

بررسی اثر مهار بازویی روی رفتار سیستم لوله با هسته بتن مسلح در ساختمان بلند تحت اثر باد

کدمقاله: **A267**

حمید بیرقی، علی خیرالدین

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهدیشهر، گروه عمران، مهدیشهر، سمنان، ایران

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران

Email: h_beiraghi@yahoo.com

چکیده

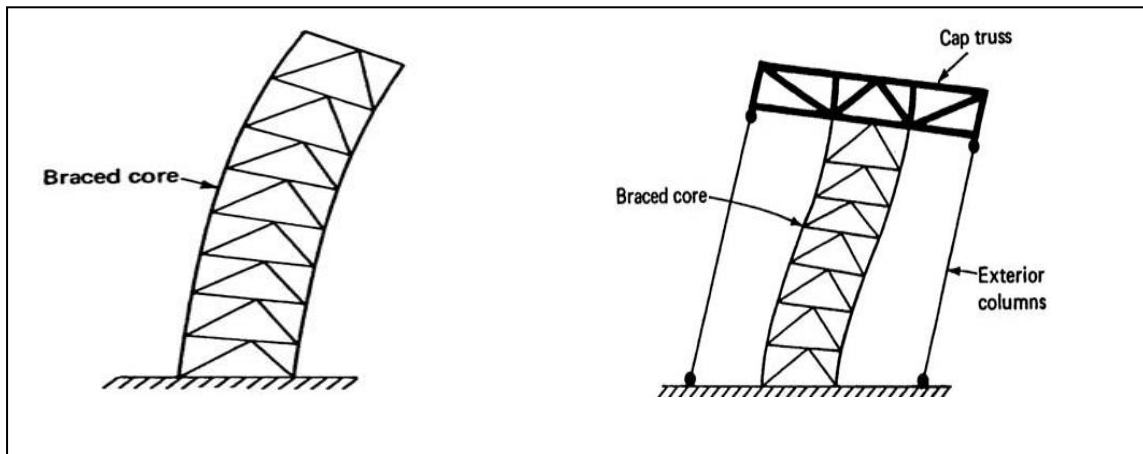
در ساختمانهای بلند کنترل تغییر مکان جانبی سازه تحت نیروهای جانبی از جمله مباحث چالش انگیز در طراحی به شمار میآید. تأمین معیار آرامش و آسایش ساکنان تحت نیروی باد با سیستم های سازه ای متنوع قابل حصول است. در این مقاله ساختمان هشتاد طبقه بتن مسلح در حالت سه بعدی با سیستم لوله قابی خارجی با هسته بتن مسلح تحت بار ثقلی و باد مورد تحلیل و طراحی قرار میگیرد. سپس با افزودن مهار بازویی بتن مسلح دو طبقه ای در دو تراز مختلف در ارتفاع سازه، رفتار هر دو سیستم مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج نشان میدهد در سیستم لوله با هسته در طبقات نزدیک به بام، عملکرد هسته به صورت منفی است و موجب تحمل نیروی اضافی به قاب است. هرچند وجود مهار بازویی موجب کاهش حدود ۲۵ درصدی در حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و حدود ۲۲ درصد در تغییر مکان بام سیستم میشود، اما پدیده برش منفی را در طبقات نزدیک بام تشدید میکند. همچنین وجود مهار بازویی تاثیر ناچیزی روی لنگی برشی طبقات دارد.

واژه های کلیدی: سازه بلند، بتن مسلح، سیستم لوله با هسته، مهار بازویی، تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

در سازه های با ارتفاع حدود ۳۵ تا ۴۰ طبقه، حداکثر تغییر مکان جانبی سازه و حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات تحت نیرو های جانبی اغلب با به کارگیری یک هسته مهاربندی شده قابل کنترل است. اما با افزایش ارتفاع سازه، یا به عبارت دیگر افزایش نسبت ارتفاع به عرض سازه که اغلب تحت عنوان «نسبت ظاهر» از آن نام می برند، هسته مهاربندی شده به تنهایی قادر به تأمین سختی کافی نمی باشد و سازه دچار جابه جایی زیاد می شود. معمولاً ساختمان با نسبت ظاهر بیشتر از حدود ۳/۲ را به عنوان سازه بلند لحاظ می کنند. تأمین سختی هم از نظر معیار آرامش و آسایش ساکنان، تحت نیروی باد و هم از نظر معیار ایمنی در طراحی سازه و کنترل اثرات $P-\Delta$ و غیره در سازه های بلند حائز اهمیت است [۳]. یکی از راهکارهای مؤثر برای کنترل جابه جایی سازه بلند، به کار گیری مهار بازویی است. این مهار بازویی از دو طرف هسته در یک، دو یا سه طبقه ادامه می یابد و به سایر ستون های خارج هسته متصل می شود.

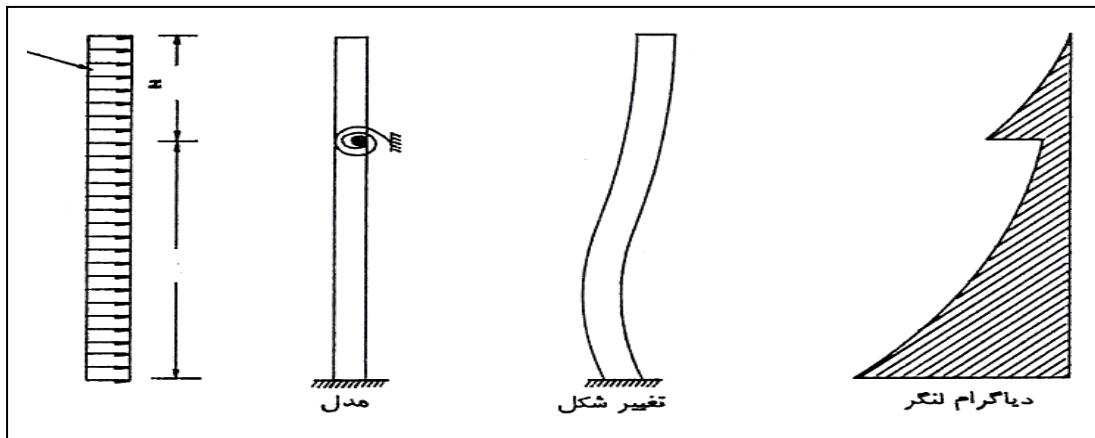
۲ . عملکرد مهار بازویی و هسته بتن مسلح

همانگونه که از شکل ۱ مشخص است، چنانچه سیستم مقاوم جانبی یک سازه صرفاً مبتنی بر هسته مهاربندی شده باشد، تغییر شکل سازه تحت نیروی جانبی مانند یک تیر طره در مود خمش است، اما چنانچه با یک خرپای نسبتاً سخت (مهار بازویی) هسته را به ستون های خارجی متصل کنیم تحت بار جانبی دوران هسته موجب دوران مهار بازویی می شود و ستون های خارجی در یک طرف تحت کشش و در طرف مقابل تحت فشار قرار می گیرند. این فرایند ستون های خارجی را وادار به مشارکت در باربری جانبی می کند. در این حالت تغییر شکل هسته تقریباً S شکل است. عملکرد مهار بازویی با مشارکت دادن ستون ها موجب کاهش لنگر هسته و نیروی محوری ستون های هسته تحت بار جانبی می شود، اگرچه اثری بر برش هسته ندارد و کل برش بایستی توسط هسته تحمل شود [۱].



شکل ۱: تأثیر مهار بازویی بر سازه تحت نیروی جانبی

عملکرد یک مهار بازویی روی هسته سازه مانند عملکرد یک فنر پیچشی روی یک تیر طره تحت بار گسترده است. مطابق شکل ۲ لنگر متمرکز اعمال شده از طرف فنر موجب کاهش لنگر تیر طره و لذا کاهش تغییر مکان نوک آن می شود.



شکل ۲: عملکرد مهار بازویی بر هسته

اسمیت و همکار با نوشتن معادلات سازگاری یک تیر کنسولی با یک فنر پیچشی (که یک درجه نامعین استاتیکی است) با فرض رفتار الاستیک خطی و سطح مقطع یکنواخت می توان تابع تغییر مکان نوک تیر را بر حسب فاصله نوک تیر تا محل استقرار فنر (X) به دست آورد و با مشتق گیری بر حسب X، محل بهینه فنر برای کمینه شدن جابه جایی نوک تیر حاصل می شود. این مقدار برابر $x=0.455H$ به دست می آید که H طول تیر کنسول است. ایشان یک قانون سر انگشتی برای محل بهینه دو مهار بازویی با قرار دادن آنها در فواصل حدود $1/3$ در ارتفاع سازه اعلام نمودند.[۲].

یکی از معایب به کار گیری مهار بازویی اتلاف فضای طبقه دارای مهار بازویی است، زیرا در حالت سه بعدی برای در گیر نمودن همه ستون های خارج از هسته مهاربندی، آنها را توسط خرپای کمربندی در هر دو جهت در پلان در همان طبقه دارای مهار بازویی به یکدیگر متصل می کنند و فقط تعدادی از این ستون ها با مهار بازویی امکان اتصال به هسته را دارند. فضای طبقه مذکور معمولاً به عنوان فضای غیر مسکونی و به صورت طبقه تأسیسات مورد استفاده قرار می گیرد[۵].

هسته های بتنی به علت مقاومت در برابر نیرو های جانبی و سختی مناسب به طور وسیع به عنوان سیستم مقاوم در برابر نیرو های جانبی در سازه های بلند مورد استفاده هستند. هرچند رفتار این سیستم های سازه ای در بین متخصصان و دانشمندان مورد بحث است. زیرا تحقیقات چندان گسترده ای در مورد عملکرد آن وجود ندارد. بنا براین تحقیق در مورد رفتار مکانیکی و مشخصات خرابی این سیستم ها می تواند در شفاف سازی طراحی مهندسی تأثیر زیادی داشته باشد

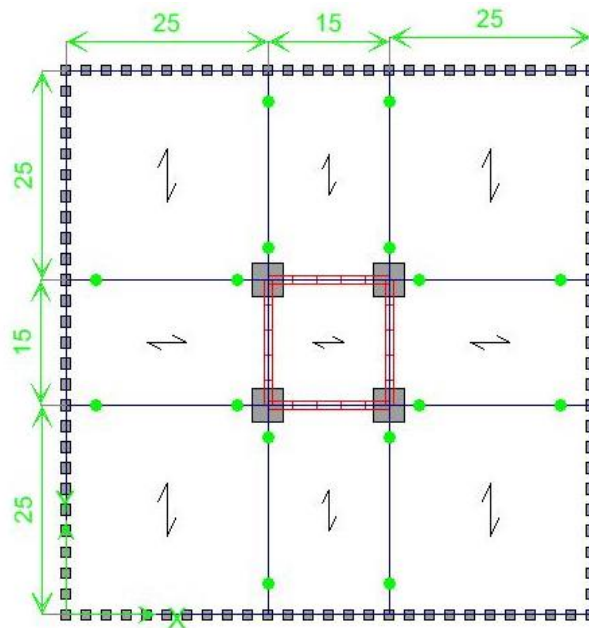
عملکرد کلی سیستم مرکب هسته با قاب مشابه سیستم دوگانه دیوار برشی با قاب است. قاب و هسته بتن مسلح به صورت سیستم دوگانه در برابر نیروی جانبی با یکدیگر دارای تعامل هستند. هسته بتنی سختی بیشتری دارد نیروی زیادی را به خود اختصاص می دهد و قاب پیرامونی عموماً نیروی ثقلی را متحمل می شود. لذا رفتار لرزه ای هسته بتنی در چنین سازه هایی اهمیت فراوان دارد. برای هسته بتنی که دارای نسبت ارتفاع به عرض زیاد (حدود ۱۰ تا ۱۲) و بیشتر می باشند، قاب خارجی جهت کاهش تغییر مکان ها می تواند مفید باشد.

در این تحقیق یک ساختمان بلند ۸۰ طبقه با سیستم لوله قابی با هسته بتن مسلح (لوله - هسته) طراحی می شود و سپس با افزودن مهار بازویی در دو تراز مختلف در ارتفاع سازه، رفتار سیستم ها مورد بررسی و قیاس قرار می گیرد.

۳. مشخصات سازه ای

در این تحقیق ابتدا یک ساختمان ۸۰ طبقه بتن مسلح تحت نیروی ثقلی و باد با سیستم لوله قابی با هسته بتن مسلح طراحی می شود. پلان ساختمان در شکل ۳ ملاحظه می گردد. هسته به صورت مربع در پلان است که در چهار گوشه به چهار ستون متصل است. فاصله ستون های پیرامونی ۲/۵ متر و اتصال تیرها به ستون ها در لوله پیرامونی از نوع ممان گیر و اتصال سایر تیرها به ستون ها از نوع مفصل است. نیروی جانبی توسط لوله پیرامونی به همراه هسته بتنی و نیروی ثقلی توسط ستون های

داخلی و پیرامونی تحمل می شود. ارتفاع طبقات ۴ متر است. ارتفاع کل سازه ۳۲۰ متر و نسبت ظاهر(ارتفاع به عرض) آن ۵/۳۳ است، لذا این سازه در زمره ساختمان های بسیار بلند به شمار می آید. بار مرده و زنده کف ها به ترتیب ۵۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع لحاظ می شود. نیروی جانبی باد مطابق استاندارد ASCE5-07 بر سازه اعمال می گردد. مدلسازی، تحلیل و طراحی در نرم افزار ETABS انجام می گیرد. رفتار مصالح به صورت خطی مدل می شود. برای طراحی از آیین نامه ACI318-99 استفاده شده است. مقاومت فشاری بتن ستون ها، تیرها و هسته برابر ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و مقاومت کششی فولاد برابر ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است.



شکل ۳: پلان سیستم لوله با هسته

محدودیت تغییر مکان در طراحی سازه تحت اثر نیروی باد در برخی آیین نامه ها نظیر آیین نامه نیوزلند و آیین نامه کانادا ذکر شده است [۴].

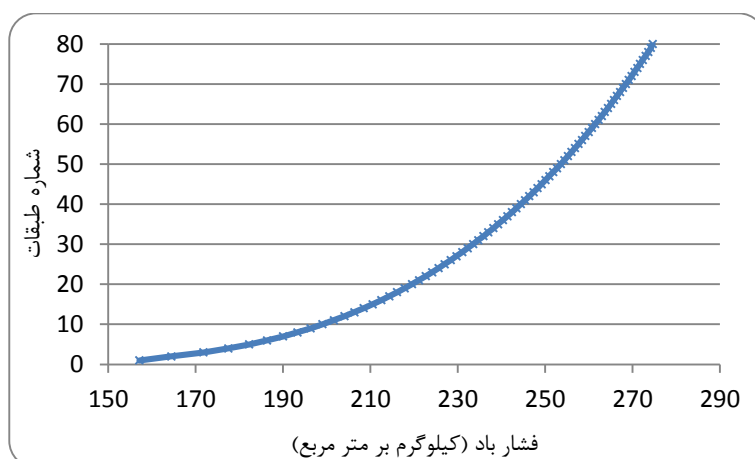
مهندس و همکاران توصیه کردند که برای اطمینان از قابلیت خدمت سازه تحت نیروی باد محدودیت تغییر مکان حداکثر جانبی نسبی بین طبقه ای برابر $H/500$ (H ارتفاع کل سازه است) اعمال شود این مقدار با حدود توصیه شده توسط NBCC و نتایج آماری نظر سنجی از طراحان ساختمان فولادی در کشور امریکا که از تغییر مکان جانبی نسبی حدود $H/200$ تا $H/600$ استفاده می کنند، همخوانی دارد. هر چند در بسیاری از موارد مشخص نیست که این معیارها برای دریافت طبقه است یا دریافت کل سازه [۵]. در این تحقیق از معیار $H/600$ برای کنترل جابجایی سازه در طراحی استفاده شده است.

سرعت مبنای باد برابر صد و شصت کیلومتر در ساعت (۴۴ متر بر ثانیه) فرض شده است. از نظر شرایط محیطی با فرض واقع شدن در منطقه بندی آیین نامه ASCE7-05 استفاده می شود. همچنین ضریب توپوگرافی و ضریب تند باد به ترتیب برابر ۱ و ۰/۸۵ لحاظ شده است.

سایر پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ملاحظه می شود. نیروی باد در یک راستا بر ساختمان اعمال می شود که در یکی از وجوه آن فشار و در وجه مقابل، نیروی کششی وجود دارد. چگونگی مقدار فشار باد در ارتفاع سازه در شکل ۴ مشاهده می شود.

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده برای تعریف بارگذاری باد

Parameters and descriptions	value	unit
Basic wind speed, V (سرعت مبنای باد)	44	m/s
Exposure category (دسته بندی منطقه)	B	
Importance factor, I (ضریب اهمیت)	1	
Directionality factor, K_d (ضریب جهت باد)	0.85	
Topographic factor, K_{zt} (ضریب توپو گرافی)	1	
Gust factor, G_f (ضریب گرد باد)	0.85	
Windward Coefficient, C_p (ضریب رو به باد)	0.8	
Leeward Coefficient, C_p (ضریب پشت به باد)	0.5	
Internal pressure coefficient (GC_{Pi}) (ضریب فشار داخلی)	-0.18	

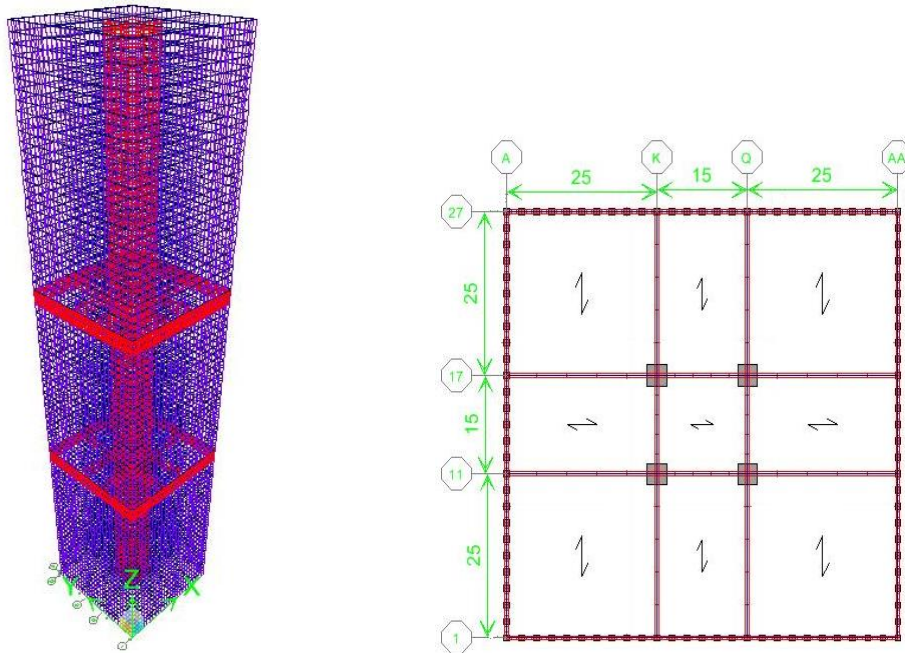


شکل ۴: توزیع فشار باد در ارتفاع

پس از اتمام طراحی، در طبقه اول ابعاد همه ستون های پیرامونی با سطح مقطع مربع به ابعاد ۱۲۰ سانتی متر و ابعاد ستون های میانی ۳۹۰ سانتی متر به دست می آید و عمق تیرهای پیرامونی ۹۰ سانتی متر است و ضخامت دیوار بتن مسلح هسته در این طبقه برابر ۹۵ سانتی متر است.

ابعاد ستون های پیرامونی، ستون های میانی، ضخامت هسته و ارتفاع تیرهای محیطی در طبقه ۸۰ به ترتیب ۵۵، ۲۷۵، ۲۰ و ۵۵ سانتی متر است. یادآور می شود در هر طبقه ابعاد همه ستون های پیرامونی یکسان است.

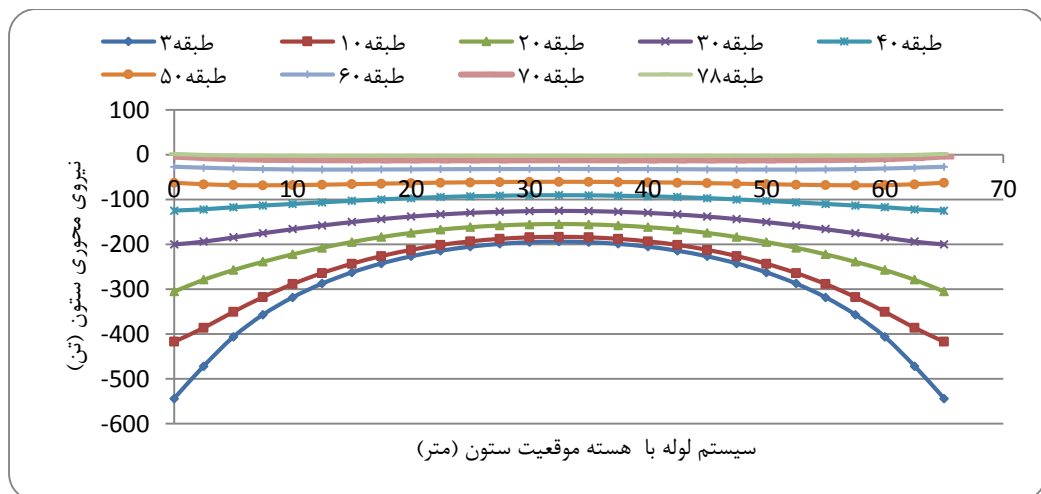
در ادامه، مهارهای بازویی بتن مسلح که هر کدام آنها دو طبقه هستند مطابق شکل ۵الف و ۵ب در ترازهای طبقات ۲۷ و ۲۶ و همچنین ۵۱ و ۵۲ به سازه اضافه می شوند، به گونه ای که ستون های پیرامونی را (در امتداد دیوارهای هسته) به هسته متصل می کنند. همچنین جهت یکپارچه کردن هر چه بیش تر همه ستون های پیرامونی جهت مشارکت در باربری به صورت بسیج شده، در این ترازها ستون های پیرامونی نیز توسط دیوارهای بتن مسلح به صورت کمر بند به یکدیگر متصل می شوند. این کار موجب می شود همه ستون های پیرامونی در ایجاد یک رفتار یکپارچه با مهار های بازویی عمل کنند.



شکل ۵ الف: پلان سیستم لوله- هسته با مهار بازویی شکل ۵ ب: نمای سه بعدی سازه دارای لوله- هسته و مهار بازویی

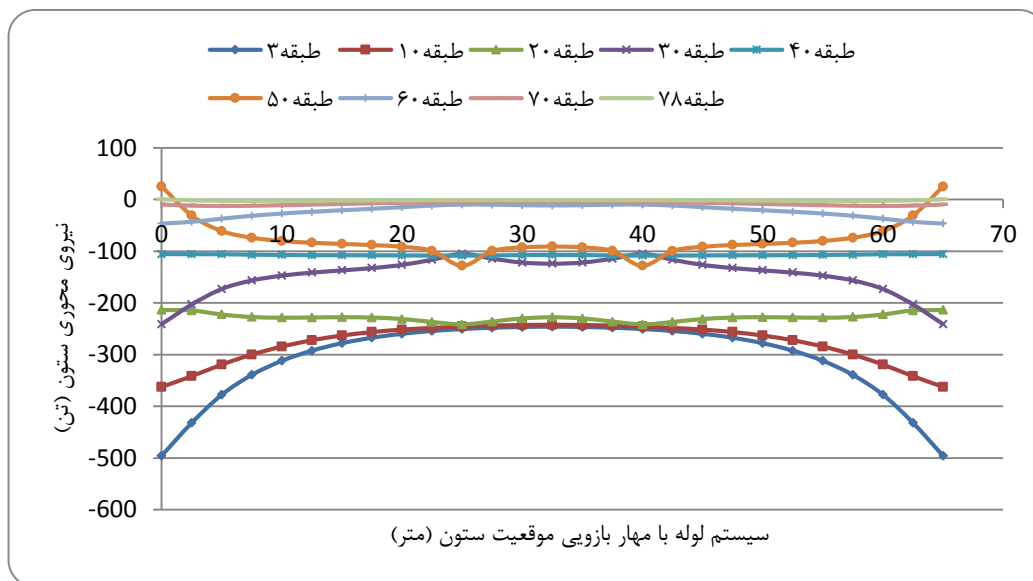
۴. بررسی عملکرد

چگونگی توزیع نیروی محوری فشاری ستون های واقع بر محور بال سیستم لوله - هسته در شکل ۶ مشاهده می شود. در این سیستم سازه ای حداکثر نیروی محوری در طبقات پایین و در ستون های طرفین در بال فشاری رخ می دهد و بیش ترین مقدار آن در طبقه سوم برابر ۵۵۰ تن است که مقدار آن در همین طبقه در وسط بعد پلان (ستون میانی در بال فشاری) به حدود ۲۰۰ تن کاهش می یابد. یعنی در یک ردیف از ستون در ناحیه بال طره قائم در حالیکه ابعاد همه ستون ها یکسان است، مقدار نسبت نیروی حداکثر به نیروی حداقل برابر ۲/۵ است. این نسبت اندیس لنگی برشی نامیده می شود و متخصصان همواره در صد کاهش آن بوده اند. در طبقات بالاتر، مقدار اندیس لنگی برشی کاهش می یابد و در طبقه ۵۰، تقریباً برابر واحد (یک) می شود. هر چند در طبقات آخر شاهد نیروی کششی در ستون های طرفین طره هستیم که اندیس لنگی برشی منفی خواهد شد. البته مقدار نیروی فشاری این ستون ها (واقع در بال کششی طره) ناچیز است.



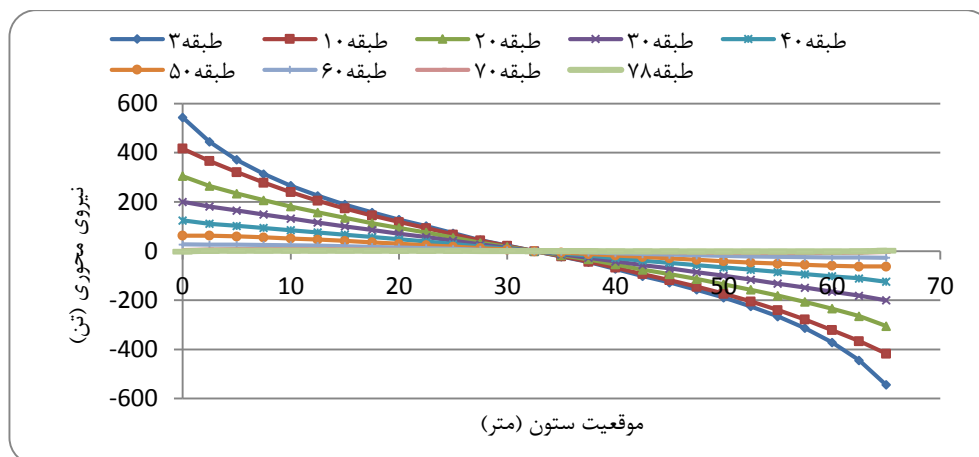
شکل ۶: توزیع نیروی محوری فشاری بر بال سیستم لوله با هسته

شکل ۷ نمودار نیرو محوری در ردیف بال طره قائم برای سیستم لوله- هسته با مهار بازویی را نشان می دهد. ملاحظه می کنیم در طبقه سوم حداکثر نیروی محوری فشاری ۵۰۰ تن در ستون های طرفین و حداقل آن برابر حدود ۲۵۰ تن در وسط رخ می دهد. لذا اندیس لنگی برشی در آن طبقه برابر ۲ است. وضعیت ظاهری نمودارها به علت وجود مهار بازویی با شکل قبل متفاوت است. مثلاً در طبقه ۵۰ تحت اثر مهار بازویی دو ستون طرفین بال فشاری، تحت کشش قرار گرفته اند و پرش هایی در ناحیه میانی در اثر عملکرد مهار بازویی ملاحظه می گردد.

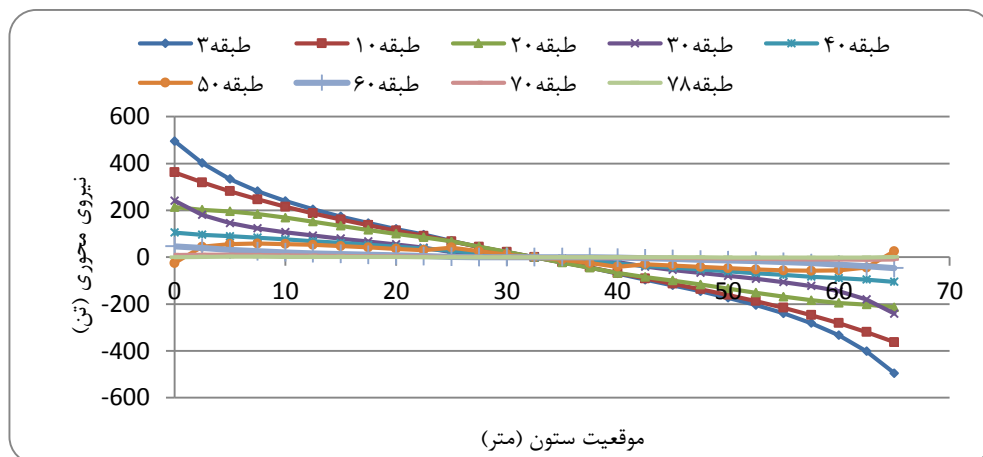


شکل ۷: توزیع نیروی محوری فشاری بر بال سیستم لوله - هسته با مهار بازویی

وضعیت توزیع نیروی فشاری روی محور جان طره قائم برای سیستم لوله - هسته و سیستم لوله- هسته با مهار بازویی به ترتیب در شکل های ۸ و ۹ آورده شده است. نحوه توزیع نیروی محوری به صورت غیر خطی است. در اثر وجود مهار بازویی، منحنی نمودارها در برخی از طبقات (مثلاً طبقه ۵۰) دارای روند مغایر با روند کلی سیستم لوله- هسته است.

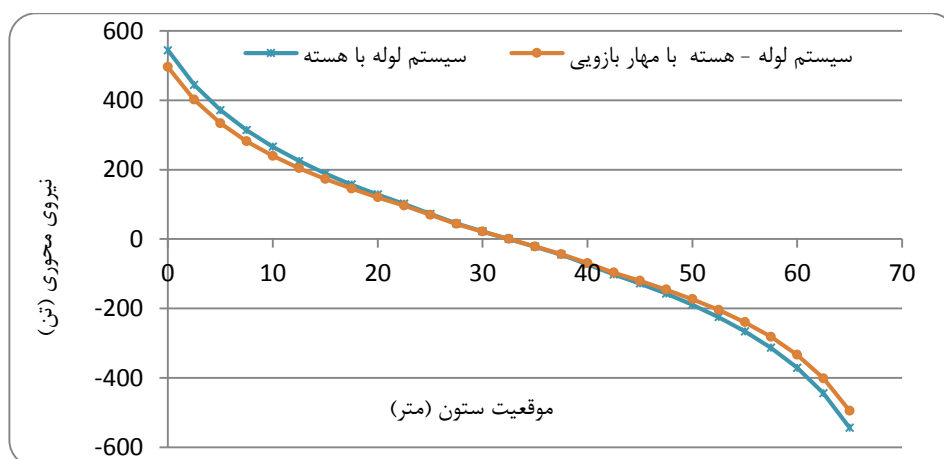


شکل ۸: توزیع نیروی فشاری روی محور جان طره قائم برای سیستم لوله - هسته

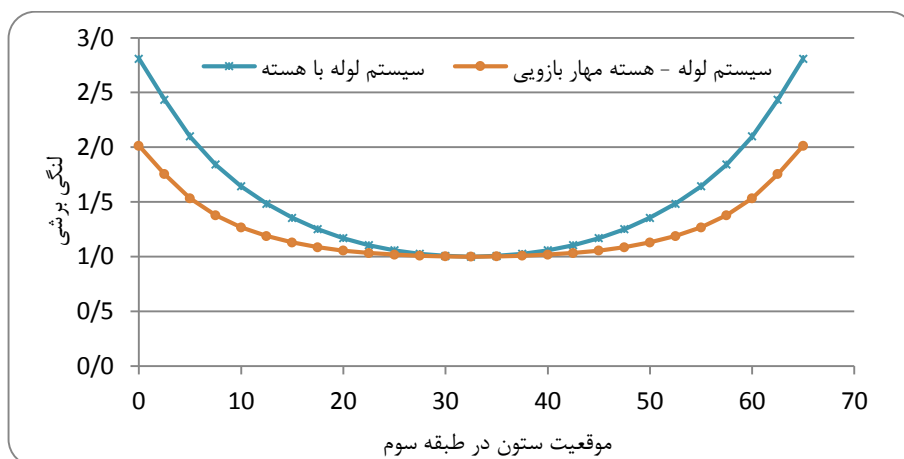


شکل ۹: توزیع نیروی فشاری روی محور جان طره قائم برای سیستم لوله - هسته با مهار بازویی

مقایسه نمودار نیروی محوری ستون ها در جان طره در طبقه سوم برای هر دو سیستم لوله - هسته و سیستم لوله - هسته با مهار بازویی در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. همچنین نمودار قیاس لنگی برشی برای هر دو سیستم در طبقه سوم (به صورت بی بعد) در شکل ۱۱ آورده شده است.



شکل ۱۰: مقایسه نمودار نیروی محوری ستون ها در جان طره



شکل ۱۱: قیاس لنگی برشی برای هر دو سیستم (به صورت بی بعد)

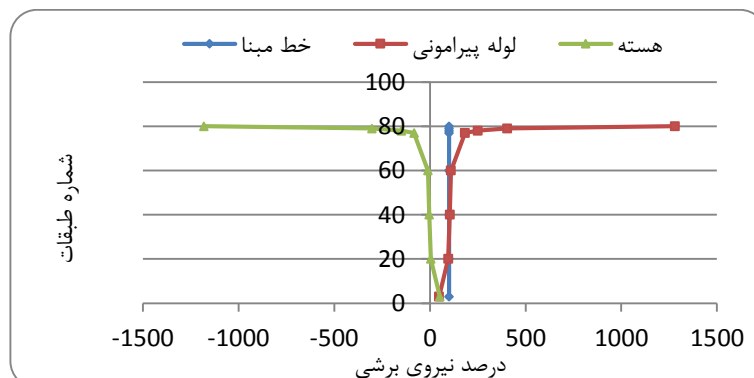
نیروی برشی در هر طبقه توسط اجزای مختلف تحمل می شود. این موضوع که سهم هر کدام از اجزای سازه ای از نیروی برشی طبقه (ناشی از نیروی خارجی باد) چقدر است، یکی از مسائل مورد بررسی است. سیستم لوله - هسته دارای دو عنصر لوله پیرامونی و هسته میانی (به همراه ۴ ستون) برای باربری جانبی است. سهم هر کدام از این دو مورد از برش کل به صورت درصد در هر طبقه در شکل ۱۲ قابل رؤیت است. ملاحظه می کنیم در طبقات پایین تقریباً ۶۰ درصد برش را هسته و ۴۰ درصد برش را سیستم لوله قابی پیرامونی تحمل می کند.



شکل ۱۲: درصد مشارکت لوله پیرامونی و هسته در تحمل نیروی جانبی در سیستم لوله - هسته

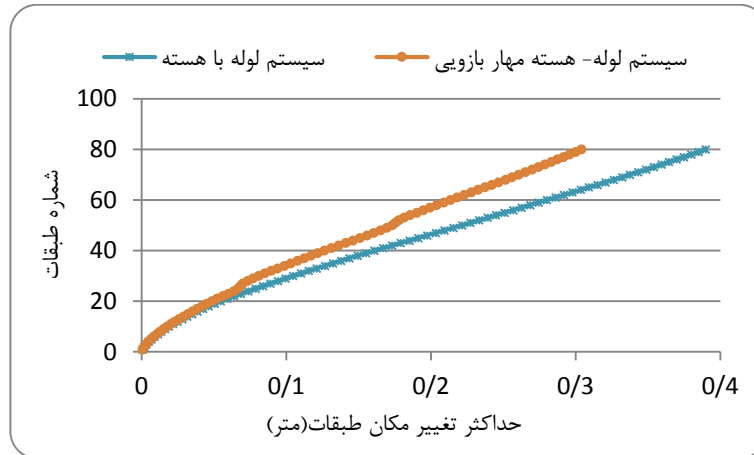
در طبقات بالاتر سهم هسته کاهش می یابد، مثلاً در طبقه چهارم، حدود ۲۰ درصد از برش توسط هسته و ۸۰ درصد آن توسط لوله - قاب پیرامونی تحمل می شود. اما سهم هسته در حدود طبقه شصت و پنج به مقدار صفر خواهد بود و در طبقات بالاتر از آن منفی خواهد شد. یعنی یک نیروی اضافی به سیستم تحمیل می کند که بایستی توسط لوله - قاب پیرامونی تحمل شود. به عبارت دیگر در این طبقات نه تنها هسته به باربری سیستم کمک نمی کند، بلکه معکوس عمل می کند. این عملکرد نامطلوب به شدت در طبقات نزدیک بام افزایش می یابد به طوری که حدود ۹ برابر نیروی باد، نیروی اضافی به سیستم تحمیل می شود. لذا قطع هسته در طبقات بالا قابل توجه است.

شکل ۱۳ نمودار سهم اجزا برای تحمل برش طبقات در ارتفاع را برای سیستم لوله - هسته با مهار بازویی نشان می دهد. ملاحظه می کنیم در این سیستم در طبقه نزدیک همکف، سهم هسته و سهم لوله پیرامونی تقریباً یکسان (هر کدام ۵۰ درصد) است. در طبقات بالاتر سهم هسته کاهش می یابد به گونه ای که در تراز طبقه ۶۰، مقدار آن صفر می شود و در طبقات بالاتر عملکرد هسته منفی و نامطلوب است، به گونه ای که در تراز بام حدود ۱۲ برابر مقدار برش خارجی باد، نیروی اضافی به سیستم تحمیل می کند.



شکل ۱۳: درصد مشارکت لوله پیرامونی و هسته در تحمل نیروی جانبی در سیستم لوله - هسته با مهار بازویی

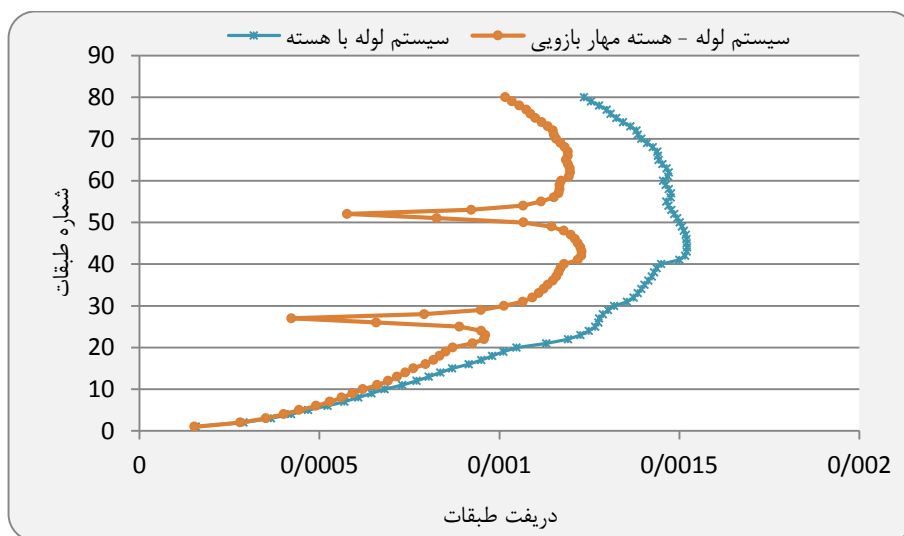
تغییر مکان جانبی کل سازه ۸۰ طبقه با هر دو سیستم لوله- هسته و لوله - هسته با مهار بازویی در کل ارتفاع در شکل ۱۴ ملاحظه می شود.



شکل ۱۴: مقایسه تغییر مکان جانبی کل سازه ۸۰ طبقه

حداکثر تغییر مکان بام در سیستم لوله - هسته حدود ۴۱ سانتی متر است که در اثر اضافه شدن مهار بازویی و کمربند خریایی در دو تراز (هر کدام دو طبقه) مقدار تغییر مکان بام به ۳۲ سانتی متر کاهش می یابد که حدود ۲۲ درصد کاهش را رقم می زند. علت اینکه کاهش تغییر مکان در اثر مهار بازویی چندان شدید نیست؛ می تواند به عملکرد مناسب سیستم لوله - هسته (نسبت به قاب های خمشی معمولی) توجه شود. همچنین ملاحظه می شود منحنی جابجایی سازه در محل های قرار گیری مهار بازویی دارای اندکی تغییر در روند آن است.

چگونگی تغییر مکان نسبی جانبی طبقات در ارتفاع برای هر دو سیستم لوله- هسته و سیستم لوله - هسته با مهار بازویی در شکل ۱۵ ملاحظه می شود. حداکثر دررفت در سیستم لوله - هسته در حدود طبقه ۴۴ به مقدار ۰/۰۰۱۶ در اثر نیروی باد رخ می دهد. در اثر وجود دو مهار بازویی، روند نمودار دارای دو پرش است و مقدار حداکثر آن در حدود طبقه ۴۳ و به میزان ۰/۰۰۱۲ است. این کاهش حدود ۲۵ درصدی به علت عملکرد مهار بازویی و تغییر رفتار سیستم در اثر وجود مهار بازویی است.



شکل ۱۵: چگونگی تغییر مکان نسبی جانبی طبقات در ارتفاع

۵. نتیجه گیری

در این مقاله رفتار سازه ۸۰ طبقه بتن مسلح با سیستم لوله - قاب پیرامونی دارای هسته (سیستم لوله هسته) و سیستم لوله هسته با دو مهار بازویی تحت نیروی باد مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

- اندیس لنگی برشی در طبقه سوم برای سیستم لوله - هسته برابر ۲/۵ بوده که در سیستم لوله - هسته با مهار بازویی به مقدار ۲ کاهش می یابد.
- هسته در سیستم لوله - هسته در طبقات نزدیک تراز پایه حدود ۶۰ درصد و لوله قاب پیرامونی حدود ۴۰ درصد را تحمل می کند. در حدود طبقه ۶۵، سهم هسته صفر می شود و در طبقات بالاتر عملکرد آن کاملاً نامطلوب است به گونه ای که نیروی اضافی به سیستم تحمیل می کند.
- هسته در سیستم لوله - هسته با مهار بازویی در طبقات پایین حدود ۵۰ درصد نیروی برشی را تحمل می کند، در حدود طبقه ۶۰، این میزان به صفر می رسد و بالاتر از آن، عملکرد هسته منفی و نامطلوب می شود.
- اضافه شدن مهار بازویی در سیستم موجب کاهش جا به جایی بام سیستم لوله - هسته به مقدار حدود ۲۲ درصد می شود.
- وجود مهار بازویی در سیستم موجب می شود حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات حدود ۲۵ درصد کاهش یابد.

۶. مراجع

1. Taranath, B. S, Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press, 2010
2. Smith, B., & Coull, A. (1991). Tall building Structures: Analysis and Design (1 ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
۳. خیرالدین، ع. و آرامش، س.، "سیستم های مقاوم سازه ای در ساختمان های بلند"، انتشارات دانشگاه سمنان، ۱۳۹۱.
4. AS/NZ1170.2 (2002) Australian/New Zealand Standard, Structural design actions, Part2: wind actions, Standards Australia & Standards New Zealand.
5. Mendis p, Ngo T, Haritos N, Hira A, Samali B, Cheong J. 2007. Wind Loading on Tall Buildings. Electronic Journal of Structural Engineering. 41-53.