

مطالعه رفتار مکانیکی ستون‌های مرکب فولادی پرشده با بتن با سطح مقطع (T) شکل تحت تحلیل حساسیت عددی اجزای محدود تحت بار محوری

سیدعلی موسوی داودی*

کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی طبری، بابل، ایران

مرتضی نقی پور

استاد دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

Ali_mousavii@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۶/۱۸

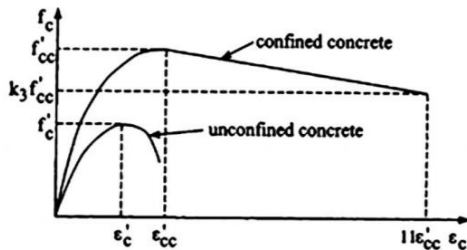
چکیده:

ستون‌های فولادی پر شده با بتن (Concrete Filled Tube (CFT در سالیان اخیر به علت مزایای فراوان خود در ساختمان‌های بلند و صنعتی، پل‌ها، اسکله‌ها و نیز شمع‌ها رواج زیادی پیدا کرده است. این ستون‌ها اغلب بیشتر در اشکال دایره‌ای اجرا می‌گردد. دلیل اصلی این موضوع این نکته است که مقاطع دایره‌ای محصور شدگی بیشتری را نسبت به مقاطع دیگر در بتن هسته ایجاد می‌کند. این مهم سبب گردیده که مقاطع دایره‌ای نسبت به مقاطع دیگر در ستون‌های CFT بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. اما در بعضی از مواقع استفاده از مقاطع دایره‌ای غیر ممکن خواهد شد و مجبور به استفاده از اشکال خاص از جمله مقطع مربع و مسطیل و مقاطع با اشکال L و T شکل در بعضی از قسمت‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اهمیت این موضوع در این مقاله سعی گردید که به معرفی و بررسی رفتار مکانیکی ستون‌های CFT با مقطع هندسی T شکل و بررسی اثر پارامتری ضخامت جدار فولاد، و تنش فشاری بتن، بر روی ظرفیت و رفتار مکانیکی این ستون‌ها پرداخته شود، در انتها بعد از انجام پژوهش مشخص گردید، در ستون‌های CFT با مقطع هندسی T شکل، بین اثر ضخامت جدار فولادی و نوع بتن، پارامتر ضخامت جدار فولادی پارامتر تاثیرگذارتری بر روی ظرفیت باربری ستون‌های CFT است، همچنین بین پارامتر ضخامت جدار فولادی و ارتفاع مقطع، تاثیر تغییرات ارتفاع بر روی شکل پذیری و سختی و ظرفیت باربری مقطع به طور میانگین بیشتر از پارامتر ضخامت جدار فولادی است.

کلید واژگان: ستون فولادی پر شده با بتن، نیروی محوری، تحلیل اجزای محدود.

۱- مقدمه

ستون‌ها، تیرها و دال‌های با دهانه‌های متوسط و بزرگ در ساختمان‌ها و همچنین در پایه و تیرهای پل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از ستون‌های مرکب به علت همکاری توأم و مناسب بتن و فولاد در بسیاری از سیستم‌های سازه‌ای در سرتاسر جهان در حال افزایش است [۴].



شکل ۱- نمودار نیرو-تغییر مکان بتن محصور شده و غیر محصور شده [۵]

در مقابل مزایای فوق ستون‌های مختلط پر شده با بتن CFT همانگونه که در شکل (۱) نشان داده شده است یکی از مهمترین مزایای ستون‌های CFT ایجاد محصورشدگی زیاد برای بتن هسته است که این موضوع سبب افزایش ظرفیت باربری بتن هسته و ستون مرکب CFT و ایجاد مقاطع و المانی‌های سازه‌ای با ابعاد کوچک‌تر می‌گردد [۵] و [۶].

۲- انواع مقاطع ستون‌های فولادی پر شده با بتن (CFT)

ستون‌های فولادی پر شده با بتن اغلب بیشتر در اشکال دایره‌ای اجرا می‌شود علت اصلی آن این است که مقاطع دایره‌ای محصور شدگی بیشتری را در بتن هسته ایجاد می‌کند و این موضوع سبب می‌شود که مقاطع دایره‌ای رفتار مکانیکی بهتری را نسبت به مقاطع دیگر برای ستون‌های CFT فراهم کند [۷]. سطح موثر محصور شده در مقاطع دایره‌ای در ستون‌های CFT بیشتر از مقاطع چهار گوش می‌باشد، اما با توجه به واقف بودن به این موضوع، مقاطع دایره‌ای در بعضی از قسمت‌ها غیر قابل کاربرد می‌باشد، از جمله این موارد می‌توان به رعایت کردن ملاحظات معماری در بعضی از قسمت‌های قاب ساختمانی اشاره کرد. بنابراین در اینگونه موارد می‌توان به جای مقاطع دایره‌ای از مقاطع دیگر از جمله مستطیلی، مربعی و اشکال خاص دیگر از جمله (H,T,L) شکل استفاده کرد، که از رایج‌ترین مقاطع ستون‌های CFT علاوه بر مقاطع دایره‌ای هستند. مطابق شکل ۲، نمونه‌هایی از انواع مقاطع کاربردی در ستون‌های CFT را مشاهده کرد [۸].

طبق تعریف ستون کامپوزیت به ستونی گفته می‌شود که از ویژگی‌های بتن و فولاد با هم بهره‌برد. به بیان دیگر ستون کامپوزیت مزایای هر دو مصالح را دارا بوده و از طرفی معایب آن‌ها را جبران می‌کند. ستون‌های کامپوزیت کمانش موضعی را به دلیل مقاومت بتن به تأخیر انداخته و از طرفی مقاومت آن‌ها به دلیل تماس بین فولاد و بتن از ستون‌های بتن آرمه بیشتر است، در این بین ستون‌های CFT ستون‌های پر شده با بتن هستند که دارای خصوصیات عالی از جمله مقاومت کششی بالا، شکل‌پذیری بالا و ظرفیت جذب انرژی بالا می‌باشند. علاوه بر افزایش قابل توجه ویژگی‌های سازه‌ای، ستون‌های CFT می‌تواند زمان ساخت را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. تحقیقات مختلفی راجع به ستون‌های CFT در سال‌های اخیر صورت گرفته است [۱]. پوسته فولادی به عنوان مقاوم کننده طولی و عرضی عمل می‌کند. همچنین پوسته فشار محصورشدگی برای بتن فراهم می‌کند که بتن را تحت تنش در تمام جهات قرار می‌دهد. به عبارت دیگر پوسته فولادی، هسته بتنی را تقویت می‌کند. این می‌تواند از کمانش لوله فولادی جلوگیری کند و پایداری و مقاومت کششی ستون فولادی را افزایش دهد. شکل زیر اثر محصورشدگی بتن در ظرفیت باربری آن را نشان می‌دهد. در ستون‌های CFT محل قرارگیری جدار فولادی در پیرامون مقطع، یعنی جایی که تنش‌های خمشی و کششی مؤثرتر هستند، باعث افزایش قابل توجه در سختی و مقاومت مقطع می‌شود. ستون‌های مرکب دایروی در سال ۱۸۹۷ اختراع شده بود و در برخی از ساختمان‌ها و پل‌های قرن بیستم استفاده گردید. تحقیقات گسترده روی رفتار مکانیکی این ستون‌ها در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ انجام شد (نولز، پارک). در دهه ۱۹۸۰ آزمایشات گسترده و مطالعات تئوری روی بهبود لرزه‌ای ستون‌های CFT و روی رفتار مکانیکی ستون‌های CFT پر شده با بتن پر مقاومت انجام شد. (رینجن، جویس، وارمر و ژنگ) در نیمه بعدی دهه ۱۹۸۰ تکنولوژی پمپ کردن بتن و توسعه بتن پر مقاومت، استفاده از ستون‌های CFT در ساختمان‌های بلندمرتبه را ممکن کرد. از اواخر دهه ۱۹۸۰ ساختمان‌های بلندمرتبه زیادی در آمریکا، ژاپن، استرالیا و چین ستون‌های CFT را به عنوان یکی از المان‌های اصلی سازه برای مقاومت در برابر زلزله استفاده کردند. که بلندترین آنها ساختمان SEG Plaza با ۷۲ طبقه و ۲۹۳ متر ارتفاع از زمین و قرار گرفته در شن ژن چین بود. تقریباً همه تحقیقات و برنامه‌های ستون‌های CFT ستون‌های یک جداره پر شده با بتن هستند [۲] و [۳]. این سیستم را با عباراتی چون سیستم مرکب یا دوگانه معرفی می‌کنند. امروزه سیستم‌های مرکب به صورت موفقیت‌آمیزی در

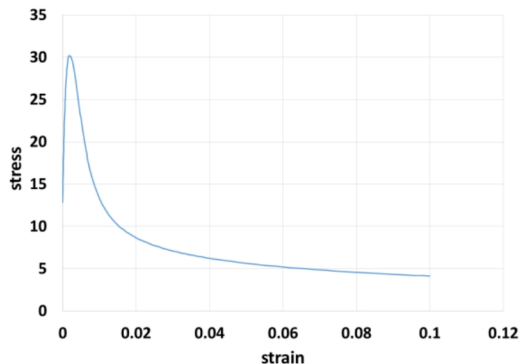
جدول ۱- مشخصات ایزوتروپیک خطی مکانیکی فولاد

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

جدول ۲- مشخصات ایزوتروپیک دو خطی مکانیکی فولاد

Yield stress (Mpa)	Plastic strain
240	0
370	0.28

همچنین در مدل‌سازی نمونه‌ها، از بتن با رفتار محصور شده با مقاومت فشاری ۲۳/۲ مگاپاسکال استفاده شده است، در شکل (۳) نمودار تنش- کرنش بتن‌های استفاده شده در این مدل‌سازی نشان داده شده است.

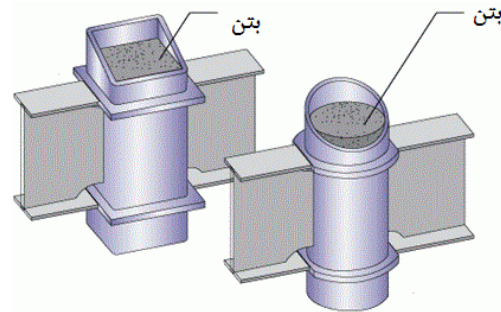


شکل ۳- نمودار تنش-کرنش مصالح بتن محصور شده مورد استفاده در مدل‌سازی با مقاومت فشاری ۲۳/۲ مگاپاسکال با مدل رفتاری مندر

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

۴- معرفی نمونه‌های مورد تحلیل

در این پژوهش بمنظور مطالعه و بررسی رفتار ستون‌های کامپوزیتی فولادی پرشده با بتن کوتاه با سطح مقطع هندسی T شکل تحت بارگذاری نیروی محوری تحت تحلیل حساسیت عددی FEM از سه گروه مطالعاتی به نام‌های A, B, C استفاده گردید، هر یک از این گروه‌های مطالعاتی دارای سه زیر مجموعه مطالعاتی می‌باشد، که در مجموع نه نمونه مطالعاتی را تشکیل می‌دهند، نمونه‌ها دارای مشخصات ذیل می‌باشد:



شکل ۲- انواع مقاطع ستون‌های CFT [۸]

با توجه به کاربرد مقاطع چهار گوش این مقاطع نسبت به مقاطع دایره ایی نیز دارای مزایا و معایبی هستند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مزایا:

- ساخت و ساز راحت‌تر و اجرای مناسب از لحاظ هندسه
- راحت بودن اتصالات تیر به ستون
- مقاومت خمشی بزرگتر به دلیل اینرسی مناسب مقطع نسبت به مقاطع دایره‌ای
- قاب‌های خمشی با ستون‌های CFT مربع شکل سختی و مقاومت بیشتری نسبت به قاب‌های خمشی CFT دایره‌ای شکل دارند [۹] و [۱۰].

معایب:

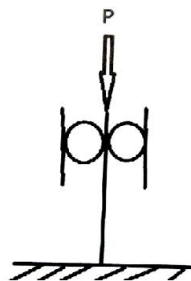
- اثر محصورشدگی کمتری نسبت به مقاطع دایره‌ای ایجاد می‌گردد.
- قاب‌های خمشی با ستون‌های CFT مربع شکل انرژی جذب شده و شکل‌پذیری کمتری نسبت به ستون‌های دایره‌ای دارند [۱۱].

۳- نحوه مدل‌سازی عددی

بمنظور بررسی رفتار محوری ستون‌های کوتاه CFT با مقطع هندسی T شکل در این پژوهش نه نمونه ستون CFT با مقطع هندسی T شکل که توسط نرم افزار آباکوس مدل‌سازی شد مورد بررسی قرار گرفت. مصالح به کار رفته در این مدل‌سازی از فولاد ST37 استفاده شد، مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی در مدل‌سازی نمونه‌ها در جدول (۱) و جدول (۲) نشان داده شده است.

۵- بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی مدل‌ها

برای مدل فوق بارگذاری محوری در یک انتها انجام می‌شود. در انتهایی که بارگذاری انجام می‌شود نمونه تنها در راستای Y می‌تواند جابه‌جا شود و در دو راستای دیگر از حرکت جلوگیری شده است و از لحاظ دورانی نمونه تنها در راستای Z می‌تواند دوران کند و در دو راستای دیگر از لحاظ دورانی جلوگیری شده است. در انتهای دیگر عضو از تمام جابجایی‌ها و دوران‌ها جلوگیری شده است. در شکل (۵) نمای کلی شماتیک عضو و تکیه‌گاه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۵- شرایط تکیه‌گاهی نمونه‌های مدلسازی شده

۶- جزئیات مدلسازی نمونه‌ها

جهت مدلسازی نمونه‌های طراحی شده، از نرم‌افزار 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 غیر خطی لحاظ گردید. برای تیوب فولادی ستون مشخصات مکانیکی فولاد نرمه (ST37)، مشخصات بتن (C23.2) 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 و از حالت پالتی با ضریب $0/8$ به صورت سطح به سطح استفاده شد [۱۲].

گروه (A)، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۲۰۰۰

میلی‌متر و مقطع هندسی T شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۷-۹) میلی‌متر و تحت یک تنش فشاری بتن (۲۳/۲) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول (۳) و شکل (۴) جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

گروه (B)، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۴۰۰۰ میلی-متر

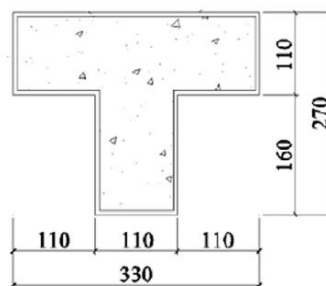
و مقطع هندسی T شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۷-۹) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۲۳/۲) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول (۳) و شکل (۴) جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

گروه (C)، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۸۰۰۰ میلی-متر

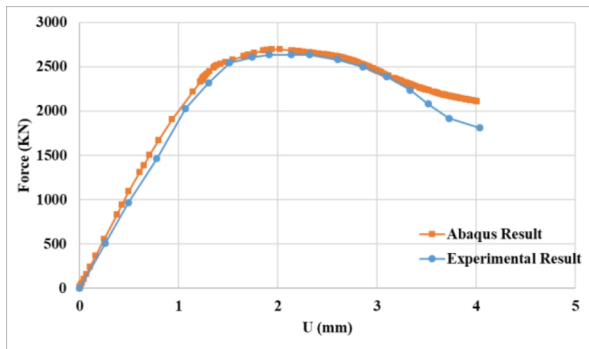
و مقطع هندسی T شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۷-۹) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۲۳/۲) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول (۳) و شکل (۴) جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳- جزئیات نمونه مدلسازی گروه A

ارتفاع (h)(mm)	تنش فشاری بتن (f_c) (mpa)	ضخامت تیوب فولادی (t) (mm)	ابعاد (a×b) (mm)	نام نمونه
h=2000	$f_c=23.2$	t={4,6,8}	330×270	A
h=4000				B
h=8000				C



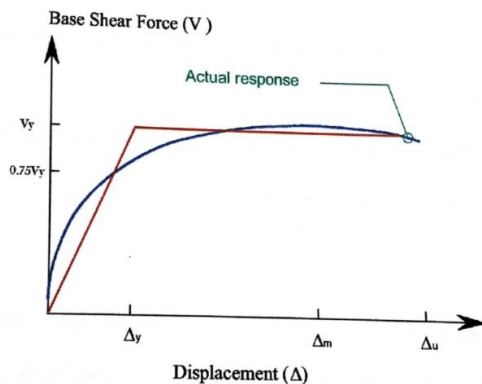
شکل ۴- جزئیات هندسه نمونه گروه C [۱۲]



شکل ۷- نمودار نیرو-تغییرمکان نمونه مدل‌سازی شده و آزمایشگاهی نمونه T
شکل [۱۲]

۸- روابط تئوریک سستی و شکل پذیری

در این روش که توسط پریستلی و پائولی بیان شد یک مقدار برای V_y (مقاومت تسلیم سازه) فرض شده، سپس از مبدأ به نقطه $0.75V_y$ روی منحنی تغییرمکان- نیروی برش پایه شکل (۸) وصل نموده و تا خط V_y ادامه داده می‌شود. از محل تقاطع این دو خط منحنی مذکور افقی فرض می‌شود [۱۳].

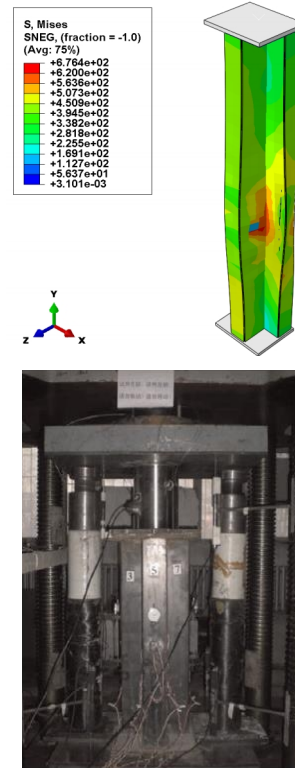


شکل ۸- روش PriestTey & PauTay [۸] و [۹]

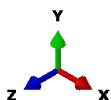
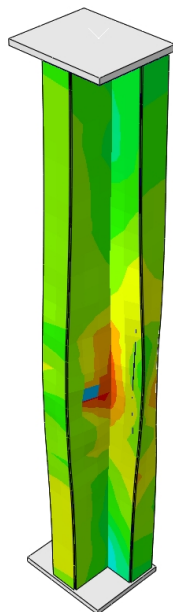
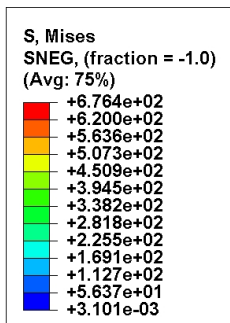
در شکل (۸) که مربوط روش پریستلی و پاولی می‌باشد یک نمودار دو خطی برش پایه-جابه‌جایی نشان داده شده است که K_0 (K) سستی الاستیک نمودار دو خطی است که شیب قسمت خطی منحنی نیرو-

۷- صحت سنجی

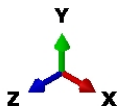
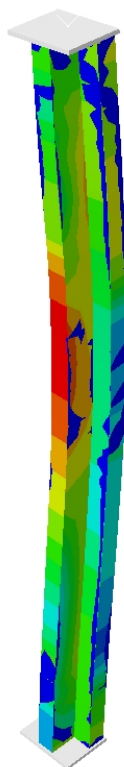
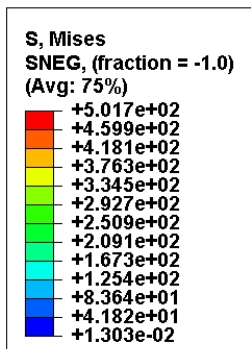
جهت بررسی صحت مطالعات صورت گرفته با فرضیات مدل‌سازی مذکور، با ساخت نمونه مشابه با نمونه آزمایشگاهی مدل‌سازی شده توسط آقای یوان لانگ یانگ و همکاران در محیط نرم‌افزار آباکوس، نتایج مربوط به هر دو حالت با یکدیگر مقایسه گردیدند. در شکل (۶) شمای کلی نمونه مدل‌سازی شده با نرم افزار آباکوس و نمونه آزمایشگاهی 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 ۴٫۵٪ بود در شکل (۷) می‌توان نمودارهای نیرو-تغییرمکان نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدل‌سازی شده با نرم افزار آباکوس را مشاهده کرد [۱۲] و [۱۳].



شکل ۶- شمای کلی نمونه مدل‌سازی شده با نرم افزار آباکوس و نمونه
آزمایشگاهی [۱۲]



شکل ۱۰- تنش فون مایسز نمونه گروه B مدل T شکل



شکل ۱۱- تنش فون مایسز نمونه گروه B مدل T شکل

تغییر مکان است و K_1 سختی سازه بعد از تسلیم می‌باشد که به صورت ضریبی از K_0 خواهد بود: [۱۴] و [۱۵]

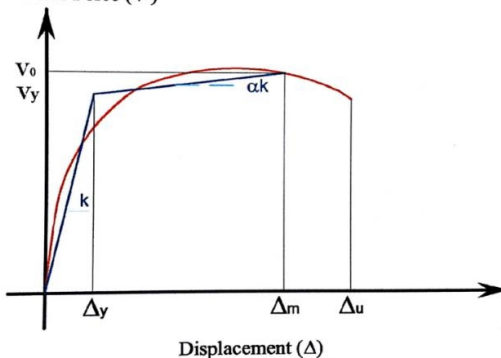
$$K_1 = \alpha K_0 = \frac{V_0 - V_y}{\Delta_m - \Delta_y} \quad (1)$$

در رابطه فوق V_y نیروی برش تسلیم، V_0 نیروی برشی ماکزیمم (بر روی منحنی دو خطی)، Δ_m تغییر مکان متناظر با V_0 ، Δ_y تغییر مکان متناظر با V_y و Δ_u تغییر مکان در آستانه شکست سازه می‌باشد. [۱۶] و [۱۷]

قابلیت یک سازه در داشتن تغییر مکان بالاتر از حد خطی و جذب انرژی در تغییر شکل‌های بزرگ به وسیله رفتار غیر خطی را شکل‌پذیری می‌گویند. معمولاً نسبت شکل‌پذیری به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۸]

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y}, \mu_{max} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2)$$

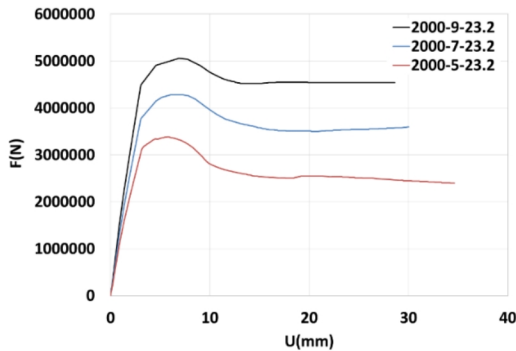
Base Shear Force (V)



شکل ۹- نمودار دو خطی برش پایه-جابه‌جایی [۱۸]

۹- یافته‌های تحلیل

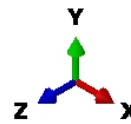
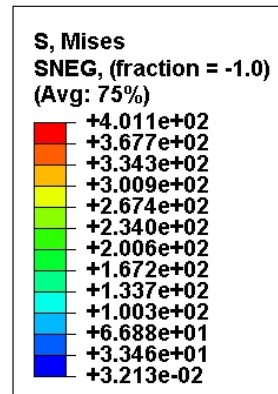
پس انجام تحلیل توسط نرم‌افزار آباکوس تنش‌های فون مایسز نمونه‌ها با ارتفاع ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۸۰۰۰ میلی‌متر را می‌توان در شکل ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مشاهده کرد.



شکل ۱۳- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

با بررسی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A در شکل (۱۳) مشاهده گردید، با تغییر در ضخامت لوله‌های فولادی از ۵ میلی‌متر به ۷ میلی‌متر و ۹ میلی‌متر در ستون‌های CFT با مقطع هندسی T شکل در نمونه‌های گروه (A) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۴۰ درصدی ضخامت لوله (از ۵ به ۷ میلی‌متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۲۶ درصد افزایش پیدا کرد و با افزایش ۲۴ درصدی ضخامت لوله (از ۷ به ۹ میلی‌متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۱۸ درصد افزایش پیدا کرد که این خود نشان‌دهنده 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)، 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، سختی، قابلیت جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه‌های ستون‌های کوتاه CFT افزایش می‌یابد.

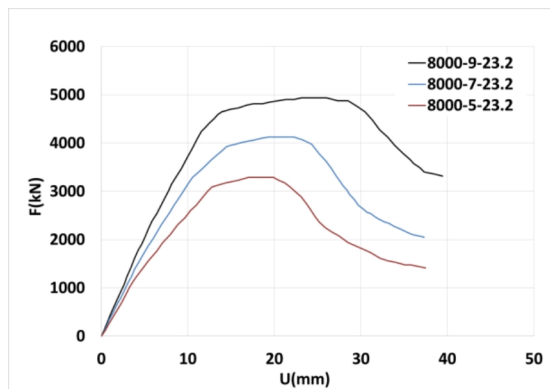
در شکل (۱۴) نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت جدار فولادی و پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲- تنش فون مایسز نمونه گروه C مدل T شکل

پس از انجام تحلیل نمونه‌های مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار آباکوس نمودار نیرو-تغییر مکان‌های نمونه با ارتفاع ۲۰۰۰ میلی‌متر تحت اثر پارامتر متغیر ضخامت مورد مقایسه قرار گرفتند که در شکل (۱۵) نمودارهای نیرو-تغییر مکان‌های نمونه‌های ذکر شده نشان داده شده است.

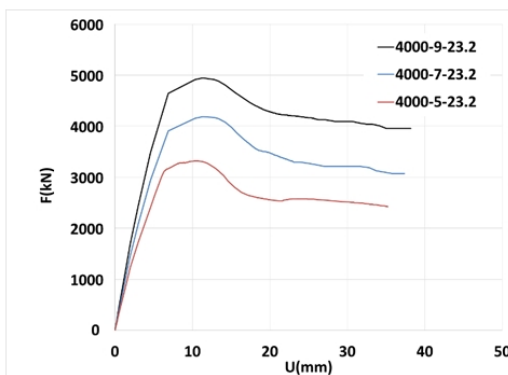
در شکل (۱۳) نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه C (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

با بررسی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه (C) در شکل (۱۵) مشاهده شد، با تغییر در ضخامت لوله های فولادی از ۵ میلی متر به ۷ میلی متر و ۹ میلی متر در ستون های CFT با مقطع هندسی T شکل در نمونه های گروه (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۴۰ درصدی ضخامت لوله (از ۵ به ۷ میلی متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه ها ذکر شده به طور میانگین ۲۴٫۵۳ درصد افزایش پیدا کرد و با افزایش ۲۴ درصدی ضخامت لوله (از ۷ به ۹ میلی متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه ها ذکر شده به طور میانگین ۱۷٫۶۵ درصد افزایش پیدا کرد که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر ضخامت بر روی بالا رفتن مقاومت این مقاطع می باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه (C)، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان این نمونه ها مشاهده شد، که با افزایش ضخامت جدار فولادی، تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت برای ستون های CFT، شکل پذیری، سختی، قابلیت جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه های ستون های کوتاه CFT افزایش می یابد.

در شکل (۱۶) نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه (مقطع T شکل) تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن و ضخامت فولادی و پارامتر متغیر ارتفاع مشاهده می شود،

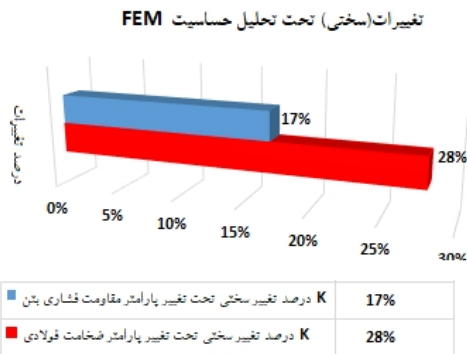


شکل ۱۴- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه B (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

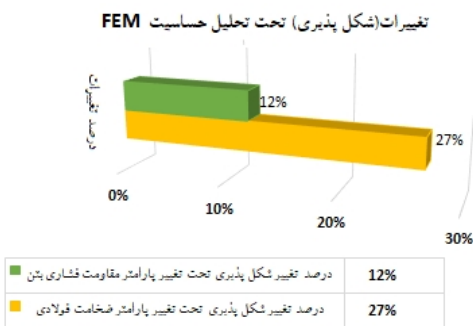
با بررسی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه B در شکل (۱۴) مشاهده شد، با تغییر در ضخامت لوله های فولادی از ۵ میلی متر به ۷ میلی متر و ۹ میلی متر در ستون های CFT با مقطع هندسی T شکل در نمونه های گروه (H) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۴۰ درصدی ضخامت لوله (از ۵ به ۷ میلی متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه ها ذکر شده به طور میانگین ۲۱٫۹۸ درصد افزایش پیدا کرد و با افزایش ۲۴ درصدی ضخامت لوله (از ۷ به ۹ میلی متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه ها ذکر شده به طور میانگین ۱۹٫۶۵ درصد افزایش پیدا کرد که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر ضخامت بر روی بالا رفتن مقاومت این مقاطع می باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه های (B)، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان این نمونه ها مشاهده شد، که با افزایش ضخامت جدار فولادی، تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت برای ستون های CFT، شکل پذیری، سختی، قابلیت جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه های ستون های کوتاه CFT افزایش می یابد.

در شکل (۱۵) نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه B (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت فولادی مشاهده می شود.

روی پارامترهای ضخامت جدا فولادی و مقاومت فشاری بتن برای سه گروه مطالعاتی (A)، (B)، (C) نمودار شکل ۲۲ و ۲۱ حاصل شد.

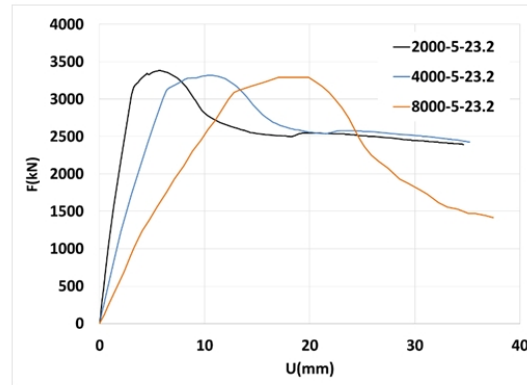


شکل ۱۷- نمودار درصد تغییرات سختی نسبت به تغییرات پارامتر ضخامت فولادی و مقاومت فشاری بتن



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

با مشاهد نمودار شماره (۱۷) و (۱۸) که از تحلیل حساسیت اجزای محدود FEM نه نمونه مطالعاتی حاصل شد مشاهده گردید، که تغییر ضخامت تیوب فولادی نسبت به تغییر پارامتر ارتفاع H تاثیر کمتری بر روی پارامتر شکل پذیری و سختی ستون های CFT خواهد داشت. مقدار پارامتر سختی مقاطع ستون CFT با تغییر ضخامت تیوب جدار فولادی از ۵ به ۷ و ۹ میلی متر ۱۴٪ درصد به طور میانگین تغییر یافته است، اما پارامتر سختی با تغییر ارتفاع ۲۳٪ درصد تغییر داشته است، همچنین نیز شکل پذیری مقاطع ستون های CFT با تغییر ضخامت جدار تیوب فولادی ۱۲٪ درصد تغییر یافته است، که این تغییر پارامتر شکل پذیری با تغییر ارتفاع ۲۷٪ بوده است، که نشان دهنده این مطلب می باشد که تغییر



شکل ۱۶- نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه A,B,C (مقطع T شکل) تحت پارامتر متغیر ارتفاع

با بررسی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه (A)، (B) و (C)، در شکل (۱۶) مشاهده شد با تغییر در ارتفاع نمونه های ستون های CFT با مقطع هندسی T شکل در نمونه های 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 ارتفاع نمونه از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ تحت اثر ضخامت و ارتفاع ثابت، مقاومت نمونه ها به طور میانگین ۱۲/۳۶ درصد کاهش پیدا کرد، و در ادامه با افزایش ارتفاع نمونه ها از ۴۰۰۰ به میلی متر مقاومت نمونه ها به طور میانگین ۱۷،۶۵ درصد کاهش داشت. که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر افزایش ارتفاع بر روی کاهش مقاومت مقاطع ستون های CFT کوتاه با مقطع هندسی L می باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه های (A)، (B) و (C) مشاهده شد، که با افزایش ارتفاع نمونه ها، ستون های CFT کوتاه با مقطع هندسی شکل، سختی، شکل پذیری، و قابلیت جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه ها کاهش می یابد.

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

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 نه نمونه مطالعاتی بر

- با انجام تحلیل حساسیت اجزای محدود بر روی نمونه‌های مطالعاتی مشاهده گردید، بین پارامتر ضخامت جدار فولادی و ارتفاع مشاهده شد، که تاثیر تغییرات ارتفاع بر روی شکل پذیری و سختی مقطع به طور میانگین ۸٪ بیشتر از پارامتر موثر ضخامت جدار فولادی است.

۱۱- نتیجه گیری

- با تغییر در ضخامت لوله‌های فولادی از ۵ میلی‌متر به ۷ میلی‌متر و ۹ میلی‌متر در ستون‌های CFT بلند با مقطع هندسی T شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B)، (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییرمکان ترسیم شده، مشاهده شد به طور میانگین با افزایش ۴۵ درصدی ضخامت لوله (از ۵ به ۷ میلی‌متر و ۹ میلی‌متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۲۳٪ درصدی افزایش پیدا کرد که این خود نشان‌دهنده تاثیر تغییر ضخامت بر روی بالا رفتن مقاومت این مقاطع می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییرمکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B)، (C) با توجه به نمودارهای نیرو - تغییرمکان 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.

۱۲. مراجع

- ۱- نقی پور، م، ابراهیم زاده، ص، یحیی‌نژاد، م تیر (۱۳۹۵)، " مطالعه رفتار ستون‌های چند حفره‌ای پر شده با بتن" پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
 - ۲- احمدی، م، خیرالدین، و نادر پور، پاییز (۱۳۸۹)، " بررسی رفتار و مقایسه آیین‌نامه‌های معتبر دنیا در زمینه ستون‌های مرکب بتنی و فولادی"، مجله مدلسازی در مهندسی، سال هشتم، شماره ۲۲.
 - ۳- نقی‌پور، م، نعمت‌زاده، م، مهر (۱۳۹۱)، "تعیین روابط محصور شدگی فعال بتن تر با استفاده از پیش‌تنیدگی لوله‌های فولادی" پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه مازندران.
 - ۴- (نشریه ۵۲۴)، راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی (۱۳۸۹). معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور
 - ۵- موسوی، ع، مطالعه و بررسی رفتار مکانیکی ستون‌های CFT، با مقطع هندسی T شکل، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، نقی‌پور، م. (استاد راهنما) دانشکده مهندسی عمران دانشگاه نوشیروانی بابل،
 - ۶- چوگلی، هیوا، (۱۳۸۳)، رفتار سازه‌ای ستون‌های CFT و روش‌های تحلیل آن، یازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان، عمران
 - ۷- بهره‌دار، پدram و حسنعلی مسلمان یزدی، (۱۳۹۵)، بررسی رفتار ستون‌های مرکب CFT و SRC تحت بارگذاری لرزه‌ای، چهارمین همایش ملی مصالح ساختمانی و فناوری‌های نوین در
- ارتفاع مقاطع CFT با مقطع T شکل تاثیر بیشتری بر روی تغییر رفتار مکانیکی ستون‌های CFT خواهد داشت.
- با تغییر در ضخامت لوله‌های فولادی از ۵ میلی‌متر به ۷ میلی‌متر و ۹ میلی‌متر در ستون‌های CFT بلند با مقطع هندسی T شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B)، (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییرمکان ترسیم شده، مشاهده شد به طور میانگین با افزایش ۴۵ درصدی ضخامت لوله (از ۵ به ۷ میلی‌متر و ۹ میلی‌متر) تحت اثر مقاومت فشاری و ارتفاع ثابت مقاومت تمامی نمونه‌ها ذکر شده به طور میانگین ۲۳٪ درصدی افزایش پیدا کرد که این خود نشان‌دهنده تاثیر تغییر ضخامت بر روی بالا رفتن مقاومت این مقاطع می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییرمکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B)، (C) با توجه به نمودارهای نیرو - تغییرمکان 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.
- با تغییر در ارتفاع نمونه‌های ستون‌های CFT کوتاه با مقطع هندسی T شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B)، (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییرمکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۶۶٪ درصدی ارتفاع نمونه از ۲۰۰۰ به ۴۰۰۰ میلی‌متر تحت اثر ضخامت و ارتفاع ثابت، مقاومت نمونه‌ها به طور میانگین ۱۲،۳۶ درصدی کاهش پیدا کرد، و در ادامه با افزایش ۵۰٪ درصدی ارتفاع نمونه‌ها از ۴۰۰۰ به ۸۰۰۰ میلی‌متر مقاومت نمونه‌ها از به طور میانگین ۱۶،۸۵ درصد کاهش داشت. که این خود نشان‌دهنده تاثیر تغییر ارتفاع بر روی کاهش مقاومت مقاطع ستون‌های CFT با مقطع هندسی T می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییرمکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B)، (C) مشاهده شد، که با افزایش ارتفاع نمونه‌ها، ستون‌های CFT با مقطع هندسی T شکل، سختی، شکل‌پذیری، و قابلیت جذب انرژی به دلیل افت و کاهش سطح زیر نمودار منحنی نیرو-تغییرمکان نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

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

عمران، معماری و شهرسازی، میبد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد،

8- Yuanlong Yang, Static behavior of T-shaped concrete-filled steel tubular columns Subjected to concentric and eccentric compressive loads, Thin-Walled Structures 95(2015)374-38811.

۹. موسوی داودی، سیدعلی، (۱۳۹۴)، مطالعه و بررسی تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور، هفتمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران.

۱۰. علی پورآسیابدری، اسماعیل و مقداد صفری سیاهکل، (۱۳۸۷)، معرفی برنامه تعیین ضریب رفتار سازه به روش دوخطی کردن نمودار ظرفیت، همایش ملی مقاوم سازی ایران، یزد، دانشگاه یزد،

11- AISC. load and resistance factor design specification for structural steel buildings, AISC specification, American Institute of steel Construction, Chicago, 1999.

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

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

14- Jian Cai, Axial Toad behavior of square (CFST) stub column with binding bars, Department of Civil Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China 2006.

15- Zhi-Tiang Zuo, Eccentric Toad behavior of T-shaped (CFST) stub columns with binding bars, Dept. of Civ. Engrg., South China University of Technology, Guangzhou 510640, PR China, 2012.

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, 2014

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

The study of mechanical behavior of composite steel columns filled with concrete with cross-section (T) shape under numerical sensitivity analysis of finite element under axial load

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

(Ali_mousavii@yahoo.com)

Abstract:

Concrete Filled Tube (CFT) steel columns have become increasingly popular in recent years due to their many advantages in industrial and high-rise buildings, bridges, piers and piles. These columns often run in circular shapes. The main reason for this is that circular sections create more confinement than other sections in core concrete. This caused the circular sections to be used more frequently in the CFT columns than other sections. But sometimes it will be impossible to use circular sections and will have to use special forms, such as square and mesial sections, and L and T-shaped sections in some parts of the building. Due to the importance of this issue in this paper, we tried to introduce and investigate the mechanical behavior of CFT columns with T-shaped geometrical cross section and to investigate the parametric effect of steel wall thickness, and concrete compressive stress, on the mechanical capacity and behavior of these columns. Finally, after conducting the research, it was found that in CFT columns with T-geometrical cross section, between the effect of steel wall thickness and the type of concrete, the steel wall thickness parameter is the most influential parameter on the bearing capacity of the CFT columns, and also between the steel wall thickness parameter and the cross section height, Influence of elevation changes on ductility, hardness, and bearing capacity of the cross section It is greater than the thickness of the steel wall.

Keywords: Steel column filled with concrete, Axial force, Finite element analysis.