

مطالعه و بررسی ستون های مختلط با مقطع فولادی جعبه ای شکل پر شده از بتن مسلح تحت اثر بار لرزه ای

سید علی موسوی داودی^۱

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه طبری

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط Ali_mousavii@yahoo.com

چکیده

یکی از حساس ترین تصمیماتی که طراح سازه باید 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 سازه های بسیار ایمن، اقتصادی و در عین حال با عملکرد مطلوب می باشد. بتن و فولاد مصالحی هستند که به صورت گسترده در ساخت و سازها مورد استفاده قرار میگیرند. 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 ستونها، نحوه مدل کردن هندسه و مصالح آنها میتواند 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 پارامترها میتوانند نسبت لاغری، نسبت فولاد به بتن، مقاومت فشاری مشخصه بتن و یا حتی نوع هندسه مقطع ستون باشد. هدف در واقع میزان تأثیر پارامترهای تعریف شده به خصوص لاغری و هندسه ستون بر رفتار و ظرفیت لرزه ای ستون های CFT می باشد دستیابی به مقاومتی بالا بخصوص برای ستونها که اتفاقاً بارگذاری روی آن ها با افزایش طبقات به صورت تصاعدی افزایش می یابد، با در نظر گرفتن این محدودیت که افزایش ابعاد آنها از یک حد می تواند در برخی موارد، مشکلات حاد معماری ایجاد کند، استفاده از ستون های مرکب CFT می تواند به عنوان راه حل اساسی برای حل چالش های موجود بین طراحان سازه و معمار مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ستون CFT، بار لرزه ای، تحلیل غیر خطی، نمودار هیستریزس، تحلیل اجزاء محدود.

۱- مقدمه

ستون باکسی مرکب، پر شده با بتن CFT به طور روزافزون بعنوان یک ستون یا تیر ستون در سازه های بادبندی 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 بتنهای 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 لرزهای مقاوم باشد در ساختمان های چند طبقه بادبندی شده و قاب های خمشی استفاده شده است. ستون های باکسی پر شده با بتن از پلایت 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 مسطیله یا دایره‌ای قاب شده‌اند که این قاب‌ها به طور کامل یا بخشی از آن یا اتصالات آنها گیردار شده‌اند، CFTها 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 CFTها 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 نسبت بالای مقاومت بر وزن از ستون‌های باکسی، باعث تأخیر در کماتش 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 بطور اجرای عمل می‌کند، قرار می‌گیرد در حالی که فرم‌های بتن بعنوان یک هسته کمکی بسیار عالی به مقاومت در برابر بارهای فشاری خواهد کرد. [۲]

باکس‌های فولادی همچون قاب در سازه عمل می‌کنند و اجرای آنها می‌تواند برای سازه‌های چندطبقه ارجح 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 ساختمانی می‌باشند. ستون‌های مرکب از لحاظ محل قرارگیری بتن و فولاد به سه گروه کلی تقسیم بندی می‌شوند، که عبارتند از: [۴]

۱-۲ مقاطع جدار فولادی پر شده با بتن CFT

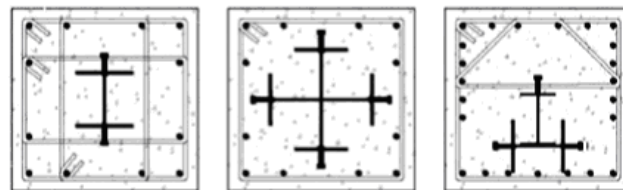
ستون‌هایی هستند که دارای هر دو مزایای فولاد و بتن می‌باشند. این ستون‌ها شامل مقطع فولادی توخالی دایره، مستطیل و یا چند ضلعی است، که با بتن پر می‌شوند. [۴]



شکل (۱) - مقاطع پر شده با بتن CFT [۴]

۲-۲ 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. [۵]

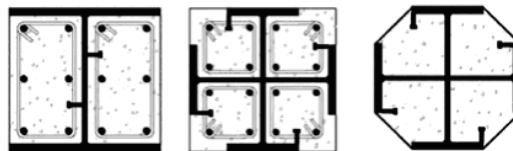


شکل (۲) - مقاطع مدفون در بتن SRC. [۵]

۳-۲ 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 قال رؤیت می باشد. [۶]



شکل (۳) - مقاطع جزئی محصور شده [۶]

۳- روش تحقیق و معرفی نمونه های مورد تحلیل

در این پژوهش از سه گروه مطالعاتی به نام های A, B, C استفاده شده که توسط برنامه Abaqus مورد تحلیل قرار گرفته اند در جدول (۱) مشخصات این گروه های مورد آزمایش و پارامترهای موثر این سه گروه مشاهده می گردد که در حالت کلی تشریح شده است.

جدول (۱) - مشخصات هندسی نمونه گروه A مدلسازی شده

نام کلی گروه	نوع شکل هندسی مقطع	ابعاد مقطع هندسی نمونه ها	نام مدل	ارتفاع مقطع (mm)	مقاومت فشاری بتن (mpa)	ضخامت تیوب فولادی (mm)
GROUP A	مربع	140×140	A-1	420	46	2
			A-2	420	46	3

جدول (۲) - مشخصات هندسی نمونه گروه B مدلسازی شده

نام کلی گروه	نوع شکل هندسی مقطع	ابعاد مقطع هندسی نمونه ها (mm)	نام مدل	ارتفاع مقطع (mm)	مقاومت فشاری بتن (mpa)	ضخامت تیوب فولادی (mm)
GROUP B	مربع	350×350	B-1	1920	46	3
			B-2	1920	46	6

جدول (۳) - مشخصات هندسی نمونه گروه C مدلسازی شده

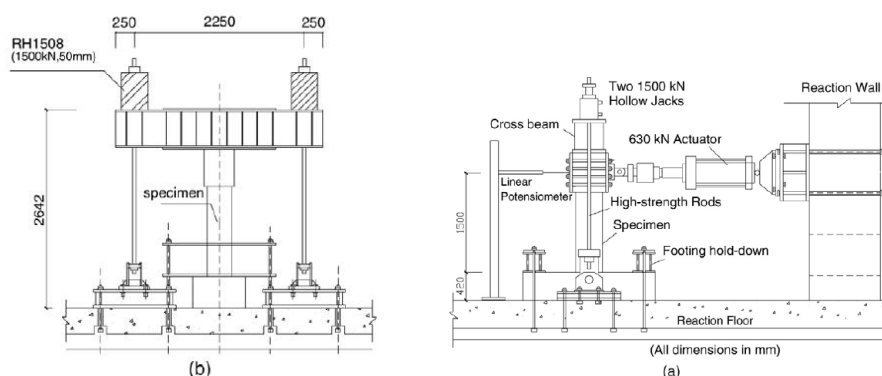
نام کلی گروه	نوع شکل هندسی مقطع	ابعاد مقطع هندسی نمونه ها (mm)	نام مدل	ارتفاع مقطع (mm)	مقاومت فشاری بتن (mpa)	ضخامت تیوب فولادی (mm)
GROUP C	دایره ای	336	C-1	1920	46	3
		325	C-2	1920	46	6

۴- روند مدلسازی

بمنظور مدلسازی نمونه های مطالعاتی، در نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS، جهت مدلسازی بتن از المان SOLID استفاده شد، و جهت مدلسازی مقاطع فولادی از المان shell استفاده گردید، در مرحله معرفی مشخصات مصالح در نرم افزار ABAQUS رفتار مصالح در ناحیه خطی و غیر خطی لحاظ گردید. همچنین مشخصات مکانیکی فولاد نرمه (ST 37)، و بتن با مقاومت فشاری ۴۶ مگاپاسکال استفاده شده است. 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 به صورت سطح به سطح استفاده شد.

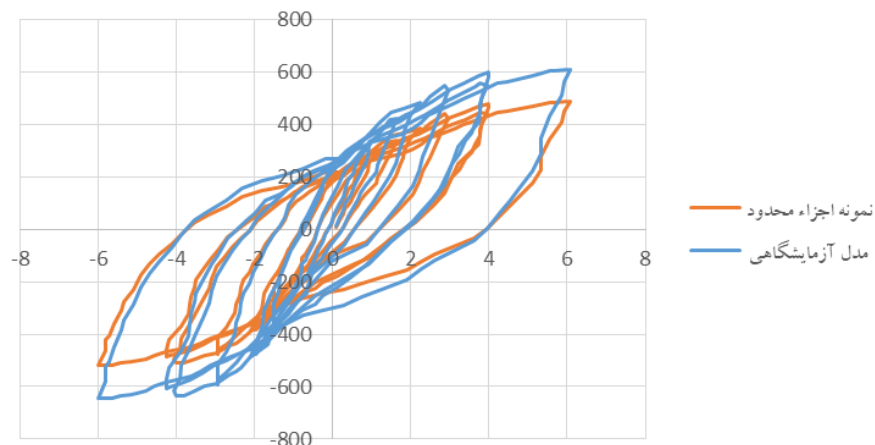
۵- صحت سنجی

بمنظور صحت نمونه نرم افزاری برنامه ABAQUS از مطالعات آزمایشگاهی Wei Xie و همکاران در سال ۲۰۱۴ استفاده شده است، بعد از مدلسازی نمونه آزمایشگاهی مطالعات انجام شده، در نرم افزار ABAQUS و مقایسه دو نمودار های هیستریزیس مشاهده شد که اختلاف این نمودارهای نیرو تغییر مکان دو نمونه بسیار کم بوده و داری اختلاف ناچیزی در حدود ۵ درصد هستند که در شکل (۴) و (۵) نمونه مورد مطالعه و نمودار نیرو تغییر مکان آنها نشان داده شده است.



شکل (۴) - شکل هندسی نمونه صحت سنجی شده مطالعات آزمایشگاهی X.Y. Mao و همکاران [۹]

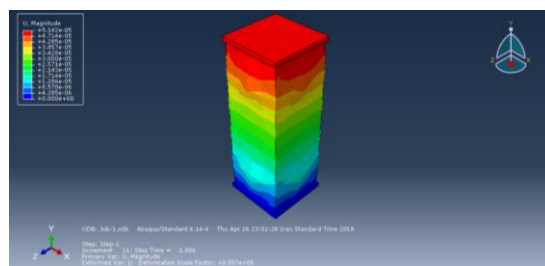
نمودار صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی و نمونه اجزاء محدود



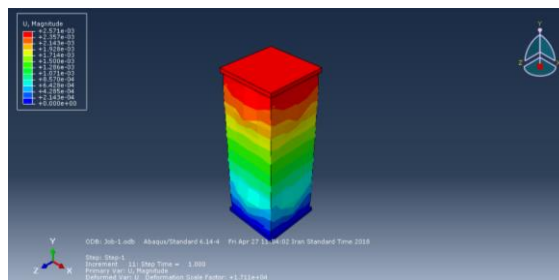
شکل (۵) - نمودار نیرو تغییر مکان نمونه صحت سنجی شده مطالعات آزمایشگاهی X.Y. Mao و همکاران و تحلیل اجزای محدود نرم افزاری

۶- نتایج تحلیل

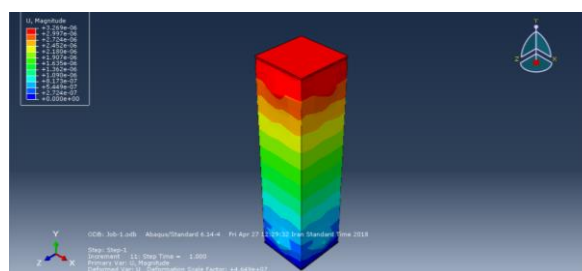
پس از اینکه تحلیل نمونه های مورد مطالعه، برای مشاهده نتایج می بایست از محیط دیداری (Visualization) استفاده نمود. اگر ABAQUS/Viewer را اجرا می شود. همان پنجره CAE ظاهر می گردد با این تفاوت که فقط دارای محیط دیداری (Visualization) می باشد. در اشکال زیر می توانیم خروجی و منحنی های تراز مختلف پارامترهای تحلیل مدل گروه های نمونه های مورد تحلیل نمونه A,B,C را مشاهده کرد. بعد از انجام تحلیل مدل های مورد مطالعه در محیط دیداری (Visualization) می توان منحنی های تراز پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده گردد، در شکل های (۶) الی (۱۷) منحنی های تراز تغییر مکان مکان نمونه مدل نمونه آزمایشگاهی را مشاهده کنیم.



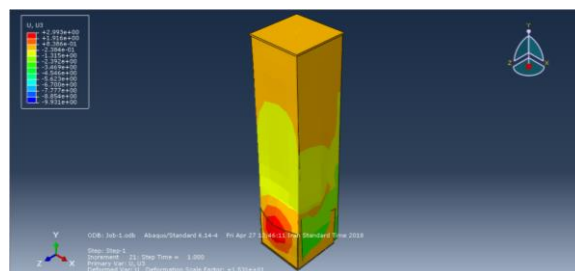
شکل (۶)- توزیع تغییر مکان U در مدل A-1



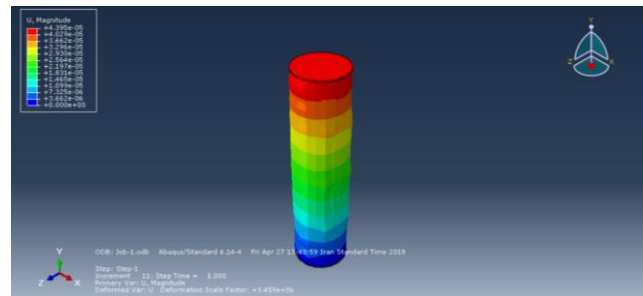
شکل (۷)- توزیع تغییر مکان U در مدل A-2



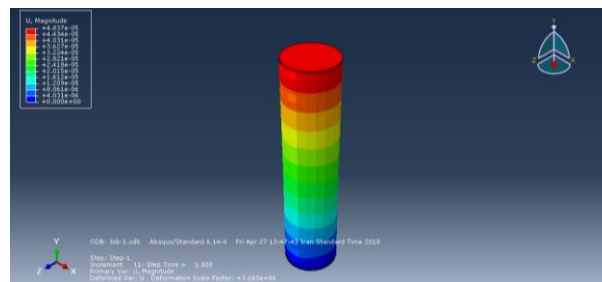
شکل (۸)- توزیع تغییر مکان U در مدل B-1



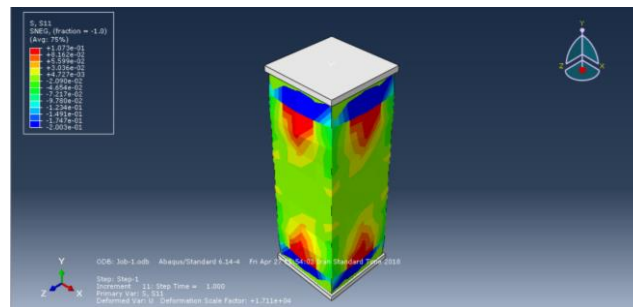
شکل (۹)- توزیع تغییر مکان U در مدل B-2



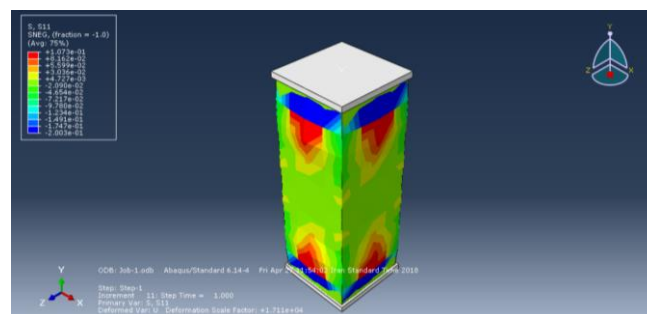
شکل (۱۰) - توزیع تغییر مکان U در مدل C-1



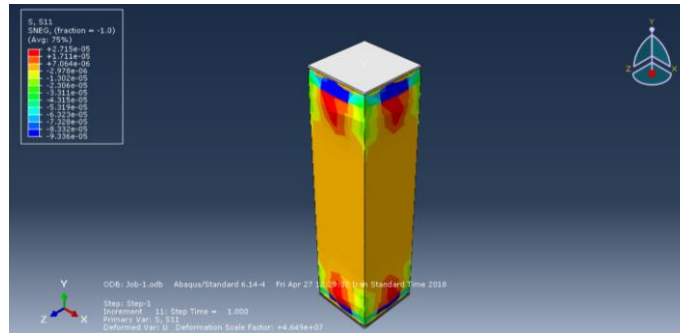
شکل (۱۱) - توزیع تغییر مکان U در مدل C-2



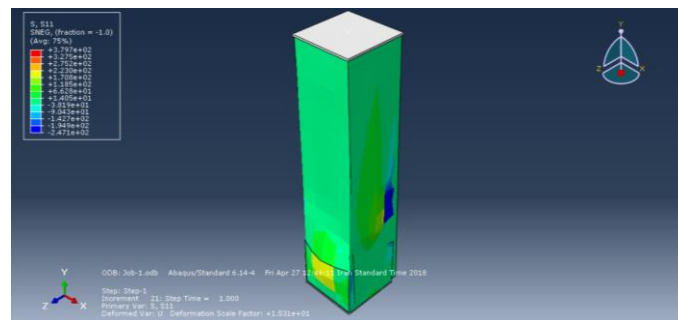
شکل (۱۲) - توزیع تنش اصلی S11 در مدل A-1



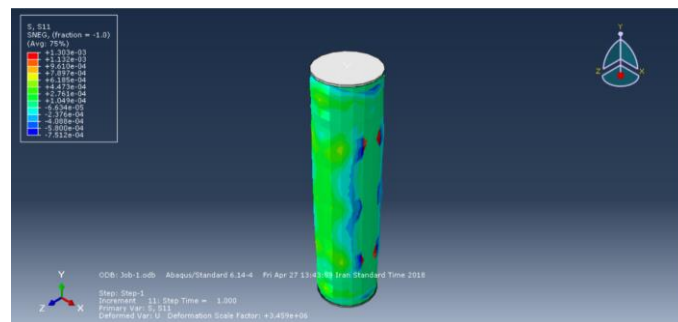
شکل (۱۳) - توزیع تنش اصلی S11 در مدل A-2



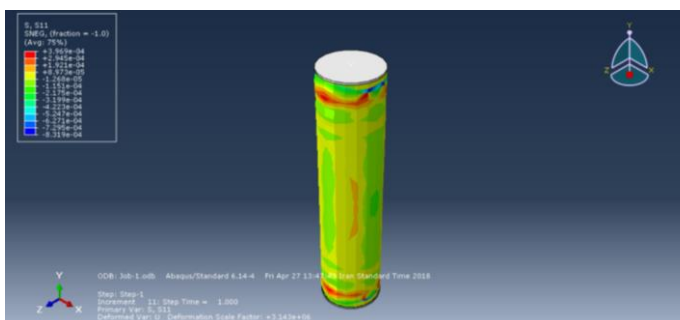
شکل (۱۴) - توزیع تنش اصلی S11 در مدل B-1



شکل (۱۵) - توزیع تنش اصلی S11 در مدل B-2



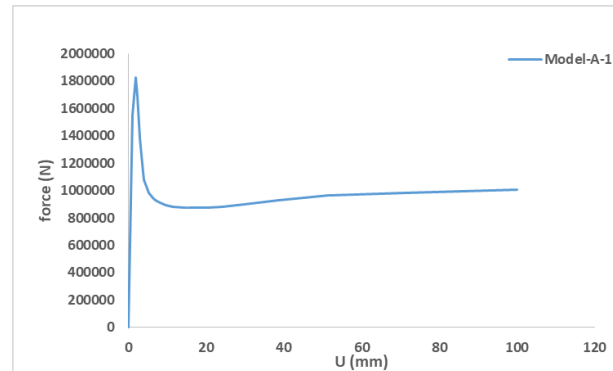
شکل (۱۶) - توزیع تنش اصلی S11 در مدل C-1



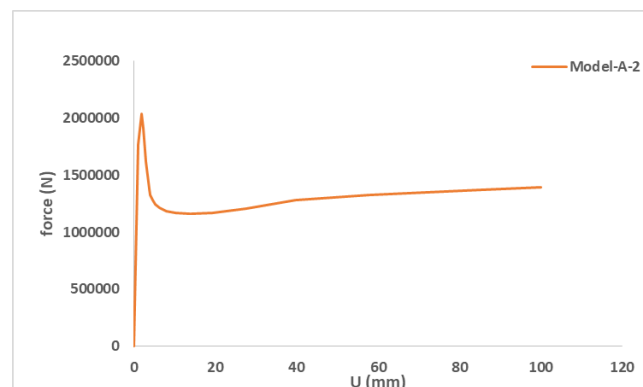
شکل (۱۷) - توزیع تنش اصلی S11 در مدل C-2

۷- نتایج خروجی مدل های مورد مطالعه نمونه های گروه A,B,C حاصل از تحلیل برنامه آباکوس ۷-۱-۱ مدل های گروه (A)

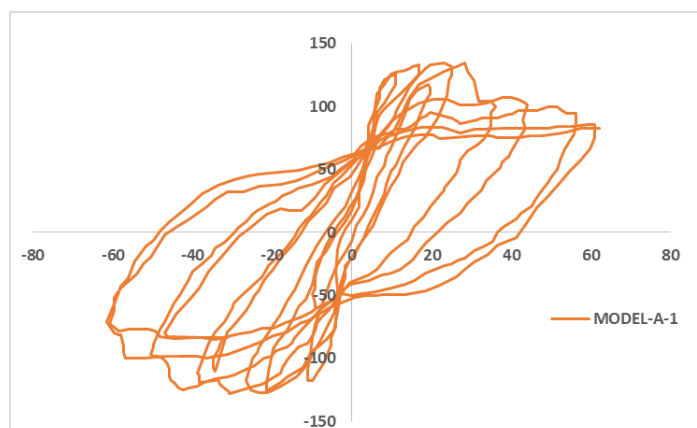
بعد از انجام تحلیل مدل های گروه A در محیط دیداری (Visualization) می توانیم نمودار پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم، در شکل (۱۸) الی (۲۱) نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه A-1 , A-2 را مشاهده کنیم.



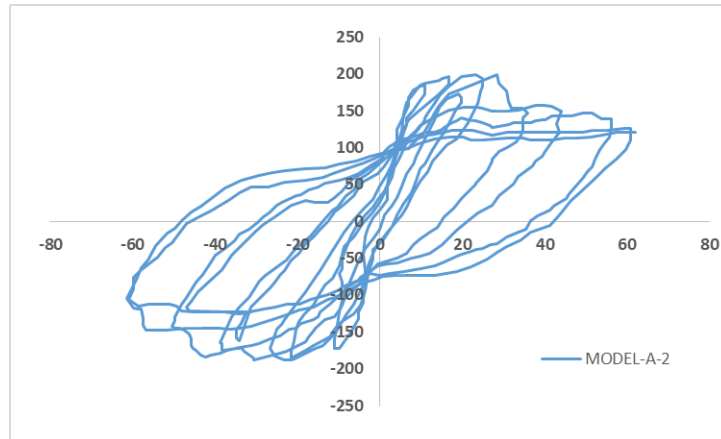
شکل (۱۸) - نمودار نیرو- تغییر مکان مدل A-1



شکل (۱۹) - نمودار نیرو- تغییر مکان مدل A-2



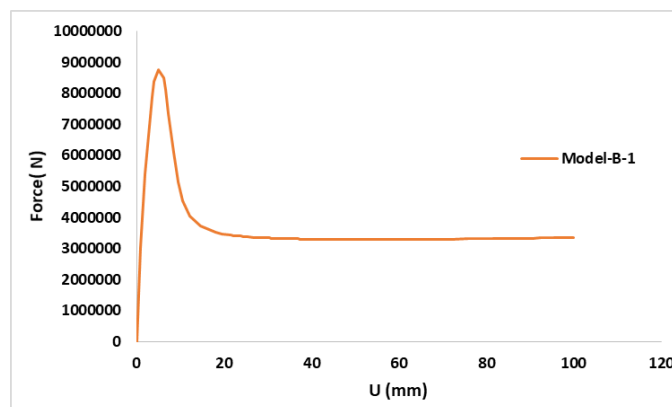
شکل (۲۰) - نمودار هیستریزس مدل A-1



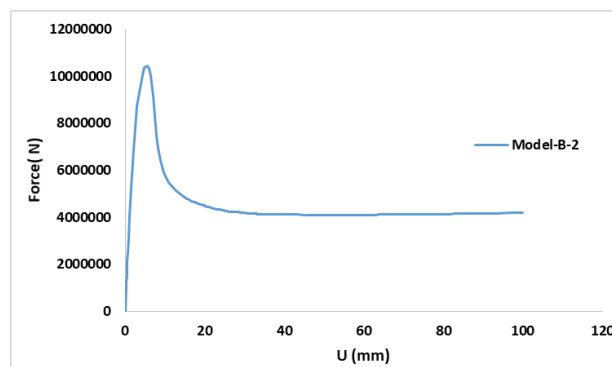
شکل (۲۱) - نمودار هیستریزیس مدل A-2

۲-۱-۷ مدل های گروه (B)

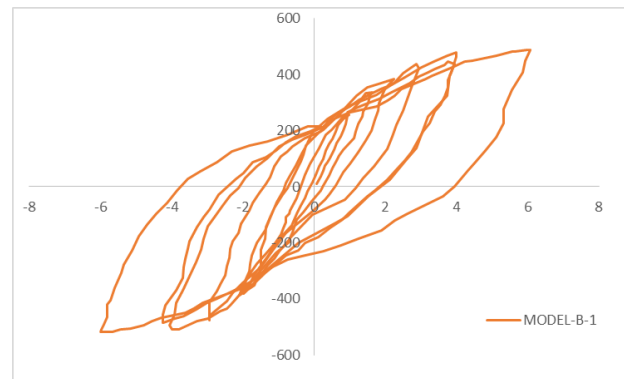
بعد از انجام تحلیل مدل های B در محیط دیداری (Visualization) می توان نمودار پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده کرد، در شکل های (۲۲) الی (۲۵) نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه B-2, B-1 مشاهده می شود.



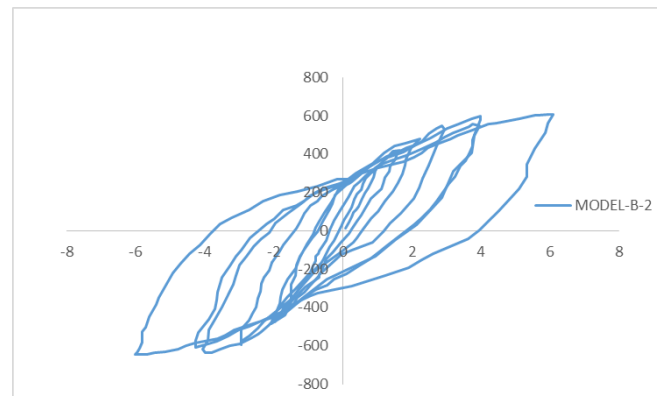
شکل (۲۲) - نمودار نیرو- تغییر مکان مدل B-1



شکل (۲۳) - نمودار نیرو- تغییر مکان مدل B-2



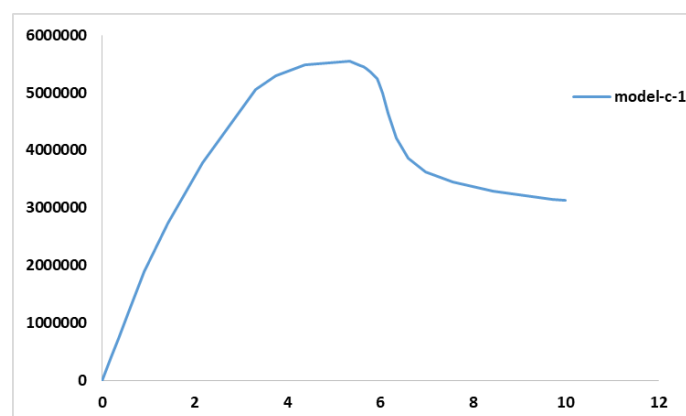
شکل (۲۴) - نمودار هیستریزیس مدل B-1



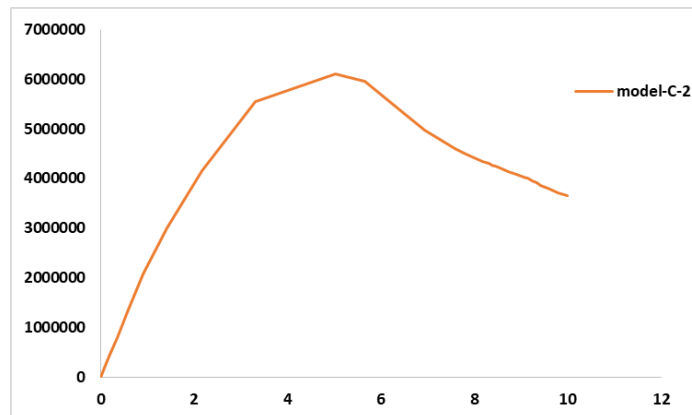
شکل (۲۵) - نمودار هیستریزیس مدل B-2

۳-۱-۷ مدل های گروه (C)

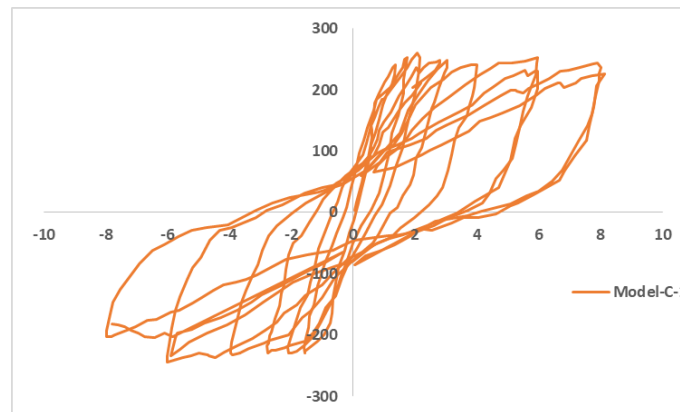
بعد از انجام تحلیل مدل های C در محیط Visualization می توانیم نمودار پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم، در شکل (۲۶) الی (۲۹) نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه C-1, C-2 را مشاهده کنیم.



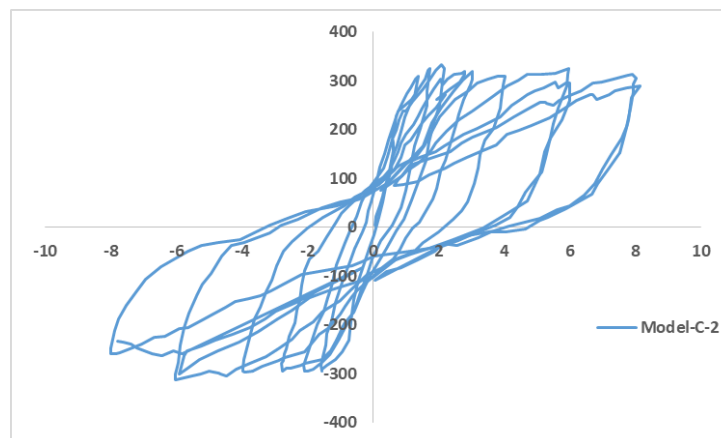
شکل (۲۶) - نمودار نیرو- تغییر مکان مدل C-1



شکل (۲۷) - نمودار نیرو- تغییر مکان مدل C-2



شکل (۲۸) - نمودار هیستریزیس مدل C-1

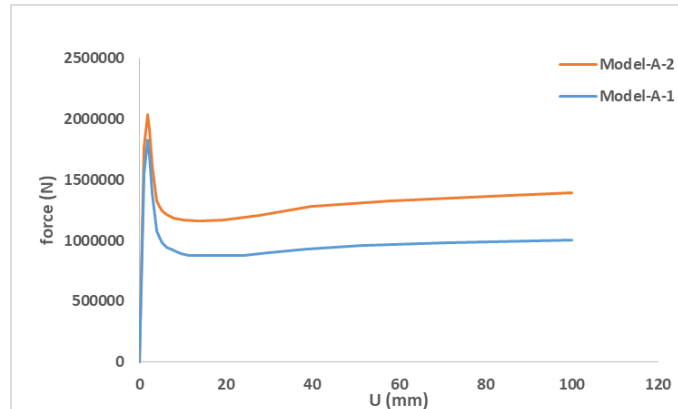


شکل (۲۹) - نمودار هیستریزیس مدل C-2

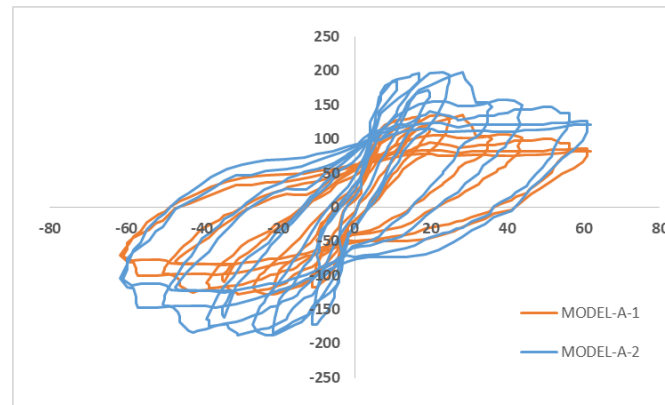
۸- مقایسه نتایج تحلیل مدل های گروه A,B,C حاصل از تحلیل اجزای محدود

۸-۱-۱ مدل های گروه (A)

بعد از انجام تحلیل مدل های نمونه های مطالعاتی گروه A,B,C در محیط Visualization می توانیم نمودار پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم، در شکل (۳۰) و (۳۱) زیر نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه گروه مطالعاتی A-1,A-2 تحت بارگذاری استاتیکی و نمودار هیستریزیس نمونه های مطالعاتی را مشاهده کنیم.



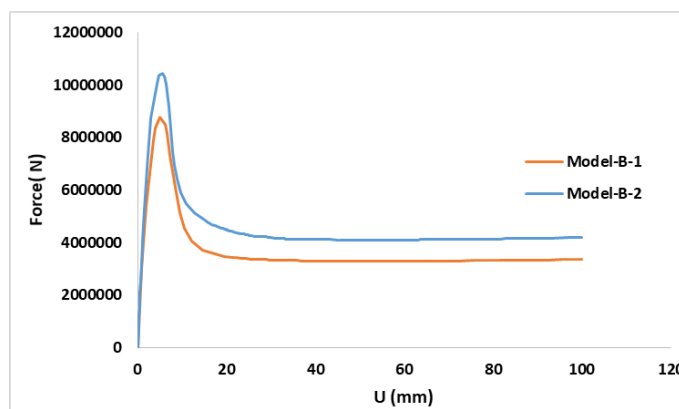
شکل (۳۰) - مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان گروه A مدل A-1, A-2



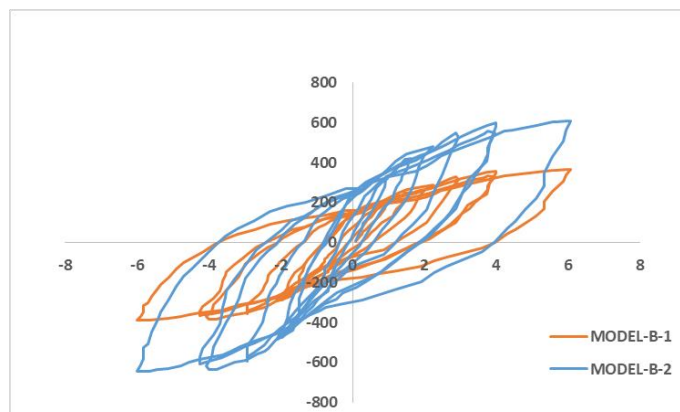
شکل (۳۱) - مقایسه نمودار هیستریزیس گروه A مدل A-1, A-2

۸-۲ مدل های گروه (B)

همچنین در شکل زیر نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه گروه مطالعاتی B-1, B-2 تحت بارگذاری استاتیکی و نمودار هیستریزیس نمونه های مطالعاتی را مشاهده کنیم.



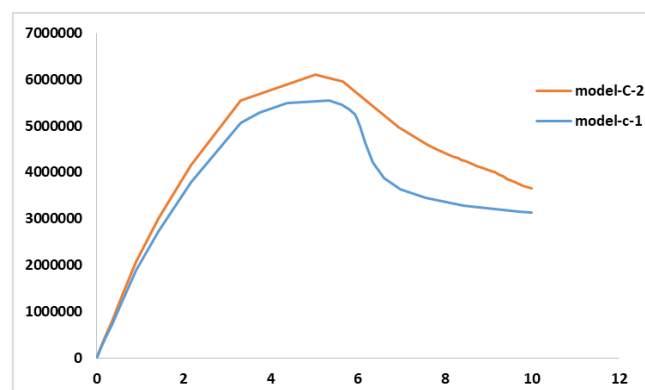
شکل (۳۲) - مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان گروه B مدل B-1, B-2



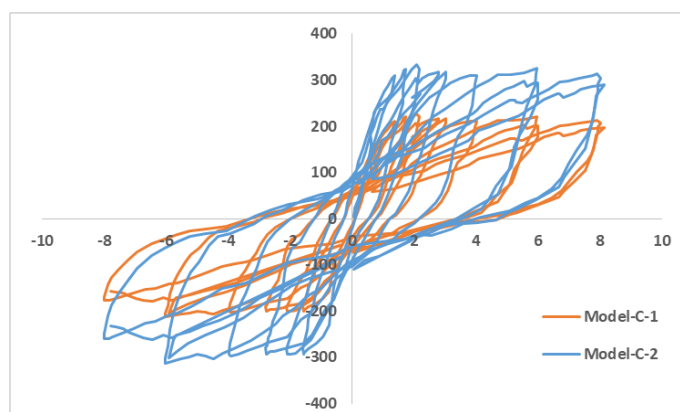
شکل (۳۳) - مقایسه نمودار هیستریزیس گروه B مدل B-1, B-2

۸-۱-۳ مدل های گروه (C)

همچنین در شکل (۳۴) و (۳۵) زیر نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه گروه مطالعاتی C-1, C-2 تحت بارگذاری استاتیکی و نمودار هیستریزیس نمونه های مطالعاتی را مشاهده میشود.



شکل (۳۴) - مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان گروه C مدل C-1, C-2



شکل (۳۵) - مقایسه نمودار هیستریزیس گروه C مدل C-1, C-2

۹- نتیجه گیری

- بعد از مدلسازی و انجام تحلیل های اجزاء محدود نتایج زیر در این پژوهش حاصل شد.
- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان مدل A-1 و مدل A-2 مشاهده میشود که با افزایش ۵۰٪ ضخامت لوله فولادی از ۲ میلیمتر به ۳ میلی متر افزایش ۱۱/۵٪ مقاومت مقطع مدل B نسبت به مدل A بدست می آید.
 - با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان مدل A-1 و مدل A-2 مشاهده میشود که علاوه بر افزایش ۱۱/۵٪ مقاومت، سختی، شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی با افزایش ۵۰٪ درصدی ضخامت نیز افزایش می یابد.
 - با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان مدل B-1 و مدل B-2 مشاهده میشود که با افزایش ۵۰٪ ضخامت لوله فولادی از ۲ میلیمتر به ۳ میلی متر افزایش ۱۹/۵۴٪ مقاومت مقطع مدل B نسبت به مدل A بدست می آید.
 - با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان مدل B-1 و مدل B-2 مشاهده میشود که علاوه بر افزایش ۱۹/۵۴٪ مقاومت، سختی، شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی نیز افزایش می یابد.
 - با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان مدل C-1 و مدل C-2 مشاهده میشود که با افزایش ۱۰۰٪ درصدی ضخامت لوله فولادی از ۳ میلیمتر به ۶ میلی متر، شاهد افزایش ۱۱٪ مقاومت مقطع مدل C-1 نسبت به مدل C-2 بدست می آید.
 - با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان مدل C-1 و مدل C-2 مشاهده شود که علاوه بر افزایش ۱۱٪ مقاومت، سختی، شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی با افزایش ۱۰۰٪ درصدی ضخامت نیز افزایش می یابد.

۱۰- مراجع

- [۱] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان : طرح و اجرای ساختمان های فولادی، ۱۳۹۲
- [۲] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان : طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، ۱۳۹۲
- [۳] مسعود احمدی، علی خیرالدین، حسین نادر پور "۱۳۸۹- بررسی رفتار آیین نامه های معتبر دنیا در زمینه ستون های مرکب بتنی و فولادی."
- [۴] طالب مرادی شقاقی، فریبرز ناطقی الهی "۱۳۸۷- بررسی آزمایشگاهی رفتار لرزه ای ستونهای فولادی پر شده با بتن CFST".
- [۵] محمد هادی یزدان پناه، علی طاهری "۱۳۹۳- بررسی و مقایسه سه مقطع برای ستون های CFT از لحاظ کارایی و شکل پذیری"
- [۶] رمضان عبدالمحمدی "۱۳۸۶- مقاومت خطی و غیر خطی ستون های مرکب تحت اثر خمشی یک محوره"
- [۷] محمد علی جعفری صحنه سرائی "۲۰۱۵- رفتار چرخه ای ستون های مرکب با بست افقی و منحنی های رفتاری آنها"
- [9]-Yan Xiao; Wenhui He; and Kang-kyuChoi.2008."Confined Concrete-Filled Tubular Columns"
- [10] Sakino K, Ishibashi H. Experimental studies on concrete filled square steeltubular short columns subjected to cyclic shearing force and constant axialforce. Transactions of the Architectural Institute of Japan
- [11] Tommi M, Sakino K, Xiao Y. Ultimate moment of reinforced concreteshort columns confined in steel tube. In: Proceeding of Pacific conferenceon earthquake engineering, vol. 2. 1987. p. 11-22.
- [12] Xiao Y, He WH, Mao XY, Choi KK, Zhu PS. Confinement design of CFT columns for improved seismic performance. In: Proceedings of theinternational workshop on steel and concrete composite construction.2003.
- [13] Xiao Y, He WH, Choi KK. Confined concrete filled tubular CCFTcolumns. ASCE Journal of Structural Engineering 2005;1313:488-97.

- [14] Xiao Y, Wu H. Retrofit of reinforced concrete columns using partially stiffened steel jackets. American Society of Civil Engineers, ASCE Journal of Structural Engineering 2003;1296:725–32.
- [15] Han, L.H.; He, S.H.; Zheng, L.Q.; Tao, Z.: Curved concrete filled steel tubular CCFST built-up members under axial compression: Experiments; Journal of Constructional Steel Research; Vol.74, Issue 72012, Page: 63-.
- [16] Han, L.H.; Liao, F.Y.; Tao, Z.; Hong, Z.: Performance of concrete filled steel tube reinforced concrete columns subjected to cyclic bending; Journal of Constructional Steel Research; Vol. 65, Issue 8-9 2009, Page: 1607-1616.
- [17]-ACI 318-14.2014. "Building Code Requirements for Structural Concrete"
- [18] Eurocode 4. 2004. "Design of composite steel and concrete structures". EN 1994-1-2:2005, European Committee for Standardization, Brussels.
- [19] AISC.2010. "Specification for Structural Steel Buildings". American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [20] British Standard . 2005, "BS5400 Steel, concrete and composite bridges". Part 5, Code of Practice for the Design of Composite Bridges, British Standard Institution.
- [21] Vipulkumar Ishvarbhai Patela, Qing Quan Lianga. 2012 . "High strength thin-walled rectangular concrete-filled steel tubular slender beam-columns, Part II: Behavior"
- [22] Portolés J M, Serra E and Romero M L 2013, "Influence of ultra-high strength infill in slender concrete-filled steel tubular columns"