بررسی ضریب رفتار قاب خمشی فولادی تحت اثر هندسه سازه

بابک حسام‌زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
محمّدرضا هاشمی*
عضوهیأت علمی، گروه عمران، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
Wps1350@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۰/۱۶

چکیده:

آنالیز و طراحی سازه‌ها صرفاً بر اساس رفتار ارتجاعی اعضاء و عدم توجه به رفتار خمیری و ظرفیت تار خمیری سازه ها در تحمل نیروهای جانبی منجر به طراحی غیراقتصادی می‌شود. تقریباً تمامی آیین‌نامه‌های معتبر دنیا یک ضریب ویژه موسوم به ضریب رفتار ساختمان که جهت کاهش نیروهای زلزله محاسبه شده، در نظر گرفته و طراح را مجاز به آنالیز الاستیک سازه تحت نیروهای کاهش یافته و طراحی بر اساس نتایج آن می‌نماید. مقادیر این ضریب درآیین‌نامه‌های زلزله، اصولاً بر اساس مشاهدات عملکرد سیستم‌های ساختمانی مختلف در زلزله‌های قوی گذشته و بر مبنای قضاوت مهندسی می‌باشد. بر این اساس پژوهشگران زیادی نگرانی خود را از بابت فقدان وجود ضرایب رفتار معقول و مبتنی بر مطالعات تحقیقاتی و پشتوانه محاسباتی در آیین‌نامه‌های زلزله بیان داشته و بر اصلاح این ضرایب بر اساس مطالعات علمی ،تأکید ورزیده‌اند. با بررسی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی بر روی سازه‌های مورد مطالعه در دو حالت با ضریب رفتار ۶ و رفتار ۷ مشخص شد افزایش ضریب رفتار سوای از تعداد طبقات و ارتفاع سازه می‌تواند نقش بسیار مهمی در کاهش قابل ملاحظه‌ای پاسخ لرزه‌ای در سازه‌های مورد مطالعه داشته باشد. ضریب رفتار در ساختمان، تاثیر بسزایی در تغییر مکان افقی سازه ندارند. چراکه در ساختمان‌های یک و چهار طبقه، طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴، اثر پیچش لحاظ نمی‌شود، و به این علت، ضریب رفتار مختلف در ساختمان‌های یک و چهار طبقه، تاثیر چندانی در نیروی زلزله ندارد.

کلید واژگان: ضریب رفتار، تحلیل دینامیکی و استاتیکی، نامظنمی در پلان، پاسخ لرزه‌ای

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

عدم توجه به رفتارخمیری و ظرفیت جذب و دفع انرژی عضوها به هنگام تحمل نیروهای زلزله که نیروهای غیر دائمی و ریسکی می باشد، باعث غیراقتصادی شدن طرح و رسیدن به سازه‌ای با اعضاء سنگین خواهد شد. بدین منظور پرداختن به جزئیات روش‌های مختلف تحلیل سازه و چگونگی انتخاب ضرایب مختلف طراحی در آیین‌نامه‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. البته یک تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌تواند بیانگر رفتار صحیح و واقعی سازه‌ها به هنگام وقوع زلزله باشد، اما به علت پرهزینه و وقت‌گیر بودن غیر عملی می‌باشد. از طرفی آنالیز و طراحی سازه‌ها صرفاً بر اساس رفتار ارتجاعی اعضاء و عدم توجه به رفتار خمیری و ظرفیت تار خمیری سازه‌ها در تحمل نیروهای جانبی، تقریباً تمامی آیین‌نامه‌های معتبر دنیا یک ضریب ویژه موسوم به ضریب رفتار ساختمان که جهت کاهش نیروهای زلزله محاسبه شده، در نظر گرفته و طراح را مجاز به آنالیز الاستیک سازه تحت نیروهای کاهش‌یافته و طراحی بر اساس نتایج آن می‌نماید. مقادیر این ضریب درآیین‌نامه‌های زلزله، اصولاً بر اساس مشاهدات عملکرد سیستم‌های ساختمانی مختلف در زلزله‌های قوی گذشته و بر مبنای قضاوت مهندسی می‌باشد. بر این اساس پژوهشگران زیادی نگرانی خود را از بابت فقدان وجود ضرایب رفتار معقول و مبتنی بر مطالعات تحقیقاتی و پشتوانه محاسباتی در آیین‌نامه‌های زلزله بیان داشته و بر اصلاح این ضرایب بر اساس مطالعات علمی ،تأکید ورزیده اند.

تخمین درست ضریب رفتار برای یک سازه به معنی براورد منطقی از نیروهای طراحی سازه است که توزیع مناسب این نیرو در بین المان ها منجر به یک رفتار مناسب در سازه می‌شود ولی یک توزیع نامناسب می‌تواند به گسیختگی نامطلوب سازه منجر شود. براساس مطالب فوق، انتخاب مقادیر ضریب رفتار در طراحی سازه‌ها مسئله‌ای بسیار حساس بوده و مقادیر ارائه شده در اکثر آیین‌نامه‌ها منجمله ضرایب رفتار موجود در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در استاندارد ۲۸۰۰ ایران بر پایه تجارب نویسندگان آن ارائه شده و دارای کاستی‌هایی است که این پارامتر برای یک سیستم سازه‌ای مشخص بدون توجه به مشخصات هندسی و سایر عوامل، مقدار ثابتی معرفی شده است لذا لزوم تحقیق در صحت این موضوع بیش از پیش احساس می‌شود.

اهمیت برآورد درست و انتخاب مقادیرضریب رفتار در طراحی سازه‌ها مسئله‌ای بسیار حساس است. مقادیر ارائه شده در اکثر آیین‌نامه‌ها بیشتر بر پایه تجارب نویسندگان آنها بوده است. مقادیر ضریب رفتار وابسته به پارامترهای مختلفی از رکورد زلزله و از سازه مانند پارامترهای دینامیکی رکورد، مصالح بکار رفته در سازه، شکل هندسی، منظم بودن، شرایط خاک و ... می‌باشد و متأسفانه به همین دلیل ، مهندس طراح به راحتی قادر به برآورد نسبتاً صحیح ضریب رفتار سازه نمی‌باشد. بر اساس مطالب فوق انتخاب مقادیر ضریب رفتار در طراحی سازه‌ها همیشه بحثی نو بوده و آیین‌نامه‌ها در حد امکان سعی در اصلاح و حل شفاف مشکلات فوق را دارند.

براساس مطالب فوق، از آنجائیکه انتخاب مقادیر ضریب رفتار در طراحی سازه‌ها در اکثر آیین‌نامه‌ها عمدتاً بر پایه تجارب نویسندگان آنها می‌باشد لذا در این تحقیق محقق قصد دارد یکی از چند پارامتر مختلف تأثیرگذار بر روی مقدار ضریب رفتار مانند شکل هندسی سازه روی ضریب رفتار قاب‌های فولادی را مطالعه و بررسی نماید. برای این منظور مطالعه در سه فاز انجام شده است. در فاز اول سازه نامتقارن و در فاز دوم تعداد طبقات تغییر خواهند کرد و عملکرد سازه‌ها با ضریب رفتار مختلف مقایسه خواهند شد. در فاز سوم سازه نامنظم در پلان بررسی شده است. رفتار و عملکرد بادبندها نیز در فاز سوم مطالعه بررسی شده است.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تخمین ضریب رفتار انجام شده است. در ادامه به تعدادی از این مطالعات اشاره شده است.

امیری و خالدیان به پژوهشی در مورد تاثیر ارتفاع بر ضریب رفتار سیستم‌های فولادی قاب خمشی پرداختند. در این مطالعه، با بررسی تحقیقات انجام شده بر ضریب رفتار و جایگاه ضریب رفتار در آیین نامه‌های مختلف، بررسی‌های تحلیلی بر ضریب رفتار سازه‌های فولادی قاب خمشی که بخش قابل توجهی از ساخت و سازهای موجود در کشور ایران را شامل می‌شوند، انجام شده است.[۱]

در مطالعه دیگر، ضریب رفتار R برای تعدادی ساختمان با قاب خمشی فولادی یا مهاربندی شده با تحلیل استاتیکی غیرخطی محاسبه می‌شود و با ضریب رفتار لازم، ضمن تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت زلزله‌های مهم ایران مقایسه می‌گردد.[۲]

اکثر آیین‌نامه‌ها بر اساس کنترل میزان بار طراحی می‌شوند، که از برش پایه در آن استفاده می‌شود. مهمترین پارامتر در این روش طراحی ضریب رفتار می‌باشد. در حالی که ضریب رفتار خود وابسته به میزان ظرفیت سازه در استهلاک انرژی در زمان تغییر شکل پلاستیک می‌باشد که بر اساس روش حدی نهایی می‌باشد. در مطالعه‌ای، فرایولی و لاوینو روش‌های موجود برای تعیین ضریب رفتار برای سازه‌های فلزی سیستم قاب خمشی برای سازه‌های منظم و نامنظم در ارتفاع برای سازه‌های چند طبقه را بررسی کردند. اثرات تعداد طبقه و طول دهانه و منظمی ساختمان در این رابطه بررسی شد.[۳]

محمودی و زارع در مطالعه‌ای به ارزیابی ضریب رفتار قاب‌های فولادی هم محور پرداختند. در مطالعه دیگر این محققین به بررسی و تعیین ضریب رفتار قاب مهاربندی کمانش تاب پرداختند که نتایج مشابه آن چه در مطالعه پیشین خود یافته بودن دست یافتند.[۴]

ایزدنیا و همکاران در سال ۲۰۱۲ پژوهشی دیگر است که در مورد ارزیابی ضریب رفتار قاب خمشی به وسیله روش‌های آنالیز (pushover) می‌باشد، جدایی از نتایج و روش کار صورت گرفته در این مطالعه، مهمترین نتیجه این مطالعه را می‌توان بیان کرد که

Archive of SID

www.SID.ir

ماکزیمم تفاوت برای ضرایب رفتار بین روش‌های conventional و adaptive ۱۶٪ می‌باشد.[۵]

محمودی و عبدی به ارزیابی ضریب رفتار قاب‌های TADAS پرداختند. در این پژوهش ضریب رفتار برای قاب‌های خمشی ویژه (SMRFs) و با در نظر گرفتن TADAS و بدون آن به طور مجزا بررسی شد و به این نتیجه رسیدند که ضریب رفتار برای T-SMRFs بیشتر از SMRFs می‌باشد، همچنین دریافتند که تعداد طبقات ساختمان اثر بیشتری روی ضریب رفتار سازه دارد.[۶]

۲- روش تحقیق

در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای سازه‌ها برای کاهش نیروی الاستیک لازم برای مقابله با زلزله به نیروی طراحی، از ضریبی به نام ضریب اصلاح رفتار به اختصار ضریب رفتار R استفاده شده است.

برای سازه‌های مختلف با توجه به سیستم سازه‌ای آنها و نیز با توجه به قابلیت جذب انرژی آنها به صورت آزمایشگاهی و تجربی و با توجه به رفتار سازه‌ها در زلزله‌های گذشته و قضاوت مهندسی، تدوین کنندگان آیین‌نامه، ضریبی ارائه شده است (یوانگ، ۱۹۹۱). همچنین این ضرایب برای هر آیین‌نامه با توجه به اینکه روش طراحی آیین نامه طراحی روش تنش مجاز و یا روش مقاومت نهایی باشد فرق می‌کند به اینکه روش طراحی آیین‌نامه طراحی روش تنش مجاز و یا روش مقاومت نهایی باشد فرق می‌کند. ولی معمولاً ضرایب رفتار آیین‌نامه‌های طراحی به روش تنش‌های مجاز، با ضرب ضریب رفتار آیین‌نامه‌های طراحی مقاومت نهایی در عدد ۱،۵ یا ۱،۴ بدست می آید.

در بیشتر آیین‌نامه‌های قبلی (آیین‌نامه‌های قبل از سال ۱۹۹۰) ضریب رفتار بصورت عددی ثابت که تابع نوع سازه است، بیان شده بود. بیشتر این ضرایب از مشاهدات آزمایشگاهی و مشاهده رفتار سازه‌ها در زلزله‌های گذشته و قضاوت مهندسی تدوین‌کنندگان آیین‌نامه بدست آمده است (یوانگ، ۱۹۹۱).این ضرائب علاوه بر در برداشتن شکل‌پذیری سازه، اضافه مقاومت آن را نیز در بردارند. ولی سهم هر یک، در ضریب رفتار مشخص نیست.

یادآور می‌شود که ضریب کاهش نیرو در اثر شکل‌پذیری R_μ در محدوده پریود کم کاهش پیدا می‌کند و ضریب اضافه مقاومت R_s در محدودی پریودی کم افزایش می‌یابد و ممکن است بنظر برسد که حاصلضرب این دو مقدار ثابتی را که در آیین‌نامه‌ها ارائه شده است بدست دهد، ولی استفاده از یک ضریب رفتار در تمام محدوده‌های پریودی خیلی تقریبی می‌باشد و از ثابت بودن حاصلضرب این دو ضریب در تمام محدوده‌های پریودی نمی‌توان مطمئن بود.

هم اینکه آیین‌نامه اروپای متحد (Euro Code 8) آیین‌نامه‌ای است که از ضریب کاهش نیروی متناسب با پریود سازه و به همراه ضریب اضافه مقاومت سازه برای تعیین نیروی زلزله استفاده می‌کند.

باید توجه داشت که استفاده از یک تحلیل استاتیکی غیرخطی پیش رونده برای محاسبه اضافه مقاومت سازه صحیح می‌باشد و استفاده از یک عدد ثابت به عنوان ضریب اضافه مقاومت کاردقیقی نیست.

بعضی آیین‌نامه‌ها، مانند آیین‌نامه شیلی، آیین‌نامه شهر مکزیک، آیین نامه آرژانتین و آیین‌نامه پل‌سازی ونزوئلا از ضریب رفتار متناسب با پریود است. ولی اثر ضریب اضافه مقاومت در ضریب رفتار در این آیین‌نامه‌ها یا ملحوظ نشده است و یا به صورت پنهان می‌باشد که باز از نظر طراح پنهان می‌باشد و این آیین‌نامه‌ها طراح را مجبور به محاسبه و تامین یک حداقل برای آن نمی‌کنند.[۷]

۲-۱- هم پایه نمودن شتاب نگاشت‌ها

شتاب‌نگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام وقوع زلزله باشند. برای نیل به این هدف لازم است حداقل سه زوج شتاب نگاشت متعلق به مولفه‌های افقی سه زلزله مختلف ثبت شده که دارای ویژگی‌های زیر باشند انتخاب گردند.[۸]

الف- شتاب نگاشت‌ها متعلق به زلزله‌هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضا کنند و در آنها آثار: بزرگا، فاصله از گسل، ساز و کار چشمه لرزه زا در نظر گرفته شده باشد.

ب- ساختگاه‌های شتاب‌نگاشت‌ها باید به لحاظ ویژگی‌های زمین شناسی، تکتونیکی، لرزه‌شناسی و بخصوص مشخصات لایه‌های خاک با زمین محل ساختمان، تا حد امکان، مشابهت داشته باشند.

پ- مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت‌ها حداقل برابر ۱۰ ثانیه و یا سه برابر تناوب اصلی سازه، هر کدام که بیشتر است، باشد. مدت زمان حرکت شدید شتاب‌نگاشت‌ها را می‌توان از روش های معتبر مانند روش توزیع تجمعی انرژی، تعیین کرد.

لازم به ذکر است که مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰، زلزله طرح زلزله ای است که احتمال وقوع آن و یا زلزله‌های بزرگتر از آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان کمتر از ده درصد باشد.

۲-۱-۱- زوج شتاب نگاشت‌های انتخاب شده باید به روش زیر به مقیاس درآورده شوند

الف- کلیه شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب همه آنها برابر با شتاب ثقل g گردد.

ب- طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد تعیین گردد.

پ- طیف‌های پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

ت- طیف‌های پاسخ ترکیبی سه زوج شتاب‌نگاشت، متوسط‌گیری شده و در محدوده زمان‌های تناوب ۰/۲ T و ۱/۵ T با طیف طرح استاندارد مقایسه می‌گردد. ضریب مقیاس آنچنان تعیین شود که در

Archive of SID
www.SID.ir

این محدوده مقادیر متوسط‌ها در هیچ حالت کمتر از ۱/۳ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد.

ت- طیف‌های پاسخ ترکیبی سه زوج شتاب نگاشت، متوسط‌گیری شده و در محدوده زمان‌های تناوب ۰/۲ T و ۱/۵ T با طیف طرح استاندارد مقایسه می‌گردد. ضریب مقیاس آنچنان تعیین شود که در این محدوده مقادیر متوسط‌ها در هیچ حالت کمتر از ۱/۳ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد.

ث- ضریب مقیاس تعیین شده، باید در شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده در بند (الف) ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد.

در این روش تحلیل (تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی)، می توان به جای سه زوج شتاب‌نگاشت عنوان شده، هفت زوج شتاب نگاشت با مشخصات عنوان شده در آن بند را بکار گرفت و مقدار متوسط بازتاب‌های بدست آمده از آنها را به عنوان بازتاب نهایی تلقی کرد.

در مورد تعداد شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در دستورالعمل بهسازی سازه‌ها و همچنین دستورالعمل FEMA 356 عنوان شده است که باید حداقل از سه شتاب‌نگاشت در هر امتداد مورد بررسی استفاده نمود. اگر در هر امتداد کمتر از هفت شتاب‌نگاشت استفاده شود، پاسخ سازه را برابر بیشترین پاسخ‌ها باید در نظر گرفت و در صورتی که در هر امتداد از هفت شتاب‌نگاشت یا بیشتر استفاده شود، پاسخ سازه را می‌توان بر اساس میانگین مقادیر پاسخ بدست آمده، تعیین نمود.

در تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی این مطالعه موردی، پاسخ سازه با استفاده از روابط دینامیکی در گام‌های زمانی کوتاه (۰/۰۲ ثانیه) و بر اساس تحریکات مولفه‌های افقی نگاشت‌های شتاب زمین محاسبه شده است. شتاب‌نگاشت‌های انتخابی می‌بایست ویژگی‌های قابل تطبیق با مکانیسم گسلش محتمل و شرایط توپوگرافیک و نوع خاک را برای طراحی و کنترل طرح داشته باشند. لازم به ذکر است که چنانچه کمتر از هفت شتاب‌نگاشت برای سایر مطالعات انتخاب شود باید بیشینه‌ی اثر آنها برای کنترل تغییرشکل‌ها و نیروهای داخلی منظور شود.

۲-۲-خروج از مرکزیت

مفهوم پیچش استاتیکی معادل یا نامنظمی پیچشی در آیین‌نامه‌های معتبری مانند ASCE برای در نظر گرفتن نیروهای طراحی که از عدم تقارن سازه به وجود می‌آیند به کار رفته است. با استفاده از این مفهوم اثرات دینامیکی پیچش با به کارگیری یک ضریب بزرگنمایی مناسب برای خروج از مرکزیت استاتیکی که برای هر کف یا طبقه تعریف می‌شوند به جای محاسبه مستقیم لنگر پیچشی طراحی در نظر گرفته می‌شود.

از آنجا که نیروهای جانبی متعامد ناشی از زلزله از یکدیگر مستقل هستند دوران می‌تواند به دو بخش که در تناظر با دو بخش نیروهای جانبی هستند تقسیم شود.

$$\theta_{xm}=\sum_{j=m}^{N}P_{xj}\left(\varepsilon_{ym}-e_{ym}\right)\Big/K_{\theta m} \quad (۱)$$

$$\theta_{ym}=\sum_{j=m}^{N}P_{yj}\left(\varepsilon_{xm}-e_{xm}\right)\Big/K_{\theta m} \quad (۲)$$

θ_{xm} و θ_{ym} دوران در جهت x و y مشخصات یکسانی دارند. بدیهی است برای اینکه مقدار θ_{xm} برابر صفر شود باید فواصل e_{ym} و ε_{ym} برابر باشند یعنی برآیند نیروهای جانبی اعمال شده به کف mام و کف طبقات بالاتر باید از مرکز سختی طبقه m ام و طبقات بالاتر عبور کنند. خروج از مرکزیت از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\eta_{xm}=\varepsilon_{xm}-e_{xm} \quad (۳)$$
$$\eta_{ym}=\varepsilon_{ym}-e_{ym}$$

۳- نتایج

در این پژوهش سعی بر آن است، با مدل کردن ساختمان‌های نامتقارن توسط نرم‌افزار Sap2000، پاسخ‌های این سازه‌ها بررسی کنیم. در این مطالعه از ورژن Sap 2000 Ultimate 2015 17.1.1. استفاده شده است.

۳-۱- فاز اول مطالعه

در این مرحله از مطالعه یک سازه ۱ و ۴ طبقه مدلسازی شده است. در تمامی مدلها ضریب رفتار تغییر داده شده است و رفتار سازه مورد بررسی قرار گرفته است.

نحوه مدل‌سازی

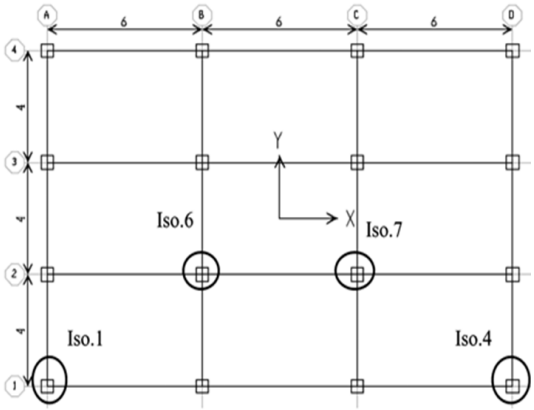
در این بخش به منظور بررسی رفتار واقعی سازه‌های نا متقارن از روش استاتیکی معادل و دینامیکی استفاده می‌شود.

رفتار مدل‌های طراحی شده با این روش، با استفاده از تحلیل دینامیکی (تاریخچه زمانی) ارزیابی گردیده است. تحلیل تاریخچه زمانی انجام شده ، رفتار واقعی سازه را تحت شتابنگاشت‌های اعمال شده نشان می‌دهد.

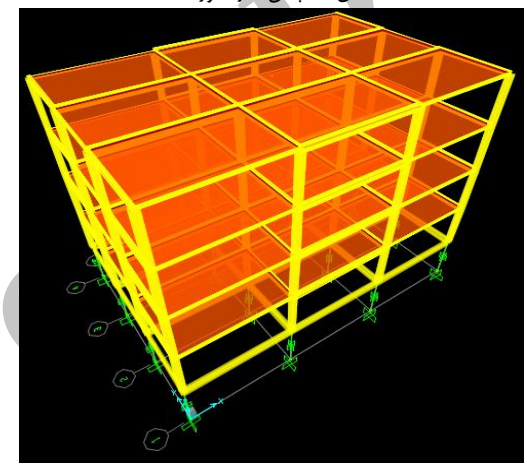
در این مطالعه، روسازه (سیستم سازه‌ای) از نوع فولادی با قاب خمشی دو طرفه می‌باشد که در دو تیپ سازه ۱ و ۴ طبقه، با خروج از مرکزیت‌های متفاوت (۰ و ۱۲/۵ و ۲۵ درصد) تحت تحریکات دو مولفه‌ای زمین‌لرزه با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی و اعمال اثرات غیر خطی مصالح مصرفی، مورد بررسی قرار گرفته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- پلان سازه مورد مطالعه



شکل ۲- نمای سه بعدی سازه‌ای طراحی شده‌ی ساختمان چهار طبقه

به دست آوردن نیروی برشی پایه استاتیکی معادل:

فرض می‌شود ساختمان‌های مورد مطالعه در شهر تهران واقع شده‌اند لذا خاک منطقه از نوعII و از نظر خطر نسبی از نوع خیلی زیاد است. بر طبق توصیه آیین‌نامه ضریب رفتار 6 در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات مرتبط با نوع زمین II مطابق با استاندارد ۲۸۰۰

نوع زمین	T_0	T_s	S
II	0.1	0.5	1.5

برای ساختمان ۱ طبقه

$$T_X = T_Y = 0.05 \times (1 \times 3.2)^{0.75} = 0.1196$$
$$B_X = B_Y = 1 + S = 2.5$$
$$C_X = C_Y = \frac{0.35 \times 2.5 \times 1}{6} = 0.146$$
$$C_{\min} = 0.1AI = 0.1 \times 0.35 \times 1 = 0.035 \rightarrow ok$$

برای ساختمان ۴ طبقه

$$T_X = T_Y = 0.05 \times (4 \times 3.2)^{0.75} = 0.3384$$
$$B_X = B_Y = 1 + S = 2.5$$
$$C_X = C_Y = \frac{0.35 \times 2.5 \times 1}{6} = 0.146$$
$$C_{\min} = 0.1AI = 0.1 \times 0.35 \times 1 = 0.035 \rightarrow ok$$

نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی با استفاده از مشخصات زلزله‌های بکار برده شده در این تحلیل و با شرایط اولیه صفر و با تعریف نمودن بردارهای ریتز انجام می‌شود. در جدول ۲ وجدول ۳ نتایج تحلیل انجام شده با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 جهت مقایسه نقاط عملکرد برای سازه یک و چهار طبقه، با خروج از مرکزیت‌های ۱۲/۰۵ و ۲۵ درصد نشان داده شده است. در تحلیل و طراحی سازه منظور از نقطه عملکرد تغییرمکان مجاز و هدف می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه نقاط عملکرد برای سازه یک طبقه با خروج از مرکزیت های ۱۲/۰۵ و ۲۵ درصد

	ex= %0	ex= %12.5	ex= %25
نوع مدل	تغییر مکان بیشینه (CM)	تغییر مکان بیشینه (CM)	تغییر مکان بیشینه (CM)
ضریب رفتار ۶	۵/۳۰	۵/۶۴	۵/۷۳
ضریب رفتار ۷	۵/۳	۵/۶	۵/۷

جدول ۳- مقایسه نقاط عملکرد برای سازه چهار طبقه با خروج از مرکزیت های ۱۲/۰۵ و ۲۵ درصد

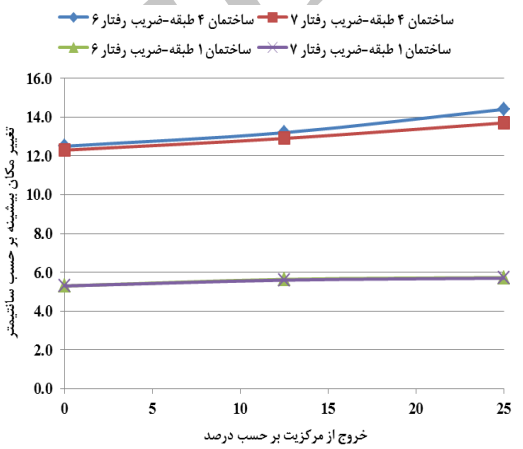
	ex= %0	ex= %12.5	ex= %25
نوع مدل	تغییر مکان بیشینه (CM)	تغییر مکان بیشینه (CM)	تغییر مکان بیشینه (CM)
ضریب رفتار ۶	۱۲/۵	۱۳/۲	۱۴/۴
ضریب رفتار ۷	۱۲/۳	۱۲/۹	۱۳/۷

همانطور که مشاهده می‌شود افزایش خروج از مرکزیت تاثیر چندانی در کارایی سیستم در ساختمانهای یک طبقه ندارد ولی در ساختمانهای چهار طبقه کارایی سیستم را کاهش می‌دهد. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهند، افزایش خروج از مرکزیت، تغییر مکان به دست آمده از مرکز جرم را در ساختمان با ضریب رفتار ۷، درصدی کاهش می‌دهد. در ساختمان با ضریب رفتار ۷، افزایش خروج از مرکزیت باعث کاهش در تغییر مکان می‌شود ولی درصد تغییرات در

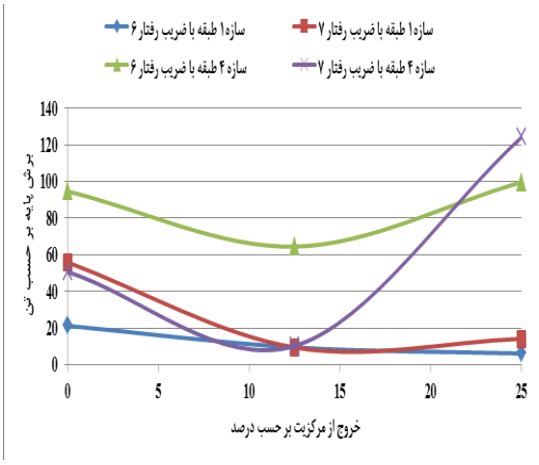
Archive of SID
www.SID.ir

تغییر مکان با افزایش خروج از مرکزیت در ضریب رفتار ۶ افزایش می‌یابد.

در شکل ۳ تأثیر تعداد طبقات و ضریب رفتار و خروج از مرکزیت بر روی تغییرمکان حداکثر بررسی شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است تغییرات ضریب رفتار بر روی رفتار سازه با ارتفاع بیشتر، بیشتر است. به عبارت دیگر هر چه سازه مرتفع‌تر باشد ضریب رفتار اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که امری منطقی است. خروج از مرکزیت بر روی تغییر مکان سازه بلندتر تأثیر بیشتری دارد؛ با افزایش خروج از مرکزیت در سازه بلندتر میزان تغییر مکان هم افزایش می‌یابد اما در سازه با ارتفاع کمتر خروج از مرکزیت تأثیر چندانی ندارد.



شکل ۳ – مقایسه تاثیر خروج از مرکزیت و ضریب رفتار و تعداد طبقات بر روی تغییر مکان بیشینه

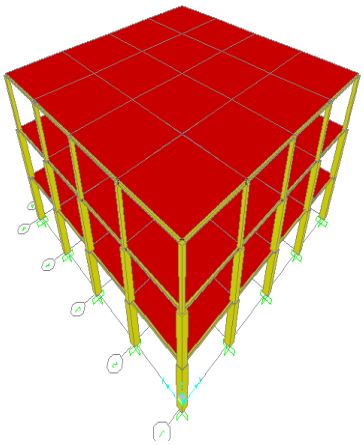


شکل ۴ – مقایسه تاثیر خروج از مرکزیت و ضریب رفتار و تعداد طبقات بر روی برش پایه

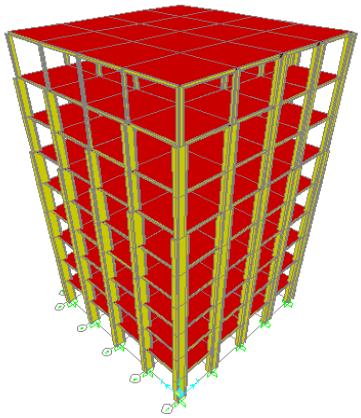
در شکل ۴ تأثیر خروج از مرکزیت و ضریب رفتار و تعداد طبقات بر روی برش پایه بررسی شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است سازه با خروج از مرکزیت ۱۲,۵ درصد دارای کمترین برش پایه است.

۳-۱- فاز دوم مطالعه

سازه‌های مورد مطالعه مطابق شکل‌های زیر ترسیم می‌شوند. در این بخش سازه‌های ۳، ۶ و ۹ طبقه طراحی شده‌اند. سپس نتایج برش پایه و تغییرمکان به ازای ضرایب رفتار مختلف بررسی شده است.



شکل ۵ – نمایی از ساختمان سه طبقه طراحی شده

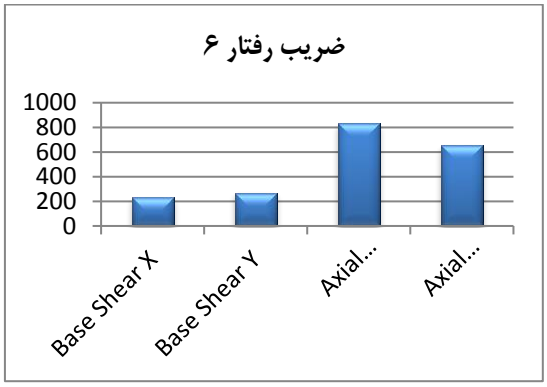


شکل ۶ – نمایی از ساختمان نه طبقه طراحی شده

خلاصه نتایج طراحی شش سازه‌ی مورد مطالعه

همانطور که در شکل‌های زیر مشخص است میزان برش پایه برای سازه با ضریب رفتار بزرگتر کوچکتر است. اما نیروی محوی سازه‌ها در هر دو ضریب رفتار تفاوت چندانی ندارند.

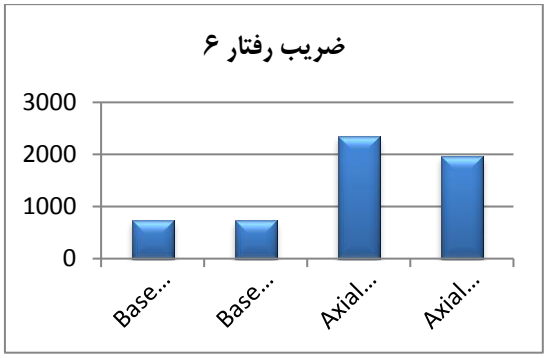
www.SID.ir



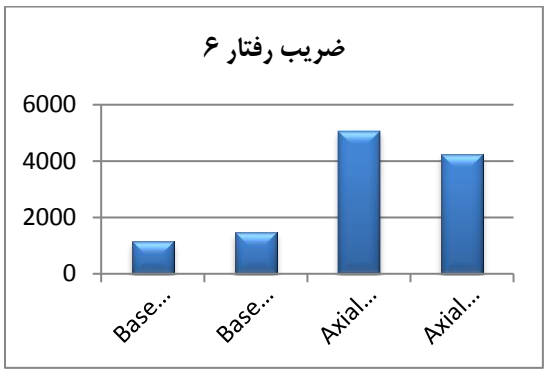
شکل ۷ – خلاصه نتایج ساختمان ۳ طبقه با ضریب رفتار ۶

شکل ۸ – خلاصه نتایج ساختمان ۳ طبقه با ضریب رفتار ۷

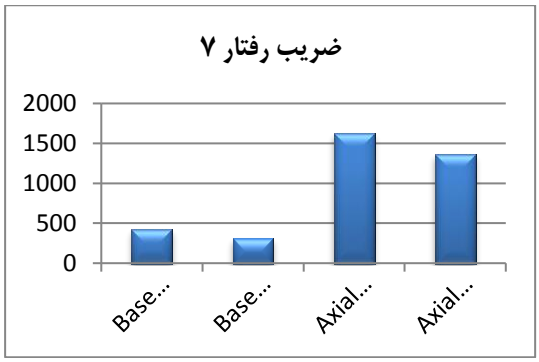
همانطور که در شکل‌های زیر مشخص است با افزایش ارتفاع سازه ضریب رفتار بر روی نیروی محوری تأثیری بیشتری را نشان می‌دهد و در سازه با ضریب رفتار بزرگتر نیروی محوری نیز کاهش یافته است و این مسئله در هر دو سازه۶ و ۹ طبقه مشخص است.



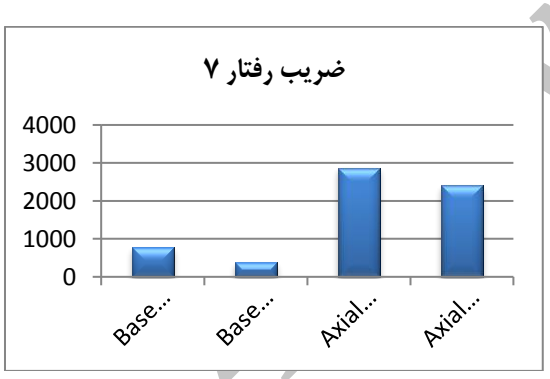
شکل ۹ – خلاصه نتایج ساختمان ۶ طبقه با ضریب رفتار ۶



شکل ۱۰ – خلاصه نتایج ساختمان ۹ طبقه با ضریب رفتار ۶



شکل ۱۱– خلاصه نتایج ساختمان ۶ طبقه با ضریب رفتار ۷



شکل ۱۲– خلاصه نتایج ساختمان ۹ طبقه با ضریب رفتار ۷

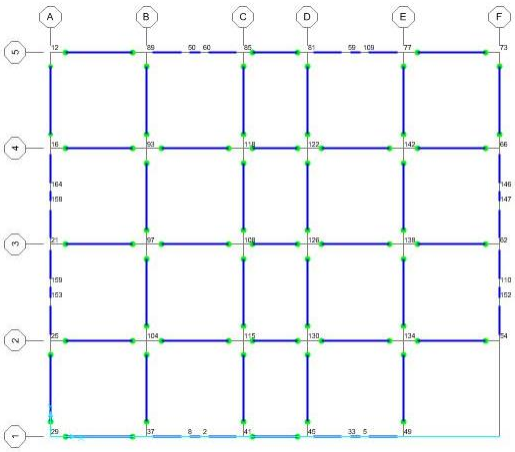
۳-۳- فاز سوم مطالعه

در این بخش رفتار نامنظمی در پلان مورد بررسی قرار گرفته است.

طراحی اولیه سازه‌ها به روش استاتیک خطی

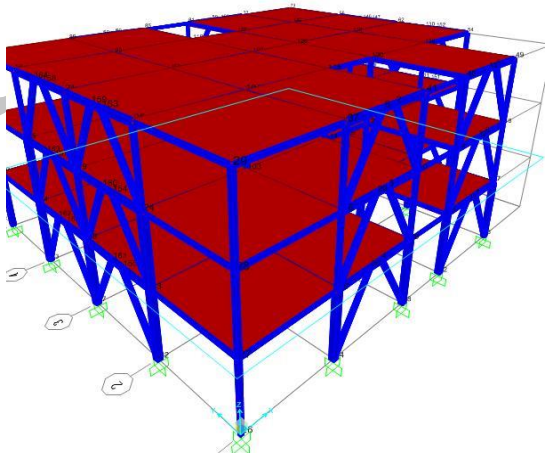
در مجموع برای انجام این تحقیق تعداد دو سری سازه ۳، ۶ و ۹ طبقه که در سری اول با مهاربند با ضریب رفتار ۶ و ۷ مهاربندی شده‌اند مورداستفاده قرار گرفته است. پلان این سازه‌ها مشابه بوده و دارای نامنظمی می‌باشد که در شکل به تصویر کشیده شده است.

www.SID.ir



شکل ۱۳- پلان نامنظم استفاده شده برای طراحی سازه‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار

برای طراحی اولیه سازه از روش استاتیکی خطی استفاده شده و با توجه به اینکه سازه نامتقارن در پلان است، نیروی زلزله در هر دو جهت اعمال‌شده است. علاوه بر آن خروج از مرکزیت اتفاقی نیز لحاظ گردیده است. در نهایت مدل طراحی شده برای سازه سه‌طبقه در مقطع آکس ۵، و به‌صورت سه‌بعدی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۴- سازه سه‌طبقه طراحی شده با مهاربند

با توجه به اینکه تیرها تنها حمل بارهای گرانشی را به عهده دارند مقاطع طراحی شده برای آن‌ها در تمامی سازه‌ها مشابه بوده (IPE160 برای دهانه‌های مهار نشده و IPE240 برای دهانه‌های مهارشده) و ستون‌ها نیز برای هر سه‌طبقه به‌صورت مشابه در نظر گرفته شده است. ارتفاع تمام طبقات ۳,۲ متر در نظر گرفته شده است. مشخصات مقاطع به‌کار رفته در سازه‌ها به‌صورت خلاصه در جدول ۴ ذکرشده است.

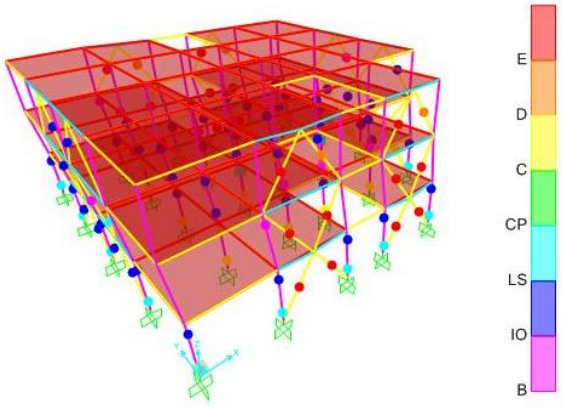
جدول ۴- مشخصات مقاطع به‌کار رفته در سازه‌های طراحی شده.

Story		Column	Beam	BRBF
3	0-3	Box250x250x15	IPE160&IPE240	2PL70x20
6	0-3	Box300x300x20	IPE160&IPE270	2PL100x20
	4-6	Box250x250x15	IPE160&IPE240	2PL70x20
9	0-3	Box350x350x20	IPE160&IPE300	2PL130x20
	4-6	Box300x300x20	IPE160&IPE270	2PL100x20
	7-9	Box250x250x15	IPE160&IPE240	2PL70x20

سازه سه‌طبقه

در این قسمت دو سازه سه‌طبقه مدل شده با مهاربند BRB با ضریب رفتار ۶ و ۷ مقایسه شده‌اند. تمامی شرایط مرزی و بارگذاری برای اعضاء و همچنین بارگذاری‌های لرزه‌ای برای این دو سازه مشابه بوده و تنها در ضریب رفتار با یکدیگر تفاوت دارند.

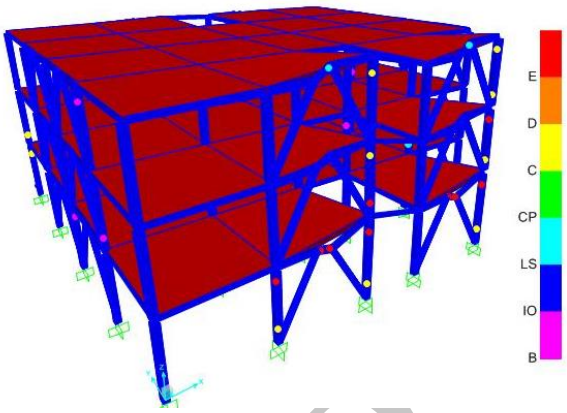
همان‌طور که از شکل مشخص است، در سیستم با ضریب رفتار ۶ مهاربندها به‌خوبی عمل کرده و قبل از سایر اعضاء مفصل شده‌اند و پس‌ازآنکه کلیه مهاربندها مفصل شده و به‌خوبی همانند فیوز عمل کرده و انرژی ناشی از زلزله را جذب کرده‌اند انرژی لرزه باعث تخریب سایر اعضاء (ستون‌ها) شده که این همان عملکردی است که در حین زلزله از این نوع از مهاربندها انتظار می‌رود.



شکل ۱۵- مفصل‌های تشکیل‌شده در اعضاء سازه سه‌طبقه پیش از تخریب (با ضریب رفتار ۶).

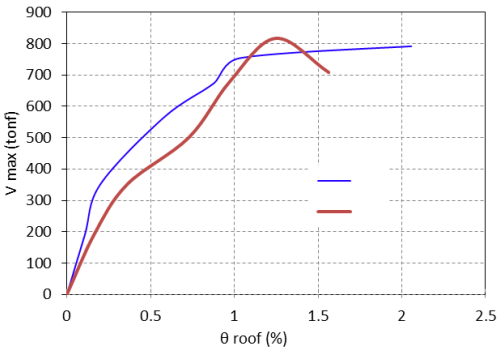
شکل ۱۶ مفصل‌های تشکیل‌شده در سازه سه‌طبقه مهاربندی‌شده با ضریب رفتار ۷ را به تصویر کشیده است. مشابه با آنچه که در مورد سازه قبل داشتیم، در این سیستم نیز مهاربندها به‌خوبی طراحی گردیده است و پیش از آنکه سایر اعضاء وارد فاز غیرخطی شوند مانند فیوز عمل کرده و انرژی ناشی از لرزه را جذب می‌کنند.

www.SID.ir



شکل ۱۶- مفصل‌های تشکیل‌شده در اعضاء سازه سه‌طبقه پیش از تخریب (ضریب رفتار ۷).

شکل ۱۷برش پایه برای دو نوع سیستم با ضریب رفتار مختلف را در سازه سه‌طبقه با یکدیگر مقایسه کرده‌اند.

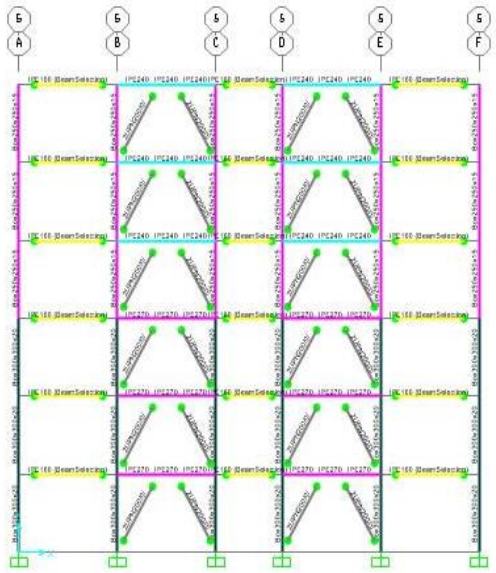


شکل۱۷: منحنی برش پایه حداکثر (V max) برحسب دریفت بام (θ roof) برای دو سازه سه‌طبقه مهاربندی‌شده با ضریب رفتار ۶ و ۷ (رنگ قرمز ضریب رفتار ۷، رنگ آبی ضریب رفتار ۶)

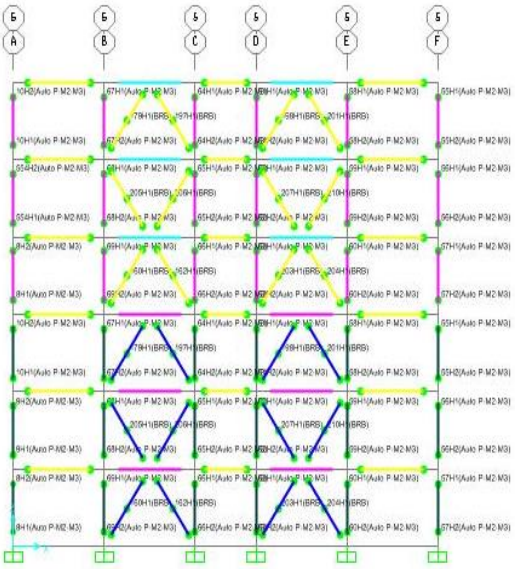
همان‌طور که از نمودارها مشخص است، با وجودی که مشخصات کلیه اعضاء در هر دو سازه مشابه بوده و تنها اختلاف آنها در ضریب رفتار دو سازه است، سازه با ضریب رفتار ۶ شکل‌پذیری مناسب‌تری را از خود نشان داده و انرژی ناشی از زلزله را به نحو مطلوب‌تری جذب نموده است.

سازه شش‌طبقه

در این قسمت دو سازه شش‌طبقه مدل شده با دو نوع ضریب رفتار مقایسه شده‌اند. تمامی شرایط مرزی و بارگذاری برای اعضاء و همچنین بارگذاری‌های لرزه‌ای برای این دو سازه مشابه بوده و تنها در میزان ضریب رفتار با یکدیگر اختلاف دارند.

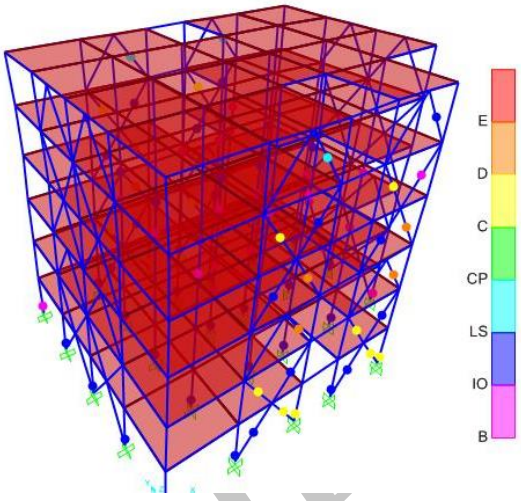


شکل ۱۸- سازه ۶ طبقه مهاربندی شده با ضریب رفتار ۶ (بالا) و مفاصل تعریف شده برای اعضاء (پایین)

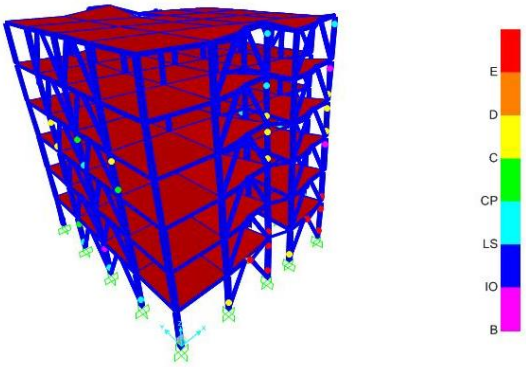


شکل ۱۹- سازه ۶ طبقه مهاربندی شده با ضریب رفتار ۷ (بالا) و مفاصل تعریف شده برای اعضاء (پایین)

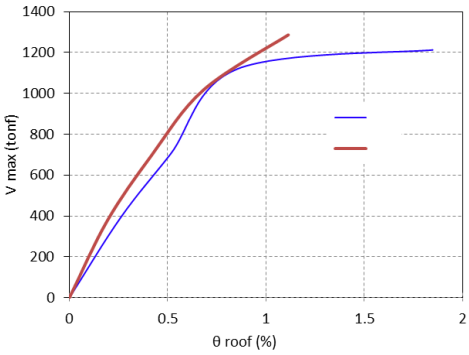
www.SID.ir



شکل ۲۰- مفصل‌های تشکیل‌شده در اعضاء سازه شش‌طبقه پیش از تخریب (سازه شش‌طبقه مهاربندی‌شده با ضریب رفتار ۶)



شکل ۲۱- مفصل‌های تشکیل‌شده در اعضاء سازه شش‌طبقه پیش از تخریب (سازه شش‌طبقه مهاربندی‌شده با ضریب رفتار ۷).

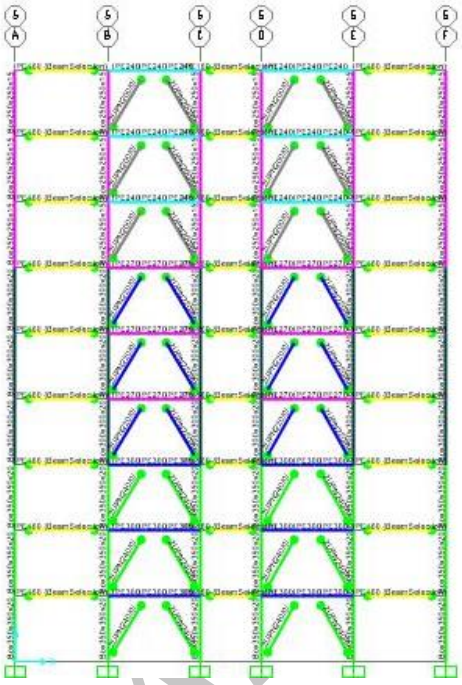


شکل ۲۲- منحنی برش پایه حداکثر (V max) برحسب دریفت بام (θ roof) برای دو سازه شش‌طبقه مهاربندی‌شده با ضریب رفتار ۶ و ۷ (رنگ قرمز ضریب رفتار ۷، رنگ آبی ضریب رفتار ۶)

همانطور که از نمودار بالا مشخص است در سازه شش طبقه سختی سازه‌ها تفاوت زیادی با یکدیگر نداشته ولی سازه مهارشده با ضریب رفتار ۷ مقاومت بالاتری از خود نشان می‌دهد ولی شکل‌پذیری آن نسبت سازه مهارشده با ضریب رفتار ۶ کمتر بوده که می‌توان این امر را ناشی تخریب طبقات میانی دانست.

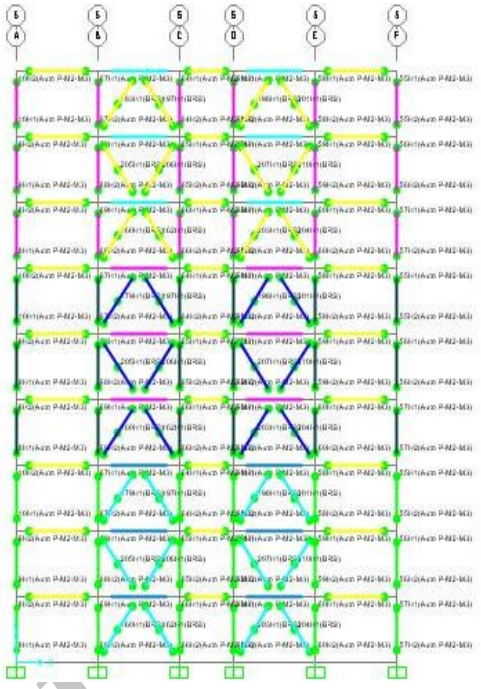
سازه نه‌طبقه

در این قسمت دو سازه نه‌طبقه مدل شده با دو ضریب رفتار ۶ و ۷ مقایسه شده‌اند. تمامی شرایط مرزی و بارگذاری برای اعضاء و همچنین بارگذاری‌های لرزه‌ای برای این دو سازه مشابه بوده و تنها ضریب رفتارها متفاوت هستند.

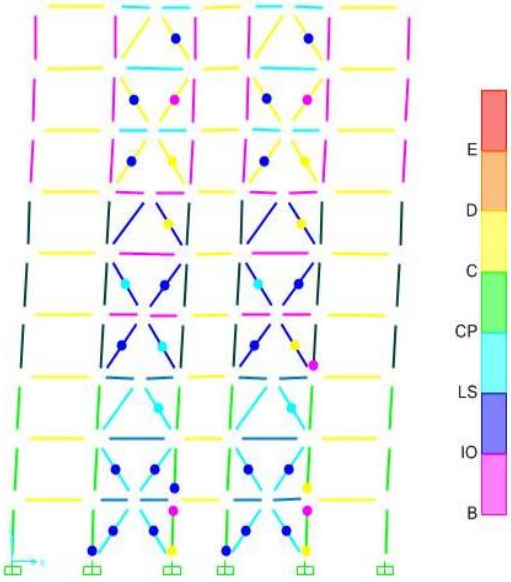


شکل ۲۳- سازه ۹ طبقه مهاربندی شده با ضریب رفتار ۶ (بالا) و مفاصل تعریف شده برای اعضاء (پایین)

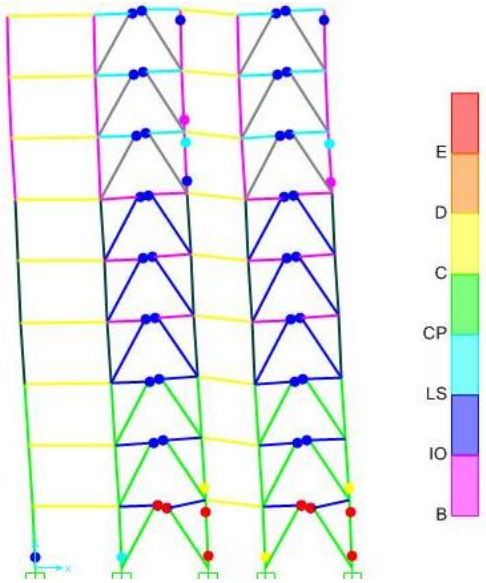
www.SID.ir



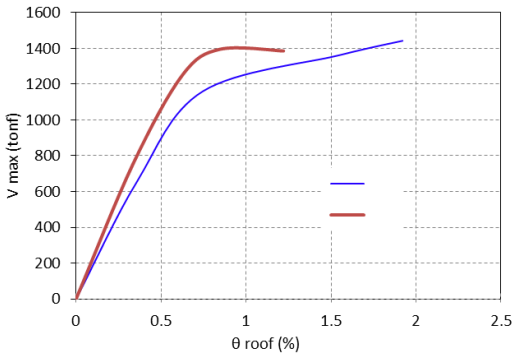
شکل ۲۴- سازه ۹ طبقه مهاربندی شده با ضریب رفتار ۷ (بالا) و مفاصل تعریف شده برای اعضاء (پایین)



شکل ۲۵- مفصل‌های تشکیل شده در اعضاء سازه ۹ طبقه پیش از تخریب (سازه نه طبقه مهاربندی شده ضریب رفتار ۷)



شکل ۲۶- مفصل‌های تشکیل شده در اعضاء سازه ۹ طبقه پیش از تخریب (سازه نه طبقه مهاربندی شده ضریب رفتار ۶)



شکل ۲۷- منحنی برش پایه حداکثر (V max) برحسب دریفت بام (θ roof) برای دو سازه ۹ طبقه مهاربندی‌شده با ضریب رفتار ۶ و ۷ (رنگ قرمز ضریب رفتار ۷، رنگ آبی ضریب رفتار ۶)

همانطور که از نمودارهای بالا مشخص است در سازه ۹ طبقه سختی سازه‌ها تفاوت اندکی با یکدیگر داشته و در مقاومت آنها نیز تفاوت چندانی دیده نمی‌شود ولی سازه مهارشده با ضریب رفتار ۶ شکل پذیری بهتری از خود نشان می‌دهد که می‌توان این امر را ناشی از توزیع بهتر تنش در میان طبقات دانست.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه ابعاد متفاوت تأثیر ضریب رفتار بر سازه‌های مختلف بررسی شد. برای این منظور مطالعه در سه فاز مختلف انجام شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه نتایج زیر به صورت خلاصه حاصل شده است:

- افزایش خروج از مرکزیت تاثیر چندانی در کارایی سیستم در ساختمانهای یک طبقه ندارد ولی در ساختمانهای چهار

www.SID.ir

طبقه کارایی سیستم را کاهش می‌دهد. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهند، افزایش خروج از مرکزیت، تغییر مکان به دست آمده از مرکز جرم را در ساختمان با ضریب رفتار ۷، درصدی کاهش می‌دهد. در ساختمان با ضریب رفتار ۷، افزایش خروج از مرکزیت باعث کاهش در تغییر مکان می‌شود ولی درصد تغییرات در تغییر مکان با افزایش خروج از مرکزیت در ضریب رفتار ۶ افزایش می‌یابد.

- ضریب رفتار در ساختمان، تاثیر بسزایی در تغییر مکان افقی سازه ندارند. چراکه در ساختمان‌های یک و چهار طبقه، طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ، اثر پیچش لحاظ نمی‌شود، و به این علت، ضریب رفتار مختلف در ساختمان‌های یک و چهار طبقه، تاثیر چندانی در نیروی زلزله ندارد.
- با بررسی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی بر روی سازه‌های مورد مطالعه ۳ طبقه، ۶ طبقه و ۹ طبقه فولادی در دو حالت با ضریب رفتار ۶ و رفتار ۷ مشخص شد افزایش ضریب رفتار سوای از تعداد طبقات و ارتفاع سازه می‌تواند نقش بسیار مهمی در کاهش قابل ملاحظه‌ی پاسخ لرزه‌ای در سازه‌های مورد مطالعه داشته باشد.
- سازه با ضریب رفتار ۶ شکل‌پذیری مناسب‌تری را از خود نشان داده و انرژی ناشی از زلزله را به نحو مطلوب‌تری جذب نموده است.

مراجع

[۱]غلامرضا قدرنی امیری، فرهاد خالدیان" تاثیر ارتفاع بر ضریب رفتار سیستم‌های فولادی قاب خمشی" ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۲]فرهاد بهنام فر، مهدی روغنی" اصلاحات پیشنهادی ضریب رفتار Rدر آیین‌نامه زلزله ایران برای سازه‌های فولادی قاب خمشی و قاب مهاربندی شده" چهارمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

[3] M. Ferraioli, A. Lavino & A. Mandara" Behaviour Factor for seismic design of moment-resisting steel frames" Department of Civil Engineering, Second University of Naples,15 WCEE ,Lisboa 2012

[4] Mussa Mahmoudia and Mahdi Zaree" Determination the Response Modification Factors of Buckling Restrained Braced Frames" Procedia Engineering 54 (2013) 222 – 231

[5] Mohssen Izadinia , Mohammad Ali Rahgozar , Omid Mohammadrezaei" Response modifi cation factor for steel moment-resisting frames by different pushover analysis methods" Journal of Constructional Steel Research 79 (2012) 83–90

[6] Mussa Mahmoudi , Mohammad Ghasem Abdi" Evaluating response modifi cation factors of TADAS frames" Journal of Constructional Steel Research 71 (2012) 162–170

[۷] بنازاده، مهدی"بررسی فنی و اقتصادی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۱و ۲ مقایسه با آیین‌نامه سایر کشورها" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران،۱۳۷۹

[8] Abdollahzadeh, Gholamreza, Heidar Farzi-Bashir, and Mohammadreza Banihashemi. "Seismic Retrofitting of Steel Frames with Buckling Restrained and Ordinary Concentrically Bracing Systems with Various Strain Hardening and Slenderness Ratios." Journal of Rehabilitation in Civil Engineering 2.2 (2014): 20-31.

Archive of SID

www.SID.ir

Investigating Coefficient of Steel Frame Behavior Under the Influence of Structural Geometry

Babak Hesamzadeh
Master of Civil Engineering - Structural Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran
Mohammad Reza Hashemi
Scientific member, Department of Civil Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University,Damghan, Iran

Abstract:

The analysis and design of structures based solely on the elastic behavior of the members and the lack of attention to the plastic behavior in tolerating of the lateral forces leads to noneconomic design. All the regulations in the world, a special coefficient, called the building's coefficient of behavior, which is calculated to reduce the earthquake forces is considered and allows the designer to analyze the elastic structure under reduced forces and design based on its results. The magnitude of this coefficient in the earthquake regulations is based primarily on the observations of the performance of various building systems in past strong earthquakes and based on engineering judgments. Accordingly, many researchers have expressed concern about the lack of reasonable coefficient of behavior, based on research studies and computational backing in earthquake regulations, and emphasized on the correction of these coefficients based on scientific studies. By studying the results of dynamic analysis on the studied structures in two types with behavior factor 6 and behavior 7, it was shown that increasing the coefficient of behavior can play a very important role in the Seismic response. The coefficient of behavior in the building does not have a significant effect on the horizontal displacement of the structure. Because in the buildings of one and four story, according to the 2800, the effect of twisting is not considered, and because of this, the coefficient of behavior in the buildings of one and four floors does not have much effect on the earthquake force.

Keywords: behavioral coefficient, dynamic and static analysis, inregularity plan, seismic response

Archive of SID
www.SID.ir