رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره پنجم، شماره ۳، ۱۴۰۰، صفحه: ۲۳- ۳۷

مقایسه عملکرد سیستم های مقاوم سازه ای مختلف در قاب‌های بتنی کوتاه مرتبه و میان مرتبه

سجاد محمدیان آبی*[۱]، صمد سهرابی[۲]

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (Sajjad.mohammadian@srbiau.ac.ir)

[۲] کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳)

چکیده

در این پژوهش قصد داریم با آنالیز استاتیکی غیر خطی، عملکرد سیستم‌های مقاوم باربر جانبی قابهای بتن مسلح در انواع ساختمانهای کوتاه مرتبه و میان مرتبه بررسی و مقایسه گردد. همچنین بررسی شود که انتخاب نوع سیستم‌های جانبی چه تاثیری در عملکرد ساختمان‌ها دارد. و در نهایت بهترین سیستم از لحاظ دو مولفه اقتصادی بودن و رفتار لرزه‌ای بهتر در آنها انتخاب گردد. به همین منظور تحلیل و طراحی تعداد ۲۴ مدل با استفاده از نرم افزار ETABS صورت گرفته که به صورت منظم و دوبعدی مدلسازی شده اند. دهانه قاب ها سه یا پنج دهانه فرض شده که هرکدام پنج متر طول دارند. قاب ها در حالات سه و شش طبقه مورد بررسی قرار گرفته اند که در همگی آنها ارتفاع طبقات سه متر لحاظ شده است. در سازه های سه طبقه، سازه قاب خمشی ویژه و دیوار برشی ویژه بهترین انتخاب می باشد. در سازه های شش طبقه، سازه قاب خمشی ویژه به همراه دیوار برشی ویژه بهترین انتخاب می باشد.

کلمات کلیدی

قاب بتنی، بار جانبی، آنالیز استاتیکی غیر خطی، ساختمان کوتاه مرتبه و میان مرتبه.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره پنجم، شماره ۳، ۱۴۰۰، صفحه: ۲۳- ۳۷

Comparing the Performance of Different Structural Resisting Systems in Low and Intermediate Concrete Frames

Sajjad Mohammadian Abi [1*]***, Samad Sohrabi*** [2]

[1*] *Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Sajjad.mohammadian@srbiau.ac.ir)*

[2] *M.Sc. student, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Malayer Branch, Malayer, Iran*

(Date of received: 22/06/2021, Date of accepted: 14/12/2021)

ABSTRACT

In recent years, Coupled Steel Plate Shear Wall system has been used in mid and high-rise buildings because it has advantages such as providing large spaces for creating various uses. So this was brought into the attention of the designers. The lateral structural response is exactly dependent on the shear walls behavior; therefor these elements must response well under different loading situation. So this paper aims to study the effects of near and far fault earthquakes on the two series of mid-rise frame with the steel plate shear wall with the coupling system. In both series, the coupled steel plate shear wall will be evaluated by variation of opening dimensions, one in length of 1 and 2 m and the width of 0.6 m and 0.9 m with regularity in the plan. Firstly, structures are modeled in ETABS software three dimensionally. Then, the axis frame is analysed in OpenSees two dimensionally. In this paper, the nonlinear static pushover and dynamic time history analyses are carried out. The results of nonlinear analyses show that by increasing the dimensions of the openings, the drift and absolute displacement of the stories are enhanced and also by decreasing the dimensions of the openings, the amount of stories shear and base shear are decreased, which indicates the great effect of the dimensions of the openings on the seismic behavior of coupled steel plate shear wall with considering the performance levels of the frame.

Keywords:

Concrete frame, Lateral load, Nonlinear static analysis, Short and Intermediate buildings.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر طراحی، اجرا و بهره برداری از ساختمانهای بتن مسلح در ارتفاع های مختلف و با استفاده از سیستمهای مقاوم باربر جانبی گوناگون، روند چشمگیری داشته است. با مطالعه عملکرد این سیستمها در برابر زلزله در می‌یابیم که رفتار و عملکرد متفاوتی دارند. انتخاب بهترین سیستم در انواع ساختمانها علاوه بر دستیابی به کاهش تغییر مکان یا جابجایی سازه ها، جذب انرژی بالا، کاهش آسیب پذیری ساختمانها در برابر زلزله و افزایش مدت زمان بهره برداری از آنها و در نهایت عملکرد قابها، بررسی دو مولفه اقتصادی بودن و مطالعه رفتار لرزه ای آنها حائز اهمیت است. بدین منظور چند قاب با دهانه و ارتفاع های مختلف و با متغیرهایی مانند انتخاب نوع سیستم جانبی و محل سیستم باربر جانبی در قاب، انتخاب شده و پس از بررسی و مقایسه، عملکرد آنها از لحاظ دو مولفه اقتصادی بودن و رفتار لرزه ای بهتر مورد بررسی قرار می گیرد و در نهایت بهترین سیستم در آنها انتخاب می گردد. بررسی عملکرد و انتخاب بهترین سیستم در انواع ساختمانهای کوتاه مرتبه و میان مرتبه بتنی بصورت جامع ضروری بنظر می رسد که از جنبه های مجهول و مبهم در این زمینه می تواند باشد. از دیدگاه یک مهندس سازه، بهترین فرم سازه ای، انتخابی است که در آن اعضای اصلی ترکیبهای مختلف بارهای قائم و افقی را به صورت بهینه تحمل نماید[۱]. توجه فزاینده به کمبود مواد خام و نقصان شدید منابع انرژی شناخته شده، موجب داشتن تمایل به سازه هایی سبک، کارا و ارزان قیمت شده است. بنابراین در این پژوهش قصد داریم با آنالیز استاتیکی غیر خطی، عملکرد سیستم های مقاوم باربر جانبی قابهای بتن مسلح در انواع ساختمان های کوتاه مرتبه و میان مرتبه بررسی و مقایسه گردد و بررسی شود که انتخاب نوع سیستم های جانبی چه تاثیری در عملکرد ساختمان های کوتاه مرتبه و میان مرتبه دارد و در نهایت بهترین سیستم از لحاظ دو مولفه اقتصادی بودن و رفتار لرزه ای بهتر در آنها انتخاب گردد.

۲- پیشینه تحقیق

Katkhodaو Rana Knaa در مقاله ای با عنوان" بهینه سازی در انتخاب سیستمهای سازه ای برای طراحی ساختمان های بتن مسلح در برابر نیروهای زلزله" که در سال ۲۰۱۲ به کاربرد حل مسئله بهینه سازی در انتخاب سیستم های سازه ای برای طراحی ساختمان های مسکونی بلند مرتبه را از طریق طراحی سه مدل ساختمان مرتفع، (۲۵-۱۵-۱۰) طبقه، را با استفاده از الگوریتم ژنتیکی بررسی کرده اند تا بهترین سیستم سازه ای که هم ابعاد اقتصادی را تضمین کند هم در میزان بتن و فولاد و هزینه صرفه جویی شود انتخاب شود و نتایج تحقیق آنها نشان داد که در ساختمانهای ۱۰ طبقه سیستم دوگانه بالاترین صرفه جویی را نسبت به سیستم قاب خمشی و دیوار برشی داشته است و در ساختمانهای ۱۵ و ۲۵ طبقه بهترین سیستمها به ترتیب اولویت ۱- سیستم دوگانه ۲- دیوار برشی و ۳- قاب خمشی میباشد[۱]. حمیدرضا کاظمی نیاکران و فرامرز خوشنودیان در مقاله ای با عنوان رفتار لرزه ای سازه های بلند و روشهای حل مشکل تأخیر برشی در این سازه ها که در سال ۱۳۸۹ ارائه شده به بررسی رفتار سیستم سازه قاب محیطی و بررسی مشکلات آن پرداخته اند و اثر تعداد طبقات در تاخیر برشی را مورد بررسی قرار داده اند که سه روش برای حل مشکل تاخیر برشی ارائه شده و اثر هرکدام از آنها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق آنها نشان داد که با افزایش تعداد طبقات مشکل تاخیر برشی سازه کاهش می‌یابد و از ۳۰ طبقه به بعد مقدار نسبت نیروی محوری ستون گوشه و میانی ثابت می باشد[۲]. حامد صفاری و همکاران در مقاله ای تحت عنوان تحلیل تقریبی سازه های بلند مقاوم شده با قاب محیطی در مقابل نیروهای جانبی ضمن توجه به اینکه آنالیز متداول و معمول سیستم قاب محیطی برای سازه های بلند وقت گیر و هزینه بر است و با در نظر گرفتن توابع تغییر شکل مجزا برای قاب بال و قاب جان و سپس نوشتن روابط تنش- تغییر شکل و با استفاده از اصل حداقل انرژی، توابعی برای تغییر مکان جانبی و عمودی پیشنهاد داده اند[۳]. سیما آرامش در مقاله ای با عنوان مطالعه رفتار لرزه

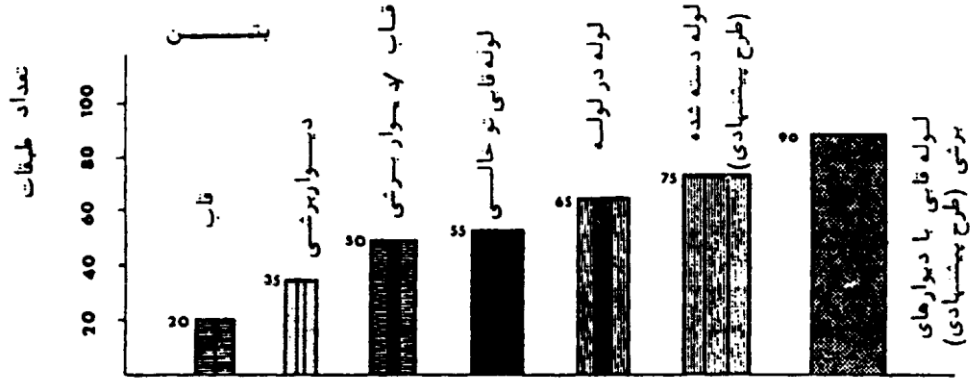
ای انواع سیستم های مقاوم سازه ای در ساختمان های بلند مرتبه بتن آرمه، رفتار لرزه ای سیستم های سازه ای را در یک ساختمان ۲۰ طبقه با نسبت ابعادی ۲/۵ (نسبت ارتفاع به عرض) را در شش حالت مورد بررسی قرار داده است و ویژگی هایی از سازه همانند تغییر مکان جانبی طبقات، درصد جذب برش و نحوه عملکرد هسته داخلی و سیستم سازه ای پیرامونی مقایسه شده است. نتایج تحقیقات نشان داده که سیستم لوله ای و شبکه قطری برای تامین مقاومت جانبی و دست یافتن به سختی لازم، در ساختمان های بلند موثرتر می باشد و به این نتیجه رسیده اند که سهم برش جذب شده توسط سیستم لوله پیرامونی در مدل های دارای لوله مهاربندی شده و شبکه قطری چشمگیر تر است[۴]. علی خیرالدین و حسین جمشیدی در مقاله ای با عنوان مقایسه سیستم های لوله ای در ساختمانهای بلند بتن آرمه در سال ۱۳۹۰، دو سیستم لوله ای و لوله دسته بندی شده و ویژگی هایی همچون لنگی برش، تغییر مکان نسبی و جذب برش در این سیستم ها را در سه ساختمان ۴۰، ۶۰ و ۱۲۰ طبقه را بررسی و مقایسه کرده اند و نتایج حاکی از کمتر بودن لنگی برش و تغییر مکان نسبی جانبی در سیستم لوله ای دسته بندی شده است. اما با بررسی درصد جذب برش سیستم های مختلف، مشاهده شده که عملکرد لوله داخلی در سیستم لوله ای دسته بندی شده دقیقاً بر خلاف عملکرد آن در سیستم لوله در لوله می باشد بدین معنی که در سیستم لوله ای دسته بندی شده، با افزایش ارتفاع جذب برش لوله داخلی بیشتر می شود، در حالیکه در سیستم لوله در لوله با افزایش ارتفاع، جذب برش لوله داخلی نه تنها کاهش می یابد بلکه منفی نیز می شود[۵]. سیروس صدر نفیسی با همکاری شرکت مهندسین مشاور چگالش در مقاله ای با عنوان نقش سیستمهای مختلف مهار بندی در مقاوم سازی سازه های فولادی به بررسی همه جانبه و مقایسه عملکرد سیستمهای مهاربندی EBF و KBF پرداخته اند و توصیه هایی برای طراحی سیستم KBF و استفاده از آن در مناطق زلزله خیز شدید خصوصاً در پروژ های مقاوم سازی ارائه کرده اند[۶]. رضا رازانی و غلامرضا جعفری در مقاله ای با عنوان بررسی رفتار قابهای فولادی خمشی، دوگانه و خورجینی با طرح بهینه شده در محیطهای خطی و غیرخطی تحت اثر زلزله، طرح نمونه هایی از قابهای فولادی خمشی، دوگانه و خورجینی با استفاده از الگوریتم های ضابطه بهینگی، تحت اثر بارهای استاتیکی مجاز و حدی آئین نامه ای زلزله، در محیط های خطی و غیر خطی را بهینه و بررسی کرده اند. نتایج نشان می دهد در محیط های خطی سیستم سازه ای قاب خورجینی با تیرهای سراسری تا تراز ۸ طبقه دارای کمترین وزن سرانه می باشد. و برای ترازهای بیش از ۸ طبقه قاب دوگانه دارای کمترین وزن سرانه می باشد و در محیط غیرخطی طرح قاب دوگانه در کلیه ترازهای طبقاتی دارای کمترین وزن سرانه می باشد. و به این نتیجه رسیده اند که بهینه کردن قابها در محیط غیرخطی باعث کاهش وزن آنها شده و قاب خمشی طرح شده در محیط غیر خطی قادر است زلزله با شدت بالاتری را تحمل کند و بر خلاف قابهای خمشی، طرحهای بدست آمده برای قابهای دوگانه و خورجینی درمحیط خطی، قادرند زلزله با شدت بالاتری را تحمل نمایند[۷]. بهرخ حسینی هاشمی و علی پروری در مقاله ای با عنوان مقایسه عملکرد سازه قاب خمشی ویژه با سازه قاب خمشی معمولی فولادی طراحی شده با ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ارائه گردیده به بررسی عملکرد سازه قاب خمشی ویژه و معمولی تحت آنالیز غیر خطی استاتیکی پرداخته اند و به این نتیجه رسیده اند که هر دو سیستم در ساختمانهای با ارتفاع کم با اینکه رفتار سیستمی متفاوتی داشته، اما تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده تقریباً با هم مساوی بوده و از نظر شکل پذیری تا حدود زیادی به هم نزدیک اند. در سازه های با ارتفاع بیشتر (۹طبقه)، در سیستم قاب خمشی معمولی اکثر ستونها وارد مرحله غیر خطی شده و تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده از سطح عملکرد E گذشته و در واقع کاملاً گسیخته شده اند و طبقه نرم تشکیل شده است، و تغییر مکان نسبی خیلی زیادی نسبت به سازه قاب خمشی ویژه داشته است. در سازه با ارتفاع ۱۲ طبقه، در سازه قاب خمشی ویژه تعداد مفاصل پلاستیک خیلی کمتر از قاب خمشی معمولی بوده (تعداد گسیخته ها) و در سازه قاب خمشی معمولی، مفاصل پلاستیک بیشتر در ستونها تشکیل شده ولی در قاب خمشی ویژه مفاصل بیشتر در تیرها اتفاق افتاده است و اینکه قاب خمشی ویژه توانسته شکل پذیری مناسبی را ایجاد کرده که نشان دهنده عملکرد بهتر قاب خمشی ویژه در ساختمانهای بلند مرتبه

می باشد و از نظر وزنی ساختمانهای قاب خمشی ویژه نسبت به ساختمانهای قاب خمشی معمولی سبک تر بوده که با افزایش طبقات نشان دهنده اقتصادی بودن این نوع سازه می باشد[۸]. مهدی احمدی روحانی در پژوهشی با موضوع بهینه یابی موقعیت دیوار های برشی در سازه های بلند، به بررسی و تعیین موقعیت دیوار های برشی در سازه های بلند پرداخته که در دو نوع سازه های با پلان متقارن و نامتقارن این مسئله را بررسی نموده و بیان کرده که بهترین موقعیت مکانی برای یک دیوار برشی و نحوه قرار گرفتن آن، باعث کاهش قابل ملاحظه ای در تغییر مکان سازه و همچنین جذب سهم بیشتری از نیروی جانبی خواهد شد. در این تحقیق نه سری سازه با تعداد طبقات ۸، ۱۲، ۱۶، ... و ۴۰ طبقه و در سه مرحله با حالتهای مختلف موقعیت قرارگیری دیوارهای برشی در پلان در نظر گرفته شده است [۹]. با بررسی پژوهش های پیشین مشخص گردید که مقایسه عملکرد سازه های مختلف در انواع ساختمانهای فولادی با مولفه هایی مانند شکل پذیری، تغییر مکان نسبی و اقتصادی بودن به منظور دستیابی به بهترین سیستم جانبی در این نوع ساختمانها پرداخته شده است. در بعضی از پژوهش های دیگر به بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای بتنی بلند مرتبه با در نظر گرفتن مولفه هایی مانند اقتصادی بودن، تغییر مکان نسبی، درصد جذب برش، نحوه عملکرد هسته داخلی و سیستم سازه ای پیرامونی به منظور دستیابی به موثرترین سیستم مقاوم جانبی در سازه های بلند پرداخته اند و یا در خصوص بهترین موقعیت دیوار برشی در سازه های بلند نتایجی را بدست آورده اند. که از دیدگاه ما علاوه بر دستیابی به تغییر مکان نسبی حداقل، درصد جذب برش بالا و شکل پذیری، بررسی دو مولفه اقتصادی بودن و داشتن رفتار لرزه ای بهتر آن هم در انواع ساختمان های بتنی کوتاه مرتبه و میان مرتبه حائز اهمیت بوده که در این پژوهش قصد داریم به آن پرداخته شود.

۳- بررسی عملکرد سیستم های مختلف سازه ای

پس از اولین مراحل استفاده از فولاد در ساختمانهای بلند به شکل مهاربند، فرمهای سازه ای آن به موازات سازه های بتن آرمه، تکامل یافته و به شکلهای قاب صلب، دیوار برشی، قاب-دیوار، قاب محیطی، قاب محیطی مهاربندی و سازه های کمربندی معرفی شدند و فرمهای سازه ای خاص فولاد نظیر سازه های معلق و سازه های حجیم فضایی نیز ابداع گردیدند. سازه های بلند بتن آرمه تقریباً دو دهه پس از اولین ساختمانهای بلند فلزی مطرح گردیدند. قابل ذکر است که ساختمانهای بتنی اولیه از نظر فرم سازه ای متاثر از سازه های مشابه فولادی و دارای اسکلت شامل ستونها و شاه تیرها بودند، با این تفاوت که به علت صلب بودن قابها، بدون نیاز به مهاربند قطری در برابر بارهای جانبی مقاومت می کردند. در مرحله بعد با معرفی تاوه های تخت و قارچی و ترکیب آنها در قابهای خمشی، تا اواخر دهه ۱۹۴۰ این نوع فرم سازه ای، در ساختمانهای بلند بتن آرمه متداول گردید. با معرفی دیوارهای برشی مقاوم در برابر بارهای افقی، گام مهمی در تکامل فرم سازه های ساختمانهای بلند بتن آرمه بخصوص، برداشته شد. این اولین گام از سری تحولات در فرمهای سازه ای بتنی بود که محدودیت ۲۰ تا ۲۵ طبقه مربوط به سیستم قابهای صلب و تاوه های تخت را از میان برداشت. ابداعات و اصلاحات در فرمهای سازه های، همگام با دستیابی به بتن های با مقاومت بالا موجب گردید که ساختمانهای مرتفع بتنی تا صد طبقه قابل اجرا گردند. در شکل (۱) توصیه ای در خصوص استفاده از فرمهای سازه ای ساختمانهای بلند بطور اجمالی نشان داده شده که هر سیستم سازه ای خاصی برای حدود ارتفاعات معینی (و یا برای نسبتهای معینی از ارتفاع به عرض ساختمان) مناسب می باشد.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره پنجم، شماره ۳، ۱۴۰۰، صفحه: ۲۳- ۳۷



شکل۱: مقایسه سیستم های سازه ای.

لازم به ذکر است توصیهٔ سیستمهای سازه ای مختلف برای ارتفاعات گوناگون نباید بعنوان قاعدهٔ مطلق تلقی شود. ساختمانهای کوتاه و متوسط ابتدا برای بارهای وزن طراحی می شوند و سپس قابلیت تحمل آنها در مقابل بارهای جانبی کنترل می شود. اما ساختمانهای بلند در مقابل در مقابل بارهای جانبی خیلی حساس تر می باشند

۴- فرضیات و مدلسازی

با توجه به فرضیه های در نظر گرفته شده، تحلیل و طراحی تعداد۲۴ مدل با استفاده از نرم افزار ETABS صورت می گیرد. کلیه قاب ها به صورت منظم و دوبعدی مدلسازی شده اند. دهانه قاب ها ۳ یا ۵ دهانه فرض شده‌اند که همگی هرکدام ۵ متر طول دارند. قاب ها در حالات ۳ و ۶ طبقه مورد بررسی قرار گرفته اند که در همگی آن ها ارتفاع طبقات ۳ متر لحاظ گردیده است . خاک از نوع ۴، میزان خطر لرزه خیزی زیاد، طبقه بندی ساختمان با اهمیت متوسط(ساختمان مسکونی)، نوع سیستمهای جانبی سیستم قاب خمشی(ویژه و متوسط)- سیستم دوگانه(متوسط و ویژه)- سیستم قاب ساختمانی ساده و دیواربرشی(متوسط و ویژه) می باشند که مطابق جدول ۱ تیپ بندی شده اند. با توجه به دارا بودن شرایط سیستهای سازه ای در نظر گرفته شده میتوان از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده کرد.

جدول ۱-الف: تیپ بندی مدل‌ها.

ردیف	نام مدل	تعداد دهانه	تعداد طبقه	نوع سیستم سازه ای
۱	FI33	۳	۳	قاب خمشی متوسط
۲	FI36	۳	۶	قاب خمشی متوسط
۳	FI53	۵	۳	قاب خمشی متوسط
۴	FI56	۵	۶	قاب خمشی متوسط
۵	FS33	۳	۳	قاب خمشی ویژه
۶	FS36	۳	۶	قاب خمشی ویژه
۷	FS53	۵	۳	قاب خمشی ویژه
۸	FS56	۵	۶	قاب خمشی ویژه

جدول ۱– ب: تیپ بندی مدلها.

ردیف	نام مدل	تعداد دهانه	تعداد طبقه	محل قرارگیری دیوار برشی	نوع سیستم سازه ای
۹	FIwI33	۳	۳	دهانه های۱و۳	قاب خمشی متوسط و دیوار برشی متوسط
۱۰	FIwI36	۳	۶	دهانه های۱و۳	قاب خمشی متوسط و دیوار برشی متوسط
۱۱	FIwI53	۵	۳	دهانه های۱و۵	قاب خمشی متوسط و دیوار برشی متوسط
۱۲	FIwI56	۵	۶	دهانه های۱و۵	قاب خمشی متوسط و دیوار برشی متوسط
۱۳	FSWS33	۳	۳	دهانه های۱و۳	قاب خمشی ویژه و دیوار برشی ویژه
۱۴	FSWS36	۳	۶	دهانه های۱و۳	قاب خمشی ویژه و دیوار برشی ویژه
۱۵	FSWS53	۵	۳	دهانه های۱و۵	قاب خمشی ویژه و دیوار برشی ویژه
۱۶	FSWS56	۵	۶	دهانه های۱و۵	قاب خمشی ویژه و دیوار برشی ویژه

جدول ۱-ج: تیپ بندی مدلها.

ردیف	نام مدل	تعداد دهانه	تعداد طبقه	محل قرارگیری دیوار برشی	نوع سیستم سازه ای
۱۷	FwI33	۳	۳	دهانه های۱و۳	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی متوسط
۱۸	FwI36	۳	۶	دهانه های۱و۳	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی متوسط
۱۹	FwI53	۵	۳	دهانه های۱و۵	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی متوسط
۲۰	FwI56	۵	۶	دهانه های۱و۵	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی متوسط
۲۱	FWS33	۳	۳	دهانه های۱و۳	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی ویژه
۲۲	FWS36	۳	۶	دهانه های۱و۳	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی ویژه
۲۳	FWS53	۵	۳	دهانه های۱و۵	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی ویژه
۲۴	FWS56	۵	۶	دهانه های۱و۵	قاب ساختمانی ساده و دیوار برشی ویژه

۴-۱-فرضیات بارگذاری

برای مدلسازی و تحلیل و طراحی پروژه از نرم افزار ETABS 15.2.2 استفاده گردیده است. در این پروژه میزان بارمرده طبقات به صورت گسترده و برابر ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر و بار زنده وارد بر طبقات به صورت گسترده و برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر منظور گردیده است. همچنین بار زنده وارد بر بام به صورت گسترده و برابر ۵۰۰ کیلوگرم بر متر و بار مرده وارد بر بام به صورت گسترده و برابر ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر منظور شده است.

۴-۲-فرضیات مشخصات سازه ای

مدلسازی با فرض بتنی بودن قاب ها و دیوارهای برشی و با اختصاص مقادیر زیر به عنوان مشخصه آن به نرم‌افزار انجام شده است.

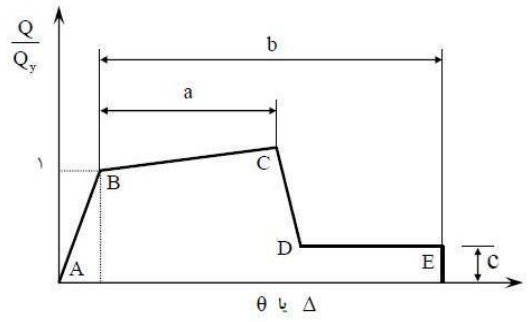
- وزن واحد حجم بتن مسلح برابر ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
- مدول الاستیسیته بتن برابر $2,188\times10^{9}$ کیلوگرم بر متر مربع
- Fy برابر 4000×10^{4} وFy_C برابر 3000×10^{4} کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.
- مقاومت مشخصه بتن برابر 210×10^{4} کیلوگرم بر متر مربع منظور گردیده است.

۴-۳-فرضیات مشخصات بارگذاری لرزه ای

بر اساس نشریه ۳۶۰ سازمان مدیریت برنامه ریزی ، در این روش بار جانبی ناشی از زلزله، استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می شود تا آنجا که تغییرمکان در یک نقطه ی خاص (نقطه ی کنترل) تحت اثر بارجانبی، به مقدار مشخصی (تغییرمکان هدف) برسد و یا سازه فروریزد. در تحلیل استاتیکی غیرخطی، مرکز جرم بام به عنوان نقطه ی کنترل تغییرمکان سازه انتخاب می شود (مرکز جرم سقف خرپشته به عنوان نقطه ی کنترل انتخاب نمی شود).

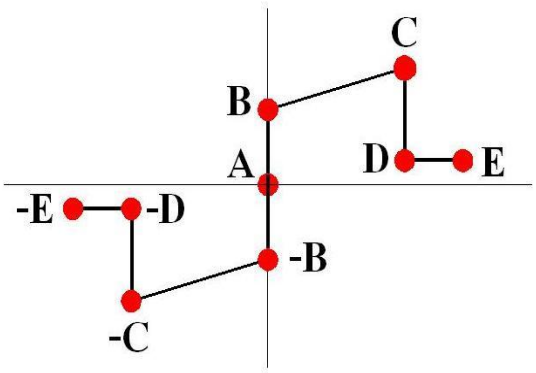
۴-۴- تعریف مفاصل پلاستیک برای اعضای سازه

برای انجام تحلیل های غیر خطی لازم است تا قبل از انجام تحلیل، نقش رفتار غیر خطی اعضا در پاسخ و عملکرد سازه تحت بارهای جانبی به درستی لحاظ گردد. مراحل انجام این تحلیل و نتیجه گیری از آن بدین صورت است که نخست مدل رفتار غیر خطی اعضا به نقاطی از المان ها که مستعد جذب بیشترین تلاش هستند اختصاص می یابد و سپس تحت یک تاریخچه شتاب در پای سازه قرار داده می شود.



شکل ۲: منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته.

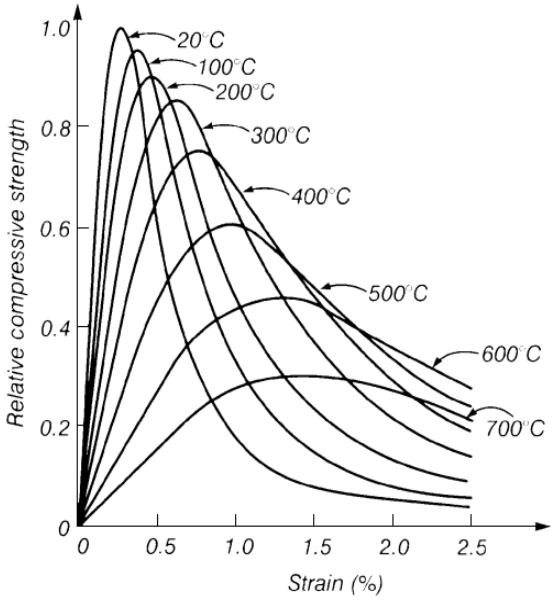
جهت معرفی رفتار پلاستیک مقاطع در نرم افزار، از تعریف و اختصاص مفاصل پلاستیک خودکار موجود در برنامه استفاده شده است که پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش آن مطابق آخرین آیین نامه‌های روز دنیا می باشد. با استفاده از مفاصل خودکار برنامه نیرو ، لنگر، دوران و ظرفیت مقاطع، تمام پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش را برای تمامی اعضای دارای مفاصل خودکار محاسبه می نماید. برای تیرها مفاصل خودکار با حالت درجه آزادی لنگر خمشی حول محور قوی M3 در فواصل نسبی ۰/۰۵ و ۰/۹۵ در طول تیر و برای ستون ها ، مفاصل خودکار با حالت اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی P-M2-M3 در فواصل نسبی ۰/۰۵ و ۰/۹۵ طول ستون اختصاص داده شد.



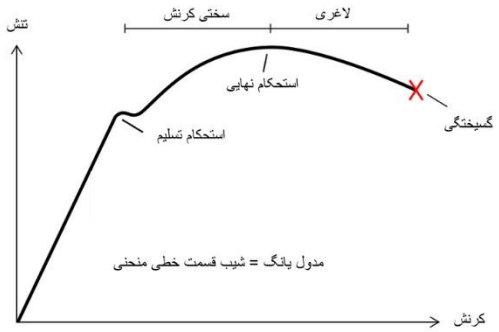
شکل ۳: مدل رفتاری مفاصل استفاده شده در نرم افزار.

۵- صحت سنجی در برنامه ABAQUS

به منظور کنترل صحت نتایج و مدلسازی در ETABS ، چند نمونه از مدلها در نرم افزار ABAQUS مدلسازی می شوند و نتایج شان با نتایج نرم افزار ETABS مقایسه می گردد. مدلسازی در نرم افزار ABAQUS بر پایه روش المان محدود میباشد،در این قسمت مدلهای اشاره شده در قسمت قبلی، جهت انجام آنالیز به دو روش پوش اور و استاتیکی غیر خطی مورد تحلیل قرار میگیرند که در ادامه به طور مفصل شرح داده می شود و نتایج به دست آمده مورد بحث و بررسی قرار می گیرند. جهت مدلسازی تیرها از wire استفاده میگردد،گرچه میتوان از solid و یا shell نیز استفاده نمود اما با توجه به اینکه wire به صورت دو گرهی میباشد مدلسازی و orientation تیرها و ستونها بایستی با دقت خاصی صورت گیرد و هزینه محاسبات و آنالیز نرم افزار به صورت قابل توجهی کاهش می یابد و دقت و درستی نتایج تا حدود زیادی افزایش می یابد که این امر در مورد مدلسازی به صورت solid به علت افزایش المانها و گره ها و متعاقبا افزایش نیروهای گرهی ایجاد شده در سازه و پیچیده شدن روابط حل معادلات هزینه محاسبات به شدت افزایش یافته و دقت نتایج کاهش می یابد.

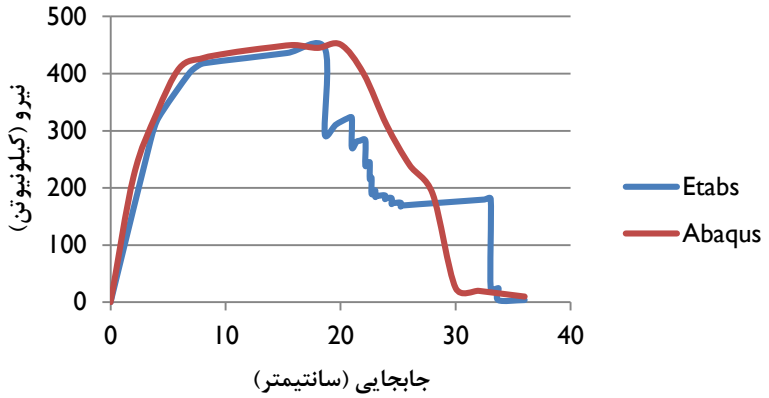


شکل ۴: منحنی تنش کرنش بتن.



شکل ۵: منحنی تنش کرنش فولاد.

با اختصاص خصوصیات مکانیکی مصالح در نرم افزار مدلسازی صورت می گیرد. اعمال بارگذاری به صورت اعمال نیروهای برش طبقات بر مدل می باشد که به صورت خطی افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار برابر برش پایه تحلیل ادامه یافته تا اولین آسیب دیدگی در سازه رخ دهد.



شکل ۶: مقایسه خروجی دو نرم افزار در مدل FI 53.

همانگونه که از شکل (۶) قابل ملاحظه است در محدوده الاستیک دو نمودار تطابق بسیار خوبی نشان می دهند اما پس از ایجاد آسیب و مفاصل پلاستیک در اتصالات اسکلت نتایج اندکی متفاوت می شود که درصد تفاوت قابل تایید است. روند نزولی و افت نهایی هر دو حالت یکی است که نتایج نشان دهنده تطابق قابل ملاحظه ای می باشد.

۶- نتایج

در این بخش قصد داریم با مقایسه خروجی های دریفت طبقات – توزیع مفصل پلاستیک و منحنی های پوش اور بین مدلها در هر کدام از ارتفاع های سه طبقه، شش طبقه و ده طبقه، بهترین سیستم را که عملکرد بهتری دارد انتخاب کنیم و در ادامه سایر اولویت ها نیز معرفی شوند.

۶-۱- دریفت طبقات

در جداول زیر به مقایسه دریفت طبقات در مدلهای سه و شش طبقه برای انواع سیستم های مختلف باربر جانبی پرداخته شده است.

جدول۲: مقایسه دریفت طبقات در مدلهای سه طبقه.

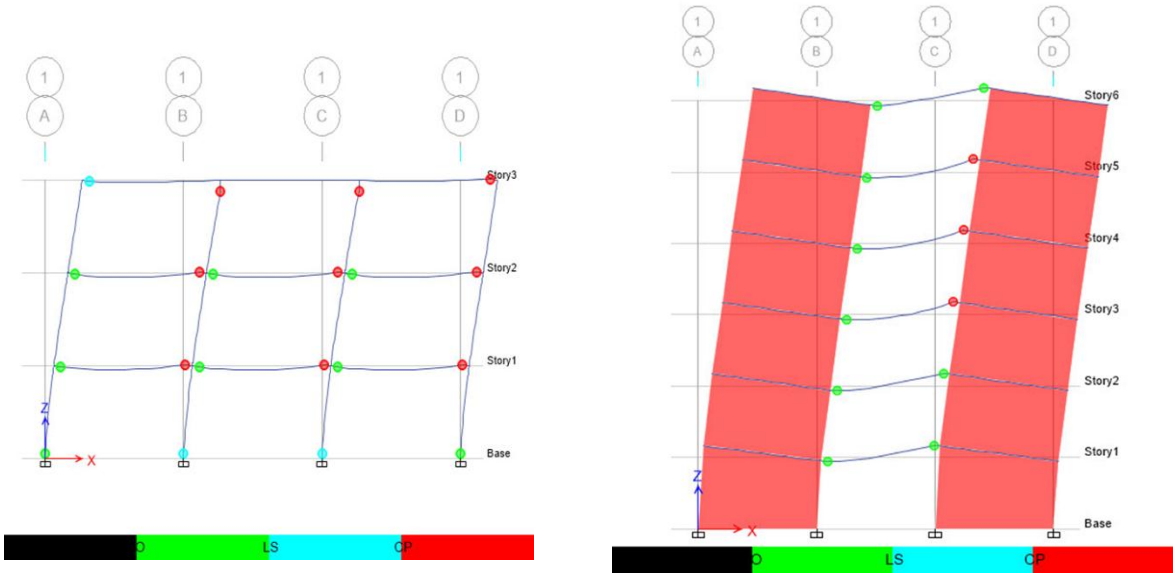
ردیف	سیستم های سازه ای	Δm	cmمقدار مجاز	کنترل
۱	FI33	0.004558	7.5	Ok
۲	FI53	0.004694	7.5	Ok
۳	FS33	0.00319	7.5	Ok
۴	FS53	0.003333	7.5	Ok
۵	FIWI33	0.00005952	7.5	Ok
۶	FIWI53	0.00008929	7.5	Ok
۷	FSWS33	0.00004329	7.5	Ok
۸	FSWS53	0.00007359	7.5	Ok
۹	FWI33	0.00006803	7.5	Ok
۱۰	FWI53	0.000115646	7.5	Ok
۱۱	FWS33	0.00005952	7.5	Ok
۱۲	FWS53	0.00010714	7.5	Ok

جدول۳: مقایسه دریفت طبقات در مدلهای شش طبقه.

ردیف	سیستم های سازه ای	Δm	cmمقدار مجاز	کنترل
۱	FI36	0.004	6	Ok
۲	FI56	0.004081633	6	Ok
۳	FS36	0.002809524	6	Ok
۴	FS56	0.002857143	6	Ok
۵	FIWI36	0.00047619	7.5	Ok
۶	FIWI56	0.00065476	7.5	Ok
۷	FSWS36	0.00034632	7.5	Ok
۸	FSWS56	0.00004762	7.5	Ok
۹	FWI36	0.000612245	7.5	Ok
۱۰	FWI56	0.000952381	7.5	Ok
۱۱	FWS36	0.000535714	7.5	Ok
۱۲	FWS56	0.000595238	7.5	Ok

۶-۲- توزیع مفاصل پلاستیک

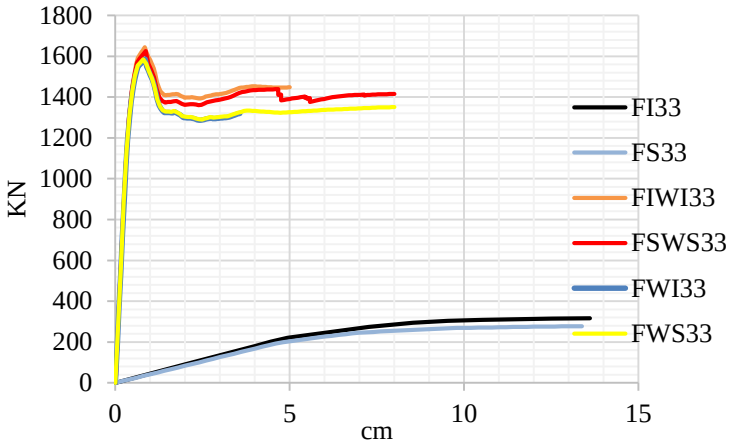
شکل زیر توزیع مفصل پلاستیک در مرحله آخر پوش اور سازه می باشد و رنگ مفاصل بیان کننده وضعیت مفصل ها می‌باشد که بطور نمونه چند مدل ذیل آورده شده است.



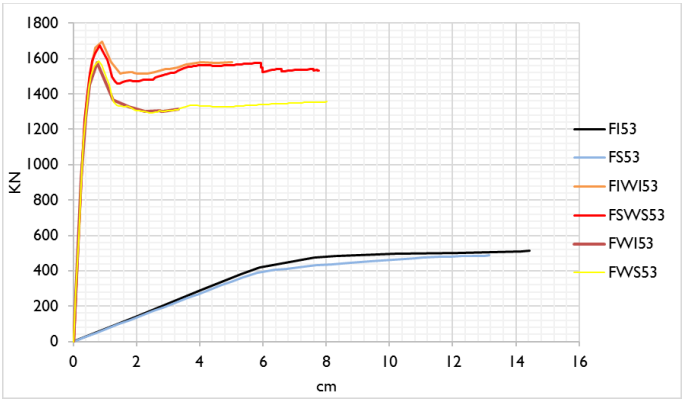
شکل۵: مفصل پلاستیک در نمونه ۳ و ۵ طبقه.

۶-۳- مقایسه منحنی پوش اور

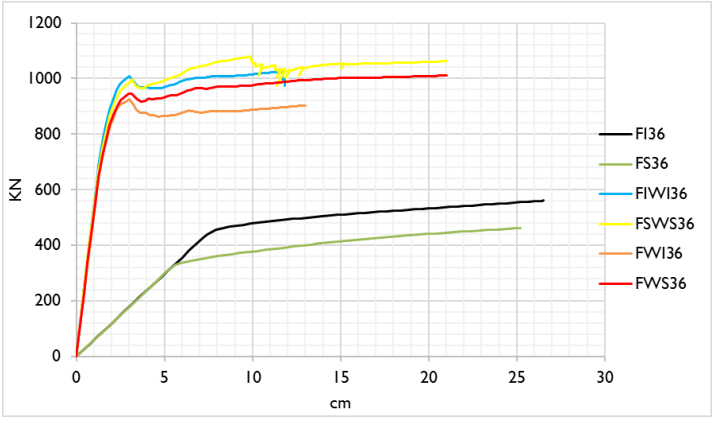
در شکل زیر به مقایسه منحنی پوش اور سازه‌های سه و شش طبقه با تعداد دهانه‌های سه و پنج، برای انواع مختلف سیستم‌های باربر جانبی آورده شده است.



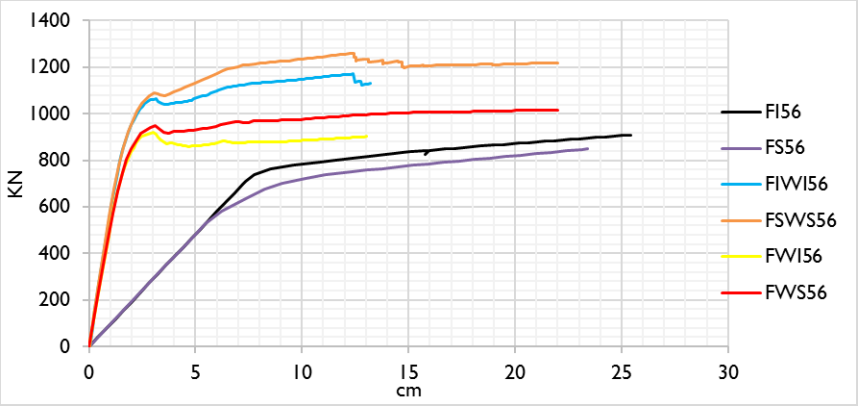
شکل ۶: مقایسه منحنی پوش اور سه طبقه ها(سه دهانه).



شکل۷:مقایسه منحنی پوش اور سه طبقه ها(پنج دهانه).



شکل ۸: مقایسه منحنی پوش اور شش طبقه ها(سه دهانه).



شکل ۹: مقایسه منحنی پوش اور شش طبقه ها(پنج دهانه).

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

از آنجا که سازه ها براساس آیین نامه طراحی شده اند یعنی در سازه ها از لحاظ مقاومت و دریفت ، کنترل- ها انجام گرفته و در حد آیین نامه ها می باشند و نحوه توزیع مفصل هم در انتخاب سیستم به طور کلی دیده شده لذا با توجه به اینکه یکی از روش های مقایسه، میزان جذب انرژی سازه ها است ، انتخاب بهترین سازه ، بر اساس منحنی پوش آور و ظرفیت سازه ها صورت گرفته است. با توجه به سازه های مورد بررسی و ابعاد و فرضیات تحقیق، نتایج زیر حاصل گردید. تمامی این اولویت ها بر این اساس بیان می شود که رفتار لرزه ای سازه ها را مورد توجه قرار داده ایم.

الف-سازه های سه طبقه:

با توجه به نمودار های پوش آور حاصل از سازه، همان طور که مشاهده می شود سختی سازه های دارای دیوار برشی با سازه‌های قاب خمشی، از سختی بیشتری برخوردار است. با توجه به برش پایه تسلیم سازه ها و همچنین مقدار جابجایی که سازه متحمل می شود، سازه FSWS بهترین انتخاب برای سازه های سه طبقه می باشد. سپس به ترتیب اولویت ها بیان میگردد: FWS ، FIWI ، FWI ، FI و FS می باشد. این روند در تمامی سازه های سه طبقه (سه دهانه و پنج دهانه) نیز به این شکل می باشد. تفاوت مقادیر سازه های سه دهانه و پنج دهانه در مقادیر برش تسلیم سازه ها می باشد.

ب- سازه های شش طبقه:

با توجه به نمودار های پوش آور حاصل از سازه، همان طور که مشاهده می شود سختی سازه های دارای دیوار برشی با سازه های قاب خمشی، از سختی بیشتری برخوردار است. با توجه به برش پایه تسلیم سازه ها و همچنین مقدار جابجایی که سازه متحمل می شود، سازه FSWS بهترین انتخاب برای سازه های شش طبقه می باشد. سپس به ترتیب اولویت ها(سه دهانه) بیان میگردد: FWS ، FIWI ، FWI ، FI و FS می باشد. روند ذکر شده در بالا برای سازه با پنج دهانه، مقداری دچار تغییر می شود. به این ترتیب که: اولویت پنج دهانه به این صورت است: FWS ، FI ، FS ، FIWI ، FWI می باشد.

۸- مراجع

[1]-Azzam, K., and Rana, K., 2012, **Optimization in the selection of structures systems.for the design of reinforced concrete high-rise uildings in resisting seismicforces**, McGraw, Hill.

[۲]- کاظمی نیاکرانی، ح.، خوشنودیان، ف.، ۱۳۸۹، **رفتار لرزه ای سازه های بلند و روشهای حل مشکل تأخیر برشی در این سازه ها**، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۳]- صفاری، ح.، رهگذر، ر.، محجوب، ر.،۱۳۹۶، **تحلیل تقریبی سازه های بلند مقاوم شده با قاب محیطی در مقابل نیروهای جانبی**، بخش مهندسی دانشگاه باهنر کرمان.

[۴]-آرامش، س.، ۱۳۹۱، **مطالعه رفتار لرزه ای انواع سیستم های مقاوم سازه ای در ساختمان های بلند مرتبه بتن آرمه**، دانشگاه سمنان، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن.

[۵]- خیرالدین، ع.، جمشیدی، ح.، ۱۳۹۰، **مقایسه سیستم های لوله ای در ساختمانهای بلند بتن آرمه**، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان.

[۶]- صدر نفیسی، س.، ۱۳۹۷، **نقش سیستمهای مختلف مهار بندی در مقاوم سازی سازه های فولادی**، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، شرکت مهندسین مشاور چگالش .

[۷]- رازانی، ر.، جعفری مود، غ.، ۱۳۹۸، **بررسی رفتار قابهای فولادی خمشی، دوگانه و خورجینی با طرح بهینه شده در محیطهای خطی و غیرخطی تحت اثر زلزله**، دانشگاه شیراز .

[۸]- حسینی هاشمی، ب.، پروری، ع.، ۱۳۸۹، **مقایسه عملکرد سازه قاب خمشی ویژه با سازه قاب خمشی معمولی فولادی طراحی شده با ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰**، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۹]- احمدی روحانی، م.، ۱۳۷۷، **بهینه یابی موقعیت دیوارهای برشی در سازه های بلند**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.

[۱۰]-ابوالبشری، م. م.، ۱۳۸۲، **مبانی بهینه سازی سازه ها**، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

[۱۱]- مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، ویرایش سوم ۱۳۹۲

[۱۲]- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ، طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه، ویرایش چهارم ۱۳۹۲

[۱۳]- آئین نامه ۲۸۰۰، طراحی ساختمانها در برابر زلزله، ویرایش چهارم۱۳۸۴

[۱۴]-آئین نامه بتن ایران(آبا)، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، چاپ هفتم ۱۳۸۳

[۱۵] - سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور،۱۳۸۵، **دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان ها ی موجود نشریه شماره ۳۶۰**، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله.

[16]-http://peer.berkeley.edu/nga/search.html