

پیشنهاد مهاربند کابلی جدید برای مقاوم سازی قاب های فولادی

مهدی نجفی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

مجید برقیان* (دانشیار)

گروه مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

مهندسی عمران شریف، زمستان ۱۳۹۳ (۳۰-۲، شماره ۱/۴، ص. ۱۲۷-۱۲۱، یادداشت فنی)

اضافه کردن مهاربند به قاب، سختی قاب را افزایش و نیز تغییر مکان های جانبی در اثر نیروهای عرضی را کاهش داده، همچنین شکل پذیری را نسبت به قاب خمشی کاهش می دهد. در این پژوهش، نوعی مهاربند کابلی جدید پیشنهاد می شود. چندین قاب خمشی، قاب خمشی با بادبند کابلی X شکل و با بادبند پیشنهادی با هم مقایسه شدند و نتایج نشان دادند که رفتار قاب با مهاربند پیشنهادی، حالتی مابین قاب خمشی و قاب خمشی با بادبند کابلی X شکل است. با انتخاب قطرهای مختلف کابل و ابعاد متفاوت صفحه ی مربع شکل بادبند پیشنهادی، نتایج را می توان به نتایج قاب خمشی یا به بادبند کابلی X نزدیک کرد. در مهاربند X شکل، فقط یکی از کابل ها به کشش کار می کند، اما در مهاربند پیشنهادی، همه ی کابل ها به کشش کار می کنند.

واژگان کلیدی: مهاربند کابلی، قاب خمشی، کابل، تحلیل غیرخطی استاتیکی، مقاوم سازی.

m-najafi@iau-Ahar.ac.ir
barghian@tabrizu.ac.ir

۱. مقدمه

برای فعال کردن پیوندهای برشی و پیچیده تر شدن تحلیل و طراحی قاب ها به دلیل اندازه و محل قرارگیری شان در قاب ها مشکلاتی وجود دارد. ۳. مهاربندی ضدکمانشی (BRB): برای مقابله ی مهاربندها در حالت فشار با کمانش به وجود آمدند. غلاف بیرونی مهاربند به عنوان یک مهار جانبی برای جلوگیری از کمانش مهاربند عمل می کند. نصب کارگاهی این مهاربندها از نصب مهاربندهای هم محور به دقت و تحمل بیشتری نیاز دارد. ۴. سیستم مهاربند کابلی: در این سیستم، از کابل های پیش تنیده برای افزایش سختی جانبی سازه استفاده می شود و جهت استهلاک انرژی نیز در انتهای کابل ها، میراگرهای فشری با مایع لزج قرار داده می شوند. سیستم با کابل را می توان در ساخت ساختمان ها و همچنین تقویت ساختمان های موجود اجرا کرد.

استفاده از کابل یا طناب فولادی در بسیاری از سازه های مهندسی مورد توجه مهندسان بوده است. برای مثال، کابل ها عناصر اصلی در یک پل معلق، سقف معلق و دکل مهاری هستند. کابل ها در حالی که مقاومت کششی بالایی دارند، دارای وزن کم، هزینه ی پایین، انعطاف پذیری بالا و مانعت کم تر برای ملاحظات معماری در مقایسه با مهاربندهای رایج هستند، به همین جهت هر جا که شرایط کاری اجازه دهد، به عنوان یک گزینه ی مقرون به صرفه و همیشه مطرح است.^[۱] ساختمان های فولادی را می توان به کمک مهاربند در برابر نیروهای جانبی مقاوم ساخت. مهاربندی به شکل های مختلفی انجام می شود، از جمله: ۱. مهاربندی هم محور یا هم گرا (CBF): معروف ترین نوع آنها سیستم مهاربند ضربدری است، که از مفیدترین سیستم ها برای کنترل تغییر مکان ایجاد شده در برابر بارهای جانبی است. به علت پیکربندی خرپاگونه، صلبیت جانبی این سیستم ها بسیار زیاد است.^[۲-۴] اما به جهت رفتار ضعیف غیرکشسان در اثر کمانش اعضای قطری تحت تأثیر فشار، ظرفیت سازه کاهش می یابد و منجر به تغییرات ناگهانی در خصوصیات دینامیکی سیستم مقاوم در برابر بار جانبی می شود. ۲. قاب با مهاربندی برون محور یا واگرا (EBF): در سیستم مهاربند واگرا، هر دو عامل شکل پذیری و سختی، با هم ترکیب می شوند. یکی از علت های استفاده از این سیستم مهاربندی، وجود مسائل معماری است. با وجود این، به علت هزینه ی زیاد اجرای قاب های واگرا، نیاز به اتصالات صلب

۲. پیشینه ی تحقیق

سیستم کابلی میرا یا همان سیستم با کابل یک پارچه، موضوع یک پروژه ی تحقیقی ۳۰ ماهه با نام SPIDER^۱ است،^[۵] که سرمایه گذاری آن توسط چندین کشور اروپایی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ انجام شده است. در این برنامه ی تحقیقاتی با هدف کنترل عملکرد سیستم در محل و تصدیق مدل های تحلیلی و عددی، یک رشته عملیات آزمایشی روی مدل تمام مقیاس ساخته شده انجام شد. این مدل یک ساختمان بتنی ۳ طبقه است، که توسط سیستم کابلی میرا مقاوم سازی شده است. در این پروژه اولین بار شرکت جرت به صورت تجربی ساختمان بتنی ۳ طبقه را مطابق شکل ۱ اجرا کرد، و تحت آزمایش قرار داد.^[۵] برخی پژوهشگران در نتایج بررسی ها گفته اند که علی رغم

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۲/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۲/۲/۱۷، پذیرش ۱۳۹۲/۲/۳۰.

۳. رفتار غیرخطی کابل

مشخصه‌ی مشترک میان سازه‌های کابلی، رفتار غیرخطی کابل است. کابل هنگامی که بارگذاری می‌شود، رفتار غیرخطی هندسی از خود بروز می‌دهد. این نوع رفتار غیرخطی مستقیماً به نیروی پیش‌تندگی کابل بستگی دارد. در این پژوهش فقط رفتار غیرخطی هندسی با استفاده از اثر $P-\Delta$ و اثر تغییر مکان‌های بزرگ مطالعه شده و رفتار غیرخطی مصالح در نظر گرفته نشده است.

۴. مشخصات مدل

در این پژوهش، مدل‌سازی قاب‌های ۱ طبقه، ۳ طبقه و ۸ طبقه انجام و تحلیل آنها به صورت استاتیکی غیرخطی صورت گرفته است. برای تحلیل قاب‌های یادشده، در حالت بدون مهاربندی، با مهاربند کابلی و مهاربند کابلی همراه با صفحه‌ی مربعی شکل (روش پیشنهادی)، از نرم‌افزار SAP2000 استفاده شده است. در همه‌ی قاب‌ها، برای تیرها و ستون‌ها از IPE160 استفاده و در هر سه حالت مذکور، نیروی جانبی 500 Kgf در قاب‌ها اعمال شده است (شکل ۲). با توجه به منابع بررسی شده ملاحظه شد که چنین مهاربندی تا به حال به کار برده نشده است.

نیروهای داخلی و همچنین تغییر مکان جانبی برای قاب‌های استفاده شده با هم مقایسه شدند. در تمامی قاب‌ها، عرض دهانه ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر در نظر گرفته شدند. برای هر قاب، بادبند کابلی در هر سالول قاب و نیز بادبند کابلی به صورت پیوسته از هر چند سالول قاب قرار داده شد. سپس در همه‌ی حالات بادبند کابلی، به صورت روشی نو، در وسط کابل‌ها صفحه‌ی به شکل مربع قرار داده شد. با توجه به اینکه تعداد خروجی‌ها زیاد بود، فقط نتایج قاب ۱ طبقه در این نوشتار ارائه شده است، ولی در نتیجه‌گیری، جمع‌بندی نتایج همه‌ی قاب‌ها آورده شده است. قاب ۱ طبقه در ۳ حالت مطابق شکل ۳، مدل‌سازی و تحلیل شده است. در بخش‌های دیگر، از اسامی تیرها و ستون‌ها و شماره‌ی گره‌ها مطابق شکل ۳ استفاده شده است.

۵. تحلیل مدل‌ها

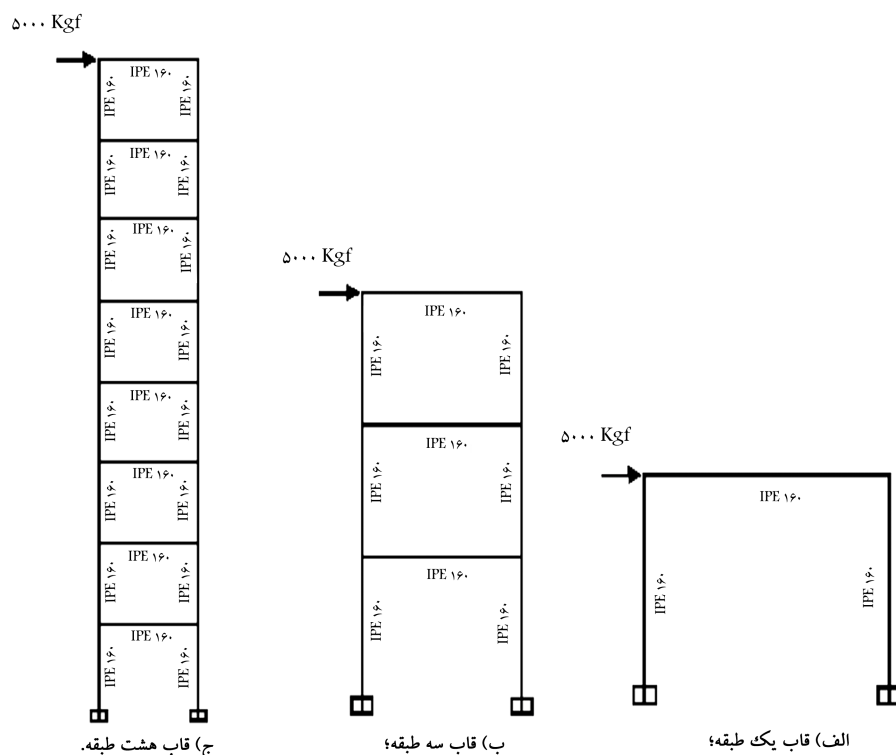
قطرهای مختلف کابل و صفحات با ضخامت‌های مختلف بررسی شده‌اند، که در اینجا فقط کابل با قطرهای ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متری و صفحه با ضخامت ۱ سانتی‌متری آورده شده‌اند.

شکل ۴، تغییر شکل قاب ۱ طبقه را تحت بار جانبی وارد شده نشان می‌دهد. تغییر مکان گره بالا و سمت راست برای قاب‌ها در نمودارهای شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده‌اند. در این شکل‌ها، t ضخامت صفحه‌ی مربعی شکل و PL علامت اختصاری برای صفحه^۲ هستند. نمودار شکل ۵، بادبند کابلی همراه با صفحه (مهاربند پیشنهادی) با کابل با قطر ۱ سانتی‌متری و برای صفحه با ضخامت ۱ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. در حالی که در نمودار شکل ۶، برای مهاربند پیشنهادی کابل با قطر ۲ سانتی‌متری و برای صفحه با ضخامت ۱ سانتی‌متری است. قاب خمشی دارای بیشترین جابجایی است. در قاب با مهاربند کابلی (x) در اثر بار جانبی، یکی از کابل‌ها به کشش و دیگری به فشار می‌افتد. کابل به کشش افتاده به سختی قاب خمشی، سختی اضافی برابر $\frac{EA}{L} \cos \alpha$ می‌افزاید و A، E و L به ترتیب سطح مقطع، طول، مدول کشسانی و α زاویه‌ی کابل با افق است. سختی زیاد باعث کم شدن

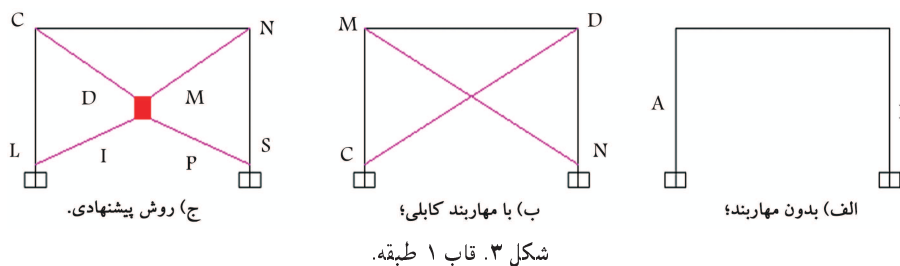
اینکه سیستم کابلی میرا به حد کافی انعطاف‌پذیر نیست تا از فواید مهاربندی‌های فلزی میرا بهره ببرد، ولی به دلیل اینکه عملکرد تغییر شکل کلی آن و کاهش قابل ملاحظه‌ی تغییر مکان‌ها و شتاب‌های طبقات، توانایی‌های لازم جهت استفاده در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها را دارد.^[۶] آنها یک قاب بتنی ۴ طبقه را تحلیل کردند، و روابط اساسی تحلیلی سازه را به همراه کابل ارائه دادند. همچنین در پژوهشی دیگر، ساختمانی که شرکت جرت ارائه داده بود، تحت بار دینامیکی آزمایشگاهی قرار داده شد و نتایج ارائه شد.^[۷] پژوهشگرانی نیز ساختمان بتنی با بادبند کابلی را مدل‌سازی کردند و برای رسیدن به بالاترین حد عملکردی سیستم‌های کابلی، ابتدا محدوده‌ی نیروی پیش‌تندگی کابل‌ها و سپس مسیر بهینه‌ی کابل در سیستم با کابل یک‌پارچه توسط ایجاد مدل‌های مختلف را پیدا کردند.^[۸] زمان‌بر بودن این روش از معایب آن است که آنها روش ترسیمی پیشنهاد کرده‌اند. در مطالعه‌ی دیگر هم ضریب رفتار سیستم مهاربند کابلی ضریب‌دری برای ساختمان فولادی تعیین شد.^[۸] پژوهشگری نیز کاربرد کابل به جای بادبند در سازه‌های بتن‌آرمه‌ی سه‌بعدی را بررسی و ضریب رفتار این سازه‌ها را تعیین کرد.^[۹] در پژوهش دیگری نیز مدل‌سازی اتصال لغزشی کابل به صورت غلاف فولادی و تحلیل تاریخچه‌ی زمانی قاب‌های تقویت‌شده با کابل بررسی شد.^[۱۰] و این نتیجه به دست آمد که اگر کابلی به صورت عضو میله‌بی و غلاف سه‌بعدی مدل شود، اختلاف نتیجه در هر دو مورد بسیار ناچیز است. پژوهشگرانی هم نتایج پژوهش دیگری را دنبال و انواع آرایش‌های کابل را بررسی و مسیرهای بهینه‌ی عبور کابل را فرمول‌بندی کردند.^[۱۱] آنها در بررسی اولویت میان چند گزینه‌ی تقویت، معیارهایی نظیر تغییر مکان بیشینه و کم‌ترین برش پایه را مد نظر قرار دادند، که با توجه به تحلیل‌های خطی و توصیه در استفاده از میراگر، فقط جابجایی طبقات را مورد مقایسه قرار دادند. در پژوهشی نیز (۲۰۰۸) روشی جدید جهت مقاوم‌سازی لرزه‌ی قاب خمشی با استفاده از مهاربند کابلی به همراه لوله‌ی استوانه‌یی در محل تلاقی کابل‌ها ارائه شد. مهاربند استفاده شده در این روش بدون کاهش شکل‌پذیری قادر به افزایش سختی جانبی قاب خمشی بود.^[۱۲] علاوه بر آن قاب مقاوم‌سازی شده با مهاربند پیشنهادی رفتاری شکل‌پذیر دارد و دارای ظرفیت اتلاف انرژی مشابه با قاب اصلی بدون مهاربندی است. در ضمن این سیستم، جابجایی طبقات را در بازه‌ی مشخصی محدود می‌کند.



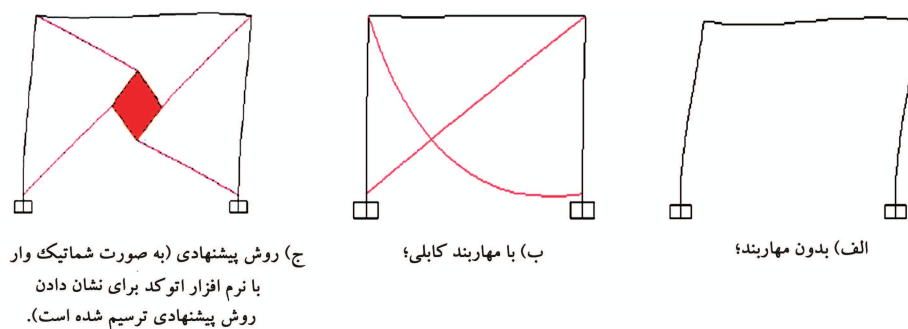
شکل ۱. ساختمان ساخته شده جهت مقاوم‌سازی با سیستم کابلی در پروژه‌ی تحقیقاتی SPIDER.^[۷]



شکل ۲. مقطع اعضا و نحوه اعمال نیروی جانبی.

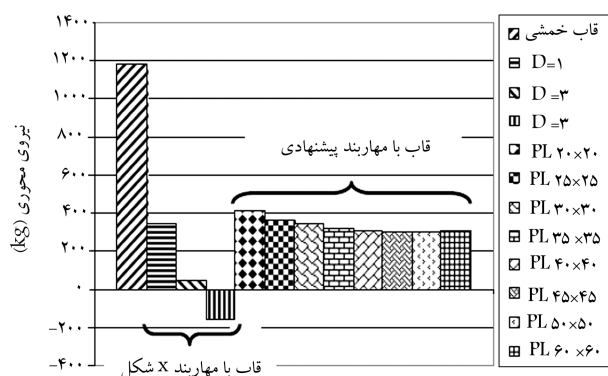


شکل ۳. قاب ۱ طبقه.

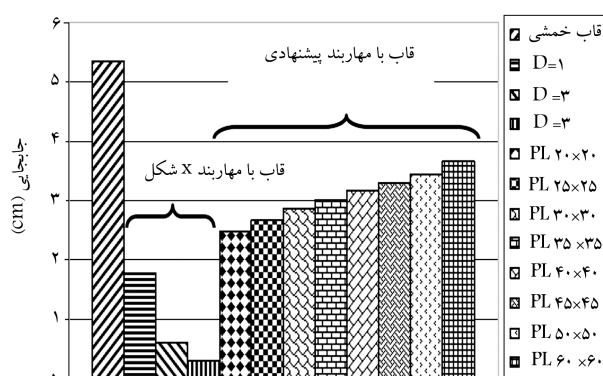


شکل ۴. تغییر شکل قاب یک طبقه.

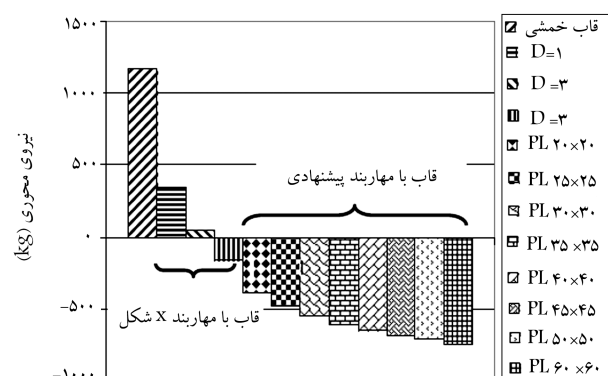
جابجایی جانبی می شود، اما شکل پذیری قاب را نسبت به قاب خمشی کم می کند. در مهاربند پیشنهادی، کابل ها در ابتدا نیروی کششی کافی ندارند، بنابراین قاب، شبیه قاب خمشی تغییر مکان جانبی پیدا می کند و شکل پذیری شبیه قاب خمشی را دارد. وقتی جابجایی بیشتر می شود، صفحه مربع شکل دوران پیدا می کند و از ۴ کابل متصل به صفحه، دو به دو روبروی هم در امتداد هم قرار می گیرند و هر ۴ کابل متصل به صفحه در کشش واقع می شوند. در نتیجه، از کابل بهترین



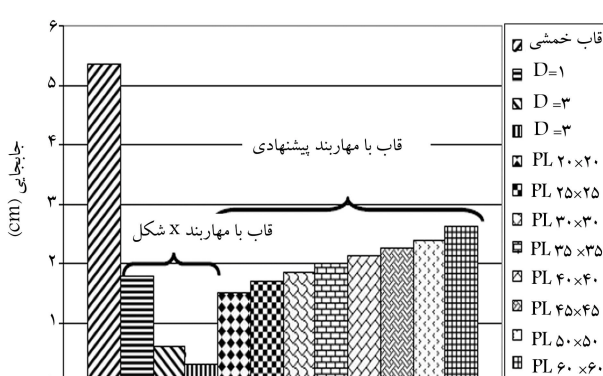
شکل ۸. نیروی محوری ستون A در قاب یک طبقه، برای مهاربند پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).



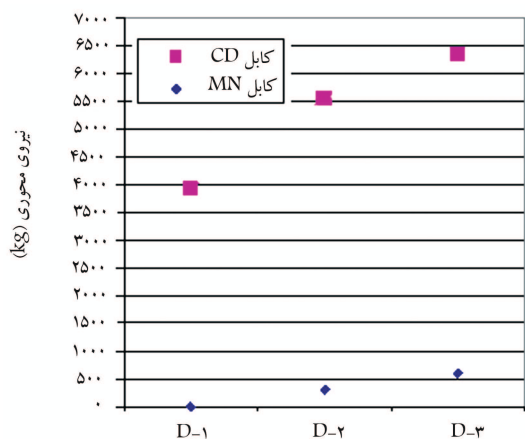
شکل ۵. پیشینه‌ی جابجایی گره بالا و سمت راست قاب یک طبقه در قاب با مهاربند پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).



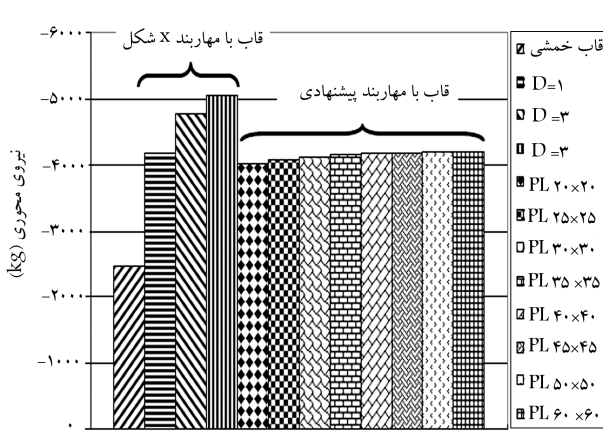
شکل ۹. نیروی محوری ستون A در قاب یک طبقه، برای مهاربند پیشنهادی با: $D=2$, $t=1$ (ابعاد به cm).



شکل ۶. پیشینه‌ی جابجایی گره بالا و سمت راست قاب یک طبقه با مهاربند پیشنهادی با: $D=2$, $t=1$ (ابعاد به cm).



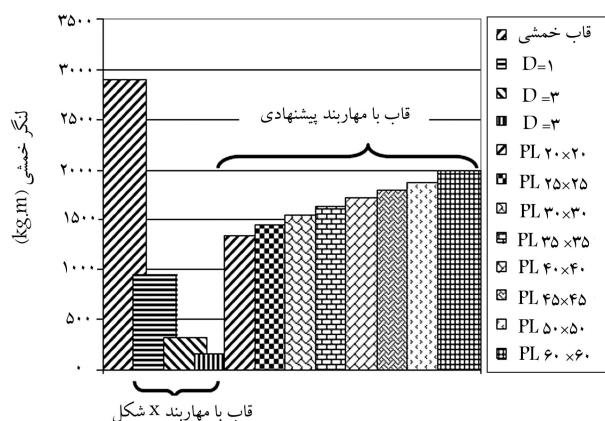
شکل ۱۰. بررسی نیروی محوری کابل‌ها در قاب با مهاربند کابلی x شکل (ابعاد بر حسب cm).



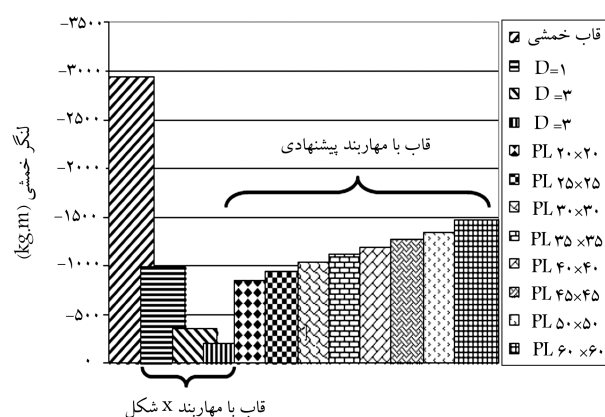
شکل ۷. مقایسه‌ی نیروی محوری تیر در قاب یک طبقه‌ی خمشی و بادبند کابلی با مهاربند پیشنهادی در $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).

اثرشان انحنا را تغییر می‌دهد و این باعث نزدیک شدن دو انتهای ستون به هم می‌شود و در نتیجه، نیروی محوری ستون به فشار تبدیل می‌شود. این مورد در بادبند پیشنهادی هم اتفاق می‌افتد. در شکل ۱۰، نیروی محوری کابل در قاب با بادبند کابلی (x) آورده شده است. با افزایش قطر کابل، نیروی محوری نیز افزایش نشان می‌دهد. در بادبند پیشنهادی نیز نیروی محوری کابل‌ها با افزایش قطر کابل‌ها بیشتر می‌شود. قاب بدون مهاربند کم‌ترین نیروی فشاری تیر را دارد. در قاب یک طبقه، نیروی فشاری تیر در قاب با مهاربند X شکل در حالت ۱

نیروی محوری از مقدار نیروی با بادبند کابلی هم بیشتر می‌شود. شکل ۷، مقایسه‌ی نیروی محوری را در قاب خمشی و بادبنددار را نشان می‌دهد. تغییرات مقدار نیروی محوری ستون B در شکل ۳، در قاب‌های مختلف همانند نیروی محوری تیر بود. تغییرات مقدار نیروی محوری ستون A نشان داده شده در شکل ۳ برای قاب‌های مختلف در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده‌اند. در بادبند کابلی (x)، با افزایش قطر کابل نیروی محوری ستون A از کشش به فشار می‌افتد، چون مؤلفه‌ی افقی کابل بیشتر می‌شود و از طرفی نیروی جانبی که در انتهای همین ستون اعمال می‌شود،



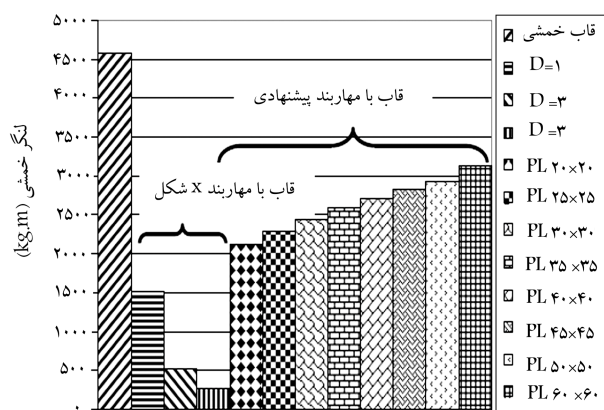
شکل ۱۱. بیشینه‌ی لنگر خمشی مثبت تیر در قاب یک طبقه، برای روش پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).



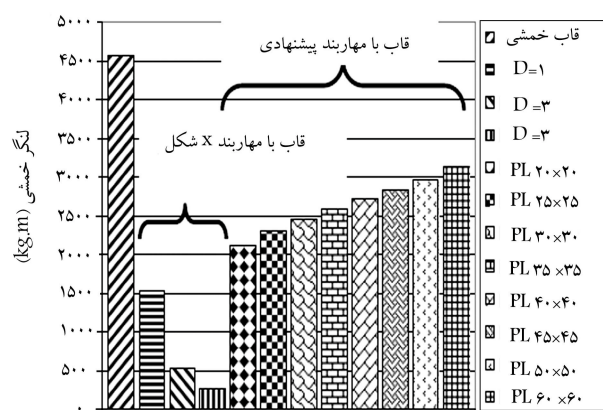
شکل ۱۲. بیشینه‌ی لنگر خمشی منفی تیر در قاب یک طبقه، برای روش پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).

قاب در قطر پایین، نیروی ستون A بیشتر می‌شود و در قطرهای بالاتر از مقدار این نیرو کاسته می‌شود. در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه، افزایش ابعاد باعث کاهش نیروی کششی ستون می‌شود. در قاب ۸ طبقه با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه، نیروی کششی ستون با افزایش ابعاد صفحه بیشتر می‌شود. در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه در هر ۴ طبقه، در قطر پایین با افزایش ابعاد صفحه، نیروی کششی ستون بیشتر و بعد از آن باعث کاهش این نیرو می‌شود. بیشینه‌ی لنگر خمشی مثبت و منفی تیر در قاب یک طبقه برای قاب‌های مختلف در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده‌اند. در این شکل‌ها، نمودارهایی در بخش مهاربند پیشنهادی، ضخامت و قطر کابل ۱ سانتی‌متر نشان داده شده است. برای مهاربند پیشنهادی برای قطرهای بالاتر نیز شکل نمودارها همانند هم هستند. همان‌طوری که در این نمودارها مشاهده می‌شود، لنگر خمشی مثبت و منفی تیر در قاب خمشی بیشترین مقادیر و برای قاب با مهاربند X شکل کم‌ترین مقادیر را دارند. لنگر خمشی مثبت و منفی در روش پیشنهادی مقادیری مابین مقادیر قاب خمشی و قاب با مهاربند X شکل دارد. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴، بیشینه‌ی لنگر خمشی مثبت و منفی ستون A ارائه شده‌اند. برای قطرهای بیشتر کابل‌ها نیز نمودارها شبیه شکل‌های ۱۳ و ۱۴ بودند. بیشینه‌ی لنگر خمشی مثبت و منفی ستون B نیز در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده‌اند. در اینجا نیز برای قطرهای بیشتر کابل‌ها نمودارها شبیه شکل‌های ۱۵ و ۱۶ بودند. بیشترین لنگر خمشی تیر در قاب بدون

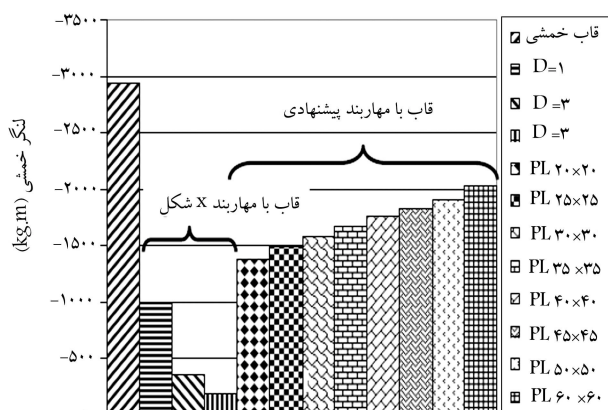
$D=$ (D قطر کابل است)، بیشترین مقدار در بین سایر مدل‌های قاب یک طبقه را دارد. اما با افزایش قطر کابل، نیروی فشاری تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه افزایش بیشتری یافته است، به‌طوری که بعد از $D=2$ ، نیروی محوری تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه، بیشتر از نیروی همان تیر در قاب با مهاربند کابلی X شکل می‌شود. در قاب چند طبقه، نیروی فشاری تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه، در هر طبقه بیشترین مقدار را دارد. در قاب ۳ طبقه، نیروی تیر در قاب با مهاربند کابلی X شکل در هر طبقه با کم‌ترین قطر، کم‌تر از نیروی تیر در قاب با مهاربند کابلی پیوسته است. اما بعد از $D=2$ ، این نتیجه بر عکس می‌شود. در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه با کم‌ترین قطر، نیروی فشاری تیر از حالت قاب با مهاربند کابلی پیوسته و قاب با مهاربند کابلی X شکل در هر طبقه کم‌تر و برای قطرهای بالاتر بیشتر از آن‌هاست. در قاب ۸ طبقه، نیروی فشاری تیر در قاب با مهاربند کابلی X شکل در هر طبقه بیشتر از مهاربند کابلی پیوسته است. با قراردادن صفحه در وسط قاب با مهاربند پیوسته، نیروی محوری در تیر کاهش پیدا می‌کند. در قاب با مهاربند کابلی پیوسته در هر ۴ طبقه، نیروی فشاری تیر بیشتر از حالت مهاربند پیوسته است. با گذاشتن صفحه در وسط قاب با مهاربند کابلی پیوسته در هر ۴ طبقه، نیروی محوری در قطرهای پایین تیر کاهش می‌یابد و در قطرهای بالاتر نیروی محوری در تیر بیشتر می‌شود. افزایش ابعاد و قطر کابل در قاب یک طبقه باعث بیشتر شدن نیروی محوری تیر می‌شود. در قاب ۸ طبقه، با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه، با افزایش ابعاد صفحه نیروی محوری تیر کاهش می‌یابد. در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه در هر ۴ طبقه، افزایش ابعاد صفحه تا ابعاد 60×60 موجب افزایش و بعد از آن موجب کاهش نیروی محوری تیر در این قاب می‌شود. در بقیه‌ی حالت‌ها، افزایش ابعاد صفحه و افزایش قطر کابل باعث افزایش نیروی محوری تیر می‌شود. نیروی کششی ستون A در قاب بدون مهاربند بیشترین مقدار است. در قاب یک طبقه در کم‌ترین قطر، نیروی کششی ستون A در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه بیشتر از مقدار کششی ستون در قاب با مهاربند کابلی X شکل است. اما با افزایش قطر مهاربند نیروی کششی ستون A به شدت در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه کاهش می‌یابد، به‌طوری که بعد از $D=2$ نیروی کششی به فشاری تبدیل می‌شود. در قاب با مهاربند کابلی X شکل بعد از قطر $D=3$ نیروی کششی ستون A به نیروی فشاری تبدیل می‌شود. در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در کم‌ترین قطر، افزایش ابعاد صفحه تا ابعاد 50×50 باعث کاهش نیروی کششی ستون A و بعد از آن موجب افزایش این نیرو می‌شود؛ اما در قطرهای بالاتر (بعد از تبدیل نیروی کششی به فشاری)، افزایش ابعاد صفحه باعث افزایش نیروی فشاری ستون می‌شود. در قاب چند طبقه، نیروی کششی ستون A در قاب با مهاربند کابلی X شکل در هر طبقه، بعد از قاب بدون مهاربند بیشترین مقدار است و بعد از آن قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه بیشترین نیروی کششی ستون A را دارد. در قاب ۳ طبقه، نیروی کششی ستون A در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه، بیشتر از قاب با مهاربند کابلی پیوسته است و در این قاب‌ها به ترتیب بعد از $D=2$ و $D=3$ نیروی کششی ستون به فشاری تبدیل می‌شود. افزایش ابعاد صفحه در حالتی که نیروی ستون کششی است، باعث کاهش نیروی ستون و در قسمت‌هایی که نیروی ستون فشاری است، باعث افزایش نیروی فشاری ستون می‌شود. افزایش قطر، باعث کاهش این نیرو می‌شود. در قاب ۸ طبقه، در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه، نیروی کششی ستون A بیشتر از قاب با مهاربند کابلی پیوسته است. با افزایش تعداد مهاربند پیوسته در ارتفاع قاب، نیروی کششی ستون A افزایش می‌یابد و با قراردادن صفحه‌ی فولادی در وسط این



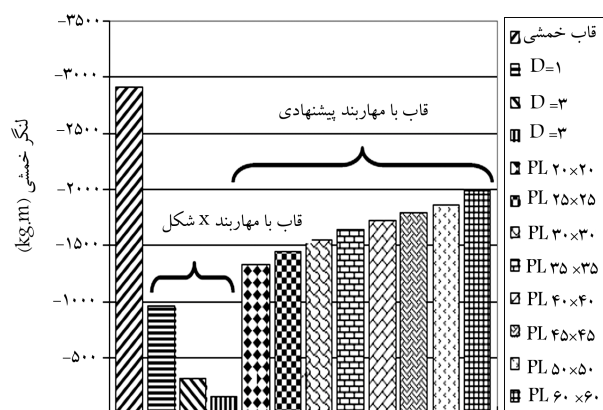
شکل ۱۵. پیشینه‌ی لنگر خمشی مثبت ستون A در قاب یک طبقه، برای روش پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).



شکل ۱۳. پیشینه‌ی لنگر خمشی مثبت ستون B در قاب یک طبقه، برای روش پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).



شکل ۱۶. پیشینه‌ی لنگر خمشی منفی ستون B در قاب یک طبقه، برای روش پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).



شکل ۱۴. پیشینه‌ی لنگر خمشی منفی ستون A در قاب یک طبقه، برای روش پیشنهادی با: $D=1$, $t=1$ (ابعاد به cm).

این ستون‌ها در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه، بیشتر از لنگر این ستون‌ها در قاب با مهاربند کابلی پیوسته است. کم‌ترین لنگر این ستون‌ها در قاب با مهاربند کابلی شکل X در هر طبقه است. در قاب ۸ طبقه، لنگر ستون‌های A و B در قاب با مهاربند کابلی پیوسته در $D=1$ بیشتر از قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه و بعد از $D=2$ کم‌تر از آن است. با زیاد شدن تعداد مهاربند پیوسته در ارتفاع قاب، لنگر خمشی ستون‌های A و B نسبت به لنگر این ستون‌ها در قاب با مهاربند کابلی پیوسته کم‌تر می‌شود و با قراردادن صفحه در وسط این قاب‌ها، به لنگر خمشی این ستون‌ها افزوده می‌شود.

کم‌ترین لنگر خمشی ستون‌های A و B در قاب ۸ طبقه، در قاب با مهاربند کابلی شکل X در هر طبقه است. افزایش ابعاد صفحه باعث افزایش این لنگر و افزایش قطر کابل باعث کاهش لنگر خمشی در این ستون‌ها می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

تحت اثر بار جانبی، در قاب بدون مهاربندی بیشترین جابجایی وجود دارد. با افزودن بادبند کابلی شکل X در هر طبقه، جابجایی به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. با قراردادن صفحه در وسط مهاربندی در هر طبقه، جابجایی نسبت به حالت

مهاربند است. لنگر خمشی تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه بیشتر از قاب با مهاربند کابلی شکل X در هر طبقه است. در قاب ۳ طبقه، لنگر تیر در قاب با مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه بیشتر از لنگر تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه است. اما لنگر تیر در قاب با مهاربند کابلی پیوسته از لنگر تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه کم‌تر و از حالت قاب با مهاربند کابلی شکل X در هر طبقه بیشتر است. با زیاد شدن تعداد طبقات، لنگر تیر در قاب با مهاربند کابلی پیوسته بیشتر از لنگر تیر در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه است. با گذاشتن صفحه در وسط مهاربند پیوسته، لنگر خمشی تیر بیشتر می‌شود. هر چه تعداد مهاربند کابلی پیوسته در ارتفاع قاب بیشتر شود، از لنگر خمشی تیر نسبت به حالت قاب با یک مهاربند کابلی پیوسته کاسته می‌شود. وجود صفحه در وسط مهاربند پیوسته باعث افزایش لنگر خمشی تیر می‌شود. افزایش ابعاد صفحه باعث افزایش لنگر تیر و افزایش قطر کابل باعث کاهش این لنگر می‌شود.

بیشترین لنگر خمشی ستون‌های A و B در قاب بدون مهاربندی است. با اضافه کردن صفحه به قاب با مهاربند کابلی شکل X در هر طبقه لنگر خمشی این ستون‌ها بیشتر می‌شود. در قاب ۳ طبقه، لنگر ستون‌ها در قاب با مهاربند کابلی همراه با صفحه در هر طبقه بیشتر از لنگر خمشی این ستون‌ها در قاب با مهاربند کابلی پیوسته و مهاربند کابلی پیوسته همراه با صفحه است. لنگر

کاسته می شود. اضافه شدن صفحه ی مربعی شکل در وسط قاب ها باعث بیشتر شدن جابجایی می شود. افزایش ابعاد صفحه موجب افزایش جابجایی و افزایش قطر کابل باعث کاهش جابجایی می شود. در تمامی قاب های مهاربندی شده توسط کابل، با افزایش قطر کابل نیروی محوری کابل ها افزایش می یابد.

قاب X شکل بیشتر می شود، اما از جابجایی قاب بدون مهاربند کم تر می شود. در قاب با طبقات بیشتر در حالت قاب با مهاربند کابلی پیوسته، جابجایی گره از قاب با مهاربند کابلی X شکل واقع در هر طبقه بیشتر است. با بیشتر شدن تعداد مهاربند کابلی پیوسته در ارتفاع قاب، از میزان جابجایی قاب با مهاربند کابلی پیوسته

پانویس ها

1. strand prestressing for internal damping of earthquake response
2. plate

منابع (References)

1. Barghian, M. and Maghsoodpour, S. "Concrete structures rehabilitation using cable systems and the optimization of cable system form and pre-tensioning force range", *Sharif Journal*, **24**(44), pp. 117-124 (2007).
2. Davaran, A. and Easazadeh Far, N. "An inelastic model for low cycle fatigue prediction in steel braces", *J. of Constructional Steel Research*, **65**(3), pp. 523-530 (2009).
3. Di Samo, L. and Elnashai, A.S. "Bracing systems for seismic retrofitting of steel frames", *J. of Constructional Steel Research*, **65**, pp. 452-465 (2009).
4. Shir Mohammadi, M. "The seismic response of steel structures with concentric and eccentric bracings", M.Sc. Dissertation, Tabriz University (2005).
5. www.Jarret structures.com
6. Sorace, S. and Terenzi, G. "Modellazione analitica e computazionale dei contatti scorrevoli di piano nel sistema a cavi smorzanti", *Conference, 16⁰ Convegno Nazionale di Meccanica computazionale - GIMC, Articolo 45*, pp. 1-6 (2006).
7. Sorace, S. and Terenzi, G. "An advanced seismic protection technology: The damped cable system", *Advances in Structures*, pp.1185-1191 (2003).
8. Ketabfroosh, R. "Determining the behavior factor of steel 2D frame with cable as bracing", M.Sc. Dissertation, Tabriz University (2008).
9. Allahyari Sani, A. "Using cable system in 3D concrete structure as bracing and determining behavior factor", M.Sc. Dissertation, Tabriz university (2010).
10. Khalili, M. "The investigating of using cable as a bracing system in steel structures", M.Sc. Dissertation, Tabriz University (2007).
11. Barghian, M. and Esmaili Aghdam, Y. "Using the damper and pre-tensioned cables with different arrangements and optimized path for lateral resistance system", *Sharif Journal*, **27-2**(2), pp. 85-91 (2011).
12. Xingguo, H. and Hiroshi, T. "Wire-rope bracing system with elasto-plastic dampers for seismic response reduction of steel frames", *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China (12-17 October 2008).