

بررسی تأثیر مهاربازویی بر رفتار ساختمان های بلند مرتبه قاب-دیوار دارای کلاهک،

مجید مرادی^{۱*}، علیرضا بیطرف^۲

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران،

moradi5698@gmail.com

۲- مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه‌ای و بتن توانمند، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران،

a.bitaraf@semnaniau.ac.ir

چکیده

در سازه‌های قاب-دیوار، مقاومت در برابر بارهای جانبی توسط ترکیب دیوارهای برشی و قاب‌های خمشی تأمین می‌شود. یکی از ایرادات این سیستم دوگانه، کاهش تأثیرگذاری و حتی تأثیر منفی دیوار برشی در طبقات فوقانی می‌باشد. یکی از سیستم‌هایی که برای اصلاح این نقیصه مناسب است، سیستم مهاربازویی است. این سیستم، عمق مؤثر سازه را در هنگام خمش طره‌ای، با ایجاد کوپل نیروی محوری در ستون‌ها افزایش می‌دهد. مهاربازویی عموماً در طبقات میانی ساختمان قرار داده می‌شود. لیکن امکان ایجاد آن در بالاترین طبقه ساختمان نیز وجود دارد، در این حالت آن را کلاهک می‌نامند. از آنجایی که ایجاد مهاربازویی محدودیت‌های معماری زیادی را ایجاد می‌کند، استفاده از مهاربازویی در بام (کلاهک)، باعث اجتناب از این مشکل می‌شود. در ساختمان‌های با ارتفاع زیاد، استفاده از کلاهک به تنهایی تأثیر زیادی نخواهد داشت، لذا با توجه به تداول سیستم قاب-دیوار در ساختمان‌های بلند مرتبه، این پژوهش به تأثیر مهاربازویی و کلاهک بر سختی جانبی، توزیع نیروی جانبی بین قاب و دیوار و نیروهای داخلی در دیوار و ستون‌های ساختمان ۴۰ طبقه پرداخته است.

بررسی حاضر نشان داد که در صورت استفاده از کلاهک، تغییر مکان جانبی بام به ۸۷ درصد نمونه مرجع کاهش می‌یابد. استفاده از مهاربازویی در طبقه ۲۰ به جای کلاهک باعث می‌شود که جابه‌جایی به ۶۹ درصد نمونه مرجع کاهش یابد و استفاده توأمان از کلاهک و مهاربازویی باعث کاهش جابه‌جایی بام به ۶۰ درصد جابه‌جایی نمونه مرجع می‌رسد. در صورت استفاده از کلاهک تنها، مهار تنها و ترکیب مهار و کلاهک سهم برش دیوار نسبت به مدل اولیه به ترتیب ۲۶، ۳۹ و ۵۷ درصد افزایش می‌یابد. با استفاده از این سیستم، گشتاور حداکثر در دیوارها ۶۰ درصد کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: کلاهک، مهار بازویی، قاب-دیوار، بتن آرمه، سازه بلند

۱. مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت علم در حوزه‌های مختلف، به ویژه صنعت ساختمان، شاهد تغییرات چشم‌گیری در بخش‌های گوناگون آن بوده‌ایم؛ همچنین با توجه به گسترش شهرها و از طرفی محدودیت فضا در آن‌ها، نیاز به ساختمان‌های بلند مرتبه موضوعی قابل توجه است. از این رو ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه نیازمند تمهیدات ویژه‌ای نسبت به ساختمان‌های کوتاه مرتبه در امر ساخت است.

یکی از تمهیداتی که در طراحی این ساختمان‌ها می‌توان به آن اشاره نمود استفاده از سیستم مهاربازویی است. ایده استفاده از مهاربازویی در ساختمان‌های بلند، از کشتی‌های بادبانی گرفته شده است. در این گونه کشتی‌ها، این سیستم در بادبان‌ها برای مقابله با بارهای باد در نظر گرفته می‌شد و دکل‌های بلند و باریک را پایدار و قوی می‌کرد [1].

مهاربازویی یک ساختار بزرگ تیر سخت کننده است که هسته برشی مرکزی را به ستون‌های خارجی متصل می‌نماید. هنگامی که سازه تحت نیروی جانبی قرار می‌گیرد، مهاربازویی و ستون‌ها در برابر دوران هسته برشی مقاومت می‌کنند. بدین ترتیب انتظار می‌رود که تغییر شکل جانبی ساختمان بلند و نیز گشتاور خمشی فونداسیون تا اندازه زیادی کاهش پیدا کند.

در چند دهه گذشته مطالعات زیادی در خصوص رفتارهای ساختمان‌های بلندمرتبه انجام شده است. [15-2]: افق‌ری و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی تأثیر مهاربازویی و کمربند در دیوار برشی بتنی در سازه‌های بلند پرداختند. این تحقیق نشان داد که وجود مهاربازویی منجر به کاهش تغییر مکان بام می‌شود. [16]. پیراسته و همکاران در سال ۱۳۹۴ در طی پژوهشی عملکرد توأمان مهاربازویی و هسته مرکزی را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به بررسی آن‌ها استفاده از سیستم مهاربازویی با هسته مرکزی در سازه‌های بلند منجر به افزایش سختی سازه در برابر بارهای جانبی می‌گردد. هنگامی که کمربند خرابایی به سیستم هسته مرکزی اضافه گردد و در بهترین شرایط از نظر سختی و موقعیت قرار گیرد، تغییر مکان جانبی سازه کاهش بیشتری یافته و پدیده لنگی برشی که دارای بیشترین شدت در تراز پایه است، کاهش چشم‌گیری خواهد داشت [1]. خیرالدین و همکاران در سال ۱۳۹۵ با در نظر گرفتن سیستم هسته مرکزی با قاب محیطی کمربند خرابایی و مهاربازویی در یک ساختمان ۴۰ طبقه بتن آرمه، به تأثیر بسزای این سیستم در کاهش تغییر مکان بام اشاره کردند [17]. کاظمی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به مطالعه بهینه‌سازی سازه‌های بلند با سیستم هسته و خرابای کمربندی پرداختند و در این بررسی در پی کاهش دو پارامتر وزن کلی سازه و حداکثر تغییر مکان جانبی سازه بودند که به این نتیجه رسیدند جهت دست‌یابی به کاهش دو پارامتر وزن و تغییر مکان سازه باید در ساختمان ۴۰ طبقه، تعداد ۳ عدد خرابای کمربندی و در ساختمان ۵۰ طبقه، ۴ عدد خرابای کمربندی قرار دهند [18]. برزین تند و اکبرپور نیک‌قلب در سال ۱۳۹۵ با ارائه مدل‌هایی به بررسی اثر مهاربازویی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی بلند مرتبه تحت اثر بار زلزله پرداختند. این پژوهش بیانگر آن است که افزودن مهاربازویی و کمربند خرابایی نه تنها موجب افزایش سطح عملکرد تأمین شده در برابر پیچش‌های زیاد می‌شود، بلکه منجر به کاهش قابل توجه جابجایی و افزایش قابلیت اعتمادپذیری می‌گردد [19]. براتی و مشکوه‌الدینی در سال ۱۳۹۶ به مطالعه کاربرد سیستم سازه‌ای قاب محیطی و مهاربندی بزرگ پرداختند. ایجاد مؤلفه‌ی سختی مناسب در برابر بارهای جانبی و همچنین توزیع یکنواخت‌تر تنش‌های محوری در ستون‌های محیطی پلان، از جمله نتایج بود که در این بررسی به آن رسیدند [20].

با توجه به اینکه وجود مهاربازویی بر رفتار طبقات بالای خود تأثیر چندانی ندارد و از سویی امکان ایجاد مهاربازویی در بام سازه (کلاهدک) نسبتاً آسان می‌باشد، لذا پژوهش حاضر به تأثیر توأمان کلاهدک و مهاربازویی بر عملکرد سازه ۴۰ طبقه تحت اثر نیروی جانبی زلزله پرداخته است.

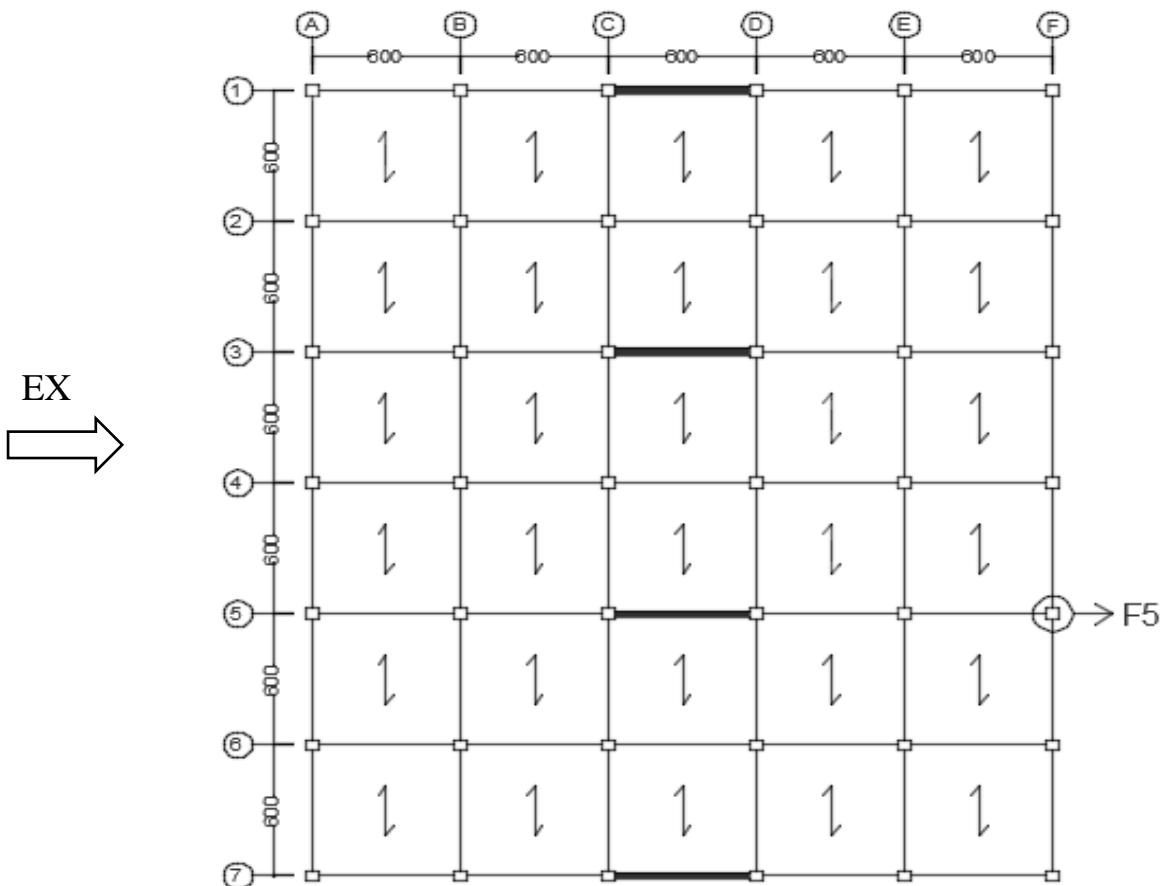
نکته قابل ملاحظه آنکه، سازه‌های با مهاربازویی می‌توانند بدون برهم زدن نمای ظاهری ساختمان، آن را تقویت کنند و این یک مزیت قابل توجه در مقایسه با دیگر سیستم‌های جانبی است. این سیستم با افزایش عمق مؤثر سازه در هنگام خمش طره‌ای باعث کوپل نیروی محوری در ستون‌ها می‌شود. با نظر به عمومیت استفاده از این سیستم در طبقات میانی، می‌توان از آن در بالاترین طبقه نیز بهره‌مند شد که در آن صورت کلاهدک تلقی می‌شود [15-2]. از آنجایی که مهاربازویی به تنهایی تأثیر خود را در پارامترهای تغییر مکان نسبی طبقات، میزان ممان در دیوار، میزان برش در دیوار و نیروی محوری ستون‌ها در طبقات زیرین خود می‌گذارد، از این رو استفاده از آن علاوه بر طبقات میانی ساختمان، در طبقه بام نیز حس می‌شود. بنابراین می‌توان با بهره‌گیری همزمان از کلاهدک و مهاربازویی، پارامترهای مؤثر بر عملکرد سازه را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید.

۲. مشخصات مدل‌ها

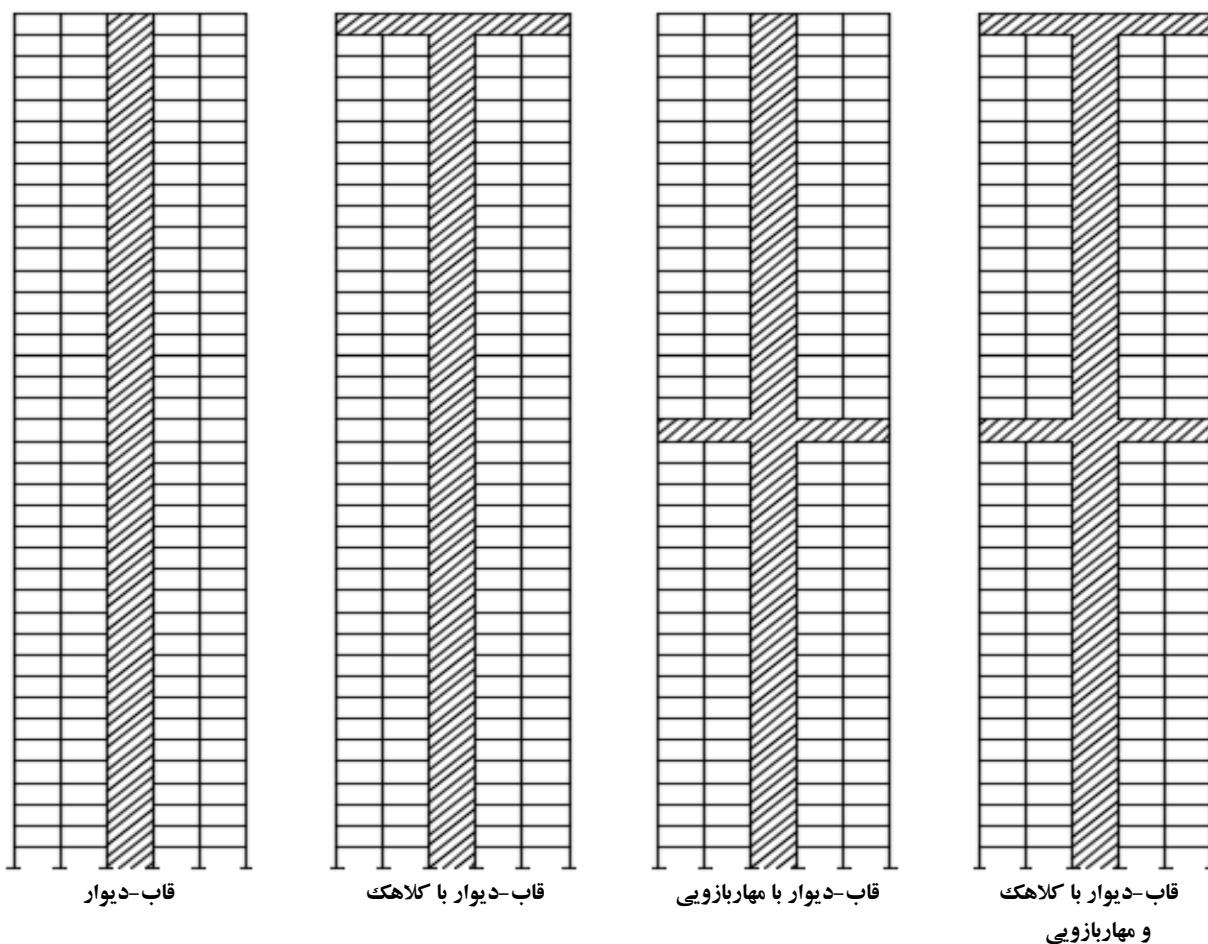
سازه مورد بررسی، سازه ۴۰ طبقه با سیستم دوگانه قاب-دیوار بتن آرمه بوده و دارای پلان مستطیل شکل، شامل ۵ دهانه ۶ متری در راستای اعمال نیروی جانبی و ۶ دهانه ۶ متری در راستای عمود بر آن است. در این سازه در چهار دهانه، دیوار برشی تعبیه شده است که از پایین‌ترین طبقه تا بالاترین طبقه ادامه دارد (شکل ۱).

این سازه در چهار حالت مدل‌سازی و بررسی شده است. مدل اول (مدل مرجع) شامل سیستم دوگانه قاب-دیوار فاقد کلاهک و مهاربازویی می‌باشد. در مدل دوم، سازه دارای کلاهک در بالاترین طبقه و در مدل سوم سازه دارای مهاربازویی در طبقه ۲۰ می‌باشد. در مدل چهارم نیز، سازه هم دارای مهاربازویی در طبقه ۲۰ و هم دارای کلاهک در طبقه آخر می‌باشد. (شکل ۲)

با توجه به دوگانه بودن سیستم سازه‌ای، ابتدا قاب به تنهایی برای جذب ۲۵ درصد نیروی زلزله، طراحی و سپس سیستم دوگانه قاب-دیوار برای جذب ۱۰۰ درصد نیروی زلزله طراحی شده است. مشخصات تیرها، ستون‌ها و دیوارهای برشی در همه مدل‌ها یکسان می‌باشد. سیستم سازه‌ای سقف از نوع تیرچه و بلوک انتخاب شده و بار ثقلی کف در کلیه مدل‌ها برابر 5 kN/m^2 در نظر گرفته شده و در محاسبات زلزله از ویرایش چهارم استاندارد [۶] و در طراحی از آیین‌نامه ACI-318-2005 استفاده شده است. شتاب مبنای طرح 0.3 ، مقاومت 28 روزه نمونه استوانه‌ای بتن $f'_c = 25 \text{ N/mm}^2$ و تنش تسلیم فولاد $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$ در نظر گرفته شده است. ضمناً ضخامت آرماتورگذاری مهاربازویی و کلاهک مشابه دیوار برشی در همان طبقه است و کل ارتفاع طبقه را در بر می‌گیرد. نتایج طراحی مطابق جدول ۱ است.



شکل ۱- پلان مدل‌های مورد بررسی



شکل ۲- معرفی مدل‌ها

جدول ۱- مشخصات المان‌های سازه

تیر	دیوار	المان مرزی	ستون	طبقه
80*80	t=60 cm	120*120	120*120	1-5
80*70	t=60 cm	110*110	110*110	6-10
70*70	t=50 cm	100*100	100*100	11-15
70*60	t=50 cm	90*90	90*90	16-20
60*50	t=40 cm	80*80	80*80	21-25
50*50	t=40 cm	70*70	70*70	26-30
45*45	t=30 cm	60*60	60*60	31-35
40*40	t=30 cm	50*50	50*50	36-40

۳. آنالیز مدل‌ها

کلیه مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Etabs ورژن ۹/۷ آنالیز استاتیکی خطی شدند و پریودهای ارتعاشی، جابجایی جانبی طبقات، سهم برش جذب شده توسط دیوار، دیاگرام گشتاور دیوار برشی و نیروی محوری یکی از ستون‌های لبه‌ای (F5) در آن‌ها مقایسه شده است.

۴. بررسی تأثیر مهاربازویی و کلاhek بر جابه‌جایی جانبی ساختمان

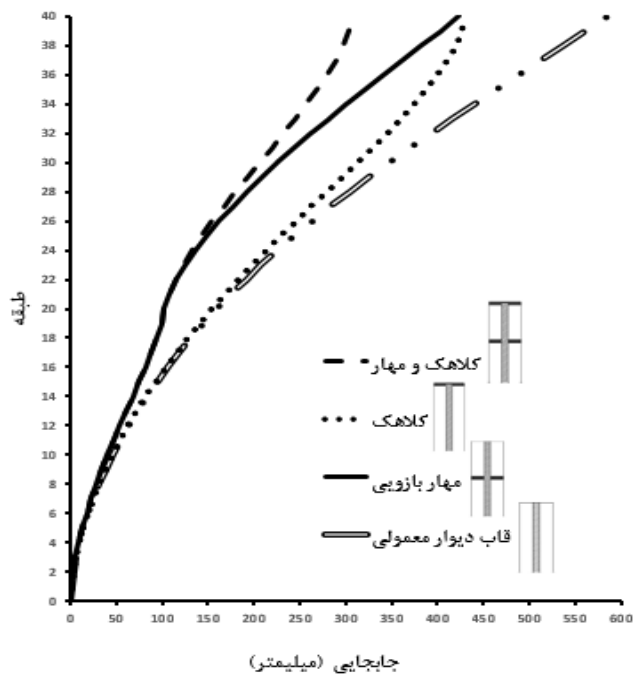
یکی از مهم‌ترین پارامترهای کنترلی در ساختمان‌های بلند، جابجایی جانبی ناشی از بارگذاری لرزه‌ای می‌باشد. در شکل ۶، نمودار جابه‌جایی جانبی مدل‌ها باهم مقایسه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، وجود کلاhek یا مهاربازویی، رفتار سازه را از خمش در حالت قاب-دیوار معمولی به رفتار برشی (S شکل) تغییر داده است. همچنین در این دو مدل جابه‌جایی جانبی بام ۴۲۵ میلی‌متر است که نسبت به جابه‌جایی جانبی مدل قاب-دیوار (۱۷۵ میلی‌متر)، مقدار ۷۱ درصد کاهش را نشان می‌دهد. همچنین یکسان بودن جابه‌جایی بام در مدل دارای کلاhek و مدل دارای مهاربازویی نشان‌گر این است که جابه‌جایی مهاربازویی در طبقات ساختمان تأثیری بر جابه‌جایی بام ندارد.

مقایسه فرم منحنی‌های جابه‌جایی نشان می‌دهد که جابه‌جایی مدل دارای کلاhek در ۲۰ طبقه زیرین تقریباً منطبق بر جابه‌جایی جانبی مدل قاب-دیوار است که نشان‌گر عدم تأثیر کلاhek بر رفتار جانبی سازه در طبقات دور از خود است.

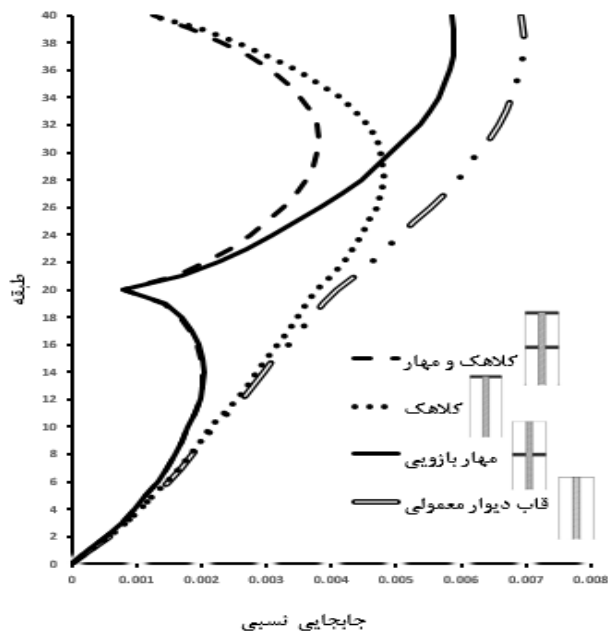
همچنین با مقایسه منحنی مدل دارای کلاhek و مدل دارای مهاربازویی ملاحظه می‌شود که مدل دارای مهاربازویی در ۲۰ طبقه زیرین خود جابه‌جایی جانبی را کاهش داده و در ۲۰ طبقه بالای خود تأثیری نداشته است، به گونه‌ای که جابه‌جایی طبقه بیستم در این مدل (۱۲۵ میلی‌متر)، برابر با ۶۲ درصد جابه‌جایی مدل دارای کلاhek در طبقه بیستم (۲۰۰ میلی‌متر) می‌باشد.

از سوی دیگر، جابه‌جایی جانبی مدل دارای کلاhek و مهاربازویی در کلیه طبقات کاهش محسوسی نسبت به مدل مرجع داشته، به گونه‌ای که در طبقه بیستم جابه‌جایی جانبی ۶۲ درصد مدل مرجع و در طبقه بام ۵۰ درصد مدل مرجع می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، مهاربازویی موفق به کاهش جابه‌جایی نسبی طبقات بالای خود نشده و کلاhek نیز در کاهش جابه‌جایی نسبی طبقات دور از خود (طبقات ۱۵ تا ۲۵) تأثیری نداشته است اما در مدل دارای مهاربازویی و کلاhek، جابه‌جایی نسبی به نحو چشم‌گیری کاهش یافته است.



شکل ۶- جابجایی جانبی طبقات تحت بار جانبی

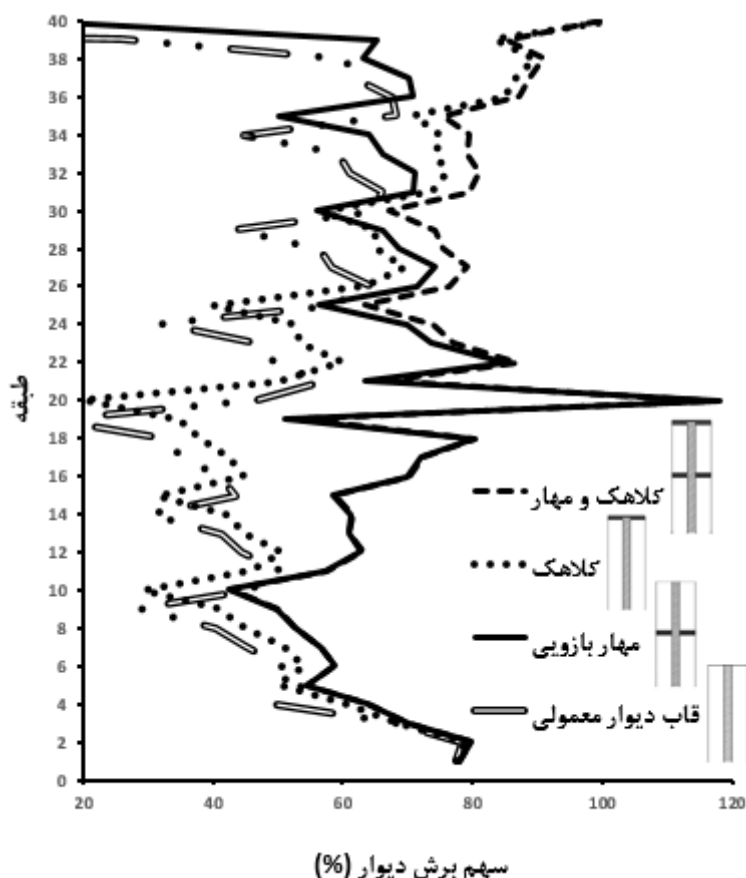


شکل ۷- جابجایی نسبی طبقات

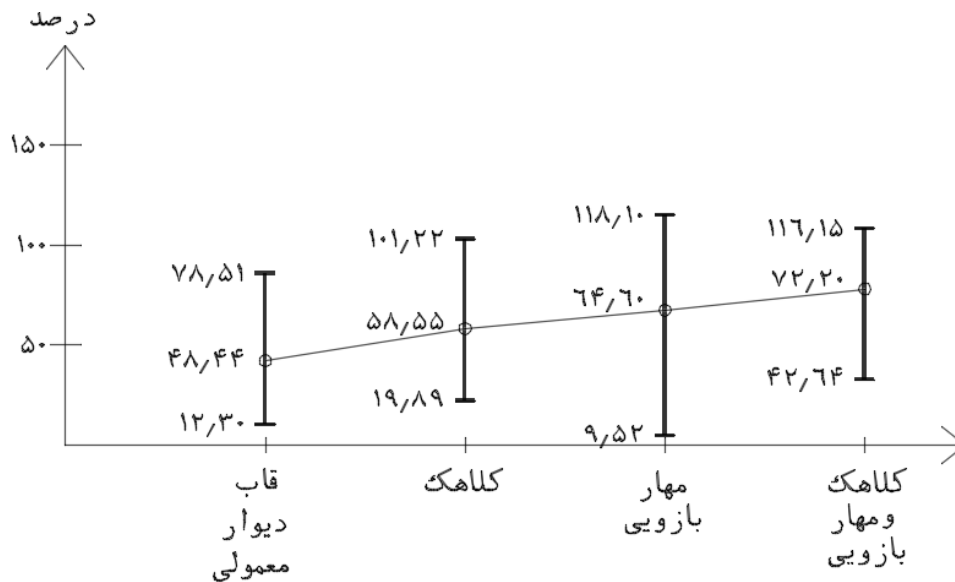
۵. تأثیر مهاربازویی و کلاهک بر اندرکنش قاب-دیوار

یکی از مهم ترین مسائلی که سازه های قاب-دیوار با آن روبه رو هستند، عملکرد نامطلوب دیوار در طبقات فوقانی است که حتی باعث ایجاد برش منفی در طبقات فوقانی می شود [15] یعنی به عبارتی دیوار نه تنها سهمی از نیروی زلزله را تحمل نمی کند، بلکه خود نیز باری به قاب اضافه می کند [3] این مسئله که ناشی از همسان نبودن مود رفتاری قاب و دیوار است، علاوه بر ایجاد برش منفی در طبقات فوقانی، به طور کلی باعث کاهش سهم دیوار در تحمل بار جانبی و افزایش سهم قاب می شود. از آنجایی که هرچه سهم دیوار از تحمل نیروی جانبی بیشتر باشد، معمولاً طرح اقتصادی تر می شود، در صورتی که به طریقی سهم برش دیوار افزایش یابد، رفتار سازه مطلوب تر ارزیابی می شود. سهم برش دیوار در هر طبقه در شکل ۸ و میانگین سهم دیوار در شکل ۹ نمایش داده شده است.

همان طور که در این دو شکل ملاحظه می شود، میانگین سهم دیوار از نیروی جانبی در مدل قاب-دیوار معمولی ۴۸ درصد، در مدل دارای کلاهک ۵۹ درصد، در مدل دارای مهاربازویی ۶۵ درصد و در مدل دارای مهاربازویی و کلاهک ۷۲ درصد است که روند افزایش را نشان می دهد.



شکل ۸ - سهم برش دیوار از نیروی جانبی

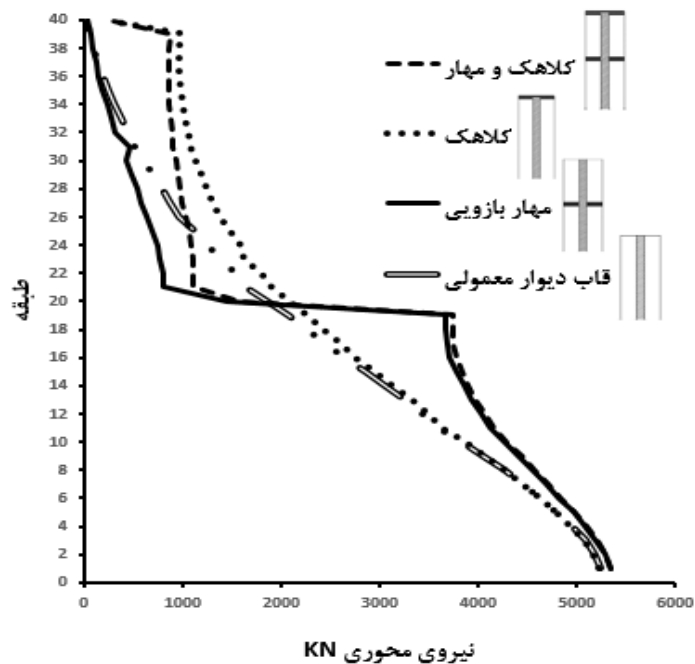


شکل ۹ - میانگین، حداکثر و حداقل سهم برش دیوار

۶. تأثیر مهاربازویی و کلاهک بر نیروی محوری ستون‌ها

عملکرد مهاربازویی و کلاهک در انتقال بار از دیوار به قاب باعث تشکیل کوپل نیروی محوری در ستون‌های پیرامونی می‌شود. از آنجایی که رفتار محوری اقتصادی‌ترین نوع رفتار و در مقابل، گشتاور خمشی، غیر اقتصادی‌ترین نوع رفتار است، افزایش نیروی محوری در اعضای قاب (ناشی از بار جانبی)، نشان‌دهنده اقتصادی‌تر شدن طرح می‌باشد.

در شکل ۱۰ نیروی محوری در یکی از ستون‌های کناری (ستون F5 در شکل ۱) در طبقات نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که مدل دارای کلاهک به‌طور متوسط باعث افزایش ۷۱ درصدی نیروی محوری در ۲۰ طبقه فوقانی شده است ولی در طبقات تحتانی تأثیری ندارد. مدل دارای مهاربازویی در طبقات زیر خود باعث افزایش ۱۴ درصدی نیروی محوری شده ولی در طبقات فوقانی خود تأثیری ندارد و مدل دارای مهاربازویی و کلاهک باعث افزایش ۱۹ درصدی میانگین نیروی محوری در کل ارتفاع شده است، لذا می‌توان ملاحظه کرد که اگرچه در مدل‌های دارای مهاربازویی و کلاهک، سهم دیوار افزایش یافته است ولی این افزایش سهم با ایجاد کوپل نیرو باعث افزایش بار محوری ستون‌ها و کاهش گشتاور در اعضای قاب شده و در نتیجه به صورت توأمان باعث بهبود رفتار سازه شده است.



شکل ۱۰- نیروی محوری ستون F5 ناشی از بار جانبی

۷. نتیجه گیری

- با توجه به بررسی تغییر مکان جانبی، سهم برش دیوار، میزان گشتاور موجود در دیوار و نیز بررسی نیروهای داخلی ستون لبه‌ای مشخص شد که:
- وجود کلاهدک و مهار به صورت ترکیبی باعث کاهش جابجایی جانبی و جابه‌جایی نسبی می‌شود.
 - استفاده از کلاهدک و مهار به طور همزمان در این ساختمان‌ها باعث افزایش سهم دیوار از نیروی جانبی زلزله شده و عملکرد منفی دیوار را در طبقات فوقانی از بین می‌برد.
 - بکارگیری توأمان کلاهدک و مهار منجر به افزایش نیروی محوری در اعضای قاب می‌شود و از آنجایی که نیروی محوری نسبت به گشتاور خمشی اقتصادی‌تر می‌باشد، بنابراین می‌توان شاهد تأثیر مطلوب کلاهدک و مهار بود.
 - وجود مهاربازویی باعث کاهش گشتاور داخلی در دیوار برشی شده و منجر به کاهش وزن آرماتور مصرفی می‌شود، اما از آنجایی که مهار تنها در ۲۰ طبقه زیرین خود تأثیرگذار است، بنابراین استفاده توأم مهار و کلاهدک در این ساختمان‌ها برای دستیابی به این مهم ضروری است.
 - مهاربازویی منجر به ایجاد نقطه عطف در محل قرارگیری خود می‌شود. این نقطه ضمن تعدیل گشتاور موجود در دیوار، باعث تغییر رفتار سازه می‌شود. بنابراین استفاده هم‌زمان از مهار و کلاهدک در این سازه‌ها باعث افزایش تعداد نقاط عطف می‌شود که این امر یک مزیت محسوب می‌شود.
- بنابراین در ساختمان ۴۰ طبقه مورد بررسی، بکارگیری هم‌زمان کلاهدک و مهار منجر به بهبود عملکرد سازه می‌شود.

۸. مراجع

- [1] علی اکبر پیراسته، عبدالله حسینی دهدشتی و سیف الله کرمزاده، ۱۳۹۴، بررسی مکان بهینه سیستم مهار و کمر بند بازویی در سازه‌های بلند با تکیه بر رفتار غیرخطی، دهمین سمپوزیم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی، مشهد، مؤسسه آموزش عالی خاوران.
- [2] علی خیرالدین، ۱۳۹۴، کتاب سیستم‌های مقاوم سازه‌ای در ساختمان‌های بلند.
- [3] مهران فدوی، فیاض رحیم زاده و سهیل منجمی نژاد، ۱۳۹۱، کنترل فعال متمرکز و نامتمرکز مدل‌های سازه‌ی سه‌بعدی با بازخورد جابه‌جایی و سرعت، مجله عمران شریف، دوره ۲-۲۸، شماره ۱، صفحه ۸۰-۶۷.
- [4] مجید محمدی و سیده سمانه میرکاظمی، ۱۳۹۳، بررسی اثر و نحوه‌ی تقویت ناشی از ضوابط کنترل تغییر مکان در رفتار غیرخطی لرزه‌ای قاب‌های فولادی لاغر، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۲-۴، صفحه ۶۳-۵۳.
- [5] جعفر کیوانی و مجید منصوری، ۱۳۹۴، بررسی میزان مقاومت سازه‌های لوله در لوله‌ی فولادی در مقابل خرابی پیش‌رونده تحت اثر زلزله، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۱-۲، صفحه ۵۴-۴۷.
- [6] علی خیرالدین، علیرضا مرتضایی و رسول محمودی، ۱۳۹۵، به‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح با تغییر محل تشکیل مفصل خمیری به کمک دستک فولادی، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۱-۲، صفحه ۱۷-۳.
- [7] علیرضا مرتضایی و رسول محمودی، ۱۳۹۷، تأثیر فاصله زمانی حداکثر پاسخ مؤلفه‌های افقی و قائم زمین در رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتن‌آرمه، مجله عمران شریف.
- [8] سیامک گل‌نرگسی، هاشم شریعتمدار، مصطفی قائمی و مهدی امیری دلویی، ۱۳۹۷، کنترل لرزه‌ای سازه‌ها با میراگر جرمی فعال به همراه کنترل‌کننده فازی نوع ۲ بازه‌ای در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه، مجله عمران شریف.
- [9] وحید اقتصادی و محسن گرامی، ۱۳۹۳، بررسی تأثیر شکل‌بندی مهاربندها در قاب‌های فولادی دوبعدی در رفتار این قاب‌ها با استفاده از تحلیل غیرارتجاعی مرتبه‌ی دوم، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۲، صفحه ۶۰-۴۷.
- [10] علی خیرالدین، فرشاد مهرابی و محسن گرامی، ۱۳۹۱، ارزیابی پتانسیل خرابی پیش‌رونده در ساختمان‌های فولادی طرح‌شده براساس آیین‌نامه‌ی ایران، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۴، صفحه ۷۲-۶۵.
- [11] سید روح‌الله حسینی واعظ و حمید رضا شاهمرادی قمی، ۱۳۹۷، طراحی بهینه دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه با در نظر گرفتن اجزای مرزی، مجله عمران شریف.
- [12] محمود حسینی و محمد صدرآرا، ۱۳۹۶، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در قاب‌های خمشی بزرگ دهانه در ساختمان‌های فولادی، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۱-۲، صفحه ۱۱۱-۱۰۵.
- [13] رضا کریمی محمدی و محمد رضا گروسی، ۱۳۹۵، توزیع بهینه‌ی میراگرهای مثلثی شکل افزاینده‌ی سختی و میرایی جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۰، شماره ۲-۳، صفحه ۱۲۳-۱۱۷.
- [14] مرتضی فلاح زیارانی، عباسعلی تسنیمی و محمد تقی احمدی، ۱۳۸۹، تأثیر سطح عملکرد قاب خمشی بتن مسلح ویژه بر رفتار غیرخطی - لرزه‌ای اتصالات تیر - ستون میانی، مجله عمران شریف، دوره ۲-۲۶، شماره ۲، صفحه ۲۸-۲۱.
- [15] Stafford smith, B. coull. A. 1991. Tall building structures : analysis and design. Wiley , New York , USA.

- [16] امیر افق‌ری، مرتضی رئیسی دهکردی و سید نعیم امامی، ۱۳۹۰، بررسی سیستم بازو و کمر بند دیوار برشی بتنی و مکان بهینه قرارگیری بازو در ارتفاع سازه، اولین کنفرانس سالانه علمی-تخصصی مهندسی عمران، معماری، شهرسازی و علوم جغرافیا در ایران باستان و معاصر، تهران، مؤسسه فراز اندیشان دانش بین المللی.
- [17] علی خیرالدین، علی کارگران و مهدی کریمی، ۱۳۹۵، اثر کمر بند خریایی و مهاربازویی در ساختمان‌های بلند بتن مسلح، دومین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین المللی مخترعان جهان (IFIA) - دانشگاه جامع علمی کاربردی.
- [18] فرزین کاظمی، شایان کهن ترابی و معین افتخاری، ۱۳۹۵، بهینه‌سازی سازه‌های بلند با سیستم هسته و خریای کمر بندی با هدف وزن-حداکثر جابجایی نسبی، کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در علوم مهندسی، تهران.
- [19] سعید برزین تند و عباس اکبریور نیک قلب، ۱۳۹۵، بررسی اثر مهاربازویی در رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی بلند مرتبه تحت اثر بار زلزله، دومین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین المللی مخترعان جهان (IFIA) - دانشگاه جامع علمی کاربردی.
- [20] فرشاد براتی و افشین مشکوه الدینی، ۱۳۹۶، ارزیابی پاسخ دینامیکی غیرخطی سیستم‌های سازه‌ای قاب محیطی با مهاربندی بزرگ تحت اثر جنبش‌های نیرومند زمین، مجله عمران شریف، دوره ۲-۳۳، شماره ۲-۱، صفحه ۱۴۶-۱۳۳.