Archive of SID

تحقیقات بتن
سال دوازدهم، شمارهٔ دوم
تابستان ۹۸
ص ۷۶ – ۶۱
تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۶
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۹

ارزیابی و مقایسه کاربرد غلاف GRP و دورپیچ CFRP بر رفتار ستون‌های استوانه‌ای بتن‌مسلح ساخته شده از بتن‌های معمولی و پرمقاومت

سیدفتح اله ساجدی *
دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
محسن شفیعی‌نیا
دانشجوی دکتری سازه، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

این تحقیق رفتار ستون‌های بتن‌مسلح ساخته شده از بتن‌های معمولی و پرمقاومت که با استفاده از غلاف GRP (fiber -Glass Reinforced Plastic Pipes) **و هم‌چنین دورپیچ CFRP** (Carbon Fiber Reinforced Polymer)**، محصور شده‌اند، را ارائه می‌کند. هدف بررسی رفتار و ظرفیت باربری ستون‌های محصور با غلاف و دورپیچ تحت بارهای فشاری است. تأثیر نوع بتن، غلاف، دورپیچ و تعداد لایه‌های دورپیچ بررسی گردید. ۱۲ ستون بتن‌مسلح استوانه‌ای از بتن‌های معمولی و پرمقاومت ساخته شدند؛ ستون‌ها به دو گروه ٦تایی از بتن معمولی و بتن پرمقاومت تقسیم شدند، هر گروه به دو بخش ۳تایی دسته‌بندی گردید. بخش اول دارای غلاف و بخش دوم فاقد غلاف بودند. از هر بخش یک ستون فاقد لایه تقویتی بود؛ یک ستون با یک‌لایه و ستون دیگر با دو لایه ورق دورپیچ شدند. تمام ستون‌ها تحت نیروی فشاری متمرکز آزمایش شدند. نتایج نشان داد که استفاده از دورپیچ و غلاف باعث بهبود مقاومت فشاری و شکل‌پذیری ستون‌ها گردید. افزودن یک لایه و دو لایه دورپیچ به طور میانگین به ترتیب باعث افزایش٪۱۸/۵ و ٪۲٦/۵ ظرفیت فشاری در گروه اول و ٪۱۰/۲ و ٪۲٤/۸ در گروه دوم گردیدند، درحالی که استفاده از غلاف به‌طور میانگین باعث افزایش ۳ برابری مقاومت فشاری ستون‌ها در گروه اول و ۲/۳۸ برابری در گروه دوم شده است. نتایج حاکی است که گرچه دورپیچ و غلاف هر دو محصوریت ایجاد می‌کنند، ولی غلاف به خاطر محصوریت بالاتر، تاثیر بسیار بیش‌تری بر افزایش مقاومت فشاری و شکل‌پذیری ستون‌ها دارد. به‌علاوه، تاثیر محصوریت بر ستون‌های گروه اول بیش‌تر است.**

واژه‌های کلیدی: ستون بتن‌مسلح، غلاف GRP، دورپیچ FRPC، نیروی محوری، شکل‌پذیری.

* نویسنده مسئول: f_sajedi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تنزل سطح عملکرد سازه‌های بتن‌مسلح در طول زمان تحت تاثیر عوامل محیطی (خوردگی، یخبندان، ذوب و ...) و آسیب‌های سازه‌ی ناشی از بارگذاری تصادفی (زلزله، باد و سیل) و حتی بارهای سنگین ترافیکی اجتناب‌ناپذیر بوده و لزوم تدوین روش‌های علمی و اجرایی را جهت تقویت و یا تعمیر این‌گونه سازه‌ها که دارای ضعف اولیه در طراحی و یا اجراء می‌باشند، را به‌خوبی روشن می‌سازد. در نخستین شیوه‌های ترمیم ستون‌ها، از روپوش های فولادی برای محصور نمودن پیرامون ستون استفاده می گردید. علی‌رغم آنکه این شیوه مقاومت فشاری و برشی ستون‌ها را بهبود می‌بخشید، معایبی مانند وزن بالای ورقه‌های فولادی و قابلیت خوردگی آن‌ها، هزینه‌های زیادی را در مراحل نصب و نگهداری به همراه داشت. با پیدایش پلیمرهای مسلح شده با الیاف یا کامپوزیت‌های CFRP و گسترش استفاده از آن‌ها در مهندسی عمران، روش‌های ترمیم و مقاوم‌سازی ستون‌های بتنی، جهش قابل‌ملاحظه‌ای یافت. این امر به دلیل ویژگی‌های ممتاز این نوع مواد، همچون نسبت بسیار بالای مقاومت کششی به وزن، مقاومت خوردگی و دوام مطلوب، سهولت حمل و به‌کارگیری و نیز تاثیر هندسی ناچیز در اجزای تقویت شده بود. استفاده از کامپوزیت‌های CFRP از دهه ۱۹۸۰ و به منظور ترمیم و حفاظت از ستون‌های آسیب‌دیده بتنی پل‌ها، مرسوم گردید. مطالعات بعد نشان داد که دورپیچ CFRP، علاوه بر محافظت ستون‌ها در برابر عوامل مخرب محیطی، بهبود شاخصه‌های باربری آن‌ها را نیز به دنبال دارد. هنگامی که ستون دورپیچ‌شده، تحت اثر بار فشاری قرار می‌گیرد، دورپیچ پیرامونی از انبساط محیطی مقطع، ناشی از گسترش ترک‌های فشاری در آن جلوگیری نموده و نوعی تنش فشاری محصورکننده غیرفعال بر آن وارد می‌آورد. به این ترتیب باربری هسته بتنی ادامه یافته و ستون در تنش فشاری بیش‌تری منهدم می‌گردد [۱].

بتن با مقاومت بالا به عنوان مصالح نسبتاً نوینی تلقی می‌شود که اخیرا جهت احداث سازه‌های مختلف مانند ساختمان‌های بلندمرتبه، پل‌ها، سدها و غیره کاربرد داشته است. از جمله مزایای این بتن‌ها می‌توان به مقاومت‌های فشاری و کششی بالا، ضریب ارتجاعی بیش‌تر و نفوذپذیری کم‌تر آن‌ها اشاره کرد. از عوامل موثر در رسیدن به مقاومت‌های بالا در بتن، استفاده از شن و ماسه مقاوم و با شکل مناسب، افزایش مقدار سیمان مصرفی، محدود کردن اندازه بزرگ‌ترین سنگدانه، استفاده از ماسه با مدول نرمی مناسب و نسبت آب به سیمان مناسب برای همگنی بیش‌تر بتن می‌باشد. هم‌چنین با استفاده از مواد بسیار ریزدانه و با اندازه‌هایی کم‌تر از دهم میکرون مانند میکروسیلیس می‌توان مجموعه‌ای متراکم‌تر و با تخلخل بسیار کم را تهیه نمود. در بتن‌های با مقاومت بالا بایستی تا حد امکان نسبت آب به سیمان را کاهش داد. برای تامین روانی و کارآیی کافی در چنین مخلوط‌هایی که با آب کم تهیه می‌شوند، لازم است از فوق روان‌کننده‌ها استفاده شود [۲].

تاکنون تحقیقات زیادی درخصوص مقاوم‌سازی ستون‌های بتن‌مسلح استوانه‌ای با دورپیچ نمودن سطح خارجی آن‌ها انجام شده است. قریب به اتفاق مطالعات انجام‌شده بر این امر اجماع نظر دارند که استفاده از مصالح CFRP باعث افزایش مقاومت فشاری و شکل‌پذیری ستون‌های بتنی محصورشده به وسیله تامین اثر محصورکنندگی هسته بتن، زیر بارهای فشاری می‌شوند [۷-۳]. هم‌چنین تحقیقات انجام شده در مورد شکل مقطع ستون‌های مقاوم‌سازی شده نشان داده است که مقاطع مربعی و مستطیلی به اندازه مقاطع دایره‌ای از محصورشدگی متأثر نمی‌شوند، زیرا در این مقاطع برخلاف مقاطع دایره‌ای، فشار محصورکننده یکنواخت نیست [۱۱-۸]. به‌علاوه، بررسی ستون‌های بتن‌مسلح توخالی تقویت‌شده با الیاف CFRP نشان می‌دهد که این ستون‌ها عملکرد بهتری در تحمل بارهای محوری دارند [۱۳-۱۲]. هم‌چنین، در زمینه تعداد لایه‌های تقویتی CFRP اعمال شده بر روی سطح ستون‌های بتنی، مطالعات متعددی انجام شده و همگی به وحدت نظر یکسانی دست یافته‌اند که استفاده از لایه‌های بیش‌تر و ورق‌های ضخیم‌تر، سبب افزایش بیش‌تر مقاومت فشاری ستون‌های مقاوم‌سازی شده، می‌شود. ضمناً نوع الیاف، نوع بافت الیاف، مقدار چسب و عوامل دیگر در میزان مقاوم‌سازی انجام شده تاثیر دارند [۱۶-۱۴].

از سوی دیگر تحقیقات نشان داده که درصد مقاوم‌سازی ایجادشده با ورق‌های CFRP برای ستون‌های ساخته شده از بتن‌های با مقاومت پایین و متوسط در مقایسه با بتن‌های با مقاومت بالا، بیش‌تر است؛ دلیل احتمالی این امر را می‌توان کم‌تر بودن مقاومت ایجاد‌شده از سوی لایه محصورکننده نسبت به مقاومت فشاری بتن دانست[۱۸-۱۷].

www.SID.ir

Archive of SID

در زمینه بارگذاری محوری خارج از مرکز، تقریبا تمام مطالعات انجام‌شده بر این امر اجماع نظر دارند که بارگذاری محوری خارج از مرکز و اعمال لنگر خمشی، از مقدار تحمل بار فشاری می‌کاهد، هم‌چنین، استفاده از مصالح CFRP مقاومت فشاری و شکل-پذیری این اعضاء را بهبود می‌بخشد [۲۱-۱۹].

ستون‌های بتنی پر شده در لوله‌های GRP، ستون کامپوزیتی می-باشند و اخیرا تحقیقات زیادی بر روی ستون‌های بتنی با این غلاف-ها انجام شده است. در این ستون‌ها لوله‌های GRP به عنوان قالب ماندگار عمل می‌کنند و باعث تامین محصوریت جانبی برای بتن هسته ستون و محدود شدن گسترش ترک‌های ریز[1] می‌شوند و همزمان هسته بتنی باعث جلوگیری از کمانش غلاف GRP می-شود. تحقیقات انجام‌شده روی ستون‌های بتنی با غلاف GRP نشان داده که این ستون‌ها از حیث مقاومت فشاری، سختی و شکل-پذیری عملکرد مناسبی دارند [۲۶-۲۲].

در این پژوهش هدف بررسی آزمایشگاهی تاثیر جداگانه و همزمان اثر غلاف GRP و دورپیچ CFRP بر رفتار ستون‌های استوانه‌ای بتن‌مسلح ساخته شده از بتن‌های معمولی و با مقاومت بالا می‌باشد که با ساخت ۱۲ ستون بتن‌مسلح با قطر داخلی و ارتفاع به ترتیب ۱۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر با و بدون حضور غلاف لوله‌ای GRP، و انجام آزمایش مقاومت فشاری و تعیین تغییرشکل محوری و جانبی آن-ها، این هدف دنبال شده است.

۲- مشخصات دورپیچ FRP و غلاف GRP مصرفی

ورقه‌های کامپوزیتی مورد استفاده در این تحقیق از جنس الیاف کربن (CFRP) و به صورت یک‌جهته و ساخت شرکت TORAY ژاپن می‌باشند. خواص مکانیکی مصالح CFRP براساس اطلاعات کارخانه تولید کننده، از آزمایش‌های انجام شده به ترتیب طبق استانداردهای ASTM D7565 [۲۷] و ASTM D2996 [۲۸] در جدول شماره (۱) ارائه شده‌اند. چسب اپوکسی مورد استفاده ساخت شرکت پایا و به صورت دو-جزئی متشکل از رزین و سخت‌کننده با نسبت اختلاط ۱:۳ می‌باشد. تنش کششی قابل تحمل چسب ۳۰ مگاپاسکال و کرنش گسیختگی کششی ٪۳/۶ می‌باشد. مشخصات ترکیب چسب مذکور براساس گزارش‌های کارخانه سازنده و از آزمایش‌های انجام شده طبق استاندارد ASTM D638 [۲۹] به‌دست آمده‌اند. لوله‌های کامپوزیتی GRP ساخت کارخانه مشهد صدرا شرق می-باشند که با الیاف شیشه آغشته به رزین تولید می‌شوند. این لوله‌ها برحسب فشار داخلی که تحمل می‌کنند، دسته‌بندی می‌شوند. در این پژوهش از لوله‌های GRP با تحمل فشار داخلی ۱۰ بار استفاده گردید. مشخصات لوله‌های GRP براساس اطلاعات کارخانه سازنده از آزمایش‌های انجام‌شده طبق استاندارد ASTM D2996 [۲۹] در جدول ۱ ارائه شده‌اند. جهت انجام آزمایش‌های این تحقیق از لوله‌های GRP به طول ۶۰۰ ، قطر داخلی ۱۵۰ و ضخامت ۸ میلی‌متر استفاده شده است.

جدول ۱- خواص مکانیکی مصالح CFRP و لوله‌های کامپوزیتی GRP [۲۸-۲۷]

مشخصات کامپوزیت	مصالح CFRP	لوله‌های GRP
ضخامت (mm)	۰/۱۶۶	۸
چگالی (kg/m^3)	۱۹۰۰	۱۸۰۰
وزن در واحد سطح (g/m^2)	۳۰۰	–
وزن در واحد طول (g/m)	–	۶۷۸۶
تنش کششی(MPa)	۴۹۰۰	۷۵
ضریب ارتجاعی (GPa)	۲۳۰	۱۲۰
ضریب پواسون	۰/۳	۰/۴
کرنش نهایی (%)	۲/۵	۱/۳

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱- آزمایش‌های اولیه

جهت تعیین مقاومت فشاری بتن مصرفی در ساخت ستون‌ها، نمونه‌های استوانه‌ای به ترتیب با قطر داخلی و ارتفاع ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌متر طبق توصیه ACI-211 [۳۰] تهیه و پس از عمل‌آوری در حوضچه آب در سنین ۷ و ۲۸ روزه آزمایش مقاومت فشاری روی آن‌ها به‌عمل آمد. برای تهیه بتن با مقاومت بالا جهت ساخت بتن خودتراکم و کم‌تخلخل از ژل میکروسیلیس استفاده شد. هم‌چنین برای افزایش مقاومت فشاری بتن، نسبت آب به سیمان تا مقدار ۰/۲

[1] micro-cracks

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش یافت و برای حفظ کارایی بتن به مقدار بسیار اندک از مواد فوق روان‌کننده همراه با آب اختلاط استفاده شد. اسلامپ در بتن معمولی ۸۰و در بتن با مقاومت بالا ۲۱۰ میلی‌متر بود. جزئیات طرح اختلاط بتن‌های معمولی و با مقاومت بالا، مصرفی در ساخت نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- جزئیات طرح اختلاط بتن‌های معمولی و با مقاومت بالا مصرفی در ساخت ستون‌های تحقیق

نوع بتن	معمولی	با مقاومت بالا
سیمان نوع ۲ (kg/m^3)	۳۵۰	۵۵۰
آب (kg/m^3)	۱۵۷/۵	۱۱۱/۵
شن (kg/m^3)	۹۳۲	۹۳۰
ماسه (kg/m^3)	۹۳۳	۷۲۰
ژل میکروسیلیس (kg/m^3)	–	۵۵
فوق‌روان‌کننده (kg/m^3)	–	۲/۵
w/b	۰/۴۵	۰/۲۰

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه در جدول (۳) ارائه گردیده است. میانگین مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه نمونه-های استوانه‌ای بتن معمولی ۳۲/۷ و بتن با مقاومت بالا ۶۳/۱ مگاپاسکال به‌دست آمد.

جدول ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد در سن ۲۸ روزه (MPa)

نوع بتن	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین
معمولی	۳۱/۲	۳۳/۱	۳۳/۸	۳۲/۷
با مقاومت بالا	۶۱/۷	۶۳/۴	۶۴/۲	۶۳/۱

۳-۲- مشخصات نمونه‌ها

نمونه‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر شامل ۱۲ عدد ستون بتنی با مقطع دایره‌ای به ترتیب با قطر داخلی و ارتفاع ۱۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر هستند که آزمایش مقاومت فشاری بر روی آن‌ها انجام شده است. تمام ستون‌ها از بتن‌مسلح ساخته شدند. ستون‌ها به دو گروه ۶ تایی از بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا تقسیم شدند و در هر گروه سه ستون دارای غلاف GRP و سه ستون دیگر فاقد غلاف بودند، از هر بخش ۳تایی یک ستون فاقد دورپیچ CFRP، یک ستون با یک‌لایه و دیگری با دو لایه CFRP دورپیچ شده بود. ستون‌ها براساس اجزای سازنده نام‌گذاری شدند. برای ستون‌های با بتن معمولی حرف (N)، با بتن با مقاومت بالا حرف (H)، ستون‌های دارای غلاف GRP حرف (G) و ستون‌های دارای دورپیچ CFRP حرف (F) منظور گردید. عددی که پس از حرف F آمده نشانگر تعداد لایه‌های CFRP است. در جدول ۴ مشخصات ستون‌های تحقیق ارائه گردیده است.

جدول ۴- مشخصات ستون‌های آزمایشگاهی تحقیق

نام نمونه	نوع بتن	غلاف GRP	دورپیچ CFRP	تعداد لایه دورپیچ
N	NC	ندارد	ندارد	–
NF1	NC	ندارد	دارد	۱
NF2	NC	ندارد	دارد	۲
GN	NC	دارد	ندارد	–
GNF1	NC	دارد	دارد	۱
GNF2	NC	دارد	دارد	۲
H	HSC	ندارد	ندارد	–
HF1	HSC	ندارد	دارد	۱
HF2	HSC	ندارد	دارد	۲
GH	HSC	دارد	ندارد	–
GHF1	HSC	دارد	دارد	۱
GHF2	HSC	دارد	دارد	۲

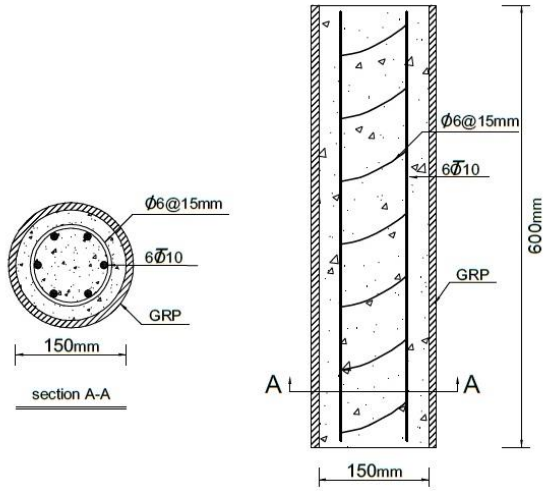
۳-۳- آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر شامل تعداد ۱۲ عدد ستون بتنی با مقطع دایره‌ای به ترتیب با قطر و ارتفاع ۱۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر هستند. هم‌چنین یک نمونه به عنوان ذخیره در نظر گرفته شد که در صورت بروز مشکل در حین انجام آزمایش‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. میزان آرماتورهای طولی مورد استفاده در همهٔ ستون‌ها برابر ٪ ۲/۷ سطح مقطع ناخالص ستون در نظر گرفته شد، که این مقدار با استفاده از ۶ عدد آرماتور آجدار به قطر ۱۰ میلی‌متر تأمین شده است. برای جلوگیری از تمرکز تنش روی آرماتورهای طولی، این آرماتورها در فاصلهٔ ۲۰ میلی‌متر مانده به دو انتهای ستون قطع شدند؛ بنابراین طول در نظر گرفته شده برای آرماتورهای طولی ۵۶۰ میلی‌متر می-باشد. هم‌چنین در هر شبکه، آرماتور مارپیچ با گام ۸۰ میلی‌متر و به قطر ۶ میلی‌متر استفاده گردید؛ این گام به صورتی انتخاب شده که محصورشدگی داخلی زیادی توسط خاموت‌ها ایجاد نشود. پوشش بتن روی آرماتورها به مقدار ۲۵ میلی‌متر منظور گردید. جهت تأمین پوشش مورد نظر برای آرماتورهای طولی و عرضی، از فاصله‌انداز

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده شد. تنش تسلیم آرماتورها با استفاده از آزمایش کشش میلگرد تعیین گردید و برای آرماتورهای طولی و عرضی به‌ترتیب به مقدار ۴۰۰ و ۳۰۰ مگاپاسکال به دست آمد. در شکل ۱ مقاطع عرضی و طولی ستون‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- مقاطع عرضی و طولی ستون‌های تحقیق

جهت اندازه‌گیری کرنش میلگردها در حین انجام آزمایش مقاومت فشاری ستون‌ها و بررسی نحوه رفتار ستون‌ها از کرنش-سنج‌های دیجیتال استفاده گردید. لذا قبل از بتن‌ریزی بر روی میلگردهای هر ستون این کرنش‌سنج‌ها نصب گردید. شکل ۲ نحوه نصب این کرنش‌سنج‌ها را نشان می‌دهد.

مرحله بعد ساخت ستون‌ها، تهیه ۳ عدد لوله GRP و ۴ عدد لوله PVC جهت قالب ستون‌های بدون غلاف با مقطع دایره‌ای با قطر داخلی ۱۵۰ و ارتفاع ۶۰۰ میلی‌متر بود. سپس، لوله‌ها بر روی صفحات فلزی متصل شدند. شکل ۳ لوله‌های GRP و قالب‌های PVC را نشان می‌دهد.

شکل۲- نحوه نصب کرنش‌سنج‌ها روی میلگردها

شکل۳- لوله‌های GRP و قالب‌های PVC

سپس سطح داخلی قالب‌ها جهت جداسازی آسان قالب از سطح بتن به روغن آغشته شد و قفسه میلگردها در قالب قرار داده شدند. شکل ۴ نحوه قرارگیری قفسه میلگردها را درون غلاف‌های GRP و قالب‌های PVC نشان می‌دهد.

جهت بتن‌ریزی گروه اول از بتن معمولی و بتن‌ریزی گروه دوم از بتن با مقاومت بالا استفاده گردید. پس از باز کردن قالب‌ها، ستون-ها به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب قرار گرفتند و پس از عمل-آوری، ستون‌ها با مصالح CFRP دورپیچ شدند.

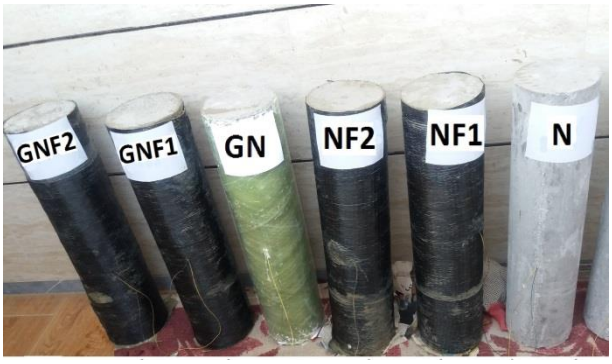
جهت آماده‌سازی ستون‌های بتنی برای نصب لایه‌های CFRP قبل از استفاده از چسب اپوکسی، ابتدا سطح بیرونی ستون‌ها به-طور کامل صاف، تمیز و خشک گردید. چسب اپوکسی مورد استفاده دوجزئی و متشکل از رزین و سخت‌کننده بوده، که به ترتیب با نسبت ۱:۳ ترکیب و به مدت حداقل پنج دقیقه با دست مخلوط گردید، و سپس یک لایه نازک از چسب روی سطح استوانه بتنی مالیده شد و لایه دورپیچ CFRP با دقت به دور ستون پیچیده شد.

لبه‌های انتهایی دورپیچ CFRP جهت اطمینان از عدم جداشدگی، به میزان ۱۰۰ میلی‌متر همپوشانی شدند. برای ستون‌هایی که دارای دو لایه CFRP بودند، به مدت ۲ ساعت پس از نصب لایه اول، لایه دوم دورپیچ گردید. تمام ستون‌ها با زاویه صفر درجه نسبت به مقطع عرضی ستون‌ها دورپیچ شدند و به‌منظور عمل‌آوری چسب اپوکسی، ستون‌ها به‌مدت 7 روز در دمای محیط نگهداری شدند. در شکل ۵ ستون‌های تحقیق، بعد از اعمال دورپیچ CFRP نشان داده شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴- نحوه قرارگیری قفسه میلگردها درون غلاف‌های GRP و قالب‌های PVC



(الف)

(ب)

شکل۵- ستون‌های تحقیق بعد از اعمال دورپیچ CFRP، (الف) ستون‌های با بتن معمولی، (ب) ستون‌های با بتن مقاومت بالا

۳-٤- آزمایش ستون‌ها

ستون‌های تحقیق حاضر، تحت بارگذاری فشاری تک‌محوری توسط جک هیدرولیکی با ظرفیت ۵۰۰۰ کیلونیوتن در آزمایشگاه مکانیک خاک اداره کل راه و ترابری استان خوزستان مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش نمونه‌ها به روش کنترل تغییرمکان و با نرخ kN/s ۱۲ بارگذاری انجام شد[۳۱]. به منظور تعیین کرنش‌های طولی و عرضی ستون‌ها به ترتیب دو کرنش‌سنج محوری و یک کرنش‌سنج عرضی در وسط هر ستون نصب شدند، که در شکل (۶) محل نصب کرنش‌سنج‌ها نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به کرنش ستون و میلگردها در هر ثانیه با استفاده از دیتالاگر الکترونیکی[1] متصل به کامپیوتر ثبت شدند. هم‌چنین به‌منظور تعیین نمودار بار-کرنش نمونه‌ها، بار اعمالی در هر لحظه با استفاده از یک نیروسنج ۵۰۰۰ کیلونیوتنی به طور خودکار ثبت گردید. در هنگام قرار گرفتن ستون‌ها در دستگاه دقت کافی جهت اطمینان از اینکه ستون‌ها در مرکز جک قرار گرفته باشند، انجام شد. در شکل ۶ نحوه نصب دستگاه آزمایش و قرارگیری و بارگذاری نمونه‌ها نمایش داده شده است.

شکل ۶- محل نصب کرنش‌سنج‌های طولی و عرضی

شکل ۷- نحوه نصب دستگاه آزمایش جهت بارگذاری نمونه‌ها

[1] Electronic data-logger

www.SID.ir

Archive of SID

٤- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

٤-١- ظرفیت نهایی ستون‌ها

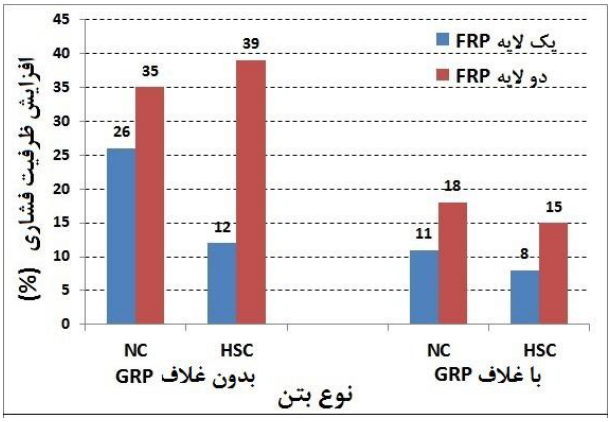
ستون‌ها توسط جک آزمایشگاهی تا لحظه شکست بارگذاری شدند. ظرفیت و کرنش نهایی ستون‌ها در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۵- ظرفیت و کرنش نهایی ستون‌های تحقیق

نام ستون	ظرفیت نهایی (kN)	میانگین کرنش‌های محوری (10^{-6} mm/mm)	کرنش عرضی (10^{-6} mm/mm)
N	۵۶۶	* -۳۸۴۸	۱۳۵۶
NF1	۷۱۵	-۴۶۵۰	۱۵۷۹
NF2	۷۶۳	-۵۴۳۲	۲۰۲۲
GN	۲۴۸۵	-۱۵۲۲۹	۴۰۵۱
GNF1	۲۷۶۵	-۱۸۷۳۸	۵۳۴۷
GNF2	۲۹۴۰	-۲۲۰۷۵	۵۹۹۳
H	۷۲۷	-۴۴۵۱	۱۷۴۵
HF1	۸۱۵	-۵۱۹۶	۱۸۶۱
HF2	۱۰۱۴	-۵۹۷۶	۲۳۰۴
GH	۲۶۷۲	-۱۶۴۲۹	۴۶۴۲
GHF1	۲۸۹۷	-۱۹۶۲۲	۵۴۱۹
GHF2	۳۰۷۶	-۲۳۰۲۹	۶۳۳۶

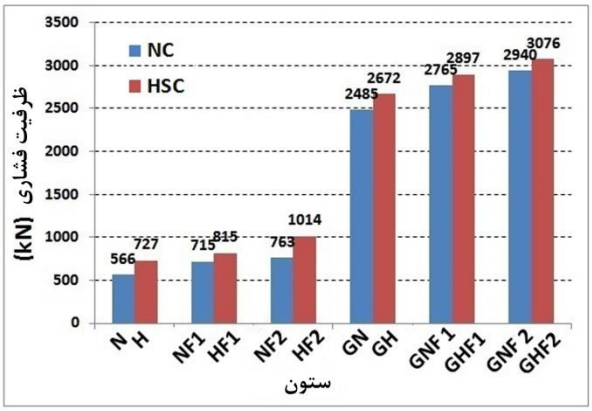
* علامت منفی نشانگر کرنش منفی (کاهش طول) می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول ۵ و شکل ۸ مشاهده می‌شود، استفاده از یک لایه و دو لایه CFRP در ستون‌های فاقد غلاف GRP با بتن معمولی به ترتیب باعث افزایش ٪۲۶ و ٪۳۵ و در ستون‌های ساخته شده از بتن با مقاومت بالا به ترتیب باعث افزایش ٪۱۲ و ٪۳۹ در ظرفیت فشاری ستون می‌شود. هم‌چنین استفاده از یک لایه و دو لایه CFRP در ستون‌های دارای غلاف GRP با بتن معمولی به ترتیب باعث افزایش ٪۱۱ و ٪۱۸ و در ستون‌های ساخته شده از بتن مقاومت بالا به ترتیب باعث افزایش ٪۸ و ٪۱۵ در ظرفیت نهایی در ستون‌ها شده است. لذا تایید می‌گردد که استفاده از دورپیچ CFRP جهت محصور کردن ستون‌های بتنی، می‌تواند اثر بسیار خوبی در افزایش ظرفیت نهایی ستون‌های بتن‌مسلح داشته باشد. به‌علاوه استفاده از CFRP در ستون‌های دارای غلاف GRP به علت اثر محصوریت زیاد غلاف، تاثیر قابل‌توجهی ندارد، لذا در صورت استفاده از این غلاف‌ها، استفاده از CFRP جهت مقاوم‌سازی ستون‌های بتن‌مسلح، اقتصادی نیست. هم‌چنین مشاهده گردید که اثر CFRP بر ظرفیت فشاری ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی بیش‌تر است.



شکل ۸- تاثیر دورپیچ CFRP در افزایش ظرفیت فشاری ستون‌های تحقیق

از سوی دیگر همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود، استفاده از غلاف GRP در مقایسه با دورپیچ CFRP بسیار موثرتر می‌باشند. به‌طوری‌که استفاده از غلاف GRP به طور میانگین باعث افزایش ۳ برابری ظرفیت فشاری ستون‌ها در گروه بتن‌های معمولی و ۲/۳۸ برابری در گروه ستون‌های بتن‌مسلح با مقاومت بالا شده است. در حالی‌که افزودن یک لایه و دو لایه دورپیچ CFRP در گروه بتن‌های معمولی به طور میانگین باعث افزایش ظرفیت فشاری به میزان ٪ ۱۸/۵ و ٪۲۶/۵ گردید. به همین ترتیب در گروه بتن‌های با مقاومت بالا، استفاده از یک لایه و دو لایه دورپیچ CFRP به طور میانگین باعث افزایش ظرفیت فشاری به میزان ٪۱۰/۲ و ٪۲۴/۸ گردید.

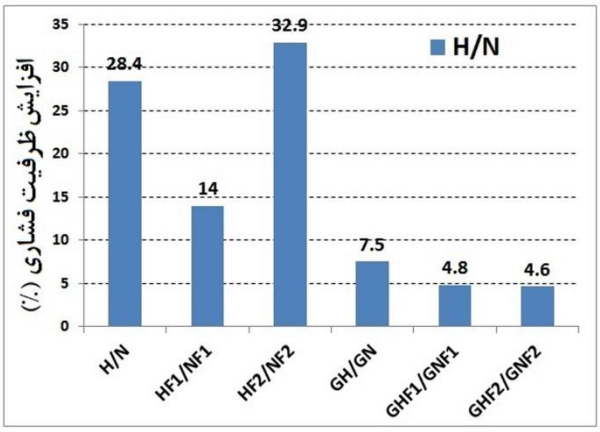


شکل ۹- ظرفیت باربری ستون‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی و مقایسه بین مقاومت نهایی ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا نشان می‌دهد، که ستون‌های ساخته شده از بتن با مقاومت بالا دارای ظرفیت فشاری بیش‌تری هستند. به طور میانگین در ستون‌های فاقد غلاف GRP به میزان ٪۲۵/۱ و در ستون‌های دارای غلاف GRP به میزان ٪۵/۶۳ افزایش ظرفیت فشاری وجود دارد. این مقایسه نشان می‌دهد که تاثیر مقاومت فشاری بتن بر روی مقاومت نهایی ستون‌های دارای غلاف GRP به دلیل محصوریت بالای این غلاف، کم‌تر است. در شکل ۱۰ مقایسه ظرفیت فشاری ستون‌های این پژوهش و درصد افزایش مقاومت فشاری با استفاده از کاربرد بتن با مقاومت بالا نسبت به بتن معمولی نشان داده شده است.

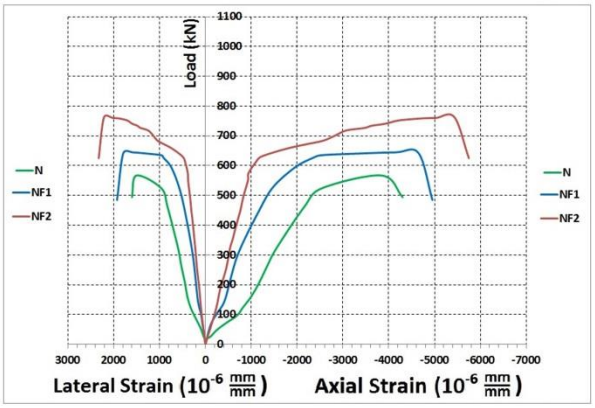


شکل ۱۰- درصد افزایش مقاومت فشاری ستون‌های ساخته شده از بتن با مقاومت بالا به مقاومت فشاری ستون‌های با بتن معمولی

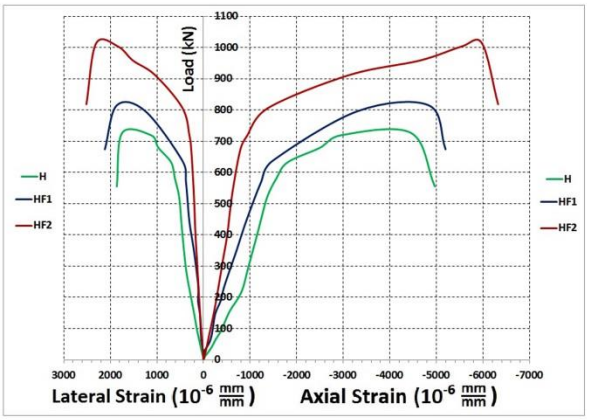
مقایسه کرنش نهایی محوری در ستون‌های فاقد غلاف GRP نشان می‌دهد که، استفاده از یک لایه و دو لایه دورپیچ CFRP به‌ترتیب باعث افزایش ٪۲۱ و ٪۴۱ در ستون‌های با بتن معمولی و ٪۱۶ و ٪۳۴ در ستون‌های دارای بتن با مقاومت بالا در کرنش نهایی این ستون‌ها می‌شود. این در حالی است که در ستون‌های دارای غلاف GRP، این مقادیر افزایش در ستون‌های با بتن معمولی ٪۲۳ و ٪۴۸ در ستون‌های دارای بتن با مقاومت بالا به‌ترتیب ٪۱۹ و ٪۴۰ می‌باشند. لذا مشاهده می‌گردد که استفاده از دورپیچ CFRP جهت محصور کردن ستون‌های بتنی باعث افزایش کرنش در بار نهایی ستون‌های بتن‌مسلح می‌شود، که این تاثیر در ستون‌های دارای غلاف GRP به جهت اثر محصوریت غلاف مذکور بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین مقایسه اثر محصوریت غلاف لوله‌های GRP با دورپیچ CFRP در کرنش نهایی ستون‌های بتن‌مسلح نشان می‌دهد که غلاف بسیار موثرتر است. به عنوان مثال در ستون‌های با بتن معمولی استفاده از غلاف GRP بدون استفاده از دورپیچ CFRP به میزان ٪۲۶۹ افزایش در کرنش نهایی ایجاد نموده، در حالی که استفاده از یک لایه و دو لایه دورپیچ CFRP به ترتیب باعث افزایش کرنش نهایی به میزان ٪۱۶ و ٪۳۴ شده است. تاثیر زیاد لوله‌های GRP در افزایش کرنش محوری را می‌توان ناشی از ساختار این لوله‌ها و وجود الیاف در ساخت آن‌ها دانست. بنابراین، استفاده از غلاف‌های GRP در مناطقی که نیاز به طراحی شکل-پذیر دارند، می‌تواند بسیار مفید باشد.

٤-۲- منحنی بار - کرنش ستون‌ها

به منظور مقایسه رفتاری ستون‌ها، منحنی بار-کرنش در حالات کرنش‌های طولی و عرضی در ستون‌های دارای غلاف و بدون غلاف در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ برای ستون‌های مورد بررسی نشان داده شده است.



(الف)

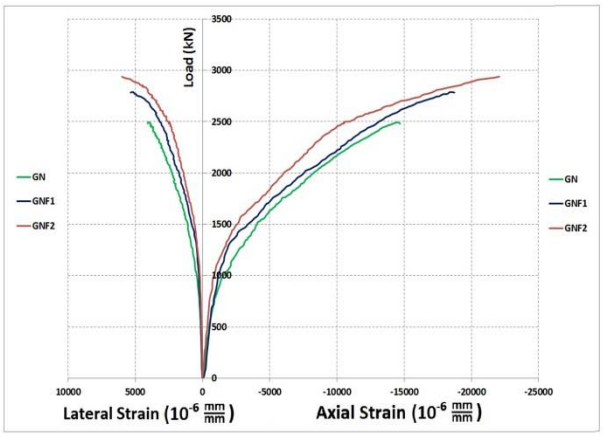


(ب)

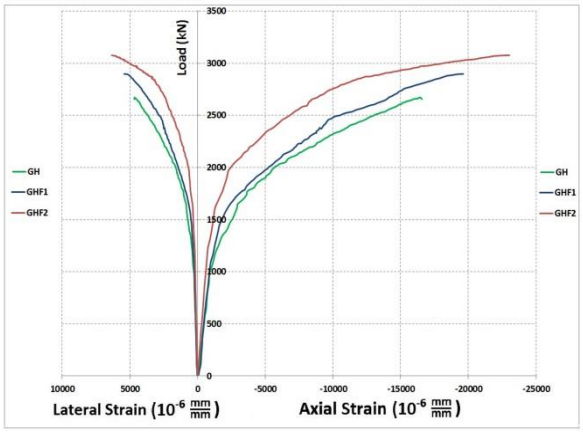
شکل ۱۱- منحنی بار-کرنش برای ستون‌های فاقد غلاف GRP (الف) بتن معمولی (ب) بتن با مقاومت بالا

www.SID.ir

Archive of SID



(الف)

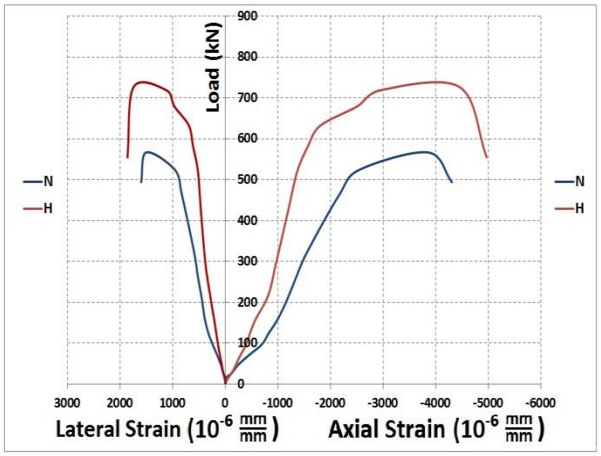


(ب)

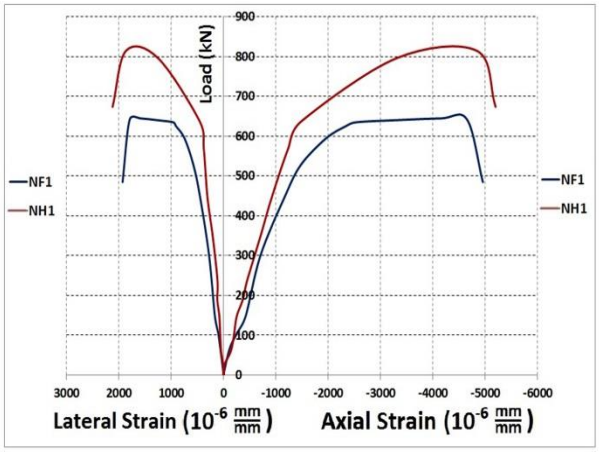
شکل ۱۲- منحنی بار-کرنش برای ستون‌های دارای غلاف GRP (الف) بتن معمولی (ب) بتن با مقاومت بالا

با مشاهده منحنی‌های بار-کرنش ملاحظه می‌شود با دورپیچ نمودن ستون‌های بتن‌مسلح با مصالح CFRP، کرنش‌های جانبی و محوری آن‌ها افزایش یافته است. هم‌چنین میزان تحمل فشار در این ستون‌ها به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بررسی دقیق‌تر منحنی‌های بار-کرنش ستون‌های فاقد غلاف نشان می‌دهد که این منحنی از دو قسمت خطی و غیرخطی نرم‌شونده تشکیل شده است. تغییر رفتار ستون ناگهانی بوده و نشان از ایجاد ترک-های فشاری در بتن و شروع به‌کارگیری دورپیچ CFRP و ادامه روند مقاومت تحت بارهای فشاری می‌باشد. هم‌چنین منحنی‌های بار-کرنش ستون‌های دارای غلاف از دو قسمت خطی و غیرخطی نرم شونده تشکیل شده است، ولی تغییر رفتار ستون تدریجی بوده که علت آن را می‌توان در پیوستگی کامل و محصوریت بیش‌تر غلاف GRP با ستون بتنی دانست. به‌علاوه، مشاهده می‌شود که دورپیچ نمودن ستون‌ها با CFRP باعث افزایش سختی ستون و کاهش تغییرشکل محوری می‌شود که می‌توان علت آن را ایجاد محصوریت ناشی از دورپیچ بیان نمود.

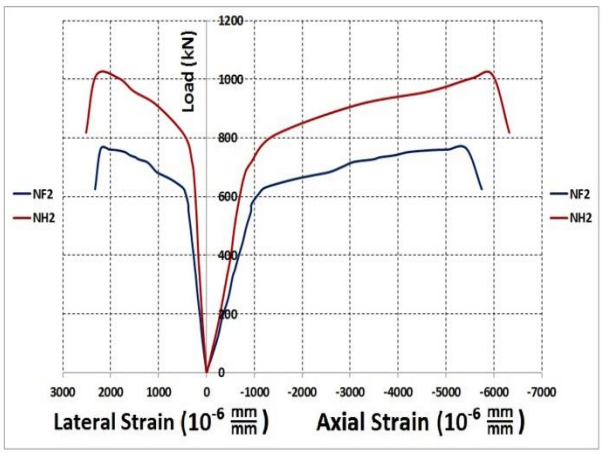
به منظور مقایسه رفتار ستون‌ها، منحنی بار-کرنش در حالات کرنش‌های طولی و عرضی جهت بررسی اثرات نوع بتن در قسمت‌های الف تا ه شکل ۱۳ برای ستون‌های مورد بررسی نشان داده شده است.



(الف)



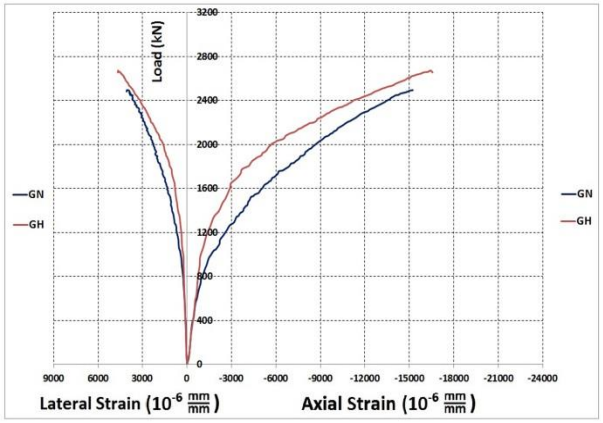
(ب)



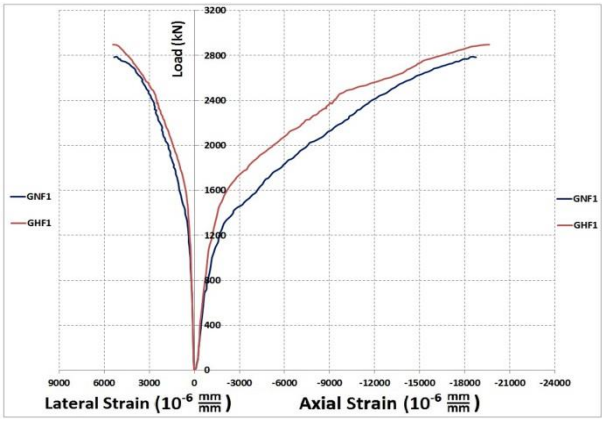
(ج)

www.SID.ir

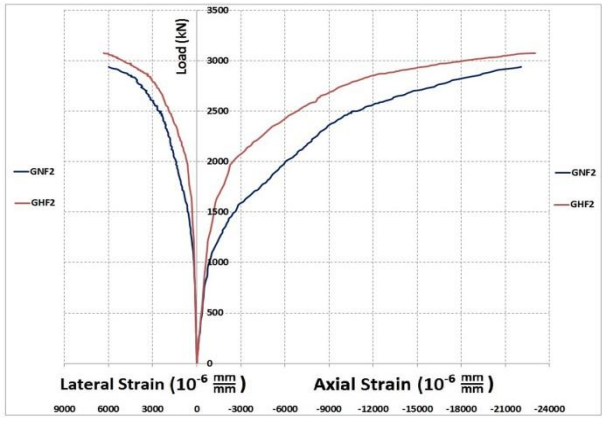
Archive of SID



(د)



(ه)



(و)

شکل ۱۳- منحنی بار-کرنش برای ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا (الف) ستون‌های N و H (ب) ستون‌های NF1 و HF1 (ج) ستون‌های NF2 و HF2 (د) ستون‌های GN و GH (و) ستون‌های GNF1 و GHF1 (ه) ستون‌های GNF2 و GHF2

همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، استفاده از بتن با مقاومت بالا در ساخت ستون‌های بتن‌مسلح باعث افزایش ظرفیت فشاری ستون و هم‌چنین افزایش کرنش در بار نهایی می‌شود.

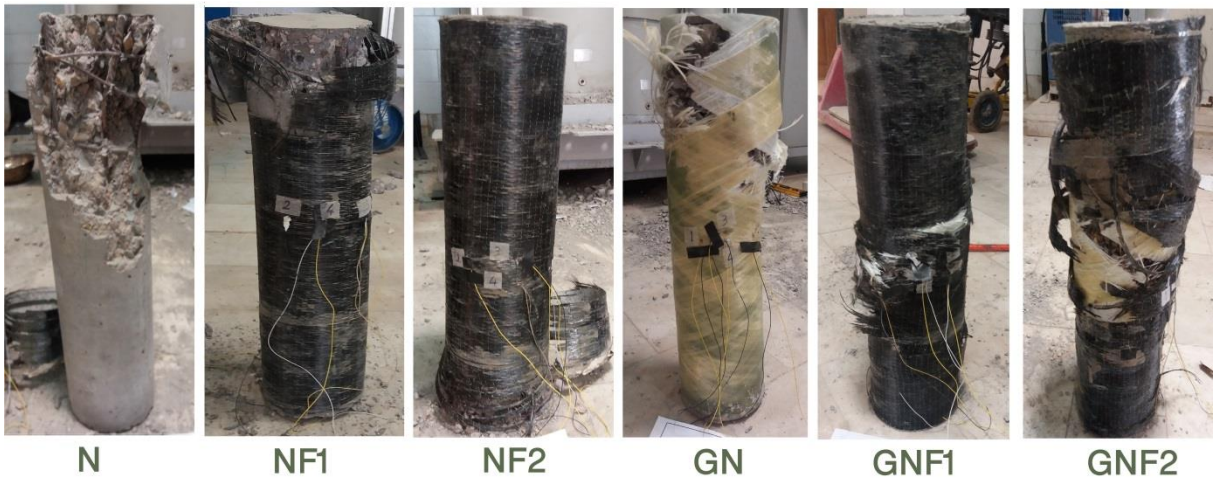
٤-۳- بررسی نحوه گسیختگی ستون‌ها

نحوه گسیختگی ستون‌ها در شکل ۱۴ نشان داده شده است. بررسی-های انجام شده بر روی نحوه گسیختگی ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی و با مقاومت بالا نشان می‌دهد که نحوه گسیختگی در این ستون‌ها بسیار شبیه بوده است. در ستون‌های فاقد غلاف GRP اکثراً گسیختگی به علت کمانش میلگردهای ستون، به صورت موضعی و به‌تدریج اتفاق افتاد. در این ستون‌ها گسیختگی در یکی از دو انتها رخ داد که، علت آن را می‌توان محصوریت کم‌تر هسته بتنی در دو انتهای ستون از سوی شبکه میلگردها دانست. در ستون-های فاقد هرگونه محصوریت (ستون‌های N و H)، ستون به‌علت ایجاد ترک‌های فشاری در بتن بالای ستون و در نهایت جدا شدن قطعاتی از بتن در این قسمت و کمانش میلگردهای طولی، گسیخته شد. ستون‌های NF1 و HF1 دارای یک لایه دورپیچ CFRP بودند، در این ستون‌ها نیز گسیختگی در بالای ستون و به علت خرد شدن بتن و در نهایت پارگی ورق تقویتی کربنی اتفاق افتاد. در این ستون‌ها برخلاف ستون‌های قبلی محصوریت ناشی از دورپیچ CFRP باعث خردشدگی کم‌تر بتن و گسیخته نشدن شبکه میلگردها و افزایش باربری ستون گردید. گسیختگی و تخریب در ستون‌های NF2 و HF2 مشابه ستون محصور شده با یک لایه CFRP بود، با این تفاوت که گسیختگی و پارگی ورق تقویتی کربنی در انتهای پایین ستون‌ها اتفاق افتاد. به طور کلی در ستون‌های فاقد غلاف، گسیختگی به صورت تدریجی و نرم اتفاق افتاد. در این ستون‌ها با افزایش فشار و شروع ترک‌های فشاری به‌تدریج انبساط جانبی در بتن ستون اتفاق افتاد. در ستون‌های دارای ورق تقویتی، نیروی ناشی از محصوریت باعث جلوگیری از گسیختگی زودهنگام گردید و در نهایت با افزایش نیروی فشاری و رشد ترک‌ها، ورق CFRP دچار پارگی و گسیختگی ستون گردید. در ستون‌های دارای غلاف GRP نحوه گسیختگی متفاوت با ستون‌های فاقد غلاف بود. در ستون GN گسیختگی به طور کامل و به‌صورت انهدام و با صدای انفجار در نیمه بالایی ستون اتفاق افتاد، ولی در ستون GH گسیختگی به علت پارگی میلگرد مارپیچ در میانه ستون و کمانش میلگردهای طولی در این محل و در نهایت گسیختگی غلاف GRP به صورت موضعی روی داد. در ستون‌های GNF1 و GHF1 گسیختگی مشابه ستون GN بود با این تفاوت که محصوریت بیش‌تر ناشی از اعمال لایه CFRP باعث گردید تا بتن

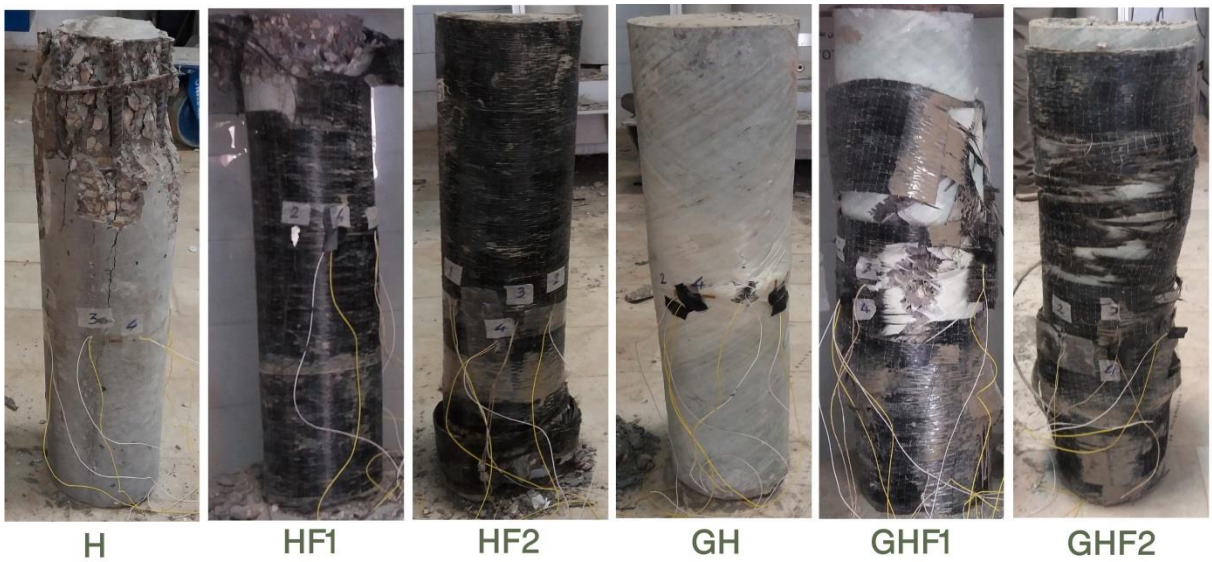
www.SID.ir

Archive of SID

ستون کرنش فشاری بیش‌تری تحمل کند، و در نهایت در یک سوم میانی با کمانش میلگردهای طولی و قطع میلگردهای مارپیچ گسخته شود. در ستون‌های GNF2 و GHF2 نیز گسیختگی مشابه ستون-های قبلی بود، با این تفاوت که محصوریت زیادتر ناشی از اعمال دولایه CFRP باعث گردید تا گسیختگی به صورت کلی در سرتاسر طول ستون با وقوع کمانش میلگردهای طولی و قطع میلگردهای مارپیچ اتفاق افتد. به طور کلی علت گسیختگی کامل و آنی ستون‌های دارای غلاف GRP را می‌توان در میزان بسیار زیاد محصوریت ایجاد شده ناشی از غلاف GRP دانست، این میزان محصوریت باعث رسیدن تمام نقاط ستون به حداکثر کرنش قابل تحمل خود و هم‌چنین کمانش میلگردهای طولی و در نهایت گسیختگی ستون گردید.



(الف)



(ب)

شکل ۱۴- نحوه گسیختگی ستون‌ها پس از بارگذاری الف) ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی ب) ستون‌های ساخته شده از بتن با مقاومت بالا

٤-٤- بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی

در ادامه به بررسی نسبت هزینه‌های انجام شده جهت تهیه ستون-ها و ظرفیت فشاری نهایی هر ستون و مقایسه فنی و اقتصادی آن‌ها اقدام شد. در جدول ۶ نسبت هزینه‌های ساخت ستون‌های این تحقیق و تاثیر آن‌ها بر روی ظرفیت نهایی ارائه شده است. نسبت هزینه ساخت و ظرفیت فشاری ستون‌های این تحقیق به هزینه و ظرفیت ستون N و مقایسه آنها در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

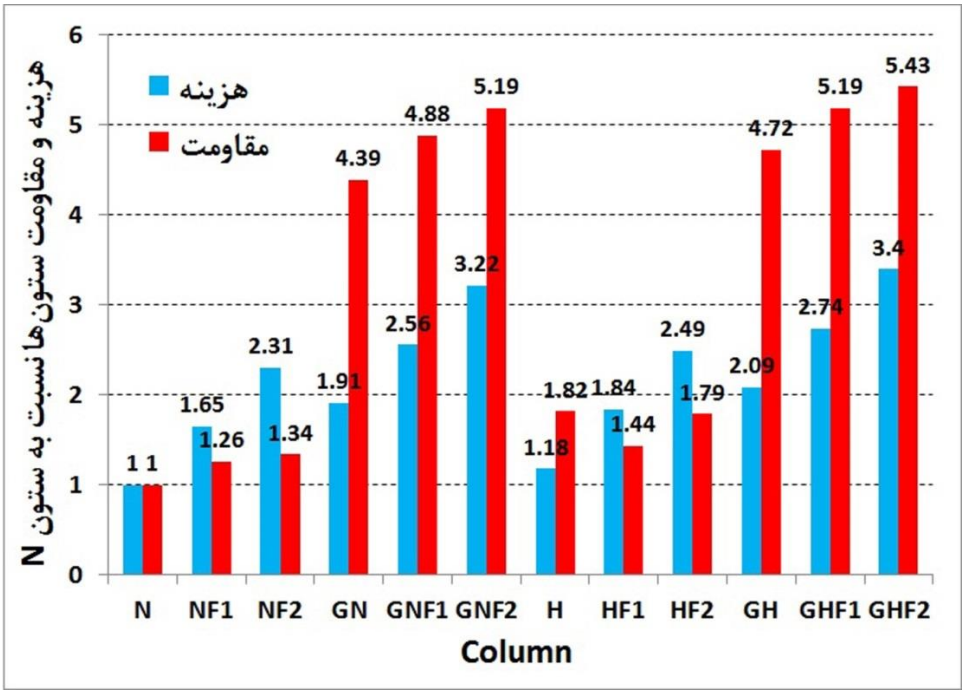
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- مقایسه فنی و اقتصادی ستون‌های بررسی شده در تحقیق

نام نمونه	نسبت هزینه ساخت ستون به هزینه ستون N	نسبت مقاومت ستون به مقاومت ستون N
N	۱	۱
NF1	۱/۶۵	۱/۲۶
NF2	۲/۳۱	۱/۳۴
GN	۱/۹۱	۴/۳۹
GNF1	۲/۵۶	۴/۸۸
GNF2	۳/۲۲	۵/۱۹
H	۱/۱۸	۱/۲۸
HF1	۱/۸۴	۱/۴۴
HF2	۲/۴۹	۱/۷۹
GH	۲/۰۹	۴/۷۲
GHF1	۲/۷۴	۵/۱۹
GHF2	۳/۴۰	۵/۴۳

بررسی شکل ۱۵ نشان می‌دهد که نسبت ظرفیت فشاری ایجاد شده توسط دورپیچ‌های CFRP در ستون‌های فاقد غلاف کمتر از نسبت هزینه انجام شده می‌باشد، در حالی که در ستون‌های دارای غلاف GRP، افزایش ظرفیت فشاری ایجاد شده بیش‌تر از هزینه انجام شده برای استفاده از این غلاف‌ها آن‌ها می‌باشد، و به‌طور میانگین در ستون‌های دارای غلاف افزایش ظرفیت فشاری حدود ۱/۷ برابر افزایش هزینه ساخت نسبت به ستون‌های مشابه بدون غلاف بوده است، لذا استفاده از غلاف GRP جهت افزایش مقاومت ستون‌های بتن‌مسلح مقرون به صرفه می‌باشد. هم‌چنین مشهود است که استفاده از CFRP، در ستون‌های دارای غلاف مقرون به صرفه نمی‌باشد، زیرا ظرفیت فشاری ایجاد شده ناشی از مقاوم‌سازی با این مصالح کم‌تر از هزینه انجام شده می‌باشد. از بین ستون‌های مورد مطالعه ستون‌های دارای غلاف GRP و فاقد دورپیچ FRP (ستون‌های GN و GH) بیش‌ترین نسبت افزایش مقاومت فشاری به هزینه ساخت (به‌ترتیب ۲/۳ و ۲/۲۶) را دارند، لذا این ستون‌ها را به عنوان اقتصادی‌ترین ستون‌ها برای اجراء می‌توان پیشنهاد کرد.



شکل ۱۵- مقایسه درصد افزایش مقاومت و هزینه ساخت ستون‌ها نسبت به ستون N

۵- نتایج

نتیجه کلی این پژوهش معرفی یک نوع جدید از ستون‌های بتن‌مسلح مرکب دارای غلاف GRP و الیاف پلیمری CFRP می‌باشد. نتایج عالی استفاده از غلاف GRP نشان داد که این غلاف می‌تواند در اجرای ساختمان‌های جدید استفاده شود، هم‌چنین الیاف پلیمری CFRP می‌توانند به‌منظور تقویت ستون‌های بتنی موجود که به‌دلیل استفاده از ویرایش‌های گذشته آیین‌نامه‌های طراحی و یا به دلایل اجرایی دچار ضعف هستند، برای افزایش باربری و سختی و ارتقاء عملکرد استفاده گردند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج کلیدی حاصل از تحقیق به صورت زیر می‌باشند:

۱- استفاده از GRP به عنوان قالب و غلاف تقویتی ستون‌های بتن‌مسلح باعث افزایش تحمل بار فشاری به طور قابل‌ملاحظه‌ای گردید، به‌طوری که مقاومت فشاری در ستون‌های دارای غلاف نسبت به ستون‌های مشابه بدون غلاف، به ترتیب و به‌طور میانگین در ستون‌های ساخته‌شده از بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا ۴ و ۳/۳۸ برابر بیش‌تر بوده است.

۲- تقویت ستون‌های بتن‌مسلح با دورپیچ CFRP باعث افزایش ظرفیت فشاری ستون‌های بتن‌مسلح می‌شود. به‌طور میانگین استفاده از یک لایه و دو لایه دورپیچ CFRP در ستون‌های فاقد غلاف GRP به‌میزان ٪۱۴ و ٪۳۷ و در ستون‌های دارای غلاف GRP به میزان ٪۹/۵ و ٪۱۶/۵ ظرفیت فشاری ستون افزایش می یابد. این نتایج نشان می دهد تاثیر تقویتی دورپیچ CFRP در ستون‌های دارای غلاف GRP کم‌تر می‌باشد.

۳- افزایش تعداد لایه‌های دورپیچ CFRP موجب افزایش تحمل نیروی فشاری گردید، به‌طوری‌که میانگین افزایش مقاومت ناشی از کاربرد یک لایه و دو لایه CFRP نسبت به ستون‌های مشابه فاقد دورپیچ در ستون‌های با بتن معمولی به‌ترتیب ٪۱۸/۵ و ٪۲۶/۵ و در ستون‌های دارای بتن با مقاومت بالا به‌ترتیب ٪۱۰/۲ و ٪۲۴/۸ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که تاثیر دورپیچ CFRP بر ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی بیش‌تر است.

۴- کرنش نهایی طولی ستون‌های بتن‌مسلح با دورپیچ CFRP در مقایسه با ستون‌های فاقد CFRP بیش‌تر است. به‌طوری‌که استفاده از یک لایه و دو لایه الیاف باعث افزایش کرنش نهایی در ستون‌های با بتن معمولی به ترتیب ٪۱۵/۵ و ٪ ۴۴/۵ و در ستون‌های دارای بتن با مقاومت بالا به ترتیب به مقدار ٪۱۸ و ٪ ۳۷/۲ گردید. این نتایج بیانگر این است که تاثیر دورپیچ CFRP بر ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی بیش‌تر می‌باشد.

۵- استفاده از غلاف GRP باعث کرنش نهایی ستون‌های بتن‌مسلح به مقدار زیادی شده به‌گونه‌ای که میانگین افزایش کرنش طولی در ستون‌های دارای غلاف GRP نسبت به ستون‌های مشابه بدون غلاف در ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی ٪۳۲۲ و در ستون‌های ساخته شده از بتن با مقاومت بالا ٪۲۷۸ بوده است. این نتایج بیانگر این است که تاثیر استفاده از غلاف GRP بر کرنش‌نهایی ستون‌های ساخته شده از بتن معمولی بیش‌تر می‌باشد.

۶- با بررسی نحوه شکست ستون‌ها مشخص شد که اکثر ستون‌ها در اثر کمانش میلگردهای طولی دچار گسیختگی شدند. در ستون‌های فاقد غلاف GRP اکثراً گسیختگی به صورت موضعی و به‌تدریج اتفاق افتاد. در این ستون‌ها گسیختگی در یکی از دو انتهای ستون رخ داد که علت آن را می‌توان محصوریت کم‌تر هسته بتنی در دو انتهای ستون از سوی شبکه میلگردها دانست. این در حالی است که در ستون‌های دارای غلاف GRP گسیختگی به‌طور کامل و به‌صورت انهدام و با صدای انفجار در کل طول ستون واقع شد، که علت آن را می‌توان در میزان بسیار زیاد محصوریت ایجاد شده ناشی از غلاف GRP دانست، این میزان محصوریت باعث جلوگیری از کمانش زودهنگام میلگردها، رسیدن تمام نقاط ستون به حداکثر کرنش قابل تحمل خود، کمانش میلگردهای طولی، قطع میلگرد مارپیچ و در نهایت گسیختگی ستون گردید.

۷- مقایسه فنی و اقتصادی ستون‌های مورد مطالعه نشان داده که، استفاده از غلاف GRP جهت مقاوم‌سازی ستون‌ها بسیار مقرون به صرفه‌تر از کاربرد دورپیچ CFRP می‌باشد، به‌طوری که افزایش مقاومت در ستون‌های دارای غلاف بیش‌تر از هزینه انجام شده برای مقاوم‌سازی آن‌ها است، ولی نسبت افزایش مقاومت حاصل از دورپیچ CFRP در ستون‌های با و بدون غلاف به هزینه صرف‌شده جهت مقاوم‌سازی با این مصالح، کم‌تر بوده است. بیش‌ترین نسبت افزایش مقاومت فشاری به هزینه ساخت، مربوط به ستون‌های دارای غلاف GRP و فاقد دورپیچ CFRP (ستون‌های GN و GH) است، لذا می‌توان این ستون‌ها را به عنوان اقتصادی‌ترین ستون‌ها برای اجراء پیشنهاد کرد.

٦- مراجع

[1]. Dundar C., Erturkmen D., Tokgoz S., "Studies on carbon fiber polymer confined slender plain and steel fiber reinforced concrete columns", Engineering Structures 102 31–39. 2015.

[2]. Tokgoz S., Dundar C., Tanrikulu T.K., "Experimental behavior of steel fiber high strength

www.SID.ir

Archive of SID

[15]. Kumutha, R., Vaidyanathan, R., Palanichamy, M.S., "Behaviour of reinforced concrete rectangular columns strengthened using GFRP", Cement & Concrete Composites 29 609–615. 2007.
[16] Parvin, A., Jamwal, A.S., "Effects of wrap thickness and ply configuration on composite-confined concrete cylinders", Composites Structure 67(4) 422–437. 2005.
[17]. Almusallam T.H., "Behavior of normal and high-strength concrete cylinders confined with E-glass/epoxy composite laminates", Composites: Part B 38 629–639. 2007.
[18]. Vincent, T., Ozbakkaloglu, T., "Influence of concrete strength and confinement method on axial compressive behavior of FRP confined high- and ultra high-strength concrete", Composites: Part B 50 413–428. 2013.
[19]. Hadi M.N.S., "Comparative study of eccentrically loaded FRP wrapped columns", Composite Structures, Vol.74, pp. 127-135, 2006.
[20]. Hadi M.N.S., "Behavior of FRP strengthened concrete columns under eccentric compression loading", Composites Structure 77(1) 92–96 2007.
[21]. Hadi M.N.S., "The behavior of FRP wrapped HSC columns under different eccentric loads", Composites Structure 78(4) 560–566. 2007.
[22]. Hadi, M.N.S., Wang, W., Sheikh, M.N, "Axial compressive behaviour of GFRP tube reinforced concrete columns", Construction and Building Materials 81 198–207. 2015.
[23]. Xiao J., Tresserras J., Tam V.W.Y., "GFRP-casing confined RAC under axial and eccentric loading with and without expansive agent", Construction and Building Materials 73 575–585. 2014.
[24]. Wang W., Sheikh M.N., Hadi M.N.S., Gao D., Chen G., "Behavior of concrete-encased concrete-filled FRP casing (CCFT) columns under axial compression", Engineering Structures 147 256–268. 2017.
[25]. Ozbakkaloglu T., Oehlers D.J., "Concrete filled square and rectangular FRP Casings under axial compression", Journal Composites Construction 12(4) 469–477. 2008.
[26]. Park J.H., Jo B.W., Yoon S.J., Park S.K., "Experimental investigation on the structural behavior of concrete filled FRP casings with/without steel rebar", KSCE Journal of Civil Engineering 15(2) 337–345. 2011.
[27]. ASTM D7565/D7565M-10, Standard test method for determining tensile properties of fibre reinforced polymer matrix composites used for strengthening of civil structures, United States: ASTM International, 2010.
[28]. ASTM D2996-01, Standard Specification for reinforced concrete and composite columns", Journal of Constructional Steel Research 74 98–107. 2012.
[3]. Shahawy M., Mirmiran A., Beitelman T., "Tests and modeling of carbon-wrapped concrete columns", Composites: Part B 31(6) 471–480. 2000.
[4]. Sheikh, Sh.A., "Performance of concrete structures retrofitted with fiber reinforced polymers", Engineering Structures 24 869–879. 2002.
[5]. Wong Y.L., Yu T., Teng J.G., Dong S.L., "Behavior of FRP-confined concrete in annular section columns", Composites: Part B 39 451–466 2008.
[6]. Jiang Sh.F., Ma Sh.L., Wu Zh,Q., "Experimental study and theoretical analysis on slender concrete-filled CFRP–PVC tubular columns", Construction and Building Materials 53 475–487. 2014.
[7]. Pan Y., Rui G., Li H., Tang H., Xu L., "Study on stress-strain relation of concrete confined by CFRP under", Engineering Structures 143 52–63. 2017.
[8]. Mirmiran. A., Shahawy. M., Samaan. M., El Echary. H., Mastrapa. J.C., Pico. O., "Effect of column parameters on FRP-confined concrete", journal of composites for construction 2(4) 175–185. 1998.
[9]. Ozbakkaloglu, T., Axial Compressive Behavior of Square and Rectangular High-Strength Concrete-Filled FRP Casings, journal of composites for construction, Vo. 17, pp. 151-161, 2013.
[10]. EL Maaddawy T., EL Sayed M., Abdel-Magid. B., "The effects of cross-sectional shape and loading condition on performance of reinforced concrete members confined with Carbon Fiber-Reinforced Polymers", Materials and Design 31 2330–2341. 2010.
[11]. Ozbakkaloglu, T., Xie, T., "Geopolymer concrete-filled FRP casings: Behavior of circular and square columns under axial compression", Composites: Part B 96 215-230. 2016.
[12]. Mirmiran A., Shahawy M., "A new concrete-filled hollow FRP composite column", Composites: Part B 27 263-268. 1996.
[13]. Kusumawardaningsih Y., Hadi M.N.S., "Comparative behaviour of hollow columns confined with FRP composites", Composite Structures, 93 198–205. 2010.
[14]. Rahai, A.R., Sadeghian, P., Ehsani, M.R., "Experimental Behavior of Concrete Cylinders Confined with CFRP Composites", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 2008.

www.SID.ir

Archive of SID

Filament-Wound Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe, ASTM Committee D29, 2001.
[29]. ASTM D638-02, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM Committee D63, 2002.
[30]. ACI Committee 211, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete (Reapproved 2009), ACI 211. Farmington hills, MI, USA, 1991.
[31]. ASTM C39/C39M-03, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM Committee C39, 2003.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation and comparison of GRP casing and CFRP sheets application on the behavior of circular reinforced concrete column made of normal and high-strength concrete

Seyed Fathollah Sajedi *
Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
Mohsen Shafieinia
Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, , Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Abstract

This paper presents the results of axial pressure testing on reinforced concrete columns loaded with confined normal concrete (NC) and high strength concrete (HSC) using glass-fiber reinforced plastic pipes (GRP) casing as well as carbon fiber reinforced polymer (CFRP). The major parameters in the experiments were the types of concrete, the effect of GRP casing and CFRP wrapping, as well as the number of CFRP layers. In this study, 12 cylindrical reinforced concrete columns (150 mm diameter and 600 mm height) were prepared and divided into two group, NC and HSC, and each group was divided into two part. In each part, one column was without CFRP strengthening layer, a column was wrapped with one CFRP layer and another column with two CFRP layers. All columns were tested under concentrated compression load. The results of the study showed that the utilization of CFRP wrapping and GRP casing improved compression capacity and ductility of reinforced concrete columns. The addition of one and two layer-CFRP wrapping increased compression capacity in the NC group to an average of 18.5 and 26.5% and in the HSC group to an average of 10.2 and 24.8%. Meanwhile, the utilization of GRP casing increased the compression capacity of the columns by 3 times in the NC group and 2.38 times in the HSC group. These results indicated that although both CFRP wrapping and GRP casing result in confinement, the GRP casing resulted in increased compression capacity and ductility of the reinforced concrete columns due to higher confinement. Furthermore, the confinement effect was higher on columns with normal concrete.

Keywords: Reinforced Concrete Columns (RCC), GRP casing, CFRP wrapping, Axial force, Ductility.

* Corresponding Author: f_sajedi@yahoo.com

www.SID.ir