

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در بادبندهای دارای لقی

محمد علی کافی^۱، رضا عباس نیا^۲، روح الله هیزجی^۳

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. در این مقاله عملکرد بادبندهای هم مرکز با لقی اولیه در قاب خمشی، که به عنوان عنصر مقاوم خط دوم، بعد از قاب خمشی عمل می کنند، بررسی شده است. مطالعات و بررسی ها در این زمینه، نشان داده است 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 بارورده، پیوند 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.

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

مقدمه

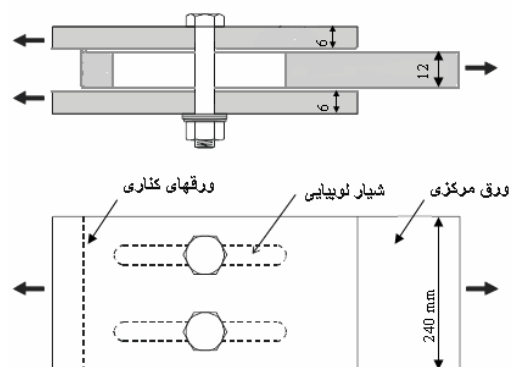
یکی از متداولترین روشهای مقاوم سازی قابهای خمشی، استفاده از بادبندهای هم مرکز می باشد، که هم اقتصادی بوده و هم بسادگی قابل اجراست؛ ولی مقاوم سازی با این روش مشکلاتی بهمراه دارد. مشکل اول اینکه بادبندهای هم مرکز شکل پذیر نیستند و سازگاری خوبی با قاب خمشی ندارند. بطوریکه ابتدا بادبندها باید بار جانبی را 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 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. 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].

روش پیشنهادی در این مقاله برای مقاوم سازی قابهای خمشی و کاهش نیروی بالا برنده، 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 این ترتیب نیروی داخلی بادبند کاهش یافته و نهایتاً منجر به کاهش نیروی بالا برنده در فونداسیون موجود خواهد شد. علاوه بر آن از ظرفیت قاب خمشی نیز به نحو

مطلوب استفاده خواهد شد. به جهت پی بردن به به منظور بررسی پارامترهای موثر در رفتار بادبند دارای لقی اولیه، بادبندهایی با سختی ها و مقادیر لقی متفاوت همراه با قاب خمشی، در نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده است. برای 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.

معرفی اتصال دارای لقی

در این مقاله هدف اصلی، بررسی تأثیر ایجاد لقی در بادبند و قاب می باشد. بنابراین هر نوع اتصالی که این هدف را برآورده سازد و در عمل قابل اجرا باشد می تواند استفاده شود. برای نمونه جزئیات یک نوع اتصال در این قسمت آورده شده است. این اتصال مانند اتصال اصطکاکی معمولی با ضریب اصطکاک صفر است که در شکل (۱) آورده شده است.

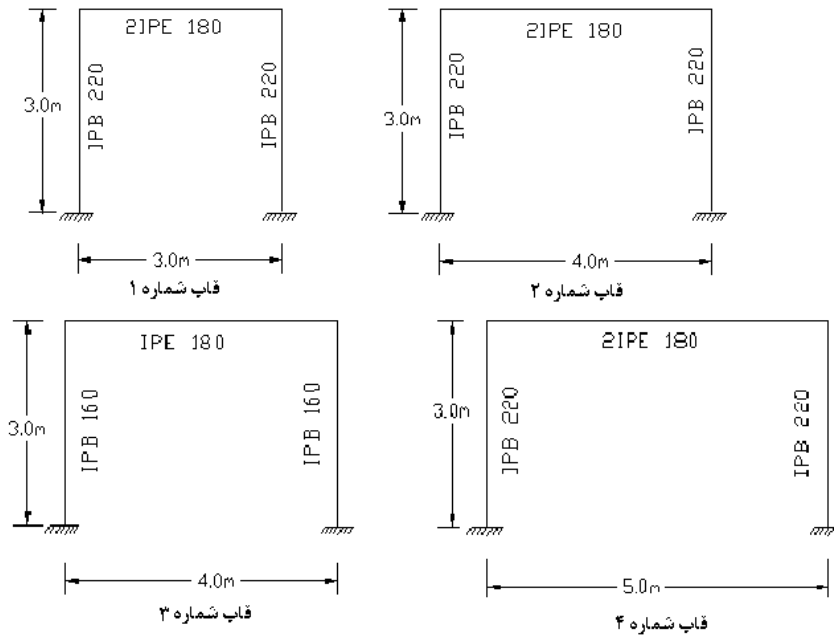


شکل ۱: اتصال لغزشی بدون اصطکاک

همانطور که در شکل (۱) دیده می شود اتصال مورد نظر، تشکیل شده است از یک ورق فولادی دارای دوشیار لوبیایی در وسط و دو ورق فولادی در بالا و پایین که با دو پیچ مقاومت بالا به ورق مرکزی متصل شده اند و اصطکاک بین آنها صفر می باشد. اندازه طول شیار لوبیایی در هر طرف پیچ، همان مقدار لقی می باشد. این اتصال در گوشه قاب قرار گرفته و از یک طرف به بادبند و از طرف دیگر به قاب متصل می باشد. در حالت معمولی پیچ در وسط شیار لوبیایی قرار دارد.

مشخصات قابهای مورد مطالعه

در این تحقیق، ۴ نوع قاب با بادبندهای دارای لقی مختلف مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفتند. بدلیل اینکه قابهای مورد مطالعه دارای یک درجه آزادی باشند تا تغییر شکل مودهای دیگر بر روی رفتار لقی، اثری نداشته باشند؛ این قابها همگی یک طبقه و یک درجه آزاد انتخاب شده اند. مشخصات کلی این قابها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: مشخصات قابهای تحلیل شده

قابهای نشان داده شده در شکل (۲) دارای طول دهانه متغیر، از سه تا پنج متر می باشند و از شماره یک تا چهار نام گذاری شده اند. همچنین این قابها طراحی نشده اند، بلکه در آنها از مقاطع متداول در صنعت ساختمان استفاده شده است. تیر این قابها تحت جرم یکنواخت 2 ton/m قرار داشته و بار جانبی بر آنها بصورت سینوسی با پیوندهای مختلف اثر می کند.

تحلیل تاریخچه زمانی

با توجه به اینکه در این تحقیق تمرکز بر روی بادبند های با اتصال دارای لقی می باشد، بنابراین بوجود آمدن نیروی ضربه در این گونه بادبندها قابل پیش بینی است. برای بررسی این موضوع لازم است که از تحلیل تاریخچه زمانی استفاده گردد. برای مشخص شدن پارامترهای موثر در مقدار نیروی ضربه در بادبند دارای لقی، قابهای نشان داده شده در شکل (۲) در حالت های گوناگون با نرم افزار SAP2000 مدل سازی و تحلیل شده اند (برای مدل سازی لقی از المانهای gap و hook بصورت موازی در محل اتصال بادبند به گوشه بالایی قاب، استفاده شده است). این حالات شامل میزان لقی های مختلف، بادبندهای با سختی متفاوت و همچنین با نیروی های جانبی مختلف می باشد. نهایتا پارامترهای مهم و تاثیر گذار به شرح زیر می باشد:

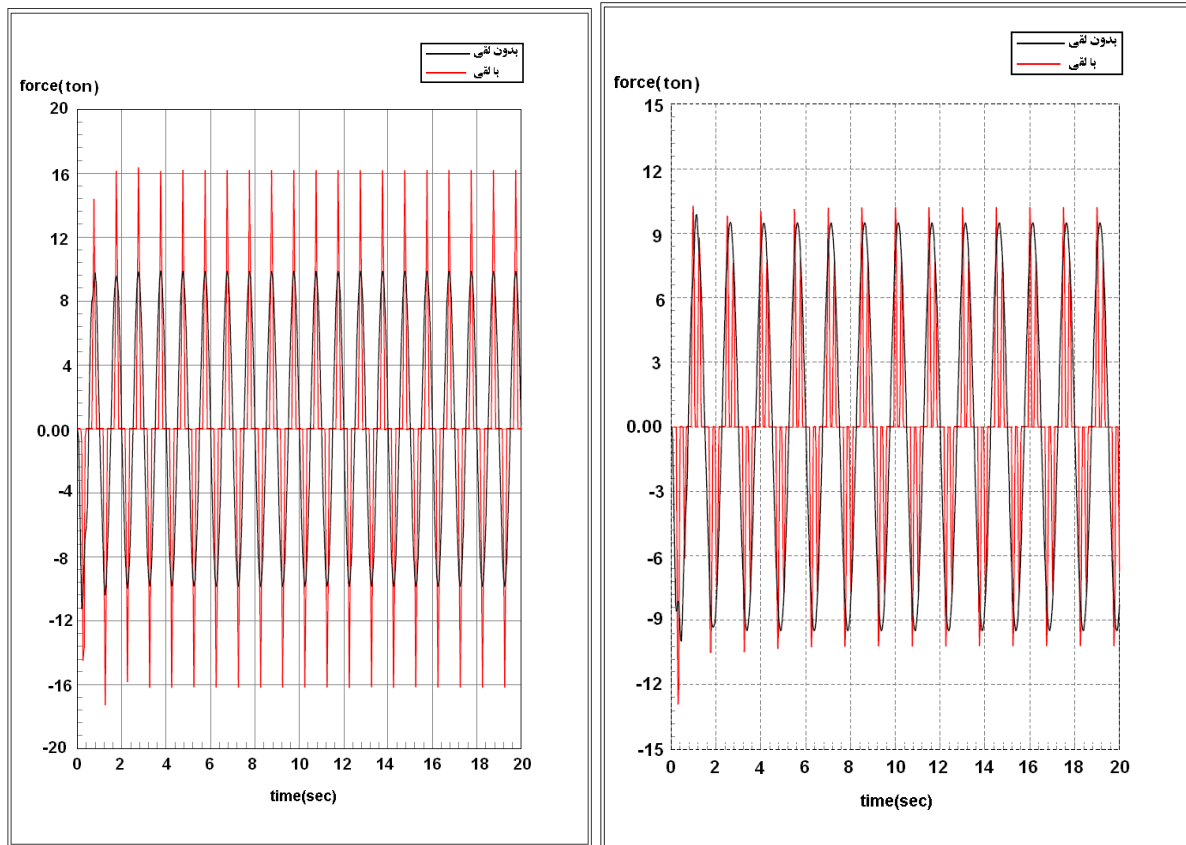
۱- مقدار نیروی جانبی

یکی از عوامل مهم در ایجاد ضربه و افزایش نیروی داخلی بادبند دارای لقی، بزرگی نیروی جانبی می باشد. هرچه نیروی جانبی بزرگتر باشد نیروی ضربه ایجاد شده در بادبند دارای لقی بیشتر است؛ به همین دلیل در تحلیل ها بدترین حالت، یعنی نیرویی که بادبند در آستانه جاری شدن قرار می گیرد، در نظر گرفته شده است.

۲- دوره تناوب بار وارده

یکی دیگر از عوامل مهم و موثر در ایجاد ضربه و افزایش نیروی داخلی بادبند دارای لقی، دوره تناوب بار وارده بر سازه می باشد. بطور کلی نزدیک بودن دوره تناوب بار وارده به پیوند اصلی سازه باعث ایجاد تشدید شده و برای سازه بسیار خطرناک می باشد. بنابراین در این قابها دوره تناوب بار وارده طوری انتخاب شده که در سازه تشدید ایجاد نشود.

به منظور پی بردن به تاثیر تغییرات پریود بار وارده در رفتار بادبند دارای لقی، قاب شماره یک که مهاربند آن دو عدد ناودانی نمره ۶ است؛ تحت بار سینوسی با دوره تناوبهای مختلف قرار گرفته است. این سازه با بادبند دارای ۵ میلیمتر لقی و بادبند معمولی، در نرم افزار SAP2000 مورد تحلیل تاریخیچه زمانی قرار گرفته که پریود اصلی آن ۰/۲۶ ثانیه می باشد. شکل (۳) نیروی داخلی بادبند را در حالت وجود لقی و بدون لقی تحت بار $8000\sin 2\pi t$ نشان می دهد. همچنین در اشکال (۴) تا (۶) دوره تناوب بار وارده تا ۳ ثانیه افزایش یافته است.

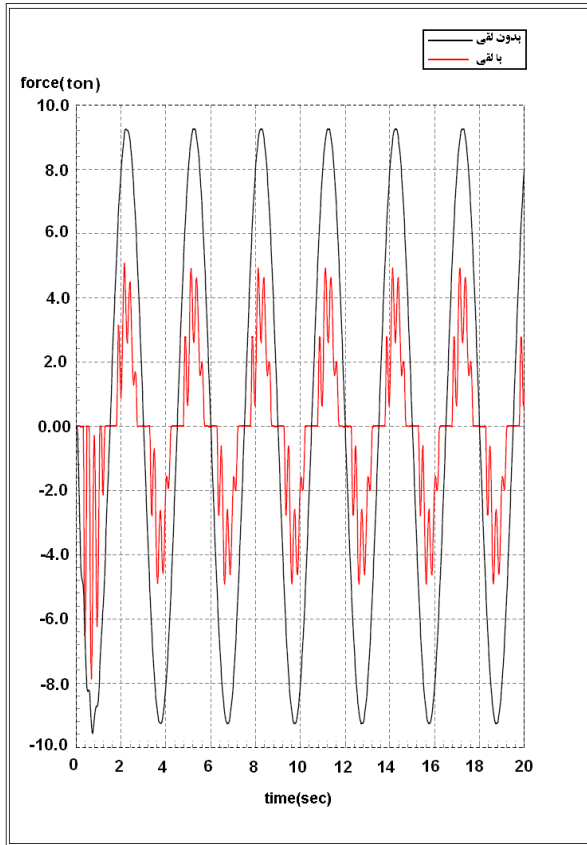


شکل ۴: نیروی داخلی بادبند با لقی و بدون لقی (پریود بار ۱/۵ ثانیه)

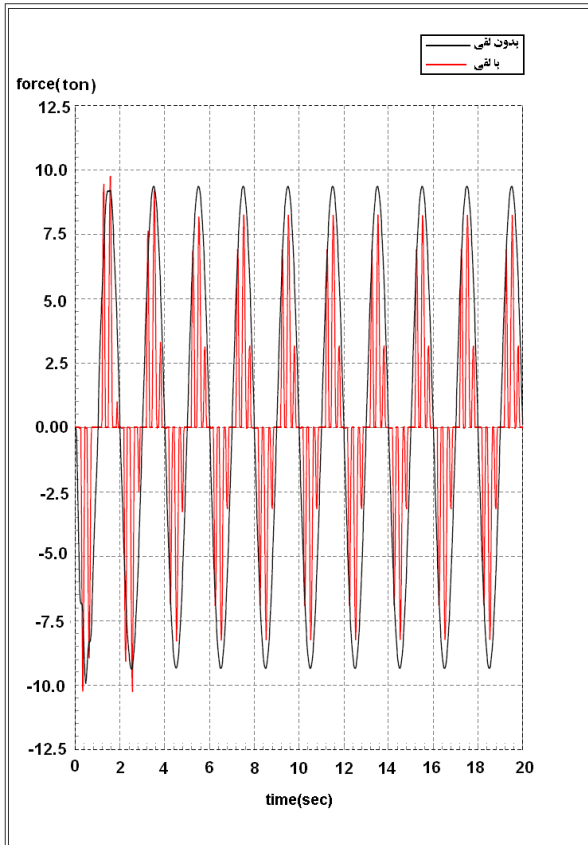
شکل ۳: نیروی داخلی بادبند با لقی و بدون لقی (پریود بار ۱ ثانیه)

با توجه به شکل (۴) دیده می شود که نیروی داخلی بادبند دارای لقی در هر نیم سیکل بار گذاری دارای دو ماکزیمم است؛ در صورتیکه بادبند بدون لقی دارای یک ماکزیمم می باشد. با مطالعه بر روی این موضوع مشخص گردید که وقتی پریود بار وارده بیش از ۴ برابر پریود اصلی سازه، باشد؛ این حالت اتفاق می افتد. بطوری که بعد از شروع حرکت جانبی سازه، پیچ اتصال بادبند به انتهای لقی رسیده و قاب به بادبند برخورد کرده و برمی گردد (یعنی حرکت جانبی سازه عکس می شود). در اثر این برخورد نیروی بزرگی در بادبند ایجاد می گردد که در شکل دیده می شود. بعد از اینکه سازه مقداری در جهت عکس حرکت کرد، چون هنوز بار وارده افزایشی است؛ لذا سازه مجدداً تغییر جهت داده و در جهت بار وارده حرکت می کند. به این ترتیب نیروی داخلی بادبند دارای لقی دارای دو ماکزیمم خواهد شد.

با افزایش پریود بار وارده تعداد ماکزیمم های ایجاد شده در نیروی داخلی بادبند دارای لقی نیز افزایش می یابد ولی از طرف دیگر نیروی ضربه بوجود آمده در بادبند دارای لقی کاهش می یابد که در اشکال (۵ و ۶) نشان داده شده است. زیرا رفتار بارگذاری دینامیکی به رفتار استاتیکی نزدیک می شود.



شکل ۶: نیروی داخلی بادبند با لقی و بدون لقی (پریود بار ۳ ثانیه)

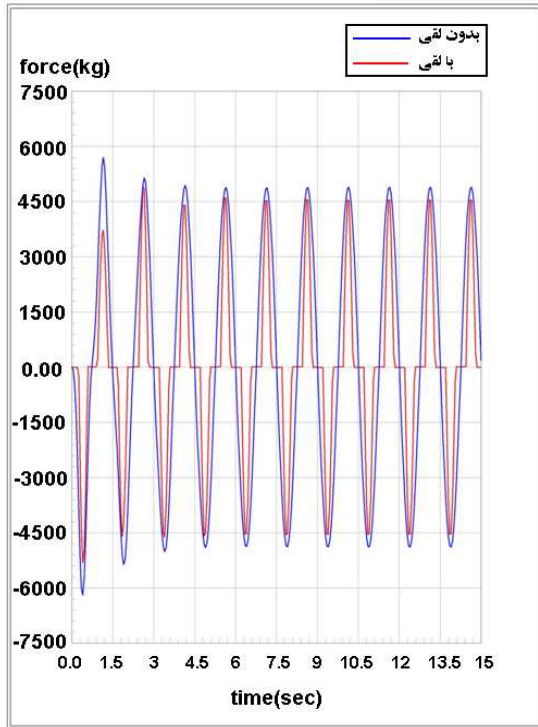


شکل ۵: نیروی داخلی بادبند با لقی و بدون لقی (پریود بار ۲ ثانیه)

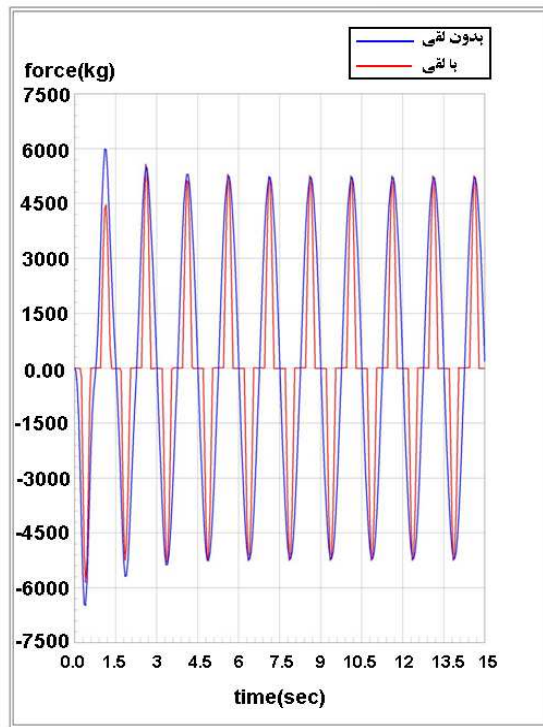
همانگونه که در شکل‌های ۴ تا ۶ مشاهده می شود با افزایش دوره تناوب بار وارده، مقدار نیروی ضربه ایجاد شده در بادبند داری لقی نیز کاهش می یابد که دلیل آن، افزایش تدریجی بار در هر سیکل می باشد. زیرا رفتار بار دینامیکی با افزایش پریود به بار استاتیکی نزدیک می شود. از آنجایی که در این تحقیق چون بیشتر بر روی نیروی ضربه ایجاد شده تمرکز شده است لذا در مراحل بعدی، بدترین حالت بارگذاری را انتخاب می شود، یعنی پریود بار وارده کمتر چهار برابر پریود اصلی سازه باشد تا بیشترین اثر ضربه را داشته باشد.

۳- نسبت سختی بادبند به قاب

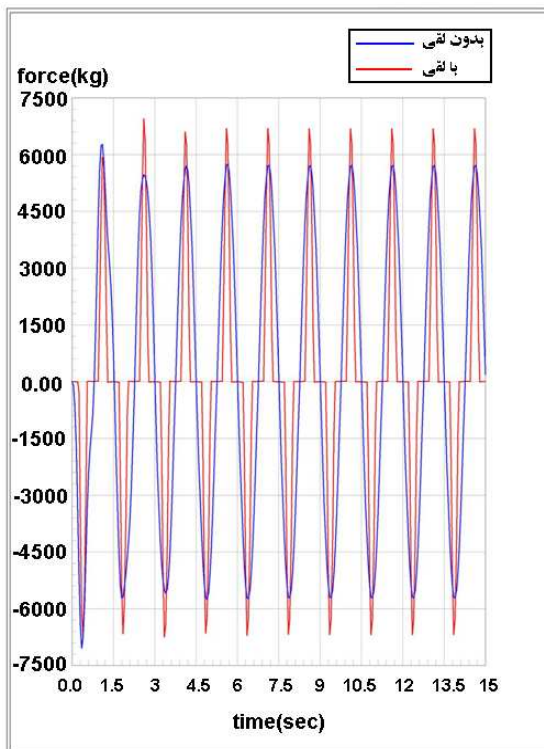
یکی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در مقدار نیروی داخلی بادبند داری لقی، نسبت سختی بادبند به سختی جانبی قاب خمشی می باشد. اگر سختی بادبند نسبت به قاب خمشی زیاد باشد، بادبند رفتار شبیه رفتار جسم صلب خواهد داشت. بنابراین از ابتدا می توان حدس زد که سختی بادبند نباید خیلی بیشتر از قاب خمشی باشد. برای بررسی این موضوع قاب شماره ۲ با بادبندهای مختلف که دارای ۵ میلیمتر لقی می باشند، تحلیل تاریخچه زمانی شد و نیروی داخلی بادبند ها که از نتایج تحلیل ها بدست آمده در حالت با لقی و بدون لقی در شکل (۷) آورده شده است. در این تحلیل ها سختی بادبند به ترتیب ۱، ۱/۲، ۱/۵ و ۲ برابر سختی قاب بوده است. بدلیل اینکه پریود اصلی سازه با این بادبندها در حدود ۰/۵ ثانیه می باشد لذا پریود بار وارده ۱/۵ ثانیه انتخاب شده است.



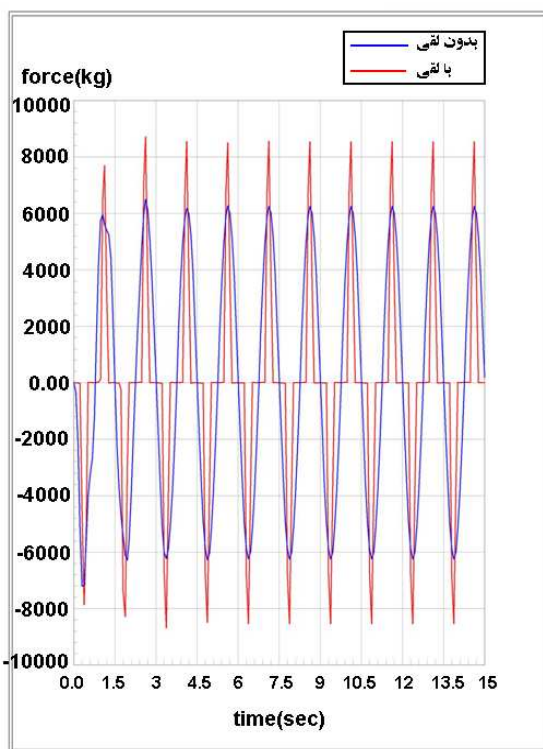
ب) سختی بادبند، $1/2$ برابر سختی قاب



الف) سختی بادبند، برابر با سختی قاب



د) سختی بادبند، 2 برابر سختی قاب



ج) سختی بادبند، $1/5$ برابر سختی قاب

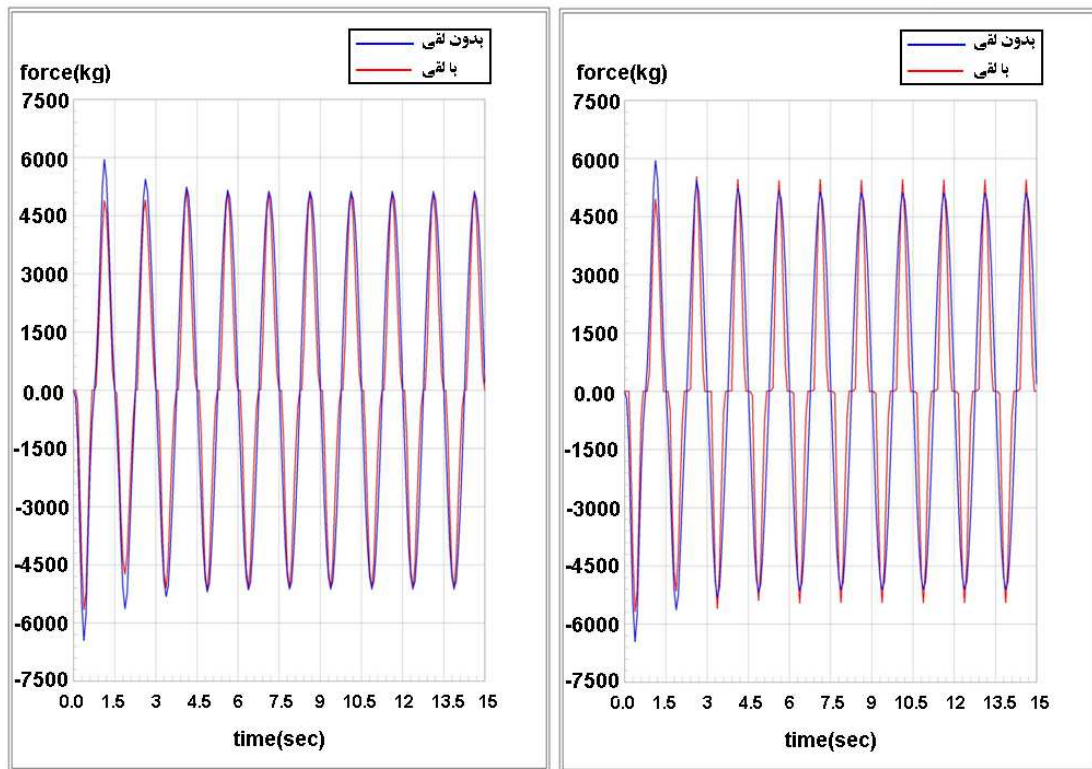
شکل ۷: مقایسه نیروی داخلی بادبند با سختیهای متفاوت در حالت بدون لقی و با لقی ۵ میلیمتر

با توجه به شکل (۷) مشاهده می شود که با افزایش نسبت سختی بادبند به قاب، نیروی داخلی بادبند دارای لقی افزایش پیدا می کند بطوری که در حالت "د" که نسبت سختی ۲ برابر است نیروی داخلی بادبند دارای لقی ۲۵ درصد بیشتر از حالت بدون لقی می باشد و حتی برای نسبت سختیهای بزرگتر نیروی ضربه ایجاد شده شدیدتر هم خواهد شد. اما برعکس برای حالت "الف" که سختی بادبند با قاب برابر است نیروی داخلی بادبند دارای لقی، ۸ درصد کمتر از حالت بدون لقی می باشد. لازم به توضیح است که نیروی جانبی وارده برابر با $7000\sin \frac{4}{3}\pi t$ می باشد که با این نیرو بادبندها در آستانه جاری شدن قرار می گیرند.

۴- مقدار لقی

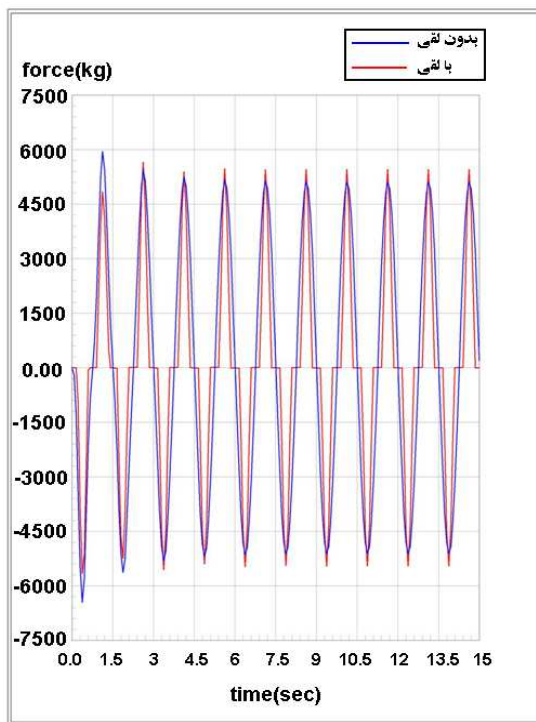
از عوامل مهم و تاثیر گذار دیگر که در ایجاد ضربه در بادبندهای دارای لقی مهم است؛ مقدار لقی ایجاد شده در اتصال بادبند می باشد. برای بررسی این موضوع مجدداً قاب شماره ۲ تحت همان نیروی جانبی که در قسمت قبلی اشاره شد؛ یعنی $7000\sin \frac{4}{3}\pi t$ قرار گرفته است. بادبند این قاب با

مقدار لقی های مختلف، از ۱ تا ۶ میلیمتر مورد تحلیل قرار گرفته است. این بار سختی بادبند $1/15$ برابر سختی جانبی قاب خمشی می باشد؛ دلیل آن هم برابر بودن نیروی داخلی بادبند در دو حالت بدون لقی و با مقدار لقی ۱ میلیمتر است. نتایج تحلیل های تاریخچه زمانی در شکل (۸) آورده شده است.

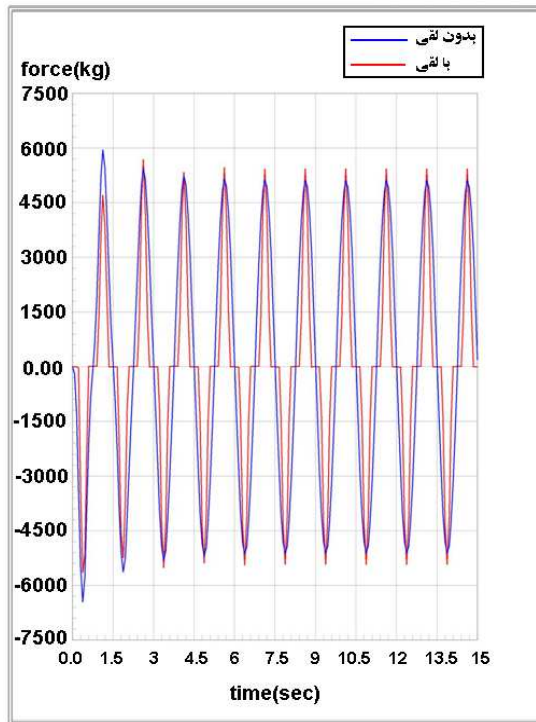


ب) ۲ میلیمتر لقی

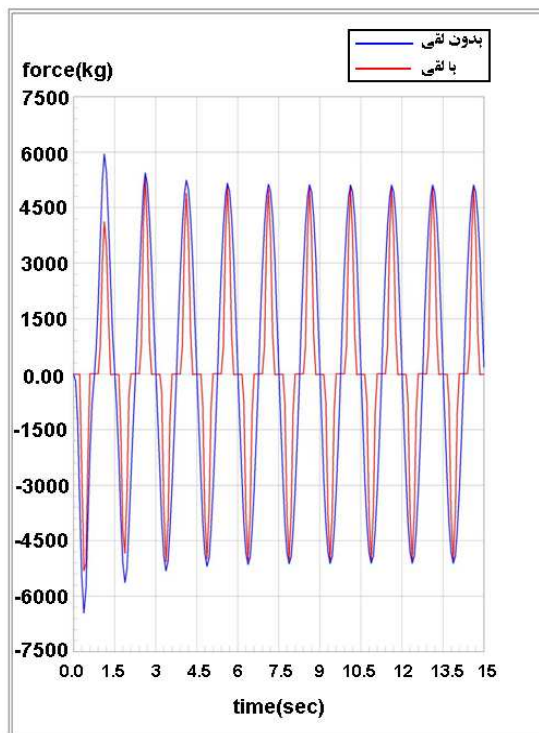
الف) ۱ میلیمتر لقی



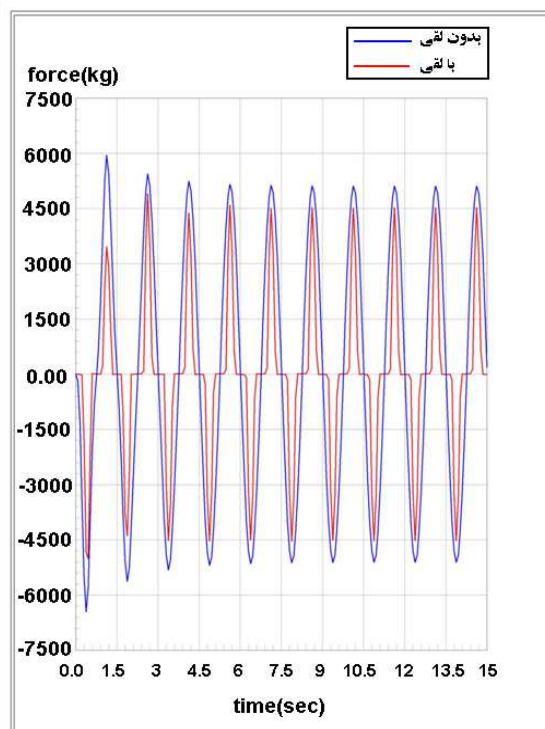
د) ۴ میلیمتر لقی



ج) ۳ میلیمتر لقی



و) ۶ میلیمتر لقی

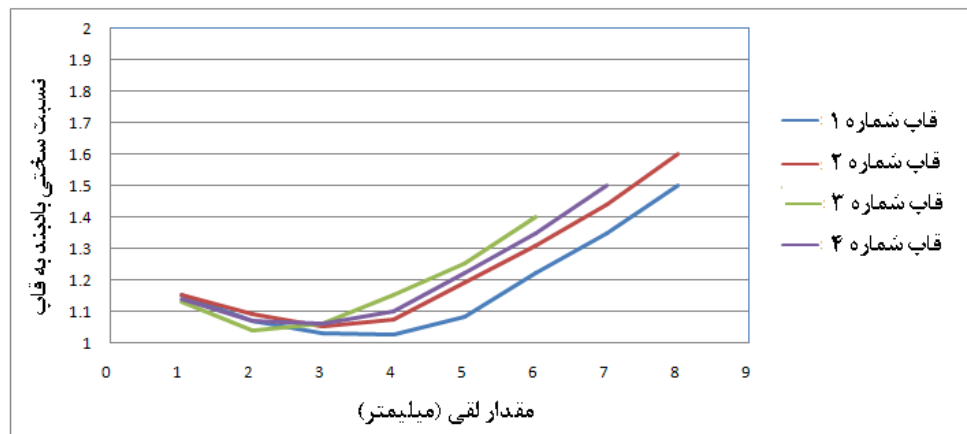


ه) ۵ میلیمتر لقی

شکل ۸: مقایسه نیروی داخلی بادنبد با لقی های متفاوت و سختی ثابت ۱۵/۱ برابر قاب خمشی

همان طور که در شکل (۸) مشاهده می شود ابتدا با افزایش لقی تا ۴ میلیمتر نیروی ضربه داخل بادبند اضافه می شود، سپس با افزایش لقی بیشتر از ۴ میلیمتر، مقدار نیروی ضربه داخل بادبند دارای لقی، کاهش می یابد. بطوری در ۶ میلیمتر لقی و بیشتر از آن نیروی اثر ضربه به شدت کاهش می یابد. به دلیل اینکه با افزایش مقدار لقی، عمده نیروی جانبی را قاب خمشی تحمل می کند و مقدار نیرویی که به بادبند می رسد کاهش یافته و اثر ضربه آن نیز بالطبع کاهش می یابد.

این تحلیل ها برای قابهای ۱ و ۳ و ۴ نیز انجام شده است و برای هر کدام حداکثر سختی مجاز بادبند نسبت به قاب (برای اینکه اثر ضربه حداقل شود) در ازا اندازه لقی رسم شده و بصورت مقایسه ای در نمودار شکل (۹) آورده شده است.



شکل ۹: نمودار حداکثر نسبت سختی بادبند به قاب برای اینکه نیروی داخلی بادبند دارای لقی، از بادبند معمولی بیشتر نشود

نمودار شکل (۹) نشان میدهد که رفتار هر چهار نوع قاب تقریباً مشابه است. چون سختی قاب شماره یک از بقیه بیشتر می باشد؛ پس بادبند قوی تری هم در مقایسه با بقیه دارد، لذا اثر ضربه هم نسبت به بقیه بیشتر است. قاب شماره ۳ کمترین سختی جانبی را در بین این گروه دارا می باشد و برعکس قاب ۱ می باشد. نتیجه این تحلیل ها نشان می دهد، برای اینکه مقدار نیروی ضربه در بادبند دارای لقی حداقل شود؛ باید نسبت سختی بادبند حداکثر، در حدود ۱/۱ برابر سختی جانبی باشد. البته همانطور که در شکل دیده می شود، برای اندازه لقی های بیشتر این نسبت به ۱/۵ برابر هم می رسد ولی مقدار ۱/۱ محافظه کارانه بوده و بهتر است.

با توجه به این موضوع می توان نتیجه گرفت که در سازه های دوگانه قاب خمشی همراه با مهاربند که از اتصالات پیچ و مهره ای استفاده شده است؛ لقی های اجتناب ناپذیری که در اتصالات بادبند ها بوجود می آیند، نگران کننده نمی باشند. مشروط بر اینکه سختی بادبند از ۱/۱ برابر سختی جانبی قاب بیشتر نباشد.

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:

- جهت جلوگیری از ایجاد نیروی ضربه در بادبند دارای لقی، باید نسبت سختی بادبند در حدود ۱/۱ برابر سختی جانبی قاب خمشی باشد. این نسبت سختی برای بدترین حالت ممکن می باشد
- با افزایش پریود بار وارده، بیش از چهار برابر پریود اصلی سازه، از شدت نیروی ضربه در بادبند دارای لقی کاسته خواهد شد. ولی نیروی داخلی بادبند دارای لقی، در هر نیم سیکل دارای چند ماکزیمم خواهد بود (هرچه پریود بار وارده بیشتر باشد تعداد ماکزیمم های نیروی داخلی نیز بیشتر خواهند شد).

۳- برای قابهای مطالعه شده در این مقاله، با افزایش مقدار لقی تا حدود ۳ یا ۴ میلیمتر نیروی ضربه ایجاد شده در بادبند دارای لقی افزایش می یابد و پس از آن نیروی ضربه کاهش خواهد یافت.

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 respons control of buildings using friction dampers" Earthquake Spectra, Vol 9, No. 3, 1993, PP. 447-466.