

# مطالعه و بررسی رفتار ستون‌های کامپوزیتی فولادی پر شده با بتن کوتاه (غیر لاغر) با سطح مقطع هندسی (L) شکل تحت تحلیل حساسیت عددی (FEM) با بارگذاری فشاری محوری

سید علی 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

m-nagi@nit.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۱/۲۷

## چکیده:

در سالیان اخیر استفاده از مقاطع فولادی پر شده با بتن (CFST) به دلیل مزایای بسیار زیاد از جمله، عملکرد لرزه‌ای عالی، استحکام بالا، انعطاف پذیری بالا و ظرفیت جذب انرژی نسبت به مقاطع بتنی (RC) و فولادی در صنعت ساختمان سازی گسترش زیادی پیدا کرده است، این ستون‌ها اغلب بیشتر در اشکال دایره‌ای اجرا می‌گردد. دلیل اصلی این موضوع این نکته هست، 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 (CFST) بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. اما در بعضی از مواقع استفاده از مقاطع دایره‌ای غیر ممکن خواهد شد، از جمله این موارد می‌توان رعایت ملاحظات معماری، اجرای اتصالات اقتصادی‌تر و آسان‌تر در مقاطع چهارگوش نسبت به مقاطع دایره‌ای، را نام برد، این دلایل سبب می‌گردد، 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 کوتاه (CFST) با مقطع هندسی L شکل و بررسی اثر پارامتری ضخامت جدار فولاد، و تنش فشاری بتن، بر روی ظرفیت و رفتار مکانیکی این ستون‌ها پرداخته شود، که در انتها و بعد از انجام تحلیل نمونه‌های مطالعاتی تحت روش اجزای محدود (FEM) مشخص گردید که در ستون‌های (CFST) اثر ضخامت جدار فولادی پارامتر تاثیرگذارتری بر روی ظرفیت و رفتار مکانیکی ستون‌های (CFST) با مقطع هندسی L شکل خواهد بود.

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

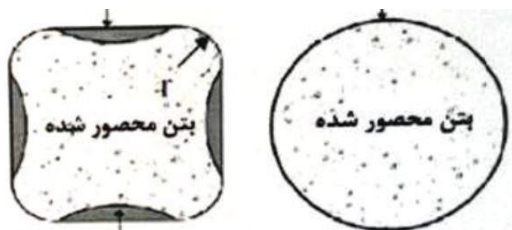
## ۱- مقدمه

- حمل و نقل آسانتر

در مقابل مزایای فوق ستون‌های مختلط پر شده با بتن دارای میایی نیز می‌باشند و آن بدلیل قرارگیری فولاد در سطح خارجی ستون حفاظت در مقابل آتش سوزی مطرح می‌گردد و باید تمهیدات خاصی را برای آن پیش‌بینی نمود. همچنین اجرای اتصالات در این ستون‌ها مشکل بوده و رفتار اتصالات مشخص نمی‌باشد و تحقیقات کمی در مورد آن صورت گرفته است [۵].

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

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 (CFST) فراهم کند. در شکل ۱ می‌توانیم تفاوت سطح موثر محصور شده بتن هسته را بین مقطع دایره‌ای و مربعی را مشاهده کنیم [۶].



شکل ۱- افزایش سطح موثر محصور شده با افزایش شعاع گوشه [۶]

با مشاهده این شکل مشخص می‌شود سطح موثر محصور شده در مقاطع دایره‌ای در ستون‌های (CFST) بیشتر از مقاطع چهار گوش می‌باشد، اما با توجه به واقف بودن به این موضوع، مقاطع دایره‌ای در بعضی از قسمت‌ها غیرقابل 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 (CFST) علاوه بر مقاطع دایره‌ای هستند. مطابق شکل ۲، نمونه‌هایی از انواع مقاطع کاربردی در ستون‌های (CFST) را مشاهده کرد [۶].

یکی از حساس‌ترین تصمیماتی که طراح سازه بایستی مدنظر قرار دهد، انتخاب نوع مصالح مصرفی در سازه می‌باشد. این تصمیم در بسیاری از اوقات تابع نوع سازه، مسایل مالی و همچنین تجربه و مهارت طراح است. هدف اصلی دنبال شده در طراحی بدست آوردن سازه‌های اقتصادی و در عین حال با عملکرد مطلوب می‌باشد. بتن و فولاد مصالحی هستند که به صورت گسترده در ساخت و سازها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزایای هر دو مصالح امروزه به خوبی شناخته شده است. بتن مصالحی با سختی بالا، ارزان قیمت (نسبت به سایر مصالح) و مقاومت قابل توجه در برابر آتش سوزی و ضمناً فولاد مصالحی با شکل پذیری و مقاومت بالا و وزن کم است. با این وجود استفاده از فولاد تنها در ساختن ستون‌ها بخصوص در سازه‌های بلند، غیراقتصادی می‌باشد. همچنین سازه‌های بلند با ستون‌های فولادی معمولاً دارای تغییر شکل‌های جانبی نسبتاً بزرگ بوده و در مقابل آتش سوزی مقاومت پایینی دارند. همچنین استفاده از بتن تنها در ستون‌های ساختمان‌های بلند، در طبقات پایین فضای بیشتری را اشغال نموده و دارای وزن نسبتاً بیشتری است و به علت ترد و شکننده بودن بتن، سازه حاصل دارای شکل پذیری کمتری بوده و در بارهای لرزه ای افت مقاومت در سازه بوجود خواهد آمد. ترکیب هوشمندانه این دو مصالح، یک سیستم موثر و کاراتر از استفاده مجزا از آن‌ها را نتیجه می‌دهد [۳]. این سیستم را با عباراتی چون سیستم مرکب و یا دوگانه معرفی می‌کنند. امروزه سیستم‌های مرکب به صورت موفقیت‌آمیزی در 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].

از جمله مزایای ستون‌های فولادی پر شده با بتن (CFST)

می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ظرفیت تحمل بار محوری و خمشی عالی
- مقاومت جذب انرژی خاصیت نرمی (شکل پذیری) زیاد
- بار بحرانی در کمانش (سختی بیشتر)
- مقاومت برش بالاتر
- نگهداشتن قالب برای هسته بتنی
- حفاظت سطح بتن از آسیب
- اقتصادی بودن نسبت به ستون‌های فولادی و بتنی
- زمان ساخت کمتر

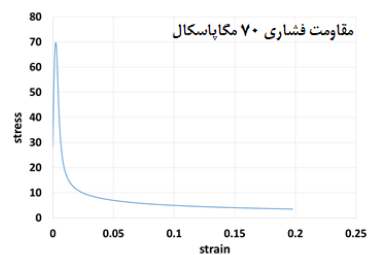
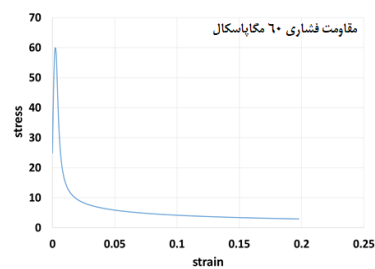
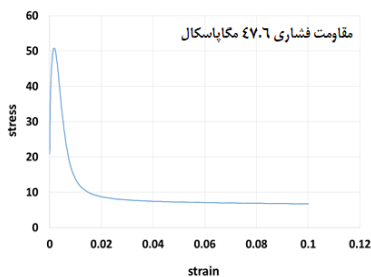
جدول ۱- مشخصات ایزوتروپیک خطی مکانیکی فولاد

Young`s Moduls (Mpa)	Poisson`s Ratio
199000	0.3

جدول ۲- مشخصات ایزوتروپیک دو خطی مکانیکی فولاد

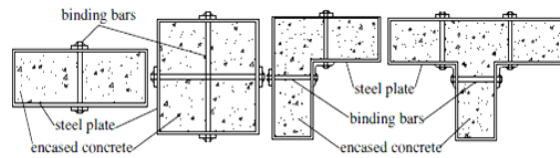
Yield stress (Mpa)	Plastic strain
240	0
370	0.28

همچنین در مدل سازی نمونه ها، از بتن با رفتار محصور شده با مقاومت فشاری ۴۷/۶، ۷۰/۶۰ مگاپاسکال استفاده شده است، در شکل ۳ نمودار تنش - کرنش بتن های استفاده شده در این مدل سازی.



شکل ۳- نمودار تنش-کرنش مصالح بتن محصور شده مورد استفاده در مدل سازی با مقاومت فشاری ۴۷،۶، ۷۰،۶۰ مگاپاسکال با مدل رفتاری مندر

همچنین این نمونه ها از لحاظ ضخامت، ارتفاع، مقاومت فشاری به سه گروه طبقه بندی شد که جزئیات این نمونه ها در ادامه شرح داده شده است.



شکل ۲- انواع مقاطع ستون های (CFST)

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

**مزایا:**

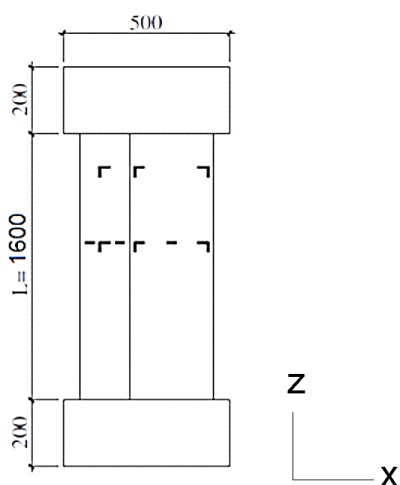
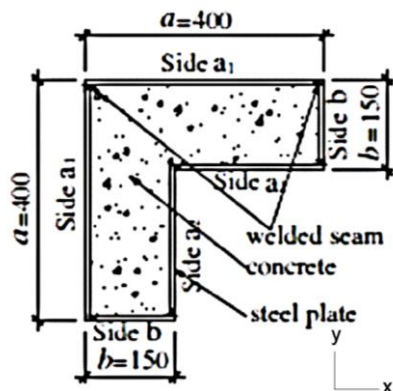
- ساخت و ساز راحت تر و اجرای مناسب از لحاظ هندسه
- راحت بودن اتصالات تیر به ستون
- مقاومت خمشی بزرگتر به دلیل اینرسی مناسب مقطع نسبت به مقاطع دایره ایی
- قاب های خمشی با ستون های (CFST) مربع شکل سختی و مقاومت بیشتری نسبت به قاب های خمشی (CFST) دایره ای شکل دارند [۷].

**معایب:**

- اثر محصورشدگی کمتری نسبت به مقاطع دایره ایی ایجاد می گردد.
- قاب های خمشی با ستون های (CFST) مربع شکل انرژی جذب شده و شکل پذیری کمتری نسبت به ستون های دایره ایی دارند [۷].

**۳- نحوه مدل سازی عددی**

بمنظور بررسی رفتار محوری ستون های کوتاه (CFST) با مقطع هندسی L شکل در این پژوهش ۲۷ نمونه ستون (CFST) با مقطع هندسی (L) شکل که توسط نرم افزار آباکوس مدل سازی شد مورد بررسی قرار گرفت. مصالح به کار رفته در این مدل سازی از فولاد ST37 استفاده شد، مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی در مدل سازی نمونه ها در جدول ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۶- جزئیات هندسه نمونه گروه C [۱۰]

#### ۴- معرفی نمونه‌های مورد تحلیل

در این پژوهش بمنظور مطالعه و بررسی رفتار ستون‌های کامپوزیتی فولادی پرشده با بتن کوتاه با سطح مقطع هندسی (L) شکل تحت بارگذاری نیروی محوری تحت تحلیل حساسیت عددی (FEM) از سه گروه مطالعاتی به نام‌های A, B, C استفاده می‌کنیم، هر یک از این گروه‌های مطالعاتی دارای ۹ زیر مجموعه مطالعاتی می‌باشد، که در مجموع ۲۷ نمونه مطالعاتی را تشکیل می‌دهند، نمونه دارای مشخصات ذیل می‌باشد:

**گروه (A)**، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۸۰۰ میلی‌متر و مقطع هندسی (L) شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۶-۸) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۴۷,۶-۶۰-۷۰) 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 ۱۲۰۰ میلی‌متر و مقطع هندسی (L) شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۶-۸) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۴۷,۶-۶۰-۷۰) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول ۳ و شکل ۴ جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

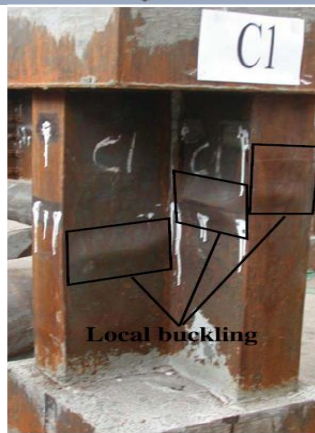
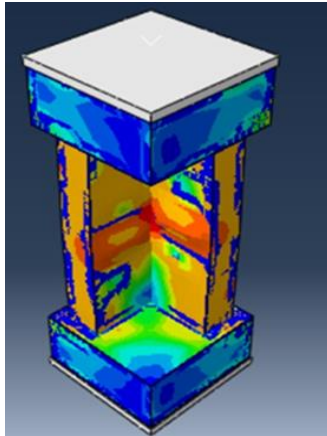
**گروه (C)**، تمامی نمونه‌ها در این گروه دارای ارتفاع ۱۶۰۰ میلی‌متر و مقطع هندسی (L) شکل می‌باشد، همچنین این نمونه‌ها در سه ضخامت (۴-۶-۸) میلی‌متر و تحت سه تنش فشاری بتن (۴۷,۶-۶۰-۷۰) مگاپاسکال ساخته شد. که در جدول ۳ و شکل ۴ جزئیات این نمونه‌ها نشان داده شده است.

#### ۵- بارگذاری و شرایط تکیه گاهی مدل‌ها

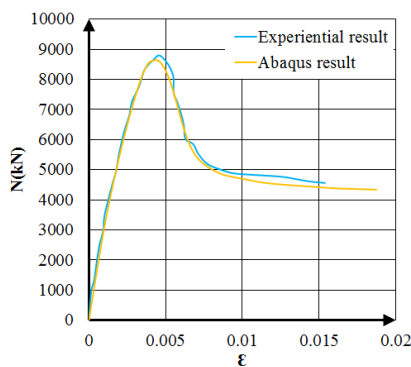
برای مدل فوق بارگذاری محوری در یک انتها انجام می‌شود. در انتهایی که بارگذاری انجام می‌شود نمونه تنها در راستای Y می‌تواند جا به جا شود و در دو راستای دیگر از حرکت جلوگیری شده است و از لحاظ دورانی نمونه تنها در راستای Z می‌تواند دوران کند و در دو راستای دیگر از لحاظ دورانی جلوگیری شده است. در انتهای دیگر عضو از تمام جایجایی‌ها و دوران‌ها جلوگیری شده است. در شکل ۷ نمای کلی شماتیک عضو و تکیه گاه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳- جزئیات نمونه مدلسازی گروه A [۱۰]

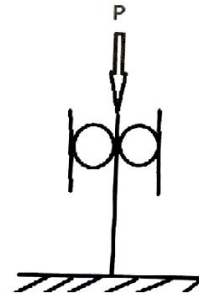
ارتفاع (h)(mm)	تنش فشاری بتن ( $f_c$ ) (mpa)	ضخامت تیوب فولادی (t) (mm)	ابعاد (a×b) (mm)	نام نمونه
h=800	$f_c=\{47.6,60,70\}$	$t=\{4,6,8\}$	400×150	A
h=1200				B
h=1600				C



شکل ۸- شمای کلی نمونه مدلسازی شده با نرم افزار آباکوس و نمونه آزمایشگاهی [۱۰]



شکل ۹- نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه مدل سازی شده و آزمایشگاهی نمونه L شکل [۱۰]



شکل ۷- شرایط تکیه گاهی نمونه های مدلسازی شده

## ۶- جزئیات مدلسازی نمونه ها

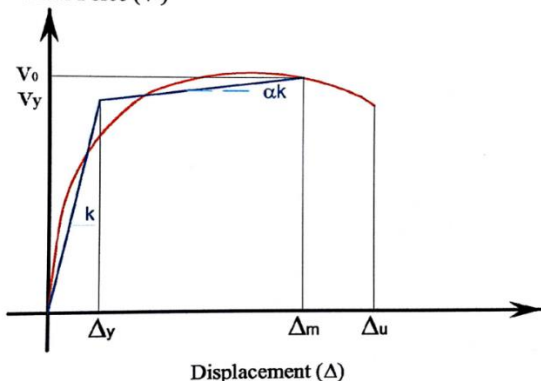
جهت مدلسازی نمونه های طراحی شده، از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده شد. جهت مدلسازی هسته بتنی ستون (CFST) از المان Solid استفاده شد و جهت مدلسازی تیوب فولادی از ستون (CFST) از المان Shell استفاده گردید، در مرحله معرفی مشخصات مصالح در نرم افزار آباکوس رفتار مصالح در ناحیه خطی و غیر خطی لحاظ گردید. برای تیوب فولادی ستون مشخصات مکانیکی فولاد نرمه (ST37)، مشخصات بتن (C47.6) در نظر گرفته شد. جهت اتصال تمامی لبه های جوش شونده به یکدیگر از قید Tie و برای تعریف وضعیت سطح تمامی صفحات دارای تماس با یکدیگر از قید Contact و از حالت پنالته با ضریب ۰/۸ به صورت سطح به سطح استفاده شد [۱۰].

## ۷- صحت سنجی

جهت بررسی صحت مطالعات صورت گرفته با فرضیات مدل سازی مذکور، با ساخت نمونه مشابه با نمونه آزمایشگاهی مدل سازی شده توسط آقای ژی لیانگ زو و همکاران در محیط نرم افزار آباکوس، نتایج مربوط به هر دو حالت با یکدیگر مقایسه گردیدند، در شکل ۸ شمای کلی نمونه مدل سازی شده با نرم افزار آباکوس و نمونه آزمایشگاهی را مشاهده می کنید، با مقایسه نمودارهای نیرو- تغییر مکان آزمایشگاهی و تحلیل عددی، اختلاف بسیار ناچیزی بین نمودار نیرو- تغییر مکان ها مشاهده شد که این اختلاف چیزی در حدود ۳٪ بود در شکل ۹ می توان نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدلسازی شده با نرم افزار آباکوس را مشاهده کرد [۱۰].

<sup>1</sup> Zhi-Liang Zuo et al

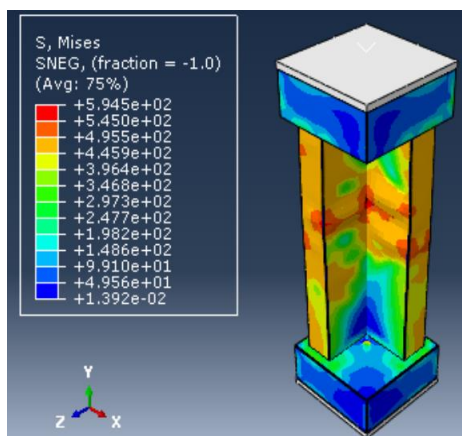
Base Shear Force (V)



شکل ۸- نمودار دو خطی برش پایه-جابه‌جایی [۸]

### ۹- یافته های تحلیل

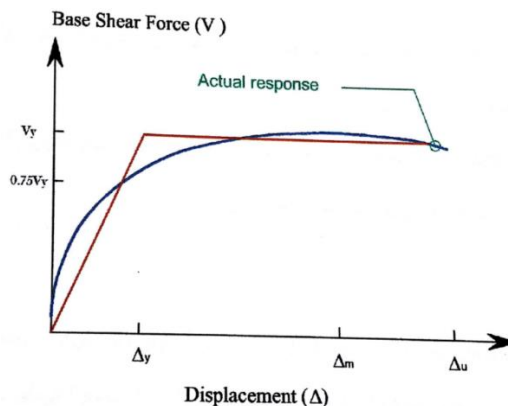
پس انجام تحلیل توسط نرم‌افزار آباکوس تنش‌های فون مایسز نمونه‌ها ۱۲۰۰، ۸۰۰ و ۱۶۰۰۰ را می‌توان در شکل ۱۲، ۱۳ و ۱۴ مشاهده کرد.



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

### ۸- روابط تئوریک سستی و شکل پذیری

در این روش که توسط پریستلی و پائولی [۸] 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 ۱۰) وصل نموده و تا خط  $V_y$  ادامه داده می‌شود. از محل تقاطع این دو خط منحنی مذکور افقی فرض می‌شود.



شکل ۱۰- روش Priestley &amp; Paulay [۸]

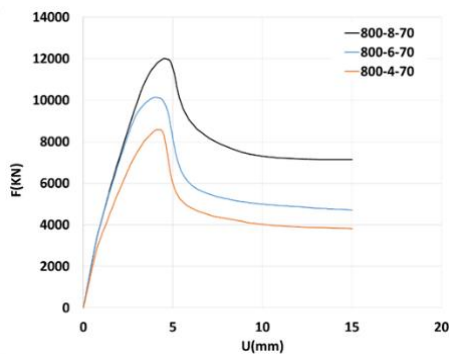
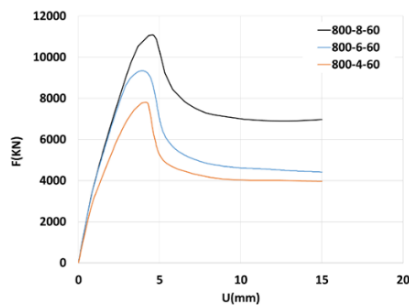
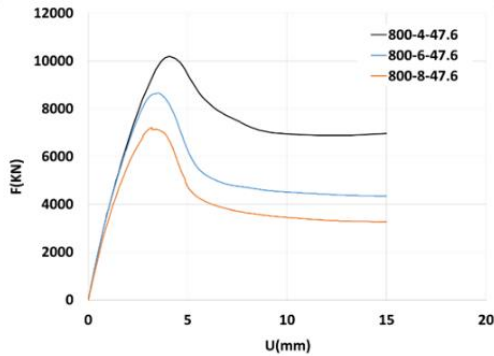
در شکل (۳) که مربوط روش پریستلی و پاولی می‌باشد یک نمودار دو خطی برش پایه- جابه‌جایی نشان داده شده است که  $K_0$  سستی الاستیک نمودار دو خطی است که شیب قسمت خطی منحنی نیرو- تغییرمکان است و  $K_1$  سستی سازه بعد از تسلیم می‌باشد که به صورت ضریبی از  $K_0$  خواهد بود: [۸]

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

در رابطه فوق  $V_y$  نیروی برش تسلیم،  $V_0$  نیروی برشی ماکزیمم (بر روی منحنی دو خطی)،  $\Delta_m$  تغییرمکان متناظر با  $V_0$ ،  $\Delta_y$  تغییر مکان متناظر با  $V_y$  و  $\Delta_u$  تغییر مکان در آستانه شکست سازه می‌باشد. [۸]

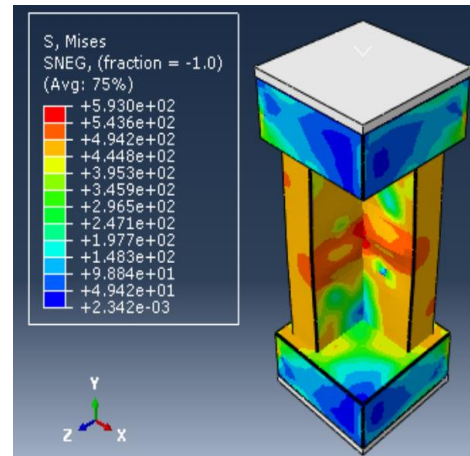
قابلیت یک سازه در داشتن تغییرمکان بالاتر از حد خطی و جذب انرژی در تغییرشکل‌های بزرگ به وسیله رفتار غیرخطی را شکل‌پذیری می‌گویند. معمولاً نسبت شکل‌پذیری به صورت زیر تعریف می‌شود: [۸] و [۹]

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

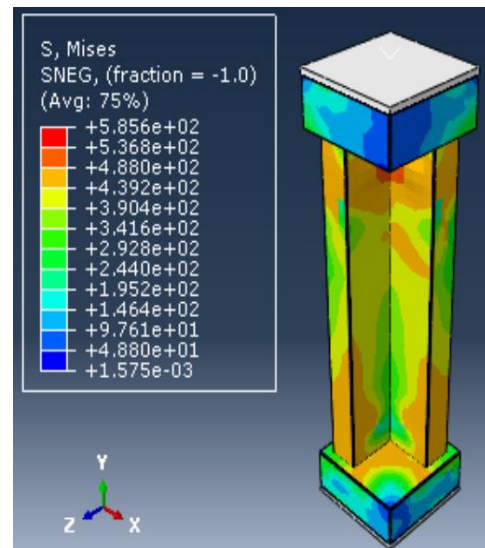


شکل ۱۵- نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه‌های گروه A (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

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 بتن، مقاومت مقطع نیز  $18.23\%$  درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی پارامتر شکل پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع  $22.1\%$  و شکل پذیری نیز  $17.32\%$  درصد به طور میانگین افزایش یافته است.



شکل ۱۳- تنش فون مایسز نمونه گروه B مدل L شکل



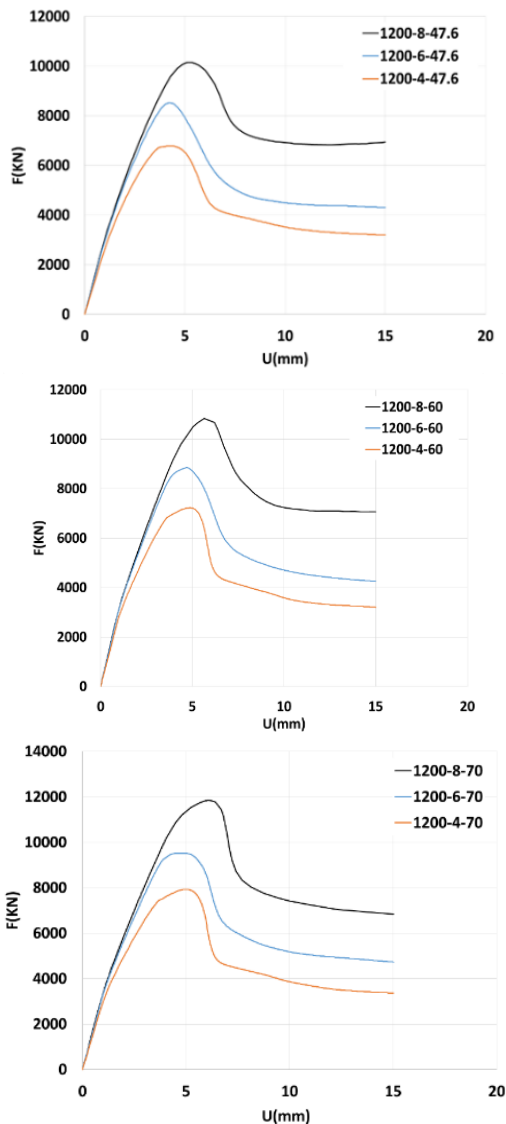
شکل ۱۴- تنش فون مایسز نمونه گروه C مدل L شکل

پس از انجام تحلیل نمونه‌های مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار آباکوس نمودار نیرو- تغییر مکان‌های نمونه  $800$ ،  $1200$  و  $1600$  میلی‌متر تحت اثر پارامترهای موثر مورد مقایسه قرار گرفتند که در شکل‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ نمودارهای نیرو- تغییر مکان‌های نمونه‌های ذکر شده نشان داده شده است.

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.

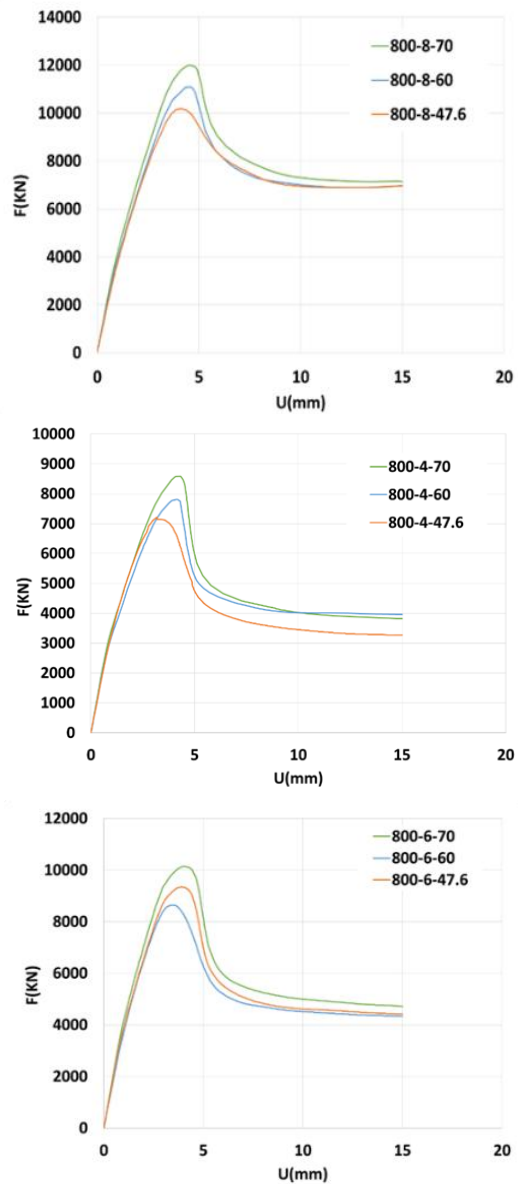
درصد افزایش می‌یابد، همچنین نیز با افزایش ۱۶٫۶۶٪ درصد مقاومت فشاری بتن از ۶۰ به ۷۰ مگاپاسکال تحت یک ضخامت جدار فولادی مقاومت مقطع نیز ۱۸٫۲۳٪ درصدی افزایش می‌یابد، با بررسی شکل پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، که سختی مقطع ۳٫۲٪ و شکل پذیری نیز ۱۲٫۳۷٪ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.

در شکل ۱۷ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت جدار فولادی و پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن مشاهده می شود،



شکل ۱۷- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

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

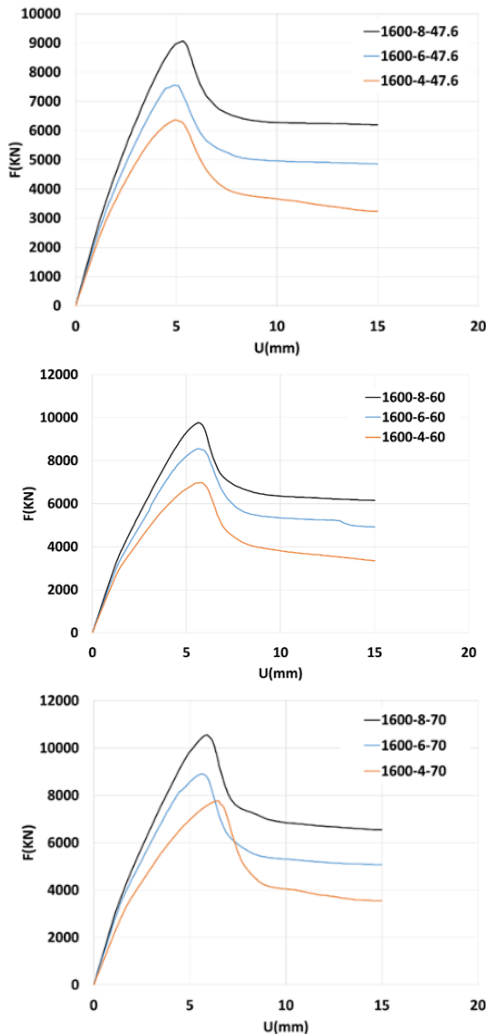


شکل ۱۶- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه A (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت و مقاومت فشاری بتن

با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه A 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 ۱۲٫۳۷٪



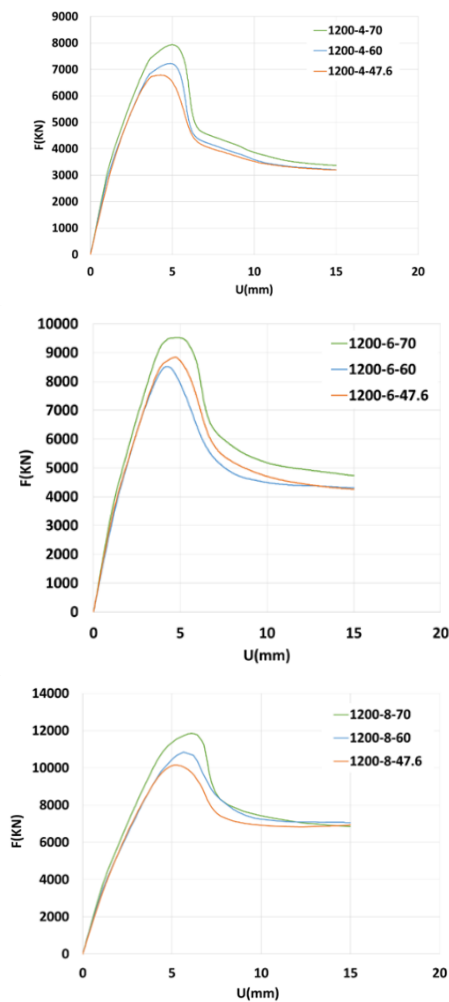
با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B مشاهده شد، با افزایش ۲۶،۰۵٪ درصد مقاومت فشاری بتن از ۴۷،۶ به ۶۰ مگاپاسکال تحت یک پارامتر ثابت ضخامت تیوب فولادی، مقاومت مقطع ۱۱،۴۳٪ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نیز با افزایش ۱۶،۶۶٪ درصد مقاومت فشاری بتن از ۶۰ به ۷۰ مگاپاسکال تحت یک ضخامت جدار فولادی مقاومت 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. در شکل ۱۹ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت جدار فولادی و پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن مشاهده می‌شود.



شکل ۱۹- نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه‌های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ضخامت

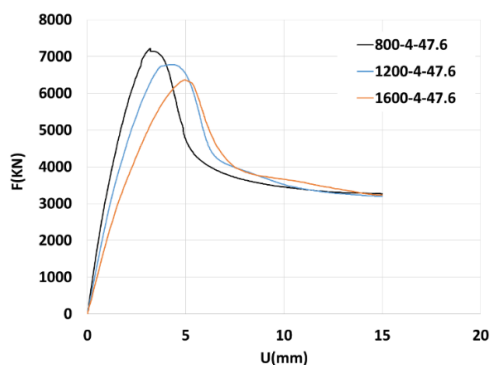
با مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B مشاهده شد، با افزایش ۶۶،۶۶٪ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۴ به ۶ میلیمتر تحت یک پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن، مقاومت مقطع ۱۹،۶۴٪ درصد افزایش می‌یابد همچنین نیز با افزایش ۳۳٪ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۶ به ۸ میلیمتر تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری مقاومت مقطع نیز ۱۷،۸۵٪ درصدی افزایش می‌یابد با بررسی پارامتر شکل‌پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع ۲۱،۱۷٪ و شکل‌پذیری نیز ۱۶،۴۷٪ درصد به طور میانگین افزایش یافته است.

در شکل ۱۸ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۸- نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه B (مقطع L شکل) تحت پارامتر مقاومت فشاری بتن

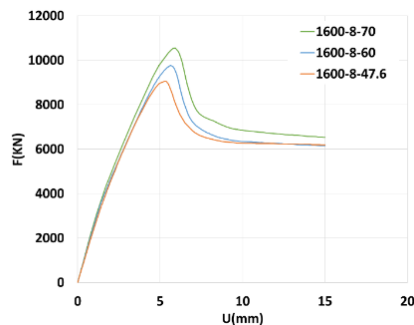
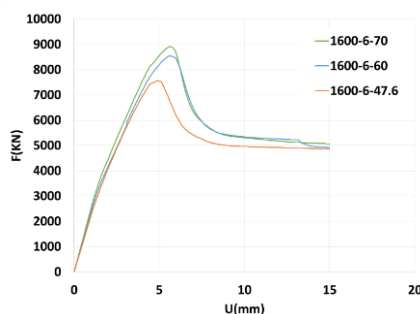
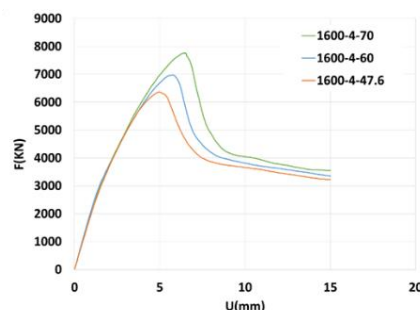
با مقایسه نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه های گروه C مشاهده شد، با افزایش ۲۶,۰۵٪ درصد مقاومت فشاری بتن از ۴۷,۶ به ۶۰ مگاپاسکال تحت یک پارامتر ثابت ضخامت تیوب فولادی، مقاومت مقطع ۱۱,۷۹٪ درصد افزایش می یابد. همچنین نیز با افزایش ۱۶,۶۶٪ درصد مقاومت فشاری بتن از ۶۰ به ۷۰ مگاپاسکال تحت یک ضخامت جدار فولادی مقاومت مقطع نیز ۱۷,۹۱٪ درصدی افزایش می یابد. با بررسی شکل پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، که سختی مقطع ۲,۸۶٪ و شکل پذیری نیز ۱۱,۸۶٪ درصد به طور میانگین افزایش یافته است. در شکل ۲۱ 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،



شکل ۲۱- نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه A, B, C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر ارتفاع

با تغییر در ارتفاع نمونه های ستون های (CFST) کوتاه با مقطع هندسی L شکل مشاهده شد، با افزایش ۶۶٪ درصدی ارتفاع نمونه از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ تحت اثر ضخامت و ارتفاع ثابت، مقاومت 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 (CFST) سختی مقطع ۱۸,۴۱٪ و شکل پذیری نیز ۱۵,۲۹٪ درصد به طور میانگین کاهش یافته است.

با مقایسه نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه های گروه C مشاهده شد، با افزایش ۶۶,۶۶٪ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۴ به ۶ میلیمتر تحت یک پارامتر ثابت مقاومت فشاری بتن، مقاومت مقطع ۲۰,۸۲٪ درصد افزایش می یابد. همچنین نیز با افزایش ۳۳٪ درصد ضخامت تیوب فولادی از ۶ به ۸ میلیمتر تحت پارامتر ثابت مقاومت فشاری مقاومت مقطع نیز ۱۷,۳۸٪ درصدی افزایش می یابد. با بررسی پارامتر شکل پذیری و سختی مقطع مشاهده شد، سختی مقطع ۲۱,۹۶٪ و شکل پذیری نیز ۱۸,۹۲٪ درصد به طور میانگین افزایش یافته است. در شکل ۲۰ نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر متغیر مقاومت فشاری بتن و پارامتر ثابت ضخامت فولادی مشاهده می شود.



شکل ۲۰- نمودار نیرو - تغییر مکان نمونه های گروه C (مقطع L شکل) تحت پارامتر مقاومت فشاری بتن

روی، پارامتر شکل پذیری و سختی ستون‌های (CFST) خواهد داشت. مقدار پارامتر سختی مقاطع ستون (CFST) 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 ۴۷٫۶ به ۶۰ و ۷۰ مگاپاسکال تنها ۲ درصد تغییر داشته است، همچنین نیز شکل پذیری مقاطع ستون‌های (CFST) با تغییر ضخامت جدار تیوب فولادی ۱۸٪ درصد تغییر یافته است، که این تغییر پارامتر شکل پذیری با تغییر مقاومت فشاری بتن تنها ۷٪ بوده است. که نشان دهنده این مطلب می‌باشد که تغییر ضخامت جدار تیوب فولادی در مقاطع (CFST) با مقطع L شکل تاثیر بیشتری بر روی تغییر رفتار مکانیکی ستون‌های (CFST) خواهد داشت.

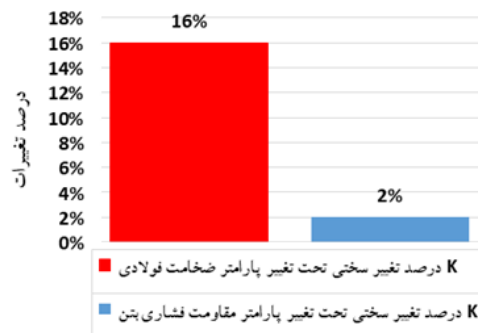
### ۱۱- نتیجه گیری

- با تغییر در ضخامت لوله‌های فولادی از ۴ میلی‌متر به ۶ میلی‌متر و ۸ میلی‌متر در ستون‌های (CFST) کوتاه با مقطع هندسی (L) شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B)، (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 ۲۰ درصدی 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)، (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 (CFST) شکل پذیری ۱۶ درصد، و سختی ۲۱ درصد به طور میانگین برای نمونه‌های ستون‌های کوتاه (CFST) افزایش می‌یابد.
- با تغییر در مقاومت فشاری بتن هسته از ۴۷٫۶ به ۶۰ و ۷۰ مگاپاسکال در ستون‌های (CFST) کوتاه با مقطع هندسی (L) شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B)، (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 ۸ 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 ۸٫۵ درصد افزایش پیدا کرد، که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر

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

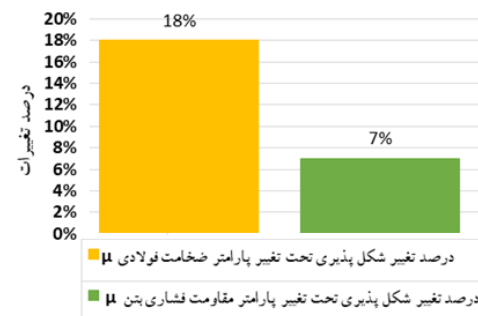
بمنظور مطالعه و بررسی اثر تاثیرگذاری حساسیت تغییرات پارامترهای موثر همچون مقاومت فشاری بتن، و ضخامت جدار فولادی بر روی رفتار مکانیکی ستون‌های (CFST) از جمله سختی و شکل پذیری، با انجام تحلیل حساسیت اجزای محدود (FEM) بر روی ۲۷ نمونه مطالعاتی بر روی پامترهای ضخامت جدار فولادی و مقاومت فشاری بتن برای سه گروه مطالعاتی (A)، (B)، (C) نمودار شکل ۲۲ و ۲۱ حاصل شد.

تغییرات (سختی) تحت تحلیل حساسیت FEM



شکل ۲۲- نمودار درصد تغییرات سختی نسبت به تغییرات پارامتر ضخامت فولادی و مقاومت فشاری بتن

تغییرات (شکل پذیری) تحت تحلیل حساسیت FEM



شکل ۲۳- نمودار درصد تغییرات شکل پذیری نسبت به تغییرات پارامتر ضخامت فولادی و مقاومت فشاری بتن

با مشاهده نمودار ۲۲ و ۲۳ که از تحلیل حساسیت اجزای محدود (FEM) ۲۷ نمونه مطالعاتی حاصل شد مشاهده گردید، که تغییر پارامتر مقاومت فشاری بتن (Fc) نسبت به تغییر ضخامت تیوب فولادی تاثیر کمتری بر

مقاومت مقطع به طور میانگین ۱۸٫۳۱٪ بیشتر از پارامتر موثر مقاومت فشاری بتن است.

## ۱۲- مراجع

۱. 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.
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. 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.
۴. (نشریه ۵۲۴)، راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی (۱۳۸۹). معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور
۵. موسوی، ع، مطالعه و بررسی رفتار مکانیکی ستون‌های CFT، با مقطع هندسی T شکل، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، نقی پور، م. (استاد راهنما) دانشکده مهندسی عمران دانشگاه نوشیروانی بابل،
۶. چوگلی، هیوا، (۱۳۸۳)، رفتار سازه‌های ستون‌های CFT و روشهای تحلیل آن، یازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان، عمران
۷. بهره دار، 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 عمران، معماری و شهرسازی، میبد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد،
۸. موسوی داودی، سیدعلی، (۱۳۹۴)، مطالعه و بررسی تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌اور، هفتمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران.
۹. علی پورآسیابدری، اسماعیل و مقداد صفری سیاهکل، (۱۳۸۷)، معرفی برنامه‌تعیین ضریب رفتار سازه به روش دوخطی کردن نمودار ظرفیت، همایش ملی مقاوم سازی ایران، یزد، دانشگاه یزد،

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)، (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 کوتاه (CFST) 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 می‌گیریم که افزایش مقاومت فشاری بتن هسته در حالت بارگذاری محوری فشاری سبب بالا رفتن سختی زیاد نمونه نمی‌شود.

- با تغییر در ارتفاع نمونه‌های ستون‌های (CFST) کوتاه با مقطع هندسی (L) شکل در نمونه‌های گروه (A)، (B)، (C) تحلیل به روش اجزاء محدود انجام شد، با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان ترسیم شده، مشاهده شد که با افزایش ۶۶٪ درصدی ارتفاع نمونه از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ تحت اثر ضخامت و ارتفاع ثابت، مقاومت نمونه‌ها به طور میانگین ۶ درصدی کاهش پیدا کرد، و در ادامه با افزایش ۳۳ درصدی ارتفاع نمونه‌ها از ۱۲۰۰ به ۱۶۰۰، مقاومت نمونه‌ها از به طور میانگین ۵ درصد کاهش داشت. که این خود نشان دهنده تاثیر تغییر ارتفاع بر روی کاهش مقاومت مقاطع ستون‌های (CFST) کوتاه با مقطع هندسی (L) می‌باشد. در ادامه همچنین با بررسی، بر روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان نمونه‌های گروه‌های (A)، (B)، (C) مشاهده شد، که با افزایش ارتفاع نمونه‌ها، ستون‌های (CFST) کوتاه با مقطع هندسی (L) شکل، سختی، شکل‌پذیری، و قابلیت جذب انرژی به دلیل افت و کاهش سطح زیر نمودار منحنی نیرو - تغییر مکان نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

- 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.

- 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

- Zhi-Liang Zuo, Axial load behavior of L-shaped .10- (CFST) stub columns with binding bars, Dept. of Civ. Engrg., South China University of Technology, Guangzhou 510641, PR China, 2015
- Ying-Tao Wang, Hysteretic behavior of square .11 (CFST) columns with binding bars, Department of Civil Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China, 2017
- 12- AISC. Load and resistance factor design specification for structural steel buildings, AISC specification, American Institute of steel Construction, Chicago, 1999.
- 13- CECS 28:90. Specification for design and construction of concrete-filled steel tubular structures. Beijing: China planning press, 1992. (in chinese)
- 14- Jian Cai, Axial load behavior of square (CFST) stub column with binding bars, Department of Civil Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China 2006.
- 15- Zhi-Liang Zuo, Eccentric load behavior of L-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 load, Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China of China Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China, 2014
- 18- 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

# Study of the Behavior of Composite Steel Columns Filled with Short (non-slender) Concrete with (L)-shaped Geometric Cross Section under Numerical Sensitivity Analysis (FEM) with Axial Compression Loading

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:

In recent years, the use of concrete-filled steel sections (CFST) has been widely used for many benefits, including excellent seismic performance, high strength, high flexibility and energy absorption capacity relative to concrete (RC) and steel sections in the construction industry. These columns are often more commonly used in the form of circles. The main reason for this is the point that circular sections create more enclosure than other sections in the core concrete. This makes the circular sections more widely used in columns (CFST) than in other sections. However, in some cases, the use of circular sections will be impossible, including architectural considerations, the implementation of more economical and easier connections in the quadratic sections than the circular sections, these causes certain shapes, including sections Square and flat sections and sections with L and T shape shapes are used in some parts of the building. considering the importance of this issue in this paper, we tried to introduce and investigate the mechanical behavior of short columns (CFST) with L-shaped geometric section and study the parametric effect of steel wall thickness and compressive stress of concrete on the capacity and mechanical behavior of these columns at the end and after analysis of the study samples, it was determined in the finite element analysis (FEM) that, in columns (CFST), the effect of the thickness of the steel structure was more effective on the capacity and mechanical behavior of the columns (CFST) with the geometric cross section L will be the shape.

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