

بهینه سازی فرم سیستم کابلی مورد استفاده در مقاوم سازی ساختمانهای بتنی

مجید برقیان

استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

صمد مقصودپور

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سازه، دانشگاه تبریز

چکیده

در ساختمانهای بتنی برای مقابله با نیروهای جانبی، سیستم هایی مانند قاب خمشی، دیوار برشی بتنی و فولادی، سیستم قاب-دیوار، مهاربندهای فلزی و ... استفاده می شوند. موضوع این مقاله بررسی سیستم کابلی و بهینه سازی فرم کابل در آن می باشد. در این سیستم از کابل های پیش تنیده برای افزایش سختی جانبی سازه و میراگرهای فنری با مایع ویسکوز جهت افزایش استهلاک انرژی، استفاده می شود. سیستم کابلی به دلیل مقاومت کششی بالای کابل، سهولت و سرعت بالای اجرا، اقتصادی تر بودن آن و ... می تواند جایگزین سیستم های دیگر شده و یا برای مقاوم سازی سازه های موجود استفاده گردد. با استفاده از این سیستم علاوه بر ایجاد کاهش قابل ملاحظه در تغییر مکان جانبی نسبی طبقات، می توان در مقادیر آنها یکنواختی ایجاد کرد. این امر توسط تغییر نقطه عبور کابل از کف طبقات و تنظیم سختی جانبی ناشی از آن ممکن می شود. برای بررسی سیستم کابلی دو قاب بتنی سه و شش طبقه، با مدلسازی سیستم در نرم افزار SAP 2000، در نظر گرفته شده و حالت بهینه انتخاب شد. مقایسه نتایج قاب خمشی با حالت بهینه سیستم کابلی نشان می دهد که در این حالت، بیشترین درصد کاهش تغییر مکان جانبی نسبی، مربوط به طبقاتی است که در سیستم قاب خمشی بیشترین مقدار را داشتند.

واژه های کلیدی:

بهینه سازی، تغییر مکان جانبی نسبی، سیستم کابلی، کابل های پیش تنیده، میراگر فنری.

۱- مقدمه

همگام با پیشرفت علم مهندسی زلزله و تاکید بر امر مقاوم سازی سازه ها در مقابل نیروهای ناشی از زلزله استفاده از سیستمهای مناسب و با عملکرد مطمئن برای مقابله با این نیروها احساس می شود. سیستم های متداول مقابله با نیروهای جانبی در ساختمانهای بتنی متعارف کشور، ۵ الی ۳۵ طبقه، عبارتند از قاب خمشی، دیوار برشی و یا ترکیبی از آنها، در ساختمانهای بلندتر سیستمهای دیگری نظیر سیستم لوله ای، لوله در لوله و ... بکار می روند [۱].

نتایج بررسی هادرزلزله های مختلف جهان بر روی ساختمانها، حاکی از آن است که خسارات ناشی از زلزله در ساختمانهای دارای دیواربرشی کمتر بوده است. بطور مثال در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیستی بیش از ۲۸۰ ساختمان با سیستم قاب خمشی و با تعداد طبقات ۶ الی ۱۵ فرو ریختند در حالیکه تعداد ساختمانهای فرو ریخته شده که دارای سیستم مقاوم جانبی دیوار برشی بودند صفر بود. با توجه به این خصوصیت معمولاً استفاده از دیوارهای برشی بعنوان سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی توصیه می گردد [۲].

در ساختمانهای بلند معمولاً دیوارهای برشی را به تنهایی بکار نمی برند چرا که تغییر مکان کنسولی شکل دیوار در طبقات بالا به حدی است که ممکن است به عوامل غیر سازه ای آسیب وارد کند. برای جلوگیری از تغییر مکان زیاد دیوارها در طبقات بالا، بدون افزایش ابعاد آنها که عملی غیر اقتصادی است، می توان از قاب خمشی به همراه دیوار برشی استفاده نمود که اصطلاحاً سیستم قاب-دیوار گفته می شود. در این سیستمها به علت ناسازگاری حرکت جانبی قاب (مود برشی) و دیوار (مود خمشی) در ارتفاع، نیروهای اندرکنش بین دیوار و قاب ایجاد می شوند. این نیروهای اندرکنش باعث افزایش نیروهای داخلی قاب در طبقات فوقانی می گردند (در واقع دیوار به نفع بارهای خارجی عمل می کند). بنابراین منطقی به نظر می رسد که با قطع دیوارهای برشی در مناطق فوقانی سازه از این پدیده نامناسب جلوگیری شود. این کار تأثیرات پیچیده ای بر توزیع لنگرها و برشها بین قاب و دیوار و اندرکنش نیروهای افقی مربوط به تیرها و تاوه های انصالی بخصوص در مورد سازه های نامتقارن حول محور بارگذاری دارد که تعیین تراز قطع دیوار را بسیار مشکل می کند [۱]، [۳].

از دیگر مشکلات سیستم های دارای دیوار برشی می توان به ایجاد بازشوها در دیوارها به دلایل معماری اشاره کرد. در محل ایجاد بازشوها نیروهای زیادی به دیوارها اعمال می گردد [۳]. تجربیات نشان داده است که گسیختگی دیوارهای برشی اغلب در اطراف باز شوها متمرکز بوده و بصورت غیرمنتظره و ناخواسته اتفاق می افتند.

سیستم دیگری که در چندین سال اخیر مورد توجه قرار گرفته و بصورت عملی در کشورهایی مانند آمریکا و ژاپن اجرا شده، دیوار برشی فولادی است. این سیستم به دلیل صرفه جویی اقتصادی، افزایش سرعت اجرا و وزن کم نسبت به دیوارهای بتنی، همچنین شکل

پذیری و جذب انرژی بالا و سهولت تقویت سازه های موجود، مورد توجه می باشد. اساس ایده این دیوارها بهره گیری از میدان کشش قطری است که پس از کمانش ورق فولادی در آن ایجاد می گردد. این موضوع برای اولین بار توسط واگنر در سال ۱۹۳۱ با آزمایش روی پانل های برشی آلومینیومی ارائه شد. پس از وی دانشمندان بسیاری چون کوهن، باسلر، راک، پورتر و ... بر روی میدان کشش قطری تیر ورقها مطالعه نمودند و سختی بالها نیز با توجه به نتایج آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. در دهه ۸۰ میلادی در دانشگاه آلبرتای کانادا برای اولین بار طرح استفاده از دیوار برشی فولادی با ورق نازک توسط کولاک و همکاران ایشان مطرح گردید و در اواخر دهه ۸۰ میلادی دکتر سعید صبوری و همکاران ایشان نیز برای اندرکنش ورق فولادی و قاب محیطی آن مدل ریاضی ارائه نمودند. علاوه بر اینها در دهه ۹۰ و پس از آن نیز توسط الغالی و همکاران، ونچورا و همکاران و مینگ و همکاران ایشان مطالعاتی در مورد مسائل اجرایی و تحلیلی دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک بصورت آزمایشگاهی و تئوریک انجام گرفت. ایجاد بازشوها در این سیستم نیز به دلیل کاهش مقاومت و سختی دیوار برشی فولادی، مشکل ساز می باشند [۴]. این سیستم رفتار نسبتاً پیچیده ای دارد و هنوز هم توسط محققین زیادی بررسی می شود.

گاهی در سازه های بتنی از انواع مهارهای فلزی نیز استفاده شده است. از آن جمله ماهری و همکارانش از مهارهای فلزی X و زانویی استفاده کرده اند. این مهارها برای مقاوم سازی ساختمان های موجود بصورت خارجی و برای سازه های جدید بصورت داخلی تعبیه شده اند در مورد مقاوم سازی باین نوع مهار بندی ها سکیگوچی، دل واله و همکاران، بادوکس و جیرسا مثالهای عملی را ذکر کرده اند. آزمایش این نوع مهاربندی ها هم توسط بوش و همکاران ایشان گزارش شده است. گفته شده است که این مهار بندی ها ظرفیت مقاومت برشی سازه را افزایش می دهند، ولی مسائلی مانند مشکلات اجرایی و ملاحظات معماری در معایب این گونه بادبندی ها آورده شده است. در حالت قرار دادن مهاربندی داخلی مهارها مستقیماً و یا بصورت غیر مستقیم به قاب بتنی متصل می شوند. در حالت غیر مستقیم قاب فلزی مهاربندی در داخل قاب بتنی قرار داده شده، در نتیجه انتقال نیرو بین مهاربندی فلزی و قاب بتنی بصورت غیر مستقیم و از طریق قاب فولادی انجام می گیرد. در برخی حالات بهسازی، فراهم کردن قاب فولادی در محلی از قاب بتنی که قبلاً آسیب دیده یا ضعیف شده است، لازم می باشد. در موارد دیگر قاب فولادی یک مکانیزم اتصال هزینه بر می باشد. مقاوم سازی قابها با مهاربندی ذکر شده، بصورت داخلی و به شکلهای مختلف توسط کاواماتا، یوسامی، اویشی، ویلی، سوفانو و هیتاشی گزارش شده است [۵].

موضوع تحقیق این مقاله معرفی سیستم کابلی برای مقاوم سازی ساختمانهای بتنی در برابر نیروهای جانبی می باشد. در ضمن مقاومت و سختی سیستم و همچنین فرم بهینه کابل در آن بررسی خواهند شد.

۱- مقاومت کششی بسیار بالای کابل که اجازه اعمال نیروهای پیش تنیدگی قابل توجهی را در کابلها داده و سختی سیستم را هر چه بیشتر افزایش می دهد.

۲- سطح مقطع کوچک و وزن کم کابل در مقابل مقاطع دیگر (دیوارهای برشی بتنی و فولادی و مهاربندهای فلزی) که علاوه بر کاهش هزینه سازه نسبت به سایر سیستم های مقاوم سازی، به دلیل ارتباط نیروهای زلزله با وزن سازه می تواند باعث کاهش نیروهای اعمالی نیز بشود.

۳- سهولت و سرعت بالای اجرا به دلیل یکپارچه بودن کابلها در طبقات.

۴- عدم نیاز به نگهداری در مورد خود کابل و نگهداری راحت میراگرهای فنری با توجه به تعداد کم آنها در کل سازه.

۵- عدم نیاز به تعمیر و یا تعمیر سریع آن بعد از زلزله.

۶- افزایش ایمنی با افزایش قابل ملاحظه سختی جانبی.

۷- ممانعت کمتر برای ملاحظات معماری در مقایسه با دیوارهای برشی و مهاربندها.

۸- مقاومت بالای کابل در برابر خوردگی، ساییش و خستگی.

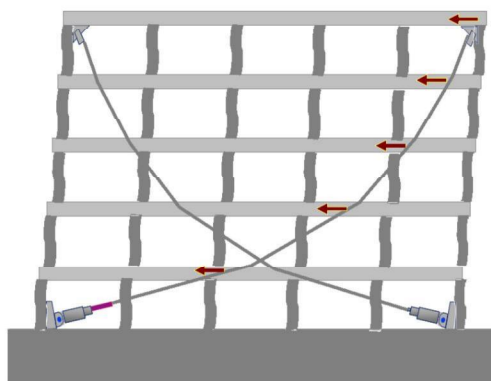
در این تحقیق نحوه مدلسازی سیستم کابلی با اتصالات لغزشی در کف طبقات شرح داده شده و فرم بهینه کابل، با ایجاد مدل های مختلف و بررسی نتایج آنها، در دو قاب بتنی سه و شش طبقه انتخاب می شود. سپس نتایج حالت بهینه سیستم کابلی با نتایج قاب خمشی مقایسه می شوند تا میزان و نحوه تاثیر سیستم مذکور بر سختی و مقاومت قابها مشخص شود. در ضمن اثرات استفاده از میراگرها، که در حال بررسی است، در تحقیقات بعدی اضافه خواهد شد.

این سیستم از کابل های پیش تنیده یکپارچه برای افزایش سختی جانبی سازه استفاده می شود و جهت افزایش استهلاک انرژی در انتهای هر کابل یک میراگر فنری با مایع ویسکوز قرار داده می شود. این سیستم را می توان به صورت داخلی و خارجی اجرا نمود. برای مقاوم سازی سازه های موجود می توان به راحتی از این سیستم به صورت خارجی استفاده کرد. شکل (۱) ساختمانی بتنی را نشان می دهد که برای مقاوم سازی آن از سیستم کابلی بصورت خارجی استفاده شده است [۶]. به دلیل جدید بودن این سیستم، علیرغم جستجوی زیادی که توسط مولفین انجام یافت، بجز اطلاعات مختصری که توسط شرکت جرت در قالب یک فایل نمایشی ارائه شده بود اطلاعات دیگری پیدا نشد.

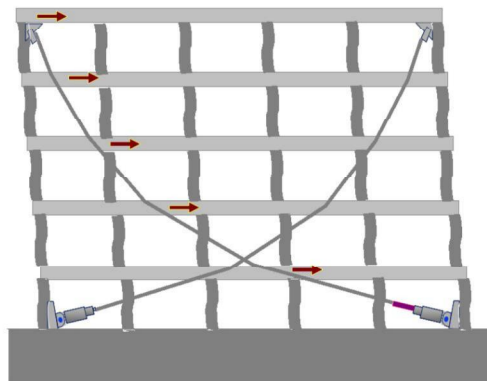


شکل ۱. ساختمان بتنی مهار شده با کابل بصورت خارجی

به نظر مولفین این سیستم کارا بوده و می تواند، با انجام تحقیقات تئوریک و آزمایشگاهی، جایگزین خوبی برای سیستم های دیگر باشد. مزایای این سیستم را می توان به شرح زیر عنوان کرد.

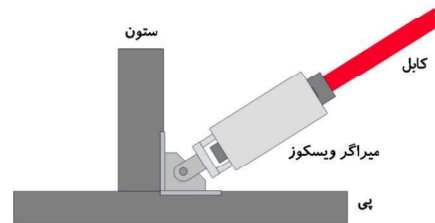
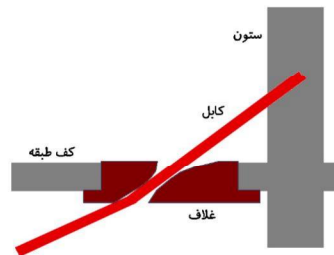


(b)



(a)

شکل ۲. عملکرد سیستم کابلی در برابر بارهای جانبی
(a) بار جانبی به طرف راست (b) بار جانبی به طرف چپ



شکل ۳. نحوه اتصال کابل به کف طبقات و پی

۳- مدلسازی سیستم

مدلسازی این سیستم با نرم افزار SAP 2000 انجام گرفت. ابتدا برای اطمینان از صحت مدلسازی عضو کابلی، مثالی حل شده از NONSAP که جوابهای آن با برنامه اجزای محدود FINELE نیز بدست آمده بود [۷] توسط مولفین در این برنامه مدل گردید. اطلاعات مربوط به این مثال در شکل (۴) و جدول (۱) آورده شده است [۸].

در حالت اول وزن کابل مثل مدل ساخته شده در FINELE بصورت گرهی و در حالت دوم بصورت بار گسترده روی عضو اعمال گردید. هر یک از مدلها، با در نظر گرفتن ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیروهای اعمالی، تحلیل شدند. پس از اطمینان در مورد صحت مدلسازی، با توجه به شکل (۵) مشخص می شود، قایبهای مختلفی مدلسازی و تحلیل شده اند.

در تحلیل این مدلها لنگرهای خمشی در دو انتهای کابل و لنگر پیچشی در یک انتها آزاد سازی شدند. عضو کابلی به اعضای کوچکتر تقسیم گردید و اثر تغییر مکانهای بزرگ در انجام تحلیل غیر خطی

جدول ۱. اطلاعات مثال حل شده NONSAP

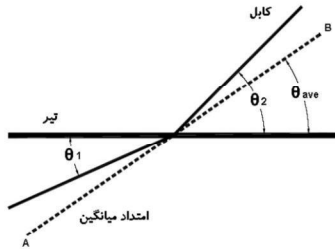
گره	X (اینچ)	Z (اینچ)	بارگرهی ناشی از وزن (پوند نیرو)
۱	۰	۰	-
۲	۳۰۵/۵۶	۲۷۲/۷۳	-۶۹/۶
۳	۹۷۳/۵۱	۸۶۸/۹۹	-۹۵/۵۱
۴	۱۶۴۱/۴۶	۱۴۶۵/۲۵	-۷۹/۱۳
۵	۲۰۸۰/۴	۱۸۵۷/۰۹	-۶۲/۷۶
۶	۲۵۱۹/۳۴	۲۲۴۸/۹۳	-۷۹/۱۳
۷	۳۱۸۷/۲۹	۲۸۴۵/۱۹	-۹۵/۵۱
۸	۳۸۵۵/۲۴	۳۴۴۱/۴۵	-۱۱۰/۵۱
۹	۴۷۳۳/۱۲	۴۲۲۵/۱۱	-۱۲۵/۵۲
۱۰	۵۶۱۱	۵۰۰۸/۷۷	-۱۲۵/۵۲
۱۱	۶۴۸۸/۸۸	۵۷۹۲/۴۳	-۱۲۵/۵۲
۱۲	۷۳۶۶/۷۶	۶۵۷۶/۰۹	-۱۲۱/۷
۱۳	۸۱۹۱/۲	۷۳۱۲/۰۵	-

۲- معرفی سیستم کابلی و نحوه عملکرد آن

در این سیستم به دلیل یکپارچگی کابل مهاری و اتصال لغزشی آن به دالهای کف طبقات، البته پیش تنیدگی کابل تا حدودی باعث محکم تر شدن این اتصالات می شود، نیروهای کششی ایجاد شده در کابل تحت اثر نیروهای جانبی، در همه طبقات با هم برابر خواهند بود. این نیروی کششی به دلیل شکستگی امتداد کابل در محل عبور از کف طبقات مختلف و با توجه به زوایای کابل نسبت به افق، مولفه های افقی متفاوتی خواهد داشت. بر ایند این مولفه ها در دو طبقه مجاور، نیرویی است که بر خلاف جهت نیروی زلزله به کف طبقه اعمال می شود. مانع تغییر مکان بیشتر آن می گردد. عملکرد شرح داده شده برای این سیستم، بصورت شماتیک، تحت اثر بارهای جانبی در دو جهت مخالف در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین نحوه اتصال کابل به کف طبقه و اتصال آن در اولین طبقه به ستون و پی در شکل (۳) نشان داده شده است.

با توجه به توضیحات بالا در مورد عملکرد سیستم، مطمئناً تعیین نقاط عبور کابل از کف هر طبقه و یا به عبارت دیگر زوایای امتداد کابل نسبت به افق در هر طبقه بعنوان یکی از پارامترهای تعیین کننده سختی جانبی کابل از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. به دلیل تغییر شکل جانبی قاب خمشی در مود برشی، مقادیر تغییر مکانهای جانبی نسبی طبقات پایینی بزرگتر هستند. با توجه به این نکته، در سیستم قاب خمشی مهار شده با کابل می توان به راحتی با تغییر محل عبور کابل از کف طبقه، توزیع سختی جانبی ناشی از آن را با توجه به نیاز طبقات انجام داد. در اینصورت به طبقاتی که تغییر مکان جانبی نسبی بزرگتری دارند سختی بیشتری داده خواهد شد و با ایجاد یکنواختی در تغییر مکانها سیستم مقاوم بهتری خواهیم داشت.

دوگره در امتداد عمود بر امتداد AB، به هم بسته شده و سایر درجات آزادی آزاد گذاشته شدند. در واقع با این کار به کابل اجازه داده می شود که در محل اتصال به تیر، در جهت امتداد AB، آزادانه حرکت کند و در جهت عمود بر امتداد مذکور به دلیل مقید شدن با تیر، در برابر حرکت جانبی طبقه ممانعت ایجاد نماید که این همان عملکرد مورد انتظار از اتصال لغزشی می باشد.



شکل ۶. زاویه دوران محوره های محلی در مدل سازی اتصال لغزشی

برای وارد کردن نیروی پیش تنیدگی کابل ها در نرم افزار SAP 2000، با توجه به اینکه اعمال این نیرو بصورت مستقیم امکان پذیر نبود، از روش کاهش درجه حرارت در اعضای کابلی استفاده شد که میزان کاهش با توجه به رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$\Delta T = - \frac{P}{EA \alpha} \quad (1)$$

که در این رابطه :

P: نیروی پیش تنیدگی

A: سطح مقطع کابل

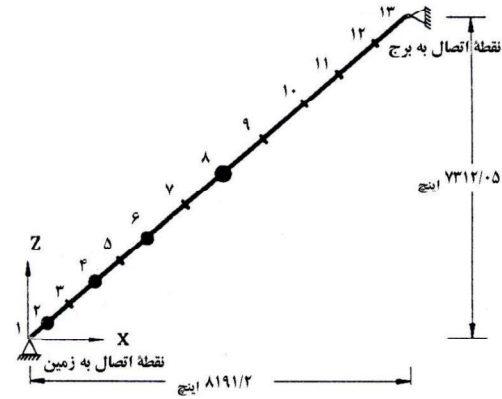
α: ضریب انبساط حرارتی کابل

E: مدول الاستیسیته کابل

۴- مقایسه قاب خمشی با قاب خمشی مهار شده توسط کابل

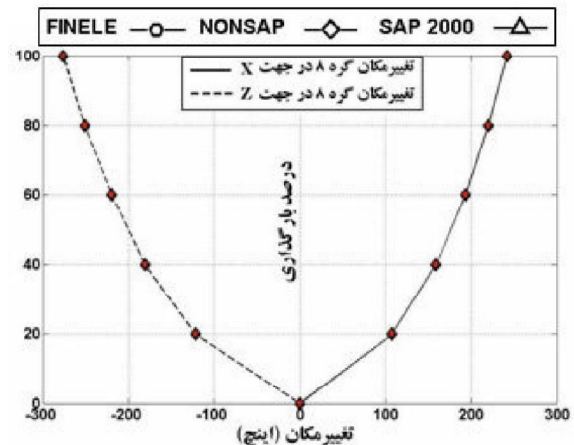
همانطوریکه می دانیم دو عامل تعیین کننده برای سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی، مقاومت و سختی آنها می باشد. در این بخش دو سیستم قاب خمشی و قاب خمشی مهار شده با کابل، از این نظر با هم مقایسه می شوند تا میزان کارایی سیستم کابلی و تاثیر این سیستم در تغییر مکانهای جانبی نسبی طبقات مختلف نشان داده شود. برای این منظور دو ساختمان بتنی، سه و شش طبقه، که در هر جهت دارای پنج دهانه پنج متری بوده و ارتفاع طبقات آن سه متر می باشد، با سیستم پوششی دال بتنی، در نظر گرفته شدند. بارگذاری آنها مطابق ضوابط آیین نامه های ۵۱۹ و ۲۸۰۰ انجام شد [۱۰]، [۱۱]. یک قاب کناری از هر ساختمان، بعنوان نماینده انتخاب شده و مورد تحلیل قرار گرفت. طراحی این قابها با فرض قاب خمشی متوسط و مطابق آیین نامه ۳۱۸-۰۲ ACI انجام گردید [۱۲].

انتخاب شد تا انعطاف پذیری کابل منظور شود. بدلیل اینکه اعضای کابلی تنها به کشش کار می کنند حد بالای فشار در این المانها برابر صفر اعمال شد [۹].



(اینچ مربع) ۰/۳۶۱ = مساحت مقطع
 (پوند نیرو) ۷۵۲۰ = نیروی پیش تنیدگی
 (پوند نیرو) ۵۱۰ = وزن اضافی در گره های ۲، ۴، ۶ و ۸
 (پوند نیرو) ۳۰۶۰ = وزن اضافی در گره ۸
 (پوند نیرو بر اینچ مربع) ۷ + ۱/۹ E = مدول الاستیسیته
 (پوند نیرو بر اینچ مکعب) ۴ - ۷/۶۴۷ E = جرم مخصوص

شکل ۴. اطلاعات مثال حل شده NONSAP



شکل ۵. نتایج مثال با FINELE و NONSAP و SAP ۲۰۰۰

برای مدل کردن اتصال لغزشی کابل با کف طبقه در نرم افزار SAP ۲۰۰۰ ابتدا گره اتصال کابل به کف طبقه و اپاشی (Disconnect) شده و سپس اعضای تیری به هم و اعضای کابلی بهم متصل شدند (شکل ۶). در این حالت در محل اتصال، دو گره با یک مکان هندسی در فضا ایجاد می شود که کاملاً مجزا از هم عمل می کنند. در مرحله بعدی محوره های محلی گرهها به اندازه θ_{ave} دوران داده شدند که با این کار یکی از محوره های محلی گرهها بر امتداد AB منطبق شد. سپس با استفاده از قید Local، درجه آزادی

طبقات فوقانی افزایش می یابد. فرم کلی کابل در حالت بهینه برای هر دو قاب در شکل (۸) نشان داده شده است. مختصات نقاط اتصال کابل به کف طبقات مختلف با توجه به شکل (۸) برای کابل مهاربی بعدی راست در جدول (۴) آورده شده است. در مورد کابل مهاربی بعدی مختصات مربوطه در جهت X، قرینه مختصات کابل سمت راست می باشد.

نکته قابل ذکر در مورد بهینه سازی فرم کابل این است که در طبقات پایینی قاب خمشی که دارای تغییرمکان جانبی نسبتی بزرگتری بودند، زاویه کابل با افق در سیستم کابلی کوچکتر است. بنابراین می توان چنین گفت که زاویه کابل با افق در طبقه پایین کمترین مقدار را داشته و با حرکت به سمت طبقات بالاتر این زاویه افزایش می یابد. اما این مطلب در مورد طبقه اول صدق نمی کند، این طبقه به دلیل اتصال به زمین دارای سختی زیادی بوده و تغییرمکان جانبی نسبتی آن در سیستم قاب خمشی، کوچکتر از چندین طبقه روی خود می باشد. پس همانطور که از شکل (۸) و جدول (۴) فهمیده می شود، حالت بهینه موقعی رخ می دهد که کابل از طبقه اول بدون شکستگی عبور کند، یعنی زوایای کابل با افق در طبقات اول و دوم برابر باشند.

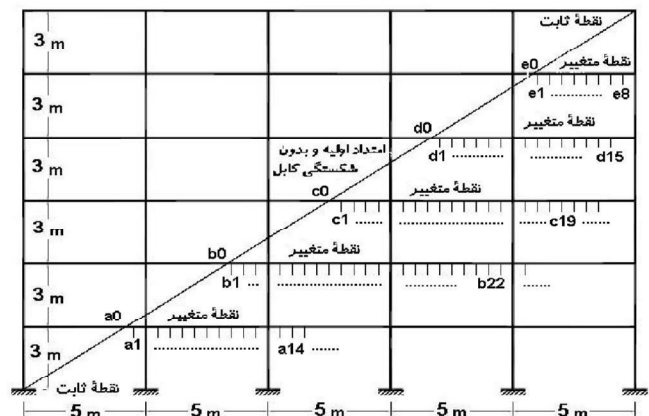
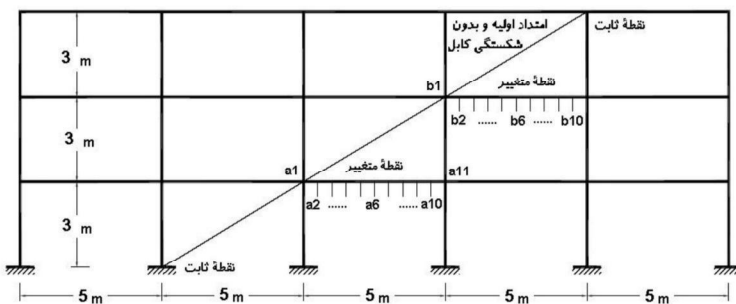
مقادیر مربوط به تغییر مکانهای جانبی نسبتی طبقات مختلف برای قابهای سه و شش طبقه در دو سیستم مقاوم یعنی سیستمهای قاب خمشی و قاب خمشی مهار شده با کابل، در شکل (۹) آورده شده است. جداول (۵) و (۶) نیز شامل همین نتایج بصورت عددی می باشند که در آن درصدهای کاهش تغییرمکان جانبی نسبتی طبقات مختلف به دلیل استفاده از کابل نسبت به سیستم قاب خمشی نیز محاسبه شده اند.

در انجام عملیات طراحی علیرغم کفایت مقاطع برای نیروهای داخلی اعضای قاب، محدودیت آیین نامه ۲۸۰۰ در مورد تغییر مکانهای جانبی نسبتی طبقات ارضا نمی شود.

در این تحقیق بجای افزایش ابعاد مقاطع جهت کاهش تغییر مکانها ترجیح داده شد که تاثیر مهاربندی کابلی در کاهش تغییرمکانها تا حد مجاز بررسی شود.

در مرحله بعدی جهت تقویت قابهای بتنی، با ثابت نگه داشتن مقاطع و نیروهای اعمالی به قاب، سیستم مهاربندی کابلی اضافه شد. در قاب سه طبقه، سه دهانه میانی با کابلی به قطر ۳ سانتیمتر و نیروی پیش تنیدگی ۱۸۰۰۰ کیلوگرم مهاربندی شد (شکل (۷)). در قاب شش طبقه نیز از هر پنج دهانه قاب برای مهاربندی با کابلی به قطر ۵ سانتیمتر و نیروی پیش تنیدگی ۵۰۰۰۰ کیلوگرم استفاده شد.

با توجه به نحوه عملکرد سیستم های مهاربندی شده با کابل ابتدا باید حالت بهینه سیستم کابلی انتخاب شود. تغییر دادن فرم کابل مهاربی یا به عبارت دیگر تغییر دادن نقاط عبور کابل از کف طبقات موجب می شود که سختی جانبی کابل در هر طبقه تغییر کند. برای بهینه سازی فرم کابل، در هر یک از قابهای سه و شش طبقه، تمامی نقاط ممکن جهت اتصال کابل با گامهای ۰/۵ متری مطابق شکل (۷) در نظر گرفته شدند. پس از تحلیل تمامی مدل های ایجاد شده با توجه به تغییرمکانهای جانبی نسبتی طبقات مختلف قابها که قسمتی از آنها در جداول (۲) و (۳) آورده شده اند، حالت بهینه انتخاب شد. همانطوریکه مشاهده می شود در حالت بهینه تغییرمکان جانبی نسبتی طبقات پایین که از نظر تغییرمکانی بحرانی تر هستند، نسبت به حالت اولیه (کابل بصورت کاملاً مستقیم) کاهش بیشتری داشته و در عوض مقادیر



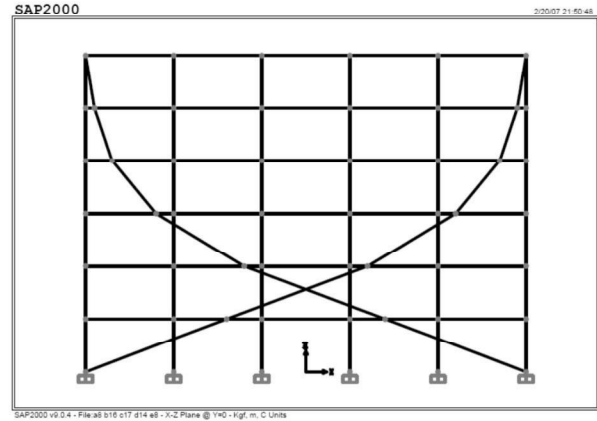
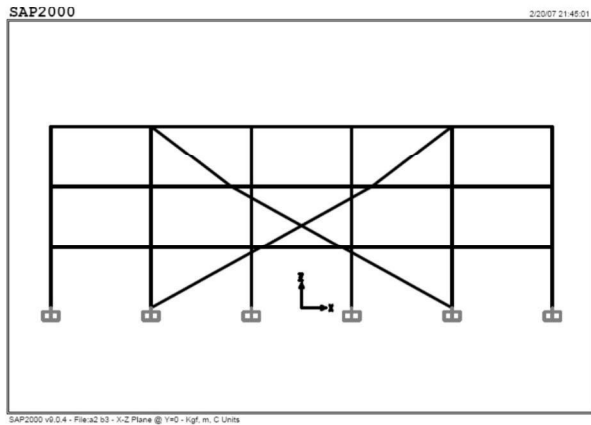
شکل ۷. نحوه مهاربندی قابهای سه و شش طبقه با سیستم کابلی و نقاط اتصال ممکنه

جدول ۲. تغییرمکانهای جانبی نسبی در قاب سه طبقه برای مدل‌های مختلف ایجاد شده

مدل	$\Delta 1 \text{ mm}$	$\Delta 2 \text{ mm}$	$\Delta 3 \text{ mm}$	مدل	$\Delta 1 \text{ mm}$	$\Delta 2 \text{ mm}$	$\Delta 3 \text{ mm}$
a ^۱ b ^۱	۷/۴۸	۸/۶۴	۳/۹۸	a ^۴ b ^۶	۷/۳۷	۸/۹۵	۵/۷
a ^۲ b ^۲	۷/۳۶	۸/۵۹	۴/۱۲	a ^۴ b ^۷	۷/۳۸	۹/۳۹	۶/۶۶
a ^۲ b ^۳	۷/۳۳	۸/۵	۴/۳۴	a ^۵ b ^۳	۷/۲۶	۸/۹۳	۴/۵۲
a ^۳ b ^۲	۷/۲۹	۸/۶۸	۴/۱۹	a ^۵ b ^۴	۷/۱۹	۸/۷۷	۴/۶۸
a ^۳ b ^۳	۷/۲۵	۸/۵۶	۴/۲۹	a ^۵ b ^۵	۷/۱۸	۸/۷۷	۵/۰۷
a ^۳ b ^۴	۷/۲۴	۸/۵۳	۴/۵۳	a ^۵ b ^۶	۷/۲۳	۸/۹۸	۵/۷۲
a ^۳ b ^۵	۷/۲۷	۸/۶۶	۴/۹۹	a ^۵ b ^۷	۷/۳۲	۹/۳۸	۶/۶۶
a ^۴ b ^۳	۷/۲۲	۸/۶۸	۴/۳۹	a ^۵ b ^۸	۷/۴۳	۹/۹	۷/۸۱
a ^۴ b ^۴	۷/۱۹	۸/۵۹	۴/۵۹	a ^۵ b ^۹	۷/۵۶	۱۰/۴۴	۹/۱
a ^۴ b ^۵	۷/۲	۸/۶۸	۵/۰۱				

جدول ۳. تغییرمکانهای جانبی نسبی در قاب شش طبقه برای مدل‌های مختلف ایجاد شده

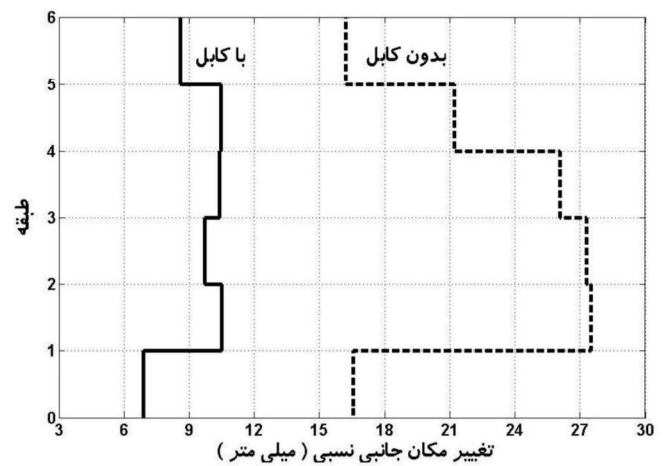
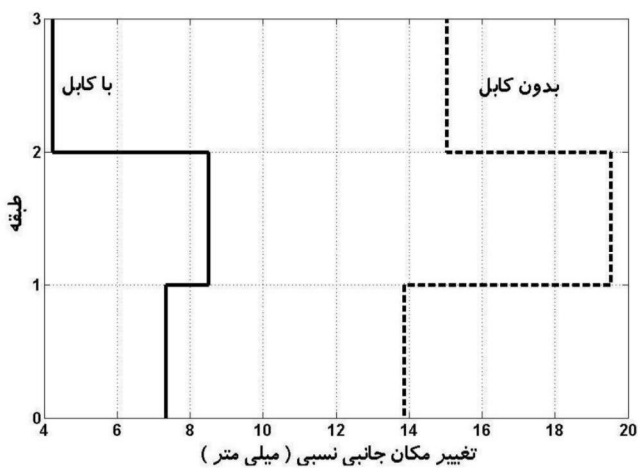
مدل	$\Delta 1 \text{ mm}$	$\Delta 2 \text{ mm}$	$\Delta 3 \text{ mm}$	$\Delta 4 \text{ mm}$	$\Delta 5 \text{ mm}$	$\Delta 6 \text{ mm}$
a ^۰ b ^۰ c ^۰ d ^۰ e ^۰	۹/۱۱	۱۴/۰۲	۱۱/۷۹	۷/۲۸	۰/۲۳	-۷/۳۷
a ^۱ b ^۲ c ^۲ d ^۳ e ^۱	۸/۷	۱۳/۲۶	۱۰/۹۹	۶/۵۳	۰/۳۹	-۴/۶۲
a ^۲ b ^۴ c ^۵ d ^۷ e ^۸	۷/۸۸	۱۱/۸۳	۹/۵۱	۵/۶۵	۲/۷۳	۵/۲
a ^۳ b ^۶ c ^۸ d ^{۱۰} e ^۸	۷/۶۴	۱۱/۴۴	۹/۱۹	۵/۸۴	۳/۸۹	۵/۷۵
a ^۴ b ^۸ c ^{۱۰} d ^{۱۱} e ^۸	۷/۴۴	۱۱/۱۷	۹/۲۱	۶/۴۸	۴/۸۹	۶/۱۵
a ^۵ b ^{۱۰} c ^{۱۲} d ^{۱۲} e ^۸	۷/۲۶	۱۰/۹۹	۹/۴۳	۷/۴۷	۶/۲۵	۶/۷۱
a ^۶ b ^{۱۲} c ^{۱۴} d ^{۱۳} e ^۸	۷/۱	۱۰/۸۵	۹/۶۴	۸/۶۳	۸/۰۲	۷/۴۷
a ^۷ b ^{۱۴} c ^{۱۵} d ^{۱۳} e ^۸	۶/۹۸	۱۰/۶۷	۹/۷۱	۹/۰۴	۸/۲	۷/۵۲
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۵} d ^{۱۵} e ^۸	۶/۹۹	۱۰/۷۱	۱۰/۱۱	۱۰/۳۶	۱۲/۲۳	۹/۵۵
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۶} d ^{۱۲} e ^۸	۶/۸۸	۱۰/۵۲	۹/۹۵	۹/۸۹	۷/۳۹	۷/۰۳
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۶} d ^{۱۴} e ^۸	۶/۹۱	۱۰/۵۲	۹/۷۹	۹/۹۶	۱۰/۲۲	۸/۵
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۶} d ^{۱۵} e ^۸	۶/۹۷	۱۰/۶۳	۹/۹۲	۱۰/۵۴	۱۲/۳۲	۹/۵۸
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۷} d ^{۱۴} e ^۸	۶/۹	۱۰/۴۹	۹/۷۲	۱۰/۴۱	۱۰/۴۵	۸/۵۸
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۸} d ^{۱۴} e ^۸	۶/۹۵	۱۰/۵۹	۹/۹۶	۱۱/۳	۱۰/۸۶	۸/۷۳
a ^۸ b ^{۱۶} c ^{۱۹} d ^{۱۴} e ^۸	۷/۰۸	۱۰/۸۹	۱۰/۶۳	۱۲/۷۲	۱۱/۵	۸/۹۹
a ^۹ b ^{۱۸} c ^{۱۷} d ^{۱۳} e ^۸	۶/۹۱	۱۰/۷۳	۱۰/۵	۱۰/۷۷	۸/۹۹	۷/۸
a ^۹ b ^{۱۸} c ^{۱۷} d ^{۱۴} e ^۸	۶/۹۳	۱۰/۷۶	۱۰/۴۲	۱۰/۸۳	۱۰/۵۷	۸/۶۱
a ^۹ b ^{۱۸} c ^{۱۸} d ^{۱۴} e ^۸	۶/۹۴	۱۰/۷۳	۱۰/۴۶	۱۱/۵۸	۱۰/۹۳	۸/۷۵
a ^{۱۰} b ^{۲۰} c ^{۱۸} d ^{۱۴} e ^۸	۷/۰۲	۱۱/۳۳	۱۱/۵۷	۱۲/۰۹	۱۱/۰۸	۸/۷۹



شکل ۸. فرم کلی کابل در حالات بهینه برای قابهای سه و شش طبقه

جدول ۴. مختصات نقاط اتصال کابل به کف طبقات در حالت بهینه و طول کابل در هر طبقه

طبقه	(x,z) در قاب سه طبقه	(x,z) در قاب شش طبقه	طول کابل (متر) در قاب سه طبقه	طول کابل (متر) در قاب شش طبقه
پی	$(-۷/۵ و ۰)$	$(-۱۲/۵ و ۰)$	.....	.....
اول	$(-۲ و ۳)$	$(-۴/۵ و ۳)$	۶/۲۶۵	۸/۵۴۴
دوم	$(۳/۵ و ۶)$	$(۳/۵ و ۶)$	۶/۲۶۵	۸/۵۴۴
سوم	$(۷/۵ و ۹)$	$(۸/۵ و ۹)$	۵	۵/۸۳۱
چهارم	.....	$(۱۱ و ۱۲)$	.....	۳/۹۰۵۱
پنجم	.....	$(۱۲ و ۱۵)$	.....	۳/۱۶۲۳
ششم	.....	$(۱۲/۵ و ۱۸)$	.....	۳/۰۴۱۴



(قاب سه طبقه)

(قاب شش طبقه)

شکل ۹. نمودارهای تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در قابها برای سیستم قاب خمشی و قاب خمشی مهار شده با کابل

جدول ۵. تغییر مکانهای جانبی نسبی طبقات و درصدهای کاهش آن به دلیل استفاده از سیستم کابلی در قاب سه طبقه

طبقه	Δ mm قاب خمشی	Δ mm قاب خمشی و کابل	درصد کاهش
اول	۱۳/۸۶	۷/۳۳	۴۷/۱۱
دوم	۱۹/۵۲	۸/۵۰	۵۶/۴۵
سوم	۱۵/۰۴	۴/۲۴	۷۱/۸۱

جدول ۶. تغییر مکانهای جانبی نسبی طبقات و درصدهای کاهش آن به دلیل استفاده از سیستم کابلی در قاب شش طبقه

طبقه	Δ mm قاب خمشی	Δ mm قاب خمشی و کابل	درصد کاهش
اول	۱۶/۵۶	۶/۹۰	۵۸/۳۳
دوم	۲۷/۵۱	۱۰/۴۹	۶۱/۸۷
سوم	۲۷/۳۱	۹/۷۲	۶۴/۴۱
چهارم	۲۶/۰۸	۱۰/۴۱	۶۰/۰۸
پنجم	۲۱/۲۱	۱۰/۴۵	۵۰/۷۳
ششم	۱۶/۲۱	۸/۵۸	۴۷/۰۷

ملاحظه می شود که سیستم کابلی با توجه به کاهش تغییر مکانهای جانبی نسبی، موجب شده است که کلیه مقادیر در محدوده مجاز آیین نامه قرار گیرند.

با توجه به نتایج قاب شش طبقه، این نکته مشاهده می شود که تغییر مکانهای جانبی نسبی طبقات دوم و سوم که در سیستم قاب خمشی بیشترین مقادیر را داشتند، در سیستم کابلی بیشترین درصد کاهش را دارا می باشند. در ضمن نتایج سایر طبقات نیز با مقادیر این دو طبقه دارای یکنواختی هستند که نتیجه بسیار خوبی می باشد. البته یکنواختی تغییر مکانهای جانبی نسبی برای طبقات اول و آخر در مقایسه با سایر طبقات کمتر است که دلیل آنرا می توان در سختی زیاد طبقه اول به دلیل اتصال به زمین و نرمی طبقه آخر به دلیل انتهای آزاد آن دانست. این امر در نتایج قاب سه طبقه به دلیل وجود فقط یک طبقه میانی مشهودتر می باشد.

وجود کابل مهاری با نیروی کششی بالا، باعث می شود که قسمت قابل توجهی از برش طبقات توسط مولفه افقی کشش کابل خنثی شود و کاهش قابل ملاحظه ای در نیروی برشی ستونهای قاب ایجاد گردد. میزان این کاهش را از روی نتایج آمده در شکل (۱۰) می توان بخوبی مشاهده کرد. لازم به ذکر است که با توجه به کاهش چشمگیر نیروهای برشی و لنگرهای خمشی اعضای قاب، میزان میلگرد مورد نیاز اعضا نیز کاهش زیادی می یابد که در مقایسه با سطح مقطع و وزن کم کابل اضافه شده، طرح بسیار اقتصادی تر می شود.

اولین مطلبی که از دقت در نتایج مذکور استنباط می شود کاهش قابل ملاحظه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مختلف می باشد که علاوه بر کاهش محسوس لنگر در ستونهای قاب، از اثرات نامطلوب پدیده $P-\Delta$ نیز می کاهد. این نتایج نشان می دهند که کابلهای پیش تنیده حتی با سطح مقطع های کوچک تأثیر زیادی در افزایش سختی جانبی قابها دارند.

با توجه به اینکه در طراحی قابهای خمشی محدودیت مربوط به تغییر مکانهای جانبی نسبی در نظر گرفته نشده، مقادیر مربوطه در اکثر طبقات، خارج از محدوده آیین نامه ۲۸۰۰ هستند. این محدوده برای قابهای سه و شش طبقه با توجه به زمان تناوب آنها برابر $h/0.25$ یا ۷۵ میلی متری باشد. مثلاً برای مقادیر ماکزیمم که در طبقه دوم رخ داده است داریم:

: قاب سه طبقه

$$0.7 \times R \times \Delta = 0.7 \times 7 \times 19.52$$

$$9.5/6.5 < 7.5 \rightarrow \text{صدق نمی کند}$$

: قاب شش طبقه

$$0.7 \times R \times \Delta = 0.7 \times 7 \times 27.751$$

$$13.4/8 < 7.5 \rightarrow \text{صدق نمی کند}$$

حال با فرض ثابت ماندن ضریب رفتار برای سیستم قاب خمشی

مهار شده با کابل خواهیم داشت :

: قاب سه طبقه با کابل

$$0.7 \times R \times \Delta = 0.7 \times 7 \times 8.50$$

$$4.1/6.5 < 7.5 \rightarrow \text{صدق می کند}$$

: قاب شش طبقه با کابل

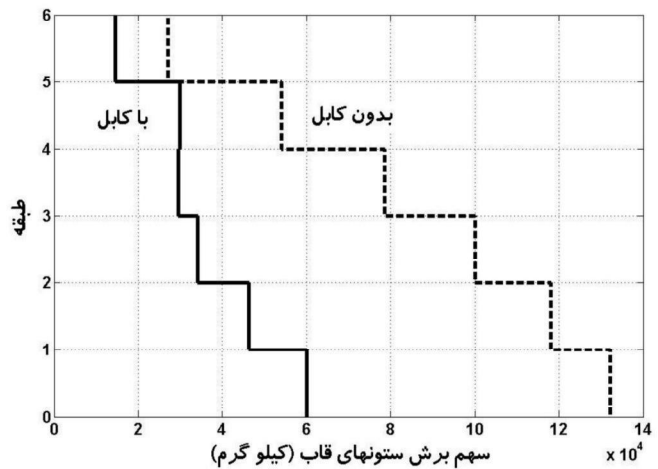
$$0.7 \times R \times \Delta = 0.7 \times 7 \times 10.49$$

$$5.1/4.0 < 7.5 \rightarrow \text{صدق می کند}$$

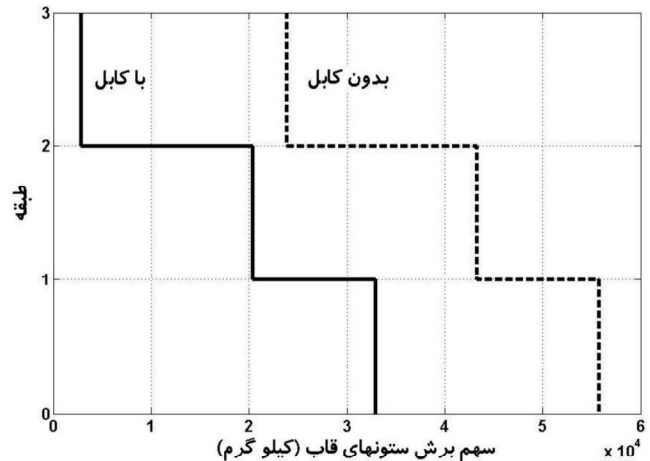
برای حصول فرم بهینه کابل لازم است که زوایای امتداد آن با افق در طبقات اول و دوم با هم برابر بوده و برای طبقات بالاتر به تدریج کاهش داده شود. با توجه به تمامی مطالب بالا و در نظر داشتن مزایای ذکر شده برای این سیستم، می توان آنرا جایگزین مناسبی برای سایر سیستمهای مقاوم سازی دانست.

۶- مراجع

- ۱- ف. ناطق الهی و ر. کاکاوندی اسدی. ۱۳۷۵. رفتار و طراحی سازه ای ساختمانهای بلند. تهران. موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- ۲- س.م. میر محمد حسینی و ب. عارف پور. ۱۳۷۸. مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای تهران. تهران. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- ۳- ح. حاجی کاظم. ۱۳۷۵. آنالیز و طراحی سازه های بلند. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- س. صبوری. ۱۳۸۰. سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی مقدمه ای بر دیوار برشی فولادی. تهران. انتشارات انگیزه.
- ۵- Maheri, M.R., Kousari, R. and Razazan M. 2003. Pushover tests on steel X-braced and knee-braced RC frames. Engineering Structures. vol. 25 , No. 13, 1697-1705.
- ۶- شکل برگرفته از www.Jarretstructures.com
- ۷- UMIST. 1996. Finite element package, FINELE.
- ۸- User's Manual for CEL/NONSAP. 1974. A Nonlinear Structural Analysis Program.
- ۹- Computers and Structures Inc. 2004. SAP 2000 Basic Analysis Reference Manual, Ver. 9. Berkeley, California.
- ۱۰- وزارت مسکن و شهر سازی. ۱۳۷۹. آیین نامه حداقل بار وارده بر ساختمان ها و ابنیه فنی. تهران. انتشارات مدیریت.
- ۱۱- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. ۱۳۸۵. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۸۴-۲۸۰۰. ویرایش سوم. انتشارات مدیریت.
- ۱۲- American Concrete Institute, 2002, Building Requirement for Reinforcement Concrete , ACI Code318.02 .



(قاب سه طبقه)



(قاب شش طبقه)

شکل ۱۰. سهم ستون های قاب از برش طبقه برای طبقات مختلف در دو سیستم قاب خمشی و قاب خمشی با کابل

۵- نتیجه گیری

سیستم کابلی باعث ایجاد کاهش قابل ملاحظه در تغییر مکانهای جانبی نسبی طبقات و نیروهای برشی و لنگرهای خمشی اعضای قاب شده و سختی جانبی قاب را، حتی با سطح مقطع کوچک کابل، بطور چشمگیری افزایش می دهد. علاوه بر مطلب فوق، بهینه سازی فرم کابل باعث می شود که بیشترین درصدهای کاهش در مقادیر تغییر مکانهای جانبی نسبی، مربوط به طبقاتی باشد که در سیستم قاب خمشی دارای بیشترین مقادیر بودند و به این طریق یکنواختی در نتایج تغییر مکانی ایجاد می شود.

Optimization of cable system form, used in concrete structures in order to rehabilitate them

M. Barghian

Assistant Professor, Azad University of Ahar

S. Maghsoodpour

Postgraduate Student, Civil Engineering Faculty, Tabriz University

Abstract

In this paper the rehabilitation of concrete structures with a new system is considered. In this system pre-stressed cables with energy dissipating viscous spring dampers at the end of each cable, are used to increase structure lateral stiffness. Cable systems can be replaced with other systems due to their high tensile resistance, their easy replacement, high speed performance, economical matters and so on. This system can be used to retrofit existing structures. Using this system not only reduces stories relative lateral displacements considerably but also allows them to have nearly equal displacements. In other words lateral stiffness resulted from cable in each story can easily be set by changing the passing position of cable and floor, according to frame displacement results. Two concrete frame structures - one three and another six story buildings - were modeled with the SAP2000 package and optimum of cable form was obtained. Comparing flexural frame results with cable system optimized case showed that the most reduction in relative lateral displacement occurred in the stories which had maximum displacements in flexural frame system.

Keywords:

Optimization, Relative lateral displacement, Cable system, Pre-stressed cables, spring damper.