

# مقایسه میزان جذب انرژی در بادبند دارای لقی و بادبند بدون لقی در قاب خمشی

محمد علی کافی<sup>۱</sup>، رضا عباس نیا<sup>۲</sup>، روح الله هیزجی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان

۲- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناس 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 سازه را کاهش می دهند و همچنین باعث بوجود آمدن نیروی بالا برنده در فونداسیون موجود قاب، خواهند شد. در دو دهه اخیر تحقیقات زیادی جهت اصلاح شکل پذیری بادبندها صورت گرفته است؛ ولی کمتر به مسئله نیروی بالا برنده پرداخته شده است. همچنین با ایجاد مقداری لقی در اتصال بادبند می توان از حداکثر ظرفیت قاب خمشی استفاده کرد بدین ترتیب این لقی سبب می شود که بادبند به عنوان عنصر مقاوم خط دوم بعد از قاب خمشی عمل نماید. عملکرد این روش به نسبت سختی بادبند به قاب خمشی و مقدار لقی وابسته است. در این مقاله با رعایت محدودیت نسبت سختی بادبند به قاب خمشی، میزان جذب انرژی و منحنی عملکرد قاب خمشی با بادبند دارای لقی و بدون لقی مقایسه شده و نتایج نشان می دهند با ایجاد لقی در اتصال بادبند، نیروی داخلی بادبند کاهش یافته که سبب کاهش نیروی بالا برنده در فونداسیون موجود می شود. همچنین از ظرفیت خمشی قاب نیز به نحو مطلوب استفاده خواهد شد.

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

## مقدمه

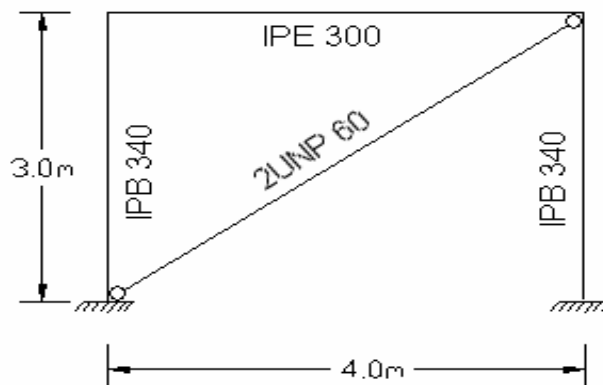
یکی از متداولترین روشهای مقاوم سازی قابهای خمشی، استفاده از بادبندهای هم مرکز می باشد، که هم اقتصادی بوده و هم بسادگی قابل اجراست؛ ولی مقاوم سازی با این روش مشکلاتی به همراه دارد. مشکل اول اینکه بادبندهای هم مرکز شکل پذیر نیستند و سازگاری خوبی با قاب خمشی ندارند. بطوریکه ابتدا بادبندها باید بار جانبی را تحمل کنند و در صورت کمناش بادبند، قاب خمشی مجبور به تحمل تمام بار خواهد شد، که سبب وارد آمدن آسیب به ساختمان می گردد. مشکل دیگر بوجود آمدن نیروی بالا برنده 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. W6b6 و همکاران [۱]، در سال ۱۹۸۰ استفاده از غلاف را برای جلوگیری از کمناش 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 کمانش بادبند تسلیم و سبب رفع کمانش از بادبند می شوند. علاوه بر این موجب تمرکز خرابی در نقطه مشخصی از سازه نیز می گردند [۴ و ۳]. 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].

ایده دیگر برای بهبود عملکرد بادبندهای هم مرکز، ایجاد لقی اولیه در اتصال بادبند به قاب می باشد [۶]. 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 این ترتیب نیروی داخلی بادبند کاهش یافته و نهایتاً منجر به کاهش نیروی بالابرنده در فونداسیون موجود خواهد شد. علاوه بر آن از ظرفیت قاب خمشی نیز به نحو مطلوب استفاده خواهد شد. با مطالعه بر روی عملکرد بادبندهای دارای لقی در قاب خمشی، نشان داد که ایجاد لقی در اتصال بادبند سبب بوجود آمدن نیروی ضربه در بادبند خواهد شد. مهمترین پارامترهای موثر در مقدار این نیرو، نسبت سختی بادبند به قاب، بزرگی بار وارده، پربود بار وارده و مقدار لقی می باشند. تحلیل ها بر روی چند نمونه از قابها آشکار ساخت که در نامساعدترین شرایط، اگر نسبت سختی بادبند به قاب خمشی کمتر از ۱/۱ باشد؛ نیروی ضربه به حداقل رسیده و تاثیر منفی در سازه نخواهد داشت [۷].

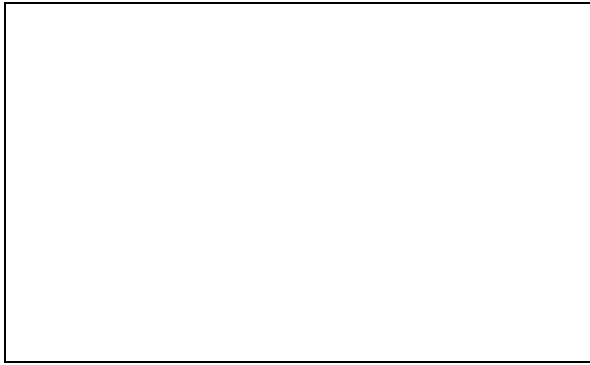
#### تاثیر بادبند دارای لقی در منحنی عملکرد سازه و میزان جذب انرژی قاب

با توجه به اینکه جهت حداقل نمودن نیروی ضربه، سختی بادبند باید در حدود ۱/۱ برابرسختی جانبی قاب باشد. در این قسمت از تحقیق بجای استفاده از یک سازه معمولی چند دهانه از قاب یک دهانه ولی با سختی بالا، معادل یک قاب معمولی پنج دهانه، استفاده شده است. برای مهاربندی این قاب، دو عدد پروفیل ناودانی نمره ۶ که سختی آنها در حدود سختی جانبی قاب است، انتخاب شده است که در شکل (۱) دیده می شود.



شکل ۱: مشخصات قاب خمشی همراه با بادبند

مفصلهای پلاستیک در این قاب مطابق با " دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود " [۸] مدل سازی شده است. اولین مفصل پلاستیک قاب در جابجایی ۳/۱ سانتیمتر تشکیل می شود. لذا میزان لقی که برای بادبند این قاب در نظر گرفته شده است برابر با ۲/۴ سانتیمتر در جهت قطری بادبند می باشد؛ که در راستای افقی برابر با همان ۳/۱ سانتیمتر خواهد شد. بنابراین همزمان با تشکیل اولین مفصل پلاستیک در قاب، بادبند فعال شده وسختی از دست رفته قاب را جبران می کند. این قاب با بادبند معمولی و با بادبند دارای لقی، مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته و منحنی عملکرد آن برای هر دو حالت رسم شده است که در اشکال (۲) و (۳) دیده می شود.



شکل ۲: منحنی عملکرد سازه با بادبند معمولی

$$\Delta_y = 2.2 \text{ cm}$$

$$\Delta_u = 15.45 \text{ cm}$$

$$E = 1744 \text{ ton.cm}$$

شکل ۳: منحنی عملکرد سازه با بادبند دارای ۲/۴ سانتی متر لقی

$$\Delta_y = 5.8 \text{ cm}$$

$$\Delta_u = 18.4 \text{ cm}$$

$$E = 1998 \text{ ton.cm}$$

با توجه به منحنی های عملکرد، مشاهده می شود که مقدار جابجایی نهایی سازه، با بادبند دارای لقی برابر با ۱/۴ سانتیمتر می باشد در صورتی که تغییر مکان نهایی سازه با بادبند معمولی برابر با ۱۵/۴۵ سانتیمتر می باشد. در این صورت تغییر جابجایی نهایی سازه با بادبند دارای لقی ۲/۹۵ سانتیمتر افزایش می یابد که موجب افزایش جذب انرژی توسط قاب خواهد شد. مساحت زیر منحنی نیرو- جابجایی در قاب با بادبند دارای لقی برابر با ۱۹۹۸ ton.cm می باشد. ولی این مساحت در قاب با بادبند بدون لقی (معمولی) برابر با ۱۷۷۴ ton.cm می باشد که میزان انرژی جذب شده در این سازه، با بادبند دارای لقی ۱۲/۷ درصد بیشتر از حالت با بادبند معمولی می باشد.

بررسی اثر کمانش در بادبند بدون لقی و با لقی

همانگونه که قبلا نیز اشاره شد عمده ترین ضعف مهاربندهای هم مرکز مشکل کمانش آنهاست. مهاربندهای هم مرکز تحت نیروی فشاری معینی کمانش کرده و سختی آنها بشدت کاهش می یابد؛ این مسئله موجب واردن آمدن خسارت به سازه خواهد شد. اما ایجاد لقی اولیه در بادبند، باعث به تعویق انداختن کمانش در بادبند فشاری می شود، که یکی دیگر از مزیت های ایجاد لقی، محسوب می شود.

نیروی کمانش بادبند قاب مذکور که از دو عدد ناودانی نمره ۶ تشکیل شده است، از رابطه ذیل بدست می آید:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (1)$$

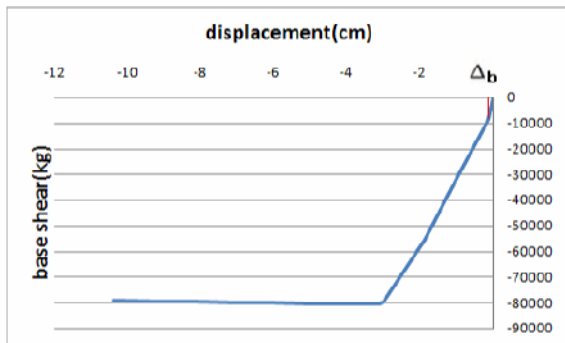
که در این رابطه  $P_{cr}$  نیروی کمانشی بادبند،  $E$  مدول الاستیسیته،  $I$  ممان اینرسی مقطع و  $l$  طول بادبند می باشد.

$$P_{cr} = \frac{3.14^2 * 2.1e6 * 65.4}{500^2} = 5424.75 \text{ kg}$$

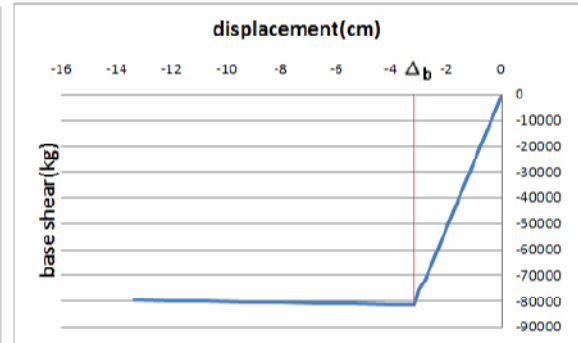
(۲)

پس این بادبند تحت نیروی فشاری ۵۴۲۴/۷۵ کیلوگرم کمانش کرده و بیش از این نمی تواند نیروی فشاری تحمل کند. در صورتیکه در کشش تا مرحله جاری شدن نیرو تحمل می کند، که برابر با ۳۱۰۰۸ کیلو گرم می باشد. بدلیل اینکه قاب مذکور فقط یک بادبند قطری دارد، لذا منحنی عملکرد آن در

حالت فشاری کمی متفاوت تر با حالت کششی خواهد بود و ظرفیت باربری جانبی سازه مذکور تحت نیروی فشاری کمتر نیروی کششی خواهد بود. منحنی عملکرد این قاب با بادبند معمولی و بادبند دارای لقی، در حالتی که بادبند تحت فشار می باشد، در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است.

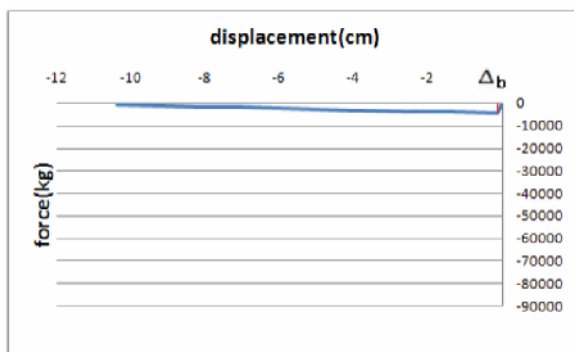


شکل ۵: منحنی عملکرد قاب با بادبند دارای لقی

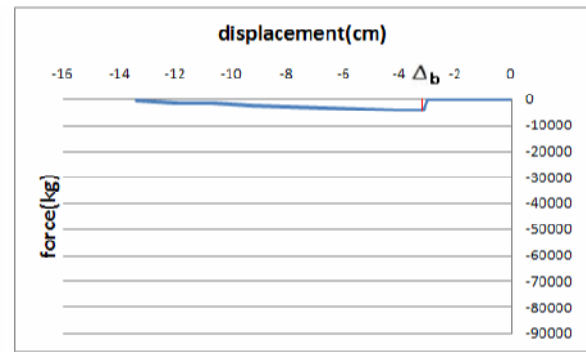


شکل ۴: منحنی عملکرد قاب با بادبند بدون لقی

در قاب با بادبند معمولی، جابجایی نهایی سازه  $10/4$  سانتی متر می باشد. همچنین  $\Delta d$  برابر با  $0/124$  سانتیمتر است؛ یعنی با این مقدار جابجایی جانبی قاب، بادبند کمانش کرده و سختی آن صفر می شود. در صورتیکه در با ایجاد  $2/4$  سانتیمتر لقی در بادبند، جابجایی نهایی سازه به  $13/37$  سانتیمتر می باشد که نسبت به حالت قبلی  $3/03$  سانتیمتر افزایش یافته است و  $\Delta d$  برابر با  $3/189$  سانتیمتر است که کمانش بادبند،  $3/065$  سانتیمتر نسبت به حالت بدون لقی، به تعویق می افتد. همچنین با توجه به این منحنی عملکرد، دیده می شود که مقدار برش پایه ای که سازه در موقع کمانش بادبند تحمل می کند، برابر با  $8231/24$  کیلوگرم می باشد، که در مقایسه با برش پایه کلی بسیار ناچیز می باشد. به این ترتیب با کمترین تغییر مکان جانبی سازه، بادبند کمانش کرده و ظرفیت باربری خود را از دست می دهد. یعنی عملاً بادبند اضافه شده نمی تواند نقش موثری در مقاوم سازی قاب داشته باشد. اما با توجه به منحنی عملکرد قاب با بادبند دارای لقی که در شکل (۵) دیده می شود؛ کمانش بادبند در آخرین مرحله، بعد از اینکه قاب خمشی وارد مرحله پلاستیک شد اتفاق می افتد و مقدار برش پایه در لحظه کمانش بادبند در این حالت برابر با  $81597/2$  کیلوگرم است که حداکثر مقدار آن می باشد. برش پایه ای که در قاب با بادبند معمولی ایجاد می شود شامل دو قسمت است، قسمتی را قاب خمشی تحمل می نماید و باقیمانده آن بر عهده بادبند می باشد؛ که سهم بادبند از برش پایه برای هر دو حالت در شکل (۶) و (۷) آورده شده است.



شکل ۷: سهم بادبند فشاری دارای لقی از برش پایه

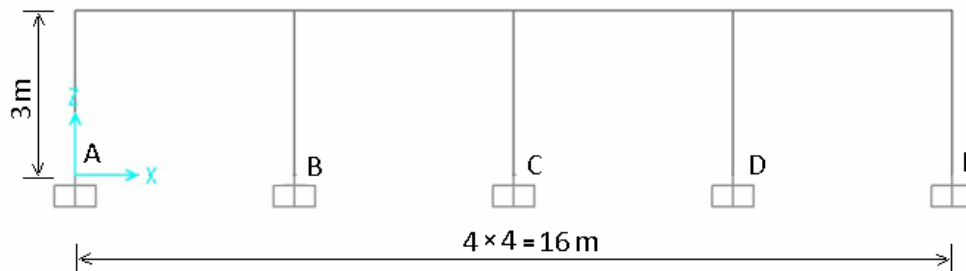


شکل ۶: سهم بادبند فشاری از برش پایه

بادبند بدون لقی در لحظه کمانش، مقدار  $4339/8$  کیلوگرم از برش پایه را تحمل می کند و مقدار  $3891/4$  کیلوگرم باقیمانده را هم قاب تحمل می کند. با کمانش بادبند، سختی سازه تقریباً نصف می شود. بعد از آن فقط سختی قاب خمشی در تحمل نیروی جانبی موثر می باشد. اما با ایجاد  $2/4$  سانتیمتر لقی، سهم بادبند از برش پایه، به مقدار بادبند معمولی می باشد؛ ولی کمانش در جابجایی جانبی  $3/189$  سانتیمتر اتفاق می افتد که شکل (۱۶) دیده می شود.

## 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 I98180 و تیر S199350 مطابق شکل (۸) بصورت چهار دهانه با ارتفاع سه متر می باشد.

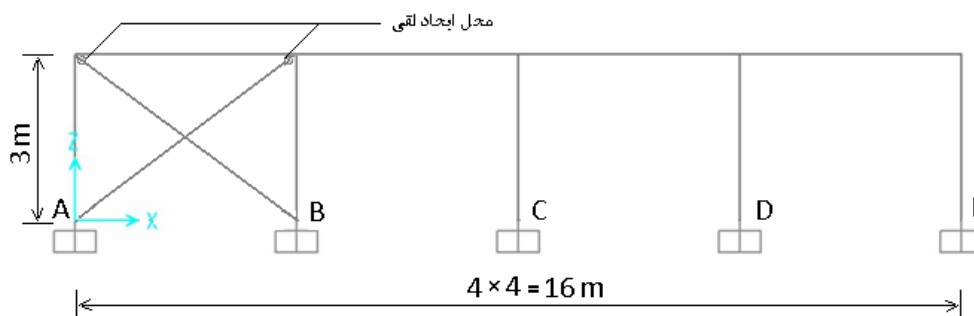


شکل ۸: قاب خمشی موجود

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 SUI980 بصورت ضربدری در دهانه اول استفاده شده است. با تحلیل سازه مذکور و طراحی آن طبق آیین نامه AISI-C201-A2D88 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 (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹: 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 بالابرنده 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 (kD)	حداکثر نیروی داخلی بادبند (kD)	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، در صورتیکه نسبت سختی بادبند به قاب خمشی از حدود ۱/۱ فراتر نرود؛ ایجاد لقی در بادبند مزایای زیر را به همراه خواهد داشت:

- ۱- بدلیل اینکه بادبند دارای لقی مدتی بعد از قاب خمشی بکار می افتد؛ لذا نیروی داخلی آن نیز نسبت به بادبند معمولی کمتر خواهد شد که علاوه بر کاهش مقطع بادبند، موجب کاهش نیروی بالا برنده در فونداسیون موجود نیز خواهد شد
- ۲- موجب افزایش تغییر مکان تسلیم و تغییر مکان نهایی سازه خواهد شد.
- ۳- باعث افزایش میزان جذب انرژی در سازه می شود.
- ۴- باعث به تعویق افتادن کمانش در بادبند فشاری می گردد.
- ۵- عدم نیاز به استفاده از مصالح خاصی که در اتصالات اصطکاکی نیاز می باشد. این امر موجب کاهش هزینه ها خواهد شد.

#### 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 filliatrault, A. "seismic resposns control of buildings using friction dampers" Earthquake Spectra, Vol 9, No. 3, 1993, PP. 447-466.
۶. رضا عباس نیا، روح اله هیزجی، " بررسی بادبندهای هم مرکز با استفاده از اتصال اصطکاکی همراه با لقی اولیه " اولین کنفرانس ملی مقاوم سازی و بهسازی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۵
۷. رضا عباس نیا، روح اله هیزجی، " بررسی عملکرد بادبندهای هم مرکز با لقی اولیه در قابهای خمشی " چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷
۸. "دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود" نشریه ۳۶۰، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، سال ۱۳۸۵