

ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن آرمه به کمک مهاربندهای بزرگ‌مقیاس به روش خارجی

تجربه زلزله‌های گذشته نشان داده است که اغلب سازه‌های بتن‌آرمه با سیستم قاب‌خمش، تحت زلزله خسارات جدی دیده است. همچنین ساختمان‌های بتن‌آرمه موجود که مطابق با ویرایش‌های قبلی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای طراحی شده‌اند، از نظر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای و آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای معتبر کنونی، مقاوم نیستند. سختی و مقاومت کمتر قاب‌خمش در مقایسه با سیستم‌های مهاربندی، دیوار برشی و دوگانه ایجاب می‌کند که افزایش مقاومت و سختی سازه به‌عنوان راهبرد فنی بهسازی با راهکار اضافه کردن مهاربند فولادی با توجه به ملاحظات اقتصادی، اجرایی و راهبرد مدیریتی استفاده از ساختمان در حین بهسازی، جهت ارتقای عملکرد و تأمین سطح عملکرد مورد نظر انتخاب شود. مهاربندهای فولادی به‌صورت داخلی، خارجی و بزرگ‌مقیاس خارجی که در ساختمان‌های بلند نیز کاربرد زیادی دارد، مورد توجه محققین قرار گرفته است. بنابراین، در این تحقیق، رفتار غیرخطی سازه‌های بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربندهای فولادی به‌صورت داخلی، خارجی و بزرگ‌مقیاس با تعداد طبقات چهار، هشت، ۱۲ و ۱۵ طبقه (نمونه‌ی ساختمان‌های کوتاه، متوسط و بلندمرتبه) از طریق تحلیل بار افزون مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و جذب برش پایه‌ی سازه بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربندهای بزرگ نسبت به سازه‌های بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربندهای داخلی و خارجی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای یافته و تغییرمکان نسبی کمتری نیز دارد.

واژگان کلیدی: بتن‌آرمه، مهاربند فولادی بزرگ‌مقیاس، تحلیل بار افزون، بهسازی لرزه‌ای.

حمزه روحی

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده
مهندسی عمران، دانشگاه
سمنان.

پست الکترونیک:

h.rouhi@semnan.ac.ir

مجید قلهکی*

دانشیار، دانشکده مهندسی
عمران، دانشگاه سمنان.

پست الکترونیک:

mgholhaki@semnan.ac.ir

علی خیرالدین

استاد، دانشکده مهندسی عمران،
دانشگاه سمنان.

پست الکترونیک:

kheyroddin@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

می‌باشد. نگاهی به خسارات زلزله‌های گذشته، نشان می‌دهد که درصد بالایی از ساختمان‌های بتن‌آرمه با سیستم قاب‌خمش که در مناطق زلزله‌خیز احداث شده بودند، در برابر بارهای جانبی مانند زلزله مقاوم نبوده و فرو ریخته‌اند. از طرفی، ساختمان‌های بتن‌آرمه موجود به این علت که مطابق با ویرایش‌های قبلی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای طراحی شده‌اند، از نظر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای و آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای معتبر کنونی، مقاوم نمی‌باشند. براین اساس، ضرورت بهسازی سازه‌های قاب‌خمش بتن‌آرمه امری بدیهی است. راهبردهای فنی بهسازی شامل افزایش مقاومت سازه، افزایش سختی سازه و غیره می‌باشد [۱]. با توجه به لزوم افزایش مقاومت و سختی قاب‌های خمش بتن‌آرمه موجود پس از انتخاب

در بحث مقابله با بارهای جانبی سیستم‌های مقاوم خمش از لحاظ کنترل تغییرمکان جانبی به‌دلیل سختی کمتر در مقایسه با سایر سیستم‌های باربر جانبی مانند انواع مختلف سیستم‌های مهاربندی فولادی همگرا، واگرا، دیوارهای برشی بتنی و همچنین سیستم‌های دوگانه (ترکیب سیستم مقاوم خمش با سیستم‌های مهاربندی همگرا، واگرا و دیوار برشی بتنی) دارای ضعف اساسی

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۹، بازنگری: ۱۳۹۶/۰۵/۲۱، پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۸.
DOI: 10.22091/cer.2017.1943.1077 شناسه دیجیتال

برای تأمین مقاومت و سختی ساختمان‌های موجود در برابر بارهای جانبی، بسیار خوب عمل می‌کنند [۵].

در سال ۱۹۹۴ ناطق‌الهی مقاله‌ای را تحت عنوان «تقویت لرزه‌ای آپارتمان هشت طبقه بتن‌آرمه به‌وسیله بادبندهای فلزی» منتشر کرد. در این تحقیق، روش‌های تقویت و ملاحظات به‌کار گرفته شده به‌منظور تقویت ساختمان برای بارهای جانبی و قائم، اطلاعاتی ارائه شده است [۶]. پینچیرا^۳ و جیرسا در سال ۱۹۹۵ مقاله دیگری تحت عنوان «پاسخ لرزه‌ای قاب‌های بتن‌آرمه بهسازی شده به‌وسیله بادبندهای فلزی» منتشر کردند. در این مقاله، محققین مجدداً به بررسی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی و استاتیکی غیرخطی سه گروه از قاب‌های بتن مسلح غیرشکل‌پذیر که به روش‌های مختلف بادبندی، تقویت یا بازسازی شده‌اند، پرداخته‌اند [۷]. در سال ۱۹۹۵ ماهری و صاحبی مقاله‌ای را با عنوان «بررسی آزمایشگاهی قاب‌های بتن‌آرمه با بادبندهای فلزی» ارائه کردند. برای انجام این بررسی چهار نمونه قاب با مقیاس ۱/۴ ساخته و تحت بارگذاری برشی رفت‌وبرگشت درون صفحه‌ای، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این آزمایشات نشان داد که شکست نهایی قاب، همراه با انهدام بادبند کششی و به‌دنبال انهدام بادبند فشاری صورت گرفته است و بادبند کششی بر رفتار قاب حاکم است. از دیگر نتایج این آزمایش، افزایش قابل‌توجه مقاومت قابی است که به‌صورت ضربدری بادبندی شده و مقاومت آن تا سه برابر افزایش یافته است. همچنین استفاده از تنها یک بادبند (فشاری یا کششی)، ظرفیت قاب را بیش از ۱۰۰٪ افزایش می‌دهد [۸]. در سال ۱۳۷۶ حاجی‌غفاری مقاله‌ای را تحت عنوان «اندرکنش قاب و بادبند فولادی در سازه‌های بتن‌مسلح برای تحمل نیروهای جانبی» ارائه نمود. در این مقاله، او تأثیر بادبندهای فلزی X و K شکل را برای تقویت قاب‌خمش بتن‌آرمه بدون دیوار برشی مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیقات نشان داد که در صورت

راهبردهای بهسازی مذکور، به‌منظور دستیابی به سطح عملکرد مورد نظر، راهکار بهسازی مناسب از قبیل اضافه کردن دیوارهای برشی، ایجاد ستون‌های جدید، اضافه کردن بادبند و غیره می‌توانند به‌کار گرفته شوند. راهکارهای اضافه کردن دیوارهای برشی و ایجاد ستون‌های جدید به‌دلیل نیاز به تقویت زیاد فونداسیون، در این تحقیق مدنظر نبوده است. ضمن اینکه در راهبرد مدیریتی، گزینه استفاده از ساختمان در حین بهسازی انتخاب شده است. به‌عبارت دیگر، در بحث محدودیت‌های روش بهسازی که تأثیر عمده‌ای بر روش‌های انتخابی بهسازی می‌گذارد، محدودیت هزینه‌های اجرایی و ضرورت فعال بودن ساختمان در حین بهسازی در نظر گرفته شده است.

امروزه در سازه‌های بلند، سیستم‌های نوین دیگری به‌عنوان مهاربند استفاده می‌شوند که در این میان می‌توان به سیستم بادبندی بزرگ‌مقیاس اشاره کرد [۲]. سیستم مهاربند بزرگ‌مقیاس، گزینه‌ای مناسب جهت مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی و بتنی می‌باشد [۳].

۲- تاریخچه تحقیقات

سوگانو و فوجی مورا^۱ در سال ۱۹۸۰ تأثیر استفاده از مهاربندهای X و K شکل و همچنین میان‌قاب‌های بتنی و با مصالح بنایی را بر روی قاب‌های بتن‌مسلح آزمایش کردند. هدف آنها از انجام آزمایش، تعیین مقاومت و شکل‌پذیری قاب‌های بتن‌آرمه بهسازی شده بود [۴].

در سال ۱۹۹۰ بادوکس و جیرسا^۲، مقاله‌ای را تحت عنوان «قاب‌های بتن‌آرمه با بادبندهای فلزی جهت تقویت لرزه‌ای» به چاپ رساندند. در این مقاله، عملکرد سیستم بادبندی فولادی برای افزایش مقاومت لرزه‌ای قاب‌های بتن‌آرمه به روش آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بادبندی‌های قطری

^۱- Sugano and Fujimura

^۲- Badux and Ojirsa

^۳- Pincheira

مهاربند داخلی است و هر دو عملکرد خیلی بهتری نسبت به قاب تنها دارند. همچنین در مقاوم سازی با مهاربند خارجی بدون ایجاد خللی در داخل ساختمان و بدون ترک بهره برداری از ساختمان موجود انجام می‌شود که این خود مزیت بزرگی است [۱۲].

در سال ۱۳۹۵ نیکخو و صفری، عملکرد لرزه‌ای سیستم دوگانه قاب‌خمش‌ی بتن‌آرمه ویژه و مهاربند همگرای ویژه فولادی به کمک تحلیل دینامیکی افزایشی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که سیستم قاب‌خمش‌ی بتن‌آرمه ویژه‌ی مهاربندی شده با مهاربند همگرای ویژه فولادی عملکرد لرزه‌ای بهتری در جذب و استهلاک انرژی داشته و همچنین حداکثر مقادیر جابه‌جایی نسبی طبقات و حداکثر جابه‌جایی بام نسبت به سیستم قاب‌خمش‌ی بتن‌آرمه ویژه، کاهش محسوسی دارد [۱۳]. در همان سال، مرادی شقاقی و قوی‌بازو نیز به بررسی اثر آرایش‌های مختلف قرارگیری مهاربند بزرگ‌مقیاس با میراگر ویسکوز در پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های دارای مهاربند بزرگ‌مقیاس پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که موقعیت قرارگیری مهاربندهای بزرگ‌مقیاس با میراگر ویسکوز تأثیر قابل توجهی بر روی پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های بتنی بلندمرتبه داشته است. همچنین انتخاب تعداد دهانه براساس تعداد طبقات تغییر کرده و در پاسخ لرزه‌ای موثر می‌باشد [۱۴].

۳- مدل سازی

سازه‌های مورد تحلیل در این تحقیق، عبارت است از چهار نوع ساختمان با پلان یکسان (شکل ۱) که شامل سیستم‌های زیر می‌باشند:

- ۱- قاب‌خمش‌ی بتن‌آرمه (طراحی شده طبق ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ که بعد از مدل‌سازی در محیط نرم‌افزاری ایتبس^۵ در حالت بدون استفاده

استفاده از بادبند فولادی در قاب بتن‌مسلح، می‌بایست تنش مجاز طراحی برای بادبند فولادی $0.1F_y$ (۱۰ درصد تنش جاری شدن) استفاده شود. در این صورت، بادبندها می‌توانند ۷۵ درصد نیروی جانبی را جذب کنند [۹]. در همان سال، همتی و تسنیمی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «بررسی آزمایشگاهی اتصالات بهسازی شده در ساختمان‌های بتن‌مسلح در مقابل نیروهای جانبی» را ارائه کردند. در این پایان‌نامه، مقاومت برشی و انحنای محل اتصال و همچنین سازگاری عناصر تقویت کننده با قاب‌های بتن‌مسلحی که فقط برای بارهای ثقلی طراحی شده‌اند و به وسیله بادبندی‌های فلزی برای افزایش مقاومت لرزه‌ای آنها بهسازی شده‌اند، در یک بررسی آزمایشگاهی ارائه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مقاومت برشی هسته اتصال در نمونه‌های بهسازی شده افزایش یافته و انحنای آنها کاهش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد [۱۰].

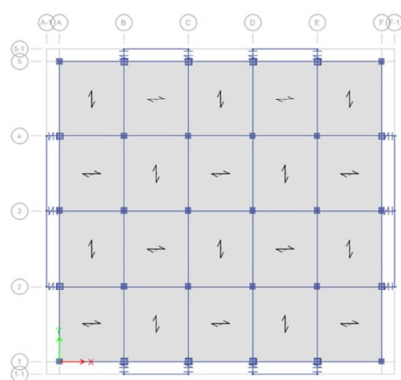
در سال ۱۳۸۰ خیرالدین و شمخالی‌مقدم، رفتار بادبندهای واگرای فلزی (EBF^A) را در تقویت قاب‌های بتن‌آرمه موجود مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که بادبندهای واگرا برای ساختمان‌های کوتاه در همه طبقات مفید است؛ ولی با افزایش تعداد طبقات، تأثیر بادبندها کاهش یافته و وجود بادبند در طبقات فوقانی برش منفی ایجاد می‌نماید. همچنین نتایج نشان می‌دهد نسبت‌های $0.25 < e/l < 0.4$ از لحاظ کاهش نیروی زلزله و تغییرمکان جانبی حد مناسبی به‌شمار می‌رود (e طول تیر رابط و l طول دهانه قاب می‌باشد) [۱۱]. در سال ۱۳۹۲ خیرالدین و حمیدی، مقاله‌ای را تحت عنوان «بررسی رفتار ساختمان‌های بتن‌آرمه بهسازی شده با بادبندهای فلزی خارجی» منتشر کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که عملکرد ساختمان با مهاربند خارجی بهتر از عملکرد ساختمان با

⁵- ETABS

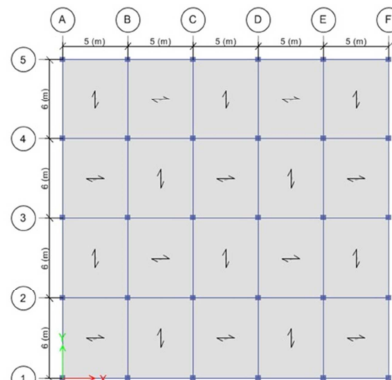
⁴- Eccentric Braced Frames

- ۲- قاب خمشی بتن‌آرمه با مهاربند فولادی داخلی،
 ۳- قاب خمشی بتن‌آرمه با مهاربند فولادی خارجی،
 ۴- قاب خمشی بتن‌آرمه با مهاربند بزرگ‌مقیاس.

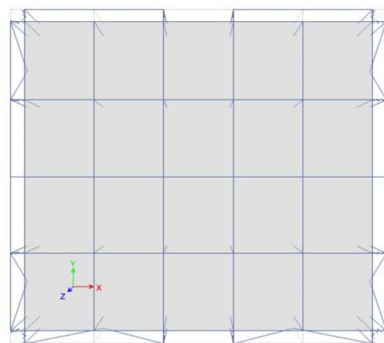
از مهاربند، پاسخگوی تغییرمکان جانبی سازه تحت زلزله طراحی و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نبوده و باید بهسازی شود)،



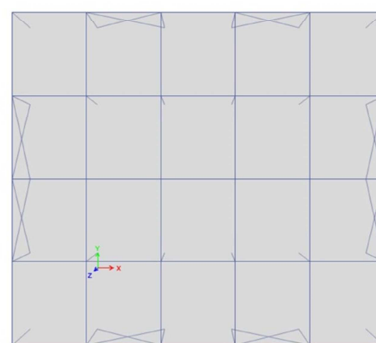
(ب)



(الف)



(د)

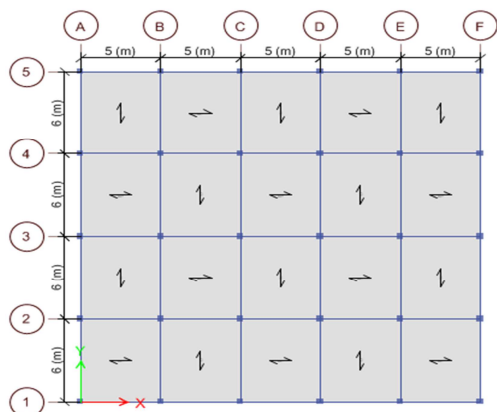


(ج)

شکل ۱- سازه‌های مورد مطالعه، (الف) پلان قاب خمشی بتن‌آرمه، (ب) قاب خمشی بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند فولادی خارجی، (ج) قاب خمشی بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند فولادی داخلی و (د) قاب خمشی بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند بزرگ‌مقیاس.

دیوارهای محیطی طبقات، ۶۵۰ کیلوگرم بر مترطول در نظر گرفته شده است.

ساختمان‌های مورد بررسی، دارای چهار، هشت، ۱۲ و ۱۵ طبقه بوده و محل احداث آنها شهر اردبیل بر روی خاک نوع سه با خطر نسبی زلزله زیاد می‌باشد. در هر دو جهت، سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه متوسط به‌عنوان سیستم باربر جانبی در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات سازه ۳/۲ متر، تکیه گاه‌ها گیردار، ابعاد دهانه‌ها (شکل ۲) و سقف نیز از نوع تیرچه‌بلوک با الگوی بارگذاری شطرنجی فرض شده است. مقاطع تیر و ستون ساختمان‌های مورد تحقیق (ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران [۱۵]) در جداول ۱ تا ۴ ارائه گردیده است. بار مرده طبقات و بام، برابر ۶۴۰ کیلوگرم بر مترمربع، بار زنده طبقات و بام، ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار



شکل ۲- پلان تیپ سازه ای طبقات سازه‌های مورد تحقیق.

جدول ۱- مشخصات اعضای سازه‌ای مدل ۱۵ طبقه.

طبقه	ستون‌ها	تیرها
۱	مربع، ۸۰×۸۰ ۱۶ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۸۰
۲	مربع، ۸۰×۸۰ ۱۶ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۸۰
۳	مربع، ۸۰×۸۰ ۱۶ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۸۰
۴	مربع، ۸۰×۸۰ ۱۶ میلگرد ۲۲	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۸۰
۵	مربع، ۸۰×۸۰ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۸۰
۶	مربع، ۸۰×۸۰ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۸۰
۷	مربع، ۷۵×۷۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۵۵ عرض ۷۵
۸	مربع، ۷۵×۷۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۵ عرض ۷۵
۹	مربع، ۷۰×۷۰ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۷۰
۱۰	مربع، ۷۰×۷۰ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۷۰
۱۱	مربع، ۶۵×۶۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۵
۱۲	مربع، ۶۵×۶۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۵
۱۳	مربع، ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۴۵ عرض ۶۰
۱۴	مربع، ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۵۵
۱۵	مربع، ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۵۵

جدول ۳- مشخصات اعضای سازه‌ای مدل هشت طبقه.

طبقه	ستون‌ها	تیرها
۱	مربع، ۶۵×۶۵ ۱۶ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۵
۲	مربع، ۶۵×۶۵ ۱۶ میلگرد ۲۲	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۵
۳	مربع، ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۲۲	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۰
۴	مربع، ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۰
۵	مربع، ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۴۵ عرض ۵۵
۶	مربع، ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۴۵ عرض ۵۵
۷	مربع، ۵۰×۵۰ ۱۶ میلگرد ۱۲	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۵۰
۸	مربع، ۵۰×۵۰ ۱۶ میلگرد ۱۲	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۵۰

جدول ۴- مشخصات اعضای سازه‌ای مدل ۱۲ طبقه.

طبقه	ستون‌ها	تیرها
۱	مربع، ۷۵×۷۵ ۱۶ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۷۵
۲	مربع، ۷۵×۷۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۷۵
۳	مربع، ۷۰×۷۰ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۷۰
۴	مربع، ۷۰×۷۰ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۶۰ عرض ۷۰
۵	مربع، ۶۵×۶۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۵
۶	مربع، ۶۵×۶۵ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۵
۷	مربع، ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۱۸	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۰
۸	مربع، ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۱۶	مستطیل، ارتفاع ۵۰ عرض ۶۰
۹	مربع، ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۱۶	مستطیل، ارتفاع ۴۵ عرض ۵۵
۱۰	مربع، ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۱۶	مستطیل، ارتفاع ۴۵ عرض ۵۵
۱۱	مربع، ۵۰×۵۰ ۱۶ میلگرد ۱۲	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۵۰
۱۲	مربع، ۵۰×۵۰ ۱۶ میلگرد ۱۲	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۵۰

جدول ۲- مشخصات اعضای سازه‌ای مدل چهار طبقه.

طبقه	ستون‌ها	تیرها
۱	مربع، ۴۵×۴۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۴۵
۲	مربع، ۴۵×۴۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۴۰ عرض ۴۵
۳	مربع، ۴۰×۴۰ ۸ میلگرد ۲۰	مربع، ۴۰×۴۰
۴	مربع، ۴۰×۴۰ ۸ میلگرد ۲۰	مربع، ۴۰×۴۰

۴- تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل مرجع چهار

طبقه

۴-۱- توزیع بار جانبی

الف) توزیع نوع اول:

توزیع نوع اول به یکی از سه روش محاسبه شده و بر سازه اعمال می‌شود [۱]. به دلیل اینکه سازه دارای حداقل ۷۵ درصد جرم سازه در مود اول ارتعاشی در هر دو جهت طولی و عرضی ساختمان می‌باشد، از توزیع متناسب با شکل مود اول در هر دو جهت مذکور به عنوان توزیع نوع اول استفاده می‌شود [۱].

ب) ترکیبات بارهای ثقلی

ترکیب ثقلی نوع اول، شامل ترکیبی از بار مرده و زنده با ضریب ۱/۱ برای بار مرده و ۲۰ درصد ضریب ۱/۱ برای بار زنده برای هر دو جهت و ترکیب ثقلی نوع دوم، شامل فقط بار مرده با ضریب ۰/۹ برای بار مرده در نظر گرفته شده است [۱].

۴-۲- معرفی الگوی بار جانبی

الف) توزیع نوع اول:

در مدل چهار طبقه قاب خمشی بهسازی نشده در جهت X از روش اول توزیع نوع اول (توزیع نیروی جانبی در ارتفاع طبق دستورالعمل بهسازی) و در جهت Y به دلیل اینکه مود اول در این راستا دارای بیش از ۷۵ درصد مشارکت مودی می‌باشد؛ از روش دوم توزیع نوع اول (توزیع متناسب با شکل مود اول در آن جهت) استفاده می‌شود.

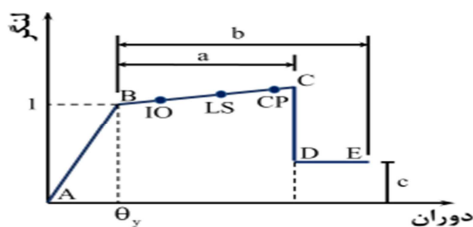
ب) توزیع نوع دوم:

براساس نشریه ۳۶۰ توزیع نوع دوم به یکی از دو روش توزیع یکنواخت (بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه) و توزیع متغیر برحسب وضعیت رفتار غیرخطی مدل سازه بر سازه اعمال می‌شود. همچنین در ترکیب دوم ثقلی نیز توزیع بار مودی و یکنواخت، مانند روند ذکر شده انجام می‌شود [۱].

۴-۳- رفتار اجزای سازه در مدل‌ها

براساس تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، در تیرها لنگر، کنترل شونده توسط تغییرشکل و برش، کنترل شونده توسط نیرو می‌باشد. در ستون‌ها نیروی محوری، کنترل شونده توسط نیرو و لنگر ناشی از آن در دو جهت، کنترل شونده توسط تغییرشکل و نیروی برشی، کنترل شونده توسط نیرو می‌باشد. همچنین در مهاربندها، نیروی محوری، کنترل شونده توسط تغییرشکل است. برای اعضای کنترل شونده توسط نیرو، باید نیروهای طراحی با در نظر گرفتن کلیه تلاش‌هایی که هم‌زمان بر عضو وارد می‌شوند، کوچکتر از کرانه پایین مقاومت اعضا باشند [۱].

شکل ۳ ارتباط لنگر خمشی با دوران اعضای سازه‌ای توصیه شده در آیین‌نامه ASCE/SEI 41-13 را نشان می‌دهد. نقاط B و C معرف مقاومت تسلیم اسمی و مقاومت نهایی هستند. نقاط D و E نشان‌دهنده حالت شکست اولیه و نهایی می‌باشند. همچنین حالت‌های حدی عملکرد از قبیل IO^۷ (استفاده بی‌وقفه)، LS^۸ (ایمنی جانی) و CP^۹ (آستانه فروریزش) در روی نمودار ۳ نشان داده است. ضرایب a، b و c که معرف غیرخطی می‌باشند، از جداول آیین‌نامه ASCE/SEI 41-13 به دست می‌آید [۱۶].



شکل ۳- تیپ منحنی نیرو-جابه‌جایی و تعریف سطوح عملکرد سازه [۱۶].

پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی نتایج به صورت تعداد مفاصل تشکیل شده در هر کدام از حالات

6- Immediate Occupancy

7- Life Safety

8- Collapse Prevention

تشکیل شده است. در گام شانزدهم تحلیل، تعداد ۵۶ مفصل در سطح عملکرد بهره‌برداری آبی، تعداد دو مفصل در سطح عملکرد ایمنی جانی و تعداد دو مفصل نیز در سطح عملکرد فروریزش قرار می‌گیرد. در نهایت، در گام آخر (گام ۱۸) تعداد ۵۳ مفصل در سطح عملکرد بهره‌برداری آبی، تعداد سه مفصل در سطح عملکرد ایمنی جانی و تعداد ۱۱ مفصل در سطح عملکرد فروریزش قرار دارد.

حدی ذکر شده قابل استخراج است. به‌عنوان نمونه، نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل چهار طبقه در جدول ۵ ارائه شده است. براساس جدول، (مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند داخلی در جهت X تحت بارگذاری ثقلی نوع اول و جانبی نوع دوم) ملاحظه می‌شود در گام نخست تمام ۶۹۶ مفصل تشکیل شده در سطح عملکرد بهره‌برداری آبی یا بی‌وقفه، در گام چهارم بارگذاری، تعداد چهار مفصل پلاستیک در سطح عملکرد ایمنی جانی

جدول ۵- نتایج تحلیل بار افزون مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند داخلی در جهت X تحت ترکیب بار ثقلی نوع اول و جانبی نوع دوم.

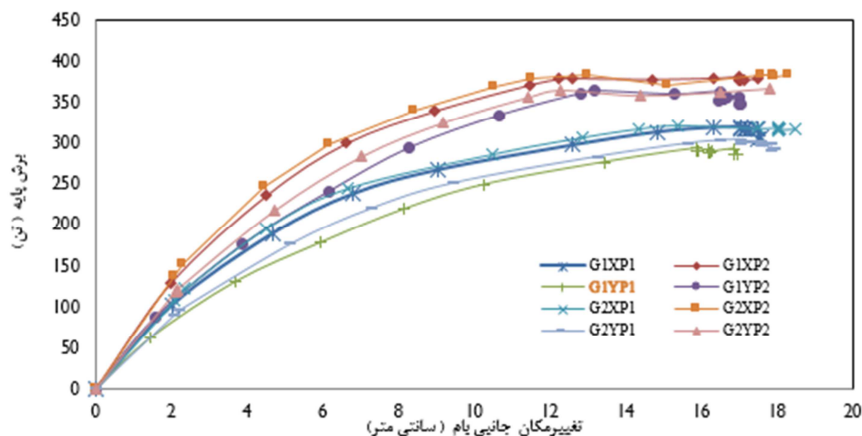
گام	تغییرمکان جانبی (سانتیمتر)	نیرو (تن)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	تعداد کل مفاصل
۰	۰/۰	۰/۰	۶۹۶	۰	۰	۰	۰	۶۹۶	۰	۰	۰	۶۹۶
۱	۱/۵	۲۸۷/۹	۶۹۶	۰	۰	۰	۰	۶۹۶	۰	۰	۰	۶۹۶
۲	۲/۲	۴۳۰/۰	۶۹۲	۴	۰	۰	۰	۶۹۶	۰	۰	۰	۶۹۶
۳	۳/۲	۵۷۹/۵	۶۸۰	۱۲	۴	۰	۰	۶۹۶	۰	۰	۰	۶۹۶
۴	۳/۲	۵۴۱/۸	۶۸۰	۱۲	۰	۴	۰	۶۹۲	۴	۰	۰	۶۹۶
۵	۳/۷	۶۱۷/۸	۶۸۰	۹	۳	۴	۰	۶۹۲	۴	۰	۰	۶۹۶
۶	۳/۷	۵۸۹/۵	۶۸۰	۸	۰	۸	۰	۶۸۸	۸	۰	۰	۶۹۶
۷	۴/۴	۶۷۷/۹	۶۷۶	۹	۳	۸	۰	۶۸۸	۸	۰	۰	۶۹۶
۸	۴/۴	۶۳۶/۶	۶۷۶	۸	۰	۱۲	۰	۶۸۴	۱۲	۰	۰	۶۹۶
۹	۴/۸	۶۹۲/۸	۶۷۶	۴	۴	۱۲	۰	۶۸۴	۱۲	۰	۰	۶۹۶
۱۰	۴/۸	۶۷۰/۱	۶۷۶	۴	۰	۱۶	۰	۶۸۰	۱۶	۰	۰	۶۹۶
۱۱	۶/۵	۸۵۸/۹	۶۶۴	۱۶	۰	۱۶	۰	۶۸۰	۱۶	۰	۰	۶۹۶
۱۲	۸/۰	۹۵۰/۳	۶۳۰	۵۰	۰	۱۶	۰	۶۷۶	۲۰	۰	۰	۶۹۶
۱۳	۹/۵	۱۰۰۸/۶	۶۱۵	۶۵	۰	۱۶	۰	۶۶۰	۳۶	۰	۰	۶۹۶
۱۴	۱۱/۳	۱۰۷۰/۵	۵۹۲	۸۸	۰	۱۶	۰	۶۴۵	۵۱	۰	۰	۶۹۶
۱۵	۱۲/۱	۱۰۹۱/۸	۵۷۳	۱۰۵	۲	۱۶	۰	۶۳۶	۵۶	۴	۰	۶۹۶
۱۶	۱۲/۱	۷۳۴/۰	۵۵۷	۱۲۱	۰	۱۸	۰	۶۳۶	۵۶	۲	۲	۶۹۶
۱۷	۱۳/۴	۸۵۴/۱	۵۳۰	۱۴۸	۰	۱۸	۰	۶۳۳	۵۰	۴	۹	۶۹۶
۱۸	۱۴/۳	۸۸۳/۳	۵۲۱	۱۵۶	۱	۱۸	۰	۶۲۹	۳۳	۳	۱۱	۶۹۶

شدند. این دسته‌بندی براساس نوع مفاصل تشکیل شده در مدل‌های مشابه و الگوی بارگذاری که بدترین سطح عملکرد را داشته، صورت گرفته است. در شکل ۴، G1X، ترکیب بار ثقلی نوع اول در جهت X و P1، توزیع نوع اول

۴-۴- نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل چهار طبقه بهسازی نشده

همانطوری که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، پس از انجام تحلیل غیرخطی، نتایج حاصل براساس تغییرمکان هدف هر مدل برای الگوهای مختلف بار افزون دسته‌بندی

بار جانبی می‌باشد. سایر نمادها نیز به همین ترتیب نامگذاری شده است.

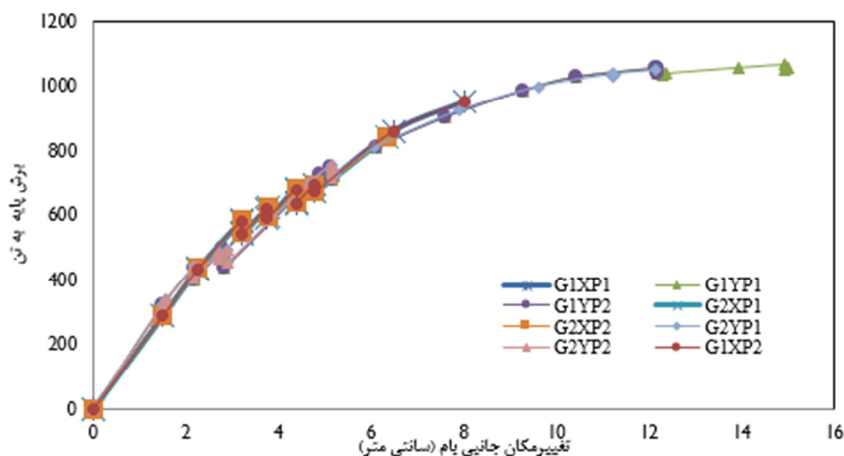


شکل ۴- منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه برای الگوهای مختلف بارگذاری ثقلی و جانبی [۱].

دسته‌بندی شدند. با توجه به شکل ۵، براساس نوع مفاصل تشکیل شده برای مدل‌های مشابه در بارگذاری که بدترین سطح عملکرد را دارد، نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی در این مدل برای الگوهای مختلف بارگذاری ثقلی و جانبی [۱] به صورت نمودار بار افزون ارائه شده است.

۴-۵- نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند داخلی

پس از انجام تحلیل غیرخطی برای مدل چهار طبقه که با استفاده از مهاربند داخلی دو دهانه متوالی روی محورهای پیرامون A و F و دو دهانه غیرمتوالی روی محورهای ۱ و ۵ بهسازی شده است، نتایج حاصل براساس تغییرمکان هدف هر مدل برای الگوهای بار افزون مختلف

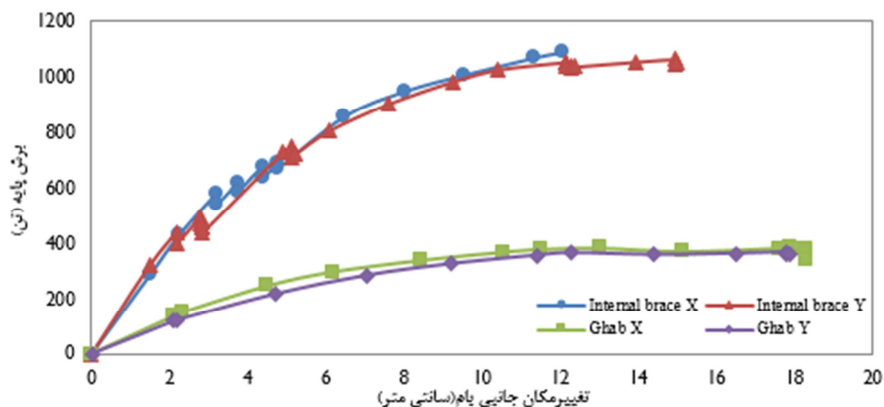


شکل ۵- منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند داخلی برای الگوهای مختلف بارگذاری ثقلی و جانبی.

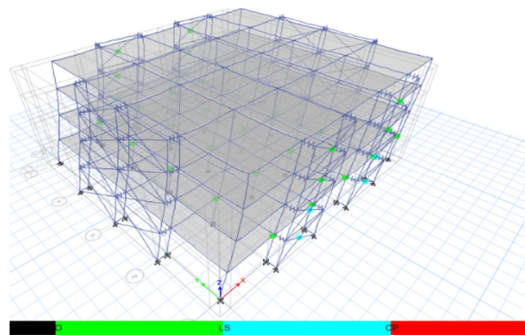
برای انجام تحلیل، ابتدا چهار مدل را با مهاربند داخلی بهسازی کرده و پس از تحلیل استاتیکی و طراحی با نرم‌افزار ETABS [۱۸] آنها را تحلیل استاتیکی غیرخطی کرده و منحنی بار افزون مدل بهسازی شده با مدل بهسازی نشده در دو جهت طولی و عرضی با هم مقایسه می‌شوند.

با توجه به درصد مشارکت بالای ۷۵ درصد مود اول در راستای X، از الگوی بار جانبی متناسب با شکل مود در این راستا استفاده شده است. ایجاد مهاربندهای داخلی، خارجی و بزرگ‌مقیاس و کنترل صورت گرفته، نشان داد که تغییرمکان نسبی ساختمان، در محدوده مجاز ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [۱۷] قرار دارد.

قابل ملاحظه (۲/۸۵ برابر)، افزایش قابل ملاحظه سختی (۳/۶۱ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (۳۵ درصد) و جذب برش پایه قابل ملاحظه (۲/۸۵ برابر) می‌شود.



شکل ۶- مقایسه منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه با سیستم قاب خمشی و بهسازی شده با مهاربند داخلی.



شکل ۷- تشکیل مفاصل پلاستیک اول در مهاربندها (آستانه فروریزش) و بعد در ستون متصل به مهاربندها.

مقایسه منحنی‌های بار افزون در شکل ۹ نشان می‌دهد که بهسازی سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه چهار طبقه با مهاربند خارجی باعث افزایش مقاومت قابل ملاحظه (۳/۵ برابر)، افزایش قابل توجه سختی (۳/۵۷ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (۲۰ درصد) و جذب برش قابل ملاحظه (۳/۵ برابر) نسبت به قاب مرجع و افزایش مقاومت ۲۱ درصدی نسبت به قاب بهسازی شده با مهاربند داخلی می‌شود. با توجه به شکل ۱۰، تشکیل اولین مفصل پلاستیک در مهاربندهای مدل بهسازی شده با مهاربند بزرگ مقیاس، نشان‌دهنده سطح عملکرد خوب سازه می‌باشد.

از نمودار مقایسه‌ای بار افزون در شکل ۶، ملاحظه می‌شود که بهسازی سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه چهار طبقه با مهاربند داخلی، باعث افزایش مقاومت

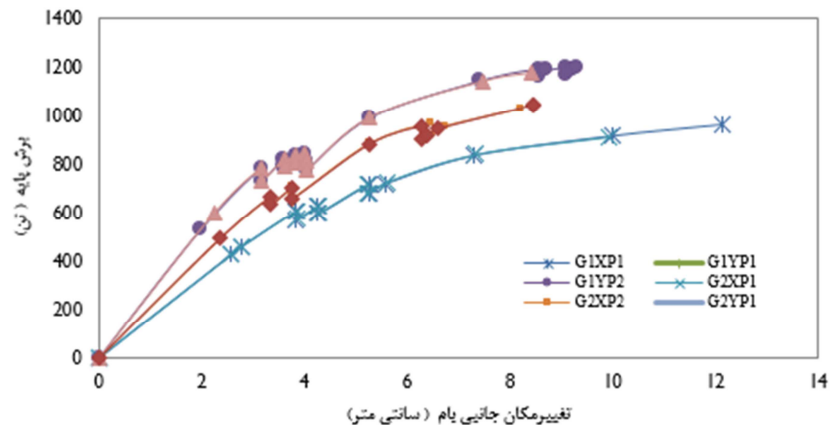
۴-۶- نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند خارجی

با اضافه کردن مهاربند به صورت خارجی در همان دهانه‌هایی که در آنها به صورت داخلی بهسازی شده است، در مود اول و دوم که قبلاً در مورد قاب‌های خمشی و قاب خمشی با مهاربند داخلی مود ارتعاشی انتقالی حاکم بود، رفتار سازه تغییر می‌کند.

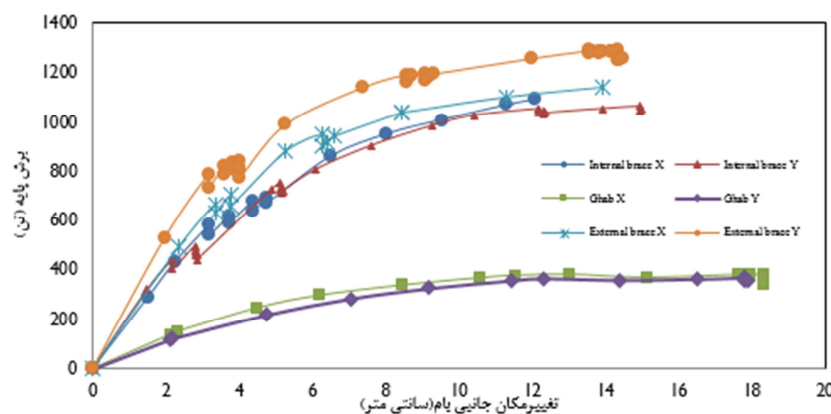
طراحی مهاربندهای خارجی به گونه‌ای است که مفاصل پلاستیک، ابتدا در مهاربندهای مذکور به عنوان اعضای فداشونده تشکیل شده و در مراحل بعدی در ستون‌های متصل به مهاربندهای مذکور ایجاد شود (شکل ۷).

همان چهار مدل را با مهاربند خارجی بهسازی کرده و پس از تحلیل استاتیکی و طراحی با نرم‌افزار ETABS آنها را تحلیل استاتیکی غیرخطی کرده و منحنی ظرفیت مدل‌ها با هم مقایسه می‌شوند (شکل ۸).

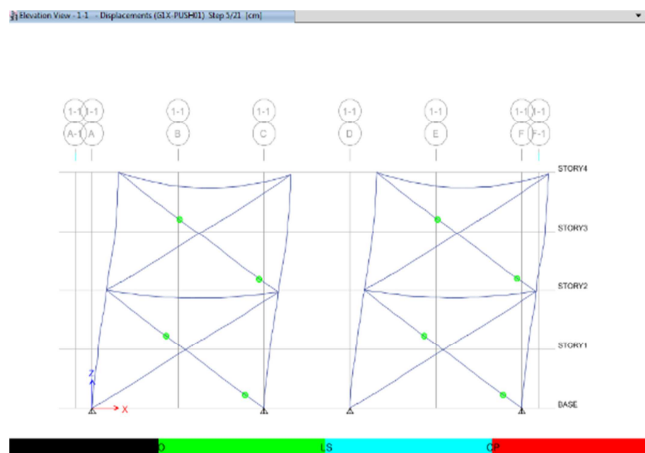
با ملاحظه مزیت این روش مبنی بر عدم تخلیه ساختمان (عدم تغییر کاربری) در این روش قاب فولادی مهاربندی در خارج از صفحه قاب بتنی قرار می‌گیرد که به فونداسیون متصل است و با یک لینک به قاب بتنی متصل می‌گردد.



شکل ۸- منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند خارجی برای الگوهای مختلف بارگذاری ثقیل و جانبی.



شکل ۹- مقایسه منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه با سیستم‌های قاب خمشی، ترکیب قاب با مهاربندهای داخلی و خارجی.



شکل ۱۰- تشکیل اولین مفصل پلاستیک در مهاربندهای مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربندهای خارجی بزرگ مقیاس.

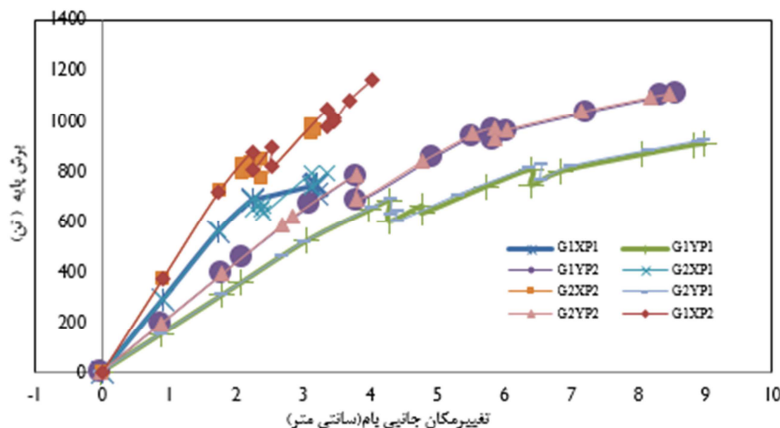
۷-۴- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل چهار طبقه با مهاربندهای مختلف

منحنی‌های بار افزون مدل ۴ طبقه بهسازی شده با مهاربندهای خارجی برای الگوهای مختلف بارگذاری

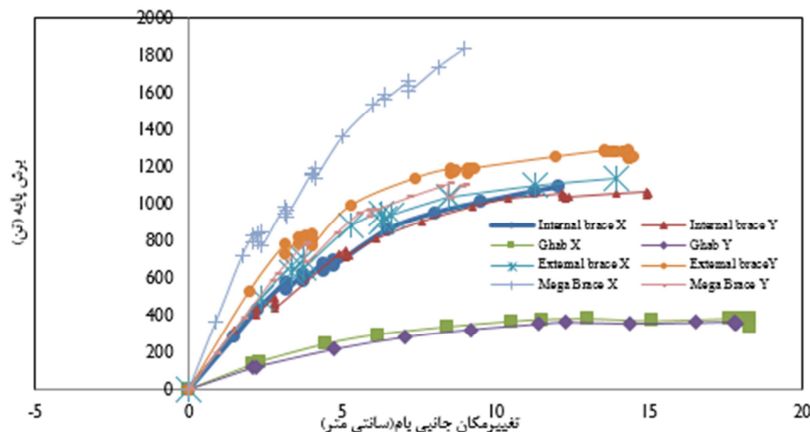
(شکل ۱۱) نشان می‌دهد که سازه در جهت عرضی (Y) عملکرد بهتری دارد. همان‌طور که در نمودار مقایسه منحنی‌های بار افزون در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، بهسازی سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه چهار طبقه با مهاربند بزرگ مقیاس خارجی موجب افزایش مقاومت

مقاومت $1/6$ برابر نسبت به قاب بهسازی شده با مهاربند خارجی، افزایش مقاومت $1/7$ برابر نسبت به قاب بهسازی شده با مهاربند داخلی می‌شود.

چشمگیر $(4/4)$ برابر، افزایش قابل توجه سختی $(4/7)$ برابر، کاهش جابه‌جایی ساختمان (50%) و جذب برش قابل ملاحظه $(4/4)$ برابر نسبت به قاب تنها و افزایش



شکل ۱۱- منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه بهسازی شده با مهاربند بزرگ مقیاس برای الگوهای بارگذاری ثقیلی و جانبی.



شکل ۱۲- مقایسه منحنی‌های بار افزون مدل چهار طبقه مرجع با بهسازی شده‌ی آن با مهاربندهای داخلی، خارجی و بزرگ مقیاس.

جابه‌جایی انواع بهسازی مدل‌های تحلیلی نسبت به قاب مرجع می‌باشد، آورده شده است.

با توجه به شکل ۱۳ (الف)، بهسازی سیستم قاب خمشی بتن آرمه هشت طبقه با مهاربند داخلی باعث افزایش مقاومت قابل توجه $(2/95)$ برابر، افزایش زیاد سختی $(4/1)$ برابر، کاهش جابه‌جایی ساختمان (55%) درصد و جذب برش پایه قابل ملاحظه $(2/95)$ برابر می‌شود.

مطابق با شکل ۱۳ (ب)، بهسازی سیستم قاب خمشی بتن آرمه‌ی مرجع با مهاربند خارجی باعث افزایش مقاومت قابل ملاحظه (3) برابر، افزایش چشمگیر

۵- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی ساختمان

بتن آرمه هشت طبقه

مشابه مدل چهار طبقه، نمودارهای بار افزون برای مدل‌های مرجع بهسازی شده با مهاربندهای داخلی، خارجی و بزرگ مقیاس قابل ارائه می‌باشد؛ اما جهت حفظ فرمت، ساختار مقاله و اجتناب از زیادی تعداد صفحات به ارائه نمودارهای مقایسه‌ای حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌ها بسنده شده و جمع‌بندی نتایج در جدول ۶ که شامل تغییرات مقاومت، سختی و درصد کاهش

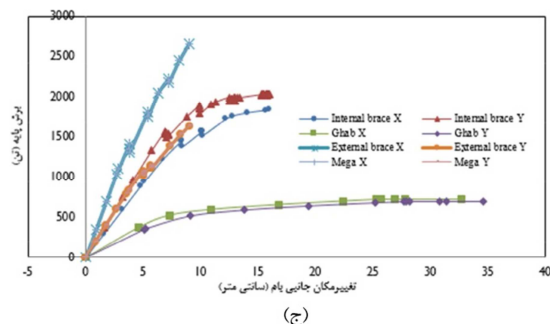
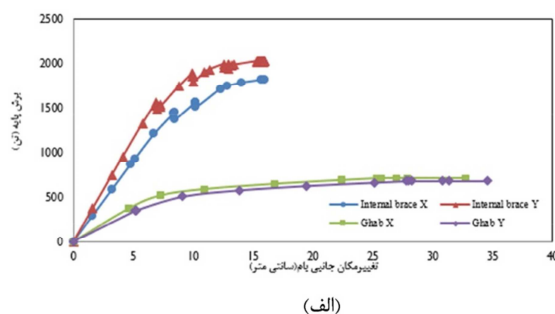
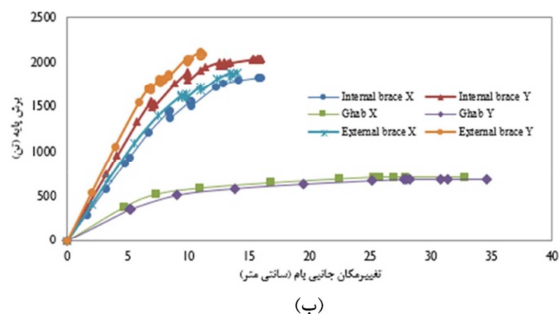
قابل‌ملاحظه (۳/۹ برابر)، افزایش ۴/۱ برابری سختی، کاهش جابه‌جایی جانبی ۷۱ درصدی و جذب برش قابل‌ملاحظه (۳/۹ برابر) نسبت به قاب مرجع و افزایش مقاومت ۱/۴۵ برابری نسبت به قاب بهسازی شده با مهاربند خارجی می‌شود.

سختی (۳/۹۵ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (۶۸ درصد) و جذب برش قابل‌توجه (۳ برابر) نسبت به قاب مرجع می‌شود.

براساس بخش (ج) در شکل ۱۳ و جدول ۶، بهسازی سیستم قاب‌خمش بتن‌آرمه مدل هشت طبقه با مهاربند بزرگ‌مقیاس خارجی باعث افزایش مقاومت

جدول ۶- تغییرات مقاومت، سختی و درصد کاهش جابه‌جایی بهسازی‌های مختلف مدل‌های تحلیلی نسبت به قاب مرجع.

مدل	نوع بهسازی	افزایش سختی اولیه	افزایش مقاومت	درصد کاهش جابه‌جایی
چهار طبقه	مهاربند داخلی	۳/۶ برابر	۲/۸۵ برابر	۳۵
چهار طبقه	مهاربند خارجی	۳/۵۷ برابر	۳/۵ برابر	۲۰
چهار طبقه	مهاربند بزرگ‌مقیاس	۴/۷ برابر	۴/۴ برابر	۵۰
هشت طبقه	مهاربند داخلی	۴/۱ برابر	۲/۹۵ برابر	۵۵
هشت طبقه	مهاربند خارجی	۳/۹۵ برابر	۳ برابر	۶۸
هشت طبقه	مهاربند بزرگ‌مقیاس	۴/۱ برابر	۳/۹ برابر	۷۱
۱۲ طبقه	مهاربند داخلی	۲/۶ برابر	۲/۴ برابر	۶۷
۱۲ طبقه	مهاربند خارجی	۲/۶۷ برابر	۲/۴ برابر	۶۷
۱۲ طبقه	مهاربند بزرگ‌مقیاس	۲/۹ برابر	۲/۷ برابر	۷۴
۱۵ طبقه	مهاربند داخلی	۱/۸ برابر	۲/۵ برابر	۶۱
۱۵ طبقه	مهاربند خارجی	۱/۵ برابر	۳ برابر	۴۲
۱۵ طبقه	مهاربند بزرگ‌مقیاس	۲/۱ برابر	۲/۶ برابر	۷۰



شکل ۱۳- مقایسه منحنی‌های بار افزون مدل هشت طبقه مرجع و بهسازی شده با (الف) مهاربندهای داخلی، (ب) مهاربندهای داخلی و خارجی و (ج) مهاربند داخلی و خارجی و بزرگ‌مقیاس.

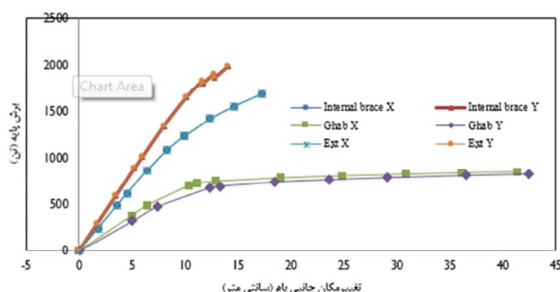
۶- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی ساختمان

بتن آرمه ۱۲ طبقه

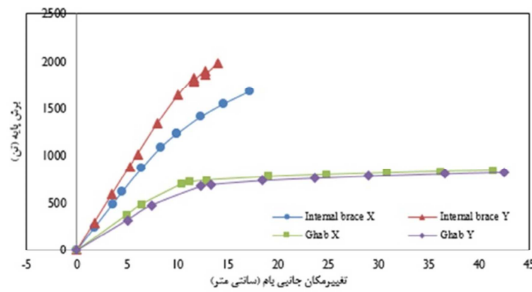
بهسازی سیستم قاب‌خمشي بتن‌آرمه مدل ۱۲ طبقه با مهاربند داخلی باعث افزایش مقاومت قابل‌ملاحظه (۲/۴ برابر)، افزایش سختی (۲/۶ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (۶۷ درصد) و جذب برش قابل‌توجه (۲/۴ برابر) می‌شود (شکل ۱۴ الف).

با توجه به شکل ۱۴ ب، بهسازی این سیستم با مهاربند خارجی باعث افزایش مقاومت (۲/۴ برابر)، افزایش

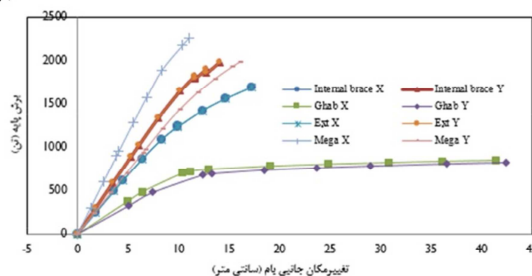
قابل‌ملاحظه سختی (۲/۷ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (۶۷ درصد) و جذب برش (۲/۴ برابر) می‌شود. با بررسی نتایج بهسازی سیستم قاب‌خمشي بتن‌آرمه مدل ۱۲ طبقه با مهاربند بزرگ‌مقیاس خارجی در شکل ۱۴ ج، مقاومت (۲/۷ برابر) و سختی (۲/۹ برابر) افزایش یافته و جابه‌جایی ساختمان به اندازه ۷۴ درصد، کاهش می‌یابد. همچنین، مقدار جذب برش، ۲/۷ برابر نسبت به قاب تنها بوده و افزایش مقاومت ۱/۱۷ برابر نسبت به قاب بهسازی شده با مهاربند خارجی را نتیجه می‌دهد.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۱۴- مقایسه منحنی‌های بار افزون مدل ۱۲ طبقه مرجع و بهسازی شده آن با (الف) مهاربندهای داخلی، (ب) مهاربندهای داخلی و خارجی و (ج) مهاربندهای داخلی و خارجی و بزرگ‌مقیاس.

برابر)، کاهش ۶۱ درصدی جابه‌جایی ساختمان و جذب برش ۲/۵ برابر، می‌شود.

با توجه به شکل ۱۵ ب، بهسازی سیستم قاب‌خمشي بتنی مدل ۱۵ طبقه با مهاربند خارجی باعث افزایش مقاومت (۳ برابر) افزایش قابل‌ملاحظه سختی (در اینجا ۱/۵ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (در اینجا ۴۲ درصد) و جذب برش چشمگیر (در اینجا ۳ برابر) می‌شود.

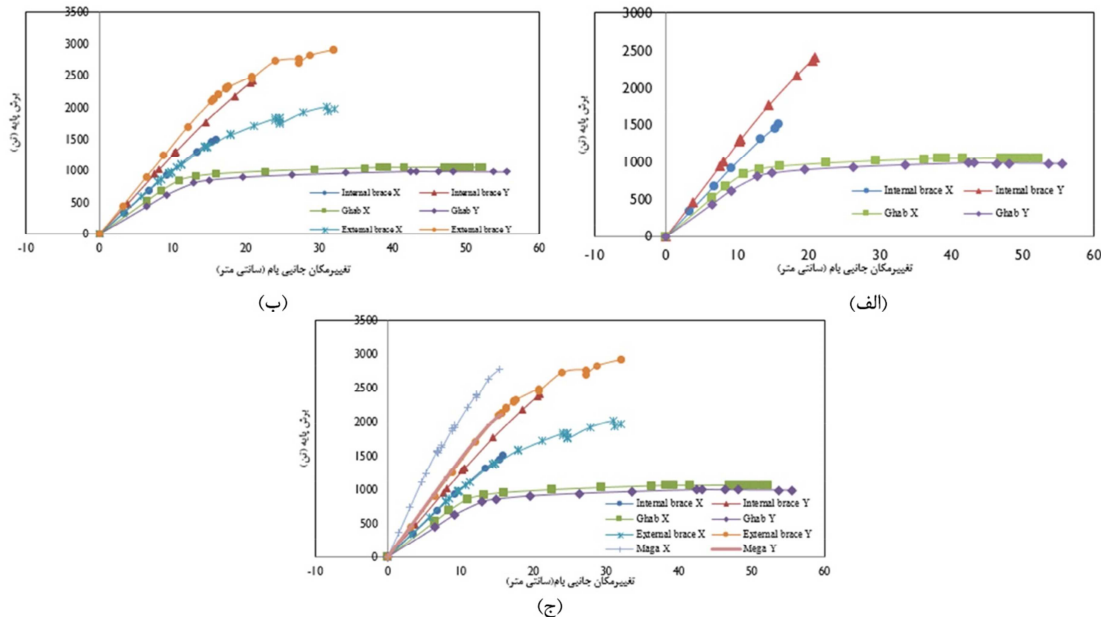
۷- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی ساختمان

بتن آرمه ۱۵ طبقه

نمودار مقایسه‌ای بار افزون مدل ۱۵ طبقه در شکل ۱۵ الف، حاکی از آن است که بهسازی سیستم قاب‌خمشي بتنی با مهاربند داخلی باعث افزایش مقاومت قابل‌ملاحظه (۲/۵ برابر)، افزایش قابل‌توجه سختی (۱/۸

سختی (۲/۱ برابر)، کاهش جابه‌جایی ساختمان (۷۰ درصد) و جذب برش (۲/۶ برابر) نسبت به قاب مرجع می‌شود.

از نمودار مقایسه‌ای بار افزون در شکل ۱۵ (ج) ملاحظه می‌شود که بهسازی سیستم قاب‌خمش‌ی بتنی تنها (مرجع) با مهاربند بزرگ مقیاس خارجی باعث افزایش مقاومت قابل‌ملاحظه ۲/۶ برابر، افزایش قابل‌ملاحظه

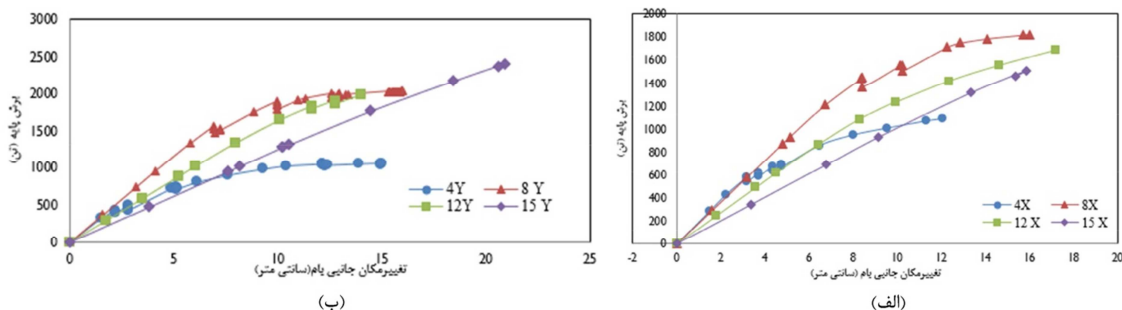


شکل ۱۵- مقایسه منحنی‌های بار افزون مدل ۱۵ طبقه مرجع و بهسازی شده با (الف) مهاربندهای داخلی، (ب) مهاربندهای داخلی و خارجی و (ج) مهاربندهای داخلی، خارجی و بزرگ مقیاس.

اینکه مقاومت آن نیز با روند افزایش خوبی روبه‌روست و این بدان معناست که ساختمان‌ها با اضافه نمودن مهاربندها اعم از داخلی، خارجی و بزرگ مقیاس با ارتقای سطح عملکرد، جابه‌جایی بیشتری تحمل می‌کند.

۸- مقایسه نتایج

نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات، شکل‌پذیری افزایش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد؛ ضمن



شکل ۱۶- منحنی‌های بار افزون مدل‌های بهسازی شده با مهاربند داخلی در جهت (الف) X و (ب) Y.

سازه‌های بتن مسلح (مبحث ۹) طراحی شده‌اند، طبق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران، مبحث نهم طراحی و اجرای ساختمان‌های بتن مسلح و همچنین دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای

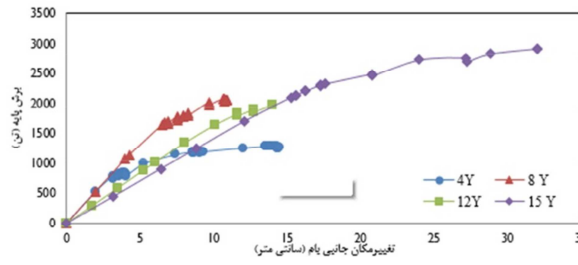
۹- نتیجه‌گیری

۱- اکثر سازه‌های بتن مسلح موجود که طبق ویرایش‌های قدیمی استاندارد ۲۸۰۰ و طراحی

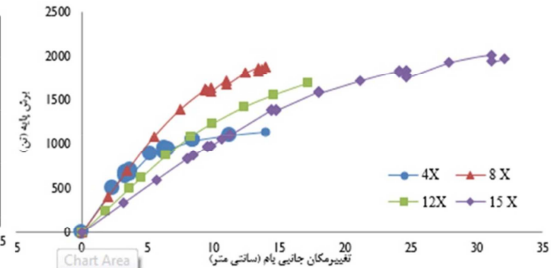
رفتاری آن (سختی، مقاومت، جذب برش پایه و شکل پذیری) بهبود مؤثری حاصل می‌شود. بدین ترتیب در سرمایه‌های ملی (مسکن) و هزینه‌های ناشی از تخریب و نوسازی، صرفه‌جویی زیادی می‌شود.

سازه‌ها، مقاوم نبوده و بهسازی سازه‌های مذکور ضروری می‌باشد.

۲- با بهسازی سازه‌های بتن مسلح از طریق استفاده از مهاربندهای فلزی به‌عنوان یکی از گزینه‌های سهل‌الاجرا، در رفتار سازه و مشخصه‌های اساسی

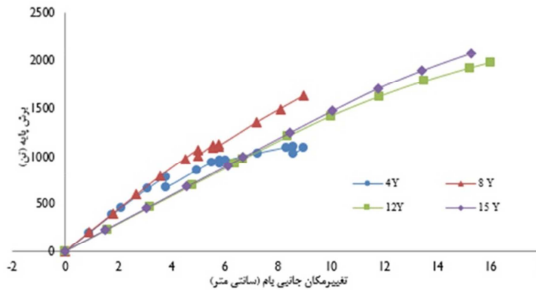


(ب)

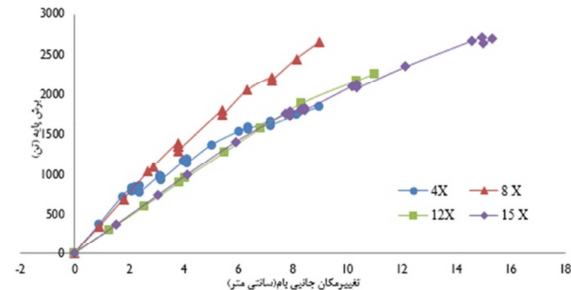


(الف)

شکل ۱۷- منحنی‌های بار افزون مدل‌های بهسازی شده با مهاربند خارجی در جهت (الف) X و (ب) Y.



(ب)



(الف)

شکل ۱۸- منحنی‌های بار افزون مدل‌های بهسازی شده با مهاربند بزرگ‌مقیاس در جهت (الف) X و (ب) Y.

تناوب سازه شده و برش پایه در سازه را افزایش خواهد داد؛ اما به دلیل رفتار سازه‌ای مناسب و افزایش متناسب مشخصه‌های مورد نیاز، سطح عملکرد کلیه مدل‌ها ارتقا می‌یابد.

۳- با توجه به بررسی‌های انجام شده، همه مدل‌های تحلیلی بهسازی شده با مهاربندهای فولادی اعم از داخلی، خارجی و بزرگ‌مقیاس، ارتقای سطح عملکرد می‌یابند. افزایش سختی سازه‌ها برای تمام مدل‌ها پس از بهسازی با روند افزایشی از ۱/۵ برابر تا ۴/۷ برابر، نسبت به مدل بهسازی نشده (مرجع) به ترتیب برای مهاربندهای داخلی و خارجی و بزرگ‌مقیاس، افزایش مقاومت از ۲/۴ تا ۴/۴ برابر، نسبت به مدل بهسازی نشده و کاهش جابه‌جایی جانبی از ۲۰ درصد تا ۷۴ درصد روی داده است که اقدام مؤثری در زمینه بهسازی محسوب می‌شود.

۵- رعایت ضوابط مربوط به طراحی سیستم‌های شکل‌پذیر و مباحث عملکرد فیوزگانه‌ی مهاربندی‌های خارجی و بزرگ‌مقیاس کمک شایانی در ارتقای سطح عملکرد مورد نیاز از سازه خواهد داشت. ضمن اینکه ستون‌های اطراف مهاربندها نیاز کمتری به بهسازی دارند.

۴- استفاده از مهاربندها در قاب‌های خمشی بتن‌آرمه، باعث افزایش سختی و کاهش زمان

۶- طبق تحلیل‌های غیرخطی صورت گرفته، افزایش سختی ناشی از بهسازی با مهاربندهای فولادی داخلی و خارجی در مدل‌های تحلیلی نزدیک به هم بوده، اما در صورت بهسازی با مهاربندهای

سازه‌ها در برابر حملات تروریستی تأمین خواهد کرد.

۹- با توجه به اینکه در مورد بهسازی سازه‌های بتن‌آرمه با مهاربندهای بزرگ‌مقیاس خارجی کار تحقیقی زیادی صورت نگرفته است، نتایج تحقیق حاضر برای تحقیقات گذشته و آینده مفید خواهد بود.

۱۰- می‌توان گفت عملکرد ساختمان‌های بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند بزرگ‌مقیاس بهتر از عملکرد ساختمان بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند خارجی و همچنین عملکرد ساختمان بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند خارجی نیز بهتر از عملکرد ساختمان بتن‌آرمه بهسازی شده با مهاربند داخلی است. ضمن اینکه محدودیت معماری به مراتب کمتری در صورت بهسازی با مهاربندهای بزرگ‌مقیاس خارجی و مهاربندهای خارجی نسبت به بهسازی با مهاربندهای داخلی وجود دارد که این خود مزیت عمده‌ای در طرح بهسازی محسوب می‌شود.

بزرگ‌مقیاس خارجی، همواره سختی بیشتری از دو حالت مورد اشاره حاصل می‌شود. این امر به معنی آن است که مهاربندهای بزرگ‌مقیاس سهم بیشتری از بارهای جانبی و برش پایه جذب می‌کند. ضمن اینکه درصد کاهش جابه‌جایی جانبی بیشتری در صورت استفاده از مهاربندهای بزرگ‌مقیاس روی می‌دهد.

۷- با بهسازی سازه‌های قاب‌خمش‌ی بتن‌آرمه با مهاربندهای فلزی و افزایش درجه نامعینی سازه و تشکیل مفاصل پلاستیک بیشتر رفتار غیرخطی سازه به نحو چشمگیری بهبود می‌یابد. می‌توان انتظار داشت که سازه در برابر بارهای جانبی رفتار به مراتب بهتری از سازه بدون تقویت، داشته باشد. همچنان‌که نتایج تحلیل نیز همین موضوع را تأیید می‌نماید.

۸- در بحث خرابی پیش‌رونده، به دلیل تأثیر مثبت استفاده از مهاربندها در کنترل خرابی‌های ناشی از کاهش یا فقدان مقاومت قائم سازه‌ها، استفاده از مهاربندهای فولادی مؤثر بوده و الزامات پدافند غیرعامل را تا حدود زیادی در زمینه مقاوم بودن

مراجع

[۱] معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی. (۱۳۹۲). "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (تجدید نظر اول)، نشریه شماره ۳۶۰"، تهران.

[۲] تسنیمی، ع.، معصومی، ع. (۱۳۷۹). "مقاوم‌سازی سازه‌های بتن مسلح با استفاده از مهاربند فولادی"، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

[3] Denelis, G., & Kappos, A.j. (1997). "Earthquake resistant concrete structures", *E&FN spon, London*.

[4] Sugano, S., Fujimura M. (1980). "Seismic strengthening of existing reinforced concrete building", *proceedings of Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, part1, 14, Turkey, 44-456.

[5] Badoux, M., & Jirsa, J. O. (1990). "Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting", *Journal of Structural Engineering*, 116(1), 55-74.

[6] Nateghi-A, F. (1995). "Seismic strengthening of eightstorey RC apartment building using steel braces", *Engineering Structures*, 17(6), 455-461.

[7] Pincheira, J. A., & Jirsa, J. O. (1995). "Seismic response of RC frames retrofitted with steel braces or walls", *Journal of Structural Engineering*, 121(8), 1225-1235.

[8] Maheri, M. R., & Sahebi, A. (1995). "Experimental investigation on the use of steel bracing in reinforced concrete frames", In *Proceedings of the Second International Conference on Seismic and Earthquake Engineering, Iran*, 1, 775-784.

- [۹] حاجی غفاری، ج. (۱۳۷۶). "اندرکنش قاب و بادبند فولادی در سازه‌های بتن مسلح برای تحمل نیروهای جانبی"، پنجمین کنفرانس مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ش.ص. ۲۲۸ - ۲۳۸.
- [۱۰] همتی، س. (۱۳۷۶). "بررسی آزمایشگاهی اتصالات بهسازی شده در ساختمان‌های بتن مسلح در مقابل نیروهای جانبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۱۱] خیرالدین، ع.، شمخالی‌مقدم، ع. (۱۳۸۰). "بررسی رفتار بادبندهای واگرا در قاب‌های بتن‌آرمه موجود"، دومین همایش بین‌المللی ساختمان‌های بلند، دانشگاه علم و صنعت ایران، ش.ص. ۱۴۳ - ۱۵۲.
- [۱۲] حمیدی، ج.، خیرالدین، ع. (۱۳۹۲). "بررسی رفتار ساختمان‌های بتن‌آرمه تقویت شده با بادبندهای فولادی خارجی"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان، ش.ص. ۸۶۱ - ۸۷۰.
- [۱۳] نیکخو، ع.، صفری، ن. (۱۳۹۵). "عملکرد لرزه‌ای سیستم دوگانه قاب‌خمش‌ی بتن‌آرمه ویژه و مهاربند همگرای ویژه فولادی به‌کمک تحلیل دینامیکی افزایشی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه آموزش عالی غیاث‌الدین جمشید کاشانی.
- [۱۴] مرادی‌شقاقی، ط.، قوی‌بازو، ف. (۱۳۹۵). "بررسی اثر آرایش‌های مختلف قرارگیری مهاربند بزرگ‌مقیاس با میراگر ویسکوز در پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های دارای مهاربند بزرگ‌مقیاس"، هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران.
- [۱۵] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۴). "طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم"، مقررات ملی ساختمان، تهران.
- [16] Federal Emergency Management Agency. (2000). "Pre Standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA 356, Washington, D.C.
- [۱۷] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۹۴). "طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم"، مقررات ملی ساختمان، تهران.
- [18] Computers and structures- Inc. (2014). "ETABS2015 Software", Berkeley, CA.

H. Rouhi

Ph.D Student, Faculty of Civil
Engineering, Semnan
University.

e-mail: h.rouhi@semnan.ac.ir

M. Gholhaki*

Associate Professor, Faculty of
Civil Engineering, Semnan
University.

e-mail: mgholhaki@semnan.ac.ir

A. Kheyroddin

Professor, Faculty of Civil
Engineering, Semnan
University.

e-mail: kheyroddin@semnan.ac.ir

**Assessment and Seismic Rehabilitation
of Reinforced Concrete Building
with Large-Scale Lateral Bracing External**

The experience of past earthquakes has shown that most reinforced concrete structures have been damaged by earthquake-bending frame systems. Also, existing reinforced concrete structures that are designed in accordance with previous editions of seismic regulations are not retrofit in terms of seismic improvement instructions and current valid seismic design codes. Stiffness and less strength of the flexural frame compared to the bracing, shear wall and dual systems require that the increase of the strength and stiffness of the structure as a rehabilitation technical strategy with the strategy of adding steel bracing to the economic, administrative and administrative aspects of the use of the building during the upgrade. To improve the performance and to provide the desired performance level. Steel braces for internal, external and large scale external applications that are used extensively in high-rise buildings are of interest to researchers. In this research, the nonlinear behavior of reinforced concrete structures rehabilitated with steel braces in the form of internal, external and large scale with a number of floors of 4, 8, 12 and 15 floors (samples of short, medium and high rise buildings) through the pushover analysis has been studied. The results show a significant increase in the stiffness, strength, ductility and absorption of the shear of reinforced concrete structures rehabilitated with large-scale bracing compared to reinforced concrete structures rehabilitated with internal and external braces and less relative displacement.

Keywords: Reinforced Concrete, Large-Scale Steel Bracing, Pushover Analysis, Seismic Rehabilitation.

* Corresponding author