

مقاوم سازی ستون های بتن مسلح با استفاده از کامپوزیت های FRP چند جهته

مصطفی حبیب پور*
کارشناس ارشد عمران-سازه
فرهنگ فرحبد
استاد یار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

چکیده

معمول ترین روش مقاوم سازی ستون ها با FRP، محصور کردن محیط خارجی آن ها است. محصور کنندگی برای اعضای فشاری موثر است و به منظور افزایش ظرفیت تحمل بار، یا افزایش شکل پذیری استفاده می شود. هدف اصلی در این تحقیق، بررسی مقاوم سازی ستون های بتن مسلح دایروی با کامپوزیت های FRP چند جهته می باشد. برای این منظور، ابتدا سه نمونه آزمایشگاهی موجود، عینا در نرم افزار ABAQUS مدل سازی شدند؛ بدین ترتیب با مقایسه و نزدیک بودن نتایج نرم افزاری و آزمایشگاهی، صحت مدل سازی ها به اثبات رسید. سپس با در نظر گرفتن متغیرهایی مانند جنس الیاف، جهت لایه های کامپوزیت و درصد فولاد طولی مقطع ستون، ۱۸ نمونه تحلیلی تعریف و در نرم افزار ABAQUS مدل سازی شدند. نمونه های تحلیلی به دو گروه، نیمی با میزان فولادی طولی ۲ درصد و نیمی دیگر با میزان فولاد ۴ درصد تقسیم شدند. در هر گروه، یک نمونه بدون تقویت، چهار نمونه محصور شده با ورق های CFRP و چهار نمونه تقویت شده با ورق های GFRP در نظر گرفته شد. هم چنین نمونه های هر گروه با لایه های کامپوزیت در جهات مختلف ۰، ۰، ۰، ۰، ۹۰، ۹۰، ۰، ۹۰ درجه و ۰، ۴۵، -۴۵، ۰، ۴۵، ۹۰ درجه تقویت شدند. نتایج به دست آمده از تحلیل مدل های اجزای محدود این نمونه ها نشان داد که کامپوزیت های FRP چند جهته، ظرفیت باربری محوری ستون های تقویت شده را ۱/۴۳ تا ۲/۷۷ برابر و شکل پذیری آن ها را ۵/۵ تا ۱۳ برابر افزایش می دهند. مقاوم سازی به وسیله کامپوزیت های FRP با لایه های در جهت ۰ و ۴۵ و -۴۵ درجه، راه کار خوبی برای افزایش شکل پذیری ستون های بتن مسلح است. هم چنین اثر مقاوم سازی روی نمونه های با فولاد مقطع دو درصد، ۱۶ الی ۱۸ درصد بیش از نمونه های با فولاد مقطع چهار درصد می باشد.

واژه های کلیدی: محصور کردن، ستون بتن مسلح دایروی، افزایش شکل پذیری، مقاوم سازی، کامپوزیت های چند جهته.

* نویسنده مسئول: mo_habibpour@yahoo.com

۱- مقدمه

بلوآر و همکاران در سال ۲۰۱۳، بر روی ۴۸ ستون بتن مسلح مربعی که با CFRP دور پیچ شده بودند، تحقیقاتی انجام دادند. متغیرهای تحقیق عبارت بودند از لاغری ستون‌ها، تعداد لایه‌های دورپیچ و مقاومت بتن. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش لاغری، مقاومت و شکل‌پذیری نمونه‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین دور پیچ کردن ستون‌ها در نمونه‌های با بتن ضعیف‌تر در مقایسه با نمونه‌های با بتن قوی‌تر، افزایش مقاومت و شکل‌پذیری بیشتری داشته است [۵].

شعبان در سال ۲۰۱۴، تأثیر مقاوم‌سازی روی بخشی از ستون بتن مسلح مربعی که دارای بتنی ضعیف بود را بررسی کرد. در این آزمایش فقط قسمت ضعیف ستون با استفاده از CFRP دور پیچی شده و تحت بار محوری قرار گرفته بود. در این تحقیق نیز راستای الیاف FRP عمود بر راستای طولی ستون‌ها بود. نتایج نشان داد که دور پیچ کردن بخش ضعیف ستون بیشتر باعث افزایش شکل‌پذیری می‌گردد تا افزایش ظرفیت باربری [۶].

مروری بر تحقیقات گذشته حاکی از آن است، اگر چه در زمینه مقاوم‌سازی محصورشدگی ستون‌های بتن مسلح با ورق‌های FRP که راستای الیاف عمود بر راستای طولی ستون می‌باشد، مطالعات متنوعی انجام شده است ولی در زمینه تقویت ستون‌ها با این نوع ورق‌ها، با توجه به نصب کامپوزیت‌های چند جهته با زوایای متغیر در لایه‌ها، تحقیقات محدودی صورت گرفته است. به‌علاوه در رابطه با مطالعات پارامتری و اندرکنش عواملی مانند جهات الیاف در لایه متفاوت ورق تقویت، جنس الیاف، میزان فولادی طولی مقطع ستون نیز، کم و کاستی در مطالعات گذشته مشاهده می‌شود. لذا تحقیق حاضر به بررسی تحلیلی و پارامتری و اثر آن‌ها بر روی مقاومت و شکل‌پذیری ستون‌های تقویت شده با این نوع کامپوزیت‌ها می‌پردازد. برای این منظور، ۱۸ نمونه ستون بتن مسلح دایروی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS 6.9-1 مدل‌سازی اجزای محدود شدند. از این نمونه‌ها، ۹ نمونه با مقطع کم فولادتر (فولاد طولی مقطع در حدود ۰.۲٪) و ۹ نمونه بعدی با مقطع پر فولادتر (فولاد طولی مقطع در حدود ۰.۴٪) می‌باشند. در هر گروه یک نمونه بدون تقویت، چهار نمونه تقویت شده با جهات مختلف ورق CFPR و چهار نمونه تقویت شده با جهات مختلف ورق GFRP مورد بررسی قرار گرفته است.

جهت کنترل نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل در نرم‌افزار ABAQUS، سه نمونه آزمایشگاهی موجود با نرم‌افزار ABAQUS

فناوری استفاده از ورق‌های FRP اولین بار در سال ۱۹۸۴ در سوئیس به‌کار گرفته شد که در آن، ورق‌های CFRP جهت مقاوم‌سازی تیرهای بتنی استفاده شد. در مورد ستون‌ها اولین بار در اواسط دهه ۸۰ میلادی، کاتسوماتا و همکاران استفاده از کامپوزیت FRP را برای تقویت ستون‌های بتن مسلح در برابر بارهای لرزه‌ای مطرح نمودند [۱].

در دهه اخیر با هدف افزایش مقاومت و شکل‌پذیری، تحقیقات بسیاری در مورد دورپیچ کردن ستون‌ها صورت گرفته است. تورگای و همکاران در سال ۲۰۰۹، آزمایش‌هایی با در نظر گرفتن تأثیر فولاد طولی و عرضی روی ۲۰ ستون مربعی بتن مسلح انجام دادند. دسته‌ای از نمونه‌ها فاقد تقویت FRP، دسته‌ای با دور پیچ کم و جزئی و دسته‌ای نیز کاملاً محصور شده بودند. جهت الیاف FRP در نمونه‌های تقویت شده عمود بر محور طولی ستون بود. تمامی نمونه‌ها تحت بار محوری قرار گرفتند. در این تحقیق مشخص شد که در نمونه‌های با دور پیچ کامل، شکل‌پذیری بسیار افزایش یافت و زوال ستون با گسیختگی FRP انجام شد [۲].

شارما و همکاران در سال ۲۰۱۲، ۱۵ نمونه ستون بتن مسلح مربعی را مورد آزمایش قرار دادند. در این تحقیق تأثیر اندازه شعاع کنج ستون‌ها متغیر تحقیق بود. شعاع کنج دسته‌ای از نمونه‌ها ۵ میلی‌متر و دسته‌ای دیگر ۲۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد افزایش ظرفیت باربری ناشی از محصور کردن نمونه‌ها با GFRP با جهت الیاف عمود بر راستای طولی ستون‌ها، در ستون‌های با شعاع کنج ۲۵ میلی‌متر، بیش از ستون‌های با شعاع کنج ۵ میلی‌متر می‌باشد [۳].

راوال و داو در سال ۲۰۱۲، تأثیر شکل مقطع ستون‌های بتن مسلح دور پیچ شده با GFRP یک‌جهته را که راستای الیاف عمود بر محور طولی ستون‌ها بود، بررسی کردند. جمعا ۱۵ نمونه به ارتفاع ۱ متر تحت بارگذاری محوری قرار گرفت. دسته‌ای از ستون‌ها دارای سطح مقطع دایروی، دسته‌ای با مقطع مربعی و دسته‌ای دیگر دارای سطح مقطع مستطیلی بودند. در این تحقیق مشخص شد که افزایش ظرفیت باربری نمونه‌های دایروی ۱۵۹ درصد، نمونه‌های مربعی ۷۹ درصد و نمونه‌های مستطیلی ۷۶ درصد می‌باشد. همچنین شکل‌پذیری نمونه‌های دایروی بیش از مربعی و مستطیلی افزایش یافت [۴].

مقاوم سازی ستون های بتن مسلح با استفاده از کامپوزیت های FRP چند جهته

نمونه های مورد استفاده در جدول (۱) معرفی شده اند. علامت اختصاری UN^۱ برای ستون های بدون تقویت بیان شده است. علامت C^۲ و G^۳ در جدول به ترتیب معرف کامپوزیت با الیاف کربن و الیاف شیشه می باشد. به عنوان مثال نمونه 2C000 یعنی ستون بتن مسلح با فولاد مقطع ۲٪ که با کامپوزیت CFRP سه لایه در جهات ۰ و ۰ و ۰ درجه نسبت به محور عرضی ستون، تقویت شده است. بدین ترتیب سعی شده نام اختصاری هر نمونه بیان گر هر سه متغیر مورد بررسی تحقیق باشد. تمامی نمونه های تقویت شده با کامپوزیت های سه لایه به صورت کامل در تمام طول ستون محصور شده اند. تکیه گاه ستون ها به شکل گیردار و بارگذاری با اعمال جابجایی رو به پایین انجام شده است.

۲-۱- ویژگی های مکانیکی مصالح

فولاد مورد استفاده دارای وزن مخصوص ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ضریب پواسون ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال است. منحنی تنش- کرنش فولاد، منحنی الاستوپلاستیک سخت شونده می باشد که از دو ناحیه خطی تشکیل شده است و ویژگی های مربوط به ناحیه غیرالاستیک آن در جدول (۲) آورده شده است. کامپوزیت ها که جهت محصور کردن ستون مورد استفاده قرار می گیرند از دو نوع الیاف کربن (CFRP) و الیاف شیشه (GFRP) هستند. ویژگی های مکانیکی کامپوزیت ها در جدول (۳) تشریح شده است. با داشتن مدول الاستیسیته و مقاومت کششی الیاف، کرنش CFRP و GFRP در جهات اصلی به ترتیب ۱/۵۵ درصد و ۲/۸۶ درصد به دست می آید. کامپوزیت ها به صورت سه لایه با زوایای مختلف نسبت به محور عرضی ستون استفاده شده اند. برای شکست بتن در این مدل سازی از معیار دراکر- پراگر و برای تعریف رفتار فشاری بتن از منحنی تنش - کرنش هاگنستاد استفاده شده است [۷]. بتن مورد استفاده دارای مقاومت ۲۸ مگاپاسکال است. برای منحنی تنش-کرنش بتن سه ناحیه در نظر گرفته شده است. هم چنین وزن مخصوص بتن برابر ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است. ضریب پواسون برابر ۰/۲ و مدول الاستیسیته ۲۴۸۷۰ مگاپاسکال اعمال شده است. مشخصات مربوط به پلاستیسیته بتن که بعد از ناحیه اول خطی که تا $0.5f_c$ ادامه دارد، در جدول (۴) آورده شده است.

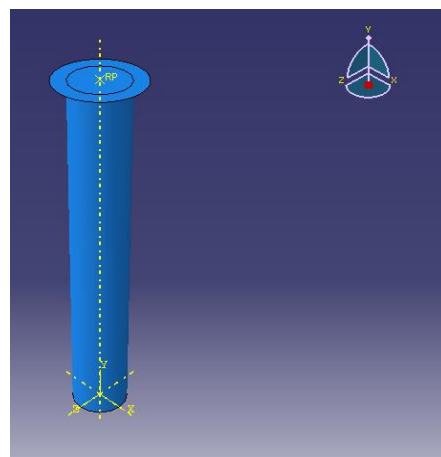
مدل سازی شد و منحنی نیرو-کرنش آنها مقایسه شده است. هم چنین از روابط ارائه شده در آیین نامه ACI 440 استفاده گردیده است. به گونه ای که در شرایط مختلف، (دو مقطع فاقد تقویت، دو مقطع با دورپیچ کامل با ورق CFRP و دو مقطع کاملاً دورپیچی شده با ورق GFRP) میزان مقاومت و شکل پذیری نمونه های تحلیلی اشاره شده، براساس روابط آیین نامه ACI 440.2R-02 تعیین و با مقادیر حاصل از مدل سازی نرم افزاری مقایسه خواهد شد.

۲- مدل اجزای محدودی و تئوری الیافی

ستون های مورد بررسی دارای مقطع دایروی به قطر ۰/۴ متر و ارتفاع ۲/۷ متر هستند. نمونه های مذکور با ۸ عدد آرماتور طولی به ارتفاع ۲/۷ متر و قطر ۲۰ میلی متر برای مقطع کم فولادتر و قطر ۲۸ میلی متر برای مقطع پر فولادتر، مسلح شدند. آرماتورهای عرضی در این ستون ها از نوع تنگ و دارای قطر ۱۰ میلی متر می باشند که در ابتدا و انتهای ستون ۰/۱ متر و در وسط ستون ۰/۱۵ متر، از یکدیگر فاصله دارند. پوشش روی آرماتورها، ۵۰ میلی متر و قطر خاموت ها برابر ۰/۳ متر می باشد. شکل های (۱) و (۲) شمای کلی از ستون ها را نشان می دهند.



شکل ۱- مقطع نمونه های فاقد تقویت خارجی



شکل ۲- شمای کلی از ستون مدل سازی شده

³ Glass fiber reinforced polymer

¹-unstrengthened

² Carbon fiber reinforced polymer

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های مدل‌سازی

ردیف	نام اختصاری نمونه	درصد فولاد مقطع	جنس کامپوزیت	زاویه قرارگیری لایه ها نسبت به محور عرضی ستون (از داخل به بیرون)
۱	2 un	۱/۹۹	—	—
۲	2C000	۱/۹۹	CFRP	۰° و ۰°
۳	2C90090	۱/۹۹	CFRP	۹۰° و ۹۰°
۴	2C-45450	۱/۹۹	CFRP	۰° و ۴۵°
۵	2C-454590	۱/۹۹	CFRP	۹۰° و ۴۵°
۶	2G000	۱/۹۹	GFRP	۰° و ۰°
۷	2G90090	۱/۹۹	GFRP	۹۰° و ۹۰°
۸	2G-45450	۱/۹۹	GFRP	۰° و ۴۵°
۹	2G-454590	۱/۹۹	GFRP	۹۰° و ۴۵°
۱۰	4un	۳/۹	—	—
۱۱	4C000	۳/۹	CFRP	۰° و ۰°
۱۲	4C90090	۳/۹	CFRP	۹۰° و ۹۰°
۱۳	4C-45450	۳/۹	CFRP	۰° و ۴۵°
۱۴	4C-454590	۳/۹	CFRP	۹۰° و ۴۵°
۱۵	4G000	۳/۹	GFRP	۰° و ۰°
۱۶	4G90090	۳/۹	GFRP	۹۰° و ۹۰°
۱۷	4G-45450	۳/۹	GFRP	۰° و ۴۵°
۱۸	4G-454590	۳/۹	GFRP	۹۰° و ۴۵°

جدول ۲- مشخصات مربوط به ناحیه غیرالاستیک فولاد

کرنش ϵ_c	تنش جاری شدن $f_c (P_a)$
۰	۰
۰/۰۰۰۶	۱۴×۱۰^۶
۰/۰۰۰۷۶	$۱۷/۰۶ \times ۱۰^۶$
۰/۰۰۱	$۲۰/۸۱ \times ۱۰^۶$
۰/۰۰۱۳۸	$۲۳/۳۵ \times ۱۰^۶$
۰/۰۰۱۸۵	۲۸×۱۰^۶
۰/۰۰۳۵	$۲۳/۸۸ \times ۱۰^۶$

جدول ۳- خواص مکانیکی دو نوع کامپوزیت CFRP و GFRP [۸]

نوع FRP	مدول الاستیسیته (MPa)	ضریب پوآسون	مقاومت کششی (MPa)	مدول برشی (MPa)	ضخامت لایه (mm)
الیاف کربن (CFRP)	$E_x=62000$	$\nu_{xy}=0/22$	۹۵۸	$G_{xy}=3270$	۱
	$E_y=4800$	$\nu_{xz}=0/22$		$G_{xz}=3270$	
	$E_z=4800$	$\nu_{yz}=0/30$		$G_{yz}=1860$	
الیاف شیشه (GFRP)	$E_x=21000$	$\nu_{xy}=0/26$	۶۰۰	$G_{xy}=1520$	۱/۳
	$E_y=7000$	$\nu_{xz}=0/26$		$G_{xz}=1520$	
	$E_z=7000$	$\nu_{yz}=0/30$		$G_{yz}=2650$	

از دو انتهای ستون ۲۰ میلی متر فاصله دارند و در نواحی میانی فاصله خاموت ها به ۸۰ میلی متر افزایش یافته است. پوشش بتنی آرماتورها از طرفین مقطع برابر ۱۴ میلی متر می باشد.

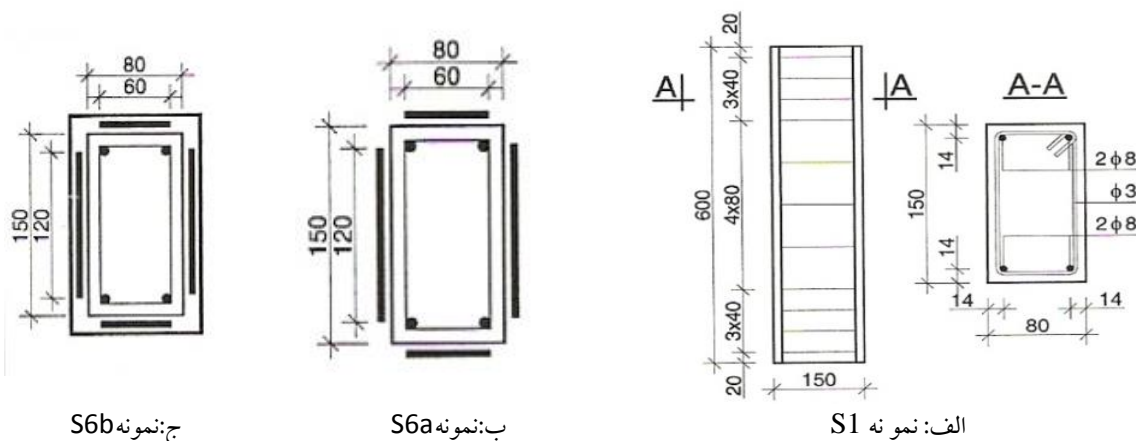
در ابتدا، ستون بتن مسلح تقویت نشده (S1) آزمایش شده و در مرحله بعد دو نوع تقویت خارجی روی نمونه S1 اضافه شده است. اول تقویت های طولی که راستای الیاف در جهت عمود بر محور عرضی ستون است، که در دو وجه عرضی مقطع ستون از کامپوزیت هایی به ابعاد $1/4 \times 60$ میلی متر و در دو وجه طولی مقطع ستون $1/4 \times 120$ میلی متر و طول ۶۰۰ میلی متر استفاده شده است. این مقطع S6a نام دارد. دوم کامپوزیت های حلقوی نواری که به تقویت های قبلی اضافه شده اند و هم جهت محور عرضی ستون هستند. این کامپوزیت ها، مستطیل شکل و منقطع به عرض ۲۵ میلی متر و ضخامت $0/13$ میلی متر می باشند که به دور ستون همراه با کامپوزیت های طولی، نواربندی شده اند. این مقطع S6b نام گذاری شده است [۹]. شکل (۳) مشخصات ظاهری نمونه ها را نشان می دهد.

جدول ۴- اعداد مربوط به منحنی تنش- کرنش بتن

کرنش	تنش جاری شدن (Pa)
۰	۰
۰/۰۰۲	400×10^6
۰/۱۲	600×10^6

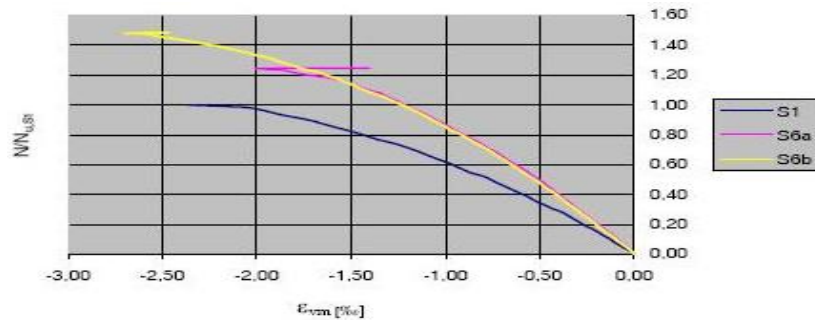
۳- اثبات صحت مدل سازی ها با مدل سازی نرم افزاری نمونه های آزمایشگاهی موجود

برای اثبات صحت مدل سازی، از یک تحقیق آزمایشگاهی موجود استفاده شده است. نمونه مورد آزمایش، یک ستون بتن مسلح به ارتفاع ۶۰۰ میلی متر با مقطع مستطیل شکل به ابعاد 80×150 میلی متر می باشد، که دارای ۴ عدد میل گرد طولی با قطر ۸ میلی متر و به طول ۶۰۰ میلی متر است و در هر گوشه از مقطع یک میل گرد قرار گرفته است. آرماتورهای عرضی با قطر ۳ میلی متر و به صورت خاموت (تنگ بسته) می باشند. فاصله خاموت ها در نواحی ابتدایی و انتهایی ارتفاع ستون از یکدیگر، ۴۰ میلی متر است. اولین و آخرین خاموت



شکل ۳- مشخصات ظاهری نمونه ها

معیار مقایسه نمونه آزمایشگاهی با نمونه نرم‌افزاری، نمودار اصلاح شده است، که کرنش ضربدر ۱۰۰۰ را نشان می‌دهد. پس از مدل‌سازی (نرمالایز شده) نیرو-کرنش است شکل (۴). محور عمودی نمودار نمونه S1 با نرم‌افزار ABAQUS، برای نیروی محورهای عمودی و افقی عبارت $N/N_{u,S1}$ می‌باشد، که به صورت -465000 / ظرفیت باربری در مدل نرم‌افزاری نیز به همان صورت قبلی تغییرات و اصلاحات انجام ستون) تعریف شده است. و محور افقی نمودار عبارت $\epsilon_{vm}[0/00]$ شده و عبارات $N/N_{u,S1}$ و $\epsilon_{vm}[0/00]$ استخراج گردیده است.



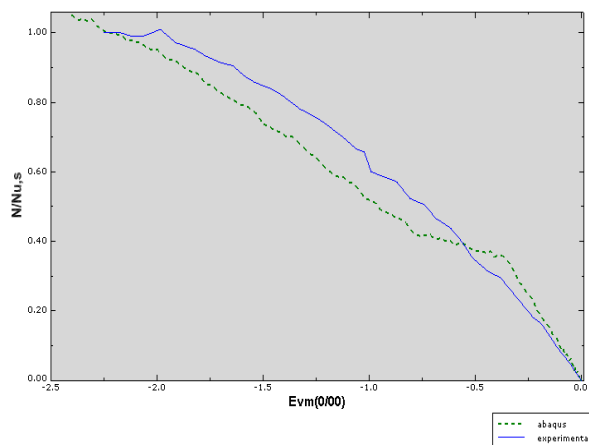
شکل ۴- نمودار نیرو-کرنش سه نمونه آزمایشگاهی S1 و S6a و S6b [۸]

۳-۱- مدل‌سازی نمونه‌های نرم‌افزاری

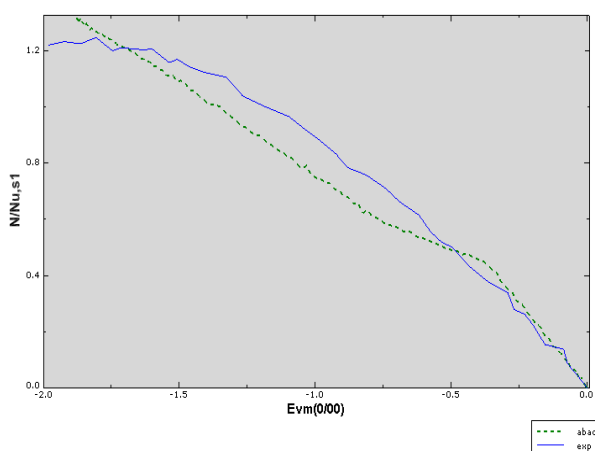
همان‌گونه که در آزمایشگاه ابتدا نمونه بدون تقویت ساخته شده و سپس کامپوزیت FRP بر روی آن چسبانده شده، در مدل‌سازی نرم‌افزاری نیز ابتدا ستون بدون تقویت مدل‌سازی و سپس کامپوزیت FRP بر روی نمونه قبلی اضافه گردید، سپس نمونه‌ها تحت بار محوری با اعمال جابجایی روبه پایین قرار گرفتند. جهت مدل‌سازی ستون بتنی در نرم‌افزار از المان solid extrude، آرماتورها از المان beam-wire و قطعات FRP از المان shell extrude استفاده شد. منحنی‌های کرنش-نیرو، برای نمونه آزمایشگاهی و نرم‌افزاری به صورت اشکال (۵) و (۶) و (۷) قابل مقایسه است. در جدول (۵) مقایسه‌ای بین نتایج آزمایشگاهی و نرم‌افزاری صورت گرفته، که نشان می‌دهد اختلاف کمی بین نتایج آزمایشگاهی و نرم‌افزاری وجود دارد. لذا مدل‌سازی‌ها دقت قابل قبولی دارند در جدول (۵) کرنش آزمایشگاهی با ϵ_e ، کرنش نرم-افزاری با ϵ_s ، نیروی آزمایشگاهی با f_e و نیروی نرم‌افزاری با f_s نشان داده شده است.

جدول ۵- نتایج مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی و نرم‌افزاری

نام نمونه	ϵ_e	ϵ_s	ϵ_e/ϵ_s	f_e	f_s	f_e/f_s
S1	۲/۲	۲/۴	۰/۹۲	۱	۱/۰۶	۰/۹۴
S6a	۲	۱/۹	۱/۰۵	۱/۲۳	۱/۳	۰/۹۵
S6b	۲/۷	۲/۴	۱/۱۲	۱/۴۵	۱/۶۵	۰/۸۸

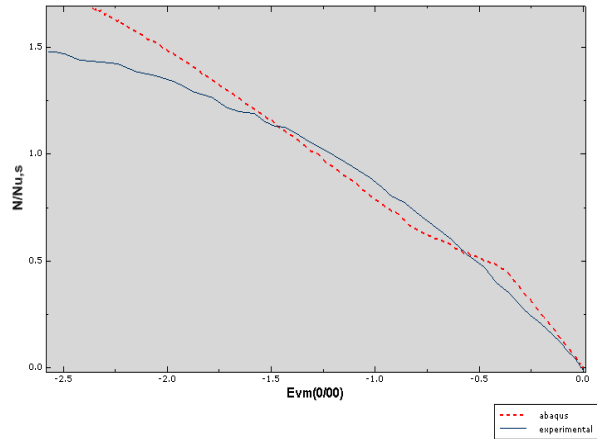


شکل ۵- نمودار نیرو-کرنش نرم‌افزاری و آزمایشگاهی نمونه S1



شکل ۶- نمودار نیرو-کرنش نرم‌افزاری و آزمایشگاهی نمونه S6a

محصور کردن ستون بتن مسلح با FRP علاوه بر این که کرنش فشاری بتن را قبل از شکست آن افزایش می‌دهد، با تحت فشار قرار دادن آرماتورهای طولی از کمانش آن‌ها نیز جلوگیری می‌کند [۱۰]. لذا به منظور کنترل برخی از نمونه‌های ایجاد شده دارای تقویت خارجی و دونمونه فاقد تقویت، از روابط تحلیلی ارائه شده توسط آئین‌نامه ACI 440 نیز استفاده شده است. با استفاده از این روابط و در دست داشتن اطلاعات ظاهری و مکانیکی نمونه‌ها، تحلیل دستی برای ۶ نمونه صورت گرفت که نتایج آن طبق جدول (۶) می‌باشد.



شکل ۷- نمودار نیرو-کرنش نرم‌افزاری و آزمایشگاهی نمونه S6b

جدول ۶- نیروی قابل تحمل نمونه‌های طراحی شده با ACI440.2R-02 بر اساس متغیرهای مطرح شده

نمونه	درصد فولاد مقطع (حدوداً)	جنس FRP	زاویه لایه‌های FRP	ضخامت FRP (mm)	نیروی قابل تحمل (kN) P_0
2un	۲	-	-	-	۳۹۳۵/۷
4un	۴	-	-	-	۴۸۴۴
2C000	۲	CFRP	۰° و ۰° و ۰°	۱	۸۷۵۱/۲
4C000	۴	CFRP	۰° و ۰° و ۰°	۱	۹۵۶۵/۱
2G000	۲	GFRP	۰° و ۰° و ۰°	۱/۳	۸۱۹۰/۵
4G000	۴	GFRP	۰° و ۰° و ۰°	۱/۳	۹۰۱۵/۲

نمونه‌ها گسیختگی FRP در طول ستون است. اشکال (۸) و (۹) کانتور کرنش عرضی FRP در نمونه‌های 2C000 و 4C000 را در لحظه گسیختگی نشان می‌دهند که در چند نقطه کرنش کامپوزیت از کرنش گسیختگی که ۱/۵۴ درصد است رد شده است.

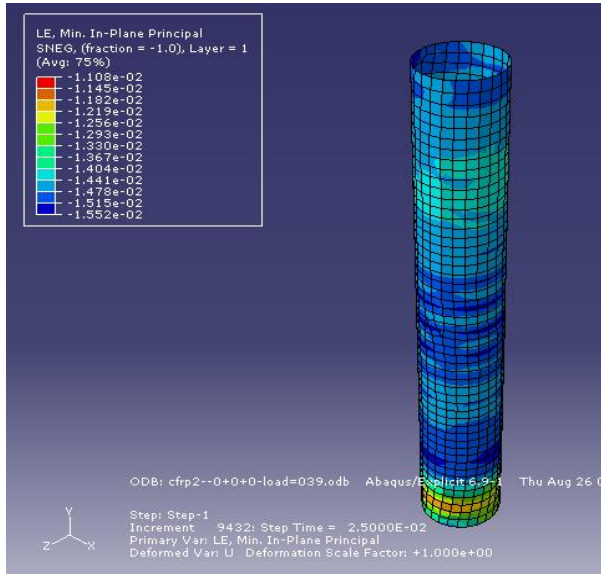
در نمونه‌های 2G000 و 4G000 انهدام ستون بر اثر اعمال جابه‌جایی ۶/۲ سانتی‌متر انجام شده است و این به علت کرنش گسیختگی بیش‌تری است، که GFRP دارد. اشکال (۱۰) و (۱۱) کانتور تنش عرضی FRP در نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در این نمونه‌ها نیز معیار انهدام ستون‌ها گسیختگی FRP می‌باشد. افزایش مقاومت نمونه‌های تقویت شده با CFRP حدود ۷ درصد بیش از GFRP و افزایش کرنش نمونه‌های تقویت شده با GFRP حدود ۶۴ درصد بیش از CFRP می‌باشد. اشکال (۱۲) و (۱۳) مقایسه منحنی نیروی محوری - کرنش محوری نمونه‌های 2C000 با 4C000 و 2G000 با 4G000 را نشان می‌دهند.

۴- مدل‌سازی نرم‌افزاری ۶ نمونه بدون تقویت و

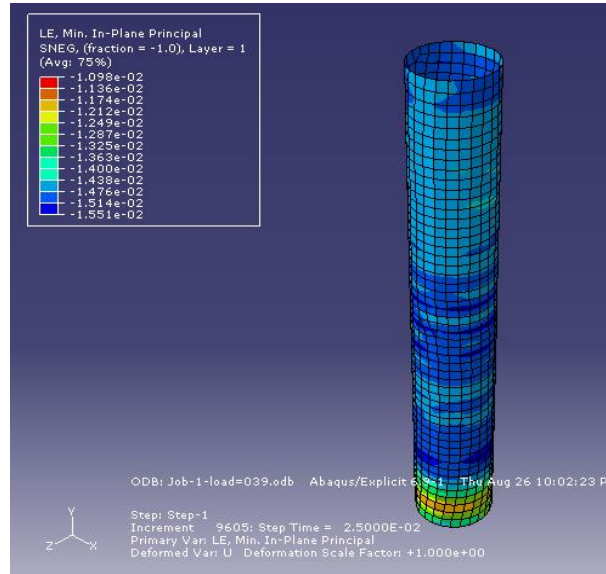
تقویت شده با FRP سه لایه، در جهات ۰، ۰ و ۰ درجه

نمونه 2un و 4un با اعمال جابه‌جایی محوری ۵/۵ میلی‌متر بر اثر افزایش تنش محوری بتن به بیش از ۲۸ مگاپاسکال در قسمت تحتانی و فوقانی ستون، گسیخته شده است. در نمونه‌های فوق که فاقد تقویت خارجی هستند، معیار انهدام ستون شکستگی بتن می‌باشد. در نمونه‌های تقویت شده، با توجه به این که FRP، به‌طور کامل و سرتاسری بتن را محصور کرده است، بنابراین مقاومت و کرنش نهایی بتن بسیار افزایش یافته و بتن می‌تواند مقاومت‌های بسیار بالاتر از ۲۸ مگاپاسکال یا کرنش پلاستیک بالاتر از ۰/۰۰۳۵ را تحمل کند، بدون آن که گسیخته گردد. همین امر برای فولاد هم حاکم خواهد بود و فولادهای طولی و عرضی می‌توانند تنش‌ها و کرنش‌های بالاتر از حد نهایی خود را تحمل کنند [۱۱].

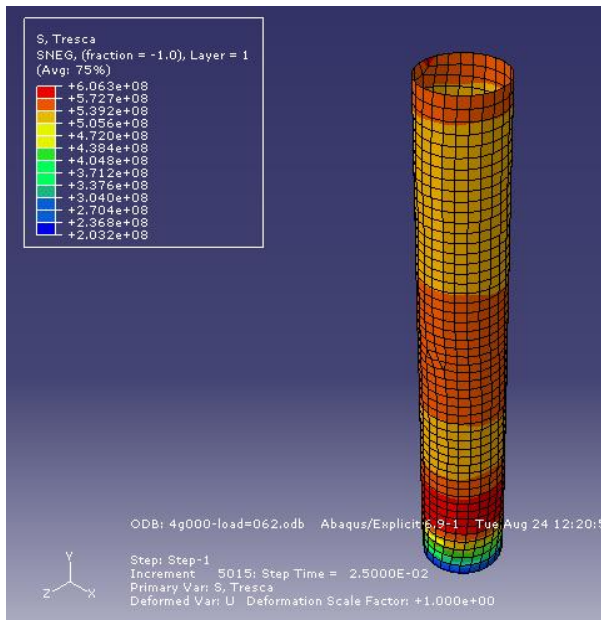
رفتار ستون 2C000 و 4C000 کاملاً مشابه است. این نمونه‌ها با اعمال جابه‌جایی ۳/۹ سانتی‌متر منهدم شده‌اند. معیار انهدام در این



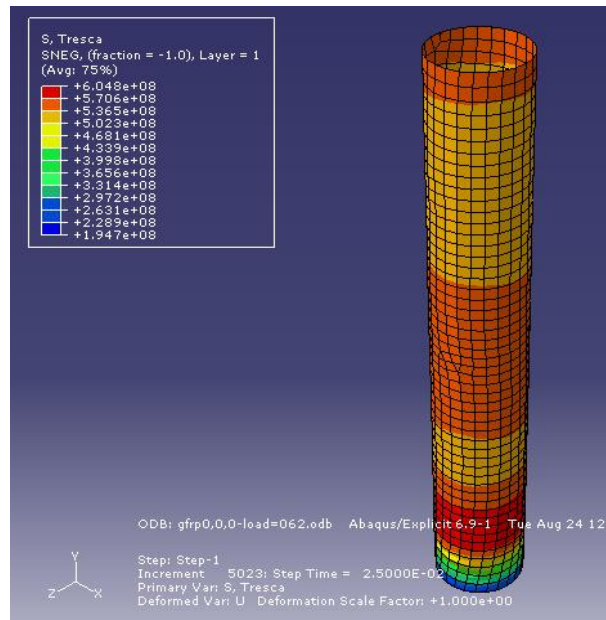
شکل ۹- کانتور کرنش نمونه 4C000



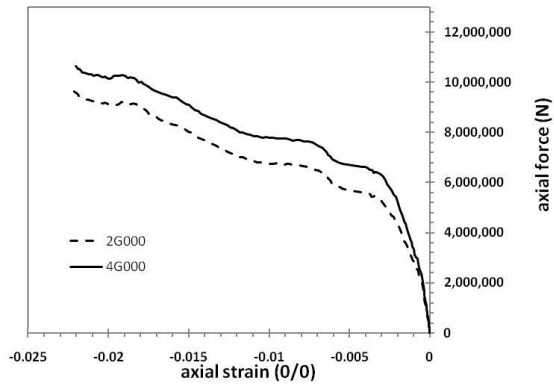
شکل ۸- کانتور کرنش نمونه 2C000



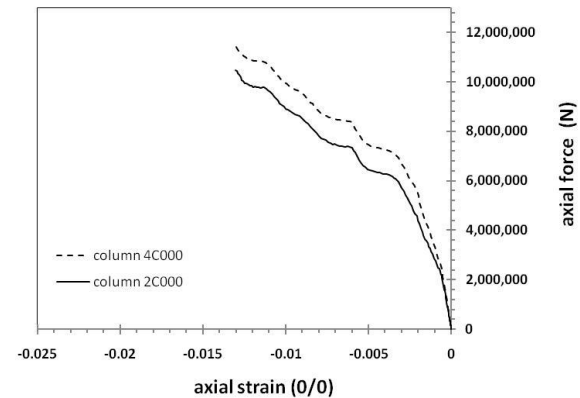
شکل ۱۱- کانتور تنش نمونه 4G000



شکل ۱۰- کانتور تنش نمونه 2G000



شکل ۱۳- مقایسه منحنی نیروی محوری - کرنش محوری نمونه های 4G000 و 2G000



شکل ۱۲- مقایسه منحنی نیروی محوری - کرنش محوری نمونه های 4C000 و 2C000

پس از مدل سازی نرم افزاری نمونه های 2C000، 4un، 2un، 2C000، 4C000، 2G000 و 4G000، نیروی محوری قابل تحمل آن ها استخراج شده که نتایج در جدول (۷) ارائه و با اعداد به دست آمده از طراحی با آئین نامه ACI440.2R-02 مقایسه شده است.

با بررسی جدول (۷) ملاحظه می شود که اختلاف بین نتایج نرم افزار و نتایج آئین نامه، کم می باشد. این موضوع نیز تأییدی بر صحت مدل سازی می باشد.

جدول ۷- مقایسه بین نیروی قابل تحمل نمونه در دو حالت محاسبه شده با ACI 440.2R-02 و استخراج شده از نرم افزار

ردیف	نام نمونه	نیروی قابل تحمل محاسبه شده از آئین نامه (P_u) (kN)	نیروی قابل تحمل استخراج شده از ABAQUS (kN)	نیروی محوری ABAQUS	نیروی محوری آئین نامه
۱	2un	۳۹۳۵/۷	۳۷۵۰	۰/۹۵	
۲	4un	۴۸۴۴	۵۰۰۰	۱/۰۳	
۳	2C000	۸۷۵۱/۲	۱۰۴۰۰	۱/۱۸۸	
۴	4C000	۹۵۶۵/۱	۱۱۳۰۰	۱/۱۸	
۵	2G000	۸۱۹۰/۵	۹۶۰۰	۱/۱۷	
۶	4G000	۹۰۱۵/۲	۱۰۶۰۰	۱/۱۷	

۵-۲- بررسی نتایج نمونه های تقویت شده با کامپوزیت- های FRP ۴۵- و ۴۰ و ۰ درجه

نمونه 2C-45450 تحت جابه جایی های مختلف قرار گرفته و با جابه جایی ۴ سانتی متر گسیخته شده است. نمونه 4C-45450 نیز رفتاری مشابه دارد، یعنی با اعمال جابه جایی به میزان ۴ سانتی متر، گسیخته شده است. کرنش در هر دو نمونه حدود ۱/۵ درصد می باشد. نیروی محوری قابل تحمل نمونه 2C-45450 حدود ۷۸۰۰ کیلونیوتن و برای 4C-45450 حدود ۸۷۰۰ کیلونیوتن، یعنی حدود ۱۲ درصد بیش از 2C-45450 است. آهنگ تغییرات کرنش و نیروی محوری در طول بارگذاری برای هر دو نمونه مشابه می باشد. ستون 2G-45450 با اعمال ۷ سانتی متر جابه جایی رو به پایین، منهدم شده است. برای نمونه 4G-45450 نیز رفتاری مشابه مشاهده می شود، یعنی با اعمال جابه جایی ۷ سانتی متر، GFRP گسیخته و ستون منهدم شده است. کرنش محوری 2G-45450 حدود ۷۵۰۰ کیلونیوتن می باشد که ۱۳ درصد بیشتر از 2G-45450 است، بنابراین افزایش مقاومت نمونه های تقویت شده با CFRP حدود ۳ درصد بیش از GFRP و افزایش کرنش نمونه های تقویت شده با GFRP حدود ۷۳ درصد بیش از CFRP می باشد.

۵-۳- بررسی نتایج نمونه های تقویت شده با کامپوزیت- های FRP سه لایه، ۴۵-، ۴۰ و ۹۰ درجه

یک سری دیگر از نمونه ها با کامپوزیت های سه لایه در جهات ۴۵-، ۴۰ و ۹۰ درجه تقویت شده اند که عبارت اند از 2C-454590،

۵-۱- بررسی مدل سازی سایر نمونه های تقویت شده با کامپوزیت های FRP سه لایه

۵-۱-۱- بررسی نتایج نمونه های تقویت شده با کامپوزیت- های تحت زوایای ۹۰، ۰ و ۹۰ درجه

در نمونه های 2C90090 و 4C90090، انهدام ستون با اعمال جابه جایی ۳/۷ سانتی متر صورت گرفته است و همان طور که انتظار می رفت رفتار این نمونه ها، کاملاً مشابه است. یعنی کرنش در جهات اصلی و در جهت عرضی، در قسمت بالایی ستون در ورق FRP از حد کرنش نهایی رد شده و در همان منطقه تنش FRP نیز از مقاومت کششی نهایی گذشته است. نکته قابل توجه در مقایسه نمونه های تقویت شده با کامپوزیت های ۰ و ۰ و ۰ درجه با ۹۰ و ۰ و ۹۰ این است که چرخش زوایای دو لایه از ۰ درجه به ۹۰ درجه، حدود ۱۰۰۰ کیلونیوتن یعنی ۱۱ درصد، قابلیت تحمل نیروی محوری نمونه های تقویت شده با CFRP را کاهش داده است.

با در نظر گرفتن زوایای فوق با کامپوزیت شیشه، برای دو نمونه 2G90090 و 4G90090 می توان نوشت که این نمونه های تحت جابه جایی ۵/۷ سانتی متر، دچار گسیختگی شده اند. کرنش هر دو نمونه در حدود ۲/۲ درصد می باشد. در این بخش افزایش مقاومت نمونه های تقویت شده با CFRP حدود ۷ درصد بیش از GFRP و افزایش کرنش نمونه های تقویت شده با GFRP حدود ۵۷ درصد بیش از نمونه های تقویت شده با CFRP می باشد.

هر دو نمونه در حدود ۲/۲ درصد می باشد. نیروی محوری نمونه 2G-454590 در لحظه گسیختگی حدود ۶۴۰۰ کیلونیوتن و برای نمونه 4G-454590 که دارای فولاد بیشتری است، ۱۵ درصد بیش تر و در حدود ۷۴۰۰ کیلونیوتن می باشد. افزایش مقاومت نمونه های تقویت شده با CFRP حدود ۹ درصد کم تر از GFRP و افزایش کرنش نمونه های تقویت شده با GFRP حدود ۱۰۰ درصد بیش از CFRP می باشد.

جدول (۸) افزایش نیروی محوری و کرنش محوری را برای تمام نمونه های مدل سازی شده نشان می دهد. در این جدول کرنش محوری نهایی نمونه تقویت شده با ϵ_{cc} ، کرنش محوری نهایی نمونه تقویت نشده با ϵ_{c0} ، نیروی محوری نهایی نمونه تقویت شده با P و هم چنین نیروی محوری نهایی نمونه تقویت نشده با P_0 نشان داده شده است.

2C-454590، 4C-454590 و 2G-454590 نمونه 4G-454590. تحت جابه جایی های مختلفی قرار گرفته که بر اثر جابه جایی ۳ سانتی متر منهدم شده است. برای نمونه 4C-454590 نیز نتایج مشابه نمونه 2C-454590 مشاهده می شود. کرنش محوری هر دو نمونه در حدود ۱/۱ درصد می باشد. نیروی محوری نمونه 2C-454590 حدود ۵۸۰۰ کیلونیوتن و نمونه 4C-454590، ۱۷ درصد بیش تر و در حدود ۶۸۰۰ کیلونیوتن می باشد.

این دو نمونه در مقایسه با نمونه های 2C000 و 4C000 حدود ۲۷ درصد کرنش کم تر و حدود ۶۶ الی ۸۰ درصد نیروی کم تر تحمل می کنند، اما در مقایسه با نمونه های 2UN و 4UN حدود ۴/۵ برابر کرنش بیش تر و حدود ۳۶ الی ۵۵ درصد نیروی بیش تر تحمل می کنند. در نمونه 2G-454590 و نمونه 4G-454590 گسیختگی با اعمال جابه جایی ۶ سانتی متر به وقوع پیوسته است. کرنش محوری

جدول ۸- میزان افزایش نیروی محوری و کرنش محوری برای نمونه های مدل سازی شده

نام نمونه	نوع تقویت	میزان فولاد طولی (۰/۱۰)	P (kN)	(P/P ₀)	ϵ_{cc} (۰/۱۰)	($\epsilon_{cc}/\epsilon_{c0}$)
2un	تقویت نشده		P ₀ = ۳۷۵۰	۱	$\epsilon_{c0}= ۰/۲$	۱
2C000			۱۰۴۰۰	۲/۸	۱/۴	۷
2C90090		۲	۹۰۰۰	۲/۴	۱/۴	۷
2C-45450	الیاف		۷۸۰۰	۲/۱	۱/۵	۷/۵
2C-454590	کربن		۵۸۰۰	۱/۵	۱/۱	۵/۵
2G000			۹۶۰۰	۲/۶	۲/۳	۱۱/۵
2G90090	الیاف	۲	۸۴۰۰	۲/۲	۲/۲	۱۱
2G-45450	شیشه		۷۵۰۰	۲	۲/۶	۱۳
2G-454590			۶۴۰۰	۱/۷	۲/۲	۱۱
4un	تقویت نشده		P ₀ = ۵۰۰۰	۱	$\epsilon_{c0}= ۰/۲$	۱
4C000			۱۱۳۰۰	۲/۳	۱/۴	۷
4C90090	الیاف	۴	۱۰۰۰۰	۲	۱/۴	۷
4C-45450	کربن		۸۷۰۰	۱/۷	۱/۵	۷/۵
4C-454590			۶۸۰۰	۱/۴	۱/۱	۵/۵
4G000			۱۰۶۰۰	۲/۱	۲/۳	۱۱/۵
4G90090	الیاف	۴	۹۴۰۰	۱/۹	۲/۲	۱۱
4G-45450	شیشه		۸۵۰۰	۱/۷	۲/۶	۱۳
4G-454590			۷۴۰۰	۱/۵	۲/۲	۱۱

۶- تشریح و تفسیر مدل سازی ها

در جدول (۹) بار محوری و کرنش محوری قابل تحمل هر نمونه ارائه شده است. با تأمل در جداول (۸) و (۹) شرح و بسط بسیاری حاصل گردد. که در ادامه بخش به آن پرداخته می شود. در تحقیقات گذشته اثر تغییر جهت کامپوزیت ها بسیار کم رنگ می باشد، لذا انتخاب کامپوزیت سه لایه تحت زوایای صفر درجه با راستای عرضی ستون، معیاری برای مقایسه کامپوزیت های با زوایای مختلف نسبت به صفر درجه می باشد.

افزایش فولاد مقطع نیروی محوری ستون ها را ۸ الی ۲۱ درصد افزایش می دهد، ولی تأثیری بر مد خرابی ستون ندارد. با مقایسه دویه دو برای نمونه های یکسان در جدول (۸) که فقط فولاد مقطع آن ها متفاوت است، مشاهده می گردد اعمال جابه جایی روی نمونه ها، برای نمونه های مشابه که فقط فولاد مقطع آن ها متفاوت است، یک اندازه می باشد.

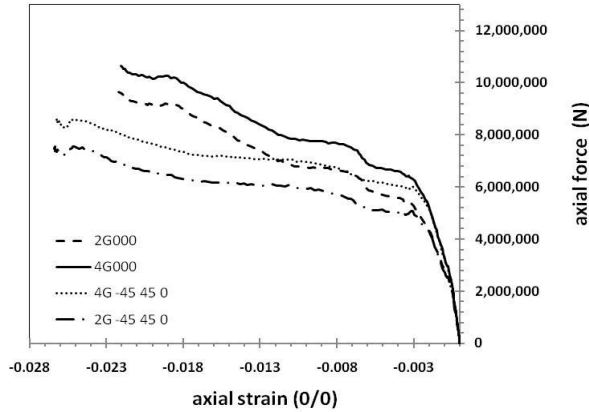
جدول ۹- نتایج حاصل از مدل سازی ۱۸ نمونه نرم افزاری

ردیف	نام نمونه	نیروی محوری (kN)	کرنش محوری (درصد)	جابجایی اعمالی (mm)
۱	2un	۳۷۵۰	۰/۲	۵/۵
۲	4un	۴۷۵۰	۰/۲	۵/۵
۳	2C 000	۱۰۴۰۰	۱/۴	۳۹
۴	4C 000	۱۱۳۰۰	۱/۴	۳۹
۵	2G 000	۹۶۰۰	۲/۳	۶۲
۶	4G 000	۱۰۶۰۰	۲/۳	۶۲
۷	2C 90090	۹۰۰۰	۱/۴	۳۷
۸	4C 90090	۱۰۰۰۰	۱/۴	۳۷
۹	2G 90090	۸۴۰۰	۲/۲	۵۷
۱۰	4G 90090	۹۴۰۰	۲/۲	۵۷
۱۱	2C -45450	۷۸۰۰	۱/۵	۴۰
۱۲	4C -45450	۸۷۰۰	۱/۵	۴۰
۱۳	2G -45450	۷۵۰۰	۲/۶	۷۰
۱۴	4G -45450	۸۵۰۰	۲/۶	۷۰
۱۵	2C -454590	۵۸۰۰	۱/۱	۳۰
۱۶	4C -454590	۶۸۰۰	۱/۱	۳۰
۱۷	2G -454590	۶۴۰۰	۲/۲	۶۰
۱۸	4G -454590	۷۴۰۰	۲/۲	۶۰

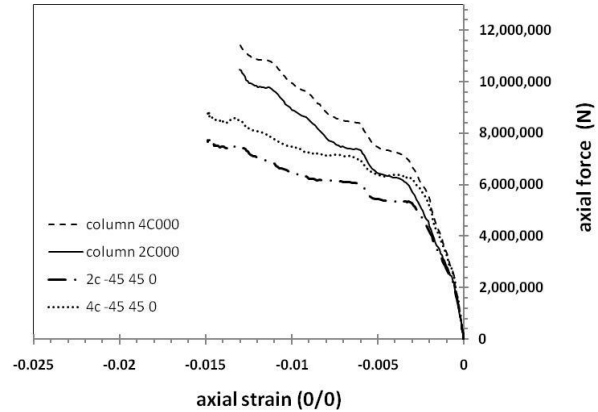
با دقت در اعمال جابه جایی روی نمونه ها در جدول (۹) مشاهده می شود که نمونه های تقویت شده با GFRP حدود ۱/۵ الی ۲ برابر کرنش محوری نمونه های محصور شده با CFRP است. از لحاظ مقاومت، کامپوزیت های با زوایای صفر درجه نیروی محوری و تنش محوری زیادی تحمل می کنند که این مقاومت در کامپوزیت های با زوایای ۴۵ و ۴۵- کم تر است ولی با توجه به بیش تر

توانایی پذیرش جابه جایی طولی CFRP تقویت شده با GFRP حدود ۱/۵ الی ۲ برابر می باشد. به همین علت مشاهده می شود که کرنش محوری در نمونه های تقویت

بودن کرنش محوری کامپوزیت‌های FRP با زوایای ۰ و ۴۵ و ۹۰- می‌توان گفت، شکل‌پذیری نمونه‌های تقویت شده با کامپوزیت‌های تحت زاویه ۰ و ۴۵ و ۹۰- حدود ۱۵ درصد بیش‌تر از ستون‌های محصور شده با کامپوزیت‌های FRP تحت جهات ۰ و ۴۵ و ۹۰ درجه می‌باشد. که این موضوع در نمودارهای کرنش محوری-تنش محوری ارائه در اشکال (۱۴) و (۱۵) به خوبی مشخص است.



شکل ۱۵- مقایسه منحنی نیروی محوری-کرنش محوری نمونه‌های 2G000 و 4G000 و 4G-45450 و 2G-45450



شکل ۱۴- مقایسه منحنی نیروی محوری-کرنش محوری نمونه‌های 2C000 و 4C000 و 2C-45450 و 4C-45450

جدول ۱۱- افزایش نیروی محوری و کرنش محوری نمونه‌های فولاد مقطع ۴٪ نسبت به نمونه‌های بدون تقویت

نام نمونه	افزایش نیروی محوری قابل تحمل، به 4un	افزایش کرنش محوری قابل تحمل، نسبت به 4un
4C 000	۲/۳۸	۷
4G 000	۲/۳۱	۱۱/۵
4C 90090	۲/۱	۷
4G 90090	۱/۹۸	۱۱
4C-45450	۱/۸۳	۷/۵
4G-45450	۱/۷۹	۱۳
4C-454590	۱/۴۳	۵/۵
4G-454590	۱/۵۶	۱۱

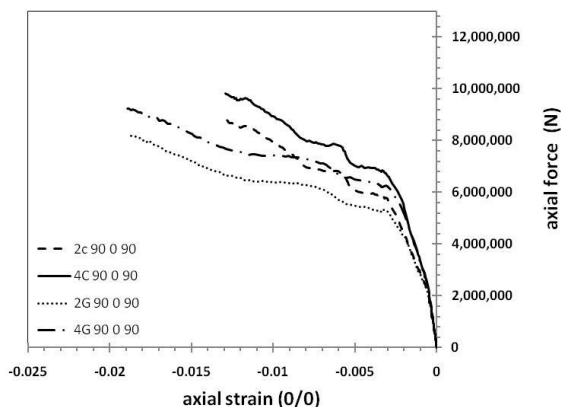
جدول ۱۰- افزایش نیروی محوری و کرنش محوری نمونه‌های فولاد مقطع ۲٪ نسبت به نمونه بدون تقویت

نام نمونه	افزایش نیروی محوری قابل تحمل، نسبت به 2un	افزایش کرنش محوری قابل تحمل، نسبت به 2un
2C 000	۲/۷۷	۷
2G 000	۲/۵۶	۱۱/۵
2C 90090	۲/۴	۷
2G 90090	۲/۲۴	۱۱
2C-45450	۲/۰۸	۷/۵
2G-45450	۲	۱۳
2C-454590	۱/۵۴	۵/۵
2G-454590	۱/۷۱	۱۱

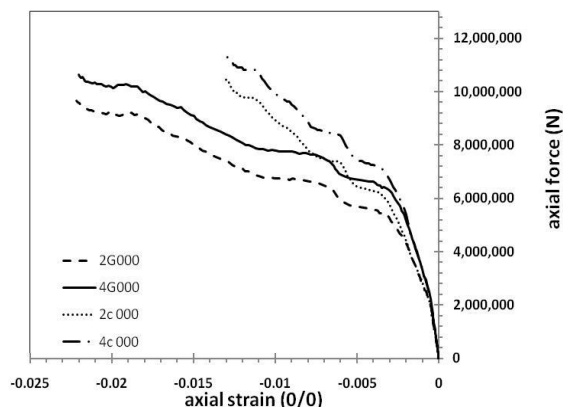
ولی برای افزایش شکل‌پذیری، به علت کرنش بالایی که مقاطع تقویت شده با CFRP تحمل می‌کنند، سطح زیر منحنی تنش-کرنش این نمونه بیش از نمونه‌های تقویت شده با CFRP می‌باشد. بنابراین نمونه‌های تقویت شده با CFRP شکل‌پذیری بیش‌تری دارند. با توجه به اشکال (۱۸) و (۱۹) نتیجه می‌شود هرچه زاویه لایه‌ها نسبت به محور عرضی ستون کم‌تر باشد، شکل‌پذیری ستون بیش‌تر است. که علت آن هم‌راستا شدن امتداد نیرو و جهت طولی الیاف کامپوزیت می‌باشد.

از جداول (۱۰) و (۱۱)، با مقایسه دوبه‌دوی نمونه‌هایی که جنس و زوایای لایه‌های FRP آن‌ها یکسان است، می‌توان افزایش ظرفیت باربری ناشی از مقاوم‌سازی را، برای نمونه‌های با فولاد دو درصد و چهار درصد مقایسه کرد. که اثر افزایش مقاومت در نمونه‌های با فولاد کم‌تر ۷ الی ۱۴ درصد بیش از نمونه‌های با فولاد بیش‌تر می‌باشد.

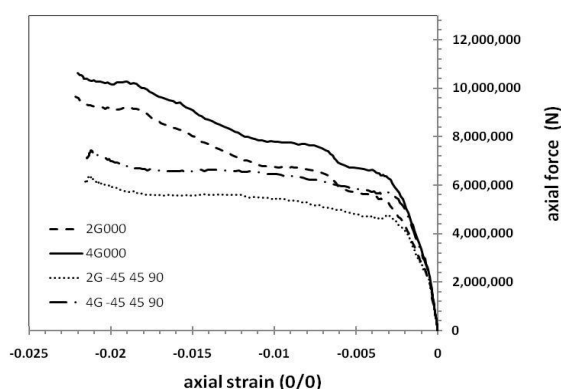
با توجه به اشکال (۱۶) و (۱۷) نتیجه می‌شود برای افزایش مقاومت استفاده از کامپوزیت‌های CFRP موثرتر از CFRP است.



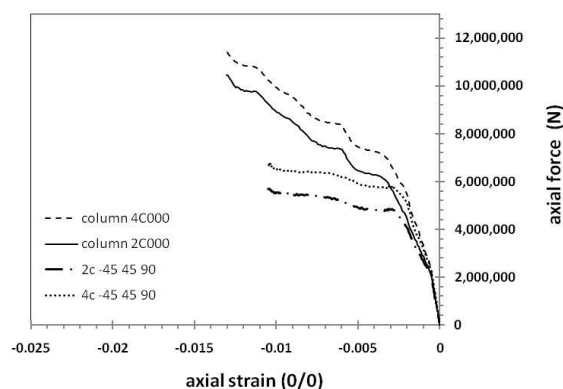
شکل ۱۷- مقایسه منحنی نیروی محوری- کرنش محوری نمونه های 4G90090 و 4C90090 و 2G90090 و 2C90090



شکل ۱۶- مقایسه منحنی نیروی محوری- کرنش محوری نمونه های 4G000 و 4C000 و 2G000 و 2C000



شکل ۱۹- مقایسه منحنی نیروی محوری- کرنش محوری نمونه های 2G000 و 2G-454590 و 4G000 و 4G-454590



شکل ۱۸- مقایسه منحنی نیروی محوری- کرنش محوری نمونه های 4C-454590 و 4C000 و 2C-454590 و 2C000

۷- نتیجه گیری

که به طور کلی ظرفیت باربری محوری ستون ها نسبت به حالت بدون تقویت، ۱/۴۳ الی ۲/۷۷ برابر و شکل پذیری نمونه ها ۵/۵ الی ۱۳ برابر افزایش یافته است.

۳- در مقاوم سازی به وسیله کامپوزیت های FRP با لایه های ۰ و ۴۵ و ۴۵- درجه، اثر افزایش شکل پذیری محسوس تر از افزایش مقاومت است. به طوری که در این نمونه ها در مقایسه با نمونه های فاقد تقویت، افزایش ۱۳ برابری کرنش محوری مشاهده می شود. لذا استفاده از FRP در این جهات راهکار خوبی برای افزایش شکل پذیری ستون های بتن مسلح می باشد.

۴- افزایش ظرفیت باربری محوری ناشی از مقاوم سازی، برای نمونه های با فولاد دو درصد، ۸ الی ۱۶ درصد بیش از نمونه های با فولاد چهار درصد می باشد. ولی افزایش کرنش محوری برای هر دو حالت یکسان است.

۵- افزایش مقاومت با کامپوزیت های تحت زوایای ۰ درجه، برای نمونه های تقویت شده با CFRP حدود ۷ درصد بالاتر از GFRP

از بررسی ۱۸ نمونه نرم افزاری و مقایسه نمونه های تقویت شده با نمونه های فاقد تقویت، و همچنین مقایسه نمونه های تقویت شده با کامپوزیت های تحت زوایای صفر درجه با سایر زوایا، نتایج زیر حاصل می شود.

۱- همان طور که انتظار می رفت، هرچه امتداد الیاف لایه های کامپوزیت به راستای عرضی ستون نزدیک تر باشد اثر مقاوم سازی بیش تر است. طوری که در نمونه های با زوایای صفر درجه نسبت به راستای عرضی ستون، ظرفیت باربری نمونه ها تا ۲/۷۷ و شکل پذیری آن ها تا ۱۱/۵ برابر افزایش می یابد. با توجه به این که در پژوهش های گذشته اثر تغییر جهت کامپوزیت ها بسیار کم رنگ می باشد، انتخاب کامپوزیت سه لایه با زوایای صفر، با هدف مقایسه با سایر زوایا صورت گرفته است.

۲- از نتایج با اهمیت این تحقیق افزایش مقاومت و شکل پذیری هر نمونه تقویت شده نسبت به حالت تقویت نشده همان نمونه می باشد.

می باشد. هم چنین افزایش کرنش نهایی محوری در نمونه های تقویت شده با GFRP به طور متوسط حدود ۷۳ درصد بیش تر از نمونه های تقویت شده با GFRP می باشد.

۸- مراجع

- [1] Teng, J.G and chen, J.F. "FRP strengthened rc structures". LTD, New york, 2001.
- [2] Turgay, T. "Compressive behavior of large-scale square reinforced concrete column confined with carbon fiber reinforced polymer jackets". Architectural and engineering faculty, abant izzet basal university, 2009.
- [3] Sharma, S., Dave, U and Solanki, H. "FRP Wrapping for RC Columns with Varying Corner Radii". Procedia Engineering, 51: 220-229. 2013.
- [4] Raval, R and Dave, U. "Behavior of GFRP wrapped RC Columns of different shapes." Procedia Engineering. 51: 240 – 249. 2013.
- [5] Belouar, A., Laraba, A., Benzaid, R and Chikh, N. "Structural Performance of Square Concrete Columns Wrapped with CFRP Sheets". Procedia Engineering. 54: 232 – 240. 2013.
- [6] Shaban, A. "Partial strengthening of R.C square columns using CFRP." HBRC Journal. 10: 279-286. 2014.
- [7] Michael, A.P et al. "Concrete confinement using carbon fiber reinforced polymer grid". Department of civil and coastal engineering at the university of florida. 2005.
- [8] Kachlakev, D and Miller, T. "Finite element modeling of reinforced concrete structure strengthened with FRP laminates". Civil and environmental engineering department, california polytechnic state university. 2001.
- [9] Kaminski, T. "Experimental behavior of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials". Institute of building engineering, wroclaw university of technology, 2005.
- [10] ACI-318. "Building code requirements for structural concrete and commentary". American Concrete Institute Committee 318, 2008.
- [11] ACI440.2R. "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures". American Concrete Institute Committee 440, 2002.

Strengthening of RC Columns using Multi Directional FRP Composites

M. Habibpour *

M.Sc. Civil-Structure Engineering

F. Farhang

Assistant Professor Building and Housing Research Center

Abstract

The most common method of strengthening columns with FRP is confining their external environment. Confining is effective for compression members and use for increase load carrying capacity or for increase ductility. The main target in this research is investigation strengthening of RC columns with multi directional FRP composites. For this purpose first, 3 available experimental specimens were modeled in ABAQUS software. So, accuracy of this modeling proved, by Comparison and proximity the result of experimental and software. Then 18 analytical specimens were modeled with considering variables such fiber gender, direction of composites layers and percent of longitudinal steel of column section, in ABAQUS software. Analytical specimen divided to the two groups, half of them with 2 percent longitudinal steel and the other half with 4 percent steel. In every group were considered a specimen without strengthening, four specimens confined with CFRP sheets and four specimens confined with GFRP sheets. Beside specimens of every group strengthened with composite layers in different directions 0, 0, 0 degrees and 90, 0, 90 degrees and -45, 45, 0 degrees and -45, 45, 90 degrees. The finite elements analysis results of these specimens shows that multi directional FRP composites increases 1.34 to 2.77 times the axial load carrying capacity of strengthened columns and 5.5 to 13 time their ductility. Strengthening by FRP composites with layers in direction of -45, 45, 0 degree, is good method for increasing the ductility of columns. Also effect of strengthening the specimens with two percent steel section are 8 to 16 percent more than specimens with four percent steel section.

Keywords: Confinement, Circular RC column, Increasing ductility, Strengthen, Multi directional composites.

* Corresponding Author: mo_habibpour@yahoo.com

