



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله: 80400

زمان پذیرش نهایی: 99/10/15

بررسی ستون های فولادی پر شده با بتن با مطالعه اثر تغییر شکل مقطع بر رفتار

خرابی ستون

رضا خدامرادی¹، مجتبی حسینی²

کارشناس ارشد مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جویندگان علم

دکتری مهندسی عمران، دانشیار دانشگاه های خرم آباد

چکیده

فولاد و بتن را می توان عمده ترین مصالح ساختمانی نامید که از آن ها تقریباً در ساخت تمام سازه ها استفاده می شود، در کنار مزایای بسیار زیاد فولاد، معایبی چون کاهش مقاومت در برابر حرارت، زنگ زدگی، کماتش کلی و موضعی را نام برد. در ساخت سازه های فلزی معمولاً مشکل هزینه زیاد، ارتعاش، کماتش موضعی و لهیدگی وجود دارد و در بسیاری از موارد، از فضای توخالی تیرها و ستون های فلزی استفاده نمی شود که خود این فضاهای توخالی می تواند به عنوان یک قالب رایگان استفاده شود. یکی از ضعف های ستون ها و تیرهای بتن آرمه، هزینه قالب گیری و از دست دادن زمان در ساخت و ساز است. همچنین نسبت مقاومت تیر یا ستون بتن مسلح به ابعاد آن پایین است. در پایان نامه حاضر، ستون های فولادی پر شده با بتن با مطالعه اثر تغییر شکل مقطع بر رفتار خرابی ستون بررسی است. مدلسازی به روش نرم افزاری و با آباکوس انجام گرفت. نتایج نشان داد مقدار تنش حداکثر برابر حدوداً 30 نیوتن بر میلی متر مربع و مقدار نهایی تنش برابر حدود 43 نیوتن بر میلی متر مربع بدست آمد. نتایج نشان می دهد که با افزایش ضخامت جداره فولادی در مدل ظرفیت تحمل لنگر خمشی و به طبع آن ظرفیت باربری ستون افزایش می یابد. بعنوان نتیجه نمودارهای می توان چنین نتیجه گیری کرد که با افزایش ضخامت جداره فولادی بیرونی ظرفیت باربری ستون افزایش می یابد. برای نمونه مستطیلی شکل، مقدار جابجایی نهایی برابر 70 میلی متر و نیروی نهایی برابر 19500 کیلو نیوتن بدست آمد. برای نمونه مربعی شکل، مقدار جابجایی نهایی برابر 3.7 میلی متر و نیروی نهایی برابر 20000 کیلو نیوتن بدست آمد. مقدار جابجایی نهایی مدل برابر حدود 3.5 سانتی متر بدست آمد. و مقدار نیروی نهایی برابر حدود 38000 کیلو نیوتن بدست آمد. شکل پذیری مدل دایره ای برابر 3.5 بدست آمد با افزایش نسبت قطر به ضخامت، مدار جابجایی کاهش می یابد. این موضوع نشان از نقش کلید ضخامت فولاد بیرونی در جابجایی مدل دارد. و پارامتر نسبت قطر به ضخامت هر چه بیشتر باشد رفتار بهتر است.

کلمات کلیدی: ستون CFT، شکل مقطع، ضخامت، جابجایی، لنگر خمشی.

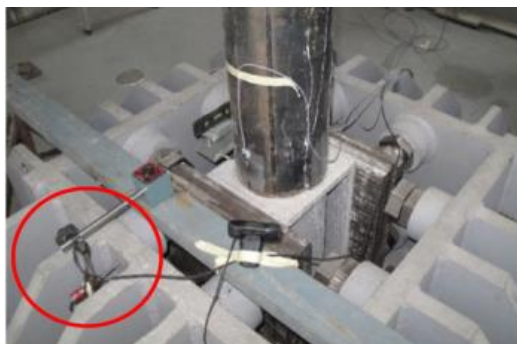


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



مقدمه

انتخاب نوع مصالح مصرفی در سازه، جزو مهم‌ترین انتخاب‌ها و تصمیمات هر مهندس عمران است. انتخاب نوع مصالح به عوامل مهمی از قبیل نوع سازه، هزینه مصالح و سهولت اجرا و اقتصاد مهندسی پروژه است راهبرد اصلی و کلیدی در هر سازه‌ای در تمام مراحل طراحی و اجرا دستیابی به بهترین عملکرد برای سازه و مطلوب‌ترین هزینه برای پروژه است. در کشور ایران به‌طور متداول بتن و فولاد پر کاربردترین مصالحی هستند که به‌صورت گسترده در ساخت و سازها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود استفاده از فولاد تنها در ساختن ستون‌ها بخصوص در سازه‌های بلند، غیراقتصادی است. ترکیب هوشمندانه این دو مصالح، یک سیستم مؤثر و کارا تر از استفاده مجزا از آن‌ها را نتیجه می‌دهد. 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. ستون‌های مرکب اگر جزئی از سیستم سازه‌ای مختلط باشند، مزایای دیگری نیز می‌توان از آن‌ها انتظار داشت. به‌عنوان مثال اگر اتصال مناسبی بین ستون و سیستم سقف (تیر و دال) برقرار باشد، این اتصال مقاومت بالاتر و رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد که در نتیجه باعث افزایش مقاومت و ایجاد قید اضافی خواهد شد. یکی از پیچیدگی‌های اجرایی در این ستون‌ها هماهنگی بین عوامل اجرایی بتن و فولاد و نحوه اتصال تیر به ستون است اما مزایای بالای این نوع ستون‌ها (سرعت ساخت، عدم نیاز به قالب، کاهش بارهای روی فونداسیون، افزایش فضای مفید و کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری) باعث طراحی و اجرای روز افزون آن‌ها است. نمونه آزمایشگاهی از ستون‌های فولادی پر شده با بتن دایره‌ای در شکل (1) نشان داده شده است.



الف) نمونه‌ای از شرایط تکیه گاهی و ابعاد ستون



ب) کمانش و خرابی مدل آزمایشگاهی تحت بارگذاری

شکل (1): مدل‌های آزمایشگاهی ستون‌های فولادی پر شده با بتن دایره‌ای



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

به صورت کلی می توان به توسعه ستون های فولادی در شده با بتن در آینده امیدوار بود. زیرا تحقیقات زیادی در رابطه با بهبود عملکرد این سازه ها انجام گرفته است.

بیان مسئله

امروزه در کشورهای پیشرفته، استفاده از ستون های کامپوزیت بجای ستون های معمولی فولادی و بتنی، امری متداول شده است زیرا به علت عدم شکل پذیری کافی ستون های بتن آرمه و بنا به ملاحظات اقتصادی و کاهش منابع فلزات در جهان و با توجه به اینکه در کشورهای جهان سوم، منابع مالی کم بوده، و فولاد می تواند به عنوان مصالحی ارزشمند برای پیشرفت صنعت مورد استفاده قرار گیرد. لذا باید با روش هایی، مقدار مصرف فولاد را در سازه کاهش داده و علاوه بر آن با حداقل مصالح به حداکثر مقاومت و شکل پذیری رسید و با کاهش وزن سازه اثرات زلزله را کاهش داد. همچنین می توان از فضای خالی آن جهت عبور تأسیسات سازه ها استفاده کرد. در این میان، عوامل مؤثر بر رفتار این نوع سازه ها را می توان در مقاومت فشاری بتن، ضخامت جداره فلزی و شکل مقطع جستجو کرد. در این پژوهش به بررسی تأثیر شکل مقطع ستون پر شده با بتن بر رفتار این نوع سازه ها با نرم افزار Abaqus پرداخته می شود. تحقیقات زیادی بر روی بررسی ابعاد ستون ها انجام گرفته است. در تحقیقاتی زیادی اثر ابعاد مقطع بررسی شده است. به عنوان نمونه در تحقیق معتبر و پراستنادی که توسط Martin D. O'Shea و همکاران در سال 2000 انجام گرفت، نتیجه گیری شد که بهترین ابعاد برای ستون های cft ابعاد دایره ای شکل است [3]. بنابراین مسئله تحقیق حاضر بر پارامترهای مهم و کلیدی تأثیر گذار بر رفتار ستون های پر شده با بتن است.

فولاد و بتن را می توان عمده ترین مصالح ساختمانی نامید که از آن ها تقریباً در ساخت تمام سازه ها استفاده می شود، در کنار مزایای بسیار زیاد فولاد، معایبی چون کاهش مقاومت در برابر حرارت، زنگ زدگی، کماتش کلی و موضعی را نام برد. در ساخت سازه های فلزی معمولاً مشکل هزینه زیاد، ارتعاش، کماتش موضعی و لهیدگی وجود دارد و در بسیاری از موارد، از فضای توخالی تیرها و ستون های فلزی استفاده نمی شود که خود این فضاهای توخالی می تواند به عنوان یک قالب رایگان استفاده شود. یکی از ضعف های ستون ها و تیرهای بتن آرمه، هزینه قالب گیری و از دست دادن زمان در ساخت و ساز است. همچنین نسبت مقاومت تیر یا ستون بتن مسلح به ابعاد آن پایین است. معایب فولاد و بتن سبب گردیده که طراحان و سازندگان سازه ها به استفاده هم زمان از این مواد مبادرت ورزند که در این میان، استفاده از ستون های کامپوزیت بجای ستون های معمولی فولادی و بتنی، امری متداول شده است. ستون های پر شده با بتن در سازه های با ارتفاع مختلف و کاربری های بکار می رود و به صورت فراوان به عنوان ستون و تیر ستون در سازه ها بکار می رود. ستون های CFT می تواند در مقابل لرزه، خصوصیات سازه ای را بهبود بخشد و می تواند در دو جهت عمود بر هم، مقاومت لرزه ای یکنواخت ایجاد کند [4].

اهداف تحقیق

اهداف اصلی پایان نامه حاضر عبارتند از:



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

به دست آوردن سطح مقطعی مناسب و بهینه با تغییر مشخصات هندسی ستون مانند ضخامت و قطر ستون برای استفاده در ستون‌های پر شده با بتن است. مقایسه تأثیر شکل مقطع ستون.

این امر با شبیه سازی ستون فولادی پر شده با بتن در نرم افزار اجزا محدود Abaqus و ضخامت و قطرهای مختلف ستون به منظور تعیین مقطع مناسب جهت ساخت ستون‌های پر شده با بتن خواهد بود.

بررسی رفتار ستون‌های پر شده با بتن (CFT)

رفتار یکنواخت ستون‌های پر شده با بتن به طور وسیعی مطالعه شده است، که هم به صورت تجربی و هم عددی مقاومت محوری فشاری ستون‌های پر شده با بتن از ترکیب جاری شدن فولاد و شکست بتنی نشئت می‌گیرد، در حالی که فقط فولاد باکس برای بارهای کششی مؤثر است. خرابی ستون‌های پر شده با بتن بستگی به نسبت و مقاومت کم یا متوسط بتنی ندارد و بطور عادی در ترکیبی از جاری شدن و کمانش محلی فولاد، شکست بتن، و کمانش خمشی اعضاء همچون یک کمانش کلی اتفاق می‌افتد و این به اندازه کافی مهم است چرا که رفتار شکل‌پذیر به طور کلی از آن منتج می‌شود، صرف نظر از آنچه مصالح فلزی یا بتنی در ابتدا به صورت غیر الاستیک باشد [2]. بنابراین در ابتدا بتن در ستون ستون‌های پر شده با بتن محبوس است. گسترش خورد شدگی بتن سریع‌تر از باکس فولادی خواهد بود و در تراز بارگذاری بالاتر به طور بهتری باهم منسجم می‌شوند. مقاطع دایره‌ای به طور مؤثری می‌تواند تنش پیرامونی را به فشارهای جانبی اعمال شده روی بتن را پخش کنند. در کناره باکس‌های مربع مستطیل پخش بار اصلی باعث محبوس بودن بتن می‌شود، و تأثیر آن روی مقاومت ناچیز است، اگرچه ستون‌های پر شده با بتن شکل‌پذیری بالاتری دارد. رفتار ستون‌های پر شده با بتن بارگذاری شده اغلب متأثر از همین محبوس شدگی است. بارگذاری بتن تنها ترجیحاً از بارگذاری با فولاد بتن باهم، تراز بار کمتری دارد. سختی اولیه ستون باکسی فلزی پر شده با بتن تحت بار فشاری محوری توسط هسته بتنی کاملاً پیچیده شده است و به واکنش بین دو مصالح بستگی دارد. ضوابط تحقیقات تجربی قابل توضیح بر روی مقاومت محوری ستون‌های پر شده با بتن انجام شده که در آن از نسبت و مقاومت مصالح و های زیادی استفاده شده است [1].

بررسی مقاومت خمشی و سختی ستون‌های پر شده با بتن

برای ستون باکسی پر شده از بتن تحت خمش و برش، بخش بزرگی از سختی و مقاومت توسط فولاد پیرامون مقطع پخش می‌شود، که در کل این مصالح بیشترین تأثیر را می‌گذارند. تیرهای پر شده با بتن وقتی در خمش یکنواخت بارگذاری شده باشد به طور عالی نشان‌دهنده شکل‌پذیری اولیه به خرابی می‌باشند. تیرها با ظرفیت نرمال مقاومت مصالح و به طور نسبی باکسی قوی به طور معمولی در یک ترکیب از جاری شدن فولاد در کشش، کمانش باکس فولاد در فشار، خورد شدن بتنی در فشار و سرانجام پارگی فولاد باکس در کشش به خرابی می‌رسند [7]. به طور مشابه ستون‌های پر شده با بتن دایره‌ای تیرها که توسط پریون و بوهم تست‌های آن انجام شد نشان داد رفتار شکل‌پذیری حتی وقتی مقاومت بتن بالای 70 مگا پاسکال بود مورد استفاده قرار گرفت. در سختی اولیه ستون‌ها در خمش مربوط به بعضی درجات روی مرز پیوستگی بدون هیچ اختیاری در بین دو ماده مصالح و انتهای ستون‌های پر شده با بتن به وجود آمده بود. چندین پارامتر کلیدی مؤثر بر رفتار ستون‌های پر شده با بتن، اعضا به طوری که در بالا بحث شد، به نسبت بارهای محوری فشاری که مقاومت محوری ستون‌های پر شده با بتن است. که نسبت بار و محوری بر پیک مقاومت لنگر تأثیر می‌گذارد. به طوری که توسط دیگرام‌های اندرکنش ستون‌های پر شده با بتن نشان داده شده که برای



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

اعضا کوتاه افزایش مقاومت لنگری برای تراز پایینی فشار محوری معلوم شده، به طوری که لنگر ماکزیمم از مقاومت لنگری اسمی تجاوز کرده است [8].

مقاومت پیچشی و سختی

تعداد کمی تست تحت بارگذاری پیچشی انجام شده است. در آزمایشات محدود شده به ستون‌هایی که تحت بار یکنواخت پیچشی به خوبی انجام گرفته شد. تیوب فلزی بتن‌هایی رفتار نسبتاً خوبی در برابر پیچش دارد. خرابی پیچشی در ستون‌های پر شده با بتن به صورت مشخص و ناگهانی نیست، اما توسط یک افزایش بزرگ در چرخش پیچشی طی یک لنگر نسبتاً ثابت مشخص گردیده است. خرابی به دلیل ترکیبی از ترک‌های مارپیچی در بتن و جاری شدن کششی فولاد صورت می‌گیرد. تأثیر بار محوری بر پیچش بیشترین بخش خسارت به ستون را دارد، اگرچه در صورت افزایش بار محوری به اندازه برابر بار حدی محوری افزایش کوچکی در مقاومت پیچشی عضو ایجاد می‌شود. سختی پیچشی اولیه ستون‌های پر شده با بتن به طور معمول از تیوب فلزی نشئت می‌گیرد [10].

رفتار چرخه‌ای باکس‌های فولادی پر شده با بتن

در تعدادی از تحقیقات رفتار یکنواخت ستون‌های پر شده با بتن تحت بار چرخه‌ای یا سیکی مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیقات توسط لیو، گولو و کواوایو و ماتسنی برای مطالعه بر روی چند نمونه ستون تست‌هایی انجام شده با نیروهای محوری و مقایسه کردن آن‌ها، انجام شده است. مهم‌ترین نکاتی که در تست‌ها معلوم شده مقایسه این ستون‌های تو خالی بابدندی شده مربع مستطیلی و پر شده با بتنی بود، آن‌ها نشان دادند که اضافه کردن بتن کمانشی محلی را به تأخیر می‌اندازد و تعداد چرخه‌های سیکل برای خرابی را افزایش می‌دهد و مقدار جذب انرژی افزایش می‌یابد. نیروی کمانش در بتن از طرف تیوب بیرونی است که دو منفعت دارد [11].

- وقتی کمانش رخ می‌دهد، فاصله بین بال بالایی و پایینی از قوطی فلزی بیشتر می‌شود تا کمتر شود (که باعث می‌شود مقدار زیادی از مدول مقطع کاسته شود)
 - بتن مایل به جداسازی کمانش محلی از یک منطقه بزرگ است، و کرنش‌های شدید متمرکز را کم می‌کند که باعث ترک خوردگی می‌شود. البته در کشش، فقط فولاد بطور مؤثر در برابر نیروی محوری مقاومت می‌کند.
- ستون‌های پر شده با بتن تحت نیروهای ترکیبی محوری و خارج از محور و خمش به طور تیپ یک منحنی هیستریزس کامل را با جذب انرژی بالا نشان می‌دهد. بار محوری می‌تواند بر ظرفیت تحملی برشی و خمشی تأثیرگذار باشد. اگرچه نمونه تحت بار محوری بالا هنوز تمایل به نشان دادن یک حلقه هیستریزس پایدار را دارد. رفتار تیپ CFT تیر ستون تحت یک بارگذاری سیکی را نشان می‌دهد. یک مثال شماتیک از تست استفاده شده، نمونه تحت یک بار محوری ثابت که پیک مقاومت محوری برای نمونه) و یک بار برش سیکی Q بدون تناسب برای سه سیکل کامل در هر توسعه افزایشی از قوس چرخش، R که بین $2/5\%$ تا $0/5\%$ متغیر بود. رفتار اصلی مورد که در آزمایشات مشاهده شده به صورت تجربی در زیر توضیح داده می‌شود:

1) باربرداری الاستیک: باربرداری ستون‌های پر شده با بتن به طوری که سختی بر بار واژگونی، معادل است با سختی یک عضو باربرداری شده اولیه، بنابراین سختی الاستیک مقداری به دلیل خردشدگی بتن قبل از رسیدن به مقدار پایداری کم خواهد شد.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

- 2) منطقه کاهش رفتار خطی: اندازه منطقه تقریبی رفتار خطی در یک CFT با بارگذاری سیکلی کاهش می‌یابد، اساساً به دلیل کمانش محلی و خردشدگی بتن یا به همان اندازه که کاهش در اندازه منطقه الاستیک به فولاد مصالح بستگی دارد. در آخر منطقه رفتار خطی در یک مقدار غیر صفر پایدار می‌شود.
- 3) کاهش مقاومت: ماکزیمم مقاومت به دست آمده به اندازه هر کاهش هر سیکل هیستریزیس در مراحل سیکل است؛ به طور اساسی به کمانش محلی باکس فولادی و خسارت وارده به بتن بستگی دارد. این تنزل مقاومت برای CFT های بار جداره ضخیم کمترین مقدار ممکنه است و با افزایش مقدار بتنی کاهش می‌یابد.
- 4) کاهش تدریجی سختی: در حین رفت و برگشت بارگذاری، سختی یک CFT به تدریج از مقدار ارتجاعی آن کاهش می‌یابد، به دلیل هندسی و مصالح غیرخطی، در هر نیم سیکل بارگذاری بر اساس شواهد در شکل، سختی کم خواهد شد [12]. رفتار لرزه‌ای ستون‌های مرکب

عمده تحقیقات در مورد ستون‌های مرکب تا کنون بر روی رفتار کمانشی این ستون‌ها و به منظور ارائه تئوری‌هایی برای محاسبه هرچه دقیق‌تر بار کمانش آن‌ها انجام شده است و در مورد رفتار و حالات شکست ستون‌های مرکب تحت تأثیر بارهای دینامیکی و به خصوص بارهای لرزه‌ای، تحقیقات محدودی در دنیا انجام شده است. شاید یکی از علل این امر، رایج نبودن استفاده از این نوع ستون‌ها در سازه‌های ساختمانی در مناطق لرزه خیز جهان باشد. به دلیل تفاوت‌های اساسی که میان رفتار لرزه‌ای سازه‌ها با رفتار آن‌ها تحت اثر سایر بارهای وارده وجود دارد از قبیل ورود برخی از اعضای سازه به ناحیه غیر ارتجاعی و ایجاد حالات مختلف شکست در آن‌ها، قرار گرفتن سازه تحت چرخه‌های متناوب بارگذاری و بار برداری و... درک رفتار لرزه‌ای سازه‌ها به خصوص ستون‌های مرکب نیاز به تحقیقات خاص نظری و آزمایشگاهی داشته و صرفاً با استفاده از رفتار استاتیکی آن‌ها ناممکن است بر اساس تحقیقات انجام شده بر روی رفتار لرزه‌ای ستون‌های مرکب چند عامل در رفتار این ستون‌ها بسیار مؤثر بوده‌اند که عبارت‌اند از: [14]

- 1) مقدار بار محوری
- 2) فاصله دو پروفیل طولی
- 3) نوع سیستم سازه‌ای
- 4) ابعاد بست‌ها
- 5) فاصله بست‌ها
- 6) آرایش بست‌ها در پانل انتهایی و استفاده یا عدم استفاده از ورق انتهایی

پیشینه پژوهش

یزدان پناه و طاهری (1395)، به بررسی و مقایسه سه مقطع برای ستون‌های CFT از لحاظ کارایی و شکل پذیری پرداخته شده است و نتایج حاصل به این شرح است، سه مقطع دایره، شش ضلعی و مربع شکل با نسب‌های عرض به ضخامت یکسان و با کمک گرفتن از مدل‌سازی در نرم افزار ABAQUS این سه مدل از لحاظ شکل پذیری و کارایی باهم مقایسه شدند و در نهایت این نتیجه برداشت شد که باوجود اینکه مقطع شش ضلعی پر نشده با بتن مقاومت بیشتری نسبت به سایر مقاطع داشت و لیکن مقطع دایره شکل ستون CFT از مقاومت فشاری و شکل پذیری بیشتری نسبت به سایر مقاطع برخوردار بود [18].

حسینی و موسوی (1394)، به بررسی رفتار ستون‌های مشبک فولادی پر شده با بتن در برابر بار آتش می‌پردازد و نتایج حاصل به این شرح است، ستون‌های CFT با این نوع مقطع با استفاده از نرم افزار اجزای محدود آباکوس مورد بررسی قرار گرفته شده



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

است. بدین منظور ابتدا یک ستون CFT با در نظر گرفتن اندرکنش بین جداره و هسته بتنی مدل شده و پس از صحت سنجی مدل عددی با نتایج تجربی، بار حرارتی به ستون اعمال گردید و سپس مدل مورد مطالعه پارامتریک قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از هسته بتنی در ستون فلزی موجب افزایش مقاومت ستون در برابر بار حریق می‌گردد [5].

لینگ وهمکاران (2016)، به بررسی تئوری در کمانش موضعی ستون CFT مستطیل شکل تحت فشار غیرعادی پرداخته‌اند و نتایج حاصله به این شرح است، این فرمول به منظور بررسی رفتار کمانش محلی از صفحات فولاد در به‌طور غیرمعارف لود ستون CFT مستطیل شکل استفاده می‌شود. پیدا شده است که فشار کمانش موضعی ورق‌های فولادی در ستون مستطیل شکل CFT به‌طور غیرمعارف لود طور قابل توجهی توسط ضرایب تنش و نسبت عرض به ضخامت تحت تأثیر قرار در حالی که آن را کمی از نسبت ابعاد مقطعی (D/B) را تحت تأثیر قرار. در نهایت، محدوده مناسب برای نسبت عرض به ضخامت (B/T) و نسبت عمق ضخامت (D/t) در ضرایب شیب تنش‌های مختلف مربوط به نسبت‌های مختلف از جنبه‌های مقطعی برای صفحات فولادی در ستون مستطیل شکل CFT به‌طور غیرمعارف لود پیشنهاد. علاوه بر این، رابطه مناسب برای ضخامت صفحات فولاد در ضرایب مختلف شیب استرس برای طراحی ستون CFT مستطیل شکل تحت فشار غیرعادی پیشنهاد شده است [28].

یوجیو وهمکاران (2015)، به اثر ستون انعطاف پذیری فلنج در WF-پرتو به مستطیل اتصالات ستون CFT پرداخته‌اند، نتایج نشان می‌دهد که هر دو اثر پواسون و انعطاف پذیری از بال ستون به تغییر در الگوی جریان نیروی در منطقه محل اتصال تیر به ستون و لحظه‌ای ناکارآمد انتقال توانایی از طریق وب پرتو منجر شود، و در نتیجه سطح بالایی از تقاضا استرس هیدرو استاتیک فلنج پرتو. سوراخ دسترسی جوش، ضخامت بال ستون و دیافراگم و اتصال به وب سایت جزئیات همه اثر خاصی بر بال ستون خم سختی و بهره‌وری انتقال از وب سایت پرتو. روش قدرت ارزیابی خمشی برای اتصال ستون CFT مستطیلی بر اساس تغییر شکل خارج از هواپیما نیز ارائه شده است. [33]

تجزیه و تحلیل داده ها

نرم افزار ABAQUS یک نرم افزار اجزاء محدود قدرتمند است که در عین توانایی‌های گسترده، به‌سادگی قابل یادگیری و استفاده است. روش اجزاء محدود یا روش المان‌های محدود (Finite Element Method) که به‌اختصار FEM نامیده می‌شود. روشی عددی برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل انتگرال‌هاست اساس کار این روش یا حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده سازی آن‌ها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روش‌های عددی مثل اویلر حل می‌شوند است. در حل معادلات دیفرانسیل جزئی مسئله مهم این است که به معادله ساده‌ای که از نظر عددی پایدار است. به این معنا که خطا در داده‌های اولیه و در حین آنقدر نباشد که به نتایج نامفهوم منتهی شود. ABAQUS قابلیت‌های گسترده ای را برای شبیه سازی در کاربرد های خطی و غیرخطی فراهم می‌کند مسایلی که دارای اجزای متعدد و مصالح مختلف هستند را می‌توان با تعریف هندسه هر جزء و اختصاص دادن مصالح تشکیل دهنده آن و سپس تعریف اندرکنش بین این اجزاء شبیه سازی کرد. در تحلیل های غیرخطی ABAQUS به‌صورت خودکار نمو بار و رواداری همگرایی مناسب را انتخاب و به‌طور پیوسته در طول تحلیل این پارامترها را تنظیم می‌کند تا از به دست آمدن نتایج دقیق اطمینان حاصل شود.

پیش پردازش

در این مرحله مدل مسئله ساخته و یک فایل ورودی ABAQUS ایجاد می‌شود. مدل را معمولاً می‌توان به‌صورت گرافیکی با استفاده از ABAQUS/CAE و یا سایر پیش پردازنده ها ایجاد کرد و یا می‌توان فایل ورودی ABAQUS را با استفاده از یک ویرایشگر متن مثل Notepad ساخت.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS/CAE)

نرم افزار (ABAQUS/CAE) محیط کاملی است که فضایی ساده و کاربر پسند برای ساختن مدل های ABAQUS ، انجام تحلیل و مشاهده و بررسی مراحل تحلیل و ارزیابی نتایج حاصل از شبیه سازی دارد. نرم افزار ABAQUS/CAE به چندین ماژول تقسیم شده است. و هر ماژول بخشی از پروسه مدل سازی را بر عهده دارد. برای مثال ماژولهایی برای تعریف هندسه مدل ، خصوصیات مصالح و تولید مش بندی اختصاص داده شده است. با انتخاب از یک ماژول به ماژول دیگر و انجام عملیات مدل سازی مرتبط و تکرار این کار تا آخرین ماژول مدل اجزاء محدود ساخته خواهد شد. وقتی که ساختن مدل به اتمام رسید، نرم افزار ABAQUS/CAE یک فایل ورودی می سازد و مدل ساخته شده را به بخش پردازشگر نرم افزار تحویل می دهد. پردازنده های ABAQUS استاندارد و ABAQUS صریح فایل ورودی را خوانده و تحلیل را انجام می دهد و در حین تحلیل پیامهایی را به ABAQUS /CAE انتقال می دهد تا کاربر در جریان روند تحلیل قرار گیرد. سپس پایگاه اطلاعات خروجی ساخته می شود. و در نهایت از ماژول Visualization برای خواندن از پایگاه داده اطلاعات خروجی و نمایش آن ها استفاده می شود.

انواع تحلیل در نرم افزار ABAQUS

تحلیل خطی

در تحلیل های خطی بین بار های اعمالی و پاسخ سیستم رابطه خطی وجود دارد. برای مثال اگر یک فنر خطی به طور استاتیکی تحت یک بار 10 نیوتنی به میزان یک متر افزایش طول پیدا می کند. همین فنر تحت بار 20 نیوتنی به میزان 2 متر تغییر طول خواهد داد. این بدین معنی است که در یک تحلیل ABAQUS استاندارد خطی انعطاف پذیری سازه تنها یک بار محاسبه می شود.

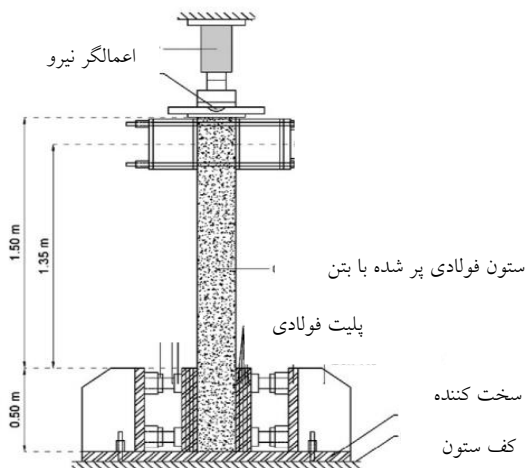
تحلیل غیر خطی

مسئله سازه ای غیر خطی مسئله ای است که در آن سختی سازه با تغییر شکل آن تغییر می کند. تمامی سازه های فیزیکی غیر خطی هستند. تحلیل خطی تقریبی مناسب است که اغلب برای مقاصد طراحی مناسب است. از آنجایی که پاسخ یک سیستم غیر خطی تابعی از اندازه بار های اعمالی نیست، نمی توان از اصل جمع آثار قوا برای حل مسئله استفاده کرد. هر حالت بار گذاری باید با استفاده از یک تحلیل مجزا تعریف و حل شود.

نمونه آزمایشگاهی مرجع

مدل آزمایشگاهی A Silva و همکاران (2016) به عنوان الگویی برای مدل سازی استفاده شده است. شکل (3-3) نمونه فولادی پر شده با بتن با ابعاد دایره ای شکل مرجع را نشان می دهد. برای سهولت در مدل سازی ابعاد مدل آزمایشگاهی با ابعاد $\frac{1}{4}$ کوچک شده است.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



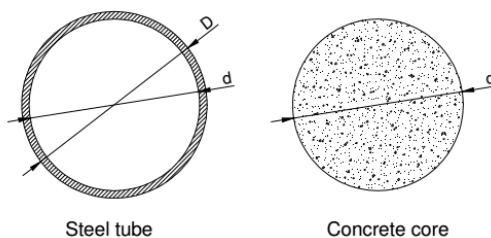
شکل(2): نمونه فولادی پر شده با بتن با ابعاد دایره‌ای شکل مرجع [1]

مدل‌سازی ستون فولادی پر شده با بتن در نرم افزار ABAQUS

به‌منظور شبیه‌سازی واقعی رفتار مدل‌های عددی با نمونه‌های ساخته شده در محیط آزمایشگاه و همچنین مدل‌سازی واقعی رفتار بتن پس از ترک خوردن و نیز مکانیزم تسلیم و کماتش جداره‌های فولادی که با تغییر شکل‌های بزرگ همراه می‌باشند، باید از تحلیل غیرخطی هندسی و مصالح استفاده شود. در این گونه تحلیل‌ها، سختی سازه به نسبت تغییر شکل، تغییر می‌کند. اشاره به این نکته که فرض خطی بودن مسائل یک فرض ساده کننده برای حل ساده و طراحی اولیه است و در اغلب موارد در مثال‌های کاربردی اجرای تحلیل‌های غیرخطی مورد نیاز است.

ابعاد مدل‌سازی

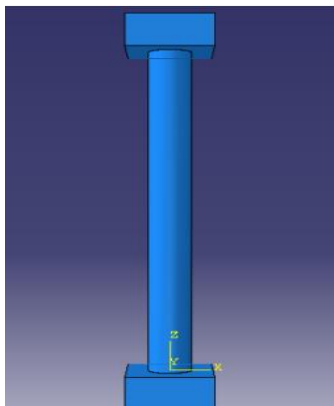
ابعاد مدل در شکل‌های زیر نشان داده شده است. مدل از چند بخش تشکیل شده است که شامل بتن، ستون فولادی بیرونی، دو تکیه‌گاه در بالا و پایین مدل میشود.



شکل(3): ابعاد و جزییات مقطع بتن و فولاد



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (4): مدل مونتاژ شده نهایی ستون فولادی پر شده با بتن

خصوصیات مصالح

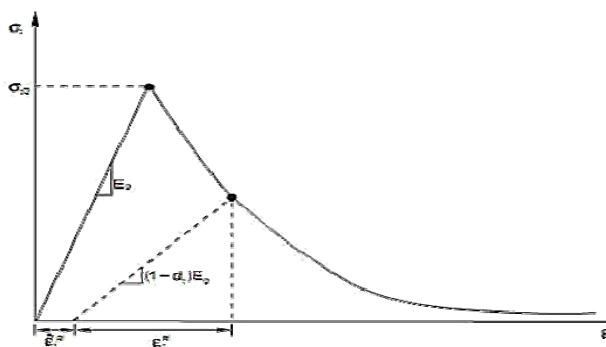
در پژوهش حاضر از فولاد و بتن در مدل سازی استفاده می شود. در ادامه ویژگی بتن و فولاد تشریح می شود.

ویژگی بتن

نسبت پواسون بتن ν_s تحت تنش فشاری غیر محوری برابر $0/19$ تا $0/02$ است. در این مطالعه نسبت پواسون بتن برابر $0/2$ در نظر گرفته می شود. مقاومت فشاری غیر محوری و کرنش متناظر در بتن غیر محبوس شده در شکل (5) به ترتیب به صورت f'_c و ϵ'_c نشان داده شده است. مقدار ϵ'_c معمولاً برابر $0/002$ تا $0/003$ است که در این تحقیق برابر $0/002$ فرض گردیده است. زمانی که بتن در معرض فشار محبوس کننده جانبی قرار می گیرد، مقاومت فشاری غیر محوری f'_{cc} و با کرنش متناظر خیلی بزرگتر از مقدار بتن غیر محبوس شده است. رابطه مابین f'_{cc} و f'_c و همچنین بین ϵ'_{cc} و ϵ'_c به صورت معادله زیر ارائه می گردد.

$$f'_{cc} = f'_c + k_1 f_1 \quad \text{رابطه (1)}$$

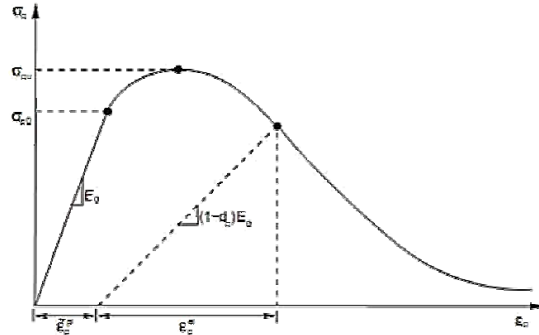
$$\epsilon'_{cc} = \epsilon'_c \left(1 + k_2 \frac{f_1}{f'_c} \right) \quad \text{رابطه (2)}$$



شکل (5): نمودار تنش - کرنش غیر محوری بتن رفتار کششی



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (6): نمودار تنش- کرنش غیر محوری بتن رفتار فشاری

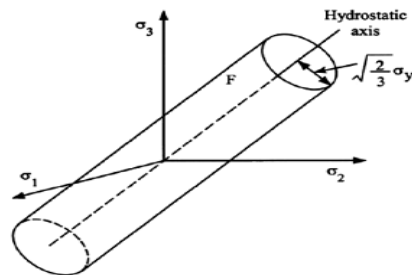
فولاد

در تحلیل‌ها نسبت پواسون و مدول الاستیسیته E_s مقاطع فولادی به ترتیب برابر $0/3$ و 200 Gpa در نظر گرفته شده، و رفتار غیرمحوری مقاطع فولادی همانند شکل 3 به صورت نمودار تنش کرنش در تحلیل‌ها استفاده شده است. زمانی که مقاطع فولادی در معرض تنش‌های چند محوره قرار می‌گیرد، از معیار تسلیم Von Mises برای تعریف سطح تسلیم اولیه، به کار برده شده است که از همین رو:

$$F = \sqrt{3} \sigma_y$$

رابطه (3)

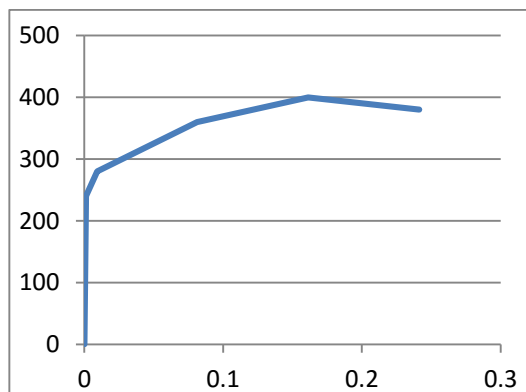
$$= \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} - \sigma_y = 0$$



شکل (7): سطح تسلیم تنش‌های اصلی Von Mises در حالت سه بعدی



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (8): نمودار تنش- کرنش فولاد

شرایط مدل سازی

تحلیل المان محدودی ستون های CFT امکان درک رفتار واقعی با کمترین هزینه در کوتاه ترین زمان ارائه می دهند.

مقاطع فولادی داخلی، بیرونی و هسته بتنی توسط معادله انتگرال کاهش یافته و توسط عناصر حجمی^۱ هشت گرهی^۲ با سه درجه آزادی C3D8R مدل سازی شده است. باید به این نکته توجه داشت که در المان های Reduced Integration نسبت به نوع انتگرال گیری کامل یک نقطه انتگرال گیری کمتری در هر جهت از المان دارند. از همین رو این تفاوت می تواند موجب ایجاد پدیده های به نام ساعت شنی^۳ گردد، که ناشی از انعطاف پذیری بالای این گونه المان ها است. بنابراین در صورت استفاده از المان های خطی Integration Reduced بایستی المان ها به حد کافی ریز انتخاب گرداند. المان های خطی Reduced Integration در مقابل اعوجاج تحمل زیادی دارند، لذا در مدل هایی که میزان اعوجاج زیاد است استفاده از این المان همراه بامش ریز توصیه می گردد. بارگذاری به صورت یکنواخت در صفحه بالایی به طوری که بار در جهت خلاف هم، به صورت یکسان اعمال گردیده است. بار از نوع جابجایی متناظر با دوران مورد نظر است صفحات بالایی و پایینی توسط دستور Tie به ستون مورد نظر متصل شده است.

اندرکنش بین بتن و فولاد

اندرکنش مابین بتن و فولاد در جهت نرمال از نوع Hard Contact و در جهت Tangential و از نوع الگوریتم penalty است ضریب اصطکاک در نظر گرفته شده برابر 0.6 است بین بالا و پایین ستون قید tie برای اتصال تکیه گاه ها به مدل تعریف شده است.

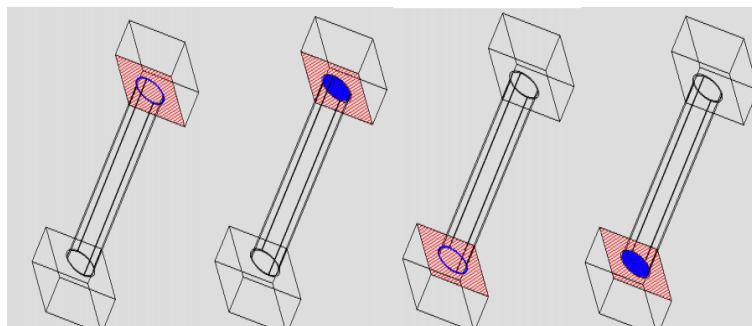
¹ Solid

² Brick

³ Hour Glass



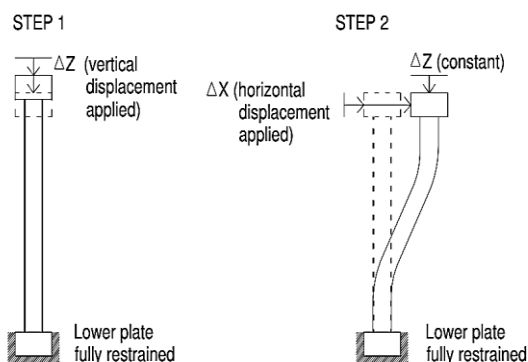
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (9): محل های اعمال و تعریف قید در مدل

الگوی باگذاری وارد بر مدل

در شکل زیر نحوه وارد شدن بار جانبی بر مدل صورت شماتیک نشان داده شده است. بار به دو صورت و در دو مرحله وارد میشود. بار شامل دو بار محوری و بار جانبی می باشد.



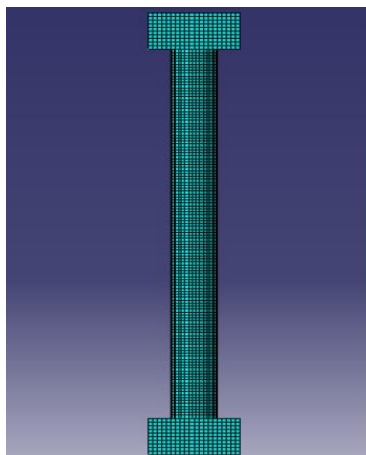
شکل (10): نحوه اعمال بار بر مدل

مش بندی

برای مش بندی بتن و فولاد از الگوریتمهای مش بندی استفاده می شود. مش باید دقیق باشد و گرهها و مش بندی در حالت بهینه از نظر ابعاد و دقت و همچنین حجم محاسبات و خروجیها مورد بررسی قرار گیرد. مدل نهایی مش بندی شده در شکل زیر نشان داده شده است.



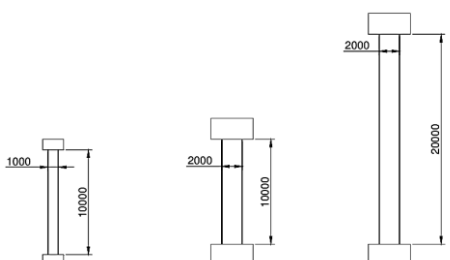
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (11): مدل نهایی مش بندی شده مدل

جدول (1): مش بهینه ابعاد مدل

Element	Model	Global element size	No. of elements per section	No. of sections	Total number of elements	Relative size
Steel tube	Mesh 1	800	32	14	448	6%
	Mesh 2	400	48	25	1200	16%
	Mesh 3	200	56	50	2800	37%
	Mesh 4	100	76	100	7600	100%
Concrete core	Mesh 1	800	38	14	532	3%
	Mesh 2	400	61	25	1525	10%
	Mesh 3	200	85	50	4250	27%
	Mesh 4	100	159	100	15900	100%
Steel plates	Mesh 1	320	36	3	108	5%
	Mesh 2	230	81	4	324	14%
	Mesh 3	170	144	6	864	37%
	Mesh 4	120	289	8	2312	100%



شکل (12): 3 ابعاد مختلف ستون فولادی پر شده با بتن در تحلیل حاضر

برای بررسی ابعاد طول ستون از 3 ابعاد مختلف با طول 10 و 20 متر و قطر های 1 و 2 متر و ضخامت های مختلف استفاده شده است. نمونه های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج خروجی توضیح داده شده است.

جدول (2): نتایج نمونه های مختلف مورد بررسی

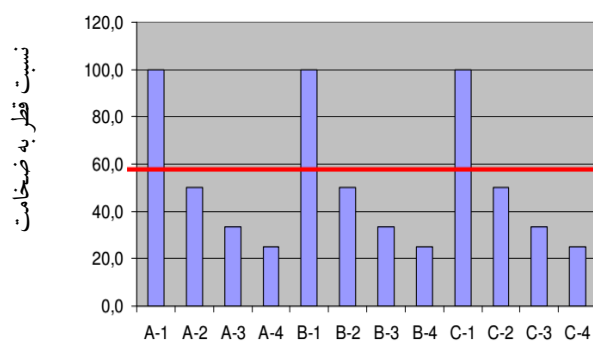


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



					f_y	H/D	D/t	max D/t (EN1994-1-1)
	H[mm]	D[mm]	d[mm]	t[mm]	[N/mm ²]			
A-1	10000	1000	980	10	355	10	100,0	59,6
A-2	10000	1000	960	20	355	10	50,0	59,6
A-3	10000	1000	940	30	355	10	33,3	59,6
A-4	10000	1000	920	40	355	10	25,0	59,6
B-1	10000	2000	1960	20	355	5	100,0	59,6
B-2	10000	2000	1920	40	355	5	50,0	59,6
B-3	10000	2000	1880	60	355	5	33,3	59,6
B-4	10000	2000	1840	80	355	5	25,0	59,6
C-1	20000	2000	1960	20	355	10	100,0	59,6
C-2	20000	2000	1920	40	355	10	50,0	59,6
C-3	20000	2000	1880	60	355	10	33,3	59,6
C-4	20000	2000	1840	80	355	10	25,0	59,6

بررسی نمودارهای هیستوگرام برای تغییر نسبت قطر به ضخامت در شکل (13) نشان داده شده است.

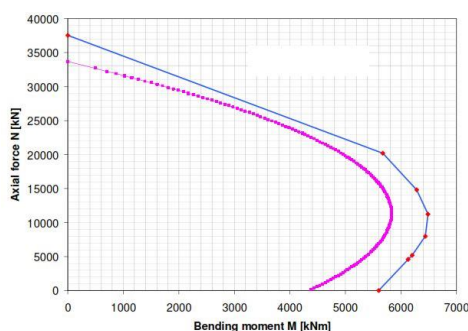


شکل (13): بررسی تاثیر نسبت قطر به ضخامت

همانطور که در شکل (13) نشان داده شده است، برای نمونه های با ضخامت کمتر کمانش و جابجایی بیشتر از 6 سانتی متر رخ داده است. اما برای نمونه های با ضخامت بیشتر نتایج جابجایی مدل اعداد کمتری بدست آمد. این موضوع نشان دهنده تاثیر زیاد ضخامت بر رفتار مدل است. تاثیر ضخامت مدل از طول مدل بیشتر بوده است.

تغییر پارامتریک ابعاد و نمودارهای خروجی

در این بخش با تغییر پارامتریک ابعاد مدل، نتایج بدست آمده است.

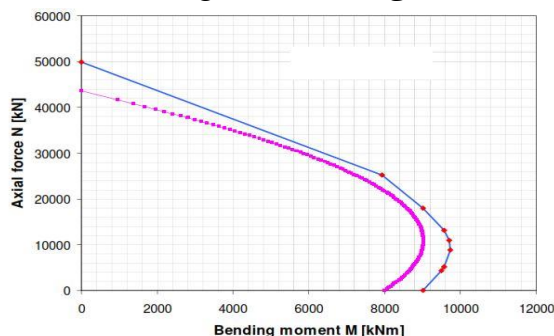




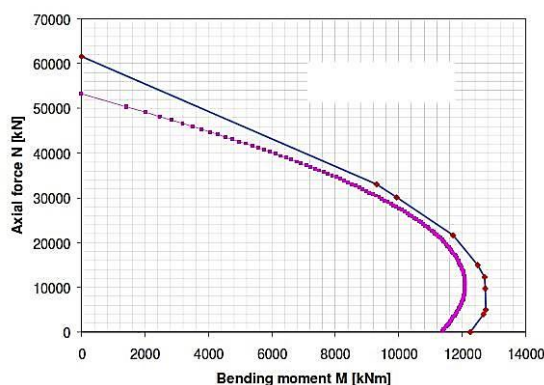
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (14): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 1 متر، ضخامت جداره فولادی 0/01 متر



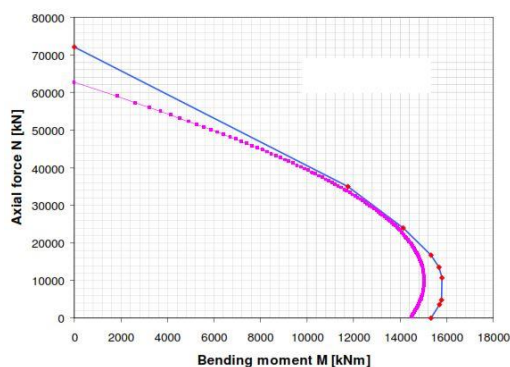
شکل (15): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 1 متر، ضخامت جداره فولادی 0/02 متر



شکل (16): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 1 متر، ضخامت جداره فولادی 0/03 متر

همانطور که در شکل های (14) تا (16) نشان داده شده است. با افزایش ضخامت جداره فولادی در مدل با ارتفاع 10 متر مقدار لنگر خمشی نمونه افزایش می یابد. نتیجه این موضوع افزایش ظرفیت باربری ستون است. برای نمونه با ضخامت 0/01 متر مقدار لنگر نهایی برابر حدود 6500 کیلونیوتن بر متر بدست آمد. برای نمونه با ضخامت 0/02 مقدار لنگر ماکزیمم برابر حدود 10000 کیلو نیوتن بر متر بدست آمد. و برای نمونه با ضخامت 0/03 متر مقدار لنگر نهایی برابر حدود 13000 کیلونیوتن بر متر بدست آمد.

بعنوان نتیجه نمودارهای می توان چنین نتیجه گیری کرد که با افزایش ضخامت جداره فولادی بیرونی ظرفیت باربری ستون افزایش می یابد.

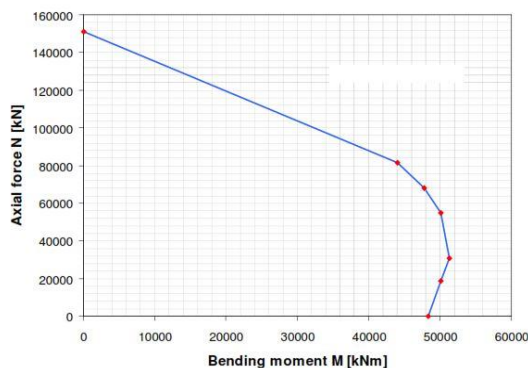




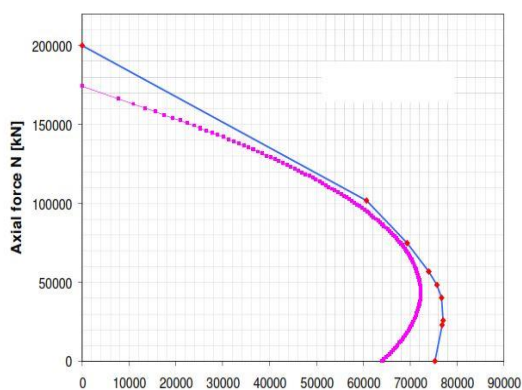
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



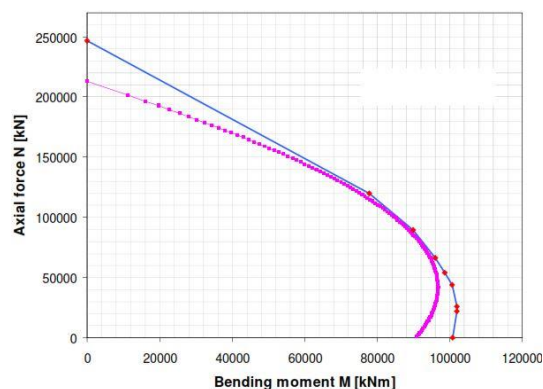
شکل (17): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 1 متر، ضخامت جداره فولادی 0/04 متر



شکل (18): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/02 متر



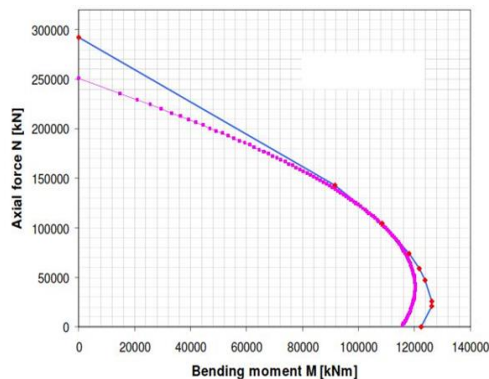
شکل (19): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/04 متر



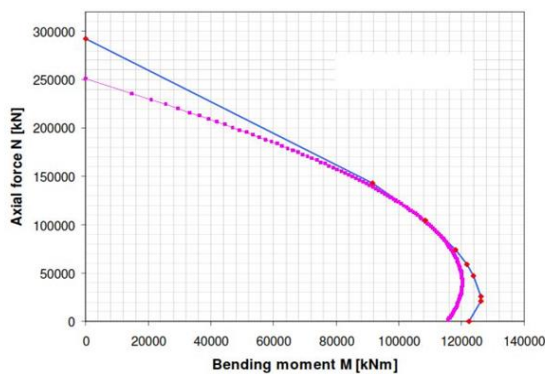
شکل (20): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/06 متر



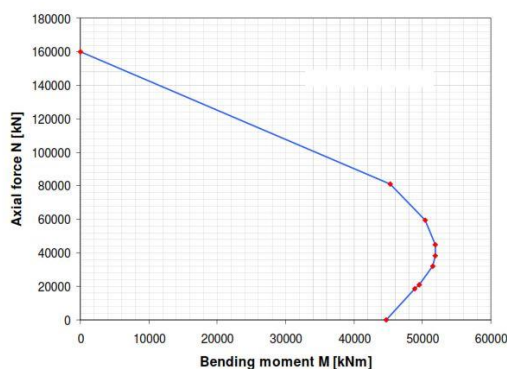
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (21): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/08 متر



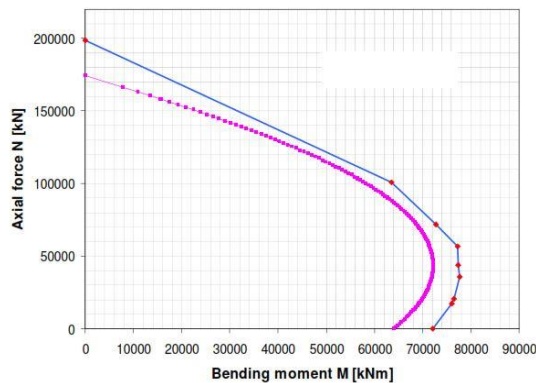
شکل (22): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/08 متر



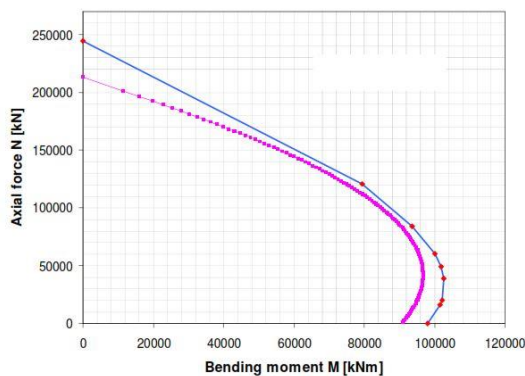
شکل (23): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 10 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/08 متر



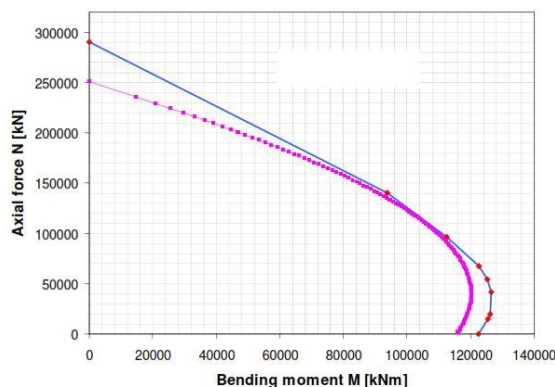
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (24): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 20 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/04 متر



شکل (25): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 20 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/06 متر

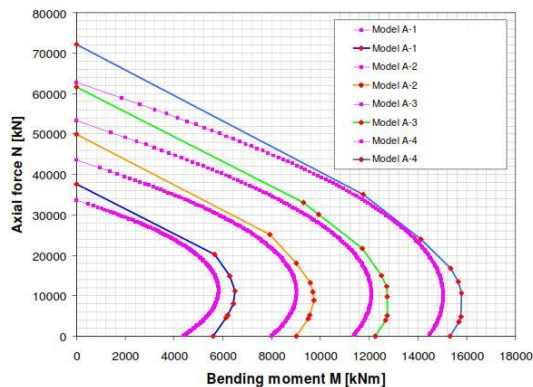


شکل (26): نمودار لنگر خمشی تحت نیروی جانبی برای نمونه با ارتفاع 20 متر، قطر 2 متر، ضخامت جداره فولادی 0/08 متر

همانطور که در شکل های (17) تا (26) مشخص است. نتایج نشان می دهد که با افزایش ضخامت جداره فولادی در مدل ظرفیت تحمل لنگر خمشی و به طبع آن ظرفیت باربری ستون افزایش می یابد. جمع بندی نمودار های فوق در شکل زیر نشان داده شده است. برای مقایسه راحت نتایج شکل زیر مدل های مختلف در شکل آورده شده است.

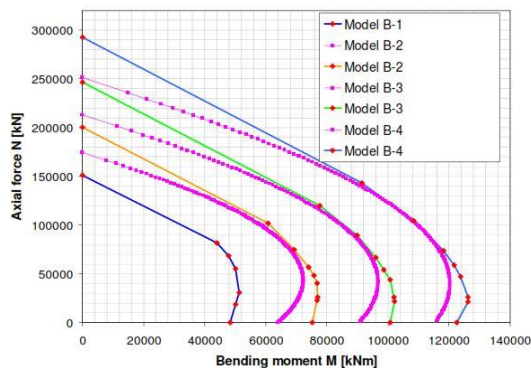


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

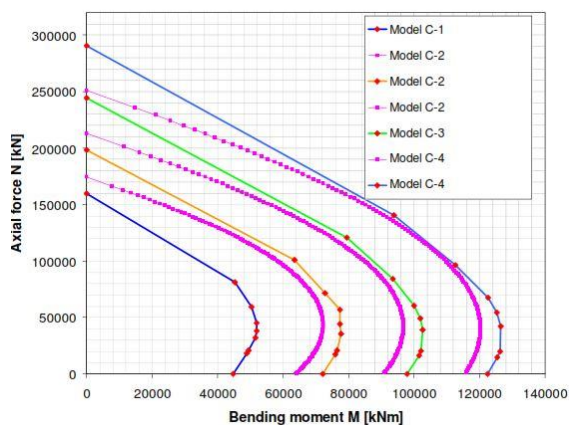


شکل(27): نتایج مدل های مختلف با ارتفاع 10 متر مورد بررسی

نتایج نموداره ای مختلف نشان می دهد که با افزایش ضخامت ظرفیت باربری و ماکزیمم لنگر خمشی ستون فولادی پر دشه با بتن افزایش می یابد.

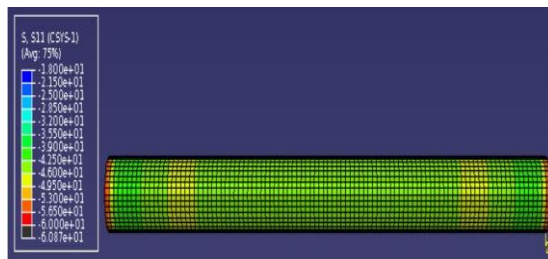


شکل(28): نتایج مدل های مختلف با ارتفاع 10 متر و قطر 2 متر مورد بررسی



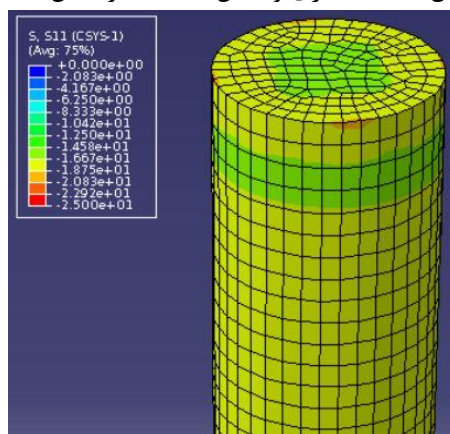
شکل(29): نتایج مدل های مختلف با ارتفاع 20 متر مورد بررسی

شکل های زیر تغییر شکل مدل را تحت بار نشان می دهد. مقدار تنش حداکثر برابر حدودا 30 نیوتن بر میلی متر مربع و مقدار نهایی تنش باربر حدود 43 نیوتن بر میلیمتر مربع بدست آمد.



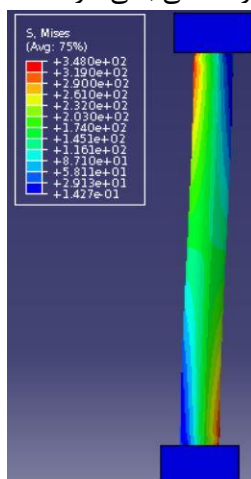
شکل (30): تغییر شکل جداره بتنی تحت بارگذاری با حداکثر تنش 43 نیوتن بر میلی متر مربع

شکل (30) تغییر شکل جداره فولادی مدل تحت بارگذاری و شکل (31) تغییر شکل هسته بتن تحت بارگذاری را نشان میدهد.

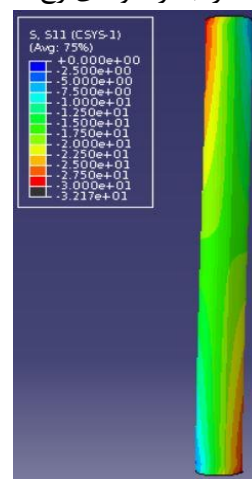


شکل (31): تغییر شکل هسته بتن تحت بارگذاری

تغییر شکل پلاستیک در جداره فولادی رخ داده است که نشان از رفتار مناسب جداره داخلی بتنی دارد.



الف) تغییر شکل در مدل تحت بار جانبی



ب) تغییر شکل با حذف تکیه گاه در نمایشگر آباکوس

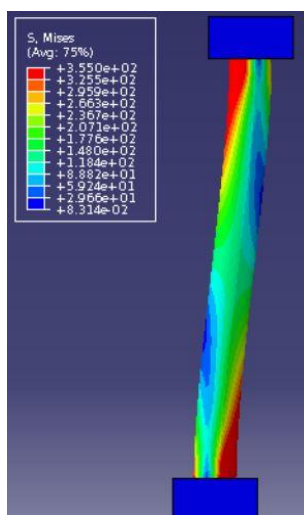
شکل (32): تغییر شکل مدل تحت بار جانبی از نمای روبرو



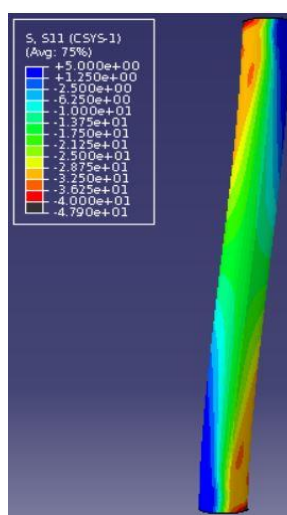
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (32) تغییر شکل مدل تحت بار جانبی از نمای روبرو را نشان میدهد. تغییر شکل بیشتر و مقادیر ماکزیمم تنش در بالا و پایین ستون رخ داده است.



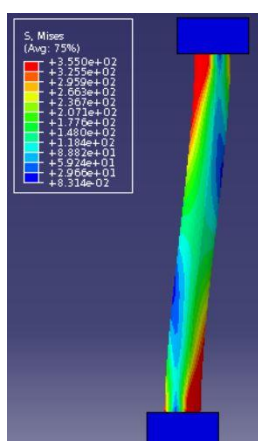
الف) تنش در مدل با افزایش بارگذاری



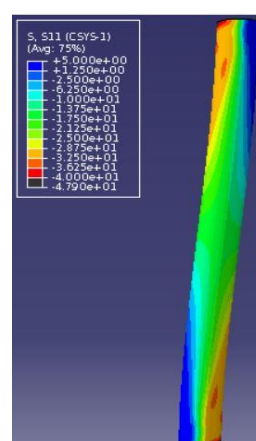
ب) تنش در مدل با افزایش بارگذاری با حذف تکیه گاه در نمایشگر نرم افزار

شکل (33): تغییر شکل مدل تحت بار جانبی از نمای روبرو با افزایش نیرو

شکل (33) تغییر شکل مدل تحت بار جانبی از نمای روبرو با افزایش نیرو نشان داده شده است. تنش وون مایسز نشان می دهد که در بالا و پایی نستون وضعیت بحرانی و تغییر شکل پلاستیک رخ می دهد.



الف) تسلیم مدل در بالا و پایین ستون



ب) تسلیم مدل

شکل (34): تسلیم در جداره مدل تحت بار جانبی



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



با مشاهده نمودارهای فوق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، که مقاومت جانبی در همه مدل‌ها که تحت بار سیکلی جانبی قرار گرفته‌اند، در تغییر مکان‌های بالا کاهش می‌یابد. با افزایش نیروی محوری بر میزان و شدت افت مقاومت جانبی افزایش می‌یابد و نیز این افت از تغییر مکان کوچک‌تری آغاز می‌گردد. افت سریع مشاهده شده در مقاومت نمونه‌ها که در بسیاری از نمونه‌ها مشاهده می‌شود، عمدتاً به دلیل حالت شکست حاکم بر ستون‌ها (که کمانش کلی و موضعی است) است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر رفتار ستون‌های فولادی پر شده با بتن با تحلیل‌های عددی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌صورت خلاصه عبارت‌اند از:

- ✓ برای نمونه‌های با ضخامت کمتر کمانش و جابجایی بیشتر از 6 سانتی متر رخ داده است. اما برای نمونه‌های با ضخامت بیشتر نتایج جابجایی مدل اعداد کمتری بدست آمد. این موضوع نشان دهنده تاثیر زیاد ضخامت بر رفتار مدل است. تاثیر ضخامت مدل از طول مدل بیشتر بوده است.
- ✓ با افزایش نسبت قطر به ضخامت، مدار جابجایی کاهش می‌یابد. این موضوع نشان از نقش کلید ضخامت فولاد بیرونی در جابجایی مدل دارد. و پارامتر نسبت قطر به ضخامت هرچه بیشتر باشد رفتار بهتر است.
- ✓ مقدار جابجایی نهایی مدل برابر حدود 3.5 سانتی متر بدست آمد. و مقدار نیروی نهایی برابر حدود 38000 کیلو نیوتن بدست آمد. شکل پذیری مدل دایره ای برابر 3.5 بدست آمد
- ✓ برای نمونه مربعی شکل، مقدار جابجایی نهایی برابر 3.7 میلیمتر و نیروی نهایی برابر 20000 کیلو نیوتن بدست آمد.
- ✓ برای نمونه مستطیلی شکل، مقدار جابجایی نهایی برابر 70 میلیمتر و نیروی نهایی برابر 19500 کیلو نیوتن بدست آمد.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

- ✓ با افزایش ضخامت جدار هفولادی در مدل با ارتفاع 10 متر مقدار لنگر خمشی نمونه افزایش می یابد. نتیجه این موضوع افزایش ظرفیت باربری ستون است. برای نمونه با ضخامت 0/01 متر مقدار لنگر نهایی برابر حدود 6500 کیلونیوتن بر متر بدست آمد. برای نمونه با ضخامت 0/02 متر مقدار لنگر ماکزیمم برابر حدود 10000 کیلو نیوتن بر متر بدست آمد. و برای نمونه با ضخامت 0/03 متر مقدار لنگر نهایی برابر حدود 13000 کیلونیوتن بر متر بدست آمد.
- ✓ بعنوان نتیجه نمودارهای می توان چنین نتیجه گیری کرد که با افزایش ضخامت جداره فولادی بیرونی ظرفیت باربری ستون افزایش می یابد.
- ✓ نتایج نشان می دهد که با افزایش ضخامت جداره فولادی در مدل ظرفیت تحمل لنگر خمشی و به طبع آن ظرفیت باربری ستون افزایش می یابد.
- ✓ مقدار تنش حداکثر برابر حدودا 30 نیوتن بر میلی متر مربع و مقدار نهایی تنش برابر حدود 43 نیوتن بر میلیمتر مربع بدست آمد.
- ✓ با مشاهده نمودارهای فوق می توان نتیجه گیری کرد که، که مقاومت جانبی در همه مدل ها که تحت بار سیکلی جانبی قرار گرفته اند، در تغییر مکان های بالا کاهش می یابد. با افزایش نیروی محوری بر میزان و شدت افت مقاومت جانبی افزایش می یابد و نیز این افت از تغییر مکان کوچک تری آغاز می گردد. افت سریع مشاهده شده در مقاومت نمونه ها که در بسیاری از نمونه ها مشاهده می شود، عمدتاً به دلیل حالت شکست حاکم بر ستون ها (که کمانش کلی و موضعی است) است.

منابع و مراجع:

- [1]. برومند، عسگری، سروقد مقدم، بررسی رفتار لرزه ای اتصال خمشی تیر به ستون CFT توسط بولتهای عبوری، سومین کنفرانس بین المللی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، 1394
- [2]. بهشت آئین، تقویت ستون های فولادی با استفاده از مقاطع CFT، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران، 1391
- [3]. بیرانوند و حسینی، مطالعه ی پارامتری رفتار هیستریزس اتصالات تیر فولادی به ستون های cft، چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران، یاسوج، 1394
- [4]. حامدی و شیراسب، مقایسه رفتار لرزه ای اتصال اصطکاکی و اتکائی تیر فولادی به ستون CFT توسط صفحه انتهایی و میل مهار عبوری از درون ستون، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، 1393
- [5]. حسینی و موسوی، بررسی رفتار ستونهای مشبک فولادی پر شده با بتن در برابر آتش، همایش بین المللی معماری عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران، 1394
- [6]. خدادادی و بخشی، بررسی و مقایسه عملکرد لرزه ای ساختمانهای فولادی با ستون های CFT دارای میراگرهای اصطکاکی و بدون میراگر مجهز به جداساز اصطکاکی پاندولی، سومین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران، سمنان، 1393
- [7]. خسروی امیری، توسلی، درخشان داوری، ارزیابی رفتار تاریخچه زمانی ستون های CFT در ساختمانهای بلند مرتبه، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، 1393
- [8]. خونساری و جواهرزاده، بررسی رفتار ستون های فولادی پر شده با بتن (CFT) دارای سخت کننده های طولی و پر شده با بتن مسلح به الیاف فولادی، دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری، شیراز، 1394



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

- [9]. رمضانپورخاکی وعموزاد، اثر سخت کننده ها در ستون های CFT تحت اثر بارهای دینامیکی، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، 1392
- [10]. سکوتی بداغ و فردوسی ، مدل سازی و شبیه سازی عددی ستون های CFT با هسته بتنی تقویت شده با الیاف FRP، همایش ملی پژوهش های کاربردی در افق های نوین عمران و معماری، بوشهر، 1395
- [11]. سید شاکر هاشمی ، کاوه شایان ، محمد واقفی. "بررسی ضریب رفتار قاب خمشی فولادی با ستون CFT". هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان 17 و 18 اردیبهشت 1392.
- [12]. شیر، ایمانی، پورصمد، بررسی رفتار بتن پر شده در لوله - CFT با مقطع گرد بدون بار محوری، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز، 1392
- [13]. عبدالله زاده ، یاپنگ غراوی ، هاشمی ، مدل سازی اتصال پیچی تیر I شکل به ستون CFT با ورق انتهایی به روش مؤلفه ها، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، 1392
- [14]. عسلیان ورزاقی، بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر رفتار سازه ای ستونهای CFT، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی سازه های سبک فولادی 1391 - (LSF) تهران، 1391
- [15]. علیزاده وعابدی، بررسی رفتار ستون تقویت شده مدور فولادی پر شده با بتن (CFT) تحت اثر آتش، مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز « (پیاپی 71)، تابستان 1392 شماره 2، تبریز، 1392
- [16]. محمد علی لطف الهی یقین و مجتبی ضیائیون . " بررسی رفتار ستون های مرکب دو لایه تحت اثر متقابل نیروی محوری و لنگر خمشی " . مجله مدل سازی در مهندسی ، سال دهم، شماره 31 ، زمستان 1391.
- [17]. هاشمی، شایان، واقفی، بررسی ضریب رفتار قاب خمشی فولادی با ستون CFT، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، 1392
- [18]. یزدان پناه وطاهری، بررسی و مقایسه سه مقطع برای ستون های CFT از لحاظ کارایی و شکل پذیری، دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، 1395.
- [19]. Silva a, Y. Jiang, J.M. Castro, N. Silvestre, R. Monteiro. "Experimental assessment of the flexural behaviour of circular rubberized concrete-filled steel tubes". Journal of Constructional Steel Research 122 (2016) 557–570.
- [20]. Abdollahzadeh. Gharavi. And Beig, Analytical and Experimental Investigation of I Beam-to-CFT Column Connections under Monotonic Loading , IJE TRANSACTIONS B: Applications Vol. 27, No. 2, (February 2014) 293-306
- [21]. Ankur Tailor, Dalal, And Desai, Comparative Performance Evaluation of Steel Column Building & Concrete Filled Tube Column Building under Static and Dynamic Loading, Procedia Engineering 173 (2017) 1847 – 1853
- [22]. Bing Hana , Yu-Ying Jiao, Hui-Bing Xie, Li Zhu." Creep Of Compression Fly Ash Concrete-Filled Steel Tubular Members". Thin-Walled Structures 114 (2017) 116–121 By Martin D. O'shea, 1 Member, Asce, And Russell Q. Bridge, 2 Fellow, Asce. "Design Of Circular Thin-Walled Concrete Filled Steel Tubes" Journal Of Structural Engineering / November 2000. 126:1295-1303.
- [23]. Gunasekaran, Sheet, And MacRae, Experimental investigation of CFT column to steel beam connections under cyclic loading, Journal of Constructional Steel Research, Volume 86, 2013, Pages 167-182



- [24]. Hong Huang , Lin-Hai Han , Zhong Tao , Xiao-Ling Zhao . " Analytical behaviour of concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) stub columns " . Journal of Constructional Steel Research 66 (2010) 542_555 .
- [25]. J.C.M. Ho , C.X. Dong . " Improving strength , stiffness and ductility of CFDST columns by external confinement " . Thin-Walled Structures 75(2014)18–29 .
- [26]. Ketan Patel, And Sonal Thakkar, Analysis of CFT, RCC and Steel Building Subjected to Lateral Loading, Procedia Engineering, Volume 51, 2013, Pages 259-265
- [27]. Kojiro Uenaka , Hiroaki Kitoh , Keiichiro Sonoda . " Concrete filled double skin circular stub columns under compression " . Thin-Walled Structures 48 (2010) 19–24 .
- [28]. Ling Long, Jun Wan, And Jian Cai, Theoretical study on local buckling of rectangular CFT columns under eccentric compression, Journal of Constructional Steel Research, Volume 120, 2016, Pages 70-80
- [29]. Lin-hai han , Wen-Da Wang , Xiao-Ling Zhao. Behaviour of steel beam to concrete-filled SHS column frames: finite element model and verifications. Engineering structure(2007),doi:10. 1016/j. engstruct.2007. 10. 018.
- [30]. Lin-Hai Han , Zhong Tao , Hong Huang , Xiao-Ling Zhao . " Concrete-filled double skin (SHS outer and CHS inner) steel tubular beam-columns" . Thin-Walled Structures 42 (2004) 1329–1355.
- [31]. Xiao-Ling Zhao , Raphael Grzebieta . " Strength and ductility of concrete filled double skin (SHS inner and SHS outer) tube " . Thin-Walled Structures 40 (2002) 199–213.
- [32]. Yoshiaki Goto, Kumar. And Seki. Finite Element Analysis for Hysteretic Behavior of Thin-Walled CFT Columns with Large Cross Sections, Procedia Engineering Volume 14, 2011, Pages 2021-2030
- [33]. Yujie Yu, Chen, And Wang, Effect of column flange flexibility on WF-beam to rectangular CFT column connections, Journal of Constructional Steel Research Volume 106, March 2015, Pages 184–19.
- [34]. Zhong Tao , Lin-Hai Han , Xiao-Ling Zhao . " Behaviour of concrete-filled double skin (CHS inner and CHS outer) steel tubular stub columns and beam-columns". Journal of Constructional Steel Research 60 (2004) 1129–1158.
- [35]. Zhong Tao , Lin-Hai Han . " Behaviour of concrete-filled double skin rectangular steel tubular beam-columns " . Journal of Constructional Steel Research 62 (2006) 631–646 .