مهندسی عمران شریف
دوره‌ی ۲-۲۷، شماره‌ی ۲، ص. ۱۲۷-۱۳۲، (یادداشت فنی)

بررسی عوامل مؤثر بر ضربه‌ی ایجادشده در قاب‌های خمشی فولادی دوبعدی با بادبندهای لق هم‌گرا

رضا عباس‌نیا (دانشیار)
روح‌الله هیزجی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

با توجه به نیاز روزافزون مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، روش‌های مختلفی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌هایی که با قاب خمشی ساخته شده‌اند و در برابر زلزله مقاومت کافی ندارند، ارائه شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از بادبندهای هم‌مرکز است که به‌لحاظ اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه است. اما بادبندهای هم‌مرکز از شکل‌پذیری کمی برخوردارند و هنگام به‌کارگیری آنها برای مقاوم‌سازی در قاب‌های خمشی، علاوه بر لزوم مقاوم‌سازی آنها، شکل‌پذیری سازه را کاهش می‌دهند و نیز منجر به ایجاد نیروی بالابرنده در فونداسیون موجود قاب خواهند شد. در دو دهه‌ی اخیر تحقیقات زیادی برای اصلاح شکل‌پذیری بادبندها صورت گرفته است و راه‌حل‌هایی هم پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های پیشنهادی برای بهبود عملکرد بادبندهای هم‌مرکز، ایجاد لقی در اتصال بادبند است که در این نوشتار مورد بررسی قرار گرفته است. از مشکلات بادبندهای دارای لقی، ایجاد نیروی ضربه در بادبند است. مطالعات و تحلیل‌های انجام‌شده روی چند قاب مختلف نشان می‌دهد که نسبت سختی بادبند به قاب، دوره‌ی تناوب بار وارده و مقدار لقی از پارامترهای مهم در ایجاد نیروی ضربه در بادبند دارای لقی هستند. همچنین نتایج تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که با محدودکردن نسبت سختی بادبند به قاب، نیروی ضربه کمینه می‌شود و تأثیر منفی در سازه نخواهد داشت. بنابراین با رعایت محدودیت نسبت سختی، ضمن ایجاد لقی در اتصال بادبند، نیروی داخلی بادبند نیز کاهش می‌یابد و سبب کاهش نیروی بالابرنده در فونداسیون موجود می‌شود. همچنین از ظرفیت خمشی قاب نیز به‌نحو مطلوب استفاده خواهد شد.

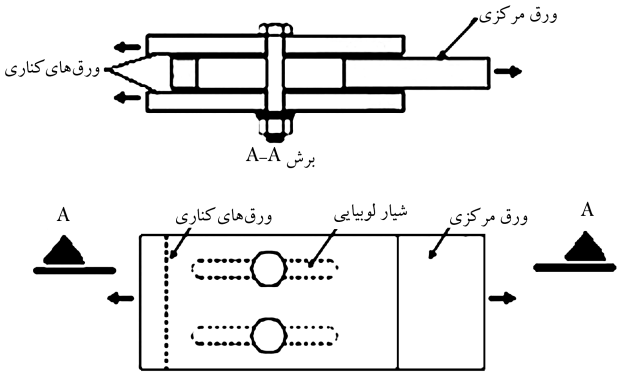
واژگان کلیدی: بادبند هم‌مرکز، لقی، شکل‌پذیری، مقاوم‌سازی.

abbasnia@iust.ac.ir
Hizajir@gmail.com

۱. مقدمه

یکی از متداول‌ترین روش‌های مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی، استفاده از بادبندهای هم‌مرکز است که هم اقتصادی است و هم به‌سادگی قابل اجراست. اما مقاوم‌سازی با این روش مشکلاتی نیز به همراه دارد: نخست این که بادبندهای هم‌مرکز شکل‌پذیر نیستند و سازگاری خوبی با قاب خمشی ندارند، به‌طوری که در جریان زلزله، بادبندها به‌دلیل برخورداری از سختی بالاتر متحمل قسمت عمده‌یی از بار جانبی می‌شوند. درصورت کمانش این بادبندها، قاب خمشی مجبور به تحمل تمام بار خواهد شد و اگر قاب برای این مقدار نیرو طراحی نشده باشد گسیخته شده و تلفات جانی و مالی بسیاری در بر خواهد داشت. مشکل دیگر، ایجاد نیروی بالابرنده در فونداسیون متصل به بادبند است. از این رو به‌منظور رفع ضعف بادبندهای هم‌مرکز و تأمین شکل‌پذیری مطلوب آنها، در چند سال اخیر تحقیقات گسترده‌یی توسط محققین انجام گرفته است. در اغلب این تحقیقات درجهت بهبود میزان شکل‌پذیری بادبندهای هم‌مرکز تلاش شده است. در همین راستا، در سال ۱۹۸۰ استفاده از غلاف برای جلوگیری از کمانش بادبندها پیشنهاد شد. با این روش بادبند در فشار نیز جاری شده و درنتیجه باعث جذب انرژی بالایی خواهد شد.[۱و۲] به‌کارگیری بادبندهای زانویی نیز به‌عنوان یک روش مناسب دیگر برای بهبود شکل‌پذیری سازه معرفی شده است.[۳] در این روش مقدار سختی و زاویه‌ی المان زانویی از پارامترهای مهم در عملکرد المان است.[۴] ازجمله مطالعات دیگر در این زمینه می‌توان به استفاده از کنترل‌کننده‌ها (فیوزها) اشاره کرد که خود به چند دسته‌ی خمشی، برشی، پیچشی و محوری تقسیم می‌شوند. این المان‌ها در بادبند مانند فیوز عمل کرده و قبل از کمانش بادبند تسلیم و سبب رفع کمانش از بادبند می‌شوند؛ علاوه بر این موجب تمرکز خرابی در نقطه‌ی مشخصی از سازه نیز می‌شوند.[۲] المان حلقوی شکل‌پذیر که در انتهای بادبند قطری قرار می‌گیرد نمونه‌یی از این فیوزهاست.[۵] همچنین فیوزها به‌صورت

تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۳/۳، اصلاحیه ۱۳۸۸/۱۱/۱۴، پذیرش ۱۳۸۹/۵/۸.



شکل ۱. اتصال دارای لقی.

مثلثی و X شکل در بادبندهای شورن معکوس و به‌شکل قاب‌های مستطیلی در وسط بادبندهای ضربدری به‌کار برده می‌شوند.[۶و۷] همچنین تحقیقات و آزمایش‌های زیادی نیز درمورد استفاده از اتصالات اصطکاکی انجام شده و نمونه‌های متفاوتی از آنها نیز در سازه‌ها مورد استفاده قرارگرفته‌اند.[۸و۹]

در این نوشتار استفاده از بادبندهای هم‌مرکز با لقی اولیه به‌منظور مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی پیشنهاد می‌شود. لقی اولیه در بادبند باعث می‌شود ابتدا قاب خمشی بار جانبی را تحمل کند و سپس بادبند به‌عنوان عنصر مقاوم خط دوم وارد عمل شود. به این‌ترتیب نیروی داخلی بادبند کاهش می‌یابد و نهایتاً منجر به کاهش نیروی بالابرنده در فونداسیون موجود خواهد شد. علاوه بر آن از ظرفیت قاب خمشی نیز به‌نحو مطلوب استفاده می‌شود.[۱۰] به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر در رفتار بادبند دارای لقی اولیه، بادبندهایی با سختی‌ها و مقادیر لقی اولیه‌ی متفاوت همراه با قاب خمشی، مدل‌سازی شد و تأثیر پارامترهای اندازه لقی و میزان سختی بادبند روی قاب خمشی، با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی و ایستای غیرخطی روی این مدل‌ها بررسی شده است.

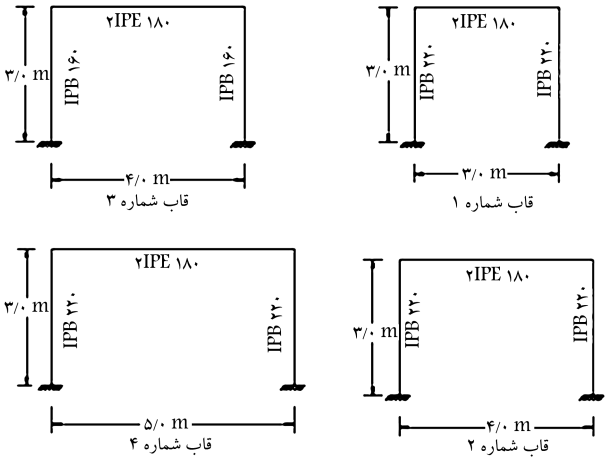
برای ایجاد لقی در اتصال بادبند می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد. در شکل ۱ جزئیات یک نمونه از اتصال دارای لقی ارائه شده است. ضریب اصطکاک در این اتصال، مانند اتصال اصطکاکیِ معمولی، معادل صفر است.

چنان که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، اتصال مورد نظر از یک ورق فولادی مرکزیِ دارای دو شیار لوبیایی در وسط، و دو ورق فولادی در بالا و پایین تشکیل شده که با دو پیچ مقاومت بالا به ورق مرکزی متصل شده و اصطکاک بین آنها صفر است. اندازه‌ی طول شیار لوبیایی در هر طرف پیچ، همان مقدار لقی است. لازم به توضیح است که تعداد شیارها با توجه به تعداد پیچ‌ها تعیین می‌شود. این اتصال درگوشه‌ی قاب قرارگرفته و از یک طرف به بادبند و از طرف دیگر به قاب متصل می‌شود و در حالت معمولی پیچ در وسط شیار لوبیایی قرار دارد.

۲. مشخصات قاب‌های مورد مطالعه

در این تحقیق چهار نوع قاب با بادبندهایی که اندازه‌ی لقی‌شان متفاوت است، مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرارگرفته‌اند. به‌منظور حذف اثر تغییر شکل مودهای دیگر بر رفتار لقی، قاب‌های مورد مطالعه به‌صورت یک‌درجه آزادی انتخاب شده‌اند. براین اساس، قاب‌های مذکور به‌صورت یک‌طبقه انتخاب شده‌اند. مشخصات کلی این قاب‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

طول دهانه‌ی قاب‌های نشان داده شده در شکل ۲، از سه تا پنج‌متر متغیر



شکل ۲. مشخصات قاب‌های تحلیل‌شده.

است. در این قاب‌ها اتصال تیر به ستون به‌صورت گیردار، و اتصال مهاربند به‌صورت مفصلی است. مقاطع آنها از پروفیل‌های معمولِ مورد استفاده در ساختمان‌ها انتخاب، و از شماره ۱ تا ۴ نام‌گذاری شده‌اند. تیر این قاب‌ها تحت جرم یکنواخت طول ــ معادل ۲ تن بر متر ــ قرارگرفته و بار جانبی به‌صورت سینوسی با دوره‌ی تناوب‌های مختلف بر آنها وارد شده است.

۳. بررسی نتایج

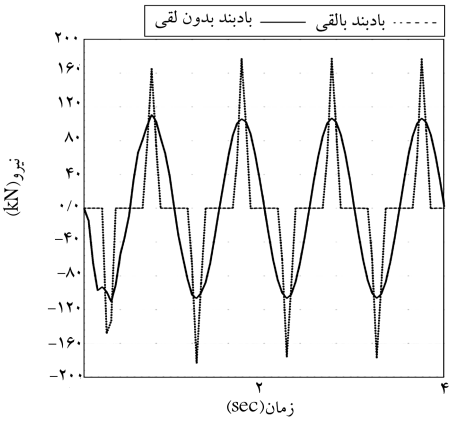
قاب‌های مورد مطالعه با تغییر پارامترهای ذکرشده، یک مرتبه با بادبند بدون لقی و بار دیگر با بادبند دارای لقی، در شرایط کاملاً یکسان تحلیل شده و تأثیر هرکدام مورد بررسی قرارگرفته است.

۱.۳. دوره‌ی تناوب بار وارده

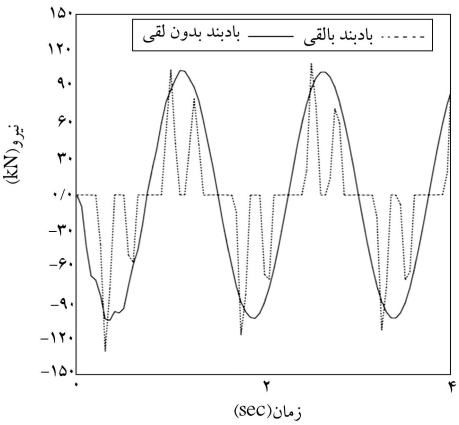
برای بررسی تأثیر تغییرات دوره‌ی تناوب بار وارده در رفتار بادبند دارای لقی، قاب شماره ۱ همراه با دو عدد ناودانی نمره ۶ به‌عنوان بادبند، تحت بار سینوسی با دوره‌ی تناوب‌های مختلف قرارگرفته است. در این حالت دوره تناوب اصلی سازه برابر با ۰/۲۶ است. این سازه در دو حالت بادبند دارای ۵ میلی‌متر لقی و بادبند معمولی، در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ و در حالت خطی تحلیل شده است. شکل ۳ نیروی داخلی بادبند را با احتساب لقی و همچنین بدون لقی تحت بار $۸۰۰۰\sin۲\pi t$ نشان می‌دهد. این مقدار بیشینه باری است که بادبند می‌تواند تحمل کند. لازم به ذکر است که در این حالت دوره‌ی تناوب بار ۱ ثانیه است. در شکل‌های ۴ تا ۵ نیروی داخلی بادبندها تحت نیروی ذکرشده با دوره‌ی تناوب ۱/۵، ۲ و ۳ ثانیه ارائه شده است.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که مقدار نیروی بادبند دارای لقی، درحدود ۵۰ در صد بیشتر از نیروی بادبند معمولی است که علت این افزایش، وجود نیروی ضربه است.

چنان که در شکل ۴ دیده می‌شود، نیروی داخلی بادبند دارای لقی در هر نیم‌دوره بارگذاری، دارای دو بیشینه است؛ این در حالی است که بادبند بدون لقی فقط یک بیشینه دارد. با مطالعه‌ی این موضوع مشخص شد هنگامی که دوره‌ی تناوب بارواردہ بیش از ۴ برابر دوره‌ی تناوب اصلی سازه باشد، نیرو در نیم‌دور دارای دو قله خواهد بود. به‌طوری که بعد از شروع حرکت جانبی سازه، پیچ اتصال بادبند به انتهای لقی می‌رسد و قاب پس از برخورد به بادبند برمی‌گردد، یعنی حرکت جانبی سازه معکوس



شکل ۳. نیروی داخلی بادبند دارای لقی و بدون لقی (دوره تناوب بار وارده ۱ ثانیه).



شکل ۴. نیروی داخلی بادبند دارای لقی و بدون لقی (دوره‌ی تناوب بار وارده ۱٫۵ ثانیه).

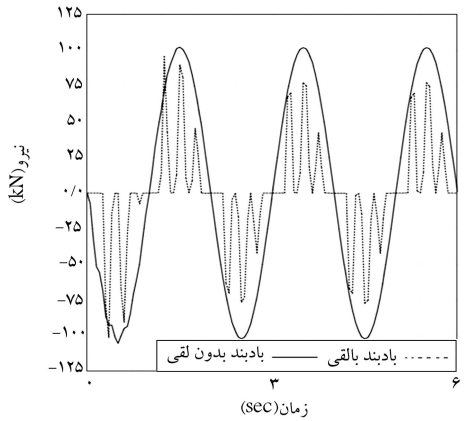
می‌شود. از آنجا که هنوز بار وارده بر سازه افزایشی است، جهت حرکت آن را تغییر خواهد داد و به این‌ترتیب نیروی داخلی بادبند دارای لقی دارای دو بیشینه خواهد بود.

با افزایش دوره‌ی تناوب بار وارده، تعداد بیشینه‌های ایجادشده در نیروی داخلی بادبندِ دارای لقی افزایش می‌یابد؛ از طرف دیگر نیروی ضربه‌ی ایجادشده در بادبندِ دارای لقی کاهش می‌یابد (شکل‌های ۵ و ۶) علت کاهش نیروی ضربه، کاهش تدریجی اثر دینامیکی بار بر سازه براثر افزایش دوره‌ی تناوب بار است.

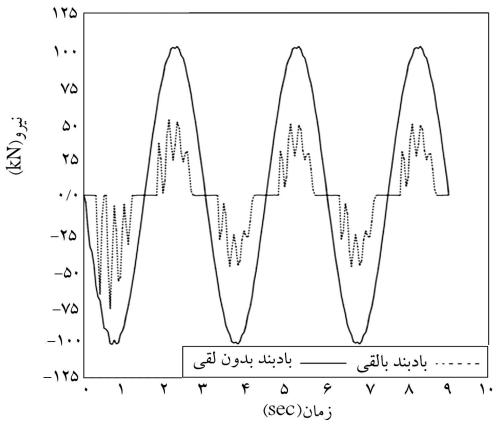
این مطالعه بیشتر متمرکز است بر نیروی ضربه‌ی ایجاد شده و بنابراین، در مراحل بعدی از بدترین حالت بارگذاری استفاده می‌شود، به‌عبارت دیگر دوره‌ی تناوب بار وارده کم‌تر از ۴ برابرِ دوره‌ی تناوب اصلی سازه در نظرگرفته می‌شود تا بیشترین اثر ضربه را داشته باشد.

۲.۳. نسبت سختی بادبند به قاب

یکی دیگر از پارامترهای بررسی‌شده، نسبت سختی بادبند به سختی جانبی قاب خمشی است. به‌طورکلی اگر سختی بادبند نسبت به قاب خمشی زیاد باشد، بادبند رفتاری مشابه جسم صلب خواهد داشت. برای بررسی این موضوع، قاب‌های مذکور با بادبندهای دارای سختی‌های متفاوت که ۵ میلی‌متر لقی دارند، تحلیل تاریخچه زمانی شده‌اند. شکل ۷ نیروی داخلی بادبند مربوط به قاب شماره ۲ را تحت نیروی جانبی $۷۰۰۰\,\mathrm{Sin}۳/۴\pi t$ در حالت لقی و بدون لقی نشان می‌دهد. در این تحلیل‌ها، سختی بادبند به‌ترتیب ۱، ۱٫۲، ۱٫۵ و ۲ برابر سختی قاب در نظرگرفته



شکل ۵. نیروی داخلی بادبندِ دارای لقی و بدون لقی (دوره‌ی تناوب بار وارده ۲ ثانیه است).



شکل ۶. نیروی داخلی بادبند دارای لقی و بدون لقی (دوره‌ی تناوب بار وارده ۳ ثانیه است).

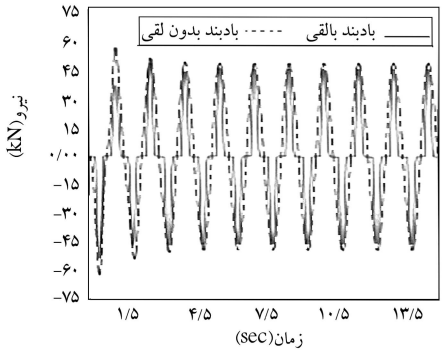
شده است. از آنجا که دوره‌ی تناوب اصلی سازه‌ی قاب شماره ۲ با این بادبندها در حدود ۰٫۵ ثانیه است، لذا دوره‌ی تناوب بار وارده ۱٫۵ ثانیه انتخاب شده است که کم‌تر از ۴ برابر دوره‌ی تناوب سازه است.

با دقت در شکل ۷ مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت سختی بادبند به قاب، نیروی داخلی بادبندِ دارای لقی افزایش می‌یابد، به‌طوری که در حالت «د» که نسبت سختی بادبند ۲ برابر سختی قاب است، نیروی داخلی بادبندِ دارای لقی ۲۵ درصد بیشتر از حالتِ بدون لقی است. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که برای نسبت سختی‌های بزرگ‌تر، نیروی ضربه‌ی ایجادشده شدیدتر از حالت قبل نیز خواهد بود؛ اما برای حالت «الف» که سختی بادبند با قاب برابر است، نیروی داخلی بادبندِ دارای لقی ۸ درصد کم‌تر از حالت بدون لقی است.

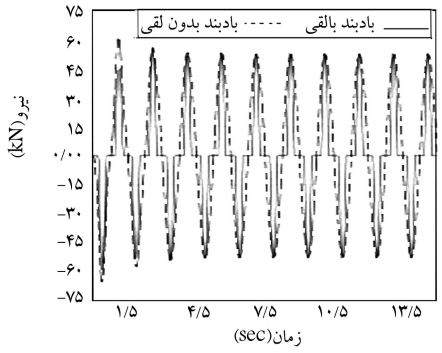
۳.۳. تأثیر مقدار لقی

مقدار لقی ایجادشده در اتصال بادبند از دیگر عواملِ مورد مطالعه است. برای بررسی این موضوع، مجدداً قاب‌های مورد مطالعه تحت نیروی جانبی سینوسی و با مقادیر لقی مختلف تحلیل شده‌اند. در شکل ۸ نتایج تحلیل مربوط به نیروی داخلی بادبندی با لقی‌های ۱ تا ۶ میلی‌متر و بادبندی بدون لقی در قاب شماره ۲ به‌صورت مقایسه‌یی نشان داده شده است.

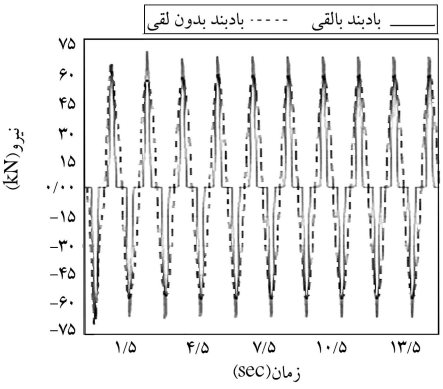
چنان که در شکل ۸ دیده می‌شود، ابتدا با افزایش لقی تا ۴ میلی‌متر نیروی



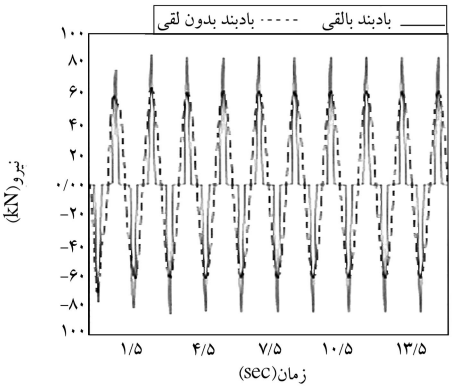
الف) سختی بادبند برابر با سختی قاب؛



ب) سختی بابند، ۱/۲ برابر سختی قاب؛

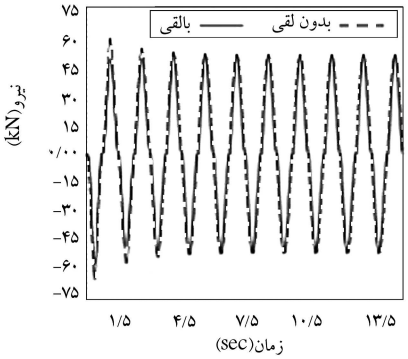


ج) سختی بادبند، ۱/۵ برابر سختی قاب؛

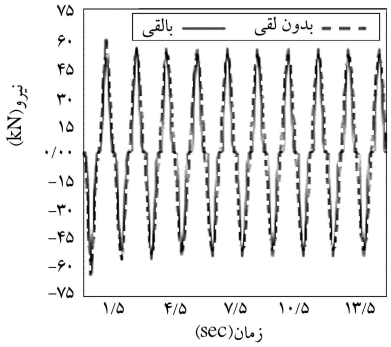


د) سختی بادبند، ۲برابر سختی قاب.

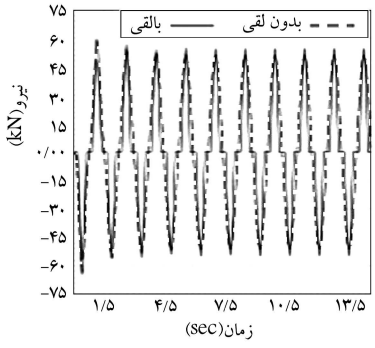
شکل ۷. مقایسه‌ی نیروی داخلی بادبند با سختی‌های متفاوت در حالت بدون لقی و با لقی ۵ میلی‌متر.



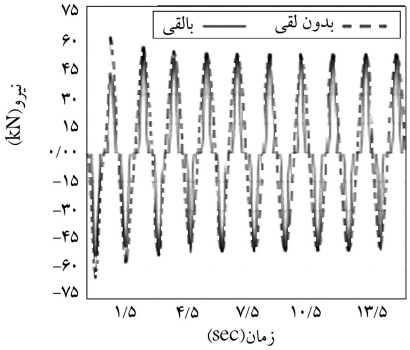
الف) ۱ میلیمتر لقی؛



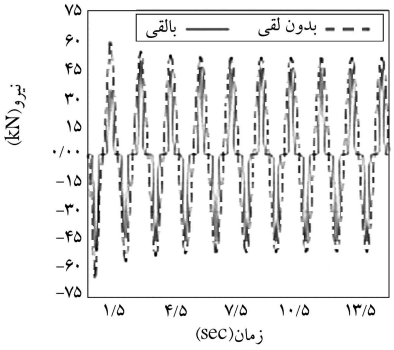
ب) ۲ میلیمتر لقی؛



ج) ۳ میلیمتر لقی؛



د) ۵ میلیمتر لقی؛



ه) ۶ میلیمتر لقی.

شکل ۸. مقایسه‌ی نیروی داخلی بادبند با لقی‌های متفاوت و سختی ثابت ۱/۱۵ برابر قاب خمشی.

ضربه‌ی داخل بادبند افزایش می‌یابد؛ سپس با افزایش لقی به بیشتر از ۴ میلی‌متر، نیروی ضربه‌ی داخل بادبندِ دارای لقی کاهش می‌یابد، به‌طوری که در ۶ میلی‌متر لقی و بیشتر از آن نیروی اثر ضربه به‌شدت کاهش می‌یابد. نتایج تحلیل‌های انجام‌شده برای هر چهار قاب مشابه است و می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده‌ی مطالعات انجام‌شده در این مقاله، برای این که نیروی ضربه در بادبند دارای لقی کمینه شود لازم است نسبت سختی بادبند بیشینه، در حدود ۱/۱ تا ۱/۲ برابر سختی جانبی قاب در نظر گرفته شود.

۴. تأثیر بادبند دارای لقی در منحنی عملکرد سازه

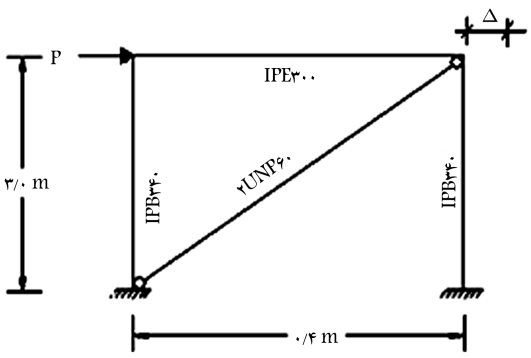
چنان که پیش‌تر نیز اشاره شد، برای کمینه‌کردن نیروی ضربه باید سختی بادبند درحدود ۱/۱ برابر سختی جانبی قاب باشد. در این قسمت از تحقیق، به‌جای استفاده از یک سازه‌ی معمولی چنددهانه از قاب یک‌دهانه ولی با سختی بالا، معادل یک قاب معمولی پنج دهانه، استفاده شده است. برای مهاربندی این قاب، دو عدد پروفیل ناودانی نمره ۶ که سختی‌شان درحدود سختی جانبی قاب است، انتخاب شده است (شکل ۹).

مفصل‌های خمیری در این قاب مطابق با «دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی ساختمان‌های موجود»[۱۱] مدل‌سازی شده است. اولین مفصل خمیری قاب در جابه‌جایی ۳/۱ سانتی‌متر تشکیل می‌شود. لذا میزان لقی که برای بادبند این قاب در نظر گرفته شده است برابر با ۲/۴ سانتی‌متر در جهت قطری بادبند است که در راستای افقی برابر با ۳/۱ سانتی‌متر خواهد بود. بنابراین، هم‌زمان با تشکیل اولین مفصل خمیری در قاب، بادبند فعال شده و سختی از دست‌رفته‌ی قاب جبران می‌شود.

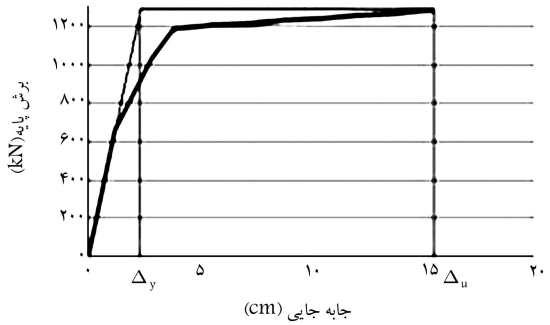
۱.۴. بررسی رفتار سازه با بادبند تحت کشش

به‌منظور بررسی رفتار سازه هنگامی که بادبند تحت کشش قرار می‌گیرد، قاب شکل ۹ با بادبند معمولی و بادبند دارای لقی ۲/۴، مورد تحلیل ایستای غیرخطی مصالح قرارگرفته و منحنی عملکرد آن برای هر دو حالت در شکل ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

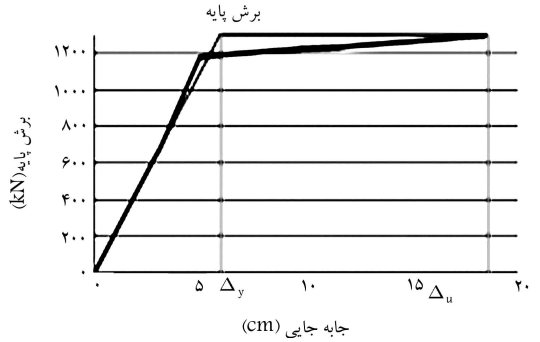
توجه به منحنی‌های عملکرد آشکار می‌سازد که مقدار جابه‌جایی نهایی سازه با بادبند دارای لقی، برابر با ۱۸/۴ سانتی‌متر است، درحالی که تغییر مکان نهایی سازه با بادبند معمولی برابر با ۱۵/۴۵ سانتی‌متر است. در این صورت تغییر مکان نهایی سازه با بادبند دارای لقی ۲/۹۵ سانتی‌متر افزایش می‌یابد و درنتیجه منجر به افزایش جذب انرژی توسط قاب خواهد شد. مساحت زیر منحنی نیرو ـ جابه‌جایی در قاب با بادبند دارای لقی برابر با ۱۹۹/۸KN.m است. درصورتی که این مساحت درقاب



شکل ۹. مشخصات قاب خمشی همراه با بادبند.



شکل ۱۰. منحنی عملکرد سازه با بابند معمولی.



شکل ۱۱. منحنی عملکرد سازه با بادبند دارای ۲/۴ cm لقی.

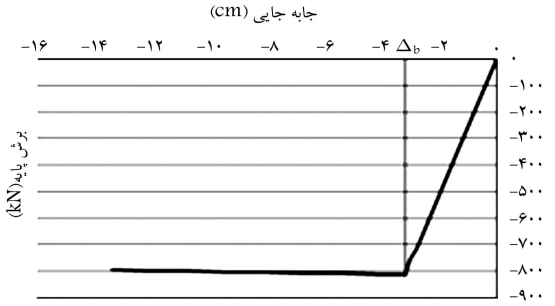
با بادبند بدون لقی (معمولی) برابر با ۱۷۷/۴KN.m است. میزان انرژی جذب‌شده در این سازه، با بادبند دارای لقی ۱۲/۷ درصد بیشتر از حالتی است که بادبند معمولی دارد.

۲.۴. بررسی رفتار سازه با بادبند تحت فشار

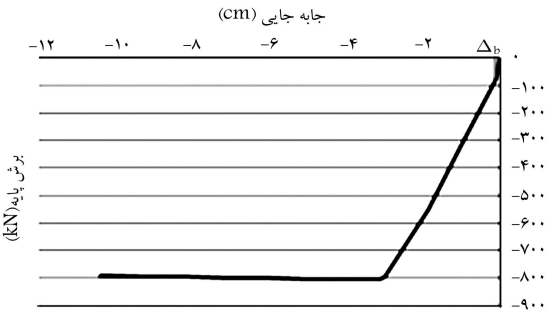
یکی از مهم‌ترین معایب مهاربندهای هم‌مرکز مسئله‌ی کمانش آنهاست. مهاربندهای هم‌مرکز تحت نیروی فشاری معینی کمانش کرده و سختی آنها به‌شدت کاهش می‌یابد. این مسئله موجب واردآمدن خسارت به سازه خواهد شد. اما ایجاد لقی اولیه در بادبند باعث به تعویق افتادن کمانش در بادبند فشاری می‌شود. این موضوع یکی دیگر از مزیت‌های ایجاد لقی محسوب می‌شود.

نیروی کمانش بادبند قاب مذکور با دو عدد ناودانی دو سر مفصل نمره ۶، براساس رابطه‌ی اویلر برابر با ۵۴/۲ کیلونیوتن خواهد بود. ایجاد لقی در اتصال بادبند سبب می‌شود که بعد از مقدار معین جابه‌جایی قاب، بادبند به‌عنوان عنصر مقاوم خط دوم وارد عمل شود؛ این مسئله باعث به تعویق افتادن کمانش بادبند فشاری خواهد شد. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ منحنی عملکرد قاب مذکور را با بادبند معمولی و بادبند دارای لقی، در حالتی که بادبند تحت فشار است، نشان می‌دهند.

در قاب با بادبند معمولی، جابه‌جایی نهایی سازه ۱۰/۴ سانتی‌متر است. همچنین Δb (تغییر مکان جانبی که بادبند کمانش می‌کند) برابر با ۰/۱۲۴ سانتی‌متر است؛ یعنی با این مقدار جابه‌جایی جانبی قاب، بادبند کمانش می‌کند و سختی آن صفر می‌شود. در صورتی که با ایجاد ۲/۴ سانتی‌متر لقی در بادبند، جابه‌جایی نهایی سازه به ۱۳/۳۷ سانتی‌متر می‌رسد و Δb تا ۳/۱۸۹ سانتی‌متر افزایش می‌یابد. بنابراین، کمانش بادبند به‌میزان ۳/۰۶۵ سانتی‌متر نسبت به حالت بدون لقی، به تعویق می‌افتد. همچنین با توجه به این منحنی عملکرد دیده می‌شود که مقدار برش پایه‌یی که سازه در موقع کمانش بادبند تحمل می‌کند، برابر با ۸۲/۲ کیلونیوتن است،



شکل ۱۲. منحنی عملکرد قاب با بادبند دارای لقی.



شکل ۱۳. منحنی عملکرد قاب با بادبند بدون لقی.

که در مقایسه با برش پایه‌ی کلی بسیار ناچیز است. به این‌ترتیب با کم‌ترین تغییر مکان جانبی سازه، بادبند دچار کمانش می‌شود و ظرفیت باربری خود را از دست می‌دهد. یعنی عملاً بادبندِ اضافه شده نمی‌تواند نقش مؤثری در مقاوم‌سازی قاب داشته باشد. اما با توجه به منحنی عملکرد قاب با بادبند دارای لقی که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، کمانش بادبند در آخرین مرحله ــ یعنی بعد از ورود قاب خمشی به مرحله‌ی خمیری ــ اتفاق می‌افتد. در این حالت مقدار برش پایه در لحظه‌ی کمانش بادبند برابر با ۸۱۶ کیلو نیوتن است که برابر با مقدار بیشینه‌ی آن است.

۵. نتیجه‌گیری

براساس مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش، در ارتباط با بادبندهای دارای لقی اولیه نتیجه‌می‌گیریم که:

۱. به‌منظور جلوگیری از ایجاد نیروی ضربه در بادبند دارای لقی، در بحرانی‌ترین شرایط باید بیشترین نسبت سختی بادبند در حدود ۱٫۱ برابر سختی جانبی قاب خمشی باشد.

۲. با افزایش دوره‌ی تناوب بار وارده، بیش از چهار برابر دوره‌ی تناوب اصلی سازه، از شدت نیروی ضربه در بادبندِ دارای لقی کاسته خواهد شد. ولی نیروی داخلی بادبندِ دارای لقی، در هر نیم‌دوره دارای چند بیشینه خواهد بود. به‌عبارت دیگر هرچه دوره‌ی تناوب بار وارده بیشتر باشد، تعداد بیشینه‌های نیروی داخلی نیز بیشتر خواهد شد.

۳. برای قاب‌های مطالعه‌شده در این نوشتار، با افزایش مقدارِ لقی تا حدود ۳ یا ۴ میلی‌متر، نیروی ضربه‌ی ایجادشده در بادبندِ دارای لقی افزایش می‌یابد و پس از آن نیروی ضربه کاهش خواهد یافت.

۴. با توجه به این‌که تنها جنبه‌ی محدودکننده‌ی کاربرد بادبندهای دارای لقی، رعایت محدودیت نسبت سختی بادبند به قاب خمشی است، پس چنانچه این نسبت سختی از حدود ۱٫۱ فراتر نرود، مزایای ایجاد لقی در بادبند عبارت خواهد بود از:

الف) به دلیل این که بادبندِ دارای لقی مدتی بعد از قاب خمشی به‌کار می‌افتد، نیروی داخلی آن نیز نسبت به بادبند معمولی کم‌تر خواهد شد. این موضوع سبب می‌شود که علاوه‌بر کاهش مقطع بادبند، نیروی بالابرنده در فونداسیون موجود نیز کاهش بیابد.

ب) تغییر مکان تسلیم و تغییر مکان نهایی سازه افزایش خواهد یافت.

ج) کمانش در بادبند فشاری به‌طرز چشم‌گیری به تعویق می‌افتد.

منابع

1. Eric, ko; caroline, field, *The Unbounded Brace: From Research to Californian Practice,* SEAOC Convention (2003).
2. Sarnoand, L.D. and Elnashai, A. S. *Seismic Retrofitting of Steel and Composite Building Structures,* Mid-America earthquake center report, University of Illinois, (September 2002).
3. balendra, T. "Large-scale seismic testing of knee-brace-frame", *Journal of Structural Engineering,* **123**, Issue 1, pp.11-19, (January 1997).
4. Mofid, M. and Lotfollahi, M. "On the characteristics of new knee bracing systems", *Constructional Steel Research (ELSEVIER),* **62**(3), pp. 271-281 (March 2006).
5. Abbasnia, R. and Kafi, 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).
6. Weber, F. Feltrin, G. and Hath, O. "Guidelines for structural control", SAMCO final report, Switzerland (2006).
7. Nateghallahi, F. "Energy dampers in seismic retrofitting of buildings", international research center of seismology & earthquake engineering Publication, (1999).
8. Cherry, s. and filliatrault, A. "seismic respons control of buildings using friction dampers", *Earthquake Spectra,* **9**(3), pp. 447-466 (1993).
9. Mualla, I. and Bellev, B. "Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation", *Engineering Structures,* **24**, (3), pp. 365-371 (2002).
10. Abbasniya, R. and Hizaji, R. "Investigation of performance of concentric braces with initial looseness in moment resistant frames", *4th national congress on civil engineering,* University of Tehran (May 2008).
11. "seismic retrofitting of existing buildings standard", international research center of seismology & earthquake engineering Publication (2006).