افزایش مقاومت خمشی و انعطاف‌پذیری ماتریس بتن الیافی به روش آزمایشگاهی

(با تغییرات حجمی انواع الیاف)

فریدون خسروی *، سید محمد مویدیان، محمد فیاض، مهدی دهقان نژاد ثانی آبادی

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

چکیده

با افزودن الیاف و همچنین موادی مضاعف در بتن می‌توان خواص بتن از نظر افزایش دوام، انعطاف‌پذیری و مقاومت کششی را افزایش داد. دیگر کاربرد الیاف مصنوعی به‌منظور بهبود خواص مکانیکی و کاهش جمع‌شدگی بتن تازه و سخت شده، افزایش جذب انرژی و مقاومت در برابر ضربه و انفجار را می‌توان اشاره کرد. استفاده از بتن الیافی مزیت‌های زیادی در مقابل استفاده از بتن‌آرمه دارد ضمن آنکه معایبی نیز دارد از جمله عدم توزیع یکنواخت الیاف در ماتریس بتن و عدم چسبندگی مناسب بین الیاف پلیمری در ملات سیمانی است. عموماً از بتن الیافی به دلیل ترک‌های کوچک‌تر و با عرض کم‌تر و دوام بیش‌تر در صورت توزیع یکنواخت الیاف، در قطعات بتنی استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد الیاف مقاومت کششی، شکل‌پذیری ملات و بتن را به نحو قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. در حقیقت الیاف بعد از ترک‌خوردگی در میان صفحات ترک پل می‌زند و باعث افزایش چشمگیری در چقرمگی و ظرفیت جذب انرژی می‌گردد. اضافه نمودن الیاف مصنوعی به بتن مزیت‌هایی چون کاهش ترک‌های گیرش پلاستیک، کاهش ترک‌های افت پلاستیک، افزایش مقاومت ضربه‌ای و افزایش مقاومت در برابر خردشدگی به همراه دارد. در این تحقیق تأثیر انواع الیاف با درصدهای حجمی مختلف بر مقاومت فشاری، خمشی و کششی نمونه‌ها در سن‌های مختلف نسبت به نمونه شاهد به روش آزمایشگاهی سنجیده شده است. انواع نمونه‌ها را برای حالت تعیین مقاومت در برابر انفجارهای سطحی مورد آزمایش قرار داده شده است.

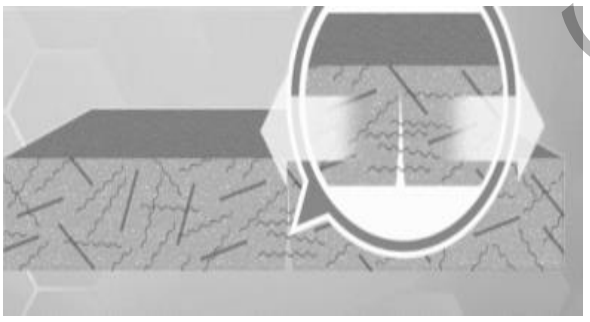
کلمات کلیدی

بتن الیافی، الیاف پلیمری، افزایش مقاومت کششی بتن، الیاف فولادی، روش آزمایشگاهی

ACCEPTED MANUSCRIPT

۱- مقدمه

بتن ماده‌ای ترد است که در تحت نیروی فشار مقاومت بالایی دارد؛ اما در کشش نسبتاً مقاومت آن بسیار ضعیف هست. میلگردهای فولادی برای تحمل نیروهای کششی (بعد از ایجاد ترک در بتن) در سازه‌های بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بتن مسلح، کرنش کششی بتن در ترک بسیار کمتر از کرنش تسلیم میلگرد فولادی است، بنابراین ترک‌خوردگی بتن قبل از اینکه بار قابل‌توجهی به میلگردهای فولادی منتقل شود اتفاق می‌افتد. همچنین از میلگرد فولادی برای محدودکردن عرض ترک‌ها بر اساس الزامات طراحی در بارهای سرویس استفاده می‌شود. در بتن الیافی برخلاف میلگردهای فولادی، الیاف به صورت یکنواخت در مخلوط بتن پخش می‌شوند، از این رو، فاصله بین الیاف‌ها بسیار کمتر از فاصله بین میلگردها می‌باشد؛ بنابراین الیاف می‌تواند در کنترل عرض ترک بتن مؤثرتر از شبکه میلگرد عمل کنند. در نتیجه، تنش‌های کششی توسط الیاف‌ها در مراحل اولیه ترک‌خوردگی تحمل می‌شوند، بنابراین گسترش و الگوهای ترک با توجه به غیرمسلح بودن یا مسلح بودن بتن تغییر می‌کند. شکل ۱ نیز مکانیزم کنترل ترک را توسط الیاف به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. علاوه بر این می‌تواند مقاومت خمشی و کششی بعد از ترک‌خوردگی را نیز فراهم کند. بیش از ۳۰۰۰ سال پیش از الیاف طبیعی برای مصالح شکننده مانند خشت استفاده می‌شد. در زمان معاصر مطالعات علمی متعددی در مورد استفاده از الیاف فولادی در بتن صورت‌گرفته است. از آن زمان تا کنون، هزاران پروژه با استفاده از الیاف، شامل دال‌های روی زمین، سقف‌های عرشه فولادی، دال‌های روی شمع، قطعات پیش‌ساخته و شاتکریت با استفاده از بتن الیافی اجرا شده است. الیاف در حالت کلی می‌تواند به عنوان مکمل و برای کاهش میلگردهای فولادی در اعضای سازهای مختلف نیز استفاده شود. الیاف با اطمینان بالایی ترک‌خوردگی‌های بتن را کنترل می‌کند و مقاومت مصالح در برابر خستگی، ضربه و انقباض [1] یا تنش‌های حرارتی را افزایش می‌دهد. الیاف می‌تواند در بهبود عملکرد اعضای بتنی به دو صورت یکی با افزایش مقاومت کششی بتن و امکان درنظرگرفتن آن در محاسبات سازهای و دیگری کنترل ترک‌خوردگی‌ها و در نتیجه بهبود دوام بتن مؤثر باشد. با گسترش روزافزون سازه‌های بتنی، ویژگی‌هایی نظیر مقاومت و دوام بتن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. از این رو استفاده از بتن‌های خاص و دستیابی به ترکیبات جدیدی از آن‌ها امری ضروری است که می‌توان به افزودن الیاف و همچنین مواد مضاعف برای بهبود خواص بتن اشاره نمود. در سال‌های اخیر، کاربرد الیاف مصنوعی به‌منظور بهبود خواص مکانیکی و کاهش جمع‌شدگی بتن تازه و سخت شده، افزایش جذب انرژی و مقاومت در برابر ضربه بتن و جایگزینی آرماتورهای حرارتی با الیاف، بسیار گسترش یافته است. الیاف، مقاومت کششی، شکل‌پذیری ملات و بتن را به نحو قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. بتن الیافی به عنوان جایگزین بتن مسلح با آرماتور و با توجه به بهبود عملکرد مناسب الیاف در بتن و صرفه اقتصادی و افزایش سرعت بدون افت کیفیت در مهندسی عمران بسیار حائز اهمیت است. اضافه نمودن الیاف مصنوعی به بتن مزیت‌هایی چون کاهش ترک‌های گیرش پلاستیک، کاهش ترک‌های افت پلاستیک، کاهش نفوذپذیری بتن، افزایش مقاومت ضربه‌ای و مقاومت در برابر سایش، افزایش مقاومت در برابر خردشدگی به همراه دارد. انتخاب نوع، جنس، اندازه، هندسه و مقدار الیاف‌ها وابسته به کاربرد و شرایط محیطی و آب هوایی سازه است. طی یک دسته‌بندی کلی نیز الیاف بر حسب جنس ماده تشکیل‌دهنده به صورت طبیعی و مصنوعی می‌باشند. در این تحقیق تأثیر الیاف در درصدهای حجمی مختلف بر مقاومت فشاری و خمشی و کششی نمونه‌ها در سن‌های مختلف نسبت به نمونه شاهد سنجیده شده است.



شکل۱: مکانیسم کنترل ترک توسط الیاف

[1] Shrinkage

ACCEPTED MANUSCRIPT

Figure 1. Crack control mechanism by fibers

در این پژوهش به بررسی جامع انواع الیاف‌ها همچنین اثر انفجار که کمتر در پژوهش‌های دیگر به آن پرداخته شده روی آن کارشده است تا این اثر مهم و تأثیرگذار نیز در بتن الیافی دیده شود.

۲-۱- پیشینه تحقیق

از مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی می‌توان به مقاومت عالی در مقابل ضربه، قابلیت کششی عالی (ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)، قابلیت باربری زیاد بعد از ترک‌خوردگی، مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد و طاقت خیلی زیاد اشاره کرد[۱]. استفاده از الیاف مختلف در بتن و ساخت بتن الیافی به عنوان یک گام مؤثر در جلوگیری از انتشار ریزترک‌ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می‌شود[۲]. به طور کلی نقش اصلی الیاف افزوده شده به بتن ایجاد اتصال بین ترک‌هایی است که به هر دلیلی به وجود می‌آیند اگر الیاف به حد کافی محکم باشند و به طور کامل به ماتریس سیمان بچسبند و مقدارشان در واحد حجم کافی باشد می‌توانند عرض ترک‌ها را کاهش می‌دهند و باعث می‌شود که بتن الیافی تنش‌های بزرگ‌تری را بعد از رسید به حداکثر تنش، در مرحله بعد از ترک‌خوردگی تحمل کنند. بدین ترتیب الیاف بعد از ترک‌خوردگی بتن، باعث شکل پذیری به بتن می‌شوند[۳] ؛ بنابراین افزایش الیاف به مخلوط بتن باعث می‌شود که قسمت‌های ترک‌خورده نیز در مقابل بار از خود مقاومت نشان دهند و در نتیجه می‌تواند نسبت به ماتریس تقویت نشده از خود تغییر شکل بیشتری نشان داده و قابلیت باربری بیشتری داشته باشد[۴]. ریچاردسون[1] و همکارانش در مورد بهبود عملکرد سختی و استحکام خمشی بتن به‌منظور تعیین کیفیت‌های ساختاری که منجر به افزایش عملکرد بالقوه بتن در معرض انفجار بمب می‌شود با استفاده از الیاف سه‌بعدی در مقایسه با الیاف فولادی مقایسه‌ای انجام دادند که نتایج آنها نشان می‌دهد که با مقدار الیاف مساوی، الیاف سه‌بعدی عملکرد بهتری هم در استحکام خمشی و سختی نسبت به الیاف‌های فولادی دارا هستند[۵]. ونکاتسان[2] در مورد اثر الیاف فولادی در بتن در چهار حالت بدون الیاف و با ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ درصد الیاف بر روی مقاومت خمشی تحت بارگذاری ۷۵۰ کیلونیوتن پرداخت. نتایج نشان می‌دهد که با اضافه‌کردن الیاف مقاومت خمشی نیز افزایش می‌یابد؛ ولی در حالت ۱٪ الیاف ظرفیت و مقاومت بالاتری نسبت به سه حالت دیگر دارا می‌باشد که در حدود ۳۰/۰۳ درصد نسبت به حالت بدون الیاف افزایش مقاومت داشته است، همچنین انعطاف‌پذیری در این حالت نیز ۴۱/۳۴ درصد افزایش می‌یابد[۶]. نتایج آزمایش‌های بیگی و همکارانش بر روی مقاومت فشاری و کششی بتن الیافی بیانگر آن بوده است که پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت نمونه‌ها، نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف فولادی دارای بیشترین افزایش مقاومت و نمونه‌هایی که هم‌زمان حاوی ۰/۲۵٪ الیاف پلی‌پروپیلن[3] و ۰/۷۵٪ الیاف فولادی بودند، در جایگاه بعدی قرار دارند[۷]. با توجه به نتایج مطالعات سریزدی و همکارانش، میزان ۰/۵ درصد الیاف اضافه شده در تمامی آزمایش‌ها نشان می‌دهد میزان اتلاف انرژی تا ۳/۸۷ و بیشترین لنگر پیچشی تا ۲/۴۶ برابر نمونه شاهد افزایش داشته است[۸]. مطالعات انجام شده با استفاده از آزمایش‌های بتن سخت شده نشان می‌دهد که با افزایش دوز الیاف فولادی، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. مقاومت فشاری در بتن مسلح به الیاف پلیمری در سن ۷ و ۲۲ روزه ۰/۱۵۰ درصد افزایش یافته است. با افزایش هر دو نوع الیاف، مقاومت کششی افزایش پیدا می‌کند[۹]. مطالعات فرخ زاده و کریمی از انجام آزمایش بر روی ۱۰ طرح اختلاط با سه نوع الیاف متفاوت شامل الیاف فولادی و ماکرو سنتتیک پلی‌الفین و ماکرو سنتتیک پلی‌پروپیلن با ۰،۱/۵، ۱/۵ درصد حجمی، نشان می‌دهد استفاده از الیاف فولادی تأثیر به سزایی روی مقاومت فشاری در درصدهای بالاتر از ۰/۵ نداشته و مقاومت کششی را به صورت محسوسی افزایش داده و مقاومت الکتریکی را کاهش می‌دهد[۱۰]. در تحقیقات زادکریم و همکارانش به تأثیر الیاف فلزی بر رفتار مکانیکی و فیزیکی بتن پرداخته شده است. نتایج به دست آمده در تحقیقات ایشان عبارت است استفاده از الیاف فولادی تأثیر بسزایی در کاهش آب اضافی طرح اختلاط بتن و همچنین مقاومت کششی و فشاری بتن حاوی الیاف فولادی نسبت به بتن معمولی افزایش چشمگیری دارد[۱۱]. همچنین در تحقیقات خسروی و محمدی بر روی تأثر الیاف فولادی بر روی بتن بررسی شده است که نتایج حاصله از این پژوهش عبارت است:

[1] Richardson
[2] Venkatesan
[3] polypropylene

ACCEPTED MANUSCRIPT

- الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت فشاری و جلوگیری از رشد ترک در بتن

- با افزودن الیاف فولادی به ماتریس بتن باعث تغییر در حالت ترد به حالت شکل‌پذیر می‌گردد

- افزودن الیاف به ماتریس بتن باعث افزایش ظرفیت باربری می‌گردد[۱۲].

در مطالعات زمانی و همکارانش با استفاده از دو الیاف پلی وینیل الکل و الیاف فولادی درصدهای مختلف این دو الیاف در بتن الیافی مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد استفاده از الیاف اثر مثبت بر مقاومت فشاری بتن می‌گذارد. قابل بیان است که تأثیر الیاف فولادی نسبت به دیگر الیاف بر مقاومت فشاری بتن بیشتر است. همچنین نمونه‌های تقویت شده با الیاف فولادی مقاومت بتن الیافی در مقابل بار ضربه بهبود می‌بخشد[۱۳].

در تحقیقات قبادی و همکاران به بررسی دو نوع الیاف پلیمری و فولادی در بتن الیافی پرداختند نتایج حاصله از تحقیقات ایشان بیانگر این است که با اضافه نمودن الیاف فولادی به بتن مقاومت کششی بتن افزایش می‌یابد[۹].

۲- مشخصات مصالح

در این تحقیق با بررسی طرح اختلاط‌های مختلف منجر به دستیابی بهترین طرح اختلاط بتن که با سه الیاف موجود چسبندگی خوبی را محیا کند، رسیده شد. به‌منظور رسیدن به درصد بهینه سه الیاف فولادی، پلاستیک و بار چیپ، درصدهای مختلف این الیاف استفاده گردید. در ادامه مختصری راجب مشخصات مصالح بکار رفته در این پژوهش شرح داده شده است.

۲-۱- الیاف

مطابق استاندارد ASTM - C 1116 [۱۴] جنس الیاف قابل‌مصرف در بتن به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شود که شامل الیاف فولادی، الیاف شیشه، الیاف پلیمری و الیاف طبیعی است.

-الیاف فولادی شامل الیاف فولادی ضدزنگ[1]، آلیاژ فولاد و فولاد کربن‌دار که می‌بایست مطابق استاندارد ASTM-A820 باشند. استانداردASTM- A820/A820M [۱۵] مربوط به مشخصات الیاف فولادی قابل‌استفاده در بتن می‌باشد. الیاف‌های فولادی مورد استفاده برای مسلح‌سازی بتن، دارای طول کوتاه و به‌اندازه کافی کوچک هستند تا با استفاده از روش‌های معمول اختلاط به‌راحتی در بتن پراکنده شوند. این نوع الیاف بیشترین استفاده را در بتن‌های الیافی دارد. طبق بررسی‌های انجام شده و بهره‌گیری از تحقیقات پیشین مشاهده گردید که استفاده از الیاف فولادی در بتن‌های الیافی ۲ تا ۴ درصد حجمی پیشنهاد شده است.

- الیاف بار چیپ[2] از جدیدترین انواع الیاف مورد استفاده در بتن بوده و می‌توان این الیاف را جایگزین الیاف فولادی دانست. این الیاف دارای وزن مخصوص ۹۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب بوده و پایه این الیاف هم از پلی‌پروپیلن است. الیاف سنتتیک[3] نیز همانند بارچیپ بوده؛ ولی ظاهری متفاوت دارد و وزن مخصوص این الیاف نیز همانند بارچیپ بوده و در این طرح مشابه انواع دیگر الیاف از ۱ تا ۲ درصد استفاده شده است. در شکل ۲ انواع الیاف مورد استفاده در این پژوهش قابل‌مشاهده است.

الف ب پ

[1] Stainless steel fibers
[2] Barchip
[3] synthetic

ACCEPTED MANUSCRIPT

شکل۲: انواع الیاف، الف) سنتتیک، ب) بارچیب، پ) فولادی

Figure 2. Types of fibers, a) synthetic, b) barchib, c) steel

۲-۲- مشخصات بتن الیافی

بتن مسلح با الیاف فولادی، بتنی متشکل از سیمان هیدرولیکی حاوی دانه‌بندی ریزودرشت با الیاف فولادی غیرپیوسته است. عمدتاً عملکرد الیاف در ماتریس بتن نسبت به چسبندگی دانه‌ها در بتن ضعیف است شکل ۳ سطح شکسته شده معمولی یک نمونه بتن مسلح با الیاف فولادی را نشان می‌دهد. مزیت عمده بتن الیافی، بهبود طاقت خمشی (کل انرژی جذب شده در هنگام شکست نمونه در خمش) است. افزایش طاقت خمشی، مقاومت در برابر خستگی و مقاومت در برابر ضربه نیز به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند.

شکل ۳: سطح شکسته شده معمولی یک نمونه بتن تقویت شده با الیاف فولادی

Figure 3. Typical fracture surface of a steel fiber reinforced concrete specimen

۲-۳- افزودنی

در این تحقیقات از میان ده نوع افزودنی متداول در بازار، ابرروان‌کننده نوترال پلی کربوکسیلاتی[1] از نوع NPC۱۰۲ استفاده شده است که برای افزایش کارایی و اسلامپ و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان مورد استفاده قرار گرفته است

۲-۴- طرح اختلاط الیاف در بتن

در روش طرح اختلاط بتن مسلح با الیاف اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با وجود این، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلوله‌ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن رعایت گردد. الیاف به خاطر آسانی پخش معمولاً به صورت خشک وارد مخلوط می‌شوند. مشکل گلوله‌ای شدن اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد الیاف بیش از ۰٫۵ درصد حجمی با نسبت طول به قطر بالا و یا اضافه کردن خیلی سریع الیاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد به وجود می‌آید. در این پدیده الیاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارایی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌گردد. جهت بررسی تأثیر الیاف، یک نمونه بتن پایه ساخته می‌شود و سپس مقاومت فشاری و خمشی و کششی تمام بتن‌های الیافی با آن مقایسه می‌گردد. به‌منظور رسیدن به طرح بهینه درصد حجمی الیاف در بتن برای کسب مقاومت کششی ماکزیمم و مقاومت خمشی در ماتریس بتن لازم است آزمایش‌های مختلفی انجام شود. در جدول ۱ طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق را آورده شده است. در این پژوهش جهت اطمینان از توزیع یکنواخت الیاف طبق سه استاندارد معتبرCNR-DT 204/2006 [۱۶]، RILEM TC 162-TDF [۱۷]، UNI EN 206-1 [۱۸] نمونه‌های ساخته شد.

[1] Neutral polycarboxylate

ACCEPTED MANUSCRIPT

جدول۱: مشخصات و طرح اختلاط بتن پایه ۳۵-c برای یک مترمکعب

Table 1. c-35 base concrete mixing specifications for one cubic meter

آب واکنش (lit)	آب جذبی (lit)	سیمان (kg)	ماسه (kg)	شن (kg)	فوق روان‌کننده (kg)	اسلامپ (cm)
۱۷۳/۹	۴۷/۲	۴۴۶/۰	۹۹۳/۸	۶۶۲/۶	۳/۱۲۲	۱۲/۵

۳- آزمایش‌های انجام شده

در این پژوهش برای ارزیابی نمونه‌های ساخته شده آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول الاسیتیسیته، نسبت پواسون، مقاومت الکتریکی و انفجار میدانی انجام گردید. در ادامه نتایج آزمایش‌های نام برده قابل‌مشاهده است.

۳-۱- مقاومت فشاری، خمشی، کششی

در این تحقیق حدود ۴۰۰ نمونه با درصدهای حجمی مختلف الیاف فولادی، پلاستیکی و بارچیپ، برای به دست آوردن مقاومت فشاری (BS 1881 & ISIRI 1608) [۱۹, ۲۰] ، خمشی (ISIRI 490) [۲۱] ، کششی (ISIRI 6047) [۲۲]، مدول الاسیتیسیته(استاندارد شماره ۵۲۵ ایران) [۲۳]، نسبت پواسون(استاندارد ملی شماره ۵۲۵) [۲۳]، مقاومت الکتریکی(ASTM C1760) [۲۴]، دانیسیته(استاندارد ملی ایران شماره ۶-۳۲۰۳) [۲۵]و انفجار (ufc) [۲۶] ساخته شده و در سنین ۷ و ۲۸ روزه مورد سنجش قرار گرفتند. در ادامه جزئیات هر سری از نمونه‌های ساخته شده ارائه شده است.

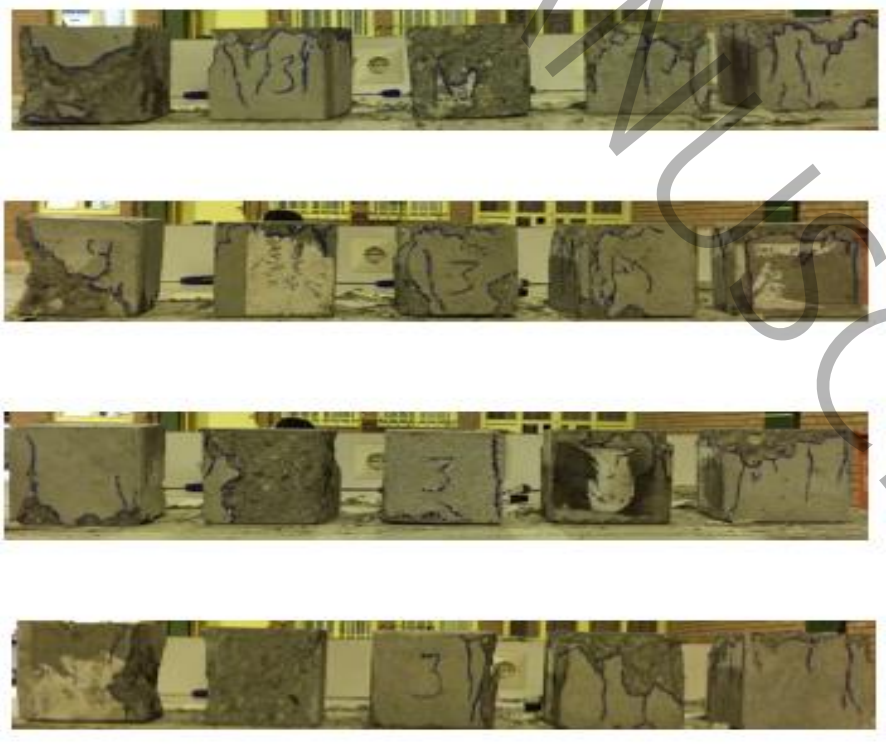
نمونه بتنی با الیاف فولادی به مقدار درصد حجمی ۱٪ ، و ۲٪

نمونه بتنی با الیاف پلاستیک به مقدار درصد حجمی ۱/۵٪ و ۲٪

نمونه بتنی ترکیبی (۵۰٪ الیاف فولاد -۵۰٪الیاف پلاستیک) به مقدار درصد حجمی ۱٪ و ۲٪

نمونه بتنی ترکیبی (۴۰٪ الیاف پلاستیک -۶۰٪ الیاف فولاد) به مقدار درصد حجمی ۱٪ و ۲٪

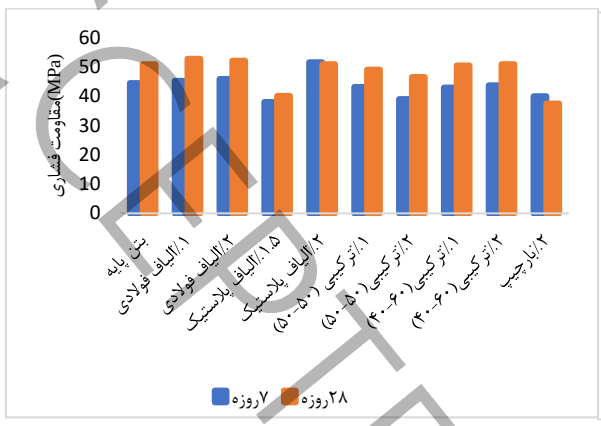
نمونه بتنی با الیاف بار چیپ به مقدار درصد حجمی ۲٪



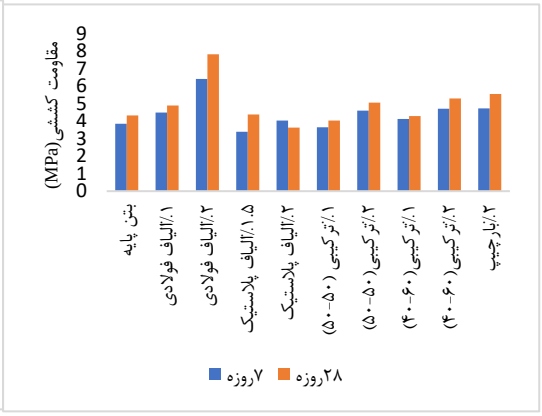
ACCEPTED MANUSCRIPT

شکل ۴: تصاویر نمونه‌های بعد از انجام تست

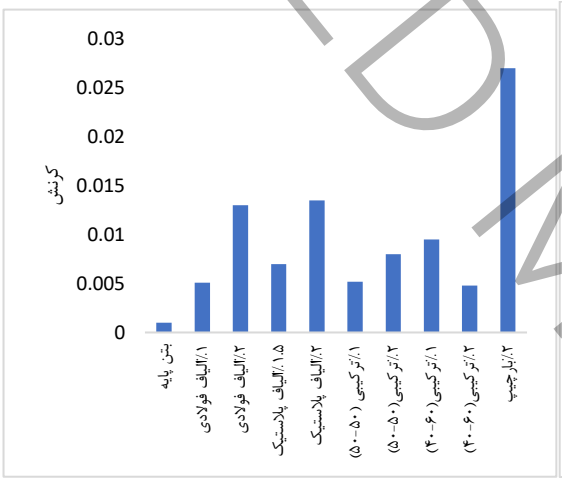
Figure 4. Pictures of the samples after the test



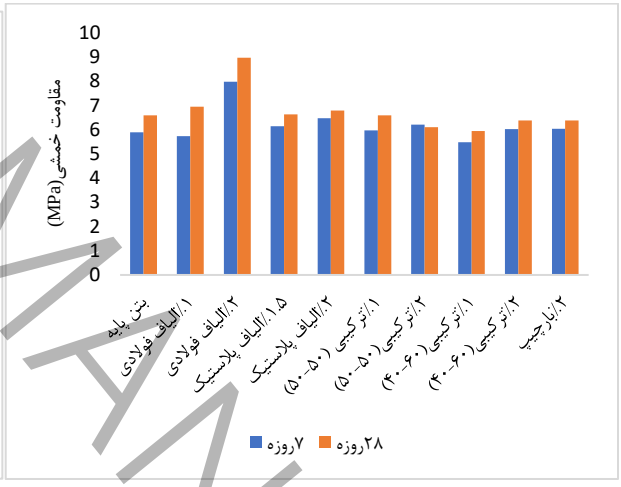
ب) مقایسه مقاومت فشاری۷ و ۲۸ روزه



الف) مقایسه مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روز



ت) کرنش در مقاومت نهایی ۲۸ روزه بتن



پ) مقایسه مقاومت خمشی ۷ و ۲۸ روزه

شکل ۵: نتایج تست‌های فشاری، خمشی، کششی و کرنش

Figure 5. Results of compressive, bending, tensile and strain tests

الف) آزمایش مقاومت خمشی

ACCEPTED MANUSCRIPT

ب) آزمایش مقاومت فشاری

ج) آزمایش مقاومت کششی

شکل ۶: تصاویر آزمایش‌های انجام شده

Figure 6. Images of the tests performed

جدول ۲: نتایج آزمایش‌های مقاومت خمشی، کششی و فشاری

Table 2. The results of bending, tensile and compressive strength test

ردیف	نام طرح	مقاومت فشاری			مقاومت خمشی			مقاومت کششی			کرنش
		مقدار		درصد افزایش	مقدار		درصد افزایش	مقدار		درصد افزایش	مقدار (10^{-3})
		۷روزه	۲۸روزه		۷روزه	۲۸روزه		۷روزه	۲۸ روزه		
۱	**بتن** پایه	۴۴/۵	۵۰/۹۶	-	۵/۹	۶/۶	-	۳/۸۵	۴/۳۳	-	۱
۲	٪۱ الیاف فولادی	۴۵/۲۴	۵۲/۱۴	۲/۳	۵/۷۳	۶/۹۵	۵/۳	۴/۵	۴/۹	۱۳/۱۶	۵/۱
۳	٪۲ الیاف فولادی	۴۵/۹۶	۵۲/۷۶	۳/۵	۷/۹۸	۸/۹۸	۳۶/۰۶	۶/۴۲	۷/۸۳	۸۰/۸۳	۱۳
۴	۱/۵ ٪ الیاف پلاستیک	۳۸	۴۰/۱۶	-۲۱	۶/۱۵	۶/۶۳	۰/۴۵	۳/۴	۴/۳۸	۱/۱۵	۷
۵	٪۲ الیاف پلاستیک	۵۱/۶	۵۰/۹۲	-۰/۰۰۷	۶/۴۷	۶/۸	۳/۰۳	۴/۰۳	۳/۶۳	-۱۶/۱۶	۱۳/۵
۶	٪۱ ترکیبی(٪۵۰فولادی-٪۵۰پلاستیک)	۴۳/۲	۴۹/۱۲	-۳/۶	۵/۹۸	۶/۶	-	۳/۶۵	۴/۰۳	-۰/۶۹	۵/۲
۷	٪۲ ترکیبی(٪۵۰فولادی-٪۵۰پلاستیک)	۳۹/۰۲	۴۶/۵۶	-۸/۶۳	۶/۲۱	۶/۱۱	-۷/۴۲	۴/۶	۵/۰۶	۱۶/۸۵	۸
۸	٪۱ترکیبی(٪۶۰فولادی-٪۴۰پلاستیک)	۴۲/۹۶	۵۰/۴۸	-۰/۹۴	۵/۴۸	۵/۹۵	-۹/۸۴	۴/۱۲	۴/۳	-۰/۶۹	۹/۵
۹	٪۲ ترکیبی(٪۶۰فولادی-٪۴۰پلاستیک)	۴۳/۷۴	۵۱	۰/۰۷	۶/۰۳	۶/۳۸	-۳/۳۳	۴/۷۱	۵/۳	۲۲/۴	۴/۸

ACCEPTED MANUSCRIPT

۱۰	بار چیپ	۴۰/۰۶	۳۷/۵	-۲۶/۴۱	۶/۰۳۳	۶/۳۸	-۳/۳۳	۴/۷۳	۵/۵۵	۲۸/۱۷	۲۷

مطابق نتایج به دست آمده (شکل ۵)، بیشترین مقدار مقاومت فشاری، کششی و خمشی مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو درصد حجمی الیاف فولادی و همچنین بیشترین کرنش در مقاومت ۲۸ روزه مربوط به نمونه‌های ساخته شده با دو درصد حجمی الیاف بارچیپ می‌باشد همچنین با توجه به جدول ۲، دو درصد الیاف فولادی باعث افزایش ۳/۵٪ مقاومت فشاری، ۳۶/۰۶٪ مقاومت خمشی و ۸۰/۸۳٪ مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد شده است.

۲-۳- مدول الاسیتیسیته، ضریب پواسون، دانسیته بتن و مقاومت الکتریکی

مدول الاستیسیته بتن بر خلاف فولاد (که تحت آزمایش کشش محاسبه می‌گردد) تحت آزمایش مقاومت فشاری بتن از روی شیب (تانژانت) منحنی تنش کرنش در بارگذاری تک‌محوری به دست می‌آید. برخلاف فولاد، مدول الاستیسیته بتن ثابت نیست و بستگی به مقاومت فشاری مشخصه (f_c) بتن و مشخصات دیگری مثل عمر بتن، مشخصات سنگ‌دانه‌ها، سیمان، سرعت بارگذاری، نوع و ابعاد نمونه آزمایشی دارد. مطابق استاندارد ایران شماره ۵۲۵ برای بدست آوردن ضریب ارتجاعی بتن یا همان مدول الاستیسیته و نسبت پواسون از نمونه های استوانه‌ای و یا نمونه‌های مغزه گیری شده (برش با مته های کرگیری الماسی) استفاده می‌شود. مدول ارتجاعی و ضریب پواسون بتن برای محدوده‌های معمول اعمال تنش (از صفر تا ۴۰ درصد استحکام نهایی بتن) برای اندازه‌گیری میزان تغییر اجزا بتن مسلح و غیرمسلح، تعیین میزان تقویت و اندازه‌گیری تنش برای کرنش‌های مشاهده شده، استفاده می‌شود. یکی از ابزار این آزمایش جک بتن شکن یا دستگاهی که قابلیت اعمال بار به سرعت و مقدار تعیین شده را داشته باشد. دستگاه اندازه‌گیری تغییر شکل طولی در این آزمایش که در واقع این دستگاه از دو بخش قالب و ساعت اندازه گیری تشکیل شده است و نمونه در حلقه‌های این دستگاه قرار گرفته و ساعت اندیکاتور کرنش یا همان میزان تغییرات طولی و عرضی را اندازه گیری می‌کند. این دستگاه شامل دو بست حلقوی است که یکی کاملا به نمونه محکم شده و دیگری فقط در دو نقطه قرینه محوری در روی پیرامون محیط آزمونه متصل شده‌است و به این ترتیب می‌تواند، حول محور که از این دو نقطه می‌گذرد قابلیت چرخش دارد. تغییر شکل طولی را می‌توان مستقیما به وسیله ی گیج یا کرنش سنج اندازه‌گیری کرد. تغیر شکل عرضی نیز به وسیله دو کرنش جانبی نیز اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از روابط ۱و ۲ میزان مدول الاستیسیته و نسبت پواسون محاسبه محاسبه شده است.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0.000050} \quad (۱)$$

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}(MPa) \quad (۲)$$

که در روابط بالا

S_2: تنش وارده برای ۴۰درصد بار نهایی

S_1: تنش وارده برای کرنش طولی

ε_{t1}: کرنش عرضی در وسط ارتفاع آزمونه ایجاد شده توسط S_1

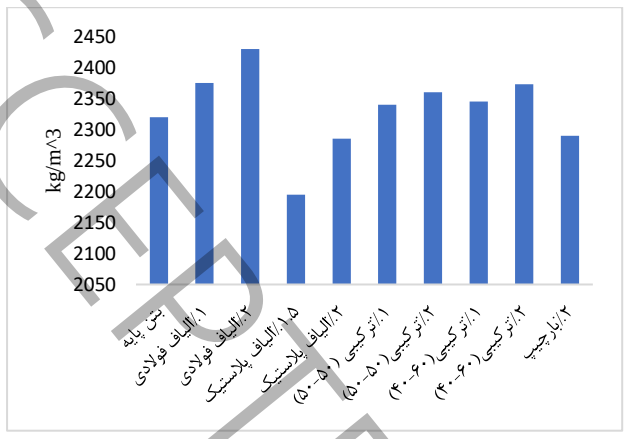
ε_{t2}: کرنش عرضی در وسط ارتفاع آزمونه ایجاد شده توسط S_2

ε_2: کرنش طولی ایجاد شده توسط S_2

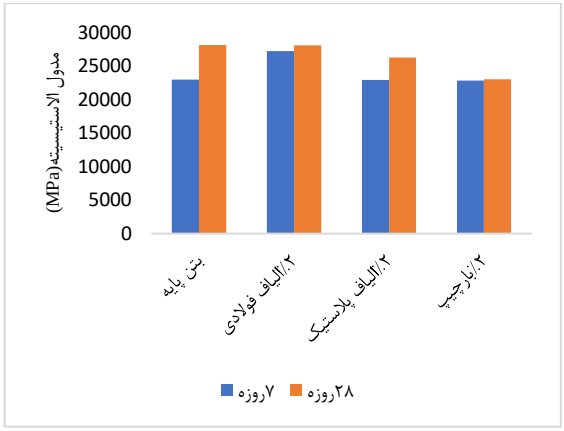
در این بخش همانند قسمت قبل نمونه‌ها طبق استانداردها مورد ارزیابی قرار گرفتند البته قابل‌ذکر است که مقاومت ویژه الکتریکی بتن شاخصی برای تعیین میزان مقاومت بتن در برابر عبور جریان الکتریکی است. این شاخصه از بتن در سازه‌های بتن مسلح واقع در معرض خوردگی کاربردی دارد. به این ترتیب که در روند خوردگی بر سطح میلگرد دو منطقه آندی و کاتدی به وجود می‌آید که دارای

ACCEPTED MANUSCRIPT

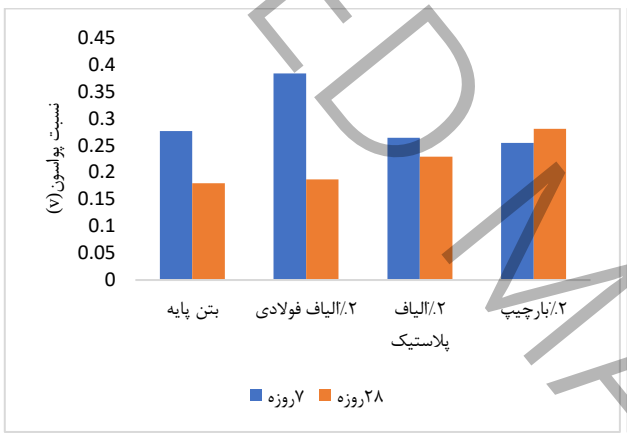
اختلاف پتانسیل هستند انتقال یون‌های هیدروکسیل از کاتد به آند تحت تأثیر مقاومت ویژه الکتریکی بتن صورت می‌گیرد، هر چه مقاومت ویژه الکتریکی بتن بیشتر باشد از شدت خوردگی کاسته می‌شود. به‌طورکلی می‌توان گفت خوردگی نسبت مستقیم با جریان بین آند و کاتد داشته و با مقاومت الکتریکی نسبت عکس دارد.



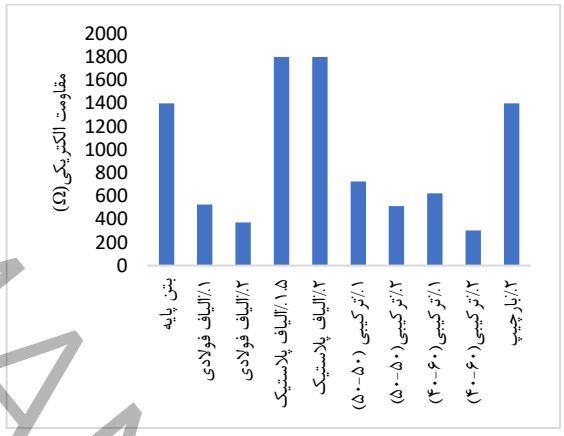
ب) مقایسه مدول الاستیسیته ۷ و ۲۸ روز



الف) دانسیته بتن



پ) مقایسه نسبت پواسون ۷ و ۲۸ روزه



ت) مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه

شکل ۷: نتایج آزمایش‌های مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، دانسیته و مقاومت الکتریکی

Figure 7. The results of tests of modulus of elasticity, Poisson's coefficient, density and electrical resistance

الف) آزمایش مدول الاسیتیسته و نسبت پواسون

ACCEPTED MANUSCRIPT

ب) آزمایش مقاومت الکتریکی

شکل ۸: تصاویر آزمایش‌های انجام شده

Figure 8. The images of the tests performed

جدول ۳: نتایج آزمایش‌های مدول الاسیتیسته، نسبت پواسون، دانیسیته و مقاومت الکتریکی

Table 3. The results of elastic modulus, Poisson's ratio, density and electrical resistance tests

ردیف	نام طرح	مدول الاسیتیسیته			نسبت پواسون			مقاومت الکتریکی		دانسیته بتن
		مقدار		درصد افزایش	مقدار		درصد افزایش	مقدار	درصد افزایش	مقدار
		۷روزه	۲۸روزه		۷روزه	۲۸روزه				
۱	بتن پایه	۲۲۹۸۷	۲۸۱۲۴	-	۰/۲۷۷	۰/۱۸۰	-	۱۴۰۰	-	۲۳۲۰
۲	۱٪ الیاف فولادی	-	-	-	-	-	-	۵۲۶/۴	-۶۲/۴	۲۳۷۵
۳	۲٪ الیاف فولادی	۲۷۲۴۷	۲۸۱۰۱	-۰/۰۸	۰/۲۶۸	۰/۳۴۸	۹۳/۳	۳۷۲/۲	-۷۳/۴۱	۲۴۳۰
۴	۱/۵ ٪ الیاف پلاستیک	-	-	-	-	-	-	۱۸۰۰	۲۸/۵۷	۲۲۹۵
۵	۲٪ الیاف پلاستیک	۲۲۹۴۸	۲۶۲۹۴	-۶/۵	۰/۲۶۴	۰/۲۲۹	۲۷/۲۲	۱۸۰۰	۲۸/۵۷	۲۲۸۵
۶	۱٪ترکیبی(۵۰٪فولادی-۵۰٪پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۷۶۲/۳	-۴۸/۱۲	۲۳۴۰
۷	۲٪ترکیبی(۵۰٪فولادی-۵۰٪پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۵۱۲/۴	-۶۳/۴	۲۳۶۰
۸	۱٪ترکیبی(۶۰٪فولادی-۴۰٪پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۶۲۴/۱	-۵۵/۴۲	۲۳۴۵
۹	۲٪ترکیبی(۶۰٪فولادی-۴۰٪پلاستیک)	-	-	-	-	-	-	۳۰۳/۸	-۷۸/۳	۲۳۷۳
۱۰	بار چیپ	۲۲۸۳۸	۲۳۰۱۲	-۱۸/۱۷	۰/۲۵	۰/۲۸	۵۶/۱۱	۱۴۰۰	۰	۲۲۹۰

با توجه به نتایج حاصل شده از انجام آزمایش‌های دانسیته، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون، بتن الیافی با دو درصد حجمی الیاف فولادی بیشترین نتیجه را دارد؛ اما در آزمایش مقاومت الکتریکی این درصد الیاف کمترین نتیجه را دارا بوده و بیشترین نتیجه مربوط به بتن الیافی با دو درصد حجمی الیاف بار چیپ می‌باشد. همچنین جدول ۳ نمایانگر این است که دو درصد الیاف فولادی ۹۳/۳٪ نسبت پواسون و چگالی ملات را تا مقدار ۲۴۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داده است. دو درصد الیاف پلاستیک نیز باعث افزایش ۲۸/۵۷٪ مقاومت الکتریکی گردید.

ACCEPTED MANUSCRIPT

۳-۳- انفجار

برای این تست نمونه‌های بتی مکعبی با شرایط یکسان بر روی بستر خاک قرار داده است. سپس میزان ۳۲ گرم ماده منفجره C4 روی وسط نمونه‌ها قرار داده شد. لازم به ذکر است که تمامی خرج‌ها به صورت تماسی و بدون فاصله بر روی نمونه‌ها قرار گرفته و نوع انفجار نیز انفجار سطحی بوده که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد.

جدول۴: نتایج آزمایش میدانی انفجار

Table 4. Blast field test results

ردیف	نام طرح	نتیجه
۱	بدون الیاف	تخریب کامل
۲	۱٪ الیاف فولادی	۷۵٪ تخریب
۳	۲٪ الیاف فولادی	۴۹٪ تخریب
۴	۱/۵٪ الیاف پلاستیک	۵۲٪ تخریب
۵	۲٪ الیاف پلاستیک	۳۹٪ تخریب
۶	۱٪ ترکیبی (۵۰-۵۰ فولاد و پلاستیک)	۶۴٪ تخریب
۷	۲٪ ترکیبی (۵۰-۵۰ فولاد و پلاستیک)	۴۷٪ تخریب
۸	۱٪ ترکیبی (۶۰-۴۰ فولاد و پلاستیک)	۷۶٪ تخریب
۹	۲٪ ترکیبی (۶۰-۴۰ فولاد و پلاستیک)	۵۳٪ تخریب
۱۰	۲٪ الیاف بارچیپ	۶۴٪ تخریب

الف) نمونه‌ها قبل از انفجار

ب) نمونه‌ها بعد از انفجار

شکل ۹: تصاویر تست انفجار

ACCEPTED MANUSCRIPT

Figure 9. Explosion test images

از جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که بتن معمولی هیچ استقامتی در مقابل مقابل بارهای غیر متعارف نداشته و کاملا تخریب شده است؛ ولی در مقابل با اضافه‌کردن دو درصد الیاف پلاستیک تنها ۳۹درصد نمونه تخریب شده و ۶۱ درصد آن کاملا سالم باقی مانده است. این موضوع بیانگر این است که الیاف پلاستیک به خوبی انرژی انفجار را به خود جذب نموده و باعث تخریب حداقل نمونه شده است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله سه نوع الیاف سنتتیک، بارچیب و فولادی با درصدهای ۱، ۱/۵ و۲ و ترکیبی از این الیاف مورد ارزیابی قرار گرفت و خصوصیات مکانیکی بتن الیافی از قبیل مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول الاسیتیسیته، نسبت پواسون، مقاومت الکتریکی بررسی شد و نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- در نمونه‌های گسیخته شده بتن الیافی تحت اثر آزمایش‌ها مشاهده می‌شود روانی، وزن مخصوص، نوع و مدت‌زمان ویبره، انسجام و پیوستگی بتن، دانه‌بندی مناسب، شکل هندسی، نوع، ابعاد، پخش‌شدگی و توزیع الیاف در ماتریس بتن نقش بسیار مهمی در عملکرد هرچه بهتر بتن الیافی دارد.
- هرچه ابعاد نمونه واقعی بتن سخت شده، بزرگ‌تر باشد و نسبت حجم به سطح جانبی افزایش یابد، نسبت جمع‌شدگی الیاف در سطوح کاهش‌یافته و به سمت یکنواخت شدن حرکت می‌نماید؛ بنابراین انجام آزمایش‌های تکمیلی بر روی نمونه‌های ماکروسکپی و واقعی توصیه می‌گردد.
- گیرداری المان‌های الیافی، در صورت افزایش مقاومت بتن زیاد شده و جداشدگی المان‌های الیافی از مغزه بتن سخت‌تر می گردد.
- استفاده از الیاف ریزنقش به همراه الیاف ماکروسکپی می‌تواند ترک‌های حاصل ازجمع شدگی بتن و بارگذاری‌های دینامیکی را که کرنش‌های پلاستیک ایجاد می‌کند و باعث خستگی بتن و انفعال ترک‌های میکروسکپی می‌شود را کنترل نماید.
- با توجه به اینکه الیاف فولادی در بیشتر آزمایش‌های انجام شده نتایج بهتری را ارائه کرده است، می‌بایست هنگام استفاده از این نوع الیاف در مناطقی که دارای درصد بالای یون کلر است، تمهیدات خاصی جهت جلوگیری از خوردگی اعمال شود.
- در طرح اختلاط، الیاف ۱ درصد فولاد بیشترین مقاومت فشاری را کسب کرده است و کمترین مقاومت فشاری نیز مربوط به الیاف ۱ درصد پلی پروپیلن می‌باشد.
- هر چقدر مقدار ملات سیمانی موجود در بتن بیشتر شود تأثیر افزودن الیاف بیشتر خواهد شد.
- ۱ درصد الیاف پلی پروپیلن باعث کاهش مقاومت فشاری تا حدود ۱۵ درصد می‌شود. بنابراین الیاف پلی‌پروپیلن در بتن‌هایی که دارای عیار سیمان بالا و سنگدانه‌های ریزتر باشد تأثیر بهتری خواهد گذاشت. همچنین ماهیت این الیاف سازه‌ای نیست و در صورت ترکیب با الیاف‌های دیگر نتایج بهتری خواهد داشت.
- الیاف سنتتیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای الیاف فولادی باشد؛ زیرا علاوه بر نتایج قابل‌قبول، از لحاظ زیر ساخت‌های کشورمان نیز می‌توان این نوع الیاف را در داخل کشور تولید نمود.

نتایج حاصل شده در این پژوهش هم راستا و تکمیل‌کننده مطالعات فرخ زاده [۱۰]، زادکریم [۱۱]، محمدی [۱۲] ، زمانی [۱۳] و قبادی [۹] می‌باشد.

در ادامه پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آینده تأثیر موارد مطالعه شده در این تحقیق را بر روی قطعات واقعی سازه‌های بتنی از جمله

ACCEPTED MANUSCRIPT

اتصالات، دال‌ها و تیر و ستون‌های بتنی بررسی گردد. همچنین سایر پارامترهای قابل‌بررسی از جمله خزش، دوام و نفوذ آب بر روی نمونه‌ها با الیاف مختلف بررسی گردد.

۵- منابع

[1] R. Azizzadeh, S. Moseibi, Laboratory evaluation and theory of determining the optimal combination of polypropylene fibers and microsilica gel on the compressive strength of C40 concrete at the age of 7 days, in: Second International Conference on Architecture, Construction, Agriculture and Environment, 2018 .(in Persian)https://civilica.com/doc/899873

[2] R. Yousefi, M. Soltani, A. Omoi, M. Jirayai Shrahi, Properties of fiber reinforced concrete as a new material against explosion and impact, in: Fourth International Conference on Modern Researches in Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment, 2018(in Persian)https://civilica.com/doc/902916.

[3] A. Soltani, A.A. Alishahi, Laboratory assessment of the effect of steel fiber amount and strength class on the mechanical characteristics of concrete, in: Third International Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management, 2018. (in Persian)https://civilica.com/doc/917524

[4] S. Qohestani, A.A. Afsharnia, Investigating the mutual effect of fiber weight ratio, modulus of elasticity and water-cement ratio on the physical and mechanical parameters of fiber concrete, in: 11th National Congress of Civil Engineering, 2018. (in Persian)https://civilica.com/doc/918076

[5] A. Richardson, M. Heather, Improving the performance of concrete using 3D fibres, Procedia Engineering, 51 (2013) 101-109.

[6] K. Venkatesan, P. Raghunath, K. Suguna, Flexural behavior of high strength steel fibre reinforced concrete beams, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, 4(1) (2015) 135-140

[7] Z.A. Bigi, M. Dashti Rahmatabadi, fiber concrete and its evaluation, in: 16th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Environment, 1401. (in Persian) https://sid.ir/paper/902126/fa

[8] M. Khodadad Sirizdi, H. Rabiei, R. Morshid, Investigating the torsional behavior of fiber self-compacting concrete under cyclic loads, Structural and Construction Engineering, 6(1) (2019) 41-54. (in Persian) https://sid.ir/paper/252528/fa

[9] S. I Motaghedi. Ghobadi, M. Mirzaei Aliabadi, Y. Gharaibi, Investigating the properties of fresh and hardened fiber self-compacting concrete, Structure and Construction Engineering, 6(Special Issue 4) (2019) 43-61. (in Persian) https://sid.ir/paper/409585/fa

[10] R. Farrokhzad, b. Karimi, Investigating the effect of macrosynthetic and steel fibers on the stress-strain diagram of fiber concrete and its mutual effect on the durability of concrete, Concrete Research, 14(2) (2021) 69-82. (in Persian) https://sid.ir/paper/1036359/fa

ACCEPTED MANUSCRIPT

[11] S. Zadkarim, d. Beheshtizadeh, F. Jafarzadeh Kochaki, Laboratory study of the effect of steel metal fibers on the resistance parameters of lightweight concrete, in: International Conference on Lightweighting and Earthquake, 2019. (in Persian) https://civilica.com/doc/82031

[12] F. Khosravi, S. Mohammadi, Determining and analyzing the behavior of fibers in the state of cracking of fiber concrete under the effect of bending load, in: 10th National Conference on Urban Planning, Architecture, Construction and Environment, 2019. (in Persian) https://civilica.com/doc/ 1113408

[13] AA. Zamani, M. Ahmadi, A. Dalvand, Laboratory investigation of the properties of high-strength fiber self-compacting concrete made from fully recycled aggregate, Civil Infrastructure Research, 7(1) (2021) 1-16. (in Persian) doi: 10.22091/cer.2021.6955.1251

[14] A. International, ASTM C1116/C1116M-10a: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete, Annual Book of ASTM Standards., (2009).

[15] A. Standard, Standard specification for steel fibers for fiber reinforced concrete, United States: ASTM International, (2011). DOI: 10.1520/A0820_A0820M-22

[16] L. Ascione, V.P. Berardi, L. Feo, Technical Document CNR-DT 204/2006, Guide for the Design and Construction of Fiber-Reinforced Concrete Structures, (2007).

[17] T. RILEM, 162-TDF Committee: RILEM 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete, Materials and Structures, 33 (2000) 75-81.

[18] C.E. de Normalisation, Concrete-Part 1: Specification, performance, production and conformity, Brussels: Comité Européen de Normalisation, EN, (2000) 206-201.

[19] Iranian National Standard No. 1608-3 (hardened concrete - determining the compressive strength of the specimens)

[20] British Standard Testing concrete Part 125. Methods for mixing and sampling fresh concrete in the laboratory

[21] Concrete- flexural strength of concrete (using simple –beam with third – point loading)-Test method ICS:91.100.30

[22] Concrete– Determination of the splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens– Test method INSO 6047

[23] Standard 525 concrete - determination of elastic modulus and Poisson's ratio of concrete(in Persian)

[24] A. Standard, Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete, ASTM: Philadelphia, PA, USA, 1 (2012) 1-5

[25] FRESH CONCRETE-part6: density-test method, INSO3203-6

ACCEPTED MANUSCRIPT

[26] U. HOUSING, UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC), Change, 1 (2012) 15.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Increasing bending strength and flexibility of fiber concrete matrix by laboratory method

(with volume changes of all kinds of fibers)

ABSTRACT

By adding fibers as well as additional materials in concrete, the properties of concrete can be increased in terms of durability, flexibility and tensile strength. Another use of artificial fibers to improve mechanical properties and reduce shrinkage of fresh and hardened concrete, increase energy absorption and resistance to impact and explosion can be mentioned. The use of fiber concrete has many advantages compared to the use of reinforced concrete, while it also has disadvantages, such as the lack of uniform distribution of fibers in the concrete matrix and the lack of proper adhesion between polymer fibers in cement mortar. Generally, fiber concrete is used in concrete parts due to smaller cracks and less width and more durability in case of uniform distribution of fibers. Research shows that fibers significantly increase the tensile strength, plasticity of mortar and concrete. In fact, after cracking, the fibers bridge between the crack plates and cause a significant increase in toughness and energy absorption capacity. Adding artificial fibers to concrete brings advantages such as reducing plastic grip cracks, reducing plastic drop cracks, increasing impact resistance and increasing resistance to crushing. In this research, the effect of different types of fibers with different volume percentages on the compressive, bending and tensile strength of the samples at different ages compared to the control sample has been measured by laboratory method. All kinds of samples have been tested to determine the resistance against surface explosions.

KEYWORDS

Fiber concrete, polymer fibers, increasing the tensile strength of concrete, steel fibers, laboratory method

ACCEPTED MANUSCRIPT