



[www.cpjournals.com](http://www.cpjournals.com)

نشریه عمران و پروژه  
Civil & Project Journal (CPJ)

## Reinforcement Of Short Hinged Column With Reinforced Concrete By Steel Belt Under Reciprocating Loading By Finite Element Method

Reza Shirvani Shiri<sup>۱\*</sup>, Amirhossein Bazaee<sup>۲</sup>, Morteza Jamshidi<sup>۳</sup>, Meysam Memar<sup>۴</sup>

<sup>۱.\*</sup> M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Zand Institute of Higher Education, fars, Iran  
Email: Reza.Shirvani<sup>۱</sup>@Yahoo.Com

<sup>۲.</sup> Instructor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Firoozabad Branch (Meymand Center), Fars, Iran  
Email: Amirhosseinbazaee@Gmail.Com

<sup>۳.</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Chalous Branch, Mazandaran, Iran  
Email: Jamshidi.Iaus@Gmail.Com

<sup>۴.</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Zand Institute of Higher Education, Fars, Iran  
Email: Maysam.Memar@Gmail.Com

### ABSTRACT

Shorter columns absorb more seismic force than conventional columns due to their higher stiffness. For this reason, short columns are seriously damaged during an earthquake and sometimes cause damage to the entire structure. It has been shown that when short columns are displaced as much as long columns, they absorb more energy. As a result, this phenomenon causes shear and joint failure in the short column. In this research, using the experimental results of a short column that has been affected by lateral reciprocating loads, an attempt was made to select the most optimal form with the help of steel sheets covered in different shape patterns to be developed by scientific study. Provide design relationships for this retrofit method. For this purpose, to determine the effect of reinforcement on the short column, six different modes of installation of the proposed steel cover in Abacus software were used for finite element analysis. Also, the studied short column was subjected to reciprocating cyclic loading according to the ATC<sup>۲۴</sup> standard pattern. The results of this study showed that the reinforcement of the short column with integrated steel sheet is able to increase the seismic resistance of the column by ۹%, but the most optimal method of reinforcement in terms of strength and volume of steel used is the reinforcement method with mesh pattern installation.

**Keywords:** Reinforcement, Short Column, Steel Jacket, Hysteresis, Seismic Behavior

All rights reserved to Civil & Project Journal.



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه  
Civil & Project Journal (CPJ)

## مقاوم سازی ستون کوتاه کلاhek دار بتن مسلح به وسیله ی تسمه فولادی تحت بارگذاری رفت و برگشتی به روش اجزاء محدود

رضا شیروانی شیرینی<sup>۱\*</sup>، امیرحسین بازایی<sup>۲</sup>، مرتضی جمشیدی<sup>۳</sup>، میثم معمار<sup>۴</sup>

<sup>۱\*</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی زند شیراز، فارس، ایران  
پست الکترونیکی: Reza.shirvani19@Yahoo.com

<sup>۲</sup> - مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد (مرکز میمند)، فارس، ایران  
پست الکترونیکی: Amirhosseinbazaee@Gmail.Com

<sup>۳</sup> - استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، مازندران، ایران  
پست الکترونیکی: Jamshidi.laus@Gmail.Com

<sup>۴</sup> - استادیار، گروه مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی زند شیراز، فارس، ایران  
پست الکترونیکی: Maysam.Memar@Gmail.Com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

### چکیده

ستون های کوتاه در مقایسه با ستون های معمولی به دلیل سختی بیشتر، نیروی زلزله بیشتری را جذب می کنند. به همین دلیل ستون های کوتاه در هنگام وقوع زلزله آسیب جدی می بیند و بعضاً باعث تخریب کل سازه می شوند. ثابت شده است که وقتی ستون های کوتاه به اندازه ستون های بلند در معرض جابجایی قرار می گیرند، میزان انرژی بیشتری را به خود جذب می نمایند. در نتیجه این پدیده باعث شکست برشی و مفصلی در ستون کوتاه می گردد. در این تحقیق با بهره گیری از نتایج آزمایشگاهی یک ستون کوتاه که تحت اثر بارهای رفت و برگشتی جانبی قرار گرفته، تلاش گردید تا به کمک ورق های فولادی با پوشش در الگوهای شکلی مختلف، بهینه ترین حالت آن انتخاب گردد تا با بررسی علمی نیز توسعه روابط طراحی این روش مقاوم سازی فراهم شود. بدین منظور برای تعیین اثر مقاوم سازی بر روی ستون کوتاه نیز از شش حالت مختلف نصب کاور فولادی پیشنهادی در نرم افزار آباکوس برای تحلیل اجزا محدود استفاده شد. همچنین ستون کوتاه مورد مطالعه، تحت بارگذاری چرخه ای رفت و برگشتی مطابق با الگوی استاندارد ATC 24 قرار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تقویت ستون کوتاه با ورق فولادی یکپارچه قادر است تا ۴۹٪ مقاومت لرزه ای ستون را افزایش دهد اما بهینه ترین روش مقاوم سازی از نظر مقاومت و حجم فولاد مصرفی، روش تقویتی با الگوی نصب تسمه بند مشبک می باشد.

## کلمات کلیدی: مقاوم سازی، ستون کوتاه، ژاکت فولادی، هیستریزیس، رفتار لرزه ای

### ۱- مقدمه

در برخی مواقع ممکن است ستون ها در یک تراز یا طبقه مشخص به جهت قرار گیری ساختمان روی سطح شیب دار یا محدود شدن ستون و دیوار با عناصر غیر سازه ای مانند دیوار و بازشوها، همچنین بدلیل اختلاف تراز طبقه در ساختمان های دوبلکسی، پایه پل ها و سایر موارد، طول ستون نسبت به بعد آن کوتاه شود که اصطلاحاً به آن پدیده ستون کوتاه گفته می شود. از طرفی یکی از مهم ترین المان های سازه ای، ستون های کوتاه می باشند که نقش ویژه ای در ظرفیت باربری و انتقال کلیه بارهای ثقلی و جانبی سازه را به عهده دارند. لذا تخریب یا شکست زودرس این عضو در سازه، ناشی از بارهای وارده به دلیل احتمال انهدام کل سازه مورد قبول نمی باشد. آنچه که از تجربیات و پژوهش های گذشته بدست آمده، ثابت نموده که در جریان بارگذاری رفت و برگشت زلزله، ستون های کوتاه و بلند (در تراز یک طبقه با سطح مقطع یکسان) به یک اندازه جابجایی افقی خواهند داشت، در نتیجه وقتی ستون های کوتاه به اندازه ستون های بلند در معرض جابجایی قرار می گیرند، میزان انرژی بیشتری را به خود جذب می نمایند که این پدیده باعث شکست برشی و مفصلی در ستون کوتاه می گردد. (۱، حبیب-نژاد، ۱۳۹۵) همچنین ماهیت شکست برشی در ستون های کوتاه به گونه ای است که آن را به بدترین نوع شکست و خرابی در سازه تبدیل می نماید، بطوریکه در صورت ایجاد ستون کوتاه اگر نیروی اضافی برشی بر سازه وارد شود، (به ویژه در ساختمان های بلند) نیز باعث سقوط کل سازه خواهد شد. (م.دهقانی، ۱۳۹۴) از نظر فنی و مهندسی نیز در طراحی زمانی که نسبت طول مؤثر ستون به کوچک ترین بعد جانبی آن کمتر از ۱۲ باشد ستون کوتاه ایجاد می شود. پدیده ستون کوتاه در طول زلزله های گذشته خسارات زیادی را به ساختمان ها وارد نموده است. اولین اقدام در مقابله با ستون کوتاه، جلوگیری از بوجود آمدن آن می باشد. اما در ساختمان هایی که اقدامات لازم جهت عدم بروز بوجود آمدن ستون کوتاه در طرح و اجرا مورد توجه قرار نگرفته باشد، باید تدابیر مقاوم سازی اندیشید. گاهی مواقع عدم استفاده از بروز اختلاف ارتفاع در سازه نیز باعث تحمیل هزینه های گزاف مربوط به افزایش ارتفاع فنداسیون و سایر هزینه های جانبی می گردد که در مقایسه با بروز پدیده ستون کوتاه نیز توجیه اقتصادی ندارد. حتی در سازه هایی که در چندین سال قبل ساخته شده است امروزه نیاز است که برای ستون های کوتاه بوجود آمده که مورد فرسودگی و استهلاک ناشی از بارهای جانبی مانند زلزله در طول چند سال از سپری شدن عمر سازه، تدابیر لازم اندیشیده شود. لذا در این شرایط گزینه مقاوم سازی ستون های کوتاه پیش رو خواهد بود. پژوهشگران همواره به دنبال راهکارهایی برای افزایش مقاومت و دوام المان های سازه ای در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله بوده اند. لکن بسیاری از موارد مانند عدم بروزرسانی دانش نسبت به زمان، تغییرات آیین نامه ها، عدم اجرای صحیح و اشکالات طراحی باعث بروز و رشد روش هایی شده است که ناچار به مقاوم سازی المان های مختلف سازه ای با استفاده از مصالح و روش های مختلف می گردد. (م.غنام، ۲۰۱۴) با توجه به این بیانات، در این تحقیق استفاده از ورق های فولادی متصل به سطوح بتنی که منجر به تقویت برشی و خمشی عضو می گردد، مدنظر قرار گرفته است.



تصویر ۱ علل بروز ستون کوتاه در برخی از ساختمان [۵]

## ۲- ژاکت فولادی

برای تقویت ستون کوتاه در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله، تاکنون روش های مقاوم سازی مختلفی پیشنهاد شده یا بکار رفته است که از آن جمله می توان به مقاوم سازی با ژاکت بتنی، مقاوم سازی با ژاکت فولادی، مقاوم سازی با میلگرد Gfrp به روش Nsm، مقاوم سازی با ورق Frp، مقاوم سازی با انواع سخت کننده ها و سایر روش ها اشاره نمود. مهندسين و محققين همیشه در پی یافتن سیستم سازه ای ایده آل برای مقاومت در برابر بارهای جانبی زلزله می باشند، بطوریکه در کنار مقاومت و سختی بالا، شکل پذیری بیشتری نیز داشته باشند تا اثر تخریبی نیروهای وارده را با جذب انرژی تعدیل کرده و به حداقل برسانند. لذا مقاوم سازی با ژاکت فولادی که دارای مزیت های نسبی در هر سه زمینه فوق می باشد برای مقابله با نیروهای جانبی زلزله در ساختمان ها، به ویژه در بناهای قدیمی و مستهلک که بیش از سه دهه از عمر آن می گذرد و یا سازه هایی که ایرادات اجرایی یا طراحی در آن ها سهواً منظور گشته نیز مطرح و مورد توجه قرار گرفته است. ژاکت های فولادی، با افزایش مقاومت و شکل پذیری سازه ها، سبب می شوند تا مقاطع تیر و ستون در نقاط آسیب دیده خود به واسطه ورق های فولادی تقویت شوند. (احیب-نژاد، ۱۳۹۵) همچنین در ستون هایی که از آرماتورهای طولی و عرضی مناسبی استفاده نشده است و در اثر فشار بارها یا ترک خوردگی، بتن مقاومت خود را از دست داده می توان برای جلوگیری از کماتوره های طولی ستون یا تیرها از ژاکت فلزی استفاده نمود. بنابراین استفاده از این روش یکی از بهترین و در عین حال کم دردسر ترین روش ها برای بالا بردن استحکام و ایستایی ساختمان است.

در مقاوم سازی با ژاکت فولادی علی رغم افزایش مقاومت سازه و بالا بردن ظرفیت خمشی و برشی آن نیز دارای معایبی نظیر، افزایش وزن سازه متاثر از وزن فولاد، دسترسی سخت به برخی از مقاطع سازه و مشکل اتصال بین فولاد و بتن بدلیل احتمال خوردگی فولاد می باشد. عموماً وزن و ابعاد بالای فولاد در این روش از مقاوم سازی سبب بروز مشکل و پیچیدگی در ساخت و حمل این اجزا می شود. ژاکت فولادی با توجه به کاربری آن برای هر نوع سازه، ممکن است طراحی متفاوتی داشته باشد. بنابراین نیاز به محاسبات دقیق و مهندسی شده در این زمینه وجود دارد. نحوه اتصال این قطعات نیز ممکن است در هر سازه با دیگر سازه ها متفاوت باشد. این روش همچنین هنگامی که نیاز به ایجاد سازه جدید و اتصال آن به المان قدیمی باشد نیز استفاده می شود. به عنوان نمونه زمانی که ارتفاع ستون در برخی از نواحی ساختمان بیشتر باشد و بخواهند المان یا سازه دیگر را به میانه آن اتصال دهند، از این روش استفاده می کنند. (م.دهقانی، ۱۳۹۴)



تصویر ۲ انواع روش های مقاوم سازی ستون بتنی با ورق فولادی [۴]



### ۳- پیشینه تحقیق

ل. مینگ<sup>۱</sup> و همکاران (مقاله مرجع) در سال ۲۰۱۹ میلادی به بررسی و مقاوم سازی ستون کوتاه کلاهدار بتن مسلح بوسیله ورق های FRP پرداخت. این تحقیق تاثیر لایه های کامپوزیت و نسبت تعداد آن ها را بر روی ستون کوتاه و همچنین کم نمودن تراکم خاموت ها را بر روی رفتار لرزه ای ستون های بتنی مسلح شده با الیاف کامپوزیت را به روش آزمایشگاهی و تحلیل عددی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش با نمونه آزمایشگاهی این مدل صحت سنجی شده است. همچنین در محاسبات عددی به بررسی و تحلیل مقاوم سازی این ستون با نصب ورق های FRP در یک، دو، سه و چهار لایه پرداخته شد. مدلسازی این تحقیق نشان داد که با افزایش ورق های کامپوزیت از ۱ تا ۳ لایه، به ترتیب با افزایش میزان تحمل ظرفیت بار بیشینه (بار پیک)، نسبت شکل پذیری و جابجایی، و ظرفیت اتلاف انرژی ستون ها افزایش پیدا می کند، اگرچه این پارامترها با افزایش بیشتر لایه ها به ۴ دورپیچ، اثر محدودی دارد و میزان اندکی ظرفیت را افزایش می دهد. بعلاوه، افزایش لایه ها به ۴ ورق، تاثیر ناچیزی بر ظرفیت جذب انرژی بار رفت و برگشتی شبه زلزله دارند. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش تراکم خاموت، بار تسلیم، بار بیشینه و بار نهایی ستون تغییر محسوسی نخواهد داشت، اما ضریب شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی ستون را افزایش می دهد. علاوه بر این، برای یک ستون کوتاه تقویت شده، با سه لایه الیاف کامپوزیت، نسبت به ستون کوتاه با تراکم خاموت کم (با فواصل ۵۰ سانتی متر) در مقایسه با ستون کوتاه با دو لایه ورق کامپوزیتی و با تراکم خاموت بالا (با فواصل ۱۵۰ سانتی متری) با عملکردی بهتر و مقاوم تر در برابر نیروهای رفت و برگشتی شبه زلزله است. از این حیث، بنظر می رسد که الیاف FRP نقش بسزایی در تقویت ستونی که ساختار خاموت آن ضعیف است دارد. نتایج این آزمایش نشان داد که این ستون در اثر بار رفت و برگشتی دچار شکست مفصلی می گردد. در نتایج این تحقیق آورده شده که ستون کوتاه بتنی با نصب ۴ لایه ورق دارای بیشترین ظرفیت و با اختلاف اندکی، ستون با ۳ لایه ورق FRP دارای بهینه ترین حالت در شرایط یکسان بارگذاری می باشد. (ل. مینگ، ۲۰۱۹)

م. غنام<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ به اثر مقاوم سازی و رفتار ستون های بتن مسلح با استفاده از تکنیک ژاکت فولادی پرداختند. در این تحقیق سه متغیر در نظر گرفته شده است که شامل نحوه ی اتصال ورق تقویت کننده (با استفاده از زوایا، سطح مقطع و ضخامت مختلف) اندازه و تعداد صفحات فولادی می باشد. آن ها تعداد هفت نمونه ستون که شامل پنج نمونه تقویت شده با اشکال پیشنهادی و تجربی و دو نمونه تقویت نشده مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند و میزان ظرفیت باربری هر کدام مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین برای بررسی میزان شکل پذیری و تعیین ضریب رفتار این ستون ها از مدل اجزای محدود در نرم افزار انسیس استفاده شده است. نتایج این تحقیق ثابت نمود که طرح های تقویت شده تاثیر بسزایی بر میزان ظرفیت باربری ستون دارند. همچنین از دیگر نتایج مهم کسب شده در این تحقیق نیز تاثیر زاویه قرارگیری پلیت ها و پس از آن اندازه پلیت و ضخامت ورق در افزایش میزان ظرفیت باربری ستون و به تعویق انداختن لحظه گسیختگی ستون می باشد. یافته های این تحقیق نشان داد که استفاده از طرح تقویتی تسمه مشبک با متد نصب یک در میان در ستون بتنی می تواند تا ۳۵٪ میزان ظرفیت باربری و نیز تا ۲۳٪ میزان شکل پذیری ستون را افزایش دهد. (م. غنام، ۲۰۱۴)

ژ. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی رفتار ستون های تقویت شده بوسیله پلیت های فولادی یکپارچه با مقاطع مستطیلی و دایره ای پرداختند. در این تحقیق ابتدا یک نمونه واقعی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت و در آن آثار خصوصیات هندسه مقطع مانند نسبت بعد ستون، شعاع گردشدگی گوشه ها و جزئیات فولادگذاری مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استناد به نتایج آن، به بررسی اثر طرح تقویتی عددی به روش اجزا محدود برای ستون های بتنی با تغییر تراکم خاموت ها و محصور شدگی متفاوت ورق فولادی پرداخته شد که این نمونه ها شامل ستون های با مقاطع دایره ای و مستطیلی می شود. نتایج نمونه آزمایشگاهی با مدل عددی صحت سنجی شد و پس از حصول اطمینان از درستی عملکرد آن ها، رفتار ستون های بتنی تحت چند سناریو مختلف مورد ارزیابی پارامتری قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که محصور شدگی ستون با ورق فولادی در افزایش مقاومت و شکل پذیری ستون، تا حدود زیادی به هندسه مقطع و تراکم خاموت ها بستگی دارد. همچنین در ادامه بیان شد که محصور شدگی با ورق فولادی می تواند تا ۳۵٪ ظرفیت خمشی ستون را افزایش دهد اما وزن مرده سازه را بسیار افزایش می برد. (ژ. ژانگ، ۲۰۲۰)

<sup>۱</sup> Liu.ming

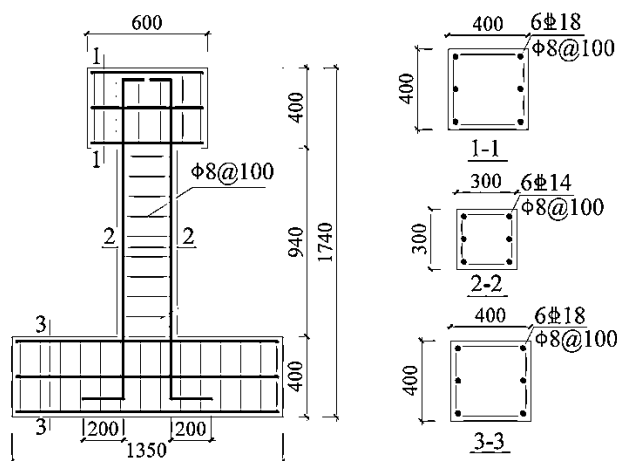
<sup>۲</sup> Mohamad.ghaanam

## ۳- مدلسازی

تحقیق حال حاضر بر اساس یک مطالعه آزمایشگاهی و عددی صورت گرفته با نرم افزار آباکوس می باشد که در دانشگاه (ژاو - چین) در سال ۲۰۱۹ میلادی توسط ل. مینگ<sup>۴</sup> و همکاران صورت گرفته است. مدل تحت مطالعه به بررسی یک ستون کوتاه می پردازد که در قسمت فوقانی دارای سر ستون (کتیبه) و در قسمت تحتانی به فنداسیون متصل می باشد. نحوه بارگذاری در مدل آزمایشگاهی بوسیله جک هیدرولیکی است که بصورت نیروی جانبی رفت و برگشتی افزایشنده به سرستون اعمال می شود. در این تحقیق برای اندازه گیری میزان تنش و کرنش در بازوی جک هیدرولیک و سر ستون از کرنش سنج تک محوری بهره گیری شده است. مدل عددی مورد مطالعه مطابق با نمونه آزمایشگاهی و عددی مقاله مرجع<sup>۵</sup> ساخته شده که متشکل از یک ستون کوتاه به ارتفاع ۹۴۰ میلیمتر و مقطع ۳۰۰\*۳۰۰ میلیمتر می باشد. این ستون کوتاه بوسیله ۶ میلگرد طولی با قطر ۱۴ میلیمتر که در دو جهت قرار گرفته اند مسلح شده است. میلگردهای طولی بوسیله خاموت با قطر ۸ میلیمتر و در فواصل ۱۰۰ میلیمتری نسبت به یکدیگر کار گذاشته شده است. (ل. مینگ، ۲۰۱۹) سایر ویژگی های مرتبط با ابعاد و اندازه مطابق با تصویر شماره ۳ می باشد. همچنین بتن مورد استفاده جهت ساخت ستون کوتاه در این تحقیق نیز دارای وزن مخصوص ۲۵۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و میزان مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن ۴۰ مگاپاسکال بدست آمده است.



تصویر ۴ ستون کوتاه تحت بارگذاری جانبی در مطالعه آزمایشگاهی [۱]



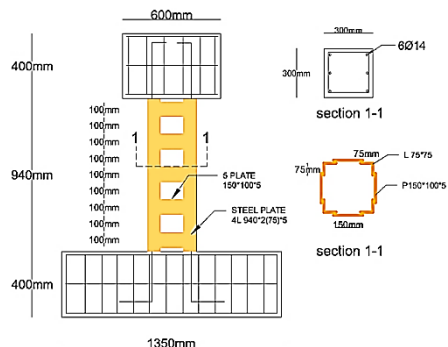
تصویر ۳ جزئیات ابعاد و اندازه گذاری ستون کوتاه مورد مطالعه در مقاله مرجع [۱]

مدل های عددی مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از ۷ نمونه ستون کوتاه (۶ طرح تقویتی + ۱ طرح صحت سنجی) با ابعاد، اندازه و مشترکات یکسان با نمونه آزمایشگاهی که هر کدام با ورق های فولادی در روش های نصب مختلف تقویت شده اند. طرح کلی تقویتی و نامگذاری نمونه های عددی مورد مطالعه به شرح جدول شماره ۱ است.

<sup>۳</sup> Zhaw-china<sup>۴</sup> L.ming<sup>۵</sup> Liu Ming, Yin Shiping, and Chen Wenjie "Seismic Behaviour of TRC-Strengthened RC Columns under Different Constraint Conditions"

جدول ۱ نامگذاری نمونه های مورد مطالعه در این تحقیق

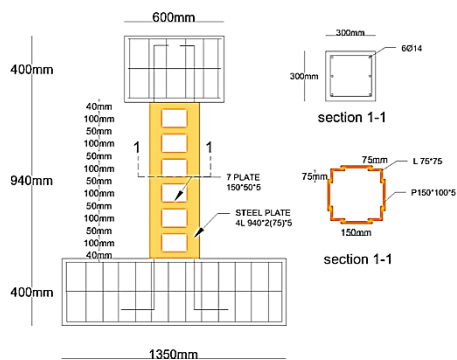
نام مدل	ابعاد پلیت تقویت mm	آرما تور بندی ستون کوتاه	ابعاد ستون کوتاه mm	توضیحات	شماتیک کاور
					فلزی
Model-0	-	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	مقاوم سازی نشده	-
Model-1	4 L 75*940*5 5 P 150*100*5	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	تقویت شده با فولاد تسمه بند مشبک	
Model-2	4 L 75*940*5 7 P 150*50*5	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	تقویت شده با فولاد تسمه بند مشبک	
Model-3	4 L 75*940*5 3 P 150*150*5	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	تقویت شده با فولاد تسمه بند مشبک	
Model-4	4 L 75*940*5 5 P 180*100*5 <30d	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	تقویت شده با فولاد تسمه بند زیگزاگی	
Model-5	4 L 75*940*5 2 P 300*300*5	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	تقویت شده با کاور فولادی در قسمت بالایی و پایینی	
Model-6	4 P 300*940*5	LR 6 $\phi$ 14 TR $\phi$ 8 @100	940*300*300	تقویت شده با فولاد یکپارچه	
میلگرد طولی	LR	قطر میلگرد	$\phi$	نشی	L
میلگرد عرضی	TR	فاصله میلگرد عرضی	@	پلیت	P



تصویر ۵ جزئیات ابعاد و اندازه ستون MODEL-1

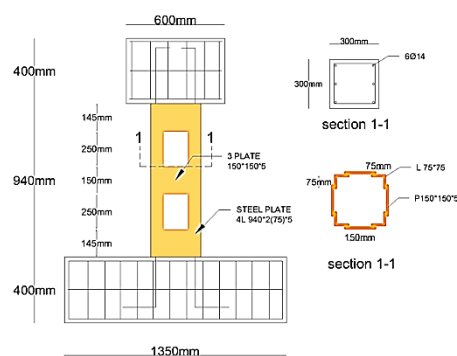
### ۳-۱- نمونه MODEL-1

مدل مذکور بوسیله یک ژاکت فولادی مشبک به روش تسمه بند، مقاوم سازی شده است. این ژاکت فولادی متشکل از ۴ عدد نشی به طول ۹۴۰ میلیمتر و عرض آن در هر سمت ۷۵ میلیمتر و ضخامت آن ۵ میلیمتر می باشد. همچنین پلیت های فولادی این ژاکت تقویتی نیز بطول ۱۵۰ میلیمتر، ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد. پلیت ها در اندازه های ۱۰۰ میلیمتر بصورت متناوب به نشی ها متصل شده است. تعداد پلیت های فولادی در هر سمت ۵ عدد و مجموعاً ۲۰ عدد می باشد.

**۲-۳- نمونه ۲- MODEL**

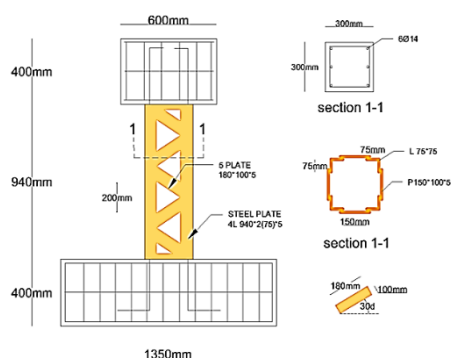
تصویر ۶ جزئیات ابعاد و اندازه ستون MODEL-۲

مدل مذکور بوسیله یک ژاکت فولادی مشبک به روش تسمه بند مقاوم سازی گردیده است. این ژاکت فولادی متشکل از ۴ عدد نبشی به طول ۹۴۰ میلیمتر و عرض آن در هر سمت ۷۵ میلیمتر و ضخامت آن ۵ میلیمتر می باشد. همچنین پلیت های فولادی این ژاکت تقویتی نیز بطول ۱۵۰ میلیمتر، ارتفاع ۵۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد. پلیت های در اندازه های ۱۰۰ میلیمتر بصورت متناوب به نبشی ها متصل شده است. تعداد پلیت های فولادی در هر سمت ۷ عدد و مجموعاً ۲۸ عدد می باشد.

**۳-۳- نمونه ۳- MODEL**

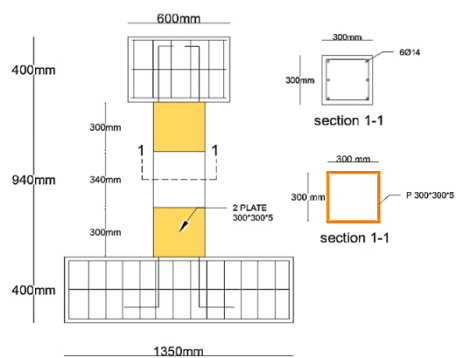
تصویر ۷ جزئیات ابعاد و اندازه MODEL-۳

مدل مذکور بوسیله یک ژاکت فولادی مشبک به روش تسمه بند مقاوم سازی گردیده است. این ژاکت فولادی متشکل از ۴ عدد نبشی به طول ۹۴۰ میلیمتر و عرض آن در هر سمت ۷۵ میلیمتر و ضخامت آن ۵ میلیمتر می باشد. همچنین پلیت های فولادی این ژاکت تقویتی نیز بطول ۱۵۰ میلیمتر، ارتفاع ۱۵۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد. پلیت های در اندازه های ۲۵۰ میلیمتر بصورت متناوب به نبشی ها متصل شده است. تعداد پلیت های فولادی در هر سمت ۳ عدد و مجموعاً ۱۲ عدد می باشد.

**۴-۳- نمونه ۴- MODEL**

تصویر ۸ جزئیات ابعاد و اندازه MODEL-۴

مدل مذکور بوسیله یک ژاکت فولادی مشبک به روش زیگزگی مقاوم سازی گردیده است. این ژاکت فولادی متشکل از ۴ عدد نبشی به طول ۹۴۰ میلیمتر و عرض آن در هر سمت ۷۵ میلیمتر و ضخامت آن ۵ میلیمتر می باشد. همچنین پلیت های فولادی این ژاکت تقویتی نیز بصورت مورب که نسبت به محور افق ۳۰ درجه است و بطول ۱۵۰ میلیمتر، ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد. پلیت های در اندازه های ۲۰۰ میلیمتر بصورت متناوب به نبشی ها متصل شده است. تعداد پلیت های فولادی در هر سمت ۵ عدد و مجموعاً ۲۰ عدد می باشد.

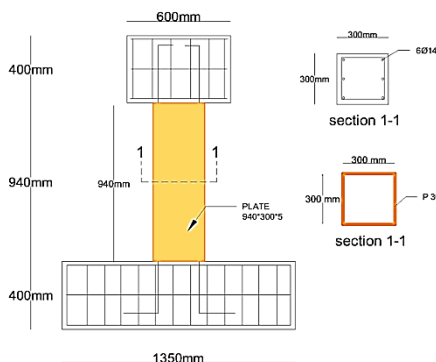
**۵-۳- نمونه ۵- MODEL**

تصویر ۹ جزئیات ابعاد و اندازه ستون MODEL-۵

مدل مذکور بوسیله دو ژاکت فولادی نیم پارچه به اندازه ی تقریباً ۱/۳ طول ستون کوتاه مقاوم سازی گردیده است. این ژاکت فولادی متشکل از ۴ عدد پلیت به طول ۳۰۰ میلیمتر و عرض ۳۰۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد که هر کدام بصورت یک مقطع مربع شکل در وجه پایینی و بالایی در فاصله ۳۴۰ میلیمتری نسبت به یکدیگر نیز ستون کوتاه را محصور می نمایند. تعداد پلیت های فولادی در هر سمت ۲ عدد و مجموعاً ۸ عدد می باشد.



## ۳-۶- نمونه ۶-MODEL



تصویر ۱۰ جزئیات ابعاد و اندازه ستون MODEL-۶

مدل مذکور بوسیله یک ژاکت فولادی یکپارچه به اندازه ی کل طول ستون کوتاه مقاوم سازی گردیده است. این ژاکت فولادی متشکل از ۴ عدد پلیت به طول ۹۴۰ میلیمتر و عرض ۳۰۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر می باشد کاملاً ستون را محصور نموده است. تعداد پلیت های فولادی در هر سمت ۱ عدد و مجموعاً ۴ عدد می باشد.

## ۴- رفتار مصالح

## ۴-۱- رفتار بتن

بهترین مدل رفتاری برای شبیه سازی بتن در نرم افزار آباکوس، مدلی است که ترکیبی از رفتار خطی و خرابی پلاستیسیته را نمایش دهد. بر همین مبنا محققان توصیه کردند که رفتار ایزوتروپیک خرابی الاستیک را با مفهوم رفتار ایزوتروپیک پلاستیک در فشار و کشش بتن می توان ترکیب نمود. کتابخانه مصالح در نرم افزار آباکوس نیز از چنین مدلی برای شبیه سازی رفتار بتن استفاده می نماید. در مدل Concrete Damaged Plasticity (CDP) این نرم افزار برای بتن، رفتار پلاستیک (در کشش و فشار) تعریف شده است که می توان با وارد کردن پارامترهای مناسب، میزان خرابی دل خواه برای کشش و فشار را جهت شبیه سازی با نمونه آزمایشگاهی وارد نمود. برای معرفی رفتار کامل بتن با مدل CDP باید علاوه بر پارامترهای الاستیک (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) نیز مقادیر عددی پنج پارامتر پلاستیک و پارامترهای اختصاصی معرف رفتار بتن در کشش و فشار به نرم افزار آباکوس داده شوند. (رادمنش، بازایی، ۱۴۰۰) در این پژوهش مقدار پارامتر ویسکوزیته ۰/۰۰۱، مقدار پارامتر مدول الاستیسیته برابر ۲۳/۵ گیگا پاسکال و مقدار ضریب پواسون برابر ۰/۲ در نظر گرفته شده است. در مدل آزمایشگاهی این پژوهش از بتن ۴۰ مگاپاسکال استفاده شده است که بر همین اساس پارامترها و خصوصیت این بتن را در نرم افزار بر اساس اعداد مشخصه و آزمایشگاهی ثبت شده است. (ل. مینگ، ۲۰۱۹) جدول ۲ مقادیر عددی جهت تعریف رفتار بتن را نشان می دهد.

جدول ۲ مقادیر عددی جهت تعیین رفتار بتن در نرم افزار آباکوس [۶]

وزن مخصوص	مقاومت فشاری بتن	زاویه اتساع	خروج از محوریت	$f_b^0/f_{bc}$	k	ویسکوزیته	مدول الاستیسیته	ضریب پواسون
۲۵۵۰ Kg/m <sup>3</sup>	۴۰ MPA	۳۰	۰/۱	۱/۱۶	۰/۵۵	۰/۰۰۱	۲۳/۵ Gpa	۰/۲

## ۴-۲- رفتار فولاد

میلگرد بکار رفته جهت تسلیح ستون کوتاه بتنی نیز از نوع A-۳ آجدار می باشد. برای معرفی آرماتورهای طولی و عرضی از المان های سیمی<sup>۶</sup> سه بعدی با تغییر شکل های غیر خطی استفاده می شود. در این نوع المان ها، تنها نیروی محوری انتقال یافته و هیچ گونه لنگری ایجاد نمی شود. آرماتورها به صورت یک جا با المان های بتن تعریف شده و نیز در بتن جاسازی می شوند. (رادمنش، بازایی، ۱۴۰۰) جدول ۳ مقادیر عددی جهت تعریف رفتار فولاد در نرم افزار آباکوس نشان می دهد. همچنین برای معرفی پلیت های فولادی تقویتی از فولاد St۳۷ با شکل پذیری متوسط استفاده گردیده است. مدول الاستیسیته فولادها عمدتاً بین ۱۰<sup>۶</sup> \* ۱/۹ تا ۲/۱

<sup>۶</sup> Wire

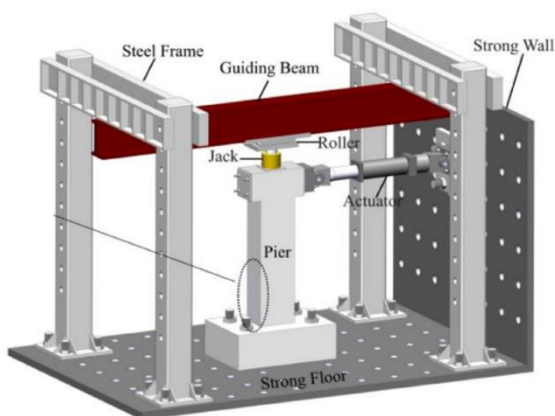
کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد. همچنین ضریب پواسون فولاد نیز بین ۰/۲۵ تا ۰/۳ می باشد. در این تحقیق به روش آزمون و خطا و تطبیق نتایج مدل عددی با نمونه آزمایشگاهی نیز مدول الاستیسیته فولاد  $۱۰^۶ * ۲$  پواسون آن ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳ مقادیر عددی جهت تعیین رفتار فولاد در نرم افزار آباکوس [۶]

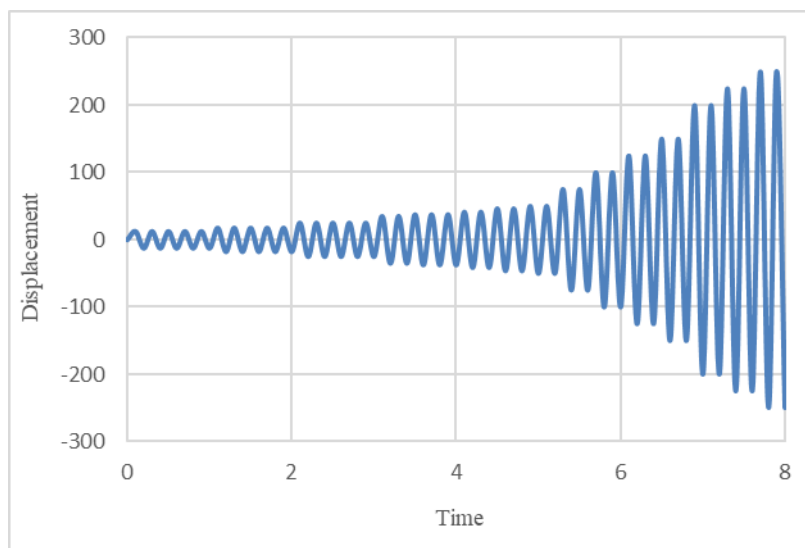
مشخصات فولاد	وزن مخصوص	مدول الاستیسیته	نسبت پواسون	Fy/Mpa	Fu/Mpa
Φ ۱۴				۴۶۳	۵۹۷
Φ ۸	۷۸۵۰	$۲ \times ۱۰^۶ \text{ kg/cm}^۲$	۰/۳	۳۲۵	۴۹۶
Plate St <sup>۳۷</sup>				۲۹۵	۳۹۸

## ۵- بارگذاری

نوع بارگذاری جانبی اعمال شده بر روی این ستون بصورت جابجایی- زمان می باشد. بار جانبی وارده به صورت رفت و برگشتی در پرورد زمانی منظم اعمال می گردد. این بار شبیه ساز نیروی وارده ناشی از زلزله است که تا لحظه گسیختگی ستون و ایجاد شکست مفصلی ادامه خواهد داشت. در این تحقیق الگوی بارگذاری چرخه ای مطابق با دستور العمل ATC۲۴ لحاظ شده است. (ل.مینگ، ۲۰۱۹) نیرو جانبی بوسیله جک هیدرولیکی که در انتهای قسمت فوقانی ستون قرار گرفته، طی دو سیکل تکرار شونده با ضریب افزون شده تحت اثر شتاب سازه در تناوب زمانی ۰/۱ ثانیه وارد می گردد. (میزان ثقل ۹/۸۱- مفروض است)



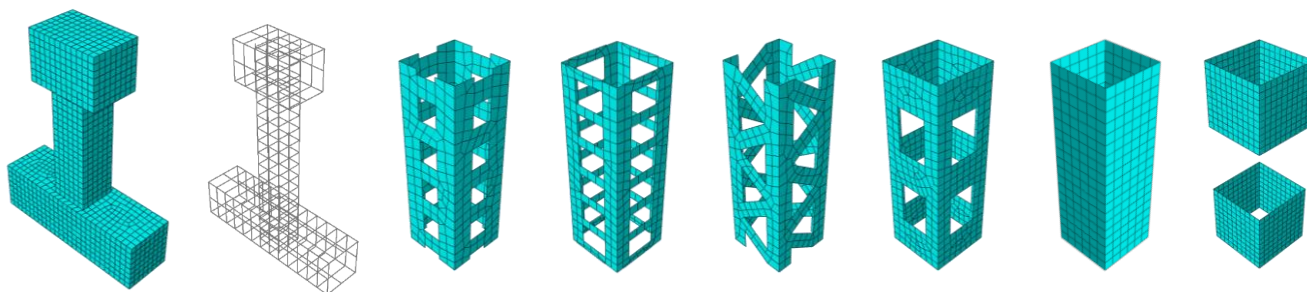
تصویر ۱۱ نحوه ایجاد بارگذاری بر روی ستون کوتاه مورد تحقیق



نمودار ۱ چرخه بارگذاری رفت و برگشتی اعمال شده به مدل مورد تحقیق [۱]

## ۶- مش بندی

روش حل در نرم افزار آباکوس بر پایه اصول اجزاء محدود و تقسیم مدل طراحی شده به المان های کوچکتر می باشد که هرکدام از این المان های کوچک شده، مش<sup>۷</sup> نامیده می شود. بدین منظور نرم افزار قادر است تا با معادلات تعبیه شده برای آن ها تحلیل را انجام و مسئله را حل نمایند. (رادمنش، بازایی، ۱۴۰۰) در این تحقیق جهت تحلیل عددی مدل های مورد نظر از روش تکرار نیوتن رافسون<sup>۸</sup> برای دستیابی به همگرایی استفاده شده است. برای مدل سازی بتن به دلیل رفتار سه بعدی آن از المان C3d8r (المان پیوسته، سه بعدی ۸ نقطه ای با انتگرال کاهش یافته) و برای مدل سازی میلگردهای طولی و عرضی از المان T3d2 استفاده گردید که المانی یک بعدی با قابلیت تحمل فشار یا کشش می باشد و در هر گره، سه درجه آزادی انتقالی در جهات Z, Y, X دارد. همچنین برای ژاکت فولادی نیز از S4r که المانی با ضخامت کم و کاهش یکپارچه سازی می باشد نیز استفاده گردیده است. در مدل سازی برای المان بتن و فولاد مش بندی از تکنیک Structure و برای ژاکت فولادی از تکنیک Quad Free و مدل مونتاژ شده از مش بندی Free استفاده گردیده است.



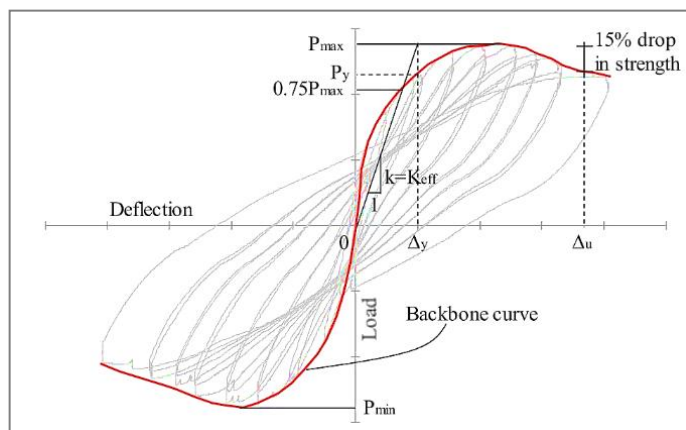
تصویر ۱۲ مش بندی آرماتور و بتن ستون کوتاه و کاورهای فولادی تقویتی در نرم افزار آباکوس

## ۷- نوع تحلیل

جهت استخراج منحنی هیستریزیس مدل های مورد مطالعه در این تحقیق نیز از تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده شده است. بدین ترتیب نیروی جانبی بصورت افزایشده و گام به گام زیاد می شود و باعث هُل دادن سازه می شود. این افزایش بارگذاری تا جایی ادامه می یابد که سازه دچار اولین مفصل پلاستیک شود. پس از تشکیل اولین مفصل پلاستیک، سازه همچنان مقاوم است و می توان بارگذاری را افزایش داد. این افزایش نیرو تا جایی ادامه پیدا می کند، تا سازه کاملاً تخریب شود. (رادمنش، بازایی، ۱۴۰۰) در این روش به طور مستقیم تغییر مکان کلی توسط یک شتاب نگاشت مشخص به سازه اعمال می شود. نتایج این تحلیل جهت ترسیم نمودار هیستریزیس برای تحلیل اثرات زلزله بر روی ستون ها مورد استفاده قرار گرفته است. در بارگذاری سیکلی در ابتدا مقاومت به دلیل رفتار سخت شوندهگی افزایش یافته اما در نهایت، سختی (شیب منحنی) و مقاومت در اثر رفتار نرم شوندهگی کاهش می یابد و به اصطلاح، منحنی های هیستریزیس نسبت به حالت اولیه اندکی باریک تر می شوند. (اسفندیاری، ۱۳۹۷) تفاوت منحنی های هیستریزیس در بارگذاری یکنواخت و سیکلی نیز ناشی از همین مورد یعنی زوال سختی و مقاومت می باشد. لازم به ذکر است که با متصل نمودن انتهای هر سیکل رفت و برگشتی در نمودار هیستریزیس نیز می توان منحنی پوش آور آن را رسم نمود. تصویر شماره ۱۳ بیانگر این مساله است.

<sup>۷</sup> Mesh

<sup>۸</sup> Newton Raphson



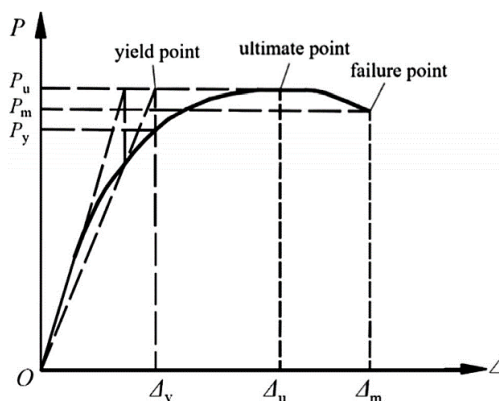
تصویر ۱۳ نحوه استخراج منحنی پوش آور از منحنی هیستریزس [۳]

### ۸- نسبت شکل پذیری

میزان شکل پذیری یک المان سازه‌ای نشان دهنده توانایی یک عضو در جذب نیرو و ایجاد تغییر شکل در اثر بارهای وارده در محدوده خطی و غیر خطی می باشد. قابلیت یک سازه در داشتن تغییر مکان بالاتر از رفتار خطی و جذب انرژی در تغییر شکل های بزرگ به وسیله رفتار غیر خطی را نسبت شکل پذیری می گویند. (اسفندیاری، ۱۳۹۷) نسبت شکل پذیری از رابطه شماره ۱ تعیین می گردد.

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} \tag{1}$$

$\Delta_m$ : تغییر شکل نهایی عضو (ناحیه گسیختگی)  
 $\Delta_y$ : تغییر شکل حد جاری شدن (ناحیه خطی)



تصویر ۱۴ نشانه گذاری نقاط ارتجاعی، ماکزیمم و گسیختگی در نمودار پوش آور [۴]

## ۹- شاخص اقتصادی

جهت دست یابی به اقتصادی ترین و نیز بهینه ترین طرح مقاوم سازی، هر طرح را با در نظر گرفتن مساحت، حجم و وزن فولاد مصرفی بر اساس مقاومت کسب شده مورد بررسی قرار می گیرد. شاخص اصلی که جهت اقتصادی نمودن طرح مقاوم سازی استفاده می شود، نیز از حاصل تقسیم میزان مقاومت و مساحت یا وزن المان تقویتی مصرفی بدست می آید. به کسر مذکور در این تحقیق، شاخص هزینه طرح یا شاخص اقتصادی گفته می شود. (رادمنش، بازایی، ۱۴۰۰)

$$\text{Cost Index} = A/B$$

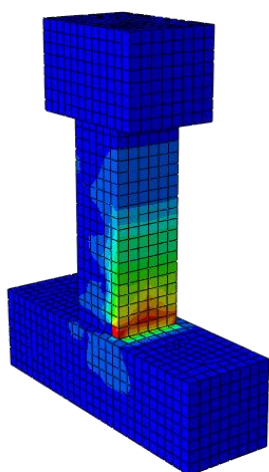
A: مقاومت طرح تقویت شده

B: میزان فولاد مصرفی

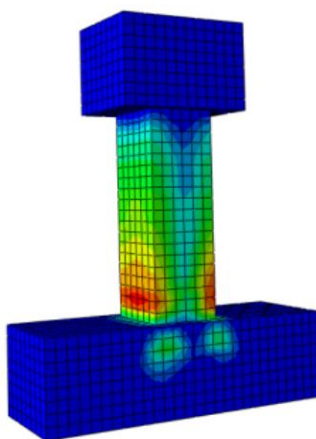
هر چه این شاخص عدد بالاتری را نشان دهد بدان معناست که در طرح مذکور، با صرف هزینه کمتر مقاومت بیشتری از طرح مورد نظر اخذ می گردد و این یعنی در بعد ساخت، طرح تقویتی مذکور اقتصادی و بهینه تر است.

## ۱۰- صحت سنجی

با توجه به نتایج بدست آمده از نتایج تحلیل محاسباتی و روش آزمایشگاهی نیز مشخص گردید که ستون کوتاه مورد مطالعه دچار شکست مفصلی در پای ستون و ترک های خمشی در سطوح میانی گردیده است. با عنایت به مدلسازی عددی در نرم افزار آباکوس مشخص است که انطباق خوبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی برقرار می باشد. میزان اختلاف اندکی که در نتایج بوجود آمده است ناشی از غیر قابل پیش بینی بودن دقیق رفتار بتن در محدوده ی پلاستیک می باشد.



(۳) نوع شکست مفصلی حاصل از تحلیل در این مطالعه



(۲) نوع شکست مفصلی در مدل عددی [۱] مرجع



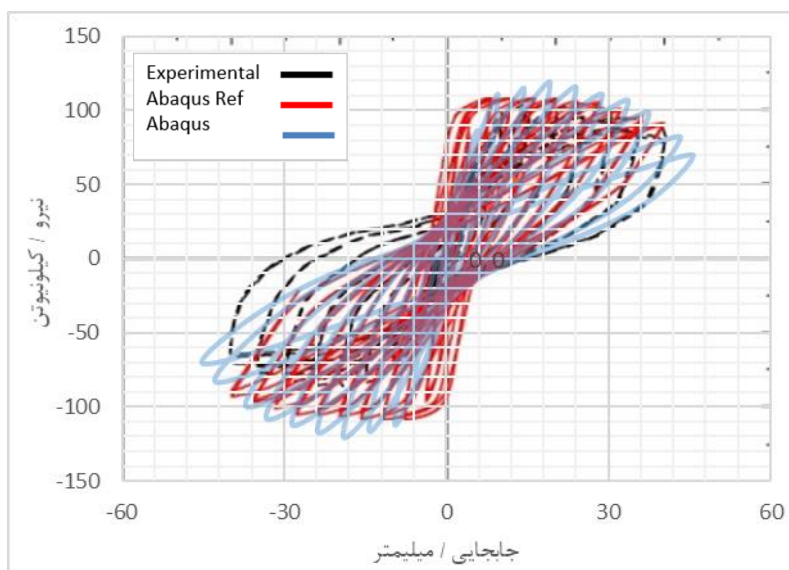
(۱) نوع شکست مفصلی در محیط آزمایشگاه [۱]

تصویر ۱۵ مقایسه نواحی ترک و آسیب مدل آزمایشگاهی، مدلسازی عددی مرجع و مدلسازی عددی بدست آمده در این تحقیق [۱]



جدول ۴ مقایسه پارامترهای عددی مستخرج از نمودار پوش آور و میزان اختلاف آن با داده های مقاله مرجع [۱]

نام مدل	نقطه عملکرد		نقطه ماکزیمم		نقطه خرابی		شکل پذیری $\mu_r$
	Yeild Point / Kn	$\Delta y$ / mm	Peak Point / Kn	$\Delta p$ / mm	Failure Point / Kn	$\Delta f$ / mm	
Reference	۸۵/۳	۷/۸۱	۱۰۶/۴	۲۰/۰۲	۹۰/۴۴	۳۷	۴/۴۲
	-۷۰/۴۹	-۸/۹۳	-۸۶/۶	-۱۹/۹۳	-۷۳/۶۱	-۳۶/۸	
Model-۰	۸۷/۲	۶/۶۴	۱۱۶/۱۷	۱۸/۸	۹۴/۳	۳۸	۵/۳۳
	-۹۳/۰۸	-۷/۴۸	-۱۱۸/۳۳	-۱۷/۳	-۸۷/۶	-۳۷/۴	
درصد اختلاف	۷/۵%	۲/۵%	۹/۲%	۰/۷%	۵/۰%	۲/۰%	-



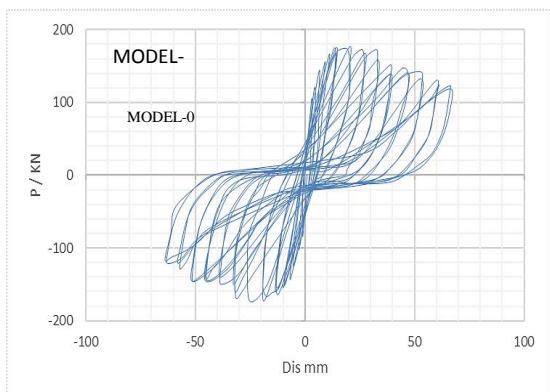
نمودار ۲ مقایسه و همپوشانی منحنی هیستریزس مدل سازی عددی با داده های آزمایشگاهی و عددی مقاله رفرنس [۱]

## ۱۱- یافته های تحقیق

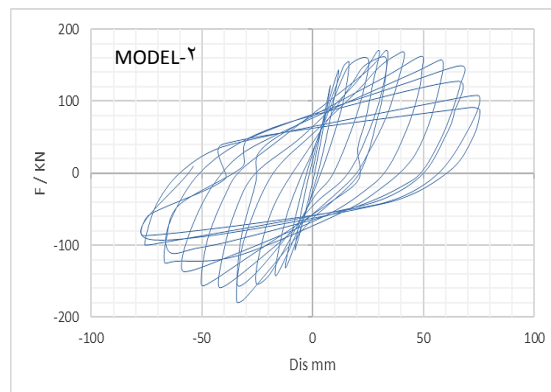
یکی از خصوصیات مصالح که پس از بدست آمدن نمودار تنش-کرنش می توان محاسبه نمود، میزان شکل پذیری آن ها می باشد. شکل پذیری به صورت نسبت کرنش متناظر با حد نهایی، به کرنش متناظر با حد تسلیم گفته می شود. (اسفندیاری، ۱۳۹۷) رفتار هیستریزس سازه ها متأثر از میزان ظرفیت باربری و تغییر سیکل های پیوسته در مدهای رفت و برگشتی سیستم می باشد به گونه ای که اگر حلقه های منحنی هیستریزس باریک باشند، نشان دهنده استعداد کم مقاومت در برابر زلزله بوده و سازه توان اندکی از خود برای جذب و اتلاف انرژی بروز می دهد و اگر حلقه های هیستریزس پهن باشد، به نشانه استعداد خوب مقاومت در برابر زلزله بوده و سازه ظرفیت زیادی جهت اتلاف انرژی دارد. (احیب-نژاد، ۱۳۹۵) در این تحقیق نیز برای بررسی رفتار ستون های تقویت شده در برابر بار جانبی نیز منحنی های هیستریزس نیرو - تغییر مکان مطابق با جدول شماره ۵ آورده شده است.

جدول ۵ مقایسه پارامترهای عددی و نسبت شکل پذیری مستخرج از نمودار پوش آور در مدل های مورد تحقیق

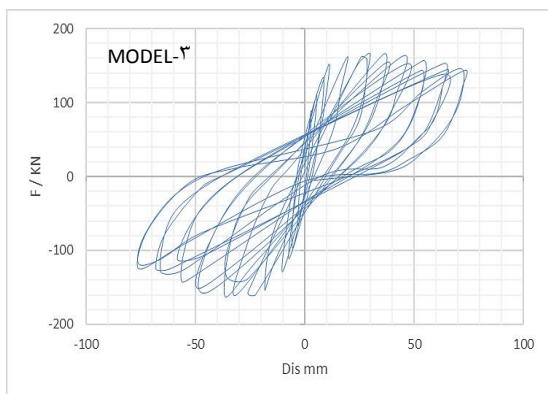
ردیف	شکل پذیری $\mu$	نقطه عملکرد		نقطه ماکزیمم		نقطه خرابی	
		Yield Point / kn	$\Delta y / mm$	Peak Point / kn	$\Delta m / mm$	Failure Point / kn	$\Delta f / mm$
Model-۰	۵/۳۳	۸۷/۲	۶/۶۴	۱۱۶/۱۷	۱۸/۸	۹۴/۳	۳۸
		-۹۳/۰۸	-۷/۴۸	-۱۱۸/۳۳	-۱۷/۳	-۸۷/۶	-۳۷/۴
Model-۱	۷/۳۳	۱۵۸/۲	۸/۲	۱۶۹/۳	۳۱/۹	۱۲۴/۲	۶۰/۲
		-۱۵۴/۳	-۷/۹	-۱۷۰/۳	-۳۲/۲	-۱۲۹/۸	-۵۷/۹
Model-۲	۸/۹۲	۱۴۲/۳	۸/۶	۱۷۰/۲	۳۱/۱	۱۲۵/۴	۷۷/۶
		-۱۳۷/۷	-۸/۴	-۱۷۴/۶	-۳۳/۴	-۱۲۱/۶	-۷۴/۲
Model-۳	۸/۱۷	۱۴۸/۶	۸/۱	۱۶۷/۶	۲۹/۲	۱۲۳/۵	۶۹/۹
		-۱۵۱/۲	-۸/۶	-۱۶۵/۱	-۳۲/۷	۱۲۱/۸	-۶۶/۷
Model-۴	۷/۸۷	۱۴۳/۶	۹/۲۲	۱۶۸/۸	۳۳/۲	۱۲۱/۴	۶۹/۸
		-۱۵۶/۲	-۸/۰۴	-۱۶۶/۵	-۳۱/۸	-۱۱۸/۴	-۶۶/۲
Model-۵	۵/۷۸	۱۱۳/۳	۹/۱	۱۴۰/۳	۲۴/۳	۹۹/۸	۵۱/۳
		-۱۲۰/۴	-۸/۳۸	-۱۴۳/۲	-۲۲/۱	-۱۰۷/۱	-۴۹/۸
Model-۶	۹/۶۴	۱۳۶/۵	۹/۲	۱۷۶/۸	۳۷/۱	۱۳۶/۶	۸۸/۳
		-۱۳۳/۲	-۹/۵	-۱۷۴/۶	-۳۵/۳	-۱۳۲/۱	-۹۲/۱



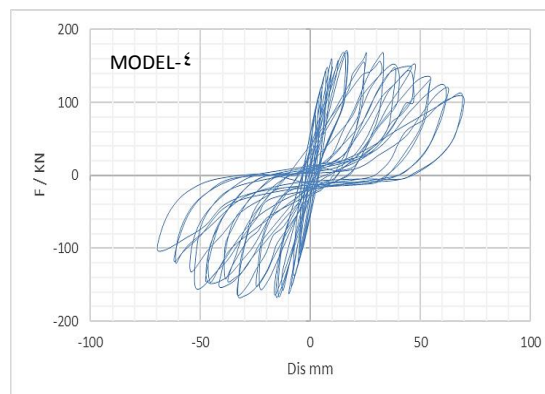
نمودار ۴ منحنی هیستریزس نمونه MODEL-۱



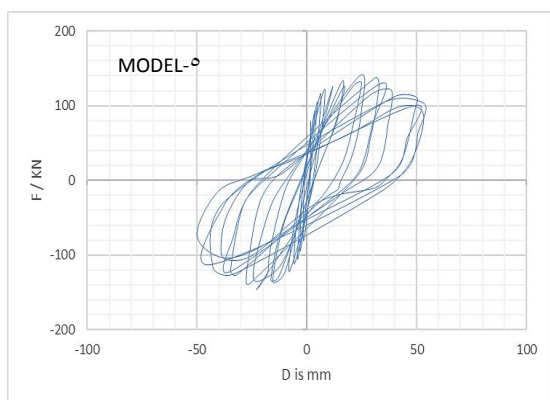
نمودار ۳ منحنی هیستریزس نمونه MODEL-۲



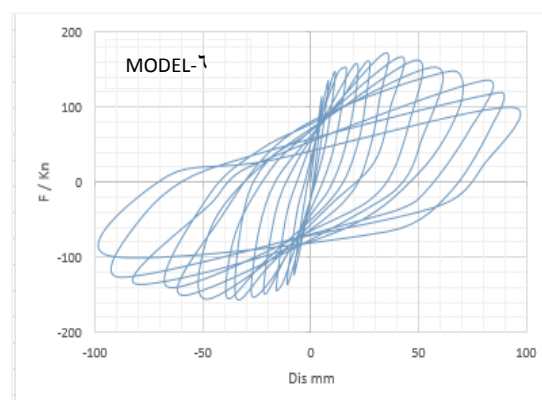
نمودار ۶ منحنی هیستریزیس نمونه MODEL-۳



نمودار ۵ منحنی هیستریزیس نمونه MODEL-۴

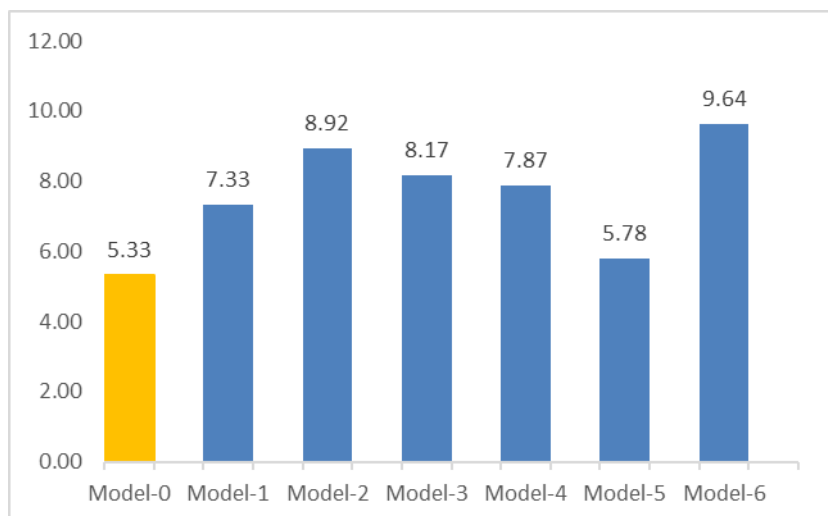


نمودار ۷ منحنی هیستریزیس نمونه MODEL-۵



نمودار ۸ منحنی هیستریزیس نمونه MODEL-۶

نتایج بدست آمده از نمودارهای هیستریزیس، نشان داد که در نمونه های ۱-۲-۳-۴-۶- MODEL نسبت شکل پذیری ( $\mu$ ) جانبی (محدوده ی پلاسیسیته) در سیکل های متوالی افزایش می یابد و این نشان دهنده آن است که ستون های تقویت شده دارای چرخه های پایدار هیستریزیس و رفتار لرزه ای خوب می باشند. از سوی دیگر عدم تنزل مقاومت و افت سختی در چرخه های هیستریزیس در اینگونه ستون ها بیانگر شکل پذیری زیاد و ظرفیت بالای جذب انرژی در این سیستم می باشد. در نهایت Model-۶ با نسبت شکل پذیری ۹/۶۴ دارای بیشترین شکل پذیری و Model-۵ با نسبت شکل پذیری ۵/۷۸ دارای کمترین شکل پذیری در مقایسه با سایر نمونه ها می باشند.

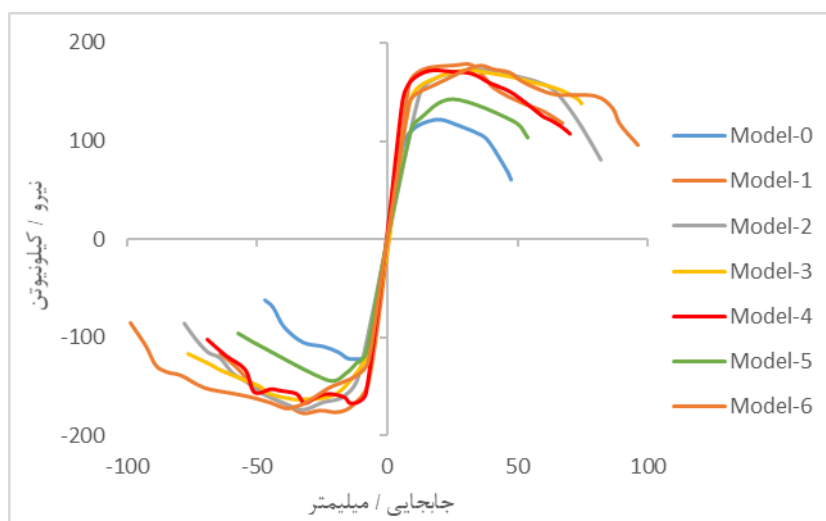


نمودار ۹ مقایسه نسبت شکل پذیری در حالت غیر خطی در مدل های مورد تحقیق

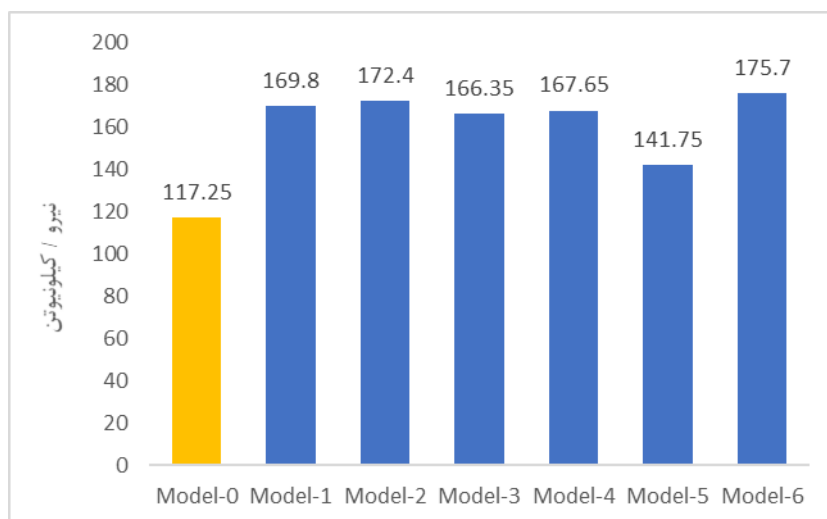
میزان ظرفیت جانبی ستون های تقویت شده مطابق با جدول شماره ۶ است. مشاهده می شود که در این روش مقاوم سازی با ژاکت فولادی میزان رفتار ستون ها متأثر از تغییر الگوهای شکلی متفاوت است اما این اختلاف به استثنای Model-۵ چندان زیاد نیست. قابل ذکر است که نمونه Model-۶ نیز دارای بیشترین ظرفیت جانبی به میزان ۱۷۵/۷ کیلو نیوتن که نسبت به نمونه بدون تقویتی، ۴۹٪ رشد دارد و نمونه Model-۵ دارای حداقل ظرفیت جانبی به میزان ۱۴۱/۷۵ که در مقایسه با نمونه بدون تقویتی ۲۰٪ رشد داشته است.

جدول ۶ مقایسه میزان ظرفیت باربری جانبی در مدل های مورد تحقیق

نام مدل	حداکثر مقاومت جانبی (کیلو نیوتن)	درصد تغییرات (%)
Model-۰	۱۱۷/۲۵	۰
Model-۱	۱۶۹/۸	۴۴
Model-۲	۱۷۲/۴	۴۷
Model-۳	۱۶۶/۳۵	۴۱
Model-۴	۱۶۷/۶۵	۴۲
Model-۵	۱۴۱/۷۵	۲۰
Model-۶	۱۷۵/۷	۴۹



نمودار ۱۰ مقایسه منحنی های هیستریزس مدل های تحلیلی مورد تحقیق

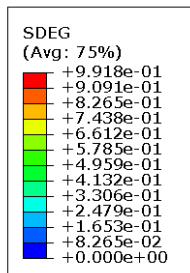


نمودار ۱۱ مقایسه حداکثر ظرفیت باربری جانبی ستون های مورد تحقیق

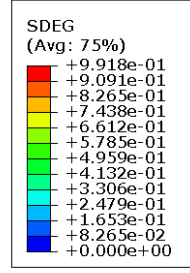
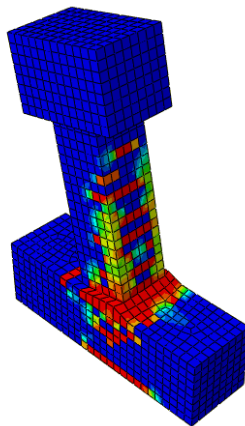
## ۱۲- مد شکست

با تامل بر روی نحوه ی شکست و پارامتر آسیب پذیری ستون های کوتاه مورد مطالعه مطابق تصویر شماره ۱۶ مشخص می باشد که Model-۳ ترک های خمشی کمتری را تجربه نموده و رفتار ترد و شکننده تری دارد که نشان از عملکرد نامطلوب آن نسبت به سایر نمونه ها است. از جهتی مد شکست Model-۶ شکست خمشی را نشان می دهد. مابقی نمونه ها علرغم سختی بیشتر نسبت به نمونه Model-۶ علاوه بر تحمل ترک های خمشی نیز بر اثر ایجاد شکست مفصل در پای ستون گسیخته شده اند.

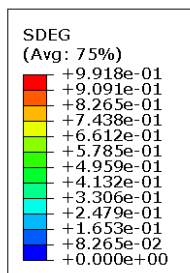
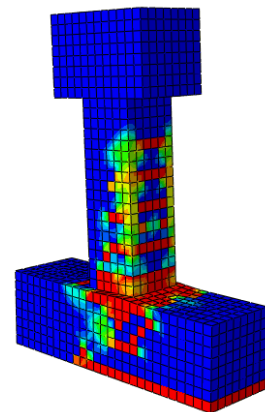




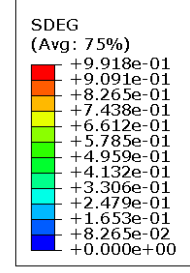
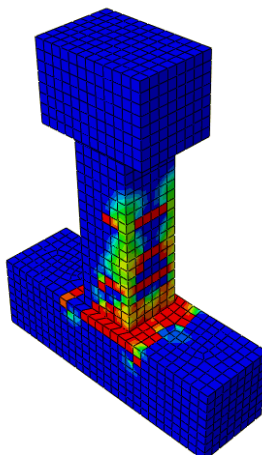
MODEL-۱



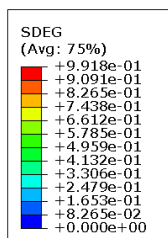
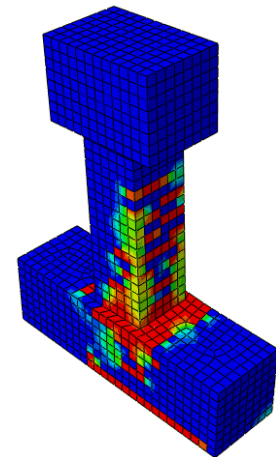
MODEL-۲



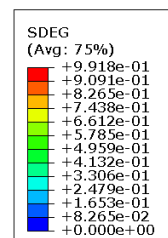
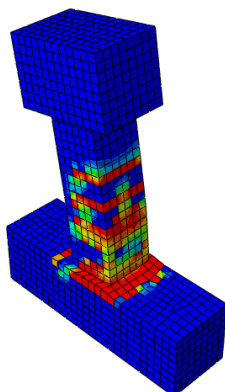
MODEL-۳



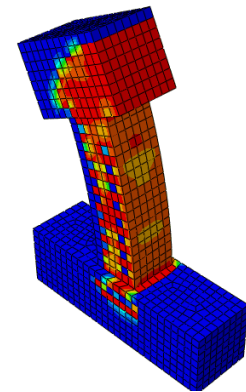
MODEL-۴



MODEL-۵



MODEL-۶



تصویر ۱۶ مقایسه نواحی آسیب و شکست ستون های مورد مطالعه

### ۱۳- شاخص اقتصادی طرح

یکی از پارامترهای حساس در طراحی بدست آوردن سازه های اقتصادی و در عین حال با عملکرد مطلوب می باشد. بتن مصالحی با مقاومت و سختی بالا، دوام قابل قبول و ارزان قیمت و نیز فولاد مصالحی با شکل پذیری زیاد و مقاومت بالا می باشد. لذا ترکیب هوشمندانه این دو مصالح، یک سیستم موثر و کارآمدتر را در مقایسه با استفاده مجزا از آن ها ارائه می دهد. مطابق جدول شماره ۷ شاخص اقتصادی طرح بر اساس مساحت فولادی مصرفی نسبت به حداکثر ظرفیت جانبی هر کدام از ستون های مقاوم سازی شده نشان می دهد. همانطور که قبلاً اشاره شد، هر چه میزان عدد شاخص اقتصادی طرح بزرگ تر باشد، الگوی شکلی طرح تقویتی نیز بهینه ترین و نیز اقتصادی ترین حالت ممکن می باشد. مطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق نیز بطور میانگین Model-۲ در شاخص مورد نظر جز بهینه ترین طرح مقاوم سازی و در مقابل آن Model-۶ جز گران ترین طرح الگوی شکلی طرح تقویتی می باشد. قابل ذکر است که در طرح مقاوم سازی اولویت با عملکرد سازه ای و رفتار لرزه ای آن است و شاخص هزینه در اولویت های بعدی قرار دارد. لذا این شاخص بعنوان برتری الگوی شکلی خاصی محسوب نمی شود و صرفاً جهت مقایسه انجام شده است.

جدول ۷ مقایسه شاخص اقتصادی طرح های مقاوم سازی

نام مدل	شاخص اقتصادی بر اساس ظرفیت جانبی
Model-1	5.01
Model-2	5.67
Model-3	5.08
Model-4	4.62
Model-5	5.02
Model-6	3.97

### ۱۴- نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق، مقاوم سازی ستون های کوتاه با ژاکت فولادی در الگوهای مختلف شکلی تحت بارگذاری جانبی با جنبه های گوناگون مقاومت، نسبت شکل پذیری و شاخص اقتصادی بوده است. لذا نتایج به دست آمده نشان داد که مقاوم سازی با ژاکت فولادی یک الگوی مناسب جهت افزایش ظرفیت باربری و نیز شکل پذیری موثر در ستون های کوتاه می باشد. منحنی های هیستریزس این ستون ها پایدار و با سطح محصور شده زیاد می باشند که با افزایش سختی ستون ها ظرفیت باربری آن ها افزایش می یابد. بطور خلاصه نتایج بدست آمده عبارتند از:

۱. میزان ظرفیت باربری جانبی ستون تقویت شده با فولاد یکپارچه در نمونه Model-۶ به علت افزایش سطح مقطع فولادی بیشتر از سایر نمونه های تقویت شده می باشد و باعث استفاده حداکثری از ظرفیت خمشی این ستون می گردد. اما ضمن در نظر گرفتن افزایش ناچیز آن نسبت به سایر الگوهای شکلی و نیز بدلیل بکارگیری مساحت بیشتر که در نتیجه افزایش وزن سازه را در برخواهد داشت، استفاده از این الگوی تقویتی توجیه پذیر نمی باشد.

۲. با توجه به ضرورت ایجاد شکل پذیری بیشتر در ستون های کوتاه نیز در ستون تقویت شده Model-۶ تغییر شکل بیشتری حاصل می گردد که تفاوت عمده در خاصیت پلاستیک فولاد است، زیرا فولاد پس از رسیدن به تنش تسلیم به رفتار خود در ناحیه پلاستیک ادامه می دهد.

۳. ژاکت فولادی با الگوی شکلی تسمه بند نیز باعث افزایش سختی و ظرفیت باربری در ستون های کوتاه می گردند اما بهینه ترین الگوی شکلی ضمن در نظر گرفتن نسبت شکل پذیری و میزان مقاومت و شاخص هزینه نیز نمونه Model-۲ اقتصادی ترین یا بهینه ترین مدل تقویتی می باشد.

۴. به استناد از نمودارهای هیستریزس بدست آمده از نتایج این تحقیق محرز شد که پس از بارگذاری و باربرداری های متوالی خرابی ستون با تسلیم و گسیختگی ژاکت فولادی شروع می شود که این نوع خرابی به صورت ترد و شکننده نمی باشد و این امر نقش به سزایی در بالا بردن ضریب ایمنی جانی ساکنین ساختمان دارد.

۵. نوع شکست تمامی ستون های تقویت شده نیز علرغم افزایش میزان ظرفیت باربری و شکل پذیری نیز شکست مفصلی در پای ستون است به استثنای Model-۶ که بدلیل شکل پذیری بیشتر نسبت به سایر نیز نوع شکست آن خمشی می باشد.

## سپاسگزاری

قدردانی فراوان از دپارتمان فنی و مهندسی موسسه آموزشی "ماهرشو...!" شهر شیراز برای همکاری در روند مدلسازی و کوشش های موثر و لازم که جهت ثمربخش بودن این تحقیق داشته اند.

## مراجع

- [۱] Liu Ming, Yin Shiping, and Chen Wenjie "Seismic Behaviour of TRC-Strengthened RC Columns under Different Constraint Conditions" Jiangsu Key Laboratory of Environmental Impact and Structural Safety in Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou ۲۲۱۱۱۶, China-۲۰۱۹
- [۲] Jianwei Zhang, "Seismic behavior of high-strength concrete columns reinforced with high strength steel bars" College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, China, ۲۰۲۰
- [۳] Asghar Habibnejad Koraim, Hamid Moharremi, Ali Mazrouei "Study of the effect of column stiffness on the behavior of thin-walled steel shear walls" Journal of Civil Engineering and Surveying, University of Tehran, Volume ۴۵, Number ۲ - Serial Number ۵۲۷۵۳۵, Summer ۲۰۱۱, pp. ۱۶۹-۱۷۸
- [۴] Mohamad Ghannam, "Numerical investigation for the behaviour of stiffened circular concrete filled double tube columns", Structural Engineering Department, Faculty of Engineering, Mansoura University, Mansoura, Dakahlia ۳۵۵۱۶, Egypt, ۲۰۲۰
- [۵] Mojtaba Dehghani Mohammadabadi "Study of the effect of connecting concrete and steel jacket in improving the bearing capacity of reinforced concrete columns", Civil Engineering Thesis Master of Structural Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Summer ۲۰۱۴ (persian)
- [۶] Saeed Radmanesh, Amir Hossein Bazai, Roozbeh Aghamajidi "Optimization of reinforced concrete beams reinforced with rebars and FRP sheets in different installation methods by finite element method", Journal of Civil Engineering and Project, Volume ۳, Number ۲ - Serial Number ۲۴, May ۱۴۰۰, Page ۳۲-۴۷ (persian)