

چکیده

استفاده از ساختمان‌های بلند در کلان‌شهرها و به کارگیری سیستم‌های سازه‌ای مناسب و کارآمد از لحاظ فنی و اقتصادی امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از این سیستم‌ها در ساختمان‌های بلند، هسته‌ی مرکزی و قاب محیطی همراه با کمربند خرپایی و مهار بازویی می‌باشد. این سیستم منجر به کاهش تغییر مکان‌های جانبی و لنگرهای هسته می‌گردد. در این تحقیق با تحلیل استاتیکی و دینامیکی خطی به بررسی رفتار سازه‌های بتن مسلح ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه با سیستم‌های کمربند خرپایی و مهار بازویی پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد در سازه‌های بتنی، کمربند خرپایی بتنی عامل اصلی و تعیین کننده در کاهش تغییر مکان بام بوده و کمربند خرپایی به تنهایی در کاهش درصد جذب برش طبقه از مهار بازویی مؤثرتر است. همچنین ارتفاع بهینه حذف هسته‌ی مقاوم میانی در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه به ترتیب ۰/۶۷H، ۰/۷۸H و ۰/۸۴H پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: سازه‌ی بلند، هسته‌ی مقاوم مرکزی، کمربند خرپایی، مهار بازویی، دیوار برشی

یادداشت تحقیقی

عملکرد کمربند خرپایی و مهار بازویی بتن مسلح بر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بلند

علی کارگران (نویسنده مسئول)

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
a.kargaran@semnaniau.ac.ir

علی خیرالدین

استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی دانشگاه تهران

مهدی کریمی

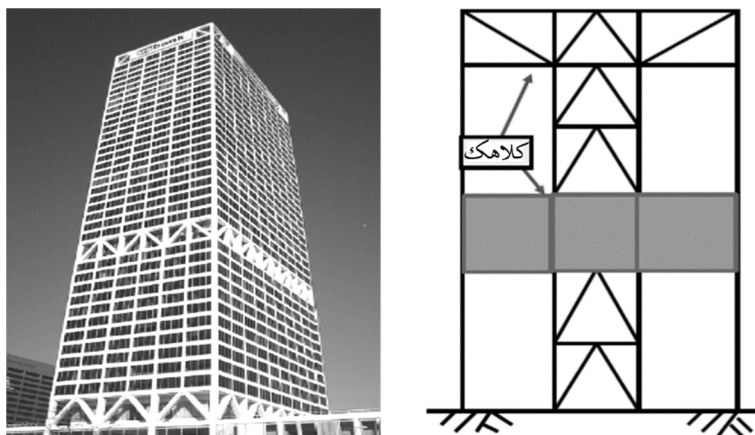
دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۱- مقدمه

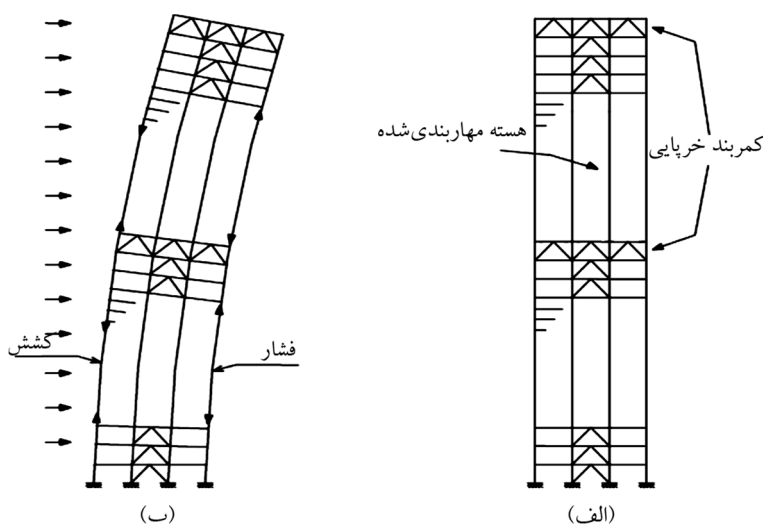
بازویی افقی یا شاه‌تیرهایی که هسته را به ستون‌های خارجی متصل می‌کنند، تشکیل شده است (شکل ۱) [۱]. علاوه بر آن که ستون‌هایی در انتهای مهارها جای داده شده، مرسوم است که دیگر ستون‌های پیرامونی را برای کمک به محدود کردن چرخش مهارها با یک دیوار عمیق در ساختمان‌های بتنی و یا با مهاربندهای قطری به ارتفاع یک یا دو طبقه در ساختمان‌های فولادی به یکدیگر متصل کرد که به آن کمربند خرپایی گفته می‌شود. زمانی که ساختمان تحت اثر بار افقی قرار می‌گیرد، مهارهای بازویی از چرخش هسته جلوگیری می‌کنند و باعث کاهش تغییر مکان‌های جانبی و لنگرهای هسته از حالت بدون مهار می‌گردد (شکل ۲) [۵].

یک ساختمان می‌تواند حتی با افزودن مهار جانبی فقط در طبقه بالایی به‌طور مؤثری سخت گردد. مهارهای بازویی در هر تراز باعث افزایش سختی جانبی سازه می‌گردند ولی افزایش این سختی با افزایش تعداد مهارها رابطه مستقیم ندارد. در سازه‌های بسیار بلند حداکثر تا چهار مهار بازویی استفاده شده است [۵].

سازه‌های مرکب از قاب و دیوار برشی یا مهاربند برای ساختمان‌های بیش از ۴۰ طبقه بازدهی مناسبی ندارند زیرا برای این که مهاربندی به قدر کافی سخت و قوی باشد، نیازمند مقادیر زیادی مصالح می‌باشد [۱]. یکی از مهم‌ترین مسائل در سازه‌های بلند انتخاب فرم سازه‌ای برای تحمل بارهای جانبی است. سیستم سازه‌ای قاب محیطی به صورت منفرد و چندتایی، سیستم هسته‌ی مرکزی، سیستم مهاربندی قطری در قاب‌های محیطی سازه، سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی از نمونه‌های رایج و کارآمد جهت کاهش پدیده‌ی لنگی برشی و تغییر مکان جانبی می‌باشند [۲-۳]. سیستم قاب محیطی متشکل از چهار قاب عمود بر هم و دارای ستون‌های نزدیک به هم است که با تیرهای محیطی در سقف به یکدیگر متصل شده‌اند [۴]. سیستم مهار بازویی شکل اصلاح‌شده‌ی قاب‌های مهاربندی و قاب با دیوار برشی بوده که در سازه‌های فولادی، بتن مسلح و مرکب به کار می‌رود و به‌عنوان یک سیستم مؤثر و ابتکاری از یک هسته‌ی مرکزی (می‌تواند بادبندی یا دیوار برشی باشد) با خرپاهای



شکل (۱): سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی و اولین ساختمان ۴۲ طبقه ساخته شده با این سیستم در نیویورک [۱]



شکل (۲): رفتار سیستم سازه‌ای مهار بازویی و کمربند خرپایی در بار لرزه‌ای [۵]

بهینه‌ی مهار بازویی با در نظر گرفتن سختی‌های محوری و خمشی و برشی تحت بار دوزنقه‌ای توسط یک، دو، سه و چهار مهار بازویی مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده است که با وجود مهار بازویی ۱۰ تا ۱۵ کیلوگرم در میزان فولاد در هر مترمربع زیر بنا صرفه‌جویی می‌شود و امکان استفاده از دهانه‌های بزرگ را به راحتی میسر می‌سازد [۱۱]. در تحقیقی دیگر یک مدل ریاضی برای تحلیل تقریبی سازه‌های بلند با مدل‌سازی سازه به صورت یک طره‌ی بلند و مدل‌سازی کمربند خرپایی به صورت فنر پیچشی ارائه و با آنالیز نرم‌افزاری مورد مقایسه قرار گرفته است [۱۲]. از آنجایی که در تمامی تحقیقات صورت گرفته، سیستم کمربند خرپایی و مهار بازویی به صورت

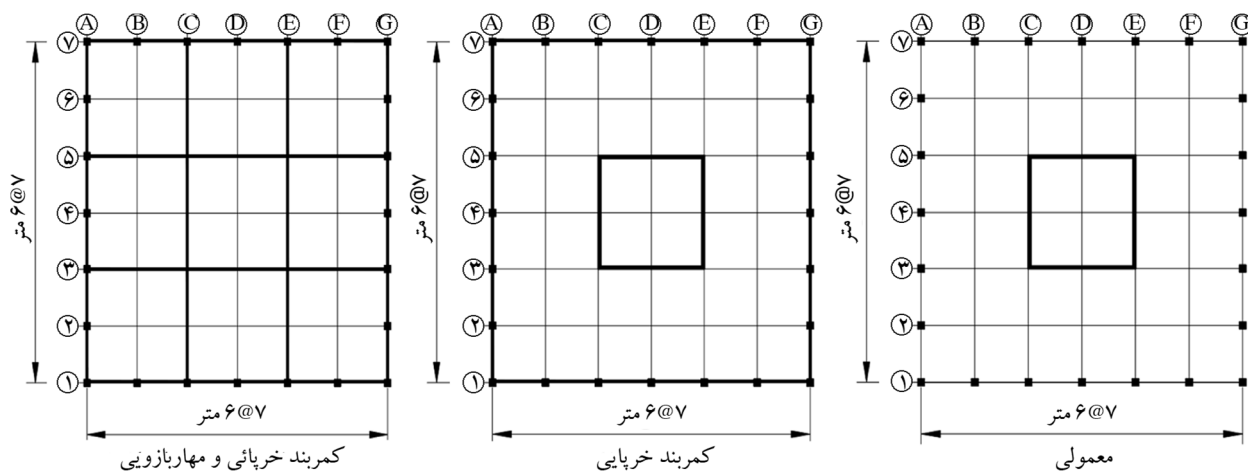
در تحلیل این گونه سازه‌ها فرض می‌شود که رفتار سازه‌ی الاستیک و خطی، هسته‌ی مقاوم متحمل نیروی برشی، ستون‌ها و مهار متحمل نیروی محوری، اتصالات میان هسته و مهار بازویی صلب و ستون‌ها و مهار در ارتفاع سازه یکنواخت است [۵]. بر روی سازه‌های بلند با مهار بازویی و کمربند خرپایی تحقیقات فراوانی صورت گرفته است و رفتار استاتیکی و دینامیکی آنها تحت بارهای لرزه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است [۶-۸]. در تحقیقی، هسته و کمربند خرپایی با روش اجزاء محدود مورد بررسی قرار گرفته و روشی متفاوت برای تحلیل و طراحی مسائل پیچیده‌ی کمربند خرپایی و نیز مکان‌یابی مناسب آن ارائه شده است [۹-۱۰]. همچنین موقعیت

و مهاربازویی، از سیستم دیوار برشی کوپله بتن مسلح طراحی و انتخاب شده‌اند. در تحقیق فوق عملکرد و رفتار لرزه‌ای سازه‌های با مهاربازویی و کمربند خرابایی در سه سازه‌ی بتنی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پلان هر سه سازه به صورت کاملاً یکسان فرض گردیده و از لحاظ ارتفاع، متغیر و شامل سازه‌های ۴۰ طبقه (۱۵۲ متر)، ۸۰ طبقه (۳۰۴ متر) و ۱۲۰ طبقه (۴۵۶ متر) می‌باشند. پلان سازه‌ها به ابعاد 42×42 متر مربع بوده که دارای ۶ دهانه‌ی ۷ متری در جهت x و ۶ دهانه‌ی ۷ متری در جهت y می‌باشد و ارتفاع هر طبقه $3/8$ متر است (شکل‌های ۳ الی ۵).

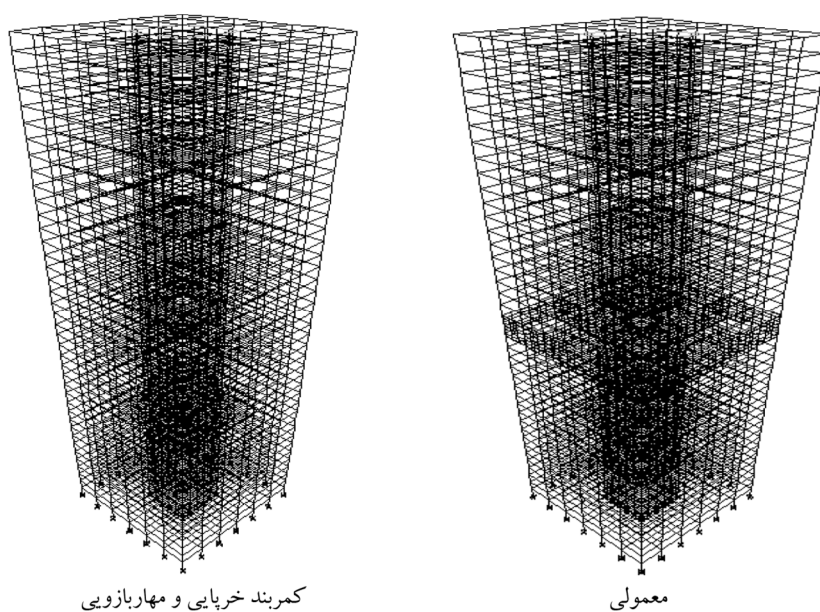
فلزی (بادبندهای فلزی) بوده‌اند، لذا ضرورت بررسی سازه با کمربند خرابایی و مهاربازویی بتن مسلح احساس می‌شود که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شده است.

۲- معرفی مسئله و روش تحقیق

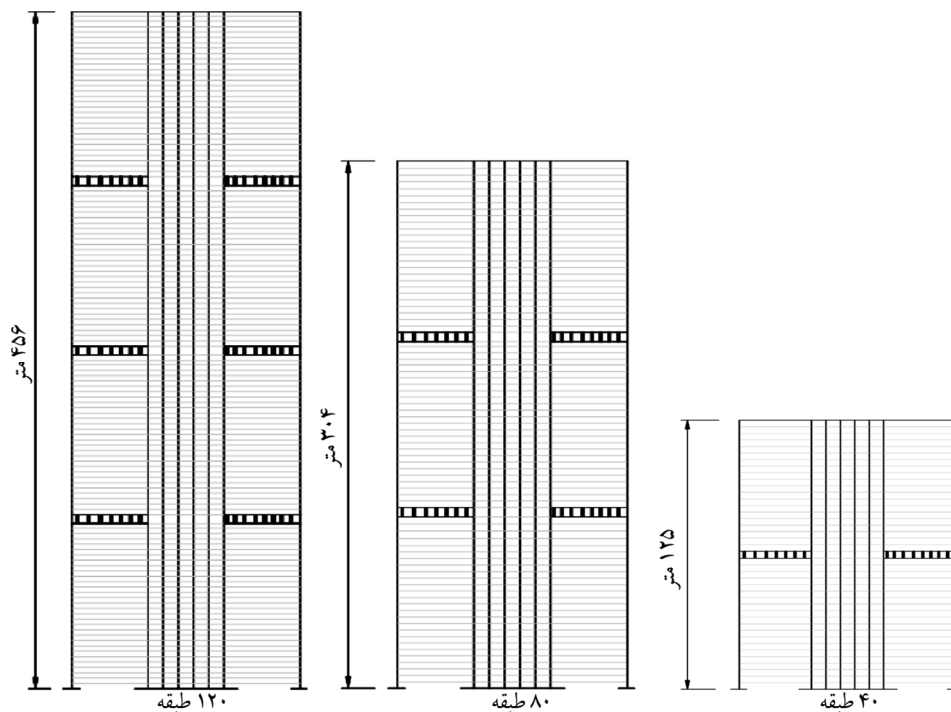
معمولاً در سازه‌های بلند با هسته‌ی مقاوم مرکزی، سیستم کمربند خرابایی و مهاربازویی به صورت بادبندهای فلزی طراحی و اجرا می‌گردند که در این تحقیق به منظور انسجام و هماهنگی بیشتر و بررسی عملکرد و رفتار میان آنها، هسته، کمربند خرابایی



شکل (۳): پلان ساختمان‌ها



شکل (۴): نمای سه بعدی سازه‌ی ۴۰ طبقه



شکل (۵): نمای ساختمان ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه‌ی بتنی معمولی، با کمربند خرابایی و مهار بازویی

به صورت صلب در نظر گرفته شده تا از تغییر مکان در بیرون از صفحه جلوگیری شود. در همه‌ی سازه‌ها بار مرده‌ی طبقات به همراه بار گسترده‌ی تیغه‌بندی برابر ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده‌ی طبقات و بام به ترتیب ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. محل احداث سازه‌ها در شهر تهران (با خطر نسبی زیاد و $A=0/3$) ضریب اهمیت ساختمان ۱ (مسکونی و $I=1$) و نوع زمین تیپ ۲ فرض شده است.

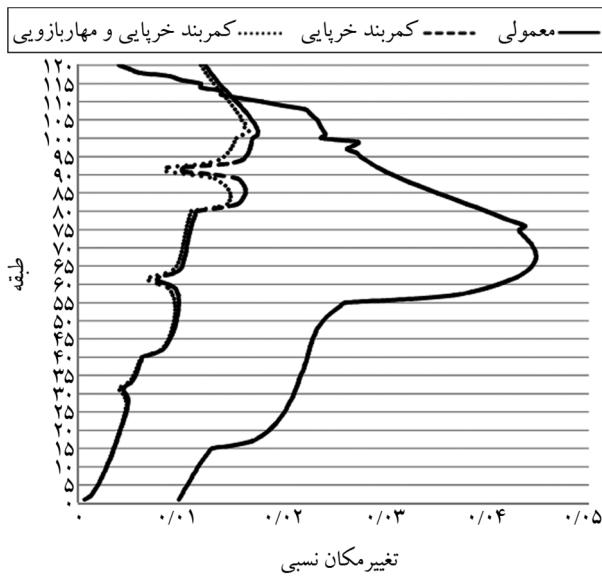
۳- بررسی تغییر مکان نسبی در سازه‌های بلند

با توجه به آن که ساختمان‌های بلند همانند طره‌ای قائم بر زمین قرار دارند، تحلیل و بررسی دو پارامتر تغییر مکان و برش طبقات از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که از این رو در این بخش پارامتر تغییر مکان و در بخش‌های آتی پارامتر برش طبقات مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج حاصل از منحنی‌های شکل‌های (۶) تا (۸) نشان می‌دهند که به طور نسبی کمربند خرابایی و مهار بازویی منجر به کاهش تغییر مکان نسبی در تمامی طبقات سازه‌ی بتنی ۴۰ طبقه شده است.

به دلیل کاربردی بودن طرح، ابعاد و دهانه‌ها، واقعی و سازه متقارن در نظر گرفته شده است. سیستم باربر جانبی (سیستم لرزه‌بر) در تمامی سازه‌ها بر طبق آیین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران استاندارد ۲۸۰۰ [۱۳] از لحاظ شکل‌پذیری از نوع قاب خمشی بتنی متوسط با سیستم باربر جانبی و برای بارگذاری ثقلی از مبحث ششم مقررات ملی [۱۴] استفاده شده است. ابعاد هسته‌ی مقاوم مرکزی 14×14 مترمربع و به صورت دیوار برشی کوپله و سیستم مهار بازویی و کمربند خرابایی در سازه‌های بتن مسلح از نوع دیوار برشی کوپله و هماهنگ با هسته‌ی مرکزی می‌باشد. کوپله کردن دیوارهای برشی، درصد جذب برش هسته‌ها را افزایش می‌دهد [۱].

مهاری‌های بازویی و کمربندهای خرابایی به صورت دوطبقه در سازه‌ی ۴۰ طبقه در ارتفاع $H/2$ ، در سازه‌ی ۸۰ طبقه در ارتفاع $H/3$ و $2H/3$ و در سازه‌ی ۱۲۰ طبقه در ارتفاع $H/4$ ، $H/2$ و $3H/4$ واقع شده‌اند تا با موقعیت بهینه‌ی خود عملکردی مطلوب از خود نشان دهند. با نرم‌افزار ETABS بارگذاری لرزه‌ای از دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی انجام شده است [۱، ۵]. کاربری ساختمان‌ها مسکونی بوده و نوع سقف‌ها از جنس دال و



شکل (۸): منحنی تغییر مکان نسبی طبقات سازه‌ی ۱۲۰ طبقه

جدول (۱): تغییر مکان حداکثر بام سازه‌ها (متر)

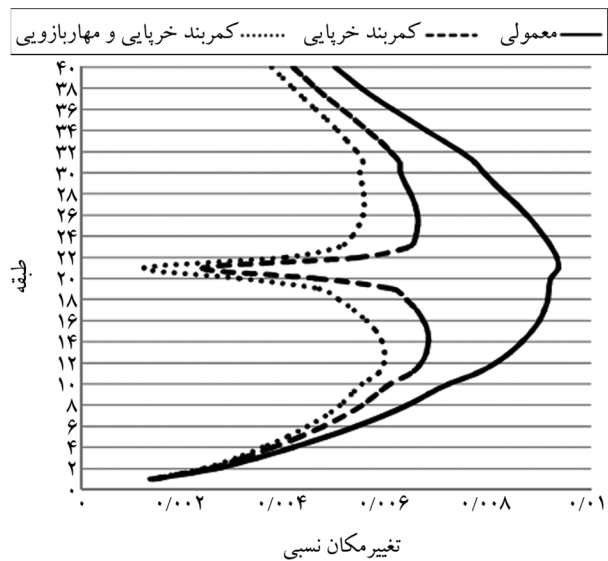
طبقه	سازه	۴۰ طبقه	۸۰ طبقه	۱۲۰ طبقه
معمولی		۱/۰۲۹	۲/۳۵	۴/۸۹
با کمربند خریایی		۰/۷۴	۱/۸۳	۴/۱۱
با کمربند خریایی و مهاربازویی		۰/۶۲۸	۱/۶۵	۳/۹

کمربند خریایی نقش به‌سزایی در کاهش تغییر مکان بام داشته و وجود آن بدون مهاربازویی نیز مؤثر است. به عبارت دیگر در سازه‌های بتنی، کمربند خریایی بتنی عامل اصلی و تعیین‌کننده در کاهش تغییر مکان بام می‌باشد. مطابق جدول فوق مشخص می‌شود که با افزایش ارتفاع سازه‌های بلند، عملکرد و تأثیر کمربند خریایی در کاهش تغییر مکان کم است.

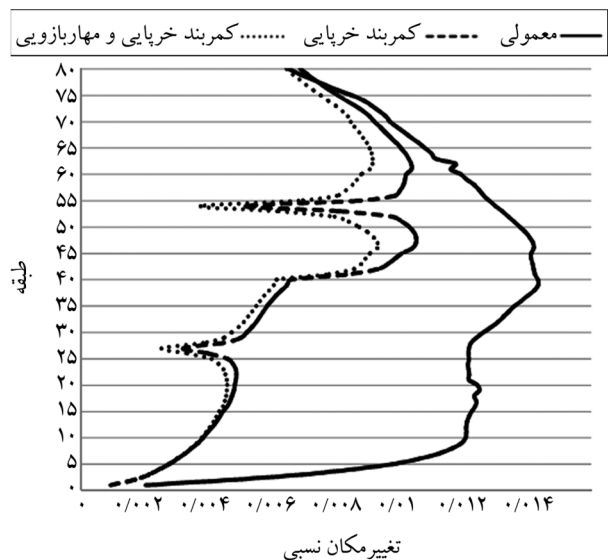
۴- بررسی و مقایسه‌ی میزان درصد جذب نیروی برش ناشی از زلزله در سازه‌های بلند

عملکرد قاب و هسته‌ی مقاوم به‌طور مجزا، کاملاً متفاوت از یکدیگر می‌باشند. تغییر شکل قاب تحت اثر نیروی جانبی رفتاری مشابه یک طرفه‌ی برشی و تغییر شکل هسته‌ی مقاوم رفتاری مشابه یک طرفه‌ی خمشی دارد [۱]. به عبارتی تغییر مکان دیوار در مود خمشی و با تحدب‌ی در جهت نیروی برشی دارای حداکثر شیب در بالای سازه است در حالی که تغییر مکان قاب در مود برشی و دارای

در سازه‌های بتنی ۸۰ و ۱۲۰ طبقه، کمربند خریایی و مهاربازویی به‌صورت توأمان در طبقات پایین مؤثرتر از طبقات بالا و نیز استفاده از مهاربازویی در نیمه‌ی بالایی سازه‌ی ۸۰ و ۱۲۰ طبقه در کاهش تغییر مکان نسبی مؤثرتر از نیمه‌ی پایینی می‌باشد. نتایج حاصل از جدول (۱) نشان می‌دهد که در سازه‌های بتنی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه، کمربند خریایی به ترتیب منجر به کاهش ۲۸، ۴۰ و ۱۸ درصدی تغییر مکان و وجود مهاربازویی منجر به کاهش ۱۷، ۱۰ و ۵ درصدی تغییر مکان طبقه‌ی آخر می‌شود.

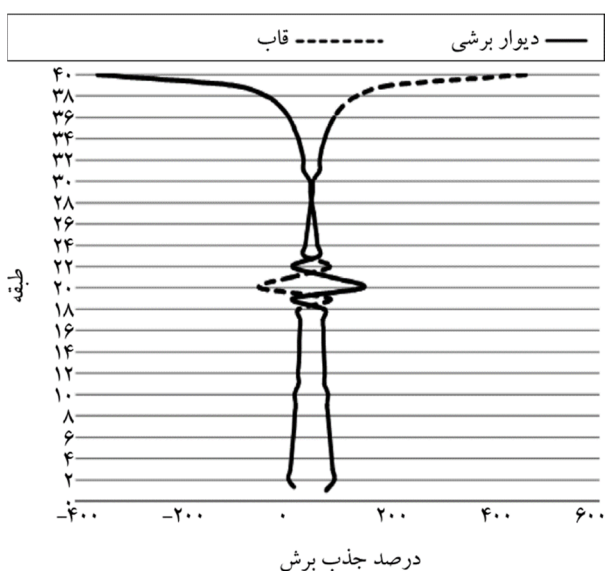


شکل (۶): منحنی تغییر مکان نسبی طبقات سازه‌ی ۴۰ طبقه



شکل (۷): منحنی تغییر مکان نسبی طبقات سازه‌ی ۸۰ طبقه

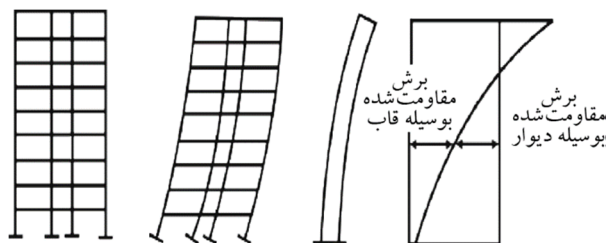
آشفتگی موجود در وسط منحنی شکل (۱۰) در طبقات ۱۸ تا ۲۴ سازه‌ی ۴۰ طبقه به دلیل وجود کمر بند خرابایی و مهار بازویی در طبقات می‌باشد که منجر به اتصال هسته‌ی مقاوم به قاب‌های پیرامونی شده است. در سایر سازه‌ها نیز در بخش‌هایی به‌طور ناگهانی تغییراتی در منحنی‌ها به وجود آمده که آن نیز مربوط به قرارگیری سیستم‌های کمر بند خرابایی و مهار بازویی در طبقات می‌باشد.



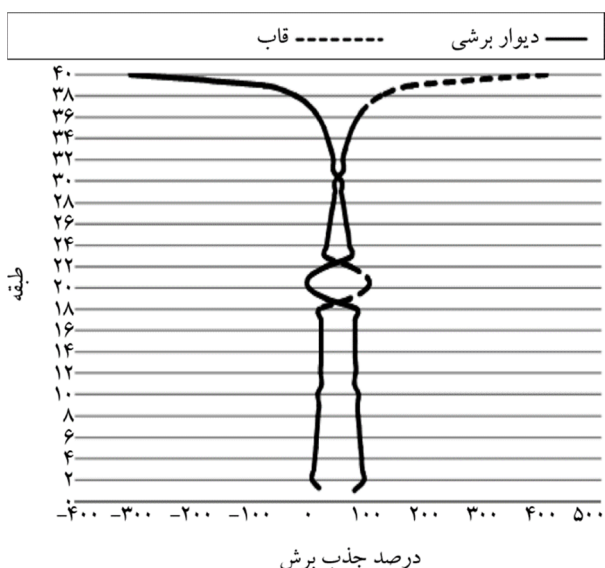
شکل (۱۱): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه‌ی دارای کمر بند خرابایی ۴۰ طبقه

تقرّر در جهت نیروی جانبی دارای حداکثر شیب در پای سازه می‌باشد و هنگامی که این دو سیستم توأمان عمل می‌کنند منجر به تغییر مکان خمشی در پایین سازه و تغییر مکان برشی در بالای سازه می‌گردند (شکل ۹). در واقع در پای سازه، دیوار ننگه‌دارنده‌ی قاب و در بالای سازه، قاب ننگه‌دارنده‌ی دیوار است که به این عمل اندرکنش قاب و دیوار گویند [۱].

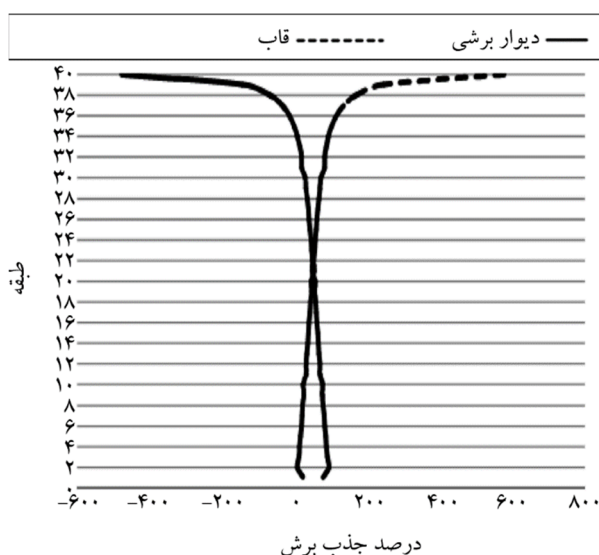
درصد جذب برش عبارت است از نسبت میزان نیروی برشی در هر طبقه توسط سیستم قاب‌های ساختمانی و یا سیستم مقاوم لرزه بر جانبی در هر طبقه تحمل می‌گردد به کل نیروی برشی در آن طبقه که میزان مجموع این دو پارامتر در هر طبقه ۱۰۰ می‌باشد [۱۵]. در شکل‌های (۱۰) الی (۲۱) درصد برش قاب شامل اعضای تمام اعضای تیر و ستون و اتصالات و درصد برش دیوار برشی شامل دیوار برشی موجود در هسته‌ی مقاوم، کمر بند خرابایی و مهار بازویی مدل‌های سازه‌ای بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.



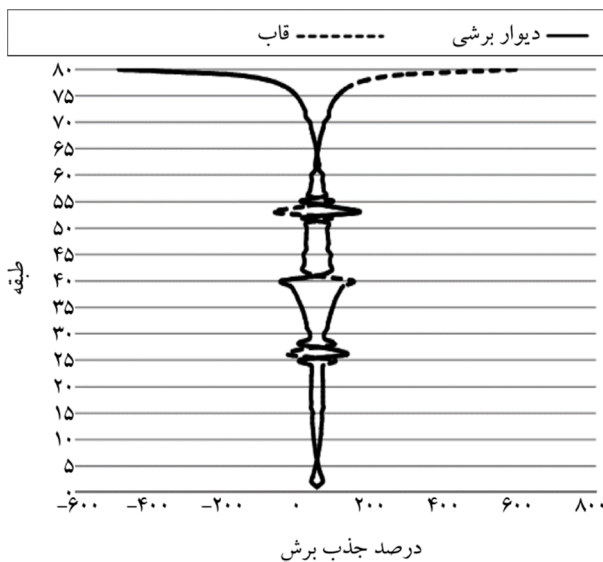
شکل (۹): اندرکنش قاب و دیوار برشی



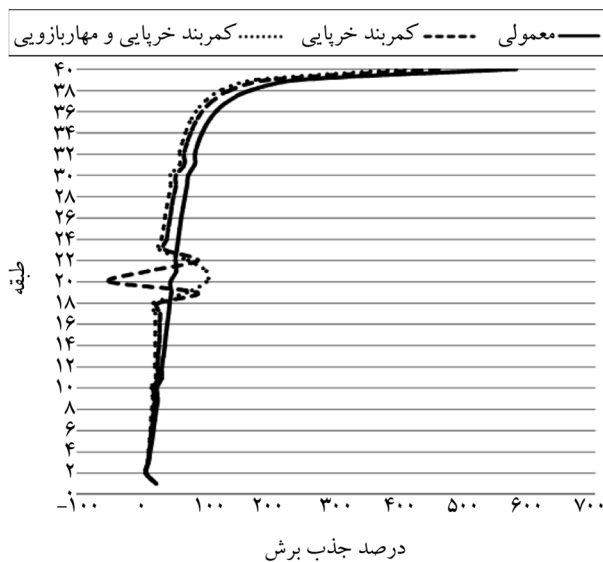
شکل (۱۲): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه‌ی دارای کمر بند خرابایی و مهار بازویی ۴۰ طبقه



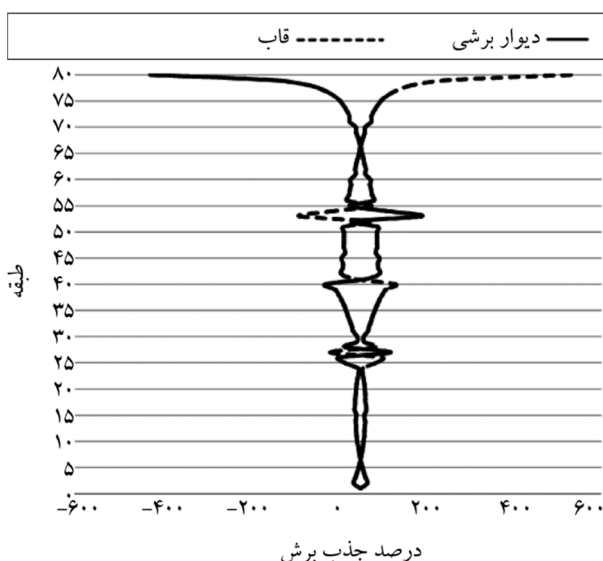
شکل (۱۰): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه‌ی معمولی ۴۰ طبقه



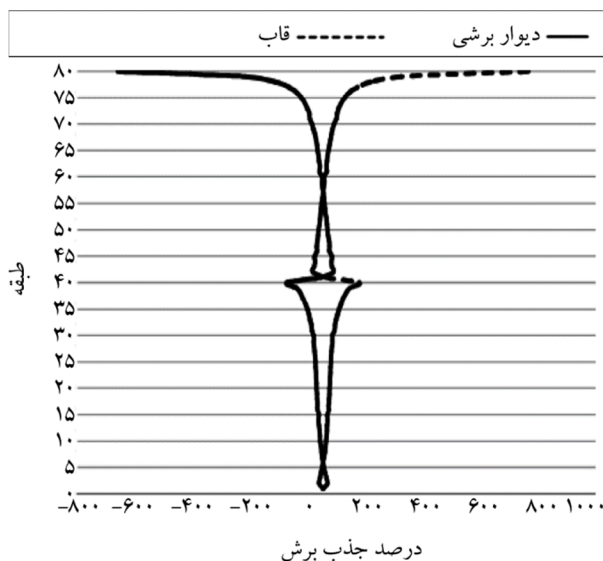
شکل (۱۵): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه دارای کمر بند خرابایی ۸۰ طبقه



شکل (۱۳): منحنی درصد جذب برش در قاب سه مدل سازه‌ای ۴۰ طبقه



شکل (۱۶): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه دارای کمر بند خرابایی و مهاربازویی ۸۰ طبقه



شکل (۱۴): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه‌ی معمولی ۸۰ طبقه

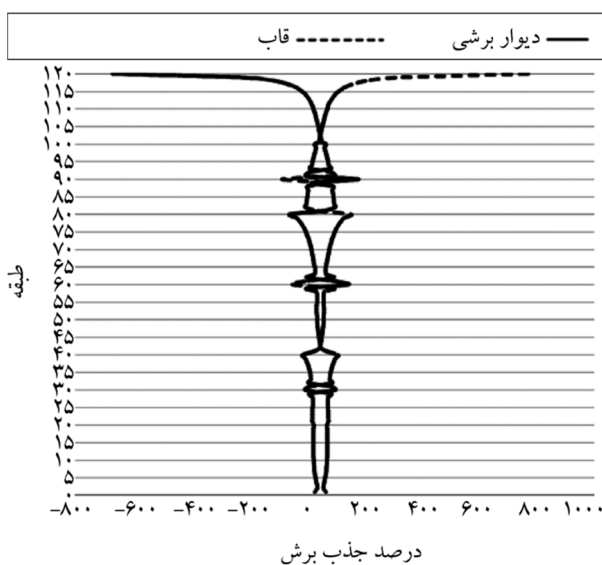
میزان ۱۷ درصد در دیوارهای برشی هسته مقاوم و ۱۳ درصد در قاب کاهش وجود دارد.

مطابق نمودارهای شکل‌های (۱۴) تا (۱۶)، میزان درصد جذب برش در سازه‌ی ۸۰ طبقه با اضافه کردن سیستم کمر بند خرابایی و مهاربازویی به ترتیب در دیوار برشی از ۶۶۱- درصد به ۴۸۳- و ۴۲۹- درصد و در قاب خمشی از ۷۶۱ به ۵۸۳ و ۵۲۹ درصد می‌رسد که نشان می‌دهد با اضافه کردن سیستم کمر بند

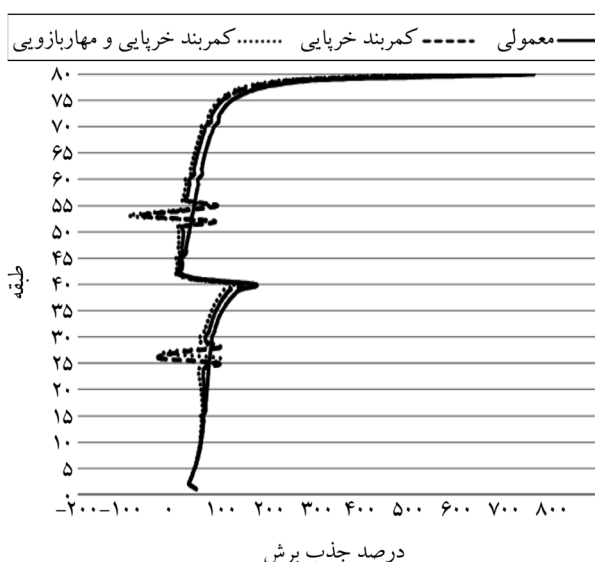
مطابق نمودارهای شکل‌های (۱۰) تا (۱۲)، میزان درصد جذب برش در سازه‌ی ۴۰ طبقه با اضافه کردن سیستم کمر بند خرابایی و مهاربازویی به ترتیب در دیوار برشی از ۴۷۷- درصد به ۳۵۸- و ۳۰۵- درصد و در قاب خمشی از ۵۷۷ به ۴۵۸ و ۴۰۵ درصد می‌رسد که نشان می‌دهد با اضافه کردن سیستم کمر بند خرابایی بتنی در سازه‌ی معمولی درصد جذب نیروی برشی در دیوارهای برشی هسته‌ی مقاوم به میزان ۳۳ درصد و در قاب به میزان ۲۵ درصد و نیز با اضافه کردن سیستم مهاربازویی بتنی به

به ۶۷۱- و ۶۳۰- درصد و در قاب خمشی از ۸۷۹ به ۷۷۱ و ۷۳۰ درصد می‌رسد که نشان می‌دهد با اضافه کردن سیستم کمر بند خرابایی بتنی در سازه‌ی معمولی درصد جذب نیروی برشی در دیوارهای برشی هسته‌ی مقاوم به میزان ۳۶ درصد و در قاب به میزان ۳۰ درصد و نیز با اضافه کردن مهار بازویی بتنی به میزان ۱۲ درصد در دیوارهای برشی هسته مقاوم و ۱۰ درصد در قاب کاهش وجود دارد.

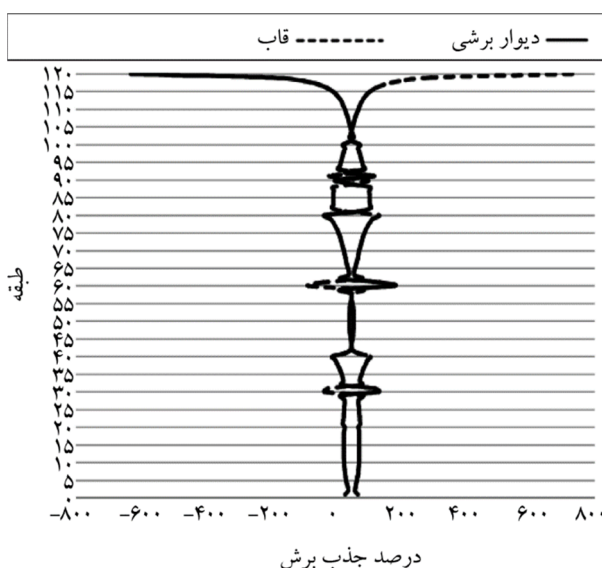
مطابق نمودارهای شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ میزان درصد جذب برش در سازه‌ی ۱۲۰ طبقه با اضافه کردن سیستم کمر بند خرابایی و مهار بازویی به ترتیب در دیوار برشی از ۷۷۹- درصد



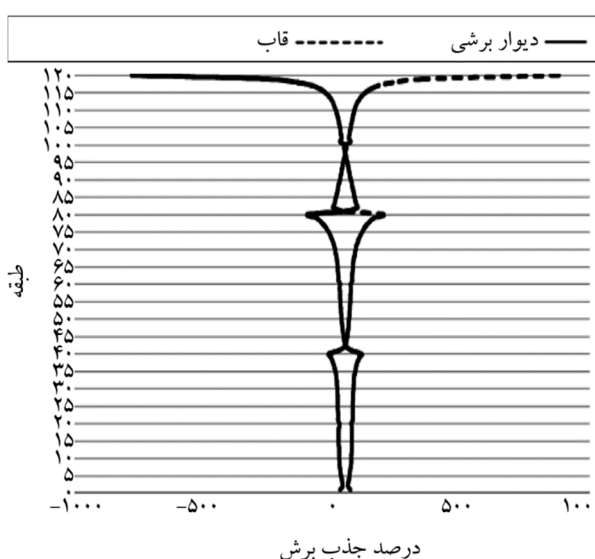
شکل (۱۹): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه دارای کمر بند خرابایی ۱۲۰ طبقه



شکل (۱۷): منحنی درصد جذب برش در قاب سه مدل سازه‌ای ۸۰ طبقه



شکل (۲۰): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه دارای کمر بند خرابایی و مهار بازویی ۱۲۰ طبقه

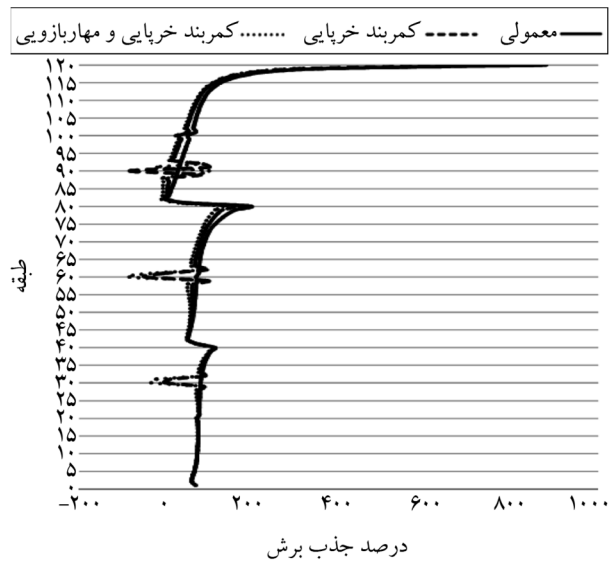


شکل (۱۸): منحنی درصد جذب برش در قاب و سیستم مقاوم جانبی (دیوار برشی) سازه معمولی ۱۲۰ طبقه

یکسان بوده که نشانگر تأثیر سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی در طبقات میانی و بالایی سازه‌های بلند است به طوری که با افزایش ارتفاع سازه، درصد جذب برش در طبقات بالایی افزایش می‌یابد. برای نمونه در همه‌ی مدل‌های سازه‌ی ۴۰ طبقه درصد جذب برش در طبقه‌ی اول در قاب و دیوار برشی هسته به ترتیب ۲۳ و ۷۷ درصد، در سازه‌ی ۸۰ طبقه ۳۶ و ۶۴ درصد و در سازه‌ی ۱۲۰ طبقه ۳۹ و ۶۱ درصد می‌باشد. در طبقه‌ی آخر همه‌ی سازه‌ها، تأثیر کمربند خرپایی در کاهش درصد جذب برش در سیستم دیوار برشی بیشتر از سیستم قاب خمشی است که این میزان درصد اختلاف به ترتیب در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه حدود ۸، ۶ و ۴ درصد و از طرفی تأثیر مهاربازویی در کاهش درصد جذب برش در سیستم دیوار برشی بیشتر از قاب خمشی بوده که این میزان درصد اختلاف به ترتیب در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه حدود ۴، ۲ و ۱ درصد می‌باشد؛ یعنی در سازه‌های بلند دارای سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی بتن مسلح با افزایش ارتفاع، درصد میزان کاهش اثر جذب برش در دیوارهای برشی (سیستم مقاوم جانبی) و قاب‌های خمشی کاهش می‌یابد و از طرفی در سازه‌های بلند دارای سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی بتن مسلح، کمربند خرپایی به تنهایی در کاهش درصد جذب برش مؤثرتر از مهاربازویی تنها می‌باشد.

۵- بررسی نیروی برش منفی و مکان‌یابی بهینه حذف سیستم مقاوم جانبی در سازه‌های بلند

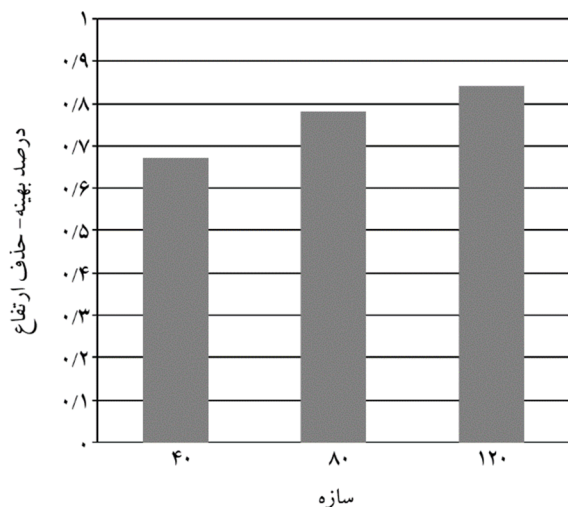
همان‌طور که از منحنی شکل‌های (۱۰) الی (۲۱) مشهود است به دلیل اضافه شدن سیستم‌های کمربند خرپایی و مهاربازویی در برخی از ترازهای ارتفاعی، به‌ویژه طبقات آخر و طبقات میانی، میزان درصد جذب برش، منفی شده و یا به عبارتی برش منفی ایجاد گردیده و از این نقطه تلاقی به بالا، دیوار برشی هسته عملکردی منفی داشته که نه تنها سیستم‌های مقاوم لرزه‌ای نیروی زلزله را جذب نمی‌کنند، بلکه تولید نیرویی در جهت نیروی زلزله می‌نمایند [۱۶] که لازم است در این طبقات آخر ضخامت و سختی دیوارهای برشی هسته‌ی مقاوم مرکزی کاهش یابد یا



شکل (۲۱): منحنی درصد جذب برش در قاب سه مدل سازه‌ی ۱۲۰ طبقه

با اضافه کردن سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی، نقطه‌ی تلاقی منحنی‌های جذب برش قاب و دیوار برشی افزایش و به طبقات بالاتر منتقل می‌گردد که مطابق شکل‌های (۱۰)، (۱۴) و (۱۸) در سازه‌های معمولی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه این تلاقی به ترتیب در طبقه‌ی ۲۲، ۵۷ و ۹۷، در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ دارای سیستم کمربند خرپایی به ترتیب در طبقه‌ی ۲۸، ۶۴ و ۱۰۲ (شکل‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۹) و در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ دارای سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی به ترتیب در طبقه‌ی ۳۰، ۶۶ و ۱۰۴ (شکل‌های ۱۲، ۱۶ و ۲۰) رخ می‌دهد. سیستم‌های کمربند خرپایی و مهاربازویی منجر به بالا رفتن نقطه‌ی تلاقی در محورهای درصد برش جذب‌شده‌ی قاب و دیوار برشی می‌گردند. مطابق شکل‌های (۱۰) تا (۲۱) تعداد نقاط تلاقی منحنی‌های درصد جذب برش دیوار برشی و قاب در سازه‌های معمولی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه به ترتیب ۱، ۲ و ۳، در سازه‌های با سیستم کمربند خرپایی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه به ترتیب ۵، ۸ و ۱۱ و در سازه‌های با سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه به ترتیب ۳، ۹ و ۱۳ می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، در سازه با سیستم کمربند خرپایی و مهاربازویی تعداد نقاط تلاقی منحنی‌های درصد جذب برش دیوار برشی و قاب افزایش می‌یابد.

در همه‌ی مدل‌ها درصد جذب برش در طبقه‌ی اول تقریباً



شکل (۲۲): ارتفاع بهینه حذف هسته مقاوم

۶- نتیجه گیری

از تحقیق فوق بر روی سازه‌های بلند ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه‌ی بتنی نتایج زیر حاصل شده است:

۱- کمر بند خرابایی و مهار بازویی در سازه‌های بتنی ۸۰ و ۱۲۰ طبقه، در طبقات میانی و پایین سازه‌ی ۴۰ طبقه در طبقات میانی اثر و عملکرد بیشتری در کاهش تغییر مکان نسبی دارد.

۲- با افزایش ارتفاع سازه‌های بلند بتنی، عملکرد و تأثیر کمر بند خرابایی در کاهش تغییر مکان کاهش می‌یابد؛ ولی به‌طور کلی کمر بند خرابایی بتنی نسبت به مهار بازویی بتنی عامل اصلی و تعیین کننده‌ای در کاهش تغییر مکان بام می‌باشد.

۳- با اضافه شدن سیستم کمر بند خرابایی و مهار بازویی بتن مسلح در سازه‌های بلند بتن آرمه، ارتفاع حذف هسته مقاوم بتن مسلح مرکزی افزایش می‌یابد.

۴- با افزایش ارتفاع، در سازه با سیستم کمر بند خرابایی و مهار بازویی تعداد نقاط تلاقی منحنی‌های درصد جذب برش دیوار برشی و قاب افزایش می‌یابند.

۵- در سیستم‌های دارای هسته‌ی مرکزی با افزایش ارتفاع درصد جذب برش در هسته افزایش می‌یابد به‌طوری‌که از ۶ برابر هم تجاوز می‌نماید.

۶- در سازه‌های بلند دارای سیستم کمر بند خرابایی و مهار بازویی بتن مسلح با افزایش ارتفاع، درصد میزان کاهش اثر

حذف گردد. به عبارتی مطابق شکل (۱۰) برای سازه‌ی ۴۰ طبقه با سیستم کمر بند خرابایی، از طبقه‌ی ۲۸ به بالا نیروی برشی در دیوارهای برشی هسته مقاوم مرکزی منفی شده به‌طوری‌که جذب برش توسط دیوارهای برشی به ۳۵۸- درصد و از طرفی در قاب‌های پیرامونی به ۴۵۸+ درصد رسیده است که این موضوع از نظر اقتصادی نیز کاملاً غیر قابل صرفه است.

در سیستم‌های دارای هسته‌ی مرکزی با افزایش ارتفاع درصد جذب برش در هسته افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در سازه‌ی ۴۰ طبقه‌ی معمولی از طبقه‌ی ۳۶ به بالا این روند خیلی شدیدتر است (از حدود ۷۰ درصد به ۴۷۷ درصد رسیده است یعنی در عرض ۴ طبقه روند جذب برش حتی از ۶ برابر هم بیشتر شده است).

مطابق منحنی‌های شکل‌های فوق مشخص می‌شود که جهت کاهش پدیده‌ی برش منفی در طبقات آخر سازه‌های بلند معمولی دارای هسته مقاوم بتنی (دیوار برشی کویله) و سازه‌های با سیستم کمر بند خرابایی و مهار بازویی بتنی، در سازه‌ی ۴۰ طبقه به ترتیب از ارتفاع‌های ۰/۵۵H، ۰/۷H و ۰/۷۵H، در سازه‌ی ۸۰ طبقه در ارتفاع‌های ۰/۷۱H، ۰/۸H و ۰/۸۳H و در سازه‌ی ۱۲۰ طبقه در ارتفاع‌های ۰/۸۱H، ۰/۸۵H و ۰/۸۷H هسته‌ی مقاوم مرکزی از نوع دیوار برشی باید حذف گردد.

با اضافه شدن سیستم کمر بند خرابایی و مهار بازویی بتن مسلح در سازه‌های بلند بتن آرمه، ارتفاع حذف هسته مقاوم بتن مسلح مرکزی افزایش می‌یابد. به‌عنوان نمونه در سازه‌ی ۸۰ طبقه با اضافه کردن این سیستم، ارتفاع بهینه حذف هسته مقاوم از ۰/۷۱H به ۰/۸H و ۰/۸۳H افزایش یافته است. به‌عبارت‌دیگر با اضافه کردن سیستم کمر بندی و مهار بتن مسلح ارتفاع حذف بهینه‌ی هسته‌ی مقاوم میانی در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه به ترتیب حدود ۳۶، ۱۷ و ۷ درصد افزایش می‌یابد؛ یعنی هرچه ارتفاع سازه بیشتر و بلندتر باشد، میزان ارتفاع یا تعداد طبقاتی که می‌بایست هسته‌ی مقاوم در آن حذف گردد کاهش می‌یابد و به‌طور میانگین می‌توان ارتفاع بهینه حذف هسته‌ی مقاوم در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه را به ترتیب ۰/۶۷H، ۰/۷۸H و ۰/۸۴H بیان نمود (شکل ۲۲).

7. He, R., Tu, Y., and Zhang, Y. (1992) Static and dynamic behavior of belted high-rise structures. *International Conference on Tall Building-Reach for the Sky*, Kuala Lumpur, Malaysia, 65-70.
 8. Rutenberg, A. and Tal, D. (1987) Lateral load response of belted tall building structures. *Engineering Structures*, **9**, 53-67.
 9. Lee, S. and Tovar, A. (2014) Outrigger placement in tall building using topology optimization. *Engineering Structures*, **74**, 122-129.
 10. Nicoreac, M. and Hoenderkamp, J.C.D. (2012) Periods of vibration of braced frames with outriggers. *Procedia Engineering*, **40**, 298-303.
 11. Haji MirEsmail, S.M. (2009) *The Dynamic Behavior of Tall Buildings with Truss Belts*. M.S.C Thesis, Civil Engineering Faculty of Semnan University.
 12. HosseiniRavarizade, O., Rahgozar, R., Malekinezhad, M., and Najjarzade L. (2010) A Mathematical Model for the approximate analysis of tall buildings. *The Sixth National Congress of Civil Engineering, University of Semnan*.
 13. Design Code of Buildings Against Earthquakes, Iranian 2800 Standard, Third Edition (2005) Building and Housing Research Center.
 14. National Building Regulations, Section VI, Loads Acting on the Building (2006) The Department of Housing and Urban Development, Office Develop and Promote National Building Regulations
 15. Hemmati, A. and Kheyroddin, A. (2013) Behavior of large-scale bracing system in tall buildings subjected to earthquake load. *Journal of Civil Engineering and Management*, **19**(2), 206-216.
 16. Kheyroddin, A. (2003) The behavior of RC structures reinforced with bracings. *Journal of College of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad*, **1**, 47-64.
- جذب برش در دیوارهای برشی (سیستم مقاوم جانبی) و قاب‌های خمشی تقریباً ۲۰ درصد کاهش می‌یابد و در این نوع سازه‌ها تأثیر کمربند خرابایی به تنهایی در کاهش درصد جذب برش از مهاربازویی تنها بیشتر می‌باشد به‌طور میانگین منجر به کاهش حدود ۲ تا ۳ برابری می‌گردد.
- ۷- هرچه سازه بلندتر و دارای ارتفاع بیشتری باشد، میزان ارتفاع یا تعداد طبقاتی که می‌بایست هسته‌ی مقاوم در آنها حذف گردد کاهش و بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق به‌طور میانگین ارتفاع بهینه‌ی حذف هسته‌ی مقاوم در سازه‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ طبقه به ترتیب ۰/۶۷H، ۰/۷۸H و ۰/۸۴H پیشنهاد می‌گردد.
- ۸- در تمامی مدل‌ها درصد جذب برش در طبقه‌ی اول تقریباً یکسان بوده که این نشانگر تأثیر سیستم کمربند خرابایی و مهاربازویی در طبقات میانی و بالایی سازه‌های بلند است به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع سازه، درصد جذب برش در طبقات بالایی افزایش می‌یابد.

مراجع

1. Kheyroddin A. and Aramesh S. (2015) *Structural Resistant Systems in Tall Buildings*. Semnan University Publication, Second Edition.
2. HalisGunel, M. and Emer Ilgin, H. (2007) A proposal for the classification of structural systems of tall buildings. *Journal of Building and Environment*, **42**, 2667-2675.
3. Taranath, B.S. (1996) *Analysis and Design of Tall Building*. McGraw Hill Book Company, New York.
4. Rahgozar, R., Ahmadi, A., and Sharifi, Y. (2010) A simple mathematical model for approximate analysis of tall buildings. *Journal of Applied Mathematical Modeling*, **34**, 2437-2451.
5. Stafford Smith, B., Cole, A., and Haji Kazemi, H. (translator) (2012) *Analysis and Design of Tall Structures*. Mashhad's Ferdowsi University Publication, Third Edition.
6. Moudaress, F.A. and Coul, A. (1986) Free vibration of outrigger braced structures. *Proceeding Institution of Civil Engineers*, **79**, 105-117.

Performance of RC Outrigger and Belt Truss within the Seismic Behavior of Tall Buildings

Ali Kargaran^{1*}, Ali Kheyroddin², and Mehdi Karimi¹

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran,
* Corresponding Author, email: a.kargaran@semnaniau.ac.ir
2. Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

In tall buildings, usage of efficient structural systems technically and economically is one of the most essential issues. One of these systems can be formed by a central core embedded by framed tubes which contain outriggers and belts truss. This system caused to reduce lateral displacement of structure and moments of the central core. Tall buildings with a central core, belt truss, and outrigger braced system, are usually designed and implemented by steel braces. Now, in this study, RC is replaced instead of steel where coupled shear walls are used within the mentioned system to investigate their performances and behaviors as a new method. The behavior of RC structures with 40, 80 and 120 stories, using outrigger and belt truss system is evaluated. Outriggers and belt truss for efficient performance are located in height of $H/2$ for 40 story, $H/3$ and $2H/3$ for 80 story and $H/4$, $H/2$, $3H/4$ for 120 story structures. The simulation results show that the belt truss within the RC structure is the main factor to reduce the roof displacement. It also shows that the effect of belt truss to absorb the shear force is more apparent than the outrigger braced system. In this investigation, drift, maximum roof displacement, absorption percentage of shear force, negative shear force and optimum height for removing central core are evaluated. By adding outriggers and belt truss systems negative shear create in some elevation levels and from this points to the top, core shear wall have negative performance and produce a force in earthquake direction. It is recommended that the optimum height to remove the central core within 40, 80 and 120 story structures is $0.67H$, $0.78H$, and $0.84H$, respectively, where H is the total height of the building.

Keywords: Tall Building Structure; Central Core; Belt Truss; Outrigger Braced; Shear Wall