فصلنامه آنالیز سازه- زلزله دوره ۱۷، شماره ۴، زمستان۱۳۹۹

بررسی مقایسه‌ای رفتار مکانیکی بتن مسلح شده با الیاف فلزی صنعتی و براده‌ای بازیافتی

فرهاد جیره
کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد بستان آباد دانشگاه آزاد اسلامی، بستان آباد، آیران
ضیاء الدین زمان‌زاده*
استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بستان آباد دانشگاه آزاد اسلامی، بستان‌آباد، ایران
لیلا جلیلی
دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
Zia.zamanzadeh@gmail.com
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

در سالهای اخیر اغلب تحقیقات آزمایشگاهی صورت گرفته در مورد رفتار مکانیکی بتن مسلح شده با الیاف فولادی بازیافتی و صنعتی در کشورهای خارجی بوده و لازم است مطالعه‌هایی در مورد بتن الیافی ساخته شده از مصالح موجود کشور انجام گیرد. در این مقاله تحقیق آزمایشگاهی و عددی در مورد رفتار مکانیکی بتن الیافی انجام گرفته است. در قسمت آزمایشگاهی ابتدا با الگو برداری از طرح اختلاط ارائه شده در تحقیقات پیشین برای بتن الیافی بازیافتی دو طرح اختلاط متناسب با مصالح موجود کشور تعیین گردید به طوری که با افزودن دو مقدار متفاوت الیاف فولادی، اسلامپ روانی مطلوب را به ما بدهد. اثر الیاف صنعتی و براده‌ای بر روی رفتار فشاری و کششی بتن الیافی با انجام تستهای فشاری و کشش غیر مستقیم بررسی شد. افزودن الیاف صنعتی و براده‌ای باعث کاهش ناچیز مقاومت فشاری و کششی غیر مستقیم گردیده است. در شبیه‌سازی و مدلسازی اجزای محدود تستهای فشاری، تشکیل ترک‌ها در المانهای بتنی اطراف عناصر فولادی، وقوع گرادیان تنش در این المانهای بتنی را تایید کرد که منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود.

کلید واژگان: بتن مسلح به الیاف فولادی ، الیاف براده ای تراشکاری ، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

۱- مقدمه

تقویت نقاط ضعیف مصالح مصرفی همواره یکی از اهداف بشر بوده و تاریخ شروع استفاده از الیاف در مصالح به درستی مشخص نیست. ایده اضافه کردن الیاف به مخلوطهای ترد و شکننده که در مقابل کشش توان ناچیزی دارند، از زمانهای قدیم وجود داشته است. و از الیاف جهت تقویت ملاتهای ترد و شکننده استفاده می شد که مشهورترین و پرطرفدارترین آن به علت ارزانی و قابل دسترسی کاه می باشد که برای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندودها در قبال ترک خوردگی که بعد از خشک شدن به وجود می آید، به کار رفته و در حال حاضر نیز ارزانترین نوع ملات در مناطق روستایی کشور است. علی‌رغم اینکه بتن ماده‌ای شکننده با معایبی همچون مقاومت کششی و شکل‌پذیری بسیار کم می‌باشد، به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین مصالح در صنعت ساختو ساز مطرح می‌باشد. مسلح نمودن بتن با استفاده از الیاف فلزی صنعتی برای کاهش معایب فوق‌الذکر از بدو پیدایش این فراورده سیمانی موردبررسی قرارگرفته است[1]. در اوایل دهه ۱۶۹۱ در کشور امریکا اولین تلاش اصلی برای مسلح کردن بتن بوسیله جاگذاری الیافهای فولادی توسط بستون برای کاهش معایب فوق‌الذکر صورت گرفت. بعد از آن، تحقیقات علمی بسیار زیادی درزمینه تعیین مشخصات مکانیکی بتن مسلح با الیاف فولادی انجام گرفته است [2-4] به‌گونه‌ای که روش‌های طراحی سازه‌ای با استفاده از این نوع بتن‌ها وارد آیین‌نامه‌های معتبر جهان‌گشته است[5,6]. معمولا بتن مسلح به الیاف فولادی همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح به الیاف فولادی اساسا شبیه طراحی بتن ساده است. با این وجود، باید برخی ملاحضات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی و گلوله‌ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید[7]. الیاف به خاطر آسانی پخش باید بصوت خشک وارد مخلوط شود. در فرایند ساخت بتن الیافی باید از ایجاد پدیده گلوله‌ای شدن جلوگیری به عمل آید. این مشکل اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد (بیش از۲ در صد حجمی یا نسبت طول به قطر بالا) و یا اضافه کردن خیلی سریع الیاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد بوجود می‌آید[8]. در این پدیده الیاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارایی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می شود[9]. از سوی دیگر سالانه میلیون‌ها تن تایر ضایعاتی در سراسر جهان از جمله کشور ایران به‌عنوان زباله دفع می‌گردد. با توجه به حجم زیاد زباله و خطرات محیط‌زیستی که به بار می‌آورد، محققان در رشته‌های مختلف به این فکر افتادند که ضایعات والیاف فلزی بازیافتی از تایر را در صنایع مختلف از جمیله در مهندسی عمران به کار ببرند[9-14]. هدف از این پژوهش، استفاده از الیاف برادهای ضایعاتی از کارگاههای تراشکاری به جای الیاف فلزی صنعتی می‌باشد. این کار اولا علاوه بر فواید زیست محیطی، باعث رونق هر چه بیشتر صنعت بازیافت در کشورمان خواهد شد. همچنین می‌توان هزینه‌های ساخت سازه های بتن آرمه را با اضافه نمودن این الیاف کم‌هزینه‌ی بازیافتی، کاهش داد؛ زیرا وجود الیاف فلزی به علت بهبود بخشیدن عملکرد بتن، می‌تواند باعث کاهش حجم میلگرد مصرفی در سازه‌ها و ابعاد اعضای سازه ای گردد. دوما الیاف فولادی صنعتی به علت وارداتی و گران بودن در کشور ما جایگاه وسیعی در پروژهای عمرانی ندارند. در صورتی که می‌توان به علت ارزانی ضایعات برادهای کارخانه‌ها و کارگاههای تراشکاری آنرا جایگزین الیاف فولادی صنعتی کرد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱-۲-طرح اختلاط بتن الیافی و مشخصات کلی مصالح

برای ساخت بتن الیافی از طرح اختلاط توصیه شده در پژوهشی که توسط زمان زاده و همکاران در سال ۲۰۱۵ در کشور پرتغال [9,10] صورت گرفته استفاده شده است. اگرچه به دلایلی از جمله تغییر نوع و درصد الیاف همچنین عدم در دسترس بودن کلیه مصالح استفاده شده در طرح اختلاط مذکور، تغییراتی در طرح فوق اعمال گردید و دو نوع طرح مختلف M1 و M2 بسته به مقدار الیاف طوری تعیین گردید (جدول ۲) که کلاس مقاومت فشاری و اسلامپ روانی مطلوب بتن (۷۰ سانتی متر) بعد از افزودن الیاف حفظ شود.

آب مصرفی در آزمایش آب شرب شهر بستان‌آباد بوده از نظر کیفیت مورد قبول و ph: ۸/۱۱ می باشد. سیمان مصرفی در این آزمایش از نوع تیپ ۲ کارخانه صوفیان تبریز می‌باشد و از پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان اردبیل نیز به عنوان مواد پوزولانی استفاده گردید. سنگدانه‌های استفاده در این تحقیق از نوع سنگدانه‌های معمولی و طبیعی هستند که از معادن اطراف شهر بستان آباد تهیه شده‌اند که حداکثر اندازه آنها ۱۲,۵ میلیمتر است. ماسه مورد استفاده در این تحقیق از نوع معمولی و طبیعی است که از معادن اطراف شهر بستان‌آباد تهیه شده و در کارخانه مورد شستشوی قرار گرفته است و ضریب نرمی آن برابر ۳ و ارزش ماسه برابر با ۸۵ و جذب آب آن برابر با ۲/۱ درصد می‌باشد. جهت تهیه بتن الیافی با روانی قابل قبول و پایداری مناسب، همچنین کاهش میزان مصرف شن و به دلیل الزامات ژئولوژی خاص استفاده از فیلر الزامی است. استفاده از فیلرها مانند پودر سنگ گرانیت سبب پایداری مخلوط بتن می‌شود در نتیجه می‌توان جایگزین مواد اصلاح‌کننده ویسکوزیته مصرف نمود اندازه فیلرها معمولاً کمتر از ۰/۱۲۵ میلی متر است[15]. در این پژوهش از آهک ساختمانی که از معادن آذر شهر تهیه شده بود، استفاده گردید. فوق‌روان‌کننده مورد استفاده در این تحقیق محصول شرکت نامیکاران بوده و به رنگ قهوه‌ای می‌باشد.

الیاف مورد استفاده در تحقیق به دو دسته تقسیم می شود: الف) الیاف فولادی صنعتی از جنس فولاد کربنی با روکش گالوانیزه با طرح هندسی موجدار می‌باشد. که با کشیدن میلگردهای بدون آج (قطر حدود ۵ میلی‌متر) به روش سرد به تدریج در چند مرحله، میلگردها به سیم‌های نازک تبدیل شده و سپس سیم ها به صورت قطعاتی با هندسه خاص براساس استاندارد های ASTM A820-2011 و ISIRI 14491 تولید می‌شوند (شکل ۱- الف). ب) الیاف برادهای ضایعاتی که از

کارگاه‌های تراشـکاری در شـکلها ، اندازه ها و قطرهای مختلف از نوع فولادی و چدنی جمع‌آوری و بدون تغییرات در طرح استفاده شد. (شکل ۱-ب). جدول(۱) مشـخصـات فنی الیاف‌های فولادی مورد اسـتفاده را نشان می‌دهد.

ب الف

شکل۱ – الف) الیاف صنعتی با طرح موجدار ، ب) الیاف ضایعاتی از براده‌های تراشکاری

جدول ۱- مشخصات الیاف فولادی (صنعتی و براده‌ای) مورد استفاده در این تحقیق

نوع الیاف	چگالی (kg/m^3)	حداکثر کرنش در زمان گسیختگی%	مقاومت کششی (Mpa)	L/D (mm)	قطر (mm)	طول (mm)
فولادی صنعتی	۷۸۵۰	کمتر از ۴	بیشتر از ۱۰۵۰	۶۲,۵	۰,۸	۵۰
فولادی صنعتی	۷۸۵۰	کمتر از ۴	بیشتر از ۱۰۵۰	۳۱,۲۵	۰,۸	۲۵
فولادی براده‌ای	–	–	–	–	متغیر	متغیر

جدول ۲- طرح اختلاط مورد استفاده در تحقیق (وزن مصالح بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می باشد)

نام طرح	فوق روان کننده	آب	الیاف فولادی	درشت دانه		ریز دانه	آهک	سیمان	
				بادامی	نخودی	ماسه		تیپ ۲ تبریز	پوزولانی اردبیل
M1	۴,۸	۲۵۰	۷۵	۳۵۰	۵۷۶	۵۰۵	۲۵۰	۳۸۰	۱۰۰
M2	۶,۴	۳۱۵	۱۵۰	۵۰۰	۶۵۶	۴۵۳	۳۲۰	۴۲۰	۱۰۰

۲-۲. نحوه میکس بتن

الیاف صـنعتی به مقدار ۳۳ درصـد از الیاف به طول ۲۵ میلی‌متر و ۶۶ درصـد از الیاف به طول ۵۰ میلی متر با هم مخلوط شـده و در هر دو طرح به مقدار مشـخص شـده در جدول(۳) اسـتفاده گردید. پس از وزن کشی مصالح ابتدا ۷۵ درصد آب مورد نیاز را داخل میکسر ریخته و پس از آن شـن مورد نظر را به داخل مخلوط‌کن ریخته سـپس به آرامی سیمان مورد نظر به مخلوط کن ا ضافه می شود. پس از آن ما سه داخل مخلوط‌کن ریخته می‌شـود. پس از آنکه ۵۰ درصـد ماسـه به داخل مخلوط‌کن ریخته شـد، الیاف فولادی به همراه ماسـه اضـافه می‌شـود. سـپس آب باقیمانده را با فوق روان‌کننده و آهک در یک ظرف مخلوط کرده و به مخلوط‌کن ا ضافه می شود. سپس میکسر به مدت سه دقیقه به کار خود ادامه می‌دهد تا مخلوط به خوبی ترکیب شود سپس به مدت سه دقیقه میک سر خاموش گردیده و مجددا میک سر رو شن شده تا به مدت دو دقیقه کار کند بعد میکسـر خاموش گردیده و بتن به داخل قالب‌ها انتقال یافت.

۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

به منظور بررسی مقاومت فشاری بتن مسلح به الیاف فولادی صنعتی و بازیافتی، مقاومت فشاری ۳۰ نمونه مکعبی ساخته شده از بتن الیافی مسلح شده با سه مقدار متفاوت الیاف بازیافتی و صنعتی با استفاده از دستگاه دیجیتالی UTM-14P تعیین گردید (شکل ۲- ب). برای انجام آزمایش ابتدا نمونه‌ها پس از برر سی زیر صفحه جک د ستگاه آزمایش طوری قرار گرفت که نمونه در مرکز صفحات بارگذاری با شد. در ادامه پس از شروع به کار دستگاه، نیرویی برابر با ۶۸۰ نیوتن بر ثانیه از پایین به نمونه وارد شده و بارگذاری با نرخ ثابت روی همه نمونه‌ها صورت گرفت. قبل از انجام آزمایش وزن مخصوص نمونه‌ها تعیین گردیدند.

ب الف

شکل ۲- الف) نمونه ها بعد از آزمایش، ب) آزمایش تعیین مقاومت فشاری

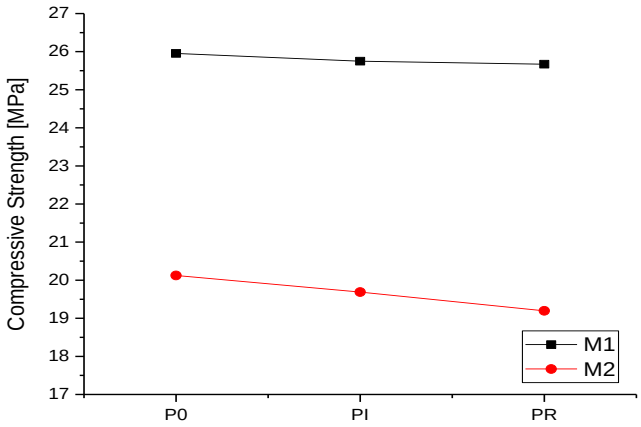
جدول ۳ نتایج آزمایشهای فشاری (۲۸ روزه) و همچنین مقادیر وزن مخصوص نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. در این جداول سمبل MiPIj نشان دهنده نمونه فشاری ساخته شده از میکس بتن i و الیاف صنعتی با مقدار الیاف j کیلو گرم بر متر مکعب بتن. در سمبل MiPRj به جای الیاف صنعتی از الیاف برادهای استفاده شده است. همانطور که انتظار میرفت افزودن الیاف فلزی باعث افزایش وزن مخصوص بتن گردیده است بطوریکه مقدار این افزایش برای بتن مسلح شده با الیاف برادهای بیشتر است. شکل (۲- الف) نمونه‌های آزمایش تعیین مقاومت فشاری را بعد از انجام تست نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نمایان است نمونه‌ها با انجام آزمایش فشرده شده و تغییر طول در امتداد محور قائم داده‌اند بدون اینکه متلاشی شوند. افزودن الیاف صنعتی و برادهای باعث کاهش ناچیز مقاومت فشاری گردیده است.

مقدار ضریب تغییرات مقاومت فشاری بدست آمده برای نمونه‌های ساخته شده از الیاف برادهای بیشتر است که میتواند به دلیل پخش ناهمگن این الیاف در داخل بتن نسبت به الیاف صنعتی باشد. همانند نتایج آزمایشهای نمونه‌های ساخته شده از میکس بتن M1 افزودن الیاف فلزی باعث افزایش وزن مخصوص بتن M2 گردیده است. بطوریکه مقدار این افزایش برای بتن مسلح شده با الیاف برادهای چشمگیرتر است.

جدول ۳- وزن مخصوص و نتایج آزمایشهای فشاری

نمونه	تعداد		وزن مخصوص (kN/M3)	مقاومت فشاری (Mpa)
M1P0	۳	میانگین	۲۰,۸۷	۲۵,۹۵
		ضریب تغییرات (٪)	۰,۰۸	۰,۱۰
M1PI75	۶	میانگین	۲۱,۱۷	۲۵,۷۴
		ضریب تغییرات (٪)	۰,۴۹	۱,۲۱
M1PR75	۶	میانگین	۲۱,۶۳	۲۵,۶۵
		ضریب تغییرات (٪)	۰,۵۰	۲,۹۳
M2P0	۳	میانگین	۲۰,۹۰	۲۰,۱۲
		ضریب تغییرات (٪)	۰,۰۸	۰,۱۳
M2PI150	۳	میانگین	۲۱,۰۹	۱۹,۶۸
		ضریب تغییرات (٪)	۰,۰۸	۰,۲۹
M2PR150	۶	میانگین	۲۱,۷۴	۱۹,۱۹
		ضریب تغییرات (٪)	۰,۵۶	۳,۰۹

همچنین افزودن الیاف صنعتی و براده ای باعث کاهش ناچیز مقاومت فشاری گردیده است. مقدار ضریب پراکندگی مقادیر مقاومت فشاری بدست آمده برای نمونه های ساخته شده از الیاف براده ای خیلی بیشتر از نمونه های ساخته شده از الیاف براده ای میباشد که پخش ناهمگن_تر این الیاف در داخل بتن نسبت به الیاف صنعتی را نشان میدهد. شکل(۳) نمایش گرافیکی نتایج تست های فشاری را نشان می دهد. مقادیر میانگین مقاومت فشاری در این شکل در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- نمایش گرافیکی و مقایسه ای نتایج تست های فشاری در طرح اختلاط M1 وM2

از شکل فوق می‌توان نتیجه گرفت با افزایش مقدار الیاف، تاثیر منفی الیاف براده‌ای نسبت به صنعتی بیشتر می‌باشد. هرچند با توجه به کاهش بسیار زیاد اسلامپ روانی بتن با افزایش مقدار حجمی الیاف، میکس بتن و نسبت آب به سیمان نیز تغییر یافته است که می‌تواند بر تاثیر الیاف بر مقاومت فشاری تاثیرگذار باشد. لذا انتظار می‌رود بتوان با انجام مطالعات بیشتر و انجام آزمایشهای جامع‌تر طرح اختلاط مناسبی برای بتن الیافی تهیه نمود که میزان این تاثیر منفی در مقاومت فشاری را به حداقل برساند.

۴-۲. آزمایش تعیین مقاومت کششی (غیر مسقیم)

به منظور برر سی مقاومت ک ش شی (غیر م سقیم) بتن م سلح به الیاف فولادی از تست کشش غیر مستقیم بر روی ۱۸ نمونه استوانه‌ای ساخته شـده از بتن الیافی مسـلح شـده با سـه مقدار متفاوت الیاف بازیافتی و صنعتی با استفاده از دستگاه دیجیتالی UTM-14P انجام گرفت (شکل ۴- الف).

ب الف

شکل ۴- الف) آزمایش کشش غیر مستقیم، ب) نمونه‌ها بعد از آزمایش

جدول (۴) نتایج آزمایشهای کشش غیر مستقیم نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر می‌باشد آزمایشهای تست کشش غیر مستقیم در همان روز انجام تستهای فشاری (۲۸ روزه) انجام گردید. مقادیر مقاومت کششی از تقسیم مقدار حداکثر نیروی اعمال شده بر سطح

مقطع طولی نمونه استوانه‌ای (۳۰۰×۱۵۰) بدست آمد. از نتایج بدست آمده در جدول (۴) میتوان نتیجه گرفت افزودن الیاف فلزی براده و صنعتی باعث کاهش مقاومت کششی گردیده است که این کاهش در نمونه‌های M1 مسلح شده با الیاف صنعتی بیشتر و در نمونه‌های M2 مسلح شده با الیاف براده‌ای بیشتر است.

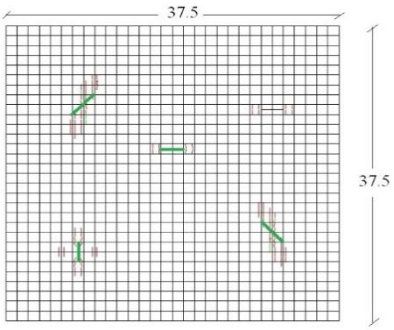
جدول۴- مقادیر مقاومت کششی برای نمونه های ساخته شده

نمونه	تعداد	مقاومت کششی (MPa)
M1P0	۳	۳,۳۷
M1PI75	۳	۳,۰۷
M1PR75	۳	۳,۳۵
M2P0	۳	۳,۴۱
M2PI150	۳	۳,۰۷
M2PR150	۳	۲,۹۳

با توجه به آنچه گفته شد می‌توان استنباط کرد این است که در حالت کلی نمیتوان حکم کلی مقایسه‌ای در مورد تاثیر الیاف فلزی براده و صنعتی در مقاومت کششی بتن الیافی داد. از سوی دیگر تست کشش غیر مستیم استفاده شده برای تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها، مقاومت کششی را تا اولین ترک خوردگی بدست می‌آورد در حالی که مهمترین نقش الیاف مربوط به ناحیه بعد از ترک خوردگی می‌باشد که باعث ایجاد تنشهای پسماند می‌شود. کاهش ناچیز مقاومت کششی بتن الیافی نسبت به بتن کنترل می‌تواند به دلیل زود تر اتفاق افتادن میکرو ترک‌ها باشد که با اولین ترک جک دستگاه بارگذاری را به پایان می‌رساند و دستگاه مورد استفاده قادر به بارگذاری و ثبت نتایج برای ناحیه بعد از ترک خوردگی نبود. در حالی که این نوع مصالح دارای رفتار سفت‌شدگی در ناحیه بعد از اولین ترک می‌باشند و انتظار مقاومت کششی بیشتر از مقاومت کششی نمونه کنترل باشد که با اولین ترک گسیخته می‌شود و ناحیه سفت‌شدگی ندارد. لذا تست کششی مورد استفاده آزمایش مناسبی برای بررسی خواص کششی بتن الیافی نمی‌باشد. شکل(۴-ب) نمونه‌های آزمایش کشش غیر مستقیم را بعد از انجام تست نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نمایان است بر خلاف بتن کنترل که با اولین ترک نمونه دو قسمت شده، نمونه‌های بتن الیافی حتی بعد از ترک خورگی همچنان شکل ظاهری خود را حفظ کرده‌اند.

۳. مدلسازی عددی

برای درک بهتر از تاثیر ذرات لاستیکی بر مقاومت فشاری بتن الیافی، آزمایش فشاری برای یک نمونه مکعبی بتن حاوی ذرات فولادی، شبیه‌سازی شد. برای این منظور، نرم افزار المان محدود فمیکس [16] مورد استفاده قرار گرفت. از یک مش المان محدود تشکیل شده از ۹۰۰ المان پلین استرس هشت گرهی برای شبیه‌سازی نمونه استفاده شد. با توجه به تقارن هندسه نمونه، شرایط تکیه‌گاهی و بارگذاری مورد استفاده در تنظیمات تست فشاری، یک چهارم از نمونه مدل‌سازی شد . از یک طرح انتیگریشن گاوس- لژاندر با نقطه‌های انتیگریشن (۲×۲) در تمام المانهای بتنی استفاده شد. ذرات فولادی با المانهای کابلی دو نقطه‌ای به طور کامل جاسازی شده در بتن (یک درجه آزادی در هر گره) مدل شدند و خواص کششی و فشاری فولادی به عنوان خواص مکانیکی این المانها به نرم‌افزار معرفی شدند. شکل (۵) الگوهای ترک این نمونه را از شبیه‌سازی عددی نشان می‌دهد. عناصر فولادی در رنگ سبز ارائه می‌شوند .همانطور که در شکل دیده می‌شود، ترک خوردگی در کامبینیشن چهارم که جزو ترکخوردگی‌های آغازین می‌باشد در المانهای بتنی اطراف المانهای فولادی شکل گرفته است.



شکل ۵- نمایش ترکها در اطراف الیاف (شبیه سازی المان محدود)

تشـــکیل ترک‌ها در المانهای بتنی اطراف عناصـــر فولادی ، تایید وقوع گرادیان تنش در این المانهای بتنی است. در واقع، سختی ذرات فولادی بسیار متفاوت تر از سختی ماتریس سیمان اطراف هستند، که منجر به عدم پیوســتگی ســختی ریزســاختار بتن الیافی می‌شــود. با توجه به عدم پیوستگی سختی ریز ساختار، گرادیان تنش ممکن است در محدوده بتن اطراف این ذرات رخ دهد که باعث ایجاد ترک در این عناصـــر بتنی می‌شـــود .ســـپس این ترک‌ها در نمونه پخش شـــده و منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در این تحقیق شامل نتایج آزمایش مقاومت فشاری و کششی (غیر مسقیم) در نمونه‌های تقویت شده با الیاف فولادی صنعتی و براده‌ای و شبیه‌سازی المان محدود تستهای فشاری بوده و به شرح زیر است:

۱) همانطور که انتظار میرفت افزودن الیاف فلزی باعث افزایش وزن مخصوص بتن گردیده است بطوریکه مقدار این افزایش برای بتن مسلح شده با الیاف براده ای بیشتر است. از طرفی افزودن الیاف صنعتی و براده ای باعث کاهش ناچیز مقاومت فشاری گردیده است. مقدار ضریب تغییرات مقاومت فشاری بدست آمده برای نمونه های ساخته شده از الیاف براده ای بیشتر است که میتواند به دلیل پخش ناهمگن این الیاف در داخل بتن نسبت به الیاف صنعتی باشد.

۲) شبیه سازی المان محدود تستهای فشاری بیانگر این بود که تشکیل ترک ها در المانهای بتنی اطراف عناصر فولادی ، تایید وقوع گرادیان تنش در این المانهای بتنی است. در واقع، سختی ذرات فولادی بسیار متفاوت تر از سختی ماتریس سیمان اطراف هستند، که منجر به عدم پیوستگی سختی ریزساختار بتن الیافی می شود. با توجه به عدم پیوستگی سختی ریزساختار، گرادیان تنش ممکن است در محدوده بتن اطراف این ذرات رخ دهد که باعث ایجاد ترک در این عناصر بتنی می‌شود. سپس این ترک‌ها در نمونه پخش شده و منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌شود.

۳) افزودن الیاف فلزی براده و صنعتی باعث کاهش مقاومت کششی گردیده است که این کاهش در نمونه‌های M1 مسلح شده با الیاف صنعتی بیشتر و در نمونه‌های M2 مسلح شده با الیاف براده‌ای بیشتر است. با توجه به آنچه گفته شد می‌توان استنباط کرد که در حالت کلی نمیتوان حکم کلی مقایسه‌ای در مورد تاثیر الیاف فلزی براده و صنعتی در مقاومت کششی بتن الیافی داد. از سوی دیگر تست کشش غیر مستقیم برای تعیین مقاومت کششی نمونه ها، مقاومت کششی را تا اولین ترک خوردگی بدست می‌آورد در حالی که مهمترین نقش الیاف مربوط به ناحیه بعد از ترک خوردگی می‌باشد که باعث ایجاد تنشهای پسماند می‌شود. کاهش ناچیز مقاومت کششی بتن الیافی نسبت به بتن کنترل می‌تواند به دلیل زود تر اتفاق افتادن میکرو ترک ها باشد که با اولین ترک جک دستگاه بارگذاری را به پایان می‌رساند و دستگاه مورد استفاده قادر به بارگذاری و ثبت نتایج برای ناحیه بعد از ترک خوردگی نبود. در حالی که این نوع مصالح دارای رفتار سفت شدگی در ناحیه بعد از اولین ترک می‌باشند و انتظار مقاومت کششی بیشتر از مقاومت کششی نمونه کنترل می‌باشد که با اولین ترک گسیخته میشود و ناحیه سفت شدگی ندارد. لذا تست کششی غیر مستقیم آزمایش مناسبی برای بررسی خواص کششی بتن الیافی نمی‌باشد.

۵- قدردانی

این تحقیق در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بستان‌آباد به انجام رسیده است. نویسندگان با کمال احترام، تشکرات خود را از ریاست محترم و مدیر گروه عمران وقت دانشگاه اعلام می‌دارند.

۶- منابع

[1] Bentur A., Minders S. Fiber Reinforced Cementition Composites. Elseveir Sciece publishing Ltd. 1990; New York, United State of America.

[2] Kakay S, Omdal R, Sæstad A., Refsland K, Gudmestad O.T. Effects of Using Fibres on Cracks and the Ductility of Lightweight Concrete. WIT Transactions on Engineering Sciences. 2015; 90: 133-147.

[3] Barros J.A.O, Cunha V. M, Ribeiro A.F, Antunes J.A. Post-cracking behaviour of steel fibre reinforced concrete. Materials and Structures. 2005; 31(1): 47-56.

[4] Buratti N, Mazzotti C, Savoia M. Post-cracking behaviour of steel and macro-synthetic fibre-reinforced concretes. Construction and Building Materials. 2011; 25(5):2713–2722.

[5] Darwish et al. Influence of fiber ratio in the size effect, Proceedings. Int conference concrete constructions sustainable option; 2008; Dundee, UK.

[6] CEB-fib Model Code 2010, CEB and FIP, 2011.

[7]. خالو،ع. رفتار و کاربردهای بتن الیافی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف1387 . تهران، ایران، ۴ اسفند، ۳۰-۱.

[8] ACI Committee 544. Guide for specifying, proportioning, mixing, placing, and finishing steel fiber reinforced,American Concrete Institute (ACI). 1998; report No. ACI 544 3R-93.

[9] Zamanzadeh Z, Lourenco L, Barros J. Recycled Steel Fiber Reinforced Concrete failing in bending and in shear. Construction and Building Materials. 2015; 85:195-207.

[10] Barros J.A.O, Zamanzadeh Z, Mendes P.J.D, Lourenço L.A.P. Assessment of the potentialities of recycled steel fibres for the reinforcement of cement based materials. The New Boundaries of Structural Concrete Session C – New Scenarios for Concrete; 2013; Bergamo, Italy.

[11] Lourenço L.A.P, Zamanzadeh Z, Barros J.A.O, Rezazadeh M. Shear strengthening of RC beams with thin panels of mortar reinforced with recycled steel fibres. Journal of Cleaner Production 2018; 194:112-126

[12] Barros J.A.O, Frazão C, Caggiano A., Folino P, Martinelli E, Xargay H, Zamanzadeh Z, Lourenço L. Cementitious Composites Reinforced with Recycled Fibres. Chapter 8 of the book "Recent Advances on Green Concrete for Structural Purposes", Springer book, Eds: Barros J.A.O, Ferrara L, Martinelli, E, ISBN:978-3-319-56795-2.

[13] Centonze G, Leone M, Aiello M.A. Steel fibres from waste tyres as reinforcement in concrete: A mechanical characterisation. Construction and Building Materials. 2012; 36:46-57.

[14] Aiello M.A, Leuzzi F, Centonze G, Maffezzoli A. Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: Pull-out behaviour, compressive and flexural strength. Waste Management. 2009; 29 (6):1960-1970.

[15] متین‌پور م ح، بررسی خواص مکانیکی بتن خود تراکم تقویت شده با الیاف شیشه، گزارش نهایی طرح پژوهشی2013 ، گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.

[16] Azevedo A.F, Barros J.A.O, Sena-Cruz J.M, Gouveia A.V. Software no ensino e no projecto de estruturas (Software in structural engineering education and design). III Portuguese-Mozambican Conference of Engineering; 2003; 81-92.

Comparative Study of the Mechanical Properties of the Concrete Reinforced with Industrial Steel Fibers and Recycled Metal Chips

Farhad Jireh
Department Of Civil Engineering, Bostanabad Branchi, Islamic Azad University, Bostanabad, Iran
Ziaaddin Zamanzadeh
Department Of Civil Engineering, Bostanabad Branchi, Islamic Azad University, Bostanabad, Iran
Leila Jalili
Ph.D Student in aquatic Structures, Tabriz University, Tabriz, Iran

Abstract

In recent years, most of the experimental studies have been performed on the mechanical behavior of reinforced concrete with recycled and industrial steel fibers in foreign countries, and it is necessary to conduct studies on fiber reinforced concrete made from existing materials in our country. In this paper, experimental and numerical research on the mechanical behavior of the fiber concrete has been conducted. In the experimental program, first, by modeling the mix design presented in previous research for recycled fiber concrete, two mixing designs were determined in accordance with the available materials of the country, so that by adding two different types of steel fibers, the desired slump flow is obtained. The effect of industrial fibers and recycled metal chips on the compressive and splitting tensile behavior of fiber reinforced concrete was investigated by performing compressive and tensile tests. The addition of industrial fibers and recycled metal chips has slightly reduced the indirect compressive and splitting tensile strength of the concrete. In the simulation and modeling of finite element compression tests, the formation of cracks in the concrete elements surrounding metal chips elements, confirmed the occurrence of stress gradients in these concrete elements, which led to a reduction in the compressive strength of the fibre reinforced concrete.

Keywords: Fiber Reinforced Concrete, Recycled Metal chips, compressive strength, tensile strengt