

تأثیر ایجاد محصورشدگی با ورق‌های FRP بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتن الیافی

شمس‌الدین هاشمی *

استادیار گروه مهندسی عمران سازه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

ابراهیم ابادری

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اصفهان، ایران

چکیده

یکی از روش‌های مؤثر در بهبود عملکرد مقاوم‌سازی ستون‌ها، استفاده از ورق‌های FRP است. در این تحقیق اثر محصورشدگی با ورق‌های FRP بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی دارای الیاف پلی‌پروپیلن تک‌رشته‌ای نازک به طول ۱۲ میلی‌متر و به مقدار 3 kg/m^3 ۱/۲ بررسی می‌گردد. پس از انجام آزمایش‌های مکانیکی و شیمیایی بر روی کلیه مصالح و تعیین مشخصات آن‌ها به روش وزنی طبق استاندارد BS، بهترین طرح اختلاط انتخاب گردیده و یک مترمکعب بتن توسط دستگاه بچینگ ساخته شد. سپس نیمی از بتن با الیاف پلی‌پروپیلن و مابقی بدون الیاف تهیه و میکس گردید. ۱۶ آزمون انجام شده و برای هر آزمون میانگین سه نمونه محاسبه شد (در مجموع تعداد ۴۸ عدد نمونه استوانه‌ای $150 \times 300 \text{ mm}^2$ نمونه‌برداری شد). برای محصورشدگی از نوارهای حلقوی الیافی کامپوزیتی برای افزایش مقاومت باربری استفاده گردید. جهت رسم منحنی بار-تغییر مکان، نمونه‌ها تحت بارگذاری محوری استاتیکی قرار گرفتند. مقایسه نتایج نشان داد محصورشدگی توسط ورق FRP، باعث بهبود مشخصات مکانیکی بتن از جمله سختی، مقاومت فشاری، کرنش نهایی و شاخص شکل‌پذیری شده و باعث به تأخیر انداختن زمان شکست نهایی عضو می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مقاوم‌سازی ستون‌ها، بتن‌های الیافی، محصورشدگی، منحنی تنش-کرنش، FRP.

* نویسنده مسئول: s.hashemi@yu.ac.ir

۱- مقدمه

طولی و یا مورب نسبت به محور ستون و یا با استفاده از کامپوزیت با الیاف چندجهته، علاوه بر افزایش مقاومت ستون، ظرفیت تغییر شکل آن را نیز افزایش داد. وی مشاهده کرد در صورتی که در تقویت ستون از کامپوزیت با الیاف محوری استفاده گردد؛ این کامپوزیت با تحمل ضمنی تنش فشاری وارد بر ستون، موجب افزایش ظرفیت ستون می‌گردد [۸]. محصور کردن ستون‌ها به دو صورت محصورشدگی فعال^۱ و غیرفعال^۲ قابل انجام است. در محصورشدگی غیرفعال، عامل محصورکننده بدون هیچ‌گونه تنش اولیه به دور ستون متصل می‌شود و زمانی که عضو موردنظر تحت فشار محوری قرار گیرد به دلیل همسازی تغییر شکل‌ها، عامل محصورکننده وارد عمل شده و در برابر فشار جانبی وارده مقاومت می‌کند. این مکانیسم باعث افزایش مقاومت فشاری ستون می‌گردد. محصورشدگی بتن در FRP، یک محصورشدگی غیرفعال محسوب می‌شود. در محصورشدگی فعال هم‌زمان با اتصال عامل محصورکننده به دور ستون، عامل محصورکننده تحت تنش‌های کششی قرار داده می‌شود. اعمال تنش‌های کششی در عامل محصورشدگی باعث ایجاد تنش‌های فشاری حلقوی در اطراف ستون خواهد شد. این فشار حلقوی از اتساع زودرس بتن تحت تنش‌های محوری فشاری جلوگیری کرده و رفتار بتن به مراتب شکل‌پذیرتر خواهد شد [۹].

هاشمی شیرازی در سال ۱۳۸۲ مطالعاتی درباره ستون‌های بتنی محصورشده توسط FRP، که در آن بتن تحت فشار سه محوره و FRP در راستای حلقوی در کشش قرار می‌گرفت انجام داد. این موضوع باعث می‌شود که بتوان از مزایای هر دو ماده به بهترین نحو استفاده کرد. در اثر محصور کردن بتن در FRP، درحالی‌که FRP به حداکثر مقاومت کششی خود می‌رسد، مقاومت و کرنش نهایی بتن به میزان قابل‌توجهی افزایش پیدا می‌کند که با وجود رفتار ترد هر دو ماده، بتن محصور در FRP شکل‌پذیری زیادی نشان می‌دهد. منحنی تنش-کرنش بتن محصور در FRP شامل دو قسمت است که در ناحیه اول مقاومت فشاری بتن شبیه رفتار بتن محصور نشده است و بعد از ناحیه اول یک ناحیه انتقالی همراه با کاهش سختی مشاهده می‌شود و قسمت دوم منحنی، بعد از رسیدن به نقطه‌ی اوج اولیه، خطی است و شیب این قسمت به سختی FRP

امروزه بتن به‌عنوان یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، دسترس آسان به اجزا تشکیل دهنده و بالا بردن مقاومت فشاری بتن باعث توجه روزافزون به آن شده است. هر چند این مخلوط، با اختلاط مناسبی از سیمان و آب و سنگ‌دانه به وجود می‌آید ولی به‌صورت غیر مسلح به غیر از سازه‌های وزنی عملاً کاربرد چندانی ندارد. این عیب بتن با مسلح کردن آن توسط میلگردهای فولادی تا حد زیادی برطرف می‌شود. اما به دلیل اینکه همیشه جهت نیروهای کشش به‌طوری قطعی مشخص نیست و همچنین صرفه‌جویی اقتصادی، در چند دهه اخیر گاهی الیاف نازک و نسبتاً طولی که در تمام حجم بتن به‌طور همگن پراکنده شده، مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از انواع الیاف مصنوعی، الیاف پروپیلن است که به منظور کنترل ترک در اثر تغییرات حجمی ناشی از انقباض، انبساط و تنش‌های حرارتی و نیز به منظور افزایش مقاومت کششی و مقاومت فشاری و فراهم آوری یک سیستم یکپارچه استفاده می‌گردد. [۲۰۱]. سال ۱۳۹۱ سید محسن علوی لنگرودی بررسی-هایی را بر روی تأثیر طول رشته‌رشته بودن الیاف پلی‌پروپیلن انجام داد که کمک شایانی را جهت استفاده در تعیین نوع الیاف در این تحقیق نمود [۳]. کیوان و خالو در سال ۱۳۶۹ از الیاف پلی‌پروپیلن جهت بهبود خواص فیزیکی بتن استفاده کرده و مشاهده کردند این الیاف می‌تواند در بتن مزایایی از جمله کنترل ترک، افزایش مقاومت کششی و افزایش مقاومت فشاری داشته باشند و استفاده از آن‌ها مقرون‌به‌صرفه بودن هست [۴ و ۵]. قابل ذکر است بتنی که در آن از الیاف (پلی‌پروپیلن) استفاده شده است دارای برخی از ویژگی‌های الیاف از جمله کرنش‌پذیری است. [۶].

در چند سال گذشته از ورق‌های FRP به‌عنوان روشی مؤثر در تعمیر و مقاوم‌سازی ستون‌ها، تیرهای بتنی و پل‌ها استفاده شده است. به این علت اتساع جانبی ستون دارای کامپوزیت FRP با الیاف حلقوی مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر پارامترهای گوناگون از جمله شکل و ابعاد مقطع ستون، مقاومت و تعیین عرض کامپوزیت‌ها مطالعه گردیده است [۶ و ۷]. بیرگمن در سال ۱۹۹۱ نشان داد می‌توان با استفاده از کامپوزیت FRP با الیاف در راستای

² -Passiv

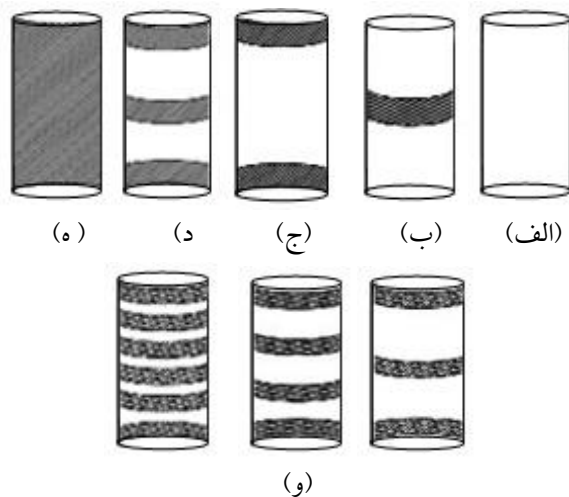
¹ -Activ

ایجاد محصورشدگی با الیاف کامپوزیتی FRP به صورت فاصله‌دار و یکپارچه بر مقاومت فشاری، شکل پذیری و نمودار تنش کرنش نمونه‌های بتنی شامل الیاف پلی‌پروپیلن و بدون آن بررسی شده و پیشنهادهایی برای نحوه محصور کردن بتن الیافی ارائه می‌شود.

۲- روند آزمایش

۲-۱- مشخصات نمونه‌ها و مصالح

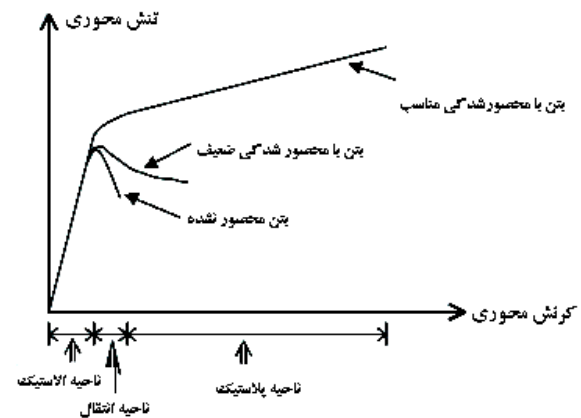
در این تحقیق از مصالح معدن ۱۱۰ حبیبی در ۱۵ کیلومتری جاده شهرضا به سمیرم استفاده شده است. آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح درشت دانه از نوع شکسته کوهی با قطر ۱۹ میلی‌متر و مصالح ریزدانه از نوع مصالح طبیعی با قطر ۴/۷۵ میلیمتر استفاده شده است. سیمان مورد استفاده از کارخانه سیمان اصفهان و از نوع تیپ II و با چگالی ۳/۱۵ انتخاب شده است. آزمایشات فیزیکی و شیمیایی و منحنی‌های دانه‌بندی در مرجع [۲۲] آمده است. ۱۶ نمونه بتنی (سه‌تایی) استوانه‌ای که طبق طرح اختلاط بتن جدول ۱ برای به دست آوردن مقاومت فشاری ۲۸ روزه، به ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر و قطر ۱۵۰ میلی‌متر ساخته شده‌اند، بسته به روش مقاوم‌سازی به شش گروه طبقه‌بندی و نام‌گذاری شده‌اند.



شکل ۲- نمونه‌های آزمایشگاهی (الف) نمونه‌هایی بدون تقویت FRP (ب) نمونه‌هایی با یک لایه FRP در یک ناحیه (ج) نمونه‌هایی با یک لایه FRP در دو ناحیه (د) نمونه‌هایی با یک لایه FRP در سه ناحیه (د) نمونه‌هایی با یک لایه FRP در سه ناحیه (ه) نمونه‌هایی با یک لایه FRP در کل ارتفاع نمونه (و) نمونه‌هایی با دو لایه FRP

دسته اول شامل دو قسمت است: بتن الیافی که با حروف CFB و بتن معمولی که با حروف CA نمایش داده شده‌اند؛ حرف CF

بستگی دارد [۱۰]. شکل ۱ منحنی تنش-کرنش بتن محصور در FRP را در کنار بتن محصور نشده به صورت شماتیک نشان می‌دهد. در خصوص افزایش مقاومت و کرنش نهایی بتن محصور در FRP می‌توان چنین عنوان نمود که هم‌زمان با اعمال نیروی فشاری بر استوانه بتنی علاوه بر ایجاد کرنش محوری، به دلیل وجود اثر پواسون، کرنش جانبی نیز در نمونه ایجاد می‌شود [۱۱].



شکل ۱- منحنی تنش-کرنش بتن محصور شده و نشده [۱۱]

با افزایش نیروی فشاری، کرنش‌های جانبی کششی در بتن افزایش یافته و به محض رسیدن به مقاومت کششی بتن، ترک‌هایی به موازات نیروی اعمال شده در بتن به وجود می‌آید. در بتن محصور نشده، ظهور ترک‌ها همراه با کاهش در نیروی محوری همراه بوده و سرانجام بتن متلاشی می‌شود. در بتن محصور شده، عامل محصورکننده باعث اعمال تنش‌های فشاری، عمود بر جهت ترک‌های ایجاد شده در نمونه می‌شود. این تنش فشاری مانع توسعه ترک‌ها شده و مقاومت و ظرفیت باربری بتن را افزایش می‌دهد. تاکنون کامپوزیت‌های مختلف در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند و بر روی آنها آزمایش‌های متعددی انجام شده است [۱۳-۲۱]. سال ۱۳۹۲ نیلوفر مشیری ظرفیت محوری ستون‌های بتن آرمه‌ی محصور شده با FRP را بررسی نمود [۱۷]. سال ۱۳۹۴ بهزاد برکات جزی و همکاران نتیجه گرفتند شیازنی و ژاکت FRP، باعث افزایش شکل‌پذیری و مقاومت فشاری مقاطع بتنی می‌شود [۱۸ و ۱۹].

در هیچ یک از مطالعات پیشین اثر توأم الیاف پلی‌پروپیلن و الیاف کامپوزیتی FRP در نظر گرفته نشده است. در این مقاله اثر توأم استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن و الیاف کامپوزیتی FRP بر مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتنی بررسی می‌شود. همچنین تأثیر

بافاصله آزاد ۵۳ میلی‌متر و نمونه CK و CFY در شش ناحیه با فاصله آزاد ۲۰ میلی‌متر توسط FRP در دو لایه تمیزکاری و چسبانده شدند (شکل ۲-و). جدول ۱ نحوه نام‌گذاری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که الگوهای مقاوم‌سازی نمونه‌ها بر اساس مطالعات انجام شده توسط بهزاد برکات جزئی و همکاران [۱۸ و ۱۹] برای بررسی تاثیر الیاف کامپوزیتی FRP با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های متفاوت و به صورت فاصله دار یا یکپارچه، بر مقاومت فشاری، شکل‌پذیری و نمودار تنش کرنش نمونه‌های بتنی شامل الیاف پلی‌پروپیلن و بدون آن جهت بررسی و پیدا کردن یک حالت بهینه برای محصور کردن بتن الیافی استفاده شده‌اند. به منظور جلوگیری از ایجاد لنگر خمشی در حین عملیات بارگذاری، سطح بالای کلیه نمونه‌ها با استفاده از گچ مخصوص و دستگاه کلاهک‌گذاری صاف شده است (capping) (شکل ۳-الف)، شمای کلی نمونه‌ها در شکل ۳-ب نمایش داده شده است. مشخصات طرح اختلاط مصالح مصرفی طبق جدول ۲ نمایش داده شده است. پوشش کامپوزیتی FRP که برای مقاوم‌سازی نمونه‌ها استفاده شد طبق جدول ۳، متشکل از الیاف کربن و رزین مخصوص جهت چسباندن FRP بوده است.

۲-۲- ابزار و نحوه انجام آزمایش

در این تحقیق ابتدا تمامی نمونه‌ها مطابق شکل ۳-الف با استفاده از گچ مخصوص کپ و چسباندن FRP آماده شده (شکل ۳-ب) و سپس طبق شکل ۳-ج تحت بارگذاری فشاری با جک هیدرولیکی ۳۰۰۰ کیلو نیوتونی قرار گرفته، کنترل جابه‌جایی نمونه‌ها با بارگذاری به صورت تغییر مکان، با سرعت ثابت ۲ میلی‌متر بر دقیقه، توسط دستگاه‌های LVDT نصب شده داخل جک، انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری تغییر مکان از دو عدد LVDT، با دقت ۰/۰۰۵ میلی‌متر که در وسط نمونه نصب شده بود استفاده شد. دیتالاگر دیجیتالی موجود در دستگاه هر ۰/۱ ثانیه یک بار اطلاعات را ذخیره نموده و با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده، نمودارهای بار-تغییر مکان و کرنش برای هر نمونه را ترسیم کرده است.

نشانه‌ی داشتن الیاف پلی‌پروپیلن داخل بتن و حرف C نشانه‌ی بتن معمولی است و به‌عنوان نمونه مرجع جهت تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها در نظر گرفته شده است. حروف A و B برای نمونه‌هایی استفاده شده که بدون تقویت با FRP می‌باشند (شکل ۲-الف).

دسته دوم (CFD و CC) شامل دو سری نمونه بتن معمولی و بتن الیافی تقویت شده با یک لایه FRP به عرض ۴۰ میلی‌متر می‌باشد به صورت کمربند در ناحیه وسط ارتفاع نمونه به روش سطح مرطوب^۱ روی سطح نمونه چسبانده شده است. ابتدا محل چسباندن حلقه‌های FRP با استفاده از دستگاه ساب کاملاً مسطح و سپس با شستشو، نمونه‌ها عاری از هرگونه گرد و غبار شدند (شکل ۲-ب).

دسته سوم (CE و CFF) شامل دو سری نمونه ساخته شده از بتن معمولی و بتن الیافی (پلی‌پروپیلن) است که در آنها مقاوم‌سازی توسط یک لایه FRP به عرض ۴۰ میلی‌متر در دو ناحیه واقع در بالا و پایین با فاصله آزاد ۲۰۰ میلی‌متر انجام گردیده است. محل چسباندن حلقه‌های FRP با استفاده از دستگاه ساب کاملاً مسطح شده و سپس با شستشو، نمونه‌ها عاری از هرگونه گرد و غبار شدند. در مرحله بعد حلقه‌های FRP روی سطح نمونه چسبانده شدند (شکل ۲-ج).

دسته چهارم (CFG, CH) شامل دو سری نمونه بتن معمولی و بتن الیافی است که توسط لایه‌های FRP به عرض ۴۰ میلی‌متر در سه ناحیه واقع در دو انتها و وسط نمونه با فاصله آزاد ۱۰۵ میلی‌متر و طول ۵۶۵ میلی‌متر و طول هم‌پوشانی ۱۱۰ میلی‌متر تهیه شد (شکل ۲-د).

دسته پنجم (CN و CFM) شامل دو سری نمونه بتن معمولی و بتن الیافی است، توسط یک لایه FRP به عرض ۳۰۰ میلی‌متر در کل نمونه طبق شرایط بالا چسبانده شده است (شکل ۲-ه).

دسته ششم (CZ و CFR و CS و CFI و CK و CFY) شامل شش سری نمونه بتنی است: سه سری بتن معمولی و سه سری بتن الیافی پلی‌پروپیلن. این گروه توسط دو لایه FRP به عرض ۳۰ میلی‌متر و به طول ۱۱۳۰ میلی‌متر و طول هم‌پوشانی ۱۱۰ میلی‌متر چسبانده شدند؛ که به ترتیب نمونه CZ و CFR در سه ناحیه با فاصله آزاد ۱۰۵ میلی‌متر و نمونه CS و CFI در چهار ناحیه

¹ wet lay-up

تأثیر ایجاد محصورشدگی با ورق‌های FRP بر ...



(الف)




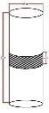


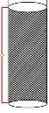
(ب)




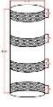
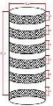
(ج)

شکل ۳- (الف) شمای شماتیک از نمونه‌ها با استفاده از گچ مخصوص کپ و چسباندن FRP (ب) شمای کلی نمونه‌ها (ج) شمایی از LVDT و جک مورد استفاده

جدول ۱- نام‌گذاری نمونه‌ها

ردیف	شماره گروه	نام گروه		نام نمونه	محصورشدگی با FRP		FRP در ارتفاع		توضیحات
		بدون الیاف	با الیاف		تعداد لایه	عرض لایه mm	تعداد ناحیه	محل ناحیه	
۱	۱	C		A1	
۲				A2					
۳				A3					
۴		CF		B1					
۵				B2					
۶				B3					
۷	۲	C		C1	۴۰	یک	
۸				C2					
۹				C3					
۱۰		CF		D1					
۱۱				D2					
۱۲				D3					
۱۳	۳	C		E1	۴۰	دو	
۱۴				E2					
۱۵				E3					
۱۶		CF		F1					
۱۷				F2					
۱۸				F3					
۱۹	۴	C		H1	۴۰	سه	
۲۰				H2					
۲۱				H3					
۲۲		CF		G1					
۲۳				G2					
۲۴				G3					
۲۵	۵	C		N1	۳۰۰	
۲۶				N2					
۲۷				N3					
۲۸		CF		M1					
۲۹				M2					
۳۰				M3					

ادامه جدول ۱- نام گذاری نمونه ها

ردیف	شماره گروه	نام گروه		نام نمونه	محصورشدهگی با FRP		FRP در ارتفاع		توضیحات
		با الیاف	بدون الیاف		تعداد لایه	عرض لایه mm	تعداد ناحیه	ناحیه محل	
۳۱				Z1					
۳۲			C	Z2	دولایه	۳۰	۳	بالا، وسط،	
۳۳				Z3				پایین	
۳۴				R1				بالا، وسط،	
۳۵		CF		R2	دولایه	۳۰	۳	پایین	
۳۶				R3					
۳۷				S1					
۳۸			C	S2	دولایه	۳۰	۴	۴ ناحیه	
۳۹				S3					
۴۰	۶			I1					
۴۱		CF		I2	دولایه	۳۰	۴	۴ ناحیه	
۴۲				I3					
۴۳				K1					
۴۴			C	K2	دولایه	۳۰	۶	۶ ناحیه	
۴۵				K3					
۴۶				Y1					
۴۷		CF		Y2	دولایه	۳۰	۶	۶ ناحیه	
۴۸				Y3					

جدول ۲- طرح اختلاط بتن

شماره	شرح	سیمان	شن درشت	شن ریز	ماسه	طول الیاف	اسلامپ
		kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	cm	cm
۱	بتن معمولی	۳۵۰	۵۵۰	۲۵۵	۹۴۰	-	۸
۲	بتن الیافی پلی پروپیلن	۳۵۰	۵۵۰	۲۵۵	۹۴۰	۱/۲	۸

جدول ۳- مشخصات مصالح FRP و چسب FRP

چسب کامپوزیت FRP			
مقاومت کشش	مدول الاستیسیته	حداکثر کرنش	
(MPA)	(GPA)	(%)	
۳۰	۴/۵	۰/۹	QUNATOM EBR 3301
الیاف FRP			
مقاومت کششی	مدول کششی	حداکثر کرنش	ضخامت (mm)
(MPA)	(GPA)	(%)	
۴۹۵۰	۲۴۰	۱/۵	۰/۱۱۱
QUANTOM WRAP2200			

۳- نتایج آزمایش‌ها- تغییرات حداکثر ظرفیت

۳-۱- منحنی نیرو-تغییر مکان

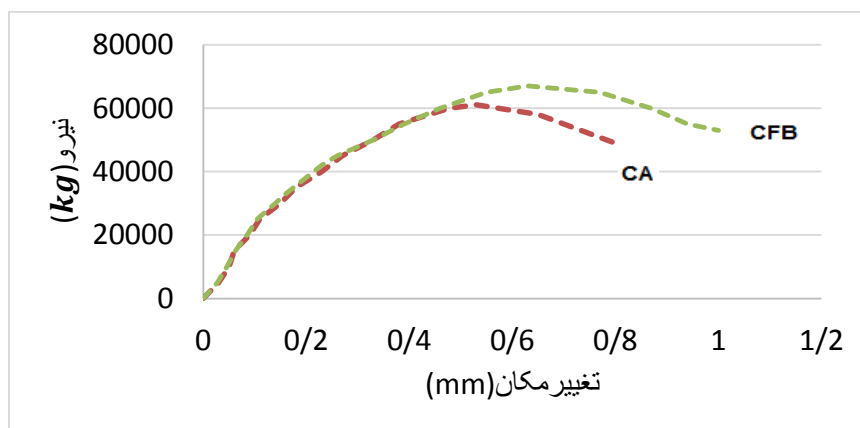
نتایج حاصل از شکست نمونه‌های آزمایشگاهی مطابق شکل‌های ۵ تا ۱۰ در نمودارهای نیرو-تغییر مکان برای گروه‌های مختلف رسم شده است. با توجه به نمودارهای رسم شده برای نمونه‌های تقویت‌شده با کامپوزیت FRP، می‌توان بیان کرد که در تمامی نمونه‌ها سطح زیر نمودار و نیروی شکست به‌طور قابل توجهی افزایش داشته است. همچنین شکل نمودار بیانگر شکست نرم در این نمونه‌ها است، به گونه‌ای که نقطه‌ی شکست نهایی برای نمونه‌ها وجود نداشته و منحنی نیرو - تغییر مکان آن‌ها بعد از رسیدن به بار حداکثر، به‌صورت تدریجی تا نقطه معادل ۸۰ درصد بار حداکثر، بر روی شاخه نزولی آورده شده است. کرنش محوری نهایی (ϵ_A) برای همه نمونه‌ها، کرنش متناظر با این نقطه انتخاب گردید. ϵ_{CO} کرنش نهایی بتن معمولی بدون محصورشدگی است و همچنین زمان نهایی شکست نمونه‌ها با سرعت ثابت، در جدول ۴ آمده است. در تمامی شکل‌ها ملاحظه می‌گردد که شیب منحنی‌ها در ناحیه ابتدای نمودار تقریباً مساوی است، که نشانگر سختی یکسان در مراحل اولیه بارگذاری است.

۳-۲- نتایج گروه اول

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌گردد نتایج حاصل از شکست نمونه CFB ساخته شده از بتن الیافی پلی پروپیلن و بدون تقویت با FRP، نسبت به نمونه مرجع CA (بتن معمولی) ۸/۹ درصد افزایش باربری داشته است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت استفاده از الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش کرنش بتن به میزان ۲۳ درصد می‌شود و همچنین طبق نمودار شکل ۴ ملاحظه می‌گردد که شیب تمامی منحنی‌ها در ناحیه ابتدایی نمودار، تقریباً مساوی است؛ که بیانگر سختی یکسان نمونه‌ها در مراحل اولیه بارگذاری است. همچنین، زمان شکست نمونه به مقدار ۱۴ ثانیه به تعویق افتاده است. در ضمن عدد P_{MAX} نشانه ماکزیمم نیروی محوری و قرائت جک، P_U حداکثر بار نهایی هر نمونه، ϵ_A کرنش نهایی بتن و ϵ_{CO} نسبت کرنش نمونه به کرنش نمونه مرجع و پارامتر EA مقدار انرژی جذب شده به‌عنوان شاخصی از شکل‌پذیری است که برابر با سطح زیر نمودار بار-تغییر مکان نمونه‌ها در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های گروه اول

نام نمونه	شرح	$P_{max}(kg)$	$P_U(KG)$	ϵ_A	ϵ_A/ϵ_{CO}	EA (N.M)	زمان نهایی شکست نمونه (MIN)
CA	بتن معمولی بدون محصورشدگی	۶۱۱۰۰	۴۸۸۰	۰/۰۰۱۷	۱	۳۶۴/۱	۲/۴۰
CFB	بتن الیافی بدون محصورشدگی	۶۷۱۱۱	۵۳۶۰۰	۰/۰۰۲۱	۱/۲۳	۵۰۹/۴	۲/۵۴



شکل ۴- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های گروه اول

۳-۳- نتایج گروه دوم

همچنین زمان شکست نمونه حدود $1/20$ دقیقه افزایش یافته است. در نمونه مرجع (CA) شاخص شکل‌پذیری (سطح زیر نمودار) $364/1$ بود که در نمونه‌ی CH به $1225/1$ و در نمونه CFJ به مقدار $1417/4$ افزایش پیدا کرده است.

با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌گردد که در نمونه CC ساخته شده از بتن معمولی و تقویت شده با یک لایه FRP به‌طور حلقوی در وسط نمونه، به عرض 40 میلی‌متر، ظرفیت باربری به‌طور متوسط به میزان 11 درصد از نمونه شاهد بیش‌تر است؛ و نمونه CFD ساخته شده از بتن الیافی و تقویت شده با یک لایه FRP به‌طور حلقوی در وسط نمونه و به عرض 40 میلی‌متر، ظرفیت باربری به‌طور متوسط به میزان 18 درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. در شکل ۵ مشاهده می‌گردد کرنش نهایی در نمودار CFD نسبت به نمونه شاهد بیشتر شده و از $0/0017$ به $0/0037$ افزایش پیدا کرده است. همچنین شاخص شکل‌پذیری در نمونه‌ی مرجع (CA) $364/1$ بود که در نمونه‌ی CC به $925/4$ و در نمونه CFD به مقدار $998/7$ افزایش پیدا کرده است. در ضمن زمان شکست نهایی نمونه CFD نسبت به نمونه مرجع 60 ثانیه به تعویق افتاده است.

۳-۶- نتایج گروه پنجم

با توجه به ۸ مشاهده می‌گردد که نمونه CN ساخته شده از بتن معمولی و تقویت شده از یک لایه FRP (به ارتفاع 300 میلی‌متر) به‌صورت متوسط حدود 32 درصد و نمونه CFM ساخته شده از بتن الیافی حدود 38 درصد افزایش باربری داشته است و همچنین مشاهده می‌گردد کرنش نهایی در نمونه مرجع از $0/0017$ به $0/0054$ افزایش پیدا کرده است و در نمونه مرجع (CA) شاخص شکل‌پذیری (سطح زیر نمودار) $364/1$ بود که در نمونه‌ی CN به $2444/6$ و در نمونه CFM به مقدار $2890/47$ افزایش پیدا کرده است. زمان شکست در نمونه CFM حدود $2/2$ دقیقه با سرعت بارگذاری یکسان به تعویق افتاده است.

۳-۴- نتایج گروه سوم

الف) با توجه به جدول ۹ و شکل ۹ مشاهده می‌گردد که نمونه CZ ساخته شده از بتن معمولی و تقویت شده با دو لایه FRP به عرض 30 میلی‌متر و در 3 ناحیه، به‌طور متوسط حدود 30 درصد افزایش باربری داشته و نمونه CFR ساخته شده از بتن الیافی و تقویت شده در 3 ناحیه و دو لایه FRP به عرض 30 میلی‌متر، به‌طور متوسط حدود 35 درصد افزایش باربری داشته است. کرنش نهایی و شاخص شکل‌پذیری در نمونه ساخته شده از بتن الیافی به ترتیب نسبت به نمونه مرجع $3/11$ و $3/7$ برابر شده است.

با توجه به جدول ۶ و شکل ۶ نمونه CE ساخته شده از بتن معمولی و تقویت شده با یک لایه FRP در دو انتهای نمونه، به‌طور متوسط $1/5$ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته و نمونه CFF ساخته شده از بتن الیافی پلی‌پروپیلن و تقویت شده با یک لایه FRP در دو انتهای بالا و پایین نمونه و به عرض 40 میلی‌متر، حدود 9 درصد باربری را افزایش داده است. می‌توان این‌گونه استنباط کرد که نبودن محصورشدگی در وسط نمونه، تأثیر بسزایی در مقاومت و باربری ستون داشته و همچنین شیب منحنی تنش-کرنش و زمان شکست نمونه‌ها نسبت به نمونه مرجع، افزایش چندانی نداشته و حدوداً ثابت باقی مانده‌اند.

۳-۵- نتایج گروه چهارم

ب) نمونه CS با بتن معمولی و تقویت شده با دو لایه FRP در چهار ناحیه به عرض 30 میلی‌متر، به‌طور متوسط حدود 32 درصد افزایش باربری و نمونه CFI ساخته شده با بتن الیافی پلی‌پروپیلن حدود 40 درصد افزایش باربری داشته است. کرنش نهایی و شاخص شکل‌پذیری در نمونه ساخته شده از بتن الیافی به ترتیب نسبت به نمونه مرجع $3/59$ و $6/8$ برابر شده است.

با توجه به جدول ۷ نمونه CH ساخته شده از بتن معمولی و تقویت شده با یک لایه FRP به عرض 40 میلی‌متر در سه ناحیه بالا و وسط و پایین، به‌طور متوسط حدود $19/5$ درصد و نمونه CFJ ساخته شده از بتن الیافی پلی‌پروپیلن به‌طور متوسط حدود $23/5$ درصد افزایش باربری داشته است. طبق شکل ۷، کرنش نهایی از $0/0017$ به $0/0047$ افزایش پیدا کرده است و

۳-۸- مودهای گسیختگی

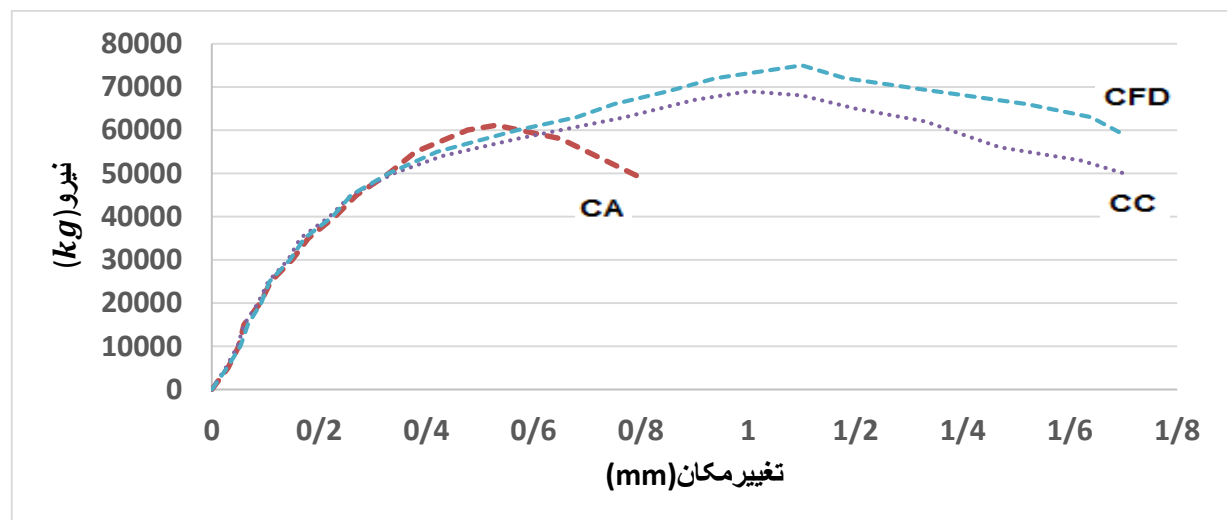
در حین انجام آزمایش مشاهده شد که مود گسیختگی در نمونه‌ها شامل جداشدگی و ترک‌های مویی بود و نوارهای FRP در هنگام گسیختگی به سمت بیرون پاره شدند. در لحظه گسیختگی، ابتدا نوارهای منقطع FRP میانی گسیخته شدند و سپس نوارهای ابتدا و انتهای نمونه. همچنین تا لحظه‌ی تسلیم نمونه‌ها، هیچ‌گونه کم‌انرژی رخ نداد. در تمامی نمونه‌هایی که برای مقاوم‌سازی آن‌ها از FRP استفاده شده بود، مود شکست توسط پارگی ورق‌های حلقه‌ی FRP میانی، تعیین شد. شکست نمونه پس از تسلیم و نقطه حداکثر بار، تا لحظه‌ی پارگی FRP به صورت تدریجی ادامه یافت و شکست در لحظه‌ی پارگی به صورت ناگهانی رخ داد. گسیختگی در ورق‌های FRP، خارج از منطقه‌ی وصله‌ی ورق‌ها و یا پاره شدن تمام الیاف ورق‌ها رخ داد.

حدود ۴۲٪ افزایش باربری داشته است. نمونه CFY ساخته شده از بتن الیافی پلی‌پروپیلن و تقویت شده با دو لایه FRP در شش ناحیه به عرض ۳۰ میلی‌متر به طور متوسط حدود ۴۶٪ افزایش باربری داشته است. کرنش نهایی در تمامی نمونه‌ها نسبت به نمونه اولیه مرجع (CA) افزایش چشمگیری یافته و زمان شکست نمونه به نسبت افزایش داشته و کرنش نهایی از ۰/۰۰۱۷ به ۰/۰۰۰۷ رسیده است. کرنش نهایی و شاخص شکل‌پذیری در نمونه ساخته شده از بتن الیافی نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۴/۱۱ و ۹/۵۳ برابر شده است.

در تمامی نمونه‌های گروه ششم، شکل‌پذیری نسبت به نمونه‌ی مرجع افزایش داشته است. در شکل ۱۰ شماتیک کلیه نمودارها نسبت به نمونه مرجع ترسیم شده و در شکل ۱۱ حالات مختلف محصور شدگی و شکست نمونه‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های گروه دوم

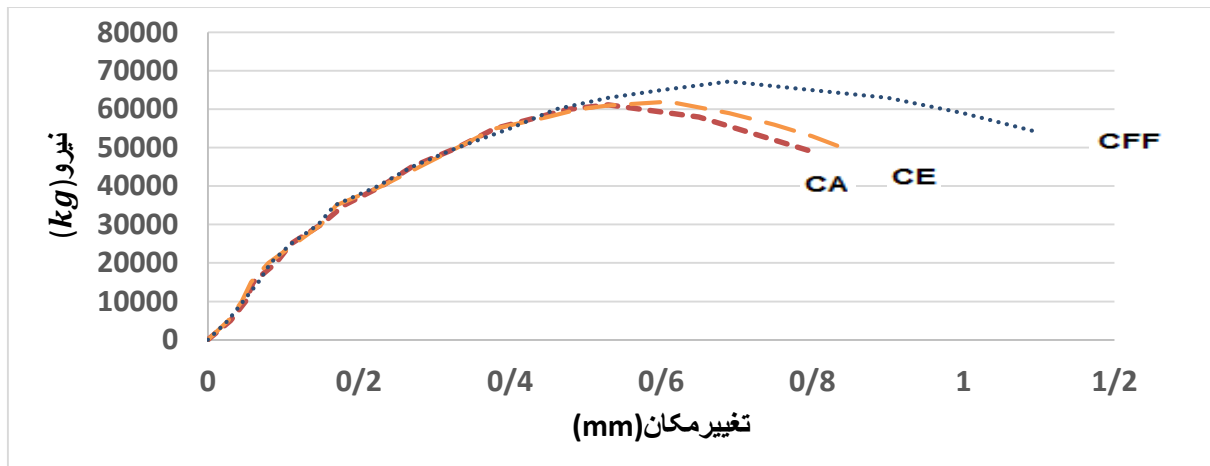
نام نمونه	شرح	P_{MAX} (KG)	P_U (KG)	ϵ_A	ϵ_A/ϵ_{CO}	EA (N.M)	زمان نهایی شکست نمونه (MIN)	بر اساس نتایج آیین‌نامه ACI $P_{MAX}(kg)$
CC	بتن معمولی محصور شده با یک لایه FRP در دو ناحیه	۶۹۰۰۰	۵۵۲۰۰	۰/۰۰۳۳	۱/۹۴	۹۲۵/۴	۳/۲۵	۷۱۲۰۰
CFD	بتن الیافی محصور شده با یک لایه FRP در دو ناحیه	۷۵۰۰۰	۶۰۰۰۰	۰/۰۰۳۷	۲/۱۷	۹۸۸/۸۷	۳/۴۰	۷۸۳۹۰



شکل ۵- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های گروه دوم

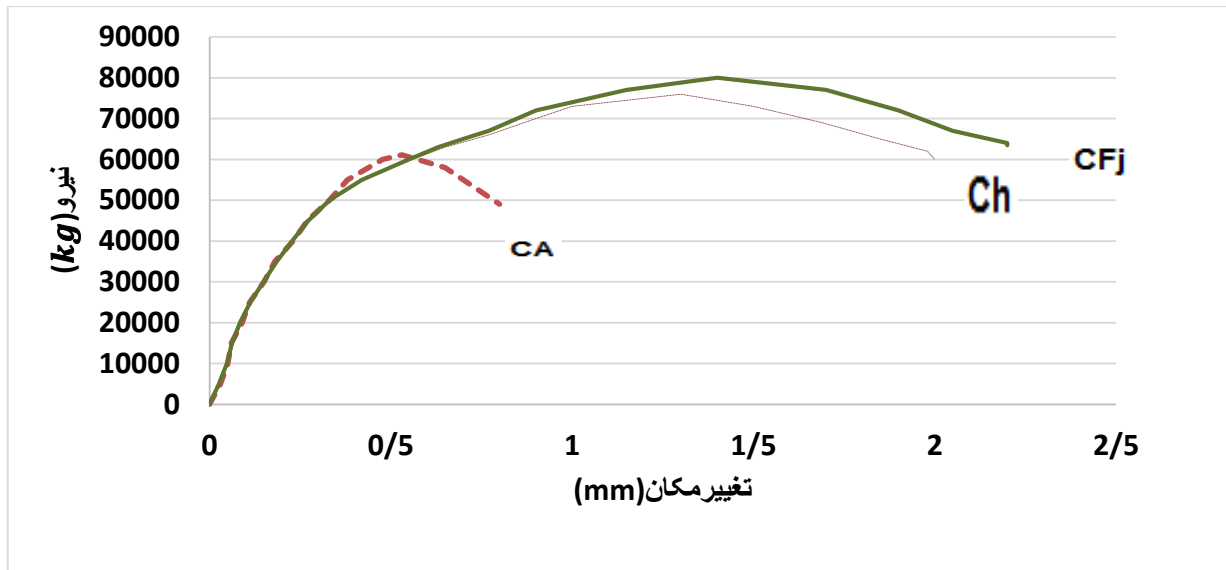
جدول ۶- نتایج حاصل از آزمایش نمونه های گروه سوم

نام نمونه	شرح	P_{MAX} (KG)	P_U (KG)	ϵ_A	ϵ_A/ϵ_{CO}	EA (N.M)	زمان نهایی شکست نمونه (MIN)	بر اساس نتایج آیین نامه ACI $P_{MAX}(kg)$
CE	بتن معمولی محصور شده با یک لایه FRP به طور افقی در دو ناحیه	۶۲۰۰۰	۴۹۶۰۰	۰/۰۰۲۰	۱/۲۰	۳۹۲/۶	۲/۴۵	۶۳۳۵۰
CFE	بتن الیافی محصور شده با یک لایه FRP به طور افقی در دو ناحیه	۶۷۲۰۰	۵۳۷۶۰	۰/۰۰۲۳	۱/۳۵	۵۷۳/۲	۲/۶۱	۶۹۶۹۴



جدول ۷- نتایج حاصل از آزمایش نمونه های گروه چهارم

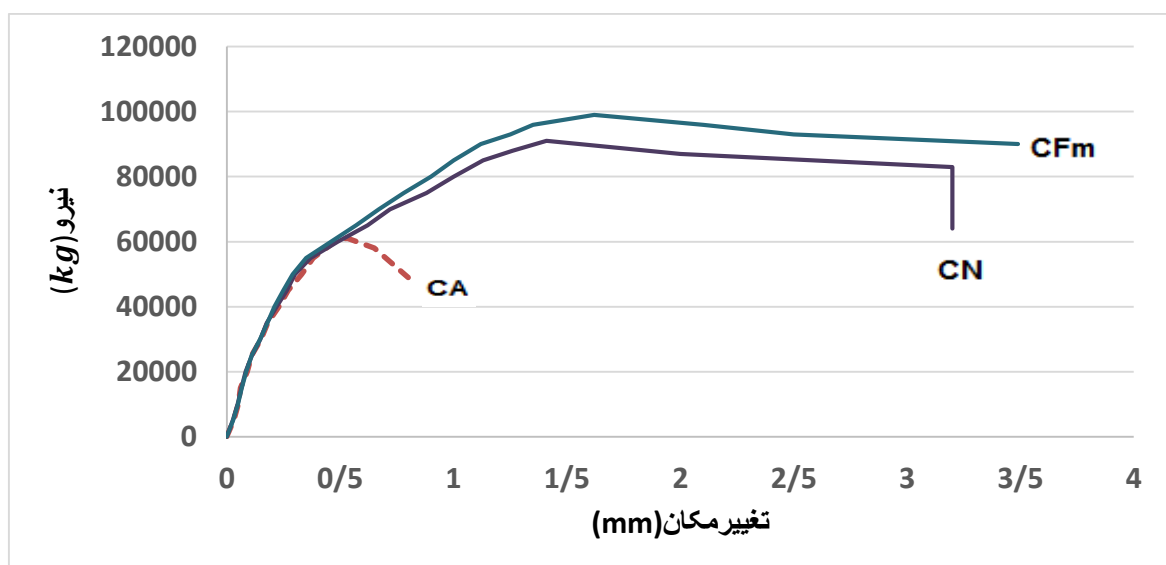
نام نمونه	شرح	P_{MAX} (KG)	P_U (KG)	ϵ_A	ϵ_A/ϵ_{CO}	EA (N.M)	زمان نهایی شکست نمونه (MIN)	بر اساس نتایج آیین نامه ACI $P_{MAX}(kg)$
CH	بتن معمولی محصور شده با یک لایه FRP در ۳ ناحیه	۷۶۰۰۰	۶۰۸۰۰	۰/۰۰۴۳	۲/۵۲۹	۱۲۲۵/۱	۳/۴۰	۷۶۲۲۲
CFJ	بتن الیافی محصور شده با یک لایه FRP در ۳ ناحیه	۸۰۰۰۰	۶۴۰۰۰	۰/۰۰۴۶۶	۲/۷۴۵	۱۴۱۷/۴	۳/۸۰	۸۳۸۴۸



شکل ۷- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های گروه چهارم

جدول ۸- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌ها

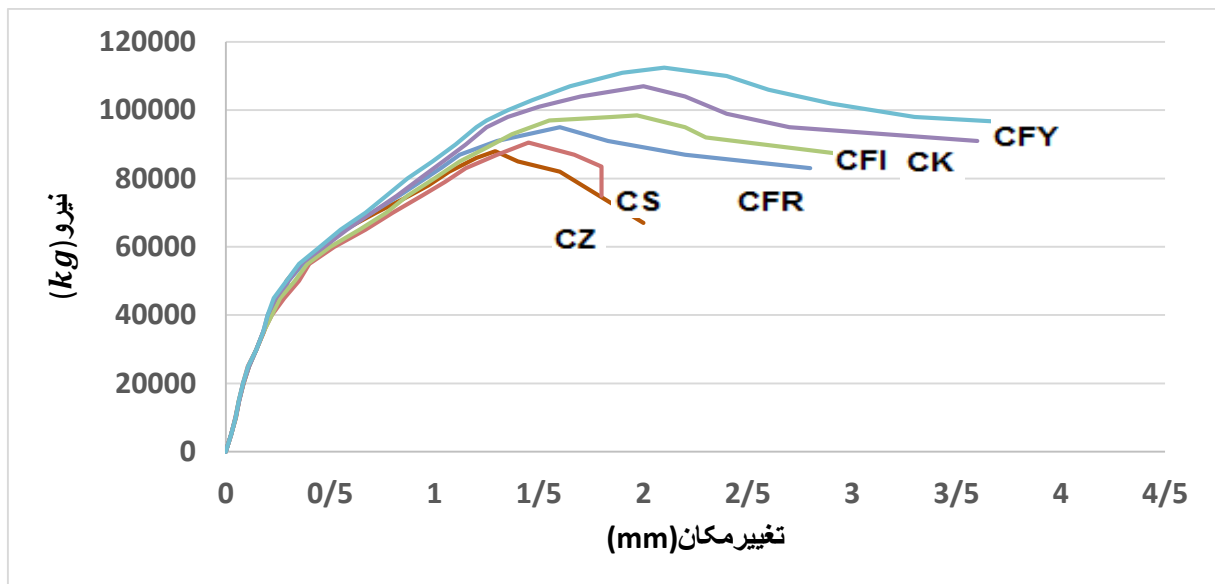
نام نمونه	شرح	P_{MAX} (KG)	P_U (KG)	ϵ_A	ϵ_A/ϵ_{CO}	EA (N.M)	زمان نهایی شکست نمونه (MIN)	بر اساس نتایج آیین‌نامه ACI $P_{MAX}(kg)$
CN	بتن معمولی محصور با یک‌لایه تمام FRP	۹۱۰۰۰	۷۲۸۰۰	۰/۰۰۴۷	۲/۷۶	۲۴۴۴/۶	۴/۲۱	۸۹۵۲۹
CFM	بتن الیافی محصور شده با یک‌لایه تمام FRP	۹۸۰۰۰	۷۹۲۰۰	۰/۰۰۵۴	۳/۱۷۶	۲۸۹۰/۴۷	۵/۰۲	۹۸۴۸۱



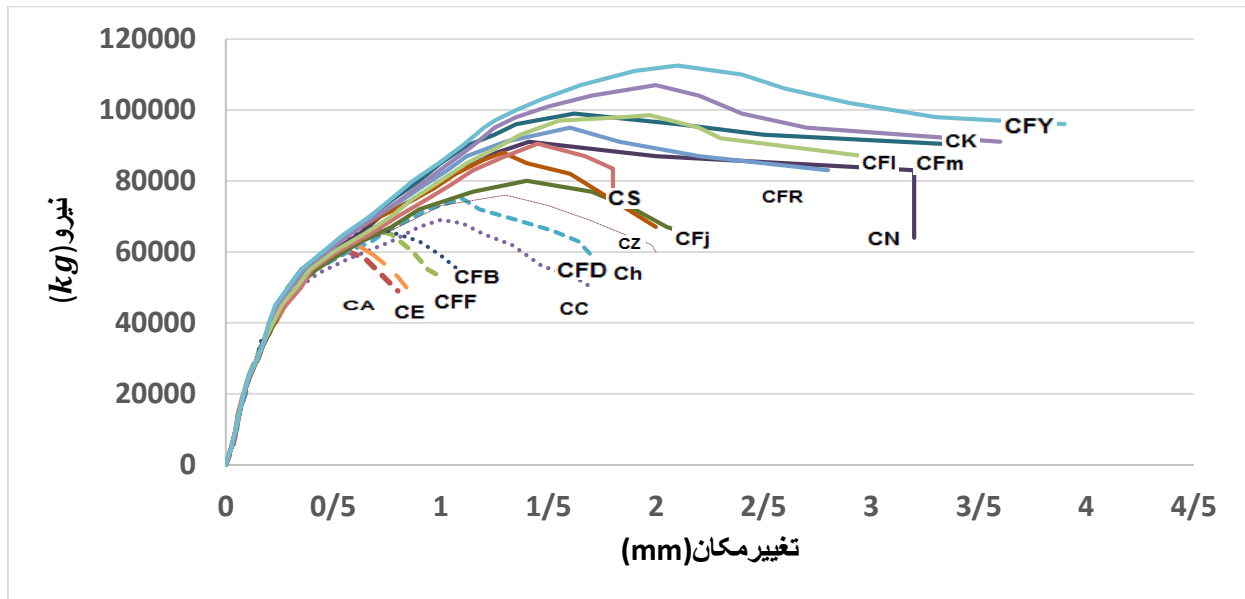
شکل ۸- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های گروه پنجم

جدول ۹- نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌ها

نام نمونه	شرح	P_{MAX} (KG)	P_U (KG)	ϵ_A	ϵ_A/ϵ_{CO}	EA (N.M)	زمان نهایی شکست نمونه (MIN)	بر اساس نتایج آیین نامه ACI $P_{MAX}(kg)$
CZ	بتن معمولی در ۳ ناحیه به صورت افقی و دولایه FRP	۸۸۰۰۰	۷۰۴۰۰	۰/۰۰۴۳	۲/۵۳	۱۳۵۵/۶	۲/۵۷	۸۵۸۱۸
CFR	بتن الیافی در ۳ ناحیه به صورت افقی و دولایه FRP	۹۵۰۰۰	۷۶۰۰۰	۰/۰۰۵۳	۳/۱۱	۲۱۴۸/۳	۲/۷۶	۹۴۳۹۲
CS	بتن معمولی در ۴ ناحیه به صورت افقی و دولایه FRP	۹۰۵۰۰	۷۲۴۰۰	۰/۰۰۴۸	۲/۸۴	۱۲۱/۸۵ ۷	۲/۸۳	۹۶۳۰۲
CFI	بتن الیافی در ۴ ناحیه به صورت افقی و دولایه FRP	۱۰۲۰۰۰	۸۱۶۰۰	۰/۰۰۶۱	۳/۶۲	۲۴۶۶/۸	۳/۱۷	۱۰۵۹۳۴
CK	بتن معمولی در ۶ ناحیه به صورت افقی و دولایه FRP	۱۰۷۰۰۰	۸۵۶۰۰	۰/۰۰۶۶	۳/۹۲	۲۹۱۰/۷	۳/۸۷	۱۰۵۲۴۷
CFY	بتن الیافی در ۶ ناحیه به صورت افقی و دولایه FRP	۱۱۴۰۰۰	۹۱۲۰۰	۰/۰۰۰۷	۴/۱۱	۳۴۷۱	۴/۱۲	۱۱۵۷۷۱



شکل ۹- نمودارهای CFY, CK و CFI, CS و CFR, CZ



شکل ۱۰- نمودارهای گروه اول تا شش



شکل ۱۱- برخی از نمونه‌های آزمایش شده

۴- نتیجه‌گیری

- کاهش فاصله آزاد بین FRP با وجود الیاف پلی پروپیلن منجر به افزایش محصورشدگی هسته و کاهش آسیب‌های وارده بر هسته می‌گردد؛ این امر باعث می‌شود که کرنش نهایی (گسیختگی) و ظرفیت باربری ستون افزایش یابد.
- استفاده از نوارهای منقطع با تعداد لایه‌های بیشتر، باعث افزایش محصورشدگی و به تبع آن افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار انرژی جذب شده می‌گردد، به گونه‌ای که استفاده از دو لایه نوار به جای یک لایه، باعث می‌شود شیب قسمت دوم نمودار بار-تغییر مکان مقدار قابل توجهی افزایش یابد.
- در این تحقیق تأثیر بتن الیافی پلی پروپیلن بر روی کامپوزیت‌های FRP که به صورت کمربند افقی در لایه‌های مختلف قرار گرفته بودند، جهت تحمل نیروی فشاری محوری، افزایش شیب منحنی تنش-کرنش، افزایش شاخص شکل‌پذیری و به تعویق افتادن زمان در لحظه‌ی شکست نهایی بتن بررسی شد.
- افزودن الیاف پلی پروپیلن نسبت به نمونه‌های معمولی باعث افزایش ۷ الی ۹ درصدی مقاومت فشاری و ۱۵ الی ۶۰ درصدی افزایش شاخص شکل‌پذیری شد.

[8] Bergmann, R. And Hanswille, G., "new design method for composite columns including high strength steel" Fifth International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete, July 18-23, 2004

[9] نروان هزار مالیان، بررسی ترکیب روش NSM و آرماتور فولادی و محصورسازی با ورق FRP در ساخت ستون مرکب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد نجف آباد، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۵.

[۱۰] هاشمی شیرازی، ج و منظوری، ع، روش جدید جهت تعیین مقاومت کششی یک مقطع استوانه‌ای بتن الیافی، دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۸۲.

[11] Moshiri, N., Hosseini, A. and Mostofinejad, D., "strengthening of RC columns by longitudinal CFRP sheets: effect of strengthening technique," Journal of Constructions and Building Material, Vol. 79, pp. 318–325, 2015.

[12] Wakibayashi, M., "rational analysis of shear in composite columns," steel in building, pp. 293-300, 1977.

[13] ACI committee 544, state-of-the-art report on fiber reinforced concrete, (ACI 544.1r-82), ACI manual of concrete practice, Detroit, Michigan, 1982.

[14] Hadi, M.N.S., "behavior of FRP-wrapped normal strength concrete columns under eccentric loading," Composite Structures, vol. 72, no. 4, pp. 503-511, 2006.

[15] Parvin, A. and Wang, W., "behavior of FRP jacketed concrete columns under eccentric loading," journal of composites for constructions, vol. 5, no. 3, pp. 146-152, 2001.

[16] Pessiki, S., Harries, K.A., Kestner, J.T., Sause, R. and Ricles, J.M., "axial behavior of reinforced concrete columns confined with FRP jackets," Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 4, pp. 237-245, 2001.

[۱۷] مشیری، نیلوفر، ظرفیت محوری ستون‌های بتن آرمه‌ی محصورشده با FRP. تحقیقات بتن ایران، بهار و تابستان ۱۳۹۲.

[۱۸] بهزاد برکات جزئی، ارائه و بررسی مدل جدید ستون مرکب به میلگرد فولادی و ورق‌های FRP، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد نجف آباد، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۴.

[۱۹] هزارمالیان، نروان؛ بهزاد برکات جزئی و سیدبهزاد طلایی طباء، ارائه و بررسی یک روش جدید مقاوم‌سازی ستون‌های بتنی با استفاده از روش شیارزنی و میلگرد فولادی و ژاکت FRP، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، تبریز، ۱۳۹۴.

- استفاده از FRP با عرض ثابت به شکل نوارهای منقطع با فواصل آزاد کمتر، باعث افزایش حداکثر ظرفیت باربری می‌شود، اما با کاهش پهنای حلقه‌های استفاده شده، نوارهای FRP در کرنش کمتری پاره می‌شوند و در نتیجه کرنش نهایی کاهش می‌یابد. البته در نمونه‌های حاوی الیاف پلی-پروپیلن، می‌توان به جای استفاده از نوارهای FRP با عرض ۱۰۰، فواصل آزاد بین دو نوار را بیشتر در نظر گرفت و همان مقاومت و کرنش را بدست آورد که از لحاظ اقتصادی و سهولت انجام کار، تاثیر بسزایی خواهد داشت.
- با توجه به نتایج فوق، استفاده‌ی هم‌زمان از الیاف و پوشش FRP باعث افزایش شاخص شکل‌پذیری می‌گردد که این امر سبب افزایش زمان به تسلیم رسیدن عضو و بهبود عملکرد آن تحت نیروهای لرزه‌ای می‌شود.

۵- مراجع

[۱] باقری، ع، پرهیزکار، ط، قدوسی، ب، و طاهری، ا، کاربرد الیاف در بتن و فرآورده‌های سیمان، نشریه شماره ک-۳۰۰ انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران ۱۳۷۸.

[۲] خالو، ع، "بررسی ترک‌های جمع‌شدگی در بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندس عمران، ص ۲۰۵-۲۱۱، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۷۸.

[۳] سید محسن علوی لنگرودی، بررسی طول و رشته شدن الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی بتن، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد نجف آباد، پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۹۵.

[۴] کیوان، ع، بتن مسلح به الیاف فولادی، انتشارات رودکی، ارومیه، ۱۳۶۹.

[۵] خالو، ع، "بررسی ترک‌های جمع‌شدگی در بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندس عمران، ص ۲۰۵-۲۱۱، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۷۸.

[6] Piekarczyk, J., Piekarczyk, W. and Blazewicz, S., "compression strength of concrete cylinders reinforced with carbon fiber laminate," Constructions and Building Materials, Vol. 25, pp. 2365–2369, 2011.

[7] Vadoros, K.G. and Dritsos, S.E., "concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns," Constructions and Building Materials, vol. 22, pp. 264–276, 2008.

[۲۰] مصطفی نژاد، پ، و مرتضوی، ن، "مطالعه رفتار بتن محصور در FRP به روش اجزا محدود"، پنجمین کنگره ملی مهندس عمران، مشهد: ۱۳۸۹.

[21] Widiarsa, I.B.R. and Hadi, M.N.S. "performance of CFRP Wrapped Reinforced Concrete Column under Combined Axial-Flexural Loading." ACI Stnktural Journal, Vol. 97 . No 4. Pp 650669. 2000.

[۲۲] ابراهیم اباذری، تأثیر ایجاد محصورشدگی با FRP بر مقاومت فشاری نمونه های بتن الیافی، دانشکده مهندس عمران، دانشگاه آزاد نجف آباد، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۶.

The Effect of FRP-Confinement on Compressive Strength of Polypropylene Fiber Concrete Specimen

Shamsedin Hashemi *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Iran.

Ebrahim Abazari

MS student, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Iran.

Abstract

Using fiber-reinforced plastic (FRP) to retrofit reinforced concrete columns is an impressive way. In this research, the effects of using 1.2 kg/m³ micro monofilament polypropylene fibers of 12-millimeter length on compressive strength of Specimen confined by FRP are studied. Upon mechanical and chemical tests on materials, the best mix plan is chosen followed by making one cubic meter of concrete prepared in batching machine. Half of the concrete was made with polypropylene fibers while the other half did not contain any fibers. As many as 48 cylindrical samples of 150*300 mm were tested. Composite coir fibers were used to increase bearing strength and for confinement. The samples were tested under axial static loading and were compared using their load-displacement curves. The results show that FRP-confinement improve mechanical properties of polypropylene fiber concrete including concrete stiffness, compressive strength, ultimate strain and ductility index and also delayed the final break.

Keywords: retrofit of reinforced concrete columns, Polypropylene Fiber Concrete, confinement, stress-strain curve, FRP.

* Corresponding Author: s.hashemi@yu.ac.ir

