

بررسی پدیده لنگی برش در ساختمان‌های بلند بتن آرمه با سیستم لوله‌ای

حسین نادرپور^{۱*} و علی خیرالدین^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: لنگی برش، سازه لوله‌ای، بتن آرمه، تنش محوری.</p>	<p>پدیده لنگی برش در سازه‌های با سیستم لوله‌ای در اثر تغییر مکان قائم ناهمگون ستون‌های واقع بر بال سازه بوجود می‌آید. هر ستون داخلی نسبت به ستون خارجی سمت خود، تغییر شکل و تنش کمتری خواهد داشت. چون لنگر اعمالی خارجی باید توسط کوپل داخلی ناشی از نیروهای کششی و فشاری دو سمت مخالف محور خنثی ساختمان تحمل گردد، تنش‌های ستون‌های گوشه‌ای بیشتر از تنش‌های ناشی از رفتار خالص لوله‌ای خواهد بود و تنش‌های ستون‌های میانی کمتر از آن می‌باشد و توزیع تنش محوری از حالت خطی (ایده آل) دور می‌شود. هدف از این مقاله، بررسی پدیده لنگی برش در سازه‌های لوله‌ای بتن آرمه می‌باشد. مدل‌های سازه‌ای با طبقات مختلف و دارای پلانهای مربعی و مستطیلی شکل در تحلیلها استفاده شدند. به منظور بررسی نتایج حاصل از تحلیل سازه‌ها، پارامتری بدون بعد تحت عنوان اندیس لنگی برش تعریف گردیده است. مطالعه پارامتری مبتنی بر بررسی نحوه تاثیر پارامترهایی نظیر تغییر در بعد ستون‌ها و نیز تغییر در سختی تیرهای رابط آن‌ها بر اندیس لنگی برش می‌باشد. نتایج نشان داد افزایش بعد ستون نمی‌تواند به میزان زیادی مقدار لنگی برش را کاهش دهد. همچنین با افزایش سختی تیرهای رابط بین ستون‌ها در پیرامون سازه، اندیس لنگی برش، کاهش نسبتا چشمگیری داشت. به عنوان یک دستاورد کلی و با در نظر گرفتن نتایج حاصل از تحلیل‌های متعدد می‌توان گفت که هر چند تکنیک‌های افزایش بعد ستون و نیز افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا حدودی میزان لنگی برش را کاهش می‌دهند اما چنانچه راهکار موثرتری مدنظر باشد، می‌بایست از روش‌های دیگر سازه‌ای نظیر استفاده از سازه لوله‌ای بادبندی شده بهره گرفت.</p>

۱- مقدمه

نزدیک به هم می‌باشند که توسط تیرهای عمیق در تراز سقف‌ها به هم متصل می‌شوند. در این سازه‌ها بر خلاف سیستم‌های قاب خمشی، جهت مقاوم در برابر خمش ستون‌ها، در راستای وجه خارجی ساختمان قرار می‌گیرد. بنابراین برای افزایش اینرسی مقطع ساختمان، بیشترین اعضای باربر در محیط سازه متمرکز می‌شوند. با این توصیف در بسیاری از سازه‌های قاب محیطی تمامی

معمول ترین نوع قاب محیطی شامل چهار قاب صلب صفحه‌ای عمود بر هم است که تشکیل یک محیط بسته را می‌دهند. قاب‌های هر وجه شامل ستون‌های محیطی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: naderpour@semnan.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

شده و از نظر معماری داخلی، آزادی عمل بیشتری بوجود می‌آید؛ به عنوان مثال یک هسته مرکزی با کف‌های با دهانه بزرگ بین قاب محیطی و هسته، فضاهای باز بسیار بزرگی ایجاد خواهند کرد که برای ساختمان‌های اداری و تجاری بسیار مفید خواهد بود. از طرف دیگر، ستون‌های داخلی زیاد و دیوارها، فضاهای کوچکی ایجاد می‌کنند که برای ساختمان‌های مسکونی مناسب می‌باشد. هدف از این مقاله، بررسی پدیده لنگی برش در سازه‌های لوله‌ای بتن آرمه می‌باشد. سازه‌های بلند با طبقات مختلف و دارای پلان‌های مربعی و مستطیلی شکل لحاظ شده و نحوه تاثیر پارامترهایی نظیر تغییر در بعد ستون‌ها و تیرهای رابط آن‌ها بر میزان نسبی لنگی برش که به عنوان اندیس لنگی برش معرفی شده مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- پدیده لنگی برش در سازه‌های لوله‌ای

هرچند سازه لوله‌ای، قوطی مانند می‌باشد اما رفتاری بسیار پیچیده تر از رفتار یک قوطی ساده بدون سوراخ دارد و سختی آن نیز بسیار کمتر است. زمانی که سازه در اثر نیروهای جانبی تحت خمش قرار می‌گیرد، مود اولیه رفتاری آن مشابه رفتار قوطی طره قائم بوده و ستون‌های دو وجه مخالف محور خنثی، به صورت کششی و فشاری عمل می‌کنند (شکل ۱). علاوه بر آن، قاب‌های موازی جهت بار جانبی تحت تاثیر خمش در صفحه و رفتار برشی یا طره ای شبیه یک قاب صلب قرار می‌گیرند؛ اما این رفتار اولیه با دخالت اثرات انعطاف پذیری تیرهای کناری که باعث ایجاد لنگی برش^۲ و افزایش تنش در ستون‌های گوشه ای و کاهش تنش در ستون‌های میانی پانل‌های بال و جان می‌شود، رفتار را پیچیده می‌سازد [۴].

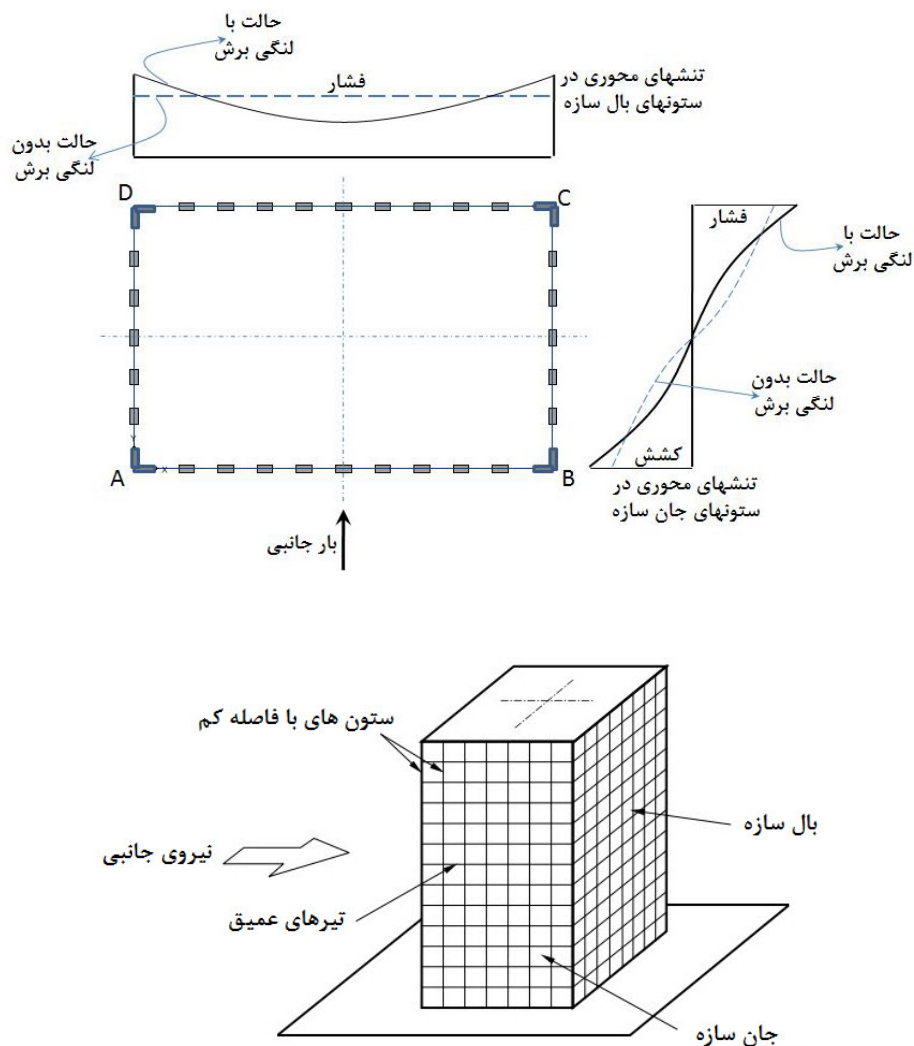
بارهای جانبی تنها به قاب‌های خارجی داده می‌شوند. قاب‌های موازی با جهت نیروی جانبی، عمل جان طره محیطی و قاب‌های عمود بر آن، عمل بال‌های طره میانی را انجام می‌دهند. قسمتی از بارهای ثقلی توسط قاب‌های محیطی و بخشی توسط اعضای سازه ای داخلی نظیر ستون‌ها و یا هسته‌ها تحمل می‌گردد. با این که اکثر سازه‌های لوله‌ای^۱ دارای پلان مربع یا مستطیل هستند، از این فرم سازه ای در پلان‌های با اشکال مثلثی، دایره ای و دوزنقه ای نیز می‌توان استفاده نمود.

در تعداد قابل توجهی از ساختمان‌های بلند دنیا از سیستم لوله‌ای استفاده شده است. اولین تحلیل درباره مفهوم سیستم لوله‌ای توسط فضلور خان ارائه گردید. سیستم لوله‌ای دارای چنان قابلیت است که در بسیاری از موارد، مقدار مصالح سازه‌ای مورد استفاده در این سیستم به نسبت ساختمان‌های با سیستم قاب مدولار، به نصف تقلیل می‌یابد. پس از آن، مطالعات مربوط به سیستم لوله‌ای توسط مهندسين سازه توسعه یافت؛ چنانکه هنوز سیستمی اقتصادی، مطمئن و دارای قابلیت‌های بهره برداری مناسب برای ساختمان‌های بلند به شمار می‌آید.

یکنواختی این سیستم سازه ای امکان استفاده از روش‌های پیشرفته در ساخت و ساز را فراهم آورده است. در سازه‌های فولادی، قاب‌های محیطی را می‌توان به صورت قطعات بزرگ در کارخانه ساخت و پس از حمل به محل، به یکدیگر وصل نمود. در سازه‌های بتن آرمه، استفاده از قالب‌های لغزنده سرعت اجرا را بسیار زیاد می‌نماید. از آنجا که ستون‌های نزدیک به هم دسترسی به فضاهای عمومی بزرگ در طبقات پایین را مشکل می‌سازد، در بسیاری از ساختمانها با استفاده از شاهتیرهای انتقالی برای جمع کردن بارهای قائم ستون‌های نزدیک به هم و توزیع آن بین تعداد کمتری ستون و با فاصله زیادتر در پای سازه مشکل دسترسی را حل می‌کنند [۱، ۲ و ۳]. تحمل تمامی بارهای جانبی توسط قاب‌های محیطی باعث ایجاد فضاهای داخلی بیشتر

² Shear Lag

¹ Tubular Structures



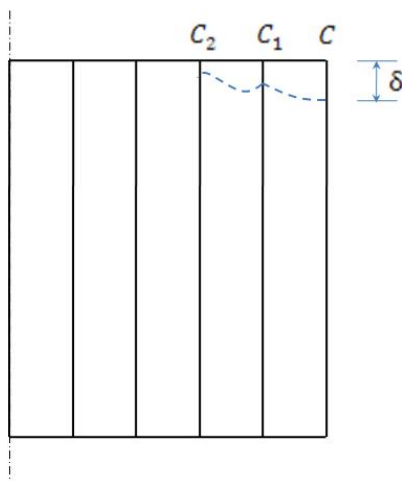
شکل ۱- وضعیت توزیع تنش محوری در ستون های بال و جان سازه و وقوع پدیده لنگی برش تحت اثر بار جانبی [۴]

انعطاف پذیر کناری خم می گردد، تغییر شکل های فشاری دو ستون یکسان نبوده و ستون C_1 تغییر شکل کمتری خواهد داشت که مقدار آن به سختی تیر کناری بستگی دارد. از نظر تئوری، رفتار خالص و کامل لوله یا قوطی نیاز به تیرهای اتصالی با سختی بی نهایت دارد. تغییر شکل ستون C_1 باعث تغییر شکل فشاری ستون C_2 می شود اما مقدار آن کمتر از تغییر شکل ستون C_1 خواهد بود. بنابراین هر ستون داخلی نسبت به ستون خارجی سمت خود، تغییر شکل و تنش کمتری خواهد داشت. چون لنگر اعمالی خارجی باید توسط کوپل داخلی ناشی از نیروهای کششی و فشاری دو سمت مخالف محور خنثی ساختمان تحمل گردد، تنش های ستون های گوشه ای بیشتر از

این نوع رفتار ممکن است در هنگام عملکرد سازه در برابر نیروهای جانبی مزیت به شمار آید. مقاومت اولیه سازه توسط پانل های جان تامین می گردد. در این حالت تغییر شکل به صورتی است که ستون های A و B تحت کشش و ستون های C و D در فشار می باشند. اندرکنش بین قاب های جان و بال به وسیله تغییر مکان های قائم ستون های گوشه ای ظاهر می شود. این تغییر مکان ها مربوط به برش قائم شاه تیرهای بال های قاب است که باعث ایجاد نیروی محوری در ستون های بال می گردند. به عنوان مثال در شکل ۲ هنگامی که ستون C تغییر شکل فشاری می یابد، ستون مجاور خود (C_1) را از طریق تیرهای اتصالی کناری تحت فشار قرار می دهد. چون تیر

قاب‌های محیطی، استفاده از حداکثر ظرفیت سختی و مقاومت سازه را محدود می‌سازد [۶].
به دلیل مسطح باقی نماندن سطوح مقطع سازه پس از ایجاد لنگی برش، تاول‌های کف تحت اثر خمش قرار می‌گیرند. در نتیجه، جداکننده‌های داخلی و اجزای درجه دوم سازه ای تغییر شکل خواهند یافت و این تغییر شکل‌ها در ارتفاع ساختمان با یکدیگر جمع شده و مقدار قابل ملاحظه‌ای را تشکیل خواهند داد. بنابراین برای طرح مناسب و قابل قبول، لازم است که رفتار سازه‌ای سیستم به دقت مطالعه و شناخته شود.

تنش‌های ناشی از رفتار خالص لوله ای خواهد بود و تنش‌های ستون‌های میانی کمتر از آن می‌باشد [۵].
تفاوت بین توزیع تنش لوله‌ای خالص که از تئوری معمولی تیرها حاصل می‌شود با توزیع تنش واقعی در شکل ۱ نمایش داده شده است. به دلیل اینکه توزیع تنش در ستون‌ها کم اثرتر از حالت لوله ای خالص است، لنگر مقاوم و صلبیت خمشی کاهش می‌یابد. بنابراین گرچه یک قاب محیطی مهاربندی نشده یک فرم سازه ای بسیار موثر برای ساختمان بلند است ولی اثرات لنگی برش در

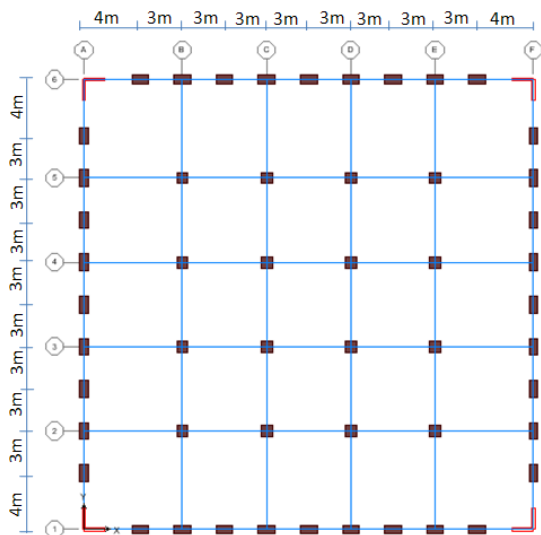


شکل ۲- تغییر شکل قاب تشکیل دهنده بال سازه و وقوع پدیده لنگی برش ناشی از آن [۵]

سیستم کف قادر به اعمال کوپل بین قاب‌های عمود بر جهت بارگذاری جانبی که به عنوان بال‌های قاب‌های کناری در نظر گرفته می‌شوند، نیست. بنابراین قاب‌های کناری و قاب‌های عمود بر آنها تحت اثر نیروهای صفحه‌ای زیادی قرار می‌گیرند ولی نیروهای خارج از صفحه قابل چشم پوشی هستند. هنگامی که ساختمان تحت اثر نیروهای جانبی قرار می‌گیرد، عمل اصلی سیستم کف، انتقال نیروهای افقی به اجزای سازه ای قائم می‌باشد. چون سیستم کف به طریق دیگری در تحمل بارهای جانبی سازه دخالت ندارد و با در نظر گرفتن این که

۳- تحلیل سازه‌های لوله‌ای

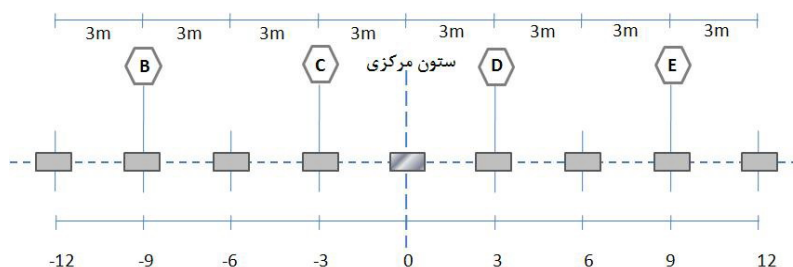
در تحلیل معمولاً فرض می‌شود که سختی تاول‌های کف به اندازه ای زیاد است که به صورت دیافراگم‌های صلب عمل می‌کنند. در نتیجه شکل سطوح مقاطع در هر طبقه تغییر نکرده و فقط تغییر مکانی مانند جسم صلب خواهند داشت. بنابراین می‌توان کلیه تغییر مکان‌های افقی را بر حسب دو انتقال متعامد و یک چرخش تعریف نمود. علاوه بر موارد ذکر شده، فرض می‌شود که سختی خارج از صفحه تاول‌های کف به اندازه ای کم است که قادر به تحمل خمش یا چرخش نخواهند بود. فرض می‌شود که



شکل ۳- پلان نمونه سازه‌های در نظر گرفته شده در تحلیل

۴-۱- بررسی و مطالعه پدیده لنگی برش در سازه ۲۰ طبقه

نحوه قرارگیری ستون‌های مورد بررسی در قاب مورد نظر (ستون‌های موجود در بال) در شکل ۴ به نمایش در آمده است. شکل ۵، نمودار اندیس لنگی برش در ستون‌های مورد نظر در شکل ۴ را در طبقات اول، پنجم، دهم، پانزدهم و بیستم نمایش می‌دهد. نکته قابل توجه در نمودار اخیر آن است که اندیس لنگی برش (به عنوان پارامتر اصلی در قضاوت بر روی نتایج) در طبقات پایینی دارای مقدار قابل توجهی بوده (2.1 در حداکثر میزان خود در طبقه اول) و به تدریج در طبقات بالایی رو به کاهش گذاشته و حتی در بالاترین طبقه در ستون‌های گوشه‌ای به حداقل مقدار خود رسیده است.



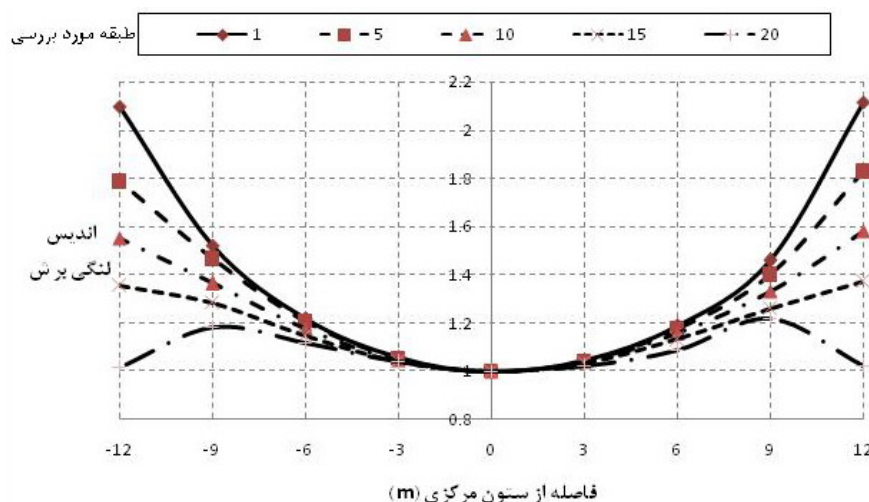
شکل ۴- نحوه قرارگیری ستون‌های مورد بررسی در قاب واقع در بال سازه

بارگذاری طبقات در ارتفاع ثابت است، طراحی و اجرای تکراری طبقات بازدهی اقتصادی خواهد داشت [۷].

۴- نحوه تاثیر پدیده لنگی برش در سازه‌های لوله‌ای با پلان مربعی

به منظور بررسی پدیده لنگی برش، ساختمانی با پلان نمایش داده شده در شکل ۳ در نظر گرفته شده است. ابعاد پلان، 32x32 بوده و با تعریفی که در بالا نیز بدان اشاره شد به گونه‌ای است که مشخصات یک سیستم لوله‌ای را به خوبی ارضا می‌نماید. همچنین در چهار گوشه ساختمان از چهار دیوار برشی با مقطع نبشی استفاده شده که هدف اصلی از آن، حفظ تقارن سیستم در حالاتی است که ابعاد ستون‌های کناری دچار تغییر می‌گردند. به منظور بررسی پارامتریک و دقیق پدیده لنگی برش که هدف اصلی از مطالعه اخیر می‌باشد، سه نمونه سازه اصلی با ارتفاع‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور ارزش‌گذاری نتایج حاصل از تحلیل سازه‌ها، پارامتری بدون بعد تحت عنوان اندیس لنگی برش^۱ تعریف می‌گردد. اندیس لنگی برش به صورت نسبت نیروی محوری هریک از ستون‌ها در محور مورد نظر به نیروی محوری ستون میانی (مرکزی‌ترین ستون در قاب مورد نظر) در نظر گرفته شده است.

¹ Shear Lag Index



شکل ۵- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۲۰ طبقه

بیشتری داشته باشد. در ادامه اثر افزایش سختی تیر و در پایان، تاثیر توامان این دو راهکار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۳-۴- بررسی نحوه تاثیر افزایش سختی تیرها بر اندیس لنگی برش در سازه ۲۰ طبقه

در این قسمت و به عنوان دومین پارامتر تاثیر گذار بر رفتار سازه‌های لوله‌ای و مساله مهم لنگی برش به بررسی نحوه تاثیر میزان سختی تیرها بر میزان اندیس لنگی برش پرداخته می‌شود. به منظور نیل به هدف اخیر و در جهت کاهش انعطاف پذیری تیرهای رابط، ارتفاع تیرها را 1.5 برابر نموده و تاثیر مزبور بر لنگی برش مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۷ نمودار اندیس لنگی برش را در سازه ۲۰ طبقه با اعمال تغییر در سختی تیرها نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود و از قبل نیز پیش بینی می‌شد، در این حالت نسبت به دو حالت مدل مبنا و مدل با افزایش بعد ستون‌ها، میزان کاهش در اندیس لنگی برش بسیار بیشتر شده است و این موضوع، تاثیر بسزای سختی یا انعطاف پذیری تیرها در میزان لنگی برش را نمایان می‌سازد. یک نمودار میله‌ای که بیانگر درصد کاهش لنگی برش در طبقات مختلف سازه ۲۰ طبقه در اثر افزایش سختی تیرهای رابط می‌باشد، در شکل ۸

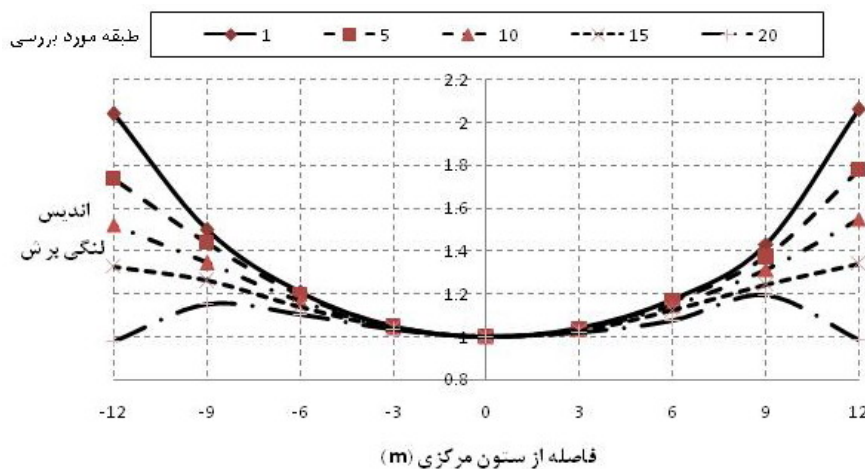
۴-۲- بررسی تاثیر افزایش ابعاد ستون‌های کتابی در میزان لنگی برش در ساختمان ۲۰ طبقه

در این قسمت و به عنوان اولین گام در مطالعه پارامتری، بعد طولی ستون‌های کتابی موجود در بال را افزایش داده و نحوه تاثیر آن در پدیده لنگی برش مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ابتدا، بعد طولی هر یک از ستون‌ها به میزان ۴۰ سانتیمتر افزایش داده شده و تغییرات را بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، نتایج آورده می‌شوند. نکته مهمی که در این رهگذر حاصل می‌شود آن است که با افزایش بعد طولی ستون می‌بایست از بعد عرضی آن کاسته شود زیرا در غیر این صورت میزان لنگی برش نه تنها کاهش نمی‌یابد که ممکن است دچار افزایش نیز گردد. شکل ۶، اندیس لنگی برش را در ستون‌های مورد بررسی که ابعادشان افزایش یافته در طبقات مختلف نمایش می‌دهد. از مقایسه نتایج اخیر با نتایج سازه مبنا که در شکل ۵ موجود هستند، کاملاً مشهود است که افزایش بعد طولی ستون‌ها، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش اندیس لنگی برش نخواهد داشت.

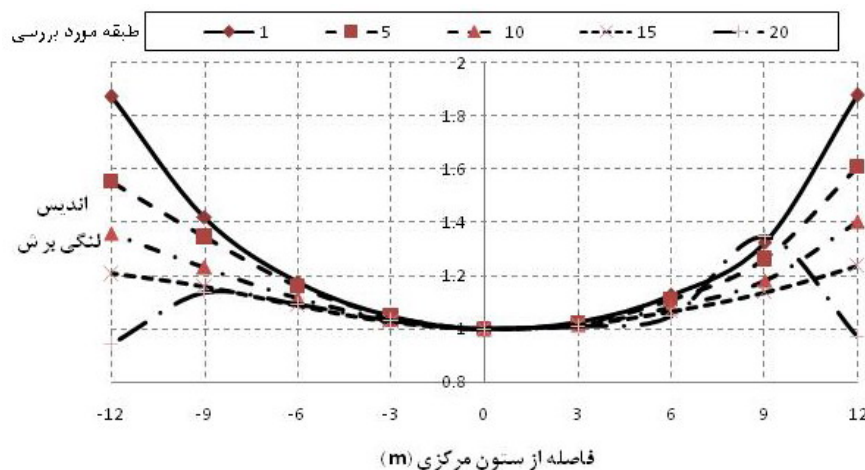
آنچه از در نظر گرفتن نتایج اخیر و مقایسه آن‌ها با نتایج مدل مبنا مشهود است آن است که افزایش بعد ستون نمی‌تواند به میزان زیادی مقدار لنگی برش را کاهش دهد بلکه کاهش در انعطاف پذیری تیر رابط شاید تاثیر

میانی رخ داده است که نشان می‌دهد افزایش سختی تیرها در طبقات میانی موثرتر بوده است.

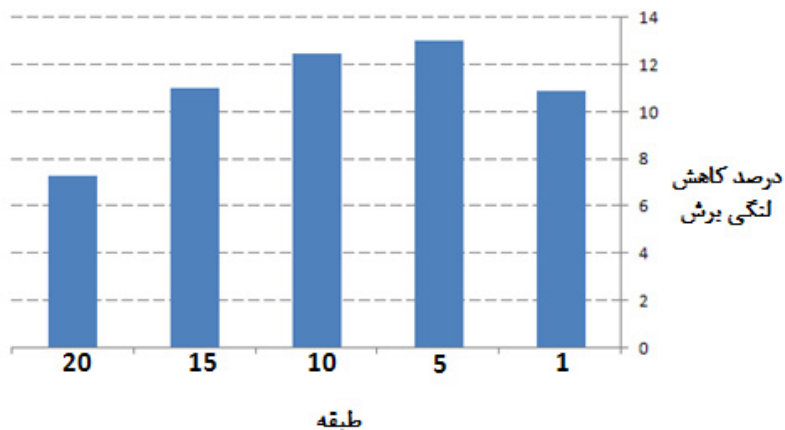
موجود می‌باشد. نکته قابل توجه در نمودار شکل ۸ آن است که بیشترین میزان کاهش در لنگی برش در طبقات



شکل ۶- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۲۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش بعد ستون‌ها)



شکل ۷- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۲۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش سختی تیرها)



شکل ۸- درصد کاهش لنگی برش ناشی از افزایش سختی تیرها در طبقات مختلف سازه ۲۰ طبقه با پلان مربعی

۴-۴- بررسی و مطالعه پدیده لنگی برش در سازه

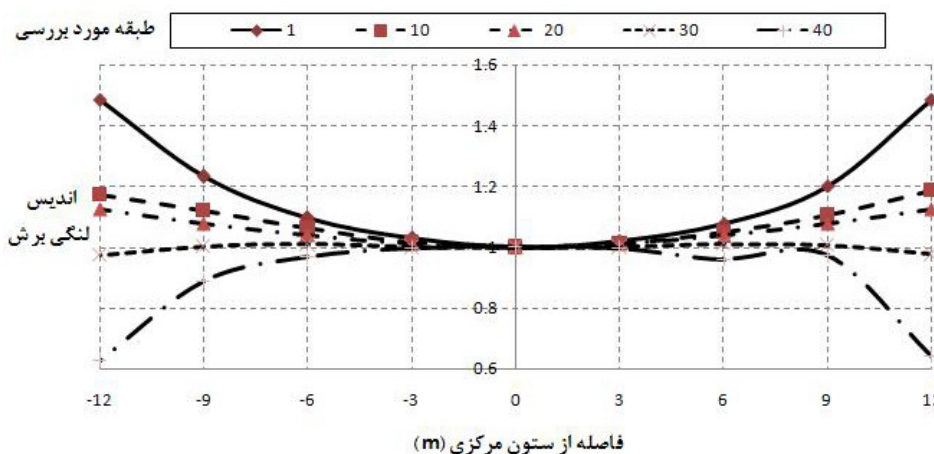
۴۰ طبقه

در این بخش با همان پلان مبنای مربعی در نظر گرفته شده، این بار پدیده لنگی برش در سازه ۴۰ طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام مطالعه پارامتریک در این بخش، بررسی نحوه تاثیر همان پارامترهای موثر لحاظ شده در حالت قبل در صورت افزایش طبقات می‌باشد. لازم به تذکر است که ابعاد ستون‌ها در سازه ۴۰ طبقه متناظر با افزایش طبقات، افزایش یافته و محدودیتهای آیین‌نامه از جمله تغییر مکان جانبی در رابطه با سازه‌ها رعایت گردیده است. شکل ۹ میزان اندیس لنگی برش را برای ستون‌های مختلف با فواصل معین نسبت به ستون مرکزی قاب واقع بر بال سازه نشان می‌دهد. همانطور که از نتایج بر می‌آید در سازه ۴۰ طبقه به مانند سازه ۲۰ طبقه، لنگی برش در طبقات پایینی به طرز قابل توجهی افزون تر بوده و با نزدیک شدن به طبقات بالایی، میزان لنگی برش کاهش می‌یابد به نحوی که در طبقه سی ام، تقریباً ناچیز بوده و حتی در طبقه چهارم کمتر از یک می‌باشد که نشان می‌دهد لنگی برش در طبقات بالایی قابل توجه نمی‌باشد.

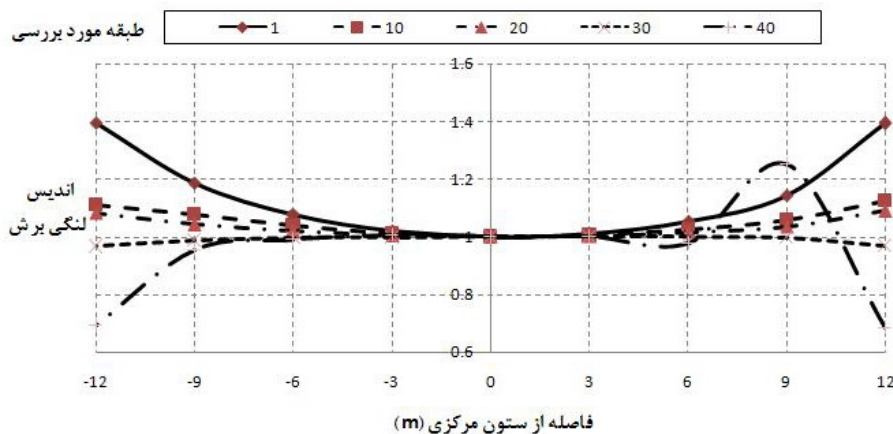
۴-۵- بررسی تاثیر افزایش سختی تیرهای سازه

۴۰ طبقه در لنگی برش

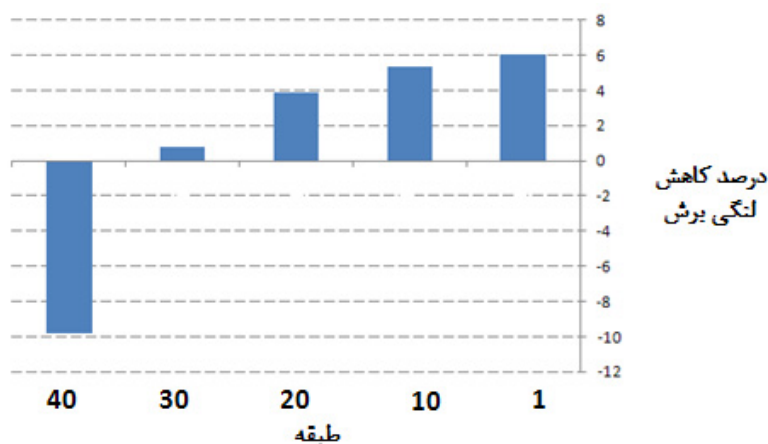
در این قسمت نیز همانند قسمت آنچه برای سازه ۲۰ طبقه انجام گردید، سختی تیرها در سازه لوله‌ای افزوده شده و تاثیر آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۱۰، نتایج تحلیل سازه‌های ۴۰ طبقه که سختی تیرهای آنها ۱.۵ برابر گردیده به نمایش در آمده است. به منظور اینکه برآورد مناسب تری از نحوه تاثیر پارامتر افزایش سختی تیرها بر رفتار کلی سازه در دست باشد نمودار میله‌ای درصد کاهش میزان لنگی برش نسبت به حالت مبنا در سازه ۴۰ طبقه در شکل ۱۱ ارائه گردیده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهند تاثیر افزایش سختی در طبقات پایینی بیشتر بوده و در طبقات بالایی تاثیر به صورت معکوس و در جهت افزایش اندیس لنگی برش رخ داده است. همچنین نکته قابل توجه دیگر در این ارتباط آن است که تاثیر افزایش سختی تیرهای رابط در سازه ۴۰ طبقه نسبت به سازه ۲۰ طبقه کمتر می‌باشد.



شکل ۹- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۴۰ طبقه



شکل ۱۰- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۲۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش سختی تیرها)



شکل ۱۱- درصد کاهش لنگی برش ناشی از افزایش سختی تیرها در طبقات مختلف سازه ۴۰ طبقه با پلان مربعی

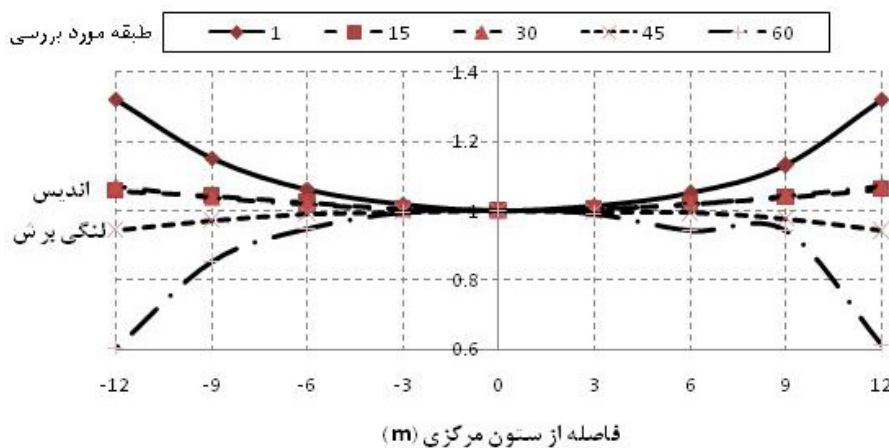
لنگی برش این بار در سازه ۶۰ طبقه گردیده است. نتایج در شکل ۱۳ نشان داده شده است و در شکل ۱۴ در قالب یک نمودار میله‌ای مقایسه‌ای بین حالت مبنا و حالت با افزایش سختی تیرها صورت پذیرفته و درصد کاهش اندیس لنگی برش در طبقات مختلف ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود و از نتایج بدست آمده بر می‌آید درصد کاهش لنگی برش در طبقات پایینی بیشتر بوده اما در کل حداکثر این کاهش کمتر از ۵ درصد می‌باشد که نشان دهنده تاثیر ناچیز افزایش سختی تیرها بر کاهش لنگی برش می‌باشد.

۴-۶- بررسی پدیده لنگی برش در سازه ۶۰ طبقه

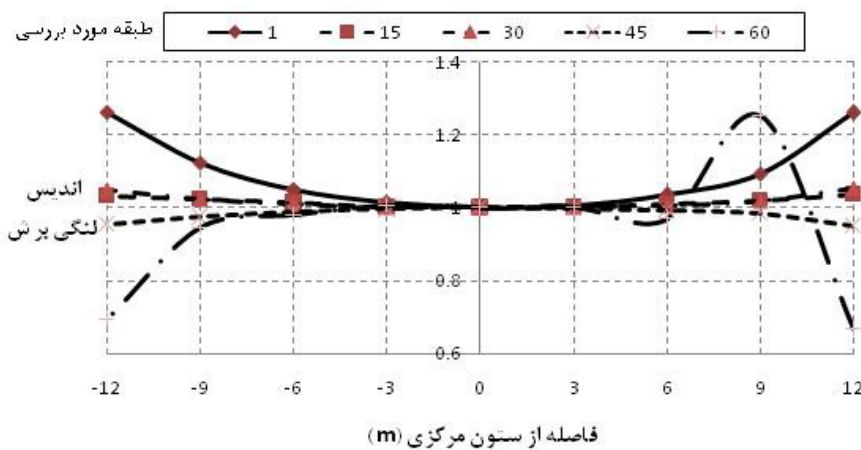
در این بخش در ادامه مطالعه پارامتریک، سازه ۶۰ طبقه با مشخصات شبیه به سازه‌های ۲۰ و ۴۰ طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۶۰ طبقه در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

۵- بررسی نحوه تاثیر افزایش سختی تیرها در میزان لنگی برش

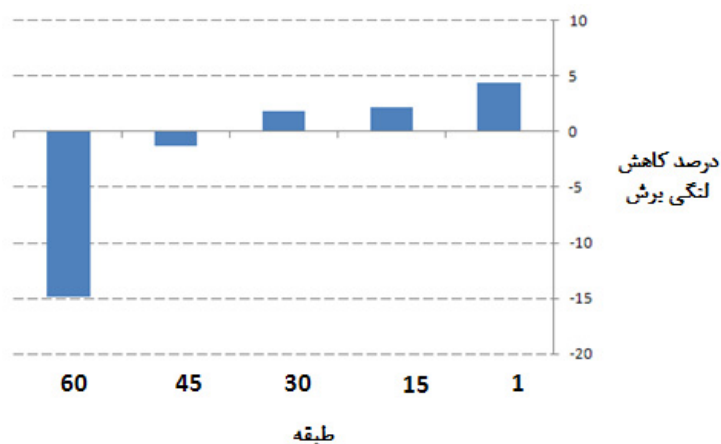
در این قسمت نیز همانند گذشته با افزایش سختی تیرهای رابط سعی در بررسی نحوه تاثیر آن بر میزان



شکل ۱۲- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۶۰ طبقه



شکل ۱۳- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی ۶۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش سختی تیرها)



شکل ۱۴- درصد کاهش لنگی برش ناشی از افزایش سختی تیرها در طبقات مختلف سازه ۶۰ طبقه با پلان مربعی

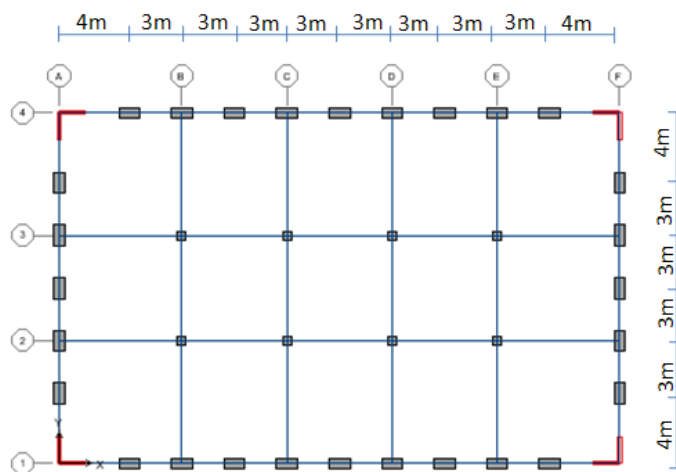
۶-۱- سازه ۲۰ طبقه با پلان مستطیلی

در این بخش به مانند آنچه برای سازه‌های با پلان مربعی انجام شد، سازه‌های ۲۰ طبقه مورد تحلیل قرار گرفته و نحوه تاثیر پارامتر افزایش سختی تیرهای رابط مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج در اشکال ۱۶، ۱۷ و ۱۸ به نمایش در آمده‌اند. همانطور که از نتایج شکل ۱۸ که مقایسه‌ای بین حالت مدل مبنا و مدل‌های با افزایش سختی تیرهای رابط می‌باشد بر می‌آید در طبقات میانی بیشترین کاهش در اندیس لنگی برش صورت پذیرفته است که این نتیجه مشابه با آن چیزی است که در سازه‌های با پلان مربعی رخ داد.

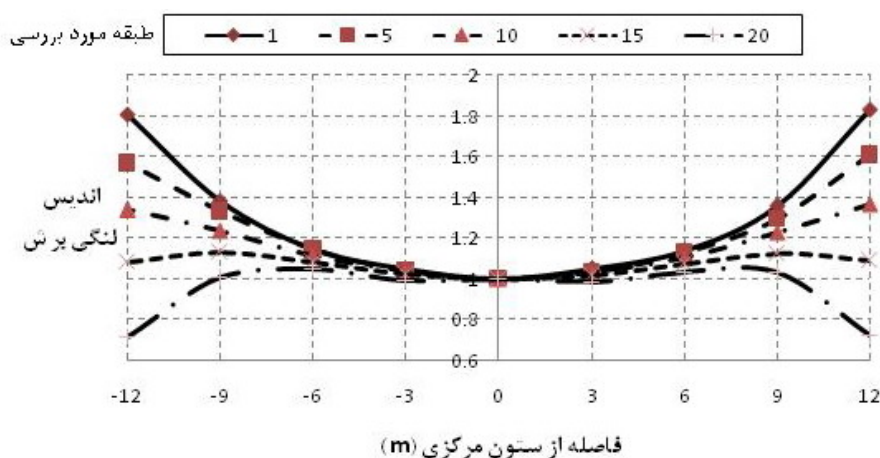
۶- نحوه تاثیر پدیده لنگی برش در

سازه‌های لوله‌ای با پلان مستطیلی

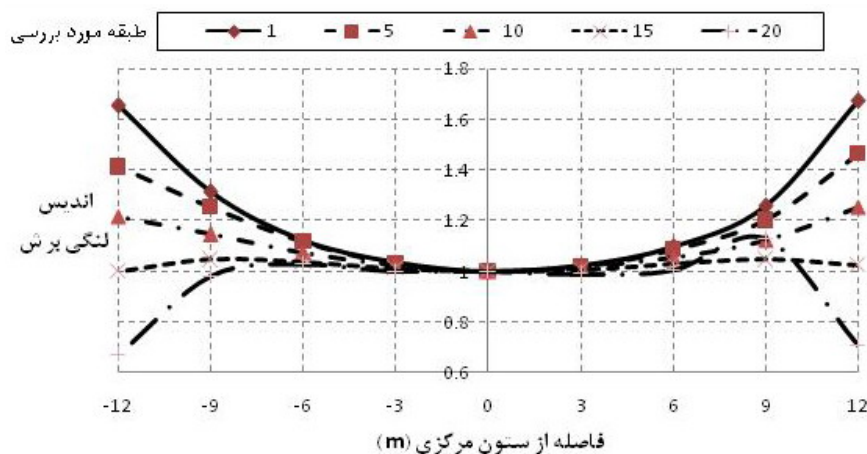
در این قسمت به منظور آنکه بتوان قضاوتی در ارتباط با سازه‌های مستطیلی نیز داشت و تنها به موارد سازه مربعی در نظر گرفته شده در مطالعات بالا بسنده نکرد سازه با پلانی شبیه به پلان قبلی اما کوچکتر را در نظر گرفته و پدیده لنگی برش را در آن بررسی می‌نماییم. در این حالت می‌توان تاثیر جان سازه را نیز بر رفتار کلی آن مشاهده نمود. پلان مزبور در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.



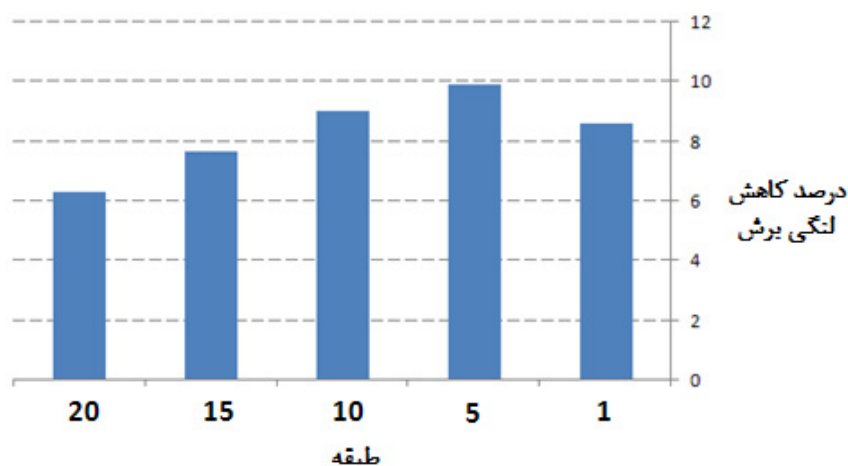
شکل ۱۵- نمایی از پلان سازه مستطیلی لحاظ شده برای مطالعه پارامتریک



شکل ۱۶- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مستطیلی ۲۰ طبقه



شکل ۱۷- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مستطیلی ۲۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش سختی تیرها)

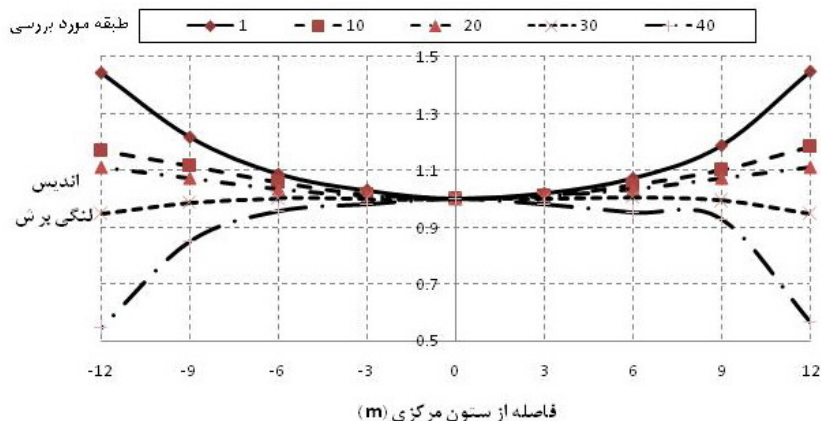


شکل ۱۸- درصد کاهش لنگی برش ناشی از افزایش سختی تیرها در طبقات مختلف سازه ۲۰ طبقه با پلان مستطیلی

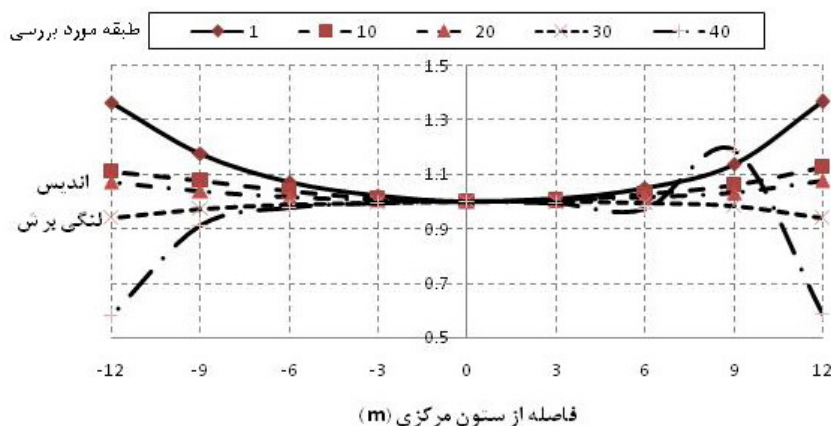
برش در طبقات پایینی رخ داده و در طبقات بالایی نه تنها این کاهش ادامه نیافته که تا حدی نیز افزایش یافته که با توجه به نتایج بدست آمده در بخش‌های قبلی قابل پیش بینی نیز بود. نکته قابل توجه دیگر آن است که حداکثر کاهش در اندیس لنگی برش تقریباً مشابه سازه با پلان مربعی می‌باشد.

۲-۶- سازه ۴۰ طبقه با پلان مستطیلی

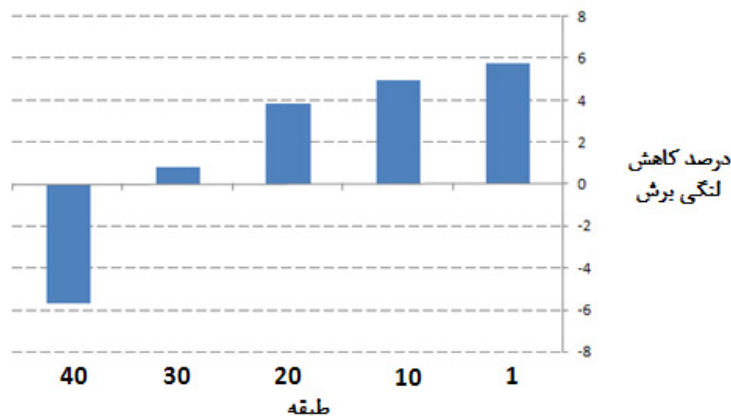
در این بخش به مانند آنچه برای سازه‌های با پلان مربعی انجام شد، سازه‌های ۴۰ طبقه با پلان مستطیلی مورد تحلیل قرار گرفته و نحوه تاثیر پارامتر افزایش سختی تیرهای رابط مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج در اشکال ۱۹، ۲۰ و ۲۱ به نمایش در آمده اند. نمودار میله‌ای شکل ۲۱ نشان می‌دهد که بیشترین کاهش در اندیس لنگی



شکل ۱۹- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مستطیلی ۴۰ طبقه



شکل ۲۰- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مستطیلی ۴۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش سختی تیرها)



شکل ۲۱- درصد کاهش لنگی برش ناشی از افزایش سختی تیرها در طبقات مختلف سازه ۴۰ طبقه با پلان مستطیلی

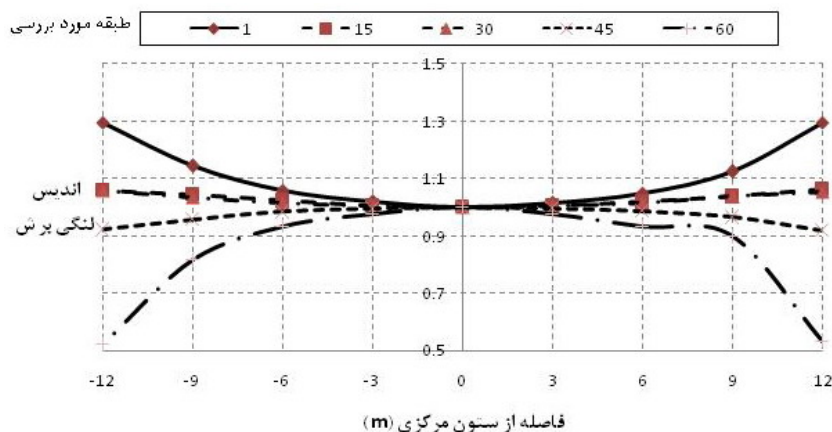
۶۰ طبقه در شکل ۲۲ نشان داده شده است. در این قسمت نیز همانند گذشته با افزایش سختی تیرهای رابط سعی در بررسی نحوه تاثیر آن بر میزان لنگی برش این بار در سازه ۶۰ طبقه گردیده است. نتایج در شکل ۲۳ نشان داده شده است و در شکل ۲۴ در قالب یک نمودار میله‌ای

۳-۶- بررسی سازه ۶۰ طبقه با پلان مستطیلی

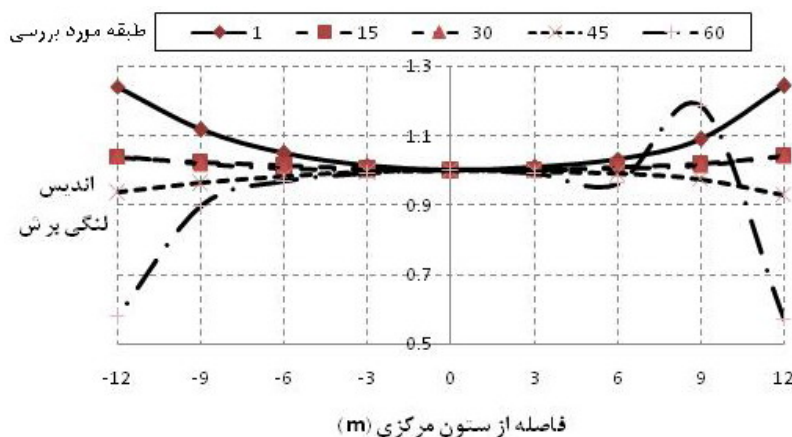
در این بخش در ادامه مطالعه پارامتریک، سازه ۶۰ طبقه با مشخصات شبیه به سازه‌های ۲۰ و ۴۰ طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مربعی

لنگی برش در طبقات پایینی بیشتر بوده اما در کل حداکثر این کاهش کمتر از ۴ درصد می‌باشد که باز هم نشان دهنده تاثیر ناچیز افزایش سختی تیرها بر کاهش لنگی برش می‌باشد.

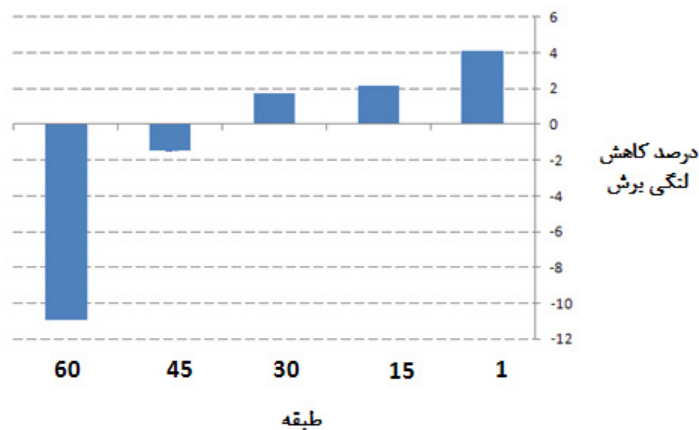
مقایسه‌ای بین حالت مبنا و حالت با افزایش سختی تیرها صورت پذیرفته و درصد کاهش اندیس لنگی برش در طبقات مختلف ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود و از نتایج بدست آمده بر می‌آید درصد کاهش



شکل ۲۲- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مستطیلی ۶۰ طبقه



شکل ۲۳- نمودار اندیس لنگی برش متناظر با ستون‌های مورد بررسی در طبقات مختلف سازه مستطیلی ۶۰ طبقه (بررسی تاثیر افزایش سختی تیرها)



شکل ۲۴- درصد کاهش لنگی برش ناشی از افزایش سختی تیرها در طبقات مختلف سازه ۶۰ طبقه با پلان مستطیلی

۷- نتیجه گیری

که در سازه های ۴۰ طبقه در طبقات بالایی سازه اندیس لنگی برش نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش هم یافته است که این افزایش تا ۱۰٪ به وقوع پیوست.

- در سازه با پلان مربعی عامل افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا ۴٪ توانست اندیس لنگی برش را در سازه ۶۰ طبقه کاهش دهد که این کمترین مقدار کاهش در مقایسه با سازه های ۲۰ و ۴۰ طبقه می باشد.

- مشابه با سازه ۴۰ طبقه، در سازه ۶۰ طبقه نیز در طبقات بالایی سازه اندیس لنگی برش نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش هم یافته است که این افزایش تا ۱۵٪ به وقوع پیوست که نشان می دهد ارتفاع بیشتر باعث افزایش بیشتر در اندیس لنگی برش در طبقات بالایی سازه خواهد شد.

- در سازه با پلان مستطیلی عامل افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا ۱۰٪ توانست اندیس لنگی برش را در سازه ۲۰ طبقه کاهش دهد. کاهش مذکور در سازه ۴۰ طبقه در حالت حداکثر خود به ۶٪ رسید.

- تفاوت نتایج تحلیل سازه های ۲۰ و ۴۰ طبقه در سازه با پلان مستطیلی آن است که در سازه های ۴۰ طبقه در طبقات بالایی سازه اندیس لنگی برش نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش هم یافته است که این افزایش تا ۶٪ به وقوع پیوست.

- در سازه با پلان مستطیلی، عامل افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا ۴٪ توانست اندیس لنگی برش را در سازه ۶۰ طبقه کاهش دهد که این کمترین مقدار کاهش در مقایسه با سازه های ۲۰ و ۴۰ طبقه می باشد.

- مشابه با سازه ۴۰ طبقه، در سازه ۶۰ طبقه با پلان مستطیلی نیز در طبقات بالایی سازه اندیس لنگی برش افزایش یافته است که این افزایش تا ۱۱٪ مشاهده شده است که بار دیگر نشان می دهد

- پدیده لنگی برش در سازه های با سیستم لوله ای در اثر تغییر مکان قائم ناهمگون ستون ها در یک قاب (مانند قاب بال در سیستم) بوجود می آید. بنابراین هر ستون داخلی نسبت به ستون خارجی سمت خود، تغییر شکل و تنش کمتری خواهد داشت. چون لنگر اعمالی خارجی باید توسط کوپل داخلی ناشی از نیروهای کششی و فشاری دو سمت مخالف محور خنثی ساختمان تحمل گردد، تنش های ستون های گوشه ای بیشتر از تنش های ناشی از رفتار خالص لوله ای خواهد بود و تنش های ستون های میانی کمتر از آن می باشد و توزیع تنش محوری از حالت خطی (ایده آل) دور می شود.

- آنچه از در نظر گرفتن نتایج حاصل از سازه با افزایش بعد ستون (کاهش فاصله بین ستون ها) و مقایسه آن ها با نتایج مدل مینا مشهود است آن است که افزایش بعد ستون نمی تواند به میزان زیادی مقدار لنگی برش را کاهش دهد.

- با افزایش سختی تیرهای رابط بین ستون ها در پیرامون سازه، اندیس لنگی برش که به صورت نسبت بار محوری ستون به بار محوری ستون مرکزی تعریف می شود، کاهش نسبتا چشمگیری داشته و در واقع مهمترین پارامتر مورد بررسی در کاهش اندیس لنگی برش، می تواند تغییر در ابعاد تیر رابط در نظر گرفته شود.

- در سازه با پلان مربعی عامل افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا ۱۳٪ توانست اندیس لنگی برش را در سازه ۲۰ طبقه کاهش دهد. کاهش مذکور در سازه ۴۰ طبقه در حالت حداکثر خود به ۶٪ رسید.

- تفاوتی که بین سازه های ۲۰ و ۴۰ طبقه علاوه بر مطلب ذکر شده در بالا به چشم می خورد آن است

لنگی برش را کاهش می‌دهد اما چنانچه راهکار موثرتری مدنظر باشد می‌بایست از روشهای دیگر مانند سازه لوله‌ای بادی‌بندی شده بهره گرفت.

ارتفاع بیشتر باعث افزایش بیشتر در اندیس لنگی برش در طبقات بالایی سازه خواهد شد.
 • در نهایت می‌توان گفت که هر چند تکنیک افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا حدودی میزان

مراجع

- [1] Luo, Q.Z., Tang, J., Li, Q.S., and Liu, G.D., (2009). "A Finite Segment Model for Shear Lag Analysis", Engineering Structures, Vol. 26, pp. 2131-2124.
- [2] Luo, Q.Z., Tang, J., and Li, Q.S., (2003). "Shear Lag Analysis of Beam-Columns", Engineering Structures, Vol. 25, pp. 1131-1138.
- [3] Luo QZ, Tang J, and Li Q.S. (2001). "Negative Shear Lag Effect in Box Girders with Varying Depth", J. Struct. Engrg, ASCE, Vol. 127 No. 10, pp.1236-9.
- [1] Stafford Smith, B. and Coull, A., (1991). Tall Building Structures: Analysis and Design. John Wiley & Sons, New York.
- [5] Stafford Smith, B., Coull, A., and Cruvellier, M. (1988). "Planar Models for Analysis of Intersecting Bent Structures", Computers and Structures, Vol. 29, pp. 257-263.
- [6] Grossman, J.S., Cruvellier, M., and Stafford Smith, B. (1986). "Behavior Analysis and Construction of a Braced Tube Concrete Structure", Concrete Int., Vol. 8, No. 9, pp. 32-42.
- [7] Taranath, B.S., (1988). Structural Analysis and Design of Tall Buildings. McGraw-Hill, New York.