

Investigation into the behavior of a upgraded section used for Concrete-Filled Steel tubular Columns (Upgraded CFT) Under Cyclic Loading

Hadi Barghlame¹, Adel Ferdousi^{2*}, Seyed Arash Mousavi Ghasemi³

- 1- Ph. D. Candidate, Department of Civil engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Civil engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
3- Assistant Professor, Department of Civil engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

ABSTRACT

Numerous advantages of concrete-filled steel tubular (CFST) columns have led to the widespread of such column sections in highly important specific structures such as high-rise buildings, piers, and bridges in recent years. The major drawback of CFST columns is the uncoated steel tube, causing the loss of concrete confinement and sudden strength decline against external loads exerted on the steel tube such as impact, explosion, fire, and so on due to the weakness of it. A novel upgraded section designed and introduced using the internal steel mesh, acting as a double-skin tube along with the external steel tube to prevent the destruction of the concrete core and sudden decline of column load-bearing capacity by the internal steel mesh when the external steel tube was destructed. The columns with the newly designed section and those with the conventional section were tested under axial and seismic loads. The experimental results were validated by the results of the nonlinear finite element analysis of the columns. Other columns were modelled using different internal steel meshes, and the results were compared. In the novel section proposed for the CFST columns, concrete core confinement was improved by the internal steel mesh, leading to an increase in the load-bearing capacity and progressive collapse duration of CFST columns against sudden loads such as impact and fire. The results of the research confirm a significant increase in the strength and ductility of the upgraded sections compared to the usual sections.

ARTICLE INFO

Receive Date: 14 October 2021
Revise Date: 26 November 2021
Accept Date: 24 December 2021

Keywords:

Concrete-filled steel tubular column
Cyclic load
Confinement
Lateral capacity
Upgraded section

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2021.309337.2601>

*Corresponding author: Adel Ferdousi
Email address: a_ferdousi@iaut.ac.ir

بررسی رفتار یک مقطع ارتقاء یافته ستونهای فولادی پر شده با بتن تحت بارگذاری

چرخه‌ای

هادی برق‌لامع^۱، عادل فردوسی^{۲*}، سید آرش موسوی قاسمی^۳

۱- دانشجوی دکتری دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

در سالهای اخیر، مزایای متعدد ستونهای جدار فولادی پر شده با بتن منجر به ترویج این مقاطع ستونها در سازه‌های خاص و با اهمیت زیاد مانند ساختمانهای بلند مرتبه، اسکله‌ها، پل‌ها و ... شده است. اصلی‌ترین عیب این نوع ستونها این است که لوله فولادی بدون پوشش بوده، بنابراین در برابر بارهای خارجی وارده به جداره فولادی همانند ضربه، انفجار، حریق و ... بدلیل ضعف ایجاد شده در فولاد جداره قابلیت محبوس شدگی بتن از بین رفته و افت آنی مقاومت را در پی خواهد داشت. در این تحقیق یک مقطع جدید ارتقاء یافته با بهره‌گیری از شبکه فولادی داخلی طرح و معرفی شده که شبکه فولادی داخلی همراه با جدار فولادی خارجی بصورت دوجداره عمل نموده تا در صورت انهدام جدار فولادی خارجی شبکه فولادی داخلی مانع از انهدام هسته بتنی و افت ناگهانی باربری ستون شود. ستونهای با مقطع جدید و ستونهای با مقطع معمول در تحت اثر بار محوری و لرزه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی المان محدود این ستونها صحت سنجی شده و سایر ستونها با شبکه‌های فولادی داخلی متفاوت مدلسازی شده و بررسی مقایسه‌ای شده است. در مقطع جدید پیشنهاد شده برای ستونهای جدار فولادی پر شده با بتن با بهره‌گیری از شبکه فولادی داخلی محصور شدگی بتن هسته افزایش یافته که به تبع آن افزایش ظرفیت باربری و مدت زمان خرابی پیش رونده این نوع از ستونها در مقابل بارهای ناگهانی وارده همانند ضربه و یا حریق را خواهیم داشت.

کلمات کلیدی: ستون جدار فولادی پر شده با بتن، بار لرزه‌ای، محصورشدگی، حداکثر ظرفیت بار جانبی، مدت زمان خرابی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2021.309337.2601	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.309337.2601	۱۴۰۱/۰۷/۳۱	۱۴۰۰/۱۰/۰۳	۱۴۰۰/۱۰/۰۳	۱۴۰۰/۰۹/۰۵	۱۴۰۰/۰۷/۲۲
				*نویسنده مسئول:		عادل فردوسی
				پست الکترونیکی:		A_ferdousi@iaut.ac.ir

۱- مقدمه

در سالهای اخیر استفاده از ستون های فولادی پر شده با بتن (CFT) در ساختمان های بلند و صنعتی، پلها، اسکله ها رواج زیادی پیدا کرده و علت آن مزایای فراوانی است که این ستون ها نسبت به ستونهای بتن آرمه و فولادی معمولی دارند. عدم نیاز به قالب بندی و تقویت بتن، شکل پذیری و مقاومت مناسب با حجم و وزن کمتر نسبت به ستون های بتن آرمه و همچنین اقتصادی بودن نسبت به ستون های فولادی از عواملی هستند که بکارگیری این مقاطع را مورد توجه قرار داده اند.

برای رسیدن به مقطع بهینه ستون فولادی پر شده با بتن مطالعات زیادی در خصوص ارائه مقاطع جدید تحت انواع بارگذاری ها صورت پذیرفته است. عابدی و همکاران (۲۰۰۸) مقطع نوینی را با بکار بردن ورق هایی به عنوان برشگیر در قسمت داخلی جدار فولادی ستون دایره ای و هشت ضلعی ارائه نمودند که این مقطع جدید منجر به افزایش مقاومت و شکل پذیری مقطع تحت بارگذاری محوری و لرزه ای داشته است [۱]. هیسایو و همکاران (۲۰۱۵)، ونق و همکاران (۲۰۱۶) و اقدمی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی مقطع ستون فولادی دایره ای با دو لایه جدار فولادی داخلی و خارجی (با مقطع دایره) که حد فاصل آنها با بتن پر شده بود، تحت اثر بار ثابت محوری و بار لرزه ای به این نتیجه رسیدند که با بکار بردن جدار فولادی داخلی علاوه بر جدار فولادی خارجی می توان مقاومت مقطع را در برابر بارهای اعمالی افزایش داد [۲، ۳ و ۴]. زو و ونچائو (۲۰۱۶) با بررسی مقطع دو جداره با جدار فولادی داخلی دایره ای در داخل مقطع با جدار فولادی خارجی مستطیلی تحت بارگذاری محوری و لرزه ای دریافتند که استفاده از این مقطع جدید باعث افزایش شکل پذیری و مقاومت می گردد [۵]. حسینی و همکاران (۲۰۱۸) و ورناردس و گانتس (۲۰۱۹) انواع مقاطع دو جداره را با ترکیب جداره های مستطیلی و دایره ای هم به صورت جدار خارجی و هم به صورت جدار داخلی تحت اثر بارهای مورد مقایسه و بررسی قرار دادند [۶ و ۷]. زنگ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی مقاطع دو جداره فولادی دایره ای پر شده با بتن و اثر بتن داخل جداره فولادی داخلی و تاثیر ضریب لاغری بر روی مقاومت نهایی ستون پرداختند. در این تحقیق نتایج نشان داده شده است که ستونهای با مقطع فولادی دوجداره پر شده با بتن در صورتی که ضریب لاغری بزرگتری از ۶۰ را داشته باشند، ظرفیت بار جانبی کمتری خواهند داشت [۸]. چن و همکاران (۲۰۱۹) مقطع با جدار فولادی هشت ضلعی پر شده با بتن را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که این مقطع قابلیت جذب انرژی بالایی دارد [۹]. ونق و همکاران (۲۰۱۹) با اعمال برشگیرها در داخل جداره مقطع فولادی مستطیلی پر شده از بتن دریافتند که استفاده از این برشگیرها باعث افزایش جذب انرژی و جلوگیری از کمانش موضعی جداره می شود [۱۰]. زنگ و همکاران (۲۰۱۹) با بکارگیری آرماتورهای طولی و عرضی در ستون دو جداره فولادی پر شده از بتن اقدام به ارائه مقطع جدیدی نمودند که نتایج این مطالعه نشان داد که قابلیت جذب انرژی و مقاومت این مقطع نسبت به مقاطع مشابه بسیار بالا و قابل توجه می باشد [۱۱]. ونگ و همکاران (۲۰۲۰) مقاطع دو جداره ای را معرفی نمودند که در آنها از برشگیرهای داخلی استفاده شده بود که با اعمال بارهای محوری و لرزه ای بر روی نمونه های متفاوت نشان دادند که استفاده از این برشگیرها منجر به بهبود عملکرد لرزه ای در جذب انرژی و افزایش مقاومت ستون می گردد [۱۲].

در این مقاله، یک مقطع جدیدی پیشنهاد می شود که برای ستونهای ساختمان های بلند و پل های با دهانه های بزرگ می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاطع از شبکه فولادی نزدیک به جداره خارجی فولادی استفاده می گردد. برای انتخاب این مقطع جدید، پارامترهای موثر بر روی رفتار ستونهای فولادی پر شده از بتن بایستی مورد توجه قرار گیرد. این پارامترها عبارتند از:

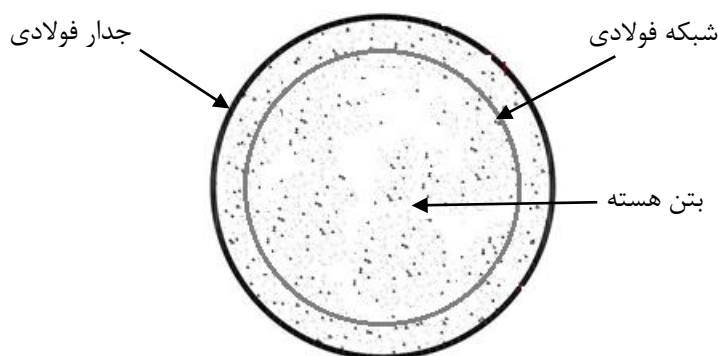
- اثر محبوس شدگی بتن بر روی شکل پذیری و مقاومت ستونهای فولادی پر شده با بتن
- نوع فولاد و بتن پر کننده مورد استفاده در ستونهای فولادی پر شده با بتن
- اثرات تنش و کرنش پس ماند
- اثرات جمع شدگی و خزش در بتن پر کننده
- شرایط بارگذاری و نوع اتصال

اهداف این تحقیق:

- پیشنهاد یک مقطع جدید برای ستونهای فولادی پر شده با بتن
- مدلسازی رفتار واقعی ستونهای فولادی پر شده با بتن با بهره‌گیری از المانهای محدود
- بررسی مقایسه‌ای رفتار مقطع جدید پیشنهادی با مقاطع متداول فولادی پر شده با بتن تحت بارگذاری محوری و لرزه-ای

۲- مقطع پیشنهاد شده جدید برای ستونهای فولادی پر شده با بتن

علیرغم رفتار مناسب ستونهای فولادی پر شده با بتن تحت شرایط مختلف بارگذاری بخصوص بارگذاری لرزه‌ای، مقاطع متداول این نوع ستونها در صورت ایجاد نقص در جداره فولادی ناشی از آتش سوزی، ضربه یا انفجار با کاهش محصور شدگی بتن هسته و متعاقباً کاهش ظرفیت باربری ستون روبرو خواهند شد. در راستای رسیدن به مقطعی با شکل پذیری و ظرفیت باربری بالا نسبت به مقاطع معمول این نوع ستونها و همچنین افزایش زمان مدت زمان خرابی پیشرونده در مقابل بارهای ناگهانی وارده همانند آتش سوزی، ضربه یا انفجار با توجه به درجه اهمیت سازه‌هایی که از این نوع ستونها در ساخت آنها استفاده می‌شود مانند سازه‌های بلند، پایه پل‌ها و ... ، مقطع نشان داده شده در شکل ۱ توسط فردوسی^۱ پیشنهاد می‌گردد. در این مقطع جدید از شبکه فولادی رول شده نزدیک به جداره فولادی استفاده شده است. وجود شبکه فولادی رول شده همانند این است که ستون فوق عملکرد دو جداره‌ای دارد و نقش بسزایی در افزایش محصورشدگی ستون علیرغم از بین رفتن جداره فولادی خارجی در اثر ضربه یا انفجار یا آتش سوزی را خواهد داشت.



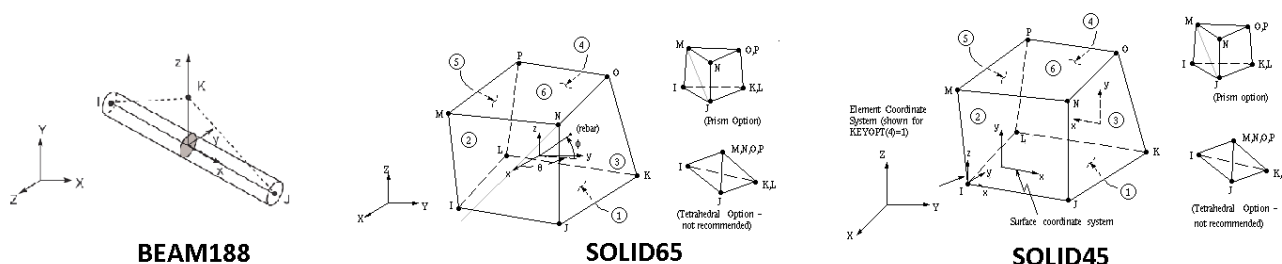
شکل ۱: مقطع جدید ستون فولادی پر شده با بتن

۳- مدلسازی المان محدود ستونهای فولادی پر شده با بتن

برای مدلسازی ستونها با مقطع فولادی پر شده با بتن از برنامه المان محدود ANSYS استفاده شده است. از المان سه بعدی ایزوپارامتریک SOLID 65 برای مدل کردن بتن هسته استفاده شده است. این المان توسط یک شش وجهی، هشت گرهی با سه درجه آزادی انتقالی در هر گره تعریف میشود. مصالح اعمالی از جنس بتن با قابلیت ترک در تنشهای کششی و شکست یا خردشدگی در تنشهای فشاری در سه جهت متعامد و نیز تغییر شکلهای پلاستیک و خزش میباشد. از المان SOLID 45 برای مدل کردن جداره فولادی استفاده می‌شود. این المان همچون المان SOLID 65 ، با هشت گره و سه درجه آزادی در هر گره تعریف میشود و دارای قابلیت‌های اعمال تغییر شکلهای پلاستیک، خزش، تورم، سخت شدگی تنش، تغییر شکلهای کرنشهای بزرگ بوده، همخوانی مناسبی با سایر المانهای بکار رفته در مدل کردن ستونهای CFT دارد. المان BEAM188 استفاده شده برای مدلسازی شبکه فولادی المانی دارای دو گره و شش درجه آزادی انتقال در جهت X, Y, Z و چرخش در سه جهت X, Y, Z می باشد. این المان برای تیرهای لاغر تا کمی ضخیم مناسب می باشد. این المان بر

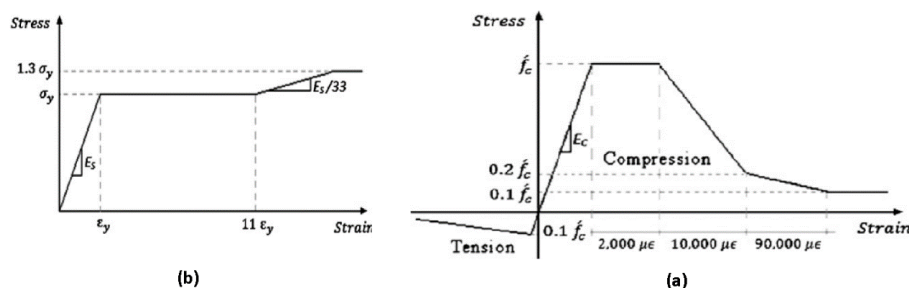
¹ A.Ferdousi

پایه تئوری تیر تیموشینکو بوده و قادر به تغییر شکل پلاستیک است. هندسه و موقعیت گرہها در سیستم مختصات المان در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۳].



شکل ۲: هندسه و موقعیت گرہها در سیستم مختصات المان‌های مورد استفاده در مدلسازی.

رفتار مصالح بکار رفته در مدلسازی ستونها در شکل ۳ نشان داده شده است [۱].



شکل ۳: رفتار مصالح بکار رفته در مدل ستونها. (a) بتن محبوس شده و (b) فولاد.

۴- صحت سنجی مدلسازی المان محدود نمونه‌های آزمایشگاهی

برای تایید صحت و درستی مدلسازی المان محدود و نتایج عددی حاصل از تحلیل‌های غیر خطی، نتایج آزمایشگاهی ستون‌های جدار فولادی پر شده با بتن و نتایج حاصل از مدلسازی با یکدیگر مقایسه شده است. نمونه‌های آزمایشگاهی نمونه‌ها برای ظرفیت بار محوری تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی در ادامه چرخه ای تا لحظه خرابی کامل آزمایش شده‌اند که در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴: نمونه‌های آزمایشگاهی تحت اثر بارگذاری همزمان محوری و لرزه‌ای

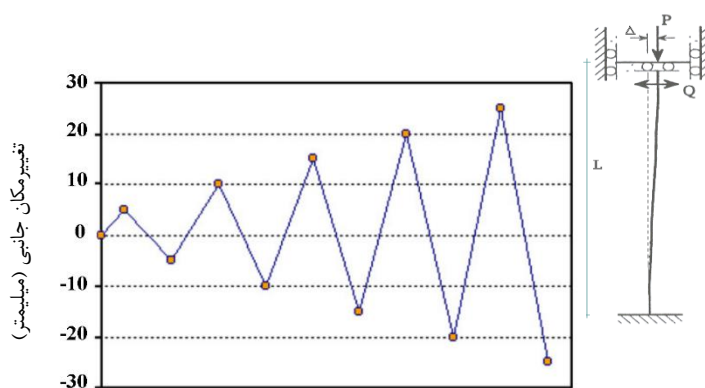
در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی از لوله فولادی بدون درز به قطر داخلی ۲۵۴ میلی‌متر (۱۰ اینچ) و ضخامت ۸ میلی‌متر به طول ۲۰۰۰ میلی‌متر بعنوان جدار فولادی خارجی مورد استفاده قرار گرفته و سایر مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی اعم از مشخصات شبکه

فولادی داخلی و بتن هسته مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است که قطر شبکه داخلی فولادی رول شده در داخل هسته برابر ۲۲۷ میلیمتر و نزدیک به جداره خارجی می باشد.

جدول ۱: مشخصات نمونه های آزمایشگاهی

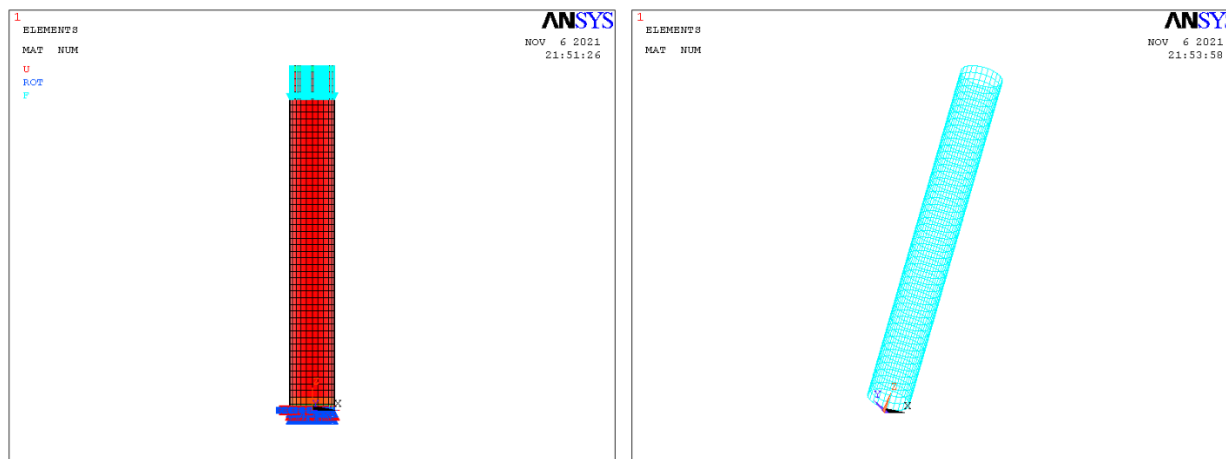
ردیف	مشخصه نمونه	ابعاد چشمه های شبکه فولادی (mm)	قطر مفتول های شبکه فولادی (mm)	مقاومت فشاری بتن هسته (MPa)
۱	CFT	-	-	۳۲/۴
۲	UGCFT	۲۵/۴	۳	۳۲/۴

بار لرزه ای بصورت رفت و برگشتی بر اساس آیین نامه ATC-24 به صورت شکل ۵ بر روی نمونه های آزمایشگاهی و نمونه های مدلسازی شده در المان محدود اعمال شده است [۱۴]. در شکل ۶ نمونه مدلسازی شده ستون های آزمایشگاهی نشان داده شده است.



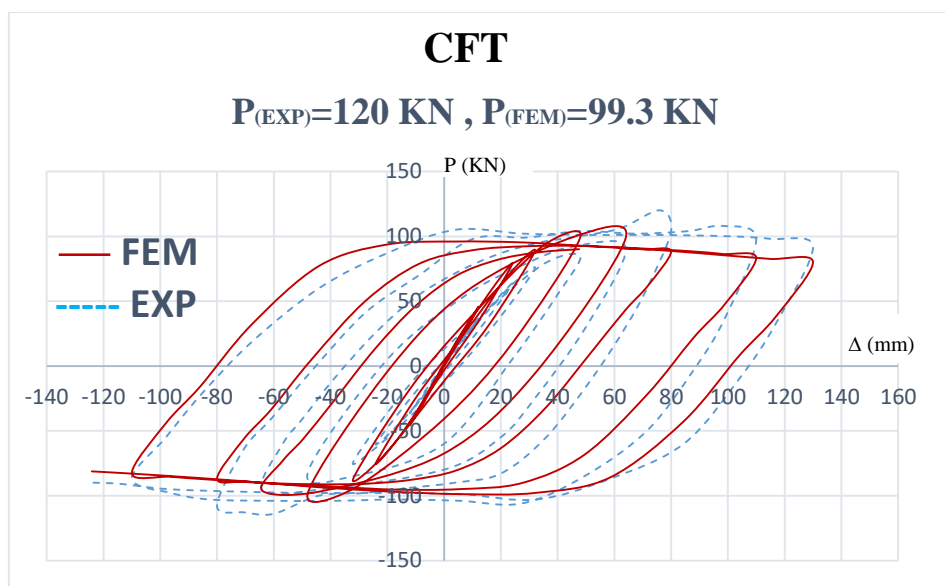
تعداد سیکل های بار جانبی

شکل ۵: نحوه اعمال تغییر مکان جانبی بصورت رفت و برگشتی بر روی مقاطع ستونها

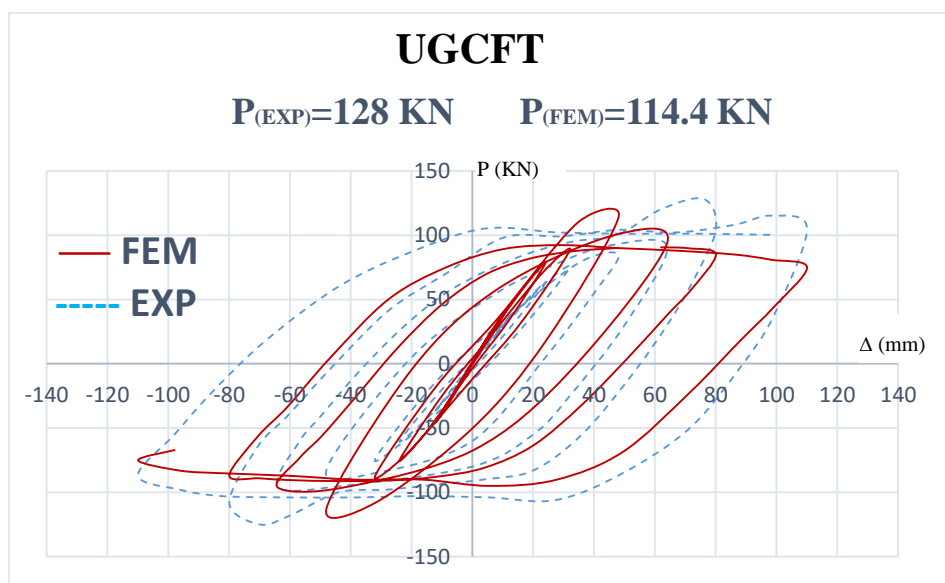


شکل ۶: مدلسازی نمونه های آزمایشگاهی و نحوه مدلسازی شبکه فولادی داخلی در برنامه ANSYS

در اشکال ۷ و ۸ نمودار هیستریزیس نمونه های آزمایشگاهی ارائه شده در جدول ۱ به همراه نمودار هیستریزیس مدل های المان محدود مربوطه در شرایط کاملا یکسان بصورت مقایسه ای ارائه شده است.



شکل ۷: نمودار بار-جابجایی ستون CFT تحت بارگذاری لرزه‌ای برای نمونه‌های آزمایشگاهی و المان محدود



شکل ۸: نمودار بار-جابجایی ستون UGCFT تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای برای نمونه‌های آزمایشگاهی و المان محدود

با توجه به نمودارهای ارائه شده می‌توان گفت، نتایج مدل‌سازی المان محدود ستونها نزدیک به نتایج آزمایشگاهی بوده و در نتیجه مدل المان محدود را می‌توان برای تحلیل‌های غیرخطی جهت بررسی مقایسه‌ای رفتار مقاطع جدید و مقاطع معمول ستونهای جدار فولادی پر شده با بتن استفاده نمود.

۵- نتایج تحلیل‌ها

برای بررسی مقایسه‌ای، ۱۲ ستون با مقطع جدید با تغییر متغیرهای: مقاومت فشاری بتن، ابعاد چشمه‌های شبکه فولادی و قطر مفتول‌های شبکه فولادی و همچنین ۳ ستون با مقطع معمول در مقاومت‌های فشاری بتن هسته متفاوت بدون شبکه فولادی در برنامه

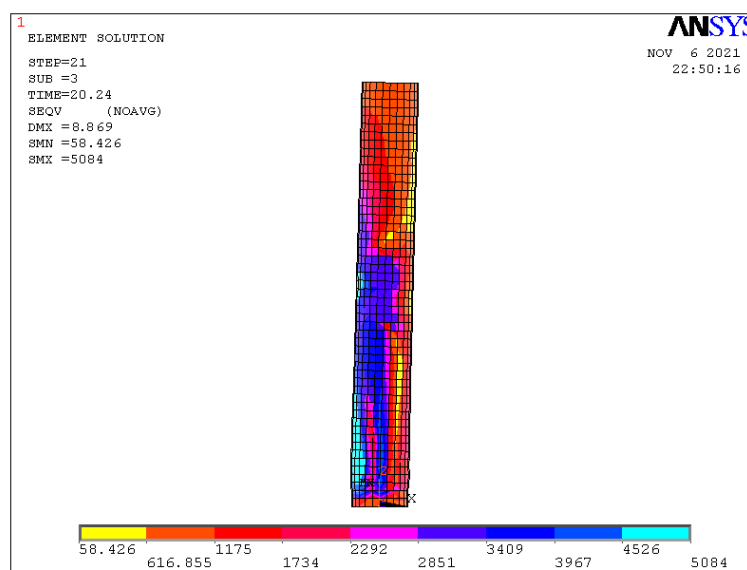
ANSYS مدل سازی شده و با اعمال ۳۰ درصد حداکثر ظرفیت باربری محوری ستون تحت بارگذاری رفت و برگشتی ارائه شده در شکل ۵ قرار گرفته است. مشخصات مربوط به این ستونها در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲: مشخصات ستون های مقاطع جدید و متداول مورد بررسی مقایسه ای

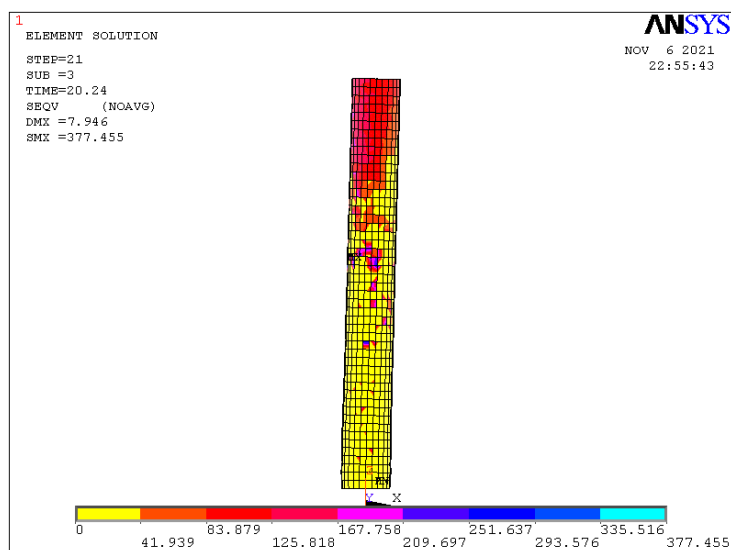
ردیف	مشخصه نمونه	ابعاد چشمه های شبکه فولادی (mm)	قطر مفتول های شبکه فولادی (mm)	مقاومت فشاری بتن هسته (MPa)
۱	UGCFT 1121	۲۵/۴	۳	۳۰
۲	UGCFT 1122	۲۵/۴	۳	۴۰
۳	UGCFT 1123	۲۵/۴	۳	۵۰
۴	UGCFT 1221	۲۵/۴	۵	۳۰
۵	UGCFT 1222	۲۵/۴	۵	۴۰
۶	UGCFT 1223	۲۵/۴	۵	۵۰
۷	UGCFT 2121	۵۰/۸	۳	۳۰
۸	UGCFT 2122	۵۰/۸	۳	۴۰
۹	UGCFT 2123	۵۰/۸	۳	۵۰
۱۰	UGCFT 2221	۵۰/۸	۵	۳۰
۱۱	UGCFT 2222	۵۰/۸	۵	۴۰
۱۲	UGCFT 2223	۵۰/۸	۵	۵۰
۱۳	CFT300	-	-	۳۰
۱۴	CFT400	-	-	۴۰
۱۵	CFT500	-	-	۵۰

تنش تسلیم فولاد جداره خارجی و شبکه فولادی براساس آزمایش کشش برای نمونه های استاندارد تهیه شده از هر دو به ترتیب برابر ۳۳۷ و ۳۲۶ مگاپاسکال و مدول الاستیسته آنها برابر ۲۰۰۰۰ مگاپاسکال می باشد.

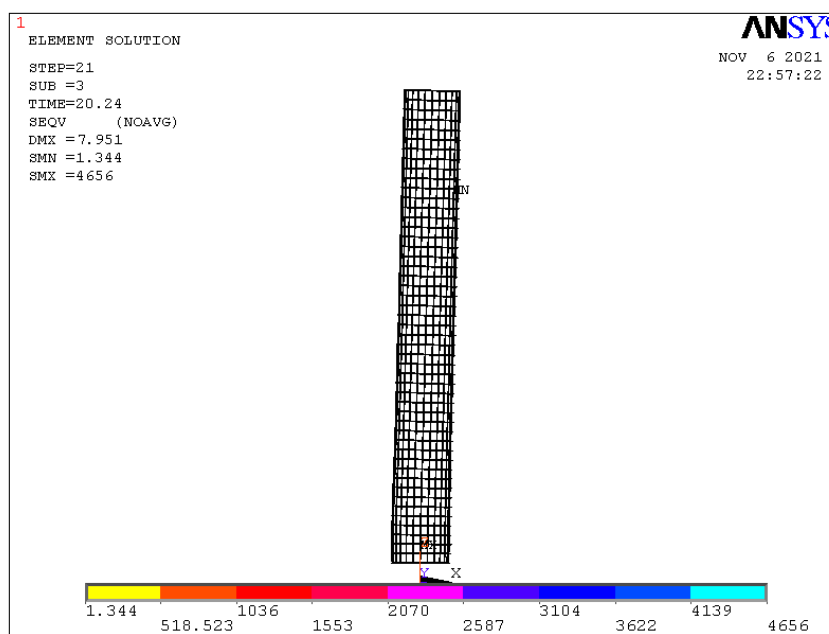
در اشکال ۹ تا ۱۱، شکل تغییر شکل یافته و کنتورهای تنش ون-میزس جداره فولادی، شبکه فولادی داخلی و بتن هسته برای آخرین گام بارگذاری چرخه ای برای ستون UGCFT1121 به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۹: شکل تغییر شکل یافته و کنتورهای تنش ون-میزس جداره فولادی ستون UGCFT1121 در آخرین گام بارگذاری چرخه ای

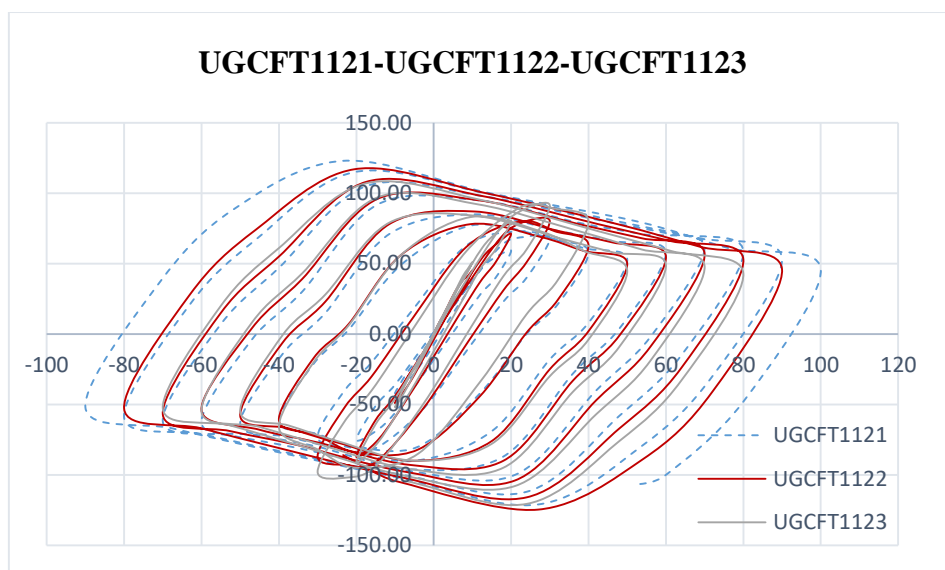


شکل ۱۰: شکل تغییرشکل یافته و کنتورهای تنش ون-میزس هسته بتنی UGCFT1121 در آخرین گام بارگذاری چرخه‌ای

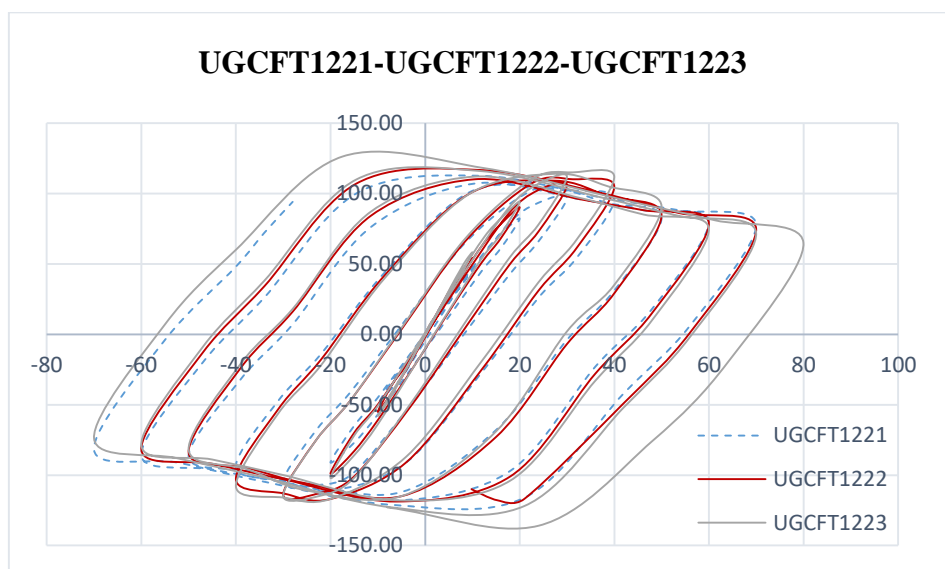


شکل ۱۱: شکل تغییرشکل یافته و کنتورهای تنش ون-میزس شبکه فولادی داخلی UGCFT1121 در آخرین گام بارگذاری چرخه‌ای

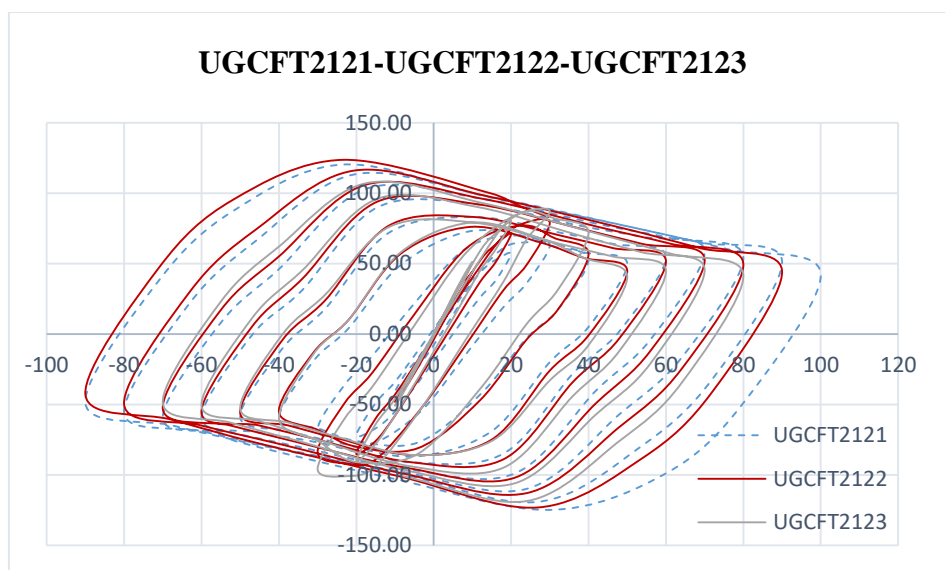
نمودار رفتاری هیستریزیس برای ستونهای با مقاطع ارائه شده در جدول ۲ تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای منتهی به تحلیل غیرخطی المان محدود بصورت گروه‌هایی با مشخصات شبکه فولادی داخلی یکسان در اشکال ۱۲ تا ۱۵ نشان داده شده است.



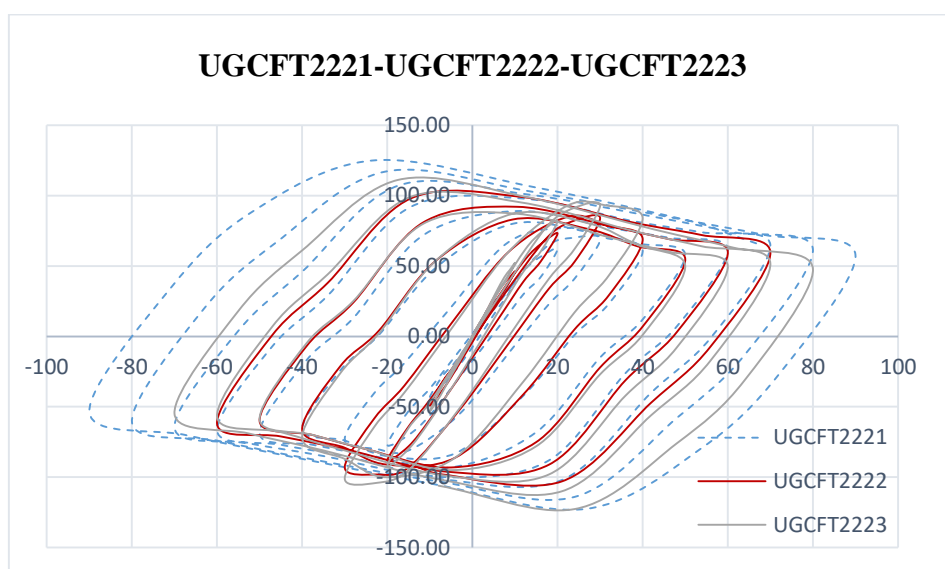
شکل ۱۲: نمودار بار-جابجایی ستون های مقطع جدید با قطر مفتول ۳ میلیمتر و ابعاد چشمه ۲۵/۴ میلیمتر تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای



شکل ۱۳: نمودار بار-جابجایی ستون های مقطع جدید با قطر مفتول ۵ میلیمتر و ابعاد چشمه ۲۵/۴ میلیمتر تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای



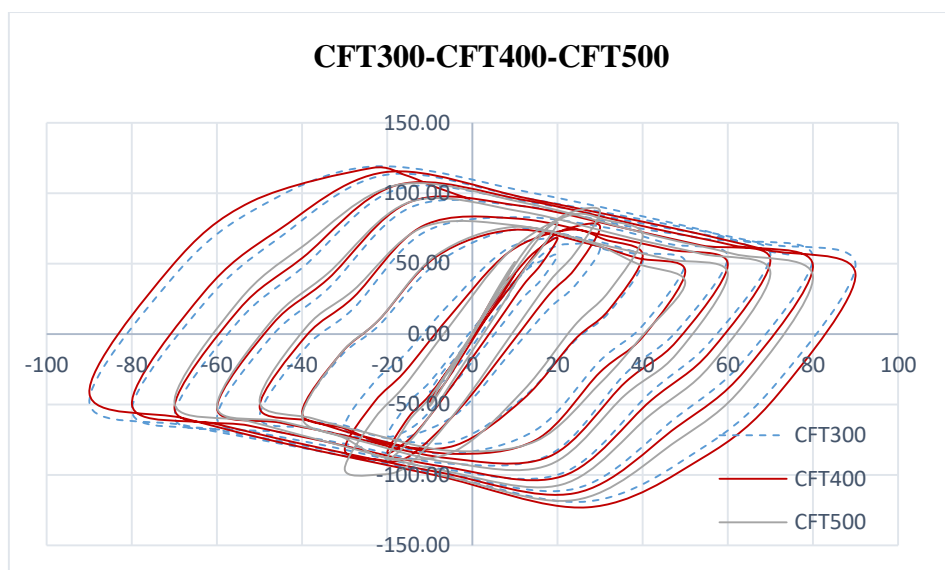
شکل ۱۴: نمودار بار - جایجایی ستون های مقطع جدید با قطر مفتول ۳ میلیمتر و ابعاد چشمه ۵۰/۸ میلیمتر تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای



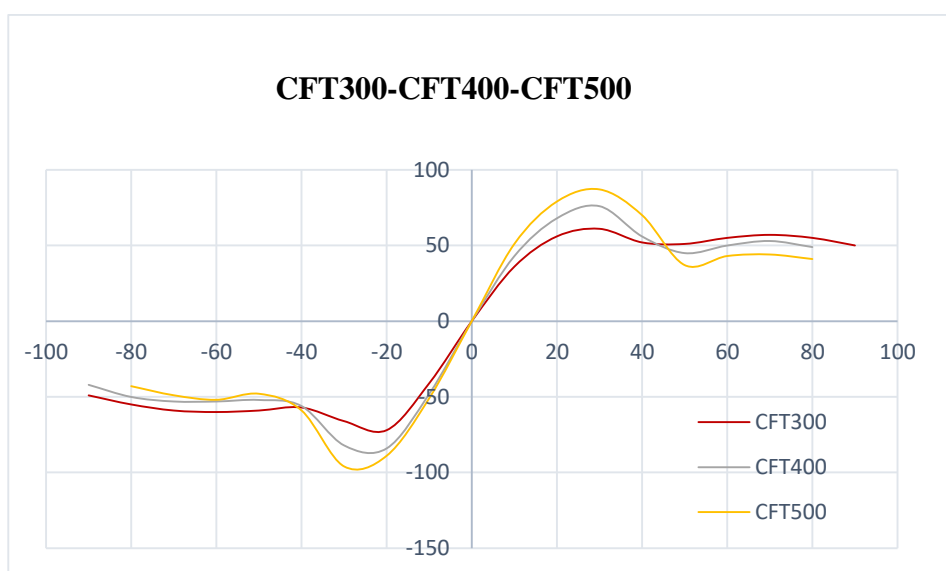
شکل ۱۵: نمودار بار - جایجایی ستون های مقطع جدید با قطر مفتول ۵ میلیمتر و ابعاد چشمه ۵۰/۸ میلیمتر تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای

همگونه که از اشکال ۱۲ تا ۱۵ مشاهده می شود با افزایش مقاومت فشاری هسته بتنی و به تبع آن افزایش مدول الاستیسیته بتن، سختی ستون افزایش یافته و شاهد تخریب ستون در تغییر مکانهای کمتر نسبت به ستونهای با مقاومت فشاری پایین هستیم. شایان ذکر است که ظرفیت بار جانبی ستون با هسته بتنی با مقاومت فشاری بیشتر نسبت به بقیه بیشتر بوده و این حداکثر نیروی جانبی در سیکل‌های پایین تر رخ می‌دهد.

همچنین نمودار هیستریزس و حداکثر مقادیر بار جانبی ستونهای جداره فولادی پر شده با بتن با مقاطع متعارف مدلسازی شده در ANSYS تحت بار محوری و لرزه‌ای با مشخصه‌های CFT300، CFT400 و CFT500 در اشکال ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است.



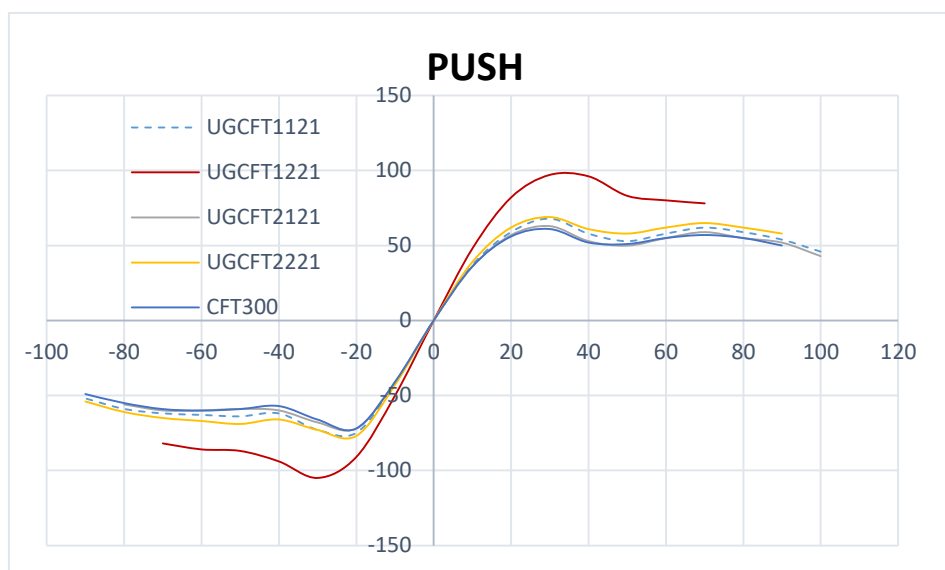
شکل ۱۶: نمودار بار- جابجایی ستون های مقاطع معمول با مقاومت فشاری بتن هسته ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مگاپاسکال تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای



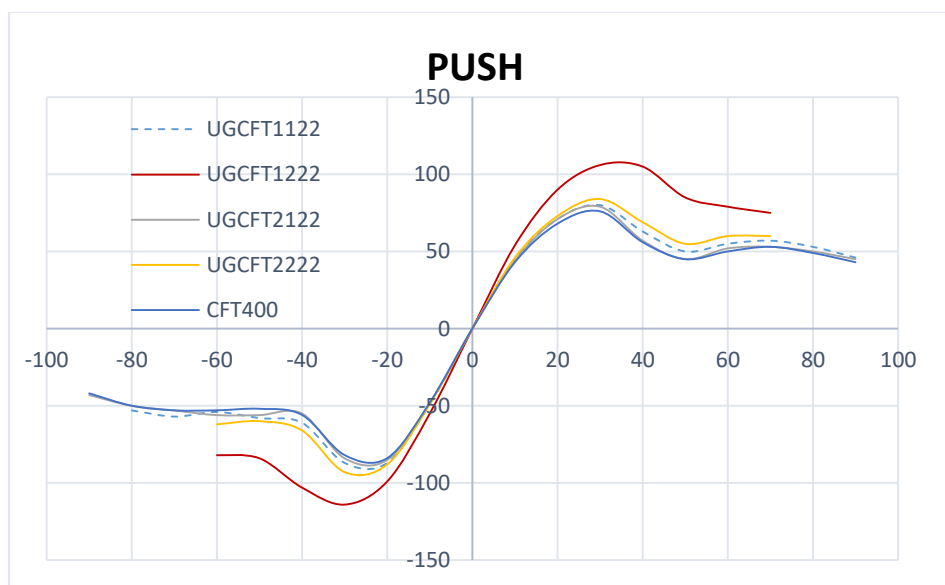
شکل ۱۷: نمودار حداکثر بار جانبی برای ستون‌های با مقاومت فشاری بتن هسته ۳۰ مگاپاسکال تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای

در بررسی حداکثر تعداد سیکل‌های بار جانبی رفت و برگشتی می‌توان گفت افزایش مقاومت فشاری بتن هسته و به تبع آن افزایش اندکی در مقدار سختی کل ستون منجر به کاهش حداکثر جابجایی از ۹۰ به ۸۰ میلیمتر می‌گردد. همانطوری که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، حداکثر بار جانبی برای ستون‌های با مقاومت فشاری ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مگاپاسکال بطور مشابه در تغییرمکان جانبی ۳۰ میلیمتر رخ داده در حالی که افت باربری جانبی ستونهای معمول با افزایش مقدار مقاومت فشاری بتن هسته شدیدتر می‌گردد. به عبارت دیگر شیب نمودار بار جابه‌جایی در قسمت نزولی برای ستونهای با بتن هسته ۵۰ مگاپاسکال بیشتر از ۴۰ مگاپاسکال و ۴۰ مگاپاسکال بیشتر از ۳۰ مگاپاسکال می‌باشد. در کل می‌توان گفت افزایش مقدار مقاومت فشاری بتن هسته باعث افزایش ظرفیت باربری جانبی ستون‌های معمول می‌شود.

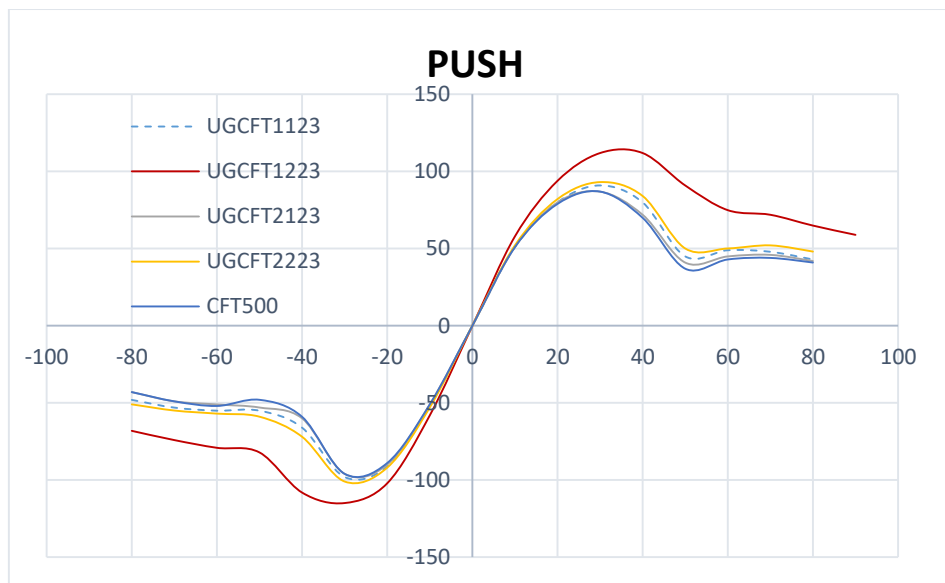
حداکثر مقادیر بار جانبی در سیکل‌های بارگذاری لرزه‌ای در صورت اعمال تغییرمکان جانبی در انتهای ستون به همراه بار محوری ۳۰ درصد ظرفیت کل ستون در طول کل بارگذاری لرزه‌ای برای ستونهای با مقاومت بتن هسته مشابه در اشکال ۱۸ تا ۲۰ ارائه شده است.



شکل ۱۸: نمودار حداکثر بار جانبی برای ستون‌های با مقاومت فشاری بتن هسته ۳۰ مگاپاسکال تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای



شکل ۱۹: نمودار حداکثر بار جانبی برای ستون‌های با مقاومت فشاری بتن هسته ۴۰ مگاپاسکال تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای



شکل ۲۰: نمودار حداکثر بار جانبی برای ستون‌های با مقاومت فشاری بتن هسته ۵۰ مگاپاسکال تحت بارگذاری محوری و لرزه‌ای

همانطور که از اشکال ۱۸ تا ۲۰ مشاهده می‌شود، بهره‌گیری از شبکه فولادی داخلی باعث افزایش باربری جانبی و افزایش سختی ستون در همه ستونها با مقطع جدید نسبت به مقطع متداول گردیده است. در ستونهای با درصد فولاد شبکه داخلی بیشتر نسبت به ستونهای با درصد فولاد کمتر نرخ کاهش باربری جانبی نسبت به افزایش تغییرمکان جانبی بعد از رسیدن به حداکثر ظرفیت باربری ستون یعنی در قسمت نزولی نمودار بار-جابجایی کمتر می‌باشد که نشان دهنده جذب انرژی بالا نسبت به سایر ستونها می‌باشد. مقادیر حداکثر ظرفیت بار جانبی و حداکثر تغییرمکان جانبی ستونهای مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر حداکثر بار و تغییرمکان جانبی ستونهای مقاطع جدید و متداول مورد بررسی مقایسه‌ای

ردیف	مشخصه نمونه	حداکثر ظرفیت بار جانبی (KN)	حداکثر تغییرمکان جانبی (mm)	ردیف	مشخصه نمونه	حداکثر ظرفیت بار جانبی (KN)	حداکثر تغییرمکان جانبی (mm)
۱	CFT300	۷۲	۹۰	۹	UGCFT2122	۸۵	۹۰
۲	UGCFT1121	۷۵	۱۰۰	۱۰	UGCFT2222	۹۳	۶۰
۳	UGCFT1221	۱۰۵	۷۰	۱۱	CFT500	۹۶	۸۰
۴	UGCFT2121	۷۲	۱۰۰	۱۲	UGCFT1123	۹۸	۸۰
۵	UGCFT2221	۷۷	۹۰	۱۳	UGCFT1223	۱۱۵	۹۰
۶	CFT400	۸۴	۹۰	۱۴	UGCFT2123	۹۶	۸۰
۷	UGCFT1122	۸۷	۹۰	۱۵	UGCFT2223	۱۰۱	۸۰
۸	UGCFT1222	۱۱۴	۷۰				

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌های غیرخطی ستونها تحت بارگذاری محوری ثابت و بار لرزه‌ای که در جدول ۳ نشان داده شده است، می‌توان گفت که وجود شبکه فولادی داخلی به دلیل افزایش محصور شدگی بتن هسته باعث افزایش ظرفیت بار جانبی ستونها به مقدار ۱۹ تا ۴۵ درصد گردیده است. این درصد افزایش و بهبود ظرفیت بار جانبی ستونها در ستونهای با مقاومت فشاری هسته بتنی ۳۰ مگاپاسکال بیشترین مقدار ۴۵ درصد را دارا است. می‌توان نتیجه گرفت در صورت افزایش محصورشدگی بتن هسته توسط شبکه‌های فولادی داخلی، بتن هسته می‌تواند در طول بارگذاری لرزه‌ای همراهی بیشتری را در ترکیب با جدار فولادی خارجی در تحمل بارهای جانبی لرزه‌ای داشته باشد و به همین دلیل در مقاومت‌های فشاری پایین‌تر بتن هسته به دلیل ضعیف بودن بتن هسته این تاثیر

محصورشدگی مشهودتر است. افزایش حداکثر ظرفیت بار جانبی ستونهای با شبکه‌های فولادی داخلی با چشمه‌های کوچکتر و قطر مفتول بزرگتر به دلیل افزایش محصورشدگی بتن هسته نسبت به سایر ستونها بیشتر می‌باشد.

۱۰- نتیجه گیری

در مقطع جدید پیشنهاد شده برای ستونهای جدار فولادی پر شده با بتن با بهره‌گیری از شبکه فولادی داخلی، محصور شدگی بتن هسته افزایش یافته که به تبع آن افزایش ظرفیت باربری و مدت زمان خرابی پیش رونده این نوع از ستونها در مقابل بارهای ناگهانی وارده همانند ضربه و یا حریق را خواهیم داشت. نسبت سطح مقطع فولاد استفاده شده در شبکه‌های فولادی داخلی به سطح مقطع فولاد جدار خارجی در ستونهای با مقطع جدید از ۲ درصد تا ۱۰ درصد می‌باشد که این نسبت بسیار اندک، منجر به افزایش حداکثر ظرفیت باربری جانبی ستونها از ۱۹ تا ۴۵ درصد شده است.

سیاسگزاری

نویسندگان این مقاله از زحمات کلیه مسئولین آزمایشگاه سازه دانشگاه صنعتی سهند در راستای کمک به انجام آزمایشات مربوطه کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

- [1] Abedi, K., Ferdousi, A. and Afshin, H. (2008). A novel steel section for concrete-filled tubular columns. *Thin-Walled Structures*, 46, 310-319.
- [2] Hsiao, P., Hayashi, K., Nishi, P., Lin, X. and Nakashima, M. (2015). Investigation of Concrete-Filled Double-Skin Steel Tubular Columns with Ultrahigh-Strength Steel. *Journal of Structural Engineering*, 141, 1-8.
- [3] Wang, R., Han, L., Zhao, X. and Rasmussen, K. (2016). Analytical behavior of concrete filled double steel tubular (CFDST) members under lateral impact. *Thin-Walled Structures*, 101, 129-140.
- [4] Aghdamy, S., Thambiratnam, D., Dhanasekar, M. and Saiedi, S. (2017). Effects of load-related parameters on the response of concrete-filled double-skin steel tube columns subjected to lateral impact. *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 642-662.
- [5] Zhou, F. and Xu, W. (2016). Cyclic loading tests on concrete-filled double-skin (SHS outer and CHS inner) stainless steel tubular beam-columns. *Engineering Structures*, 127, 304-318.
- [6] Hassaneina, F., Elchalakanib, M., Karrechb, A., Patelc, V. and Daher, E. (2018). Finite element modelling of concrete-filled double-skin short compression members with CHS outer and SHS inner tubes. *Marine Structures*, 61, 85-99.
- [7] Vernardos, S. and Gantes, Ch. (2019). Experimental behavior of concrete-filled double-skin steel tubular (CFDST) stub members under axial compression: A comparative review. *Structures*, 22, 383-404.
- [8] Zheng, Y., He, Ch. and Zheng, L. (2018). Experimental and numerical investigation of circular double-tube concrete-filled stainless steel tubular columns under cyclic loading. *Thin-Walled Structures*, 132, 151-166.
- [9] Chen, J., Chan, T.M., Kai Leung Su, R. and Miguel Castro, J. (2019). Experimental assessment of the cyclic behaviour of concrete-filled steel tubular beam-columns with octagonal sections. *Engineering Structures*, 180, 544-560.
- [10] Wang, B., Liang, J. and Lu, Zh. (2019). Experimental investigation on seismic behavior of square CFT columns with different shear stud layout. *Journal of Constructional Steel Research*, 153, 130-138.
- [11] Zhang, J., Li, X., Cao, W. and Yu, Ch. (2019). Cyclic behavior of steel tube-reinforced high-strength concrete composite columns with high-strength steel bars. *Engineering Structures*, 189, 565-579.
- [12] Wang, Z., Zhang, J., Li, W. and Wu, H. (2020). Seismic performance of stiffened concrete-filled double skin steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 169, 1-19.
- [13] ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 12.0, ANSYS, Inc.
- [14] ATC-24, Guideline for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures.