



بررسی عملکرد بادبندهای هم مرکز با لقی اولیه در قابهای خمشی

رضا عباس نیا^۱، روح الله هیزجی^۲

۱- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

hizajir@civileng.iust.ac.ir

خلاصه

با توجه به نیاز روز افزون مقاوم سازی ساختمانها، روشهای مختلفی برای ساختمانهایی که با قاب خمشی ساخته شده اند و در برابر زلزله مقاومت کافی ندارند، ارائه شده است. یکی از این روشهای مناسب استفاده از بادبندهای هم مرکز می باشد. بادبندهای هم مرکز از شکل پذیری کمی برخوردارند و زمانی که جهت مقاوم سازی در قابهای خمشی استفاده می شوند ضمن مقاوم سازی آنها، شکل پذیری قاب را کاهش می دهند. در دو دهه اخیر تحقیقاتی جهت اصلاح شکل پذیری بادبندها صورت گرفته است که هر کدام مزایا و معایبی دارند. در این مقاله عملکرد بادبند هم مرکز با لقی اولیه در قاب خمشی، که به عنوان عنصر مقاوم خط دوم، بعد از قاب خمشی عمل می کند، بررسی شده است. نتایج منحنی عملکرد آن نشان می دهد، ایجاد یک لقی اولیه در بادبند ضمن افزایش مقاومت جانبی سازه تاثیر منفی کمتری در شکل پذیری قاب خمشی دارد.

کلمات کلیدی: بادبند هم مرکز، لقی، شکل پذیری، مقاوم سازی.

مقدمه

یکی از متداولترین روشهای مقاوم سازی قابهای خمشی، استفاده از بادبندهای هم مرکز می باشد، که هم اقتصادی بوده و هم بسادگی قابل اجراست؛ ولی مقاوم سازی با این روش مشکلاتی به همراه دارد. مشکل اول اینکه بادبندهای هم مرکز شکل پذیر نیستند و سازگاری خوبی با قاب خمشی ندارند. بطوریکه ابتدا بادبندها باید بار جانبی را تحمل کنند و در صورت کماتش بادبند، قاب خمشی مجبور به تحمل تمام بار خواهد شد، که سبب وارد آمدن آسیب به ساختمان می گردد. مشکل دیگر بوجود آمدن نیروی بالابرنده در فونداسیون می باشد. از این رو به منظور رفع نقطه ضعف بادبندهای هم مرکز و تامین شکل پذیری مطلوب آنها، در چند سال اخیر تحقیقات گسترده ای توسط محققین مختلف صورت گرفته است. در اغلب این تحقیقات تلاش شده است که میزان شکل پذیری بادبندهای هم مرکز بهبود یابد. Wada و همکاران [۱]، در سال ۱۹۸۰ استفاده از غلاف را برای جلوگیری از کماتش بادبندها، پیشنهاد نمودند. بدین ترتیب بادبند در فشار نیز جاری شده و نتیجتاً باعث جذب انرژی بالایی خواهد شد. بکار گیری بادبندهای زانویی نیز به عنوان یک روش مناسب دیگر جهت بهبود شکل پذیری سازه معرفی شده است [۲]. از جمله مطالعات دیگر در این زمینه استفاده از فیوزها می باشد که خود به چند دسته خمشی، برشی، پیچشی و محوری تقسیم می شوند. این المانها در بادبند، مانند فیوز عمل کرده و قبل از کماتش بادبند تسلیم و سبب رفع کماتش از بادبند می شوند. علاوه بر این موجب تمرکز خرابی در نقطه مشخصی از سازه نیز می گردند [۳ و ۴]. همچنین تحقیقات و آزمایشات زیادی در مورد استفاده از اتصالات اصطکاکی انجام شده و نمونه های متفاوتی از آنها نیز در سازه ها بکار برده شده اند [۵]. هر کدام از این موارد دارای مزایا و معایبی می باشند.

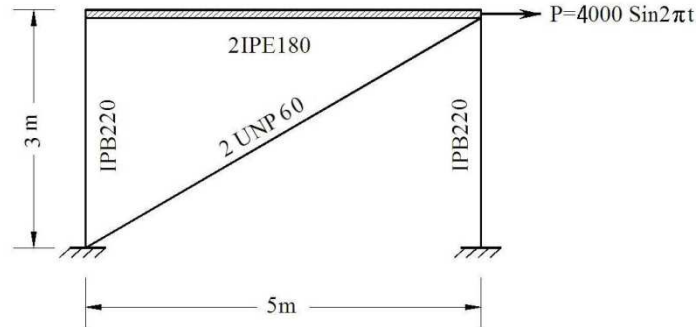
روش پیشنهادی در این مقاله برای مقاوم سازی قابهای خمشی، استفاده از بادبندهای هم مرکز با لقی اولیه می باشد. لقی اولیه در بادبند باعث می شود که ابتدا قاب خمشی بار جانبی را تحمل کند سپس بادبند به عنوان عنصر مقاوم خط دوم وارد عمل شود. به منظور بررسی تاثیر لقی در رفتار سازه، بادبندهایی با سختی ها و مقادیر لقی متفاوت همراه با قاب خمشی در نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده است. جهت تعیین تاثیر پارامترهای اندازه لقی و میزان سختی بادبند بر روی قاب خمشی، تحلیل های تاریخچه زمانی و استاتیکی غیر خطی بر روی این مدلها انجام شده است. نتایج این تحلیلها نشان می دهد که اگر سختی بادبند متناسب قاب خمشی انتخاب شود؛ ایجاد لقی اولیه ضمن افزایش میزان جذب انرژی سازه، در کاهش نیروی بالا برنده نیز نقش موثری خواهد داشت.

^۱ دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

مشخصات قاب مهار بندی شده مورد مطالعه

در این تحقیق، یک قاب فولادی خمشی یک دهانه یک طبقه، با ستونهای IPB220 و تیر 2IPE180 مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شده است. تیر این قاب تحت جرم یکنواخت 2 ton/m قرار داشته و بار جانبی بر سازه بصورت سینوسی با پریود ۱ ثانیه اثر می کند.

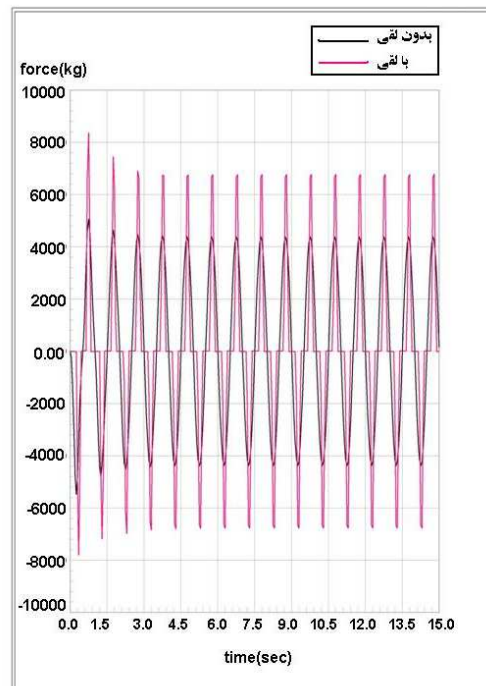


شکل ۱- مشخصات قاب فولادی

این قاب با بادبند دارای لقی و بدون لقی (بادبند معمولی) در نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده است. برای مدل سازی لقی از المانهای gap و hook بصورت موازی در محل اتصال بادبند به گوشه بالایی قاب، استفاده شده است. این قاب ابتدا مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفته و سپس برای بررسی تاثیر اندازه لقی و میزان سختی بادبند در رفتار آن، مجدداً قاب مذکور با بادبند دارای مقدار لقی و سختی متفاوت تحلیل شده است. همچنین برای بررسی صحت نتایج حاصل از نرم افزار SAP2000، چند نمونه از تحلیل ها با استفاده از نرم افزار ABAQUS انجام شده است. مقایسه نتایج حاصله نشان از اختلاف اندک مقادیر بدست آمده دارد.

نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی

قاب فولادی فوق، یک بار با بادبند دارای ۴ میلیمتر لقی و بار دیگر با بادبند معمولی یعنی بدون لقی، تحلیل تاریخچه زمانی شده است. نیروی داخلی بادبند در هر دو حالت بصورت مقایسه ای در شکل (۲) نشان داده شده است.

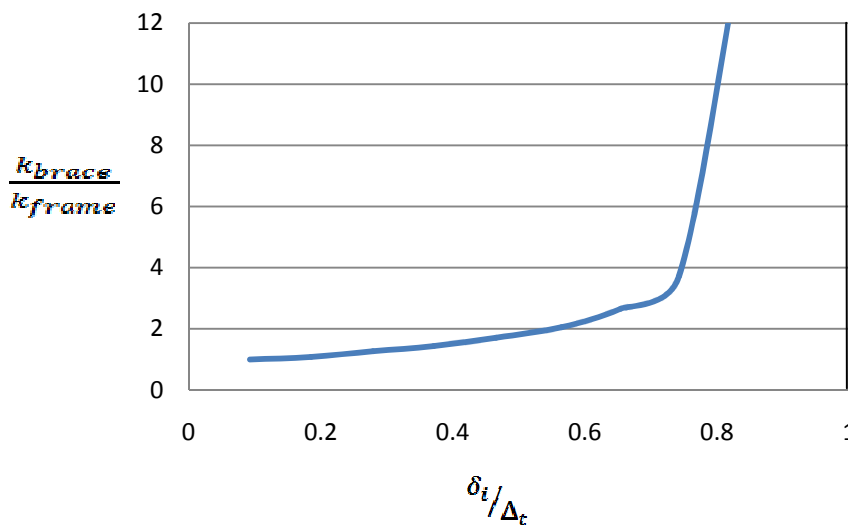


شکل ۲- نیروی داخلی بادبند با در نظر گرفتن لقی و بدون احتساب آن



همانطور که در شکل (۲) دیده می شود، وجود ۴ میلیمتر لقی باعث افزایش نیروی بادبند در حدود پنجاه درصد بیشتر نسبت به حالت بادبند بدون لقی شده است، که این امر بدلیل تغییر ناگهانی در سختی جانبی قاب می باشد. با حرکت جانبی سازه ابتدا سختی قاب در تحمل نیروی جانبی موثر واقع و با رسیدن به انتهای لقی، بادبند هم وارد عمل می گردد. اما از آنجا که سختی بادبند نسبت به سختی قاب خیلی بیشتر است؛ این تغییر ناگهانی در سختی باعث افزایش غیر عادی نیروی داخلی بادبند خواهد شد.

برای مشخص کردن پارامترهای موثر در اضافه شدن نیروی داخلی بادبند دارای لقی، نسبت به حالت بدون لقی، قاب فوق در حالتی گوناگون تحلیل شده است. این حالات شامل میزان لقی های مختلف (از ۱میلیمتر تا به اندازه تغییر مکان جانبی قاب بدون بادبند)، بادبندهای با سختی متفاوت و همچنین با نیروی های جانبی مختلف می باشد. نتایج این تحلیل ها نشان می دهد، زمانیکه سختی بادبند نسبت به سختی قاب قابل توجه است، وجود لقی، باعث بوجود آمدن نیروی قابل ملاحظه ای در بادبند می شود؛ اما هنگامی که سختی بادبند در حدود سختی جانبی قاب باشد، اثر افزایش ناگهانی نیروی داخلی بادبند با لقی اولیه که در تحلیل قبلی دیده شده بود، از بین می رود. با افزایش نسبت سختی بادبند نسبت به قاب، نیروی بادبند دارای لقی، نسبت به بادبند معمولی افزایش می یابد، در صورتی که یکی از اهداف ایجاد لقی کاهش دادن نیروی داخلی بادبند می باشد. لذا به منظور دستیابی به این هدف، نسبت سختی بادبند نباید از حد مشخصی فراتر رود. در شکل (۳) منحنی حداکثر این نسبت سختی برحسب اندازه لقی به تغییر مکان جانبی قاب بدون بادبند، رسم شده است.



شکل ۳ - نمودار حداکثر نسبت سختی بادبند به قاب برای اینکه نیروی داخلی بادبند دارای لقی، بیشتر از بادبند معمولی نشود

در شکل بالا δ_i میزان لقی بادبند در جهت افقی و Δ_t تغییر مکان جانبی قاب بدون بادبند می باشد. k_{brace} و k_{frame} نیز بترتیب، سختی بادبند و سختی قاب هستند. در این نمودار برای میزان لقی های مختلف، می توان حداکثر مقدار نسبت سختی بادبند به قاب خمشی مشخص نمود. با دقت در این شکل دیده می شود که حداکثر نسبت سختی بادبند به قاب باید در حدود ۱ الی ۲ باشد تا نیروی بادبند دارای لقی بیشتر از بادبند معمولی نشود ولی با افزایش میزان لقی، این نسبت می تواند کمی افزایش یابد. به این ترتیب با انتخاب بادبند متناسب با قاب خمشی نیروی داخلی بادبند کاهش یافته و نهایتاً منجر به کاهش نیروی بالابرنده در فونداسیون می گردد. علاوه بر مدل های مذکور، مطالعه بر روی چند نوع قاب با مقادیر مختلف طول دهانه، سختی ها و نیروهای مختلف، تحلیل تاریخچه زمانی انجام شد؛ که نتایج حاصله تقریباً مشابه می باشند.

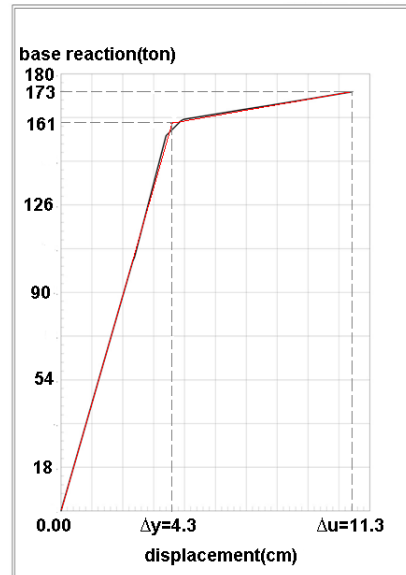
مزیت دیگر استفاده از بادبندهای دارای لقی، این است که می توان با ایجاد لقی، شرایطی را بوجود می آورد که از حداکثر ظرفیت قاب خمشی استفاده شود. بدین منظور مقدار لقی باید به اندازه ای طراحی شود که در لحظه تشکیل مفصل پلاستیک در قاب خمشی، بادبند وارد عمل شود. در این صورت سازه برای نیروهای جانبی کم، مانند قاب خمشی عمل کرده و با افزایش نیرو و ایجاد مفصل پلاستیک در قاب، بادبند به کمک قاب آمده و سختی از دست رفته را جبران می کند. به این ترتیب نیروی بالا برنده در فونداسیون ایجاد نمی گردد و یا خیلی ناچیز خواهد بود اما اگر از بادبند هم مرکز مرسوم استفاده شود، درصد خیلی زیادی از نیروی جانبی را بادبند تحمل می کند که نتیجتاً از ظرفیت خمشی قاب استفاده نخواهد شد. این مسئله علاوه بر کاهش شکل پذیری سازه، باعث ایجاد نیروی بالا برنده در فونداسیون خواهد شد.

تاثیر بادبند دارای لقی در منحنی عملکرد سازه

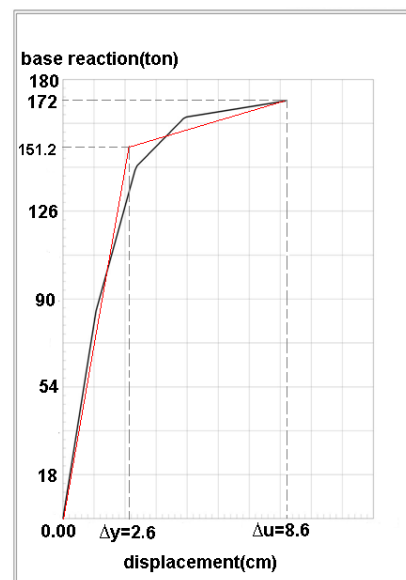
بمنظور بررسی رفتار غیرخطی سازه و تاثیر لقی در منحنی عملکرد آن، بجای استفاده از یک سازه معمولی چند دهانه، از یک قاب یک دهانه با سختی بالا استفاده شده است. برای این منظور یک قاب فولادی خمشی با ستونهای IPB360 و تیر 2IPE270 به دهانه ۴متر و ارتفاع ۳متر انتخاب شده است. برای مهار بندی آن از 2UNP60 که سختی آن با سختی جانبی قاب یکسان است، انتخاب شده است. تحلیل این قاب بصورت استاتیکی غیر



خطی انجام شده و مفصلهای پلاستیک مطابق با "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود" مدل سازی شده است [۶]، طبق تحلیل انجام شده، اولین مفصل پلاستیک این قاب بعد از ۲/۷۵ سانتیمتر جابجایی افقی تشکیل شد، لذا میزان لقی در جهت قطری که برای بادبند مورد نیاز است تا بعد از تشکیل مفصل در قاب، وارد عمل شود ۲/۲ سانتیمتر می باشد. منحنی عملکرد این سازه در حالت بدون لقی و با لقی در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده و رفتار دوخطی آنها نیز رسم شده است. منحنی عملکرد نشان می دهد که ایجاد مقداری لقی باعث می شود که سطح زیر منحنی نیرو - جابجایی ۲۸ درصد افزایش یابد در صورتی که ظرفیت باربری هر دو حالت تقریباً یکسان است.



شکل ۴- منحنی عملکرد بادبند با لقی

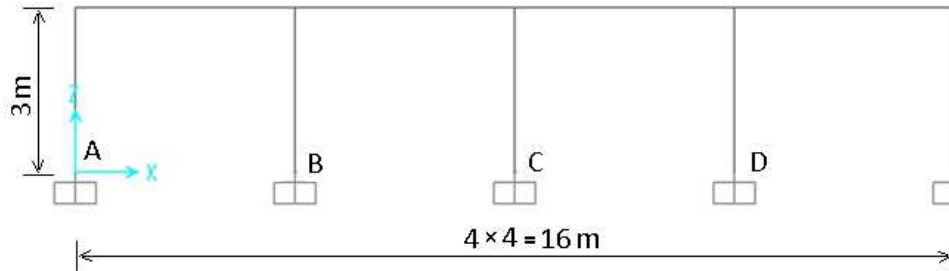


شکل ۵- منحنی عملکرد بادبند بدون لقی

در شکل (۴) دیده می شود که سختی سازه تا جابجایی ۴/۳ سانتیمتر کم نشده در صورتی که مفصل پلاستیک در جابجایی ۲/۷۵ سانتیمتر در قاب خمشی ایجاد شده است. دلیل آن هم این است که در همان لحظه تشکیل مفصل بادبند وارد عمل شده و سختی از دست رفته سازه را جبران می کند. علاوه بر این با ایجاد لقی جابجایی نهایی سازه از ۸/۶ سانتیمتر به ۱۱/۳ سانتیمتر افزایش یافته است، که موجب بهبود شکل پذیری سازه می گردد.

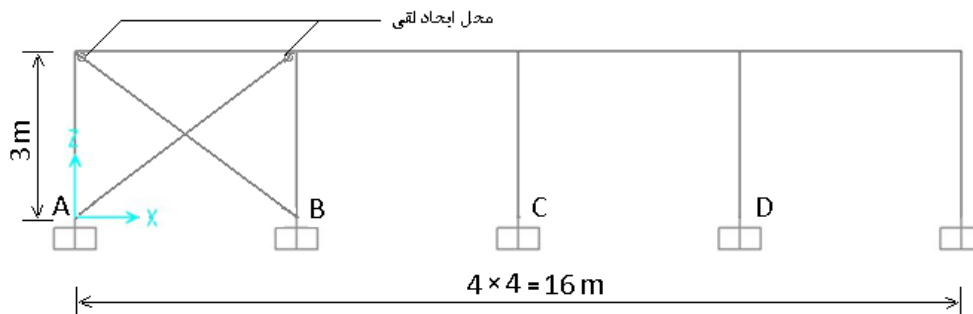
یک مثال طراحی

به منظور مشخص شدن تاثیر لقی در کاهش نیروی بالابرنده فونداسیون و بادبند، یک قاب خمشی که نیاز به مقاوم سازی دارد در نظر گرفته شده و یک بار با بادبند معمولی و بار دیگر با بادبند دارای لقی بهسازی شده است. این قاب با ستونهای IPB160 و تیر 2IPE220 مطابق شکل (۶) بصورت چهار دهانه با ارتفاع سه متر می باشد.



شکل ۶- قاب خمشی موجود

بار مرده و زنده که به این قاب اثر می کنند به ترتیب ۳۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلو گرم بر متر طول می باشد. بار زلزله طبق آیین ۲۸۰۰ محاسبه شده که ۱۰۳۶۰ کیلو گرم می باشد. با تحلیل این قاب مشخص شد که ستونهای آن ضعیف بوده و تنشهای بوجود آمده بیش از تنش مجاز می باشند. به منظور مقاوم سازی این قاب از مهاربند 2UNP60 بصورت ضربدری در دهانه اول استفاده شده است. با تحلیل سازه مذکور و طراحی آن طبق آیین- نامه AISC-ASD89 تنشهای بوجود آمده در ستونها کمتر از حد مجاز شده است اما نیروی بالابرنده در فونداسیون A به مقدار ۱۵۷۲ کیلوگرم بوده و همچنین نیروی داخلی بادبند ۸۵۲۰ کیلوگرم می باشد. مجددا سازه مذکور در شرایط کاملا مساوی، اما با بادبندهای ضربدری دارای ۰/۵ سانتیمتر لقی در هر سمت مهاربندی شده است که در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷- قاب مهار بندی شده همراه با لقی اولیه در بادبند

در حالت بهسازی با بادبند دارای لقی نیز تنشهای ایجاد شده در سازه و تغییر مکان جانبی، کمتر از حالت مجاز بوده اند. اما با ایجاد ۰/۵ سانتیمتر لقی هم نیروی داخلی بادبند و هم نیروی بالا برنده در فونداسیون کاهش یافته است. نتایج این سازه در دو حالت، با لقی و بدون لقی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مقایسه نتایج بدست آمده از دو حالت بهسازی

| نوع مهار بندی شده | حداکثر نیروی بالا برنده در فونداسیون A (kg) | حداکثر نیروی داخلی بادبند (kg) | حداکثر تغییر مکان جانبی قاب (cm) |
|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| بادبند معمولی | ۱۵۷۲ | ۸۵۲۰ | ۰/۰۹ |
| بادبند دارای ۰/۵cm لقی | ----- | ۱۴۳۱ | ۰/۸۸ |



مقایسه نتایج نشان می دهد که با ایجاد ۰/۵ سانتیمتر لقی در بادبند، نیروی بالا برنده در فونداسیون A کاملاً از بین رفته و نیروی داخلی بادبند حدود شش برابر کاهش می یابد. اما مقدار جابجایی افزایش یافته که البته از حد مجاز آیین نامه ۲۸۰۰ کمتر می باشد. همانطور که مشاهده می شود این نتایج برای قاب یک طبقه است، که اگر طبقات قاب بیشتر باشد مطمئناً نتایج بهتری هم بدست خواهد آمد.

نتیجه گیری

بر اساس مطالعات و بررسی های انجام شده در این مقاله، در صورت استفاده از بادبندهای با لقی اولیه در مقاوم سازی قابهای خمشی، نتایج زیر بدست آمده است:

- ۱- سختی بادبند مورد استفاده نسبت به سختی جانبی قاب خمشی نباید از حد مشخصی تجاوز نماید، که این نسبت بطور متوسط در حدود ۱/۲ الی ۲ می باشد
- ۲- ایجاد لقی در بادبند باعث کاهش نیروی داخلی آن و نیروی بالا برنده در فونداسیون می گردد. علاوه بر این، ایجاد لقی سبب افزایش سطح زیر نمودار نیرو- جابجایی، افزایش جابجایی نهایی می گردد.
- ۳- ایجاد لقی موجب استفاده حداکثر از ظرفیت خمشی قاب می گردد.

مراجع

1. Eric ko, caroline field. "The unbounded brace: From research to Californian practice".
2. T. balendra, "Large-Scale seismic testing of knee-brace-frame" Journal of structural engineering, January 1997, PP.11-19.
3. Sarnoand, L. D. and Elnashai, A. S. "Seismic retrofitting of steel and September 2002 composite building structures" report, University of Illinois,
۴. رضا عباس نیا، محمد علی کافی، " بررسی عملکرد المان شکل پذیر در بادبندهای هم محور قابهای فولادی " هفتمین کنفرانس بین المللی عمران
5. Cherry s. and filliatraut, A. "seismic respons control of buildings using friction dampers" Earthquake Spectra, Vol 9, No. 3, 1993, PP. 447-466.
۶. "دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود" نشریه ۳۶۰، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، سال ۱۳۸۵