

## بررسی اثر الیاف شیشه بر ضریب طاقت بتن الیافی

محمد علی دشتی رحمت‌آبادی

استادیار، گروه عمران، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

سعید زینعلی

کارشناس ارشد عمران، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

سید حمید شهبابیر

گروه عمران، واحد فردوس، دانشگاه آزاد اسلامی، فردوس، ایران

علیرضا راسخی صحنه\*

گروه عمران، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران

nishteman@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۰۴

### چکیده:

امروزه کاربرد بتن الیافی به دلیل مزایای آن نسبت به بتن غیرمسلح گسترش یافته است. از جمله این مزایا می‌توان میزان جذب انرژی بالا، بهبود چشمگیر رفتار بتن در ناحیه بعد از ایجاد اولین ترک، بهبود مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه و جلوگیری از ایجاد و گسترش ترکهای جمع‌شدگی را نام برد. طاقت عبارت است از مقدار انرژی که نمونه بتنی در اثر نیروهای ضربه‌ای می‌تواند قبل از گسیختگی کامل تحمل نماید. طاقت از سطح زیر نمودار بار-تغییرشکل در آزمایش خمش یا فشار بدست می‌آید و با ضریبی به نام ضریب طاقت بتن مشخص می‌شود. در این تحقیق اثر الیاف شیشه با درصدهای حجمی ۱، ۲ و ۳ درصد و با دو طول ۳ و ۶ میلیمتر بر ضریب طاقت بتن الیافی بررسی شده است. روش کار به صورت آزمایشگاهی و بر اساس دستورالعمل‌های مندرج در آیین‌نامه ژاپن (نسخه‌های JSCE-SF4) می‌باشد. نتایج حاکی از آنست که با افزایش طول الیاف شیشه‌ای تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقدار ضریب طاقت خمشی بتن رخ نداده است. در نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه‌ای نمونه با ۳ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه با ۲ درصد حجمی الیاف کمترین مقدار ضریب طاقت خمشی را دارد. در نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه‌ای با طول ۳ میلیمتر از مقایسه نتایج مشخص شد که در طول‌های مساوی الیاف ضریب طاقت فشاری بتنی بیشتر است که میزان درصد حجمی الیاف آن بیشتر بوده است.

**کلید واژگان:** بتن الیافی، ضریب طاقت، الیاف شیشه.

## ۱- مقدمه

فولاد، پلی پروپیلن، کربن، بازالت، آرامید، پلی اتیلن و شیشه برای تقویت محصولات سیمان استفاده شده است [۱۸]. پاندرامولی و همکارانش به بررسی اثر الیاف شیشه پرداختند و گزارش دادند که الیاف شیشه باعث افزایش ۲۰ تا ۲۵ درصدی مقاومت فشاری و ۱۵ تا ۲۰ درصدی مقاومت خمشی و کششی شده است [۱۹]. لابل گزارش داد که با افزایش مقدار الیاف شیشه طاقت، مقاومت خمشی و کششی افزایش چشمگیری می یابد [۲۰]. با توجه به موارد فوق، هدف از این تحقیق، بررسی افزودن ۱ تا ۳ درصدی الیاف شیشه با دو طول ۳ و ۶ میلیمتر بر خواص مکانیکی و طاقت بتن است.

## ۲- ساخت نمونه‌ها و آزمایش‌ها

## ۲-۱- مواد و مصالح مورد استفاده:

مصالح مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از ماسه باحداکثر بعد ۴/۷۵ میلیمتر و نخودی باحداکثر بعد ۹/۵ میلیمتر (شکل ۱). این مصالح از معادن اطراف شهر یزد تهیه شدند. همچنین وزن مخصوص درشت‌دانه‌ها و ریزدانه‌ها به ترتیب ۲۶۱۰ و ۲۶۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. سیمان مصرفی در این تحقیق از نوع سیمان پرتلند معمولی بدون ذرات نانو و میکرو سیلیس کارخانه بهروک مهریز در استان یزد و طبق استاندارد ایران (ISIRI 389) می‌باشد. آنالیز شیمیایی سیمان و خواص مکانیکی ملات سیمان در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی

مشخصات	درصد
SiO <sub>2</sub>	۲۱/۲
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳/۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴/۶
CaO	۶۲
MgO	۱/۴
SO <sub>3</sub>	۲/۴۵
Na <sub>2</sub> O	۰/۲۸
K <sub>2</sub> O	۰/۵۹
LOI	۱/۰۲
سطح مخصوص	۰/۳۱۴

بتن یکی از مصالح پر مصرف در صنعت ساختمان می‌باشد و دارای مزایای متعددی از قبیل دوام، شکل‌پذیری و مقاومت مکانیکی مناسب است که این مزایا بتن را به ماده‌ای مناسب در صنعت ساخت و ساز تبدیل می‌کند، اما بتن دارای معایبی از قبیل مقاومت کششی و ظرفیت کرنشی پایین می‌باشد [۳-۱]. تکنولوژی بتن در چهار دهه گذشته پیشرفت چشمگیری داشته و انواع جدیدی از بتن‌ها با مشخصات متعددی توسعه داده شده است. از جمله این نوع بتن‌ها می‌توان به بتن توانمند و بتن فوق توانمند که دارای مقاومت اولیه و نهایی بالایی می‌باشند اشاره کرد. با افزایش مقاومت فشاری تردی بتن افزایش و شکل‌پذیری آن کاهش می‌یابد. یکی از رایج‌ترین راه‌های افزایش شکل‌پذیری بتن استفاده از الیاف می‌باشد. با توجه به اینکه بتن ماده‌ای ترد است، امروزه کاربرد بتن الیافی با نرمی بالاتر به گونه‌ای که بتواند تغییر شکل‌های زیاد را بدون شکست تحمل نماید، مورد توجه محققین و مهندسين است. تحقیقات درباره تأمین نرمی لازم در بتن با الیاف مختلف و حتی در برخی موارد حذف آرماتور، در حال انجام است. هدف کلی از کاربرد الیاف در بتن افزایش میزان جذب انرژی بتن و کنترل گسترش ترک است تا قطعه بتنی بتواند در مقابل بارهای وارده در یک مقطع ترک خورده، تغییر شکل‌های بیشتری را پس از ایجاد اولین ترک تحمل نماید. بتن مسلح به الیاف متفاوت در سال‌های اخیر در سازه‌های چون روسازی راه‌ها و فرودگاه‌ها، پل‌های عظیم با تغییر شکل‌های زیاد و به ویژه در پوشش بتنی تونل‌ها به کار رفته است. محققین مختلفی اثر استفاده از الیاف‌های با هندسه و جنس متفاوت را در بتن مورد بررسی قرار داده‌اند [۴-۷]. افزودن الیاف به ماتریکس بتن تاثیر چشمگیری بر خواص بتن دارد. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که افزودن الیاف باعث بهبود خواص مختلفی از جمله مقاومت کششی، خمشی، ضربه‌ای، طاقت و شکل‌پذیری می‌شود [۳-۸]. با این حال، تاثیر الیاف بر مقاومت فشاری بتن همچنان مورد بحث قرار دارد، زیرا برخی محققان افزایش مقاومت فشاری را مشاهده کردند و برخی دیگر کاهش مقاومت را گزارش داده‌اند [۹-۱۵]. بعضی از محققان [۱۶، ۱۷] حتی نتیجه گرفتند که افزودن الیاف اثر ناچیزی بر مقاومت فشاری دارد. انواع مختلف الیاف مانند آبست، سلولز،

جدول ۲- خواص مکانیکی ملات سیمان مصرفی

توضیحات	سطح مخصوص (سانتی‌متر مربع بر گرم)	انقباض اتوکلاو (درصد)	زمان گیرش		مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)			حداکثر دمای هیتراسیون ۷ روزه (کالری بر گرم)
			اولیه (دقیقه)	نهایی (ساعت)	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	
مقدار در استاندارد ۳۸۹	>۲۸۰۰	<۰/۸	>۴۵	>۶	>۱۰۰	>۱۷۵	>۳۱۵	<۷۰

## ۲-۲- روش اختلاط

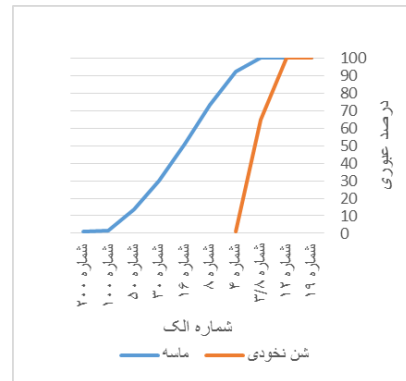
روش مخلوط کردن مصالح به این صورت است که در ابتدا ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه باهم مخلوط شدند. سپس یک سوم وزنی آب اختلاط به مخلوط اضافه شده و به مدت ۳۰ ثانیه باهم مخلوط شدند. در ادامه سیمان و یک سوم الیاف شیشه به مخلوط اضافه شده و به مدت ۲ دقیقه مخلوط شدند. در پایان بقیه آب و الیاف شیشه به مخلوط اضافه و به مدت ۱٫۵ دقیقه مخلوط شدند. تراکم بتن در قالب‌ها با استفاده از میز ویبره آزمایشگاه انجام شد. برای ایجاد تراکم، بتن در دو مرحله در قالب ریخته و متراکم شد. پس از قالب‌گیری بتن تازه، قالب‌های حاوی بتن تازه در آزمایشگاه قرار داده شده و روی آن‌ها گونی تر و روی گونی تر نایلون کشیده شد تا عمل‌آوری نمونه‌ها به‌طور کامل انجام شود. قالب‌های نمونه‌های بتن پس از ۲۴ ساعت باز شده و پس از نام‌گذاری در محلول آب‌آهک اشباع تا ۲۸ روز نگاه‌داشته شدند. در این تحقیق با به‌کارگیری ۶ طرح اختلاط مختلف، که حاوی الیاف شیشه با درصد‌های ۱ و ۲ و ۳ و با طول‌های ۳ و ۶ میلیمتر، نمونه‌هایی بتنی برای تعیین طاقت فشاری و خمشی ساخته شد که نتایج در بخش‌های بعد تشریح می‌شوند.

## ۲-۳- آزمایش ضریب طاقت خمشی

طاقت خاصیتی از یک جسم است که مقاومت اجسام ترد را در برابر شکست نشان می‌دهند. طاقت شکست یک روش محاسباتی برای شکست ترد است زمانی که در ماده ترک وجود داشته باشد. اگر طاقت شکست یک ماده کم باشد، آن ماده به‌صورت ترد می‌شکند و هرچه طاقت شکست بالاتر رود احتمال شکست نرم افزایش می‌یابد. طاقت خمشی مساحت زیر منحنی خیز-نیرو هست که میزان انرژی جذب‌شده را توسط نمونه‌های بتنی نشان می‌دهد بررسی طاقت خمشی مخلوط‌های ساخته شده مطابق آیین‌نامه JSCE-SF4 (1986) انجام‌گرفته است [۲۱]. روش بارگذاری در این آزمایش به شکل ۱/۳ دهانه است. شکل ۳ نمای شماتیک از نحوه بارگذاری را نشان می‌دهد.

جدول ۵- طرح اختلاط بتن

الیاف	سیمان	شن	ماسه	نسبت آب به سیمان
متغیر	۳۵۰	۱۰۵۰	۷۰۰	۰/۵۵



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها

الیاف شیشه مورد استفاده در این تحقیق از شرکت MISOON تهیه شد. خواص فیزیکی و مکانیکی الیاف شیشه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- خواص فیزیکی و مکانیکی الیاف شیشه

مقطع	قطر الیاف میکرومتر	طول الیاف میلی‌متر	مدول الاستیسیته گیگا پاسکال	مدول کشسانی گیگا پاسکال	وزن مخصوص گرم بر سانتی‌متر مکعب
دایره	۱۷-۱۹	۶۰۳	۳۵	۱/۵	۲/۵



شکل ۲- الیاف مورد استفاده

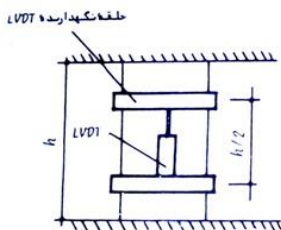
جدول ۴- درصد حجمی الیاف و طول الیاف در یک مترمکعب بتن

نوع الیاف	حجم الیاف درصد	طول (mm)	علامت اختصاری
شیشه	۱	۳	CG1,3
		۶	CG1,6
	۲	۳	CG2,3
		۶	CG2,6
	۳	۳	CG3,3
		۶	CG3,6

اگر نمونه قبل از رسیدن به تغییر شکل ویژه  $\delta_{tb}$  دچار گسیختگی شد سطح قبل از گسیختگی باید به عنوان طاقت در نظر گرفته شود به شرط اینکه کمتر از  $1/150$  طول دهانه  $L$  نباشد.

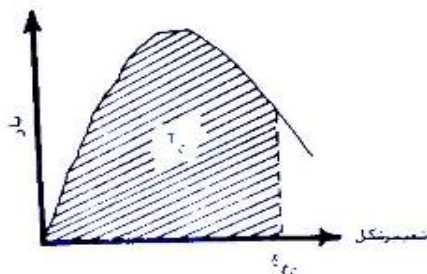
#### ۲-۴- روش محاسبه ضریب طاقت فشاری

نمونه‌هایی که برای تعیین ضریب طاقت فشاری به کار می‌روند طبق آیین‌نامه JSCE-SF2 (1986) باید به شکل استوانه‌ای باشد که ارتفاع آن ۲ برابر قطرش باشد همچنین اگر طول الیاف بیشتر از ۴۰ میلی‌متر باشد قطر نمونه ۱۵ سانتیمتر و اگر کمتر یا مساوی ۴۰ میلی‌متر باشد قطر نمونه ۱۰ سانتی‌متر خواهد بود. وسیله اندازه‌گیری تغییر شکل نمونه دستگاهی است که تغییر شکل را در امتداد نیرو اندازه‌گیری کند این دستگاه باید مجهز به دو وسیله اندازه‌گیری مکانیکی و الکتریکی نوع LVDT با دقت  $1/1000$  میلی‌متر باشد که بتواند تغییر شکل را به دقت اندازه بگیرد. وسیله اندازه‌گیری تغییر شکل باید مستقیماً تغییر شکل را در وسط نمونه اندازه‌گیری کند و نباید با وسیله‌ای که تغییر شکل بین دو فک را اندازه می‌گیرد جانشین شود. سرعت بارگذاری در این آزمایش باید چنان باشد که افزایش تنشی برابر با ۲ تا ۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در ثانیه را بر نمونه وارد کند.

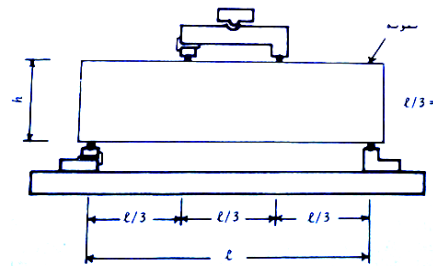


شکل ۵- نمای شماتیک از نحوه بارگذاری آزمایش فشار [۲۱]

طاقت فشاری از سطح زیر منحنی بار-تغییر شکل در آزمایش فشار به دست می‌آید حداکثر تغییر شکلی که در این منحنی انتخاب می‌شود تغییر شکل نسبی  $0.75$  درصد است، نمونه منحنی بار-تغییر شکل در شکل زیر مشهود هست.

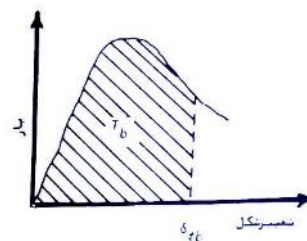


شکل ۶- نمودار بار-تغییر شکل به دست آمده از آزمایش فشار



شکل ۳- نمای شماتیک از نحوه بارگذاری آزمایش خمش [۲۱]

نمونه‌های که برای آزمایش مقاومت خمشی و طاقت خمشی مورد استفاده قرار می‌گیرد طبق آیین‌نامه JSCE-SF2 (1986) باید دارای سطح مقطع مربعی باشند. اگر طول الیاف بیشتر از ۴ سانتیمتر باشد عرض و ارتفاع نمونه ۱۵ سانتیمتر و اگر کمتر یا مساوی ۴ سانتیمتر باشد ابعاد نمونه ۱۰ سانتیمتر خواهد بود. همچنین طول نمونه حداقل ۸ سانتیمتر بیشتر از ۲ برابر ارتفاع نمونه باشد. (طول دهانه تیر باید سه برابر ارتفاع تیر باشد). طاقت خمشی بدین صورت محاسبه می‌شود که وقتی تغییر شکل در امتداد یا وسط دهانه به  $1/150$  طول نمونه رسید، سطح زیر نمودار بار-تغییر شکل را تا سه رقم اعشار محاسبه و به عنوان طاقت خمشی در نظر می‌گیرند شکل ۴.



شکل ۴- نمونه نمودار بار-تغییر شکل به دست آمده از آزمایش خمش [۲۱]

ضریب طاقت خمشی نیز با رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\sigma_b = \frac{T_b \times L}{b \times h^2 \times \delta_{tb}} \quad (1)$$

که در آن  $\sigma_b$  ضریب طاقت خمشی برحسب  $\frac{N}{mm^2}$  یا  $\frac{kg}{cm^2}$

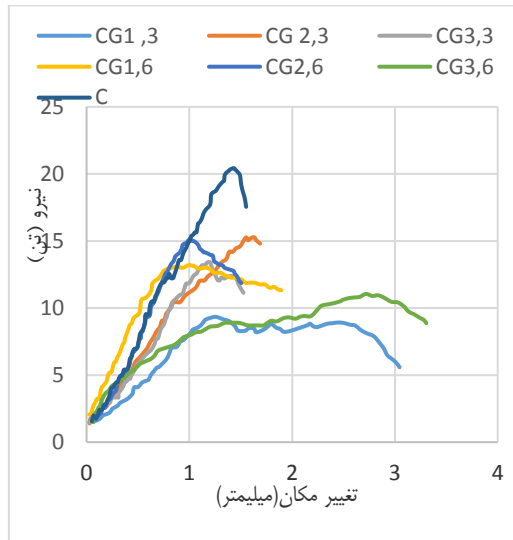
طاقت خمشی برحسب  $kg \cdot cm$  یا  $J$

$L$  طول نمونه برحسب  $cm$  یا  $mm$

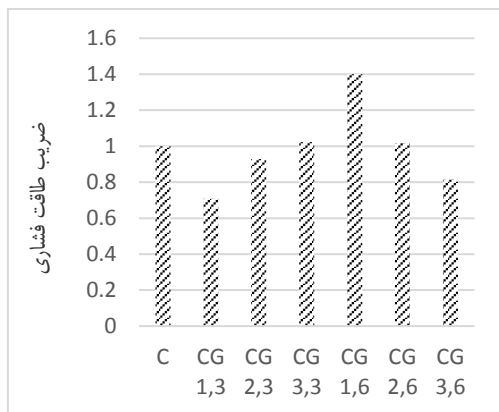
$\delta_{tb}$  تغییر شکل  $1/150$  طول دهانه برحسب  $cm$  یا  $mm$  وقتی طول دهانه ۳۰ سانتیمتر است برابر با ۲ میلی‌متر و اگر ۴۵ سانتیمتر باشد برابر با ۳ میلی‌متر است.

$h$  ارتفاع نمونه برحسب  $cm$  یا  $mm$  ;  $b$  عرض نمونه برحسب  $mm$  یا  $cm$

مساوی الیاف ضریب طاقت فشاری بتنی بیشتر است که میزان درصد حجمی آن کمتر بوده است.



شکل ۷- نمودار نیرو تغییر شکل مخلوطها



شکل ۸- ضریب طاقت فشاری مخلوطها

### ۳-۲- طاقت خمشی

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است با افزودن ۱ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۳ میلیمتر مقدار ضریب طاقت خمشی بتن ۲۷ درصد کاهش یافته است. همچنین با افزودن ۲ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۳ میلیمتر مقدار ضریب طاقت خمشی بتن ۴۸ درصد کاهش یافته است. در ۳ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۳ میلیمتر مقدار ضریب طاقت خمشی بتن ۱۷ درصد کاهش یافته است. در مخلوط‌های حاوی ۱ و ۲، ۳ و ۳ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۶ میلیمتر مقدار ضریب طاقت خمشی بتن به ترتیب برابر ۳۳، ۲۱ و ۱۵ درصد کاهش یافته است. با افزایش طول الیاف شیشه‌ای تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقدار ضریب طاقت خمشی بتن رخ نداده است. در نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه‌ای نمونه با ۳ درصد حجمی الیاف بیشترین مقدار و نمونه با ۲ درصد حجمی الیاف کمترین مقدار ضریب طاقت خمشی را دارد.

طبق شکل ۶ ضریب طاقت فشاری از رابطه ۲ تا سه رقم اعشار به دست می‌آید:

$$\sigma_c = 4 \cdot \frac{T_c}{\pi d^2 \cdot \delta_{tc}} \quad (2)$$

که در آن  $\sigma_c$  ضریب طاقت فشاری برحسب  $\frac{N}{mm^2}$  یا  $\frac{kg}{cm^2}$

$T_c$  طاقت فشاری برحسب kg.cm یا j

$\delta_{tc}$ : تغییر شکل مربوط به معکوس ۰/۷۵ درصد تغییر شکل نسبی برحسب mm یا cm که برابر است با ۰/۷۵ میلیمتر وقتی ابعاد نمونه  $10 \times 20 \times 30$  سانتیمتر باشد و ۱/۲۵ سانتیمتر وقتی ابعاد نمونه  $15 \times 30 \times 30$  سانتیمتر باشد. اگر نمونه قبل از رسیدن به تغییر شکل ویژه  $\delta_{tc}$  دچار گسیختگی شد سطح قبل از گسیختگی باید به‌عنوان طاقت فشاری  $T_c$  در نظر گرفته شود و همچنین مقدار تغییر شکل، معکوس ۰/۷۵ درصد تغییر شکل نسبی خواهد بود.

### ۳-۳- بررسی نتایج

در این بخش نتایج آزمایش‌های طاقت خمشی و فشاری و تحلیل و بررسی شده‌اند.

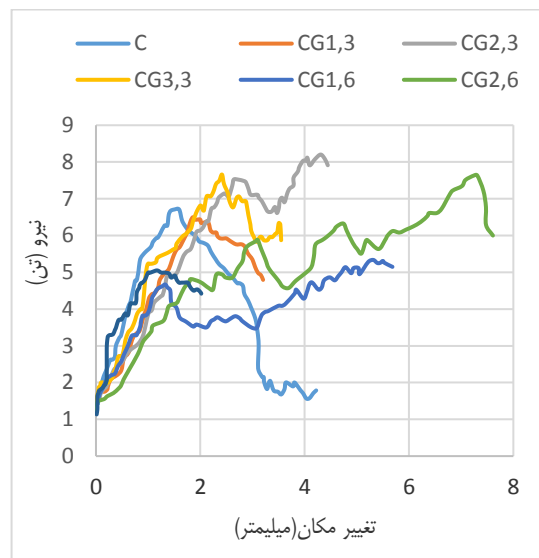
### ۳-۱- طاقت فشاری

نمودار نیرو تغییر مکان و ضریب طاقت نمونه‌های بتن حاوی الیاف شیشه در اشکال ۷ و ۸ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزودن الیاف شیشه مقاومت فشاری کاهش یافته ولی شکل‌پذیری افزایش یافته است. الیاف شیشه به دلیل نرم و منعطف بودن به خوبی نمی‌توانند نقش سنگدانه را در ماتریس سیمانی ایفا کنند در نتیجه سبب کاهش مقاومت فشاری می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است با افزودن ۱ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۳ میلیمتر مقدار ضریب طاقت فشاری بتن ۴۱ درصد کاهش یافته است. مشخص است با افزودن ۲ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۳ میلیمتر مقدار ضریب طاقت فشاری بتن ۷ درصد کاهش یافته است. همچنین با افزودن ۳ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۳ میلیمتر مقدار ضریب طاقت فشاری بتن ۱ درصد افزایش یافته است. با افزودن ۱ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۶ میلیمتر مقدار ضریب طاقت فشاری بتن ۴۰ درصد افزایش یافته است. افزودن ۲ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۶ میلیمتر مقدار ضریب طاقت فشاری بتن ۱ درصد افزایش یافته است. با افزودن ۱ درصد الیاف شیشه‌ای به طول ۶ میلیمتر مقدار ضریب طاقت فشاری بتن ۲۵ درصد کاهش یافته است. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است در درصدهای حجمی ۱ و ۲ درصد، با افزایش طول الیاف مقدار ضریب طاقت فشاری بتن افزایش یافته ولی در نمونه با ۳ درصد الیاف مقدار آن کاهش یافته است. در نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه‌ای با طول ۳ میلیمتر از مقایسه نتایج مشخص شد که در طول‌های مساوی الیاف ضریب طاقت فشاری بتنی بیشتر است که میزان درصد حجمی الیاف آن بیشتر بوده است. در نمونه‌های مسلح به الیاف شیشه‌ای با طول ۶ میلیمتر از مقایسه نتایج مشخص شد که در طول‌های

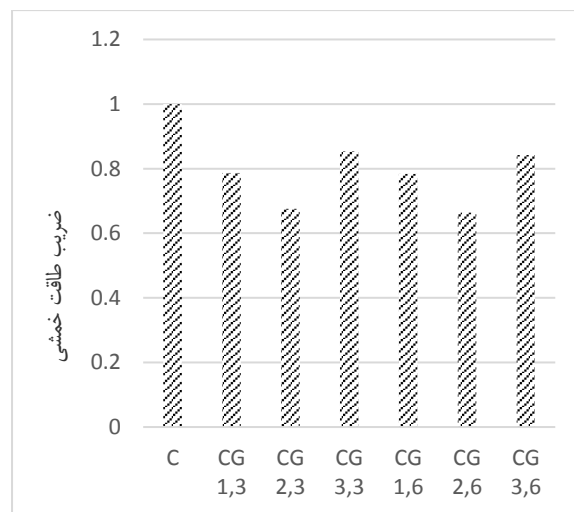
- ۵- با افزایش درصد حجمی الیاف از ۱ درصد به ۳ درصد، ضریب طاقت فشاری بتن در نمونه‌های با طول ۳ میلیمتر ۲۳ درصد کاهش و در نمونه‌های با طول ۶ میلیمتر ۳۰ درصد افزایش یافته است.
- ۶- با افزایش درصد حجمی الیاف از ۲ درصد به ۳ درصد، ضریب طاقت خمشی بتن در نمونه‌ها با طول ۳ میلیمتر ۲۶ درصد افزایش و در نمونه‌ها با طول ۶ میلیمتر ۲۵ درصد افزایش یافته است.
- ۷- با افزایش طول الیاف شیشه از ۳ میلیمتر به ۶ میلیمتر تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقدار ضریب طاقت خمشی بتن رخ نداده است.

#### ۵- منابع و مراجع

- 1- S.T. Tassew, A.S. Lubell, Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete, *Construct. Build. Mater.* 51 (2014) 215–224.
- 2- U.A.S. Faiz, Review of mechanical properties of short fiber reinforced geopolymer composites, *Construct. Build. Mater.* 43 (2013) 37–49.
- 3- C. Jiang, K. Fan, F. Wu, D. Chen, Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete, *Mater. Des.* 58 (2014) 187–193.
- 4- Y. Uchida, N. Kurihara, K. Rokugo, W. Koyanagi, Determination of tension softening diagrams of various kinds of concrete by means of numerical analysis, in: F.H. Wittmann (Ed.), *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, Aedificatio Publishers, Freiburg, Germany, 1995, pp. 17–30.
- 5- D.Y. Yoo, Y.S. Yoon, N. Banthia, Predicting the post-cracking behavior of normal- and high-strength steel-fiber-reinforced concrete beams, *Constr. Build. Mater.* 93 (2015) 477–485.
- 6- Y. S\_ahin, F. Köksal, The influences of matrix and steel fibre tensile strengths on the fracture energy of high-strength concrete, *Constr. Build. Mater.* 25 (4) (2011) 1801–1806.
- 7- D.Y. Yoo, J.H. Lee, Y.S. Yoon, Effect of fiber content on mechanical and fracture properties of ultra-high performance fiber reinforced cementitious composites, *Compos. Struct.* 106 (2013) 742–753.
- 8- K.P. Mehta, P.J.M. Monteiro, *Concrete-Microstructure, Properties and Materials*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2006.
- 9- W. Yao, J. Li, K. Wu, Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low volume fraction, *Cem. Concr. Res.* 33 (2003) 27–30.
- 10- P.S. Song, S. Hwang, Mechanical properties of high-strength steel fiberreinforced concrete, *Construct. Build. Mater.* 18 (2004) 669–673.
- 11- B.X. Li, M.X. Chen, F. Cheng, L.P. Liu, The mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete, *J. Wuhan Univ. Technol.* 11 (19) (2004) 68–71.
- 12- D.P. Dias, C. Thaumaturgo, Fracture toughness of geopolymeric concretes reinforced with basalt fibers, *Cem. Concr. Compos.* 27 (2005) 49–54.



شکل ۹- نمودار نیرو تغییر شکل مخلوطها



شکل ۱۰- ضریب طاقت خمشی مخلوطها

#### ۴- نتیجه گیری

- بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته، نتایج زیر قابل ذکر می‌باشد:
- ۱- با افزودن الیاف شیشه به طول ۳ میلیمتر و مقدار ۱ و ۲ درصد حجمی بتن، ضریب طاقت فشاری بتن ۴۱ و ۷ درصد کاهش یافته است.
  - ۲- افزودن الیاف شیشه به طول ۳ میلیمتر و مقدار ۳ درصد حجمی بتن، ضریب طاقت فشاری بتن یک درصد افزایش یافته است.
  - ۳- افزودن الیاف شیشه به طول ۶ میلیمتر و مقدار ۱ و ۲ درصد حجمی بتن، ضریب طاقت فشاری بتن به ترتیب ۴۰ و ۱ درصد افزایش یافته است.
  - ۴- در الیاف شیشه به طول ۶ میلیمتر به مقدار ۳ درصد حجمی بتن، ضریب طاقت فشاری بتن ۲۵ درصد کاهش یافته است.

- 13- J. Thomas, A. Ramaswamy, Mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete, *J. Mater. Civil Eng.* 19 (2007) 385–392.
- 14- C.D. Atis, O. Karahan, Properties of steel fiber reinforced fly ash concrete, *Construct. Build. Mater.* 23 (2009) 392–399.
- 15- A. Sivakumar, M. Santhanam, Mechanical properties of high strength concrete reinforced with metallic and non-metallic fibres, *Cem. Concr. Compos.* 29 (2007) 603–608.
- 16- L.S. Hsu, C.T.T. Hsu, Stress-strain behavior of steel-fiber high-strength concrete under compression, *ACI Struct. J.* 91 (4) (1994) 448–457.
- 17- N. Banthia, R. Gupta, Hybrid fiber reinforced concrete (HyFRC): fiber synergy in high strength matrices, *Mater. Struct.* 37 (10) (2004) 707–716.
- 18- D.J. Hannant, Fibre reinforced concrete, in: J. Newman, B.S. Choo (Eds.), *Advanced Concrete Technology-processes*, An Imprint of Elsevier, Oxford, 2003, pp. 146–16
- 19- K. Chandramouli, R.P. Srinivasa, N. Pannirselvam, S.T. Seshadri, P. Sravana, Strength properties of glass fibre concrete, *J. Eng. Appl. Sci.* 5 (4) (2010) 1–6.
- 20- S.T. Tassew, A.S. Lubell, Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete, *Construct. Build. Mater.* 51 (2014) 215–224.
- 21- JSCE Standard SF-4. Method of test for flexural strength and flexural toughness of fibre reinforced concrete. Japan Society of Civil Engineers (JSCE); 1984.

## Investigating the Effect of Glass Fiber on the Toughness of Fiber Reinforced Concrete

Mahammad Ali Dashti rahmat abadi

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

said zeinali

Master of Science in Civil Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

Seiyed Hamid Shahabifar

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Ferdows Branch, Ferdows, Iran

Alireza Rasekhisahneh

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Qeshm Branch, Qeshm, Iran

### Abstract:

Fiber reinforced concrete (FRC) has been used widely due to its advantages over plain concrete such as high energy absorption, post cracking behavior, flexural and impact strengths, arresting shrinkage crack. Toughness is the amount of energy that a concrete can withstand by impact forces before rupturing. Toughness is obtained from the area under the force - deflection curve in flexural and compressive test and is characterized by a coefficient called the toughness ratio. In this study, the effect of 3 percentage of glass fiber (1,2 and 3%) with two different size of 3 and 6 millimeter on flexural and compressive toughness of FRC were investigated. The flexural and compressive toughness were carried out in accordance with the JSCE-SF4. The results indicate that by increasing the length of glass fiber, there is no significant change in the amount of flexural toughness. Mixtures with 3% glass fibers has the highest flexural toughness and mixtures with 2% glass fibers has the lowest flexural toughness. Among mixtures with the same length, the mixture with the higher percentage of glass fiber had the highest compressive toughness.

**Keyword:** Fiber concrete, Glass fiber, Toughness