۱۵۶۸۵۶

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران- گرایش سازه

بررسی ظرفیت خمشی پانل های ساخته شده با بتن مسلّح به الیاف شیشه

استاد راهنما

آقای دکتر محمّدکاظم شربتدار

استاد مشاور

آقای دکترمحمّدعلی کافی

تهیه کننده

محمّد علی عسگری

شهریور ماه ۱۳۸۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
IRANDOC

۱۵۵۸۵۵

۱۳۹۰/۲/۳

تقدیم به آنانکه

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند.

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که شناختش جز با کشف حقایق میسر نگردد و آن نیز میسر نشود مگر با کسب دانش و این، مدیون استاد و همراه صواب خواهد بود.

بی تردید تهیه این پایان نامه، جز با حمایت و پیگیری استاد فرزانه جناب آقای دکتر محمد کاظم شربتدار امکانپذیر نبوده است، از زحمات ایشان صمیمانه سپاسگذارم. همچنین از مشاور محترم پایان نامه جناب آقای دکتر محمد علی کافی به جهت راهنمایی های ایشان تشکر می نمایم.

در انجام این تحقیق آزمایشگاهی، از زحمات مسئول آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان، آقای مهندس محمد بخشایی و دیگر دوستانم آقایان مهندسین احمد دالوند، عباس سیوندی، ابراهیم امامی، مصطفی جابری، سامان سرخوش صمیمانه قدردانی می نمایم.

از مدیر عامل و پرسنل شرکت تدبیر سکنا ایرانیان به جهت مساعدت و تهیه نمونه های آزمایشگاهی کمال امتنان دارم.

اول معلمان زندگی، پدر و مادر عزیزم بوده اند و بی شک بدون مدد و دعای خیرشان موفقیتی حاصل نمی شد، از ایشان کمال قدردانی دارم.

و در انتها از همسر مهربانم که حضورش مقارن با تکمیل تحصیلاتم بوده و این مهم با همراهی و کمک او به ثمر رسیده، صمیمانه سپاسگزاری می کنم.

حیات طیبه نصیبشان و رضایت پروردگار همیشه همراهشان باد.

چکیده

امروزه استفاده از بتن در سازه های عمرانی به عنوان یکی از مصالح اصلی به شمار می آید. تمایل زیاد مهندسین به استفاده از مصالح بتنی منجر به انجام تحقیقات زیادی در زمینه اصلاح معایب آن شده است. یکی از ضعف های مشهور در بتن، تردشکنی و عدم شکل پذیری ذاتی مصالح بتنی بوده و در حال حاضر مسلح نمودن اعضای بتنی به وسیله آرماتورهای فولادی و الیاف گسسته تلاشی جهت غلبه بر آن می باشد. بتن‌های حاوی الیاف شیشه‌ای(GFRC) مخلوطی از ریزدانه، سیمان، آب، افزودنی‌های شیمیایی و الیاف شیشه هستند که همانند بتن‌های معمولی برای اهداف مختلف طراحی می‌شوند. آغاز تحقیقات انجام شده مربوط به این ترکیبات سیمانی مربوط به اوایل دهه ۱۹۶۰ است که تحقیقات بعدی در دهه ۱۹۷۰ منجر به تولید الیاف شیشه ای حاوی اکسیدزیرکونیوم با پایداری زیاد در محیطهای قلیایی شده و سپس اولین استاندارد مشخصات الیاف شیشه ای تدوین شد. شناخت مشخصه های مکانیکی با کاربری استفاده در قطعات نما یا پیش ساخته در سال های اخیر مورد توجه صنعت ساختمان قرار گرفته است، لذا نیاز به تحقیقات بیشتر کاربردی و آزمایشگاهی در این زمینه به خصوص در کشور ایران احساس می شود.

با توجه به نیاز جدی به شناخت علمی و دقیق خواص مکانیکی بتن های حاوی الیاف شیشه در ساخت قطعات بتنی GFRC وکاربرد نتایج آن در صنعت ساختمان کشور ایران ،پایان نامه حاضر به صورت عمدتاً آزمایشگاهی انجام شده است و با در نظر گرفتن متغیر های مختلفی مانند نوع الیاف شیشه ، درصد الیاف، درصد و نوع سیمان و نوع سنگدانه و پارامتر های دیگر ، به طور همزمان نمونه های مکعبی و پانل های بتنی بزرگ جهت محاسبه مقاومت فشاری و خمشی ساخته شده و مورد آزمایش قرارگرفتند. همچنین سعی شده است که طرح اختلاط بهینه به جهت کنترل مقدار سیمان بدست آید. ضمناً انواع بارگذاری متمرکز وگسترده و رفت و برگشتی نیز دراین تحقیق آزمایشگاهی مورد بررسی قرارگرفتند.۴۲ نمونه مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری در طرح اختلاط های متفاوت و ۷۸ پانل بتنی به ابعاد۲۰۰×۸۰۰ میلی متر در ضخامت های۶۰ ،۴۰ ،۲۰ میلی متر برای بررسی مقاومت خمشی تحت بارگذاری گسترده و ۳ پانل بتنی مشابه تحت بارگذاری متمرکز و بارگذاری رفت و برگشتی تهیه و مورد آزمایشات مربوطه قرار گرفتند.

نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نمونه ها نشان داد که استفاده از الیاف NEG Glass در نمونه های مکعبی با مصالح و سیمان سفید اثر افزایشی در این نوع مشخصه نداشته است. حضور این الیاف در مصالح و سیمان خاکستری نیز قابل توجیه در افزایش مقاومت فشاری نمی باشد. به بیان دیگر استفاده از این الیاف باعث کاهش مقاومت فشاری در هر دو نوع مصالح شده است و با استفاده از ۱/۵و ۲٪ الیاف Cinoma Glass، قادر خواهیم بود که مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه بدون الیاف داشته باشیم. این افزایش مقاومت در طرح اختلاط ۲ یعنی با وجود 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. در یک نگاه کلی برای افزایش مقاومت فشاری، نقش الیاف چندان مؤثر نبوده است و می توان با راهکارهای دیگری به رشد این مقوله نائل آمد.

در آزمون مقاومت خمشی تحت بار گسترده بر روی پانل های ۴۰×۲۰۰×۸۰۰ میلی متر، 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. با افزایش مصرف سیمان در طرح اختلاط ، شاهد افزایش پارامترهای مقاومت خمشی هستیم و با تغییر نوع الیاف به الیاف Cinoma میزان جذب انرژی به شدت افت می کند که می توان پخش شدن الیاف NEG را عامل بیشتر بودن جذب انرژی نمونه های ساخته شده با آن دانست. طرح اختلاط ۱(۹۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب) و الیاف NEG و مصالح و سیمان سفید نتایج بهتری در میزان جذب انرژی و ضریب طاقت خواهد داشت. این مشخصه ها با حضور الیاف Cinoma در طرح اختلاط ۲(۸۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب) نتایج بهتری دارد. در مصالح و سیمان خاکستری روند تغییر نتایج متفاوت با پانل های با سیمان و مصالح سفید است. در این نوع مصالح و استفاده از الیاف NEG، با افزایش مقدار سیمان در طرح اختلاط، حداکثر بار تحملی و ضریب طاقت روند نزولی را طی می کنند. طرح اختلاط ۲ برای مصالح و سیمان خاکستری و الیاف NEG بهترین نتایج خمشی را داشته است. با جایگزینی الیاف Cinoma به جای الیاف NEG، مشخصه های مقاومت خمشی بالاتری در طرح اختلاط ۱ شاهد هستیم بنابراین 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 Cinoma و نیز مصالح و سیمان خاکستری و الیاف NEG نتایج مشخصه بالاتری در نتایج تحلیلی آزمایش ها داشته اند در حالت اعمال بار گسترده به علت توزیع بار و هم چنین استفاده از پتانسیل الیاف در تحمل تنش حداکثر بار تحملی، میزان جذب انرژی و ضریب طاقت بیشتری را شاهد باشیم. این تغییرات در حداکثر بار تحملی ۵ تا ۱۰٪ در میزان جذب انرژی ۲۲ تا ۳۶٪ گزارش گردیده است که با افزایش مقدار الیاف، اختلاف قابل توجهی، بین رفتار نمونه تحت بار گسترده و متمرکز شاهد هستیم که با افزایش درصد الیاف مصرفی، تفاوت قابل ملاحظه ای در مشخصه های رفتاری ایجاد می شود به نحوی که با افزایش درصد الیاف در تعداد سیکل های بارگذاری تا ۳۷ درصد افزایش و هم چنین حداکثر بار تحملی تا ۲۵ درصد افزایش خواهد داشت.

فهرست مطالب

موضوع **صفحه**

تقدیر نامه **الف**

چکیده **ب**

فهرست مطالب **د**

فهرست اشکال **ح**

فهرست جداول **م**

فصل اوّل : کلیات

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- تاریخچه کاربرد الیاف ۲

۱-۳- هدف و روش تحقیق ۵

۱-۴- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوّم : بتن های الیافی

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- بتن ۸

۲-۳- بتن‌های پر مقاومت ۸

۲-۴- بتن‌های الیافی ۹

۲-۴-۱- رفتار بتن های الیافی درکشش ۱۰

۲-۴-۲- عملکرد توأمان الیاف و ماتریس ۱۳

۲-۴-۳- شیوه قرار گرفتن و توزیع الیاف در ماتریس ۱۳

۲-۴-۴- توصیه های آئین نامه ACI ۵۴۴/۲R درخصوص بتن های الیافی ۱۴

۲-۴-۴-۱- کارایی ۱۴

۲-۴-۴-۲- مقاومت خمشی ۱۴

۲-۴-۴-۳- مقاومت فشاری ۱۶

۲-۴-۴-۴- مکانیزم بهبود رفتار و افزایش طاقت ۱۷

۲-۴-۴-۵- طاقت و مقاومت در برابر ضربه..... ۱۹
۲-۴-۴-۶- مقاومت در برابر خستگی ۲۰
۲-۴-۴-۷- جمع شدگی خمیری بتن ۲۲
۲-۴-۴-۸- جمع شدگی دراز مدت ناشی از خشک شدن و خزش ۲۲
۲-۴-۴-۹- دوام..... ۲۳
۲-۴-۵- انواع بتن الیافی..... ۲۳
۲-۴-۵-۱- ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف فولادی ۲۳
۲-۴-۵-۲- ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف پلیمری..... ۲۵
۲-۴-۵-۳- ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف شیشه ای ۲۶
۲-۴-۵-۳-۱- خواص فیزیکی و شیمیایی GFRC ۲۸
۲-۴-۵-۳-۲-کاربردهایGFRC..... ۳۰
۲-۴-۶- آزمایش های مربوط به بتن الیافی..... ۳۳
۲-۴-۶-۱- آزمایش اسلامپ (مطابق ASTM C۱۴۳)..... ۳۳
۲-۴-۶-۲- آزمایش زمان جریان در اسلامپ وارونه (مطابق ASTM C۹۹۵)..... ۳۴
۲-۴-۶-۳- آزمایش زمان Vebe..... ۳۴
۲-۴-۶-۴- درصد هوا و وزن مخصوص ۳۴
۲-۴-۶-۵- آماده سازی آزمونه..... ۳۴
۲-۴-۶-۶- مقاومت فشاری..... ۳۴
۲-۴-۶-۷- مقاومت خمشی ۳۵
۲-۵- خلاصه فصل ۳۶

فصل سوّم: معرفی نمونه های آزمایشگاهی و سیستم آزمایشات

۳-۱-کلیات ۳۸
۳-۲- مصالح مصرفی ۳۹
۳-۲-۱- الیاف Glass ۳۹
۳-۲-۲- سیمان..... ۴۰
۳-۲-۳- سنگدانه ۴۱
۳-۲-۴- آب ۴۲
۳-۲-۵- فوق روان کننده..... ۴۲

۳-۳- مشخصات نمونه ها ۴۳
۳-۳-۱- نمونه های مکعبی طرح اختلاط ۴۳
۳-۳-۲- نمونه پانل های آزمون مقاومت خمشی ۴۴
۳-۴- طرح اختلاط بتن ۵۱
۳-۵- مراحل ساخت بتن و نمونه های آزمایشگاهی ۵۳
۳-۵-۱- آماده کردن قالب ها ۵۳
۳-۵-۲- نحوه اختلاط اجزای تشکیل دهنده طرح ۵۳
۳-۵-۳- مراحل بتن ریزی قالب ها ۵۵
۳-۶- طراحی Set-up آزمایشات ۵۷
۳-۶-۱- آزمایش مقاومت فشاری ۵۷
۳-۶-۲- آزمایش مقاومت خمشی گسترده ۵۸
۳-۶-۳- آزمایش مقاومت خمشی تک محوری ۶۲
۳-۶-۴- آزمایش مقاومت خمشی رفت و برگشتی ۶۴
۳-۷- شرایط تکیه گاهی ۶۵
۳-۸- وسایل اندازه گیری و ثبت نتایج ۶۵
۳-۹- چیدمان و نحوه استقرار Set-up ۶۷

فصل چهارم: مشاهدات و نتایج اولیه نمونه ها

۴-۱- کلیات ۷۰
۴-۲- مشاهدات و نتایج اولیه آزمون مقاومت فشاری ۷۱
۴-۳- مشاهدات و نتایج اولیه آزمون مقاومت خمشی ۷۴
۴-۳-۱-تحت بار گسترده ۷۴
۴-۳-۲- نتایج اولیه آزمون مقاومت خمشی تحت بارگذاری تک محوری ۹۰
۴-۳-۳- نتایج اولیه آزمون مقاومت خمشی تحت بار Cyclic ۹۰

فصل پنجم: تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشات

۵-۱- کلیات ۹۵
۵-۲- تجزیه و تحلیل نتایج آزمون نمونه های مقاومت فشاری ۹۵
۵-۲-۱- تحلیل آزمون مقاومت فشاری در نمونه های CW-۱ الی CW-۱۲ ..... ۹۵
۵-۲-۲- تحلیل آزمون مقاومت فشاری در نمونه های CW-۱۳ الی CW-۲۱ ..... ۹۶

۵-۲-۳- تحلیل آزمون مقاومت فشاری در نمونه های CG-۱ الی CG-۲۱..... ۹۷
۵-۳- تجزیه و تحلیل نتایج آزمون مقاومت خمشی تحت بارگسترده ۱۰۲
۵-۳-۱- آزمون مقاومت خمشی پانل های GFRC با مصالح و سیمان سفید ۱۰۲
۵-۳-۲- پانل های GFRC با مصالح و سیمان خاکستری..... ۱۱۳
۵-۳-۳- مقایسه اثر نوع مصالح بر روی مشخصه های مقاومت خمشی پانل هایGFRC ۱۱۹
۵-۳-۴- بررسی تغییر ضخامت پانل بر روی مشخصه های مقاومت خمشی..... ۱۲۳
۵-۳-۵- مقایسه نتایج آزمون بارگذاری به روش بار گسترده و بارگذاری تک محوری ۱۲۵
۵-۴- تحلیل آزمون بارگذاریCyclic روی پانل های GFRC..... ۱۲۷
۵-۵- خلاصه فصل ۱۳۰
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۶-۱- کلیات ۱۳۳
۶-۲- نتیجه گیری..... ۱۳۴
۶-۲-۱- مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی GFRC با ابعاد ۱۰۰ میلی متر..... ۱۳۴
۶-۲-۲- آزمایش مقاومت خمشی ۱۳۴
۶-۲-۲-۱- آزمایش مقاومت خمشی تحت بارگسترده..... ۱۳۴
۶-۲-۲-۲- آزمایش مقاومت خمشی تحت بار متمرکز ۱۳۵
۶-۲-۲-۳- آزمایش مقاومت خمشی تحت بار رفت و برگشتی..... ۱۳۶
۶-۳- پیشنهادات ۱۳۶
مراجع ۱۳۷

فهرست شکل ها

شکل۲-۱ – رفتار بتن های توانمند الیافی تحت کشش مستقیم ۱۱
شکل۲-۲- منحنی شماتیک σ-δ ۱۱
شکل ۲-۳- انواع مود های گسترش ترک خوردگی ۱۳
شکل ۲-۴- کنترل عرض ترک و افزایش تعداد آن ها با وجود الیاف ۱۳
شکل ۲-۵- منحنی بار - تغییر مکان برای انواع بتن با حجم های مختلف الیاف ۱۵
شکل۲-۶- نمودار بار- تغییر مکان بر حسب حجم الیاف ۱۶
شکل ۲-۷- نمودار شماتیک بار- تغییر مکان ۱۸
شکل ۲-۸- نمودار طاقت ضربه ای الیاف بر حسب حجم الیاف با شکل های مختلف ۱۹
شکل ۲-۹- نمودار بار- تغییر مکان و محاسبه شاخص های طاقت برای بتن الیافی ۲۰
شکل ۲-۱۰- نمودارمدول گسیختگی و حد تناسب الاستیک- طول عمر نمونه هایGFRC ۳۱
شکل ۲-۱۱- آزمایش اسلامپ ۳۳
شکل ۲-۱۲- دستگاه آزمایش مقاومت فشاری بتن الیافی ۳۵
شکل ۲-۱۳- آزمایش استاندارد مقاومت خمشی ۳۵
شکل ۲-۱۴- مقایسه تأثیر الیاف در مشخصه های مکانیکی بتن ۳۶
شکل ۳-۲ - سیمان مصرفی در طرح اختلاط ۴۰
شکل۳-۳- سنگدانه های مصرفی ۴۱
شکل۳-۴- فوق روان کننده structru ۵۳۰ ..... ۴۲
شکل۳-۵- طرح های اختلاط برای ساخت نمونه ها ۵۱
شکل ۳-۶- قالب های مورد استفاده در تهیه نمونه ها ۵۳
شکل ۳-۷- مراحل ساخت بتن البافی ۵۴
شکل ۳-۸- بتن ریزی قالب قرارگرفته روی میز ویبره ۵۶
شکل ۳-۹- قطعات بتن ریزی شده در قالب ۵۶
شکل ۳-۱۰- عمل آوری نمونه ها در پوشش نایلون ۵۶
شکل ۳-۱۱- دستگاه آزمایش مقاومت فشاری ۵۷
شکل ۳-۱۲- اولین طرح Set-up بارگذاری گسترده ۵۸
شکل ۳-۱۳- دومین طرح Set-up بارگذاری گسترده ۵۹

شکل ۳-۱۴ - سومین طرح Set-up بارگذاری گسترده ۶۰
شکل ۳- ۱۵- چهارمین طرح Set-up بارگذاری گسترده ۶۱
شکل ۳-۱۶- Set-up بارگذاری گسترده ۶۲
شکل ۳-۱۷- نحوه انجام آزمایش بارگذاری تک محوری ۶۳
شکل ۳-۱۸-آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی ۶۴
شکل ۳-۱۹- شرایط تکیه گاهی Set-up ۶۵
شکل ۳-۲۰- ابزار اعمال نیرو ۶۶
شکل ۳-۲۱- وسایل اندازه گیری نیرو ۶۶
شکل ۳-۲۲- تغییر مکان سنج ۶۷
شکل ۳-۲۳- دستگاه دیجیتال ثبت نتایج ۶۷
شکل۳-۲۴- نحوه قرار گیری جک و وسایل اندازه گیری در Set-up آزمایش ۶۸
شکل ۴-۱- نمونه های آزمون مقاومت فشاری پس از آزمایش ۷۱
شکل ۴-۲- مراحل آزمون بارگذاری خمشی ۷۴
شکل ۴-۳- نمودار بار - تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) و الیاف NEG Glass در طرح اختلاط ۱ ..... ۷۶
شکل ۴-۴- نمودار بار - تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۸۰۰ سیمان) و الیاف NEG Glass در طرح اختلاط ۲ ..... ۷۷
شکل ۴-۵- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۷۰۰ سیمان) و الیاف NEG Glass در طرح اختلاط ۳ ..... ۷۸
شکل ۴-۶- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) و الیاف Cinoma Glass در طرح اختلاط ۱ ..... ۷۹
شکل ۴-۷- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۸۰۰ سیمان) و الیاف Cinoma Glass در طرح اختلاط ۲ ..... ۸۰
شکل ۴-۸- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۷۰۰ سیمان) و الیاف Cinoma Glass در طرح اختلاط ۳ ..... ۸۱
شکل ۴-۹- نمودار بار - تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) و الیاف NEG Glass در طرح اختلاط ۱ ..... ۸۲

شکل ۴-۱۰- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری
(Kg/m^3 ۸۰۰ سیمان) و الیاف NEG Glass در طرح اختلاط ۲ ..... ۸۳
شکل ۴-۱۱- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری
(Kg/m^3 ۷۰۰ سیمان) و الیاف NEG Glass در طرح اختلاط ۳ ..... ۸۴
شکل ۴-۱۲- نمودار بار - تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) و الیاف Cinoma Glass در طرح اختلاط ۱ ..... ۸۵
شکل ۴-۱۳- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری
(Kg/m^3 ۸۰۰ سیمان) و الیاف Cinoma Glass در طرح اختلاط ۲ ..... ۸۶
شکل ۴-۱۴- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری
(Kg/m^3 ۷۰۰ سیمان) و الیاف Cinoma Glass در طرح اختلاط ۳ ..... ۸۷
شکل ۴-۱۵- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) به ضخامت ۶۰ میلی متر و الیافNEG Glass طبق طرح اختلاط ۱ .... ۸۸
شکل ۴-۱۶- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) به ضخامت ۲۰ میلی متر و الیاف NEG Glass طبق طرح اختلاط ۱ ... ۸۹
شکل ۴-۱۷- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) به ضخامت ۶۰ میلی متر و الیاف NEG Glass طبق طرح اختلاط ۱ ... ۹۱
شکل ۴-۱۸- نمودار بار رفت و برگشتی- تغییر مکان پانل بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) به ضخامت ۶۰ میلی متر و ۱٪ الیاف NEG Glass طبق طرح اختلاط ۱ ... ۹۲
شکل ۴-۱۹- نمودار بار رفت و برگشتی- تغییر مکان پانل بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) به ضخامت ۶۰ میلیمتر و ۱/۵٪ الیاف NEG Glassطبق طرح اختلاط ۱ ... ۹۲
شکل ۴-۲۰- نمودار بار رفت و برگشتی- تغییر مکان پانل بتنی با سیمان و مصالح سفید
(Kg/m^3 ۹۰۰ سیمان) به ضخامت ۶۰ میلیمتر و ۲٪ الیاف NEG Glass طبق طرح اختلاط ۱ .. ۹۳
شکل ۵- ۱- اثر درصد الیاف NEG Glass در نمونه های ساخته شده با سیمان و مصالح سفید
(نمونه های CW-۱ الی CW-۱۲) ۹۵
شکل ۵-۲- اثر درصد الیاف Cinoma Glass در نمونه های ساخته شده با سیمان و مصالح سفید
(نمونه های CW-۱۳ الی CW-۲۱) ۹۶
شکل ۵-۳- اثر درصد الیاف NEG Glass در نمونه های ساخته شده با سیمان
و مصالح خاکستری (نمونه های CG-۱ الی CG-۱۲) ۹۸

شکل ۵-۴- اثر درصد الیاف Cinoma Glass در نمونه های ساخته شده با سیمان
و مصالح خاکستری (نمونه های ۱۲- CG الی ۲۱-CG) ۹۹
شکل ۵- ۵- اثر نوع سیمان و مصالح بر روی مقاومت فشاری بتن با درصد الیاف مختلف ۹۹
شکل ۵- ۶- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت فشاری بتن با سیمان و مصالح سفید ۱۰۰
شکل ۵-۷- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت فشاری بتن با سیمان و مصالح خاکستری..... ۱۰۱
شکل ۵-۸- مقایسه نمودار بار- تغییرمکان پانلهای ساخته شده با سیمان و مصالح سفید
والیاف NEG Glassبادرصد متفاوت درطرح اختلاط ۱و۲و۳ (نمونه های۱-BW الی۹-BW)..... ۱۰۵
شکل ۵-۹- مقایسه نمودار بار- تغییرمکان پانلهای ساخته شده با سیمان و مصالح سفید
والیاف Cinoma Glass با درصد متفاوت در طرح اختلاط ۱ و۲ و۳ (۱۰-BW الی ۱۸-BW)..... ۱۰۸
شکل ۵-۱۰ - تأثیر درصدحجمی الیاف بر روی پارامترهای مؤثر در مقاومت خمشی پانل های
ساخته شده با سیمان و مصالح سفید و الیاف NEG Glass (نمونه های۱-BW الی۹-BW)..... ۱۱۱
شکل ۵-۱۱- تأثیر درصدحجمی الیاف بر روی پارامترهای مؤثر در مقاومت خمشی پانل های
ساخته شده با سیمان‌ومصالح سفیدوالیاف Cinoma Glass (نمونه های۱۰-BW الی۱۸-BW) .. ۱۱۲
شکل ۵-۱۲- مقایسه نمودار بار- تغییرمکان پانلهای ساخته شده با سیمان و مصالح خاکستری
والیاف NEG Glassبادرصد متفاوت درطرح اختلاط ۱و۲ و۳ (نمونه های ۱-BG الی۹-BG) ۱۱۵
شکل ۵-۱۳- مقایسه نمودار بار-تغییرمکان پانلهای ساخته شده با سیمان و مصالح خاکستری
والیاف Cinoma Glass بادرصدمتفاوت درطرح اختلاط۱و۲و۳ (نمونه های۱۰-BG الی۱۸-BG) .. ۱۱۶
شکل ۵-۱۴- تأثیردرصدحجمی الیاف بر روی پارامترهای مؤثر در مقاومت خمشی پانل های
ساخته شده با سیمان و مصالح خاکستری و الیاف NEG Glass (۱- BG الی۹ - BG) ۱۱۷
شکل ۵-۱۵- تأثیردرصدحجمی الیاف بر روی پارامترهای مؤثر در مقاومت خمشی پانل های
ساخته شده با سیمان و مصالح خاکستری و الیاف Cinoma Glass (۱۰- BG الی۱۸- BG) ۱۱۸
شکل ۵-۱۶- بررسی اثر مصالح برروی حداکثر بار تحملی پانل های ساخته شده با نوع
و درصد یکسان الیاف ۱۲۰
شکل ۵-۱۷- بررسی اثر مصالح برروی جذب انرژی پانل های ساخته شده با نوع
و درصد یکسان الیاف ۱۲۱
شکل ۵-۱۸- بررسی اثر مصالح برروی ضریب طاقت(I_{10}) پانل های ساخته شده با نوع
و درصد یکسان الیاف ۱۲۲
شکل ۵-۱۹-تغییرات مشخصه برحسب ضخامت پانل ۱٪ الیاف ۱۲۳

شکل ۵-۲۰-تغییرات مشخصه برحسب ضخامت پانل ۱/۵٪ الیاف ۱۲۴
شکل ۵-۲۱- تغییرات مشخصه برحسب ضخامت پانل ۲ ٪ الیاف ۱۲۴
شکل ۵-۲۲- اثردرصد الیاف برروی‌مشخصه‌های‌مقاومت‌خمشی‌درحالات مختلف بارگذاری ۱۲۶
شکل ۵-۲۳- تأثیر درصد الیاف در مشخصه های خمشی بارگذاری رفت و برگشتی ۱۲۷
شکل ۵-۲۴- تاریخچه بارگذاری آزمایش خمشی تحت بار رفت و برگشتی..... ۱۲۸
شکل ۵-۲۵- نمودار پوش بارگذاری رفت و برگشتی ترسیم شده روی منحنی بار متمرکز ۱۲۹

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱- آنالیز شیمیایی انواع مختلف الیاف شیشه ای ۲۷

جدول ۲-۲- برخی خواص انواع الیاف شیشه‌ای ۲۷

جدول ۲-۳-کاربردهای مختلف GFRC ۳۲

جدول ۳-۱- مشخصات الیاف Glass ۴۱

جدول ۳-۲- آنالیز شیمیایی سیمان خاکستری ۴۲

جدول ۳-۳- آنالیز شیمیایی سیمان سفید ۴۲

جدول ۳-۴- آنالیز فیزیکی سیمان ۴۲

جدول ۳-۵- مشخصات نمونه های مکعبی مقاومت فشاری متناسب با نوع مصالح ۴۵

جدول ۳- ۶- مشخصات پانل های آزمایش مقاومت خمشی متناسب با نوع مصالح ۴۷

جدول ۳-۷- مشخصات پانل های آزمایش مقاومت خمشی تک محوری متناسب با نوع مصالح ۴۹

جدول ۳-۸- مشخصات پانل های آزمایش مقاومت خمشی Cyclic متناسب با نوع مصالح ۵۰

جدول ۳-۹- مقادیر مصالح مصرفی در یک متر مکعب بتن ۵۳

جدول ۴-۱- نتایج آزمون مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های GFRC (مکعب ۱۰ سانتیمتری) با مصالح و سیمان سفید ۷۴

جدول ۴-۲- نتایج آزمون مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های GFRC (مکعب ۱۰ سانتیمتری) با مصالح و سیمان خاکستری ۷۵

جدول ۴-۳- مشخصه های نمونه های BW-۱ الی BW-۹ طبق نمودار بار– تغییرمکان. ۱۰۳

جدول ۴-۴- مشخصه های نمونه های BW-۱۰ الیBW-۱۸ طبق نمودار بار– تغییرمکان ۱۰۷

جدول ۴-۵- مقایسه پارامترهای مهم درآزمون مقاومت خمشی پانل های بتنی با سیمان ومصالح سفیدمسلح به الیاف NEG Glass نسبت به پانل‌های بتنی مسلح به الیاف Cinoma Glass ... ۱۰۹

جدول ۴-۶- مشخصه های نمونه های BG-۱ الی BG -۱۸ طبق نمودار بار– تغییرمکان ۱۱۳

جدول ۴-۷- مقایسه پارامترهای مهم درآزمون مقاومت خمشی پانل های بتنی با سیمان و مصالح خاکستری‌مسلح‌به‌الیاف NEG Glass نسبت به پانل‌های بتنی مسلح‌به‌الیاف Cinoma Glass ... ۱۱۴

جدول ۴-۸- مشخصه های نمونه های با ضخامت مختلف در طرح اختلاط ۱ ..... ۱۲۳

جدول ۴-۹- مشخصه های نمونه ها در دو حالت بارگذاری ۱- تک محوری ۲- گسترده ۱۲۵

جدول ۴-۱۰- مشخصه های آزمون رفت و برگشتی ۱۲۷

فصل اوّل

کلیات

۱-۱- پیشگفتار

بتن یکی از مصالح پر مصرف در سازه‌های مهندسی است که نقطه قوت آن در تحمل فشارهای بالا باعث وفور استفاده از آن شده است. این ماده براحتی پس از شکل گرفتن در داخل قالب خواص مکانیکی قابل قبولی پیدا نموده و رشد آن به مرور زمان تکمیل تر می‌گردد. جذب انرژی بالا و مقاوم بودن آن در برابر آتش سوزی از دیگر مزایای آن می باشد.

همراه شدن آرماتورهای فولادی منظم شده در قالب نقطه ضعف بتن در کشش را تا حدود زیادی در اثر اعمال بارهای وارده جبران می‌کند. ولی این ماده حتی بدون اعمال بار پس از شکل گیری در قالب به علت طاقت کم شروع به ترک خوردن نموده که در اثر اعمال بار این ترک‌ها گسترش یافته و گسیختگی در بتن را آغاز می‌نمایند.

با بررسی مداوم سازه‌های بتنی مسلح به ویژه در مناطقی با شرایط جوی دارای اثر مخرب خوردگی، نظر اکثر کارشناسان و متخصصین به این مسأله معطوف گشته است که مقاومت به تنهایی نمی تواند بیانگر کلیه خواص مربوط به بتن بخصوص دوام آن باشد. بنابراین لازم است در طراحی سازه های بتنی برای مناطق مختلف علاوه بر مساله مقاومت و تحمل بار در طول مدت بهره دهی، پایایی و دوام آن نیز مد نظر قرار گیرد.در حال حاضر با اضافه نمودن مواد مختلف به بتن و ارائه طرح اختلاط مناسب می‌توان به بتن هایی دست یافت که بدون تغییر قابل ملاحظه در مقاومت ، دوام بالایی داشته باشند.

۱-۲- تاریخچه کاربرد الیاف

با مرور تاریخچه مصالح ساختمانی، مصری ها را اولین گروه در استفاده از الیاف (کاه) برای مسلح نمودن مصارف خود(آجرهای گلی) می‌یابیم. شواهد دیگر به قدمت حضور الیاف آزبست در تهیه ظروف گلی اشاره دارد.

پروفسور فاوا[۱] از دانشگاه لاپلن[۲] آرژانتین به پرنده‌ای کوچک در آمریکای جنوبی اشاره دارد که قبل از آنکه انسان به فکر استفاده از الیاف بیفتد با کاه و گل آشیانه خود را در بالای درختان بنا می‌کرده است.

---

۱ - Fava

۲ - Laplen

قدیمی ترین نوع الیاف مورد استفاده (آزبست) امروزه به سبب مشکلات زیست محیطی محدودیت کاربرد داشته و حتی برخی از کشورها استفاده از آن را ممنوع اعلام کرده اند. استفاده از دیگر الیاف به منظور تقویت ماتریس‌های شکننده با اولین تحقیقات توسط محققین کشور شوروی در دهه ۱۹۵۰ و سپس دانشمندان آمریکایی در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی آغاز شده است[۱].

اولین بررسی‌ها بر روی الیاف فولادی مستقیم نشان از افزایش قابل توجه شکل پذیری و طاقت شکست این ترکیب کامپوزیتی داشت که بعدها با تنوع اشکال مختلف الیاف فولادی، نتایج بهتری نیز حاصل شد. سال ۱۹۶۵ را می‌توان سرآغاز استفاده از الیاف پلیمری به صورت آزمایشگاهی دانست ولی استفاده عملی از این الیاف تا سال ۱۹۷۰ به وقوع نپیوست. مدول الاستیسیته کم این الیاف تنها کاربرد کنترل ترک‌های اولیه بتن را به خوبی توجیه می‌نمود که مهمترین الیاف از این نوع را الیاف پلی پروپیلن تشکیل می‌دهد. الیاف کربنی با داشتن مدول الاستیسیته و مقاومت بالاتر نسبت به الیاف پلیمری پس از طرح توجیهی اقتصادی موارد مصرف متنوعی پیدا نمود.

بیشترین تحقیقات مربوط به کامپوزیت های ساخته شده با الیاف شیشه‌ای مربوط به اوایل دهه ۱۹۶۰ می‌باشد، تحقیقات انجام شده بر روی الیافی از جنس بوروسیلیکات با اسم تجاری پیرکس (E-glass) و الیاف شیشه‌ای از جنس کربنات سدیم- آهک- سیلیس (A-Glass) بود. مقاومت بتن‌های ساخته شده با این الیاف به علت قلیائیت ماتریس خمیر سیمان به شدت کاهش می‌یافت زیرا این دو نوع الیاف در محیط‌های قلیایی ناپایدار بودند و در نتیجه برای موارد مصرف طولانی مدت مناسب نبودند.

ادامه تحقیقات منجر به تولید الیاف شیشه‌ای مقاوم در برابر محیط‌های قلیایی(AR-Glass) و محصولات پایاتر بتنی از این نوع گردید و بتن های تولید شده (AR-GFRC) نام گرفتند. این تحقیقات توسط واحد مهندسی تحقیقات ساختمانی انگلستان[۱] در سال ۱۹۶۷ آغاز شد. آن ها توانستند الیاف شیشه‌ای حاوی ۱۶٪ زیر کونیوم با پایداری زیاد در محیط‌های قلیایی را تولید کنند.

در سال ۱۹۷۱ AR-Glass توسط شرکت CEM- Fill به تولید انبوه رسید و پس از آن شرکت NEG در ژاپن در سال ۱۹۷۵(AR-glass) با ۲۰ ٪ زیر کونیوم را تولید کرد. از آن پس استفاده از AR-Glass و تولید GFRC افزایش یافت و در دهه ۱۹۷۰ اولین استاندارد مشخصات الیاف شیشه‌ای انتشار یافت. در

---

۱ -BRE = British Research Engineering

دهه ۱۹۸۰ در دوازده پروژه ساختمانی که در آمریکا اجرا شده بود، در ساخت پانل های دیواری از GFRC استفاده گردید و در دو دهه اخیر موارد مختلف استفاده از این محصولات به طور گسترده به وجود آمده است.

علت نام گذاری این نوع الیاف شیشه‌ای داشتن پایه شیشه ایsio_2 است. برخی خواص الیاف شیشه‌ای از قبیل زیاد بودن مدول الاستیسیته نسبت به الیاف پلی پروپیلن، مقاوم بودن در برابر محیط های قلیایی و زیاد بودن مقاومت کششی بتن هایی که با آن ها ساخته می‌شود باعث شده است که به طور وسیعی در صنعت ساختمان به خصوص در ساخت قطعات نما مورد استفاده قرار گیرند.

در دسته بندی بتن‌های الیافی به لحاظ کاربرد می‌توان حالت کلی زیر را ارائه داد :

- بتن های الیافی با الیاف کم (۱% > حجم الیاف) که این حجم الیاف به جهت کاهش میزان جمع شدگی در بتن استفاده می‌شوند.
- بتن‌های الیافی با الیاف متوسط که هدف ، اصلاح خواص سازه‌ای نظیر برش ، عرض ترک و رفتار خمشی می‌باشد که کاربردی نظیر کف‌های صنعتی دارد.
- بتن‌های الیافی توانمند[۱] که نسل پیشرفته بتن‌های الیافی به شمار رفته و در آن حجم الیاف از ۲٪ تا ۲۰٪ متفاوت می‌باشد[۲].

در بتن‌های الیافی سطح مشترک سیمان هیدراته و الیاف مختلف (نظیر فولادی- کربن- پروپیلن - شیشه‌ای زیرکونیوم دار) هیدروکسید کلسیم تجمع می‌یابد و به واسطه آن مقاومت بتن در این نواحی کاهش می‌یابد. با حضور الیاف در واقع سطوح کم مقاومت زیادی را ایجاد شده ولی خود الیاف عامل انتقال تنش و در نتیجه کاهش تمرکز تنش خواهند شد. ترک‌ها در بتن جهت مشخصی نداشته و از طرفی به طرف دیگر عبور می‌کنند که در کل سه حالت فشاری- کششی- برشی را برای گسترش حرکت ترک‌ها می توان در نظر گرفت.

قرار گیری الیاف در جهت عمود بر ترک، پل زدن الیاف را به دنبال دارد و باعث یکپارچگی بتن تا تغییر شکل‌های زیاد خواهد شد و مقاومت خمشی و کششی به دلیل دوزندگی الیاف بالاتر می‌رود. کم شدن تعداد و عرض ترک‌ها باعث کاهش نفوذ پذیری و در نتیجه پایدار شدن بتن در محیط‌های مهاجم می‌گردد[۳].

---

۱ - HPFRC = High Performanceb Fiber Reinforced Concrete