مجلهٔ تحقیقات بتن
تابستان۸۹ ،سال سوم، شمارهٔ۱
ص۵۹-۵۱
تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۱۱

مقایسهٔ مقاومتی بتن‌های حاوی الیاف برای تولید ورق‌های بتنی با مقاومت بالا

مهراد آرام
کارشناس عمران، عضو باشگاه پژوهشگران جوان –دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان
Mehrad_aram@yahoo.com
حسین میسمی
دکتری عمران، رئیس مرکز ملی مقاوم سازی

چکیده:
درحال حاضر اهمیت مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌ها درمناطق لرزه‌خیز بر کسی پوشیده نیست. با توجه به این‌که ساختمان‌های بتن آرمه موجود عموماً براساس آیین‌نامه‌های قدیمی بدون در نظر گرفتن اثر نیروهای زلزله طراحی و ساخته شده‌اند و آیین‌نامه‌های جدید لرزه‌ای را برآورده نمی‌کنند لذا این ساختمان‌ها باید مورد مقاوم‌سازی قرار گیرند. تحقیق در ضوابط مادهٔ HPFRCC به عنوان یکی از مناسبترین روش‌های مقاوم سازی موضعی اعضای ساختمان‌های بتن‌آرمه از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. برای تعمیر ساختمان‌های بتن‌آرمه آسیب‌دیده در اثر زلزله و یا برای اجرای مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن‌آرمهٔ موجود از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود. در رابطه با ترمیم و یا تقویت اعضای بتن‌آرمه در حال حاضر دو روش استفاده از ورق‌های فولادی و استفاده از ورق‌های FRP مطرح می‌باشند. هرکدام از این دو روش دارای نکات ضعف و قوت خاصی می‌باشند. از نکات ضعف هر دو روش می توان به ناهمگون بودن این مواد با بتن‌آرمه و ناهماهنگی در خصوصیات و رفتار آنها اشاره نمود، تحقیقات اولیه نشان داده است که مادهٔ جدید HPFRCC که اساساً یک بتن مقاومت بالا با الیاف فولادی، شیشه‌ای، آرامیدوکربنی است هماهنگی رفتاری مناسب‌تری با بتن داشته‌اند و از نظر مقاومت خمشی و برشی در حد دو ماده دیگر می توانند مقاومت بتن‌آرمه را افزایش دهند. در این مقاله سعی بر مقایسه کامل بین بتن‌های حاوی الیاف‌های فوق از نظر مقاوت فشاری و کششی برای تولید ورق‌های بتنی با مقاومت بالا شده که در آخر نمونه‌های حاوی الیاف فولادی نتایج مقاومت کششی و فشاری بهتری برای تولید این ورق‌ها نسبت به بقیهٔ نمونه‌ها داشته است.

واژه‌های کلیدی :مقاوم‌سازی، ورق بتنی، الیاف فولادی، الیاف شیشه، الیاف آرامید.

مقدمه

هـر چنـد از ابتـدای پیـدایش بـتن، تحـول انـدکی درسـاختار آن به‌وجودآمده ولی طیف وسیعی از کـاربرد بـتن عمـلاً بیـانگر ایـن مطلـب اسـت کـه مزایـای بیـشماری کـه ایـن نـوع مـصالح از آن برخوردار است، (ارزان، قابل دسترس، دارای مقاومت و ...) سـایر موارد آن را تحت الشعاع قرار می‌دهد.

به منظور ایجاد شـرایط همگـن و نیـز کـاهش ضـعف شـکنندگی جسم بتن تا حد ممکن، در چند دهۀ اخیـر از رشـته‌هـای نـازک و نـسبتاً درازی کـه در تمـام حجـم بـتن، بـه‌طـور همگـن و در هـم پراکنده می گردد، استفاده می شود.

برای تقویت ماتریس‌های سیمانی تاکنون الیـاف مختلفـی از قبیـل فولادی، شیشه‌ای، نایلون، پلی پروپیلین، آزبستی، کـربن، کـولار، بلبو و ... استفاده شده است.

با توجه به اینکه عملکـرد الیـاف در مـاتریس سـیمانی بـستگی بـه مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف به کار برده شده در آن دارد در این قسمت سعی شده اسـت کـه ویژگـی‌هـاس مناسـب الیـاف به‌کار رفته در بتن شناسایی گردد. این ویژگی‌ها مهم شامل شـکل و انـدازۀ الیـاف، نـسبت ظـاهری، خاصـیت و ضـریب ارتجـاعی، قابلیت پیوستگی ماتریس، خصوصیات بین سطوح، بافت سطحی، ضریب پواسـون، ضـریب کشـشی، کـرنش پـذیری و نحـوۀ قـرار گرفتن الیاف در ماتریس می باشد[۱].

درسال‌های اخیر بحث تعمیر و اسـتحکام سـاختارهای موجـود در بین مهندسین عمران رایج شده است. علل اولیه برای مقاوم نمودن ساختارسازه‌ها عبارت‌اند از:

۱- بـالا بـردن اسـتحکام بـرای افـزایش مقاومـت در زیـر بارهـای باقیمانده؛

۲- جلوگیری از شکست که منجر بـه ایجـاد یـک جـزء نامناسـب می‌گردد؛

۳- بازگرداندن ظرفیت تحمـل بـار بـرای جلـوگیری از غلبـۀ بـار، زمین‌لرزه و عوامل دیگر که باعث فرسایش یا سایش می گردند.

کاربرد الیاف به منظور بهبود بخشیدن به خواص بتن کاربرد وسیع را در سازه‌های بتنی و بتن مسلح پیـدا کـرده اسـت. دلیـل کـاربرد گسترده الیاف، مزایـای بـی‌شـمار فنـی و اقتـصادی در جـسم بـتن می‌باشد. اثرات مثبت کاربرد الیاف در بتن به شرح زیر می‌باشد.

۱- افزایش مقاومت خمشی ۲- افزایش مقاومت برشی۳- افزایش مقاومت کشـشی۴-افـزایش مقاومـت در برابـر بارهـای دینـامیکی بویژه بارهای ضربه‌ای ۵- افزایش میزان جذب انرژی ۶- افـزایش مقاومـت مقطـع در قبـال تـرک‌خـوردگی ۷- کـاهش در میـزان انقباض، خزش و سایش سطحی [۲].

تاریخچۀ الیاف

در زمان‌های گذشته، از الیـاف جهـت تقویـت مـلات‌هـای تـرد و شکننده استفاده می‌شد که مشهورترین و پرطرفدارترین آن که بـه علت ارزانی قابل دسترسی بوده و هست، کاه می باشـد کـه بـرای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندودها در قبال ترک خوردگی که بعد از خشک شدن به‌وجود می‌آید، به‌کاررفته و در حال حاضر نیز ارزانترین نـوع مـلات در منـاطق روسـتایی کـشور است.

استفاده از کاه و مخصوصاً موی دم اسب و یا بز در بناهای قدیمی ایران به‌خصوص گنبدها سابقۀ طولانی و تاریخی دارد که بصیرت و اطلاع صاحبان فـن را در مـورد الیـاف نـشان مـی‌دهـد. کـاربرد الیاف فولادی از اواسط قرن اخیر آغاز گردیده و تاریخ دقیقی در مورد استفاده از این روش در دسترس نیست ولی افراد مختلف بـا استفاده از روش‌ها متفاوتی نظیر کاربرد تکه‌های سیم یا بریده‌های فلز در داخل بتن، امتیـاز ایـن نـوع روش را بـه نـام خـود بـه ثبـت رسانده‌اند.

کاربرد گستردۀ بتن با الیاف از اواسط سـال ۱۹۶۰ بـرای روسـازی جاده ها، کف سالن‌های صنعتی، جداره کوره‌ها و ... انجام گرفتـه است.

مهم‌ترین الیافی که به‌طور وسیع استفاده مـی‌شـود الیـاف شیـشه‌ای است که تجارب کـاربرد ایـن نـوع الیـاف همزمـان بـا شـوروی و انگلستان درسال ۱۹۵۰ در آمریکا آغاز شد. کاربرد ایـن تکنیـک عمدتاً با استفاده از عمـل اسـپری الیـاف شیـشه‌ای و خمیـر پرمایـۀ سیمان از دو مجرا که به طور همزمان بر روی یـک سـطح پاشـیده می‌شود انجام می‌گیرد [۳].

بتن مسلح به الیاف فولادی

درسال‌های اخیـر تحقیقـات وسـیعی انجـام گرفتـه و سـعی شـده 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 می‌باشد[۱].

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 بتن‌ریزی 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 به‌طور درهم و کاملاً اتفاقی و در جهات مختلف در مخلوط پراکنده شده که وجود الیاف فولادی مشخصات بتن را نسبت به حالت خالص بهبود می‌بخشد. در این بررسی شبکه‌های آرماتور، تورهای بافته شده و یا آرماتورهای نازک و دراز نمی‌توانند به عنوان الیاف‌های پراکنده و منفرد در بتن تلقی گردد[۱۴].

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 برتریت دارد.

مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی را، می‌توان به‌طور خلاصه به شرح زیر بیان داشت:

۱- مقاومت عالی در مقابل ضربه

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

۳- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک‌خوردگی

۴- مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد

۵- طاقت خیلی زیاد

الیاف فولادی

پارامتر مناسب که یک رشته از الیاف را تعریف می‌کند نسبت ظاهری می‌باشد که نسبت طول الیاف به قطر معادل الیاف است. مقدار نسبت‌های ظاهری (l/d) معمولاً بین ۳۰ تا ۱۵۰ به طول‌های 0.6 cm تا 7.5 cm است. الیاف فولادی صنعتی معمولاً از نسبت (l/d) حداکثر تا ۱۲۵ برخوردار هستند.

الیاف فولادی دارای شکل و قطرهای متفاوتی بوده و نحوهٔ ساخت آنها نیز متفاوت می‌باشد. در روش ریخته‌گری، الیاف با شکل هلالی و با سطوح صاف به‌دست می‌آید. الیاف فولادی که به‌طریقهٔ ماشینکاری تولید می‌شود، دارای شکل هلالی، مثلثی، تاب خورده می‌باشد.

الیاف فولادی با مقطع دایره‌ای معمولاً در قطرهای 0.25 mm تا 0.6 mm هستند. الیاف با مقطع مستطیلی (نواری) نیز با 0.15 mm تا 0.5 mm ضخامت و 0.25 mm و 0.9 mm عرض تولید می‌شوند. (عکس شماره۱).

به‌طورکلی کیفیت بتن الیافی می‌تواند به عامل‌های عمدهٔ زیر بستگی داشته باشد:

۱- نسبت‌های مخلوط بتن

۲- مشخصات هندسی الیاف فولادی

۳- نسبت طول به قطر الیاف (l/d)

۴- مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف

۵- مشخصات فیزیکی و جنس الیاف فولادی[۵]

الیاف آرامید

الیاف آرامید که در حدود سال‌های ۱۹۷۰معرفی شد، ترکیب آلی حلقوی از کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن می‌باشد. دانسیته کم و استحکام کششی بالا در این الیاف، موجب تشکیل یک ساختار چقرمه ومقاوم به ضربه با سفتی حدود نصف الیاف کربن می‌شود. الیاف آرامید در ابتدا به منظور جایگزینی فولاد در تایرهای رادیال ساخته شدند و بعدا کاربردهای دیگری پیدا کردند. جلیقهٔ ضد گلوله از موفقیت‌آمیزترین کاربردهای الیاف آرامید می‌باشد.

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 می‌توانند در ساخت کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

الیاف آرامید به دلیل سبکی، پایداری حرارتی خوب و چقرمگی عالی، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

الیاف کولار از زنجیرهای مولکولی طولانی پلی پارا فنیلن ترفتال

آمید، تولید شده‌اند. آرایش یافتگی بالای زنجیرها به همراه اتصال خوب بین آنها، تلفیق منحصر به فردی از خواص را ایجاد می‌نماید که برخی از آنها عبارت‌اند از:

۱- استحکام کششی بالا و وزن کم
۲ -ازدیاد طول کم در پارگی
۳ -چقرمگی خوب
۴ -مدول بالا
۵ -پایداری ابعاد عالی
۶ -مقاومت پارگی بالا
۷-جمع‌شدگی حرارتی کم
۸ - خزش بسیار کم
۹- مقاومت سایش و اصطکاک عالی

پس از سنتز، پلیمر آرامیدی در محلول اسیدسولفوریک حل می‌شود و بعد تبدیل به الیاف می‌شود. قطر الیاف در حد چند میکرون است و مورفولوژی نهایی با اعمال حرارت در دمای oC ۱۵۰ تاoC ۵۵۰ به‌دست می‌آید. کولارها بسته به درجهٔ آرایش یافتگی مولکولی، سفتی‌های متفاوت دارند. کولار ۲۹ به عنوان سیم تایر و کولار ۴۹ در کابل‌های زیر آب استفاده می‌شوند.

کولارها تقویت‌کنندهٔ ممتازی در صنایع فضایی محسوب می‌شوند. در سالهای اخیر کولار ۱۴۹ نوع سفت‌تر کولارها معرفی شده است.

همچنین کولارها به دلیل کاربرد در پرتابه‌ها و حفاظت حرارتی آنها و به‌دلیل چقرمگی و توانایی در جذب انرژی شهرت دارند.

ساختار ناهمگون پلیمر در جهت طولی، به الیاف استحکام کششی بسیار زیادی می‌دهد. نیروی اعمالی توسط باندهای قوی شیمیایی زنجیرهای پلیمری تحمل می‌شود. زنجیرهای پلیمری مجاور هم در یک ناحیهٔ کریستال توسط بر هم کنش واندروالس و پیوندهای هیدروژنی که نسبت به باندهای شیمیایی نسبتاً ضعیف‌ترند و راحت‌تر جدا می‌شوند، کنار هم نگاه داشته می‌شوند. بنابراین الیاف در جهت عرضی خواص مکانیکی ضعیفی دارند.

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

الیاف شیشه

الیاف شیشه مشهورترین تقویت‌کنندهٔ مورد استفاده در صنعت کامپوزیت می‌باشد و انواع مختلفی از آن به‌صورت تجاری وجود دارند که برخی از آنها عبارت‌اند از:

E، S، C، ECR، AR . ترکیبات شیمیایی این الیاف‌ها با هم متفاوت است و هر کدام برای کاربرد خاصی مناسب است.

تقریباً ۹۰ درصد الیاف مورد استفاده در کامپوزیت‌های مهندسی الیاف شیشه می‌باشد. الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارد، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می‌کند، مقاومت رطوبت و خوردگی مناسبی دارد و نسبتاً ارزان است.

●فرآیند تولید الیاف شیشه را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

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

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

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

۴- بخش Bushing: شیشهٔ 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.

●آهار زنی: الیاف مو مانند، با یک مخلوط شیمیایی مایع که Sizing نامیده می‌شود، پوشش داده می‌شوند. آهار زنی به دو علت اصلی انجام می‌شود:

۱ـ برای محفوظ ماندن الیاف از سایش به یکدیگر در طی فرآیند ساخت و کار
۲ـ به منظور حصول اطمینان از چسبندگی الیاف به رزین
●دسته (strand): یک دسته از چند تاو (tow) تشکیل شده است و هر تاو بیانگر تعداد لیف‌هایی (fiber) است که از یک بوش ریسیده 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 شکل‌دهی و میزان آرایش یافتگی الیاف دارد.
تعداد تارهای (filament) یک رشته توسط تکس (tex) بیان می‌شود. به عنوان مثال ۶۰۰، ۱۲۰۰ ، ۲۴۰۰ .(m/g۱۰۰۰=۱tex) 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 آغشته‌سازی الیاف با رزین خیس‌خوردگی (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 نمونه‌های 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 شکل‌پذیری خوبی از خود نشان دهد. ضمناً باید یادآور شد که اقتصادی بودن نیز یکی از خواسته‌های مهم طرح می‌باشد 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 نمونه‌های مختلف (از جمله نمونهٔ فشاری ۵×۵×۵ سانتیمتری و نمونهٔ پاپیونی) با طرح اختلاط‌های متفاوت و فوق روانساز با پایه پلی کربوکسیلات اتر و سیمان تیپ ۱ تهران ساخته شده و تحت آزمایش فشاری و کششی قرار گرفته است. یادآور می‌شود که دیگر مصالح مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از: ۱- ماسه کوارتزی ۲ -میکروسیلیس ۳- متاکائولن
در جدول شمارهٔ ۱، طرح اختلاط بتن بدون الیاف برای ساخت نمونه‌ها آورده شده است.

طریقهٔ ساخت نمونه‌ها

در ساخت این نمونه‌ها ابتدا ۵۰ درصد آب و فوق‌روان‌ساز با شن و ماسه به مدت ۳ دقیقه درون میکسر مخلوط می‌شوند، سپس سیمان به مخزن اضافه شده و با مواد ۳ دقیقه مخلوط می شود. بعد از این زمان به مخلوط ۲ دقیقه استراحت می‌دهند و بعد از ۲ دقیقه باقیماندهٔ آب و فوق‌روان‌ساز به بتن اضافه می‌شود. نمونه یک روز پس از ساخت از قالب خارج شده و۳ روز درون آب با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است. نمونه‌ها بعد در دمای ۲۸ درجه آزمایشگاه به مدت ۲۵ روز قرار گرفت، بعد از این زمان نمونه‌ها توسط دستگاه مخصوص شکسته شد.

نتایج مربوط به نمونه‌های فشاری

با فرض این موضوع که نمونه‌های مسلح به الیاف دارای مقاومت بالایی هستند و این‌که دستگاه قادر به شکستن نمونه‌های فشاری باشد لذا نمونه‌های فشاری به ابعاد ۵×۵×۵cm انتخاب شده‌اند. در اینجا نتایج آزمایشات نمونه‌های فشاری با توضیحات کامل در جدول‌های مربوطه آمده‌اند و در هر قسمت نمودار مربوط به آنها رسم گردیده است.
نمونهٔ بدون الیاف فقط برای مقایسهٔ تفاوت به‌وجود آمده در مقاومت فشاری نمونه‌ها ساخته حاوی الیاف با نمونه بدون الیاف ساخته شده است. عکس شمارهٔ ۲ نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. همانگونه که در تصویر مشخص است نمونه‌ها به‌صورت مخروطی شکسته شده است که ایده‌آل‌ترین نوع شکست بتن می‌باشد.جدول شمارهٔ ۲ مقاومت نمونه‌های فشاری بدون الیاف را نشان می‌دهد.
بعد ازساخت نمونه‌های بدون الیاف، درمرحلهٔ بعد نوبت به نمونه‌های حاوی الیاف فولادی، شیشه وآرامید می‌باشد. ملات این بتن‌ها همانگونه که توضیح داده شد تولید می‌شود به اضافه این‌که در آخر به ملات الیاف اضافه می شود.نمونه‌های حاوی الیاف فولادی نسبت به آرامید و شیشه سخت‌تر با ملات مخلوط

می‌شد و در بعضی مواقع توده‌ای از الیاف در قسمتی جمع می‌شد که برای رفع این مشکل از الک استفاده شد. الیاف بر روی الک ریخته شده و به آرامی بر روی ملات تکان داده شده تا الیاف به‌صورت همگن به ملات اضافه شود. در جدول شمارهٔ ۳و۴ و۵ نتایج مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف نشان داده شده است.

در عکس‌های شمارهٔ ۴ و۵و۶ و۷ نمونه‌های حاوی این ۳ الیاف(فولاد، شیشه و آرامید) نشان داده شده است. نمونه‌ها به خاطره داشتن الیاف در موقع شکستن به‌صورت جسمی له شده درآمده‌اند.

در نهایت بعد از ساختن نمونه‌های زیادی از نمونهٔ ۵×۵×۵ cm فشاری پی بردیم که میکروسیلیس و الیاف و فوق روان سازومتاکائولن می‌تواند در افزایش مقاومت نمونه‌ها نقش بسزایی داشته باشد.

نمونه‌های پاپیونی یا کششی:

برای صرفه‌جویی در وقت و هزینهٔ کم‌تر سعی بر این شده است که نمونه‌های کششی برای طرح اختلاط‌هایی ساخته شود که آن طرح اختلاط‌ها در نمونه‌های فشاری جواب قابل قبول داده‌اند. ولی با این وجود باز هم بر روی بعضی از طرح اختلاط‌های دیگر نیز برای نمونه‌های کششی کار شده است. همان‌طور که از قسمت نمونه‌های فشاری دریافتیم، نوع الیاف و وجود میکروسیلیس و متاکائولن تأثیر زیادی درمقاومت نمونه‌ها داشتند. با توجه به این موضوع نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های کششی(پاپیونی) در جداول ۶ و۷ و۸ و۹ مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که در عکس شمارهٔ ۶ مشخص می باشد نمونه‌های بدون الیاف به‌خاطر پایین بودن مقاومت کششی از جایی که کمترین حجم را دارند (از کمر) شکسته‌اند ولی در عکس شمارهٔ ۷، نمونه‌ای دارای الیاف از محل قرار گرفتن فک جک شکسته‌اند که احتمالاً به‌خاطر تنش ایجاد شده از فک جک می‌باشد.

جدول شمارهٔ ۱: مواد و مقدار به‌کار رفته در بتن مورد آزمایش

فوق‌روان‌ساز(lit)	آب(lit)	متاکائولن(kg)	میکروسیلیس(kg)	ماسهٔ کوارتزیتی(kg)	سیمان(kg)
۸,۵	۲۵۰	۱۱۰	۱۱۰	۸۹۰	۱۰۰۰

شکل ۱- توده از الیاف فولادی

عکس شمارهٔ ۲ نمونه‌های شکسته‌شده بدون الیاف

جدول شماره ۲ : مقاومت فشاری نمونه‌های بدون الیاف

مقاومت فشاری(Mpa)	وزن(g)	نمونه	مقاومت فشاری(Mpa)	وزن(g)	نمونه	اندازهٔ نمونه(Cm)
۹۸	۳۰۴	۳	۱۰۱	۳۰۸	۱	۵×۵×۵ نمونه
۱۰۳	۳۰۷	۴	۱۰۴	۳۰۵	۲	۵×۵×۵ نمونه

جدول شمارهٔ ۳: نتایج مربوط به نمونه‌های 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

جدول شمارهٔ ۴: نتایج مربوط به نمونه‌های فشاری با الیاف آرامید

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

جدول شمارهٔ ۵: نتایج مربوط به نمونه‌های فشاری با الیاف شیشه

مقاومت فشاری(Mpa)	وزن(g)	نمونه	مقاومت فشاری(Mpa)	وزن(g)	نمونه	اندازه نمونه(Cm)
۱۲۵	۳۵۰	۳	۱۱۷,۶	۳۴۸	۱	۵×۵×۵ نمونه
۱۲۴,۳	۳۵۱	۴	۱۲۳,۴	۳۴۷	۲	۵×۵×۵ نمونه

عکس شمارهٔ ۳و۴ نمونه‌های شکسته‌شده با الیاف فولادی

عکس شمارهٔ ۵ نمونه با الیاف شیشه

عکس شمارهٔ ۶ نمونه شکسته‌شده الیاف آرامید

جدول شمارهٔ ۶: نتایج مربوط به نمونه‌های کششی بدون الیاف

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

عکس شمارهٔ۶ نمونه‌های شکسته شده بدون الیاف

جدول شمارهٔ ۷: نتایج مربوط به نمونه‌های کششی حاوی الیاف فولادی

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

جدول شمارهٔ ۸: نتایج مربوط به نمونه‌های کششی حاوی الیاف شیشه

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

عکس شمارهٔ ۷ نمونه کششی شکسته‌شده حاوی الیاف

جدول شمارهٔ ۹: نتایج مربوط به نمونه‌های کششی حاوی 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

نتیجه‌گیری:

۱- بتن پر مقاومت را با استفاده از روش‌های معمولی و مصالح قابل دسترس می‌توان تهیه نمود.

۲- طبق نتایج به‌دست آمده استفاده از الیاف و پوزولان باعث بالاتر رفتن پارامترهای فیزیکی (مقاومت فشاری وکششی) بتن می‌شود.

۳- با افزایش مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و کششی چنین بتن‌هایی نیز افزایش می‌یابد .

۴- با توجه به مقایسه بین الیاف مصرفی این نتیجه حاصل گردید که استفاده از الیاف فولادی از لحاظ مقاومتی بهتر، ونحوهٔ اجرا آسان و بهینه‌تر می باشد

۵- با توجه به سخت بودن اجرای ورق‌های FRP در سراسر دنیا استفاده از ورق‌های HPFRCC مصلح به الیاف فولادی از هر لحاظ به صرفه‌تر است.

مراجع

[1]. Hajipour, A. Mahery, M.R. Aram, M. "Producing High Strength Concrete Plates Reinforced to Steel Fibers to Protect Reinforced Concrete Construction." ACI Journal, Jul-Aug, Vol. 88, No. 4, pp. 384-389.

[2].Felekoğlu, S.B., Turkel, U.K., and Altuntas Y., "Effects of Steel Fiber Reinforcement on Surface Wear Resistance of Self-Compacting Repair Mortars, Department of Civil Engineering, Dokuz Eylu¨ l University, 35160 Izmir, Turkey2007.

[3].Űnala, O., Demirbaş, F., Uygunoğlua, T., "Fuzzy Logic Approach to Predict Stress–Strain Curves of Fiber-Reinforced Concretes in Compression, Building and Environment," october 2006.

[4]. Neville, A.M. and Brooks , J.J., "Concrete Technology," Ninth CANMET/ACI Interna - tional Conference on Advances in Concrete Technology, Poland, May - June 2007.

[5].Bernd. w., Christian G., "Pullout Behav - iour of Fibers in Steel Fiber Reinforced Concrete "' 2008

[6]. De Castro, j., Keller , Th., "Ductile Double-lap Joints From Brittle GFRP Laminates and Ductile Adhesives", Part ii: Numerical Investigation and Joint Strength Prediction, Composites: Part B 39 (2008) 282–291

[7]. Goangseup Zi, Byeong Min Kim, Yoon Koog Hwang, Young Ho Lee C, "The Static Behavior of A Modular Foam-Filled Afrp Bridge Deck With A StrongWeb-Flange Joint , Composite Structures 85(2008)155–163