

# مطالعه و بررسی رفتار ستون های کامپوزیت CFST تحت بارگذاری سیکلیک

سید علی موسوی داودی<sup>۱</sup> مرتضی نقی پور<sup>۲</sup>

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه- دانشکده فنی مهندسی، مرکز آموزش عالی طبری

۲-استاد دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط Ali\_mousavii@yahoo.com

## چکیده

استفاده قرار می گیرد. مزایای هر دو مصالح امروزه به خوبی شناخته شده است. ترکیب هوشمندانه این دو مصالح، یک سیستم مؤثر و کاراتر در برابر انفجار، انفجارهای پس از آتش سوزی ساختمان پلاسکوی تهران در مقایسه با استفاده هر یک از مصالح به مؤثر خواهد داشت. عدم وجود عوامل اجرایی کارآمد کافی، نبود دستورالعمل مشخص و معتبر جهت طراحی لرزه ای اینگونه از ستون ها، نحوه مدل کردن هندسه و متريال آنها می تواند همچنان از موانع پیش رو در استفاده از اینگونه از سیستم ها باشد. در تحقیق حاضر با توجه به اهداف مسأله باید پارامترهای مختلفی را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد، این پارامتر نوع هندسه مقطع ستون می باشد. هدف در واقع میزان تأثیر پارامترهای تعریف شده به خصوص هندسه ستون بر رفتار و ظرفیت لرزه ای ستون های CFST می باشد دستیابی به مقاومتی بالا بخصوص برای ستون ها که اتفاقاً بارگذاری روی آنها با افزایش طبقات به صورت تصاعدي افزایش می یابد، با در انتها این پژوهش مشخص می شود که مقاطع دایره ایی ستون های مرکب CFST نسبت به ستون های با هندسه مربع رفتار و عملکرد بهتری را از خود نشان می دهد و در ادامه نشان داده می شود که استفاده از ستون های مرکب CFST می تواند به عنوان راه حل اساسی برای حل چالش های موجود بین طراحان سازه و معمار مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ستون CFST، بار لرزه ای، تحلیل غیر خطی بوش اور، تحلیل اجزاء محدود

## ۱. مقدمه

ستون باکسی مرکب، پر شده با بتن CFST به طور روزافزون بعنوان یک ستون یا تیر ستون در سازه های بادی بندی شده و یا قاب های خمشی مورد استفاده قرار می گیرد. با استفاده از مقاطع سرد نورد شده دایره ای یا مستطیلی مربعی در ساختمان های مختلف با بتن های پیش تنیده یا درجا ریخته شده در سراسر جهان مرسوم گردیده است، این سازه ها با مقاطعی با ابعاد بالا و درجا ریخته شده در ستون های اصلی که باید در برابر نیروهای لرزه ای مقاوم باشد در ساختمان های چند طبقه بادی بندی شده و قاب های خمشی استفاده شده است. ستون های باکسی پر شده با بتن از پلیت جوش شده به هم درست شده اند و در ساختمان های بلند جهان با ستون های دایره ای از لوله ها استفاده شده است. در مجموع در ژاپن از این روش برای ستون های پل به طور معمول استفاده می شود. [۱]

اعضای پر شده با بتن در سازه‌ها یکسری نتایج خوب با مقاطع متعادل از فولاد، بتن مسلح، و یا فولاد مسلح شده با بتن دارد. وقتی از قاب‌های مرکب از فولاد و بتن شامل مقاطع I شکل در تیرهای اصلی که به صورت مربعی مسطییلی یا دایره‌ای قاب شده‌اند که این قاب‌ها به طور کامل یا بخشی از آن یا اتصالات آنها گیردار شده‌اند، CFSTها باعث یکنواختی عالی و مقاومت زیاد در برابر لرزه در جهت عمود برهم و تناسب خوب برای مقاومت برابر خمش یکطرفه به همراه بار محوری می‌شود. برای طراحی لرزه‌ای CFSTها در بخش مقاوم در خمش قاب‌ها نسبت مقاومت بر وزن را بسیار بالا می‌برد و بدلیل محبوس بودن بتن و بادبندی ممتد، باکس‌های نواری با نسیت بالای مقاومت بر وزن از ستون‌های باکسی، باعث تأخیر در کمانش موضعی در آن می‌شود، رفتار استهلاکی تصحیح شده، در مقایسه با قاب‌های فولادی معمولی مشهود می‌باشد و افزایش شکل‌پذیری و سختی فولاد در بیرون محیطی که بطور مؤثر در مقاومت خمشی به خوبی کشش و فشار محوری بطوراجرای عمل می‌کند، قرار می‌گیرد در حالی که فرم‌های بتنی بعنوان یک هسته کمکی بسیار عالی به مقاومت در برابر بارهای فشاری خواهد کرد. باکس‌های فولادی همچون قاب در سازه عمل می‌کنند و اجرای آنها می‌تواند برای سازه‌های چندطبقه ارجع باشد چون در آنها هزینه کارگری و مصالح را کاهش خواهد داد. هزینه تمام شده اعضا کمتر از هزینه فولاد و به سختی با بتن مسلح بر پایه مقاومت بر هزینه برابری می‌کند. [۲]

ستون باکسی مرکب، پر شده با بتن CFST به طور روزافزون بعنوان یک ستون یا تیر ستون در سازه‌های بادبندی شده و یا قاب‌های خمشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از مقاطع سرد نوردشده دایره‌ای یا مسطییلی مربعی در ساختمان‌های مختلف با بتن‌های پیش‌تنیده یا درجا ریخته شده در سراسر جهان مرسوم گردیده است، این سازه‌ها با مقاطعی با ابعاد بالا و درجا ریخته شده در ستون‌های اصلی که باید در برابر نیروهای لرزه‌ای مقاوم باشد در ساختمان‌های چند طبقه بادبندی شده و قاب‌های خمشی استفاده شده است. ستون‌های باکسی پر شده با بتن از پلیت جوش شده به هم درست شده‌اند و در ساختمان‌های بلند جهان با ستون‌های دایره‌ای از لوله‌ها استفاده شده است. در مجموع در ژاپن از این روش برای ستون‌های پل به طور معمول استفاده می‌شود. [۲]

اعضای پر شده با بتن در سازه‌ها یکسری نتایج خوب با مقاطع متعادل از فولاد، بتن مسلح، و یا فولاد مسلح شده با بتن دارد. وقتی از قاب‌های مرکب از فولاد و بتن شامل مقاطع I شکل در تیرهای اصلی که به صورت مربعی مسطییلی یا دایره‌ای قاب شده‌اند که این قاب‌ها به طور کامل یا بخشی از آن یا اتصالات آنها گیردار شده‌اند، CFSTها باعث یکنواختی عالی و مقاومت زیاد در برابر لرزه در جهت عمود برهم و تناسب خوب برای مقاومت برابر خمش یکطرفه به همراه بار محوری می‌شود. برای طراحی لرزه‌ای CFSTها در بخش مقاوم در خمش قاب‌ها نسبت مقاومت بر وزن را بسیار بالا می‌برد و بدلیل محبوس بودن بتن و بادبندی ممتد، باکس‌های نواری با نسیت بالای مقاومت بر وزن از ستون‌های باکسی، باعث تأخیر در کمانش موضعی در آن می‌شود، رفتار استهلاکی تصحیح شده، در مقایسه با قاب‌های فولادی معمولی مشهود می‌باشد و افزایش شکل‌پذیری و سختی فولاد در بیرون محیطی که بطور مؤثر در مقاومت خمشی به خوبی کشش و فشار محوری بطوراجرای عمل می‌کند، قرار می‌گیرد در حالی که فرم‌های بتنی بعنوان یک هسته کمکی بسیار عالی به مقاومت در برابر بارهای فشاری خواهد کرد. [۳]

باکس‌های فولادی همچون قاب در سازه عمل می‌کنند و اجرای آنها می‌تواند برای سازه‌های چندطبقه ارجع باشد چون در آنها هزینه کارگری و مصالح را کاهش خواهد داد. هزینه تمام شده اعضا کمتر از هزینه فولاد و به سختی با بتن مسلح بر پایه مقاومت بر هزینه برابری می‌کند. [۳]

## ۲. معرفی انواع ستون‌های مرکب فولادی-بتنی

ستون‌های مرکب با مقاطع مختلفی ساخته می‌شوند که از این رو دارای تنوع ساختاری می‌باشند. ستون‌های مرکب از لحاظ محل قرارگیری بتن و فولاد به سه گروه کلی تقسیم‌بندی می‌شوند، که عبارتند از: [۳]

## 1-2 مقاطع جدار فولادی پر شده با بتن CFT

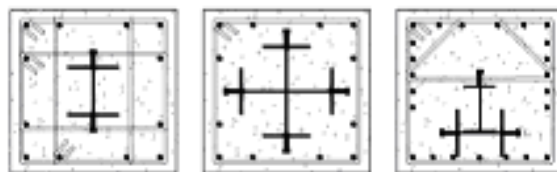
ستون هایی هستند که دارای هر دو مزایای فولاد و بتن می باشند. این ستون ها شامل مقطع فولادی توخالی دایره، مستطیل و یا چند ضلعی است، که با بتن پر می شوند. [۳]



شکل - ۱ مقاطع پر شده با بتن CFT [۳]

## 2-2 مقاطع فولادی مدفون در بتن یا مقاطع فولادی بتن مسلح SRC

در این گروه مقطع فولادی توسط بتن مسلح محصور شده است. به عبارت دیگر این مقطع شامل مقطع فولادی نورد شده یا مرکب که در داخل مقطع بتن مسلح مدفون شده است.



شکل - ۲ مقاطع مدفون در بتن SRC [۴]

## 3-2 مقاطع جزئی محصور شده

در این گونه مقاطع، نه بتن و نه فولاد هیچکدام به طور کامل توسط دیگری محصور نشده است. به بیان دیگر در وجوه خارجی این مقاطع، هم مصالح فولادی و هم مصالح بتنی قابل رؤیت می باشد. [۵]

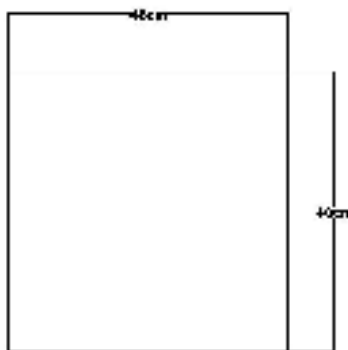


شکل - ۳ مقاطع جزئی محصور شده [۵]

### ۳. روش تحقیق

#### 1-3 معرفی نمونه‌های مورد تحلیل

در این پژوهش بمنظور مطالعه و بررسی رفتار مکانیکی ستون‌های CFST تحت بارگذاری سیکلیک از دو گروه مطالعاتی به نام‌های A, B استفاده خواهد شد، تمامی این مدل‌ها توسط برنامه ۶,۱۴ Abaqus مورد مدلسازی و تحلیل قرار خواهند گرفت، در جدول (۱) مشخصات این گروه‌های مورد آزمایش و پارامترهای موثر این دو گروه ارائه گردیده است، که در حالت کلی تشریح شده است.



شکل ۴- نمای هندسی مقطع گروه A



شکل ۵- نمای هندسی مقطع گروه B

جدول ۱- مشخصات نمونه های مقطع مورد تحلیل

| نام گروه | نوع شکل هندسی مقطع | ابعاد مقطع هندسی نمونه ها | نام گروه | ارتفاع مقطع | مقاومت فشاری بتن | ضخامت تیوب فولادی |
|----------|--------------------|---------------------------|----------|-------------|------------------|-------------------|
| GROUP A  | مربع               | 40×40                     | A-۱      | 2m          | 46 mpa           | 4mm               |
|          |                    |                           | A-۲      | 6m          |                  |                   |
| GROUP B  | دایره              | 40cm                      | B-۱      | 2m          |                  |                   |
|          |                    |                           | B-۲      | 6m          |                  |                   |

## 3-2 اعمال بارگذاری در محیط LOAD

به منظور بررسی و تحلیل سیکلیک مدل‌های مورد مطالعه نمونه های A,B نیاز است که در ماژول LOAD از برنامه Abaqus بارگذاری سیکلیک که در شکل (۶) ارائه گردیده است، را در تمامی مدل‌های مورد مطالعه اعمال کرد و سپس تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌اور را بر روی آن انجام داد.



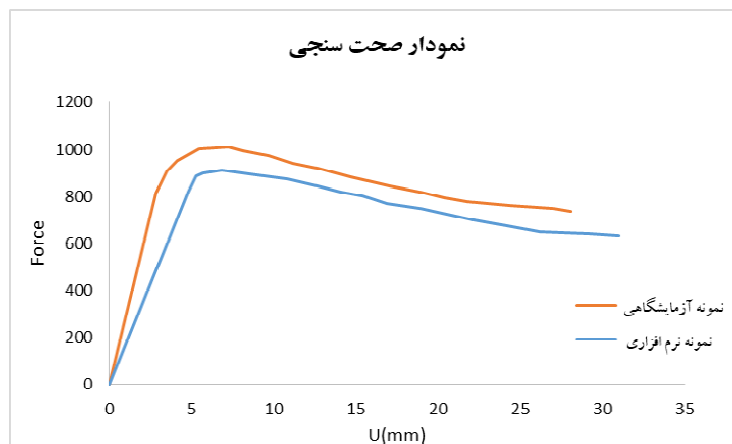
شکل ۶- بارگذاری سیکلیک اعمالی به تمامی نمونه‌های گروه مطالعاتی A,B

## ۴. صحت سنجی

جهت صحت نمونه مدل‌سازی شده نرم‌افزاری توسط برنامه آباکوس ما از مطالعات آزمایشگاهی کینگ<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ استفاده گردید، بعد از مدل‌سازی نمونه آزمایشگاهی نمونه کینگ و همکاران، در نرم افزار آباکوس و مقایسه دو نمودار-های نیرو-تغییر مکان مشاهده گردید که اختلاف این دو منحنی هیستریزیس دو نمونه بسیار کم بوده و داری اختلاف ناچیزی در حدود ۵ درصد هست که در شکل (۶) نمونه آزمایشگاهی مورد مطالعه و شکل (۷) نمودار نیرو-تغییر مکان آنها نشان داده شده است.



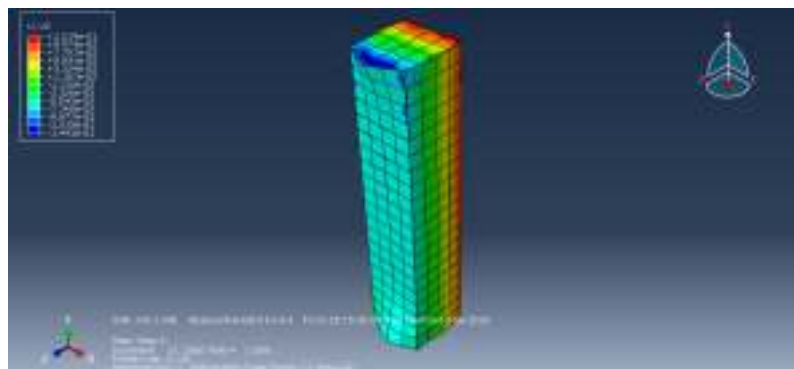
شکل ۷- شکل هندسی نمونه صحت سنجی شده مطالعات آزمایشگاهی Qing-Xin Ren و همکاران [۶]



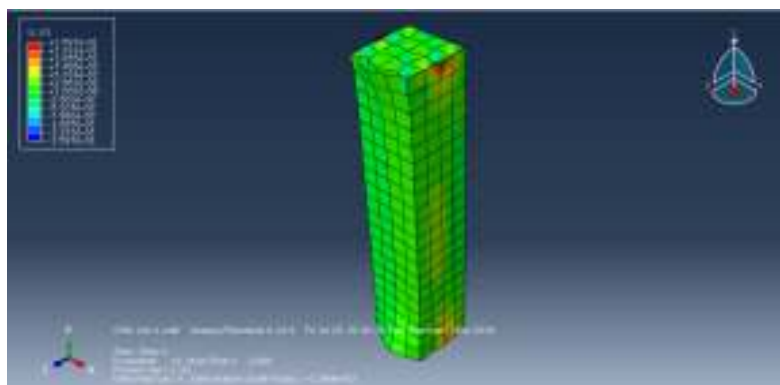
شکل ۸- نمودار صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی Qing-Xin Ren و همکاران و تحلیل اجزای محدود نرم افزاری

##### ۵. نتایج تحلیل نمونه‌های مورد مطالعه

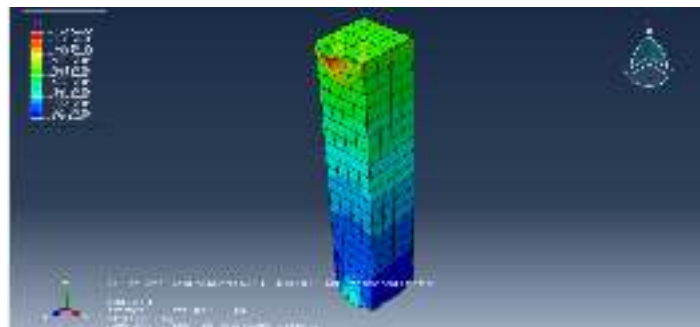
بعد از انجام تحلیل مدل‌های مطالعاتی گروه A در محیط گرافیکی Visualization از برنامه آباکوس کانتورهای پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده می‌گردد، در شکل (۹ الی ۲۷) کانتور تغییر مکان نمونه‌های گروه مطالعاتی نمونه A مشاهده می‌گردد.



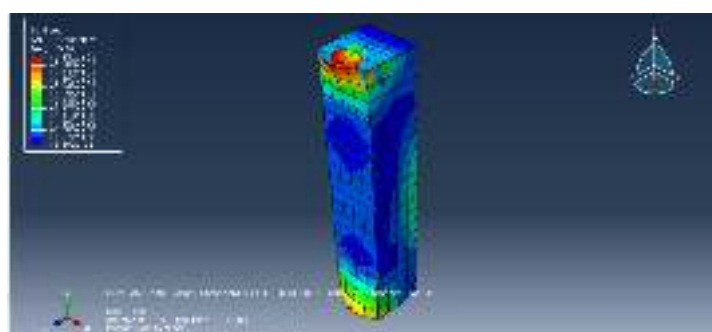
شکل ۹- توزیع تغییر مکان U-magnitude در مدل A-۱



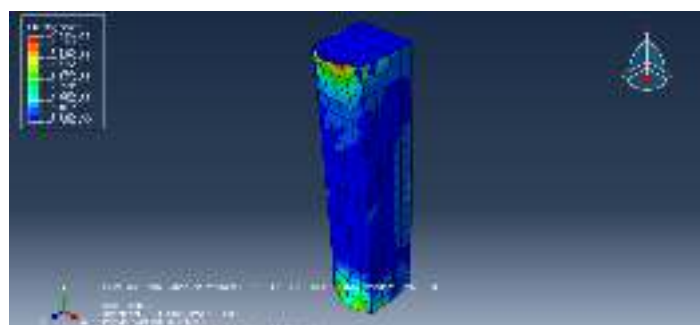
شکل ۱۰- توزیع تغییر مکان U-۱ در مدل A-۱



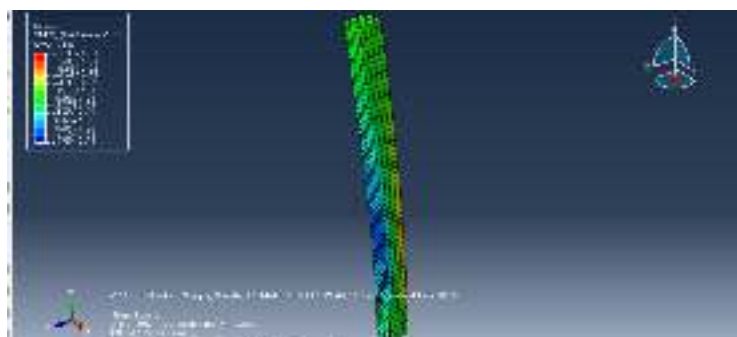
شکل ۱۱- توزیع تغییر مکان U-۲ در مدل A-۱



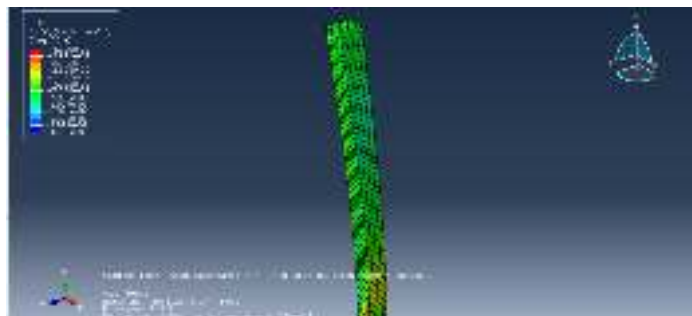
شکل ۱۲- توزیع تغییر مکان U-۳ در مدل A-۱



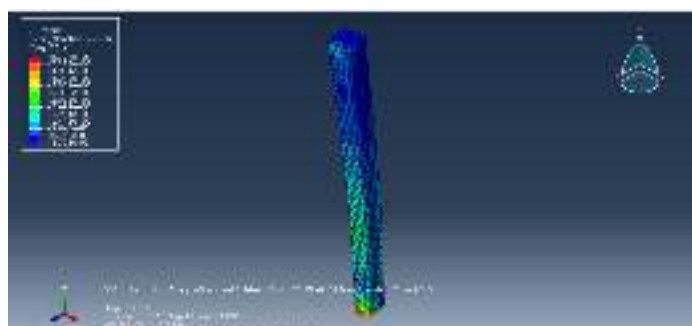
شکل ۱۳- توزیع تغییر مکان UR-magnitude در مدل A-۱



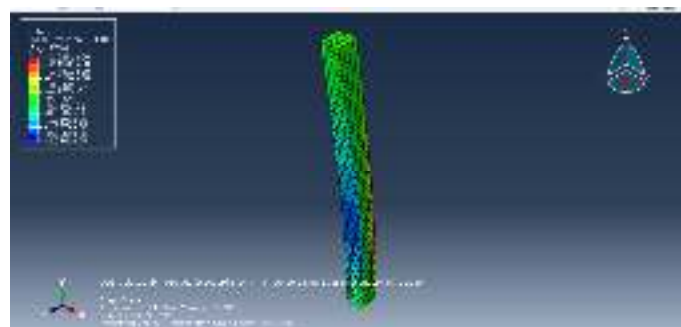
شکل ۱۴- توزیع تغییر مکان UR-۲ در مدل A-۲



شکل ۱۵- توزیع تغییر مکان UR-۳ در مدل A-۲

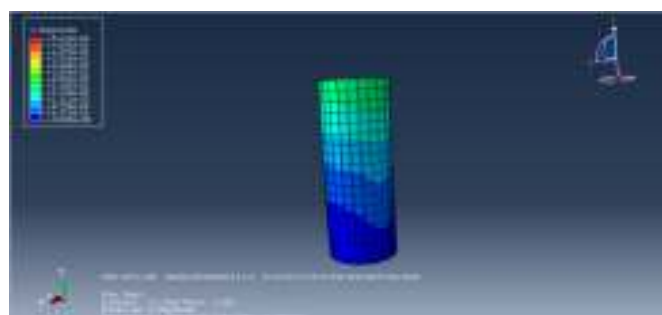


شکل ۱۶- توزیع تنش فون مایسزس S- Miss در مدل A-۲



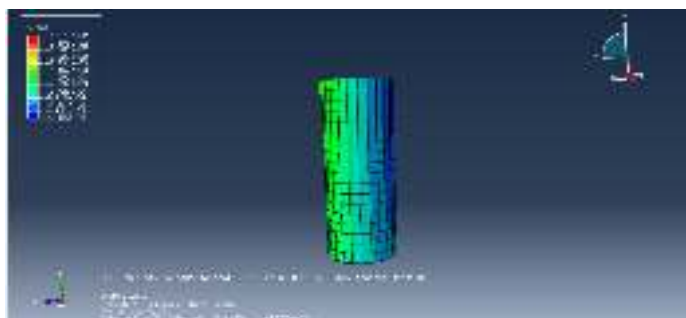
شکل ۱۷- توزیع تنش فون مایسزس S- S۱۱ در مدل A-۲

بعد از انجام تحلیل مدل‌های مطالعاتی گروه B در محیط گرافیکی Visualization از برنامه آباکوس کانتورهای پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده می‌گردد، در شکل (۸) کانتور تغییر مکان نمونه‌های گروه مطالعاتی نمونه B مشاهده می‌گردد.

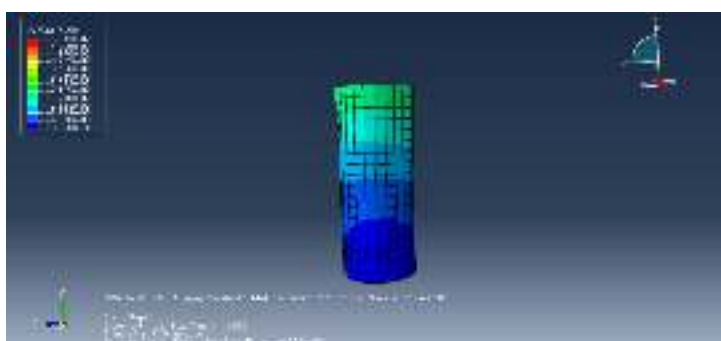


شکل ۱۸- توزیع تنش فون مایسزس S- S۲۲ در مدل B-۱

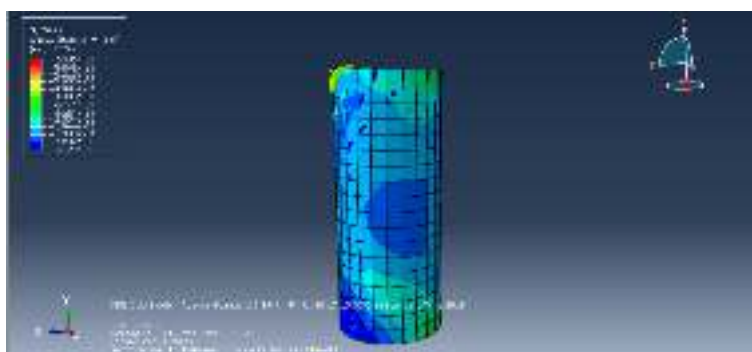




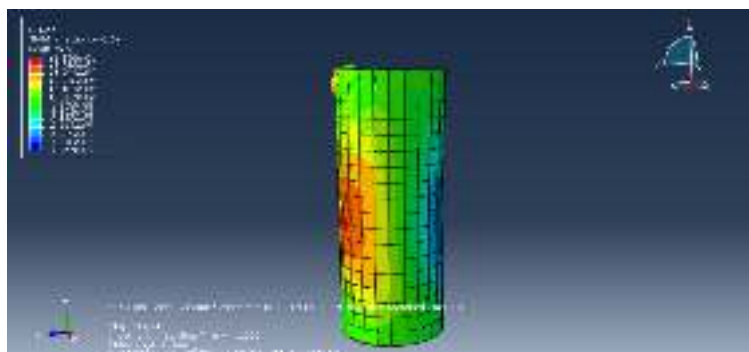
شکل ۱۹- توزیع تغییر مکان U در مدل B-۱



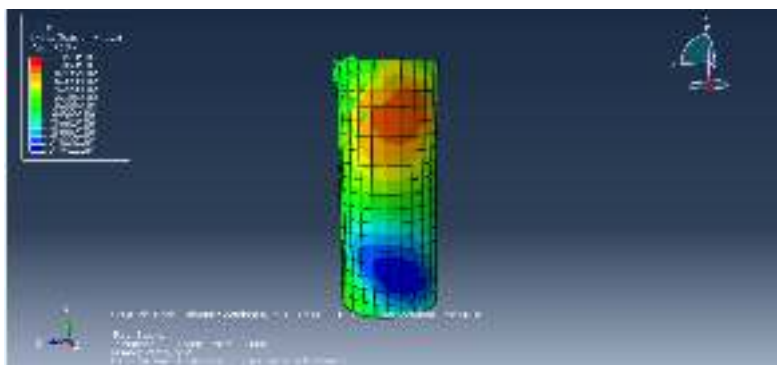
شکل ۲۰- توزیع تغییر مکان U-۱ در مدل B-۱



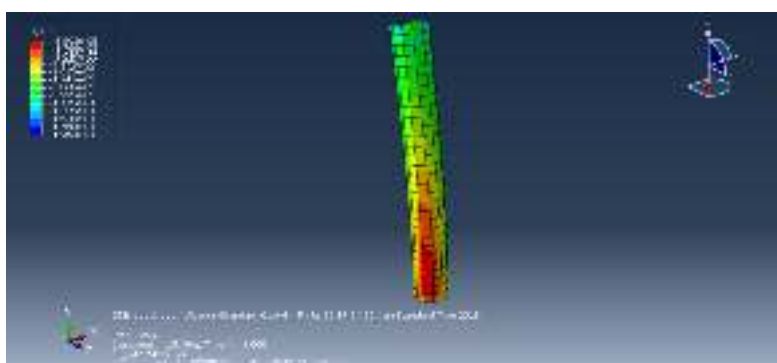
شکل ۲۱- توزیع تغییر مکان U-۲ در مدل B-۱



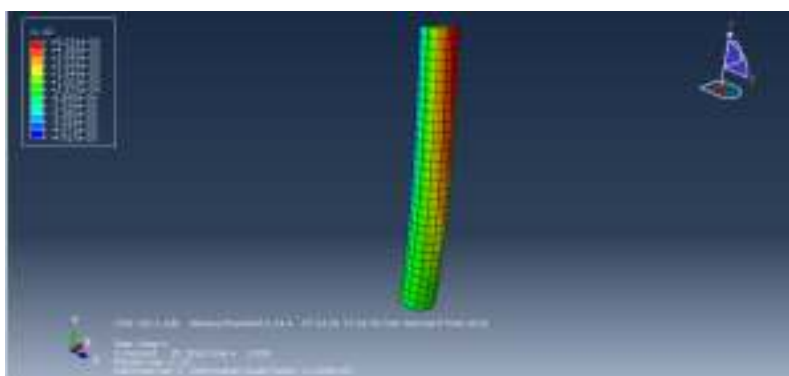
شکل ۲۲- توزیع تغییر مکان U-۳ در مدل B-۱



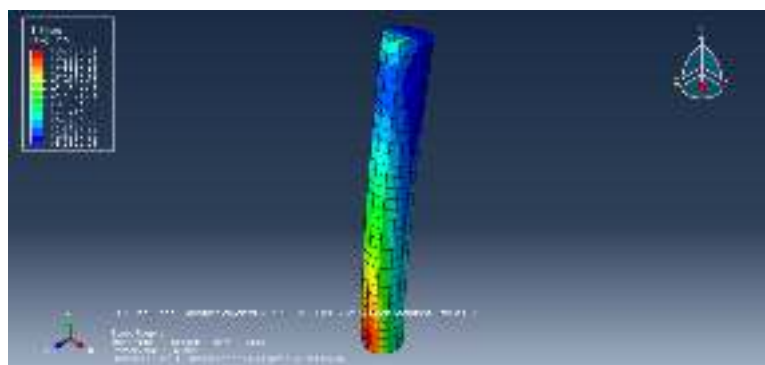
شکل ۲۳- توزیع تغییرمکان UR-magnitude در مدل B-۱



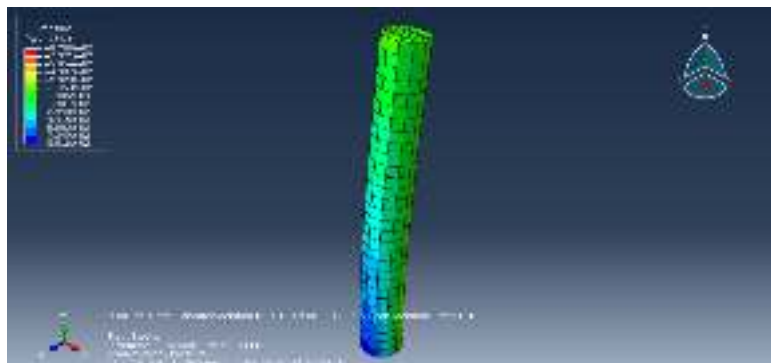
شکل ۲۴- توزیع تغییرمکان UR-۱ در مدل B-۲



شکل ۲۵- توزیع تغییرمکان UR-۲ در مدل B-۲



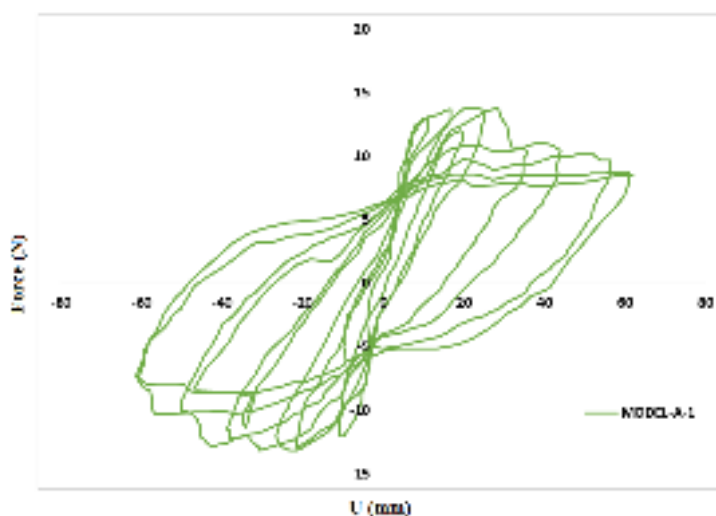
شکل ۲۶- توزیع تغییرمکان UR-۳ در مدل B-۲



شکل ۲۷- توزیع تنش فون مایسنز S-Miss در مدل B-۲

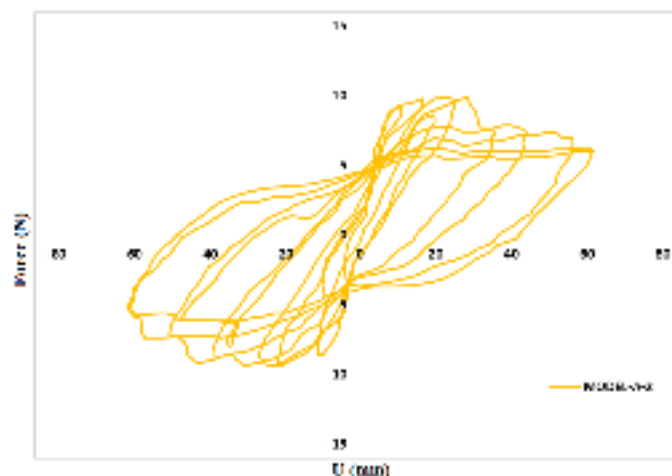
### 9. بررسی نتایج تحلیل نمونه‌های مورد مطالعه

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور (NSP) تحت بارگذاری سیکلیک معرفی شده برای نمونه‌های مطالعاتی از گروه A توسط ماژول VISULATION از برنامه آباکوس نمودار منحنی هسترزیس مدل A-۱ که ستون با مقطع هندسی مربع شکل با ابعاد 40340 و دارای ارتفاع ۲ متر می‌باشد در شکل (۲۸) ترسیم شده است.



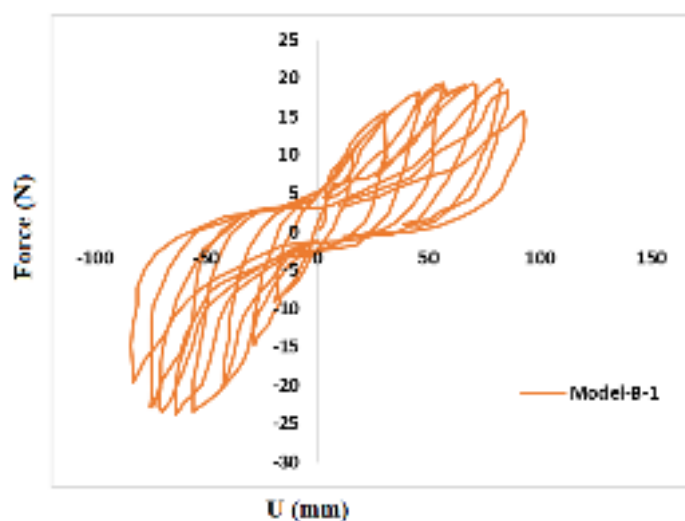
شکل ۲۸- نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A-۱ تحت بارگذاری سیکلیک

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور (NSP) تحت بارگذاری سیکلیک معرفی شده برای نمونه‌های مطالعاتی از گروه A توسط ماژول VISULATION از برنامه آباکوس نمودار منحنی هسترزیس مدل A-۲ که ستون با مقطع هندسی مربع شکل با ابعاد 40340 و دارای ارتفاع ۶ متر می‌باشد در شکل (۲۹) ترسیم شده است.



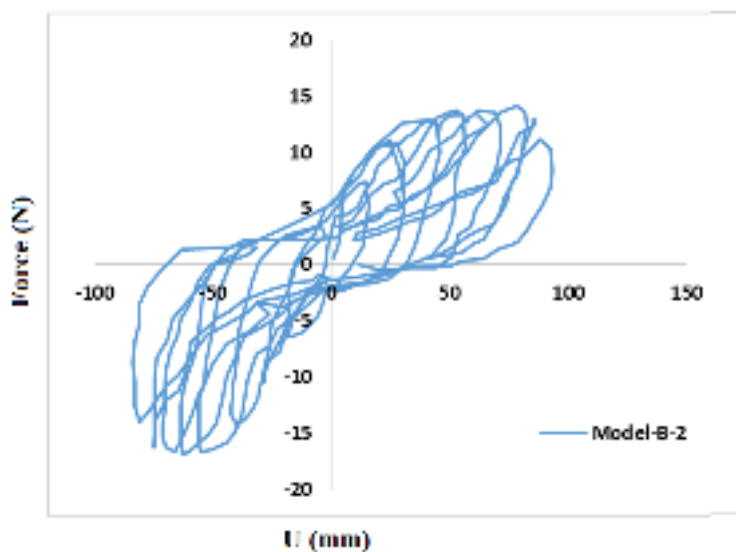
شکل ۲۹- نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A-۲ تحت بارگذاری سیکلیک

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور (NSP) تحت بارگذاری سیکلیک معرفی شده برای نمونه‌های مطالعاتی از گروه A توسط ماژول VISULATION از برنامه آباکوس نمودار منحنی هسترزیس مدل A-۱ که ستون با مقطع هندسی دایره ایی شکل با قطر 40 سانتی متر و دارای ارتفاع ۲ متر می‌باشد در شکل (۳۰) ترسیم شده است.



شکل ۳۰- نمودار نیرو-تغییر مکان مدل C تحت بارگذاری سیکلیک

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور (NSP) تحت بارگذاری سیکلیک معرفی شده برای نمونه‌های مطالعاتی از گروه A توسط ماژول VISULATION از برنامه آباکوس نمودار منحنی هسترزیس مدل A-۱ که ستون با مقطع هندسی دایره ایی شکل با قطر 40 سانتی متر و دارای ارتفاع ۶ متر می‌باشد در شکل (۳۱) ترسیم شده است.

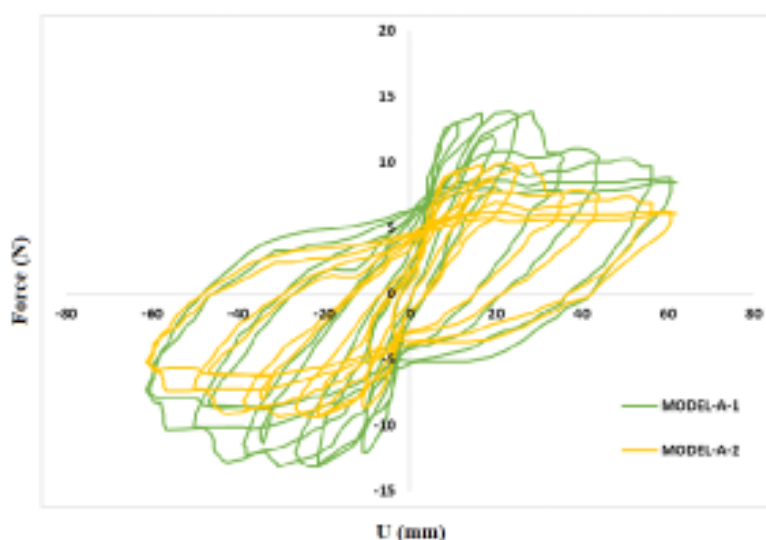


شکل ۳۱- نمودار نیرو-تغییر مکان مدل D تحت بارگذاری سیکلیک

#### 10. مقایسه نمودارهای هیستریزیس مدل های A,B

##### 10-1 نتایج گروه A

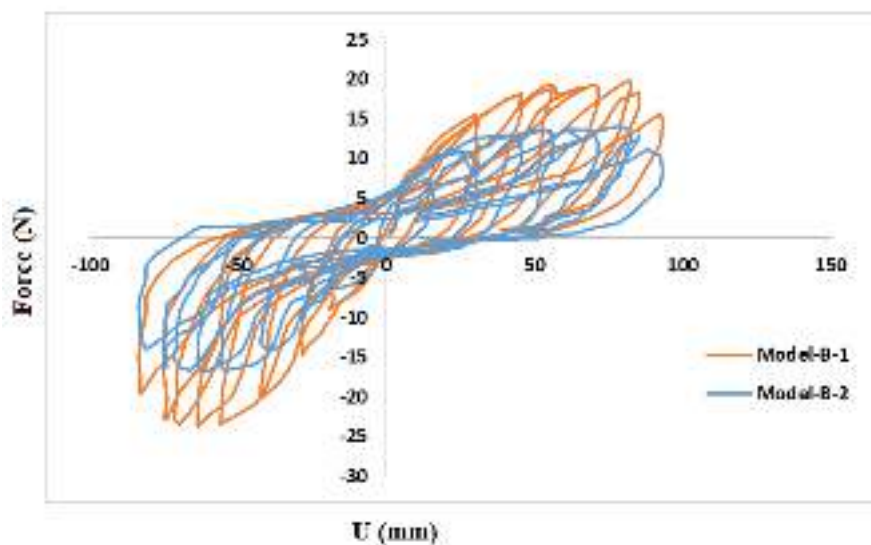
بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور گروه مطالعاتی A با مقطع هندسه مربع شکل و مدل A-1 با ارتفاع ۲ متر و مدل A-۲ با ارتفاع ۶ متر در محیط Visualization از برنامه آباکوس تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور (NSP) در شکل (۳۲) نمودار منحنی هیستریزیس دو نمونه A-۱ و نمونه A-۲ از گروه مطالعاتی A ترسیم در یک شکل واحد و مقایسه ایی ترسیم گردید، در شکل زیر با مقایسه نمودار منحنی هیستریزیس نمونه های گروه مطالعاتی A مشاهده گردید که رفتار مکانیکی مدل A-۱ عملکرد بهتری نسبت به مدل A-۲ دارد.



شکل ۳۲- مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان مدل A-۱ و A-۲ تحت بارگذاری سیکلیک

## 10-2 نتایج گروه B

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور گروه مطالعاتی B با مقطع هندسه مربع شکل و مدل B-1 با ارتفاع ۲ متر و مدل B-۲ با ارتفاع ۶ متر در محیط Visualization از برنامه آباکوس تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور (NSP) در شکل (۳۲) نمودار منحنی هسترزیس دو نمونه B-۱ و نمونه B-۲ از گروه مطالعاتی B ترسیم در یک شکل واحد و مقایسه ایی ترسیم گردید، در شکل زیر با مقایسه نمودار منحنی هسترزیس نمونه های گروه مطالعاتی B مشاهده گردید که رفتار مکانیکی مدل B-۱ عملکرد بهتری نسبت به مدل B-۲ دارد.



شکل ۳۳- مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان مدل B-۱ و B-۲ تحت بارگذاری سیکلیک

## 11. نتیجه گیری

در این پژوهش بمنظور بررسی رفتار ستون های CFST با مقطع دایره ایی و مربعی از دو گروه مطالعاتی A و B استفاده شد، هر یک از این گروه ها دارای دو زیر مجموعه مطالعاتی بود که در مجموع چهار نمونه مطالعاتی به نام های A-۱, A-۲, B-۱, B-۲ را تشکیل می داد، جهت مدل سازی نمونه های مورد مطالعه، از نرم افزار اجزاء محدود Abaqus ۶,۱۴ استفاده شد. بعد از مدل سازی و انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور (Nsp) تحت بارگذاری سیکلیک نتایج زیر در این پژوهش حاصل شد:

- با توجه به مقایسه نمودار هسترزیس مدل های A-۱ و مدل A-۲ مشاهده گردید با افزایش ۶۶,۶۶ درصدی ارتفاع مدل A-۲ نسبت به مدل A-۱ از ۲ متر به ۶ متر شاهد کاهش ۲۷/۱۴٪ درصدی منحنی مقاومت مقطع خواهد شد، که این نشان دهنده این است که لاغری اعضا باعث عملکرد نامطلوب رفتار ستون های CFST شده است.
- با توجه به مقایسه نمودار هسترزیس مدل های B-1 و مدل B-2 مشاهده گردید، با افزایش ۶۶,۶۶ درصدی ارتفاع مدل B-2 نسبت به مدل B-1 سبب کاهش ۲۴/۶۵٪ درصدی مقاومت مقطع گردد، این نکته نشان دهنده این مطلب است که پارامتر لاغری در مقاطع دایره ایی نسبت به مقاطع مربعی رفتار ستون های کامپوزیتی CFST را کمتر تحت تاثیر قرار خواهد داد، یعنی پارامتر لاغری در مقاطع مربعی تاثیر بیشتری بر روی مقاومت و عملکرد رفتاری ستون CFST نسبت به مقاطع دایره خواهد داشت.

- با توجه به مقایسه نمودار هیستریزیس ناشی از تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور مدل‌های A-1 و B-1 مشاهده گردید، با ثابت نگه‌داشتن ارتفاع و تغییر شکل هندسی از مقطع مربع به مقطع دایره‌ای سبب افزایش ۱۷٫۶۵ درصدی منحنی مقاومت مقطع می‌گردد، این نکته نشان دهنده این مطلب است، که مقطع دایره‌ای در ستون‌های کوتاه CFST عملکرد بهتری نسبت به ستون‌های مربعی در ستون‌های کوتاه دارد.
- با توجه به مقایسه نمودار هیستریزیس مدل‌های A-2 و B-2 مشاهده گردید با یک ارتفاع ثابت و با تغییر شکل هندسی مقطع از مربع به شکل دایره‌ای مدل A-1 نسبت به مدل A-3 شاهد افزایش ۶۵٫۱۷ درصدی منحنی هیستریزیس می‌گردد، که نکته نشان دهنده این مطلب است، که مقطع دایره‌ای در ستون‌های CFT عملکرد بهتری نسبت به ستون‌های مربعی بلند دارد.

## ۱۲. مراجع

- [۱]. Lin-Hai Han a,\*, Qing-Xin Ren a,b, Wei Li a. “Tests on inclined, tapered and STS concrete-filled steel tubular CFST stub columns”, Journal of Constructional Steel Research 66 2010 1186–1195
- [۲]. D. Lam a,n, X.H. Dai a, L.H. Han b, Q.X. Ren b, W. Li, Behaviour of inclined, tapered and STS square CFST stub columns subjected to axial load, Thin-Walled Structures ۵۴ ۲۰۱۲ 94–105
- [۳]. H.Y. Loha, B. Uyub,\*, M.A. Bradforda. ۱۹۸۸ Edition The effects of partial shear connection in composite flush end plate joints Part I — experimental study, Journal of Constructional Steel Research ۶۲ ۲۰۰۶ ۳۷۸–۳۹۰
- [۴]. G. Ho, P. Liu, C. Yin, R. Ching, M. Liu, L. Zhu, Design and study on super high-rise structural system of Beijing Fortune Plaza ۲ office tower, Build. Struct. ۳۹ ۱۱ ۲۰۰۹ ۱–8 in Chinese.
- [۵]. Y. Xiao, 'B. S. Choo b & D. A. Nethercotb, Composite Connections in Steel and Concrete. Part ۲ Moment Capacity of End Plate Beam to J. Thin-Walled Structures ۵۷ ۲۰۱۲ 37–48
- [۶]. Wei Li a, Qing-Xin Ren a,b, Lin-Hai Han a,n, Xiao-Ling Zhao, Behaviour of tapered concrete-filled double skin steel tubular CFDST stub columns ۲۰۱۳ ۳۳–۴۵