-19
1/5	متمركز	440	23/35	6/2	BW-20A
	گسترده	480	31/37	5/7	BW-20
2	متمركز	610	29/9	7/17	BW-21A
	گسترده	640	40/94	6/7	BW-21



ج- ۲٪ الیاف

شکل ۱۳- تغییرات حداکثر بار تحملی و میزان جذب انرژی

بر حسب ضخامت پانل و درصد الیاف

در این بارگذاری، ۳ سیکل در هر دوره بارگذاری و باربرداری تکرار شده و افزایش بارگذاری ۵۰ کیلو گرم در هر سیکل انجام شده است. در جدول ۱۳ روند این تغییرات به صورت نموداری نمایش داده شده است. نمونه های مورد بررسی با طرح اختلاط ۱، مصالح و سیمان سفید با درصد های مختلف الیاف ساخته شده است و مشاهده شد با افزایش درصد الیاف مصرفی، تفاوت قابل ملاحظه ای در مشخصه های رفتاری ایجاد می شود که با افزایش درصد الیاف در تعداد سیکل های بارگذاری تا ۳۷ درصد افزایش

جدول ۱۳- مشخصه های آزمون رفت و برگشتی

نماینه	درصد الیاف	تعداد سیکل بارگذاری	حداکثر نیروی تحملی
BCW - ۱	1	8	400
BCW - ۲	1/5	11	550
BCW - ۳	2	14	680

با سه نوع طرح اختلاط ساخته شد و آزمایش های مقاومت خمشی تحت بار گسترده، بار متمرکز و بار رفت و برگشتی انجام شد تا تأثیر استفاده از الیاف شیشه در ترکیب با دیگر مصالح بتن، بر روی مشخصه هایی نظیر میزان جذب انرژی، انعطاف پذیری، ضریب طاقت خستگی به دست آیند. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی بر روی نمونه های فشاری و خمشی به صورت زیر ارائه می گردد.

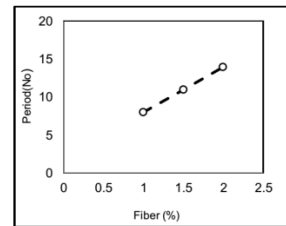
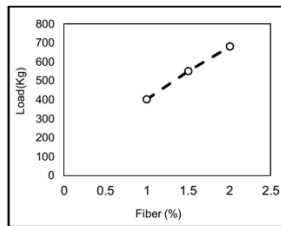
۱- با استفاده از ۱/۵ و ۲٪ الیاف Cinoma Glass، قادر خواهیم بود که مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه بدون الیاف داشته باشیم. این افزایش مقاومت در طرح اختلاط با ۸۰۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب بیشترین مقدار بوده و در سایر موارد چشم گیر نبوده است. در این بین مصالح و سیمان سفید نسبت به مصالح و سیمان خاکستری مقاومت بیشتری داشته اند و نمونه های مکعبی با الیاف Cinoma مقاومت بیشتری نسبت به نمونه های دارای الیاف NEG از خود نشان داده اند.

۲- با انجام آزمون مقاومت خمشی تحت بار گسترده بر روی پانل ها، مشخص شده است که در یک طرح اختلاط هرچه درصد الیاف زیادتر گردد، مشخصه های مقاومت خمشی نظیر میزان جذب انرژی و ضریب طاقت رشد داشته اند.

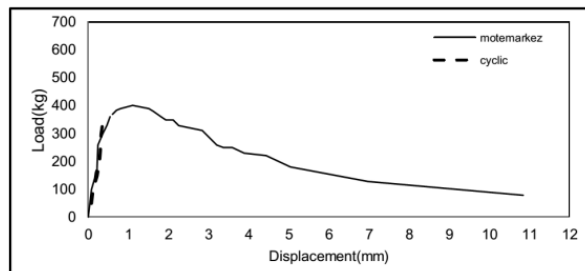
۳- حجم زیاد الیاف می تواند به توزیع شدت بار زیاد یا تحمل بار کم همراه با تغییر شکل های زیاد بعد از ترک خوردن نمونه کمک که در حالت دوم شاهد شکل پذیری بیشتر قطعه بتنی خواهیم بود.

۴- در بین پانل های ساخته شده با مصالح و سیمان سفید با درصد های مختلف الیاف NEG نرخ تغییرات جذب انرژی از ۱/۵ به ۲٪ الیاف بیشتر از نرخ تغییر از ۱ به ۱/۵٪ بوده است و همچنین با افزایش مصرف سیمان در طرح اختلاط شاهد افزایش پارامترهای مقاومت خمشی هستیم. با تغییر نوع الیاف به الیاف Cinoma میزان جذب انرژی به شدت افت می کند که با توجه به نزدیک بودن مشخصات مکانیکی الیاف و همچنین عدم توزیع یکنواخت الیاف Cinoma می توان پخش شدن الیاف NEG را عامل بیشتر بودن جذب انرژی نمونه های ساخته شده با آن دانست.

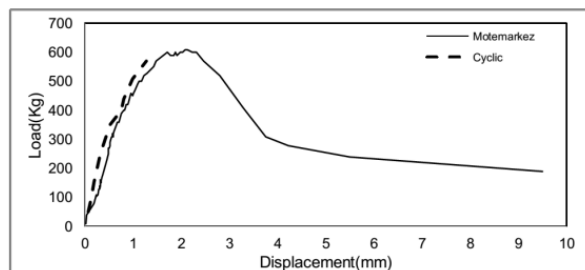
۵- مقایسه نتایج مشخصه های پانل ها با الیاف متفاوت در مصالح و سیمان سفید نشان می دهد که در طرح اختلاط ۱ (۹۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب) و الیاف NEG نتایج بهتری در میزان جذب انرژی و ضریب طاقت خواهیم داشت. این مشخصه ها با حضور الیاف Cinoma در طرح اختلاط ۲ (۸۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب) نتایج بهتری دارد.



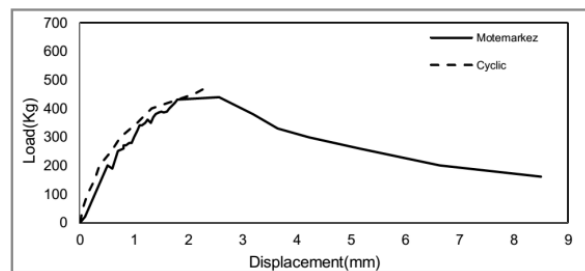
الف - تعداد سیکل بارگذاری شده ب- حداکثر نیروی تحملی شکل ۱۴- تأثیر درصد الیاف در مشخصه های خمشی بارگذاری رفت و برگشتی



الف- نمونه BCW-1 با ۱٪ الیاف



ب- نمونه BCW-2 با ۱.۵٪ الیاف



ج- نمونه BCW-3 با ۲٪ الیاف

شکل ۱۵- نمودار پوش بارگذاری رفت و برگشتی ترسیم شده روی منحنی بار متمرکز

۶- نتیجه گیری

به منظور کاربرد بتن GFRC در ساخت پانل های نمای ساختمانی، پارامترهایی نظیر نوع مصالح، نوع و مقدار سیمان، نوع و درصد الیاف در ۳۶ طرح اختلاط مورد استفاده قرار گرفت و مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۱۰۰ میلی متری محاسبه شد سپس پانل های به ابعاد ۸۰۰×۲۰۰ میلی متر با ضخامت های ۲۰ الی ۶۰ میلی متر

Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete”, Cement and Concrete Research.

[8]. Zhang, M. H. , Shim, V. P. W. , Lu, G. , Chew, C. W. , 2005, “Resistance of High Strength Concrete to Projectile Impact”, International Journal of Impact Engineering, V.31.

[9]. American Concrete Institute (ACI) – 544 Committee report on Fiber Reinforced Concrete, 1988 reviewed, 1999.

[10]. Li, V.C., Wang, Sh. and Wu, Ch., 2001, "Tensile Strain Hardening of PVECC", ACI material journal.

[11]. Li, V.C., 2003, "On Engineered Cementitious Composite", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol1.

[12]. Meyer, Ch., 2005, “Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction”, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics Columbia University NATO Closing Workshop:, Istanbul, Turkey.

[13]. ACI Report 544.2 R-78, ACI. Proc., vol.75, 1978 [۱۴]. بنکدار، ابوذر، "۱۳۹۴"، بررسی رفتار پانل های بتن یافی پر مقاومت در برابر ضربه "پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

[15]. Swami, N., Magat, P. S. , Rao, C.V.S.K., 1974 , “ Fiber Reinforced Concrete”, ACI SP-44.

[16]. Shah, S. P. 1984, "Fiber Reinforced Concrete," in Handbook of Structural concrete .McGraw-Hill Book Company, New York,

[17]. Kernchel, Fiber Reinforced Concrete, ACI SP44 1974.

[18]. American Concrete Institute (ACI) – 544 Committee report on Fiber Reinforced Concrete 1988 reviewed 1999.

[19]. ASTM-C1018- American Standard Test Methods, 2003.

[20]. American Concrete Institute (ACI) 544.3R "Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber reinforced Concrete "1984.

[21]. Bindiganavile, V., Banthia N. , 2001, “Polymer and Steel Fiber-Reinforced Cementitious Composites under Impact Loading- Part 1: Bond-Slip Response, , ACI Material Journal.

[22]. Johnston, C. D. , 1980, “ in Progress in Concrete Technolog, Ottava.

[23]. Vetrotex cem-fil Report, 2002, "GRC Technical Data", copyright in Cem-Fill GRC Technical Data Publication.

[۲۴]. احمدی، رسول - شریفی، مهدی، ۱۳۸۷، "معرفی ویژگی

های بتن های توانمند یافی شکل پذیر"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

۶- طرح اختلاط ۱ در پانل های ساخته شده با مصالح و سیمان سفید

و الیاف NEG و هم چنین مصالح و سیمان خاکستری و الیاف Cinoma و طرح اختلاط ۲ برای پانل های با سیمان و مصالح سفید و الیاف NEG و نیز مصالح و سیمان خاکستری و الیاف NEG نتایج مشخصه بالاتری در نتایج تحلیلی آزمایش ها داشته اند.

۷- مقایسه آزمون بار گسترده و متمرکز نشان داد که در حالت اعمال بار گسترده به علت توزیع بار و هم چنین استفاده از پتانسیل الیاف باعث افزایش ۵ تا ۱۰٪ در تحمل تنش حداکثر بار تحملی و افزایش ۲۲ تا ۳۶٪ در میزان جذب انرژی و ضریب طاقت بود.

۸- نتایج آزمایشات بارگذاری رفت و برگشتی بر روی پانل های ضخامت ۶۰ میلی متر نشان داد که پانل های با ۱، ۱/۵، ۲٪ حجم الیاف به ترتیب ۴۰۰ کیلوگرم در ۸ سیکل، ۵۵۰ کیلوگرم در ۱۱ سیکل و ۶۸۰ کیلوگرم در ۱۴ سیکل کامل را طی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد الیاف مصرفی، تفاوت قابل ملاحظه ای در مشخصه های رفتاری ایجاد شد که با افزایش درصد الیاف در تعداد سیکل های بارگذاری تا ۳۷ درصد افزایش سیکل بارگذاری و هم چنین حداکثر بار تحملی تا ۲۵ درصد افزایش خواهد داشت.

۷- مراجع

[1]. American Concrete Institute (ACI) 544.1R-96, 1998, "State of The Art Report on The Fiber Reinforced Concrete". Manual of concrete practice, ACI-544. 2R-89 Michigan.

[2]. Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., 1990, " Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", ASTM, Vol.12.

[3]. Khayat, K.H., Roussel, Y., 1999, “Testing and performance of fiber reinforced, self-consolidating Concrete”. Skarendahl A, Petersson O, editors. Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete. Stockholm, Sweden.

[4]. Soroushian, P., 1986, " Secondary Reinforcement Adding Cellulose Fiber" , ACI , Concrete International.

[5]. Lin, W.L., 1992, " Toughness Behavior Of fiber Reinforcement Concrete”. Proceeding of the Fourth RILEM International Symposium Sheffield, UK.

[6]. Lan, S. Lok, T.-S., 2004, "Composite Structural Panels Subjected to Explosive Loading”, Construction and Building Materials.

[7]. Song, P.S., Wu, J.C., Hwang, S. , Sheu, B.C., 2004, “Assessment of Statistical Variation in Impact Resistance of High-Strength Concrete and High-

Experimental Investigation of Compressive and Flexural Capacity of Concrete Panels Reinforced with GFRP Fiber

M. A. Asgari

Gartuated M.Sc , Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

M. K. Sharbatdar *

Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

Abstract

Application of fiber is effective step to preventing crack propoganda and remedy concrete tensile strength weakness particularly at the precast and expose walls and shell roofs, so an optimum mix design to obtain acceptable mechanical strengths and reducing cement assumption. An experimental compressive investigation was conducted in this paper and several variables such as different kind and percentage of fiber, different kind and percentage of cement, and different aggregate sizes were considered. 42 compressive 100 mm cubic specimens and 78 GFRP concrete flexural 200 by 800 mm panels at different thickness 20, 40 and 60 mm were casted. Flexural specimens were tested under three different loading; distributed, concentrated, and cyclic loading. The test results showed that even though the compressive strength of concrete specimens were not increased by adding fibers, so white cement and Cinoma fiber showed the more effective compare to those specimens cast with gray cement and NEG fibers. The cement consumption, energy absorption, toughness index of GFRP concrete specimens cast with higher percentage of fiber particularly with NEG fibers were increased. Through increasing fiber percentage, the numbers of cyclic, the maximum tolerated loads at the cyclic loading were consequently increased by 37 and 25%. Comparison of specimens tested under distributed and concentric loadings showed that the maximum tolerated capacity and energy absorption and, toughness index for specimens under distribution loading were respectively increased by 5-10 % and 22-36% due to better load transferring and using fiber potential. The test results from reversal loading on 60 mm thickness panel also indicated that panels with 1, 1.5 and 2 % volume fiber tolerate maximum loads 400, and 550 and 680 kg at 8, 11, 14 cycles respectively. Moreover, the test results showed that Mix 1 with white aggregate and cement and NEG fiber and gray aggregate and cement and Cinoma fiber and also Mix 2 with white aggregate and cement and Cinoma fiber and gray aggregate and cement and NEG fiber can be more effective.

Keywords: GFRP concrete, Flexural Strenght, Crack Porpogation, Distributed loading, Energy absopion.

* Corresponding Author: msharbatdar@semnan.ac.ir

