

بررسی عوامل موثر جهت رفع نقص کاهش محصورشدگی بتن هسته در ستون‌های CFT با مقطع نامتقارن L شکل توسط تحلیل عددی اجزاء محدود

سید علی موسوی داودی

کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی طبری

مرتضی نقی پور*

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی

Ali_mousavii@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۷/۱۰

چکیده:

استفاده از ستون‌های فولادی پرشده با بتن CFT بعلاوه همکاری توام مناسب بتن و فولاد در سرتاسر جهان رو به افزایش است، ستون‌های فولادی پرشده با بتن بیشتر در اشکال دایره‌ای اجرا می‌شود، دلیل این موضوع این نکته است که مقطع دایره‌ای محصورشدگی بیشتری را برای بتن هسته ایجاد می‌کند، اما در بعضی از مواقع استفاده از مقطع متقارن همیشه امکان‌پذیر نیست و اشکال دیگر همچون مقطع L شکل استفاده می‌گردد، این مقاطع به دلیل نامتقارن بودن محصورشدگی کمتری را برای بتن هسته ایجاد می‌نمایند، این امر سبب کاهش ظرفیت باربری بر روی این ستون‌ها با مقطع نامتقارن L شکل می‌گردد. با توجه به این مهم در این پژوهش به مطالعه ستون‌های فولادی پرشده با بتن با مقطع نامتقارن L شکل در جهت تامین رفع کاهش محصورشدگی تحت اثر پارامترهای موثر از جمله ارتفاع، ضخامت مقطع فولادی و تنش فشاری بتن پرداخته شد، بعد از انجام بررسی اثر تاثیر پارامترهای ارتفاع، ضخامت جدار فولادی و مقاومت فشاری بتن بر روی اثر تامین محصورشدگی بتن هسته در مقطع L شکل تحت تحلیل اجزای محدود مشاهده گردید که اثر ضخامت جدار فولادی (t) در مقطع L شکل از تاثیرگذارترین پارامترها در جهت رفع نقص کاهش محصورشدگی است، که اثر این تاثیرگذاری به طور میانگین چیزی در حدود ۱۸/۳۱ درصد بیشتر از پارامترهای مطالعاتی مقاومت فشاری بتن و ارتفاع بود، در انتها نتیجه‌گیری شد که در مقاطع نامتقارن L شکل با تغییر ضخامت جدار فولادی نسبت به پارامتر مقاومت فشاری بتن و ارتفاع، محصورشدگی بیشتری برای مقاطع نامتقارن L شکل تامین خواهد شد.

کلید واژگان: ستون فولادی پر شده با بتن CFT، نیروی محوری، تحلیل اجزای محدود، لاغری، تحلیل حساسیت

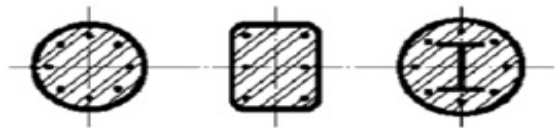
۱- مقدمه

جاری شدن جزئی فولاد و خرد شدن بتن در فشار و ترک خوردن بتن در کشش است. ستون‌های بلند بصورت الاستیک رفتار می‌کنند و روش آنالیز آنها نیز الاستیک است و در این حالت از تغییر شکل‌های اولیه صرف‌نظر می‌شود و می‌توان رفتار ستون را طبق منحنی اویلر پیشنهاد نمود [۳].

۲- انواع مقاطع مرکب

۲-۱- مقاطع فولادی محاط در بتن (SRC)

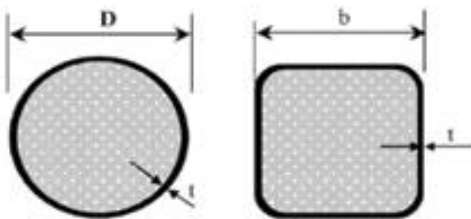
این مقاطع از یک مقطع فولادی که توسط بتن مسلح محصور شده است ساخته می‌شوند [۴].



شکل ۱- مقطع ستون‌های فولادی محاط در بتن SRC [۴]

۲-۲- مقاطع فولادی پر شده با بتن (CFT)

این مقاطع از یک مقطع فولادی که توسط بتن مسلح محصور شده است ساخته می‌شوند این ستون‌ها دارای هر دو مزایای فولاد و بتن می‌باشند. در شکل ۲ چند نمونه از این نوع مقاطع مشخص شده است. این ستون‌ها شامل مقطع فولادی توخالی دایره، مستطیل و یا چند ضلعی است، که با بتن پر می‌شوند [۴].



شکل ۲- مقطع ستون‌های فولادی پر شده با بتن CFT [۴]

۳- مقایسه رفتار ستون CFT نسبت به ستون SRC

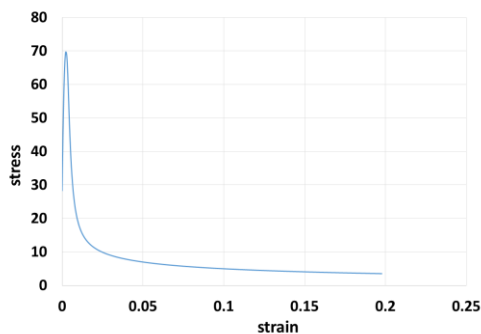
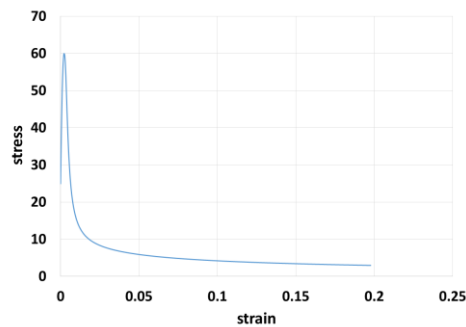
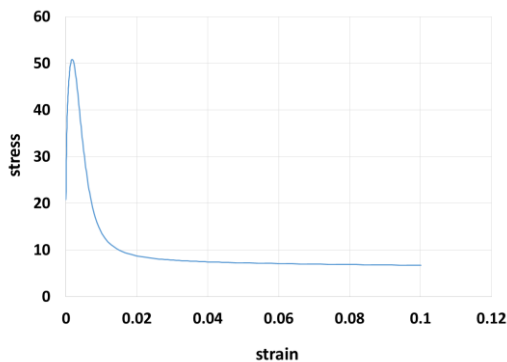
با بررسی نمودارهای نیرو-تغییر مکان‌های ستون‌های SRC و CFT که در شکل ۳ نشان داده شده است می‌توان بیان نمود که شکل‌پذیری و ظرفیت چرخشی ستون‌های CFT در مقایسه با مقاطع SRC بیشتر است. همچنین مقاومت خمشی و سختی مقاطع CFT نسبت به مقاطع SRC بیشتر است. [۵]

استفاده از ستون‌های لوله‌ای پر شده از بتن CFT بصورت فزاینده‌ای در کارهای ساختمانی متداول شده است، این امر تا حدودی به علت خواص عالی مقاومت در برابر زلزله آنها مانند: مقاومت بالا، شکل‌پذیری زیاد و ظرفیت جذب انرژی زیاد می‌باشد. حدود ایجاد شده توسط قالب فلزی، خواص بتن را با قراردادن بتن تحت یک حالت سه محوری بهبود می‌بخشد و از طرفی، از کماتش داخلی لوله فولادی، توسط بتن جلوگیری می‌کند. خواص افزایش یافته ستون‌های فولادی پر شده با بتن CFT می‌تواند بر حسب رفتار مختلط بین لوله فولادی و هسته بتنی بیان شود. در سال ۱۹۶۷ مطالعات تئوریک انجام گرفته توسط جیکوب سن و گاردنر نشان داد که در کرنش‌های کم، مقدار نسبت پواسون بتن در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ است اما برای کرنش‌های بزرگتر نسبت پواسون بتن حتی تقریباً به مقدار ۰/۶ نیز می‌رسد [۱]. در نتیجه در مراحل اولیه بارگذاری نسبت پواسون برای بتن کمتر از فولاد است. بنابراین لوله فولادی هیچ اثر محدود کننده‌ای بر روی هسته بتنی ندارد هنگامی که کرنش طولی افزایش می‌یابد، گسترش جانبی بتن کم‌کم بیشتر از فولاد می‌شود. در نتیجه یک فشار شعاعی در سطح تماس فولاد و بتن پدید می‌آید. در این حالت، هسته بتنی تحت تنش سه محوری و لوله فولادی تحت تنش دو محوره قرار دارند. بدلیل وجود کشش حلقوی، خاموتی (یعنی حالت تنش دو محوره) لوله فولادی نمی‌تواند تنش تسلیم معمولی را تحمل کند. بنابراین یک انتقال بار از لوله به هسته بتنی به وجود می‌آید، بار متناسب با این شکل خرابی می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از جمع بارهای خرابی بتن و فولاد تنها گردد، میزان افزایش بار در خرابی بوجود آمده توسط اثر محدود کننده‌ی فولادی روی هسته بتنی به عوامل متعددی بستگی دارد مانند ضخامت لوله فولادی، نسبت لاغری، خروج از مرکزیت و شکل سطح مقطع، در مورد ستون‌های لوله‌ای دایره‌ای لوله فولادی اثر محدود کننده بیشتری نسبت به ستون‌های مربعی دارد [۲]. مرکز گوشه‌های مقاطع مربعی تحت یک فشار محدود کننده بزرگتری نسبت به اضلاع قرار می‌گیرند، اما در ستون‌های دایره‌ای یک پخش یکنواخت فشار جانبی مورد انتظار است، همچنین عملکرد این ستون‌ها تحت بارگذاری مداوم متفاوت از ستون‌ها بتن‌آرمه معمولی است. در ستون‌های بتن مسلح، بتن هنگامیکه در سن اولیه‌اش قرار دارد کوتاه‌شدگی را تجربه می‌کند. این امر با یک پرپود طولانی انقباض و خزش تحت بار ادامه پیدا می‌کند. در مورد ستون‌های CFT بدلیل محیط مرطوب داخل لوله فولادی ضریب کوتاه‌شدگی کم است و انقباض بسیار آرام پیش می‌رود. رفتار ستون‌های CFT تحت اثر بار متمرکز محوری بستگی به طول کماتش (L_e)، حداقل بعد مقطع (B)، و خواص مکانیکی بتن و فولاد دارد. با توجه به موارد فوق می‌توان لاغری یا نسبت لاغری را بدست آورد و از آنجا نتیجه گرفت که ستون کوتاه (چاق) یا متوسط یا بلند (لاغر) است. مکانیزم گسیختگی ستون‌های کوتاه بصورت جاری شدن فولاد و خرد شدن بتن است. ستون‌های مختلط با طول متوسط بصورت غیرالاستیک رفتار می‌کند و رفتار آنالیز آنها نیز غیرالاستیک است و مکانیزم گسیختگی آنها بصورت

جدول ۲- مشخصات ایزوتروپیک دو خطی مکانیکی فولاد ST37

Yield stress (Mpa)	Plastic strain
465	0
600	0.12

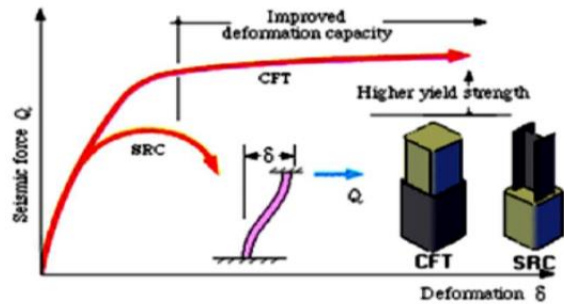
همچنین در مدلسازی نمونه‌ها، از بتن با رفتار محصور شده با مقاومت فشاری ۴۷،۴۷/۶ و ۷۰ مگاپاسکال استفاده شده است، در شکل ۴ نمودار تنش-کرنش بتن‌های استفاده شده در این مدلسازی نشان داده شده است.



شکل ۴- نمودار تنش-کرنش مصالح بتن محصور شده مدلسازی

همچنین این نمونه‌ها از لحاظ ضخامت، ارتفاع، مقاومت فشاری بتن به سه گروه طبقه‌بندی شد که جزئیات این نمونه‌ها در ادامه شرح داده شده است.

الف: گروه (A)، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۴۰۰۰ میلی‌متر و مقطع هندسی L شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۸-۶-۴) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری



شکل ۳- نمودار نیرو-تغییر مکان ستون‌های CFT و SRC [۵]

۴- مقایسه بین رفتار ستون‌های CFT با ستون‌های بتن مسلح و فولادی خالص

ستون‌های CFT در مقایسه با ستون‌های بتن مسلح و فولادی خالص دارای مزایای زیر هستند:

- شکل‌پذیری زیاد
- مقاومت زیاد در برابر آتش سوزی
- مقاومت مناسب با توجه به حجم و وزن کمتر نسبت به ستون‌های بتن مسلح
- تغییر شکل کمتر نسبت به ستون‌های فولادی
- کاهش کماتش موضعی نسبت به مقاطع فولادی
- ظرفیت باربری زیاد
- سختی جانبی بیشتر قاب‌های ساختمانی
- صرفه جویی در هزینه‌های ساخت [۶]

۵- مدلسازی

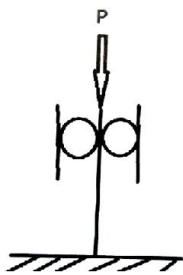
به منظور بررسی رفتار محوری ستون‌های CFT با مقطع هندسی L شکل در این پژوهش ۲۷ نمونه ستون CFT با مقطع هندسی L شکل که توسط نرم افزار آباکوس مدلسازی شد مورد بررسی قرار گرفت. مصالح به کار رفته در این مدلسازی از فولاد ST 37 استفاده شد، مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی در مدلسازی نمونه‌ها در جدول ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایزوتروپیک خطی مکانیکی فولاد ST 37

Young's Modulus (Mpa)	Poisson's Ratio
199000	0.3

۵- بارگذاری و شرایط تکیه گاهی مدل‌ها

برای مدل فوق بارگذاری محوری در یک انتها انجام می‌شود. در انتهایی که بارگذاری انجام می‌شود نمونه تنها در راستای در راستای Y می‌تواند جابه‌جا شود و در دو راستای دیگر از حرکت جلوگیری شده است $(U_2 \neq 0, U_1 = U_3 = 0)$ و از لحاظ دورانی نمونه تنها در راستای Z می‌تواند دوران کند و در دو راستای دیگر از لحاظ دورانی جلوگیری شده است $U_{R1} = U_{R2} = 0, U_{R3} \neq 0$ ، در انتهای دیگر عضو از تمام جابه‌جایی‌ها و دوران‌ها جلوگیری شده است. در شکل ۸ نمای شماتیک کلی عضو و تکیه‌گاه‌ها در ادامه آورده شده است.



شکل ۸- شرایط تکیه‌گاهی نمونه‌های مدلسازی شده

۶- جزئیات مدلسازی نمونه

جهت مدلسازی نمونه‌های طراحی شده، از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده شد. جهت مدلسازی هسته بتنی ستون CFT از المان Solid استفاده شد و جهت مدلسازی تیوب فولادی از ستون CFT از المان Shell استفاده گردید، در مرحله معرفی مشخصات مصالح در نرم‌افزار آباکوس رفتار مصالح در ناحیه خطی و غیرخطی لحاظ گردید. برای تیوب فولادی ستون مشخصات مکانیکی فولاد نرمه ST37 مشخصات بتن C46.7 در نظر گرفته شد. جهت اتصال تمامی لبه‌های جوش شونده به یکدیگر از قید Tie و برای تعریف وضعیت سطح تمامی صفحات دارای تماس با یکدیگر از قید Contact به صورت سطح به سطح استفاده شد.

۷- صحت سنجی

جهت بررسی صحت مطالعات صورت گرفته با فرضیات مدلسازی مذکور، با ساخت نمونه مشابه با نمونه آزمایشگاهی مدلسازی شده توسط ژئولیا نگز و همکاران^۱ در محیط نرم‌افزار آباکوس، نتایج مربوط به هر دو حالت با یکدیگر مقایسه گردیدند، در شکل ۹ شمای کلی نمونه مدلسازی شده با نرم افزار آباکوس و نمونه آزمایشگاهی را مشاهده می‌کنید، با مقایسه نمودارهای نیرو- تغییرمکان آزمایشگاهی و تحلیل عددی، اختلاف بسیار ناچیزی بین نمودار نیرو-تغییرمکان‌ها مشاهده شد که این اختلاف چیزی در حدود ۳٪ بود، در شکل ۱۰ می‌توان نمودارهای نیرو-تغییرمکان نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه مدلسازی شده با نرم افزار آباکوس را مشاهده کرد.

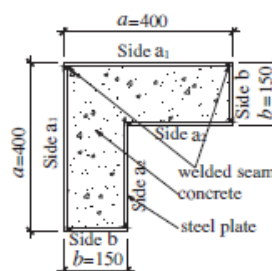
بتن (۶۰-۷۰-۴۶،۷) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول ۳ و شکل ۵ جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

ب: گروه (B)، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۵۰۰ میلی‌متر و مقطع هندسی L شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۶-۸) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۴۶،۷-۶۰-۷۰) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول ۳ و شکل ۵ جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

ج: گروه (C)، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۷۰۰ میلی‌متر و مقطع هندسی L شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۶-۸) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۴۶،۷-۶۰-۷۰) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول ۳ و شکل ۵ جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳- جزئیات نمونه مدلسازی گروه A,B,C

ارتفاع (h) (mm)	تنش فشاری بتن (fc) (mpa)	ضخامت تیوب فولادی (t) (mm)	ابعاد (a×b) (mm)	نام گروه مطالعاتی
h=4000	{46.7,60,70}	t={4,6,8}	400×150	A
h=5000				B
h=7000				C

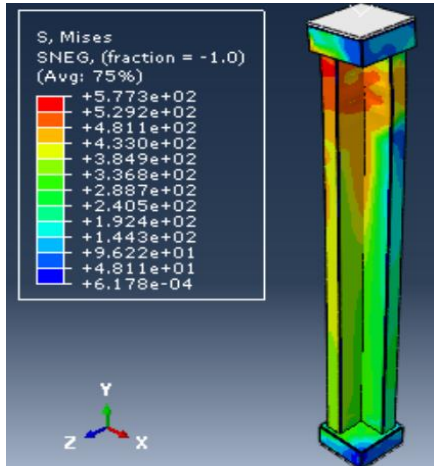


شکل ۵- جزئیات هندسی نمونه‌های مدلسازی

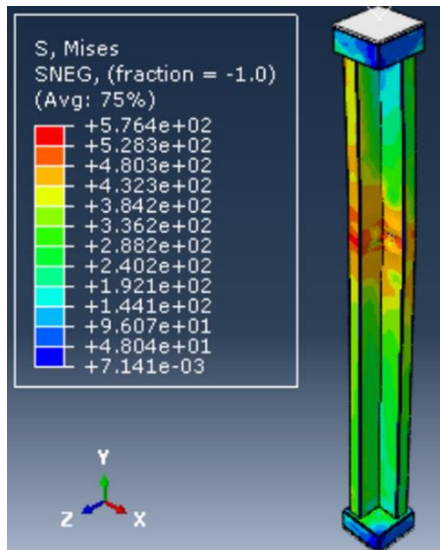
¹ Zhi-Liang Zuo et al

۸- یافته‌های تحلیل

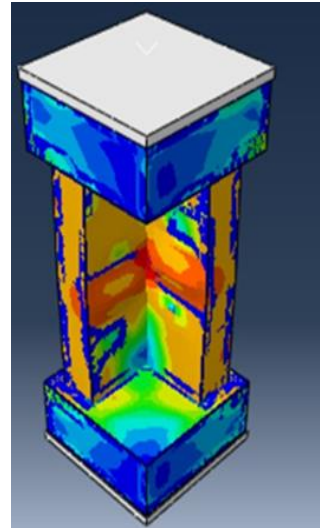
پس انجام تحلیل توسط نرم‌افزار آباکوس تنش‌های فون میسز نمونه‌ها ۴۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ را می‌توان در شکل ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مشاهده کرد.



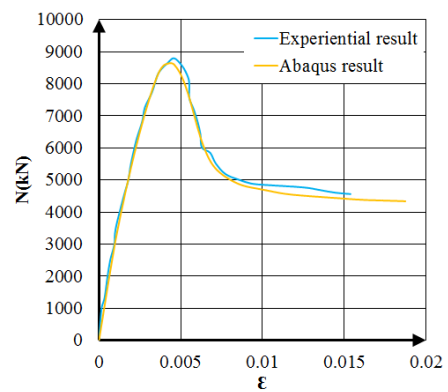
شکل ۱۱- تنش فون میسز نمونه گروه A مدل L شکل



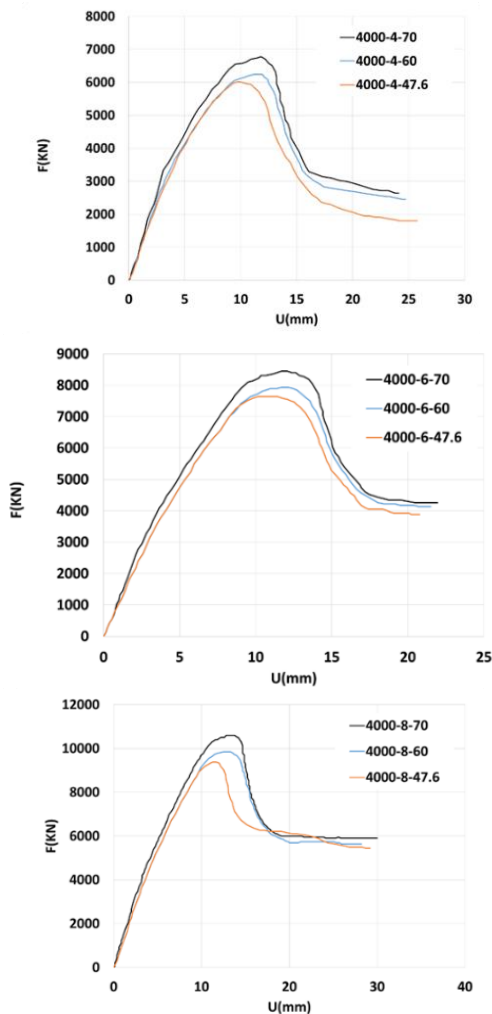
شکل ۱۲- تنش فون میسز نمونه گروه B مدل L شکل



شکل ۹- شمای کلی نمونه مدلسازی شده با نرم‌افزار آباکوس و نمونه آزمایشگاهی صحت‌سنجی شده

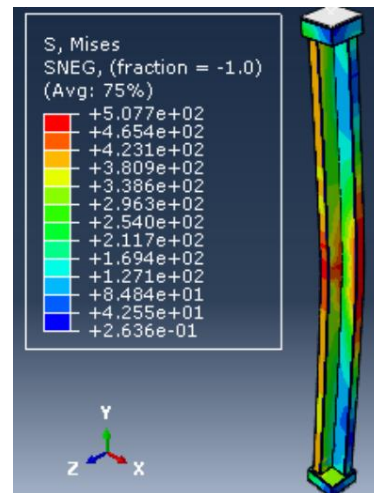


شکل ۱۰- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه مدلسازی شده و آزمایشگاهی نمونه L شکل



شکل ۱۳- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن

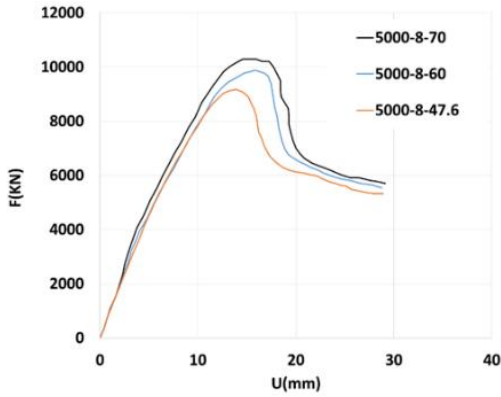
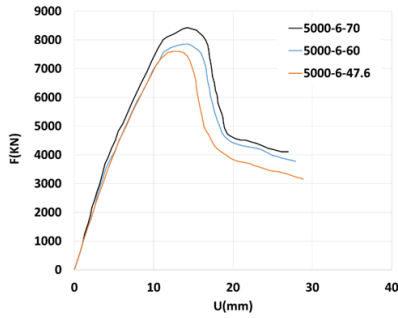
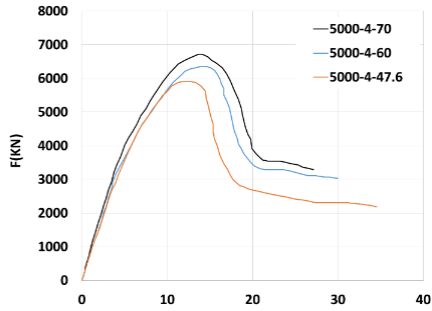
در شکل ۱۵ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می‌شود، با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A مشاهده شد، با افزایش $66\%/66$ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۴ به ۶ میلیمتر تحت یک پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن، مقاومت مقطع $21/42\%$ درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش 33% درصد ضخامت تیوب فولادی از ۶ به ۸ میلیمتر تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری مقاومت مقطع نیز $18/23\%$ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی پارامتر شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع $22/1$ و شکل‌پذیری نیز $17/23\%$ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



شکل ۱۳- تنش فون میسز نمونه گروه C مدل L شکل

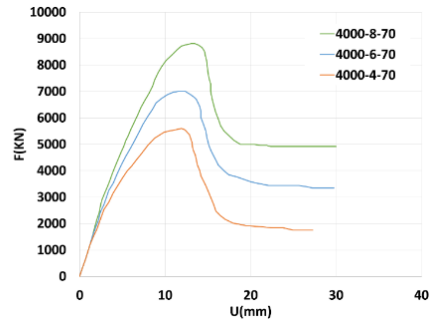
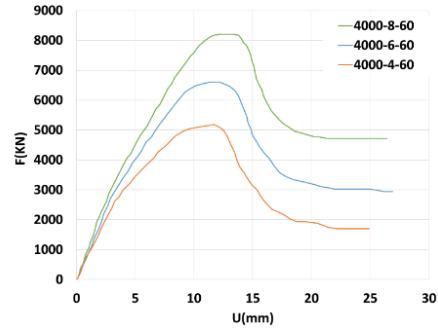
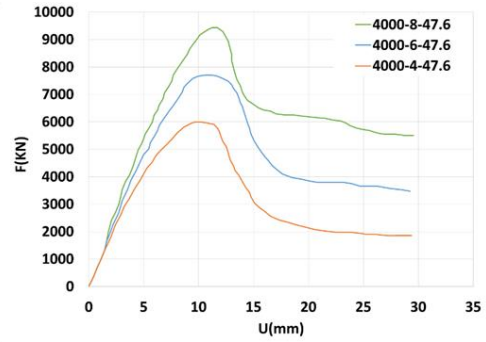
پس از انجام تحلیل نمونه‌های مدلسازی شده توسط نرم افزار آباکوس نمودار نیرو-تغییر مکان‌های نمونه ۴۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ میلی‌متر تحت اثر پارامترهای موثر مورد مقایسه قرار گرفتند که در شکل‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نمودارهای نیرو-تغییر مکان‌های نمونه‌های ذکر شده نشان داده شده است.

در شکل ۱۴ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می‌شود. با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A مشاهده شد، با افزایش $26,05\%$ درصد مقاومت فشاری بتن از $47/6$ به 60 مگاپاسکال تحت یک پارامتر ثابت ضخامت تیوب فولادی، مقاومت مقطع $12,37\%$ درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش $16/66\%$ درصد مقاومت فشاری بتن از 60 به 70 مگاپاسکال تحت یک ضخامت جدار فولادی مقاومت مقطع نیز $18/23\%$ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، که سختی مقطع $3/2\%$ و شکل‌پذیری نیز $12/37\%$ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



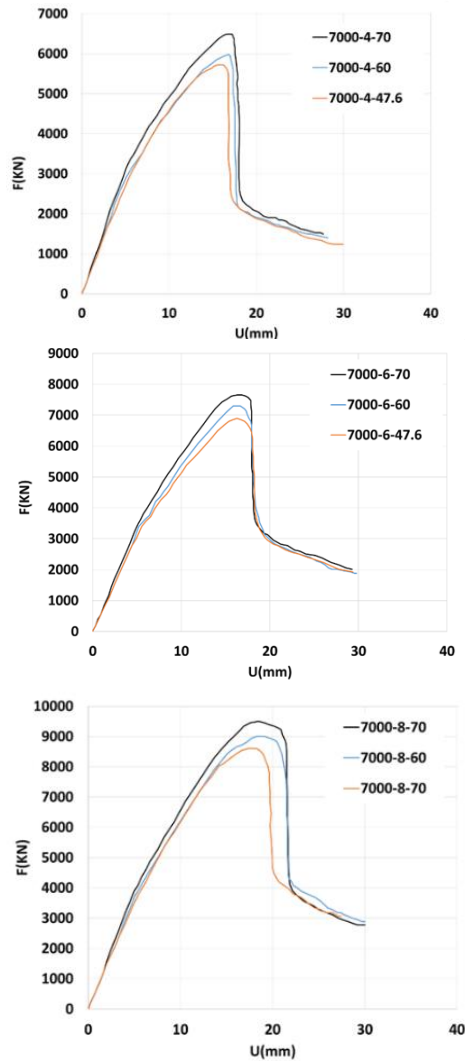
شکل ۱۵- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن

در شکل ۱۵ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت جدار فولادی و پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن مشاهده می‌شود، با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B مشاهده شد، با افزایش $۶۶\%/۶۶$ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۴ به ۶ میلیمتر تحت یک پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن، مقاومت مقطع $۱۹\%/۶۴$ درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش ۳۳% درصد ضخامت تیوب فولادی از ۶ به ۸ میلی‌متر تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری مقاومت مقطع نیز $۱۷\%/۸۵$ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی پارامتر شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع $۲۱\%/۷۱$ و شکل‌پذیری نیز $۱۶\%/۴۷$ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



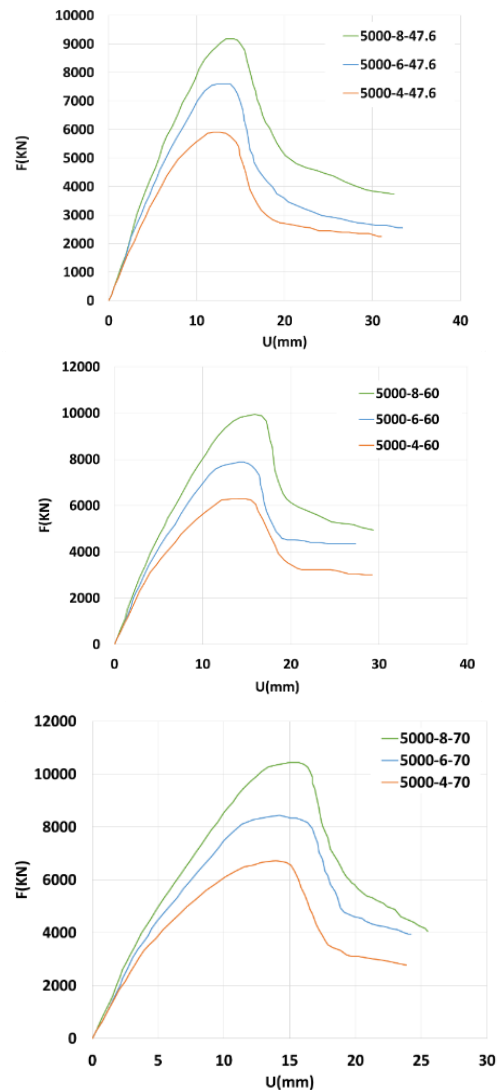
شکل ۱۴- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

در شکل ۱۶ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می‌شود، با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B مشاهده شد، با افزایش $۲۶\%/۰۵$ درصد مقاومت فشاری بتن از $۴۷\%/۶$ به ۶۰ مگاپاسکال تحت یک پارامتر ثابت ضخامت تیوب فولادی، مقاومت مقطع $۱۱\%/۴۳$ درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش $۱۶\%/۶۶$ درصد مقاومت فشاری بتن از ۶۰ به ۷۰ مگاپاسکال تحت یک ضخامت جدار فولادی مقاومت مقطع نیز $۱۷\%/۷۵$ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی پارامتر شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع $۱\%/۷$ و شکل‌پذیری نیز $۱۱\%/۶۳$ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



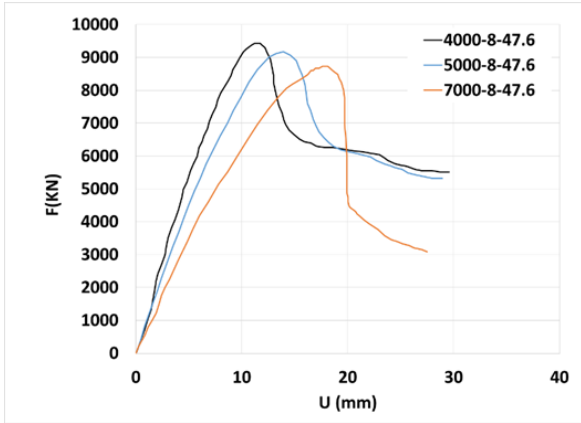
شکل ۱۶- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن

در شکل ۱۶ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت جدار فولادی و پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن مشاهده می‌شود، با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه C مشاهده شد، با افزایش $\frac{66}{66}\%$ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۴ به ۶ میلیمتر تحت یک پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن، مقاومت مقطع $\frac{82}{20}\%$ درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش $\frac{33}{33}\%$ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۶ به ۸ میلیمتر تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری مقاومت مقطع نیز $\frac{38}{17}\%$ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی پارامتر شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع $\frac{21.96}{21.96}\%$ و شکل‌پذیری نیز $\frac{18.92}{18.92}\%$ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



شکل ۱۵- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

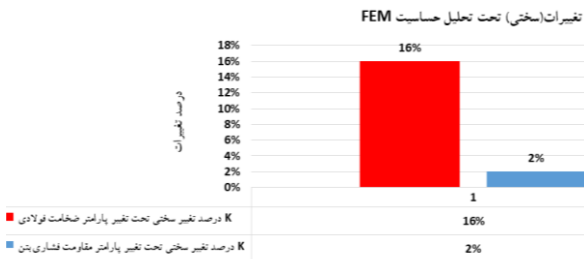
در شکل ۱۷ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می‌شود، با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه C مشاهده شد، با افزایش $\frac{26}{05}\%$ درصد مقاومت فشاری بتن از $\frac{47}{6}$ به ۶۰ مگاپاسکال تحت یک پارامتر ثابت ضخامت تیوب فولادی، مقاومت مقطع $\frac{79}{11}\%$ درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش $\frac{66}{16}\%$ درصد مقاومت فشاری بتن از ۶۰ به ۷۰ مگاپاسکال تحت یک ضخامت جدار فولادی مقاومت مقطع نیز $\frac{91}{17}\%$ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، که سختی مقطع $\frac{2.86}{2.86}\%$ و شکل‌پذیری نیز $\frac{11.86}{11.86}\%$ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



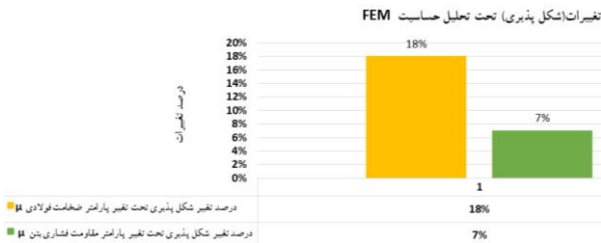
شکل ۱۷- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه A,B,C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ارتفاع

۹- نتایج تحلیل حساسیت اثر پارامتریک مقاومت فشاری و ضخامت جدار فولادی بر روی سختی، شکل پذیری و مقاومت مقطع

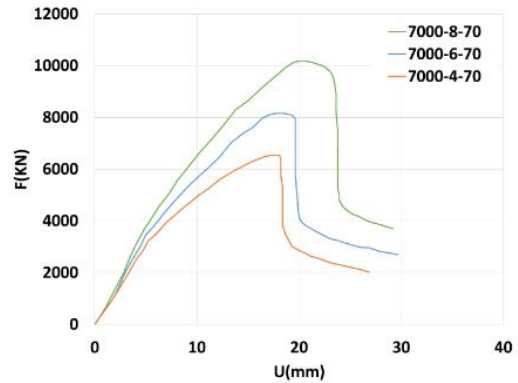
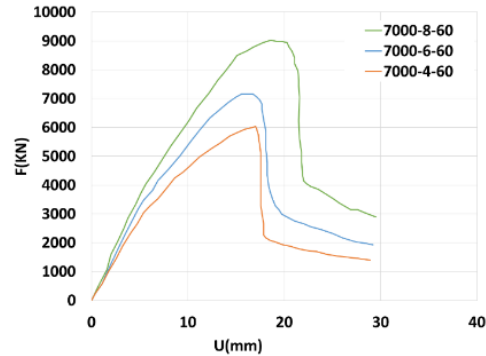
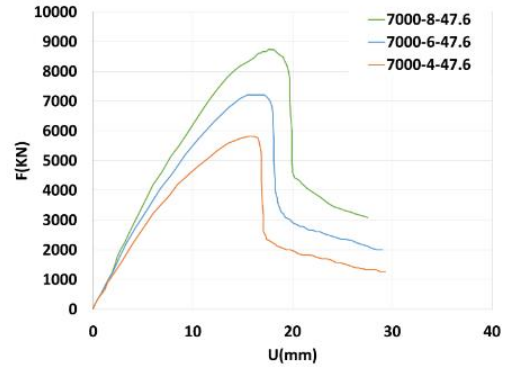
بمنظور مطالعه و بررسی اثر تاثیر گذاری حساسیت تغییرات پارامترهای موثر همچون مقاومت فشاری بتن، و ضخامت جدار فولادی بر روی رفتار مکانیکی ستون های CFT از جمله سختی و شکل پذیری، با انجام تحلیل حساسیت اجزای محدود FEM بر روی ۲۷ نمونه مطالعاتی بر روی پارامترهای ضخامت جدار فولادی و مقاومت فشاری بتن برای سه گروه مطالعاتی A, B, C، نمودار ۱۸ و ۱۹ حاصل شد.



شکل ۱۸- نمودار درصد تغییرات سختی نسبت به تغییرات پارامتر ضخامت فولادی و مقاومت فشاری بتن



شکل ۱۹ - نمودار درصد تغییرات شکل پذیری نسبت به تغییرات پارامتر ضخامت فولادی و مقاومت فشاری بتن



شکل ۱۶- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

در شکل ۱۷ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن و ضخامت فولادی و پارامتر متغیر ارتفاع مشاهده می شود، با تغییر در ارتفاع نمونه های ستون های CFT با مقطع هندسی L شکل مشاهده شد، با افزایش ۶۶٪ درصدی ارتفاع نمونه از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ تحت اثر ضخامت و ارتفاع ثابت، مقاومت با نمونه ها به طور میانگین ۶ درصدی کاهش پیدا کرد، و در ادامه با افزایش ۳۳ درصدی ارتفاع نمونه ها از ۱۲۰۰ به ۱۶۰۰، مقاومت نمونه ها از به طور میانگین ۵ درصد کاهش داشت. با بررسی پارامتر شکل پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، با افزایش ارتفاع مقطع ستون های CFT سختی مقطع ۱۸/۴۱٪ و شکل پذیری نیز ۱۵/۲۹ درصد به طور میانگین کاهش یافته است.

۲- در مرحله اول با تغییر در ضخامت لوله‌های فولادی از ۴ میلی‌متر به ۶ میلی‌متر و ۸ میلی‌متر در ستون‌های CFT با مقطع هندسی L شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B) و (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۳۳ درصدی ضخامت لوله از ۴ به ۶ میلی‌متر و ۸ میلی‌متر تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۲۵ درصد افزایش پیدا کرد که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر ضخامت بر روی بالا رفتن مقاومت این مقاطع می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B) و (C)، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان این نمونه‌ها مشاهده شد، که با افزایش ضخامت جدار فولادی، تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت برای ستون‌های CFT، شکل‌پذیری ۱۶ درصد، و سختی ۲۱ درصد به طور میانگین برای نمونه‌های ستون‌های CFT افزایش می‌یابد.

۳- در مرحله دوم با تغییر در مقاومت فشاری بتن هسته از ۴۷/۶ به ۶۰ و ۷۰ مگاپاسکال در ستون‌های CFT با مقطع هندسی L شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B) و (C) با انجام تحلیل اجزاء محدود، و با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان، مشاهده شد که با افزایش مقاومت فشاری بتن هسته از ۴۷/۶ به ۶۰ مگاپاسکال مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۵ درصد افزایش پیدا کرد، و در ادامه با افزایش مقاومت فشاری بتن هسته از ۶۰ به ۷۰ مگاپاسکال مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۶/۵ درصد افزایش پیدا کرد، که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر مقاومت فشاری بتن بر روی بالا رفتن مقاومت این مقاطع می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B) و (C) با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان این نمونه‌ها مشاهده شد، که با افزایش مقاومت فشاری بتن هسته، شکل‌پذیری ۱۲ درصد، برای نمونه‌های ستون‌های CFT افزایش می‌یابد. اما افزایش مقاومت فشاری بتن، تاثیر زیادی در افزایش سختی نداشت و تنها سختی به طور میانگین ۲ درصد افزایش یافته و نتیجه شد که افزایش مقاومت فشاری بتن هسته سبب بالا رفتن سختی زیاد نمونه نمی‌شود.

۴- در مرحله سوم با تغییر در ارتفاع نمونه‌های ستون‌های CFT با مقطع هندسی L شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B) و (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۲۵ درصدی ارتفاع نمونه از ۴۰۰۰ به ۵۰۰۰ تحت اثر ضخامت و ارتفاع ثابت، مقاومت نمونه‌ها به طور میانگین ۲/۵ درصد کاهش پیدا کرد، و در ادامه با افزایش ۴۰ درصدی ارتفاع نمونه‌ها از ۵۰۰۰ به ۷۰۰۰، مقاومت نمونه‌ها به طور میانگین ۵ درصد کاهش داشت، که این خود نشان‌دهنده تاثیر تغییر ضخامت بر روی کاهش مقاومت مقاطع ستون‌های CFT با مقطع هندسی L شکل می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B) و (C) مشاهده شد، که با افزایش ارتفاع نمونه‌ها، ستون‌های CFT با مقطع

با مشاهده نمودار ۱۹ و ۲۰ که از تحلیل حساسیت اجزای محدود ۲۷ نمونه مطالعاتی حاصل شد مشاهده گردید، که تغییر پارامتر مقاومت فشاری بتن (Fc) نسبت به تغییر ضخامت تیوب فولادی تاثیر کمتری بر روی، پارامتر شکل‌پذیری و سختی ستون‌های CFT خواهد داشت. مقدار پارامتر سختی مقاطع ستون CFT با تغییر ضخامت تیوب جدار فولادی از ۴ به ۶ و ۸ میلی‌متر ۱۶٪ درصد به طور میانگین تغییر یافته است، اما پارامتر سختی با تغییر مقاومت فشاری بتن از ۴۶/۷ به ۶۰ و ۷۰ مگاپاسکال تنها ۲ درصد تغییر داشته است، همچنین نیز شکل‌پذیری مقاطع ستون‌های CFT با تغییر ضخامت جدار تیوب فولادی ۱۸٪ درصد تغییر یافته است، که این تغییر پارامتر شکل‌پذیری با تغییر مقاومت فشاری بتن تنها ۷٪ بوده است. که نشان دهنده این مطلب می‌باشد که تغییر ضخامت جدار تیوب فولادی در مقاطع CFT با مقطع L شکل تاثیر بیشتری بر روی تغییر رفتار مکانیکی ستون‌های CFT خواهد داشت. همین موضوع نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت فولاد می‌توان نقص کاهش ظرفیت باربری ستون‌های CFT با مقطع نامتقارن L شکل که به علت عدم ایجاد تامین محصورشدگی بتن هسته نسبت به مقاطع متقارن بود را بدون افزایش پارامتر مقاومت فشاری بتن (Fc)، تامین کرد و این نقص ستون‌های CFT را تنها با تغییر در ضخامت جدار فولاد کاهش داد.

۱۰- نتیجه گیری

۱- در این مقاله ابتدا به تعریف مقاطع ستون‌های CFT با مقطع هندسی L شکل و تشریح رفتار سازه ای و رفتار مقاطع مرکب SRC و CFT پرداخته شد، و این نتیجه‌گیری حاصل شد که شکل‌پذیری، ظرفیت چرخشی، مقاومت خمشی و سختی مقاطع CFT نسبت به مقاطع SRC بیشتر است و رفتار مکانیکی ستون‌های مرکب CFT در مقایسه با ستون‌های SRC بهتر می‌باشد. در ادامه مزایای ستون‌های CFT نسبت به ستون‌های بتنی و خالص فولادی مورد بررسی قرار گرفت که از جمله مزایای این ستون‌ها می‌توان به عملکرد لرزه‌ای عالی، استحکام بالا، انعطاف‌پذیری بالا و ظرفیت جذب انرژی بیشتر نسبت به مقاطع RC و خالص فولادی در صنعت ساختمان سازی اشاره کرد همین عوامل سبب گسترش روز افزون اینگونه ستون‌ها در مقایسه با ستون‌های بتنی و فولادی شده است، در ادامه نیز به منظور بررسی اثر لاغری ستون‌های CFT با مقطع L شکل بر روی ظرفیت محوری ۲۷ نمونه ستون CFT با مقطع L شکل توسط نرم افزار آباکوس مدل‌سازی شد که جزئیات مدل‌سازی در بالا توضیح داده شد. این نمونه‌ها از لحاظ ضخامت، ارتفاع، مقاومت فشاری به سه گروه (A) و (B) و (C) طبقه‌بندی شد، نتایج بدست آمده از این پژوهش که توسط تحلیل اجزای محدود توسط نرم‌افزار آباکوس حاصل شد در پایین تشریح شده است.

specification, American Institute of steel Construction, Chicago, 1999.

10- CECS 28:90. Specification for design and construction of concrete-filled steel tubular structures Beijing: China planning press, 1992. (in chinese).

11- Zhi-Liang Zuo, Axial load behavior of L-shaped CFT stub columns with binding bars, Dept. of Civ. Engrg., South China University of Technology, Guangzhou 510641, PR China, 2015.

12- Ying-Tao Wang, Hysteretic behavior of square CFT columns with binding bars, Department of Civil Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China, 2017.

13- Jian Cai, Axial load behavior of square CFT stub column with binding bars, Department of Civil Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China 2006.

[34]- Zhi-Liang Zuo, Eccentric load behavior of L-shaped CFT stub columns with binding bars, Dept. of Civ. Engrg., South China University of Technology, Guangzhou 510640, PR China, 2012.

14- Y.Q. Tu, Behaviour of multi-cell composite T-shaped concrete-filled steel tubular columns under axial compression, Department of Civil Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China, 2014

15- Feng Fu, Effect of reinforcement stiffeners on square concrete-filled steel tubular columns subjected to axial compressive load, Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China of China Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China, 2014.

16- Y.Q. Tu, Behaviour of multi-cell composite T-shaped concrete-filled steel tubular columns under axial compression, Department of Civil Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China, 2015

هندسی شکل، سختی، شکل‌پذیری، و قابلیت جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

۵- در مرحله چهارم با انجام تحلیل حساسیت اجزای محدود بر روی ۲۷ نمونه مطالعاتی بر روی پارامتر ضخامت جدار فولادی و مقاومت فشاری بتن مشاهده شد، که تاثیر تغییرات ضخامت جدار فولادی بر روی شکل‌پذیری و سختی مقطع به طور میانگین ۲۳/۴۱٪ بیشتر از پارامتر موثر مقاومت فشاری بتن است.

۶- در مرحله پنجم با انجام تحلیل حساسیت اجزای محدود بر روی ۲۷ نمونه مطالعاتی بر روی پارامتر ضخامت جدار فولادی و مقاومت فشاری بتن مشاهده شد، که تاثیر تغییرات ضخامت جدار فولادی بر روی مقاومت مقطع به طور میانگین ۱۸/۳۱٪ بیشتر از پارامتر موثر مقاومت فشاری بتن است. همین موضوع نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت فولاد می‌توان نقص کاهش ظرفیت باربری ستون های CFT با مقطع نامتقارن L شکل که به علت عدم ایجاد تامین محصورشدگی بتن هسته نسبت به مقاطع متقارن بود را بدون افزایش پارامتر مقاومت فشاری بتن (f_c)، تامین کرد و این نقص ستون‌های CFT را تنها با تغییر در ضخامت جداره فولاد کاهش داد.

مراجع

- ۱- مجله ستون‌های مرکب فولادی "بتنی، مجله گروه مهندسين دريان" زمستان ۹۳
- ۲- مجله ستون های Cft چیست "مجله کمیته ساز های کامپوزیت CFT" پاییز ۹۰
- ۳- نقی پور، م، ابراهیم زاده، ص، یحیی نژاد، م تیر ۱۳۹۵، "مطالعه رفتار ستون‌های چند حفره‌ای پر شده با بتن" پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
- ۴- مطالعه ستون‌های لوله‌ای کوتاه پر شده با بتن (CFT) مقالات تحلیلی آموزشی موسسه ۸۰۸
- ۵- احمدی، م، خیرالدین، و نادر پور، پاییز ۸۹ "بررسی رفتار و مقایسه آیین‌نامه‌های معتبر دنیا در زمینه ستون‌های مرکب بتنی و فولادی"، مجله مدلسازی در مهندسی، سال هشتم، شماره ۲۲.
- ۶- نقی پور، م، نعمت زاده، م، مهر ۱۳۹۱، "تعیین روابط محصور شدگی فعال بتن تر با استفاده از پیش تنیدگی لوله‌های فولادی" پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه مازندران.
- 7- Zhi-Liang Zuo, Axial load behavior of L-shaped CFT stub columns with binding bars, Dept. of Civ. Engrg., South China University of Technology, Guangzhou 510641, PR China, 2015
- 8- Ying-Tao Wang, Hysteretic behavior of square CFT columns with binding bars, Department of Civil Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China, 2017
- 9- AISC. Load and resistance factor design specification for structural steel buildings, AISC

Investigation of the Effective Factors for Eliminating the Defect in the CFT Columns with an Asymmetric L-shaped Columns by the Finite Element Analysis

Seyed Ali Mousavi Davoudi

Senior Researcher, Tabari High School of Babol, Babol, Iran

Morteza Neghipour*

Professor, Faculty of Civil Engineering, Babol University of Technology, Babol, Iran

Abstract

The use of CFT-filled steel columns is increasing worldwide due to the proper co-operation of concrete and steel, with more concrete steel columns being implemented in circular shapes, which is due to the fact that the core concrete is more enclosed with the circular cross-sections, but sometimes it is impossible to use symmetrical cross sections and other forms such as L-shaped crosses are used, which create less confinement for the core because of their asymmetry. This issue decreases the bearing capacity on these columns formed by an asymmetric L-section. The aim of this study was to study the asymmetric L-shaped cross-section of steel-filled concrete columns in order to provide the reduction of confinement due to effective parameters such as height, steel cross-section thickness and compressive stress. In this investigation, steel wall thickness, height, and compressive strength of concrete on the effect of securing core concrete confinement in L-shaped sections under finite element analysis were observed that the effect of steel wall thickness (t) in L-shaped cross-sections is one of the most effective parameters to remove the confinement defect that the impact of this effect is, on average, about 18.31% more higher than the parameters of height and compressive strength of concrete. Finally, it was concluded that the asymmetric L-shaped sections would be more confined by changing the thickness of the steel wall compared to the concrete compressive strength and height parameter.

Keywords: Steel column filled with concrete CFT, Axial force, Finite element analysis, L-shaped, Sensitivity analysis