

مقایسه مقاومتی بین بتن های حاوی الیاف برای تولید ورق های بتنی با مقاومت بالا

¹مهرداد آرام، ²سید محمد علی زمردیان، ³امیرحسین وکیلی، ⁴امیر وکیلی

*1 دانشجوی کارشناسی ارشد عمران عضو و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی استهبان
2 دکتری عمران مکانیک خاک و پی از دانشگاه بردلی کانادا عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز
3 دانشجوی کارشناسی ارشد عمران مکانیک خاک و پی و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی استهبان
4 دانشجوی کارشناسی ارشد عمران مکانیک خاک و پی و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی استهبان
تلفن: ۰۹۱۲۷۱۴۷۴۵۸ فکس: ۰۷۳۲۴۲۲۲۱۲۹ E_MAIL: mehrad.aram@gmail.com

خلاصه:

در حال حاضر اهمیت مقاوم سازی لرزه ای از ساختمانها در لرزه خیزی بر کسی پوشیده نیست. با توجه به اینکه ساختمانهای بتن آرمه موجود عموماً بر اساس آیین نامه های قدیمی بدون در نظر گرفتن اثر نیروهای زلزله طراحی و ساخته شده و آیین نامه های جدید لرزه ای را برآورده نمی کنند لذا این ساختمانها باید مورد مقاوم سازی قرار گیرند. تحقیق در خصوص یا ضوابط ماده HPRFCC به عنوان یکی از مناسبترین روشهای مقاوم سازی محلی اعضای ساختمانهای بتن آرمه از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. لذا برای تعمیر ساختمانهای بتن آرمه آسیب دیده در اثر زلزله و یا برای اجرای مقاوم سازی لرزه ای ساختمانهای بتن آرمه موجود از روشهای مختلفی می توان استفاده نمود. در رابطه با ترمیم و یا تقویت اعضای بتن آرمه در حال حاضر دو روش استفاده از ورقهای فولادی و استفاده از ورقهای FRP مطرح می باشند. هر کدام از این دو روش دارای نکات ضعف و قوت خاص خود می باشند. از نکات ضعف هر دو روش می توان به ناهمگون بودن این مواد با بتن آرمه و ناهماهنگی در خصوصیات و رفتار آنها اشاره نمود، تحقیقات اولیه نشان داده است که ماده جدید HPRFCC که اساساً یک بتن مقاومت بالا با الیاف فولادی، شیشه ای، آرامیدوکربنی است که هماهنگی رفتاری مناسبتری با بتن داشته اند و از نظر مقاومت خمشی و برشی در حد دو ماده دیگر می توانند مقاومت بتن آرمه افزایش دهند. [1] در این مقاله سعی بر مقایسه کامل بین بتن های حاوی الیاف های فوق از نظر مقاومت فشاری و کششی برای تولید ورق های بتنی با مقاومت بالا شده که در آخر نمونه های حاوی الیاف فولادی نتایج مقاومت کششی و فشاری بهتری برای تولید این ورق ها نسبت به بقیه نمونه ها داشته است.

کلمات کلیدی: مقاوم سازی، ورق بتنی، الیاف فولادی، الیاف شیشه، الیاف آرامید

مقدمه:

هر چند از ابتدای پیدایش بتن، تحول اندکی در آن بوجود آمده ولی طیف وسیعی از کاربرد بتن عملاً بیانگر این مطلب است که مزایای بیشماری که این نوع مصالح از آن برخوردار است، سایر موارد آن را تحت الشعاع قرار می دهد. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و ترونی جسم بتن تا حد ممکن، در چند دهه اخیر از رشته های نازک و نسبتاً درازی که در تمام حجم بتن، بطور همگن و در هم پراکنده می گردد، استفاده می شود. برای تقویت ماتریسهای سیمانی تا کنون الیاف مختلفی از قبیل فولادی، شیشه ای، نایلون، پلی پروپیلین، آزبستی، کربن، کولار، بلبو و ... استفاده شده است. با توجه به اینکه عملکرد الیاف در ماتریس سیمانی بستگی به مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف به کار برده شده دارد در این قسمت سعی شده است که ویژگیهای معرف الیاف مناسب در بتن شناسایی گردد. این ویژگیهای مهم شامل شکل و اندازه الیاف، نسبت ظاهری، خاصیت و ضریب ارتجاعی، قابلیت پیوستگی ماتریس، خصوصیات بین سطوح، بافت سطحی، ضریب پواسون، ضریب کششی، کرنش پذیری و نحوه قرار گرفتن الیاف در ماتریس می باشد. [2] در سالهای اخیر بحث تعمیر و استحکام ساختارهای موجود در بین مهندسين عمران رایج است. علل اولیه برای مقاوم نمودن تعمیر ساختارها عبارتند از:

1- بالا بردن استحکام برای افزایش مقاومت در زیر بارهای باقیمانده

2- جلوگیری از شکست که منجر به ایجاد یک جزء نامناسب می گردد

3- بازگرداندن ظرفیت تحمل بار برای جلوگیری از غلبه بار، زمین لرزه و عوامل دیگر که باعث فرسایش یا سایش می گردند. کاربردالیاف به منظور بهبود بخشیدن به خواص بتن کاربرد وسیع را در سازه های بتنی و بتن مسلح پیدا کرده است. دلیل کاربرد گسترده این الیاف، مزایای بی شمار فنی و اقتصادی در جسم بتن می باشد. اثرات مثبت کاربرد الیاف ، در بتن به شرح زیر می باشد:

۱- افزایش مقاومت خمشی ۲- افزایش مقاومت برشی ۳- افزایش مقاومت کششی ۴- افزایش مقاومت در برابر بارهای دینامیکی
بوژه بارهای ضربه ای ۵- افزایش در میزان جذب انرژی ۶- افزایش مقاومت مقطع در قبال ترک خوردگی ۷- کاهش در میزان انقباض، خزش و سایش سطحی [۱]

تاریخچه الیاف

کاربرد گسترده بتن با الیاف از اواسط سال ۱۹۶۰ برای روسازی جاده ها، کف سالن های صنعتی، جداره کوره ها و ... انجام گرفته است. مهمترین الیافی که بطور وسیع استفاده می شود الیاف شیشه ای است که تجارب کاربرد این نوع الیاف همزمان با شوروی و انگلستان در سال ۱۹۵۰ در آمریکا آغاز شد. کاربرد این تکنیک عمده تاً با استفاده از عمل اسپری الیاف شیشه ای و خمیر پرمایه سیمان از دو مجرا که به طور همزمان بر روی یک سطح پاشیده میشود انجام می گیرد. [۳]

بتن مسلح به الیاف فولادی

درسالهای اخیر تحقیقات وسیعی انجام گرفته و سعی شده است که به مشخصات بتن با افزودن الیاف فولادی بهبود بخشیده شود. در حال حاضر بتن مسلح با الیاف فولادی به عنوان یکی از مصالح ساختمانی جدید و کاملاً متفاوت و با مشخصات منحصر به فرد از نظر مقاومت، قابلیت کششی و طاقت در مقابل گسیختگی مطرح می باشد. مصالح اصلی بتن مسلح با الیاف همانند بتن معمولی است. مصالحی که کیفیت آنها بالاست در بتن الیافی نیز قابل استفاده است و خواص بتن سخت شده تابعی از روشهای بتن ریزی و متراکم کردن خمیر بتن خواهد بود. بتن الیافی ترکیبی است که شامل یک کالبد بتنی مرکب از سیمان، مصالح سنگی و آب و همچنین درصدی از الیاف کوتاه که بطور درهم و کاملاً اتفاقی و در جهات مختلف در مخلوط پراکنده شده که وجود الیاف فولادی مشخصات بتن را نسبت به حالت خالص بهبود می بخشد. در این بررسی شبکه های آرماتور، تورهای بافته شده و یا آرماتورهای نازک و دراز نمی تواند به عنوان الیافهای پراکنده و منفرد در بتن تلقی گردد. [۴]

مزایای بتن الیافی

بتن معمولی یک ماده نسبتاً ترد و شکننده است ، درحالیکه بتن الیافی چون دارای مقاومت زیادتر و خاصیت جلوگیری از ترک خوردگی را داراست، لذا نسبت به بتن معمولی برتری دارد. مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی را، می توان بطور خلاصه به شرح زیر بیان داشت:

1- مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه

2- قابلیت کشش عالی (ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)

3- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی

الیاف فولادی

پارامتر مناسب که یک رشته از الیاف را تعریف می کند نسبت ظاهری می باشد که نسبت طول الیاف به قطر معادل الیاف است. مقدار نسبت های ظاهری (l/d) معمولاً بین ۳۰ تا ۱۵۰ به طولهای ۰,۶ cm تا ۷,۵ cm است. الیاف فولادی صنعتی معمولاً از نسبت (l/d) حداکثر تا ۱۲۵ برخوردار هستند. الیاف فولادی دارای شکل و قطرهای متفاوتی بوده و نحوه ساخت آنها نیز متفاوت می باشد. در روش ریخته گری ، الیاف با شکل هلالی و با سطوح صاف بدست می آید. الیاف فولادی که بطریقه ماشینکاری تولید می شود، دارای شکل هلالی، مثلثی، تاب خورده و باریک سطح صاف و سطح دیگر زبر می باشد. الیاف فولادی با مقطع دایره ای معمولاً در قطرهای ۰,۲۵ mm تا ۰,۶ mm هستند. الیاف با مقطع مستطیلی (نواری) نیز با ۰,۱۵ mm تا ۰,۵ mm ضخامت و ۰,۲۵ mm و ۰,۹ mm عرض تولید می شوند.

بطور کلی کیفیت بتن الیافی می تواند به عامل های عمده زیر بستگی داشته باشد:

- 1- نسبت های مخلوط بتن
- 2- مشخصات هندسی الیاف فولادی
- 3- نسبت طول به قطر الیاف (l/d)
- 4- مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف
- 5- مشخصات فیزیکی و جنس الیاف فولادی [۵]

الیاف آرامید

الیاف آرامید که در حدود سالهای ۱۹۷۰ معرفی شد، ترکیب آلی حلقوی از کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن می باشد. دانسیته کم و استحکام کششی بالا در این الیاف، موجب تشکیل یک ساختار چقرمه و مقاوم به ضربه با سفتی حدود نصف الیاف کربن می شود. الیاف آرامید در ابتدا به منظور جایگزینی فولاد در تایرهای رادیال ساخته شدند و بعداً کاربردهای دیگری پیدا کردند. جلیقه ضد گلوله از موفقیت آمیزترین کاربردهای الیاف آرامید می باشد. آرامید در دو ساختار زنجیر-راست مشهور به کولار و زنجیر-خم مشهور به Nomex وجود دارد

ساختار شیمیایی کولار

الیاف آرامید در شکلهای مختلف وجود دارند و همانند الیاف شیشه و کربن می توانند در ساخت کامپوزیتها مورد استفاده قرار گیرند. الیاف آرامید به دلیل سبکی، پایداری حرارتی خوب و چقرمگی عالی، مورد توجه قرار گرفته اند. الیاف کولار از زنجیرهای مولکولی طولانی پلی پارا فنیلن ترفتال آمید، تولید شده اند. آرایش یافتگی بالای زنجیرها به همراه اتصال خوب بین آنها، تلفیق منحصر به فردی از خواص را ایجاد می نماید که برخی از آنها عبارتند از:

- 1- استحکام کششی بالا و وزن کم
- 2- ازدیاد طول کم در پارگی
- 3- مدول بالا

پس از سنتز، پلیمر آرامیدی در محلول اسید سولفوریک حل می شود و بعد تبدیل به الیاف می شود. قطر الیاف در حد چند میکرون است و مورفولوژی نهایی با اعمال حرارت در دمای ۱۵۰ °C تا ۵۵۰ °C بدست می آید. کولارها بسته به درجه آرایش یافتگی مولکولی، سفتی های متفاوت دارند. کولار ۲۹ به عنوان سیم تایلر و کولار ۴۹ در کابل های زیر آب استفاده می شوند. کولارها تقویت کننده ممتازی در صنایع فضایی محسوب می شوند. در سالهای اخیر کولار ۱۴۹ نوع سفت تر کولارها معرفی شده است. همچنین کولارها به دلیل کاربرد در پرتابه ها و حفاظت حرارتی آنها و بدلیل چقرمگی و توانایی در جذب انرژی شهرت دارند. ساختار ناهمگون پلیمر در جهت طولی، به الیاف استحکام کششی بسیار زیادی می دهد. نیروی اعمالی توسط باندهای قوی شیمیایی زنجیرهای پلیمری تحمل می شود. زنجیرهای پلیمری مجاور هم در یک ناحیه کریستال توسط بر هم کنش واندروالس و پیوندهای هیدروژنی که نسبت به باندهای شیمیایی نسبتاً ضعیف ترند و راحتتر جدا می شوند، کنار هم نگاه داشته می شوند. بنابراین الیاف در جهت عرضی خواص مکانیکی ضعیفی دارند.

مدول کششی و قدرت استحکامی کولار به طور تقریبی قابل مقایسه با الیاف شیشه می باشد. البته اغلب دانسیته آن حدوداً نصف الیاف شیشه است. لذا با تخمین اولیه میتوان الیاف کولار را به عنوان جایگزین خوبی برای الیاف شیشه ای که وزن پایین تری از آنها مد نظر است در نظر گرفت. [۷]

الیاف شیشه

الیاف شیشه مشهورترین تقویت کننده مورد استفاده در صنعت کامپوزیت می باشد و انواع مختلفی از آن بصورت تجاری وجود دارند که برخی از آنها عبارتند از E، AR، ECR، C، S. ترکیبات شیمیایی این الیاف با هم متفاوت است و هر کدام برای کاربرد خاصی مناسب است. تقریباً ۹۰ درصد الیاف مورد استفاده در کامپوزیت های مهندسی الیاف شیشه می باشد. الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارد، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می کند، مقاومت رطوبت و خوردگی مناسبی دارد و نسبتاً ارزان است.

● فرآیند تولید الیاف شیشه را می توان بصورت زیر خلاصه نمود :

۱- آماده سازی مواد خام: بیش از نیمی از مواد اولیه مورد استفاده ماسه سیلیس است و قسمت اصلی هر نوع الیاف شیشه را تشکیل می‌دهد. سایر اجزاء شامل مقادیر ناچیز سایر ترکیبات شیمیایی می‌باشد .

۲- بخش اختلاط: (Batch House) در اینجا مواد با هم مخلوط شده برای قسمت کوره آماده می‌شوند. اصطلاحاً به این توده مخلوط، Batch گفته می‌شود .

۳- کوره: دمای کوره به اندازه کافی زیاد است تا ماسه و سایر اجزاء را ذوب کند و بصورت شیشه مذاب در آورد. سطح داخلی کوره با آجرهای مخصوصی ساخته شده است که در دوره‌های زمانی مشخص تعویض می‌شوند .

۴- بخش Bushing: شیشه مذاب روی سینی‌های پلاتینی مقاوم حرارتی متعدد، جریان پیدا می‌کند. در این سینی‌ها هزاران روزنه وجود دارد که بوشینگ نامیده می‌شوند .

۵- تشکیل الیاف: جریان شیشه مذاب از درون بوشینگ‌ها بیرون کشیده می‌شود و تا قطر معین نازک می‌شوند، سپس توسط آب یا هوا خنک می‌شوند تا الیاف تشکیل شوند .

● دسته: (strand) یک دسته از چند تاو (tow) تشکیل شده است و هر تاو بیانگر تعداد لیفهایی (fiber) است که از یک بوش رسیده می‌شوند به عنوان مثال می‌تواند دویست لیف باشد. مجموعه‌ای از دسته‌ها، یک رشته (roving) نامیده می‌شود. یک تاب مختصر به رشته داده می‌شود تا کار کردن با آن آسانتر شود. برای کامپوزیتهای الیاف پیوسته، انتخاب نوع الیاف، بستگی به فرآیند شکل دهی و میزان آرایش یافتگی الیاف دارد. تعداد تارهای (filament) یک رشته توسط تکس (tex) بیان می‌شود. به عنوان مثال ۶۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ (tex) = ۱۰۰۰ m/g می‌توان رشته‌ها را خرد کرد (chopped) و برای تولید نمد شیشه (strand mat chopped) استفاده کرد. در این حالت از یک بایندر (binder) برای ثابت نگاه شدن الیاف در کنار هم استفاده می‌کنند. بایندر فوق به هنگام آغشته سازی الیاف با رزین خیس خوردگی (wet-out) را کنترل می‌کند و بنابراین آرایش اتفاقی الیاف در نمد حفظ می‌شود. انتخاب بایندر با توجه به کاربرد مواد انجام می‌گیرد و دوام یک قطعه کامپوزیتی می‌تواند متأثر از نوع بایندر باشد. [۶]

مصالح استفاده شده در طرح

در این مقاله تلاش شده است که با ساخت نمونه های آزمایشگاهی و تکرار آنها با مواد گوناگون و طرح اختلاطهای مختلف به یک طرح اختلاط بهینه نزدیک شویم به طوری که نمونه، مقاومت فشاری و کششی بالا و همچنین شکل پذیری خوبی از خود نشان دهد. ضمناً باید یادآور شد که اقتصادی بودن نیز یکی از خواسته های مهم طرح می باشد که سعی شده است از مصالحی استفاده گردد که هم به وفور یافت گردد و هم از نظر قیمت اقتصادی و مناسب باشند.

در این پژوهش ابتدا نمونه های مختلف (از جمله نمونه های فشاری ۵×۵×۵ سانتیمتری و نمونه های پاپیونی) با طرح اختلاطهای متفاوت و فوق روان سازه جلنیم ۱۰ و سیمان پوزولانی تهران ساخته شدند و تحت آزمایش فشاری و کششی قرار می گرفتند. یادآور می شود که دیگر مصالح مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

۱- ماسه کوارتزی ۲- میکروسیلیس ۳- متاکائولن

فوق روان ساز (lit)	آب (lit)	متاکائولن (kg)	میکروسیلیس (kg)	ماسه کوارتزی (kg)	سیمان (kg)
۸۵	۲۵۰	۱۱۰	۱۱۰	۸۹۰	۱۰۰۰

نتایج مربوط به نمونه های فشاری بدون الیاف

برای اینکه دستگاه قادر به شکستن نمونه های فشاری باشد لذا نمونه های فشاری به ابعاد ۵×۵×۵ cm انتخاب شده اند. در اینجا نتایج آزمایشات نمونه های فشاری با توضیحات کامل در جدولهای مربوطه آمده اند .

مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه (Cm)
۱۱۹	۳۰۴	۳	۱۲۹	۳۰۸	۱	۵×۵×۵ نمونه
۱۲۲	۳۰۷	۴	۱۲۶	۳۰۵	۲	۵×۵×۵ نمونه

نتایج مربوط به نمونه های فشاری با الیاف فولادی

مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه (Cm)
۲۴۲/۲	۳۶۵	۳	۲۵۰/۱	۳۷۰	۱	۵×۵×۵ نمونه
۲۴۸/۶	۳۶۸	۴	۲۵۳/۶	۳۶۹	۲	۵×۵×۵ نمونه

نتایج مربوط به نمونه های فشاری با الیاف شیشه

مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه (Cm)
۱۵۸/۷	۳۴۴	۳	۱۵۴	۳۴۲	۱	۵×۵×۵ نمونه
۱۴۲/۶	۳۴۶	۴	۱۵۹/۶	۳۴۶	۲	۵×۵×۵ نمونه

نتایج مربوط به نمونه های فشاری با الیاف آرامید

مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	مقاومت فشاری (Mpa)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه (Cm)
۱۷۱/۲	۳۵۰	۳	۱۶۰/۴	۳۴۸	۱	۵×۵×۵ نمونه
۱۶۸/۶	۳۵۱	۴	۱۶۳/۷	۳۴۷	۲	۵×۵×۵ نمونه

در نهایت بعد از ساختن نمونه های زیادی از نمونه $5 \times 5 \times 5$ cm فشاری پی بردیم که میکروسلیس و الیاف و فوق روان ساز و متاکائولن می تواند در افزایش مقاومت نمونه ها نقش بسزایی داشته باشد. البته جنس فوق روانساز نیز تا مقدار کمی می تواند در افزایش مقاومت نمونه نقش داشته باشد لذا در آخر سعی شد که به جای فوق روان ساز گلنیم ۵۱ از گلنیم ۱۱۰ که غلظت آن بیشتر و قوی تر می باشد.

نمونه های پاپیونی یا کششی:

برای صرفه جویی در وقت و هزینه کمتر سعی بر این شده است که نمونه های کششی برای طرح اختلاطهایی ساخته شود که آن طرح اختلاطها در نمونه های فشاری جواب قابل قبول داده اند. ولی با این وجود بازهم بر روی بعضی از طرح اختلاطهای دیگر نیز برای نمونه های کششی کار شده است. همانطور که از قسمت نمونه های فشاری دریافتیم، نوع الیاف و از طرفی نوع فوق روان کننده و وجود میکروسلیس و متاکائولن تاثیر زیادی در مقاومت نمونه ها داشتند. با توجه به این موضوع نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های کششی (پاپیونی) به قرار زیرند:

نتایج آزمایشگاهی مربوط به نمونه های کششی (پاپیونی) بدون الیاف

مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه
۱۵۴	۱۲۱	۳	۱۷۳	۱۲۰	۱	نمونه پاپیونی
۱۸۲	۱۱۹	۴	۱۳۸	۱۱۲	۲	نمونه پاپیونی

نتایج آزمایشگاهی مربوط به نمونه های کششی (پاپیونی) با الیاف فولادی

مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه
۱۳۲۸	۱۳۷	۳	۱۴۳۷	۱۳۵	۱	نمونه پاپیونی
۱۴۱۹	۱۳۳	۴	۱۵۲۵	۱۴۳	۲	نمونه پاپیونی

نتایج آزمایشگاهی مربوط به نمونه های کششی (پاپیونی) با الیاف شیشه ای

مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه
۸۲۲	۱۳۲	۳	۷۷۶	۱۲۸	۱	نمونه پاپیونی
۷۹۳	۱۳۱	۴	۷۴۰	۱۲۹	۲	نمونه پاپیونی

نتایج آزمایشگاهی مربوط به نمونه های کششی (پاپیونی) با الیاف آرامید

مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	مقاومت کششی (kg)	وزن (g)	نمونه	اندازه نمونه
۱۲۳۱	۱۳۳	۳	۱۱۱۲	۱۳۵	۱	نمونه پاپیونی
۱۱۷۶	۱۳۶	۴	۹۹۸	۱۳۹	۲	نمونه پاپیونی

نتیجه گیری :

- ۱- بتن پر مقاومت را با استفاده از روشهای معمولی و مصالح قابل دسترس می توان تهیه نمود .
- ۲- طبق نتایج بدست آمده استفاده از الیاف و پوزولان باعث بالاتر رفتن پارامتر های فیزیکی (مقاومت فشاری و کششی) بتن می شود.
- ۳- با افزایش مقاومت فشاری ، مقاومت خمشی و کششی چنین بتنهایی نیز افزایش می یابد .
- ۴- با توجه به مقایسه بین الیاف های مصرفی این نتیجه حاصل گردید که استفاده از الیاف فولادی از لحاظ مقاومتی بهتر، اقتصادی ونحوه اجرا آسان و بهینه تر می باشد
- ۵- با اینکه الیاف آرامید مقاومت خوبی از خود نشان داد ولی با توجه به نتایج بهتر الیاف فولادی بهتر است از این الیاف استفاده شود
- ۶- با توجه به سخت بودن اجرای ورق های FRP در سراسر دنیا استفاده از ورق های HPFRCC مصلح به الیاف فولادی از هر لحاظ به صرفه تر است.

[1]AKBAR HAJIPOUR ,PROF .MAHMUD REZA MAHERY ,MEHRAD ARAM, PRODUCING HIGH STRENGTH CONCRETE PLATES REINFORCED TO STEEL FIBERS TO PROTECT REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION.SCIENTIFIC ,RESEARCH AND INFORMATION SCIENCE QUARTERLY PERIODICAL OF CRISIS AND REFORM MANAGEMENT INTERNATIONAL ,CIVIL& RETOFITTING, WINTTER 2008

[2] BURAK FELEKOG ˘LU *, SELC ˘UK TU RKEL, YIG ˘IT ALTUNTAS,EFFECTS OF STEEL FIBER REINFORCEMENT ON SURFACE WEAR RESISTANCE OF SELF-COMPACTING REPAIR MORTARS, DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, DOKUZ EYL ˘L UNIVERSITY, 35160 IZMIR, TURKEY2007.

[3] OSMAN U ˘NALA, FUAT DEMIRB, TAYFUN UYGUNOG ˘LUA,FUZZY LOGIC APPROACH TO PREDICT STRESS–STRAIN CURVES OF FIBER-REINFORCED CONCRETES IN COMPRESSION ,BUILDING AND ENVIRONMENT ,OCTOBER 2006

- [4] CONCRETE TECHNOLOGY ,A.M. NEVILLE & J.J. BROOKS
- [5] PULLOUT BEHAVIOUR OF FIBERS IN STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE , BERND WEILER, CHRISTIAN GROSSE 2008
- [6]DUCTILE DOUBLE-LAP JOINTS FROM BRITTLE GFRP LAMINATES AND DUCTILE ADHESIVES, PART II: NUMERICAL INVESTIGATION AND JOINT STRENGTH PREDICTION, JULIA DE CASTRO, THOMAS KELLER, COMPOSITES: PART B 39 (2008) 282–291
- [7] THE STATIC BEHAVIOR OF A MODULAR FOAM-FILLED AFRP BRIDGE DECK WITH A STRONG WEB-FLANGE JOINT , GOANGSEUP ZI, BYEONG MIN KIM, YOON KOOG HWANG, YOUNG HO LEE C , COMPOSITE STRUCTURES 85 (2008) 155–163