

## تأثیر توزیع بازشو بر رفتار سازه‌ای ساختمان‌های بلندمرتبه بتن‌آرمه دارای سیستم شبکه خارجی

سیما آرامش \*

مریی، دپارتمان مهندسی عمران، دانشکده فنی و حرفه‌ای پسران سمنان، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان سمنان، سمنان، ایران.

علی خیرالدین

استاد، دپارتمان مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

### چکیده

در ساختمان‌های بلندمرتبه بتنی، سیستم سازه‌ای شبکه خارجی از یک پوسته بتن‌آرمه تشکیل شده است. این پوسته دارای تعداد زیادی بازشومی باشد که چیدمان بازشوها و آرماتوربندی پیرامون آن‌ها، پوسته‌ای مقاوم در برابر بارهای ثقلی و جانبی ایجاد می‌نماید. در این مقاله به مطالعه تأثیر چگونگی توزیع بازشو در شبکه خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه بتن‌آرمه پرداخته می‌شود. برای این منظور سازه‌های بلندمرتبه بتن‌آرمه ۲۰، ۳۰ و ۴۰ طبقه با شبکه خارجی و در سه حالت مختلف قرارگیری بازشو در نظر گرفته می‌شوند. در مدل ۱ (مدل مبنا)، بازشوها به صورت منظم در شبکه خارجی ساختمان توزیع می‌شوند؛ اما در مدل ۲، بازشوها در قسمت‌های میانی وجوه شبکه و در مدل ۳، بازشوها در گوشه‌های پوسته متمرکز می‌شوند. پارامترهای انتخابی جهت تخمین محل بهینه بازشو در شبکه خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه بتن‌آرمه عبارتند از تغییر مکان جانبی طبقه و شاخص دریفت هر طبقه. همچنین به منظور تعیین محل بهینه قطع هسته مرکزی، درصد جذب برش و ممان ناشی از نیروی زلزله بین هسته مرکزی و شبکه خارجی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد که در ساختمان‌های با نسبت وجوه پایین، بهترین حالت قرارگیری بازشو، توزیع منظم بازشوها در شبکه خارجی بوده، اما در ساختمان‌های با نسبت وجوه بالاتر، بهترین محل قرارگیری بازشو، در قسمت‌های میانی شبکه خارجی است.

واژه‌های کلیدی: ساختمان بلندمرتبه، بتن‌آرمه، بازشو، شبکه خارجی، شاخص دریفت.

\* نویسنده مسئول: saramesh@tvu.ac.ir

## ۱- مقدمه

چشم اندازه‌های مناسب، نمایش و در معرض گذاشتن نور خورشید، نورافکنی و درخشش ساختمان تلفیق می‌گردند. همچنین فاصله‌ای که ما بین چهاردیواری اصلی ساختمان و پوسته خارجی آن قرار دارد؛ ساختاری مشابه یک دودکش ایجاد می‌نماید که به موجب آن هوای گرم ساختمان به سمت بالا می‌رود و به‌طور مؤثری سطح شیشه‌ای پنجره‌های پشت پوسته سوراخ‌دار را سرد می‌سازد. به چنین پدیده‌ای به اصطلاح اثر دودکش می‌گویند که یک تکنیک و شگرد خورشیدی غیرفعال و یک جزء طبیعی از سیستم خنک‌کننده برای برج‌های بلند با این سیستم است که انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد و در ذخیره‌سازی انرژی اثر دارد؛ همچنین یکی از جنبه‌های نوآوری در طراحی ساختمان‌های بلند به‌شمار می‌آید.

این سیستم نخستین سیستم مقاوم جانبی و قائم است که اجازه داده دال‌ها بدون ستون در فاصله بین هسته و سیستم خارجی اجرا شوند. به‌کارگیری این سیستم سازه‌ای در ساختمان‌ها، از نظر معماری اثر مطلوبی داشته و باعث انعطاف‌پذیری طبقات می‌شود. در این سیستم نوین با حذف ستون‌ها، معماری بسیار مناسبی برای فضای داخلی ساختمان ایجاد شده است. این امر یک مزیت اصلی برای سیستم شبکه خارجی است که با حذف المان‌های سازه‌ای از درون ساختمان، فضای مناسبی را در اختیار مهندسین معمار قرار می‌دهد. همچنین با قراردادن المان‌های اصلی مقاوم جانبی در پیرامون ساختمان، هسته که به‌طور معمول برای تحمل بارهای جانبی دارای ابعاد بزرگ است؛ کوچک‌تر شده و تا حدودی از تحمل بارهای جانبی رها می‌گردد و می‌تواند در تحمل بارهای قائم و انتقال آن‌ها به پایه ساختمان به‌کار رود [10].

Kheyroddin و Mashhadiali [16] در سال ۲۰۱۳ سیستم سازه‌ای hexagrid را جهت بهبودبخشی کارایی سازه‌های لوله‌ای بلندمرتبه پیشنهاد نمودند. در این تحقیق مجموعه‌ای از سازه‌ها با استفاده از سیستم diagrid با چهار زاویه قطری مختلف و سیستم hexagrid براساس رویکرد مبتنی بر مقاومت و سختی برای چهار ساختمان ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ طبقه در برابر باد طراحی شدند. Zhao و Zhang [17] در سال ۲۰۱۴ چیدمان قطری سازه‌های لوله‌ای diagrid را به‌منظور طراحی مقدماتی معرفی کردند. این محققین

یکی از رویکردهای قابل ملاحظه ساخت سازه‌های بلند در دهه‌های اخیر، بر اساس روابط اقتصادی و با در نظر گرفتن پارامترهای زیبایی شناختی، شکل گرفته است. در جهت دستیابی به این هدف، پیشرفت چشمگیری در پیدایش سیستم سازه‌ای جدیدی بنام شبکه خارجی رخ داد. پیش از این سیستم، سیستم‌های متداول برابر جانبی همچون قاب خمشی، قاب مهاربندی شده، سیستم لوله قابی، لوله مهاربندی شده، لوله در لوله، لوله دسته‌بندی شده و سیستم شبکه قطری مورد استفاده بوده‌اند. در میان سیستم‌های ذکر شده، [9-1] سیستم شبکه قطری به دلیل استفاده از اعضای مورب قطری؛ مقاومت برشی قابل ملاحظه‌ای را نسبت به سیستم با اعضای متعامد ایجاد می‌کند. همچنین قرارگیری این اعضا در محیط پیرامونی ساختمان در تشابه با رفتار سیستم‌های لوله‌ای، کارایی سازه‌ای این سیستم را به ماکزیمم مقدار خود رسانده است [10-15].

سیستم سازه‌ای شبکه خارجی ترکیبی از هسته مرکزی بتن‌آرمه در اطراف اتاق پله و آسانسور و سیستم شبکه خارجی اصلی می‌باشد. نیروهای جانبی در این سیستم با اندرکنش میان هسته مرکزی و شبکه خارجی تحمل می‌گردد. در سازه‌های بتنی، شبکه خارجی از یک پوسته بتن‌آرمه تشکیل شده است. این پوسته همانند دیواربرشی بتنی می‌باشد که دارای تعداد زیادی بازشو است. چیدمان بازشوها و نحوه قرارگیری آرماتورها در اطراف بازشوها به‌گونه‌ای است که یک شبکه قطری و مهاربندی مقاوم در برابر بارهای ثقلی و جانبی ایجاد می‌نماید. در این سیستم پوسته یک المان سازه‌ای اصلی است. اندازه‌ها و محل‌های بازشوها به دقت تناسب‌بندی می‌شود تا دیوار مؤثری برای انتقال بارهای ثقلی و جانبی به پایه ساختمان فراهم آورد. این نوع سیستم سازه‌ای بنام شبکه خارجی سوراخ‌دار معروف می‌باشد. این سیستم دارای حداقل المان سازه‌ای است که در آن به میزان مورد نیاز از مصالح استفاده شده است و مصالح تا جایی که امکان‌پذیر باشد؛ حذف شده‌اند. این امر از نظر اقتصادی تأثیر به‌سزایی در ساخت سازه‌های بلندمرتبه با این سیستم سازه‌ای خواهد داشت.

به‌طور کلی بازشوها در پوسته بر اساس نیازهای سازه‌ای، ایجاد

<sup>1</sup> Perforated Exoskeleton System

diagrid تحت بارهای پیچشی و جانبی مورد بررسی قرار دادند و برای تحلیل سازه‌ای ساختمان‌های پیشنهادی از یک روش matrix-based method (MBM) جهت به حداقل رساندن جابجایی‌های جانبی و دوران‌های پیچشی استفاده نمودند. Ardekani و همکاران [26] در سال ۲۰۲۰ به ارزیابی عملکرد سازه‌ای ساختمان‌های بلند diagrid با رویکرد طراحی پارامتری مانند تغییر در شکل پلان و tapering پرداختند. نتایج نشان داد که tapering در ارتفاع اثر بیشتری بر پارامترهای عملکردی سازه‌ای در مقایسه با تغییر در شکل پلان دارد.

همان‌گونه که از مطالعات پیشین ملاحظه می‌شود، سیستم شبکه خارجی بتنی سیستمی نوین برای ساختمان‌های بلند است و تاکنون مطالعات زیادی بر روی آن انجام نشده است و با توجه به آن که رفتار این سیستم سازه‌ای تا حد زیادی مشابه با رفتار سازه‌های hexagrid است، از این رو تحقیقات انجام شده بر روی این نوع سازه‌های بلندمرتبه مطرح گردید. ساختمان‌های بلندمرتبه بتنی با شبکه‌های خارجی با توجه به مزایای چندگانه به لحاظ معماری، سازه‌ای و انرژی می‌توانند جای‌گزین مناسبی به جای سازه‌های diagrid و hexagrid باشند. در سیستم‌های شبکه خارجی، نحوه قرارگیری و چیدمان بازشوها در پوسته بتن‌آرمه بر عملکرد سازه‌ای شبکه خارجی تأثیرگذار است. در نتیجه، جهت دستیابی به عملکرد سازه‌ای مطلوب این نوع از ساختمان‌های بلندمرتبه، لازم است اثر توزیع بازشوها در شبکه خارجی بر رفتار سازه‌ای ساختمان‌های بلند بتن‌آرمه مورد ارزیابی قرار گیرد که تاکنون مطالعاتی در این زمینه صورت نگرفته است. لذا در این مقاله به مطالعه تأثیر چگونگی توزیع بازشو در شبکه خارجی بر رفتار سازه‌ای ساختمان‌های بلندمرتبه بتن‌آرمه پرداخته می‌شود. برای این منظور سازه‌های بتن‌آرمه ۲۰، ۳۰ و ۴۰ طبقه با شبکه خارجی بتن‌آرمه و در سه حالت مختلف قرارگیری بازشو در شبکه خارجی در نظر گرفته می‌شوند. در مدل ۱ (مدل مبنا)، بازشوها به صورت منظم در پلان ساختمان توزیع می‌شوند؛ اما در مدل ۲، بازشوها در قسمت‌های میانی و جبهه پلان و در مدل ۳، بازشوها در گوشه‌های پلان متمرکز می‌شوند. پارامترهای انتخابی جهت تخمین محل بهینه بازشو در شبکه خارجی سازه‌ها عبارتند از تغییر مکان جانبی طبقه و شاخص دریافت هر طبقه. همچنین به منظور تعیین محل بهینه قطع هسته مرکزی، درصد جذب برش و ممان ناشی از نیروی زلزله بین

به‌منظور دستیابی به هندسه بهینه بر حسب مواد مورد استفاده، مجموعه‌ای از سازه‌های لوله‌ای diagrid متشکل از اعضای قطری مستقیم و منحنی‌وار با ترکیبات گوناگونی از زوایا و نسبت‌های ابعادی ارتفاع به عرض مختلف مورد بررسی قرار دادند. Montuori و همکاران [18] در سال ۲۰۱۵ به بررسی الگوها، مدل‌سازی و طراحی سیستم‌های لوله‌ای Hexagrid-hexagonal مربوط به ساختمان‌های بلند پرداختند. Mashhadiali و همکاران [19] در سال ۲۰۱۶ یک روش پیشنهادی برای محاسبه ضریب افزایش دینامیکی مربوط به ساختمان‌های لوله‌ای بلندمرتبه با در نظر گرفتن اثرات دینامیکی مربوط به تحلیل استاتیکی غیرخطی بیان کردند. Ma و Liu [20] در سال ۲۰۱۷ یک مدل محاسباتی مربوط به سختی جانبی سازه‌های بلندمرتبه با سیستم لوله‌ای diagrid چندضلعی دلخواه بر اساس روش modular معرفی کردند. Tomei و همکاران [21] در سال ۲۰۱۸ یک روش طراحی بر اساس تکنیک‌های بهینه‌سازی اندازه برای diagridهای با قاعده، پیچیده و غیرمرسوم پیشنهاد نمودند. برای این منظور الگوهای مختلف هندسی از قبیل با قاعده، زاویه متغیر و تراکم متغیر برای سازه‌های diagrid مورد بررسی قرار گرفتند. Mashhadiali و Kheyroddin [22] در سال ۲۰۱۸ به مطالعه ضریب اصلاح پاسخ قاب‌های مهاربندی شده همگرا با یک مهاربندی جدید پرداختند. این سیستم جدید مهاربندی تحت عنوان hexa-braced frame بود که در آن مهاربندها دارای الگوی hexagonal بوده، به طوری که المان‌های سازه‌ای قائم به مهاربندی‌های V و V معکوس در طول سه طبقه متصل شده بودند. Mashhadiali و Kheyroddin [24] در ادامه مطالعه قبل به بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرا با استفاده از الگوی hexagonal جهت کاهش رفتار طبقه نرم پرداختند. Mashhadiali و Kheyroddin [25] در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی ضرایب عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی hexagrid با استفاده منحنی‌های شکنندگی خرابی به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی فزاینده تحت بارهای لرزه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی hexagonal با زاویه قطری بین ۳۰ تا ۴۰ درجه می‌تواند بالاترین میزان عملکرد سیستم‌های hexagrid را فراهم آورد. Lacidogna و همکاران [9] در سال ۲۰۲۰، تأثیر شکل هندسی پلان را بر رفتار سازه‌ای ساختمان‌های بلندمرتبه

هسته مرکزی و شبکه خارجی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



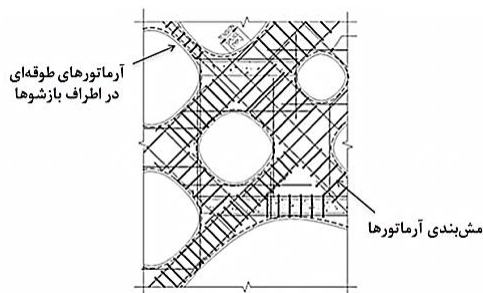
## ۲- نمونه موردی دارای شبکه خارجی بتنی

از آنجایی که هدف اصلی این مقاله بررسی توزیع بازشو در شبکه خارجی ساختمان‌های بلند بتن‌آرمه است، لذا در این مقاله از مشخصات آنالیز و طراحی برج بلند O-14 دبی به عنوان مطالعه موردی استفاده می‌شود و برای این منظور در این بخش به معرفی مشخصات و جزئیات برج بلند O-14 که دارای شبکه خارجی بتن‌آرمه است، پرداخته می‌شود.

شکل ۳- المان‌های مقاوم سازه‌ای در برج O-14 دبی [30]

مش‌بندی آرماتورها در پوسته خارجی همانند مهاربندهای قطری در سازه‌های فولادی می‌باشد که در هنگام بتن‌ریزی پوسته خارجی، به منظور سهولت در کار، بازشوهای مابین شبکه آرماتورها با پلی‌استایرن پر شوند (شکل). نیروهای جانبی در این برج با اندرکنش میان هسته مرکزی و شبکه خارجی تحمل می‌گردد. در شکل ۵ نمونه‌ای از اتصال دال داخلی به شبکه خارجی نشان داده شده است.

برج O-14 شامل ۲۲ طبقه بوده و در سال ۲۰۱۰ به بهره‌برداری رسید. این برج مطابق شکل ۱ دارای پوسته خارجی بتنی و سوراخ‌دار است که با مشخصه محافظ بودن در برابر نور خورشید و همچنین انتقال نور و هوا، چشم‌انداز زیبایی را ایجاد کرده است. ارتفاع کلی پوسته خارجی ۱۰۵/۷ متر می‌باشد و ضخامت آن از طبقه همکف تا تراز سومین طبقه ۶۰ سانتی‌متر و از تراز طبقه سوم تا طبقه بام ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. این پوسته، دارای ۱۳۲۶ بازشو بوده که با توزیعی تصادفی و در اندازه‌های مختلف در سرتاسر پوسته خارجی ساختمان قرار گرفته است. قطر بزرگ‌ترین بازشو ۸/۳۰ متر است که در امتداد ارتفاع دو طبقه گسترش یافته است و قطر کوچک‌ترین بازشو ۱/۴۰ متر می‌باشد. نسبت فضای خالی که توسط بازشوها ایجاد شده است تقریباً برابر با ۴۵ درصد کل سطح پوسته خارجی است [27-28]. همچنین به منظور کاهش نیروهای لرزه‌ای، پلان متقارن‌تر در نظر گرفته شد و به صورت یک مستطیل با گوشه‌های خم شده و اضلاع مقعر طراحی شده است (شکل ۲). سیستم سازه‌ای شبکه خارجی این برج به طور معمول ترکیبی از هسته مرکزی بتن‌آرمه (در اطراف راه‌پله‌ها و آسانسور) و سیستم شبکه خارجی اصلی می‌باشد (شکل ۳).



(الف)



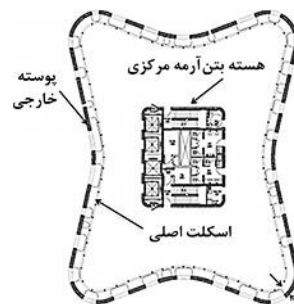
(ب)

شکل ۴- پوسته خارجی برج O-14 دبی، الف) مش‌بندی آرماتورها، ب) پر کردن بازشوها با پلی‌استایرن [30]

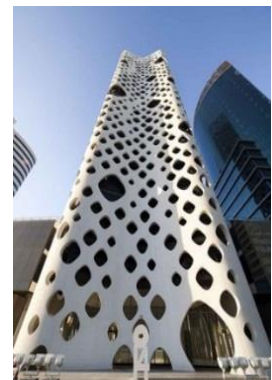
## ۳- مشخصات کلی مدل‌ها

### ۳-۱- مشخصات هندسی مدل‌ها

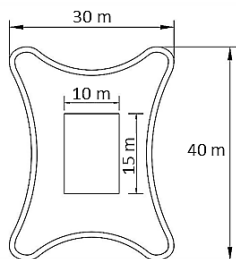
در سیستم شبکه خارجی، محل قرارگیری بازشوها در پوسته خارجی، نقش کلیدی در رفتار سازه‌ای آن دارد. بنابراین در این



فاصله یک متری مابین شبکه خارجی و اسکلت اصلی ساختمان

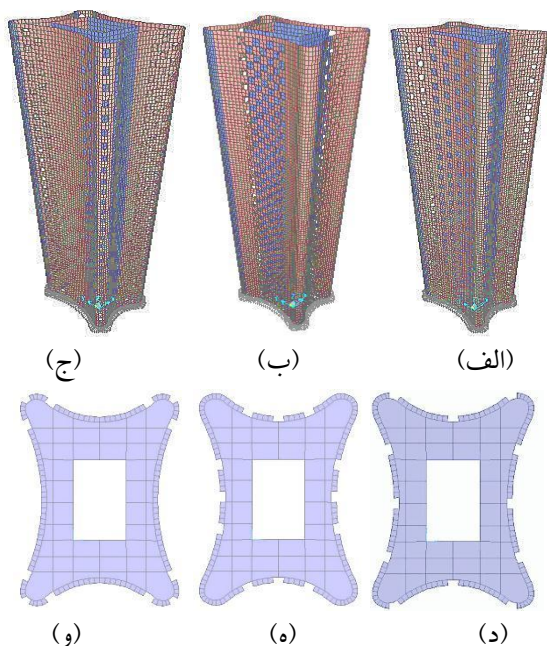


شکل ۱- نمای برج O-14 دبی [27] شکل ۱- پلان برج O-14 [27]



شکل ۶- پلان سازه‌های مورد مطالعه مشابه با برج O-14

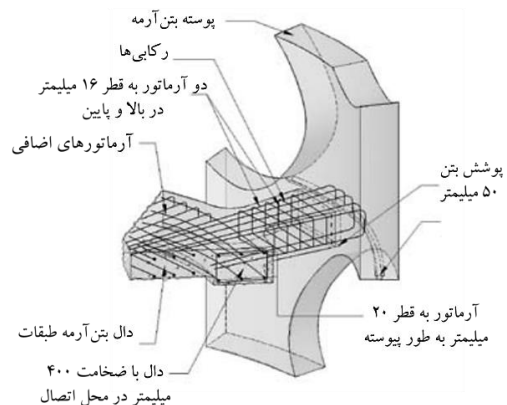
در شکل ۷ نمای سه بعدی ساختمان‌های مورد مطالعه به همراه پلان آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۷- سازه‌های ۳۰ طبقه در SAP2000، الف) نمای سه بعدی مدل ۱ (مدل مینا): توزیع منظم باز شو در محیط پیرامونی شبکه خارجی، ب) نمای سه بعدی مدل ۲: تمرکز باز شو در قسمت‌های میانی وجوه پلان، ج) نمای سه بعدی مدل ۳: تمرکز باز شو در گوشه‌های پلان، د) پلان مدل ۱ (مدل مینا)، ه) پلان مدل ۲، و) پلان مدل ۳

نکته قابل توجه در پلان‌های شکل ۷ وجود فضاهای خالی در اطراف پلان است که متعلق به محل قرارگیری باز شوها می‌باشد. مطابق آنچه پیش‌تر ذکر شد، اتصال سیستم شبکه خارجی به اسکلت اصلی ساختمان و دال طبقات در نقاط توپر پوسته برقرار می‌گردد. بدین منظور در نقاطی که باز شو در تراز طبقه قرار دارد؛ دال طبقه مورد نظر دارای یک عقب‌نشینی مطابق شکل ۷ می‌باشد.

مطالعه برای ارزیابی رفتار سیستم مقاوم سازه‌ای شبکه خارجی، دسته‌ای از ساختمان‌های بلند با نسبت وجوه مختلف با توزیع متفاوت باز شو برگزیده شده‌اند. جهت بررسی اثرات ارتفاع و به منظور پوشش طیف وسیع‌تری از سازه‌ها با نسبت ابعادی مختلف (نسبت ارتفاع سازه به عرض پلان)، مدل‌های انتخابی شامل سازه‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ طبقه می‌باشند که ارتفاع هر طبقه ۴ متر در نظر گرفته شده است. در مجموع نسبت ارتفاع به بعد سازه‌ها (H/B) در جدول ۱ خلاصه شده است. پلان در نظر گرفته شده به ابعاد 30 m × 40 m (مشابه با پلان برج O-14) می‌باشد که در شکل ۶ به نمایش درآمده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، در قسمت میانی پلان، یک هسته مرکزی مستطیل شکل به ابعاد 10 m × 15 m منظور شده است.



شکل ۵- اتصال دال بتن آرمه طبقات به دیوار خارجی [30]

در فرضیات مدل‌سازی سازه‌ها سعی شده است تا از مقاطع به کار رفته، محدودیت‌های اجرایی، عرض دهانه‌ها، مقاومت مصالح به کار رفته و سایر مشخصات مطابق با نمونه موجود یعنی ساختمان O-14 به عنوان سمبلی از این سیستم سازه‌ای استفاده گردد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، برای بررسی لاغری نسبت وجوه ساختمان‌های اشاره شده بین ۲/۶۷ تا ۵/۳۳ در نظر گرفته شده است.

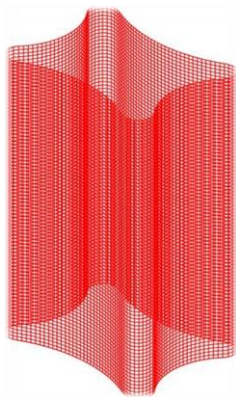
جدول ۱- نسبت ارتفاع به بعد سازه‌های بررسی شده

مشخصات سازه‌ها	ارتفاع (متر)	نسبت ارتفاع به بعد پلان (H/B)
سازه ۲۰ طبقه	۸۰	۲/۶۷
سازه ۳۰ طبقه	۱۲۰	۴
سازه ۴۰ طبقه	۱۶۰	۵/۳۳

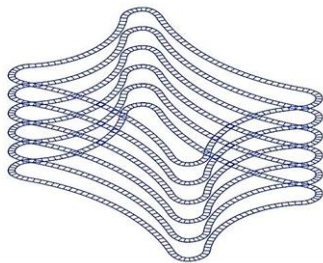
<sup>1</sup> Aspect Ratio

گسترش می‌یابد؛ برقرار می‌شود. این اتصال باید در قسمت‌های بدون سوراخ پوسته برقرار گردد. در نتیجه به منظور تأمین اتصال مناسب، دال‌ها در تراز هر طبقه تا محل توپر پوسته خارجی، گسترش می‌یابند. مش‌بندی این فاصله باید با مش‌بندی پوسته منطبق باشد. در نتیجه مش‌بندی آن مطابق با مش‌بندی پوسته خارجی، در Auto CAD 3D انجام شده است.

۴. در نهایت مدل نهایی به نرم‌افزار SAP2000 انتقال یافت. بازوها در محل‌های مناسب ترسیم شده و پس از آن ترسیم دیوارهای برشی و دال‌ها انجام گردید.



شکل ۸- مدل‌سازی و مش‌بندی پوسته خارجی در Auto CAD 3D



شکل ۹- مدل‌سازی و مش‌بندی فاصله بین دال طبقات و پوسته

خارجی در Auto CAD 3D

### ۳-۳- مشخصات تحلیل و نوع بارگذاری

با توجه به قابلیت‌های گسترده نرم‌افزار SAP 2000 در آنالیزهای خطی، از این نرم‌افزار در آنالیز و طراحی سازه‌ها استفاده شده است [۲۹]. آیین‌نامه مورد استفاده جهت بارگذاری ثقلی، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران (دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲) می‌باشد [۳۰]. بارهای زنده وارد بر سازه در طبقات  $500 \text{ Kg/m}^2$  می‌باشد. بارمرده غیرسازه‌ای وارد بر کف در طبقات به میزان  $600 \text{ Kg/m}^2$  می‌باشد.

از طرفی همان‌طور که مشخص است در پلان شکل ۷-ه عقب نشینی‌ها در میانه پلان و در پلان شکل ۷-و عقب‌نشینی‌ها در گوشه‌های پلان قرار دارد که نشان‌دهنده توزیع متفاوت بازو در سازه‌های مورد مطالعه است. سایر پارامترهای مؤثر همانند فاصله بین دال طبقات و پوسته خارجی در هر سه مدل ثابت نظر گرفته شده است.

نسبت بازوهای موجود در پوسته خارجی این مدل‌ها تقریباً ۳۰٪: سطح کل پوسته خارجی در نظر گرفته شده است. قطر تمامی بازوها ثابت و برابر با ۳ متر می‌باشد. چیدمان بازوها به گونه‌ای منظور شده است که در تراز طبقات نیز بازو قرار دارد. فاصله بین دال طبقات و پوسته خارجی در تمامی مدل‌ها ثابت و برابر با ۱ متر در نظر گرفته شده است. همچنین در تمامی مدل‌ها با توجه به آن که قصد مقایسه سازه‌ها با یکدیگر را داریم، سعی شده است، سطح جانبی و محیط پیرامونی تمامی پلان‌ها دارای اندازه یکسانی باشد. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به آن که هدف تعیین حالت بهینه بازو می‌باشد، لذا ضخامت پوسته خارجی و دیوار برشی در ساختمان‌ها با ارتفاع مشابه، یکسان در نظر گرفته شده‌اند.

### ۳-۲- تکنیک‌های مدل‌سازی

مدل‌سازی پوسته خارجی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در این گونه ساختمان‌ها می‌باشد. این فرایند با استفاده از نرم‌افزار Auto CAD 3D آغاز شده و سپس مدل ساخته شده برای اعمال بارهای جانبی و ثقلی و همچنین آنالیز و طراحی، به نرم‌افزار SAP2000 انتقال می‌یابد.

روند مدل‌سازی به شرح زیر می‌باشد:

۱. ترسیم پلان ساختمان با ابعاد نشان داده شده در شکل ۶

با استفاده از نرم‌افزار Auto CAD 3D.

۲. ترسیم پوسته خارجی و مش‌بندی آن (شکل ۸). با توجه

به این که پوسته خارجی در ساختمان‌های مورد مطالعه به صورت منحنی می‌باشد و پیچیدگی‌های خود را دارد، مش‌بندی در Auto CAD 3D انجام شده است.

۳. مدل‌سازی فاصله بین پوسته خارجی و اسکلت اصلی

ساختمان که در شکل ۹ برای ۵ طبقه اول نشان داده شده است. اتصال بین پوسته خارجی و اسکلت داخلی ساختمان توسط زبانه‌ای که در فاصله بین این دو



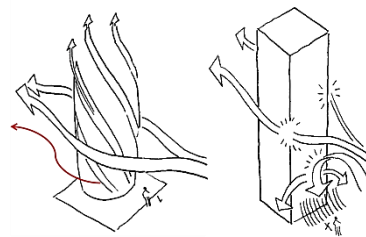
IBCS, 2006 می‌باشد. باتوجه به آن که در سازه‌های بلند اثر مدهای بالا در رفتار سازه تأثیر به‌سزایی دارد، تعداد مدهای نوسان در تمامی سازه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شده است که نزدیک به ۹۰ درصد جرم کل سازه به‌عنوان جرم مؤثر در محاسبه نیروهای زلزله وارد شود. بر این اساس تعداد مدهای نوسان برای سازه ۲۰ طبقه ۳۵ مد، برای سازه ۳۰ طبقه ۴۵ مد و برای سازه ۴۰ طبقه ۶۰ مد در نظر گرفته می‌شود. همچنین در ترکیب آثار مدها از روش جذر مجموع مربعات (SRSS) استفاده شده است. لازم به ذکر است که در روش پاسخ طیفی، با در نظر گرفتن زمان تناوب مدهای مختلف نوسان ساختمان و با استفاده از طیف پاسخ طرح، بیشینه اثر هر مد تعیین و سپس این بیشینه اثرها با هم ترکیب می‌گردند تا پاسخ‌های مورد نظر در ساختمان بدست آورده شود.

مقاومت فشاری بتن  $700 \text{ Kg/cm}^2$  ( $70 \text{ Mpa}$ ) برای پوسته خارجی و  $300 \text{ Kg/cm}^2$  ( $30 \text{ Mpa}$ ) برای دیوارهای برشی و دال‌ها در نظر گرفته شده است. تنش تسلیم فولاد برای آرماتورها  $350 \text{ Mpa}$  ( $3500 \text{ Kg/cm}^2$ ) و مقاومت نهایی (فولاد) آرماتورها  $450 \text{ Mpa}$  ( $4500 \text{ Kg/cm}^2$ ) می‌باشد. همچنین اثرات ترک خوردگی ناشی از تنش‌های کششی در اعضای بتنی با کاهش ممان اینرسی مقطع در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه ضریب ترک خوردگی برای دیوارهای برشی و پوسته خارجی  $0.7$  فرض شده است. به بیانی دیگر ممان اینرسی دیوارهای برشی و پوسته خارجی  $0.7$  ممان اینرسی مقطع ترک نخورده منظور می‌گردد.

### ۳-۴- مشخصات طراحی

در طراحی سازه ابتدا مقاطع مناسب تعیین شده‌اند، سپس با استفاده از ضوابط کنترل تغییر مکان استاندارد ۲۸۰۰ کفایت سختی سازه ارزیابی شده است [۳۳]. در صورت عدم ارضای این ضوابط ابعاد مقاطع افزایش داده می‌شود. مقاطع انتخاب شده برای پوسته خارجی و دیوارهای برشی هسته مرکزی از نوع Shell-Thick می‌باشد. پس از آنالیز و کنترل ضوابط موجود ضخامت دیوارهای برشی ۴۰ سانتی‌متر در طبقات تحتانی به‌دست آمد که به ۲۵ سانتی‌متر در طبقات آخر کاهش می‌یابد. همچنین ضخامت پوسته خارجی ۶۰ سانتی‌متر در طبقات تحتانی بوده که به ۳۰ سانتی‌متر در طبقات آخر کاهش می‌یابد. این ضخامت‌ها با توجه به تعداد طبقات

بارهای لرزه‌ای با استفاده از آیین‌نامه IBC, 2006 محاسبه شده است [۳۱]. در این مطالعه صرفاً به بررسی اثر نیروی جانبی زلزله بر این سازه‌ها پرداخته می‌شود و اثر بارگذاری باد در رفتار سازه‌ها لحاظ نمی‌شود (اگرچه در سازه‌های بلند برش پایه ناشی از باد به مراتب بزرگ‌تر از برش پایه ناشی از نیروی زلزله می‌باشد). با وجود این فرم در نظر گرفته شده برای این برج از نظر سازه‌ای به‌ویژه در کاهش نیروهای جانبی باد بسیار مؤثر بوده است. در ساختمان‌های منشوری با سطح مقطع مستطیل شکل، نیروهای باد به‌طور مستقیم بر روی ساختمان اثر کرده و امکان تخلیه آن وجود ندارد اما استفاده از پلان‌های منحنی شکل مطابق با پلان سازه‌های مورد مطالعه سبب می‌گردد؛ نیروی باد از اطراف ساختمان به راحتی عبور کند (شکل ۱۰). از طرفی می‌توان گفت ایجاد باز شو در ساختمان‌ها، راهکاری مناسب در کاهش نیروهای باد می‌باشد [۳۲].



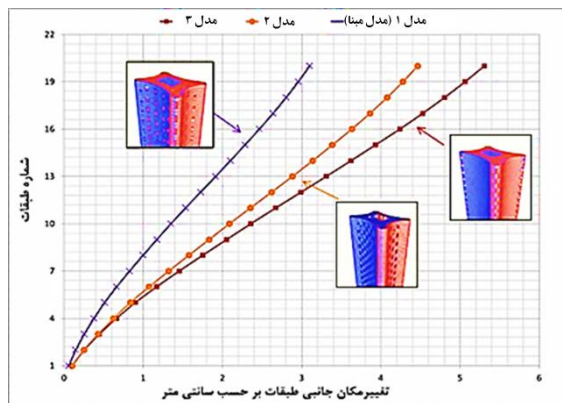
شکل ۱۰- اثرات نیروی باد بر ساختمان‌ها با پلان مستطیلی و

منحنی [32]

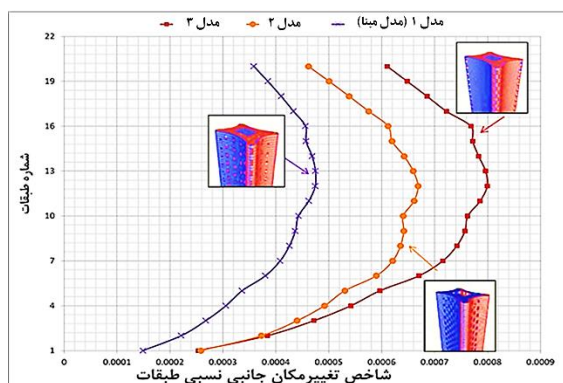
ضریب اهمیت برابر با  $I=1$  می‌باشد. سازه در منطقه با نوع خاک (C) واقع شده است و ضرایب خاک منطقه  $Fa$  و  $Fv$  به ترتیب برابر با  $1/2$  و  $1/7$  می‌باشند. برای محاسبه بارهای لرزه‌ای استاتیکی، ضریب رفتار  $R=4/5$  انتخاب شده است؛ زیرا برای سیستم شبکه خارجی، ضریب رفتاری در آیین‌نامه IBC, 2006 مطرح نشده است و شکل‌پذیری سیستم شبکه خارجی واضح نیست. در نتیجه  $R=4/5$  یعنی برابر با ضریب رفتار سیستم دوگانه قاب خمشی بتن آرمه معمولی و دیوارهای برشی معمولی فرض شده است. این ضریب رفتار سبب می‌شود سازه تحت بارهای زلزله ایمن بماند. همچنین در این سازه ضریب اضافه مقاومت و ضریب افزایش تغییر مکان به ترتیب برابر با  $\Omega_0 = 2.5$  و  $C_d = 4$  منظور شده‌اند. در این مطالعه علاوه بر آنالیز استاتیکی، از آنالیز دینامیکی طیفی نیز استفاده شده است. طیف زلزله مورد استفاده طیف آیین‌نامه

<sup>1</sup> The International Building Code 2006

مورد مطالعه ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد مدل ۱ (مدل مبنا) بهترین وضعیت را داشته و حالت بهینه از دیدگاه شاخص تغییر مکان جانبی نسبی می‌باشد. از طرفی حداکثر شاخص تغییر مکان جانبی نسبی مدل‌های ۲ و ۳ به ترتیب ۱/۳ و ۱/۷ برابر مدل ۱ (مدل مبنا) می‌باشد. لازم به ذکر است که اعداد حاصل از آنالیز سازه‌ها نشان می‌دهد که سختی جانبی مدل مبنا نسبت به مدل ۲ و ۳ بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۱- تغییر مکان جانبی طبقات سازه‌های ۲۰ طبقه



شکل ۱۲- شاخص تغییر مکان جانبی نسبی سازه‌های ۲۰ طبقه

#### ۴-۲- سازه‌های ۳۰ طبقه

نمودار تغییر مکان جانبی ساختمان‌های ۳۰ طبقه براساس تغییر مکان جانبی سازه‌ها در جهت X در شکل ۱۳ ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد؛ برای سازه‌های ۳۰ طبقه ماکزیمم تغییر مکان جانبی مدل ۱ (مدل مبنا با توزیع منظم بازشو) برابر با ۶/۹۱ سانتی‌متر می‌باشد. ماکزیمم تغییر مکان جانبی مدل‌های ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۹/۳۲ و ۱۰/۹۷ سانتی‌متر است. در نتیجه برای سازه‌های ۳۰ طبقه، توزیع منظم بازشو در شبکه خارجی کمترین تغییر مکان جانبی را دارد و در سایر مدل‌ها تغییر مکان جانبی طبقات

ساختمان‌ها، در نظر گرفته شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده و استفاده از سیستم شبکه خارجی در برج بلند O-14 دبی، در ادامه به بررسی تأثیر توزیع بازشوها در شبکه خارجی بر رفتار سازه‌ای ساختمان‌های بلندمرتبه بتنی مشابه با این ساختمان پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- مقایسه تغییر مکان جانبی طبقات

هنگامی که نسبت وجوه یک سازه بلند افزایش می‌یابد، پارامتر حاکم بر طراحی، کنترل ماکزیمم تغییر مکان جانبی سازه است. در واقع هنگامی که لاغری سازه افزایش می‌یابد، ساختمان دارای خمشی می‌شود. در این بخش به منظور بررسی تغییر مکان جانبی سازه‌ها با سیستم شبکه خارجی بتنی، در سه حالت مختلف قرارگیری بازشو در شبکه خارجی، نتایج آنالیز سازه‌ها مقایسه شده‌اند.

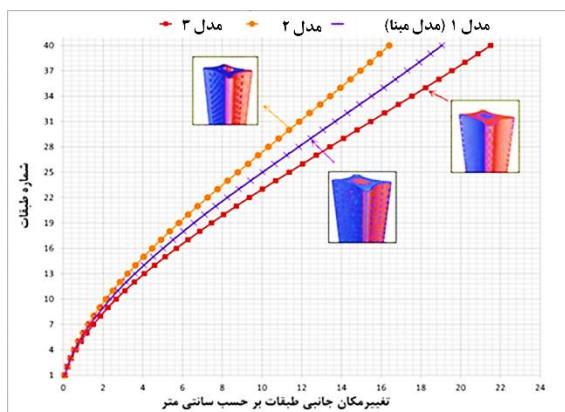
#### ۴-۱-۱- سازه‌های ۲۰ طبقه

ترسیمی از توزیع تغییر مکان جانبی ساختمان‌های ۲۰ طبقه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. این نمودارها براساس تغییر مکان جانبی سازه‌ها در جهت X ترسیم شده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده، تأثیر تغییر روند توزیع بازشو در شبکه خارجی، در تغییر مکان سازه‌ها کاملاً مشهود است.

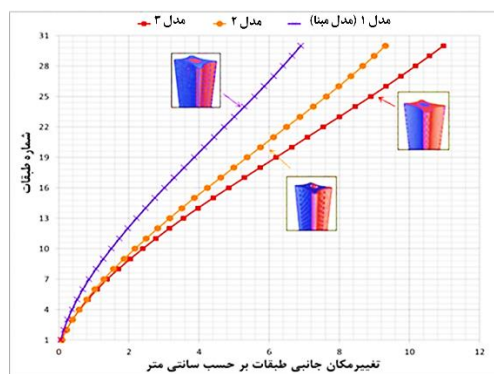
برای سازه‌های ۲۰ طبقه ماکزیمم تغییر مکان جانبی مدل ۱ (مدل مبنا با توزیع منظم بازشو) برابر با ۳/۰۱ سانتی‌متر می‌باشد. ماکزیمم تغییر مکان جانبی مدل‌های ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۴/۴۶ و ۵/۳۱ سانتی‌متر است. همان‌طور که مشخص است، برای سازه‌های ۲۰ طبقه، توزیع منظم بازشو در شبکه خارجی کمترین تغییر مکان جانبی را داشته است و در سایر مدل‌ها تغییر مکان جانبی طبقات نسبت به مدل مبنا افزایش یافته است. در نتیجه از نظر تغییر مکان جانبی می‌توان گفت، توزیع بازشوها به صورت منظم در پلان یک سازه ۲۰ طبقه، مناسب‌تر بوده و حالت بهینه (حالتی که کمترین میزان تغییر مکان جانبی را دارد) می‌باشد. همچنین درصد افزایش تغییر مکان در دو حالت قراردعی بازشو در میانه و در گوشه نسبت به مدل ۱ (مدل مبنا)، در بام سازه‌ها به ترتیب ۴۴٪ و ۷۱/۱۴٪ و برای طبقه اول به ترتیب برابر با ۷۳٪ و ۶۹٪ می‌باشد. همچنین در شکل ۱۲ نمودار شاخص تغییر مکان جانبی نسبی (دریافت) برای سازه‌های



تغییر نحوه توزیع بازشو در شبکه خارجی سازه‌ها در کاهش تغییرمکان کاملاً مشهود است. بر خلاف سازه‌های ۳۰ طبقه، در سازه‌های ۴۰ طبقه، مدل ۲ (تمرکز بازشو در میانه پلان) کمترین میزان تغییرمکان جانبی را دارد. این امر نشان می‌دهد که در سازه‌ها با نسبت وجوه بالاتر، محل بهینه برای قراردعی بازشو در شبکه خارجی، میانه‌های وجوه پلان است. این امر می‌تواند تغییرمکان جانبی حداکثر را به میزان ۱۴٪ نسبت به مدل ۱ (مدل مبنا با توزیع منظم بازشو) کاهش دهد. در طبقات پایین، این درصد به طور کلی کاهش می‌یابد و برای طبقه اول برابر با ۲/۵٪ می‌باشد. برای سازه مدل ۳ (تمرکز بازشو در گوشه‌های پلان)، حداکثر تغییرمکان جانبی ۱۳٪ نسبت به مدل ۱ (مدل مبنا با توزیع منظم بازشو) افزایش یافته است. این درصد در طبقات پایین، به طور کلی کاهش می‌یابد و برای طبقه اول برابر با ۱/۳٪ می‌باشد. در نتیجه در سازه‌های ۴۰ طبقه مدل ۳، بحرانی‌ترین وضعیت را داشته و مدل ۲ حالت بهینه (حالتی که کمترین میزان تغییرمکان جانبی را دارد) می‌باشد.

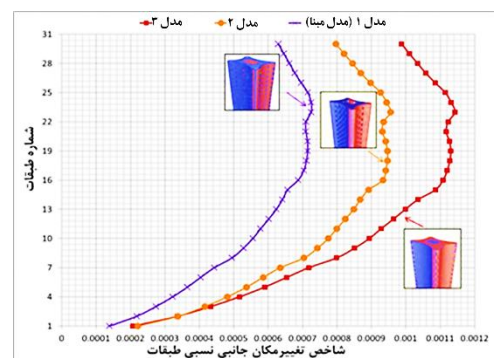
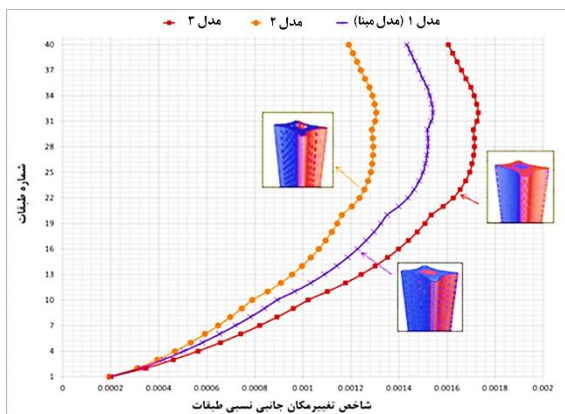


نسبت به مدل مبنا افزایش یافته است. از نظر تغییرمکان جانبی می‌توان گفت، توزیع بازشوها به صورت منظم در پلان یک سازه ۳۰ طبقه، مناسب‌تر بوده و حالت بهینه (حالتی که کمترین میزان تغییرمکان جانبی را دارد) می‌باشد. درصد افزایش تغییرمکان در دو حالت قراردعی بازشو در میانه و در گوشه نسبت به مدل ۱ (مدل مبنا)، در بام سازه‌ها به ترتیب ۵۹٪ و ۳۵٪ و برای طبقه اول به ترتیب برابر با ۴۸٪ و ۵۹٪ می‌باشد. بر اساس نمودار شاخص تغییرمکان جانبی نسبی در شکل ۱۴؛ مدل ۱ (مدل مبنا) بهترین وضعیت را داشته و حالت بهینه از دیدگاه شاخص تغییرمکان جانبی نسبی می‌باشد. از طرفی حداکثر شاخص تغییرمکان جانبی نسبی مدل‌های ۲ و ۳ به ترتیب ۱/۲ و ۱/۵ برابر مدل ۱ (مدل مبنا) می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که سختی جانبی مدل مبنا نسبت به مدل ۲ و ۳ بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۳- تغییرمکان جانبی طبقات سازه‌های ۳۰ طبقه

شکل ۱۵- نمودار تغییرمکان جانبی طبقات سازه‌های ۴۰ طبقه



شکل ۱۴- شاخص تغییرمکان جانبی نسبی سازه‌های ۳۰ طبقه

### ۴-۳- سازه‌های ۴۰ طبقه

شکل ۱۶- نمودار شاخص تغییرمکان جانبی نسبی سازه‌های ۴۰ طبقه

در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ به ترتیب نمودارهای تغییرمکان جانبی-طبقه و شاخص تغییرمکان جانبی نسبی-طبقه در جهت X برای سازه‌های ۴۰ طبقه ترسیم شده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده، تأثیر

نمودارهای درصد جذب برش بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی بتن آرمه برای ساختمان‌های مورد نظر ترسیم شده است. منظور از درصد برش جذب شده، نسبت مقدار برشی است که توسط شبکه خارجی یا هسته داخلی در هر طبقه تحمل می‌شود به کل برش وارده در هر طبقه. به دست آوردن مقدار جذب برش هسته مرکزی و پوسته خارجی از آن جهت حائز اهمیت است که بررسی آن باعث درک بهتر مکانیزم جذب نیروی جانبی توسط سیستم مقاوم سازه‌ای می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان دریافت که کدام بخش سیستم مقاوم سازه‌ای، در جذب نیروی جانبی تأثیر بیشتری دارند. از طرفی هنگام تأثیر نیروی زلزله، هسته مرکزی یا به عبارتی لوله داخلی، در طبقات بالای ساختمان دارای برش و ممان منفی می‌شود. به نحوی که پوسته خارجی در این قسمت متحمل برش و ممانی بیش از برش و ممان اعمال شده توسط نیروی جانبی می‌شود. بنابراین جهت دستیابی به طرحی بهینه و اقتصادی باید لوله داخلی (هسته مرکزی) را در نقطه معینی از ارتفاع سازه قطع نمود. این نقطه جایی است که دیگر هسته مرکزی دارای برش و ممان منفی نمی‌باشد و تولید برش و ممان اضافی در پوسته خارجی ننماید. تعیین ارتفاع بهینه قطع دیوارهای برشی در حالت بارگذاری استاتیکی معادل، هدف این بخش است.

#### ۵-۱- سازه‌های ۲۰ طبقه

نمودارهای درصد جذب برش ناشی از نیروی زلزله در جهت X بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی برای سازه‌های ۲۰ طبقه در شکل ۱۷ ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جذب برش توسط دیوارهای برشی هسته مرکزی در سازه ۲۰ طبقه در دو طبقه آخر منفی می‌باشد. این مقدار در طبقه بیستم برای مدل ۱ (مدل مبنا)، مدل ۲ (تمرکز بازشو در میانه) و مدل ۳ (تمرکز بازشو در گوشه) به ترتیب برابر با ۲۵۴- درصد، ۳۱۴- درصد و ۳۰۹- درصد است. اعداد فوق معیار مناسبی برای قطع دیوارهای برشی هسته داخلی می‌باشد و نشان می‌دهند که در طبقات آخر نه تنها هسته مرکزی نیروی زلزله را جذب نمی‌کند بلکه تولید نیرویی در جهت نیروی زلزله می‌نماید. به همین علت شبکه خارجی در طبقه بیستم در مدل‌های ۱ تا ۳ به ترتیب ۳۵۴ درصد، ۴۱۴ درصد و ۴۰۹ درصد نیروی زلزله را جذب می‌نماید که چندان مناسب نیست.

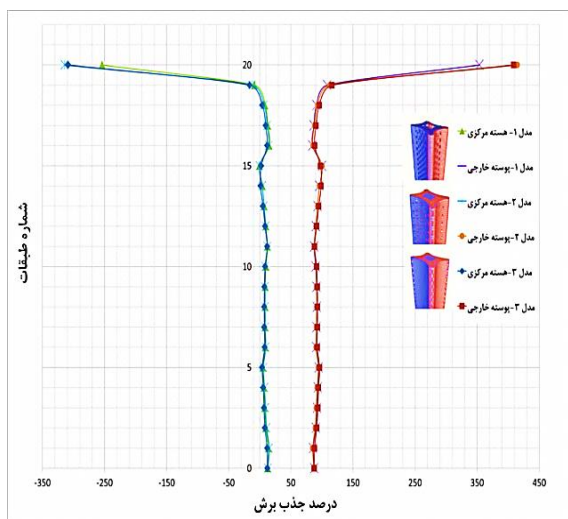
از نظر شاخص تغییرمکان جانبی طبقات نیز مدل ۳ (تمرکز بازشو در گوشه‌های پلان) بحرانی‌ترین وضعیت را داشته و حالت بهینه مدل ۲ (قرارگیری بازشو در قسمت میانی) می‌باشد. به طور کلی حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی مدل ۲ نسبت به مدل ۱ (مدل مبنا) ۲۳/۲۶٪ کاهش داشته است. همچنین حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی مدل ۳ نسبت به مدل ۱ (مدل مبنا) ۱۲٪ افزایش یافته است. لازم به ذکر است که اعداد حاصل از آنالیز سازه‌ها نشان می‌دهد که سختی جانبی مدل ۲ نسبت به مدل مبنا بیشتر بوده و در حدود ۱/۲ برابر است.

همان‌طور که مشاهده گردید، برای سازه‌ها با نسبت وجوه پایین، بهترین وضعیت از نظر تغییرمکان جانبی توزیع منظم بازشو در شبکه خارجی سازه‌ها می‌باشد. اما برای سازه‌ها با نسبت وجوه بالاتر، محل بهینه قراردعی بازشو در شبکه خارجی؛ در قسمت‌های میانی وجوه سازه است.

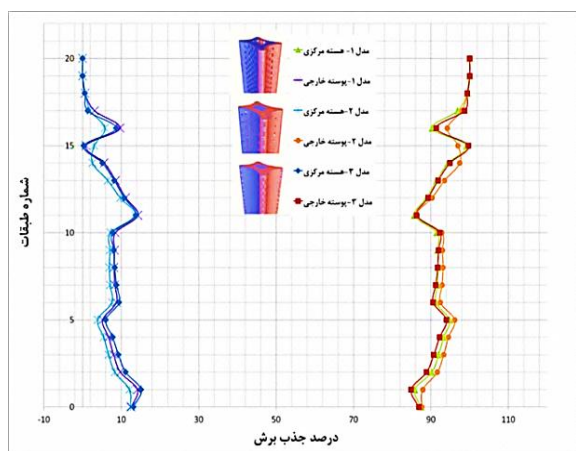
#### ۵- اندرکنش هسته مرکزی-پوسته خارجی

در ساختمان‌ها با سیستم شبکه خارجی، مسئله اندرکنش هسته داخلی و پوسته خارجی مطرح می‌باشد که خود نوع خاصی از اندرکنش قاب و هسته مقاوم است. تغییرشکل قاب تحت اثر نیروی جانبی مشابه یک طره برشی می‌باشد؛ در صورتی که تغییرشکل هسته مقاوم تحت نیروی جانبی مانند یک طره خمشی می‌باشد. در سازه‌های مورد مطالعه نتایج حاصل از بررسی میزان تغییرمکان‌ها در شبکه خارجی و هسته مرکزی به ترتیب نشان‌دهنده آن است که هسته مرکزی، رفتاری خمشی و شبکه خارجی رفتاری برشی دارد. هنگامی که شبکه خارجی و هسته مرکزی با هم در تحمل نیروهای جانبی همکاری می‌کنند، هسته مرکزی در بالا دارای تغییرمکان بیشتری نسبت به شبکه خارجی می‌باشد و برای همین شبکه خارجی در بالا، مانع از آن است که دیوار تغییرمکان زیادی بدهد و بالعکس در پایین، هسته مرکزی با اعمال نیرو به شبکه خارجی از تغییرشکل زیاد جلوگیری می‌کند. این امر باعث می‌شود که در طبقات پایین اکثر نیروی برشی توسط هسته مرکزی تحمل شود و در طبقات بالا نیروی برشی بیشتری توسط شبکه خارجی گرفته شود. بدین منظور توزیع نیروی‌های برشی افقی در میان عناصر مختلف مقاوم در برابر بار جانبی برای هر سه مدل بررسی شده و به منظور بررسی درصد جذب برش این سیستم،

می‌گردد. در سازه‌های ۲۰ طبقه، لنگر خمشی متعلق به دیوارهای برشی در ۴ طبقه آخر منفی می‌باشد. برای نشان دادن نتیجه مذکور، نمودار لنگر خمشی و درصد جذب برش دیوارهای برشی در ۵ طبقه فوقانی سازه‌های مورد مطالعه در شکل ۱۹ ترسیم شده است. نمودارهای شکل ۱۹ نشان می‌دهد که نقطه عطف لنگر خمشی نسبت به نقطه عطف نمودار نیروی برشی پایین تر می‌باشد. در نتیجه محل بهینه قطع دیوارهای برشی از نظر معیار لنگر خمشی برای سازه‌های مورد مطالعه در طبقه شانزدهم می‌باشد. به بیانی دیگر از نظر معیار لنگر خمشی، نسبت بهینه برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی برابر با  $\frac{h}{H} = 0.8$  بدست می‌آید. در این رابطه  $h$  ارتفاع دیوارهای برشی موجود و  $H$  ارتفاع کل ساختمان است.



شکل ۱۷- مقایسه درصد جذب برش هسته مرکزی-پوسته خارجی میان سازه‌های ۲۰ طبقه



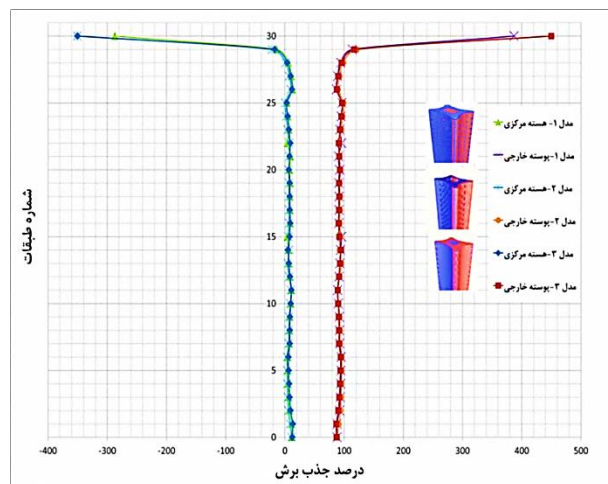
شکل ۱۸- مقایسه درصد جذب برش هسته مرکزی-پوسته خارجی سازه‌های ۲۰ طبقه با حذف دیوارهای برشی دو طبقه آخر

برای رفع این نقص (درصد جذب برش منفی)، می‌توان ضخامت دیوارهای برشی در طبقات فوقانی را کاهش داد. با تحلیل‌های انجام شده، ضخامتی که برش منفی ناشی از نیروی زلزله را از بین می‌برد؛ برابر با ۵ سانتی‌متر به دست آمد که اجرایی نمی‌باشد. به همین علت تصمیم گرفته شد که در طبقات فوقانی، دیوارهای برشی هسته مرکزی قطع گردند. در نتیجه با قطع طبقه به طبقه دیوارهای برشی هسته مرکزی و آنالیز مجدد برای هر ساختمان به ارتفاعی می‌رسیم که دیگر در هسته مرکزی برش منفی ایجاد نشده و برش جذب شده توسط پوسته خارجی از ۱۰۰ درصد برش طبقه بیشتر نباشد.

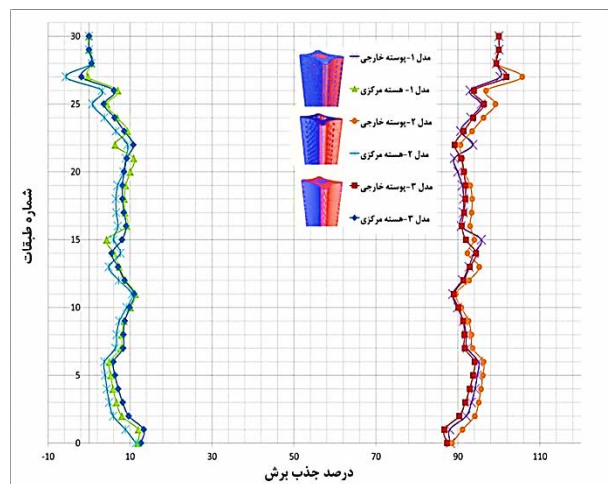
بهترین حالت به دست آمده برای ساختمان ۳۰ طبقه، حذف دیوارهای برشی هسته داخلی در دو طبقه فوقانی می‌باشد که در این حالت درصد جذب برش شبکه خارجی در طبقات فوقانی ۱۰۰ درصد شده و کل نیروی جانبی زلزله در دو طبقه آخر توسط شبکه خارجی تحمل می‌شود. این روش اقتصادی بوده و از لحاظ تغییر مکان نیز فرق چندانی مشاهده نمی‌شود. در نتیجه نسبت بهینه برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی  $\frac{h}{H} = 0.9$  بدست می‌آید. در این رابطه  $h$  ارتفاع دیوارهای برشی موجود و  $H$  ارتفاع کل ساختمان است.

در شکل ۱۸ نمودار درصد جذب برش بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی برای سازه‌های ۲۰ طبقه در حالتی که دیوارهای برشی در دو طبقه آخر حذف شده‌اند، ترسیم شده است. نکته قابل توجه در نمودارهای شکل ۱۷ و ۱۸ آن است که درصد برش ناشی از نیروی زلزله که توسط دیوارهای برشی جذب شده است، در کل ارتفاع سازه بسیار کمتر از برش جذب شده توسط پوسته خارجی می‌باشد. به عنوان مثال در مدل ۱ (مدل مبنا) در طبقه اول برش جذب شده توسط دیوارهای برشی ۱۲/۵٪ و برش جذب شده توسط پوسته خارجی ۸۷/۵٪ می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که هسته مرکزی در تحمل بارهای ثقلی سهم بیشتری دارد. در واقع هسته تا حدودی از تحمل بارهای جانبی رها شده و می‌تواند در تحمل بارهای قائم و انتقال آن‌ها به پایه ساختمان به کار رود. در هسته مرکزی علاوه بر ایجاد برش منفی در طبقات بالا، ممان منفی نیز ایجاد می‌گردد و یا به عبارتی دیاگرام ممان دیوار برشی تغییر جهت می‌دهد که باعث ایجاد ممانی بیش از ممان ناشی از بار جانبی

می برد؛ برابر با ۵ سانتی متر بدست آمد. از آنجایی که این ضخامت اجرایی نمی باشد؛ تصمیم بر آن شده که در طبقات فوقانی، دیوارهای برشی هسته مرکزی قطع گردد. در نتیجه با قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی و آنالیز مجدد به ارتفاعی می رسیم که دیگر در هسته مرکزی برش منفی ایجاد نشده و برش جذب شده توسط پوسته خارجی از ۱۰۰ درصد برش طبقه بیشتر نمی باشد.

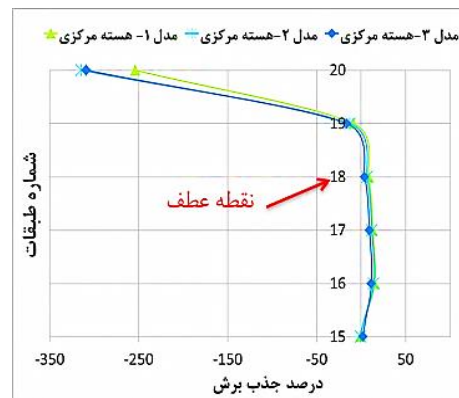


شکل ۲۰- مقایسه درصد جذب برش هسته مرکزی-پوسته خارجی میان سازه های ۳۰ طبقه

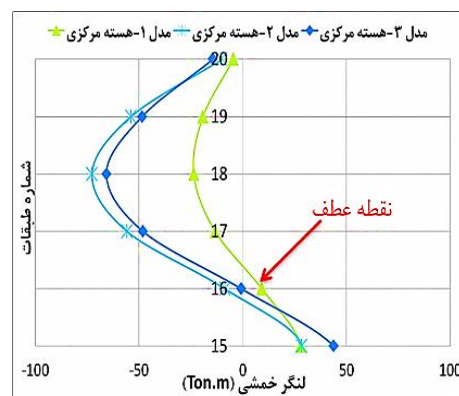


شکل ۲۱- مقایسه درصد جذب برش هسته مرکزی-پوسته خارجی میان سازه های ۳۰ طبقه با حذف دیوارهای برشی دو طبقه آخر

در نتیجه برای ساختمان ۳۰ طبقه، دیوارهای برشی هسته داخلی در دو طبقه فوقانی حذف می گردند و در چنین حالتی کل نیروی جانبی زلزله در دو طبقه آخر توسط شبکه خارجی تحمل می شود. با وجود این می توان گفت نسبت بهینه برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی  $\frac{h}{H} = 0.93$  است (h ارتفاع دیوارهای برشی موجود



(الف)



(ب)

شکل ۱۹- دیوارهای برشی در ۵ طبقه فوقانی سازه های ۲۰ طبقه، (الف) درصد جذب برش، (ب) لنگر خمشی

## ۲-۵- سازه های ۳۰ طبقه

نمودارهای درصد جذب برش ناشی از نیروی زلزله در جهت X بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی برای سازه های ۳۰ طبقه در شکل ۲۰ ترسیم شده است. همان طور که مشاهده می شود، جذب برش توسط دیوارهای برشی هسته مرکزی در سازه ۳۰ طبقه در دو طبقه آخر منفی می باشد. این مقدار در طبقه سی ام برای مدل ۱ (مدل مبنا)، مدل ۲ (تمرکز بازشو در میانه) و مدل ۳ (تمرکز بازشو در گوشه) به ترتیب برابر با ۲۸۷- درصد، ۳۵۰- درصد و ۳۵۰- درصد می باشد. این اعداد نشان دهنده آن است که در طبقات آخر نه تنها هسته مرکزی نیروی زلزله را جذب نمی کند بلکه تولید نیرویی در جهت نیروی زلزله می نماید. به همین علت شبکه خارجی در طبقه سی ام در مدل های ۱ تا ۳ به ترتیب ۳۸۷ درصد، ۴۵۰ درصد و ۴۵۰ درصد نیروی زلزله را جذب می نماید. برای رفع این مسأله (درصد جذب برش منفی)، مطابق با تحلیل های انجام شده، ضخامتی که برش منفی ناشی از نیروی زلزله را از بین



برای سازه‌های ۳۰ طبقه در طبقه بیست و پنجم می‌باشد. به بیانی دیگر نسبت بهینه برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی برابر با  $\frac{h}{H} = 0.83$  بدست می‌آید (در این رابطه  $h$  ارتفاع دیوارهای برشی موجود و  $H$  ارتفاع کل ساختمان است).

### ۳-۵- سازه‌های ۴۰ طبقه

نمودارهای درصد جذب جذب برش ناشی از نیروی زلزله در جهت X بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی برای سازه‌های ۴۰ طبقه در شکل ۲۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد برای سازه‌های مدل ۱ (مدل مبنا)، مدل ۲ (تمرکز بازشو در میانه) و مدل ۳ (تمرکز بازشو در گوشه)، جذب برش توسط دیوارهای برشی هسته مرکزی در طبقه چهارم به ترتیب ۳۶۷- درصد، ۴۵۴- درصد و ۴۲۳- درصد می‌باشد یعنی نه تنها هسته مرکزی نیروی زلزله را جذب نمی‌کند بلکه تولید نیروی در جهت نیروی زلزله می‌نماید. به همین علت شبکه خارجی در طبقه چهارم مدل‌های ۱ تا ۳ به ترتیب در حدود ۴۶۷ درصد، ۵۵۴ درصد و ۵۲۳ درصد نیروی زلزله را جذب می‌نماید.

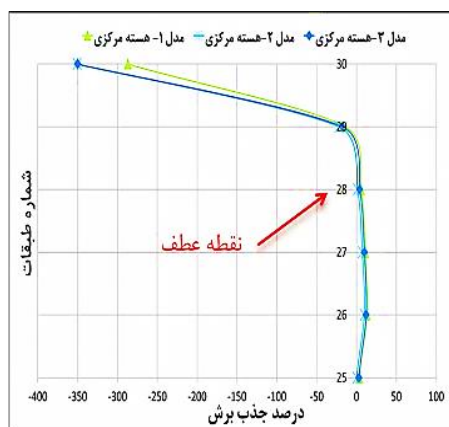
مطابق نمودار شکل ۲۳ جذب برش منفی توسط دیوارهای برشی هسته مرکزی برای سازه‌های ۴۰ طبقه در سه طبقه فوقانی مشاهده می‌گردد. با تحلیل‌های انجام شده، نهایتاً بهترین حالت بدست آمده برای ساختمان ۴۰ طبقه، حذف دیوارهای برشی هسته داخلی در سه طبقه فوقانی بوده است که در این حالت درصد جذب برش شبکه خارجی در طبقات فوقانی ۱۰۰ درصد شده و کل زلزله در سه طبقه آخر توسط شبکه خارجی تحمل می‌شود.

با توجه به مطالب ذکر شده، نسبت بهینه برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی در سازه‌های ۴۰ طبقه  $\frac{h}{H} = 0.925$  به دست می‌آید (  $h$  ارتفاع دیوارهای برشی موجود و  $H$  ارتفاع کل ساختمان است). در شکل ۲۴ نمودار درصد جذب برش بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی برای سازه‌های ۴۰ طبقه در حالتی که دیوارهای برشی در سه طبقه آخر حذف شده‌اند، ترسیم شده است. همان‌طور که در نمودار شکل ۲۴ مشاهده می‌گردد، درصد برش جذب شده توسط پوسته خارجی هر سه مدل در سه طبقه آخر برابر با ۱۰۰٪ است.

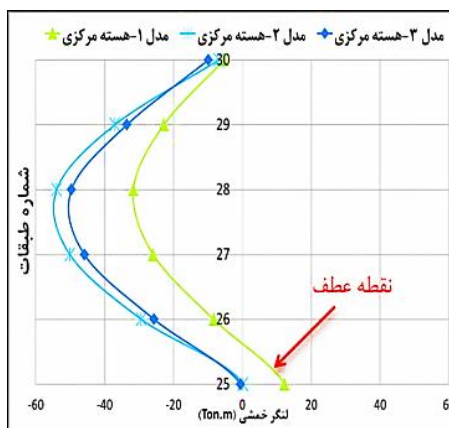
بر طبق نمودار شکل ۲۴ درصد برش جذب شده توسط دیوارهای

$H$  ارتفاع کل ساختمان است). در شکل ۲۱ نمودار درصد جذب برش بین دیوارهای برشی هسته مرکزی و پوسته خارجی برای سازه‌های ۳۰ طبقه با حذف دیوارهای برشی در دو طبقه آخر ترسیم شده است.

نمودارهای شکل ۲۰ و ۲۱ نشان می‌دهد که درصد برش جذب شده توسط دیوارهای برشی (۱۲٪ در مدل مبنا)، بسیار کمتر از برش جذب شده توسط پوسته خارجی (۸۸٪ در مدل مبنا) است. این امر بیانگر آن است که هسته مرکزی در تحمل بارهای ثقلی سهم بیشتری دارد. از طرفی لنگر خمشی متعلق به دیوارهای برشی در ۵ طبقه آخر منفی می‌باشد. بدین منظور نمودار لنگر خمشی و درصد جذب برش دیوارهای برشی در ۵ طبقه فوقانی سازه‌های ۳۰ طبقه در شکل ۲۲ ترسیم شده است.

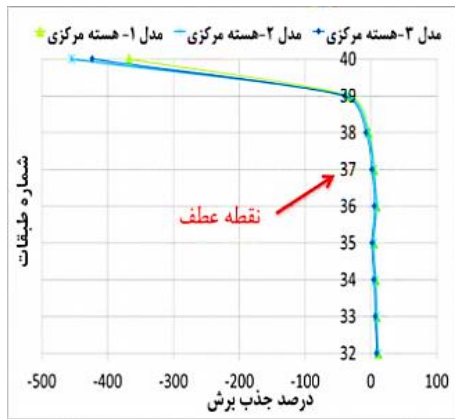


(الف)

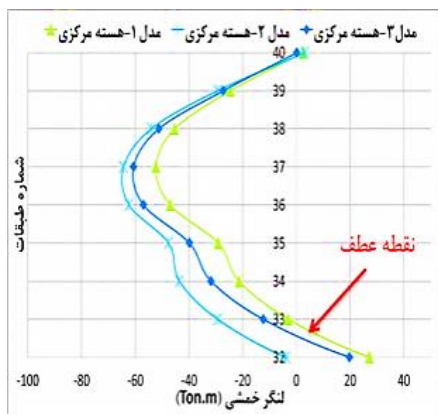


(ب)

شکل ۲۲- سازه‌های ۳۰ طبقه، الف) درصد جذب برش، ب) لنگر خمشی همان‌طور که در شکل ۲۲ مشاهده می‌گردد؛ نقطه عطف لنگر خمشی نسبت به نقطه عطف نمودار نیروی برشی پایین‌تر است. در نتیجه از نظر معیار لنگر خمشی، محل بهینه قطع دیوارهای برشی



(الف)



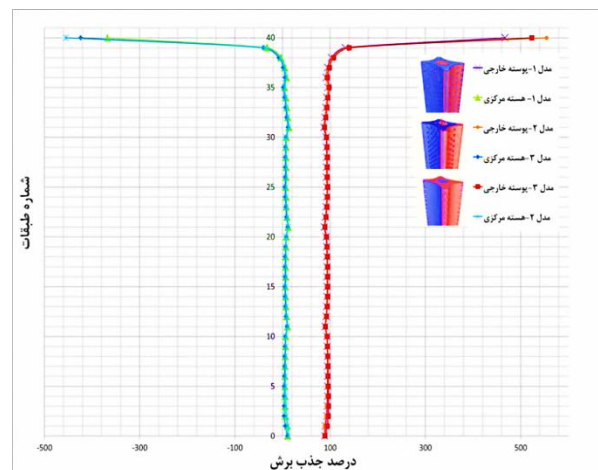
(ب)

شکل ۲۵- دیوارهای برشی در ۹ طبقه فوقانی سازه‌های ۴۰ طبقه، (الف) درصد جذب برش، (ب) لنگر خمشی

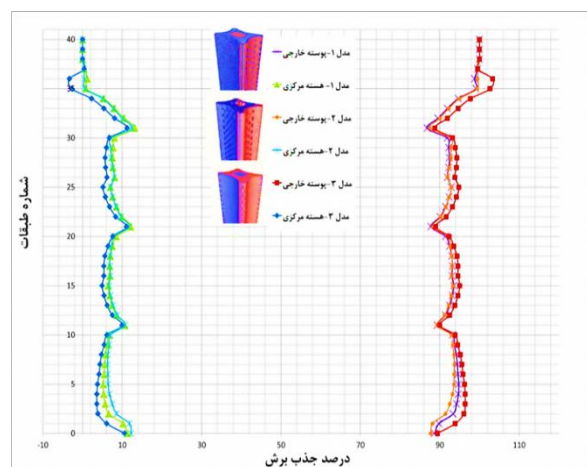
## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله با انتخاب سازه‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ طبقه به مطالعه چگونگی توزیع بازشو در سازه‌های بلندمرتبه با سیستم شبکه خارجی بتن آرمه و تأثیر آن بر روی پارامترهایی همچون تغییر مکان جانبی طبقه و شاخص دریافت هر طبقه پرداخته شد. بدین منظور سازه‌های مورد مطالعه با سه حالت مختلف قرارگیری بازشو در شبکه خارجی مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه به منظور تعیین محل بهینه قطع دیوارهای برشی براساس برش و ممان منفی، درصد جذب برش و توزیع لنگرهای خمشی ناشی از نیروی زلزله بین هسته مرکزی و شبکه خارجی مورد بررسی قرار گرفت. در سازه‌های مورد مطالعه بازشوها بر اساس محل قرارگیری آن‌ها، به سه دسته کلی تقسیم شدند. در مدل ۱ (مدل مبنا)، بازشوها به صورت منظم در شبکه خارجی توزیع شده‌اند. اما در مدل ۲، بازشوها در قسمت‌های میانی وجوه شبکه خارجی و در مدل ۳، بازشوها در گوشه‌های شبکه خارجی متمرکز شده‌اند. پس از

برشی در طبقه اول سازه ۴۰ طبقه مدل ۱ (مدل مبنا) ۱۱٪ بوده که در مقایسه با درصد جذب برش پوسته خارجی (۸۹٪) بسیار ناچیز است. این امر نشان دهنده سهم بیشتر هسته مرکزی در تحمل بارهای ثقلی می‌باشد. در سازه‌های ۴۰ طبقه لنگر خمشی متعلق به دیوارهای برشی در ۸ طبقه آخر منفی می‌باشد. نمودار لنگر خمشی و درصد جذب برش دیوارهای برشی در ۹ طبقه فوقانی سازه‌های مورد مطالعه در شکل ۲۵ ترسیم شده است. مطابق شکل ۲۵ نقطه عطف لنگر خمشی نسبت به نقطه عطف نمودار نیروی برشی پایین تر است. در نتیجه محل بهینه قطع دیوارهای برشی از نظر معیار لنگر خمشی در طبقه سی و دوم می‌باشد. به بیانی دیگر نسبت بهینه برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی برابر با  $\frac{h}{H} = 0.8$  بدست می‌آید (h ارتفاع دیوارهای برشی موجود و H ارتفاع کل ساختمان است).



شکل ۲۳- مقایسه درصد جذب برش هسته مرکزی-پوسته خارجی میان سازه‌های ۴۰ طبقه



شکل ۲۴- مقایسه درصد جذب برش هسته مرکزی-پوسته خارجی میان سازه‌های ۴۰ طبقه با حذف دیوارهای برشی سه طبقه آخر



سازه ۳۰ طبقه در پنج طبقه آخر و در سازه‌های ۴۰ و ۵۰ طبقه در هفت طبقه آخر منفی می‌باشد. اعداد مذکور نشان می‌دهد که نقطه عطف دیاگرام لنگر خمشی پایین‌تر از دیاگرام نیروی برشی است. این سیستم یکی از نوین‌ترین سیستم‌ها در سازه‌های بلند است و اگرچه مطالعه بر اساس نمونه موردی است اما نتایج قابل کاربرد برای کلیه ساختمان‌های بلند بتن آرمه با این سیستم است.

## ۷- مراجع

- [1] Aldwaik M, Adeli H. (2014). Advances in optimization of highrise building structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 50:899-919.
- [2] Lee S, Bobby S, Spence SMJ, Tovar A, Kareem A. (2012). Shape and topology sculpting of tall buildings under aerodynamic loads. 20th analysis and computation specialty Conference, p. 323-34.
- [3] Kareem A, Spence SMJ, Bernardini E, Bobby S, Wei D. (2018). Wind engineering: Using computational fluid dynamics to optimize tall building design. *CTBUH Journal*:38-43.
- [4] Elshaer A, Bitsuamlak G, El Damatty A. (2016). Aerodynamic shape optimization of tall buildings using twisting and corner modifications. 8th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, Northeastern University.
- [5] Elshaer A, Bitsuamlak G, El Damatty A. (2017). Enhancing wind performance of tall buildings using corner aerodynamic optimization. *Engineering Structures*, 136:133-48.
- [6] Bobby S, Spence SMJ, Kareem A. (2016). Data-driven performance-based topology optimization of uncertain wind-excited tall buildings. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54:1379-402.
- [7] Moon K-S, Connor JJ, Fernandez J. (2007). Diagrid structural systems for tall buildings: characteristics and methodology for preliminary design. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16:205-30. doi:10.1002/tal.311.
- [8] Jama HH, Bambach MR, Nurick GN, Grzebieta RH, Zhao XL. (2009). Numerical modelling of square tubular steel beams subjected to transverse blast loads. *Thin-Walled Structures*, 47:1523-34. doi:10.1016/j.tws.2009.06.004.
- [9] Lacidogna G, Scaramozzino D, Carpinteri A. (2020). Influence of the geometrical shape on the structural behavior of diagrid tall buildings under lateral and torque actions. *Developments in the Built Environment*, 2:100009. doi:10.1016/j.dibe.2020.100009.

ارزیابی‌های لازم نتایج زیر مشاهده گردید:

- با توجه به آن که موقعیت بهینه بازشو در شبکه خارجی، موقعیتی است که بیشترین کاهش تغییر مکان را در بالای سازه به وجود می‌آورد؛ در سازه‌های ۲۰ و ۳۰ طبقه مدل مبنا (توزیع منظم بازشو) و در سازه ۴۰ طبقه، مدل ۲ (تمرکز بازشوها در قسمت‌های میانی پلان)، حالت بهینه بوده زیرا بیشترین کاهش تغییر مکان را به همراه داشت.

- به طور کلی می‌توان گفت، در ساختمان‌ها با سیستم شبکه خارجی با نسبت وجوه پایین، بهترین حالت قرارگیری بازشو، توزیع منظم بازشوها در پلان می‌باشد. اما در ساختمان‌ها با نسبت وجوه بالاتر، بهترین محل قرارگیری بازشو، در قسمت‌های میانی وجوه پلان است.

- توزیع نیروی‌های برشی افقی در میان عناصر مختلف مقاوم در برابر بار جانبی نشان می‌دهد که هسته سهم بسیار کمتری در باربری جانبی نسبت به پوسته خارجی دارد. در واقع هسته مرکزی در تحمل بارهای ثقلی مؤثر بوده و در نتیجه هسته که به طور معمول برای تحمل بارهای جانبی دارای ابعاد بزرگ است؛ کوچک‌تر شده و تنها برای تحمل بارهای قائم و انتقال آنها به پایه ساختمان به کار می‌رود.

- دیوارهای برشی در طبقات فوقانی سازه‌ها دارای ممان منفی و برش منفی می‌باشند که به عنوان معیاری برای قطع دیوارهای برشی هسته مرکزی در نظر گرفته شد. با بررسی‌های به عمل آمده بر روی سازه‌های مورد مطالعه مشخص شد که ارتفاع بهینه قطع لوله داخلی برای برش منفی بالاتر از ارتفاع بهینه قطع لوله داخلی برای ممان منفی می‌باشد و یا به عبارتی نقطه عطف ممان هسته مرکزی پایین‌تر از نقطه عطف برش می‌باشد.

- در مدل ۱ (مدل مبنا)، برش جذب شده توسط دیوارهای برشی هسته مرکزی در سازه ۲۰ و ۳۰ طبقه در دو طبقه آخر، در سازه ۴۰ طبقه در سه طبقه آخر و در سازه ۵۰ طبقه در چهار طبقه آخر منفی می‌باشد. یعنی نه تنها در این طبقات هسته مرکزی نیروی زلزله را جذب نمی‌کند بلکه تولید نیروی در جهت نیروی زلزله می‌نماید. در نتیجه تصمیم گرفته شد که دیوارهای برشی اطراف هسته مرکزی در طبقات مذکور حذف گردند.

- در مدل ۱ (مدل مبنا)، لنگر خمشی جذب شده توسط دیوارهای برشی هسته مرکزی برای سازه ۲۰ طبقه در چهار طبقه آخر، برای

- Response modification factor of concentrically braced frames with hexagonal pattern of braces. *Journal of Constructional Steel Research*, 148:658–68. doi:10.1016/j.jcsr.2018.06.024.
- [23] FEMA P695. Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P695. Federal Emergency Management Agency Washington, District of Columbia; 2009.
- [24] Mashhadiali N, Kheyroddin A. (2018). Seismic performance of concentrically braced frame with hexagonal pattern of braces to mitigate soft story behavior. *Engineering Structures*, 175:27–40. doi:10.1016/j.engstruct.2018.08.036.
- [25] Mashhadiali N, Kheyroddin A. (2019). Quantification of the seismic performance factors of steel hexagrid structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 157:82–92. doi:10.1016/j.jcsr.2019.02.013.
- [26] Ardekani A, Dabbaghchian I, Alaghmandan M, Golabchi M, Hosseini SM, Mirghaderi SR. (2020). Parametric design of diagrid tall buildings regarding structural efficiency. *Architectural Science Review*, 63:87–102. doi:10.1080/00038628.2019.1704395.
- [27] Reiser J, Umemoto N, Ocampo J. (2010). Case Study: O-14 Folded Exoskeleton. *CTBUH Journal*, 14–9.
- [28] Aramesh S, Kheyroddin A. (2020). Evaluation of Shear Lag Index in High-Rise RC Buildings having Exo-Skeleton Structural System. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, DOI <https://doi.org/10.1007/s8-00469-020-40996>.
- [29] SAP2000, "Analysis Reference Manual", Version 8, CSI, Computer & Structures, Inc., Berkeley, USA, 2002.
- [۳۰] مقررات ملی ساختمان ایران. مبحث ۶ "بارهای وارد بر ساختمان"، ویرایش چهارم، ۱۳۹۲.
- [31] "IBC 2006, International Building Code 2006", Section 1613 Earthquake Loads.
- [32] H. Emre Ilgin and M. Halis Guvel; Neville Mathias; "The Role of Aerodynamic Modifications in The Form of Tall Buildings Against Wind Excitation", PP:17-25 , METU JFA 2/2007.
- [۳۳] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله"، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، ۱۳۹۴.
- [10] Asadi E, Adeli H. Diagrid. (2017). An innovative, sustainable, and efficient structural system. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 26:e1358. doi:10.1002/tal.1358.
- [11] Al-Kodmany K, Ali M. (2016). An overview of structural and aesthetic developments in tall buildings using exterior bracing and diagrid systems. *International Journal of High-Rise Buildings*;5:271–91.
- [12] Ali MM, Moon KS. (2018). Advances in structural systems for tall buildings: emerging developments for contemporary urban giants. *Buildings*;8:104.
- [13] SivaPrasad GVS, Adishesu S. (2013). A Comparative Study Of OMRF & SMRF Structural System for Tall & High Rise Buildings Subjected to Seismic Load. *Int J Res Eng Techol*,2:239–50.
- [14] CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat n.d. <https://www.ctbuh.org/>.
- [15] Liu C, Li Q, Lu Z, Wu H. (2018). A review of the diagrid structural system for tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*,27:e1445. doi:10.1002/tal.1445.
- [16] Mashhadiali N, Kheyroddin A. (2013). Proposing the hexagrid system as a new structural system for tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22:1310–29. doi:10.1002/tal.1009.
- [17] Zhao F, Zhang C. (2015). Diagonal arrangements of diagrid tube structures for preliminary design. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24:159–75. doi:10.1002/tal.1159.
- [18] Montuori GM, Fadda M, Perrella G, Mele E. (2015). Hexagrid - hexagonal tube structures for tall buildings: patterns, modeling, and design. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24:912–40. doi:10.1002/tal.1218.
- [19] Mashhadiali N, Kheyroddin A, Zahiri-Hashemi R. (2016). Dynamic Increase Factor for Investigation of Progressive Collapse Potential in Tall Tube-Type Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30:04016050. doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000905.
- [20] Liu C, Ma K. (2017), Calculation model of the lateral stiffness of high-rise diagrid tube structures based on the modular method. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 26:e1333. doi:10.1002/tal.1333.
- [21] Tomei V, Imbimbo M, Mele E. (2018). Optimization of structural patterns for tall buildings: The case of diagrid. *Engineering Structures*, 171:280–97. doi:10.1016/j.engstruct.2018.05.043.
- [22] Kheyroddin A, Mashhadiali N. (2018).

## The Effect of Opening Distribution on the Structural Behavior of High-Rise Reinforced Concrete Buildings with External Grid System

Sima Aramesh \*

Faculty Member, Department of Civil Engineering, Faculty of Semnan, Technical and Vocational University (TVU), Semnan, Iran.

Ali Kheyroddin

Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

### Abstract

In high-rise concrete buildings, the external grid consists of a reinforced concrete shell, which has a large number of openings and is resistant to gravity and lateral loads. In this paper, the effect of opening distribution on reinforced concrete external grid is studied. For this purpose, high-rise reinforced concrete structures of 20, 30, 40 and 50 floors with external grid and in three different modes of opening in the external grid are considered. In model 1 (base model), the openings are regularly distributed in the external grid of the building, but in Model 2, the openings are concentrated in the middle of the grid funds and in Model 3, the openings are concentrated in the corners of the external grid. Selective parameters for estimating the optimal opening location in the external grid of high-rise reinforced concrete buildings are the lateral displacement of the floor and the drift index of each floor. Also, in order to determine the optimal location of the core, the percentage of shear absorption and moment due to the seismic force between the core and the external grid is investigated. The results showed that in buildings with low aspect ratio, the best position of the opening is the regular distribution of openings in the external grid, but in buildings with higher aspect ratio, the best location of the opening is in the middle parts of the external grid.

**Keywords:** High-rise building , Reinforced concrete, Distribution of opening, External grid, Drift index.

---

\* Corresponding Author: saramesh@tvu.ac.ir

