



# اثر کاهش مقطع مهاربند بر نمودار بار افزون قاب‌های فولادی با مهاربندهای همگرا

محمدهادی علی‌پور<sup>۱\*</sup>، لادن جوکار<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، آمار، دانشگاه شیراز، شیراز

\* شیراز، صندوق پستی ۶۱۷-۷۱۵۵۵، mhalipour2010@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۰)

## چکیده

در این پژوهش اثر کاهش مقطع مهاربند در قاب‌های فولادی همگرا برای مقابله با بارهای لرزه‌ای و افزایش شکل‌پذیری و تاثیر آن بر تغییرات برش پایه مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با کاهش سطح مقطع مهاربند، دو نمونه فیوز ایجاد شده است. فیوز اول با کاهش سطح مقطع مهاربند قوطی شکل در نواحی خاص ایجاد شده است. این مهاربند با مقطع کاهش یافته در قاب‌های سه و هفت طبقه با تعداد دهانه‌های متفاوت بکار رفته است. فیوز دوم با کاهش سطح مقطع نبشی در مهاربند ضربدری در قاب‌های فولادی دو تا نه طبقه ایجاد شده است. مقاطع کاهش یافته طوری طراحی شده‌اند که ظرفیت کششی مهاربند از ظرفیت اتصال کمتر باشد. پژوهش با شبیه‌سازی کامپیوتری با نرم افزارهای ABAQUS و ETABS انجام شده و عملکرد قاب‌ها تحت بارهای جانبی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که قاب با مهاربند با مقاطع کاهش یافته، انرژی وارد به سازه ناشی از بارهای لرزه‌ای را به خوبی مستهلک می‌کند و شکل‌پذیری سازه را افزایش می‌دهد. عملکرد قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته به گونه‌ای است که با تشکیل مفصل‌های پلاستیک در فیوزها از جاری شدن اتصال‌ها جلوگیری می‌شود، بدون آنکه اتصال نیاز به مقاوم‌سازی داشته باشد. با عملکرد مناسب فیوزها مقادیر نیروهای انتقالی به اعضای اصلی سازه و نهایتاً مقدار برش پایه سازه نیز کاهش پیدا می‌کند که نشانه بارز عملکرد مطلوب و ارجحیت این سیستم سازه‌ای است.

## واژگان کلیدی

مهاربند با مقطع کاهش یافته، فیوز، شکل‌پذیری، مفصل پلاستیک، برش پایه

## Effect of Reduced Brace Sections on the Pushover Curve of Centrally Steel Braced Frames

M.H. Alipour, L. Jowkar

### Abstract

Utilization of reducing brace's section in concentrically steel braced frame to cope with seismic loads and raising ductility and its impact on the base shear variations is studied in this research. In this study, two types of fuses are created by reducing brace's cross sections. The first fuse is created by reducing the cross-section of tubox bracing in certain areas. This type of brace has been used in the frames of 3&7 story buildings with various openings. The second fuse is created by reducing the cross-section of angles in X bracing steel frames of 2 - 9 story buildings. Therefore, sections are designed such that the tensile capacity of bracing is lower than the capacity of connection. The above tasks were simulated using ETABS & ABAQUS software. Performance of the frames were examined under lateral loads. Results show that the braced frame with reduced sections dissipate applied energy from seismic loads and ductility of structure is increased. The formation of plastic hinges on the fuses prevent yielding of connections without the need for retrofitting. Transitional forces to main structural members and base shear of structures is decreased with good performance of fuses, which is an indication of optimal performance of the system and its preference.

### Keywords

Reduced brace section, Fuse, Ductility, Plastic hinge, Base shear



## ۱- مقدمه

قاب‌های با مهاربند هم‌گرا سیستمی سازه‌ای است که در ساختمان‌های با ارتفاع متوسط بدلیل سهولت ساخت و اقتصاد طرح، بیش از سایر سیستم‌ها بکار می‌رود. مهاربندهای هم‌محور دارای سختی جانبی کافی هستند اما شکل‌پذیری مناسبی ندارند. کماتش مهاربند و ضعف اتصال مهاربند به ستون از جمله عواملی هستند که باعث می‌شوند سیستم مهاربندی شده شکل‌پذیری مناسبی نداشته باشد.

تحقیقات قبلی نشان دادند که قاب با مهاربند هم‌محور می‌تواند سطح عملکرد لرزه‌ای مطلوبی تامین کند اگر از شکست زودهنگام یا از پارگی اتصال مهاربند جلوگیری شود. امروزه شکل‌پذیری سازه، فلسفه طراحی مدرن و ملاک مهم در طراحی لرزه‌ای است و به عنوان طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد<sup>۱</sup> به رسمیت شناخته شده است.

ارضا کردن ضوابط طراحی بر اساس ظرفیت ممکن است به افزایش قابل توجه بارهای طراحی، افزایش وزن فولاد و افزایش هزینه ساخت و اجرا منجر گردد. بکارگیری فیوزهای مهاربند از افزایش سازه باریک در طراحی ناشی از ترکیبات بارگذاری جلوگیری می‌کند و لاغری اعضا را بدون تغییر در نظر می‌گیرد و معایب بیان شده طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد را برطرف می‌کند.

در گذشته بیشتر تحقیقات متمرکز به شناسایی رفتار لرزه‌ای المان‌های مهاربند و ورق اتصال بصورت جداگانه بوده اما تحقیقات امروز به شناسایی رفتار کلی و جامع سیستم سازه متمرکز می‌باشد [۱].

در تحقیقات قبلی توسعه سیستم فیوزهای شکل‌پذیر با کاهش سطح مقطع مهاربندهای با مقطع نبشی و تاثیر آن بر کاهش بارهای لرزه‌ای وارده به اتصال و اجتناب از مقاوم‌سازی اتصال مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. تحقیقات قبلی بیشتر به رفتار لرزه‌ای عضو مهاربند و اتصال متمرکز بوده اما در این تحقیق رفتار لرزه‌ای کل سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش، اثر کاهش سطح مقطع مهاربند بر نمودار بار افزون قاب‌های فولادی با مهاربندهای همگرا، تغییرات برش پایه و تاثیر آن بر شکل‌پذیری سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش اطلاعات و داده‌ها با روش‌های مختلف استدلال مورد تجزیه و تحلیل عقلانی قرار گرفت و در پایان نتیجه‌گیری

شد. تحقیق شامل دو بخش است. سازه‌های با مهاربندهای قطری با مقاطع باکس در بخش اول و سازه‌های با مهاربندهای ضربدری با مقاطع نبشی در بخش دوم، مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای مستقل، ارتفاع سازه، تعداد طبقات، تعداد دهانه‌ها و محل قرارگیری مهاربند در سازه می‌باشد. متغیرهای وابسته، برش پایه، جابجایی طبقات و رفتار سازه می‌باشد.

## ۲-۱- قاب‌های با مهاربندهای قطری با مقاطع Tubox

مدل‌های اولیه تحقیق شامل ۸ عدد قاب سه و هفت طبقه با سه یا پنج دهانه بود. در ابتدا قاب‌ها با مهاربندهای قطری با مقاطع باکس، مهار شدند و پس از آن با کاهش مقطع مهاربند فیوزهایی در دو سر انتهایی عضوهای مهاربند ایجاد شد. هر یک از قاب‌ها در حالت‌های با مهاربند بدون کاهش سطح مقطع و مهاربند با مقطع کاهش‌یافته تحت بارگذاری قرار داده شدند. در نهایت ۱۶ مدل مختلف مطابق با مشخصات جدول (۱) مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات قاب‌ها در بخش اول

ردیف	تعداد طبقات	تعداد دهانه‌ها	موقعیت مهاربندها
۱	۳	۳	دو دهانه‌ی اول
۲	۳	۳	دو دهانه‌ی دوم
۳	۳	۵	دو دهانه‌ی اول
۴	۳	۵	دو دهانه‌ی دوم
۵	۳	۵	دو دهانه‌ی سوم
۶	۷	۵	دو دهانه‌ی اول
۷	۷	۵	دو دهانه‌ی دوم
۸	۷	۵	دو دهانه‌ی سوم

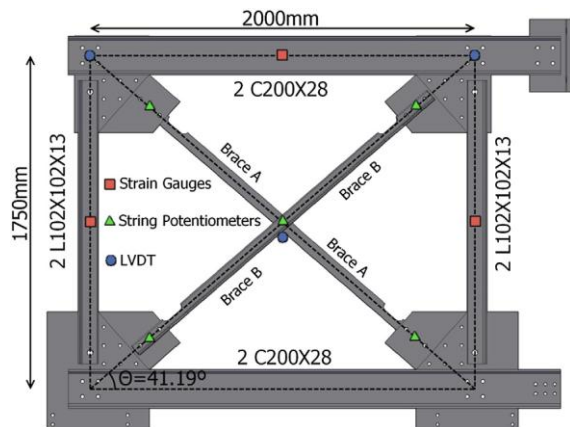
در طراحی قاب‌ها، ارتفاع طبقه ۳ متر و طول دهانه قاب‌ها ۴ متر، بار مرده ۶۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع، سطح بارگیر قاب ۴ متر، نوع خاک تیپ ۳، کاربری مسکونی،  $A=0.3G$  تعیین شد.

نوع فولاد، معمولی در نظر گرفته شد و مقاطع تیر و ستون به صورت مقطع تک طراحی شد. سطح مقطع عضو مهاربند در ناحیه‌ای که فیوز قرار داشت ۲۰ درصد کاهش یافت و این کاهش سطح مقطع با کاهش ضخامت مقطع اعمال شد.

برای رسیدن به این هدف پس از طرح مهاربندها کاهش سطح مقطع انجام گردید. نمونه‌ای از مقاطع طراحی شده در جدول‌های (۲) و (۳) آمده است.



ابعاد و جزئیات مهاربند نبشی با مقطع کاهش یافته در شکل (۲) مشخص شده و خصوصیات هندسی و مکانیکی آن در جدول (۴) نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه آزمایشگاهی قاب حین تنظیمات ابزارهای اندازه گیری

[۲]

جدول ۴- خصوصیات نمونه آزمایشگاهی [۲]

مشخصه نمونه	اندازه مقطع	خواص مکانیکی			هندسه
		Fu (MPa)	Fy (MPa)	Rz (mm)	
مهاربند بدون فیوز	۶۴×۶۴×۱۳	۵۴۳	۳۷۵	۱۲/۱۶	۱۴۴۳
مهاربند با فیوز شماره F13-1		۵۴۲	۳۷۲	۷/۹۱	۸۵۷

### ۲-۳- شبیه سازی کامپیوتری

مدل سازی در نرم افزار ABAQUS انجام شد. در ابتدا ابعاد و مشخصات قاب در محیط گرافیکی رسم شد. اعضا قاب شامل تیر، ستون و مهاربندها در نرم افزار، بصورت مقطع و ایر<sup>۲</sup> ترسیم شد. خصوصیات فولاد برای تمام قابها مطابق با جدول (۵) تعریف گردید تمام مقاطع بیم<sup>۳</sup> تعریف شده است. محورهای انتخاب و مقاطع به قاب اختصاص داده شد. بارگذاری ثقلی و جانبی در دو مرحله انجام گردید.

جدول ۵- خصوصیات نمونه آزمایشگاهی [۲]

خواص	مقدار	واحد
چگالی	۷/۸۵۰	kg/m <sup>3</sup>
مدول الاستیسیته	۲۰۰۰۰۰	MPa
ضریب پواسون	۰/۳	---

جدول ۲- قاب سه طبقه، پنج دهانه، مهاربندها در دودهانه‌ی سوم

شماره طبقه	تیر	ستون	مهاربند	فیوز
۳	IPE270	IPB100, IPB120	TuBox ۶۰×۶۰×۴	۶۰×۶۰×۳/۱۵۲
۲	IPE270	IPB100, IPB120	TuBox ۶۰×۶۰×۴	۶۰×۶۰×۳/۱۵۲
۱	IPE270	IPB100, IPB120, IPB140	TuBox ۷۰×۷۰×۵	۷۰×۷۰×۳/۹۳۵

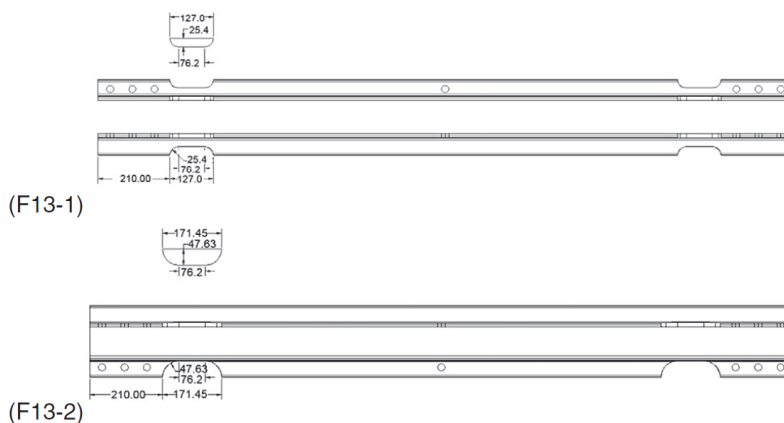
جدول ۳- قاب هفت طبقه، پنج دهانه، مهاربندها در دودهانه‌ی دوم

شماره طبقه	تیر	ستون	مهاربند	فیوز
۷	IPE270	IPB100, IPB140	TuBox ۶۰×۶۰×۴	۶۰×۶۰×۳/۱۵۲
۶	IPE270	IPB100, IPB120, IPB140	TuBox ۸۰×۸۰×۵	۸۰×۸۰×۳/۹۴۴
۵	IPE270	IPB120, IPB160	TuBox ۸۰×۸۰×۵	۸۰×۸۰×۳/۹۴۴
۴	IPE270	IPB140, IPB160, IPB200	TuBox ۹۰×۹۰×۵	۹۰×۹۰×۳/۹۵۱
۳	IPE270	IPB140, IPB160, IPB180, IPB240	TuBox ۱۰۰×۱۰۰×۵/۴	۱۰۰×۱۰۰×۴/۲۶۸
۲	IPE270	IPB160, IPB180, IPB200, IPB260	TuBox ۱۰۰×۱۰۰×۵/۴	۱۰۰×۱۰۰×۴/۲۶۸
۱	IPE270	IPB160, IPB180, IPB220, IPB450	TuBox ۱۰۰×۱۰۰×۵/۴	۱۰۰×۱۰۰×۴/۲۶۸

### ۲-۲- قاب‌های با مهاربندهای هم محور X با مقاطع نبشی

بخش دوم تحقیق شامل مدل سازی نمونه‌هایی است که به صورت آزمایشگاهی در تحقیقات گذشته ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیق گذشته به شکلی است که مهاربندهای ضربدری با مقاطع نبشی در یک قاب فولادی قرار گرفته‌اند. شکل (۱) قاب در نظر گرفته شده متشکل از تیر و ستون‌ها و مهاربندهای ضربدری را نشان می‌دهد. زاویه‌ی محور طولی مهاربند با امتداد افق ۴۱ درجه است. طول مهاربند ۲۰۳۶ میلیمتر، ارتفاع طبقه ۱۷۵۰ میلیمتر و عرض قاب ۲۰۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. مقاطع مهاربند ساخته شده مطابق شکل (۱) در قاب‌های ۲ تا ۹ طبقه قرار داده شد و مدل سازی و آنالیز را بر روی آنها انجام گرفت.

### ۲-۲-۱- انتخاب فیوز و خصوصیت فیزیکی و مکانیکی آن



شکل ۲- جزئیات فیوز بر روی اعضا نبشی (تمامی ابعاد به میلیمتر) [۲]

محاسبه می‌شود. تعیین این جابجایی بر اساس تعیین جابجایی غیرخطی سیستم یک‌درجه آزادی معادل انجام می‌شود. برای ورود داده به نرم‌افزار یکی از نقاط (نودها) طبقه آخر سازه را به عنوان نقطه کنترل در نظر می‌گیریم و حداکثر تغییرمکان جانبی برابر ۲ درصد ارتفاع سازه را مبنای آنالیزها در نظر می‌گیریم.

#### ۲-۵- آزمون آماری

آزمون آماری مورد نظر به کمک نرم‌افزار Spss v.16 انجام می‌گردد. با توجه به مقادیر جابجایی و نیرو بدست آمده از آنالیز اجزای محدود چون در دو حالت قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته و قاب بدون کاهش مقطع مهاربند، اندازه‌گیری صورت گرفته بود از آزمون تی زوجی که آزمونی وابسته به نمونه است، فرضیه یکسانی نیرو در هر دو روش را بررسی نموده، در نهایت با توجه به سطح معنی‌داری مقدار تی، درستی فرضیه را آزمون می‌نمائیم. با توجه به پراکندگی نیرو در جابجایی مختلف، از رگرسیون لگاریتمی استفاده و ضرایب معادله بدست آمد. مقدار ضرایب به خصوص شیب معادله مورد نظر، کاهش یا افزایش نیرو در قاب‌ها با تعداد طبقات و دهانه‌های مختلف مهاربندی را نشان می‌دهد.

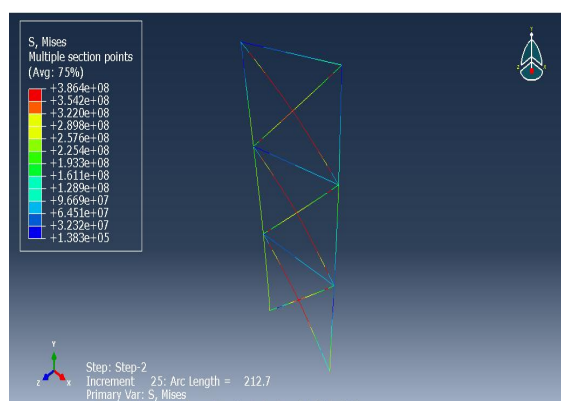
#### ۳- نتایج

نتایج حاصل از آنالیز استاتیکی غیرخطی قاب‌های با مهاربند قطری و ضربدری در دو بخش در ادامه آمده است.

#### ۳-۱- نتایج قاب‌های با مهاربندهای قطری با مقاطع Tubox

شکل‌های (۴) تا (۶) منحنی‌های بار-جابجایی بدست آمده از آنالیز اجزای محدود را نشان می‌دهد. حروف اختصاری زیر نمودارها به ترتیب بیان‌کننده تعداد دهانه‌های قاب، موقعیت

شکل (۳) قابی مدل‌سازی شده در محیط گرافیکی نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۳- توزیع تنش‌های فون میز (Pa) در قاب سه طبقه با مهاربند با مقطع کاهش یافته

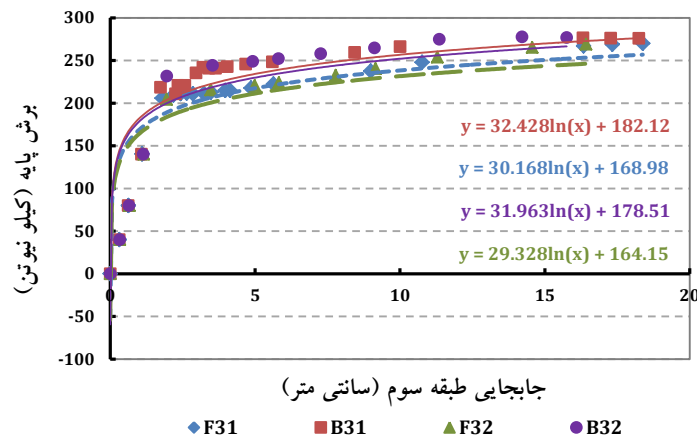
#### ۲-۴- آنالیز استاتیکی غیرخطی

پس از بارگذاری، قاب‌ها ورود به مرحله غیرخطی را تجربه می‌کند. هدف از تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده، برآورد رفتار مورد انتظار یک سیستم سازه‌ای به کمک تخمین مقاومت و تغییرشکل‌های مورد نیاز می‌باشد. این برآورد بر اساس شناسایی پارامترهای مهم رفتاری شامل تغییرمکان جانبی، تغییرشکل‌های نسبی اعضا و اتصالات و ... خواهد بود. دلیل استفاده از این نوع آنالیز، سرعت بالای انجام آن، سادگی تفسیر نتایج و دقت قابل قبول آن می‌باشد.

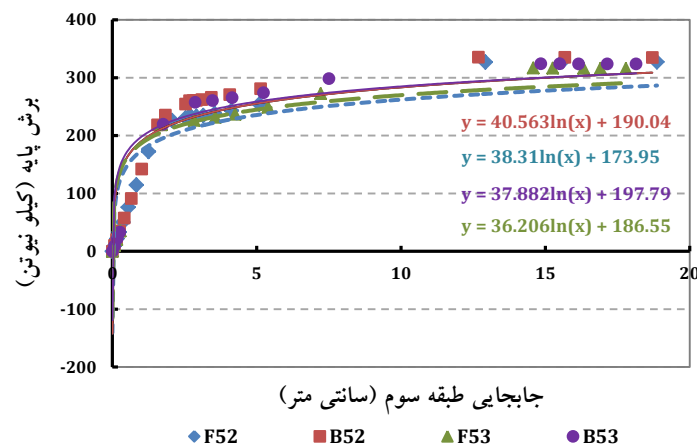
انجام آنالیز به روش جابجایی کنترل می‌باشد. برآورد نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها در این روش به وسیله تعیین نقطه عملکرد انجام می‌شود. نقطه عملکرد در تحقیق همان جابجایی بام است. نیروها، تغییرمکان‌ها و تلاش‌های داخلی همگی در این نقطه

دهانه‌ای است که مهاربند قطری با مقطع کاهش‌یافته در دودخانه‌ی سوم قرار گرفته است. 31B نشان‌دهنده قاب سه دهانه‌ای است که مهاربند قطری معمولی (بدون کاهش مقطع) در دودخانه‌ی اول قرار گرفته است.

مهاربند در دهانه‌ها و مهاربند در حالت‌های بدون کاهش سطح مقطع و مهاربند با مقطع کاهش‌یافته می‌باشد. B نشان‌دهنده مهاربند معمولی و F نشان‌دهنده مهاربند با مقطع کاهش‌یافته (فیوز) می‌باشد. به عنوان مثال، 53F نشان‌دهنده قاب پنج



شکل ۴- منحنی بار-جابجایی قاب سه‌طبقه سه‌دهانه در حالت‌های مهاربند معمولی و مهاربند با مقطع کاهش‌یافته در دودخانه‌ی اول و دو دهانه‌ی دوم (کیلونیوتن-سانتی‌متر)



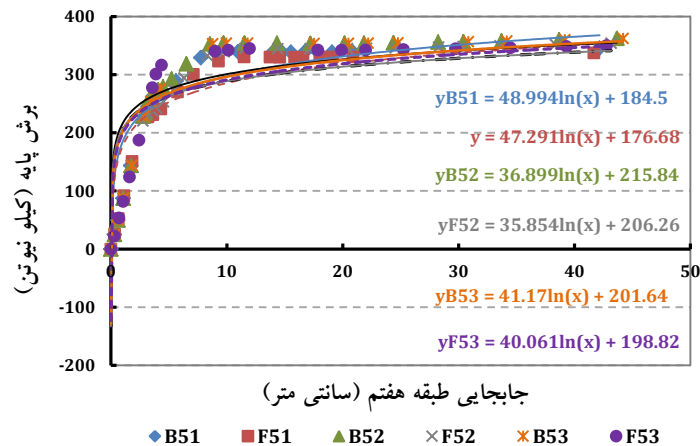
شکل ۵- منحنی بار-جابجایی قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه در حالت‌های مهاربند معمولی و مهاربند با مقطع کاهش‌یافته در دودخانه‌ی دوم و دو دهانه‌ی سوم (کیلونیوتن-سانتی‌متر)

مورد 52 نسبت به 51 نیز اتفاق افتاده است. با قرارگیری مهاربند در دو دهانه‌ی دوم قاب اندکی شکل‌پذیرتر رفتار کرده است. شکل (۶) نشان‌دهنده نمودار بارافزون قاب هفت طبقه پنج دهانه‌ای است که مهاربندهای با مقطع کاهش‌یافته و مهاربند بدون کاهش مقطع در دهانه‌های مختلف، دودخانه‌ی اول، دوم و سوم قرار گرفته است. در این شکل روند ۶ خط و معادله لگاریتمی در تمام موارد کاهش شیب معادله را در حالت با فیوز (مقطع کاهش‌یافته) نسبت به حالت بدون فیوز نشان می‌دهد. در این جا مقدار شیب در حالت قرارگیری مهاربندها در دو

با ملاحظه شکل (۴) و با توجه به معادله‌های لگاریتمی درمی‌یابیم که در قاب سه‌طبقه ضریب شیب در حالت مهاربند با مقطع کاهش‌یافته در هر دو مورد 31F و 32F بمراتب کمتر از حالت 31B و 32B بوده که این مسئله حاکی از کاهش برش پایه در حالت با مقطع کاهش‌یافته (فیوز) است. همچنین مقایسه ۴ معادله نشان می‌دهد که در حالت 32 مقدار برش پایه کمتر از حالت 31 است. بنابراین مهاربند فیوز در دودخانه‌ی دوم بیشترین کاهش برش پایه را سبب شده است. در شکل (۵) نیز همین امر در

پایه در حالت قاب با مهاربند معمولی و قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته است و انحراف معیار تفاوت برش پایه نیز حاکی از میزان پراکندگی برش پایه در این دو نمونه است. شکل های (۷) و (۸) به ترتیب درصد کاهش برش پایه در قاب های سه طبقه و هفت طبقه در حالت های مختلف را نشان می دهد.

دهانه ی دوم به مراتب کمتر از دودهانه ی اول و دودهانه ی سوم است که بیانگر کمترین برش پایه حاصل شده است. جدول های (۶)، (۷) و (۸) پارامترهای آماری بدست آمده از آزمون و اختلاف برش پایه قاب با مهاربند معمولی و قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته در حالت های مختلف را نشان می دهد. در این جداول منظور از میانگین، متوسط تفاضل برش



شکل ۶- منحنی بار-جابجایی قاب هفت طبقه پنج دهانه در حالت های مهاربند معمولی و مهاربند با مقطع کاهش یافته در دودهانه ی اول و دو دهانه ی دوم و دودهانه ی سوم (کیلو نیوتن-سانتی متر)

جدول ۶- جدول پارامترهای آماری و آزمون T اختلاف برش پایه در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته و مهاربند معمولی، قاب های سه طبقه سه دهانه، مهاربندها در دودهانه ی اول و دودهانه ی دوم

موقعیت مهاربند در دهانه	میانگین	خطای استاندارد	مقدار t	درجه آزادی	سطح معنی داری	متوسط کاهش برش (%)
دو دهانه ی اول	۱۴/۳۸۵	۲/۵۴۸	۵/۶۴۶	۱۹	۰/۰۰۰**	۶/۸۸
دو دهانه ی دوم	۱۵/۶۵۶	۳/۴۷۰	۴/۵۱۲	۱۲	۰/۰۰۱**	۷/۸۶

جدول ۷- جدول پارامترهای آماری و آزمون T اختلاف برش پایه در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته و مهاربند معمولی، قاب های سه طبقه پنج دهانه، مهاربندها در دودهانه ی اول و دودهانه ی دوم

موقعیت مهاربند در دهانه	میانگین	خطای استاندارد	مقدار t	درجه آزادی	سطح معنی داری	متوسط کاهش برش (%)
دو دهانه ی اول	۱۷/۵۲۵	۲/۹۹۲	۵/۸۵۸	۱۹	۰/۰۰۰**	۳/۶
دو دهانه ی دوم	۱۱/۹۶۵	۳/۱۸۹	۳/۷۵۲	۱۴	۰/۰۰۲**	۸/۹۱

جدول ۸- جدول پارامترهای آماری و آزمون T اختلاف برش پایه در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته و مهاربند معمولی، قاب های هفت طبقه پنج دهانه، مهاربندها در دودهانه ی اول و دودهانه ی دوم و دودهانه ی سوم

موقعیت مهاربند در دهانه	میانگین	خطای استاندارد	مقدار t	درجه آزادی	سطح معنی داری	متوسط کاهش برش (%)
دو دهانه اول	۹/۶۱۴	۲/۴۶۲	۴/۱۰۹	۲۰	۰/۰۰۱**	۳/۷۹
دو دهانه دوم	۱۱/۱۶۸	۱/۸۹۳	۵/۹۰۰	۲۵	۰/۰۰۰**	۴/۱
دو دهانه سوم	۴/۹۸۳	۴/۰۱۶	۱/۲۴۱	۱۹	ns۰/۲۳۰	۱/۹۱



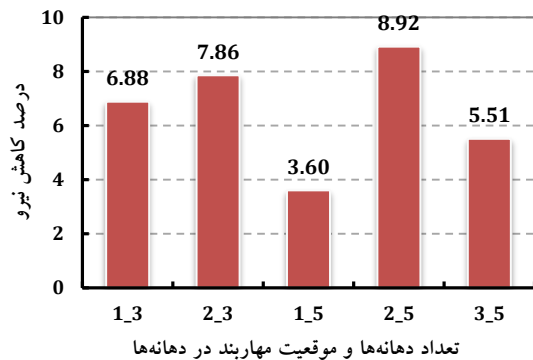
شکل (۹) منحنی بارافزون قاب‌های دو تا نه طبقه با مهاربندهای معمولی (بدون کاهش مقطع) را نشان می‌دهد. عددها نشان‌دهنده تعداد طبقات قاب می‌باشد. شکل (۱۰) نیز منحنی بارافزون همین قاب‌های دو تا نه طبقه می‌باشد با این تفاوت که مهاربندها با مقطع کاهش یافته در آنها بکار رفته‌است.

مقایسه نمودارها نشان می‌دهد که در همه قاب‌ها شیب معادلات در حالت قاب با مهاربند با مقاطع کاهش یافته بمراتب کوچکتر از حالت قاب با مهاربند معمولی است که این امر حکایت از کاهش برش پایه در حالت قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته نسبت به حالت قاب با مهاربند معمولی است.

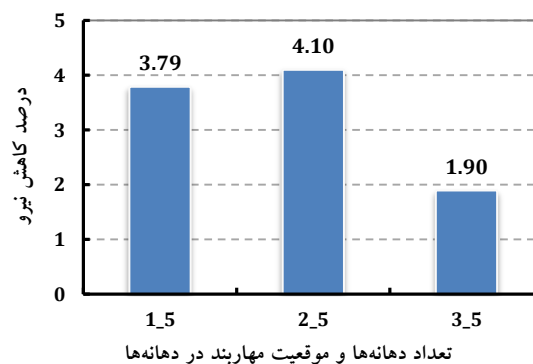
با توجه به آزمون آماری انجام شده، مقادیر جابجایی و نیرو در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته و مهاربند بدون کاهش مقطع با طبقات مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مقایسه مقادیر جابجایی در قاب با مهاربند بدون کاهش مقطع و قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته، حکایت از آن دارد که در قاب دو طبقه مقادیر جابجایی در سطح ۱٪ معنادار است، به عبارتی جابجایی قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته بیشتر از جابجایی قاب با مهاربند معمولی است. همان‌گونه که شکل (۱۱) نشان می‌دهد، در قاب‌های ۳ تا ۸ طبقه جابجایی قاب‌ها در هر دو حالت تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند. در قاب ۹ طبقه، جابجایی قاب با مهاربند معمولی به مراتب بیش از قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته است.

این در حالی است که مقدار نیرو در کل قاب‌ها با طبقات مختلف، تفاوت معناداری در دو حالت قاب با مهاربند معمولی و قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته داشته‌اند.

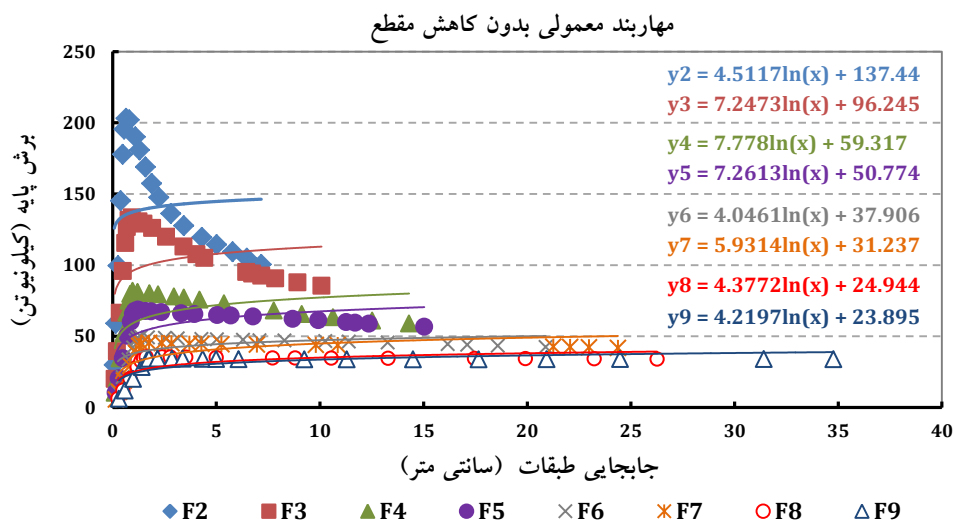


شکل ۷- درصد کاهش برش پایه در قاب‌های سه طبقه با سه و پنج دهانه با مهاربند قطری با مقطع کاهش یافته به نسبت قاب با مهاربند قطری معمولی در دهانه‌های مختلف



شکل ۸- درصد کاهش برش پایه در قاب‌های هفت طبقه با پنج دهانه با مهاربند قطری با مقطع کاهش یافته به نسبت قاب با مهاربند قطری بدون کاهش مقطع در دهانه‌های مختلف

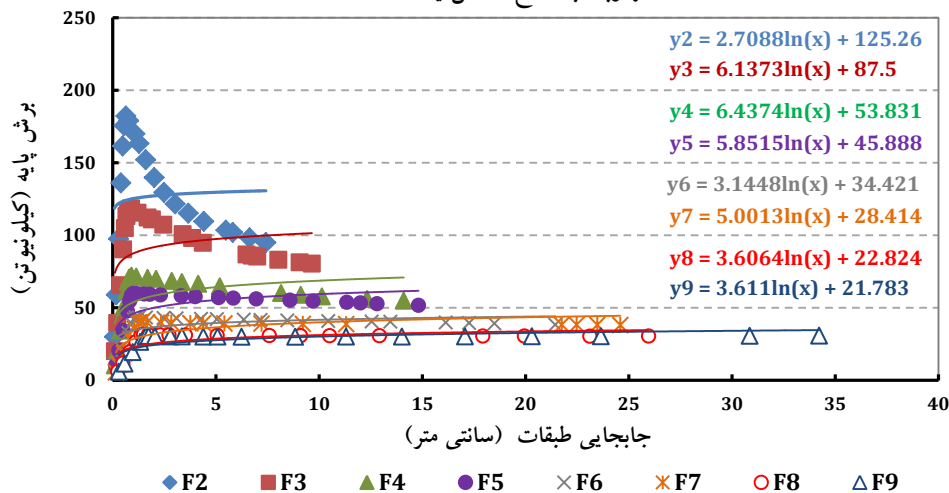
۳-۲- نتایج قاب‌های با مهاربند ضربدری و مقاطع نبشی



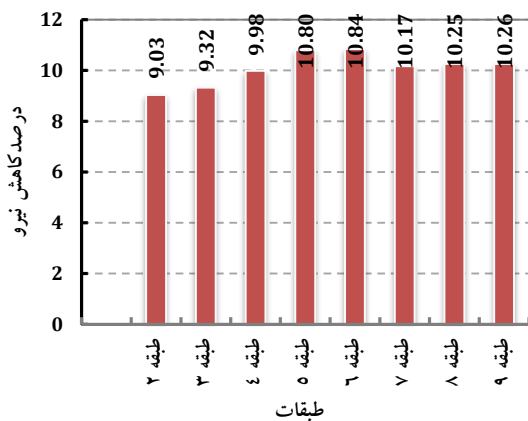
شکل ۹- منحنی بار-جابجایی قاب‌های دو تا نه طبقه در حالت قاب با مهاربند بدون کاهش مقطع (کیلونیوتن-سانتی متر)



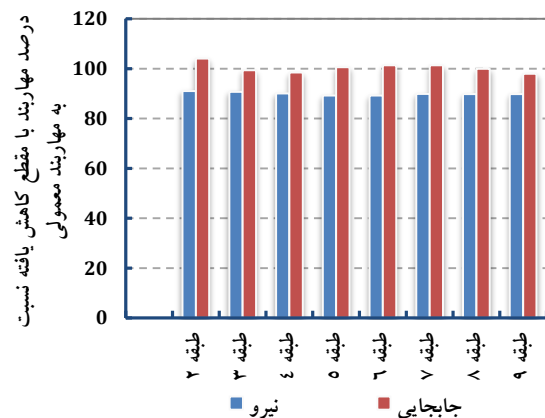
مهاربند با مقطع کاهش یافته



شکل ۱۰- منحنی بار-جابجایی قاب‌های دو تا نه طبقه در حالت قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته (کیلو نیوتن-سانتی متر)



شکل ۱۲- درصد کاهش برش پایه در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته به نسبت قاب با مهاربند بدون کاهش مقطع در سازه با تعداد طبقات مختلف



شکل ۱۱- تغییرات نیرو و جابجایی قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته در مقایسه با قاب با مهاربند بدون کاهش مقطع در سازه با تعداد طبقات مختلف

مقادیر کرنش نشان می‌دهد که مهاربندهای با مقطع کاهش یافته در مقایسه با مهاربندهای معمولی، بیشتر وارد مرحله پلاستیک شدند و ناحیه تشکیل مفصل تا اندازه‌ای از بر اتصال دور شد. قاب‌های پنج‌دهانه به نسبت قاب‌های سه‌دهانه، بیشتر وارد مرحله غیرخطی شدند.

به عنوان نتیجه در قاب با تعداد طبقات و دهانه‌های مختلف با قرارگیری مهاربند با مقطع کاهش یافته در دهانه دوم، بیشترین درصد کاهش برش پایه بدست آمده است و مهاربند با مقطع کاهش یافته با قرارگیری در دهانه دوم در تمامی حالت‌ها بهترین عملکرد را داشته است.

شکل (۱۲) درصد کاهش نیرو در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته در سازه با تعداد طبقات مختلف را نشان می‌دهد. مقدار برش پایه در قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته کمتر شده است.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

##### ۴-۱- قاب‌های با مهاربندهای قطری با مقاطع Tubox

نتایج بدست آمده از آنالیز قاب‌های با مهاربند قطری نشان داد: قاب با مهاربند با مقطع کاهش یافته بیشتر وارد ناحیه غیرخطی شد و اعضا مهاربند تنش‌های جاری شدن بزرگتری را تجربه کردند.





## ۵- مراجع

- [1] Roeder, C.W. and Lehman, D.E. (2008), "Seismic Design and Behavior of Concentrically Braced Steel Frames", Structure Magazine, pp. 37-39.
- [2] Legeron, F., Desjardins, E. and Ahmed, E. (2014), "Fuse Performances on Bracing of Concentrically Steel Braced Frames under Cyclic Loading", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 95, pp. 242-255.
- [3] Desjardins, E., Legeron, F. and Ahmed, E. (2012), "Performances of Ductile Fuses in Reducing Seismic Demand on Connections of Concentrically Steel Braced Frames", Proceeding of the 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.
- [4] Eglhoff, O., Tremblay, R., Vincent, R. and Dussault, S. (2012), "A Finite Element Analysis of Ductile Fuses for W-shape Steel Bracing Members", Proceeding of the 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.
- [5] Giugliano, M.T., Longo, A., Montuori, R. and Piluso, V. (2010), "Plastic Design of Cb-frames With Reduced Section Solution for Bracing Members", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, No. 5, pp. 611-621.
- [6] Naghipour, M., javadi, N. and Naghipour, A. (2011), "Investigation of RBS Connection Ductility in Eccentrically Braced Frame", Procedia Engineering, Vol. 14, pp. 743-752.
- [7] Ward, K.M., Fleischman, R.B. and Federico, G. (2012), "A Cast Modular Bracing System for Steel Special Concentrically Braced Frames", Engineering Structures, Vol. 45, pp. 104-116.
- [۸] وزارت راه و شهرسازی. دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲). مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی.
- [۹] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. (۱۳۸۵). دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه ۳۶۰.
- [10] AISC, (2005), Seismic Provisions.

درصد کاهش برش پایه در تمام قاب‌های با مهاربند با مقاطع کاهش‌یافته بین ۲ تا ۹ درصد نسبت به قاب با مهاربند معمولی است.

## ۴-۲- قاب‌های با مهاربند ضریبی و مقاطع نبشی

قاب مهاربندی شده با مقاطع کاهش‌یافته انرژی وارد شده به سازه ناشی از بارهای لرزه‌ای را به خوبی مستهلک کرد. فیوز بکار گرفته جذب انرژی بالایی از خود آشکار ساخت. عملکرد قاب با مهاربند با مقطع کاهش‌یافته به گونه‌ای بود که با تشکیل مفصل‌های پلاستیک در فیوزها از جاری شدن اتصال‌ها جلوگیری شد، بدون آنکه اتصال نیاز به مقاوم‌سازی داشته باشد.

همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود مقادیر برش پایه در قاب‌های ۲ تا ۹ طبقه، بین ۹ تا ۱۱ درصد کاهش یافته است. به طور کلی مقادیر جابجایی قاب در دو روش با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند اما مقادیر نیرو در قاب با مهاربند با مقطع کاهش‌یافته به مراتب کمتر از قاب با مهاربند معمولی است.

با عملکرد مناسب فیوزها، مقادیر نیروهای انتقالی به اعضای اصلی سازه و در نهایت مقدار برش پایه سازه کاهش پیدا کرد که نشانه بارز عملکرد مطلوب این سیستم و ارجحیت بیشتر این سیستم سازه‌ای می‌باشد.

آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی در تحقیقات آینده می‌تواند بر روی قابها انجام شود تا رفتار این نوع سیستم سازه‌ای حین زلزله بهتر مشخص گردد.

## پی نوشت

<sup>1</sup> Performance-based Seismic Design

<sup>2</sup> Wire

<sup>3</sup> Beam