

# ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب خمشی فولادی با مهاربند هم مرکز دارای لقی اولیه

حسام عزیزی<sup>۱</sup>، جمال احمدی<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۲- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

j\_ahmadi@iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۱۰/۱۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۵/۱۲]

**چکیده-** مهاربندهای هم مرکز با وجود سختی بالا شکل پذیری پایینی داشته و تحت بارهای جانبی و نیروهای فشاری عملکرد ضعیفی از خود نشان می‌دهند و هنگامی که در قاب‌های خمشی برای مقاوم سازی به کار می‌روند به علت کمانش ناگهانی شکل پذیری سازه را کاهش می‌دهند. برای اصلاح عملکرد این مهاربندها به ویژه افزایش استهلاک انرژی، روش‌های متعدد و مختلفی ارائه شده است که از جمله آنها استفاده از اتصالات با عملکرد ویژه مانند اتصالات با لقی اولیه در اعضای مهاربندی جانبی است.

هدف اصلی این مقاله در کنار بررسی مطالعات تحلیلی صورت گرفته بر روی قاب‌های خمشی فولادی با مهاربند هم مرکز دارای اتصال لقی بدون اصطکاک، مقایسه رفتار لرزه‌ای این نوع قاب‌ها با قاب‌های خمشی مهاربندی شده هم مرکز معمولی و انتخاب لقی بهینه است. برای این منظور قاب‌های مهاربندی شده با و بدون لقی مدل سازی شده و تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی و استاتیکی غیر خطی قرار گرفته‌اند. همچنین در ادامه اقدام به محاسبه ضریب رفتار این نوع قاب‌ها شده است.

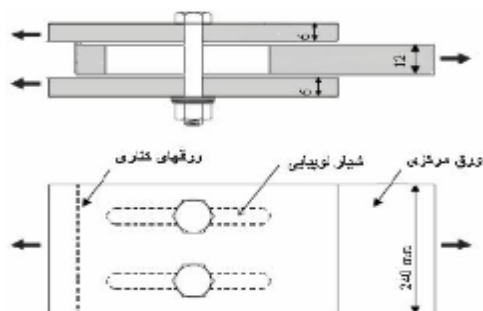
نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از اتصال لقی در کنار کاهش پیچیدگی‌های اجرایی مربوط به استفاده از میراگرهای اصطکاکی، باعث بهبود عملکرد لرزه ای و افزایش استهلاک انرژی در قاب‌های مورد مطالعه شده است. همچنین مقدار ضریب رفتار بدست آمده از این مطالعات برای این نوع قاب‌ها بزرگتر از ضریب رفتار مهاربند هم مرکز است.

**واژگان کلیدی:** اتصال لقی، ضریب رفتار، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، مهاربند هم مرکز.

## ۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر پژوهشگران و طراحان به منظور یافتن راه‌حلی برای افزایش شکل‌پذیری مهاربندهای هم محور، ایده‌های مختلفی را پیشنهاد و تحقیق کردند. در سال ۱۹۷۰، اولین بار استفاده از میراگرهای اصطکاکی به عنوان جاذب انرژی در ساختمان‌ها مطرح شد [۴]. و پس از آن به سرعت میراگرهای اصطکاکی تحت بررسی‌های آزمایشگاهی مختلف قرار گرفتند. در سال ۱۹۸۰، پیچ لغزشی محدوده شده پیشنهاد شد. در همین سال استفاده از غلاف برای جلوگیری از کمانش مهاربند معرفی شد با این روش مهاربند در فشار نیز جاری شده و باعث

جذب انرژی می‌شود [۵ و ۶]. در ادامه میراگر اصطکاکی پال معرفی شد که دارای یک سازوکار با سطوح اصطکاکی لغزشی در محل تقاطع بادبندها است [۷]. در سال ۱۹۸۹، اتصال پیچی لغزشی اصطکاکی (SBC) مطرح شد. این میراگر در اتصال مهاربند به قاب بکار رفته و باعث استهلاک انرژی به وسیله اصطکاک بین سطوح فولادی تحت بارهای چرخشی می‌شود. در سال ۱۹۹۵ اتصال پیچی لغزشی چرخشی (RSBC) مطرح شد که در آن چگونگی استفاده از سازوکار اتلاف انرژی در اتصالات خمشی بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ظرفیت جذب انرژی اتصال مورد نظر فوق العاده بالا بوده و



شکل (۱) نمونه ای از اتصال لقی [۴]

## ۲-۱- روش‌های تحلیل قاب‌های مورد مطالعه

برای تحلیل مدل‌ها از روش تحلیل دینامیکی با رفتار مصالح غیر خطی و تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده می‌شود.

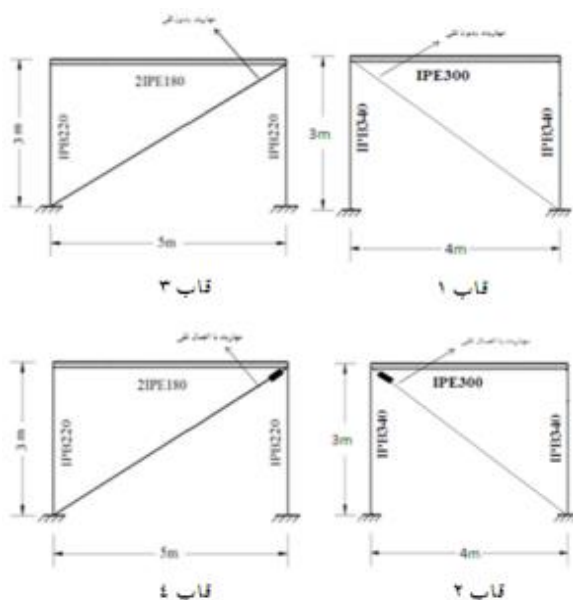
به منظور بررسی دقیق تاثیر اتصال لقی در رفتار قاب خمشی مهاربندی و تعیین مقدار لقی بهینه در مدل‌های مورد مطالعه، ابتدا از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به عنوان یک تحلیل دقیق استفاده می‌شود. سپس بعد از تعیین مقدار لقی بهینه برای ارزیابی عملکرد قاب‌ها از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده می‌شود [۳ و ۵].

ضمن ظرفیت ممان خمشی، هیچ گونه زوال در منحنی هیستریزس آن دیده نشد. سپس اتصال RSBC بدون لغزش در بال بالای تیر پیشنهاد شد که نتایج نشان دهنده تغییر مکان ماندگار سازه بعد از زلزله نسبت به اتصال اصطکاکی ایده‌آل بود [۲ و ۳]. از جمله مطالعات دیگر در این زمینه استفاده از فیوزها است، این المان‌ها در مهاربند مانند فیوز عمل کرده و قبل از کمانش مهاربند تسلیم و موجب رفع کمانش از مهاربند می‌شود. نمونه‌ی این فیوزها، المان حلقه‌ای فولادی شکل‌پذیر در نقطه‌ی اتصال مهاربند به گوشه قاب است [۷].

راهکار دیگر برای بهبود عملکرد لرزه‌ای مهاربندهای هم مرکز به کارگیری اتصال پیچی همراه با لقی با ضریب اصطکاک صفر است. در این مطالعه به منظور ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب خمشی همراه با مهاربند دارای لقی، قاب‌های مهاربندی شده با لقی‌های مختلف در نرم‌افزار ABAQUS 6.11 مدل شده‌اند و با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی و استاتیکی غیرخطی و بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران (نشریه ۳۶۰) پاسخ‌های لرزه‌ای قاب‌های مورد مطالعه بررسی و ارزیابی شدند.

## ۲-۲ مدل سازی و معرفی اتصال لقی

اتصال با لقی اولیه مانند اتصال اصطکاکی متقارن (SBC) با ضریب اصطکاک صفر است. همان‌گونه که در شکل (۱) دیده می‌شود اتصال مورد نظر تشکیل شده است از یک ورق فولادی دارای دو شیار لوبیایی در وسط و دو ورق فولادی در بالا و پایین که با دو پیچ با مقاومت بالا به ورق مرکزی متصل شده‌اند و اصطکاک بین آنها صفر می‌باشد، اندازه طول شیار لوبیایی در هر طرف پیچ همان مقدار لقی است. این اتصال در گوشه قاب قرار گرفته و از یک طرف به مهاربند و از طرف دیگر به قاب متصل است و در حالت اولیه پیچ در وسط شیار لوبیایی قرار دارد. وقتی نیروی جانبی به قاب مهاربندی شده وارد می‌شود؛ قاب در ابتدا مانند قاب خمشی عمل کرده و مقداری از نیرو وارد شده را تحمل می‌کند سپس زمانی که پیچ‌ها به انتهای شیار لوبیایی رسید، مهاربند وارد عمل شده و مقداری از سختی از دست رفته قاب را جبران می‌کند [۴].



شکل (۲) مشخصات قاب مطالعه شده

## ۳- قاب‌های مطالعه شده

در این پژوهش به منظور بررسی دقیق کمانش مهاربندها و تاثیر اتصال لقی، تعدادی قاب فولادی خمشی یک دهانه یک طبقه

## ۵- تحلیل مدل‌ها و نتایج آن‌ها

### ۵-۱- تعیین مقدار لقی

در اینجا برای پرهیز از تکرار، قاب ۱ مورد بررسی قرار گرفته شده است. با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی اولین مفصل پلاستیک در جابه‌جایی  $3/1$  سانتی‌متر تشکیل می‌شود. بنابراین مقدار لقی مبنایی ( $L$ ) که برای باندن این قاب در نظر گرفته شده است برابر با  $2/4$  سانتی‌متر است. برای تعیین مقدار لقی بهینه، به عنوان نمونه پارامترهای مربوط به قاب شماره ۲، با ستون‌های IPB340، تیر IPE300 و مهاربند از نوع پروفیل 2UNP60 که تحت نیروی جانبی سینوسی  $80 \sin 2\pi t$  (تن) با پیوند ۱ ثانیه و جرم یکنواخت ۲ تن بر متر که تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفته، بررسی شده است. دوره تناوب طوری انتخاب شده است که بدترین حالت ممکن (ایجاد بیشترین اثر ضربه در مهاربند) مورد بررسی واقع شود [۶ و ۸]. برای تعیین لقی بهینه با در نظر گرفتن محدودیت آیین‌نامه‌ای و اثر ضربه پیچ، یکبار مقادیر لقی با ضرائب افزایش دهنده  $5/4L$ ،  $3/2L$ ،  $7/4L$  و بار دیگر با ضرائب کاهش دهنده  $3/4L$ ،  $1/2L$ ،  $1/4L$  مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مقادیر پارامترهای به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قاب ۲ با لقی‌های مختلف، نسبت به حالت لقی مبنای به عنوان نمونه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) پارامترهای مختلف قاب مهاربند دارای لقی

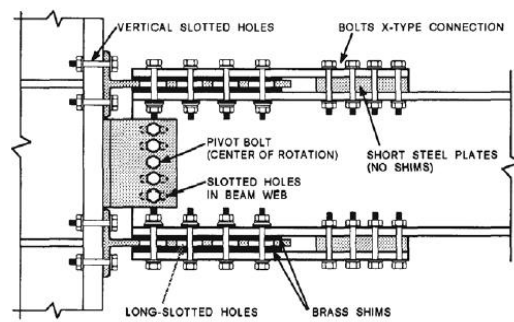
میزان لقی ( $L$ ): لقی مبنا	مهاربند تحت فشار		مهاربند تحت کشش	
	ظرفیت باربری (%)	تغییر مکان بالای قاب (%)	ظرفیت باربری (%)	تغییر مکان بالای قاب (%)
$1/4L$	-۱۶	-۱۶	-۷	-۷
$1/2L$	-۹	-۹	-۵	-۵
$3/4L$	-۰/۵	-۰/۵	-۲	-۲
$5/4L$	-۷/۵	-۷/۵	۴/۵	۴
$3/2L$	-۱۱	-۱۰	۸	۸
$7/4L$	-۱۸	-۱۷	۷/۵	۷/۵

با دقت در جدول (۱) مشاهده می‌شود که با کاهش مقدار لقی

با مهاربندهای قطری مختلف و لقی‌های متفاوت مطابق شکل (۲) مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. مقاطع ستون‌ها از نوع IPB، مقاطع تیرها از نوع IPE و مقاطع مهاربندها از نوع پروفیل UNP و نیز دابل UNP است. اتصال لقی مهاربند به قاب خمشی به صورت مفصلی بوده و اتصال تیر به ستون از نوع گیردار است. مصالح استفاده شده در مدل‌ها از نوع مصالح مصرفی مرسوم در صنعت ساختمان سازی است و پیچ از نوع پیچ پر مقاومت بوده که دارای تنش اولیه  $6400 \text{ kg/cm}^2$  و تنش نهایی  $8000 \text{ kg/cm}^2$  است.

### ۴- درستی آزمایشی مدل‌سازی

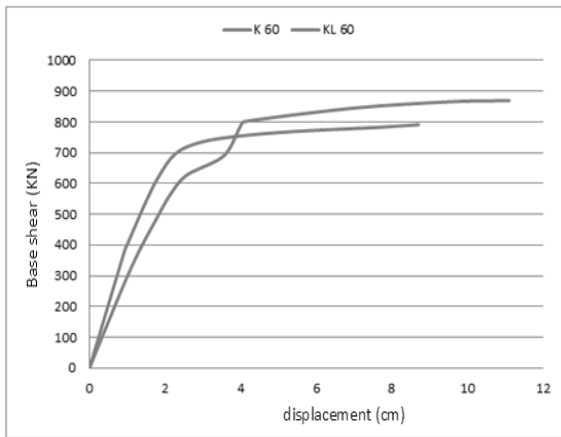
به منظور کالیبره کردن و نشان دادن تطابق تحلیل نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی، ابتدا مدل کامپیوتری (اجزای محدود) از نمونه‌ی آزمایشگاهی تولید شده و سپس به کمک نرم افزار تحلیل می‌شود. مدل یاد شده مربوط به آزمایش اتصال پیچی لغزشی چرخشی (RSBC) است که به وسیله‌ی Popov و Shuoh Yang در سال ۱۹۹۵ در دانشگاه برکلی آزمایش شده است [۲ و ۳]. شکل (۳) نشانگر جزئیات مربوط به این مدل آزمایشی است [۴].



شکل (۳) مشخصات قاب مطالعه شده

نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل، در مقایسه با پوش نمودار هیستریزس، مطابقت نسبی خوبی را با آزمایش نشان می‌دهد. از آن جا که منحنی تنش-کرنش مصالح استفاده شده در نمونه‌ی آزمایشگاهی به صورت عددی در دسترس نیست و با توجه به عدم کاهندگی سختی در سیکل‌های رفت و برگشتی بارگذاری، انتظار می‌رود پاسخ آزمایشگاهی قدری پایین‌تر از پاسخ ناشی از تحلیل استاتیکی غیرخطی (تحت بار یک نوا) قرار گیرد.

نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌ها به تولید منحنی‌های پوش‌اور مربوط به مدل‌های بدون اتصال لقی و مدل‌های با اتصال لقی با روش‌های گوناگون منجر شده که برای قاب‌های ۱ و ۲ با مهاربندهای ناودانی دوپل ۶۰ و ۳۰ بررسی شده و یک نمونه در شکل (۴) آورده شده است.



شکل (۴) منحنی پوش‌اور قاب‌های خمشی مهاربندی

همان‌گونه که از منحنی پوش‌اور شکل (۴) مربوط به قاب KL60 دیده می‌شود، با شروع بارگذاری، ابتدا قاب خمشی به تنهایی وارد عمل شده و تمام نیروی وارد شده را تحمل می‌کند. بطوری‌که در این زمان پیچ در سوراخ لوبیایی شروع به حرکت می‌کند. تا قبل از رسیدن پیچ به انتهای سوراخ، مهاربند هیچ نیرویی را تحمل نمی‌کند. به هنگام رسیدن پیچ به انتهای لقی، مهاربند وارد عمل شده و به کمک قاب می‌آید. اما از آنجایی که سختی محوری مهاربند قابل توجه است، سختی کلی قاب افزایش پیدا کرده است. بنابراین منحنی پوش‌اور در لحظه فعال شدن مهاربند با یک جهش سختی و مقاومت روبرو می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل قاب‌های K30 و KL30 مشابه حالت قبلی است.

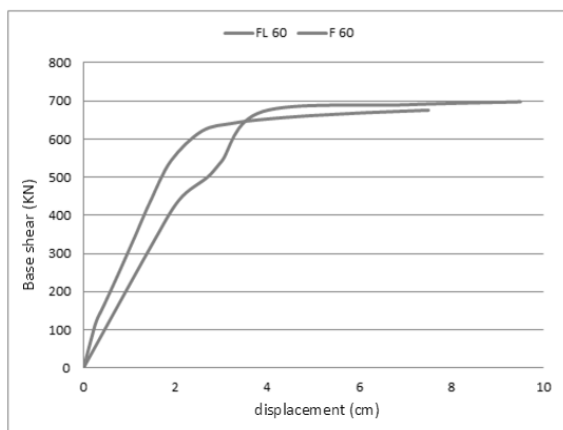
**۲-۲-۵- بررسی منحنی پوش‌اور قاب با مهاربند تحت فشار**  
عمده ترین ضعف مهاربندهای هم مرکز، مشکل کماتش فشاری آنهاست. در این بخش پس از محاسبه‌ی نیروی بحرانی، تنش بحرانی و مقدار تغییر مکان قاب‌های دارای مهاربند طبق رابطه‌ی بار کماتشی اولر و تحلیل‌های انجام شده منحنی

تا  $\frac{3}{4}L$  تغییرات خیلی جزئی در پارامترها مشاهده می‌شود. همچنین با کاهش مقدار لقی مهاربند تا  $\frac{1}{2}L$  زمانی که مهاربند تحت کشش است، ظرفیت باربری و تغییر مکان به طور متوسط حدود ۵٪ کاهش پیدا کرده است. و هنگامی که مهاربند تحت فشار است، مقادیر پارامترها حدود ۹٪ کاهش یافته‌اند. اما بررسی دقیق در کاهش مقدار لقی مینا تا  $\frac{1}{4}L$ ، چنانچه مشاهده می‌شود مقدار پارامترهایی مانند حالت فشاری مهاربند تغییر زیادی را نشان می‌دهد به گونه‌ای که در این حالت ظرفیت باربری و تغییر مکان قاب در حدود ۱۶٪ کاهش پیدا کرده است. دلیل کاهش ظرفیت باربری پس از مقدار لقی  $\frac{3}{4}L$  این است که مهاربند دارای لقی با کاهش تدریجی مقدار لقی آن مشابه مهاربند بدون لقی عمل می‌کند به گونه‌ای که در این مقدار لقی، مهاربند مانند مهاربندهای معمولی با کمترین مقدار نیروی جانبی کماتش کرده و هیچ کمکی نمی‌تواند به ظرفیت باربری قاب نماید. بنابراین ظرفیت باربری کل قاب در این مقدار لقی کاهش پیدا می‌کند. نتایج تحلیل‌های انجام شده در تمامی قاب‌ها مشابه است. بنابراین بر اساس مقایسه انجام شده بین تمامی نمودارهای حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی قاب‌ها و توجه به این مطلب که هدف از ایجاد اتصال لقی، به تعویق انداختن کماتش فشاری مهاربند هم مرکز است، محدوده  $(\frac{3}{4}L \leq l_b \leq L)$  را می‌توان به عنوان محدوده لقی‌های بهینه انتخاب کرد.

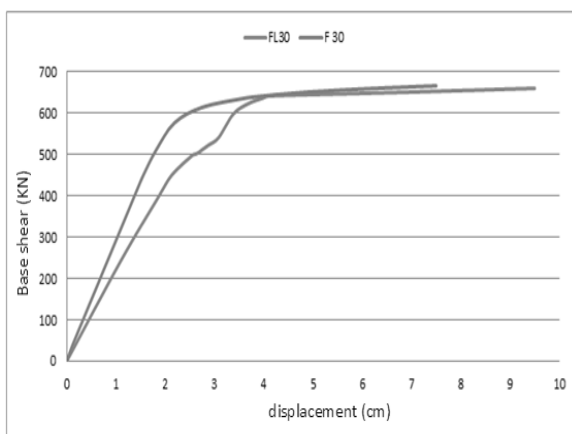
## ۲-۵- بررسی تاثیر لقی بر منحنی پوش‌اور سازه

**۲-۵-۱- بررسی منحنی پوش‌اور قابها با مهاربند تحت کشش**  
بعد از تعیین محدوده لقی بهینه، برای بررسی و مقایسه منحنی پوش‌اور مدل‌ها در حالت‌های با و بدون اتصال لقی، با انتخاب لقی به میزان  $\frac{2}{4}$  سانتی‌متر، قاها تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی واقع شده‌اند. برای پرهیز از تکرار عناوین قاب‌ها، علامت‌های زیر در تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده شده است.  
F: مهاربند تحت فشار، K: مهاربند تحت کشش و اعداد بیانگر مقطع مهاربندهای ناودانی است.

مهاربندهای با سختی متفاوت و مقدار لقی  $2/4$  سانتی متر است پرداخته می شود. در این قاب‌ها به ترتیب سختی مهاربند به سختی قاب  $0/5$ ،  $1/2$  و  $2$  است. مقایسه صورت گرفته نشان می دهد که برای قاب FL60 که در آن نسبت سختی مهاربند به قاب برابر  $1/2$  است، میزان جذب و استهلاک انرژی قاب در مقایسه با سایر نسبت های سختی بیشتر است. بررسی های صورت گرفته نشان می دهد با افزایش نسبت سختی مهاربند به قاب، مهاربند نیروی ضربه‌ی شدیدتری به قاب وارد کرده و عملاً باعث کاهش شکل پذیری قاب می شود. اما مطلب حائز اهمیت این است که با وجود افزایش تغییر مکان نهایی قاب و به تاخیر افتادن کمانش فشاری مهاربند، شکل پذیری قاب‌ها افزایش زیادی را نشان نمی دهد.



الف) قاب مهاربندی ۶۰ با و بدون لقی



ب) قاب مهاربندی ۳۰ با و بدون لقی

شکل (۵) منحنی پوش اور قاب های خمشی مهاربندی

پوش اور قاب خمشی با مهاربندهای ۶۰ و ۳۰ با و بدون اتصال لقی در شکل ۵ نشان داده شده است. با دقت در منحنی ظرفیت قاب F60 در شکل (۵-الف) دیده می شود که جابه جایی نهایی سازه  $7/5$  سانتی متر است. همچنین بر اساس منحنی ایده‌ال سازه  $\Delta_b$  برابر با  $0/13$  سانتی متر است. یعنی با این مقدار جابه جایی جانبی قاب مهاربند کمانش کرده و سختی آن صفر می شود. بنابراین مقدار برش پایه‌ای که سازه در موقع کمانش بابدند تحمل می کند، برابر با  $64/3$  کیلونیوتن است، که در مقایسه با برش پایه کلی بسیار ناچیز است. به این ترتیب با کمترین تغییر مکان جانبی سازه، مهاربند کمانش کرده و ظرفیت باربری خود را از دست می دهد. با ایجاد  $2/4$  سانتی متر لقی در مهاربند این سازه، سهم مهاربند از برش پایه در حالت فشاری متفاوت است. در این حالت  $\Delta_b$  برابر با  $3/19$  سانتی متر است. یعنی با این مقدار جابه جایی جانبی قاب، مهاربند کمانش کرده و سختی آن صفر می شود. همان طوری که ملاحظه می شود با ایجاد  $2/4$  سانتی متر لقی، کمانش مهاربند  $3/06$  سانتی متر نسبت به حالت بدون لقی به تعویق می افتد. در این حالت جابه جایی نهایی قاب FL60 برابر  $9/5$  سانتی متر است که نسبت به حالت قبلی  $2$  سانتی متر افزایش یافته است.

همچنین کمانش مهاربند در آخرین مرحله، بعد از اینکه قاب خمشی وارد مرحله پلاستیک شد، اتفاق می افتد و مقدار برش پایه در لحظه کمانش مهاربند در این حالت برابر با  $669/8$  کیلونیوتن است که حداکثر مقدار آن است. چنانچه از منحنی پوش اور قاب FL30 در شکل (۵-ب) دیده می شود مشابه قاب FL60، مهاربند در شروع بارگذاری و با اندکی تغییر مکان قاب ( $0/12$  سانتی متر) کمانش کرده و سختی آن صفر می شود، اما با ایجاد لقی به میزان  $2/4$  سانتی متر در مهاربند، هم کمانش مهاربند به تعویق خواهد افتاد و هم تغییر مکان قاب از  $7/5$  سانتی متر به  $9/5$  سانتی متر افزایش یافته و باعث جذب و استهلاک انرژی به میزان  $19/6\%$  خواهد شد.

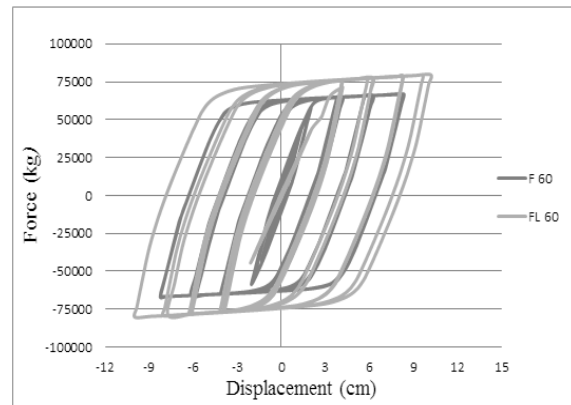
### ۵-۲-۳- بررسی نسبت سختی مهاربند به قاب

در این قسمت به بررسی اثر نسبت سختی مهاربند به قاب در میزان شکل پذیری قاب های FL30 و FL60 و FL80 که دارای

### ۳-۵- بررسی انرژی جذب شده قاب براساس پروتکل بارگذاری ATC-24

به منظور بررسی انرژی جذب شده در قاب خمشی مهاربندی، یک نمونه از قاب‌های مورد مطالعه (F60 و FL60) تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته است [۸].

با توجه به اینکه قاب‌های F60 و FL60 به ترتیب در جابه‌جایی ۷/۵ و ۹/۵ سانتی‌متر گسیخته می‌شوند. بنابراین منحنی هیستریزس قاب‌ها تا این مقدار جابه‌جایی، مطابق شکل (۶) استخراج شده است و مقدار انرژی جذب شده توسط منحنی‌های هیستریزس هرکدام ۱۵/۶۴ و ۱۸/۵۶ تن متر به دست آمده است. با دقت در شکل مشاهده می‌شود زمانی که از مهاربند دارای لقی استفاده شده است، قاب انرژی بیشتری جذب کرده است. به گونه‌ای که انرژی جذب شده قاب با مهاربند دارای لقی نسبت به قاب با مهاربند بدون لقی، ۱۸/۷ درصد بیشتر است.



شکل (۶) منحنی هیستریزس قابها

در این مطالعات از روش یوانگ برای محاسبه ضریب رفتار سازه استفاده شده است. که در آن ضریب رفتار سازه R متشکل از پارامترهای زیر است [۹]:

(۱) ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری  $R_u$ : این ضریب عبارت است از خارج قسمت نیروی نهایی وارد شده به سازه  $V_{eu}$  در صورتی که رفتار سازه الاستیک باقی بماند به نیروی متناظر با حد تسلیم عمومی سازه در هنگام تشکیل سازوکار خرابی  $V_y$ .

$$R_u = \frac{V_{eu}}{V_y} \quad (۲)$$

(۲) ضریب اضافه مقاومت  $R_s$ : مقدار این ضریب، با در نظر گرفتن اینکه مقاومت جانبی واقعی سازه عملاً بیشتر از مقاومت جانبی طراحی آن است.

$$R_{s0} = \frac{V_y}{V_s} \quad (۳)$$

$$R_s = R_{s0} f_1 f_2 f_3 \quad (۴)$$

$f_1$  نسبت تنش واقعی به تنش تسلیم اسمی است که مقدار آن در حدود ۱/۰۵ توصیه می‌شود.  $f_2$  اثر سرعت بارگذاری در تنش تسلیم است که مقدار آن در حدود ۱/۱ قابل توصیه است. همچنین  $f_3$  بیانگر تاثیر اجزای غیر سازه‌ای است.

(۳) ضریب تنش مجاز  $(y)$ : چنانچه در طراحی، از روش تنش مجاز به جای روش بار نهایی یا ضرایب بار و مقاومت<sup>۱</sup> استفاده شود، علاوه بر دو پارامتر فوق، پارامتر دیگری که بیان کننده نسبت تنش‌ها در این دو روش طراحی است  $(y)$  در تعریف R اعمال می‌شود. به این ترتیب خواهیم داشت:

$$R = \frac{V_{eu}}{V_w} = \frac{V_{eu} V_y V_s}{V_y V_s V_w} = R_u R_s y \quad (۵)$$

### ۵-۵- ضریب رفتار قاب‌های مطالعه شده

در این بخش به محاسبه ضریب رفتار قاب‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی پرداخته شده است. پارامترهای لرزه‌ای قاب‌ها با استفاده از نمودار دو خطی شده به وسیله نرم افزار BILIN استخراج شده است [۱۱]. به عنوان نمونه ضریب رفتار قاب‌های ۱ و ۲ به دست آمده است. سایر قاب‌ها نیز به شکل مشابه محاسبه شده‌اند و به دلیل نتایج مشابه از آوردن آنها در اینجا خودداری شده است.

### ۵-۴- ضریب رفتار

#### ۵-۴-۱- ضریب شکل پذیری کلی سازه ( $\mu_s$ )

از عوامل مهم در تحلیل رفتار قاب‌های خمشی مهاربندی، شکل پذیری است که رابطه مستقیم با مقاومت سازه در مقابل نیروهای زلزله دارد. هر قدر ضریب شکل پذیری سازه بزرگ تر و مقاومت آن کاهش کمتری داشته باشد، قدرت جذب انرژی آن در حالت غیر ارتجاعی بیشتر بوده و رفتار مطلوبی خواهد داشت.

$$\mu_s = \frac{\delta_m}{\delta_y} \quad (۱)$$

<sup>۱</sup>LRFD

جدول (۲) ضریب رفتار قابهای مورد مطالعه

	ردیف	نام مدلها	$\mu$	$R_{\mu}$	$R_s$	$R$
مهاربند قطری تحت فشار	1	F 30	3.55	2.37	1.93	6.4
	2	F 60	3.63	2.4	1.928	6.49
	3	F 80	3.87	2.49	1.928	6.74
	4	FL 30	3.61	2.42	2.03	7
	5	FL 60	3.95	2.52	2.1	7.36
	6	FL 80	3.75	2.44	2.26	7.13
مهاربند قطری تحت کشش	7	K 30	3.9	2.44	1.927	6.9
	8	K 60	4.2	2.59	1.927	7.10
	9	K 80	4.87	2.83	1.93	7.64
	10	KL 30	3.93	2.42	2.18	7.35
	11	KL 60	4.1	2.54	2.21	7.85
	12	KL 80	4.87	2.61	2.25	8.22

می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ضریب شکل‌پذیری و ضریب کاهش در اثر شکل‌پذیری افزایش یافته است که می‌توان گفت به دلیل یکسان بودن سختی مهاربند و سختی قاب، قاب FL60 یکپارچه عمل نموده و ضمن به تاخیر انداختن کماتش فشاری مهاربند، قابلیت بیشتری در تحمل تغییر شکل‌های غیر الاستیک و ورود به ناحیه پلاستیک را بدون فرو ریزش دارد. همچنین مطابق جدول ۲ مقدار ضریب شکل‌پذیری، ضریب کاهش در اثر شکل‌پذیری، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار قاب‌های FL80 نسبت به قاب F80 به ترتیب تقریباً ۳٪ کاهش، ۲٪ کاهش، ۱۷٪ افزایش و ۶٪ افزایش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود ضرایب شکل‌پذیری و کاهش در اثر شکل‌پذیری، نسبت به قاب با مهاربند بدون لقی کاهش یافته‌اند.

## ۶- نتیجه‌گیری

- در قاب‌های مطالعه شده، لقی بهینه باید  $(L_b)$  در محدوده  $\frac{3}{4}L \leq L_b \leq L$  باشد تا از ظرفیت خمشی قاب و سختی محوری مهاربند به نحو مطلوب استفاده شود.  
- اتصال پیچی دارای لقی معرفی شده در این مقاله موجب به تاخیر انداختن کماتش مهاربند و افزایش استهلاک انرژی در قاب‌های مورد مطالعه شده است.

## ۵-۱- تاثیر اتصال لقی بر روی پارامترهای موثر بر ضریب رفتار

برای بررسی روند تغییرات پارامترهای موثر بر ضریب رفتار قاب‌ها و همچنین پرهیز از تکرار، تنها قاب‌های ۱ و ۲ و در حالتی که مهاربند قطری در قاب تحت فشار است، ارزیابی می‌شود.

با دقت در جدول (۲) و مقایسه بین مقادیر محاسبه شده در آن مشاهده می‌شود که مقدار ضریب شکل‌پذیری، ضریب کاهش در اثر شکل‌پذیری، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار قاب‌های FL3 نسبت به قاب F30 به ترتیب حدود ۲٪ افزایش، ۲٪ افزایش، ۵٪ افزایش و ۷٪ افزایش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود ضریب شکل‌پذیری کمی افزایش یافته است، دلیل آن می‌تواند کماتش دیر هنگام مهاربند قطری فشاری باشد. در مورد تغییرات سایر پارامترها چنانچه پیش‌تر دیده شد، در قاب FL30 پس از فعال شدن مهاربند به علت افزوده شدن سختی محوری و مقاومت مهاربند، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار آن افزایش پیدا کرده است. همچنین پارامترهای مربوط به مقدار ضریب شکل‌پذیری، ضریب کاهش در اثر شکل‌پذیری، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار قاب‌های FL60 نسبت به قاب F60 به ترتیب حدود ۸٪ افزایش، ۶٪ افزایش، ۹٪ افزایش و ۱۴٪ افزایش را نشان



[5] C. E. Grigorian, T. S. Yang and E. P. Popov., Slotted bolted connection energy dissipators, *Earthquake Spectra*, 9(3), pp: 491-504, 1993.

[۶] عزیزی، حسام "مقایسه عملکرد مهاربند های هم مرکز معمولی با و بدون لقی اولیه در قاب خمشی،" پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران سازه، دانشگاه زنجان، ۱۳۹۲.

[7] Abbasnia, R. and Ka\_, M. \Investigation of performance of ductility element in concentric braces in steel frames", 7th international congress on civil engineering, University of Tarbiat modarres (8-10 may 2006).

[8] Sehhati, R. Rodriguez, A. ElGawady, M. Cofer, W.F. Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures. *Journal of Engineering Structures*. 33 : 767-779, 2011.

[9] Lu, L. Y., Shih, M. H., Chang Chien, C. S., Chang, W. N. 2002. Seismic Performance of Sliding Isolated Structures in Near Fault Areas. 7 th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston

[10] ATC-24. Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures, Washington (DC), 1992.

[11] Uang, C.M., Bruneau, M., Whittaker, A.S., Tasi, L.C. "Seismic Design of steel structures", The seismic Design Handbook, kluwer Academic publishers, Boston, pp. 410-462, 2001.

[12] Mahmoudi, M., Zare, M. "Evaluating response modification factors of concentrically braced steel frames", *Journal of constructional steel research*, vol. 66, pp. 1196-1204, 2010.

[13] BILIN is software Developed by Dr. Giorgos Panagopoulos at University of ARISTOTLE

- بررسی های نتایج حاصل از تحلیل تمامی قاب‌ها گویای این مطلب است که در صورتی که نسبت سختی مهاربند به قاب حدود یک باشد، با ایجاد لقی در مهاربند اولاً میزان جذب و استهلاک انرژی قاب در مقایسه با سایر نسبت‌های سختی بیشتر است. ثانیاً ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار افزایش ولی ضریب شکل پذیری و ضریب کاهش در اثر شکل پذیری از روند خاصی پیروی نمی‌کند و تقریباً ثابت می‌ماند.

- برای همه‌ی قابهای مطالعه شده و نتایج به دست آمده از آنها، قاب‌های دارای لقی به طور متوسط ۱۷٪ بیشتر از قاب‌های بدون لقی سبب استهلاک انرژی می‌شوند.

## ۷- مراجع

[1] Clifton G. C and J.W. Butterworth and G. A. MacRae, H. Mackinven, S. Pampanin, "Sliding Hinge Joints and Subassemblies for Steel Moment Frames" , 2007 NZSEE Conference, 2007.

[2] Cherry s. and filliatrault, A. "seismic response control of buildings using friction dampers" *Earthquake Spectra*, Vol 9, No. 3, , PP. 447-466, 1993.

[3] Eric, ko; caroline, eld, The Unbounded Brace: From Research to Californian Practice, SEAOC Convention, 2003.

[4] T. F. Fitzgerald, T. Anagnos, M. Goodson and T. Zsutty., Slotted bolted connections in aseismic design for concentrically braced connections, *Earthquake Spectra*, 5(2), pp: 383-391, 1989



## Research Note:

## Evaluation of steel moment frame seismic behavior With concentric brace associated by initial looseness

H. Azizi<sup>1</sup>, J. Ahmadi<sup>2\*</sup>

1- M.Sc. of Structural Engineering, Faculty of Eng., Zanzan University

2- Assistant Prof., Civil Engineering, Dept., Faculty of Eng., Zanzan University

j\_ahmadi@iust.ac.ir

### Abstract:

Although, concentric braces have proper stiffness, but ductility and energy absorption of these are low and under pressure and lateral forces exhibit poor performance and also structural ductility will reduce due to buckling when these braces are used for retrofitting of structural frames. Several methods have been proposed for improving of concentric braces performance, especially increasing energy dissipation capacity. The uses of connections with especially performance such as connections with the initial loosening at the end of concentric braces are among these methods. The main objectives of this paper are comparison of the seismic behavior of concentric brace frames with and without initial looseness and calculation of optimal looseness besides the review of analytical studies conducted on no friction brace looseness. For this purpose, the braced frames with and without initial looseness have been modeled and studied using nonlinear static and time history analysis and then the behavior coefficient was calculated. The studied models in this research are concentric moment frames with and without initial looseness. As briefly, the method which is used in this research based on the principle that the moment frames resist against the seismic lateral load at first and then (if it is necessary) braces are activated for carrying lateral load when the lateral displacement is increased and exceeded from the certain level. To achieve this goal, at the junction of the moment frame and brace initial looseness with a certain amount is applied. After reaching to the desired displacement in frame, the bolts at the junction of the moment frame and brace reached to the end of slotted joint and brace will participate with moment frame in bearing lateral forces. In this case the amount of lateral force that can be tolerated by the concentric moment frame with initial looseness is significantly more than the brace without loosening. Based on the results obtained in this investigation the use of loosening in concentric brace frame connection, in addition to reduction of operational complexity of friction dampers, improves seismic performance and also increases seismic energy dissipation capacity of frames which were studied. Also behavior coefficient obtained for this type of frames is greater than behavior coefficient of conventional concentric brace frames. The study of desired frames in this paper indicated that the optimal value of looseness ( $L_b$ ) should be in the range of  $\frac{3}{4}L \leq L_b \leq L$  to achieve maximum flexural capacity of moment frame and maximum axial resistance of brace simultaneously. Also, if the ratio of concentric brace stiffness to the stiffness of moment resistance frame is about 1.0, in the concentric moment frame with initial looseness, energy absorption and dissipation capacity is more than the other axial to moment stiffness ratios. In this state the value of load resistance and also behavior coefficient increase although the coefficient of ductility and reduction coefficient due to ductility don't follow any particular trend and are almost constant. It has been observed also that at the all studied models in this research, frames with looseness connection caused an average 17% energy dissipation more than frames without looseness connection.

**Keywords:** Looseness, Behavior coefficient, Nonlinear time history analysis, Concentric brace.