



کد مقاله: ۲-۱۰۳

ارزیابی لرزه ای قاب های فولادی مهاربندی شده با مهاربند زانویی

امیر حمزه کیخا^۱، مصطفی اکبرزاده^۲

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، eng_akbar1363@yahoo.com

چکیده

قاب های خمشی و یا قاب های مهاربندی شده هم مرکز، معمولاً نمی توانند به تنهایی هر دو عامل سختی و شکل پذیری را به نحو مطلوبی فراهم نمایند. برای برون رفت از این مشکل، به کارگیری مهاربند زانویی می تواند در ایجاد شکل پذیری کافی توأم با سختی مناسب، مفید واقع شود. در سیستم مهاربند زانویی، عضو قطری به یک عضو زانویی که مانند یک فیوز شکل پذیر عمل می کند، متصل می شود. در این حالت، شکل پذیری از طریق جاری شدن عضو زانویی و سختی از طریق عضو قطری تأمین می گردد. در این مقاله سه قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط به تعداد طبقات سه، شش و نه با مهاربند زانویی مقاوم سازی شده اند. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی بار افزون مدل ها با استفاده از نرم افزار SAP2000، سیستم مهاربندی زانویی باعث کنترل تشکیل مفاصل پلاستیک و هدایت آن به محدوده عملکردی ایمنی جانی و کاهش قابل توجه تغییر مکان کلی قاب ها می شود.

کلمات کلیدی: قاب فولادی، مهاربند زانویی، رفتار غیرخطی، ارزیابی لرزه ای

۱- مقدمه

آنچه امروزه در طراحی سازه ها در مناطق با لرزه خیزی بالا اهمیت دارد، تامین شکل پذیری و سختی مناسب سازه ها می باشد، که در این میان رعایت دو نکته ضروری به نظر می رسد. اول این که سازه باید دارای سختی کافی برای کنترل تغییر مکان جانبی باشد تا از وقوع هر گونه خسارت سازه ای و غیر سازه ای در طی زمین لرزه های متوسط ولی مکرر جلوگیری به عمل آید و دوم این که سازه باید مقاومت و شکل پذیری کافی داشته باشد تا تحت زلزله های شدید از فروریزش آن جلوگیری شود [۱].

قاب های خمشی و مهاربندی همگرا در ساختمان های فولادی بطور گسترده ای به عنوان سیستم مقاوم در برابر زلزله مورد استفاده قرار می گیرد. نکته قابل توجه آن است که هیچ یک از آن ها نمی توانند سختی و شکل پذیری مورد نیاز را توأمأ ارضاکند. چرا که قاب های خمشی شکل پذیری مناسبی دارند و قاب های مهاربندی همگرا دارای سختی مناسبی می باشند. با ترکیب خوبی از این دو سیستم، یک سیستم مقاوم لرزه ای

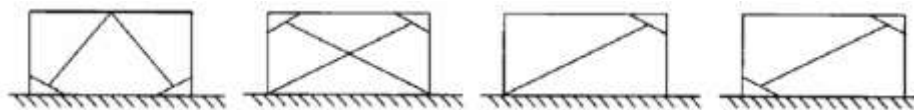
اقتصادی به دست می آید. یک چنین سیستمی، قاب های مهاربندی واگرا می باشد که توسط پوپوف و ریدر^۱ پیشنهاد شده است. در سال های اخیر، آریستیزابل اوچوا^۲ یک سیستم ترکیبی به نام قاب مهاربند زانویی^۳ پیشنهاد داده است [۲]. در این سیستم، المان زانویی به عنوان یک فیوز شکل پذیر برای جلوگیری از فروریزش سازه تحت زمین لرزه های شدید با جذب انرژی در طی تسلیم خمشی عمل می کند. یک مهاربند قطری با حداقل یک المان زانویی متصل در انتهای آن، بیشتر سختی الاستیک جانبی را تامین می کند [۳]. سیستم مهاربند زانویی، نقیصه اصلی سیستم مهاربندی خارج از مرکز (EBF) یعنی تیر پیوند را که قسمتی از تیر اصلی است را برطرف کرده است. مهاربند زانویی از دو عضو زانویی و قطری (مهاربند) تشکیل شده است که در این سیستم، المان زانویی به عنوان یک فیوز شکل پذیر در زمین لرزه های شدید با جذب انرژی در سیستم خمشی عمل می کند. در این سیستم به علت متمرکز شدن اکثر مفصل های پلاستیک در عضو زانویی، قسمت های اصلی سازه از قبیل تیر و ستون در امان می ماند و بازسازی سازه به سهولت امکان پذیر است [۴].

۲. مهاربند زانویی

بزرگترین حسن مهاربند زانویی علاوه بر سختی و شکل پذیری بسیار مناسب، این است که پس از یک زلزله شدید از آن جا که تشکیل مناطق پلاستیک به المان زانویی محدود می شود (المان مستهلک کننده انرژی، عضو زانویی است)، می توان با تعویض زانو به سهولت سازه را به بهره برداری مجدد رساند [۵]. از زمان معرفی سیستم مهاربندی زانویی، تحقیقات مختلفی روی خصوصیات رفتاری سیستم مهاربند زانویی و همچنین مقایسه آن با سیستم های دیگر مهاربندی صورت پذیرفته است، که همگی حاکی از رفتار بسیار مناسب چنین مهاربندهایی بوده است [۶، ۷ و ۸]. همچنین استفاده از عضو زانویی برای مقاوم سازی ساختمان ها به عنوان امری آسان و اقتصادی توصیه شده است [۹].

از مزایای این سیستم، امکان تعویض و کم هزینه بودن زانویی پس از وقوع زلزله می باشد. در سیستم مهاربندی زانویی محل های مختلفی برای قرارگیری زانویی وجود دارد. زانویی می تواند در پایین، بالا و یا در دو انتهای مهاربند قرار گیرد. در حالتی که زانویی در هر دو انتهای مهاربند قرار می گیرد، سختی قاب بدون هیچ افزایشی در شکل پذیری، کاهش می یابد. بعلاوه افزایش یک زانویی، هزینه ساخت را به علت افزایش مصالح و نیروی انسانی ارتقا می دهد [۱۰].

طرح کلی انواع مختلف مهاربندهای زانویی در شکل زیر نشان داده شده است. با استفاده از نتایج تحلیل های ارتجاعی که توسط محققین بر روی این سیستم انجام شده است، ابعاد بهینه مدل سازه ای انتخاب می گردد. بهترین زاویه المان زانویی زمانی است که قاب بیشترین سختی را دارد، یعنی حالتی که المان زانویی موازی با قطر دیگر قاب باشد و امتداد عضو مهاربندی از محل تلاقی تیر به ستون عبور کند.



شکل ۱ - انواع قاب های مهاربند زانویی

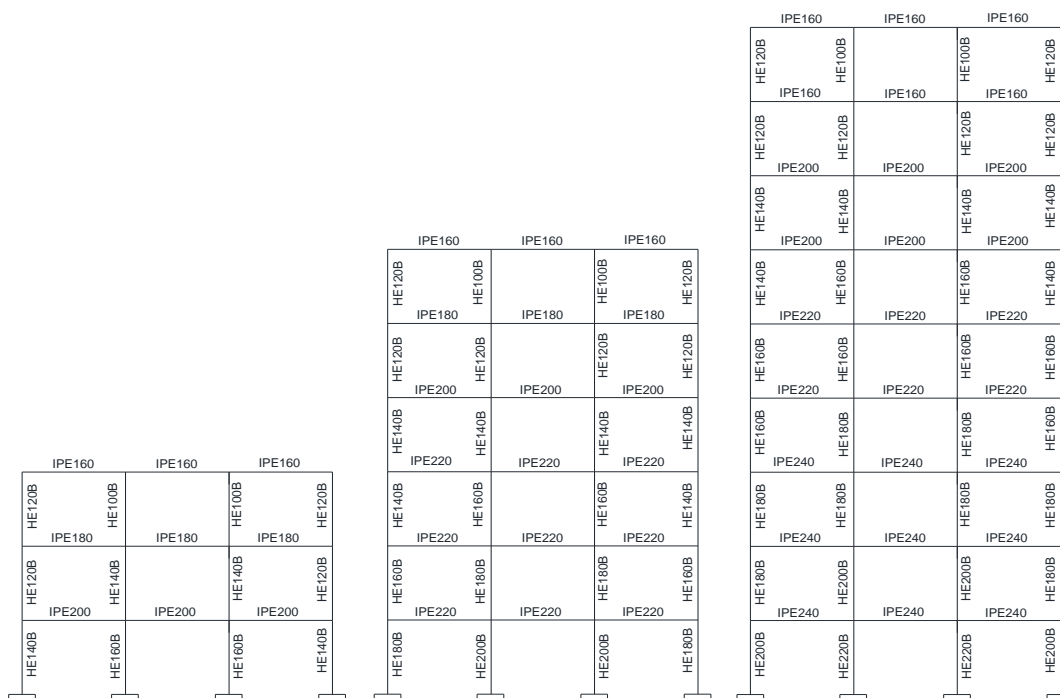
Popov and Roeder^۱

Aristizabal Ochoa^۲

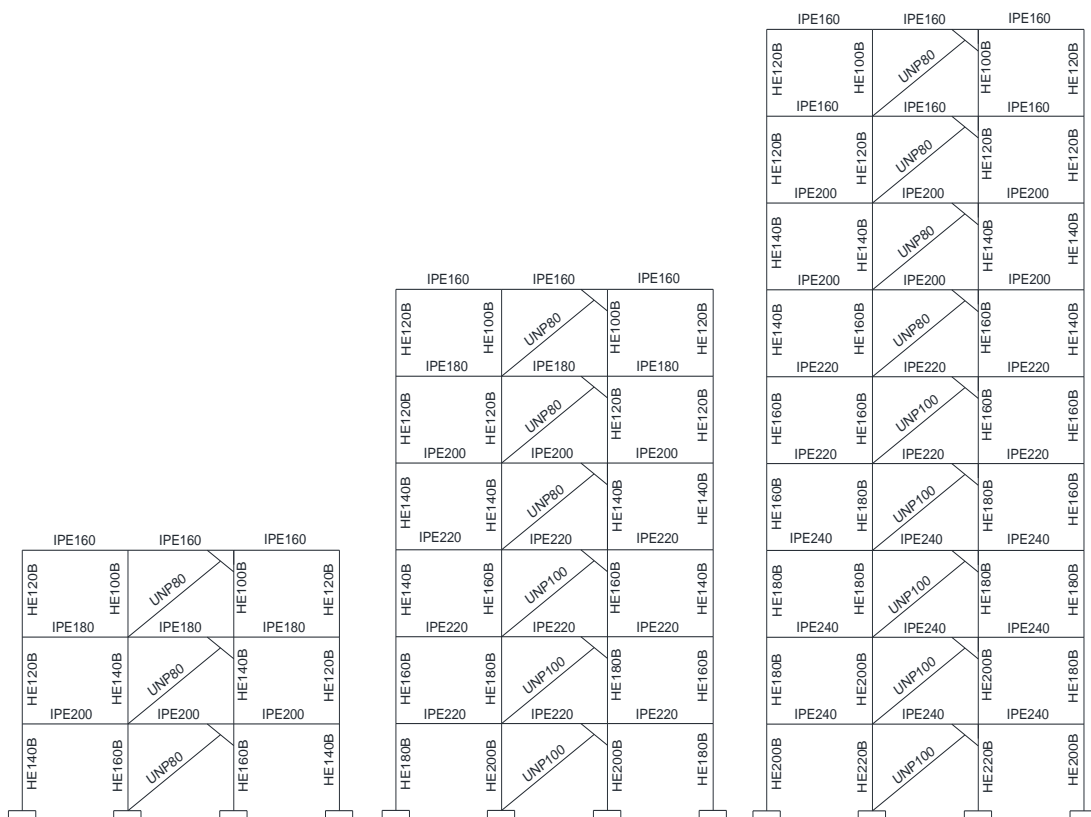
Knee Brace Frame^۳

۳. معرفی مدل های مفروض

قاب های مورد مطالعه، مربوط به قاب های خمشی متوسط فولادی سه، شش و نه طبقه می باشند که توسط مهاربند زانویی بهسازی شده اند. این قاب ها مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه ۲۸۰۰ طراحی شده اند. مقاطع ستون ها از نوع نیمرخ بال پهن معمولی، مقاطع تیرها از نوع I نیم پهن و مقاطع مهاربندها از نوع ناودانی می باشند. جنس فولاد از نوع ST37 می باشد. بارگذاری طبقات بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان صورت پذیرفته است. در اشکال ۲ و ۳ مقاطع مورد استفاده در این قاب ها ارائه شده است.



شکل ۲ - قاب های فولادی در تراز ارتفاعی سه، شش و نه طبقه قبل از مقاوم سازی با مهاربند زانویی



شکل ۳ - قاب های فولادی در تراز ارتفاعی سه، شش و نه طبقه بعد از مقاوم سازی با مهاربند زانویی

۴. روش آنالیز غیرخطی بار افزون

روش های آنالیز غیرخطی برای محاسبه واقع بینانه تر نیازهای لرزه ای ساختمان مطرح می شوند، زیرا بدین وسیله می توان چگونگی رفتار و عملکرد سازه را پس از ورود به ناحیه غیرخطی در طول یک زلزله مورد بررسی قرار داد. به طور کلی مزایای روش های تحلیل غیرخطی نسبت به روش های تحلیل خطی را می توان موارد زیر بر شمرد:

- تخمین واقع گرایانه تر تقاضای نیرو در اجزایی که بالقوه شکننده اند، مانند نیروی محوری در ستون ها و لنگر خمشی در اتصالات تیر و ستون.
- تخمین واقع گرایانه تقاضای تغییر شکل در اجزایی که باید جهت مقاومت در برابر حرکت زمین ناشی از زلزله، متحمل تغییر شکل غیر ارتجاعی شوند.
- تخمین واقع گرایانه تر از اثرات کاهش سختی و مقاومت اجزا بر رفتار سیستم سازه ای.
- شناختن نواحی بحرانی که در آن ها امکان رخ دادن تغییر شکل های بزرگ وجود دارد.
- شناسایی ناپیوستگی های مقاومت.

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، بار جانبی به تدریج افزایش داده می شود تا آنجا که تغییر مکان در نقطه معینی از حد مورد نظر فراتر رود. تغییر شکل ها و نیروهای داخلی در هنگام افزایش بار جانبی بطور مداوم تحت نظر قرار می گیرد.

۵. ارزیابی تشکیل مفاصل پلاستیک

در سال های اخیر رویکرد به روش های طراحی بر اساس عملکرد افزایش یافته است. در روش های طراحی بر اساس عملکرد برای ساختمان، سطوح عملکردی مختلفی تعیین می گردد. این سطوح عملکردی بر حسب میزان خرابی و خسارت های وارد بر سیستم های سازه ای و غیر سازه ای ساختمان به صورت کمی و کیفی تعریف می گردد.

سطح عملکرد، بیانگر شرایط حدی مربوط به میزان و نحوه خسارت وارد بر سازه است که برای یک ساختمان معین و تحت اثر یک زلزله معین، قابل قبول تلقی می شود. این شرایط حدی توسط خرابی های فیزیکی در خود سازه، خطر جانی برای ساکنین ساختمان و میزان قابلیت سرویس دهی سازه پس از وقوع زلزله، توصیف می گردد. مهمترین سطوح عملکردی اصلی که برای سیستم های سازه ای در نظر گرفته می شود، به شرح زیر است:

- سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه^۱ (IO)
سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه به سطح عملکردی اطلاق می گردد که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله، مقاومت و سختی اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا نکند و استفاده بی وقفه از آن ممکن باشد.
 - سطح عملکرد ایمنی جانی^۲ (LS)
سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می گردد که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله، خرابی در سازه ایجاد گردد، اما میزان خرابی ها به اندازه ای نباشد که منجر به خسارت جانی گردد.
 - سطح عملکرد آستانه فرو ریزش^۳ (CP)
سطح عملکرد آستانه فرو ریزش به سطح عملکردی اطلاق می گردد که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله خرابی گسترده در سازه ایجاد گردد، اما ساختمان فرو نریزد و تلفات جانی به حداقل برسد.
- در جداول ۱ و ۲، به ترتیب درصد مفاصل تشکیل شده در سطوح مختلف عملکردی در المان تیر و ستون قاب های فولادی بدون مهاربند زانویی و با مهاربند زانویی را نشان می دهد.

Immediate Occupancy Level^۱

Life Safety Level^۲

Collapse Prevention Level^۳

جدول ۱ - درصد مفاصل تشکیل شده در المان تیر قاب های فولادی بدون و با مهاربند زانویی

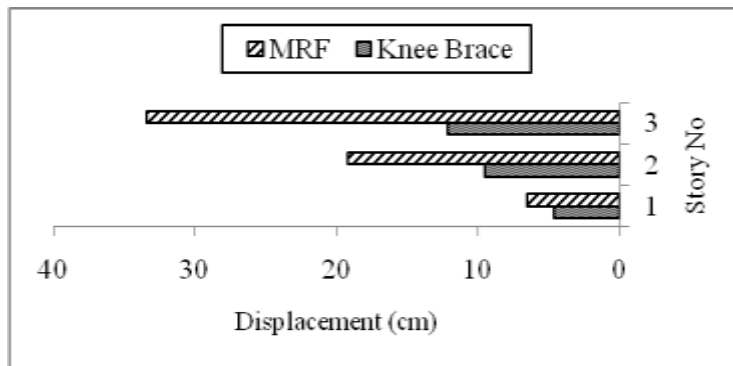
Steel Frame with out Knee Brace				
Frame Type	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
3 Story	10%	60%	30%	0%
6 Story	0%	90%	10%	0%
9 Story	7.5%	72.5%	20%	0%
Steel Frame with Knee Brace				
Frame Type	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
3 Story	100%	0%	0%	0%
6 Story	85%	15%	0%	0%
9 Story	54%	46.6%	0%	0%

جدول ۲ - درصد مفاصل تشکیل شده در المان ستون قاب های فولادی بدون و با مهاربند زانویی

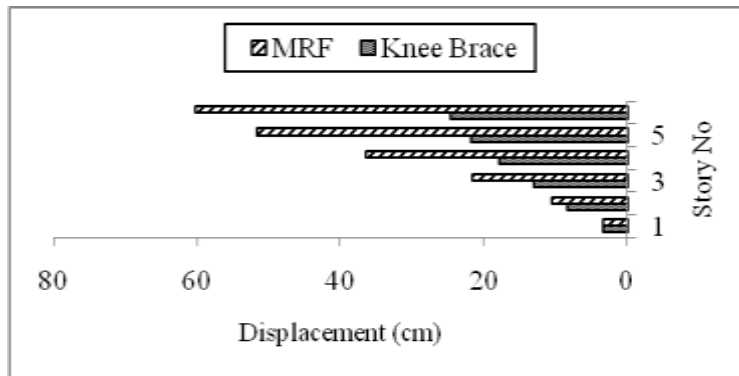
Steel Frame with out Knee Brace				
Frame Type	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
3 Story	50%	40%	0%	10%
6 Story	14.3%	14.3%	0%	71.4%
9 Story	26.7%	13.3%	33.3%	26.7%
Steel Frame with Knee Brace				
Frame Type	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
3 Story	50%	50%	0%	0%
6 Story	0%	20%	80%	0%
9 Story	0%	15%	85%	0%

۶. ارزیابی بیشینه تغییر مکان کلی

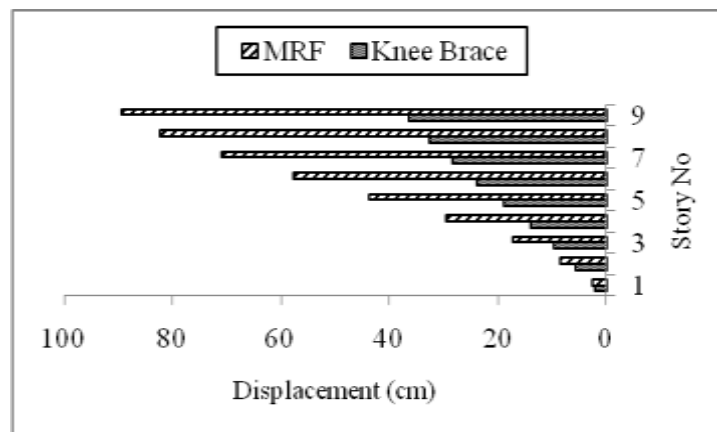
ایجاد تغییر مکان های کلی طبقات، نیروهای بسیار زیادی خصوصاً به صورت نیروی برشی به اعضای سازه ای وارد می شود که کم کردن تغییر مکان های کلی طبقات باعث کاهش این قبیل نیروها و خسارت های ناشی از آن ها می شود. در اشکال ۴، ۵ و ۶، وضعیت بیشینه تغییر مکان کلی طبقات برای قاب های سه، شش و نه طبقه لخت و مجهز به مهاربند زانویی ارائه شده است.



شکل ۴ - تغییر مکان کلی قاب سه طبقه قبل و بعد از مقاوم سازی با مهاربند زانویی



شکل ۵ - تغییر مکان کلی قاب شش طبقه قبل و بعد از مقاوم سازی با مهاربند زانویی



شکل ۶ - تغییر مکان کلی قاب نه طبقه قبل و بعد از مقاوم سازی با مهاربند زانویی

۷. نتیجه گیری

یکی از سیستم های بسیار مناسب از لحاظ سختی و شکل پذیری، سیستم مهاربندی زانویی می باشد. مهاربند زانویی از جدید ترین سیستم های مهاربندی است که ترکیبی از شکل پذیری و سختی جانبی خوبی را برای سازه فراهم می کند. مهمترین قسمت این نوع سیستم مهاربندی، عضو زانویی آن می باشد که وظیفه اصلی استهلاک انرژی را بر عهده دارد. بر اساس نتایج حاصل از این مقاله، سیستم مهاربندی زانویی باعث کنترل تشکیل مفاصل پلاستیک و هدایت آن به محدوده عملکردی ایمنی جانی می شود. این سیستم، تغییر مکان کلی قاب ها را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. استفاده از سیستم مهاربندی زانویی برای مقاوم سازی سازه ها توصیه می گردد.

مراجع

- [۱]. حقایق، م. و عسگری مارنانی، ج. و روحانی منش، م.ص.، (۱۳۹۰)، "بررسی تاثیر مهاربند زانویی بر رفتار لرزه ای قاب خمشی فولادی"، کنفرانس زلزله، سازه و روش های محاسباتی، کرمان.
- [2]. Aristizibal-Ochoa, J.D. (1986), "Disposable knee bracing improvement in seismic design of steel frames", *Journal of structure engineering, Vol 112*.
- [۳]. قدرتی، غ. و نعیمی، م. (۱۳۸۷)، "بررسی و مقایسه عملکرد لرزه ای قاب های مهاربند زانویی و ضربداری"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران.
- [۴]. غلامپور، س. و تقی پور، ر. و دیلمیان، م. (۱۳۹۱)، "بررسی تاثیر طول عضو زانویی بر رفتار لرزه ای قاب های فولادی با مهاربند زانویی"، دومین کنفرانس ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک، مازندران.
- [۵]. یحیانی، م. و صدر نفیسی، س.، (۱۳۸۲)، "بررسی رفتار غیرخطی قاب های دارای مهاربندی زانویی تحت نیروهای زلزله"، [چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله](#)، تهران.
- [6]. Balendra, T. and Lim, E.L. (1994), "Ductile knee braced frames with shear yielding knee for seismic resistant structures", *structure engineering, Vol 16*.
- [7]. Sam, M.T. and Balendra, T. (1995), "Earthquake-resistant steel frames with energy dissipating knee elements", *structure engineering, Vol 17*.
- [8]. Balendra, T. and Lim, E.L. and Liaw, C.Y. (1997), "Large scale seismic testing of knee braced frames", *Journal of structure engineering*.
- [9]. محمد حجازی، م. و معمارزاده، پ. و محمدیان، ع. (۱۳۸۹)، "بررسی تاثیر محل قرارگیری المان زانویی بر رفتار قاب های فولادی مهاربندی شده"، [اولین همایش ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک](#)، بابلسر.
- [۱۰]. صفاری، ح. و رهگذر، ر. و مهرابی، ف.، (۱۳۸۲)، "بررسی تاثیر خصوصیات اعضای سیستم مهاربندی زانویی بر روی شکل پذیری و مقاومت نهایی آن"، [چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله](#)، تهران.