Archive of SID

نشریه علمی– پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹٤، صفحه ۵۳ تا ٦۰
Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 53- 60

بررسی رفتار ستون‌های بتنی با کاربرد آرماتورهای *FRP* به جای آرماتورهای فولادی

فخرالدین دانش[۱]*، بهارک برادران نوبری[۲]

۱- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

(دریافت ۱۳۸۸/۱۲/٤، پذیرش ۱۳۹۳/۱/۳۰)

چکیده

کاربرد مواد FRP بدلیل داشتن ویژگی های ممتازی چون نسبت بالای مقاومت به وزن، دوام در برابر خوردگی و سرعت و سهولت در حمل و نصب، به سرعت رو به افزایش است. استفاده از میلگردهای FRP به جای میلگردهای فولادی به‌طور قابل ملاحظه ای از زیان های ناشی از بروز خوردگی در اعضای بتنی به خصوص در سازه های مجاور آب ها جلوگیری می‌کند.

در این مقاله به منظور بررسی اثر جایگزینی آرماتورهای فولادی ستون با آرماتورهای FRP، ستون‌هایی در برنامه اجزا محدود مدل‌سازی شده اند که در آنها آرماتورهای طولی با میلگردهایی از جنس CFRP جایگزین شده اند، سپس اثر پارامترهای مختلفی همچون درصد آرماتورهای طولی FRP و مقاومت مشخصه بتن برروی ظرفیت خمشی و شکل پذیری ستون بررسی شده است. همچنین بررسی‌های صورت گرفته بر روی ستون‌های بتنی تقویت شده با میلگردهای طولی فولادی و CFRP، نشان داد که با میزان درصد میلگرد CFRP کمتری می‌توان به مقاومت قابل قبولی دست یافت.

کلمات کلیدی

ستون بتنی، درصد آرماتورهای FRP، مقاومت مشخصه بتن، ظرفیت خمشی، شکل پذیری.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: danesh@kntu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ظهور تخریب ناشی از پدیدهٔ خوردگی در بتن مسلح شده با میلگرد فلزی بدین گونه است که نخست میله‌های فلزی داخل بتن دچار زنگ زدگی شده و اکسید می شوند، سپس این اکسیدها به سمت سطح بیرونی بتن مهاجرت کرده و با انتشار در داخل بتن باعث از بین رفتن آن می شوند. بدین ترتیب با خورده شدن دو جزء فلزی و بتنی سازه، زمینهٔ تخریب کامل سازهٔ بتنی فراهم می گردد. روش‌های سنتی گذشته مانند چسباندن صفحات فلزی بر روی سازه یا اضافه کردن ضخامت بتن برای مقابله با پدیدهٔ خوردگی، ضمن آنکه مشکل خوردگی فلز را مرتفع نخواهد کرد، بلکه سبب افزایش وزن سازه و آسیب پذیرترشدن آن در برابر زلزله نیز خواهد شد. برای جلوگیری از این امر می‌توان با تقویت سطح خارجی سازهٔ بتنی توسط مواد مرکب و استفاده از میلگردهای FRP در داخل بتن، هم مشکل خوردگی فلز داخل سازه را حل نمود و هم جلوی مختل شدن کارایی سازه در صورت خورده شدن بتن را گرفت که این بهترین روش مقابله با پدیدهٔ خوردگی در یک سازهٔ بتنی است. استفاده از میلگردهای FRP بدلیل داشتن ویژگی‌های منحصر بفردی مانند مقاومت طولی زیاد، دوام در برابر خوردگی، عدم تأثیر در میدان‌های مغناطیسی و غیره[۶]، به صورت کاشت در نزدیک سطح[1] عضو بتنی برای مقاوم‌سازی و بهسازی این اعضا در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از محققین بوده است.

این روش مقاوم‌سازی با موفقیت برای بهبود ظرفیت خمشی پایه پلها مورد استفاده قرار گرفته است. مقاوم‌سازی و آزمایش پایه‌ها تا حد نهایی بر روی پلی که قرار بود در بهار سال ۱۹۹۹ تخریب شود صورت گرفت. ۳ تا از ۴ پایه پل با استفاده از آرایش های مختلف میله و ژاکت‌های FRP تقویت شده بودند. تقویت خمشی پایه‌ها با استفاده از میله‌های CFRP [2] که در داخل فونداسیون ستون مهار شده بودند، محقق شد[۲].

مطالعات سیستماتیک در زمینه مقاوم‌سازی خمشی ستون‌های بتن آرمه با میلگردهای کاشته شده در نزدیک سطح تحت بار زلزله مصنوعی نیز صورت گرفته که نتیجه این بررسی ها مقاوم‌سازی ستون‌ها با استفاده از میلگردهای CFRP و GFRP [3] کاشته شده در نزدیکی سطح و همچنین فولاد های ضد زنگ را پیشنهاد می‌کند [۴]. جنبه نوین دیگر این مطالعات استفاده از روش تقویت "کاشت در نزدیک سطح" در ترکیب با "ژاکت‌های موضعی" می‌باشد که متشکل از سیستم‌های پیش فشرده کننده[4] TRM [5] است که در مراجع [۵] و [۷] بطور مفصل توضیح داده شده است.

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی ستون‌های بتنی مسلح که تحت بار محوری فشاری و جانبی سیکلی قرار دارند و با استفاده از نوارهای CFRP کاشته شده در نزدیک سطح، تقویت شده‌اند، نشان می‌دهد که روش تقویتی پیشنهادی، روش مورد اطمینانی برای افزایش ظرفیت باربری ستون‌هایی است که در خمش دچار گسیختگی می‌شوند. اگرچه همانطور که انتظار می‌رفت در ظرفیت جذب انرژی ستون‌های آزمایش شده بهبودی حاصل نشد، زیرا که این روش تقویت، پیش فشردگی قابل ملاحظه‌ای در بتن ایجاد نمی‌نماید [۳].

این مقاله به بررسی رفتار ستون‌های بتنی می‌پردازد که برای جلوگیری از پدیدهٔ خوردگی، آرماتورهایی از جنس FRP، جایگزین آرماتورهای فولادی آنها شده اند. بدین منظور ابتدا یک ستون بتنی مسلح که تحت بار محوری فشاری ثابت و بار جانبی افزاینده قرار دارد، در نرم افزار اجزا محدود به صورت سه بعدی مدل‌سازی شده و نتایج بدست آمده از تحلیل‌ها با نتایج آزمایش های انجام شده بر روی ستون‌های مشابه مقایسه شد[۱]. پس از اطمینان از درستی مدل‌سازی انجام شده، آرماتورهای فولادی در ستون بتنی با آرماتورهایی از جنس CFRP جایگزین شده و اثر پارامترهایی همچون درصد آرماتورهای CFRP و مقاومت مشخصه بتن بر روی برش پایه و تغییر شکل نهایی ستون بررسی شده و در نهایت مقدارآرماتور CFRP که باید جایگزین آرماتورهای فولادی ستون شود تا به مقاومت یکسان برسند، بدست می‌آید.

۲- مدل‌سازی در نرم افزار اجزا محدود

در این تحقیق ابتدا به منظور صحت‌سنجی مدل تحلیلی، یک ستون بتنی مسلح با مقطعی به ابعاد 20x20 سانتی‌متر که با استفاده از آرماتورهای CFRP تقویت شده است، به صورت سه بعدی در نرم افزار اجزا محدود مدل‌سازی شده و منحنی نیرو- تغییر مکان بدست آمده از انجام آنالیزها با نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه مشابه مقایسه شد، سپس ستون‌های بتنی دیگری با مقطعی به ابعاد 40x40 سانتی‌متر مدل‌سازی شده و آرماتورهای فولادی آنها با آرماتورهای CFRP جایگزین می‌گردد و رفتار ستون‌ها تحت بار محوری و جانبی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش‌های بعدی جزئیات ستون، خصوصیات المان‌ها و مصالح مورد استفاده، شرایط بارگذاری و تکیه گاهی به صورت کامل شرح داده می‌شود.

۲-۱- هندسه مدل

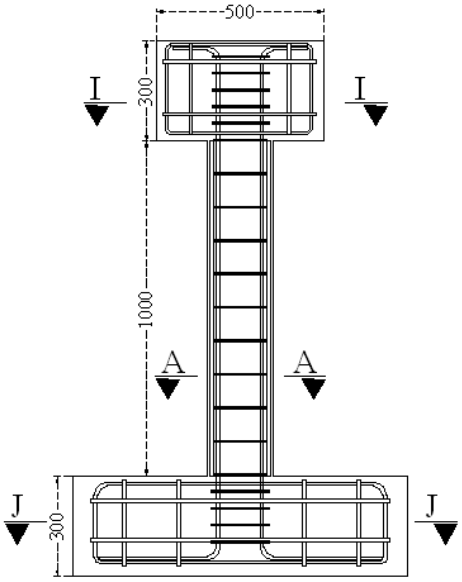
ستونی که برای اطمینان از صحت مدل‌سازی انتخاب شده و نتایج آزمایشگاهی آن نیز موجود است، یک ستون بتنی مسلح به ارتفاع ۱ متر با سطح مقطع 20x20 سانتی‌متر است که دارای ۴ آرماتور طولی به قطر ۱۲ میلی‌متر و خاموت‌هایی به قطر ۱۰

www.SID.ir

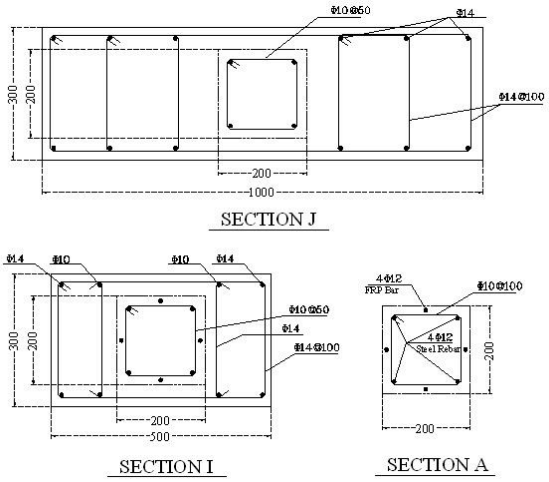
Archive of SID

میلی‌متر و به فاصله ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. ستون دارای فونداسیونی به ابعاد 30x30x100 سانتی‌متر بوده و برای وارد کردن بار جانبی به آن تیری به ابعاد 30x30x50 سانتی‌متر در بالای آن قرار گرفته است. این ستون با استفاده از ۴ میلگرد CFRP به قطر ۱۲ میلی‌متر در هر وجه آن تقویت شده است. میلگردهای CFRP تا محدوده روی سطح پی امتداد یافته و در داخل آن مهار نشده اند.

در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) مدل هندسی و جزئیات مقطع ستون، فونداسیون و تیر بالای ستون وهمچنین مدل آزمایشگاهی ساخته شده، نشان داده شده است.



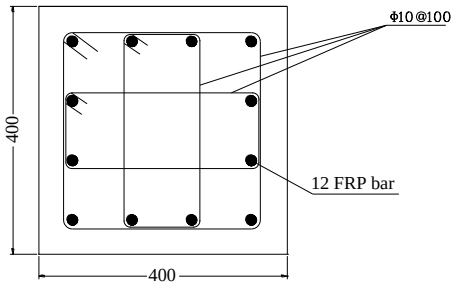
شکل (۱): مدل هندسی ستون (ابعاد به میلی‌متر)



شکل (۲): جزئیات مقطع ستون، فونداسیون و تیر بالای ستون (ابعاد به میلی‌متر)

شکل (۳): مدل آزمایشگاهی

ستون‌هایی که برای بررسی اثر جایگزینی آرماتورهای فولادی با آرماتورهای CFRP انتخاب شده اند، ستون‌هایی به طول ۱ متر بوده و مقطع آنها به ابعاد 40x40 سانتی‌متر است که دارای ۱۲ آرماتور طولی از جنس CFRP هستند. خاموت ها از میلگرد فولادی به قطر ۱۰ میلی‌متر که به فاصله ۱۰ سانتی‌متر در ارتفاع ستون قرار گرفته اند، تشکیل شده اند. خاموت‌ها به گونه ای آرایش یافته اند که کلیه آرماتورها در گوشه قرار گرفته اند. در ادامه شکل مقطع ستون‌ها آورده شده است.



شکل (۴): جزئیات مقطع ستون‌ها (ابعاد به میلی‌متر)

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- خصوصیات مواد و المان ها

برای مدل‌سازی المان‌های بتن با توجه به سه بعدی بودن مدل‌سازی ستون از المان سه بعدی هشت گره ای C3D8 استفاده شده است. همچنین برای مدل‌سازی آرماتورهای طولی و عرضی از المان خرپایی T3D2 که یک المان سه بعدی دو گرهی با تغییر شکل‌های خطی است استفاده می‌شود که این المان‌ها در المان‌های بتن خوابانده[۶] شده و رفتاری هماهنگ با آنها خواهند داشت.

مدل مورد استفاده برای بتن، مدل "بتن با پلاستیسیته آسیب دیده[۷]" است که قادر است اثرات کاهش سختی را وارد تحلیل نماید. رفتار آرماتورها و خاموت های فولادی به صورت رفتار "کینماتیک خطی"[۸] که یک مدل دوخطی است، در نظر گرفته شده است. آرماتورهای CFRP تا لحظه گسیختگی دارای رفتار الاستیک خطی بوده و کرنش گسیختگی آنها برابر با ۱/۷ درصد است. در جدول زیر مشخصات مصالح که در این تحقیق به کار برده شده، به صورت خلاصه آورده شده است.

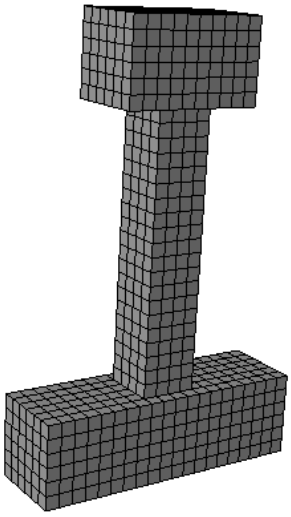
جدول (۱): مشخصات مصالح

بتن	
مقاومت مشخصه بتن	20-50 MPa
میلگرد CFRP	
تنش نهایی	2000 MPa
مدول الاستیسیته	72 GPa
کرنش گسیختگی	1.7%
فولاد	
تنش تسلیم	400 MPa

۲-۳- شرایط بارگذاری و تکیه گاهی

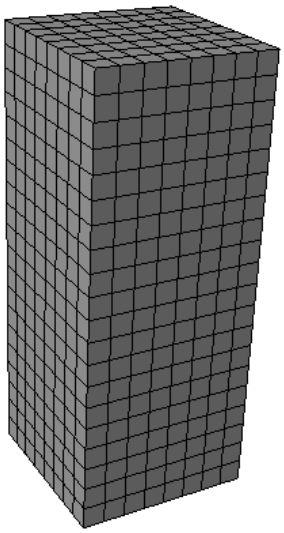
نمونه آزمایشگاهی تحت بار ثابت محوری فشاری برابر با ۲۰ تن (برابر با ۲۵ درصد ظرفیت فشاری ستون) و بار سیکلی جانبی افزاینده به صورت تغییر مکان قرار دارد. برای وارد کردن بار سیکلی جانبی ابتدا δ_y ستون (تغییر مکانی که در آن اولین آرماتورهای کششی جاری می شوند) محاسبه شده و سپس سیکل‌های بار جانبی به صورت افزایشی با گام های $0/5\ \delta_y$ وارد شده اند.

در مدل‌سازی ستون با مقطع 20x20 سانتی‌متر که هدف مقایسه آن با نمونه آزمایشگاهی است، سعی شده که با مدل‌سازی فونداسیون و تیر بالای ستون، شرایط بارگذاری و تکیه گاهی حتی‌المقدور به شرایط آزمایشگاهی نزدیک شود، به گونه ای که بار جانبی به صورت تغییر مکان افزاینده به وسط تیر بالای ستون وارد شود و شرایط گیرداری نیز همانند آزمایشگاه به فونداسیون ستون اعمال شده است. این ستون تحت بار ثابت محوری فشاری برابر با ۲۰ تن (معادل با ۲۵ درصد ظرفیت فشاری ستون) و بار جانبی افزاینده به صورت تغییر مکان قرار داده شده است.



شکل (۵): ستون با مقطع 20x20 مدل‌سازی شده در نرم افزار

برای انجام بررسی‌های پارامتریک ستون‌هایی با مقطع 40x40 سانتی‌متر در نرم افزار مدل شده و انتهای ستون‌ها با بستن کلیه درجه‌های آزادی گیردار شده‌اند. بارگذاری شامل بار محوری و بار جانبی است. بار محوری، بار ثابت ۸۰ تن (معادل با ۲۵ درصد ظرفیت فشاری ستون) است و بار جانبی به صورت مونوتونیک افزاینده و به صورت تغییر مکان به بالای ستون وارد می‌شود.



شکل (۶): ستون با مقطع 40x40 مدل‌سازی شده در نرم افزار

۳- طرح کلی تحلیل‌ها

ابتدا برای اطمینان از درستی مدل‌سازی انجام شده در نرم افزار، ستونی با جزئیات شکل های (۱) و (۲) در نرم افزار اجزا محدود مدل‌سازی شده و از آنجا که نمونه مشابه آن در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفته، نتایج آنالیزها با نتایجی که از

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایشگاه بدست آمده در بخش [۳-۱-§] مورد مقایسه شده است.

برای بررسی اثر جایگزینی آرماتورهای فولادی ستون با آرماتورهای CFRP، ستون‌هایی با جزئیات شکل (۴) در نرم افزار اجزا محدود مدل‌سازی شده است. نحوه نامگذاری این ستون‌ها به صورت fc(m)- f or s (n) است که در آن:

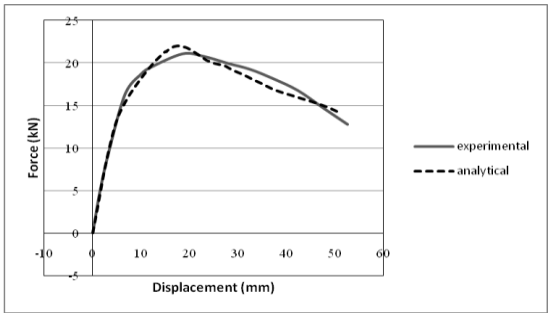
Fc: مقاومت مشخصه بتن را مشخص می‌کند (مقدار مقاومت مشخصه به جای m نوشته می‌شود)

F یا s نشان‌دهنده نوع میلگردهای طولی هستند که f از نوع FRP و s از نوع steel است. (قطر آرماتورها به جای n قرار می‌گیرد)

نتایج بررسی های پارامتریک بر روی این ستون‌ها در ادامه و در بخش های[۳-۲-§]، [۳-۳- §] و [۳-۴-§] آورده شده است.

۳-۱- صحت سنجی مدل تحلیلی

از آنجا که بار جانبی وارد بر ستون در آزمایشگاه به صورت سیکلی و در نرم افزار به صورت مونوتونیک است، منحنی برش پایه-تغییر مکان بدست آمده از نرم افزار با پوش منحنی برش پایه-تغییر مکان بدست آمده از آزمایش مورد مقایسه قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، منحنی‌ها انطباق خوبی با یکدیگر داشته و نشان می‌دهد که مصالح به کار رفته در ستون به درستی مدل‌سازی شده است.



شکل (۷): منحنی برش پایه-تغییر مکان بدست آمده از نرم افزار و آزمایشگاه

اختلاف مقادیر برش پایه منحنی‌های آزمایشگاهی و تحلیلی برابر با ۴/۳۵ درصد و اختلاف مقادیر تغییر مکان متناظر با این برش پایه برابر با ۳/۹۷ درصد است که نشان دهنده مورد اطمینان بودن مدل ساخته شده در نرم افزار است.

از آنجا که هدف این مقاله بررسی ستون‌هایی است که در آنها آرماتورهای FRP، جایگزین آرماتورهای فولادی ستون شده اند، بنابراین بهتر است در تحقیقات آینده صحت سنجی مدل تحلیلی با نمونه آزمایشگاهی مشابه و بدون آرماتور فولادی صورت گیرد، اما در اینجا به علت نبود چنین مدلی به نتایج بدست آمده در این قسمت اکتفا می‌شود.

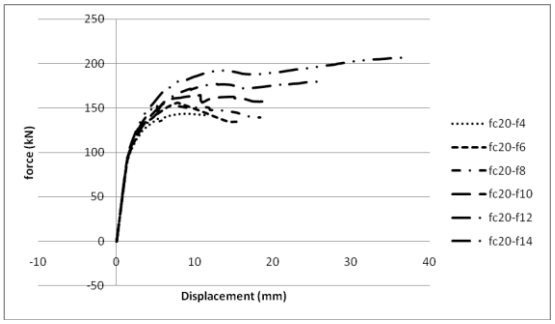
۳-۲- تأثیر درصد میلگردهای FRP در رفتار ستون بتنی

برای بررسی اثر درصد آرماتورهای CFRP موجود در ستون، یک سری ستون با مقاومت مشخصه بتن یکسان که در آنها درصد آرماتور CFRP متغیر است، مدل‌سازی شده اند. مشخصات این ستون‌ها در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): مشخصات نمونه های مدل‌سازی شده

نمونه	ابعاد مقطع (cm*cm)	ارتفاع ستون (m)	درصد آرماتور CFRP (٪)	مقاومت مشخصه بتن (MPa)
fc20-f4	40x40	1	0.09	20
fc20-f6	40x40	1	0.21	20
fc20-f8	40x40	1	0.38	20
fc20-f10	40x40	1	0.59	20
fc20-f12	40x40	1	0.85	20
fc20-f14	40x40	1	1.15	20

پس ازانجام آنالیزها منحنی‌های برش پایه-تغییر مکان نمونه ها رسم شده که در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸): منحنی برش پایه-تغییر مکان برای ستون‌هایی با درصد آرماتور CFRP متغیر

همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، افزایش درصد میلگردهای CFRP باعث افزایش مقاومت ستون بتنی می‌شود و همچنین تغییر مکان نهایی قابل تحمل ستون (که با رسیدن میلگردهای CFRP به کرنش گسیختگی آنها رخ می‌دهد) را نیز افزایش می‌دهد. بطوریکه ستون fc20-f4 با درصد آرماتور برابر با ۰/۰۹ درصد، دارای برش پایه ماکزیمم ۱۴۳/۴۵ کیلو نیوتن بوده و تغییر مکان نهایی آن برابر با ۹/۲۴ میلی‌متر می‌باشد. با افزایش درصد آرماتور CFRP از ۰/۰۹ تا ۱/۱۵ در ستون، برش پایه ماکزیمم و تغییر مکان نهایی ستون افزایش می‌یابد و در نهایت در ستون با درصد آرماتور ۱/۱۵ (ستون fc20-f14) به ترتیب به مقادیر ۲۰۶/۴۱ کیلو نیوتن و ۳۶ میلی‌متر می‌رسد.

۳-۳- تأثیر مقاومت مشخصه بتن در ستون‌های بتنی تقویت شده با استفاده از میلگردهای FRP

برای مشاهده تأثیر مقاومت مشخصه بتن در رفتار ستون‌های بتنی تقویت شده با استفاده از میلگردهای FRP نمونه‌هایی مشابه با درصد میلگردهای ثابت CFRP در نرم افزار مدل‌سازی

www.SID.ir

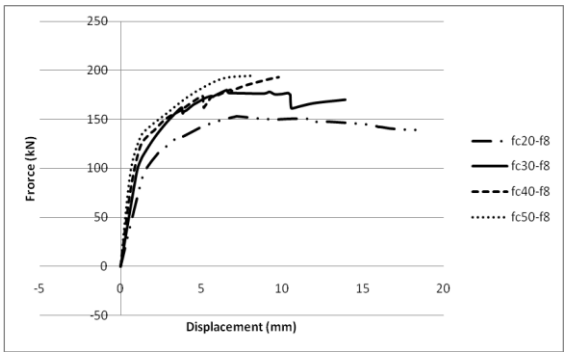
Archive of SID

شده اند که فقط مقاومت مشخصه بتن آنها با یکدیگر متفاوت است. مشخصات این ستون‌ها در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳): مشخصات ستون‌های مدل‌سازی شده

نمونه	ابعاد مقطع (cm*cm)	ارتفاع ستون (m)	درصد آرماتور CFRP (٪)	مقاومت مشخصه بتن (MPa)
fc20-f8	40x40	1	0.38	20
fc30-f8	40x40	1	0.38	30
fc40-f8	40x40	1	0.38	40
fc50-f8	40x40	1	0.38	50

در ادامه منحنی برش پایه- تغییر مکان این نمونه‌ها آورده می‌شود.



شکل (۹): اثر تغییرات مقاومت مشخصه بتن در مقاومت ستون‌هایی با درصد آرماتور طولی ۰/۳۸ درصد

همانطور که از مقایسه نمودار های برش پایه- تغییر مکان مشاهده می‌شود، با افزایش مقاومت مشخصه بتن در نمونه‌ها، مقاومت ستون افزایش می‌یابد اما از طرف دیگر تغییر مکان نهایی قابل تحمل ستون کاهش می‌یابد. به گونه ای که در ستون با درصد آرماتور CFRP برابر با مقدار ۰/۳۸ و مقاومت مشخصه ۲۰ مگاپاسکال (ستون fc20-f8) برش پایه ماکزیمم برابر با ۱۵۳/۰۶ کیلونیوتن و تغییر مکان نهایی برابر با ۱۸/۳۴ میلی‌متر می‌باشد و با افزایش مقاومت مشخصه بتن تا مقدار ۵۰ مگاپاسکال و با همان درصد آرماتور در نمونه fc50-f8 برش پایه ماکزیمم تا مقدار ۱۹۴/۶۶ کیلونیوتن افزایش یافته اما مقدار تغییر مکان نهایی (که با رسیدن میلگردهای CFRP به کرنش گسیختگی آنها رخ می‌دهد) تا مقدار ۸/۰۳ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

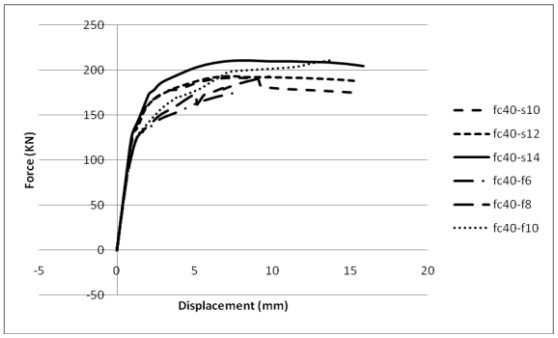
۳-۴- درصد آرماتور CFRP معادل با آرماتورهای فولادی در ستون بتنی

در این قسمت ابتدا یک سری ستون بتنی تسلیح شده با آرماتورهای فولادی در نرم افزار اجزا محدود مدل‌سازی شده و سپس آرماتورهای طولی آنها با آرماتورهایی از جنس CFRP با قطر های متفاوت جایگزین شده است تا درصد آرماتور معادل با آرماتورهای فولادی بدست آید که منجر به مقاومت یکسان در ستون شود. مشخصات نمونه ها به شرح جدول زیر است:

جدول (۴): مشخصات ستون‌های مورد بررسی

نمونه	ابعاد مقطع (cm*cm)	ارتفاع ستون (m)	نوع آرمانور طولی	درصد آرماتور CFRP (٪)	مقاومت مشخصه بتن (MPa)
fc40-f6	40x40	1	CFRP	0.21	40
fc40-f8	40x40	1	CFRP	0.38	40
fc40-f10	40x40	1	CFRP	0.59	40
fc40-s10	40x40	1	STEEL	0.59	40
fc40-s12	40x40	1	STEEL	0.85	40
fc40-s14	40x40	1	STEEL	1.15	40

با انجام تحلیل و رسم منحنی های برش پایه –تغییر مکان مدل‌های ساخته شده، مشاهده می‌شود که اگر آرماتورهای CFRP جایگزین آرماتورهای فولادی در ستون بتنی شوند، می‌توان برای رسیدن به مقاومت یکسان از آرماتورهای CFRP با قطر کمتر استفاده نمود و یا به بیان دیگر درصد آرماتورهای CFRP نسبت به درصد آرماتورهای فولادی در یک مقاومت یکسان به میزان قابل توجهی کمتر است.



شکل (۱۰): منحنی برش پایه- تغییر مکان نمونه های مدل‌سازی شده

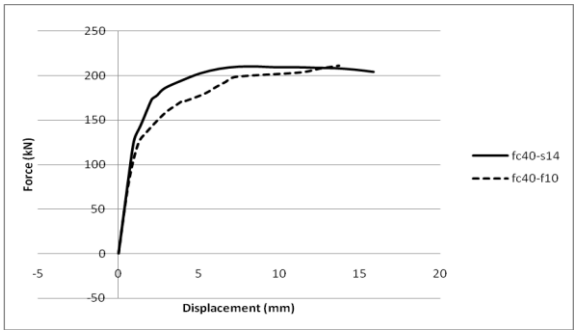
در منحنی‌های بالا، تغییر مکان نهایی در ستون‌های مسلح با آرماتورهای CFRP متناظر با کرنش گسیختگی آرماتورهای CFRP در نظر گرفته شده است و معیار مقایسه تا همین تغییر مکان بنا شده است، اگرچه ستون‌های دارای آرماتورهای فولادی هنوز به تغییر مکان نهایی خود نرسیده اند.

در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود که ستون با درصد آرماتور فولادی ۱/۱۵ دارای برش پایه ماکزیمم ۲۱۰/۳۸ کیلونیوتن در تغییر مکان ۸/۶۵ میلی‌متر و ستون با درصد آرماتور CFRP ۰/۵۹ دارای برش پایه ماکزیمم ۲۱۱/۲۸ کیلونیوتن در تغییر مکان ۱۳/۷۱ میلی‌متر می‌باشد. ستون دارای آرماتورهای CFRP به علت کمتر بودن مدول الاستیسیته CFRP نسبت به فولاد دارای سختی اولیه کمتری بوده و برش پایه ماکزیمم آن در تغییر مکان بیشتری اتفاق می‌افتد، پس از آن به علت رفتار الاستیک و شکست ناگهانی مواد CFRP با رسیدن آرماتورهای CFRP به کرنش گسیختگی، تغییر مکان نهایی ستون رخ می دهد، اما ستون‌های دارای آرماتورهای فولادی پس از تسلیم

www.SID.ir

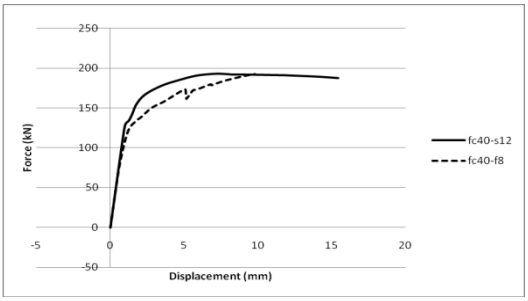
Archive of SID

آرماتورها وارد مرحله پلاستیک شده و تغییر مکان نهایی بیشتری را تحمل می کنند.



شکل (۱۱): منحنی برش پایه-تغییر مکان ستون‌های تسلیح شده با ۰/۵۹ درصد آرماتور CFRP و ۱/۱۵ درصد آرماتور فولادی

همچنین در شکل زیر مشاهده می‌شود که ستون با آرماتور فولادی ۰/۸۵ درصد دارای برش پایه ماکزیمم ۱۹۳/۳۶ کیلونیوتن در تغییر مکان ۷/۰۴ میلی‌متر و ستون با آرماتور CFRP ۰/۵۹ درصد دارای برش پایه ماکزیمم ۱۹۲/۸۶ کیلونیوتن در تغییر مکان ۹/۷۸ میلی‌متر است.



شکل (۱۲): منحنی برش پایه-تغییر مکان ستون‌های تسلیح شده با ۰/۳۸ درصد آرماتور CFRP و ۰/۸۵ درصد آرماتور فولادی

با توجه به نتایج بدست آمده برای طراحی ستون‌ها می‌توان به جای میلگردهای فولادی از میلگردهای CFRP با درصد آرماتور کمتری در مقطع ستون استفاده کرد و به مقاومت یکسان دست یافت. استفاده از میلگردهای FRP علاوه بر اینکه به کمتر شدن وزن سازه کمک می‌کند، باعث جلوگیری از خوردگی فولاد و زوال بتن به خصوص در سازه های مجاور آب، پایه پل ها و غیره می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر جایگزینی میلگردهای فولادی ستون با میلگردهای CFRP بررسی شده است. به این منظور ستون‌هایی در نرم‌افزار اجزا محدود مدل‌سازی شدند که در آنها آرماتورهای طولی با میلگردهایی از جنس CFRP جایگزین شدند، سپس اثر پارامترهایی همچون درصد آرماتورهای طولی CFRP و مقاومت مشخصه بتن بر روی برش پایه و تغییر مکان نهایی ستون‌ها بررسی شد. در ادامه با بررسی ستون‌های بتنی تقویت شده با میلگردهای طولی فولادی و CFRP، میزان درصد میلگرد CFRP که لازم است تا جایگزین آرماتورهای فولادی شود تا به مقاومت یکسان دست یافته شود، بدست آورده شد.

نتایج بدست آمده از بررسی‌های انجام شده را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

– در یک ستون با مقاومت مشخصه ثابت بتن، افزایش درصد میلگردهای CFRP باعث افزایش مقاومت خمشی ستون بتنی می‌شود و همچنین تغییر مکان نهایی قابل تحمل ستون را نیز افزایش می‌دهد.

– در یک ستون با درصد آرماتور ثابت، با افزایش مقاومت مشخصه بتن در نمونه ها، مقاومت خمشی ستون افزایش می‌یابد اما از طرف دیگر تغییر مکان نهایی قابل تحمل ستون کاهش می‌یابد.

– برای طراحی ستون‌ها می توان به جای میلگردهای فولادی از میلگردهای CFRP با درصد آرماتور کمتری در مقطع ستون استفاده کرد و به مقاومت یکسان دست یافت. استفاده از میلگردهای FRP علاوه بر اینکه به کمتر شدن وزن سازه کمک می‌کند، باعث جلوگیری از خوردگی فولاد و زوال بتن به خصوص در سازه‌های مجاور آب و پایه پل‌ها می شود. ولی باید به این نکته توجه کرد که ستون‌های دارای آرماتورهای CFRP تغییر مکان نهایی کمتری را می‌توانند تحمل نمایند.

۵- مراجع

[۱] مهدی سرافراز، رساله دکترا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران، ۱۳۸۸.

[۲] Alkhrdaji, T. & Nanni, A., "Flexural strengthening of bridge piers using FRP composites", center for infrastructure engineering studies (CIES), university of Missouri- Rolla, 1999.

[۳] Barros, J. A.O., Varmaa, R. K., Sena-Cruz a, J. M. & Azevedo, A. F.M., "Near surface mounted CFRP strips for the flexural strengthening of RC columns: Expermental and numerical research", Engineering Structures, vol. 30, pp. 3412- 3425, 2008.

[۴] Bournas, D.A. & Traintafillou, T.C., "Flexural strengthening of RC columns with near surface mounted FRP or stainless steel reinforcement: experimental investigation", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October12- 17, Beijing, China, 2008.

[۵] Bournas, D. A., Lontou, P. V., Papanicolaou, C. G. & Triantafillou, T. C., "Textile-Reinforced Mortar (TRM) versus FRP Confinement in Reinforced Concrete Columns", ACI Structural Journal, vol. 104,

www.SID.ir

Archive of SID

pp. 740- 748, 2007.

[۶] Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars Reported by ACI Committee 440, American concrete institute.

[۷] Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P. & Laourdekis, T., "Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets". ACI Structural Journal, vol. 103, PP. 28- 37, 2006.

۶- زیرنویس ها

۱ Near Surface Mounted
۲ Carbon Fiber Reinforced Polymer
۳ Glass Fiber Reinforced Polymer
٤ Confining system
٥ Textile-Reinforced Mortar
٦ Embed
۷ Concrete Damaged Plasticity
۸ Linear kinematic hardening

www.SID.ir