

## مقایسه ظرفیت سه نوع سیستم مقاوم جانبی در طراحی یک ساختمان ۴۵ طبقه فولادی

سید شهاب امامزاده\*

استادیار، گروه عمران، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران

امین جوانمردی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد کنگان، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

shemamzadeh@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲

### چکیده

در این تحقیق نقاط ضعف و قوت سیستم‌های مقاوم جانبی ساختمان‌های بلند شناسایی شده و سیستم مناسب هم از لحاظ فنی و هم از نظر اقتصادی پیشنهاد می‌گردد. در این راستا برای یک ساختمان ۴۵ طبقه فرضی، سه نوع سیستم لوله در لوله با کلاهک خرابایی، سیستم قاب خمشی با کلاهک خرابایی و سیستم هسته مرکزی با بازوی مهاری و کمربند خرابایی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. تحلیل غیرخطی سازه به روش بار افزون انجام شده و جابجایی نسبی طبقات از نرم افزار ETABS استخراج شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که سیستم هسته مرکزی با بازوی مهاری و کمربند خرابایی در ساختمان ۴۵ طبقه فرضی از نظر اقتصادی مناسب‌تر از سایر سیستم‌ها است. نتیجه دیگر اینکه هرچه قدر محل قرارگیری کمربند خرابایی به طبقات ابتدایی نزدیک‌تر باشد، باعث بهینه شدن عملکرد سیستم سازه‌ای خواهد شد؛ هر چند که این موضوع سبب سنگین شدن مقاطع مهاربندها می‌شود ولی این موضوع تأثیر چندانی بر وزن کل سازه نخواهد داشت.

**کلید واژگان:** ارزیابی فنی و اقتصادی، سیستم‌های مقاوم جانبی، ساختمان‌های بلند.

## ۱- مقدمه

به منظور مقابله با این نیروها به جنبه‌ی مهمی در طراحی ساختمان‌های بلند تبدیل شده و فرم این سازه‌ها را تا حدود زیادی تحت تأثیر خود قرار می‌دهد [۹۸].

به منظور کاهش و محدود کردن دررفت‌های ناشی از بار باد به محدوده‌های قابل قبول، در طراحی سازه‌های بلند، به جای مصرف فولاد با مقادیر بالاتر از مقادیر استاندارد، از فرم‌های سازه‌ای اندرکنشی استفاده می‌شود. با استفاده از این نوع سیستم‌ها، صرفه‌جویی در مصرف فولاد و کاهش هزینه‌ها، می‌تواند بسیار چشمگیر باشد. به منظور دستیابی به این اهداف، تکنیک‌های مختلف مهاربندی سازه‌ها در برابر نیروی باد و زلزله، توسعه داده شده‌اند که در مطالعات ترنات به آن اشاره شده است [۱۰]. یکی از سیستم‌های پرکاربرد مهاربندی، سیستم قاب خمشی و به خصوص قاب خمشی ویژه می‌باشد. دلیل استفاده‌ی زیاد از این سیستم عملکرد مناسب لرزه‌ای آن به دلیل دارا بودن شکل‌پذیری بالا آن است. اگرچه در سیستم قاب خمشی ویژه برش پایه‌ی کمی را نتیجه می‌دهد اما با توجه به محدودیت‌های آن هزینه‌ی اجرا را بالا می‌برد. قاب خمشی ویژه به قابی اطلاق می‌شود که بتواند در برابر نیروهای جانبی زلزله تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای را تحمل کند. در طراحی این قاب‌ها سعی بر آن است که در یک یا دو انتهای تیر، در خارج از محدوده اتصال تیر به ستون، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند. مفاصل پلاستیک در قاب‌های خمشی ویژه باید دارای ظرفیت تغییرمکان جانبی نسبی طبقه حداقل به اندازه  $0.04$  رادیان باشند که حدود  $0.03$  رادیان آن در ناحیه فرا ارتجاعی قرار دارد. افزایش نسبت عمق تیر به طول دهانه در این سیستم یک نقطه ضعف به شمار می‌آید، چرا که سبب تغییر عملکرد خمشی تیر به برشی شده و همچنین با کاهش فاصله بین مفاصل پلاستیک، ظرفیت جذب انرژی آن‌ها را نیز کاهش می‌دهد. به طور کلی سیستم قاب خمشی در سازه‌های معمول باعث انعطاف‌پذیری مناسب و آزادی عمل بالا در معماری می‌شود؛ ولی از طرفی دیگر با افزایش تغییرمکان جانبی، وزن سازه و پیچیدگی اتصالات آن زیاد می‌شود که هزینه‌ی نهایی اجرای ساختمان را بالا می‌برد [۱۱].

با توجه به اینکه در اکثر تحقیقات انجام شده [۱۲ و ۱۳]، تمرکز بر روی یک سیستم بوده است بنابراین در این تحقیق به منظور مشخص شدن تفاوت‌های سیستم‌های مطرح یک ساختمان ۴۵ طبقه فولادی با چند سیستم مختلف تحلیل شده و با هم مقایسه شده‌اند.

## ۲- سیستم‌های مقاوم جانبی در ساختمان‌های بلند

در سال‌های اخیر سیستم‌های سازه‌ای ویژه‌ای در ساختمان‌های بلند مطرح شده‌اند که ضعف سیستم‌های معمول را در ارتفاع بالا جبران می‌کنند. به طور کلی سیستم‌های مهاربندی ساختمان‌های بلند را می‌توان در سه نوع اصلی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از: قاب خمشی، سیستم‌های اندرکنشی و سیستم‌های لوله‌ای. سیستم‌های مهاربندی

با افزایش ارتفاع ساختمان و لاغر شدن آن، سختی در مقابل نیروهای جانبی به طور چشم‌گیری کاهش یافته و تغییرمکان‌های بزرگ جانبی ایجاد می‌شود. این موضوع سبب ایجاد سیستم‌های سازه‌ای باربر جانبی ویژه‌ای برای کاهش تغییرمکان‌های بزرگ ناشی از نیروهای جانبی در این گونه ساختمان‌ها شده است [۳-۱].

امروزه با گسترش روزافزون سازه‌های بلند و افزایش شدید هزینه‌ها، ضرورت انتخاب سیستم بهینه جهت تحمل بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله، با کمترین مصالح و بیشترین بازده، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین با توجه به این ضرورت، در این تحقیق با بررسی و مقایسه سیستم‌های مقاوم جانبی اندرکنشی که در سازه‌های بلند مطرح شده‌اند، نقاط ضعف و قوت آنها ارزیابی می‌شود. با دستیابی به مهم‌ترین نقاط ضعف و قوت آنها، می‌توان بهینه‌ترین سیستم را براساس ارزیابی فنی و اقتصادی شناسایی نمود.

برونسی و همکاران به روش دینامیکی غیرخطی یک ساختمان بلند با سیستم ابرباندندی همگرا و کمربند خردی را در مقابل بار زلزله تحلیل کردند. سپس با ترسیم نمودار دررفت و شتاب طبقات، نسبت بار استاتیکی به بار لرزه‌ای و همچنین نیروی لرزه‌ای محوری مورد نیاز در مهاربندی‌های بحرانی در چهار طبقه مختلف، سیستم مهاربندی پیشنهاد شده محققان مورد بررسی قرار گرفته است و متوجه شدند سیستم مهاربندی ترکیبی پیشنهاد شده می‌تواند به صورت یک سیستم بهینه استفاده شود [۴].

ژاو و آستانه‌اصل به منظور کاهش ابعاد ستون‌های سیستم دیوار برشی سنتی، شیوه‌ی جدید را ارائه دادند که در آن دیوار برشی فقط به تیرهای قاب متصل می‌شد. در این روش، علاوه بر کاهش ابعاد ستون، امکان ایجاد بازشو در دیوارها نیز فراهم می‌شود. با توجه به اینکه در این سیستم، دیوارها به ستون‌های قاب متصل نمی‌شوند، انتقال بار از طریق ستون‌های صورت نگرفته و بنابراین رفتاری متفاوت با دیوار برشی سنتی خواهد داشت. محققان در این تحقیق، چهار نمونه قاب یک دهانه و یک طبقه با مقیاس  $1/3$  شامل سه نمونه دیوار برشی مرکب و یک نمونه دیوار برشی فولادی را مورد آزمایش قرار دادند. مشاهده شد وقتی بار به  $39$  درصد ظرفیت حمل بار می‌رسد، کماتش در گوشه دیوار فولادی نمونه ظاهر می‌شود. هنگامی که بار به  $77$  درصد ظرفیت حمل رسید، یک میدان کنششی در امتداد قطری تشکیل شده و موج‌های کماتشی روی ورق حاصل خواهد شد [۵].

چگونگی انتقال بارهای جانبی به نحوه‌ی ترکیب و چینش اعضای باربر وابسته است. این ترکیب را سیستم مقاوم باربر جانبی می‌نامند. در سازه‌های بلند، سیستم باربر جانبی از عناصر پیشرفته‌ای تشکیل شده است و انتقال بارهای جانبی به وسیله این اجزا انجام می‌پذیرد. طراحی سازه‌های بلند، به لحاظ ایجاد فرم‌های سازه‌ای از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است [۶]. هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر شود، شدت نیروهای جانبی افزایش نیز می‌یابد. در نتیجه، تدابیر سیستم مقاوم جانبی مناسبی

را مشخص نموده است. لذا این ضریب بعنوان فرض اولیه در تحلیل-های شبه استاتیکی می‌تواند مشابه سیستم‌های موجود در آیین‌نامه ۲۸۰۰ در نظر گرفته شود. به این صورت که برای سیستم لوله‌ای با هسته مرکزی و کلاهدک خریایی از ضریب رفتار قاب خمشی فولادی ویژه برابر ۷/۵، برای سیستم دوگانه با کمر بند خریایی از ضریب رفتار سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی ویژه به همراه مهار بند همگرایی ویژه برابر ۷/۵ و برای سیستم قاب هسته مرکزی با مهار بازویی و کمر بند خریایی از ضریب رفتار سیستم قاب ساختمانی با مهار بندی همگرایی فولادی ویژه برابر با ۵/۵ استفاده شود. از آنجایی که در این تحقیق تحلیل غیرخطی به روش بار افزون انجام شده است به‌عنوان فرض اولیه از ضرایب رفتار سیستم‌های مشابه در استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است. البته با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی می‌توان این ضرایب و تغییرات آن‌را نسبت به ارتفاع برآورد نمود که خارج از بحث این تحقیق بوده اما برای نمونه در مطالعات مهمان‌نوازان و فیروزآبادی [۱۵] به آن پرداخته شده است.

#### ۴- طراحی سیستم مقاوم جانبی

##### ۴-۱- سیستم لوله در لوله با کلاهدک خریایی

در صورتیکه خریای کمر بندی در بالاترین طبقه ساختمان اجرا گردد، سیستم حاصل سازه کلاهدک یا کلاهدک‌دار نامیده می‌شود. این سیستم از لحاظ معماری پسندیده و مقبول است و فرم خوبی برای تاج ساختمان بدست می‌دهد. اما از لحاظ سازه‌ای بهترین محل برای خریای کمر بندی نیست. در این پروژه، کلاهدک خریایی در چهار طبقه انتهایی در دو هسته داخلی و خارجی تعبیه می‌شود، تغییر مکان جانبی سازه در بالاترین ارتفاع کنترل می‌گردد. مقاطع ستون‌ها در جدول (۱) و مقاطع تیرها در جدول (۲) آورده شده است. در شکل (۱) پلان و در شکل (۲) مدلی از ساختمان ۴۵ طبقه نشان داده شده است.

جدول ۱- مقاطع ستون‌های سیستم لوله در لوله (واحد مقاطع cm)

طبقه	لوله داخلی	طبقه	لوله خارجی
۱ تا ۱۷	4×BOX 40	۱ و ۲	5×BOX 80
۱۸ تا ۲۵	3×BOX 30	۳ و ۴	5×BOX 70
۲۶ تا ۳۵	3×BOX 30	۵ و ۶	5×BOX 60
۳۶ تا ۴۵	2×BOX 20	۷ و ۸	5×BOX 50
		۹ و ۱۰	4×BOX 40
		۱۱ و ۱۲	3×BOX 30
		۱۳ و ۱۴	2×BOX 20

جدول ۲- مقاطع تیرهای سیستم لوله در لوله (واحد مقاطع cm)

طبقه	تیر
۱ تا ۱۷	3×BOX 30
۱۸ تا ۲۵	2×BOX 20
۲۶ تا ۳۵	1×BOX 10

در ساختمان‌های بلند از قاب خمشی شروع شده و با افزایش ارتفاع به سیستم‌های نیم‌لوله‌ای، لوله‌ای و لوله‌ای مهار شده تبدیل می‌شوند [۷]. سیستم‌های لوله‌ای بر اساس عملکرد لوله‌های توخالی بلند تحت بارهای جانبی به‌وجود آمده است. ایده‌ی سیستم لوله‌ای نیازمند یک پوسته بسیار مقاوم و صلب در پیرامون سازه است. اندازه بازوها در این پوسته تا حدی مجاز خواهد بود که تداخل چندانی با عملکرد لوله‌ای ایجاد نکند. برخلاف سیستم لوله‌ای، در سیستم لوله در لوله، هسته مرکزی برحسب اندرکنش با سیستم محیطی به کمک سیستم سازه سقف و قاب خمشی مرکزی می‌آید و در انتقال بخشی از بارهای ثقلی و جانبی مؤثر خواهد بود. این سیستم سازه‌ای باید به گونه‌ای طراحی شود که بیشترین سهم روی لوله پیرامونی قرار گیرد. به این ترتیب که قاب‌های داخلی و پیرامونی از نوع خمشی ویژه انتخاب شده و کلیه اتصالات تیرهای موجود در پلان از نوع گیردار است. بدین ترتیب لوله داخلی همراه با لوله خارجی در تحمل بارهای ثقلی و جانبی مشارکت دارد. در ادامه یک ساختمان ۴۵ طبقه فولادی با چند سیستم مختلف تحلیل شده و با هم مقایسه شده‌اند.

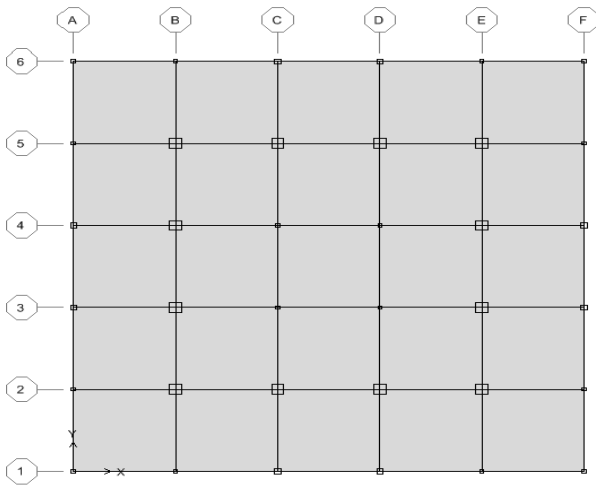
##### ۳- معرفی پروژه

در این پژوهش یک ساختمان مسکونی فولادی ۴۵ طبقه با ابعاد ۲۵×۲۵ متر در شیراز و خاک نوع ۱ طبق آیین‌نامه LFRD-AISC06 طراحی شده است. مقاطع تیر و ستون‌ها جعبه‌ای و بادبندها جفت ناودانی در نظر گرفته شده است. سیستم سقف، دال بتنی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر با بتن C25 و فولاد مصرفی از نوع ST37 است. بار مرده سقف طبق مبحث ششم برابر ۷۸۰ و بار زنده برابر ۱۰۰ کیلوگرم‌نیرو بر مترمربع اعمال گردیده است. از مقطع 2UNP28+PL برای خریای کمر بندی استفاده شده است. فرضیات روش استاتیکی غیرخطی بار افزون مطابق فصل سوم نشریه FEMA356 یا نشریه ۳۶۰ ایران است [۱۴].

##### ۳-۱- بارگذاری جانبی

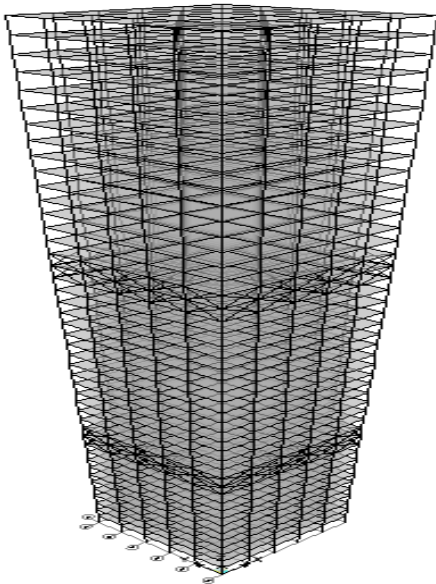
بارگذاری زلزله بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای کلیه مدلسازی‌ها لحاظ گردید. محل اجرای ساختمان شهر شیراز در نظر گرفته شد و بنابراین شتاب مبنای طرح به منظور محاسبه ضریب زلزله برابر با ۰/۳ منظور شد. با توجه به اینکه ساختمان دارای کاربری مسکونی است ضریب اهمیت سازه نیز برابر با یک لحاظ گردید. ضریب رفتار اولیه برای طرح لرزه‌ای سازه نیز برای هریک از سیستم‌های مقاوم جانبی مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شد. ضریب بازتاب ساختمان که بیانگر نحوه پاسخ ساختمان به حرکت زمین است با توجه به نوع زمین منطقه محاسبه می‌گردد. در کلیه مدل‌ها زمین محل احداث ساختمان از نوع ۱ فرض شده است.

محاسبه نیروی جانبی زلزله به ضریب رفتار وابسته است. با توجه به اینکه سیستم‌های مورد بحث در این تحقیق جزو سیستم‌های خاص سازه‌های بلند هستند، آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای این سیستم‌ها ضریب رفتار

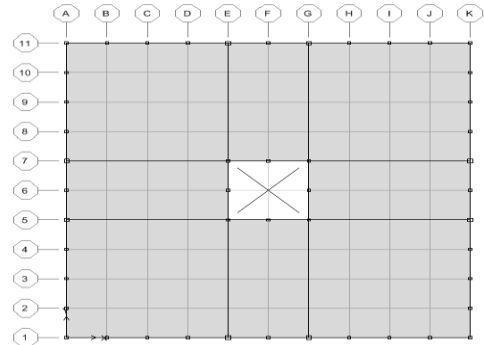


شکل ۴- پلان ستون گذاری سیستم دوگانه قاب خمشی با کمر بند خرابایی

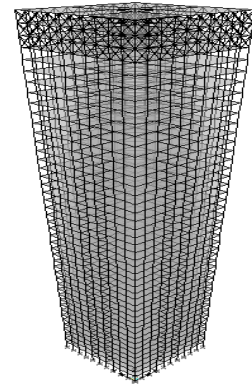
در شکل (۵) نمای سه بعدی این سیستم نشان داده شده است. همانگونه که در شکل (۶) مشخص است در طبقات ۱۲ و ۱۳ و همچنین در طبقات ۲۹ و ۳۰ کمر بند خرابایی قرار گرفته است. به منظور ایجاد عملکرد دوگانه در سیستم قاب خمشی، مهارهای بازویی برای جهت X در قاب‌های شماره ۲ و ۵ قرار گرفته‌اند و برای جهت Y در قاب‌های B و E قرار گرفته‌اند. لذا در این قاب‌ها تیرها و ستون‌های سازه دارای اتصالات گیردار می‌باشند. اتصالات قاب ۳ و ۴ در جهت X و قاب C و D در جهت Y مفصلی فرض شده است؛ در واقع این قاب‌ها تنها بارهای ثقیلی را تحمل می‌کنند. پس می‌توان گفت با توجه به پلان سازه شکل (۴) در هر دو جهت نیروی جانبی تنها توسط چهار قاب متشکل از دو قاب خمشی و دو قاب دوگانه تحمل می‌شود.



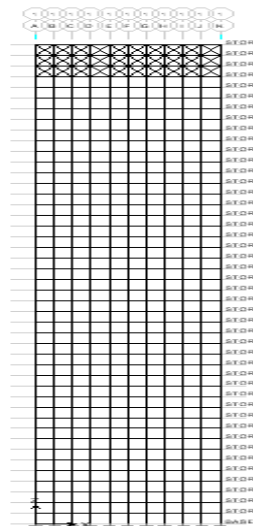
شکل ۵- مدل ساختمان ۴۵ طبقه با سیستم دوگانه و کمر بند خرابایی



شکل ۱- پلان ستون گذاری سیستم لوله در لوله و کلاهی خرابایی



شکل ۲- مدل ساختمان ۴۵ طبقه با سیستم لوله در لوله و خرابایی کمر بندی

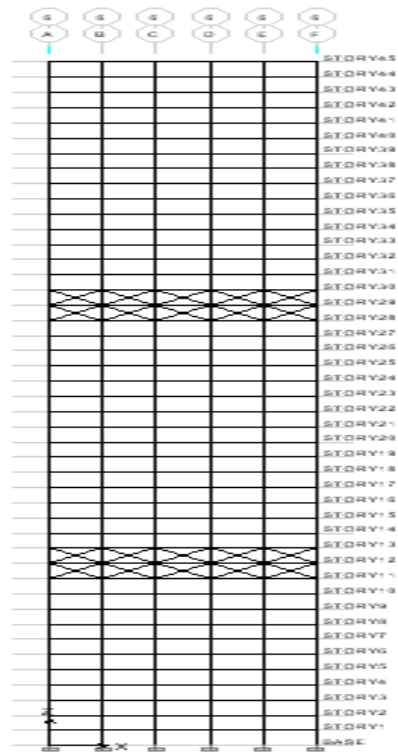


شکل ۳- نمایی از قاب شماره ۱

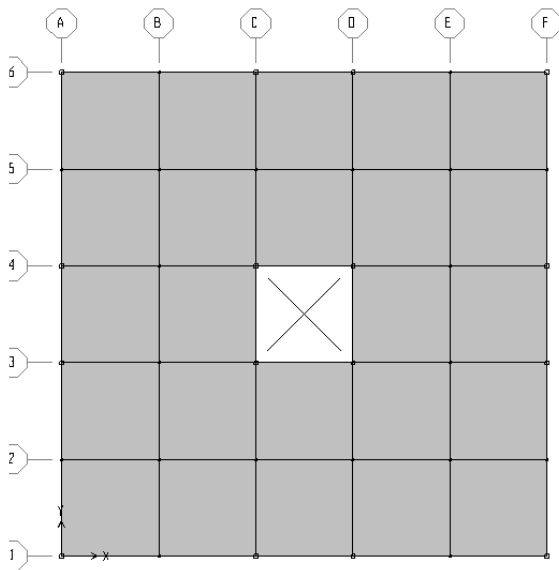
#### ۲-۴- سیستم قاب خمشی با کمر بند خرابایی

یکی از مسائل مهم در سیستم قاب خمشی با خرابایی کمر بندی، موقعیت قرارگیری خرابایی کمر بندی در ارتفاع ساختمان است. زیرا تغییر محل قرارگیری آن اثرات قابل توجهی را در عملکرد سازه از جمله مقدار جابجایی نسبی سازه دارد که می‌تواند طراحی بهینه‌ی آن را دچار مشکل نماید. در این سیستم کمر بند خرابایی در  $0/33$  و  $0/66$  ارتفاع سازه در نظر گرفته شده است.

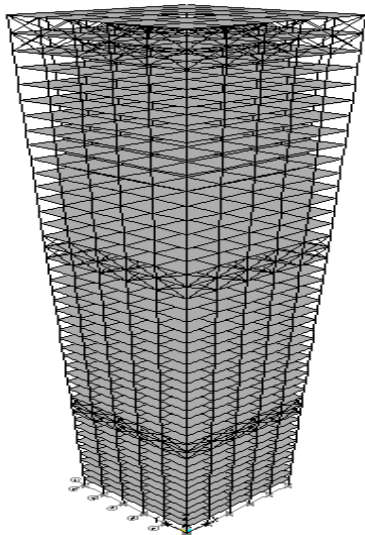
متصل شده‌اند اتصالات هسته مرکزی و کلیه تیرها مفصلی بوده ولی در محل مهارهای بازویی اتصالات گیردار می‌باشد، زیرا مهار بازویی سعی در انتقال نیروهای جانبی از محل هسته مرکزی به اطراف ساختمان را دارد. همچنین اتصال ستون‌ها به شالوده گیردار در نظر گرفته شده است. تحلیل و طراحی این سیستم مانند حالات قبل از روش حالات حدی آیین‌نامه LRFD-AISC06 در نرم‌افزار ETABS 18.0.2 صورت گرفته است. نمای سه بعدی و قاب شماره یک سازه نیز به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.



شکل ۶- نمای قاب شماره ۱



شکل ۷- پلان سیستم هسته مرکزی با کمر بند خرابایی و مهار بازویی



شکل ۸- مدل ساختمان ۴۵ طبقه با سیستم بازوی مهار و کمر بند خرابایی

جدول ۳- مقطع ستون‌های قاب خمشی (واحد مقاطع cm)

طبقات	قابهای دوگانه ۳ و ۴ و C و D	طبقات	قابهای خمشی ۲ و B و F	طبقات	قابهای ۱ و A و E و F
۱ تا ۳	4×BOX 50	۳ و ۳	4×BOX 50	۳ و ۱	5×BOX 80
۴ تا ۱۹	4×BOX 40	۳ تا ۳۴	4×BOX 40	عشو ۴	5×BOX 70
۲۰ تا ۲۵	4×BOX 30	۳۵ تا ۴۵	3×BOX 30	۷ و ۸ و ۹ و ۱۰	5×BOX 60
۲۶ تا ۳۳	3×BOX 30			۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴	5×BOX 50
۳۵ تا ۴۵	2×BOX 20			۱۵ تا ۲۲	4×BOX 40
				۲۳ تا ۲۷	3×BOX 30
				۲۸ تا ۴۵	2×BOX 20

جدول ۴- مقطع تیرها در سیستم دوگانه با کمر بند خرابایی (واحد مقاطع cm)

طبقات	تیر	طبقات	تیر
۲ تا ۱	3×20 BOX	۱ تا ۹	4×40 BOX
۳ تا ۳	3×30 BOX	۱۰ تا ۲۶	3×30 BOX
۴۵ تا ۲۸	2×20 BOX	۲۷ تا ۴۵	2×20 BOX

### ۳-۴- سیستم هسته مرکزی، بازوی مهار و کمر بند

#### خرابایی

در این سیستم، هسته مرکزی به صورت قاب فولادی ویژه با مهار بند همگرا در برابر بارهای جانبی مقاومت می‌نماید. ضمن اینکه در سه تراز در طبقات ۱۱ و ۱۲، ۲۹ و ۳۰، ۴۴ و ۴۵ هسته مرکزی با استفاده از مهارهای بازویی صلب به مهارندهای پیرامونی (خرابای کمر بندی)

برای بررسی صحت مدل سازی زمان تناوب تحلیلی با زمان تناوب تجربی در جدول ۵ الی ۷ مقایسه شده است. برش پایه دینامیکی هم بدست آمده است. در استاندارد ۲۸۰۰ دو نوع دوره تناوب تعریف شده است. اولی دوره تناوب حاصل از ایتبس (پریود تحلیلی) و دومی دوره تناوبی که بر اساس فرمول های آیین نامه محاسبه می شود (پریود تجربی). معمولاً همانطور که در جداول (۵ تا ۷) نشان داده شده است، دوره تناوب تحلیلی بیشتر از دوره تناوب تجربی بدست می آید. این نتیجه مورد انتظار نیز بود چون در این تحلیل اسکلت خالی مدل شده است و اگر اجزای غیرسازه ای نیز مدل شوند سختی سازه افزایش یافته و پریود تحلیلی نیز تغییر می کند.

جدول ۵- مشخصات دینامیکی سیستم لوله در لوله با کلاهدک خرابایی

وزن سازه tonf	برش پایه tonf	ضریب زلزله	زمان تناوب تحلیلی sec	زمان تناوب تجربی sec
۴۲۵۱	۴۴۵	۰/۰۳۶	۶/۱۱	۳/۱۷

جدول ۶- مشخصات دینامیکی سیستم دوگانه با کمربند خرابایی

وزن سازه tonf	برش پایه tonf	ضریب زلزله	زمان تناوب تحلیلی sec	زمان تناوب تجربی sec
۴۱۱۰	۴۵۵	۰/۰۳۶	۶/۲۲	۱/۹۸

جدول ۷- مشخصات دینامیکی سیستم هسته مرکزی، بازوی مهار و

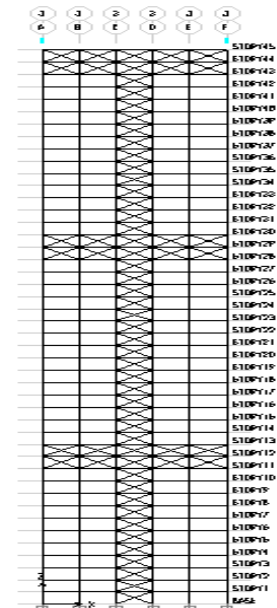
## کمربند خرابایی

وزن سازه tonf	برش پایه tonf	ضریب زلزله	زمان تناوب تحلیلی sec	زمان تناوب تجربی sec
۳۶۱۲	۶۶۷	۰/۰۳۶	۷/۱۶	۱/۹۸

## ۵-۲- تغییر مکان نسبی طبقات

در این تحقیق میزان جابجایی جانبی هر طبقه نسبت به طبقه پایین خود به عنوان دررفت طبقه در نظر گرفته می شود. این موضوع با دررفت کلی ساختمان که برابر است با جابجایی بالاترین نقطه ساختمان تفاوت دارد. دررفت کلی ساختمان مربوط به نقطه ای است که بیشترین جابجایی را در ساختمان دارد.

عامل دیگری که به منظور در نظر گرفتن پارامتری برای کنترل راحتی ساکنان محاسبه می گردد، اندیس رانش است. اندیس رانش نیز مانند دررفت در دو حالت اندیس رانش بین طبقه ای و اندیس رانش کلی تعریف می گردد. اندیس رانش کلی عبارت است از جابجایی جانبی ساختمان در بالاترین نقطه آن نسبت به ارتفاع کلی سازه؛ در حالی که به نسبت جابجایی جانبی نسبی هر طبقه نسبت به طبقه پایین خود به ارتفاع طبقه، اندیس رانش بین طبقه ای گفته می شود.



شکل ۹- نمای ساختمان ۴۵ طبقه با سیستم بازوی مهار و خرابای کمربندی

جدول ۳- ستون های هسته مرکزی با بازوی مهار (واحد مقاطع cm)

ستون های مهاربندی	طبقات	ستون های بیرونی	طبقات	ستون های داخلی	طبقات
5×BOX 90	۱و۲و۳	5×BOX 80	۱ تا ۱۱	4×BOX 30	۱و۲
5×BOX 80	۴ تا ۱۸	5×BOX 60	۱۲ و ۱۳	3×BOX 30	۳ تا ۲۳
5×BOX 60	۱۹ تا ۲۹	5×BOX 50	۱۴ تا ۲۷	3×BOX 20	۲۴ تا ۳۰
4×BOX 40	۳۰ تا ۳۳	4×BOX 40	۲۸ تا ۳۱	2×BOX 20	۳۱ تا ۴۵
3×BOX 30	۳۴ و ۳۵ و ۳۶	3×BOX 20	۳۲ تا ۳۷		
4×BOX 30	۳۷ تا ۴۵	2×BOX 20	۳۸ تا ۴۵		

جدول ۴- مقاطع هسته مرکزی با بازوی مهار (واحد مقاطع cm)

مهاربندی	محل قرارگیری	تیر	طبقه
2UNP28+PL	هسته مرکزی	2×BOX 20	۱ تا ۴۵
2UNP28+PL	کمربند انتهایی و ابتدایی		
2UNP40+PL	کمربند میانی		

## ۵- بررسی پاسخ سیستم های سازه ای مختلف

## ۱-۱- برش پایه و زمان تناوب

**۵-۳- ضریب تأخیر (نگی) برشی**

ضریب تأخیر برشی، ضریبی است که همواره کوچک‌تر یا مساوی یک بوده و در محاسبه سطح مقطع خالص مؤثر به کار گرفته می‌شود. در سازه‌های بلند عدم توزیع یکنواخت تنش کششی و فشاری در محل اعمال این نیروها در مقاطع بال ساختمان، سبب ایجاد توزیع غیریکنواخت و خروج از مرکزیت در نیروی محوری شده و ایجاد لنگر اضافی در محل اتصال عضو می‌نماید. از این رو ضریب تأخیر برش برای این نمونه مقاطع وارد کار می‌شود. با توجه به وابسته بودن ضریب تأخیر برش به خروج از مرکزیت، هر چه میزان خروج از مرکزیت بیشتر باشد پدیده تأخیر برشی باعث افزایش بیشتر تنش حداکثر روی سطح خواهد شد. این امر سبب می‌شود تا به منظور کنترل اتصالات طول آن‌ها افزایش شدیدی یابد تا تأثیر لنگرهای اضافی ایجاد شده کمتر شود. در ساختمان‌های بلند این ضریب برابر با نیروی محوری ستون‌های غیر از ستون میانی نسبت به نیروی محوری ستون میانی است. هر چه قدر این نسبت به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر نیروی محوری در ستون‌های طبقه و در نتیجه دارای عملکرد بهتر سازه بلندمرتبه خواهد بود.

**۵-۴- درصد جذب برش**

درصد جذب برش عبارت است از نسبت میزان نیروی برشی که توسط سیستم قاب‌های ساختمانی و یا سیستم مقاوم لرزه‌بر جانبی در هر طبقه تحمل می‌گردد به کل نیروی برشی در آن طبقه که میزان مجموع درصد کل در هر طبقه برابر با ۱۰۰ درصد است. (همتی و خیرالدین، ۲۰۱۴)

در واقع عملکرد قاب و هسته‌ی مقاوم به طور مجزا، کاملاً متفاوت از یکدیگر می‌باشند. تغییر شکل قاب تحت اثر نیروی جانبی رفتاری مشابه یک طره‌ی برشی و تغییر شکل هسته‌ی مقاوم رفتاری مشابه یک طره خمشی دارد. به عبارتی تغییر مکان مهاربندها در مود خمشی و با تحمیل در جهت نیروی برشی دارای حداکثر شیب در بالای سازه است در حالی که تغییر مکان قاب در مود برشی و دارای تقعر در جهت نیروی جانبی دارای حداکثر شیب در پای سازه می‌باشد. بنابراین هنگامیکه دو سیستم اندرکنشی مقاوم جانبی به صورت توأمان عمل کنند، منجر به تغییر مکان خمشی در پایین سازه و تغییر مکان برشی در بالای سازه می‌گردند.

**۵-۵- مقاومت نهایی**

علاوه بر میزان سختی جانبی که با استفاده از میزان دررفت طبقات تا حدودی مشخص می‌شود، مقاومت نهایی نیز یکی دیگر از پارامترهای مهم در بررسی رفتار سازه‌ها با سیستم‌های مقاوم جانبی مختلف می‌باشد. میزان مقاومت نهایی بستگی به ظرفیت اعضای سازه و همچنین نحوه عملکرد سیستم مقاوم جانبی دارد. با توجه به اینکه کلیه اعضای سازه‌ای در سیستم‌های اندرکنشی مختلف دارای مشخصات فیزیکی

یکسان هستند، لذا تفاوت در میزان مقاومت نهایی می‌تواند عامل مناسبی در شناسایی سیستم مقاوم جانبی با عملکرد بهینه باشد.

**۵-۶- وزن فولاد مصرفی**

به منظور تخمین اقتصادی سازه‌های طراحی شده با سیستم‌های مختلف، وزن کل فولادی مصرفی در مدل‌ها مورد مقایسه گرفته است. این وزن به تفکیک در هر یک از بخش‌های سازه شامل ستون‌ها، تیرها و مهاربندها مقایسه شده است تا هنگام بررسی وزن کل سازه در حالت‌های مختلف، علت تفاوت مشخص شده و تصمیم‌گیری برای انتخاب اقتصادی‌ترین نوع سیستم مقاوم جانبی راحت‌تر صورت گیرد. نکته قابل توجه این است که نتیجه‌گیری اقتصادی بر پایه مقایسه اوزان فولاد مصرفی در مدل‌های مختلف قابل استناد به سازه‌های با ارتفاع کوتاه یا متوسط نیست. زیرا در سازه‌های بلند رفتار ساختمان که تأثیر قابل توجهی بر وزن مصالح مصرفی می‌گذارد، تفاوت چشمگیری با سازه‌های متوسط و کوتاه دارد. لذا می‌توان مقایسه اقتصادی برای سازه‌های کوتاه و متوسط را نیز در ادامه این تحقیق به انجام رسانید.

**۶-۶- مقایسه رفتاری و اقتصادی مدل‌ها**

در این بخش برای عملکرد فنی و اقتصادی سیستم‌های اندرکنشی دررفت طبقات، ضریب تأخیر برشی و درصد جذب نیروی برشی در سیستم‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شود. همچنین به منظور بررسی معیار ایمنی و رفاه ساکنان، اندیس رانش بین طبقه‌ای در مدل‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در انتها به منظور مقایسه اقتصادی بین سیستم‌های مقاوم جانبی، وزن فولاد مصرفی به تفکیک المان‌ها در هر سازه بررسی می‌شود. با توجه به معیارهای مورد نظر بهترین سیستم سازه‌ای از نظر فنی، اقتصادی و رفاه ساکنان پیشنهاد می‌گردد.

**۶-۱- ظرفیت تغییر مکان جانبی طبقات**

در تعریف مفهوم ظرفیت سازه می‌توان گفت که ظرفیت کلی یک سازه به مقاومت (ظرفیت نیرویی) و ظرفیت تغییر مکانی هر یک از اعضای آن وابسته است. به‌طور کلی برای دستیابی به ظرفیت سازه در آن‌سوی محدوده الاستیک، روش‌های تحلیل غیرخطی مورد نیاز است. از لحاظ آیین‌نامه‌ای، ظرفیت در واقع حداکثر تلاشی است که یک المان از سازه، یا در مقیاس بزرگ‌تر خود سازه، می‌تواند تحمل کند؛ بدون این‌که از حدود مجازی که برای آن در نظر گرفته شده تجاوز نماید.

همانطور که در شکل (۶) مشخص است با ثابت در نظر گرفتن پلان و ارتفاع، سازه طراحی شده با سیستم مقاوم جانبی دوگانه و کمربند خریایی بهتر از سایر سازه‌ها دررفت طبقات را کنترل کرده است که این امر ناشی از سختی بیشتر سیستم مقاوم جانبی به دلیل استفاده همزمان از قاب خمشی و کمربند خریایی است. در دو نقطه از این نمودار (در طبقات ۱۲-۱۳ و ۲۹-۳۰) مشاهده می‌شود که مقدار تغییر مکان جانبی کاهش

خرپایی در طبقات ابتدایی نیز قرار می‌گرفت، عملکرد این سازه کاملاً منطبق با معیار ایمنی آیین‌نامه ASCE می‌شد. در سیستم قاب هسته مرکزی، هرچند حضور مهار بازویی و کمر بند خرپایی توانسته است اندیس رانش را در محل قرارگیری آن‌ها کاهش دهد ولی در سایر نقاط همچنان از حد تعریف شده بر اساس معیار راحتی (۰/۰۰۲) فاصله زیادی دارد. بنابراین از بین سیستم‌های یاد شده، سیستم لوله در لوله با کلاهک خرپایی بهترین عملکرد را برای رفاه ساکنان دارد. این در حالی است که با اضافه کردن یک کمر بند خرپایی در طبقات ابتدایی سیستم دوگانه می‌توان عملکرد آن را در محدوده مجاز آیین‌نامه قرار داد.



شکل ۷- مقایسه اندیس رانش بین طبقه‌های در سیستم‌های مقاوم جانبی

### ۳-۶- ضریب تأخیر (لنگی) برشی

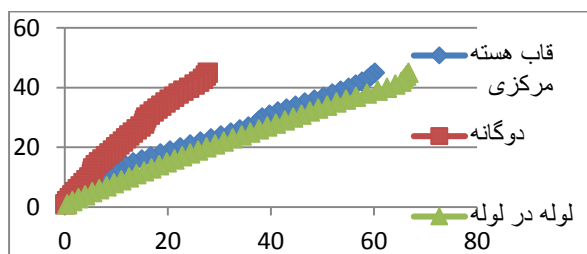
طبق تعریف ضریب لنگی (تأخیر) برشی عبارت است از:

$$SLF = \frac{\text{نیروی محوری ستون‌ها غیر از ستون میانی}}{\text{نیروی محوری ستون میانی}}$$

مطابق شکل (۸) برای ستون‌های میانی در هر سه سیستم سازه‌ای ضریب تأخیر برشی نزدیک به مقدار یک به دست آمده است، اما روند تغییرات آن در سیستم‌های سازه‌ای به صورت غیریکنواخت است. استفاده از سیستم لوله در لوله با کمر بند خرپایی منجر می‌شود تا حداکثر ضریب تأخیر برشی در ستون‌های گوشه طبقات ابتدایی و انتهایی به شدت افزایش یابد. این موضوع سبب می‌شود تا ستون‌های گوشه در ابتدا و انتهایی ارتفاع سازه بسیار سنگین‌تر از ستون‌های میانی شده و احتمال رخداد طبقه نرم یا ضعیف در سازه به وجود آید. این در حالی است که لنگی برشی در سیستم‌های قاب هسته مرکزی با مهار بازویی و دوگانه با کمر بند خرپایی نسبت به حالت قبل در طبقات مختلف کاهش یافته است.

هرچند در سیستم قاب هسته مرکزی همچنان بین لنگی برشی ستون-های ابتدا و انتهای ارتفاع سازه با ستون‌های میانی اختلافی وجود دارد ولی این موضوع در سیستم دوگانه با کمر بند خرپایی بسیار بهینه‌تر شده است، به طوری که نرخ تغییرات لنگی برشی در طبقات مختلف بسیار به یکدیگر نزدیک شده است.

پیدا کرده است. این دو نقطه در واقع همان محل قرارگیری کمر بند خرپایی است. لذا استفاده از سیستم قاب خمشی در کنار کمر بند خرپایی که تشکیل یک سیستم دوگانه را می‌دهد، می‌تواند به عنوان یک گزینه در بهبود عملکرد جانبی سازه‌های بلند محسوب شود. در مدل‌های هسته مرکزی و سیستم لوله در لوله با کلاهک خرپایی، کنترل دررفت در سازه کمی بحرانی‌تر بنظر می‌رسید. همانطور که در شکل (۶) مشخص است با افزایش ارتفاع در این مدل‌ها، میزان دررفت طبقات افزایش می‌یابد، این در حالی است که در محل مهار بازویی برای سیستم هسته مرکزی این میزان به مقدار چشمگیری کاهش یافته و در مجموع عملکرد سازه در کنترل دررفت را بهبود بخشیده است. همچنین در سیستم لوله در لوله به دلیل قرارگیری کلاهک خرپایی، میزان تغییر مکان جانبی در انتهای سازه کاهش یافته است، هرچند این میزان کمی به کنترل دررفت سازه نموده است.



شکل ۶- تغییر مکان جانبی مطلق طبقات (mm) در سیستم‌های مختلف

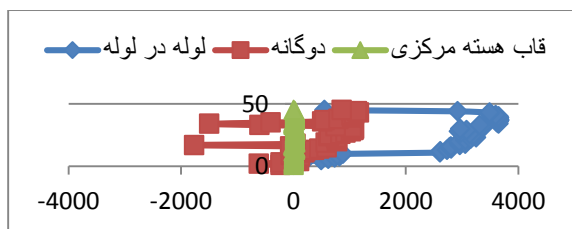
### ۲-۶- اندیس رانش بین طبقه‌ای

اندیس رانش بین طبقه‌ای به عنوان یک پارامتر برای تعیین سطح عملکرد ایمنی و رفاه ساکنین در آیین‌نامه ASCE7-10 درج شده است. طبق این آیین‌نامه، حد مجاز اندیس رانش برای تأمین سطح ایمنی ساکنان برابر با ۰/۰۰۲ است. با توجه به شکل (۷) اندیس رانش بین طبقه‌ای در سه سیستم اندرکنشی مذکور نشان داده شده است. در سیستم لوله در لوله با کلاهک خرپایی به دلیل اینکه لوله داخلی نیز در اشتراک با لوله خارجی به تحمل بارهای جانبی کمک می‌نماید، علاوه بر افزایش سختی سازه، تغییر مکان سازه نیز در مقایسه با سایر سیستم‌های مقاوم جانبی کمتر برآورد شده است. در طبقات ابتدایی به دلیل حاکم بودن معیار مقاومت در طرح، مقاطع برابر سازه به خصوص تیرها سنگین برآورد شده و به دنبال آن تغییر شکل در کلیه سیستم‌های مقاوم جانبی افزایش بیش از معیار مجاز را داشته است؛ هرچند این مقدار در سیستم لوله در لوله بسیار کمتر از سیستم دوگانه با کمر بند خرپایی است. بنابراین مشخص می‌شود که سیستم لوله در لوله با کلاهک خرپایی بهتر از سایر سیستم‌ها می‌تواند معیار رفاه و ایمنی ساکنان را برآورده سازد؛ هرچند که در طبقات پایینی این مقدار از حد مجاز فراتر رفته است. این موضوع می‌تواند با کمک قرارگیری کمر بند خرپایی در طبقات ابتدایی جبران شود.

اضافه نمودن کمر بند خرپایی به سیستم دوگانه سبب کاهش چشمگیری اندیس رانش طبقه‌ای در این سازه شده است. در صورتی که کمر بند



توسط جداره بیرونی می‌تواند به میزان چشمگیری کاهش یابد. در مقایسه با این سیستم، در سیستم دوگانه با کمر بند خرابایی از دیدگاه کیفی سهم قاب خمشی در مقایسه با سیستم لوله در لوله در جذب برش کمتر است. هر چند در قسمت عمده‌ای از ارتفاع سازه نرخ تغییرات درصد جذب نیروی برشی برای سیستم لوله در لوله با کلاهی خرابایی و سیستم دوگانه با کمر بند خرابایی یکسان است ولی وجود شکستگی‌هایی در نمودار در دو نقطه از ارتفاع سازه با سیستم دوگانه به دلیل حضور کمر بند خرابایی است. مقدار جذب نیروی برشی قاب خمشی در این نقاط بسیار کاهش یافته که این مقدار به سیستم مهاربندی تحمیل می‌شود. در مقایسه با این دو سیستم، قاب هسته مرکزی میزان بسیار کمتری از نیروی جانبی را تحمل می‌نماید؛ به دلیل اینکه عمده نیروی برشی در این سیستم توسط مهاربندی در قاب‌ها تحمل می‌شود. این موضوع سبب می‌شود تا وزن سازه با سیستم قاب هسته مرکزی و مهاربندی به میزان چشمگیری در مقایسه با دو سیستم دیگر کاهش یافته و رفتار نرم‌تری در مقابل نیروی جانبی از خود به نمایش گذارد. (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه درصد جذب برش در سیستم‌های مختلف

### ۶-۵- وزن فولاد مصرفی

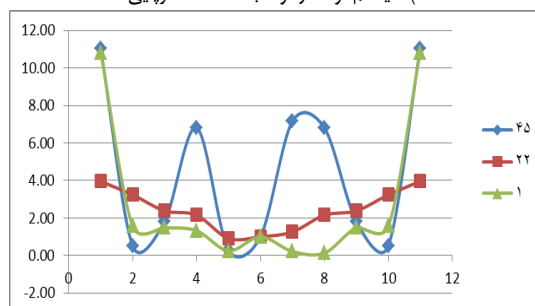
در این بخش به مقایسه اقتصادی سیستم‌های مقاوم جانبی اندرکنشی در ساختمان‌های بلند که وزن فولاد مصرفی در بخش‌های مختلف هر مدل شامل تیر، ستون و مهاربندها استخراج و با یکدیگر مقایسه شده است. پس از آن به منظور افزایش دقت در محاسبات یکبار هم وزن کلی سازه با سیستم‌های جانبی مختلف مقایسه شده است. در انتها هر سیستمی که با مقدار فولاد مصرفی کمتری بتواند پارامترهای پاسخ بهتری ارائه دهد به عنوان بهینه‌ترین سیستم از لحاظ فنی و اقتصادی برگزیده خواهد شد. (جدول ۴)

### ۷- نتیجه گیری

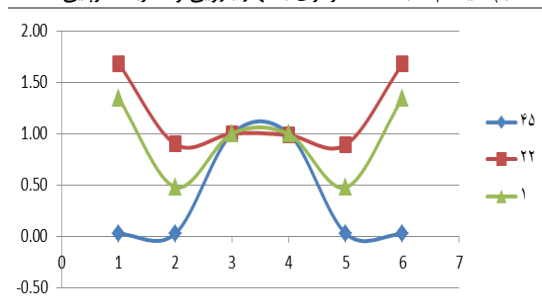
تقویت سیستم لوله در لوله با کلاهی خرابایی تنها باعث می‌شود تا اندیس رانش بین طبقه‌ای کاهش یابد اما بیشترین تأثیر مربوط به سیستم دوگانه بوده است.

بکارگیری سیستم سازه‌ای دوگانه با کمر بند خرابایی باعث می‌شود تا تغییرشکل از حالت برشی (مخصوص قاب‌های خمشی) به حالت تغییرشکل خمشی - برشی (مخصوص قاب‌های به همراه یک نقطه عطف در نمودار تغییر مکان طبقات) تغییر یابد.

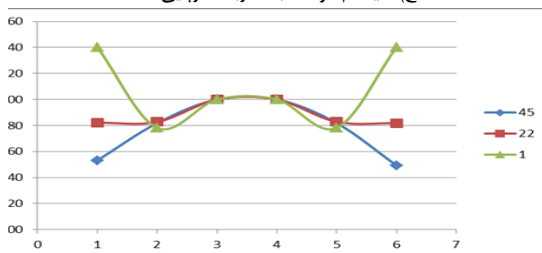
الف) سیستم لوله در لوله با کلاهی خرابایی؛



ب) سیستم قاب هسته مرکزی با مهاربندی و کمر بند خرابایی



ج) سیستم دوگانه با کمر بند خرابایی



شکل ۸- الف - ضریب تأخیر (لنگی) برشی در طبقات ۱، ۲۲ و ۴۵

جدول ۴ - مقایسه وزن مصالح مصرفی به تفکیک اعضا

نام سیستم	نوع عضو	وزن (Tonf)	وزن کل (Tonf)	تعداد
سیستم هسته مرکزی با مهاربندی و کمر بند خرابایی	ستون	1703	3612	1620
	تیر	1420		2700
	مهاربند	489		552
سیستم دوگانه با کمر بند خرابایی	ستون	1932	4110	1620
	تیر	1992		2700
	مهاربند	186		320
سیستم لوله در لوله با کلاهی خرابایی	ستون	1973	4251	2160
	تیر	2260		2520
	مهاربند	18		288

### ۶-۴- میزان جذب نیروی برشی

هنگامی که از سیستم مقاوم جانبی لوله در لوله با کلاهی خرابایی استفاده شود، به جز در چند طبقه ابتدایی سازه، تمام بار جانبی سهم قاب‌های مستقر در جان پیرامونی سازه است. همچنین در طبقات انتهایی به دلیل قرارگیری کلاهی خرابایی میزان جذب برش لوله‌های پیرامونی به شدت کاهش یافته است. در صورت قرارگیری کمر بند خرابایی در طبقات ابتدایی سازه (برای مثال طبقات ۱۰ تا ۱۵) مقدار جذب برشی

- [4] Brunesi E, Nascimbene R, Rassati G.A. Seismic Response of High-Rise Mega-Braced Frame-Core Buildings through FE Analysis. Geotechnical and Structural Engineering Congress, 2016; 276-28.
- [5] Astaneh-Asl A. Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls. Steel TIPS Report, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA, 2008.
- [6] Tahoni Sh. Tall Buildings. ElmoAbab Publication, First Edition. 2018; (In Persian).
- [7] Kheyroddin A, Aramesh S. Lateral Resistanting Systems in Tall Buildings. Semnan University Publication, Third Edition. 2021; (In Persian).
- [8] Tranath, Bungale S. Reinforced Concrete Design of Tall Buildings. CRC Press, 2010.
- [9] Stafford B.S, Coull A, Tall buildings structures analysis and design, Wiley inter science publication, 2001.
- [10] Zhou Y, Zhang C, Lu X. An inter-story drift-based parameter analysis of the optimal location of outriggers in tall buildings. The structural design of tall and special buildings, Wiley Inter science Publication 2016; 25(5): 215-231.
- [11] Park H.S, Lee E., Choi S.W. Genetic-algorithm-based minimum weight design of an outrigger system for high-rise buildings. Engineering structures. 2019;117: 496-505.
- [12] Hoenderkamp J, Bakker M. Analysis of high-rise braced frames with outriggers. The structural design of tall and special buildings. Wiley Inter science Publication, 2008; 12: 335-350.
- [13] Joseph L, Gulec C. Schwaiger, J. Wilshire Grand: Outrigger designs and details for a highly seismic site. International Journal of High-Rise Buildings, 2016; 5: 1-12.
- [14] FEMA356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, 2000; Chapter 3.
- [15] Mehmannaavazan M, Firozi M. Behavior coefficient and its changes with height in the steel tube system. 2th International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architectural & Urban Development, 2016; Istabul, Turkey. (In Persian)

با وجود اینکه پاسخ سیستم لوله در لوله با کلاhek خرابایی نسبت به سیستم دوگانه با کمربند خرابایی برای اندیس رانش بین طبقه‌های بهتر برآورد شده است ولی نرخ تغییرات هر دو شکل سازه‌ای تا حدود زیادی به یکدیگر شباهت دارد؛ به غیر طبقات ابتدایی که با قرارگیری کمربند خرابایی در آن طبقات می‌توان پاسخ سازه را کاملاً بر آیین‌نامه منطبق نمود.

در سیستم لوله در لوله با کلاhek خرابایی سهم عمده برش به جدار خارجی می‌رسد. این در حالی است که در سیستم دوگانه با کمربند خرابایی نیز بیشترین درصد جذب برش به قاب‌های خمشی اختصاص یافته است، هرچند در دو نقطه وجود مهاربندها سبب ایجاد نقاط عطفی شده است که نشان دهنده افزایش جذب نیروی برشی توسط آن‌ها است. به منظور تخمین اقتصادی سازه‌های طراحی شده با سیستم‌های مقاوم جانبی اندرکنشی، وزن کل فولاد مصرفی در مدل‌ها مورد مقایسه بیانگر این است که در صورت استفاده از سیستم قاب هسته مرکزی با مهار بازویی و کمربند خرابایی در ساختمان‌های بلند مرتبه تا ۴۵ طبقه از نظر اقتصادی مناسب‌تر از سایر سیستم‌های بررسی شده در این تحقیق است. لذا با توجه به مطالب بیان شده در فوق می‌توان گفت سیستم دوگانه با کمربند خرابایی در مقایسه با دوشکل سازه ای اندرکنشی دیگر که در این تحقیق به آن پرداخته شده است، از نظر فنی و اقتصادی دارای عملکرد مناسب تری بوده و برای سازه‌های بلندمرتبه با ۴۵ طبقه سیستم بهینه ای است. این در حالی است که نتایج نشان داد هرچه قدر محل قرارگیری کمربند خرابایی به طبقات ابتدایی نزدیکتر باشد باعث بهینه شدن عملکرد سیستم سازه ای خواهد شد. دلیل برتری سیستم دوگانه با کمربند خرابایی در مقایسه با سیستم لوله در لوله با کلاhek خرابایی را نیز می‌توان تا حدود زیادی در محل قرارگیری مهاربندها دانست. در سیستم قاب هسته مرکزی با مهار بازویی با وجود این که دارای کمترین وزن مصالح مصرفی در بین سایر شکل‌های سازه ای است ولی به دلیل این که اندیس رانش بین طبقه ای در آن فاصله زیادی با مقدار مجاز آیین‌نامه دارد و همچنین تغییر مکان مطلق طبقات در مقایسه با دوسیستم دیگر مقدار زیادتری است به نظر نمی‌رسد که بتوان آن را در سیستم‌های سازه ای بهینه قرار داد.

## مراجع

- [1] آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.
- [2] کاظمی‌نیا کرانی، حسین؛ خشنودیان، فرزاد. رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند و رفع مشکل تاخیر برشی در این سازه‌ها. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹
- [3] Smith B. Tall Building Structures: Analysis and Design. 1st Edition, Wiley Inter science Publication, 1991.

## Comparison of the Capacity of Three Types of Lateral Resisting Systems in the Design of a 45-Story Steel Building

Seyed Shahab Emamzadeh\*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran  
Amin Javanmardi

M.Sc. Candidate, Department of Civil Engineering, Kangan Branch, Islamic Azad University,  
Kangan, Iran

### Abstract

In this research, the strengths and weaknesses of lateral systems of tall buildings are identified and a suitable system is proposed both technically and economically. In this regard, for a hypothetical 45-storey building, three types of pipe in pipe system with truss belt cap, moment frame system with truss belt cap and central core system with restraint arm and truss belt are compared. Nonlinear analysis of the structure was performed by pushover method. In addition, the relative displacement of the floors was extracted by ETABS software. The results revealed that the central core system with the restraint arm and truss belt in a hypothetical 45-storey building is economically more viable than other systems. Another consequence is that the closer the truss belt is to the ground floors, the better the performance of the structural system. Although this makes the bracing sections heavier, it will not have much effect on the overall weight of the structure.

**Keywords:** Technical and Economic Evaluation, Lateral Resisting Systems, Tall buildings



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license: (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)