تحلیل عملکردی رفتار ساختمانهای فولادی با قابلیت افزایش طبقات

سیناکیانی[۱]*، مصطفی صاحبدل[۲]، علی رحمانی فیروزجائی[۳]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، s.kiani@stu.nit.ac.ir

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدرس گروه عمران، مؤسسه آموزش عالی وحدت تربت جام، Sahebdel@vahdat.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، rahmani@nit.ac.ir

Archive of SID

چکیده

نیاز به افزایش مساحت زیر بنا و یا تعداد طبقات یک ساختمان، یکی از نیازهای متداول بسیاری از مالکین است. اما از آنجا که افزایش مقاومت بسیاری از اجزاء سازه اولیه، ممکن است مشکل، پرهزینه و حتی گاهی غیر ممکن باشد، استفاده از ظرفیت موجود سازه به‌همراه تکنولوژی‌های نوین ساخت (سبک سازی) بیشتر مورد علاقه مالکین قرار دارد. در این تحقیق هدف بررسی قابلیت افزایش تعداد طبقات ساختمان با توجه به ظرفیت لرزه‌ای موجود سازه است. با استفاده از بادبندهای کمانش ناپذیر این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است. قاب‌های خمشی فولادی با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ طراحی شده و پس از اضافه کردن طبقات و تحلیل استاتیکی غیرخطی، لزوم بهسازی مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش برش پایه در قاب با مقطع A نسبت به همان قاب با مقطع B، به طور میانگین ۴۹٪ است و همین افزایش در قاب Y به طور میانگین ۳۹/۶٪ می باشد. همچنین به نظر می‌رسد استفاده از مهاربندهای کمانش ناپذیر در قاب‌های میانی عملکرد بهتری از خود نشان داده است. از طرفی با افزایش تعداد طبقات بر میزان انرژی جذب شده سازه افزوده می‌شود. این افزایش برای زمانی‌که مهاربندها در دهانه میانی قرار دارند نسبت به حالتی که مهاربندها در دهانه کناری جاگذاری شده‌اند به میزان ۲۹/۳۳٪ بیشتر است.

واژگان کلیدی: اضافه طبقات- تحلیل پوش آور – بهسازی لرزه‌ای- مهاربندهای کمانش ناپذیر.

www.SID.ir

۱- مقدمه

در سال های اخیر با توجه به ارزش اقتصادی ساختمان های موجود، سعی بر این بوده است که پایداری ساختمان ها از دید حداقل های لازم مورد بررسی قرار گرفته و در همین رابطه دستورالعمل های مقاوم سازی تدوین شده اند. کاهش خسارت جبران ناپذیر زلزله همواره هدف نهایی محققین و دانشمندان علم مهندسی بوده است همزمان با پیشرفت علوم کاربردی مخصوصا علوم رایانه ای ایده ها و دیدگاههای مهندسی زلزله نیز ارتقاء قابل توجهی یافته است. امروز ترس و نگرانی از خطرات زلزله جای خود را به امید و اعتماد داده است. تفکر بهسازی لرزه ای ساختمان ها به دلیل موفقیت چشمگیر در نجات انسان ها همچنان بی وقفه و با شکیبایی روز افزون در حال پیشروی است. لذا با امعان به توسعه روز افزون تکنولوژی و علم تحلیل سازه‌ها، ارزش افزوده زمین و نیاز مالکین به افزایش طبقه بر روی بنای موجود نیز ضروری است تا اثرات افزایش طبقات بر روی سازه های موجود در هنگام وقوع زلزله بررسی گردد.

مین هو چی و همکاران در سال ۲۰۱۳ اثرات افزایش طبقه را با مدل کردن یک ساختمان ۱۲ طبقه و اضافه نمودن ۲ و ۴ طبقه به ساختمان موجود بصورت جداسازی شده با استفاده از تحلیل دینامیکی بررسی نمودند و بیان داشتند که طبقات اضافه شده با سیستم جداسازی شده می تواند بطور موثر پاسخ لرزه ای را برای سیستم های چند درجه آزادی در تمام محدوده تغییر سیستم ناشی از حرکات زمین بدون نیاز به جرم سنگین اضافی تحمل نماید[۱]. ژان شنگ چنگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ پاسخ لرزه ای یک ساختمان ۵ طبقه بتنی با طبقات فولادی سبک اضافه شده بطور مستقیم با میراگرهای ویسکوز را با استفاده از نرم افزار المان محدود Sap 2000 مورد بررسی قراردادند و بیان کردند که پس از اضافه کردن طبقات ، ساختمان انعطاف پذیر می شود و برش در طبقات پایین کاهش می یابد[۲].

رهگذر و قنبری در سال ۱۳۸۸ نسبت به ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود با قاب خمشی دارای مهار بند واگرا در تعداد طبقات ۵، ۱۰و ۱۵ طبقه به روش تحلیل استاتیکی غیر خطی و طیف ظرفیت اقدام و بیان داشتند که سازه هاتحت بهسازی مبنا بین ۲۹ تا ۳۸ درصد اعضایشان مورد پذیرش نبوده و احتیاج به مقاوم سازی دارند و درصد اضافه وزن ساختمان ها حداکثر به ۱۳ درصد می رسد[۳].

نادران و صادقی نژاد در سال ۱۳۸۹ ، ضمن بررسی آسیب پذیری ساختمان موجود ۵ طبقه فلزی در مقابل نیروی زلزله ، راهکارهای مقاوم سازی با توجه به معماری ساختمان و سهولت اجرا ارائه دادند. در روند مقاوم سازی از گزینه های سبک سازی، تقویت اعضاء یا اضافه نمودن اعضای بادبندی استفاده نموده و پارامترهای لرزه ای گزینه های پیشنهادی را با گزینه سبک سازی مورد مقایسه قرار دادند. و بیان داشتند که :

Archive of SID

الف) اگر چه در اجرای گزینه های مختلف مشاهده گردید که سبک سازی (دیوارها و سقف ها) معیار مناسبی برای کاهش نیروی برش پایه در سازه گردیده است اما سبک سازی بدون تقویت و یا اضافه نمودن اعضای سازه ای نتوانسته پارامترهای معیار پذیرش دستورالعمل بهسازی (سطح عملکرد و سطح خطر مورد نظر) را برآورده نماید.

ب) استفاده تلفیقی از سبک سازی و تقویت اعضای سازه ای (یا اضافه نمودن المان های بادبندی) راهکار مناسبی در انتخاب روش مقاوم سازی سازه های فولادی توسط مهندس طراح می باشد[۴].

مهدی پور در سال ۱۳۹۰ ، کارآیی روش های تحلیل غیر خطی در ارزیابی لرزه ای ساختمان فولادی با قاب خمشی متوسط را براساس معیار تغییر مکان جانبی مورد بررسی قرار داد که برای تحلیل از روش های دینامیکی و استاتیکی غیر خطی استفاده نمودند. بیان کردند که روش های استاتیکی غیر خطی گر چه در تخمین تغییر مکان نسبی طبقات دست بالاترند اما در ارزیابی سطح عملکرد سازه در قیاس با تحلیل دینامیکی غیر خطی از دقت کافی برخوردار بوده و قابل استناد می باشد[۵].

رئیسی دهکردی و علیزاده اسفیوجی در سال ۱۳۹۲ با طراحی سه تیپ ساختمان فولادی قاب خمشی ۴ ، ۸ و ۱۲ طبقه به صورت منظم و نامنظم در پلان و ارتفاع ، براساس ضوابط ویرایش اول آیین نامه ۲۸۰۰ ، سپس عملکرد لرزه ای این ساختمان ها را براساس دستورالعمل بهسازی لرزه ای با انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی مورد ارزیابی قرار دادند و میزان آسیب پذیری و سطوح عملکرد و نیاز به بهسازی این سازه ها را مشخص و با یکدیگر مقایسه نمودند و نتایج تحقیق را به شرح ذیل بیان داشتند:

الف) قاب های خمشی فولادی منظم دارای آسب پذیری موضعی هستند و قاب های خمشی فولادی نامنظم آسیب پذیرترند.

ب)ستون های طبقه اول و طبقات میانی در قاب های خمشی منظم و نامنظم در سطوح مختلف زلزله آسیب پذیرند.

ج)در سازه های بلند مرتبه با توجه به افزایش تغییر مکان هدف میزان آسیب پذیری و مفاصل خارج از سطوح عملکرد به مراتب افزایش می یابد[۶].

نفیسی ، رهگذر و فروغی در سال ۱۳۹۲ ، آسیب پذیری موضعی و کلی یک ساختمان ۵ طبقه فولادی را با استفاده از نرم افزار Performance و روش تحلیل غیر خطی در زلزله سطح خطر یک و برای هدف بهسازی مبنا مورد بهسازی لرزه ای قرار دادند و بیان داشتند که :

الف)طرح بهسازی کلی همراه با موضعی ، سختی و مقاومت جانبی بیشتری را نسبت به طرح بهسازی موضعی در سازه سبب می شود اما تفاوت چندانی با هم ندارند. طرح بهسازی کلی نیز اگر با تقویت موضعی اعضاء به همراه نباشد سبب کاهش مقاومت در سازه می گردد.

Archive of SID

ب)در بهسازی موضعی و بهسازی کلی همراه با موضعی ، سازه سختی و مقاومت بالایی از خود نشان می دهد که بیانگر این است هر چه سازه سخت تر باشد نیاز به شکل پذیری آن بیشتر می باشد.

ج)درصد تغییر وزن کل اعضاء پس از بهسازی موضعی به ۶,۷۵ درصد و پس از بهسازی کلی همراه با موضعی ۳۹,۱۸ درصد می رسد. و در هر یک از این دو طرح بهسازی بیشترین درصد تغییر وزن به مهار بند ، تیر و ستون اختصاص دارد.

د)از لحاظ افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه ، بهترین طرح بهسازی ، بهسازی کلی همراه با موضعی می باشد در صورتیکه از لحاظ اقتصادی ، کمترین درصد وزن اعضاء به بهسازی موضعی اختصاص دارد[۷].

سید کاظمی و حسینعلی بیگی در سال ۱۳۹۳ با مدل کردن چهار تیپ ارتفاعی ساختمان شامل ۲ ، ۴ ، ۶ و ۸ طبقه با کاربری مسکونی و قاب خمشی فولادی معمولی نسبت به بررسی و اتخاذ مناسب ترین روش تحلیل جهت بهسازی اقدام که نتایج به شرح ذیل را بیان داشتند:

الف)در بهسازی ساختمان های تا ۶ طبقه (ساختمان های کوتاه و متوسط) روش استاتیکی غیر خطی مناسب تر از روش دینامیکی خطی است و باعث می شود ضمن در نظر گرفتن رفتار واقعی سازه ها ، هزینه بهسازی به حداقل ممکن برسد

ب) در ساختمان ۸ طبقه (ساختمان نسبتا بلند) بهسازی با روش دینامیکی طیفی مناسب تر از روش استاتیکی غیر خطی بوده و هزینه کمتری دارد. لذا در بهسازی ساختمان های بلند توجه به روش های دینامیکی ضروری است و اگر این امر با تحلیل های غیر خطی همراه شود. بهترین نتایج حاصل خواهد شد.

ج)هزینه های بهسازی با روش های مختلف ، متفاوت است با این وجود بهسازی با هر روشی انجام شود درصد اضافه وزن ساختمان های بهسازی شده حداکثر به ۱۴ درصد می رسد لذا هزینه قابل ملاحضه ای از بابت بهسازی تحمیل نمی شود[۸].

فلاح و علاقه مند در سال ۱۳۹۳ با مدل کردن یک ساختمان ۵ طبقه فولادی منظم نسبت به بررسی و ارزیابی روش تحلیل پوش آور برای سه نوع سیستم شکل پذیری معمولی ، متوسط و ویژه در برنامه Sap2000 v14 اقدام نمودند. ایشان در این تحقیق بیان نمودند:

الف) هر چه شکل پذیری بیشتر باشد ، اعضاء زودتر مفصل پلاستیک تشکیل می دهند ، درنتیجه خرابی یا خسارت یا آسیب بیشتر می شود هر چند ممکن است با شکل پذیری بیشتر مقطع بهینه تر شود.

ب)هر چه شکل پذیری بیشتر باشد ، اعضاء بعد از تشکیل اولین مفصل پلاستیک تغییر شکل بیشتری را تحمل می کند. یعنی طول ناحیه غیر خطی آن بیشتر است در واقع در سطح عملکردی بالاتری کاربرد دارد.

ج)هر چه شکل پذیری بیشتر باشد با نیروی برشی پایه تسلیم کمتری وارد ناحیه غیر خطی می شود[۹].

Archive of SID

رحمتی ، گودرزی و قانونی بقا در سال ۱۳۹۳ با مقایسه دو سازه ۵ طبقه بتنی با و بدون میانقاب که مطابق با دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران به روش استاتیکی غیر خطی تحلیل نمودند. اثرا ت آن را در طرح بهسازی لرزه ای ساختمان ها به شرح ذیل بیان داشتند:

الف)میان قاب ها به طور قابل توجهی باعث افزایش مقاومت و سختی سازه می شوند همچنین اثر میانقاب ها در بهسازی لرزه ای سازه ها زیاد است.

ب)میانقاب ها باعث کاهش تناوب سیستم سازه می شود که این کاهش باعث افزایش نیروی وارد بر سازه می شود[۱۰].

۲- تحلیل استاتیکی غیرخطی

این روش خواص غیرخطی مصالح را نیز مدل می‌کند. به همین دلیل در ارزیابی عملکرد سازه‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش تنها بخشی از منحنی هیسترزیس سازه مورد بررسی قرار گرفته و در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها فقط حداکثر جابجایی‌های غیرخطی مورد توجه قرار می‌گیرد. این روش که به تحلیل بارافزون[۱] مشهور است، روشی است که از سال ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفته و در ۲۰ سال اخیر پیشرفت چشمگیری داشته و به دلیل سادگی نسبت به دیگر تحلیل‌های غیرخطی، مورد استقبال بیشتری قرار گرفته است. این روش نیز مانند سایر روش‌ها با ساده سازی‌هایی همراه است که باعث عدم قطعیت‌هایی در نتایج می‌گردد. در اغلب آیین‌نامه‌های معتبر بکارگیری روش بارافزون در بررسی و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها توصیه شده است. در این روش، هر عضو به گونه‌ای طراحی می‌شود که دارای عملکرد مورد نیاز در مقابل زمین لرزه‌های مورد نظر باشد. تحلیل استاتیکی غیرخطی جزء روش‌های تحلیل ساده شده به حساب می‌آید.

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، بارجانبی به تدریج افزایش داده می‌شود تا آنجا که تغییرمکان در نقطه معینی از حد مورد نظر فراتر رود. درهنگام افزایش بار جانبی تغییرشکل‌ها و نیروهای داخلی بطور مداوم تحت نظر قرار می‌گیرد. این روش مشابه روش تحلیل استاتیکی خطی است با این تفاوت که:

۱- رفتار غیر خطی تک تک اعضا و اجزای سازه در تحلیل وارد می‌گردد.

۲ - اثر زلزله به جای اعمال بار مشخص، بر حسب تغییر شکل برآورد می‌گردد.

در اغلب پژوهش‌های به انجام رسیده، به منظور تخمین دقت نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی، از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شده است. در این پژوهش، تحلیل استاتیکی غیرخطی فقط بر مبنای مود اول نوسان سازه می‌باشد. این موضوع موجب کاهش دقت نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی،

[۱] Push over

Archive of SID
www.SID.ir

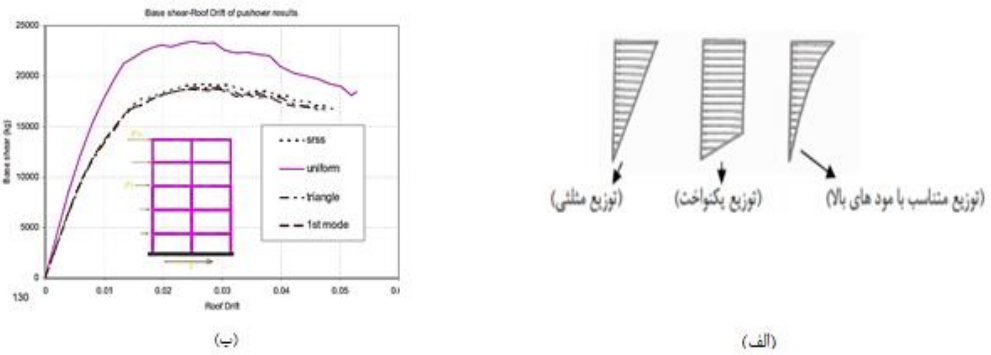
به‌ویژه برای سازه‌های بلند (که اثرات مودهای بالاتر حائز اهمیت است)، می‌شود. درعین حال روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی باتوجه به سرعت بالای انجام این تحلیل‌ها و سادگی تفسیرنتایج در مقایسه باروش‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی به سرعت مورد اقبال مهندسان واقع شده‌اند. با وجود آنکه مقادیر بدست آمده از آنالیز بار افزون(تحلیل پوش آور) با مقادیر دقیق بدست آمده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی(روشRHA) مطابقت دارد. این تحلیل دارای معایبی نیز می‌باشد:

آنالیز پوش آور نمی‌تواند مقادیر تجمعی پاسخ را بدست آورد. به طور مثال انرژی تلف شده در زمان تسلیم تحت زلزله یا چرخش تجمعی یک مفصل پلاستیک. در سازه‌های بلند که مودهای دوم و سوم هم تاثیر زیادی در منظور نمودن رفتار سازه در خود دارند فرض استفاده از مود اول نمی‌تواند از دقت بالایی برخوردار باشد. زیرا بار توزیع نیروهای اینرسی و تغییرات خصوصیات ارتعاشی پس از ورود سازه به مرحله غیرخطی در آنها دیده نشده است. روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مودال (الاستیک) در مقایسه با روش‌های تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی در سطوح زلزله‌های پایین دارای دقت مناسبی می‌باشد اما در سطوح زلزله‌های بالا اختلاف زیادی دارد، که پیشنهاد می‌شود برای این حالت، می‌توان الگوی بارگذاری جانبی بر اساس شکل مود پلاستیک سازه در انتهای تغییرمکان هدف اولیه، به سازه‌ها اعمال گردد. به دلیل حرکات رفت و برگشتی تغییر رفتار غیرخطی اجزای سازه مستقیما منظور نمی‌شود. زیرا در این روش فقط یک چهارم دوره‌ی تناوب ارتعاش بررسی می‌گردد. به این ترتیب ممکن است محاسبه نیروها و برآورد تغییر شکل‌های خمیری با خطا انجام شود خصوصا زمانی که به دلیل افزایش تغییرشکل‌های خمیری اثر مودهای بالاتر قابل توجه شود.

۲-۱- توزیع بار جانبی در تحلیل پوش آور

در روش تحلیل پوش‌آور، بار جانبی در مقطع طولی به ساختمان اعمال می‌شود که به طور تقریبی بیان کننده نیروهای اینرسی زلزله‌ای وارد بر سازه است و با توجه به ارائه و کاربرد روز افزون روش طراحی بر اساس عملکرد، استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی نیز مورد استفاده قرار گرفته است که بر همین اساس الگوهای توزیع بارجانبی مختلفی ارائه شده است که در تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی بکار می‌رود. توزیع یا الگوی بار بدین معنا است که در هنگام رانش سازه، به هر طبقه به چه نسبت نیرو وارد می‌شود. نحوه توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان در طول ارتعاشات زلزله بسیار پیچیده است. بعضی از این حالت‌های مختلف توزیع نیروی جانبی در شکل۱ نشان داده شده است.

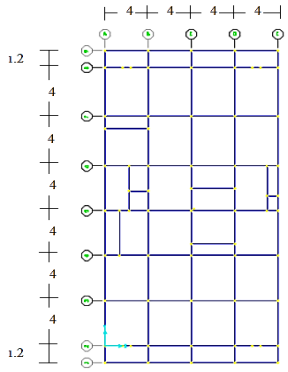
Archive of SID



شکل۱: (الف) نحوه توزیع بارگذاری در تحلیل پوش آور، (ب) برش پایه-تغییرمکان الگوهای مختلف بارگذاری

۳- مدلسازی

سازه‌های فولادی مورد استفاده در این تحقیق که بر روی خاک نوع ۲واقع شده‌اند دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی در هر دو جهت با شکل پذیری متوسط بوده و در ۳، ۵ ، ۱۰ طبقه می‌باشند (**Error! Reference source not found.**). طول و عرض سازه به‌ترتیب ۲۴ و ۱۶ متر می‌باشد. ارتفاع برای هر طبقه برابر با ۳ متر لحاظ شده است. سازه‌های مذکور بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و مقررات ملی ساختمان مبحث دهم (طرح و اجرای سازه‌های فولادی) به روش حالات حدی، با استفاده از نرم‌افزارSap2000 طراحی شده‌اند. اضافه کردن طبقات را تا جایی در نظر گرفته می‌شود که نیاز به تقویت تیر و ستون‌ها نباشد و با استفاده از بادبند، عملکرد ساختمان در محدوده مناسب قرار گیرد. در ادامه، پس از اضافه نمودن طبقات بر سازه‌های موجود و بررسی نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک، از مهاربندهای کمانش ناپذیر(BRB) در مقاوم سازی استفاده شده است. اضافه کردن مهاربندها در دو حالت و با سطح مقطع‌های مختلف Aو B بوده که این در جدول۲، نمایش داده شده است.



شکل ۲: پلان مورد بررسی

Archive of SID

جدول۱: بارگذاری مدل ها بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران

بار زنده سقف بام	بار زنده سقف طبقات	بار مرده جان پناه بام	بارمرده دیوار جانبی طبقات	بار مرده سقف طبقات و بام	نوع بار
۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۶۰۰	۶۰۰	مقدار (kg/cm2)

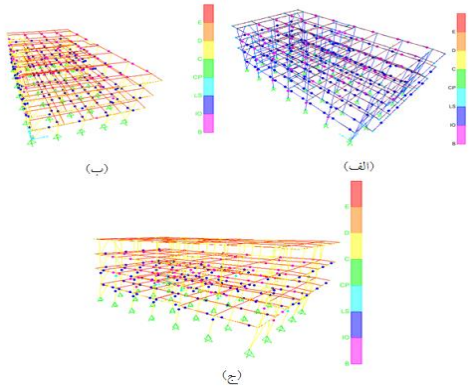
جدول ۲: مقاطع بادبند کمانش ناپذیر در طبقات مختلف

نام مدل	مقطع بادبند کمانش ناپذیر		
SBRB3+1		B A=30e-4	A A=15e-4
SBRB5+1		B	A
	۳-۱	A=30e-4	A=15e-4
	۶-۴	A=20e-4	A=10e-4
SBRB10+2		B	A
	۴-۱	A=20e-4	A=40e-4
	۸-۵	A=15e-4	A=30e-4
	۱۲-۹	A=10e-4	A=20e-4

۴-بررسی نتایج

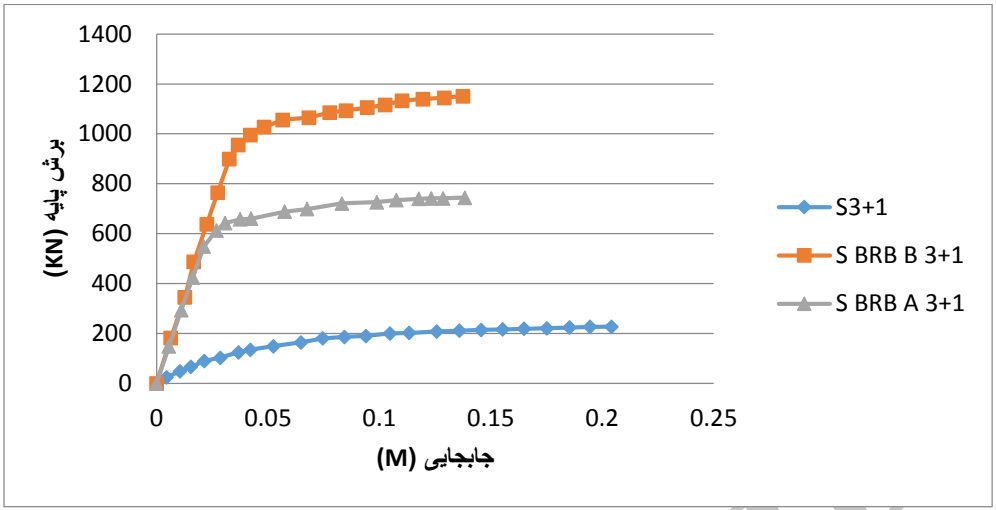
۴-۱- سازه ۳ طبقه

با اضافه کردن،۱ طبقه با مشخصات تابع همانند طبقه آخر به سازه ۳ طبقه، وضعیت سازه قبل و بعد از بهسازی با توجه به موقعیت‌های مختلف قرار دادن مهاربندها بررسی می‌شود. پس ازاضافه کردن ۱ طبقه به سازه ۳ طبقه (S3+1)، وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و مقاوم سازی شده به‌صورت زیر ارائه گردیده است.

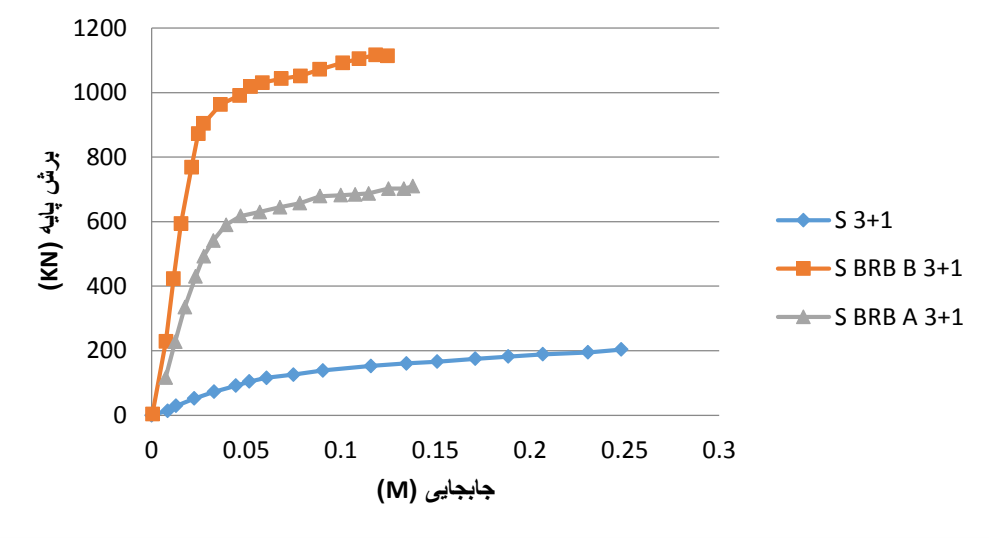


شکل۳: وضعیت تشکیل مفاصل در سازه، (الف) S3+1، (ب) SBRBA 3+1 ،(ج) SBRBb 3+1

www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۴: نمودار برش پایه تغییرمکان قاب چهار طبقه در حالات مختلف در جهت X



شکل ۵: نمودار برش پایه تغییرمکان قاب چهار طبقه در حالات مختلف در جهت Y

اضافه کردن مهاربند موجب افزایش چشمگیر در برش پایه قابل تحمل توسط قاب شده و انرژی جذب شده نیز افزایش می‌یابد، این افزایش در انرژی به طور میانگین ۳/۵ برابر قاب خمشی می‌باشد. با افزودن مهاربند، تغییرات تغییرمکان در ارتفاع کاهش یافته و در بیشترین حالت، تغییرمکان ۴۸٪ کاهش از خود نشان می‌دهد. در نتیجه افزودن مهاربند کمانش ناپذیر سبب کاهش دریفت‌های سازه قاب خمشی به‌طور موثر خواهد شد در نتیجه نحوه مفاصل پلاستیک در سازه به‌صورت زیر خواهد بود:

www.SID.ir

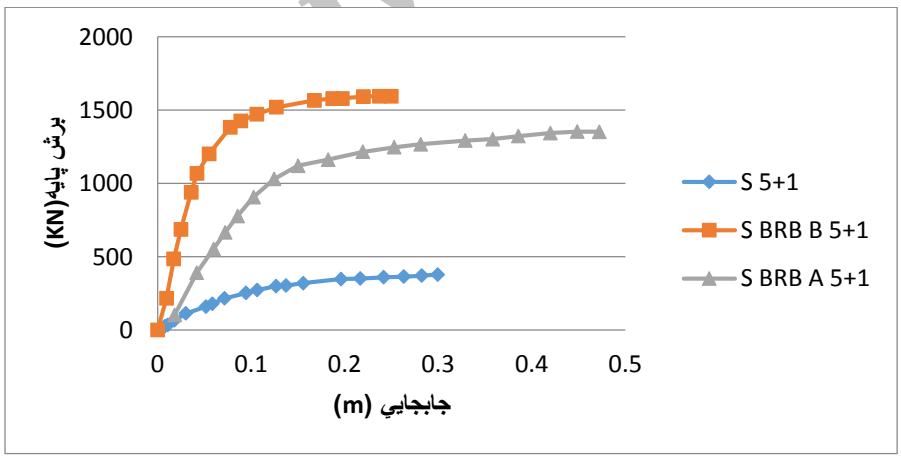
جدول۳: بررسی پارامتری سازه های مهاربندی شده سازه های ۴ طبقه

مدل	برش پایه حداکثر (KN)	سختی اولیه($\frac{N}{m^2}$)	حداکثر دریفت بام	شکل پذیری
S 3+1				
X	۲۲۷	۳۱۸۴	۱/۳۸۴	۴/۳۲
Y	۲۰۴	۲۰۵۹	۱/۶۵۵	۴/۲۲
SBRB A 3+1				
X	۷۴۴/۱	۲۲۸۶۳	۱/۱۵۱	۴/۱۱
Y	۷۰۹/۹	۱۴۹۸۳	۱/۲۰۸	۳/۶۵
SBRB B 3+1				
X	۱۱۵۱/۳	۲۳۵۸۶	۱/۱۱۲	٤/۷۱
Y	۱۱۱۳/٦	۳۲۹۱۷	۱/۲۲۹	٤/۱٤

با توجه به اینکه در این تحقیق، هدف یافتن کمترین ابزار برای مقاوم‌سازی است. از این‌رو پس از اضافه کردن طبقه دوم، دیده می‌شود که احتیاج به افزایش ابعاد تیر و ستون می‌باشد. با تغییر پلان دیده شده که افزایش طبقات در سازه‌های متقارن مربعی به میزان کمتری به مقاوم سازی احتیاج داشته است.

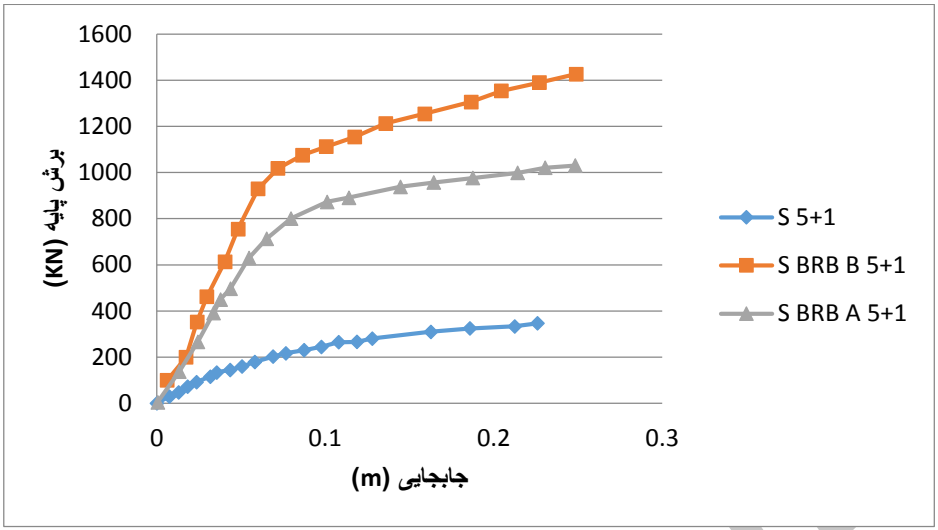
۴-۲- سازه ۵ طبقه

با اضافه کردن ۱ طبقه با مشخصات طبقه آخر به سازه ۵ طبقه، وضعیت سازه قبل و بعد از بهسازی با توجه به موقعیت‌های مختلف قرار دادن مهاربندها بررسی می‌شود.



شکل۶: نمودار برش پایه تغییر مکان قاب شش طبقه در حالات مختلف در جهت X

www.SID.ir
Archive of SID



شکل۷: نمودار برش پایه تغییر مکان قاب شش طبقه در حالات مختلف در جهت Y

جدول۴: بررسی پارامتری سازه‌های مهاربندی‌شده سازه‌های ۶ طبقه

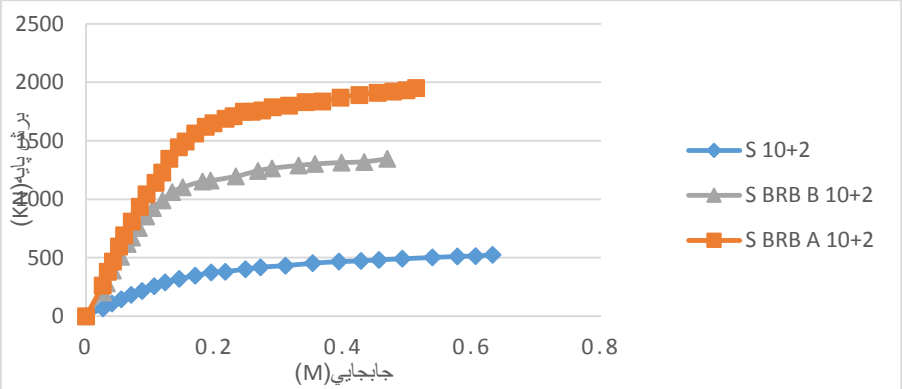
مدل	برش پایه حداکثر (KN)	سختی اولیه($\frac{N}{m^2}$)	حداکثر دریفت بام (درصد)	شکل پذیری
S 5+1				
X	۳۷۹	۳۰۲۲	۱/۷۰۴	۴/۹
Y	۳۴۶/۷	۳۰۷۶	۱/۹۰۹	۴/۳
SBRB A 5+1				
X	۱۳۵۳/۱	۸۲۷۴	۱/۲۷۴	۴/۱۱
Y	۱۰۳۰/۲	۱۰۰۴۷	۱/۲۱۱	۳/۶۵
SBRB B 5+1				
X	۱۵۹۵/٤	۱۷۷۸۳	۱/۱۴۷	٤/۷۱
Y	۱٤۲٦/۹	۱۴۱۵۲	۱/۲۰۱	٤/۱٤

۴-۳- سازه ده طبقه

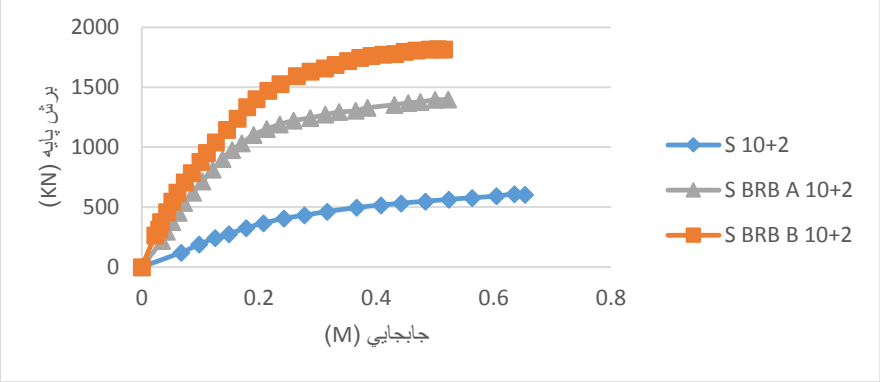
با اضافه کردن ۲ طبقه به سازه۱۰ طبقه، هم‌چون حالات قبل وضعیت سازه قبل و بعد از بهسازی با توجه به موقعیت‌های مختلف قرار دادن مهاربندها بررسی می‌شود. سطح عملکرد قاب خمشی ۱۲ طبقه طراحی شده بر اساس ویرایش ۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰ در **Error! Reference source not found.**نمایش داده شده است. پس از طراحی و انجام آنالیز پوش آور قاب مورد نظر بر طبق ویرایش تا ۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰ تحت بارگذاری‌های مختلف (یکنواخت- مثلثی وارونه و شکل مد اول) نتایج حاصله نشان داد که در میان این بارگذاری‌ها، بار یکنواخت نوع ۲ دارای بیشترین نیروی برش پایه اعمالی به قاب را دارا بوده است. همچنین در بررسی سطح عملکرد قاب مذکور مشخص گردید که در این حالت اعضای سازه‌ای قواعد مربوط به سطح خطر ۱ آیین نامه ۲۸۰۰، یعنی تامین ایمنی

www.SID.ir
Archive of SID

جانی (LS) ساکنین را ایجاد ننموده‌اند که نیاز به مقاوم‌سازی می‌باشد.



شکل۸: نمودار برش پایه تغییر مکان قاب دوازده طبقه در حالات مختلف در جهت X



شکل۹: نمودار برش پایه تغییر مکان قاب دوازده طبقه در حالات مختلف در جهت y

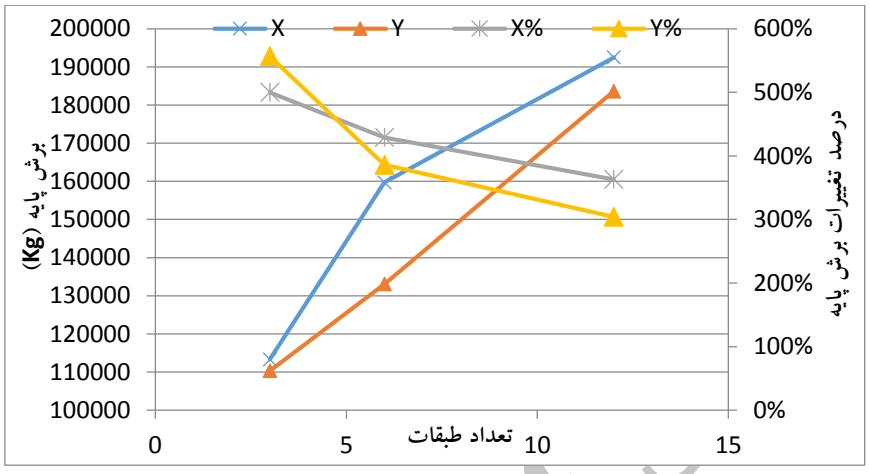
جدول ۵: بررسی پارامتری سازه های مهاربندی شده سازه های ۱۲ طبقه

مدل	برش پایه حداکثر (KN)	سختی اولیه $(\frac{N}{m^2})$	حداکثر دریفت بام(درصد)	شکل پذیری
S 10+2				
X	۵۲۴/۶	۲۰۴۲	۱،۰۶۰۶	۴/۲
Y	۶۰۲/۲	۱۷۶۰	۱،۱۱۸	۳/۷
SBRB A 10+2				
X	۱۳۴۵/۷	۷۳۵۱	۰،۸۵۸۱	۳/۸۶
Y	۱۳۹۸	۶۰۵۰	۰،۹۲۱۷	۳/۰۱
SBRB B 10+2				
X	۱۹۲۲	۸۷۳۲	۰،۸۰۷۳	٤/۰۹
Y	۱۸۱۵	۶۸۲۶	۰،۹۳۲۱	۳

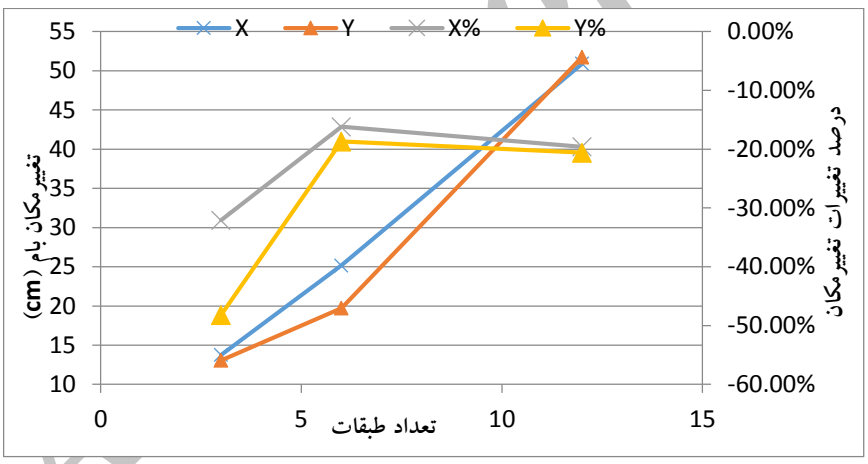
همانطور که از شکل۱۰ دیده می‌شود، افزایش برش پایه به صورت خطی بوده و درصد تغییرات برش پایه بعلت افزودن مهاربند به قاب، با افزایش طبقات به صورت کاهشی است. با این وجود با افزایش تعداد طبقات از

www.SID.ir
Archive

میزان تاثیرگذار مهاربند کمانش تاب کاسته می‌شود اما افزودن مهاربند در هر تعداد طبقه‌ای موجب افزایش ظرفیت باربری قاب شده است؛ کمترین افزایش با ۳۰۴٪ افزایش برش پایه می‌باشد که نشان دهنده تاثیر مثبت مهاربندهای کمانش تاب در افزایش برش قابل تحمل توسط قاب می باشند.



شکل۱۰: نمودار برش پایه و درصد تغییرات آن در برابر تعداد طبقات



شکل۱۱: نمودار تغییرمکان بام و درصد تغییرات آن در برابر تعداد طبقات

۵- نتیجه گیری

هدف از انجام این پروژه، ارزیابی سازه‌های فولادی با سیستم قاب خمشی که با ویرایش ۴ آیین نامه ۲۸۰۰ طراحی شده و نیاز به اضافه نمودن طبقات داشته اند. بدین منظور قاب فولادی با شکل‌پذیری متوسط با ۳، ۵ و ۱۰ طبقه طراحی شد و مورد تحلیل قرار گرفت. این قاب‌ها طوری انتخاب شده بودند که بازه‌ای از متغیرهای تاثیرگذار در پاسخ سازه از جمله ارتفاع سازه، نسبت بار جانبی به ثقلی، پریود سازه و غیره را دربر گیرد تا بتوانند نشان‌دهنده یک سیستم واقعی لرزه‌ای باشند. در حالت کلی می توان نتایج زیر را استخراج نمود:

www.SID.ir

۱- با اضافه شدن طبقات سازه از سطح عملکرد ایمنی جانی خارج شده و انتخاب بهترین روش بهسازی امری حیاتی است.

۲- با اضافه شدن طبقات جابجایی‌های سازه به‌طور مشخصی افزایش یافته و با بهسازی تمامی پارامترها به حالت نرمال برگشته و مجددا سازه در سطح ایمنی جانی قرار می‌گیرد.

۳- افزایش برش پایه به علت وجود مهاربند کمانش تاب، به صورت خطی بوده و بعلت افزودن مهاربند به قاب، با افزایش طبقات به صورت کاهشی است. با این وجود با افزایش تعداد درصد تغییرات برش پایه طبقات از میزان تاثیرگذاری مهاربند کمانش تاب کاسته می‌شود اما افزودن مهاربند در هر تعداد طبقه‌ای موجب افزایش ظرفیت باربری قاب می‌شود؛ کمترین افزایش با ۳۰۴٪ افزایش برش پایه می‌باشد که نشان دهنده تاثیر مثبت مهاربندهای کمانش تاب در افزایش برش قابل تحمل توسط قاب می باشند.

۴- با افزایش تعداد طبقات، تغییرمکان بام یا دریفت سازه افزایش می‌یابد. افزودن مهاربندهای کمانش تاب به قاب خمشی موجب کاهش تغییرمکان سازه و در نهایت کاهش دریفت می‌شود. با افزایش تعداد طبقات از میزان تاثیرگذاری بادبند کمانش تاب کاسته شده و به میزان کمتری موجب کاهش تغییرمکان حداکثر خواهد شد اما با این حال در هر حالت استفاده از این نوع مهاربند، تغییرمکان بام نسبت به قاب خمشی کاهش می‌یابد.

۵- با افزایش تعداد طبقات بر میزان انرژی جذب شده قاب افزوده می‌شود. همچنین افزودن مهاربندهای کمانش تاب نیز موجب افزایش انرژی جذب شده قاب می‌شود، این افزایش با افزایش تعداد طبقات کاهش می‌یابند؛ این افزایش قابل توجه در انرژی جذب شده موجب تمایل به استفاده از این مهاربندها در سازه‌های بلندمرتبه در مناطق لرزه خیز می‌شود زیرا باعث افزایش قابل توجه در میزان انرژی جذب شده می‌شوند و درنتیجه کارایی کلی سیستم بهبود می‌یابد.

۶- با افزایش تعداد طبقات از شکل‌پذیری سازه کاسته می‌شود. همچنین افزودن مهاربندهای کمانش تاب به طور کلی موجب کاهش شکل‌پذیری نسبت به قاب خمشی شده و این کاهش در بیشترین مقدار خود برابر با ۱۸/۶٪ می‌باشد. می‌توان گفت افزودن مهاربندهای کمانش تاب موجب سخت‌تر شدن سازه خواهند شد.

۷- با افزایش تعداد طبقات بر میزان انرژی جذب شده سازه افزوده می‌شود. این افزایش برای زمانیکه مهاربندها در دهانه میانی قرار دارند نسبت به حالتی که مهاربندها در دهانه کناری جاگذاری شده‌اند به میزان ۲۹/۳۳٪ بیشتر است.

۸- در هر دو حالت (مهاربند در جهت X و Y) استفاده از مساحت بیشتر بادبند موجب افزایش ظرفیت باربری قاب شده است. افزایش در ظرفیت باربری در قاب X (قاب ۴ دهانه و مهاربند در وسط) نمود بیشتری نسبت به افزایش ظرفیت باربری در قاب Y (قاب با ۴ دهانه و مهاربند در کناره‌ها) از خود نشان می‌دهد. افزایش برش پایه

www.SID.ir
Archive of SID

در قاب X با مقطع A نسبت به همان قاب با مقطع B، به طور میانگین ۴۹٪ است؛ و همین افزایش در قاب Y به طور میانگین ۳۹/۶٪ می باشد. همچنین به نظر می‌رسد استفاده از مهاربندهای کمانش ناپذیر در قاب‌های میانی عملکرد بهتری از خود نشان داده است.

۹- در قاب Y تغییرمکان‌های قاب حاوی بادبند با سطح مقطع A کمتر از همان قاب با بادبندهای با مقطع B می‌باشند که نشان دهنده تاثیر مثبت مساحت بالاتر بادبند در کاهش تغییرمکان‌ها می‌باشد. این رفتار در قابی که مهاربندها در میانه دهانه جاگذاری شده بودند مشاهده نشد. در نتیجه می‌توان گفت علاوه بر مساحت بادبندهای کمانش تاب، نحوه قرارگیری آنها نیز از پارامترهای تاثیر گذار بر رفتار سازه می‌باشد.

۱۰- به طور کلی بادبندهای کمانش‌تاب با سطح مقطع B عملکرد بهتری در شکل‌پذیری سازه نسبت به مهاربندهای با مقطع A دارند. همچنین در قاب‌هایی که بادبندها در میانه قاب قرار داده شده بودند، شکل‌پذیری بیشتر از زمانی بود که بادبندها در دهانه‌های کناری قرار داشتند. این افزایش به طور میانگین برای بادبندهای با سطح مقطع A، ۲۲٪ و برای بادبندهای با سطح مقطع B، ۱۶/۳٪ افزایش بود.

۱۱- با افزایش تنش تسلیم مصالح مهاربند، برای قاب‌های در جهت X به طور میانگین برش پایه ۷/۳۳٪ افزایش و برای قاب‌های در جهت Y، ۶/۳٪ افزایش از خود نشان داد.

۱۲- با افزایش تنش تسلیم مصالح مهاربند، تغییرمکان قاب‌های در جهت X و Y به طور متوسط به ترتیب به میزان ۹/۱۲٪ و ۷/۳۳٪ کاهش داشتند.

۱۳- انرژی جذب شده با افزایش تنش تسلیم مصالح بادبند، در قاب‌های جهت X و Y به ترتیب ۴/۳٪ و ۴/۶۳٪ کاهش از خود نشان دادند.

۱۴- با افزایش تنش تسلیم مصالح بادبند، شکل‌پذیری قاب‌های جهت X به طور متوسط ۱۱/۷۳٪ کاهش و برای قاب‌های جهت Y به طور متوسط ۱۸/۱٪ کاهش داشتند.

مراجع

[1] Min-Ho Chey, J. Geoffrey Chase, John B. Mander, and Athol J. Carr. "Innovative seismic retrofitting strategy of added stories isolation system." *Front. Struct. Civ. Eng. 2013, 7(1): 13-23.*

[2] Xuansheng Cheng, Chuansheng Jia, and Yue Zhang. "Seismic Responses of an Added-Story Frame Structure with Viscous Dampers." *Mathematical Problems in Engineering. 2014.*

[۳] رهگذر، رضا و قنبری، حمید (۱۳۸۸)، "ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود با سیستم سازه ای دوگانه به روش تحلیل استاتیکی غیر خطی و طیف ظرفیت"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ماه ۱۳۸۸.

[۴] نادران، فرهاد و صادقی نژاد، سید رضا (۱۳۸۹)، "بهسازی و مقاوم سازی ساختمان پنج طبقه فلزی با استفاده از سبک سازی و تقویت

Archive of SID

اعضای سازه ای"، اولین همایش ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک، مازندران، بابلسر آذر ماه ۱۳۸۹.

[۵] مهدی پور، علی گنجی (۱۳۹۰)، "بکارگیری روش های تحلیل غیر خطی در ارزیابی لرزه ای ساختمان های فولادی قاب خمشی"، اولین همایش منطقه ای عمران و معماری، ۱۳۹۰.

[۶] رئیسی دهکردی، مرتضی و علیزاده اسفیوخی، مرتضی (۱۳۹۲)، "ارزیابی آسیب پذیری سازه های فولادی بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه ای"، همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاورد های نوین.

[۷]نفیسی، افلاطون و فروغی، محمد و رهگذر، رضا (۱۳۹۲)، "آسیب پذیری موضعی و کلی در ساختمان های فولادی"، چهارمین کنفرانس ملی زلزله و سازه، جهاد دانشگاهی کرمان، کرمان ۴ تا ۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲.

[۸]سید کاظمی، علی و حسینعلی بیگی، مرتضی (۱۳۹۳)، "بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی قاب خمشی معمولی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد۴۴، شماره۴، زمستان ۱۳۹۳،

[۹] فلاح، احمدعلی و علاقه مند، سید محمد حسن (۱۳۹۳)، "مقایسه و ارزیابی روش تحلیل پوش آور در تمامی حالات شکل پذیری یک سازه فولادی خمشی منظم"، دومین همایش ملی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، میبد ۴ دی ماه ۱۳۹۳،

[۱۰] قائد رحمتی، عابدین و گودرزی، محمدرضا و قانونی بقا، محمد (۱۳۹۳)، "اثر میانقاب ها در طرح بهسازی لرزه ای ساختمان ها"، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور،دانشگاه ارومیه، ارومیه ۱۱، ۱۲ و ۱۳ شهریور ماه ۱۳۹۳.

Archive of SID