

## تحلیل و طراحی بهینه تیر پیوند در قاب‌های فلزی با مهاربندی واگرا

محمدرضا عدل پرور<sup>۱\*</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> مهاربندی های واگرا (EBF)، تیر پیوند، ضریب رفتار، تحلیل استاتیکی غیرخطی.</p>	<p>در مقابله با بارهای جانبی از جمله زمین لرزه، قاب با مهاربندی واگرا از سختی بالا و قدرت جذب انرژی مطلوبی برخوردار است. در این سیستم مهاربندی، سختی و شکل پذیری مورد نیاز قاب توسط تیر پیوند که یکی از مهمترین اجزاء قاب می‌باشد، تامین می‌گردد، که میزان آن بستگی به مشخصات و جزئیات تیر پیوند دارد. امروزه مهاربندهای واگرا (EBF) به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی ضریب رفتار مدل‌های مورد مطالعه در قاب‌های MRF و CBF و EBF ارائه شده است. مطالعات انجام شده بر روی سه مدل چهار طبقه، شش طبقه و ده طبقه در هر دو محدوده استاتیکی خطی و غیرخطی انجام گرفته است. نتایج بدست آمده حاکی از این است که ضریب رفتار قاب‌های با مهاربندی واگرا شدیداً متأثر از طول تیر رابط یا پیوند است. بررسی تغییر مکان نسبی و کل در مدل‌های مورد اشاره نیز نشان می‌دهد طول تیر رابط در مقدار آن‌ها تأثیر به‌سزایی دارد.</p>

### ۱- مقدمه

محور، تحت بارگذاری‌های تکراری به تیر پیوند محدود می‌شود. تیر پیوند در این سیستم‌ها به گونه ای طراحی می‌شود که سازه قادر به تحمل تغییرشکل‌های ارتجاعی بزرگ بدون کاهش مقاومت باشد. با توجه به این نکته که این تیرها، نظیر فیوزهای شکل پذیر عمل و انرژی زلزله را با رفتار مناسب خود جذب می‌نمایند و همچنین به عنوان یک عضو حیاتی در رفتار ارتجاعی بادبندهای واگرا مطرح می‌باشند، طراحی این عضو از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد چرا که اگر این پیوندها را بسیار قوی طراحی نمایند، سازه قادر به پاسخگویی مناسب در برابر بارهای جانبی نخواهد بود و در نتیجه سازه در محدوده الاستیک قرار می‌گیرد و اگر ضعیف طراحی شوند سازه از سختی مطلوبی برخوردار نمی‌باشد. بدین منظور می‌بایست سازه در برابر زلزله بصورت غیرخطی بررسی شود و سپس

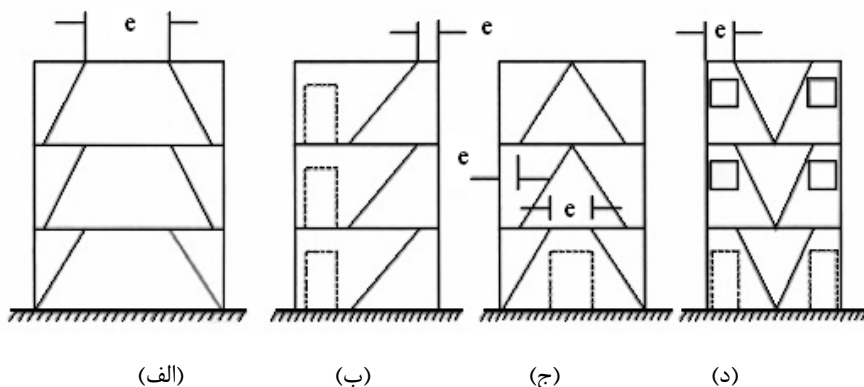
همواره تناسب میان پارامترهای سختی و شکل پذیری، دغدغه اصلی مهندسين طراح بوده است، چرا که جهت طراحی یا باید افزایش سختی الاستیک طبقات را که علاوه بر اقتصادی نبودن طرح و قبول صدمات غیرسازه‌های مد نظر قرار دهند یا با محدود کردن سختی الاستیک و افزایش شکل پذیری، مقداری از تخریب سازه را قبول نمایند. در این بین عملکرد لرزه ای بادبندهای برون محور نسبت به سایر سیستم های مقاوم لرزه ای به دلیل رابطه مناسب، سختی و شکل پذیری از مقبولیت خاصی برخوردار بوده است. فعالیت ارتجاعی سیستم‌های برون

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: adlparvar@iust.ac.ir  
۱. عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم

هدف اولیه از ایجاد قاب‌های مهاربندی شده با خروج از مرکزیت، وقوع تسلیم برشی در قسمت کوچکی از تیر اصلی بوده است که اصطلاحاً تیر رابط کوتاه نامیده می‌شود. هر چند برای ایجاد فضاهای معماری، ممکن است طول تیر رابط بیشتر شود و در نتیجه رفتار آن از حالت برشی به حالت خمشی نزدیک شود. اگرچه تیرهای رابط کوتاه دارای ظرفیت استهلاک انرژی بیشتری نسبت به تیرهای رابط بلند می‌باشند. لیکن در برخی از موارد استفاده از رابط‌های بلند لاجرم می‌باشد. به این معنی که در یک طراحی مناسب تغییر شکل‌های غیرالاستیک شدیداً وابسته به طول رابط است و باید انتظار داشت هر چقدر طول رابط زیادتر شود؛ انرژی کمتری مستهلک گردد [۴]. این سیستم سختی مناسبی در برابر بار سرویس دارا می‌باشد که باعث کاهش تغییر شکل‌ها در سازه می‌گردد. از سوی دیگر در بارهای جانبی شدید از جمله زمین لرزه‌های قوی، از قابلیت جذب انرژی و شکل پذیری مطلوبی برخوردار است. بدین ترتیب دو نیاز اساسی سازه در مقابله با نیروهای جانبی یعنی سختی و شکل پذیری توسط این سیستم تامین می‌گردد. امروزه استفاده از سیستم‌های مهاربندی واگرا بدلیل قدرت جذب انرژی زیاد در هنگام زلزله، سختی قابل ملاحظه و امکانات معماری بالاتر روز به روز گسترش بیشتری می‌یابد. در دو دهه اخیر نیز تحقیقات زیادی در مورد عملکرد تیر پیوند و مکانیزم های شکست آن انجام گردیده است. شکل ۱ نمونه‌هایی از بادبندهای واگرا را نشان می‌دهد.

تغییر مکان‌ها، محل تشکیل مفاصل پلاستیک و نحوه توزیع آن‌ها مشخص گردد. در این زمینه محققین فراوانی به انجام کارهای تحقیقاتی پرداخته اند از آن جمله، Popov و همکاران [۱]، رابطه سختی جانبی قاب را در محدوده الاستیک توسط نمودارهایی بیان کردند، اشاره داشت، همچنین به Bosco و همکاران [2]، که ضمن بررسی رفتار لرزه‌ای بادبندهای واگرا، به نقش تیرهای پیوند و عملکرد ارتجاعی آن‌ها، اقدام به ارزیابی تاثیرات جاری شدن بر روی تیرهای پیوند، جهت رفتار مناسب سازه، نام برد. و در ادامه به بررسی تاثیرات و عملکرد لرزه‌ای تیرهای پیوندی که قوی طراحی می‌شوند، پرداختند.

قاب‌های بادبندی شده با خروج از مرکزیت در واقع برای مقابله با نیروهای جانبی و اثر ناشی از آن‌ها بر تغییر شکل زیاد و تغییر مکان نسبی قابل توجه خصوصاً در ساختمان‌های بلند مرتبه ابداع گردید. در نتیجه این تحقیقات سیستم مهاربندی واگرا (EBF) به عنوان یک سیستم جدید مقاوم در مقابل زلزله در آئین‌نامه‌ها مطرح شده است. بر اساس تحقیقات وسیعی که در این خصوص انجام شده است؛ سیستم‌های با مهاربندی واگرا قابلیت ترکیب سختی زیاد در محدوده الاستیک را با ظرفیت استهلاک انرژی در محدوده غیرالاستیک دارا هستند. سیستم واگرا در واقع یک سیستم مختلط است. از این رو علاوه بر مزیت‌های سیستم‌های قاب خمشی (MRF) از خصوصیت‌های یک قاب مهاربندی نیز بهره می‌برد [۳].



شکل ۱- چهار نمونه از مهاربندهای واگرا

## ۲- مشخصات مهاربندهای واگرا

بصورت خلاصه طول رابط در بازه کمتر از  $\frac{1.6M_p}{V_p}$  در

شرایط گسیختگی برشی و بزرگتر از  $\frac{5M_p}{V_p}$  در شرایط

گسیختگی خمشی قرار دارد و در بین این دو محدوده حاکمیت برش یا حاکمیت خمش وجود دارد [۶].

با توجه به اینکه در منطقه غیر الاستیک بیشتر نیرو در طول رابط مستهلک می شود، طراحی باید به گونه ای صورت گیرد که رابط تغییر شکل های زیادی را بدون ازدست دادن مقاومت تحمل نماید. بنابراین در سیستم مهاربندی واگرا مکانیزم جاری شدن برای رابط کوتاه متفاوت می باشد. از این رو انتظار می رود که مکانیزم های شکست متفاوت، روند توسعه مقاومت و زاویه دوران پلاستیک رابط را متاثر نماید. شکست در رابط برشی کوتاه، کمانش برشی غیر الاستیک در جان تیر می باشد. بنابراین برای به تاخیر انداختن آن از سخت کننده های با فاصله مساوی که در جان تیر قرار گرفته و بنا بر ضرورت به بال و یا جان جوش می شوند، استفاده می شود [۷].

شکل ۲ نحوه اجرای این سخت کننده ها را نشان می دهد. نحوه شکست در رابط خمشی، کمانش بال، کمانش فشاری جان و کمانش جانبی پیچش می باشد. در اثر رسیدن به ممان پلاستیک طول رابط از حالت الاستیک خارج شده و در دامنه تغییر شکل های پلاستیک قرار می گیرد. آئین نامه های معتبر از جمله مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان در هر دو نوع رابط برشی و خمشی استفاده از مقاطع فشرده را توصیه می نمایند.

## ۳- فلسفه طراحی مهاربندهای واگرا

اساسی ترین و مهمترین مفهوم مورد توجه مبحث سیستم مهاربندی واگرا طراحی در مقابل زلزله این است که جاری شدن و خسارت سازه ای باید بطور کلی در رابطها محدود شوند. بنابراین باید رابطها طوری طراحی و اجراء شوند که عضوی با شکل پذیری بسیار زیاد باشند. یکی از اهداف

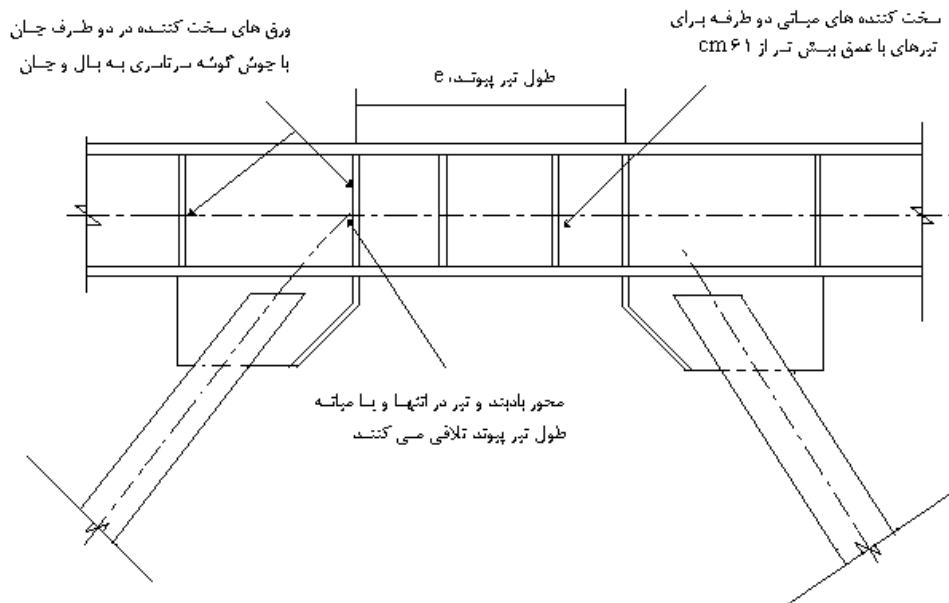
در سیستم مهاربندی واگرا به جای برخورد بادبند به محل اتصال تیر و ستون یا تقاطع محور دو بادبند در یک نقطه با ایجاد انحرافی برابر (e) بادبند به تیر متصل می شود. تیر پیوند که بین ستون و بادبند (تک قطری) یا بین دو بادبند (دو قطری) قرار گرفته، مانند فیوزی از وارد شدن نیروی بیش از حد به بادبندها و کمانش آنها جلوگیری می کند. در این سیستم نیروی محوری بادبندهای قطری به ستون ها و یا به صورت برش یا خمش در تیر پیوند به بادبند دیگر منتقل می گردد و در طی چندین بارگذاری رفت و برگشتی تیر پیوند به صورت غیر ارتجاعی تغییر شکل می دهد و جذب انرژی به صورتی که در قاب های گیردار ملاحظه می گردد، انجام می شود.

برای طراحی بادبندهای واگرا، اولین قدم انتخاب طول رابط است. طول رابط بر اساس ضوابط مندرج در مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان دارای حداقل هایی است که از جمله آنها تامین شرایط مقطع فشرده است [۵]. طول رابط عامل مهمی در رفتار غیر الاستیک سیستم مهاربندی واگرا می باشد. نحوه عمل استهلاک انرژی، ظرفیت استهلاک انرژی و شکست نهایی همه وابستگی شدید به طول رابط دارند. برای مهاربند واگرای خمشی یا طول رابط بلند، شرایط شکست خمشی حاکم است. در این حالت توزیع نیرو بصورت اثر نیروی برشی بزرگ در تمام طول، لنگر خمشی بزرگ در دو انتها و نیروی محوری حاکم است. برای رابطهای کوتاه قبل از آن که لنگرهای خمشی در دو انتها به مقدار ممان پلاستیک ( $M_p$ ) برسد، رابط در شرایط برش حاصل می شود ( $V_p$ ). در واقع می توان گفت که تشکیل مفصل برشی زودتر از مفصل خمشی خواهد بود. اما در رابطهای بلند تشکیل مفصل خمشی زودتر از مفصل برشی می باشد. به علت اینکه سخت شدگی کرنشی تاثیر بسیار مهمی را بر روی رفتار رابط می گذارد، امکان جاری شدن برش و خمش در محدوده وسیعی از طول رابط وجود دارد.

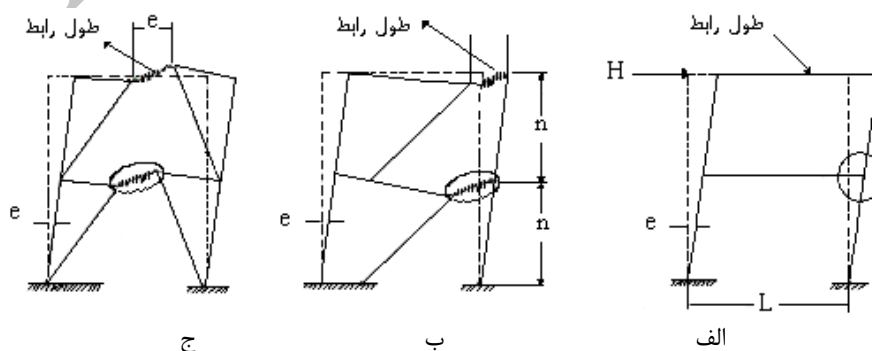
می‌کند که با توجه به ضریب معرفی شده توسط آئین نامه UBC 97 محافظه کارانه‌تر می‌باشد.

در این مورد مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان نیز به تبعیت از آیین نامه UBC 97 حداقل مقاومت نهایی فشاری این نوع بادبندها را  $1/5$  بیان می‌دارد [۷]. شکل ۳-الف نشان می‌دهد که قاب خمشی دارای تغییر مکان نسبی زیادی است. این امر اثر مخرب  $P-\Delta$  را افزایش می‌دهد. شکل ۳-ب و ۳-ج نشان می‌دهند که با اجرای سیستم مهاربندی واگرا با ایجاد مفاصل پلاستیک در طول رابط مقدار تغییر مکان نسبی تا حدود قابل توجهی کاهش می‌یابد.

عمده طراحی مهاربندی واگرا این است که جاری شدن در عضو شکل پذیر رابط واقع شود. استفاده از مفهوم طراحی ظرفیت یک روش عملی برای رسیدن به هدف ذکر شده است. به وسیله روش فوق رابطه‌ای برای نیروهای مشخص شده در آئین‌نامه‌ها طراحی می‌شوند و باقی اعضاء برای نیروهای ارتعاشی آئین‌نامه‌ها طراحی نمی‌شوند. مقاومت جاری شدن رابطه‌ها براساس طول آن‌ها با برش پلاستیک  $V_p$  و با ممان پلاستیک  $M_p$  مشخص می‌شوند. آئین‌نامه UBC 97 مقاومت نهایی رابط را حدود  $1/5$  برابر مقاومت جاری شدن آن در نظر می‌گیرد، آئین‌نامه AISC ضریب اضافه مقاومت را  $1/58$  معرفی



شکل (۲) جانمایی سخت‌کننده‌ها در مهاربندهای واگرا



شکل ۳- نحوه ایجاد شکست در طولهای رابط

#### ۴- تأثیر مهاربندهای واگرا در ضریب رفتار ساختمان

بر اساس آئین نامه ۲۸۰۰ ایران - ویرایش سوم - ضریب رفتار ساختمان دربر گیرنده اثر عواملی، همچون شکل پذیری، درجه نامعینی و اضافه مقاومت موجود در سازه است. با توجه به دیدگاه آئین نامه مذکور مشخص می شود که با اجرای مهاربندهای واگرا به علت اضافه مقاومت ایجاد شده در راستای عملکرد طول رابط و کاهش تغییر مکان نسبی، ضریب رفتار سازه در حالتی که ب و ج باید نسبت به شکل (۳) - الف افزایش یابد. این امر در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران در جدول ۶ لحاظ شده است. [۸] هر چند در این خصوص مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان به جزئیات بیشتری اشاره نموده که از جمله آنها می توان به محاسبه سختی معادل قطعه رابط با مخلوط نمودن سختی خمشی و سختی برشی اشاره نمود، لیکن به نظر می رسد لازم است با تعریف رابطهای برشی، خمشی و برش - خمش، ضریب رفتارهای متعددی برای انواع بادبندهای واگرا ارائه شود. از این رو انجام مطالعات دقیق برای تعیین ضریب رفتار مناسب مهاربندهای واگرا لازم است. هر چند برای محاسبه دقیق ضریب رفتار روشهای آزمایشگاهی و ساخت مدل بر روی میز لرزه

توصیه می شود، با این وجود روشهای عددی مبتنی بر اجزای محدود و با توجه به عملکرد غیر خطی اعضای سازه نیز برای برآورد ضریب رفتار مناسب می باشد. از این رو همواره باید این نکته نیز مد نظر قرار گیرد که روشهای عددی نهایتاً با روشهای آزمایشگاهی مناسب کالیبره شوند. برای بدست آوردن ضریب رفتار مناسب بادبندهای واگرا با توجه به طول رابط، سه قاب ۴، ۶ و ۱۰ طبقه در حالتی که قاب خمشی متوسط، بادبندهای هم محور (CBF)، بادبندی واگرا در حالت برش خالص؛ بادبندی واگرا در حالت حاکمیت برش، بادبندی واگرا در حالت عملکرد خمش، بادبندی واگرا در حالت خمش خالص و در نهایت در وضعیت جداگانه برای هنگامی که طول رابط بسیار بلند است - که در این مقاله تحت عنوان آزمایشهای ویژه ۱ و ۲ آورده می شوند - تحلیل و سپس نتایج استنتاج می گردد. از آنجا که بر اساس جدول ۶ از آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله - ویرایش سوم - استفاده از بادبندهای واگرا برای سیستم قاب ساختمانی مفصلی مجاز است، برای محاسبه نیروی ناشی از زلزله، ضریب رفتار مذکور مورد استفاده قرار می گیرد. جدول ۱ مشخصات لرزه ای مورد استفاده در مطالعات انجام شده را نشان می دهد.

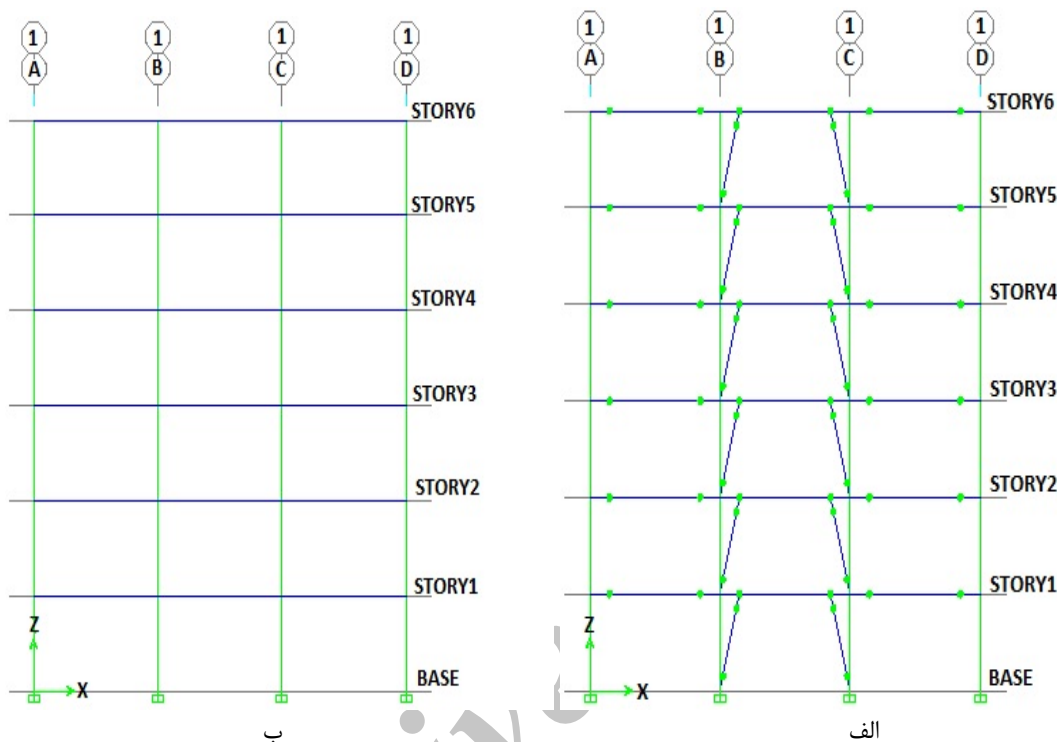
جدول ۱- مشخصات لرزه ای و بارگذاری مورد استفاده در مدلها

	زمین ساختگاه: نوع II ؛ $T_0 = 0.1$ و $T_S = 0.5$
	نسبت شتاب مینای طرح: $A = 0.35$
	ارتفاع هر تراز: ۳ متر.
	طول دهانه ها: ۵ متر.
	ارتفاع کل قاب ۴ طبقه: ۱۲ متر.
	ارتفاع کل قاب ۶ طبقه: ۱۸ متر.
	ارتفاع کل قاب ۱۰ طبقه: ۳۰ متر.
	ضریب رفتار قاب خمشی متوسط: ۷
	ضریب رفتار قاب مهاربندی هم محور: ۶
	ضریب رفتار قاب مهاربندی واگرا: ۷.
بار مرده روی دهانه ۸۰۰ Kg/m	
بار زنده روی دهانه ۵۰۰ Kg/m	
مقطع تیرها: 2IPE24	
مقطع ستونها: 2IPE27	
مقطع بادبندها: 2UNP8	

مهاربندی واگرا را نشان می‌دهد. سایر مطالعات مشابه شکل ۴ انجام شده‌اند. در جدول ۲ مقادیر مربوط به طول تیررابط در وضعیتهای برش خالص با طرحهای ویژه آورده شده است.

## ۵- مدل‌های مطالعاتی برای محاسبه ضریب رفتار بادبندهای واگرا

شکل ۴ قاب شش طبقه به عنوان نمونه ای در سه حالت قاب خمشی متوسط، قاب مهاربندی هم‌گرا و قاب



شکل ۴- قاب در نظر گرفته شده برای مطالعات انجام شده موردی - نمونه ۶ طبقه

جدول ۲- مقادیر مربوط به طول تیررابط در وضعیتهای مختلف

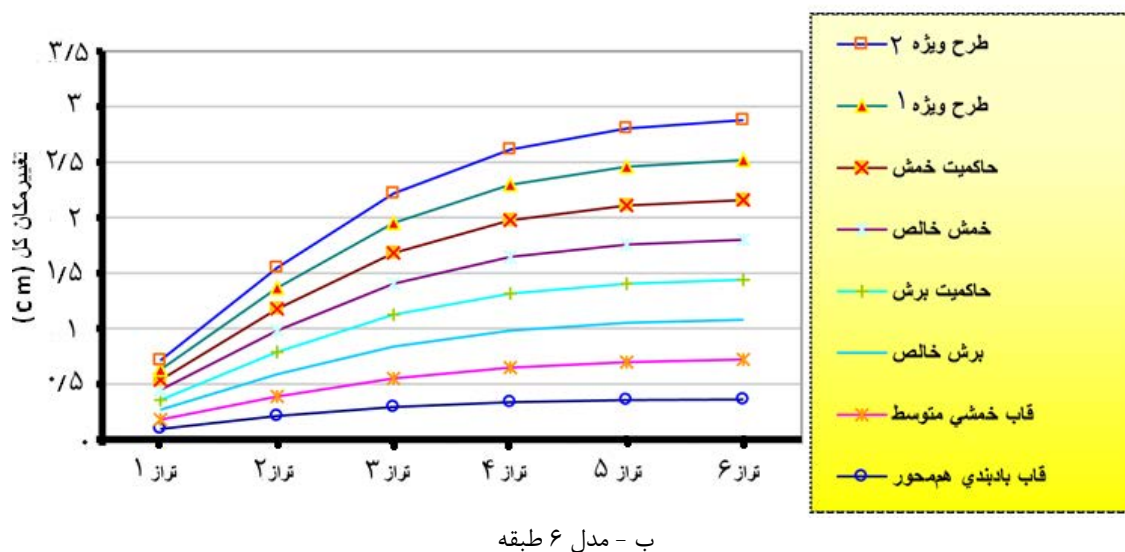
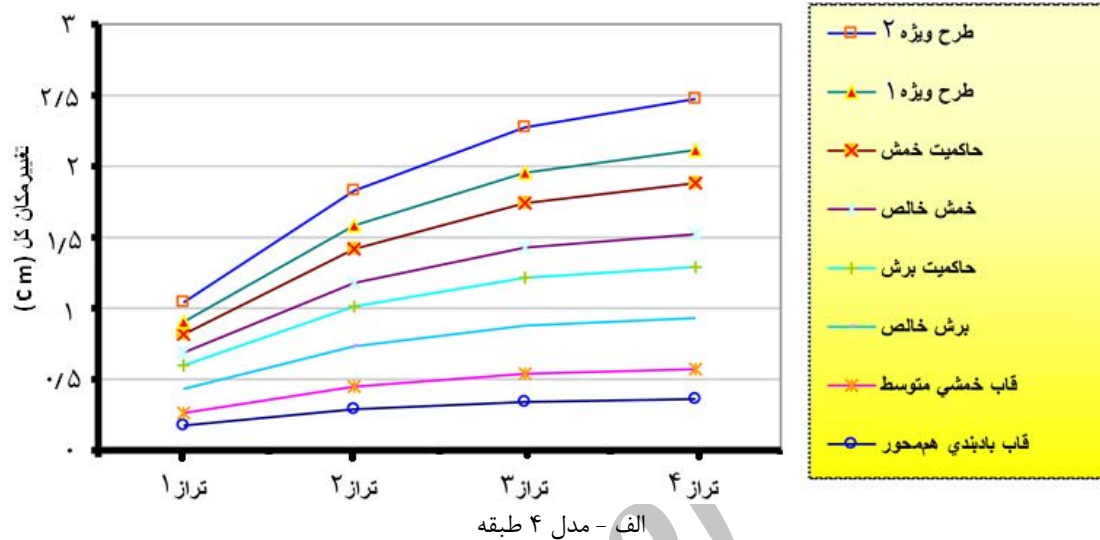
ردیف	وضعیت	طول رابط محاسباتی (mm)	طول رابط انتخابی (mm)
۱	برش خالص	$e < 230$	۲۰۰
۲	حاکمیت برش	$230 < e < 370$	۳۵۰
۳	حاکمیت خمشی	$370 < e < 710$	۷۰۰
۴	خمشی خالص	$e > 230$	۱۰۰۰
۵	طرح ویژه ۱	—	۲۵۰۰
۶	طرح ویژه ۲	—	۳۵۰۰

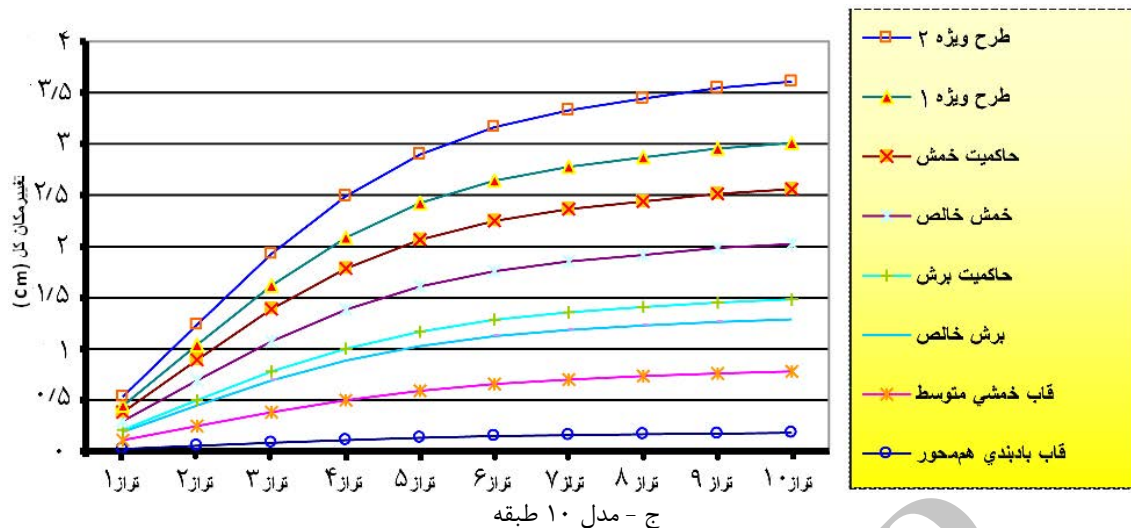
استاتیکی مدل‌های مورد مطالعه که رفتار سازه در محدوده غیرخطی را نشان می‌دهد پس از تحلیل استاتیکی انجام گرفت که نتایج مربوط به تغییر مکان کل و تغییر مکان نسبی در مدل‌ها به ترتیب در نمودارهای ۵ (الف، ب و ج) و ۶ (الف، ب و ج) نشان شده است.

پس از انجام بارگذاری ثقیلی و جانبی و تخصیص مفصلهای پلاستیک غیرخطی به اعضای تیر، ستون و بادبندها عملیات تحلیل استاتیکی خطی انجام گرفت. در جدول ۳ مقادیر مربوط به تغییر مکان کل در تحلیل استاتیکی خطی - رفتار محدوده خطی سازه - برای حالت‌های هشت‌گانه مذکور ملاحظه می‌شود. تحلیل غیرخطی

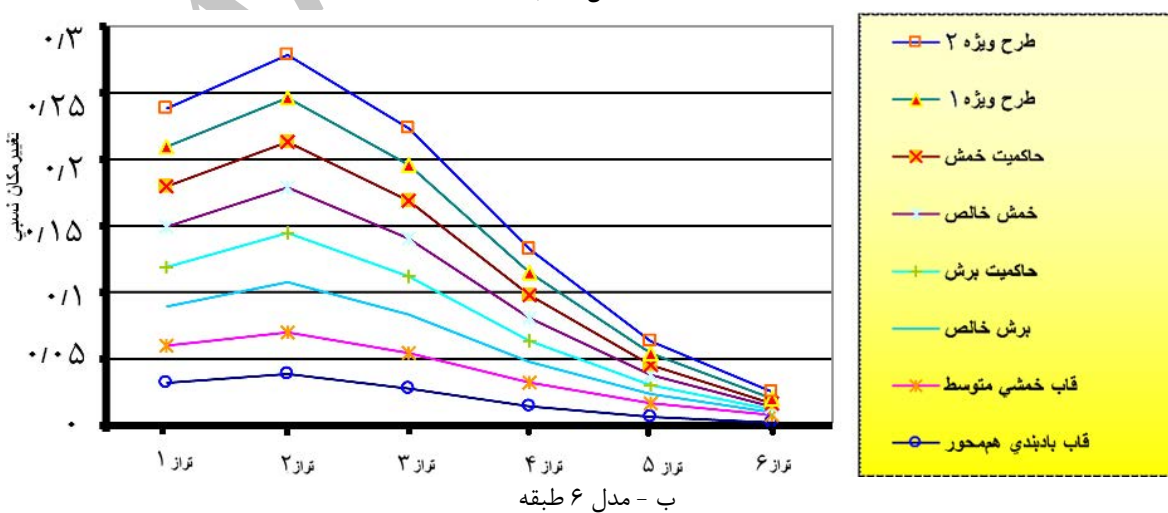
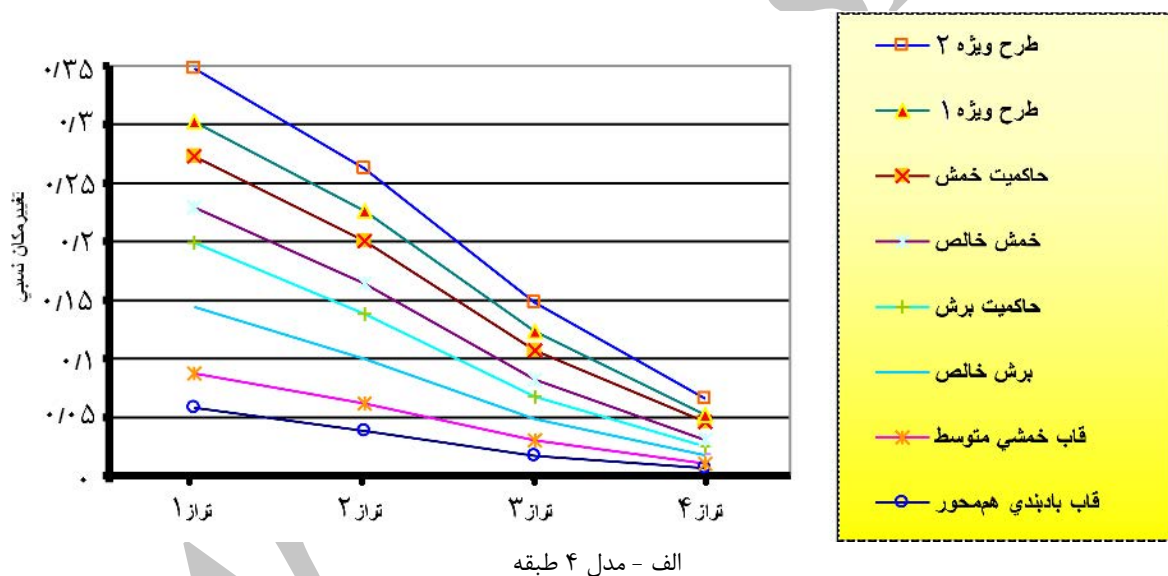
جدول ۳- مقادیر مربوطه به تغییر مکان کل در مدل‌های مورد مطالعه (mm) در تحلیل استاتیکی خطی

نوع مدل	قاب خمشی متوسط	بادبندی هم‌محور	برش خالص	حاکمیت برش	خمش خالص	حاکمیت خمش	طرح ویژه ۱	طرح ویژه ۲
۴ طبقه	۲۲/۳	۳/۲	۳/۴	۳/۶	۵/۴	۴/۴	۱۲/۵	۱۷/۷
۶ طبقه	۴۴/۹	۷/۴	۷/۶	۸/۰	۱۱/۰	۹/۴	۲۴/۲	۳۴/۹
۱۰ طبقه	۸۶/۶	۱۹/۵	۱۹/۹	۲۰/۳	۲۴/۶	۲۲/۲	۴۵/۹	۶۶/۰

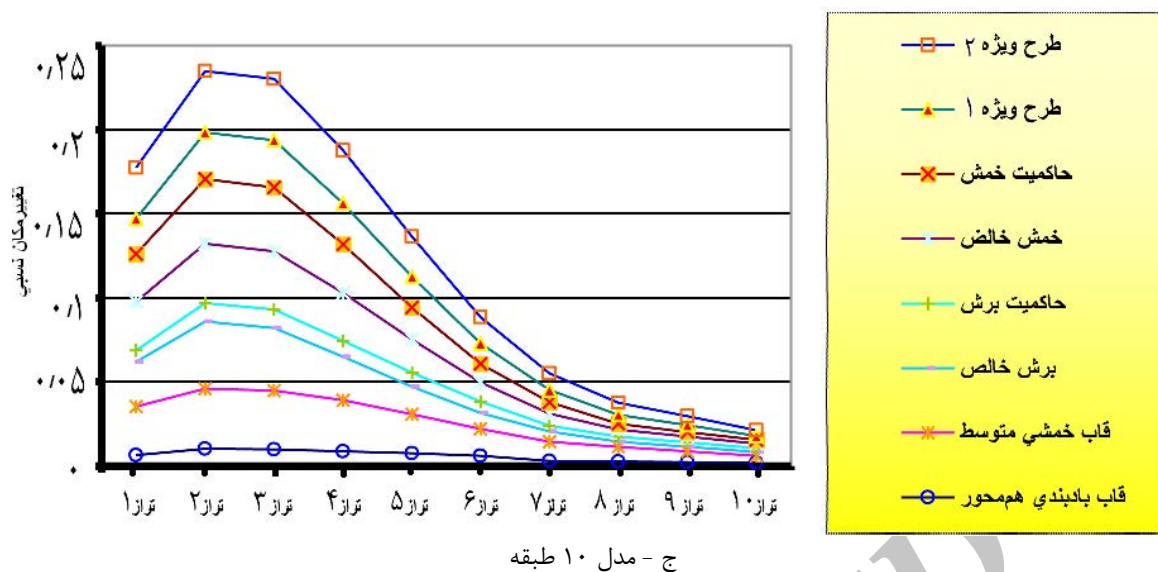




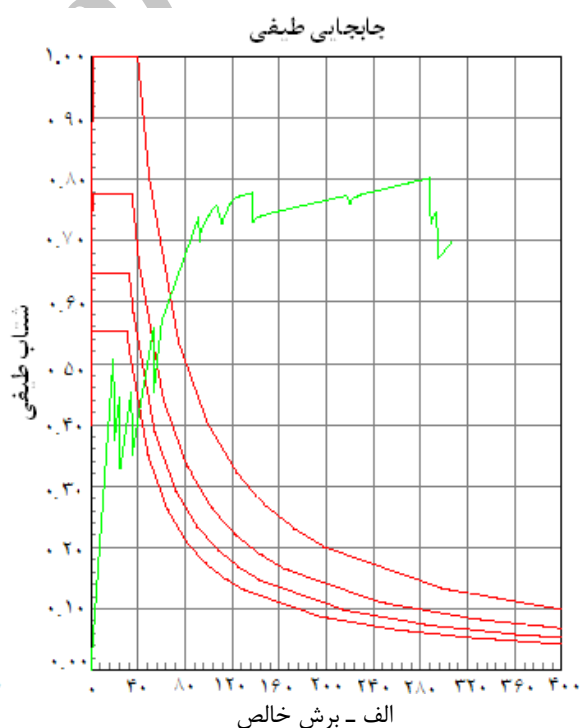
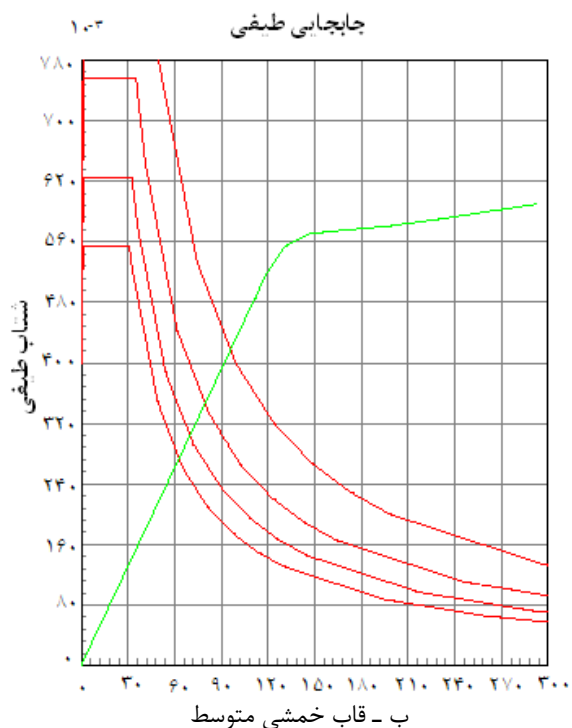
شکل ۵- نمودار تغییر مکان کل در مدل‌های مورد مطالعه

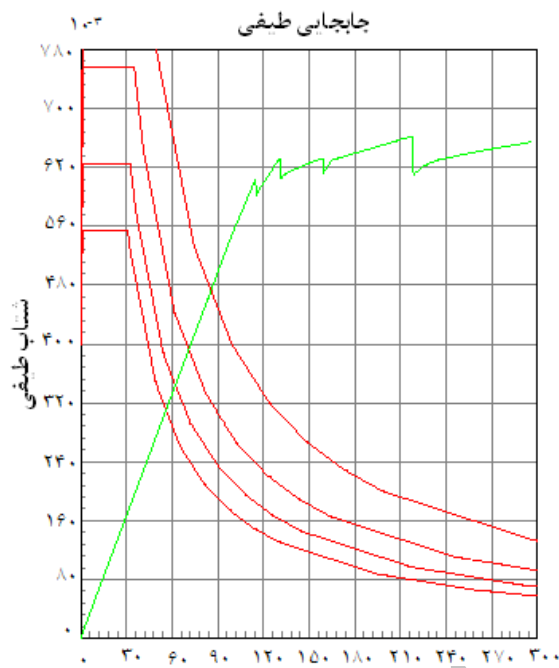






شکل ۶- نمودار تغییر مکان نسبی در مدل‌های مورد مطالعه





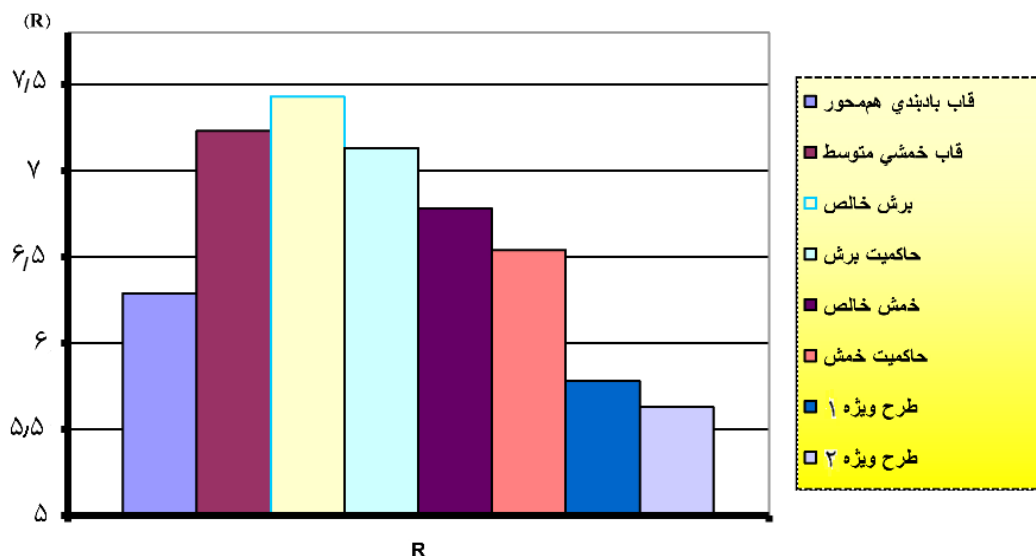
ج - طرح ویژه ۲

شکل ۷- منحنی های تحلیل استاتیکی غیرخطی برای مدل شش طبقه

اساس نتایج بدست آمده از تغییر مکان و شتاب طیفی مدل، ضریب رفتار مدل‌ها در نمودارهای شکل ۸ (الف، ب، و ج) مشاهده می‌شود.

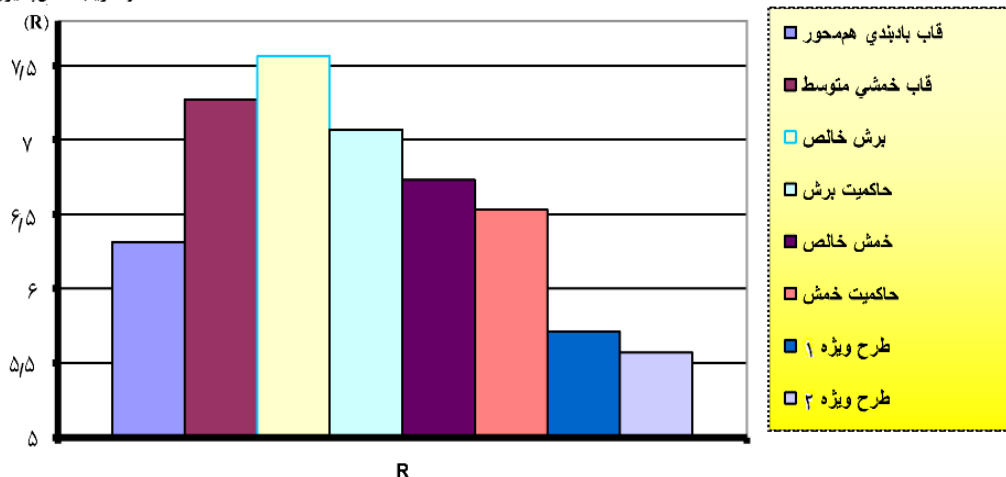
به منظور محاسبه ضریب رفتار مدل‌ها بر اساس نمودارهای حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی که نمونه‌ای از آن برای مدل شش طبقه در شکل ۷ در وضعیت های مختلف مشاهده می‌شود، بهره گرفته شد.

مقدار ضریب شکل پذیری



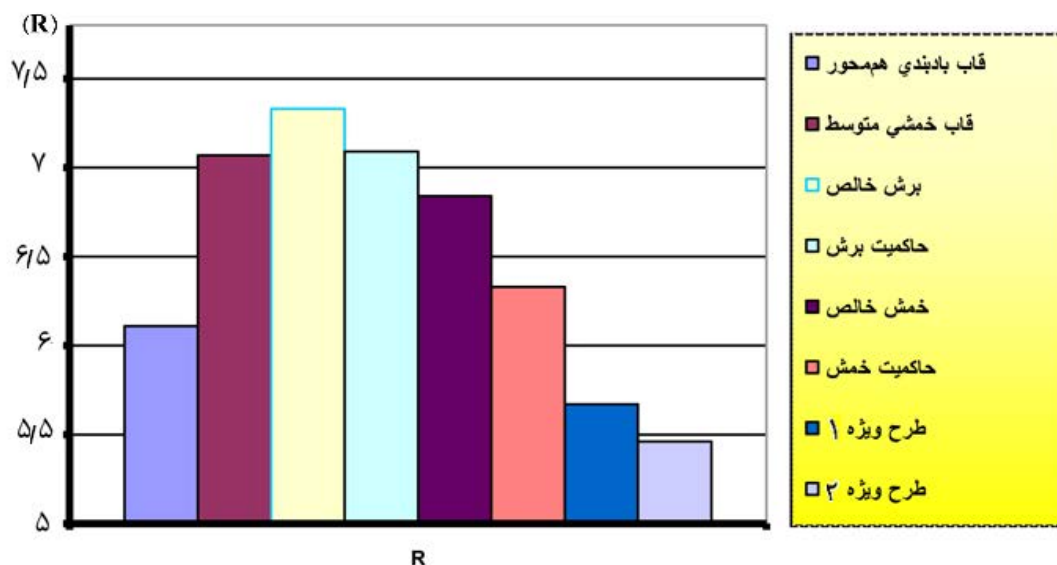
الف - مقدار ضریب رفتار برای مدل ۴ طبقه

مقدار ضریب شکل پذیری



ب - مقدار ضریب رفتار برای مدل ۶ طبقه

مقدار ضریب شکل پذیری



ج - مقدار ضریب رفتار برای مدل ۱۰ طبقه

شکل ۸- مقادیر ضریب رفتار محاسبه شده برای مدل‌های مورد مطالعه

خمشی متوسط بسیار بیشتر است. این موضوع در خصوص تغییر مکانی نسبی نیز ملاحظه می‌شود. به عنوان مطالعه تکمیلی یک مدل ۱۰ طبقه در دو وضعیت قاب خمشی متوسط و قاب خمشی متوسط همراه با بادبند برون مرکز با تیر رابط بلند نیز مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفت و ملاحظه گردید که ضریب رفتار در حالتی که به همراه قاب خمشی از سیستم مهاربندی واگرا (حتی با تیر رابط بلند) استفاده شود تغییرات افزایش قابل توجهی دارد. این مقدار حتی از مقدار اعلام شده در مرجع نیز بیشتر می‌باشد.

تفسیر اولیه جدول ۳ بیانگر این مطلب است که تغییر مکان کل در تحلیل استاتیکی خطی در مدل قاب خمشی متوسط و طرح ویژه ۲ - یعنی هنگامی که طول رابط بسیار بلند باشد - چندان متفاوت نمی‌باشد. به عبارت دیگر رفتار خطی قاب‌های بادبندی برون محور با قاب‌های خمشی متوسط تا حدی مشابه می‌باشند. اما در خصوص نمودارهای ۵ و ۶ که بیانگر رفتار غیر خطی سازه‌ها است در نگاه اول ملاحظه می‌شود که تغییر مکان کل در تراز آخر همه مدل‌ها در وضعیت "طرح ویژه ۲" از قاب

## ۶- نتیجه‌گیری

محاسبه شده به مقدار اعلام شده در مرجع نزدیک‌تر است.

۵- بررسی نتایج نشان می‌دهد در صورت استفاده از قاب مهاربندی واگرا با طول رابط بلند (همانند حالت "طرح ویژه ۲") مقدار تغییر مکان کل بیش از ۳۰۰ درصد از هنگامی که قاب در حالت‌های برش خالص تا خمش خالص قرار دارد بیشتر است.

۶- وجود سخت کننده‌ها تاثیری در سختی الاستیک و پیوند سازه نداشته اما سختی پلاستیک قاب را افزایش می‌دهد.

۷- بررسی نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی نشان می‌دهد که اولین مفصل پلاستیک در حالت برش خالص در بادبندها ایجاد می‌شود در صورتیکه همین بررسی در حالت "طرح ویژه ۱ و ۲" نشان می‌دهد که اولین مفصل پلاستیک در ستون‌های متصل به بادبند تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر در این حالت خرابی از ستون‌ها آغاز می‌شود.

۸- به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان اذعان داشت که استفاده از بادبندهای واگرا چنانچه طول تیر رابط بلند باشد، شدیداً باعث افت ضریب رفتار سازه می‌گردد و از این رو اکیداً توصیه می‌شود طول تیر رابط محدود به دامنه برش خالص تا خمش خالص گردد.

از مقایسه و بازنگری در نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی موارد ذیل قابل ملاحظه‌اند:

۱- کم شدن تغییر شکل در مدل‌های مورد مطالعه می‌تواند به معنای افزایش شکل‌پذیری تلقی شود. این امر در نتایج حالت‌های بادبندی هم‌محور، قاب خمشی متوسط و وضعیت‌های مختلف در بادبندی برون محور مشهود است.

۲- جذب انرژی در حالتی که تیر رابط در برش عمل می‌نماید، توسط جان تیر پیوند می‌باشد و با قرار دادن سخت کننده‌های مناسب در جان می‌توان از سخت‌شدگی کرنشی استفاده کامل نمود. سخت کننده‌ها و بال‌ها در جذب انرژی نقشی نداشته اما به جان برای عملکرد بهتر، کمک می‌نمایند و شکست قاب در این حالت نرم می‌باشد.

۳- ظرفیت سازه رابطه مستقیمی با نمره مقاطع تیر پیوند دارد به طوری که با افزایش سطح مقطع، ظرفیت سازه افزایش، و با کاهش آن، ظرفیت سازه کاهش پیدا می‌کند. مقدار ضریب رفتار مهاربندی‌های واگرا هنگامی که طول رابط زیاد باشد، حتی از قاب خمشی متوسط نیز کمتر است. ۴- در روش طراحی بر اساس ظرفیت، به نظر می‌رسد حالت بین برش خالص و خمش خالص، حالت مناسبی برای طراحی می‌باشد و ضریب رفتار

## ۷- مراجع

- [1] Popov, E.P., Kasai, K., Engelhardt, M.D. (1987), "Advances in design of eccentrically braced frames". Earthquake Spectra, Vol 3, No. 1, pp. 43-55.
- [2] Bosco, M., Rossi, P.P. (2009), "Seismic behaviour of eccentrically braced frames". Eng. Struc., Vol. 31, No. 3, pp. 664-674.
- [3] AISC- LRFD, (1994), "Commentary of the load resistance factor design specification for structural steel buildings". American Institute of Steel Buildings, Chicago, IL.
- [4] Ghobarah, A., Ramadan, T. (1991), "Seismic analysis of link of various lengths in eccentrically braced frames". Can. J. Civ. Eng. Vol. 18, pp. 140-148.
- [5] Engelhardt, M.D., Popov, E.P. (1989), "Behavior of Long Links in Eccentrically Braced Frame", UCB/EERC.

- [۶] زارع زاده، ع.، ( ۱۳۹۰). "بررسی پارامتریک مهاربندی‌های واگرا". پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [۷] مقررات ملی ساختمان - مبحث ۱۰ - طرح و اجرای ساختمانهای فولادی.
- [۸] آیین‌نامه ساختمان در برابر زلزله - استاندارد ۸۶ - ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۲۴ صفحه.
- [۹] شاه‌کرمی، ا.، آرزومندی، م.، "بررسی رفتار قاب‌های خارج از مرکز بر اساس پروفیل‌های رایج در ایران". فصلنامه اساس، سال هفتم، شماره ۱۶، ۱۸ صفحه.
- [۱۰] ناطق الهی، ف.، اکبرزادگان، ح. (۱۳۸۹). "رفتار و طراحی لرزه‌ای قاب‌های خارج از مرکز". پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

Archive of SID

## OPTIMIZED ANALYSIS AND DESIGN OF THE LINK BEAM WITH ECCENTRICALLY BRACED FRAME

M. Adlparvar<sup>1,\*</sup>

1. Academic Member at the University of Qom (Technical & Engineering Faculty)

\*Corresponding Author: Adlparvar@iust.ac.ir

---

### ARTICLE INFO

---

Keywords:

Eccentrically Braced  
Frames(EBF),  
Link Beam,  
Behavior Factor,  
Non-linear Static  
analysis.

---

### ABSTRACT

---

Eccentrically braced frames have high stiffness and suitable energy damping against the lateral forces like the earthquake. In this bracing system, the required stiffness and formability of the frame is provided by the link beam, and are dependent on the details and characteristics of the link beam. In recent years, Eccentrically Braced Frames (EBF) has been utilized as a resistant system against the earthquake lateral forces. In this paper, using non-linear static analysis, the behavior factors of MRF, CBF, and EBF frames in some models are investigated. These studies are carried on three-storey, six-storey, and ten-storey models, statically linear and non-linear. The results indicate that the EBF behavior factor is largely affected by the link beam. It is also concluded by the investigating of relative and overall displacements of the mentioned models that these parameters are dependent greatly on the length of the link beam.

---