



سیستم جدید برای ساختمان‌های بلند با ترکیب سیستم لوله‌ای، خرپاهای کلی و دیوارهای برشی فولادی

علی قمری^۱، لیلا حین زاده^{۲*}

^۱ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد دره شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، دره شهر، ایران

^{۲*} استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران (l.hosseinzadeh@iaut.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۴/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۰/۲۳)

چکیده

در ساختمان‌های بلند با افزایش تعداد طبقات، طراحان ناگزیر به استفاده از سیستم لوله‌ای یا ترکیب آن با سایر سامانه هستند. پدیده لنگی برش (shear lag) در سیستم لوله‌ای و مشکلات معماری به دلیل فاصله کم ستون‌ها از کاستی‌های این سامانه می‌باشد. مهاربندهای کلی از نوع مهاربندهای همگرا به دلیل داشتن سختی برشی بالا در ترکیب با سیستم لوله‌ای، رفتار این سامانه در خصوص معایب ذکر شده را بهبود می‌بخشند. اما عیب اصلی این سامانه تغییرات ناگهانی تغییر شکل جانبی در برابر باد و زلزله می‌باشد. در این مقاله یک ایده جدید معرفی شده است که در آن از دیوار برشی فولادی در دو انتهای قاب و از مهاربندهای کلی بین آنها استفاده می‌شود. این دو دیوار به عنوان یک بازوی لنگر قوی در برابر لنگر واژگونی عمل کرده و با توجه به سختی بالا، عمده برش را جذب می‌کنند. بنابراین لنگی برش کاهش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد در سامانه پیشنهادی، تغییر شکل جانبی کاهش پیدا کرده همچنین نیروهای محوری و لنگر خمشی نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد که نشان از کارایی بالای این سیستم دارد.

کلمات کلیدی

سازه‌های بلند، سیستم لوله‌ای، مهاربند کلی، دیوار برشی فولادی، لنگی برش.



A New System for Tall Buildings Combining a Tubular System, Trusses and Steel Shear Walls

Ali Ghamari¹, Leila Hosseinzadeh^{2*}

¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Darreh-Shahr Branch, Islamic Azad University, Darreh-Shahr, Iran.

^{2*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (l.hosseinzadeh@iaut.ac.ir)

(Date of received: 01/07/2018, Date of accepted: 13/01/2019)

ABSTRACT

In high-rise buildings, by increasing the number of floors, designers are forced to use the tubular system or to combine it with other systems. The “shear lag” phenomenon and also architectural problems due to the low distance between the columns are disadvantages of this system. Concentrically bracings due to their high shear-stiffness combining with tubular system improve the behavior of this system due to the disadvantages mentioned. But the main disadvantage of this system is the sudden change of lateral deformation against wind and earthquake forces. In this paper, a new idea is introduced that uses a steel shear wall at the two ends of the frame and a general bracing between them. These two walls act as a strong moment anchor against overturning moment of building, and due to their high stiffness, absorb the major shear forces. So, the shear lag decreases. The results show that lateral deformation is reduced in the proposed system, and the axial forces and bending moment also have a significant reduction, which indicates the high efficiency of this system.

Keywords

High-rise buildings, Tubular system, General bracing, Steel shear walls, Shear lag.



۱- مقدمه

برج‌ها و ساختمان‌های بلند همواره مورد توجه بشر بوده است. در تمدن‌های باستان ساختمان‌های بلند با اهداف دفاعی و سپس نمادین کاربرد پیدا کرده است. رشد و توسعه سازه‌های بلند جدید در دهه ۸۰ قرن نوزدهم با کاربرد تجاری و مسکونی شروع شد. در سازه‌های بلند عوامل زیادی دخیل هستند که در سازه‌های کوتاه حائز اهمیت نیستند. هنگامی که ارتفاع سازه افزایش پیدا می‌کند، سامانه باربر جانبی آن از اهمیت بیشتری نسبت به سازه‌های کوتاه برخوردار است. تأمین سختی جانبی سازه، یکی از عوامل اساسی طراحی ساختمان‌های بلند است. زیرا در حد نهائی مقاومت، تغییر شکل‌های جانبی و وجود اثرات $P-\Delta$ ممکن است باعث شکست و انهدام ناگهانی سازه شود. روش‌های مختلفی برای کنترل سازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱ و ۳] این روش‌ها شامل کنترل فعال، نیمه فعال و غیرفعال می‌باشد [۴]. در کنترل فعال سازه، پژوهشگران با به کارگیری و طراحی تعدادی اعضای ویژه، ارتعاش و حرکت جانبی سازه را محدود می‌کنند [۵-۷]. در میان این اعضای ویژه، می‌توان میراگرهای جرمی TMD [۸-۱۰] را نام برد که باعث بهبود رفتار سازه در مقابل باد و انفجار می‌شوند. روش کنترل غیر فعال ساده ترین روش در میان روش‌های کنترل سازه است. از طرفی سیستم‌های زیادی با کارایی‌های مختلف برای ارتفاع سازه در تأمین سختی جانبی سازه‌ها (در روش کنترل غیرفعال سازه‌ها) پیشنهاد شده‌اند که برخی از مهمترین آن‌ها در شکل (۱) برای سازه‌های فولادی نمایش داده شده است. یکی از مؤثرترین سامانه مهاربندی در سازه‌های بلند، سیستم‌های لوله‌ای می‌باشد. با مشاهده شکل (۱) می‌توان دریافت که در سازه‌های بیش از ۴۰ طبقه استفاده از سیستم‌های لوله‌ای یا ترکیب این سامانه با دیگر سامانه‌ها تنها راه حل خواهد بود [۱۱]. در مرجع [۱۲] نیز استفاده از سیستم مذکور تا ۶۰ طبقه، کارآمد معرفی شده است که با افزایش تعداد طبقات برای افزایش کارایی، باید تغییراتی در نوع سیستم لوله‌ای معمولی ایجاد گردد.

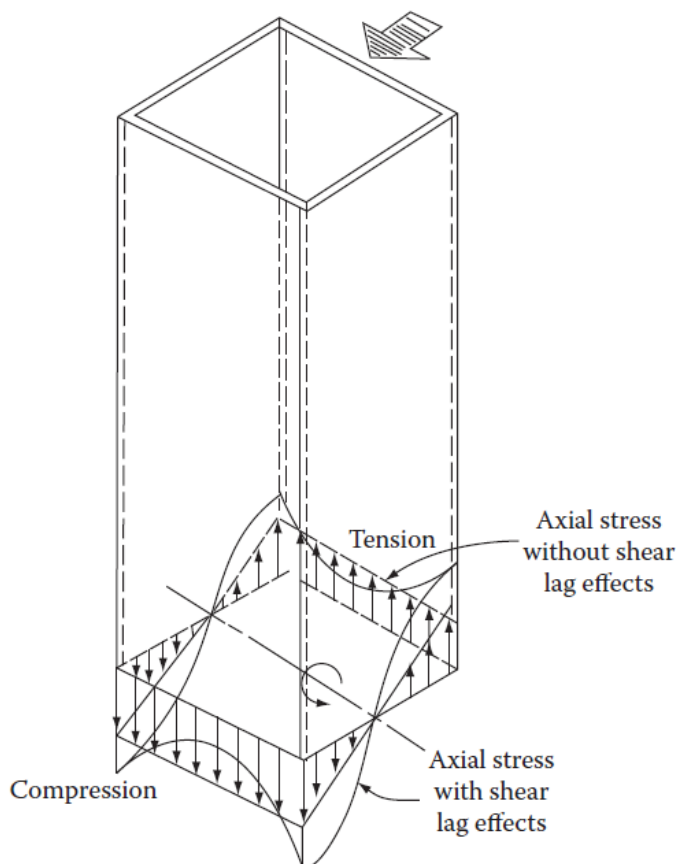


شکل ۱: سامانه‌های مهار جانبی برای تعداد طبقات مختلف [۵].



۲- سیستم لوله‌ای

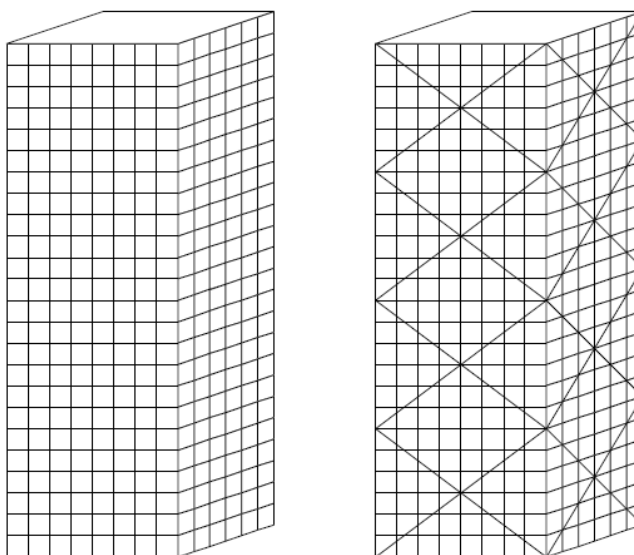
در حقیقت سیستم لوله‌ای، تکامل یافته قاب‌های صلب سنتی می‌باشند. هدف از بکارگیری این فرم سازه‌ای، جایگزینی حداکثر مواد باربر در محیط سازه، برای بیشینه نمودن صلبیت خمشی مقطع می‌باشد. مقاومت و سختی جانبی سیستم لوله‌ای، به وسیله ستون‌های با فاصله کم در محیط و استفاده از تیرهای عمیق بین آن‌ها تامین می‌شود. در عمل برای دستیابی به هندسه و سامانه بهینه، فاصله ستون‌ها بین ۳ تا ۶/۱ متر و عمق تیرها بین ۰/۹ تا ۱/۵ قرار می‌گیرد. گرچه سیستم لوله‌ای کل بار جانبی را تحمل می‌کند، اما بارهای قائم بین ستون‌های محیطی و ستون‌های داخلی تقسیم می‌گردد. هنگامی که سازه تحت اثر بار جانبی قرار می‌گیرد، قاب‌های محیطی در جهت بارگذاری به صورت "جان" و قاب‌های عمود بر جهت بارگذاری، به صورت "بال" عمل می‌کنند [۱۲]. ضعف اصلی سیستم لوله‌ای در کنترل تغییرمکان جانبی ناشی از انعطاف‌پذیری تیرهای این سامانه است. این انعطاف‌پذیری تیرها باعث توزیع غیر یکنواخت تنش‌های محوری ستون‌های طبقه اول مطابق شکل (۲) می‌شود که به نام لنگی برش شناخته می‌شود. از دیگر معایب این سیستم، می‌توان به جنبه‌های معماری آن یعنی فاصله کم ستون‌ها اشاره نمود [۱۲] که یک نمای نامناسب ساختمان را نتیجه می‌دهد. علاوه بر آن، مشکلات فاصله کم ستون‌ها مخصوصاً در سازه‌های بلندی که طبقات اول آن دارای کاربری پارکینگ و تجاری هستند، آشکارتر است. استفاده از مهاربندهای کلی این مشکلات را تا حد زیادی کم می‌کند.



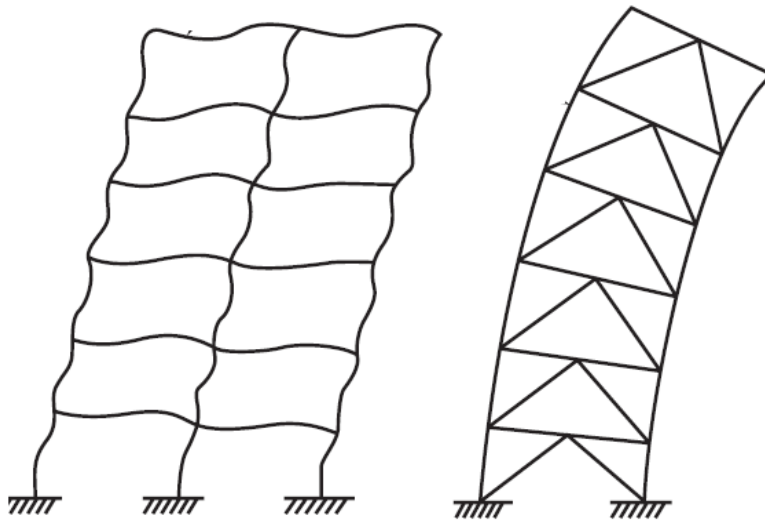
شکل ۲: لنگی برش در سیستم‌های لوله‌ای [۶].



با اضافه نمودن عناصر مهاربندهای کلی به سیستم لوله‌ای، شکل (۳)، به طور قابل توجهی سختی و صلبیت سامانه افزایش می‌یابد. با استفاده از عناصر قطری می‌توان فاصله ستون‌ها را بیشتر کرد و همچنین از مقاطع ضعیف تر برای تیر و ستون استفاده نمود [۱۳]. همچنین در سیستم لوله‌ای مهاربندی شده، عمده برش بوسیله قطری‌ها تحمل می‌شود که باعث یکنواختی تنش محوری ستون‌های طبقه اول سازه می‌شود یا به عبارت دیگر لنگی برش کم می‌شود. بوسیله این قطری‌ها رفتار سیستم به سمت رفتار طره‌ای خالص تمایل پیدا می‌کند. این رفتار در شکل (۴) نمایش داده شده است. با توجه به مطالب بیان شده، افزودن مهاربندهای کلی رفتار سیستم را بهبود می‌بخشد اما عیب اصلی آن یعنی کاهش ناگهانی تغییر مکان در محل تقاطع مهاربندها همچنان آشکار است. به عبارت دیگر در این سیستم یکنواخت نبودن تغییر مکان‌ها در ارتفاع سازه، یک ضعف محسوب می‌شود. در همین راستا با بهره‌گیری از مزایای سیستم لوله‌ای و مهاربندهای کلی در ترکیب با دیوار برشی فولادی، یک سامانه پیشرفته معرفی و بررسی خواهد شد که علاوه بر بهبود رفتار از جنبه سختی و مقاومت، شکل پذیری سازه نیز افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳: سیستم لوله‌ای معمولی و مهارشده با مهاربندهای کلی.



شکل ۴: تغییر شکل برشی و خمشی [۶].

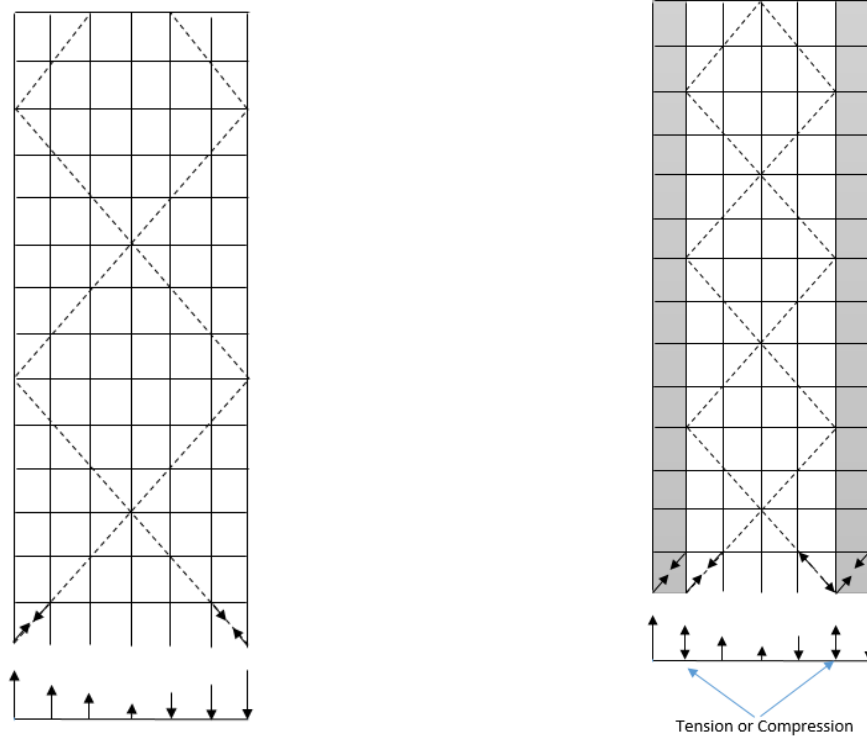
در مهاربندهای کلی معمولاً جهت دستیابی به سختی بیشتر از مهاربند همگرا استفاده می‌کنند. زیرا مهاربند قطری همگرا نسبت به سایر مهاربندها سختی برشی بالایی دارند. پژوهشگران نشان داده‌اند که دیوار برشی فولادی دارای سختی برشی و مقاومت جانبی بیشتری نسبت به مهاربندهای همگرا هستند [۱۴]. با در نظر گرفتن جنس و حجم مصالح یکسان، سختی دیوار برشی فولادی به $1/7$ تا 2 برابر و مقاومت نهایی آن $1/5$ تا 2 برابر مهاربند همگرا می‌رسد. در مهاربندها، اتصال مهاربند به قاب پیرامونی بوسیله ورق اتصال صورت می‌گیرد. گسیختگی جوش در این ورق‌ها ناشی از تمرکز تنش و یا ضعف‌های اجرایی باعث حذف مهاربند در مشارکت باربری جانبی می‌شود. اما در دیوار برشی فولادی، ورق فولادی به صورت پیوسته به قاب پیرامونی متصل می‌گردد که تمرکز تنش در آن کمتر می‌شود. از طرفی احتمال حذف ورق فولادی در مشارکت باربری جانبی در مقایسه با گسیختگی جوش ورق‌های اتصال بسیار کمتر است. بنابراین استفاده از دیوار برشی فولادی دارای درجه ایمنی بالاتری است. افزایش سختی و مقاومت دیوار برشی فولادی نسبت به مهاربند به دلیل مکانیزم باربری آن است.

۳- معرفی سیستم پیشنهادی

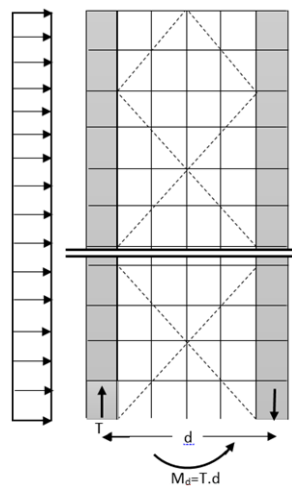
در دیوار برشی فولادی پس از اینکه در اثر کمانش، تغییر شکل در ورق رخ داد، یکسری تنش‌های بوجود می‌آید که تمایل به برگرداندن ورق به حالت پایدار دارند. به دلیل اثر این تنش‌ها، آن کمانش ناگهانی که در ستون و سایر اجزا میله‌ای رخ می‌دهد، در ورق مشاهده نمی‌شود. و ورق‌ها پس از کمانش ظرفیت باربری زیادی از خود نشان می‌دهند [۱۵ و ۱۶]. بنابراین کمانش در اجزا میله‌ای موجب کاهش قابل ملاحظه ظرفیت باربری می‌شود. اما دیوار برشی فولادی بارهای اعمال شده را به صورت کشش در قطر اصلی و فشار در قطر دیگر تحمل می‌کند. با رجوع به شکل (۵) می‌توان دریافت که با توجه به وجود دیوار برشی فولادی در دو سمت قاب، به مقدار قابل توجهی از مقدار لنگی برش کاسته می‌شود همچنین با صرف نظر از مقاومت قطر فشاری ورق، دیوار همانند یک مهاربند کششی عمل می‌کند. با توجه به پیوستگی اتصال ورق فولادی به تیر و ستون، تنش‌ها در آن توزیع شده و تیر و ستون اطراف ورق فولادی، در باربری جانبی مشارکت بیشتری خواهند داشت. علاوه بر آن، وجود دیوار در دو سمت قاب، یک بازوی لنگر قوی



مقاوم در برابر لنگر واژگونی ایجاد می‌کند شکل (۶). وجود مهاربندها بین دو دیوار باعث می‌شود که دیوارها با هم هماهنگ عمل کنند. چون در صورت حذف این مهارها، با توجه به انعطاف‌پذیری تیرها، نیروهای محوری به درستی انتقال پیدا نمی‌کند. علاوه بر مزایای ذکر شده، افزودن دیوار برشی فولادی به سیستم لوله‌ای و مهاربندهای کلی باعث افزایش درجه نامعینی سازه می‌شود. این افزایش درجه نامعینی در کاهش تغییر شکل‌های جانبی موثر است.



شکل ۵: تاثیر دیوار برشی فولادی در کاهش لنگی برش.



شکل (۶): بازوی لنگر مقاوم در برابر لنگر واژگونی



۴- روش تحقیق

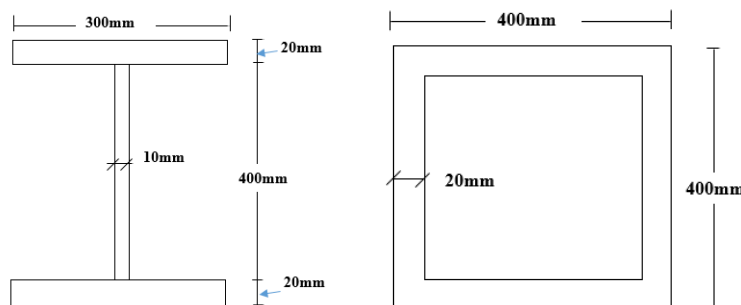
برای معرفی سیستم پیشنهادی و ارزیابی رفتار آن، با توجه به زمانبر بودن تحلیل سازه‌های بلند، تحلیل‌ها در دو سری انجام خواهد شد. در سری اول تحلیل‌ها، سیستم پیشنهادی بصورت دو بعدی و تحت بار گسترده یکنواخت (ساده سازی شده بار باد) تحلیل خواهد شد تا کارایی و برتری آن نسبت به سایر سیستم‌ها مشخص شود. همچنین فرضیاتی ساده کننده با توجه به اینکه تحلیل اولیه هستند لحاظ می‌شود که عبارتند از: مقاطع تیر، ستون و همچنین ضخامت دیوار برشی فولادی در تمام طبقات یکسان است. در این تحلیل‌ها، مقاطع تمام مدل‌ها به نحوی انتخاب می‌شود تا حجم مصالح در هر سامانه برابر شود. در سری دوم تحلیل‌ها، سازه‌های واقعی طراحی شده و تحت بارهای واقعی باد و زلزله بصورت سه بعدی تحلیل خواهد شد که نتایج واقع بینانه تری را نشان می‌دهد.

۵- مدل های سری اول

در سری اول تحلیل‌ها، برای ارزیابی رفتار و مقایسه سامانه‌ها با هم، چهار نوع سامانه با تعداد طبقات ۱۰، ۲۰ و ۴۰ مورد بررسی قرار گرفته است که در آنها M بیانگر قاب خمشی تنها، M-R بیانگر ترکیب قاب خمشی و مهاربندهای کلی، M-SSW قاب خمشی و دیوار برشی فولادی و سیستم M-R-S ترکیب قاب خمشی و مهاربندهای کلی است که در دو انتهای آن دیوار برشی فولادی قرار دارد. سختی برشی قاب در هر طبقه با در نظر گرفتن صلبیت تیرها و ستون‌ها به صورت رابطه (۱) است.

$$K_i = \frac{24E}{h_i^2 \left[\frac{2}{\sum K_l} + \frac{1}{\sum K_{bb}} + \frac{1}{\sum K_{bt}} \right]} \quad (1)$$

در این رابطه E مدول الاستیسیته، h ارتفاع طبقه، K_l ، K_{bb} و K_{bt} به ترتیب سختی ستون، ستون‌های تیرهای تحتانی، سختی تیرهای فوقانی هر طبقه است. با در نظر گرفتن ممان اینرسی تیرها و ستون‌ها بر اساس شکل (۷) و همچنین ارتفاع یکسان طبقات، سختی هر طبقه بر حسب مدول الاستیسیته، E، برابر $K_i = 0.06E$ به دست می‌آید. همچنین سختی برشی مهاربندها در هر طبقه از رابطه (۲) محاسبه می‌شود که در این رابطه، A سطح مقطع، L طول مهاربند، n تعداد قطری مهاربند و α زاویه مهاربند است.



شکل ۷: هندسه تیر و ستون.



$$K_{brace} = n \frac{E.A}{L} \cos^2 \alpha \quad (۲)$$

با مساوی قرار دادن سختی مهاربندها و قاب خمشی در هر طبقه، سطح مقطع مهاربندها برابر است با:

$$n \frac{E.A}{L} \cos^2 0.79 = 0.06E \rightarrow A = 45.48 \text{ cm}^2$$

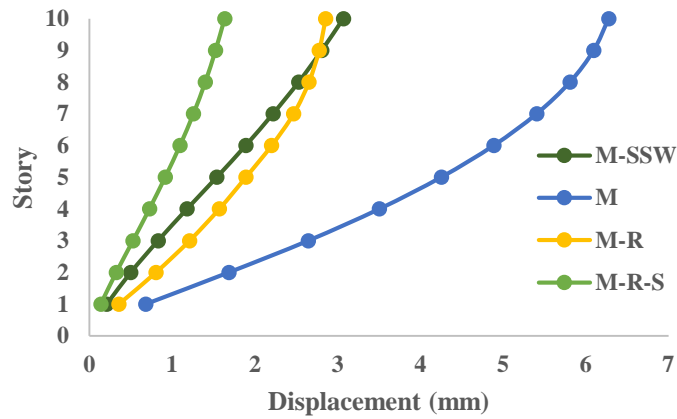
بنابراین از مقطع 2UNP100 استفاده می‌شود. با مشخص شدن مقطع مهاربند می‌توان ورق‌های اتصال مهاربند و لقمه‌ها را محاسبه نمود. با لحاظ کردن جزئیات آن‌ها، ضخامت ورق فولادی به نحوی انتخاب می‌گردد که حجم مصالح استفاده شده در هر پانل مهاربندی تبدیل به ورق فولادی معادل دیوار برشی فولادی گردد. با در نظر گرفتن این فرضیات ضخامت ورق فولادی برابر ۳ میلیمتر بدست می‌آید. سختی برشی یک پانل دیوار برشی فولادی بر اساس فرضیات صیوری و روبرتز [۹] به صورت رابطه رابطه (۳) حاصل می‌شود.

$$K_w = \frac{E.b.t}{4h} = 0.08E \quad (۳)$$

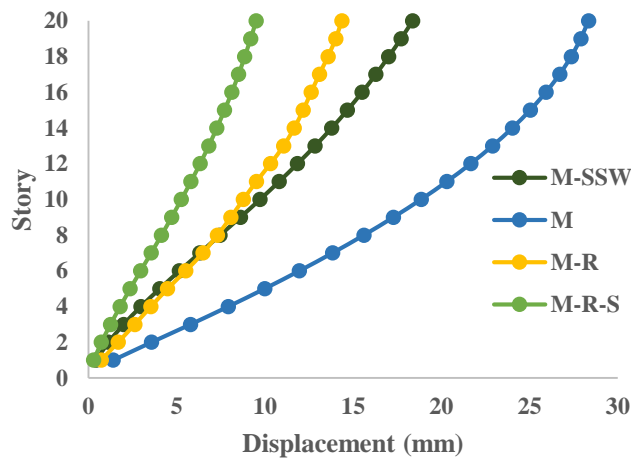
در این رابطه، b, t به ترتیب ضخامت ورق فولادی و عرض دهانه هستند. سایر پارامترها قبلاً معرفی شده اند. بنابراین با حجم مصالح مساوی و جنس یکسان، سختی برشی دیوار برشی فولادی به مقدار $\frac{0/08E}{0/06E} = 1/33$ برابر بیشتر از مهاربندهای همگرا است. پس انتظار می‌رود سختی برشی سامانه پیشنهادی از دیگر سیستم‌های مورد بررسی بیشتر باشد، حال آنکه با افزایش ارتفاع، سختی خمشی-برشی حاکم می‌شود. برای اثبات این ادعا، به بحث در باره نتایج تحلیل مدل‌ها، به روش المان محدود، پرداخته می‌شود.

۵-۱- تغییر مکان و نسبت تغییر مکتان جانبی (Drift)

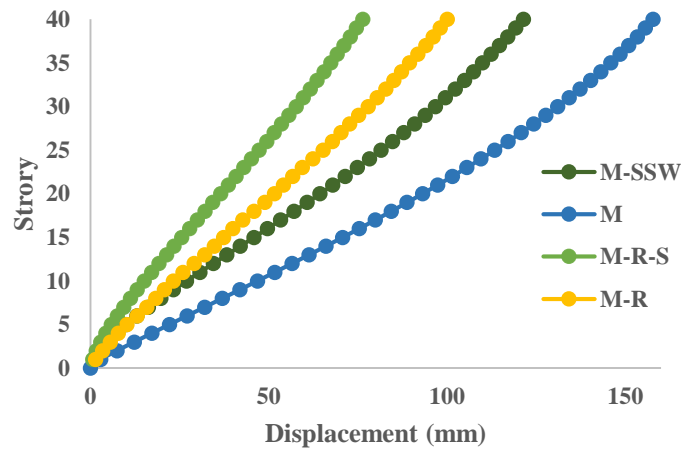
همانگونه که قبلاً ذکر گردید، کنترل تغییر شکل جانبی سازه‌های بلند از مهمترین عوامل در تعیین سامانه مناسب برای هر سازه بلند است. در شکل (۸) تغییر مکان جانبی سازه‌ها ترسیم شده است. از نمودارهای این شکل پدیدار است که سامانه پیشنهادی باعث کاهش تغییر مکان جانبی سامانه می‌شود. در این شکل قاب خمشی (مدل M) بیشترین تغییر مکان را داشته که از قبل قابل پیش بینی نیز بود. در سازه‌های ۲۰ و ۴۰ نیز سامانه پیشنهادی نسبت به سایر سامانه‌ها تغییر مکان کمتری داشته که حاکی از عملکرد مناسب آن دارد (شکل (۹) و (۱۰)). در مدل‌های M-R و M-SSW تا چند طبقه اول رفتاری مشابه نشان می‌دهند. اما در طبقات بالاتر تغییر مکان سامانه دارای دیوار برشی فولادی در مقایسه با خرپاهای کلی افزایش می‌یابد. با مقایسه نسبت دررفت کارایی سامانه‌ها بهتر مشخص می‌شود.



شکل ۸: تغییر مکان نسبی مدل‌های ۱۰ طبقه.



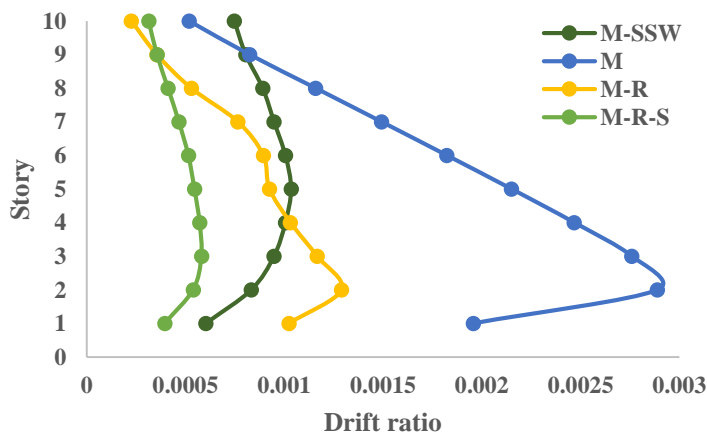
شکل ۹: تغییر مکان مدل‌های ۲۰ طبقه.



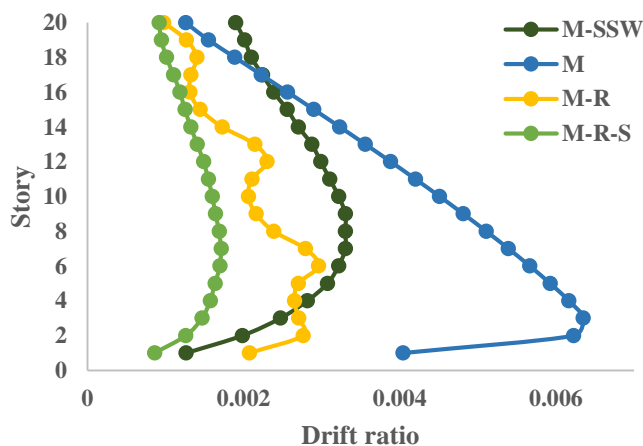
شکل (۱۰): تغییر مکان مدل‌های ۴۰ طبقه.



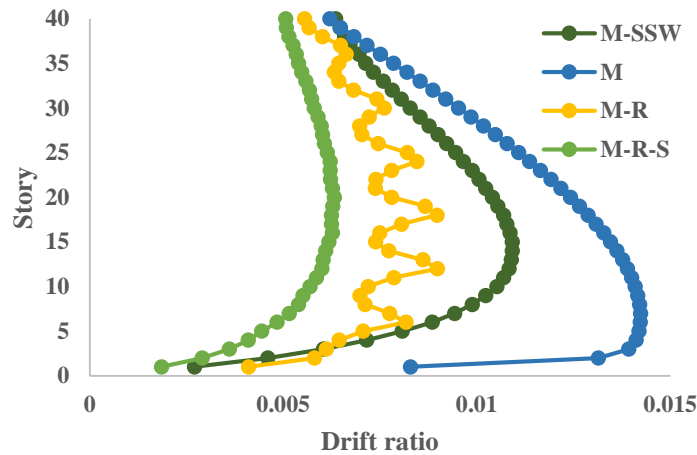
با رجوع به نمودار شکل‌های (۱۱) - (۱۳) می‌توان دریافت که همچنان سامانه پیشنهادی عملکرد مناسبی نسبت به سایر سامانه‌ها دارد. مقایسه دو سامانه M-R, M-SSW نشان می‌دهد که سامانه دارای دیوار برشی فولادی تنها در طبقات پایین تر رفتار بهتری داشته و با افزایش تعداد طبقات عملکرد آن نسبت به مهاربند کلی معکوس می‌شود. همچنین سامانه دارای مهاربند کلی تغییرات ناگهانی در کاهش یا افزایش نسبت دررفت با ارتفاع سازه نشان می‌دهد که در سایر سامانه‌ها این تغییر ناگهانی (که از معایب این سیستم است) وجود ندارد. با ترکیب مهاربندهای کلی و دیوار برشی فولادی، مزیت هر دو سامانه ادغام شده و معایب آنها برطرف شده است.



شکل ۱۱: نسبت دررفت مدل‌های ۱۰ طبقه.

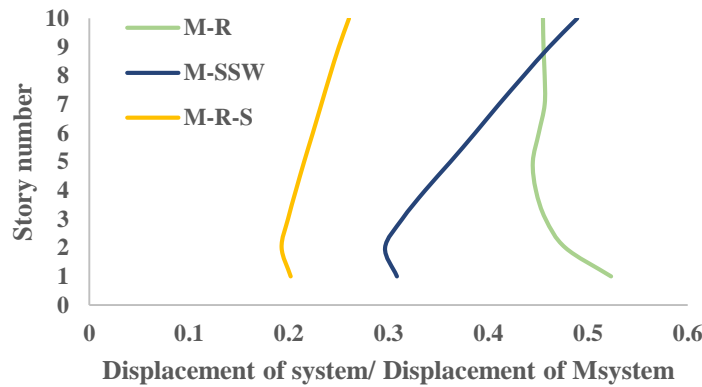


شکل ۱۲: نسبت دررفت مدل‌های ۲۰ طبقه.

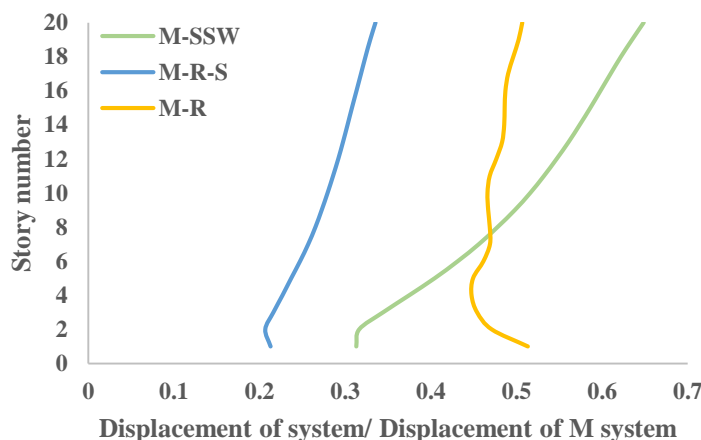


شکل ۱۳: نسبت دریفت مدل‌های ۴۰ طبقه.

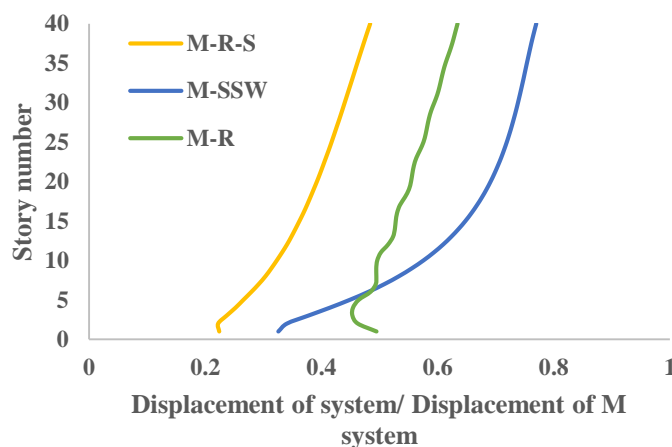
در شکل (۱۴)-(۱۶) تغییر مکان جانبی سامانه‌ها بر تغییر مکان قاب خمشی در هر طبقه تقسیم شده تا درصد کاهش تغییر مکان سامانه‌ها نسبت به قاب خمشی مشخص گردد. مقایسه نتایج کاهش تغییر مکان جانبی ۲۰ تا ۵۰ درصدی سامانه پیشنهادی را نشان می‌دهد. با این درصد کاهش تغییر مکان جانبی، حجم مصالح کمتری برای کنترل تغییر مکان لازم است بنابراین سامانه اقتصادی تر خواهد شد.



شکل (۱۴): نسبت تغییر مکان سامانه‌ها، مدل ۱۰ طبقه.



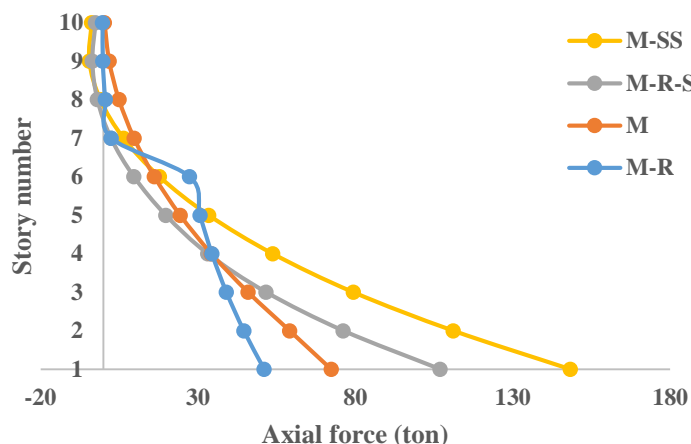
شکل ۱۵: نسبت تغییر مکان سامانه‌ها، مدل ۲۰ طبقه



شکل ۱۶: نسبت تغییر مکان سامانه‌ها، مدل ۴۰ طبقه.

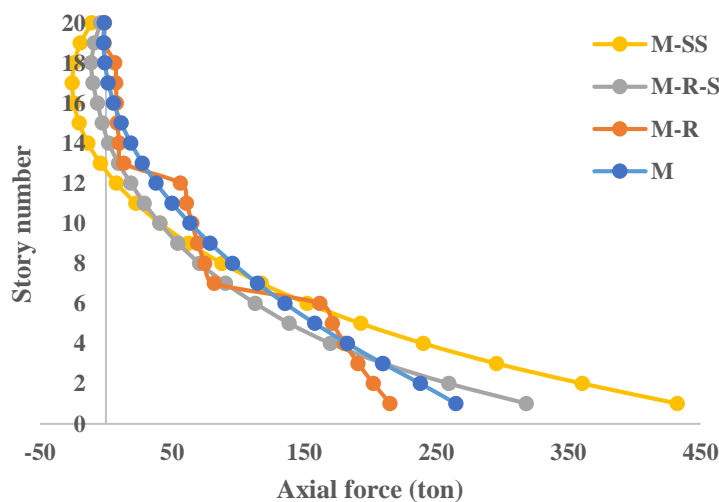
۲-۵- نیروی محوری ایجاد شده در ستون‌ها

با اعمال بار جانبی، در ستون نیروی محوری و لنگر خمشی ایجاد می‌شود. که در سمت رو به باد در ستون نیروی کششی و سمت پشت به باد نیروی فشاری است اما مقدار قدرمطلق آن‌ها با هم مساوی می‌باشد. همچنین نیروی محوری ستون وسط تقریباً مساوی صفر می‌باشد که در استخراج نتایج تمامی مدل‌ها نیز چنین می‌باشد. در شکل (۱۷) نیروی محوری ستون رو به باد در برابر طبقات ترسیم شده است. این نمودار نشان می‌دهد که نیروی محوری طبقه اول سازه‌های ۱۰ طبقه در سامانه پیشنهادی بیشتر از سامانه‌های M, M-R است اما در طبقه چهارم (تقریباً وسط ارتفاع سازه) مقدار آنها مساوی شده و از این طبقه به بالا کمترین نیروی ایجاد شده در ستون‌های سامانه پیشنهادی M-R-S ایجاد می‌شود. البته در طبقات آخر نیروی ستون‌های رو به باد فشاری است که ناشی تنش‌هایی است که ورق فولادی به ستون اعمال می‌کند.

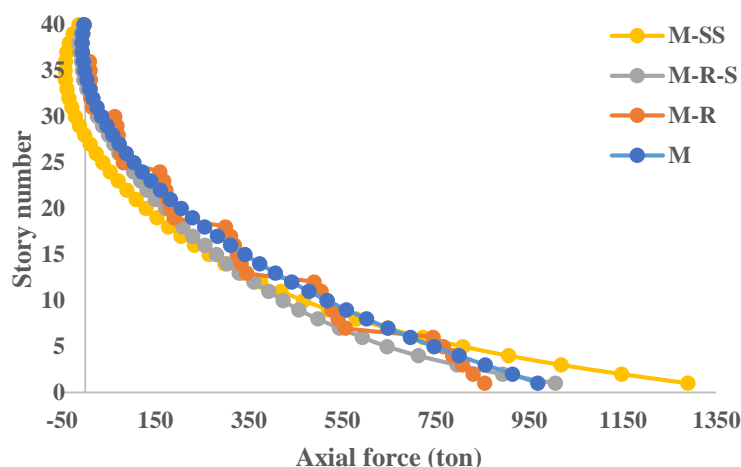


شکل ۱۷: حداکثر نیروی محوری در ستون برای سازه‌های ۱۰ طبقه.

در مدل‌های ۲۰ طبقه نیز حداکثر نیروی محوری در ستون‌های سامانه M-SSW ایجاد شده است (شکل (۱۸)) و در طبقات بالاتر، کمترین مقدار نیرو محوری ستون‌ها در سامانه M-SSW و سامانه پیشنهادی است. در وسط سازه همپوشانی دارند. در سازه‌های ۴۰ طبقه با رجوع به شکل (۱۹) تا طبقه چهاردهم، کمترین نیروی محوری در سامانه پیشنهادی ایجاد می‌شود و در طبقات بالاتر کمترین نیرو در سامانه M-SSW ایجاد می‌شود ولی همچنان سامانه پیشنهادی عملکرد مناسبی دارد. این کاهش نیروی محوری در سامانه پیشنهادی، یقیناً باعث کاهش ابعاد صفحه زیر ستون و فونداسیون خواهد شد که در اقتصاد سازه و مسائل اجرایی بسیار مهم است. علاوه بر آن، کاهش نیروی محوری ستون باعث نیاز به مقاطع ضعیف تر می‌گردد.



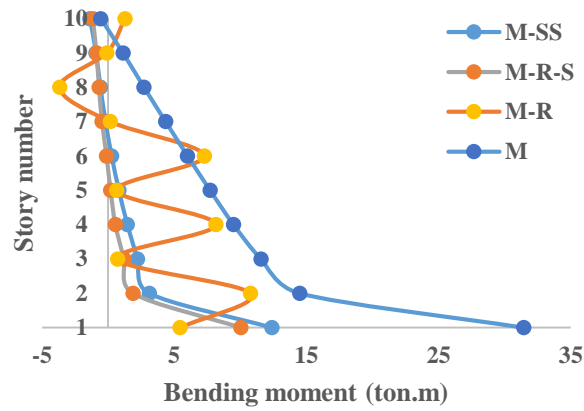
شکل (۱۸): حداکثر نیروی محوری در ستون برای سازه‌های ۲۰ طبقه.



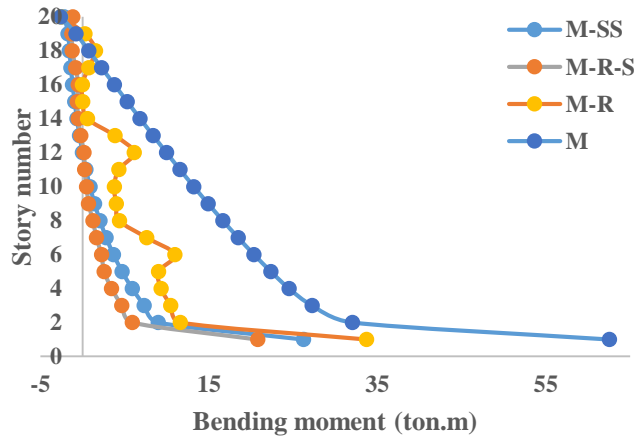
شکل ۱۹: حدکثر نیروی محوری در ستون برای سازه‌های ۴۰ طبقه.

۳-۵- لنگر خمشی و نیروی برشی در ستون

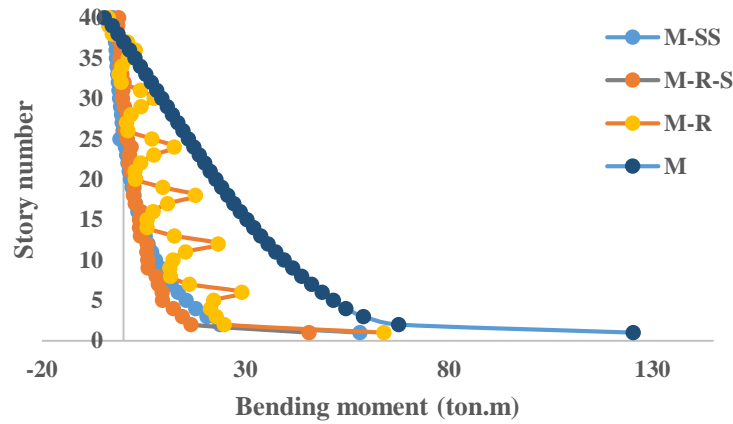
علاوه بر نیروی محوری، لنگر خمشی و نیروی برشی نیز در ابعاد نهایی ستون‌ها موثر است بنابراین در اشکال (۲۰) - (۲۴) نیروهای برشی و لنگر خمشی ایجاد شده در ستون‌های هر سامانه نمایش داده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که سامانه پیشنهادی در تمام سازه‌ها (۱۰ و ۲۰ و ۴۰ طبقه) از نظر لنگر خمشی ایجاد شده در ستون‌ها عملکرد بهتری دارد. در سامانه با خرپاهای محیطی، لنگر خمشی بطور ناگهانی افزایش و کاهش داشته است که این مورد در خصوص تغییر مکانهای نسبی نیز وجود داشت. در تمامی نمودارها بیشترین لنگر خمشی در قاب خمشی تنها، سامانه M، ایجاد می‌شود. در خصوص نیروی برشی ایجاد شده در ستون‌ها نیز، عملکرد همانند نتایج لنگر خمشی حاصل شده است. بنابراین این نتایج برتری سامانه پیشنهادی را نشان می‌دهد که کمترین لنگر خمشی و نیروی برشی را در ستون ایجاد می‌کند. این بدان دلیل است که برش جانبی بوسیله مهاربندهای کلی و دیوار برشی تحمل می‌شود که این دو در تعادل با همدیگر، نامنظمی و تغییرات ناگهانی کاهش و افزایش لنگر یا برش را از بین می‌برد. همچنین بدلیل آنکه سختی برشی دیوار برشی فولادی از مهاربند و قاب خیلی بیشتر است، نیروی برشی جانبی بیشتری را جذب می‌کند و باعث بهبود رفتار سیستم می‌شود. عملکرد میدان کشش قطری آن نیز باعث یکنواخت تر شدن توزیع تنش‌های در پای ستون‌های طبقه اول و کاهش لنگی برش می‌شود زیرا در خلاف جهت نیروی محوری ستون عمل می‌کند.



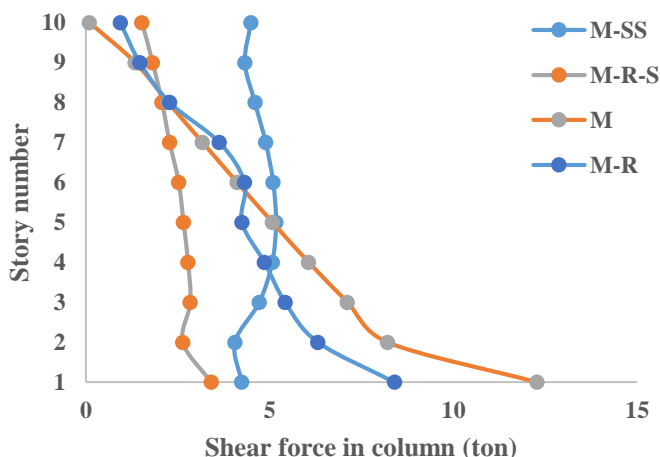
شکل ۲۰: حدکثر لنگر خمشی در ستون برای سازه‌های ۱۰ طبقه.



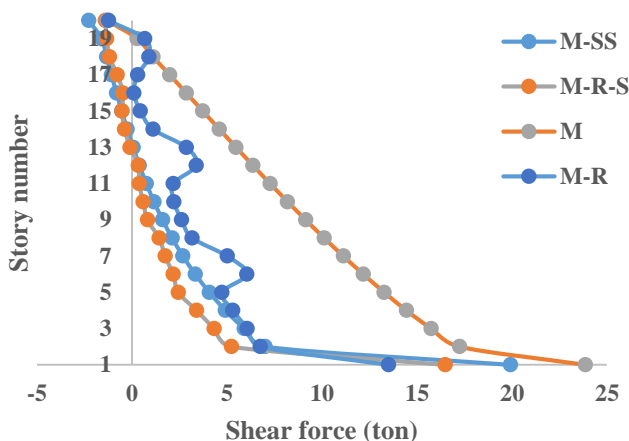
شکل ۲۱: حدکثر لنگر خمشی در ستون برای سازه‌های ۲۰ طبقه.



شکل ۲۲: حدکثر لنگر خمشی در ستون برای سازه‌های ۴۰ طبقه



شکل ۲۳: حدکثر نیروی برشی در ستون برای سازه‌های ۱۰ طبقه.



شکل ۲۴: حدکثر نیروی برشی در ستون برای سازه‌های ۲۰ طبقه.

۶- مدل های سری دوم

در سری دوم تحلیل‌ها، یک ساختمان اداری ۴۰ طبقه واقع در شهر تهران-ایران مورد بررسی قرار گرفته است. این سازه برای بار باد مطابق شکل (۲۵) و زلزله برای شتاب مبنای $0.35g$ طراحی و ساخته شده است. در این سازه بار مرده برابر 616Kg/m^2 و بار زنده برای فضاهای عمومی، راهروها و پله‌ها برابر 500Kg/m^2 و برای کف‌های مسکونی برابر 200Kg/m^2 در نظر گرفته شده است همچنین فاصله محور به محور ستون‌های پیرامونی ۴ متر می‌باشد. در محاسبات این سازه، نشان داده شده که بار باد حاکم بر طراحی است. بنابراین این سازه با استفاده از سیستم پیشنهادی برای بار باد تحلیل خواهد شد. در شکل (۲۶) و جدول‌های (۱) و (۲) مشخصات سازه ای نمایش داده شده است.

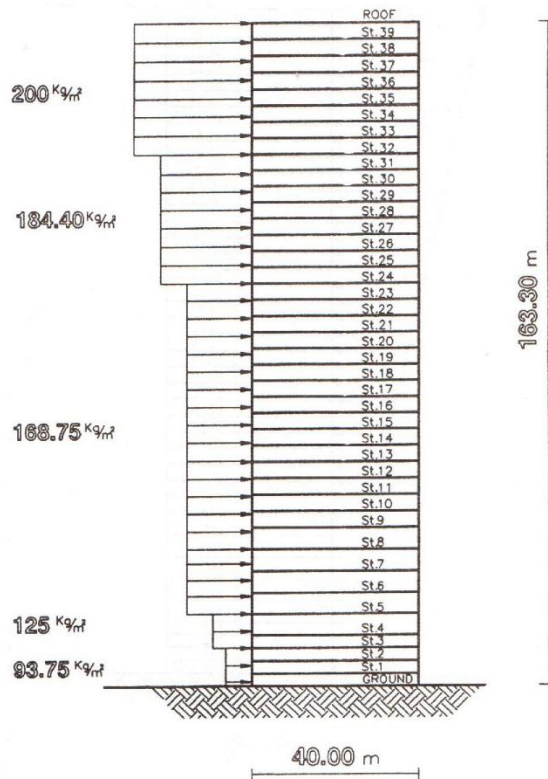


جدول (۱): پلان تیر ریزی

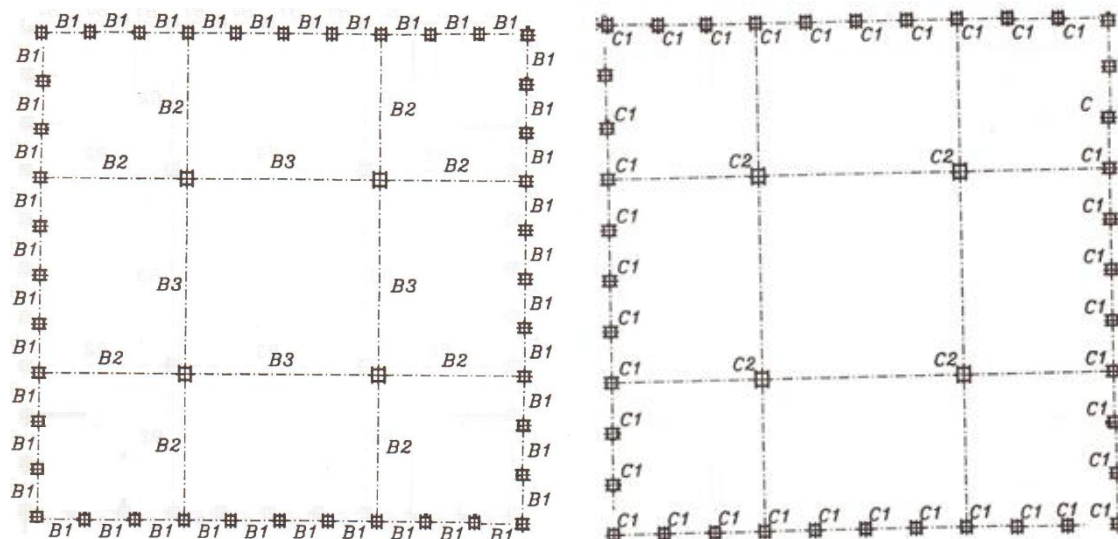
story	B1	B2	B3
1-10	IPB450	IPB900	IPB1000
11-20	IPB400	IPB900	IPB1000
21-30	IPB360	IPB900	IPB1000
31-40	IPB340	IPB900	IPB1000

جدول (۲): مشخصات ستون گذاری

Story	C2	C1
36-40	BOX800x800x60	Box500x500x30
31-35	BOX800x800x60	Box500x500x25
26-30	BOX1000x1000x100	BOX550x550x25
21-25	BOX1000x1000x100	BOX600x600x25
16-20	BOX 1150x1150x120	BOX650x650x25
11-15	BOX 1150x1150x120	BOX700x700x30
6-10	BOX 1250x1250x120	BOX750x750x40
1-5	BOX 1250x1250x120	BOX800x800x40

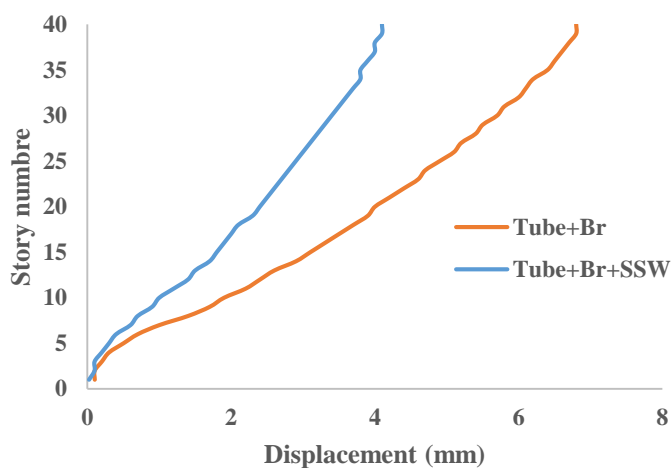


شکل ۲۵: توزیع نیروی باد در ارتفاع.

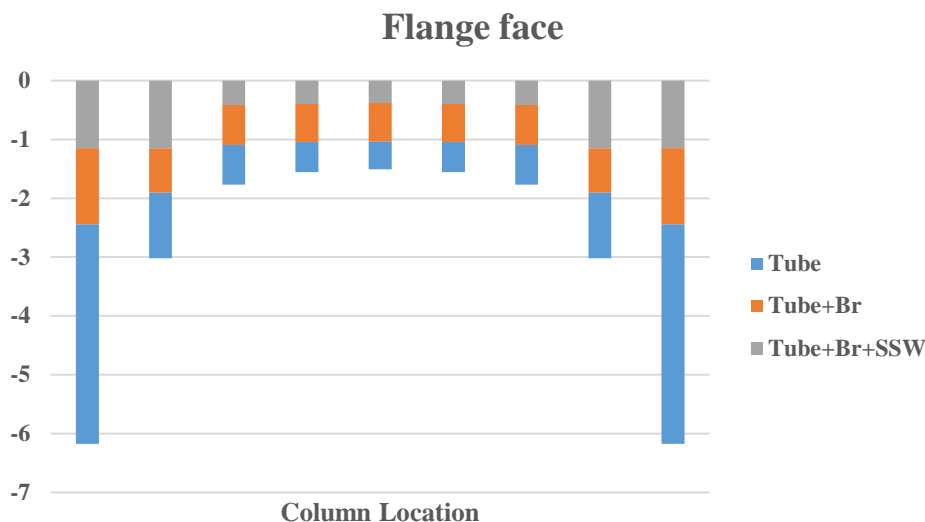


شکل ۲۶: پلان ستون گذاری و تیرریزی.

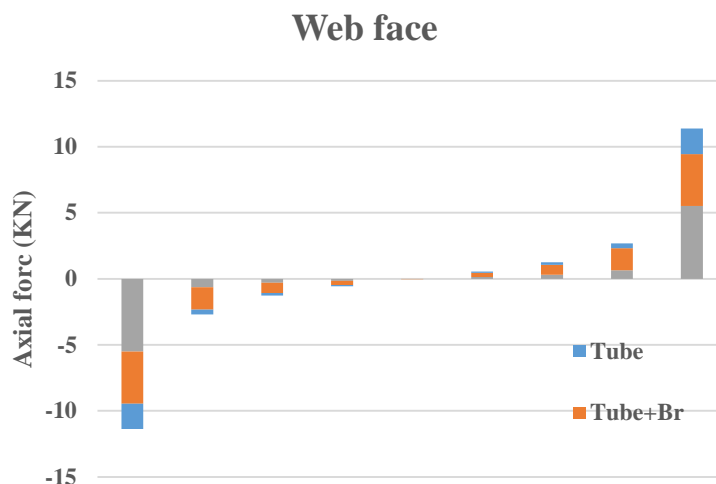
در شکل (۲۷) استفاده از ایده پیشنهادی نشان می‌دهد که تغییر مکان‌های جانبی کاهش پیدا می‌کند. همچنین همانگونه که قبلاً ادعا گردید، سیستم پیشنهادی، لنگی برش را کاهش می‌دهد. در شکل (۲۸) و (۲۹) نیروی محوری ستون‌های طبقه اول برای مقایسه لنگی برش را نشان می‌دهد که مقایسه نتایج حاکی از یکنواخت تر بودن نیروها در سیستم پیشنهادی است. یا به عبارت دیگر در سیستم پیشنهادی لنگی برش نسبت به دو سیستم دیگر کاهش چشمگیری داشته است.



شکل ۲۷: تغییر مکان جانبی مدل‌های سری دوم.



شکل ۲۸: اثر لنگی برش در بال سیستم.



شکل ۲۹: اثر لنگی برش در جان سیستم.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله ترکیبی از سیستم لوله‌ای، مهاربندهای کلی و دیوار برشی فولادی به عنوان یک سامانه جدید پیشنهاد شد که در آن از مزایای همه سامانه‌ها استفاده می‌شود. نتایج عددی نشان می‌دهد که با استفاده از سیستم پیشنهادی تغییر شکل های جانبی سازه کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر آن، با توجه به سختی برشی بالای دیوار برشی فولادی، بخش عمده برش جانبی بوسیله آن جذب می‌شود بنابراین نیروی های تیر و ستون کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. همچنین در این سیستم، لنگی برش بطور قابل ملاحظه ای کم می‌شود که نتایج عددی حاکی از این نتایج است. با مقایسه نتایج می‌توان از سیستم پیشنهادی به عنوان یک سیستم اقتصادی، کارا و ایمن نام برد.



۸- مراجع

- 1- Kim, H. and Adeli, H., 2004, **Hybrid feedback-LMS algorithm for structural control**, Journal of Structural Engineering (ASCE), 130(1), 120–127.
- 2- Kim, H. and Adeli, H., 2005, **Hybrid control of irregular steel highrise building structures under seismic excitations**, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 63, 1757–1774.
- 3- Fisco, N. R. and Adeli, H., 2011, **Smart structures: Part II - Hybrid control systems and control strategies**, Sharif University of Technology, Scientia Iranica A, 18 (3), 285–295.
- 4- Fisco, N. R. and Adeli, H., 2011, **Smart structures: Part I-Active and semi-active control**, Scientia Iranica A, 18 (3), 275–284.
- 5- Mir M. Ali, and Kyoung Sun, M., 2007, **Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects**, Architectural Science Review, 50(3), 205-223.
- 6- Chen, J. P., Webster, R. S., Hathaway, M. D., Herrick, G. P. and Skoch, G. J, 2009, **High performance computing of compressor rotating stall and stall control**, Integrated Computer-Aided Engineering, 16(2), 75–89.
- 7- Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G. and Cosenza, E., 2009, **Comparative analysis of multi-criteria decision making methods for seismic structural retrofitting**, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 24(6), 432–445.
- 8- Lu, L. Y., Lin, G. L. and Lin, C. H., 2009, **A unified analysis model for energy dissipation devices used in seismic-resistant structures**, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 24(1), 41–61.
- 9- Lin, C. C., Chen, C. L. and Wang, J. F., 2010, **Vibration control of structures with initially accelerated passive tuned mass dampers under nearfault earthquake excitation**, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 25(1), 69–75.
- 10- Smith, J. F. and Nguyen, T. H., 2007, **Autonomous and cooperative robotic behavior based on fuzzy logic and genetic programming**, Integrated Computer-Aided Engineering, 14(2), 141–159.
- 11- Jin, X. L. and Doloi, H., 2009, **Modelling risk allocation decision-making in PPP projects using fuzzy logic**, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 24(7), 509–524.
- 12- Bungale, S. Taranath, A., 2012, **Structural Analysis and Design of Tall Buildings-Steel and Composite Construction**, CRC Press, Taylor&Francis Group, New York.
- 13- Moon, K., Jerome, J. and Fernandez, J., 2007, **Diagrid structural systems for tall buildings: characteristics and methodology for preliminary design**, Structural Design Tall Special Buildings, 16, 205–230.



- 14- Roberts, T, Sabouri Ghomi, S., 1991, **Hysteretic Characteristics of Unstiffened Plate Shear Panels**, Thin-Walled Structures, 12, 145-162.
- 15- Sabouri-Ghomi, S., Ventura, C. and Kharrazi, M., 2005, **Shear Analysis and Design of Ductile Steel Plate Walls**, Journal of Structural Engineering, (ASCE), 131(6), 878-889.
- 16- Kharrazi, M., Prion, H. and Ventura, C., 2008, **Implementation of M-PFI method in design of steel plate walls**, Journal of Constructional Steel Research, 64, 465-479.