

## بررسی رفتار ستون‌های فولادی دو جداره پر شده با بتن (CFDST) تحت بارگذاری پیچشی چرخه‌ای

رضا خلیلی ساربانقلی، کارشناسی ارشد عمران- زلزله

احمد ملکی\*، استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ایران

\* Maleki\_civil@yahoo.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۴

### چکیده:

ستون‌های فولادی دوجداره پر شده با بتن (Concrete- Filled Double Skin Steel Tubular) جزء خانواده‌ی ستون‌های فولادی پر شده با بتن (CFST) به شمار می‌روند. در ستون‌های CFDST جداره فولادی و بتن موجود بر رفتار یکدیگر تاثیرگذاراند، به نحوی که بتن مانع از کمانش جداره‌های فولادی داخلی و بیرونی می‌شود و دو جداره فولادی تحت اثر بارگذاری موجب ایجاد نیروی دورگیر (Confinement Force) می‌گردد و از همین رو موجب افزایش شکل‌پذیری و مانع از ترد شکنندگی بتن می‌گردد. برای اطمینان از درستی مدل‌سازی در نرم‌افزار عناصر محدود، نتایج آزمایشگاهی با نتایج عناصر محدود مقایسه، و از صحت و درستی مدل‌سازی اطمینان حاصل گردیده است. در این مقاله به بررسی مشخصات هندسه مقطع، تحت بارگذاری مونوتونیک و بارگذاری چرخه‌ای پرداخته شده، که نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد ستون‌های CFDST دارای شکل-پذیری بالا، جذب انرژی بیشتر در زلزله، بهبود رفتار ستون‌های CFDST تحت بارگذاری رفت و برگشی و همچنین کاهش وزن ستون در مقایسه با ستون‌های CFST اشاره کرد.

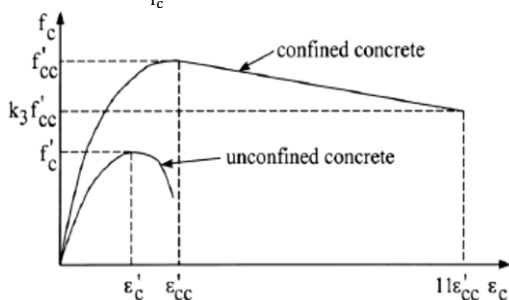
**کلید واژگان:** ستون‌های دوجداره فولادی پر شده با بتن، روش عناصر محدود، بارگذاری چرخه‌ای، کمانش جداره فولادی

## ۱- مقدمه

گرفته شده است. مقاومت فشاری غیر محوری و کرنش متناظر در بتن غیر محبوس شده در شکل ۳ به ترتیب به صورت  $f'_c$  و  $\epsilon'_c$  نشان داده شده است. مقدار  $\epsilon'_c$  معمولاً برابر  $0.002$  تا  $0.003$  می‌باشد که در این تحقیق برابر  $0.002$  فرض گردیده است. زمانی که بتن در معرض فشار محبوس کننده جانبی قرار می‌گیرد، مقاومت فشاری غیر محوری  $f'_{cc}$  و با کرنش متناظر خیلی بزرگتر از مقدار بتن غیر محبوس شده می‌باشد. رابطه مابین  $f'_{cc}$  و  $f'_c$  و همچنین بین  $\epsilon'_{cc}$  و  $\epsilon'_c$  به صورت معادله زیر ارائه می‌گردد:

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

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



شکل ۱- نمودار تنش- کرنش غیر محوری بتن [۱۱].

$f_1$  فشار محبوس کننده هسته بتنی و ضرایب  $k_1$  و  $k_2$  که از مطالعات آزمایشگاهی حاصل می‌شود. ضرایب بر اساس مطالعات انجام شده توسط Richart و همکاران به ترتیب برابر  $1/4$  و  $2/5$  گزارش شده است. بتن موجود در ستون CFDST در معرض تنش‌های فشاری ۳ محوری می‌باشد و از این رو گسیختگی بتن، توسط یک سطح گسیختگی فشاری با افزایش فشار هیدرواستاتیک ارائه شده است. از این رو معیار تسلیم خطی Drucker- Prager برای تسلیم مدل بتن استفاده گردیده است.

$$G = t - p \tan \beta - d = 0 \quad (3)$$

$$p = -(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \quad (4)$$

$$d = \left(1 - \frac{\tan \beta}{3}\right) f'_{cc} \quad (5)$$

$$t = \frac{\sqrt{3}J_2}{2} \left[1 + \frac{1}{k} - \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(\frac{r}{\sqrt{3}J_2}\right)^3\right] \quad (6)$$

$$r = \left[\frac{9}{2}(S_1^3 + S_2^3 + S_3^3)\right]^{1/3} \quad (7)$$

$s_1, s_2, s_3$  و تنش‌های اصلی و ضرایب  $K$  و  $\beta$  پارامترهای مصالح، که از نتایج آزمایشگاهی تعیین شده است. در این مقاله مقادیر  $K$  و  $\beta$  به ترتیب برابر  $1/8$  و  $2^0$  فرض گردیده است. رابطه تنش- کرنش پیشنهاد شده توسط Saenze دارای مطابقت خوبی با نمودار تنش- کرنش غیر محوری بتن دارد، بنابراین؛

$$f_c = \frac{E_c \epsilon_c}{1 + (R+R_E-2)\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}}\right) - (2R-1)\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}}\right)^2 + R\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}}\right)^3} \quad (8)$$

Han و همکارانش در سال ۲۰۰۶ به بررسی رفتار ستون‌های CFDST، تحت بارگذاری محوری و چرخه‌ای خمشی پرداختند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که در حالت کلی استهلاک انرژی و شکل‌پذیری در نمونه‌های دایروی بیشتر از نمونه‌های مستطیلی می‌باشد [۱]. ستون‌های دوجداره فولادی پر شده با بتن (CFDST) شامل دو جداره فولادی و بتن پر شده مابین این دو جداره می‌باشد. در ۱۹۹۰ تحقیقات گسترده‌ای در مورد ستون‌های CFDST با مقاطع هندسی و شرایط بارگذار مختلف صورت گرفت. در یک مطالعه آزمایشگاهی، در مورد بررسی رفتار ستون‌های CFST توسط Zhao و Han انجام شد که در نمونه‌های تحت بارگذاری پیچشی ملاحظه گردید؛ در مرحله پلاستیک پروفیل فولادی بیرونی با هسته بتنی به صورت هماهنگ کار می‌کند [۲]. Zhou به بررسی ۲۸ نمونه تحت بارگذاری پیچشی و فشاری پرداخت. همه نمونه‌های مورد آزمایش از نوع ستون CFST دایروی بودند. در همه نمونه‌های مورد آزمایش هسته بتنی نقش اساسی در مقاومت پیچشی در اعضا داشت. اعضای کامپوزیت دارای مقاومت بالا و رفتار پلاستیک مناسب تحت بارگذاری پیچشی داشتند [۳]. Beck و Kiymoiya به بررسی مقاطع دایروی CFDST تحت بارگذاری پیچشی پرداختند که مشاهده گردید بتن مانع از کماتش موضعی در پروفیل فولادی می‌گردد [۴]. بتن پر شده در جداره فولادی CFST به صورت گسترده در سازه‌های جدید به علت ویژگی‌هایی همچون؛ مقاومت بالا در برابر نیروهای ناشی از زمین لرزه و نیروهای ناشی از بارگذاری استاتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی برای بررسی رفتار ستون‌های CFDST توسط Wei و همکاران و Zaho و همکاران انجام پذیرفته است [۶، ۷].

## ۲- تحلیل غیر خطی

به منظور 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 می‌باشد و در اغلب موارد در مثال‌های کاربردی اجرای تحلیل‌های غیر خطی مورد نیاز است. در مثال‌های کاربردی اجرای تحلیل‌های غیر خطی مورد نیاز است.

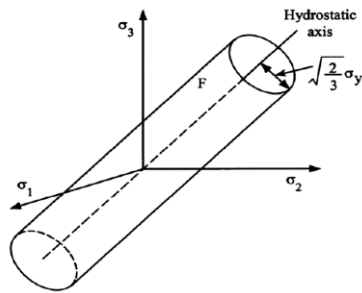
## ۳- ویژگی مصالح

## ۳-۱- بتن

نسبت پواسون بتن  $\nu_s$  تحت تنش فشاری غیر محوری برابر  $0.19$  تا  $0.20$  می‌باشد. در این مطالعه نسبت پواسون بتن برابر  $0.2$  در نظر

$$= \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} - \sigma_y = 0 \quad (12)$$

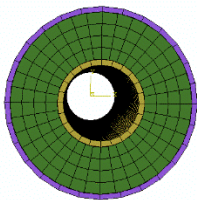
J2 ثابت تانسور تنش، تنش‌ها اصلی و شکل ۴ سطح تسلیم VonMises در تنش‌های اصلی در حالت ۳ بعدی را نشان می‌دهد [۱۱].



شکل ۴- سطح تسلیم تنش‌های اصلی Von Mises در حالت سه بعدی [۱۱].

#### ۴- بررسی المان محدود

در این مقاله بررسی رفتار ستون‌های CFDST برای مقاومت کردن در برابر بارهای پیچشی مد نظر می‌باشد. سازه‌هایی که از نظر ساختمانگاه در ناحیه لرزه‌خیزی بالا یا متوسط قرار گرفته‌اند از لحاظ پایداری و جذب انرژی لرزه‌ای بسیار مهم هستند. تحلیل المان محدودی ستون‌های CFDST امکان درک رفتار واقعی با کم‌ترین هزینه در کوتاه‌ترین زمان در مقایسه با بررسی‌های آزمایشگاهی ارائه می‌دهند. این مقاله، تحلیلی از ستون‌های CFDST در مقایسه با رفتار ستون‌های DSHT در نرم‌افزار ABAQUS می‌باشد. هدف از این مطالعه توسعه مدل‌سازی ۳ بعدی و کمک به درک رفتار واقعی ستون‌های CFDST تحت بارگذاری مونوتونیک و چرخه‌ای و مطالعه مشخصات و پارامترهای موثر در رفتار ستون‌های CFDST می‌باشد.



شکل ۵- نحوه مش‌بندی مدل CF-T-6.

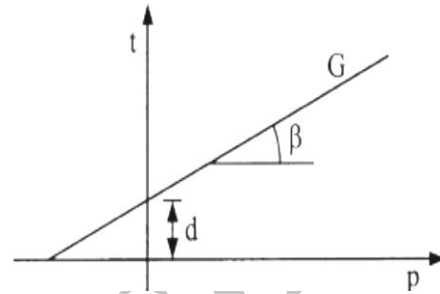
#### ۴-۱- نوع المان، مش‌بندی و شرایط مرزی

مقاطع فولادی داخلی، بیرونی و هسته بتنی توسط معادله انتگرال کاهش یافته و توسط عناصر توپر (Solid) هشت‌گره‌ای (Brick) با سه درجه آزادی (C3D8R) مدل‌سازی شده است. باید به این نکته

$$R = \frac{R_E(R_\sigma - 1)}{(R_\sigma - 1)^2} - \frac{1}{R_\sigma}, \quad R_\sigma = \frac{E_c \epsilon_{cc}}{f_{cc}} \quad (9)$$

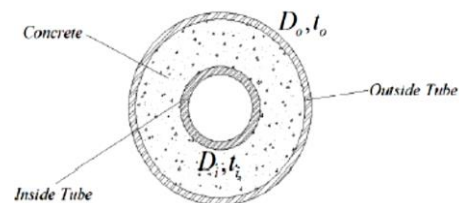
مدول الاستیسیته اولیه بتن در حالت فشاری می‌تواند توسط فرمول پیشنهادی توسط ACI-318 مورد محاسبه قرار گرفته شده است [۸].

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} \text{ Mpa} \quad (10)$$



شکل ۲- معیار تسلیم خطی دراکر- پراگر برای بتن [۱۱].

در معادله ۸ همانند نمودار تنش- کرنش غیر محوری بتن، کرنش بتن  $\epsilon_c$  کمتر از  $\epsilon'_{cc}$  در نظر گرفته شده است. زمانی که  $\epsilon'_{cc} < \epsilon_c$  باشد یک کاهش خطی برای مدل رفتاری نرم بتن مورد استفاده قرار گرفته است. اگر  $k_3$  تعریف شده همانند یک پارامتر کاهشدهنده باشد، بنابراین  $\epsilon_c = 11\epsilon'_{cc}$ ،  $f_c = k_3 f'_{cc}$  خواهد بود [۹-۱۰]. در حالت کلی پارامتر  $f_1$  و  $k_3$  باید به صورت کامل توسط روابط تنش- کرنش غیرمحوری تعیین گردد. این دو پارامتر وابسته به نسبت قطر به ضخامت  $D_o / t_o$  و  $D_i / t_i$  می‌باشد. در نتیجه مقادیر تعیین شده توسط نتایج عددی با مطالعات آزمایشگاهی باید تطبیق داده شود.



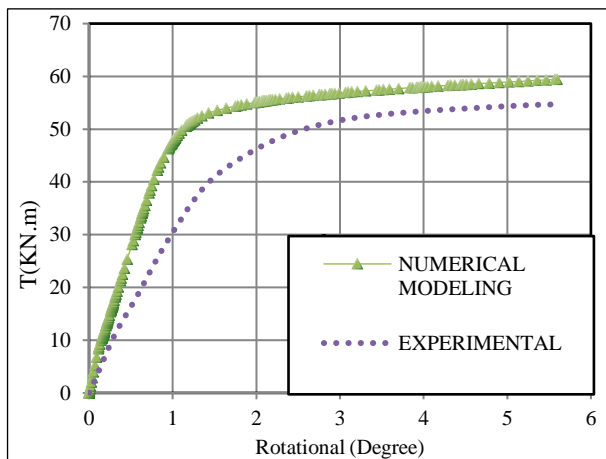
شکل ۳- سطح مقطع اعضای CFDST.

#### ۳-۲- فولاد:

در تحلیل‌ها نسبت پواسون و مدول الاستیسیته  $E_s$  مقاطع فولادی به ترتیب برابر  $0.3$  و  $200 \text{ Gpa}$  در نظر گرفته شده، و رفتار غیرمحوری مقاطع فولادی همانند شکل ۳ 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 همین‌رو:

$$F = \sqrt{3} | \sigma_2 - \sigma_y \quad (11)$$

طول نمونه mm	مقاومت تسلیم لوله Mpa	مقاومت تسلیم لوله بیرونی Mpa	مقاومت بتن f <sub>c</sub> Mpa	قطر و ضخامت جداره جداره بیرونی mm	قطر و ضخامت جداره داخلی mm	نمونه
۵۵۰	۳۵۵٫۴	۳۶۵٫۶	۵۰	۱۶۵×۴٫۶	۷۵×۵	NUMERICAL MODELING



شکل ۷- نمودار لنگر- دوران جهت صحت‌سنجی مدل‌سازی.

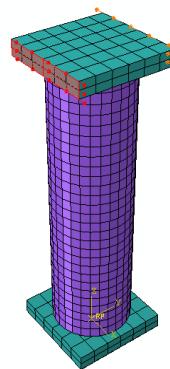
چنانچه در نمودار فوق مشاهده می‌گردد، مطابقت نسبتاً خوبی مابین نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی ملاحظه می‌گردد. حداکثر اختلاف موجود مابین دو نمودار در حدود ۱۳٪ می‌باشد که می‌تواند ناشی از اختلاف مقاومت بتن و فولاد در عمل، اعمال بعضی از ساده‌سازی‌ها برای دستیابی سریع به همگرایی و همچنین وجود برخی از پدیده‌ها و خطاهای ناشناخته در آزمایش می‌تواند عامل ایجاد این اختلاف باشد. این اختلاف حاصله را می‌توان با انجام برخی از اقدامات، همانند ریز کردن شبکه‌بندی، استفاده از روش‌های مناسب برای تعریف اندرکنش بین مصالح، تا حدودی مرتفع کرد ولی این تغییرات، جهت کاهش خطا می‌تواند موجب افزایش زمان آنالیز گردد. از همین‌رو استفاده از روش‌های رایج جهت ساده‌سازی، می‌تواند موجب ایجاد این دست از خطاها گردد، که از سوی دیگر نشان دهنده دقت کافی و روش مناسب عددی انتخاب شده می‌باشد.

#### ۶- نتایج مدل‌سازی عددی

##### ۶-۱- نتایج تحلیلی ستون CFDST تحت پیچش

در این بخش به بررسی رفتار ستون‌های CFDST، CFT و تک جداره فولادی تحت بارگذاری پیچشی پرداخته می‌شود. جهت سهولت در مقایسه و بررسی رفتار مدل از یک مدل به عنوان مدل مرجع استفاده شده و بدین ترتیب تمامی تغییرات اعم از تغییرات هندسی و مشخصات فیزیکی روی مدل CF-T-6 انجام گردیده، و تمامی مشخصات هندسی مدل‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق شکل ۷

توجه داشت که در المان‌های Reduced Integration نسبت به نوع انتگرال گیری کامل یک نقطه انتگرال گیری کمتری در هر جهت از المان دارند. از همین‌رو این تفاوت می‌تواند موجب ایجاد پدیده‌ای به نام ساعت شنی (Hour Glass) گردد، که ناشی از انعطاف‌پذیری بالای اینگونه المان‌ها است. بنابراین در صورت استفاده از المان‌های خطی Integration Reduced بایستی المان‌ها به حد کافی ریز انتخاب گردانند. المان‌های خطی Reduced Integration در مقابل اعوجاج تحمل زیادی دارند، لذا در مدل‌هایی که میزان اعوجاج زیاد است استفاده از این المان همراه با مش ریز توصیه می‌گردد [۱۰]. بارگذاری به صورت یکنواخت در صفحه بالایی به طوری که بار در جهت خلاف هم، جهت پیچش یکسان اعمال گردیده است. بار از نوع جابجایی متناظر با دوران مورد نظر می‌باشد [۱۲]. صفحات بالایی و پایینی توسط دستور Tie به ستون مورد نظر متصل شده است.



شکل ۶- مدل CF-T-6 و نحوه بارگذاری.

#### ۴-۲- اندرکنش بین بتن و فولاد

اندرکنش مابین بتن و فولاد در جهت نرمال از نوع Hard Contact و در جهت Tangential از نوع Mohr-Coulomb می‌باشد. ضریب اصطکاک در نظر گرفته شده برابر ۰٫۶ می‌باشد [۱۳-۱۴].

#### ۵- مدل‌سازی عددی

##### ۵-۱- صحت‌سنجی

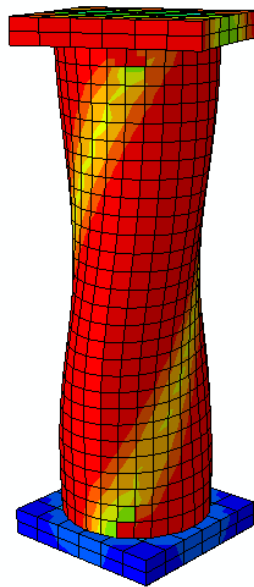
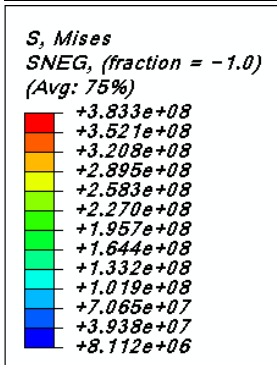
برای بررسی صحت و دقت مدل‌سازی در نرم‌افزار المان محدود، نمونه CO312 مدل آزمایشگاهی که توسط Huang و همکارانش انجام پذیرفته، مورد استفاده قرار گرفته و در جدول شماره ۱ مشخصات هندسی مدل ارائه شده و نتیجه مدل‌سازی کامپیوتری جهت همسان سازی به صورت پیچش- دوران در شکل ۶ ارائه گردیده است [۱۲].

جدول ۱- مشخصات هندسی مدل برای انجام صحت‌سنجی.

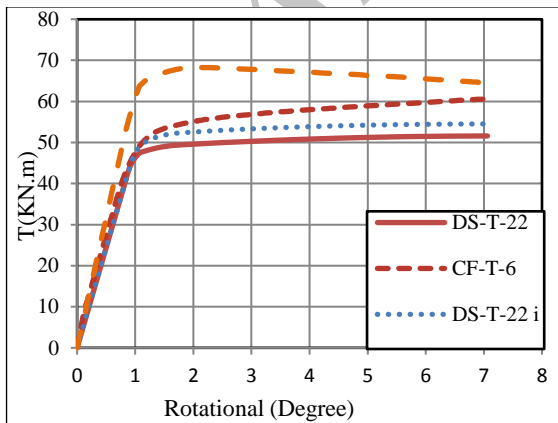
مشخصات هندسی مدل در جدول ۳ و نتایج تحلیلی (نمودار ظرفیت پیشگی) در شکل ۸ ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات هندسی مدل‌های DSHT و CFDST.

نمونه	قطر و ضخامت جداره بیرونی mm	قطر و ضخامت جداره داخلی mm	مقاومت بتن $f_c$ Mpa	مقاومت تسلیم لوله بیرونی Mpa	مقاومت تسلیم لوله درونی Mpa	طول نمونه mm
CF-T-6	۱۶۵×۴/۶	۷۵×۵	۵۰	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
DS-T-22	۱۶۵×۴/۶	۷۵×۵	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
DS-T-22i	۱۶۵×۷	۷۵×۵	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
DS-T-22O	۱۶۵×۴/۶	۷۵×۷	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰



شکل ۹- کانتور تنش برای نمونه DS-T-22O.

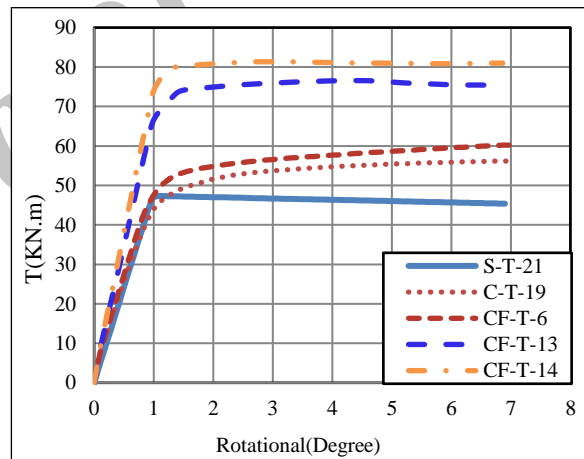


شکل ۱۰- مقایسه ظرفیت ستون CFDST با ستون DSHT با افزایش ضخامت در جداره‌ها.

ملاحظه می‌شود در ۳ مدل CF-T-6، C-T-19 و S-T-21 دارای سختی اولیه یکسانی هستند، ولی در نمونه‌های CF-T-13 و CF-T-14 سختی اولیه نمونه‌ها در مقایسه با ۳ نمونه قبلی افزایش یافته و همچنین ظرفیت سازه به ترتیب ۲۳٪ و ۲۵٪ افزایش یافته است.

جدول ۲- مشخصات هندسی مدل‌های CFDST, CFT, SHT.

نمونه	قطر و ضخامت جداره بیرونی mm	قطر و ضخامت جداره داخلی Mm	مقاومت بتن $f_c$ Mpa	مقاومت تسلیم لوله بیرونی Mpa	مقاومت تسلیم لوله درونی Mpa	طول نمونه mm
CF-T-6	۱۶۵×۴/۶	۷۵×۵	۵۰	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
C-T-19	۱۶۵×۴/۶	-	۵۰	۳۶۵/۶	-	۵۵۰
CF-T-13	۱۶۵×۷	۱۱۰×۵	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
CF-T-14	۱۶۵×۴/۶	۱۳۰×۷	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
S-T-21	۱۶۵×۴/۶	-	-	۳۶۵/۶	-	۵۵۰

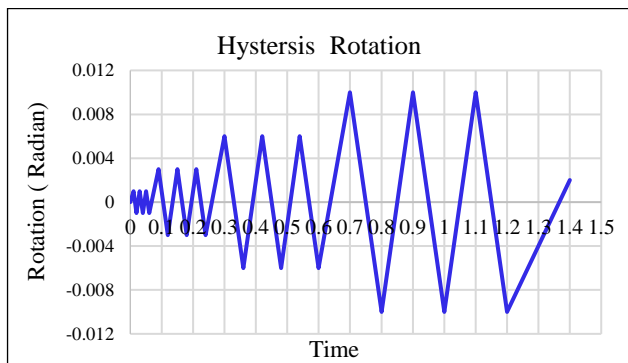


شکل ۸- مقایسه ظرفیت ستون‌های CFDST, CFT, SHT.

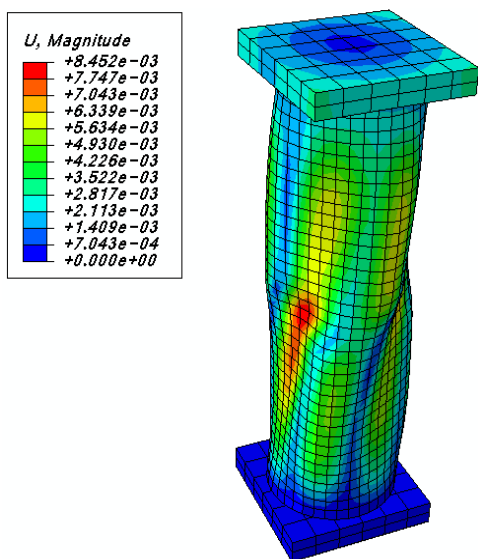
### ۲-۶ بررسی تاثیر هسته بتنی بر عملکرد عضو CFDST

در این بخش مدل‌های ساخته شده دارای هندسه مشابه و یکسان، همانند مدل صحت‌سنجی، اشاره شده در بخش (۵-۱) می‌باشد. برای بررسی رفتار هسته بتنی، ابتدا در عضو CFDST، فقط جداره های فولادی داخلی و خارجی باقی می‌ماند و بتن موجود مابین دو- جداره در آنالیز در نظر گرفته نمی‌شود، به این ترتیب عضو CFDST به عضو دوجداره فولادی (Double Skin Hollow Tubular) تبدیل می‌گردد.

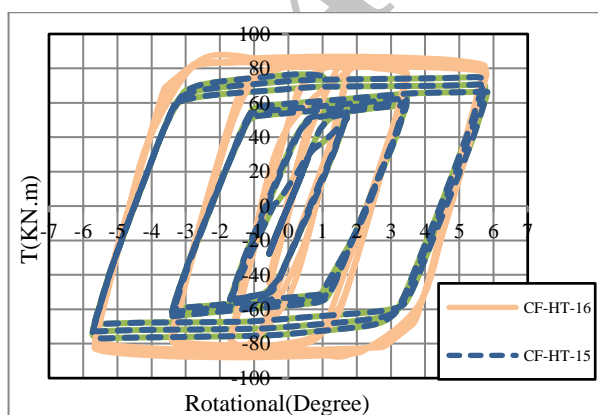
در نمونه DS-T-22 جداره‌ی فولادی داخلی و بیرونی نسبت به نمونه CF-T-6 تغییری نداشته ولی در نمونه DS-T-22i فقط ضخامت جداره داخلی افزایش داده می‌شود، و در نهایت در نمونه DS-T-22O فقط ضخامت جداره خارجی افزایش داده می‌شود و رفتار این ۳ مدل با نمونه CF-T-6 مورد مقایسه قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰- نمودار بارگذاری چرخه‌ای.



شکل ۱۱- کاتور جابجایی برای نمونه DS-HT-29.



شکل ۱۲- بررسی رفتار چرخه‌ای ستون CFDST با افزایش قطر جداره داخلی.

نمودار فوق به بررسی ظرفیت ستون‌های CFDST، با تغییر در ضخامت جداره‌های داخلی و خارجی می‌پردازد، همانطور که ملاحظه می‌گردد افزایش ضخامت در جداره خارجی دارای تاثیرگذاری به مراتب بیشتری در مقایسه با تغییر ضخامت جداره داخلی می‌باشد. تغییر در ضخامت جداره خارجی علاوه بر افزایش ظرفیت سازه، سختی اولیه ستون مورد نظر را افزایش یافته است.

### ۳-۶- بررسی عملکرد ستون‌های CFDST تحت بارگذاری پیچشی - چرخه‌ای

در این بخش نیز به بررسی رفتار ستون‌های CFDST، DSHT و ستون‌های تک جداره فولادی تحت اثر بارگذاری پیچشی - چرخه ای پرداخته شده است. در نمونه CF-HT-16 تمامی پارامترها مطابق ستون CF-HT-15 بوده ولی تنها قطر پروفیل داخلی از ۷۵ میلی‌متر به ۱۱۰ میلی‌متر افزایش یافته است و همچنین در مدل DS-HT-29 هسته بتنی مابین دوجداره فولادی در نظر گرفته نشده است. تمامی مشخصات مدل‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق شکل ۹ افزایش قطر داخلی تغییر شکل را افزایش نداده ولی جذب انرژی در عضو مورد نظر افزایش یافته، که این مقدار در حدود ۱۵٫۵٪ می‌باشد. شکل ۱۰ به بررسی رفتار چرخه‌ای نمونه S-HT-28 (ستون فولادی با جداره خارجی) و نمونه DS-HT-29 (ستون دوجداره فولادی) تحت بارگذاری چرخه‌ای می‌پردازد. همانطور که مشاهده می‌گردد هر دو نمونه دارای رفتاری مشابه‌ای هستند. در نمونه S-HT-28 فقط جداره فولادی خارجی وجود دارد، ولی هر دو نمونه دارای رفتار یکسانی می‌باشند. که نشان دهنده این مطلب می‌باشد که جداره خارجی دارای بیشترین تاثیر گذاری در رفتار این نوع از ستون‌ها می‌باشد.

نمونه	قطر و ضخامت جداره بیرونی mm	قطر و ضخامت جداره داخلی mm	مقاومت ۲۸ روزه بتن f <sub>c</sub> Mpa	مقاومت تسلیم لوله بیرونی Mpa	مقاومت تسلیم لوله درونی Mpa	طول نمونه Mm
CF-HT-15	۱۶۵x۴/۶	۷۵x۵	۵۰	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
CF-HT-16	۱۶۵x۴/۶	۱۱۰x۵	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰
S-HT-28	۱۶۵x۴/۶	-	-	۳۶۵/۶	-	۵۵۰
DS-HT-29	۱۶۵x۴/۶	۷۵x۵	-	۳۶۵/۶	۳۵۵/۴	۵۵۰

[2]- Zhao, XL., Han, LH., Double skin composite construction, Prog Struct Eng Mater., Vol. 3, 2006, pp93-102.

[3]- Zhou J., The experimental research of concrete filled steel tubular slender column under combined compression and torsion. MSc thesis, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 1990 [in Chinese].

[4]- Beck J, Kiyomiya O. Fundamental pure torsional properties of concrete filled circular steel tubes. J Mater Constr Struct Pavements JSCE, 2003, pp285-96.

[5]- Shanmugam NE, Lakshmi B. State of the art report on steel-concrete composite columns. J Construct Steel Res., Vol. 57, 2001, pp1041-80.

[6]- Wei S, Mau ST., Vipulanandan C, Mantrala SK., Performance of new sandwich tube under axial loading experiment. J Struct Eng ASCE., 1995, Vol.12, pp1806-14.

[7]- Zhao XL, Grzebieta RH., Elchalakani M., Tests of concrete-filled double skin CHS composite stub columns. Steel Compos Struct Int J, Vol. 2, 2002, pp129-46.

[8]- ACI 318-02., Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary. Farmington Hills (MI, Detroit, USA), American Concrete Institutes, 2002.

[9]- Teh HU, Hsuan., Wei Chen, Chun., Yun Huang, Mei., Nonlinear finite element analysis of CFT-to-bracing connections subjected to axial compressive forces, Engineering Structures., Vol. 33, 2011, pp 1479- 1490.

[10]- Abaqus. 2009. Analysis user's manuals and example problems manuals, version 6.9. Providence, Rhode Island: Abaqus, Inc.

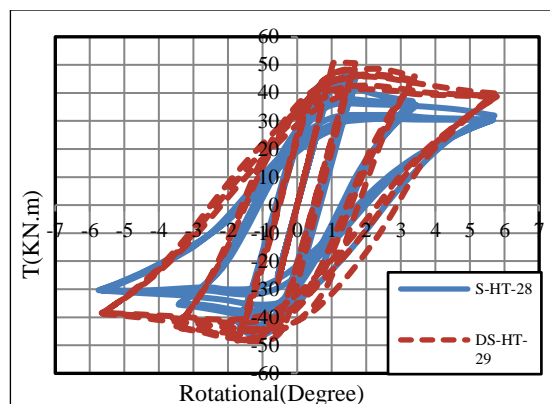
[11]- Teh HU, Hsuan., Chien SU, Feng., Nonlinear analysis of short concrete-filled double skin tubecolumns subjected to axial compressive forces, Marine Structures., Vol. 24, 2011, pp 319 - 337.

[12]- Huang, H., Lin, H.H., Xiao, L.Z., Investigation on Concrete-Filled Double Skin Steel Tubes (CFDST) Under Pure Torsion. Journal Of Constructional Steel Research., Vol. 90, 2013, pp 221-234

[13]- Yu, X., Tao, Z., Han, LH., Uy, B., Residual Strength of Concrete-Filled Double-Skin Steel Tubular Stub Columns After Exposure to Fire. International Concrete on Steel Concrete Composite And Hybrid Structures Leeds., Vol. 9, 2009, pp483-488.

[14]- Huang H, Han LH, Tao Z, Zhao XL. 2010. Analytical Behavior of Concrete -Filled Double Skin Steel Tabular (CFDST) Stub Columns. Journal of Constructional Steel Research, 66:542-555.

جدول ۴- مشخصات هندسی مدل‌های CFDST و SHT تحت بارگذاری چرخه‌ای.



شکل ۱۳- بررسی رفتار چرخه‌ای ستون SHT و DSHT.

## ۷- نتیجه گیری:

- ۱- در مقایسه ستون‌های CFDST و CFT ظرفیت ستون‌های CFDST در حدود ۴٪ بیشتر از ستون‌های CFT می‌باشد، ولی دارای سختی اولیه مشابه‌ای هستند. همچنین ستون‌های CFDST در حدود ۱۰٪-۱۵٪ از لحاظ وزنی سبک‌تر از ستون‌های CFT می‌باشند.
۲. افزایش قطر داخلی در ستون‌های CFDST موجب افزایش ظرفیت پیچشی می‌شود.
۳. تاثیر تغییرات در ضخامت جداره فولادی در عضو DSHT، به گونه‌ای است که افزایش ضخامت در جداره خارجی تاثیر بیشتری در افزایش سختی اولیه و ظرفیت سازه تحت بار پیچشی دارد.
۴. افزایش ضخامت در جداره‌های فولادی (بیرونی و داخلی) اعضای DSHT، مانع از کماتش موضعی عضو نمی‌گردد.
۵. در مقایسه ستون‌های SHT و DSHT تحت بارگذاری چرخه‌ای تقریباً دارای عملکرد مشابه‌ای هستند.
۶. در بارگذاری چرخه‌ای (پیچشی) ستون‌های CFDST دارای عملکرد مناسبی در مقایسه با ستون DSHT دارند و میزان جذب انرژی در عضو CFDST در حدود ۳۰٪ بیشتر از ستون DSHT می‌باشد.

## ۸- منابع:

- [1]- Han, L.H., Huang, H., Tao, Z., Xiao, L.Z., Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular (CFDST) Beam-Column Subjected to Cyclic Bending. Engineering Structures., Vol. 28, 2006, pp1698-1714.

## Performance of Concrete Filled Double Skin Steel Tubular Under Torsion and Cyclic Loading

Reza kalili

Master of Science in Civil Engineering – Earthquake, Islamic Azad University, Maragheh

Branch, Maragheh, Iran

Ahmad maleki

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh

Branch, Maragheh, Iran

### ABSTRACT

Concrete- Filled Double Skin Steel Tubular (CFDST) columns are members of the Concrete- Filled Steel Tubular columns (CFST) family. In CFDST the steel skin and the existing concrete affect each other behavior so that the concrete prevents buckling of the inner and outer steel skins and the both steel skins under load result in the development of the confinement force and subsequently increase the ductility of the concrete and prevent the concrete from brittle damage. To ensure the accuracy of the finite element modeling, the experimental results were compared with the finite element and the accuracy of the modeling was verified. In this research, the section geometry, under monotonic and cyclic loading was investigated. The out-come results show that the CFDST columns have a good ductility, higher energy absorption capacity during an earthquake event and improved behavior under cyclic loading in comparison with CFST columns.

**Keywords:** Concrete- Filled Double Skin Steel Tubular, Finite Element Methode, Cyclic Loading, Steel Tube Buckling.