

بررسی تاثیر الیاف شیشه روی خواص مکانیکی کامپوزیت های سیمانی

سروناز معتمد^۱، سید حسام مدنی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران،
sarvenazmoetamed@gmail.com

۲- عضو هیئت علمی دانشکده عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران،
h.madani@kgut.ac.ir

sarvenazmoetamed@gmail.com

چکیده

در این تحقیق، خواص مکانیکی مخلوط های پایه سیمانی مسلح شده با الیاف شیشه مورد بررسی قرار گرفته و با مخلوط شاهد که فاقد هرگونه الیاف می باشد، مقایسه شده است. در مخلوط های مورد مطالعه سیمان پرتلند و کلسیم آلومینات به عنوان عامل چسباننده در ساختار استفاده شده اند. به منظور بررسی مخلوط های مورد مطالعه از آزمون مقاومت فشاری، مقاومت نهایی خمشی چهار نقطه ای، چقرمگی و ضربه بر نمونه های حاوی ۲ و ۴ درصد (درصدی از حجم کل مخلوط) الیاف شیشه که نسبت قطر به طول آن برابر ۰/۰۵۲ می باشد، استفاده شده است. بر اساس آزمون های صورت گرفته، نتایج حاکی از آن است که مخلوط های مسلح شده با الیاف به مراتب مقاومت خمشی بیشتری نسبت به مخلوط شاهد (مخلوط فاقد الیاف) داشته اند و افزایش درصد الیاف شیشه، افزایش مقاومت خمشی را به همراه داشته است و این در حالی است که الیاف در ساختار مخلوط ها تأثیر ناچیزی بر مقاومت فشاری نسبت به مخلوط شاهد داشته اند. همچنین مشاهده گردید که با افزودن الیاف، میزان چقرمگی و مقاومت در برابر ضربه نمونه ها بهبود یافت.

کلمات کلیدی: سیمان پرتلند، سیمان کلسیم آلومینات، الیاف شیشه

Investigating the effect of glass fiber on the mechanical properties of cement composites

Sarvenaz moetamed¹, seyed hesam madani²

- 1- M.Sc in Hydraulic Structures engineering, Graduate University of Advanced Technology, kerman, iran, sarvenazmoetamed@gmail.com
- 2- Assistant professor, Faculty Member of Civil Engineering and Geodesy, Graduate University of Advanced Technology, kerman, iran, h.madani@kgut.ac.ir

sarvenazmoetamed@gmail.com

Abstract

In this research, the mechanical properties of cement based mixtures with glass fiber were compared with plain blend. In this study, a type II portland cement and a calcium aluminate cement have been used. In order to investigate the mechanical characteristics, the tests including compressive strength, the flexural strength, toughness and impact resistance of the mixtures were evaluated at ages from 28 days to 90days. Glass fiber was incorporated in the mixes at replacement levels of 2 and 4 percent (percent of the total volume of the mixture). Based on the results, the fiber-reinforced mixtures had higher flexural strengths compared to the plain mixture (fiber-free mixture) and by increasing the percentage of glass fiber, the final flexural strength was increased, however the glass fibers had little effects on the compressive strength compared to the plain mixture. It was also observed that by adding fibers the toughness and impact resistance of the specimens were also improved.

key words :Portland cement,Calcium aluminate cement,Glass fiber

۱. مقدمه

در بتن، الیاف برای بهبود خواص مکانیکی، شکل پذیری و کنترل الگوهای ترک خوردگی استفاده می شوند [۴-۱]. الیاف های متعددی در صنایع بتنی مورد استفاده قرار می گیرند که در این بین الیاف های فولادی، شیشه، کربن، آرامید و پلی پروپیلن از شناخته ترین الیاف ها محسوب می گردند. الیاف به هم متصل می شوند و یک ترکیب یکپارچه و کمتر مستعد جدا شدگی ایجاد می کند [۵]. استفاده از الیاف در بتن و ساخت بتن الیافی به عنوان یک گام مؤثر در جلوگیری از انتشار ریز ترک ها و ترک ها محسوب می شود. مهم ترین مشخصه بتن های الیافی، خاصیت جذب انرژی، انعطاف پذیری و مقاومت آن در مقابل ضربه است و به همین دلیل امروزه استفاده از الیاف نقش بسیار جدی در پیشرفت تکنولوژی بتن ایفا کرده است [۶ و ۷]. یکی از الیاف هایی که در بتن کاربرد فراوانی دارد الیاف شیشه می باشد. بتن الیافی با الیاف شیشه به دو صورت، اسپری کردن (الیاف شیشه بر روی ملات اسپری می شود و با غلطک های مخصوص فشرده می شود) و مخلوط کردن (اضافه کردن الیاف شیشه به ملات در زمان هم زدن مواد). تولید می شود.

بتن و ملات ممکن است از انواع گوناگونی از سیمان ها و مواد افزودنی تولید گردد. بخشی از این مخلوط ها با سیمان های آلومینات کلسیم ساخته می شوند. برخی از خواصی که با استفاده از سیمان های کلسیم آلومینات به دست می آیند، از جمله سخت شدن سریع و کسب مقاومت زودهنگام در سنین پایین، مقاومت در برابر ضربه و سایش می باشد. از این مخلوط پایه سیمانی در مواردی از قبیل استفاده در کارهای تعمیراتی (به دلیل خاصیت زودهنگام در سنین پایین) و همچنین در ساخت دیواره تونل ها استفاده می شود [۸-۱۰].

در این مقاله به بررسی خواص مکانیکی ملات های مسلح شده با الیاف شیشه پرداخته شده است. تا کنون استفاده از الیاف شیشه در مخلوط های ساخته شده با سیمان کلسیم آلومینات مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا می توان با استفاده و کاربرد الیاف گوناگون در ساختار مخلوط های پایه سیمانی خواص مکانیکی را بهبود بخشید و نوآوری ویژه ای در صنایع تولید مصالح پایه سیمانی (ملات، بتن و گروت) انجام داد. در این تحقیق از مخلوط کردن الیاف شیشه به میزان ۲ و ۴ درصد از حجم کل مخلوط استفاده شده است و آزمون های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، چقرمگی و ضربه برای بررسی خواص انجام شده است.

۲. مواد و مصالح

۱.۲. سیمان

در این پژوهش از دو نوع سیمان پرتلند و کلسیم آلومینات به صورت مجزا استفاده شده است. سیمان پرتلند و کلسیم آلومینات مصرفی به ترتیب از نوع تیپ II کرمان و کلسیم آلومینات IRC-40 می باشد که آنالیز شیمیایی این دو سیمان مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند تیپ II و کلسیم آلومینات

نوع سیمان	$\text{SiO}_2\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3\%$	$\text{So}_3\%$	$\text{Mgo}\%$	$\text{Cao}\%$	$\text{Ti}_2\text{O}\%$
پرتلند	۲۱/۵۰	۴/۹۵	۳/۹۷	۲/۲۰	۱/۷۵	۶۳/۵۲	-
کلسیم آلومینات	۴	۳۵	۱۶/۵	-	۱/۵	۴۰	۳

۲.۲. سنگدانه

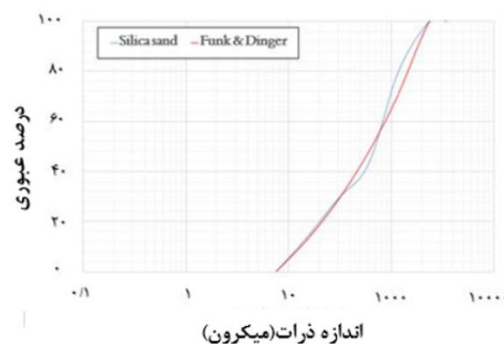
در طرح اختلاط مورد بررسی، جنس سنگدانه سیلیسی بوده و از معدن کهبد کرمان زمین تهیه شده است. دانه بندی و مشخصات فیزیکی سنگدانه های مصرفی به ترتیب در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است. شکل شماره ۱ بیشترین سازگاری (بهترین فیت شدگی) بین دانه بندی سنگدانه موجود با منحنی فانک و دینگر با توان ۰/۳ را نشان می دهد که نسبت هر کدام از ۳ دانه بندی ماسه سیلیسی مورد استفاده در این پژوهش با ابعاد ذرات ۰/۶ تا ۲/۳۶، ۰/۴ تا ۰/۵ و کوچکتر از ۰/۱۵ میلی متر، به ترتیب برابر ۴۸٪، ۲۰٪ و ۳۲٪ می باشند تا این فیت شدگی مطابق با منحنی فانک ایجاد شود.

جدول ۲- دانه بندی سنگدانه ها

شماره الک	۴	۸	۱۶	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
ماده							
نوع (۱)	۱۰۰	۱۰۰	۶۷/۹۳	۱۲/۱۲	۴/۱۰	۰/۴۰	۰
ماده							
نوع (۲)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷	۶۳/۷۵	۲۲	۱۳
ماده							
نوع (۳)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۷۰

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سنگدانه

وزن مخصوص ترکیبی سنگدانه ها (ماسه های سیلیسی)	جذب آب در حالت SSD (%)
۲۵۵۴ Kg/m ³	۰/۶



شکل ۱- همپوشانی و سازگاری دانه بندی ترکیبی با منحنی فانک و دینگر با توان ۰/۳

۳.۲. الیاف

در این تحقیق از الیاف شیشه با طول ۲۵ میلی‌متر استفاده شده و از کارخانه دیسمان تهیه شده‌اند. سایر مشخصات آن در جدول شماره ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴- مشخصات الیاف بکار گرفته شده در این تحقیق

شیشه	نوع الیاف
۱/۷	مقاومت کششی (GPa)
۸۰/۴	مدول الاستیسیته (GPa)
۲۵	طول (mm)
۰/۱۳	قطر (mm)
۰/۳	جذب آب (%)

۴.۲. آب و روانساز

در این بررسی از آب شرب شهر کرمان و فوق روان کننده مایع بر پایه پلی کربوکسیلات اتر استفاده شده است که PH آن برابر ۶ و وزن مخصوص آن $1/08 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد.

۳. طرح اختلاط

در این تحقیق، نمونه های ملات بر اساس حجم واحد با عیار سیمان ۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ بر پایه سیمان پرتلند و کلسیم آلومینات به صورت مجزا ساخته شده‌اند. به منظور ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان، میزان آب موجود در روانساز از میزان آب مصرفی کم شده و الیاف شیشه به میزان ۲ و ۴ درصد از حجم کل مخلوط استفاده شده است. در این طرح اختلاطها، الیاف افزوده شده به عنوان جایگزینی از وزن ماسه محسوب شده است به همین دلیل مقادیر دانه بندی در نمونه های حاوی درصدهای مختلف الیاف و نمونه کنترل با یکدیگر متفاوت می‌باشد. طرح اختلاط نمونه های ساخته شده مطابق جدول ۵ می‌باشد.

جدول ۵- طرح مخلوط نمونه ها بر حسب حجم واحد

الیاف شیشه	روانساز	ماسه (۳)	ماسه (۲)	ماسه (۱)	سیمان	آب آزاد	W/C	کد طرح اختلاط
(Kg/m ³)								
-	۰/۴۵	۳۲۳/۲۲	۲۰۲/۰۱	۴۸۴/۸۳	۸۵۰	۳۲۳	۰/۳۸	CAC-control
-	۰/۳	۳۱۳/۲	۱۹۵/۷۵	۴۶۹/۸	۸۵۰	۳۲۳	۰/۳۸	PC-control
۱۰۴	۲	۲۹۰/۵۳	۱۸۱/۵۸	۴۳۵/۸	۸۵۰	۳۲۳	۰/۳۸	CG-4%

CG-2%	۰/۳۸	۳۲۳	۸۵۰	۴۶۰/۳۱	۱۹۱/۷۹	۳۰۶/۸۷	۱	۵۲
PG-4%	۰/۳۸	۳۲۳	۸۵۰	۴۲۰/۷۶	۱۷۵/۳۱	۲۸۰/۵	۱۵/۴۳	۱۰۴
PG-2%	۰/۳۸	۳۲۳	۸۵۰	۴۴۵/۲۸	۱۸۵/۵۳	۲۹۶/۸۵	۵/۳۷	۵۲

۴. عمل آوری

نمونه ملات های شاهد و نمونه ملات های الیافی پس از ساخت، قالب گیری شده و توسط میز لرزاننده متراکم شدند. پس از ۲۴ ساعت نمونه ها از قالب خارج شده و به مدت ۷ روز در آب تحت عمل آوری مرطوب و بعد از آن در محیط اتاق، خارج از آب و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تحت عمل آوری خشک قرار گرفتند.

۵. اصول و روش های آزمون

۱.۵. مقاومت فشاری

آزمون مقاومت فشاری، آزمونی رایج و بسیار مهم در مباحث مربوط به خواص مکانیکی ملات می باشد. این آزمون بر روی نمونه های با ابعاد ۵۰ میلیمتر مطابق با استاندارد ASTM C109 [۱۱] انجام گرفته است. این آزمون برای نشان دادن تأثیر الیاف شیشه بر مقاومت فشاری ملات ها صورت گرفته است و بخشی از رفتار الیاف شیشه در ساختار مصالح پایه سیمانی را نشان می دهد. بدین منظور برای انجام این آزمون از جک هیدرولیکی و نمایشگر دیجیتالی با سرعت بارگذاری ۵۳۰ کیلوگرم بر ثانیه استفاده شده است.

۲.۵. مقاومت خمشی نهایی

برای بررسی مقاومت خمشی نمونه ها از قالب های منشوری ۴۰*۴۰*۱۶۰ میلی متری مطابق با آیین نامه EN 196 [۱۲] استفاده شده است. نمونه های خمشی در سن های ۲۸ و ۹۰ تحت آزمایش خمشی چهار نقطه ای (نمونه ها در دونقطه روی تکیه گاه قرار گرفته و نیرو نیز در دونقطه به نمونه اعمال می شود) قرار گرفته اند. سرعت بارگذاری بر روی نمونه ها برابر با ۰،۰۰۰۱۶۹۳ متر بر ثانیه بوده است.

۳.۵. بررسی چقرمگی خمشی معادل با اولین ترک

چقرمگی خاصیتی از یک جسم است که مقاومت اجسام ترد را در برابر شکست نشان می دهد. چقرمگی شکست، یک روش محاسباتی برای شکست ترد است زمانی که در ماده ترک وجود داشته باشد. اگر چقرمگی شکست یک ماده کم باشد، آن ماده به صورت ترد می شکند و هر چه چقرمگی شکست بالاتر رود احتمال شکست نرم افزایش می یابد. چقرمگی خمشی مساحت زیر منحنی خیز-نیرو می باشد که میزان انرژی جذب شده را توسط نمونه های بتنی نشان می دهد. بررسی چقرمگی مخلوط های ساخته شده مطابق آیین نامه ASTM C1018-97 [۱۳] انجام گرفته است.

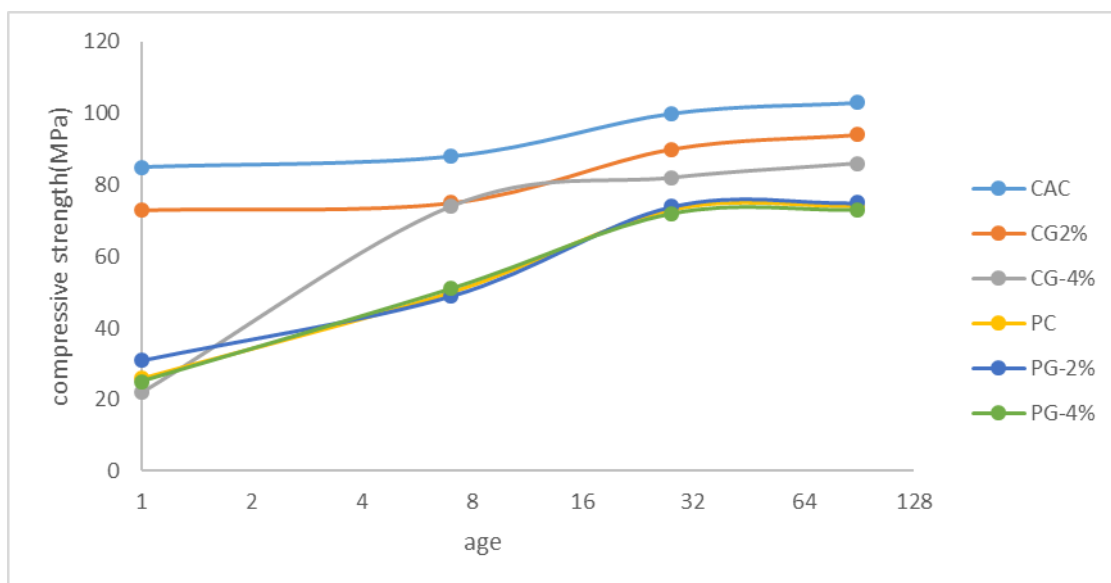
۴.۵. مقاومت ضربه‌ای

آزمون مقاومت ضربه‌ای باهدف تعیین میزان مقاومت نمونه‌های بتنی تحت اعمال ضربه انجام می‌گردد. این آزمون بر اساس استاندارد ACI 544.2R-89 [۱۴] انجام‌شده و روند انجام این آزمایش به صورتی است که یک پلیت با ابعاد 200×200 میلی‌متر در یک‌پایه بتنی جای گرفته سپس سطح پلیت را با وازلین و یا گریس چرب کرده تا از حرکت نمونه بر ورق خودداری گردد، سپس نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۵۲ میلی‌متر و ضخامت ۶۳٫۵ میلی‌متر در دستگاه قرار گرفته و اطراف آن توسط یک فوم الاستومریک تا ایجاد اولین ترک در نمونه پوشانده شده است. پس از جایگذاری نمونه در دستگاه یک توپ استیل سخت با قطر ۶۳٫۵ میلی‌متر در مرکز نمونه قرار می‌گیرد تا بار ضربه اعمالی را از کوبه به نمونه منتقل کند و سپس کوبه $4/5$ کیلوگرمی را از ارتفاع ۴۵۷ میلی‌متری بر روی نمونه رها کرده و تعداد ضرباتی که سبب ایجاد اولین ترک در ساختار نمونه شده یادداشت می‌شود؛ سپس فوم الاستومریک را از اطراف نمونه برداشته و این آزمون را ادامه داده تا نمونه کاملاً شکسته شده و به سه جداره یا چهار جداره اطراف نمونه تماس برقرار کند سپس تعداد ضربات را یادداشت کرده و به‌عنوان عدد گسیختگی نهایی در نظر گرفته می‌شود.

۶. نتایج نمونه‌ها و بحث

۱.۶. مقاومت فشاری

نمودار مقاومت فشاری نمونه‌ها که در شکل ۳ نشان داده‌شده است میانگینی از سه نمونه شکسته شده در سنین ۱، ۷، ۲۸ و ۹۰ می‌باشد.

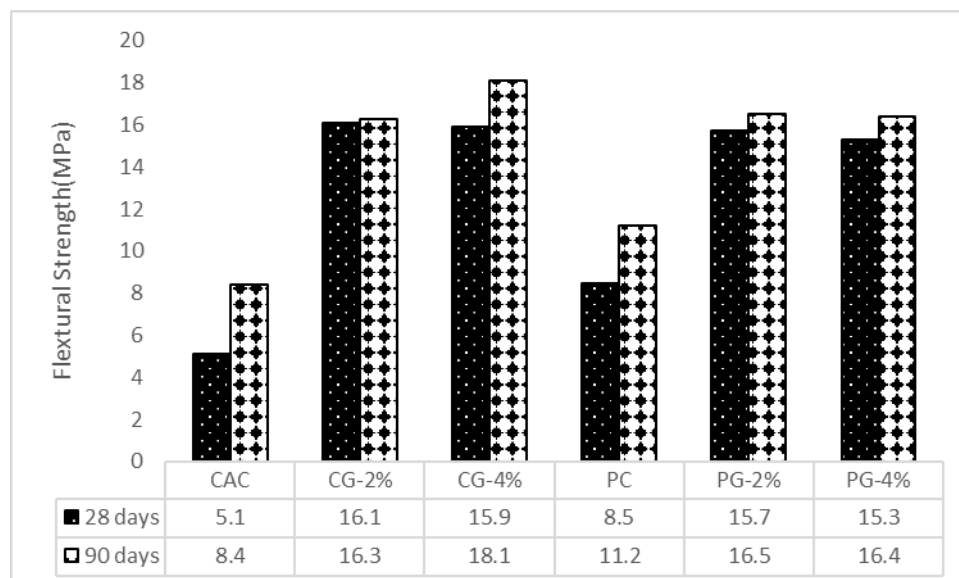


شکل ۴- مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۱، ۷، ۲۸ و ۹۰

همان طور که مشاهده می شود استفاده از الیاف شیشه سبب کاهش مقاومت می گردد. با توجه به شکل و جهت گیری الیاف شیشه، تراکم پذیری ماتریس سیمان در بتن کاسته می شود و این خود باعث کاهش مقاومت می شود همچنین در ساخت طرح های حاوی الیاف شیشه روانساز بیشتری استفاده شده است، با افزایش میزان روانساز، به دلیل تولید حباب هوا مقاومت فشاری با کاهش همراه خواهد بود. البته این کاهش مقاومت نسبت به طرح بدون الیاف چشمگیر نمی باشد. مخلوط شاهد کلسیم آلومینات در سن ۱ روز مقاومتی برابر با ۸۵ مگاپاسکال داشته و مخلوط شاهد سیمان پرتلند نیز مقاومتی برابر با ۲۶ مگاپاسکال داشته که مشاهده می شود، مقاومت فشاری ۱ روزه نمونه شاهد سیمان کلسیم آلومینات ۳/۲۷ برابر مقاومت فشاری سیمان پرتلند در سن ۱ روز می باشد و این نتیجه، سخت شدگی سریع و کسب مقاومت زود هنگام در سنین پایین سیمان کلسیم آلومینات را نشان می دهد.

۲.۶. مقاومت خمشی نهایی

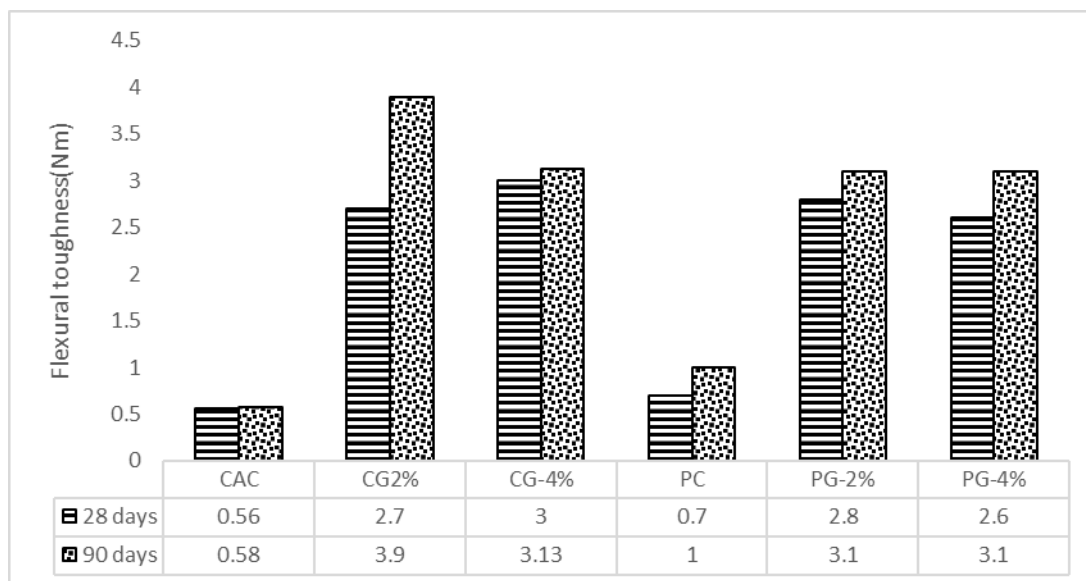
در این بررسی نمونه های ملات آماده شده با ابعاد ۱۶۰*۴۰*۴۰ میلی متر تحت آزمون مقاومت خمشی نهایی قرار گرفتند. طی این آزمون در ۲۸ و ۹۰ روز برای هر طرح، ۳ نمونه با ابعاد مذکور تحت خمش قرار گرفتند و مقاومت میانگین به عنوان مقاومت خمشی نهایی مبنا در نظر گرفته شد. شکل ۴ نشان می دهد که برخلاف مقاومت فشاری با اضافه کردن الیاف مقاومت خمشی نهایی ملات نسبت به نمونه ملات ساده افزایش می یابد. الیاف ها در برابر انتشار ترک ها مقاومت می کنند و تمایل به شکست ناگهانی ساختار بتن را کاهش می دهند و بنابراین باعث افزایش ظرفیت باربری بتن می شوند [۱۵ و ۱۶]. استفاده از الیاف شیشه به میزان ۲ درصد در نمونه حاوی سیمان کلسیم آلومینات در سن ۲۸، ۱/۰۲ برابر مقاومت خمشی آن بیشتر از نمونه حاوی سیمان پرتلند می باشد، همچنین نمونه CG-2% در سن ۲۸ روز نسبت به نمونه شاهد ۳۲٪ افزایش مقاومت خمشی مشاهده می شود.



شکل ۵- نمودار مقاومت خمشی آزمون ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

۳.۶. چقرمگی خمشی معادل با اولین ترک

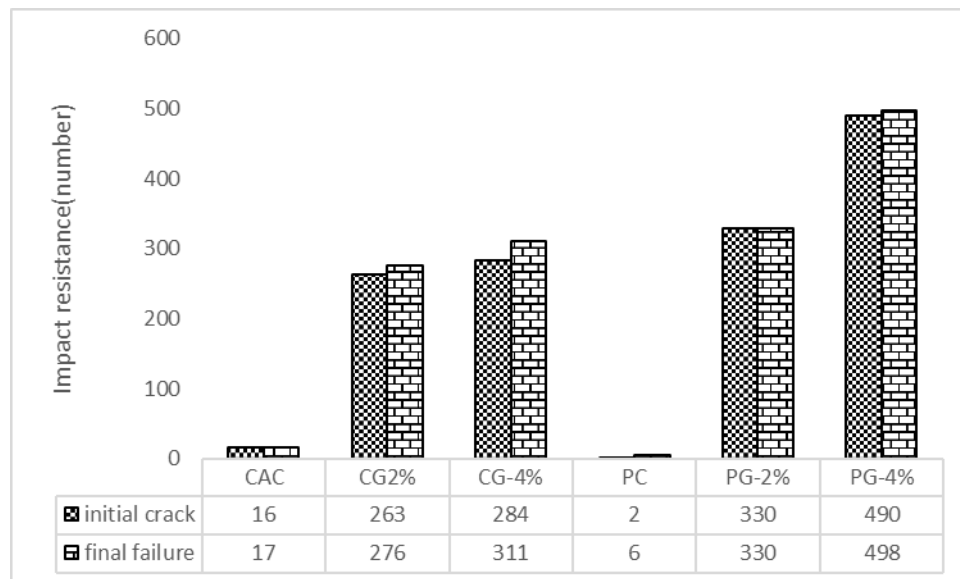
در شکل شماره ۶ چقرمگی خمشی (مساحت زیر منحنی خیز - نیرو معادل با اولین ترک ایجادشده) در سن ۲۸ و ۹۰ روز مشاهده می‌گردد. با افزودن الیاف شیشه چقرمگی تا حد مطلوبی افزایش می‌یابد. چقرمگی بیشتر وابسته به مقاومت ماتریس بتنی می‌باشد و از آنجاکه با استفاده از الیاف مقاومت ترک خوردگی افزایش می‌یابد، میزان جذب انرژی (چقرمگی) نیز با افزایش همراه است. همچنین با افزایش سن نمونه‌ها چقرمگی خمشی نیز افزایش می‌یابد و چقرمگی نمونه‌های شاهد کمتر از نمونه‌های الیافی می‌باشد.



شکل ۶- چقرمگی خمشی در سن ۲۸ و ۹۰ روز

۴.۶. مقاومت ضربه‌ای

در آزمون مقاومت ضربه‌ای دو پارامتر ایجاد اولین ترک بر سطح نمونه و گسیختگی نهایی که وابسته به تعداد ضربات وارده بر سطح نمونه می‌باشد ملاک عمل قرار گرفته است. نتایج آزمون مقاومت ضربه‌ای که در سن ۱۰۰ روز بر روی نمونه‌های اصلاح‌شده با الیاف شیشه و نمونه‌های کنترل انجام شده است در شکل ۷ مشهود می‌باشد. مطابق این شکل مشاهده می‌گردد که ایجاد اولین ترک بر سطح نمونه و گسیختگی نهایی برای نمونه کنترل حاوی سیمان کلسیم آلومینات در شانزدهمین و پانزدهمین ضربه و برای پرتلند در دومین و ششمین ضربه صورت گرفته است. در بررسی ایجاد اولین ترک بر سطح نمونه و گسیختگی نهایی نمونه‌های CG-4% و PG-4% مشاهده می‌شود که افزایش الیاف شیشه سبب بهبود در آزمون مقاومت ضربه‌ای شده است به صورتی که ایجاد اولین ترک بر سطح نمونه در این نمونه‌ها با تعداد ۲۸۴ و ۴۹۰ ضربه انجام شده است. این امر تأثیر الیاف در مخلوط‌های پایه سیمانی را نشان داده به گونه‌ای که در نهایت می‌توان نمود افزایش الیاف شیشه در ساختار پوشش ملات، بهبود مقاومت ضربه‌ای مخلوط در برابر ایجاد اولین ترک بر سطح نمونه و گسیختگی نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که نمونه‌های الیافی حاوی سیمان پرتلند نتایج بهتری نسبت به کلسیم آلومینات از خود نشان داده است.



شکل ۷- مقاومت ضربه‌ای نمونه‌ها در سن ۱۰۰ روز

۷. نتیجه‌گیری

- با توجه به بررسی‌ها و ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی ملات‌های حاوی الیاف شیشه نتایج زیر حاصل شده است:
- افزودن الیاف در ساختار ملات در تمامی سنین در درصد‌های مختلف الیاف سبب کاهش مقاومت فشاری می‌گردد. با توجه به شکل و جهت‌گیری الیاف شیشه، تراکم‌پذیری ماتریس سیمان در بتن کاسته می‌شود به همین دلیل مقاومت کاهش پیدا می‌کند. همچنین روانساز در طرح‌های حاوی الیاف شیشه بیشتر استفاده شده و با افزایش میزان روانساز به دلیل تولید حباب هوا مقاومت فشاری با کاهش همراه خواهد بود. البته این کاهش مقاومت نسبت به طرح بدون الیاف چشمگیر نمی‌باشد. همچنین نمونه‌های حاوی سیمان کلسیم آلومینات در سنین اولیه مقاومت فشاری بیشتری نسبت به پرتلند دارا می‌باشند و این نشان‌دهنده این می‌باشد که سخت‌شوندگی در سیمان‌های کلسیم آلومینات سریع‌تر از پرتلند صورت می‌گیرد.
 - افزودن الیاف شیشه در ساختار ملات‌ها می‌تواند سبب افزایش مقاومت خمشی نهایی نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ گردد. الیاف بسیار باریک شیشه به‌خوبی در ماتریس سیمان جای گرفته‌اند و جلوی ایجاد ترک در بتن را گرفته‌اند در نتیجه بتن می‌تواند نیروهای بیشتری را تحمل کند. اثر الیاف شیشه در سیمان‌های کلسیم آلومینات به دلیل ناحیه انتقالی بهتر و منسجم‌تر از پرتلند، بیشتر می‌باشد.
 - افزودن الیاف به‌طور چشمگیری سبب بهبود چقرمگی خمشی تیرهای بتنی شده است. چقرمگی خمشی بیشتر وابسته به مقاومت ماتریس بتنی می‌باشد و از آنجاکه با الیاف مقاومت ترک‌خوردگی افزایش می‌یابد، میزان جذب انرژی (چقرمگی) نیز با افزایش همراه است.
 - یکی از خواص الیاف شیشه افزایش مقاومت نمونه‌های اصلاح‌شده با الیاف در برابر ضربات اعمالی می‌باشد. در این پژوهش مشاهده گردید که الیاف شیشه سبب افزایش مقاومت نمونه‌های اصلاح‌شده با الیاف در برابر ایجاد اولین ترک

بر سطح نمونه و نیز مقاومت این گونه مصالح در برابر گسیختگی نهایی می باشد. در این آزمون، نمونه های حاوی ۴ درصد الیاف شیشه بیشترین مقاومت ضربه ای را تحمل کرده اند. همچنین نمونه های الیافی باسیمان پرتلند مقاومت بیشتری نسبت به کلسیم آلومینات از خود نشان دادند.

۸. مراجع

- [1] Tassew, S. T., Lubell, A. S. (2014). "Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete". *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp 215–224.
- [2] Shaikh, F. U. A. (2013). "Review of mechanical properties of short fibre reinforced geopolymer composites". *Construction and Building Materials*, vol. 43, pp 37–49.
- [3] Brigante, D. (2014). "New Composite Materials: Selection, Design, and Application". *Springer International Publishing, Switzerland*.
- [4] Jiang, C., Fan, K., Wu, F., Chen, D. (2014). "Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete". *Materials and Design*, vol. 58, pp 187–193.
- [5] Vairagade, V. S., Kene, K. S., Patil, T. R. (2012). "Comparative Study of Steel Fiber Reinforced Over Control Concrete". *Scientific and Research Publications*, vol. 2, pp 3–5.
- [6] ACI Committee 318, (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*.
- [7] Swamy, R. (1992). "Fibre Reinforced Cement and Concrete Proceedings of the Fourth International Symposium held by RILEM (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures) and organized by the Department of Mechanical and Process Engi". Taylor & Franics, Vol. 17.
- [8] Scrivener, K. (2003). "Calcium aluminate cements". in *Advanced Concrete Technology*, pp 1-31.
- [9] Stinnesen, I., Buhr, A., Kockeey-Lorenz, R., Racher, R. (2002). "High Purity Calcium Aluminate Cements, Production and Properties". *Alcoa World Chemicals*.
- [10] Mostafa, N. Y., Zaki, Z. I., Abd, O. H. (2012). "Cement & Concrete Composites Chemical activation of calcium aluminate cement composites cured at elevated temperature". *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, no. 10, pp. 1187–1193.
- [11] ASTM International, ASTM C109/C109M-16a. (2016). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50mm] Cube Specimens)*.
- [12] B. Standards, (2005). "BS EN 196-1: Methods of testing cement — determination of strength".
- [13] ASTM, (1997). "ASTM C1018-97 Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)," *ASTM Stand*.
- [14] ACI Committee 544, (1999). "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete 544.2R-89," *Aci*, vol. 544.2R, no. Reapproved, p. 12.
- [15] Löber, P., Holschemacher, K. (2014). "Structural Glass Fiber Reinforced Concrete for Slabs on Ground". *World Journal of Engineering and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 48–54.
- [16] Kene, K. S., Vairagade, V. S., Sathawane, S. (2012). "Experimental Study on Behavior of Steel and Glass Fiber Reinforced Concrete Composites". *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, vol. 2, no. 4, pp. 125–130.



دهمین کنفرانس ملی بتن
۱۵ و ۱۶ مهر ماه ۱۳۹۷
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

