

بررسی تأثیر میانقاب‌های آجری در سطح عملکرد ساختمان کوتاه و میان مرتبه فولادی با سیستم قاب خمشی

شمس‌الدین هاشمی

استاد یار گروه عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

Shamsodin@gmail.com

نیما سالاری

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی یاسوج، یاسوج، ایران

Nima.Salary@gmail.com

کلید واژه‌ها: میانقاب‌های آجری، ساختمان فولادی خمشی، سطح عملکرد، تحلیل استاتیکی غیرخطی، طبقه نرم

چکیده

حالت‌های شکست سازه‌های دارای میانقاب آجری در زلزله‌های اخیر، توجه محققان را به این موضوع جلب کرده است که دیوارهای پرکننده می‌تواند دارای اثرات قابل توجه مثبت یا منفی باشد. از مهم‌ترین اثرات منفی میانقاب‌ها، می‌توان به شکست طبقه نرم در سازه‌ها اشاره کرد. از آنجا که یکی از متداول‌ترین سیستم‌های سازه‌ای در ساختمان‌های فولادی، سیستم قاب خمشی است که نواحی میانی و پیرامونی آن با دیوارهای مصالح بنایی پر شده است؛ در این مقاله به بررسی تأثیر میانقاب‌ها در سطح عملکرد قاب‌های سه بعدی فولادی دارای سیستم قاب خمشی با تعداد طبقات مختلف و حالت‌های گوناگون توزیع میانقاب‌ها در ارتفاع پرداخته شده است. در این پژوهش، ابتدا ساختمان‌ها بدون در نظر گرفتن تأثیر میانقاب‌ها در نرم‌افزار SAP2000 طراحی شده و در مرحله بعد میانقاب‌ها در مدل‌های سه بعدی مختلف، به روش دستک فشاری مدل‌سازی شده‌اند. در مرحله آخر سطوح عملکرد و سایر پارامترهای تمامی مدل‌ها به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. از مهم‌ترین نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره نمود که وجود میانقاب در تمامی ساختمان‌ها باعث کاهش جابه‌جایی هدف و بهبود سطح عملکرد ساختمان‌ها شده است؛ هرچند در صورت توزیع نامتوازن آن‌ها در ارتفاع پدیده طبقه نرم اتفاق افتاده و در نتیجه سطح عملکرد به شدت کاهش یافته است. همچنین حضور میانقاب‌ها باعث تمرکز مفاصل پلاستیک و وقوع خرابی در طبقات اول و دوم ساختمان‌ها شده که با کاهش ارتفاع ساختمان‌ها نحوه خرابی‌های ناشی از حضور میانقاب‌ها نیز بحرانی‌تر شده است. میانقاب‌ها همین‌طور، باعث افزایش قابل توجه در سختی، مقاومت نهایی و کاهش شکل‌پذیری نیاز و ظرفیت استهلاک انرژی ساختمان‌ها شده که با کاهش ارتفاع تأثیر آن‌ها نیز تشدید یافته است.

مقدمه

از جمله سیستم‌های ساختمانی متداول در ایران، سیستم ساختمان‌های چند طبقه فولادی با قاب خمشی است. دیوارهای میانقاب بنایی که پس از اتمام ساخت قاب‌های فولادی خمشی ساخته می‌شوند معمولاً به عنوان المان‌های غیر سازه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. اگرچه آن‌ها به منظور نیازهای معماری استفاده می‌شوند اما با توجه به خاصیت ذاتی ساختارشان باعث مقاومت در برابر نیروهای جانبی زلزله می‌شوند. به عبارت دیگر دیوارهای میانقاب دارای مقاومت و سختی قابل توجهی است که باعث تأثیر بسیار مهمی در پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های ساختمانی می‌شوند. تحقیقات بسیاری در رابطه با درک رفتار طبقه نرم در گذشته صورت گرفته، هر چند مطالعات محدودی در رابطه با بررسی آسیب‌پذیری و سطح عملکرد ساختمان‌های فولادی خمشی با استفاده از تحلیل پوش آور انجام شده است. روش تحلیل پوش آور و طراحی عملکردی سازه‌ها به منظور ارزیابی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای به سرعت در حال پیشرفت است و جزو مباحث روز دنیا است. در این روش با استفاده از اعمال نیروی جانبی که به سازه وارد می‌شود می‌توان منحنی ظرفیت سازه را محاسبه نمود. در این آنالیز نیروها به تدریج تا مرز انهدام سازه افزایش می‌یابند و می‌توان نیروی مقاوم نهایی و شکل‌پذیری سازه را محاسبه نمود. همچنین این تحلیل به منظور ایمن‌سازی ساختمان‌ها، ارزیابی سطح عملکرد ساختمان و پیشنهاد طرح مقاوم‌سازی ساختمان‌های دارای ضعف در سیستم سازه‌ای، بسیار مفید است. اتفاق نظر کلی که در بین محققین وجود دارد این است که قاب‌های میانپنر مقاومت بیشتری نسبت به قاب‌های بدون دیوارهای میانقاب دارند. حضور دیوارهای میانقاب باعث افزایش قابل توجه سختی جانبی خواهد شد و در پی آن با تغییر در سختی و جرم سیستم سازه‌ای خصوصیات دینامیکی دستخوش تغییر خواهد شد. در تمامی نرم‌افزارهای طراحی

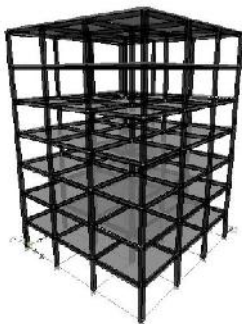


سازه که ساختمان‌های چند طبقه در آن‌ها آنالیز می‌شود ساختمان‌ها به صورت قاب‌های خالی و بدون دیوارهای میانقاب مدل‌سازی می‌شوند و فقط بار مرده ناشی از دیوارها به صورت بار مرده خارجی در محل موردنظر اعمال می‌شود. از این‌رو در این مقاله به بررسی تأثیر میانقاب‌ها در حالت کاملاً پر و همچنین تشکیل طبقه نرم (حذف میانقاب‌ها در طبقه همکف) در ساختمان‌های فولادی با تعداد طبقات سه، پنج و هفت طبقه پرداخته می‌شود.

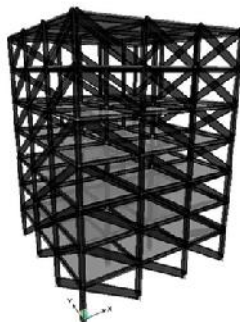
مدل‌های مورد بررسی

در این پژوهش ساختمان‌های مورد بررسی دارای تعداد طبقات سه، پنج و هفت طبقه با ارتفاع مشابه سه متر با سیستم قاب خمشی است. ساختمان مذکور دارای تعداد سه دهانه با طول مشابه پنج متر در هر دو جهت است. به منظور بررسی تأثیر میانقاب‌ها بر مشخصات لرزه‌ای ساختمان‌ها، ابتدا ساختمان‌های مذکور بدون در نظر گرفتن تأثیر میانقاب‌ها به روش حالت حدی طبق ضوابط مبحث ده مقررات ملی ساختمان ویرایش ۹۲ طراحی شده است. تمامی ساختمان‌های مورد نظر با سیستم سقف تیرچه بلوک و کاربری مسکونی در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی زیاد واقع در زمین تیپ III فرض شده است. بارهای ثقلی شامل بار مرده، زنده و برف طبق عرف مهندسين محاسب مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ویرایش ۹۲ و بارگذاری لرزه‌ای مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم انجام شده است. تمامی ساختمان‌ها در پلان منظم بوده و تمامی کنترل‌های لرزه‌ای مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ صورت گرفته است. همچنین تمامی شرایط و ضوابط لرزه‌ای مربوط شکل‌پذیری متوسط از جمله مقاطع با شرایط فشار لرزه‌ای در ساختمان‌ها رعایت گردیده است. مقطع تیرها از نوع تیرورق I شکل و ستون‌ها از نوع جعبه‌ای ساخته شده از ورق با فولاد ST37 فرض شده است. میانقاب‌ها با ضخامت بیست سانتیمتر با مقاومت فشاری ۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مدول الاستیسیته معادل ۲۶۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع طبق ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح (نشریه ۳۷۶) در مدل‌ها در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی تأثیر میانقاب‌ها بر سطح عملکرد ساختمان‌های فولادی سه مدل متفاوت مطابق با شکل ۱ برای هر کدام از ساختمان‌ها در نظر گرفته شده است:

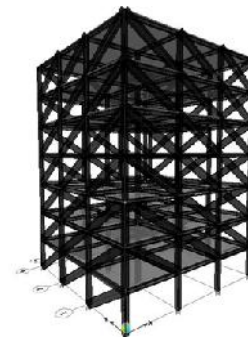
مدل I (Bare Frame): قاب خالی؛ حالتی که در آن میانقاب‌ها در مدل وارد نشده‌اند و تأثیر میانقاب‌ها در نظر گرفته نشده است.
مدل II (Infilled Frame): قاب میانپر؛ حالتی که در آن میانقاب‌ها در تمام دهانه‌های محیطی و تمامی طبقات سازه‌ها وجود دارد.
مدل III (Soft Story): طبقه نرم؛ حالتی که در آن میانقاب‌ها در تمام دهانه‌های محیطی و تمامی طبقات به جز طبقه اول (محل ورودی پارکینگ) ساختمان‌ها وجود دارد.



Model I: Bare Frame



Model II: Infilled Frame



Model III: Soft Story

شکل ۱: انواع مدل‌های مورد بررسی

مدل‌سازی میانقاب‌ها

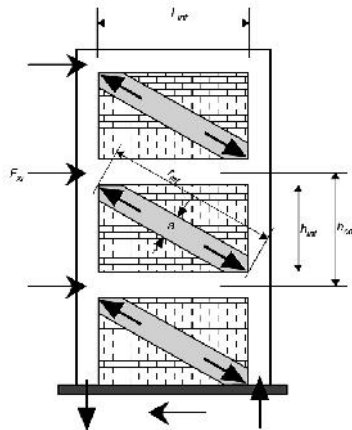
هنگامی که یک سازه شامل قاب و میانقاب تحت بارگذاری جانبی قرار گیرد و هیچ‌گونه اتصال و یا مهاري بين قاب و میانقاب وجود نداشته باشد، در اثر بارگذاری وارده میانقاب ممکن است، در طول زیادی از کناره‌های خود از قاب محیطی جدا شود در این حالت فقط گوشه‌های تحت بارگذاری جانبی چسبیده و به قاب باقی می‌مانند، که در مجموع این نوع عملکرد میانقاب توسط یک المان قطری معادل قابل نشان دادن است. در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای از مدل دستک فشاری با عرض مؤثر معادل، برای مدل‌سازی میانقاب مصالح بنایی استفاده شده است، در این مدل‌سازی ضریب ارتجاعی و ضخامت دستک فشاری معادل باید با مشخصات دیوار میانقاب یکسان باشد. روش مدل‌سازی میانقاب در FEMA-356 شبیه دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای است (در نشریه ۳۶۰ روابط برحسب کیلوگرم - سانتیمتر بازنویسی شده است). در این پژوهش برای مدل‌سازی میانقاب‌ها، از روابط مدون ارائه شده در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (نشریه ۳۶۰) استفاده شده است. در این روش، عرض دستک قطری معادل (a) از رابطه (۱) حاصل می‌شود:

$$a = 0.254 [h_{col}]^{-0.4} r_{inf} \quad (1)$$



$$\beta_1 = \left[\frac{10E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{0.25} \quad (2)$$

h_{col} ارتفاع مرکز تا مرکز ستون، h_{inf} ارتفاع خالص پانل میانقاب، E_{fe} ضریب ارتجاعی مورد انتظار مصالح قاب، E_{me} ضریب ارتجاعی مورد انتظار مصالح میان قاب، t_{inf} ضخامت پانل میان قاب و دستک فشاری معادل، θ زاویه‌ای که تنازانت آن برابر ضریب تناسب پانل (نسبت ارتفاع به طول) می‌باشد، β_1 ضریبی که برای محاسبه‌ی عرض معادل دستک فشاری پانل به کار می‌رود. تمامی پارامترهای شرح داده‌شده در بالا و نحوه جایگزینی میانقاب‌ها با دستک فشاری معادل در شکل ۲ نشان داده‌شده است. همچنین در این پژوهش از تأثیر بازشوها در میانقاب‌ها صرفه نظر شده است.



شکل ۲: جایگزینی میانقاب با دستک فشاری معادل (FEMA-356)

تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور)

تحلیل بار افزون (پوش آور)، تحلیل غیرخطی است که در آن پس از اعمال بارهای ثقلی، سازه در معرض بارهای جانبی با یک الگوی مشخص که به تدریج افزایش می‌یابد، قرار داده می‌شود. در هر گام که بارهای جانبی به صورت تدریجی افزایش می‌یابند، سختی سازه اصلاح می‌گردد. به عبارت دیگر در هر گام معادله تعادل استاتیکی کنترل شده و این عمل تا زمانی که مرکز جرم بام به یک مقدار تعریف شده (جابجایی هدف یا نقطه عملکرد) برسد و یا قبل از فروریزی، ناپایدار شود ادامه می‌یابد. حاصل این مرحله منحنی ظرفیت است که به صورت تغییرات جابجایی مرکز جرم بام و برش پایه نمایش داده می‌شود. نیروهای داخلی و همچنین تغییر شکل‌های اعضا در هر مرحله نظیر تغییر مکان هدف و یا تغییر مکان قبل از فروریزی با ظرفیت آن‌ها مقایسه می‌گردد. (پاک‌نیت، ش، و پاک‌نیت، ا، ۱۳۹۰).

در این پژوهش بحرانی‌ترین حالت بار ثقلی مطابق نشریه ۳۶۰ انتخاب شده است:

$$Q_G = 1.1[Q_D + Q_L] \quad (3)$$

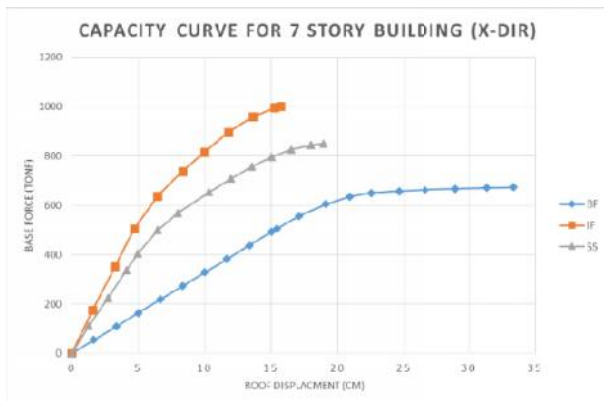
در این روابط Q_D بار مرده و Q_L بار زنده مؤثر که طبق مبحث ششم مقررات ملی در ساختمان‌های مسکونی معادل ۲۰ درصد بار زنده کل می‌باشد. همچنین دو نوع الگوی توزیع بار جانبی مطابق توزیع متناسب با شکل مود اول و توزیع یکنواخت در نظر گرفته شده است و هنگام بررسی سازه بحرانی‌ترین حالت مدنظر قرار گرفته شده است. به منظور انجام تحلیل پوش آور به تیرهای سازه مفصل خمشی (M3) و به ستون‌های سازه، مفصل اندرکنشی محوری و خمشی دوطرفه (P-M2-M3) اختصاص داده شده است. همچنین با توجه به اینکه این دستک‌ها فقط به صورت فشاری عمل می‌کنند، یک مفصل فشاری در وسط المان قطری دستک طبقه مشخصات ارائه شده در نشریه بهسازی لرزه‌ای ایران (نشریه ۳۶۰) قرار داده شده است. یکی از روش‌های که برای تعیین تغییر مکان هدف در دیافراگم‌های صلب به کار می‌رود روش ارائه شده در FEMA-356 است. این روش به روش ضریب جابه‌جایی مشهور است. این روش در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (نشریه ۳۶۰) عیناً آورده شده است و در این مورد تفاوتی بین دو آیین‌نامه وجود ندارد. یکی از مزیت‌های این روش سادگی این روش می‌باشد. در این مقاله تغییر مکان هدف ساختمان‌ها از روش ضریب جابه‌جایی مطابق نشریه ۳۶۰ (FEMA-356) توسط نرم‌افزار محاسبه شده است. همچنین به منظور محاسبه تغییر مکان هدف توسط نرم‌افزار طیف پاسخ با میرایی ۵ درصد با توجه به نوع خاک و لرزه‌خیزی ساختمان‌ها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ برای زلزله طرح (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) در نرم‌افزار تعریف شده است.

مقایسه سطح عملکرد قاب‌های مختلف ساختمان‌ها

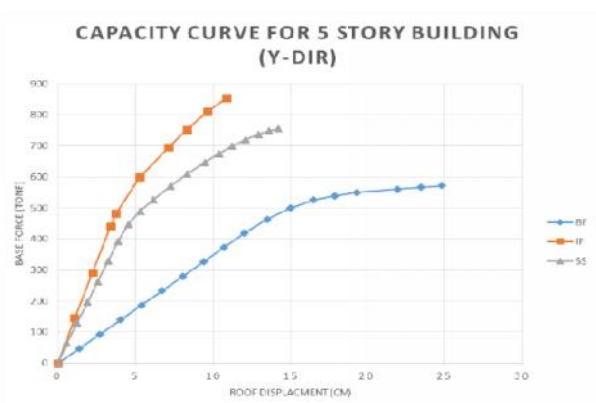
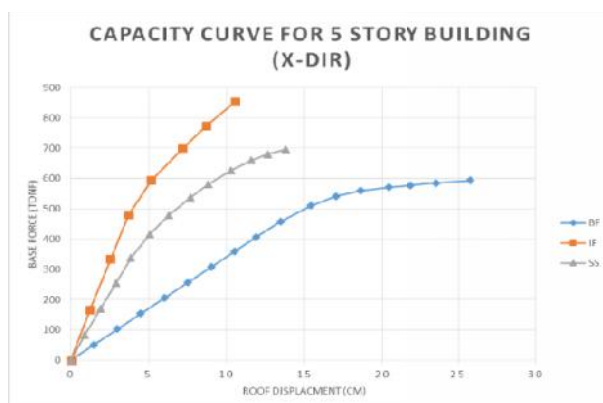
تحلیل استاتیکی غیرخطی بر روی تمامی مدل‌های نشان داده شده در شکل ۱ انجام شده است. مقایسه بین سطح عملکرد، برش پایه کل و جابه‌جایی بام در نقطه جابه‌جایی، منحنی ظرفیت و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در تمامی مدل‌های مورد بررسی از نتایج این تحلیل حاصل شده است.

تأثیر میانقاب‌های آجری بر منحنی ظرفیت ساختمان‌ها

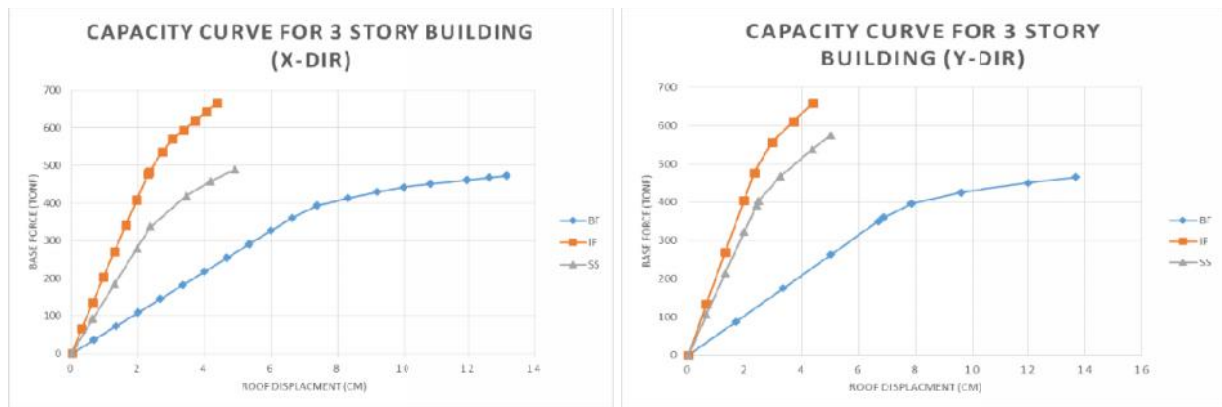
از جمله خروجی‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی، نمایش منحنی برش پایه بر حسب تغییر مکان بام می‌باشد. به این منحنی، منحنی ظرفیت سازه می‌گویند؛ که اطلاعات مفیدی را در رابطه با مقاومت، شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی سازه نشان می‌دهند. منحنی ظرفیت مدل‌های مورد بررسی ساختمان‌ها هفت، پنج و سه طبقه به ترتیب در شکل ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در مشاهده می‌شود، حضور میانقاب‌ها در تمامی ساختمان‌ها باعث افزایش برش پایه و کاهش جابه‌جایی بام می‌شود، به عبارتی میانقاب‌ها باعث افزایش مقاومت سازه و کاهش شکل‌پذیری نیاز می‌شود. با توجه به اینکه مساحت زیر نمودار ظرفیت نشان‌دهنده میزان جذب انرژی هست، می‌توان پی برد که حضور میانقاب‌ها باعث افت شدید در جذب انرژی ساختمان‌ها می‌شود. از مقایسه نمودار مربوط به طبقه نرم می‌توان به این نتیجه پی برد که هنگام رخ دادن این پدیده، مقاومت ساختمان به میزان کمتری نسبت به حالت تمام میانقاب افزایش می‌یابد و همچنین در این حالت جابه‌جایی بام اندکی نسبت به حالت تمام میانقاب بیشتر هست که این خود نشان دهند افزایش شکل‌پذیری نیاز نسبت به حالت تمام میانقاب هست. نتیجه دیگری که می‌توان از مقایسه نمودارها یافت، این است که با کاهش مساحت زیر نمودار ظرفیت ساختمان در حالت طبقه نرم نسبت به حالت تمام میانقاب، قابلیت جذب انرژی به میزان بیشتری کاهش یافته و این به معنای ترد شکنی ساختمان در حالت طبقه نرم هست و اعضای اصلی ساختمان به‌طور ناگهانی و هیچ‌گونه هشدار قبلی دچار خرابی می‌شوند. تغییرات مربوط به منحنی ظرفیت فقط در جهتی که طبقه نرم وجود دارد (جهت X) رخ داده و در جهت دیگر ساختمان، تأثیر قابل توجهی ندارد. تأثیر میانقاب‌ها در ساختمان‌های با ارتفاع کمتر، بیشتر است به خصوص در هنگام وقوع پدیده طبقه نرم، زوال ساختمان‌های با ارتفاع کمتر بسیار نامطلوب‌تر و ناگهانی‌تر هست به‌گونه‌ای که ساختمان‌های کوتاه‌تر پس از رسیدن به مقاومت نهایی جابه‌جایی بسیار کمی را تحمل می‌کنند.



شکل ۲: منحنی ظرفیت ساختمان هفت طبقه در دو جهت X و Y



شکل ۳: منحنی ظرفیت ساختمان پنج طبقه در دو جهت X و Y



شکل ۴: منحنی ظرفیت ساختمان سه طبقه در دو جهت X و Y

تأثیر میانقاب‌های آجری بر سطح عملکرد ساختمان‌ها

یک سطح عملکرد نشان‌دهنده حداکثر خرابی مورد انتظار در سازه هست به طوری که اگر خرابی از این حد بیشتر افزایش پیدا کند، سطح عملکرد سازه تغییر پیدا خواهد کرد. سطوح عملکرد برای اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای قابل تعریف و بررسی هست اما در این پژوهش هدف اصلی بررسی سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای (فقط تیرها و ستون‌های ساختمان‌ها) است. تأثیر میانقاب‌های آجری بر سطح عملکرد ساختمان‌ها هفت، پنج و سه طبقه به ترتیب در جدول ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جداول مذکور مشاهده می‌شود وجود میانقاب در تمامی حالت باعث کاهش جابه‌جایی هدف و بهبود سطح عملکرد (از سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه) ساختمان‌ها می‌شود و تأثیر میانقاب‌ها بر روی بهبود سطح عملکرد و میزان کاهش جابه‌جایی هدف در ساختمان‌های کوتاه مرتبه تر بیشتر خواهد شد به گونه‌ای که در ساختمان سه طبقه، سطح عملکرد از حالت LS-CP (ایمنی جانی-آستانه فروریزش) به حالت B-IO (قابلیت استفاده بی‌وقفه) تبدیل شده و جابه‌جایی هدف به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین از جداول می‌توان پی برد که هنگام رخ دادن طبقه نرم در ساختمان‌های پنج و سه طبقه به شدت سطح عملکرد کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که این ساختمان‌ها از سطح عملکرد LS-CP (ایمنی جانی-آستانه فروریزش) وارد سطح عملکرد نامطلوب C-D (سطح عملکرد بسیار نامطلوب تر سطح عملکرد آستانه فروریزش) می‌شوند؛ اما در ساختمان هفت طبقه هنگام وقوع پدیده طبقه نرم، به علت مقاوم‌تر بودن و طراحی ستون‌ها برای نیروی فشاری بیشتر نسبت به ساختمان‌های پنج و سه طبقه، سطح عملکرد ساختمان تغییر نداشته است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت پدیده طبقه نرم در ساختمان‌های پنج و سه طبقه بسیار بحرانی و قابل تأمل است، زیرا ستون‌های طبقه همکف این ساختمان‌ها بیشتر برای نیروهای خمشی طراحی شده و با اعمال نیروی فشاری محوری مازاد ناشی از تبدیل کنش خمشی به کنش محوری دستک‌های قطری، بسیار زودتر از بقیه ستون‌های واقع در قاب‌های دیگر ساختمان تخریب می‌شوند. شایان ذکر است که ممکن است با تغییر مشخصات مصالح میانقاب (مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری مورد انتظار مصالح دیوارها) و ضخامت دیوارها نتایج دستخوش تغییر بسیاری شود؛ زیرا با تفاوت مشخصات مصالح میانقاب نیروی محوری ناشی از تبدیل کنش خمشی به محوری دستک‌های قطری تغییر نموده و بسته به مقاومت محوری ستون‌ها رفتار متفاوتی در سازه رخ دهد.

جدول ۱: مقایسه تأثیر میانقاب‌ها بر سطح عملکرد لرزه‌ای ساختمان هفت طبقه

سطح عملکرد لرزه‌ای	جابه‌جایی هدف (Target Displacement)				ساختمان هفت طبقه
	در جهت Y (تن، سانتی‌متر)		در جهت X (تن، سانتی‌متر)		
	جابه‌جایی بام	برش پایه	جابه‌جایی بام	برش پایه	
LS-CP	۳۲.۱۱	۶۷۸.۴۷۶	۳۱.۹	۶۷۱.۸۵	قاب خالی (Bare Frame)
IO-LS	۱۵.۷۴	۱۰۰۴.۹۴	۱۵.۷	۱۰۰۱.۸۱	قاب میان‌پر (Infilled Frame)
LS-CP	۱۸.۴	۸۵۷.۹۲	۱۸.۸۹	۸۵۰.۴۱	طبقه نرم (Soft Story)

جدول ۲: مقایسه تأثیر میانقاب‌ها بر سطح عملکرد لرزه‌ای ساختمان پنج طبقه

سطح عملکرد لرزه‌ای	جابه‌جایی هدف (Target Displacement)				ساختمان پنج طبقه
	در جهت Y (تن، سانتی‌متر)		در جهت X (تن، سانتی‌متر)		
	جابه‌جایی بام	برش پایه	جابه‌جایی بام	برش پایه	
LS-CP	۲۴.۹۳	۵۳۹	۲۵.۵۴	۵۵۳.۶۴	قاب خالی (Bare Frame)
B-IO	۹.۷۲۲	۸۱۴.۴	۹.۵۵	۸۰۹.۹۵	قاب میان‌پر (Infilled Frame)
C-D	۱۴.۱۸	۷۵۵.۳	۱۳.۷۸	۶۹۵.۷۴	طبقه نرم (Soft Story)

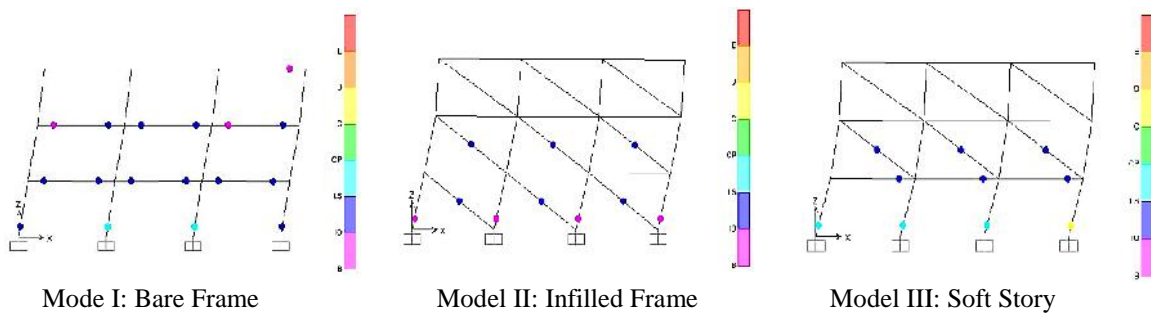


جدول ۳: مقایسه تأثیر میانقاب‌ها بر سطح عملکرد لرزه‌ای ساختمان سه طبقه

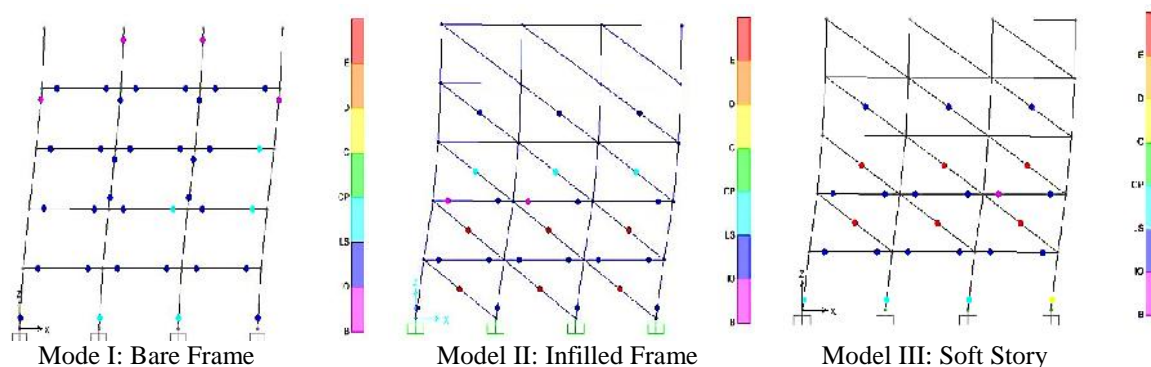
سطح عملکرد لرزه‌ای	جابه‌جایی هدف (Target Displacement)				ساختمان سه طبقه
	در جهت Y (تن، سانتی‌متر)		در جهت X (تن، سانتی‌متر)		
	جابه‌جایی بام	برش پایه	جابه‌جایی بام	برش پایه	
LS-CP	۱۳.۴۱	۴۶۲.۶۶	۱۳.۱۶	۴۷۲.۲۲	قاب خالی (Bare Frame)
B-IO	۳.۹	۶۲۴.۴۸	۴.۱	۶۴۵.۵۲	قاب میان‌پر (Infilled Frame)
C-D	۵	۵۷۶	۴.۸۹	۴۸۹.۱	طبقه نرم (Soft Story)

تأثیر میانقاب‌های آجریبر نحوه توزیع مفاصل پلاستیک ساختمان

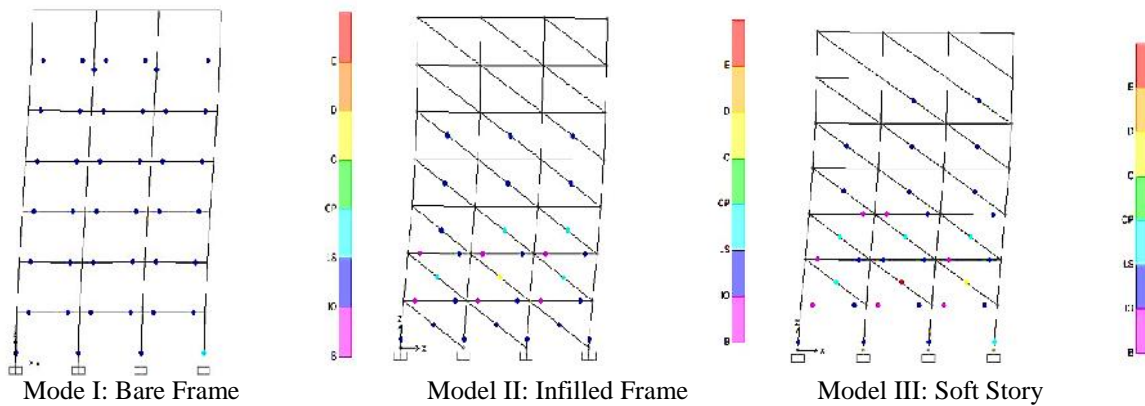
در طراحی ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی با شکل‌پذیری ویژه، طراحی باید به نحوی باشد که تا حد امکان ستون‌ها دیرتر از تیرها دچار خرابی شوند؛ بنابراین باید، ابتدا مفاصل پلاستیک در تیرهای ساختمان‌ها رخ دهد و ستون‌ها در آخرین لحظه به مرحله زوال برسند بنابراین از طریق بررسی مفاصل پلاستیک می‌توان نحوه خرابی و آسیب را در ساختمان‌ها مورد بررسی قرارداد. نحوه توزیع مفاصل قاب‌ها در بحرانی‌ترین حالت، ساختمان‌های سه، پنج و هفت طبقه مورد بررسی به ترتیب در شکل ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حضور میانقاب‌ها در ساختمان‌های هفت و پنج طبقه باعث می‌شود که مفاصل پلاستیک فقط در تیرهای طبقات اول و دوم و در ساختمان سه طبقه، هیچ‌گونه مفصل پلاستیکی در تیرها رخ ندهد؛ بنابراین میانقاب‌ها باعث تمرکز مفاصل پلاستیک در طبقات اول و دوم می‌شوند و خرابی فقط به صورت موضعی در این طبقات رخ داده است. با توجه کاهش تشکیل مفصل پلاستیک و نرسیدن تمامی تیرها به ظرفیت نهایی و عدم مشارکت اعضا در باربری جانبی، مساحت زیر نمودار ظرفیت (میزان استهلاک انرژی زلزله) کاهش یافته است که با کاهش ارتفاع تأثیر آن افزایش یافته است. همچنین در شکل‌های مذکور با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت قبل می‌توان نحوه زوال ناگهانی ستون‌ها طبقه همکف را در حالت وقوع طبقه نرم (Soft Story) مشاهده نمود.



شکل ۵: وضعیت و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در مدل‌های مورد بررسی ساختمان سه طبقه



شکل ۶: وضعیت و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در مدل‌های مورد بررسی ساختمان پنج طبقه



شکل ۷: وضعیت و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در مدل‌های مورد بررسی ساختمان هفت طبقه

نتیجه گیری

- ۱- با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل، حضور میانقاب‌ها در تمامی ساختمان‌ها باعث افزایش برش پایه و کاهش جابه‌جایی بام می‌شود، به عبارتی میانقاب‌ها باعث افزایش مقاومت سازه و کاهش شکل‌پذیری نیاز می‌شود؛ اما هنگام رخ دادن پدیده طبقه نرم (نامنظمی در ارتفاع)، مقاومت ساختمان نسبت به حالت تمام میانقاب کاهش و جابه‌جایی بام اندکی بیشتر می‌شود که این خود نشان دهند افزایش شکل‌پذیری نیاز نسبت به حالت تمام میانقاب هست. همچنین با کاهش مساحت زیر نمودار ظرفیت ساختمان، قابلیت جذب انرژی به میزان بیشتری کاهش یافته و این به معنای ترد شکنی ساختمان در حالت طبقه نرم هست به گونه‌ای که اعضای اصلی ساختمان به‌طور ناگهانی و هیچ‌گونه هشدار قبلی دچار خرابی می‌شوند.
- ۲- تأثیر میانقاب‌ها در ساختمان‌های با ارتفاع کمتر، بیشتر هست به خصوص در هنگام وقوع پدیده طبقه نرم، زوال ساختمان‌های با ارتفاع کمتر بسیار نامطلوب‌تر و ناگهانی‌تر هست به گونه‌ای که ساختمان‌های کوتاه‌تر پس از رسیدن به مقاومت نهایی جابه‌جایی بسیار کمی را تحمل می‌کنند.
- ۳- وجود میانقاب در تمامی حالت باعث کاهش جابه‌جایی هدف و بهبود سطح عملکرد ساختمان‌ها می‌شود؛ اما هنگام رخ دادن طبقه نرم در ساختمان‌های پنج و سه طبقه به شدت سطح عملکرد کاهش می‌یابد؛ اما در ساختمان هفت طبقه هنگام وقوع پدیده طبقه نرم، به علت مقاوم‌تر بودن و طراحی ستون‌ها برای نیروی فشاری بیشتر نسبت به ساختمان‌های پنج و سه طبقه، سطح عملکرد ساختمان تغییر نداشته است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت پدیده طبقه نرم و نامنظمی توزیع میانقاب‌ها در ارتفاع در ساختمان‌های پنج و سه طبقه بسیار بحرانی و مهم هست.
- ۴- حضور میانقاب‌ها در ساختمان‌های هفت و پنج طبقه باعث می‌شود که مفاصل پلاستیک فقط در تیرهای طبقات اول و دوم و در ساختمان سه طبقه، هیچ‌گونه مفصل پلاستیکی در تیرها رخ ندهد؛ بنابراین میانقاب‌ها باعث تمرکز مفاصل پلاستیک در طبقات اول و دوم می‌شوند و خرابی فقط به صورت موضعی در این طبقات رخ می‌دهد همچنین وجود میانقاب‌ها در ساختمان‌های با ارتفاع کمتر باعث می‌شود که در تیرها هیچ‌گونه مفصل پلاستیکی رخ ندهد و تمامی مفاصل پلاستیک به یک‌باره در ستون‌های طبقه همکف ایجاد شود زیرا در این حالت مقاومت فشاری دستک‌های قطری نسبت به مقاومت محوری ستون بسیار بالا است و دستک‌ها همچون مهاربندهای قطری نیروی جانبی وارده را مستقیم به ستون‌ها وارد می‌کنند؛ بنابراین با حضور میانقاب‌ها در ساختمان سه طبقه مورد بررسی (ساختمان با ارتفاع کمتر) و عدم تشکیل مفصل پلاستیک و نرسیدن تمامی تیرها به ظرفیت نهایی شکل‌پذیری این ساختمان به مقدار زیادی کاهش یافته است.
- ۵- با توجه به تحلیل‌های انجام شده و همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد میانقاب‌های آجری باعث افزایش چشمگیر سختی و مقاومت نهایی در پی آن کاهش شکل‌پذیری نیاز، ساختمان‌های خمشی فولادی شده‌اند. همچنین میانقاب‌ها با کاهش مساحت کلی زیر منحنی ظرفیت، باعث کاهش استهلاک انرژی زلزله و ترد شدگی سازه شده‌اند.

فهرست مراجع

Agency, F.E.M. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings: Fema-356*: Federal Emergency Management Agency Washington.

ANSI, B. (2005). *Aisc 360-05-specification for structural steel buildings*. Chicago~ AISC.



ATC. (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures: Applied Technology Council Washington DC.

Berkeley, C. (2011). Computer program Etabs nonlinear v9. 7.4. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

Berkeley, C. (2012). Computer program Sap2000 v15.2.1. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

CSI, C. (2004). Analysis reference manual for Sap2000, Etabs, and Safe. Computers and Structures, Inc., California, USA.

ÖZTÜRK, M.S. (2005). Effects of masonry infill walls on the seismic performance of buildings. Middle East Technical University, Ankara Turkey. Paulay, T, & Priestley, MJN. (1992). Seismic design of reinforced and masonry buildings. WileyInterscienceInc., USA.

پاک‌نیت، ش.، و پاک‌نیت، ا. (۱۳۹۰). تحلیل‌های موردنیاز در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها. تهران: متفکران.

تابش پور، م. (۱۳۸۸). دیوار پرکننده‌ی آجری در قاب سازه‌ای. تهران: فدک ایستاتیس.

تقی نژاد، ر. (۱۳۸۷). طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش آور SAP2000-ETABS. تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی، نشریه ۳۷۶، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه ۳۶۰، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.

شابختی، ن.، و حقیقت، پ. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر میانقاب‌های بنایی بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی خمشی. مقاله ارائه‌شده در اولین کنفرانس بین‌المللی ساخت و ساز شهری در مجاورت گسل‌های فعال.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش سوم، ۱۳۸۴.

مقررات ملی ساختمان ایران-مبحثدهم: طرح‌اجرای ساختمان‌های فولادی. تهران: نشر توسعه ایران، ۱۳۹۲.

مقررات ملی ساختمان ایران-مبحثششم: بارهای وارده بر ساختمان. تهران: نشر توسعه ایران، ۱۳۹۲.

نیک‌نام، ا.، میمندی پاریزی، ع.، و پاک‌نیت، ش. (۱۳۹۱). بهسازی لرزه‌ای سازه‌های فولادی و تحلیل بار افزون با استفاده از نرم‌افزارهای Sap2000 و ETABS. تهران: متفکران.

