فصلنامه آنالیز سازه- زلزله دوره ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

بررسی تغییر مکان و جابجایی ساختمانهای بتن آرمه بلندمرتبه با هسته مقاوم داخلی با سیستم لوله در لوله تحت بارهای دینامیکی

سعید غنی شایسته

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-سازه، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

اشکان خدابنده‌لو*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

A.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۷/۱۰

چکیده:

ساخت سازه‌های بلند مرتبه در سراسر دنیا به سرعت در حال افزایش است و این روند به دنبال رشد سریع اقتصادی و گسترش روزافزون شهرها و افزایش تقاضا برای فضا در مناطق پرجمعیت سرعت بیشتری گرفته است. همینطور که این آسمان خراش‌ها به ارتفاع بلندتری می‌رسند تبدیل به نمادی از قدرت و برتری پیشرفت تکنولوژی و توسعه اقتصادی کشورها می‌شوند. از این رو استفاده از سیستم‌های جدید سازه‌ای و تکنولوژی‌های نوین ساخت با هدف دستیابی به ساختمانهای با ارتفاع هر چه بلندتر مد نظر طراحان و مهندسین قرار گرفته است. در این تحقیق یک سازه بلند ۲۶ طبقه با ۳ طبقه زیر زمین که در آن دیوارهای حائل ملزم به طراحی در برابر نیروی جانبی خاک پیرامونی خود نیز می‌باشند، دارای سیستم دوگانه با هسته مرکزی لوله در لوله بوده که تحت اثر نیروی جانبی زلزله ، آنالیز دینامیکی گردیده و میزان تغییر مکان جانبی سازه و تغییرات در نیروی وارد بر اجزای آن در نرم‌افزار تحلیلی Sap2000 بررسی می‌شود. سیستم لوله‌ای در مقابل نیروهای ثقلی و جانبی کارایی مناسبی را از خود نشان داد و حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات با توجه به مقادیر مجاز آئین‌نامه‌ای و ارتفاع سازه مورد نظر در محدوده مجاز واقع گردید و سیستم سازه‌ای و مقاطع تخصیص داده شده از این جهت مناسب ارزیابی گردید.

کلید واژگان: بلند مرتبه، هسته مرکزی، سیستم لوله در لوله، آنالیز دینامیکی، نرم افزار Sap2000

۱- مقدمه

در سالیان گذشته سیستم‌های سازه‌ای مختلفی شامل قاب خمشی ،قاب مهاربندی شده، دیوارهای برشی فولادی و بتن آرمه و سیستم دوگانه مهاربندی جانبی در مقاوم‌سازی جانبی سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. امروزه با پیشرفت علم ساختمان و بلندسازی ،سیستم‌های نوین دیگری نیز وارد این عرصه گشته‌اند که از جمله آنها می‌توان به سیستم هسته مرکزی ، کمربندهای خرپایی و غیره اشاره نمود. سیستم هسته مرکزی که استفاده از آن بیشتر در تامین مقاومت جانبی سازه‌های بلند کاربرد دارد یکی از پیشرفته‌ترین این سیستم‌ها در نوع خود می‌باشد که علیرغم دارا بودن وزن کمتر رفتار مناسبی در برابر بارهای جانبی اعم از باد و زلزله خواهد داشت. از آنجایی که افزایش ارتفاع سازه‌های ساختمانی بلندمرتبه محدودیت‌هایی در ضوابط طراحی ایجاد می‌کند و همچنین به دلیل ظهور گسترده فرم‌های نامنظم و پیچیده ساختمانی درسال‌های اخیر و ضرورت رعایت الزامات سازه‌ای اینگونه فرم‌ها و نیز قابل ساخت کردن آنها انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب به نحوی که با مصرف کمترین مقدار مصالح بیشترین کارایی را ایجاد می‌کند امری ضروری می‌باشد یکی از این سیستم‌ها سازه هسته مرکزی با سیستم لوله در لوله است که امروزه به علت کارایی سازه‌ای بالا در تحمل نیروهای جانبی بصورت گسترده‌ای درساختمان‌های بلندمرتبه استفاده می‌شود. سیستم هسته مرکزی و مقاوم جانبی لوله در لوله یک سیستم نوین و کارآمد می‌باشد که امتحان خود را در بسیاری از سازه‌های بلند طراحی و اجرا شده به خوبی پس داده است و از این رو می‌تواند گزینه‌ای مناسب جهت اجرای سازه‌های بلند و با کاربری خاص باشد. بانک صادرات تبریز نمونه‌ای می‌باشد که در آن از سیستم هسته مرکزی بهره گرفته شده است.

شکل ۱- برج بانک صادرات تبریز

۱- معرفی سیستم هسته مرکزی و لوله‌ای

۱-۲ : سازه‌های مرتفع با هسته مرکزی

در این نوع سیستم، ناحیه جذب و جمع‌آوری بارهای هر سطح (طبقه) در مرکز ثقلی ساختمان تعیین شده است. ساختار این هسته مرکزی به صورت شاه تیر قائم طره‌ای مقاوم در برابر تنش‌های ناشی از اعمال نیرو بر آن می‌باشد؛ این هسته مرکزی که از جنس بتن یا فولاد می‌باشد در مرکز ساختمان قرار می‌گیرد و طبقات به آن کنسول می‌شوند. لیستی از ساختمان‌های با سیستم هسته مرکزی در ادامه بیان شده است.

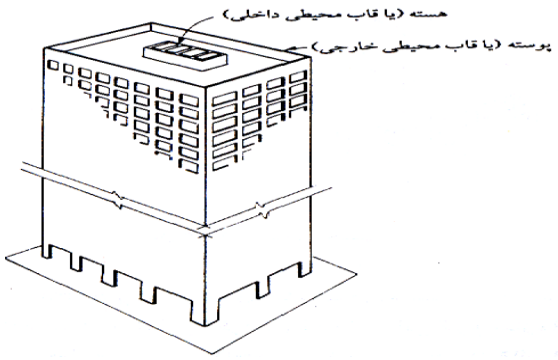
۱- ساختمان بورس اوراق بهادار تهران
۲- برج میلاد
۳- کتابخانه ملی اتریش
۴- مجتمع تجاری اداری Agung Sedayu

۲-۲ : قابهای محیطی تو در تو یا لوله در لوله (Tube In Tube)

به طور کلی این سیستم ترکیبی از ستون‌های نزدیک به هم و تیرهای عمیق است که در محیط پیرامونی ساختمان قرار گرفته‌اند. رفتار سیستم لوله‌ای تحت اثر بارهای جانبی مانند خمش یک طره توخالی می‌باشد که در اثر آن تارهای سمت مخالف نیروهای جانبی کوتاه شده و تارهای سمت نیروی جانبی طویل می‌گردد. این سیستم سختی جانبی و مقاومت پیچشی بالایی دارد ولیکن به علت توزیع غیر یکنواخت نیرو در ستون‌های بال (عمود بر بار جانبی) لنگی برش خواهد داشت. اثرات لنگی برشی در لوله‌های قابی، استفاده از حداکثر ظرفیت سختی و مقاومت سازه را محدود کرده و لنگر مقاوم و صلبیت خمشی را کاهش می‌دهد. با به کار بردن هسته نه تنها برای بارهای ثقلی بلکه قابلیت تحمل بارهای جانبی نیز به سبب سختی سیستم لوله تو خالی به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. این سازه کف لوله‌های خارجی و داخلی را به یکدیگر متصل می‌کند و همگی در مقابل نیروهای جانبی به صورت واحد و مشترک عمل می‌نمایند. [۱]

واکنش یک سیستم لوله در لوله در مقابل بارهای جانبی مشابه واکنش ساده مرکب از قاب صلب و دیوار برشی است. اما لوله قابی خارجی بسیار سخت‌تر و موثرتر از قاب صلب عمل می‌نماید. لوله خارجی در اکثر مواقع بار جانبی موجود را در قسمت بالای ساختمان را تحمل می‌نماید، در صورتی که هسته بیشتر بار را در قسمت پایین ساختمان تحمل می‌کند. سیستم لوله‌ای در مورد ساختمان‌های با نقشه افقی دایره و تقریبا مربع بیشترین کارایی رادارد. ساختمان‌هایی که از این شکل‌ها منحرف می‌شوند، در موقع استفاده از سیستم‌های لوله‌ای ملاحظات سازه‌ای ویژه‌ای را طی می‌کنند. [۱]

این فرم سازه‌ای شامل یک قاب محیطی خارجی یا پوسته و یک هسته مربوط به آسانسور یا عبورگاه سرویس است. هسته و پوسته در تحمل بارهای قائم و جانبی مشترکا عمل می‌کنند. در سازه‌های فولادی هسته ممکن است متشکل از قابهای مهاربندی شده باشد، در حالی که در سازه بتنی ترکیبی از دیوارهای برشی است. [۱]



شکل ۲ – سازه با سیستم لوله در لوله

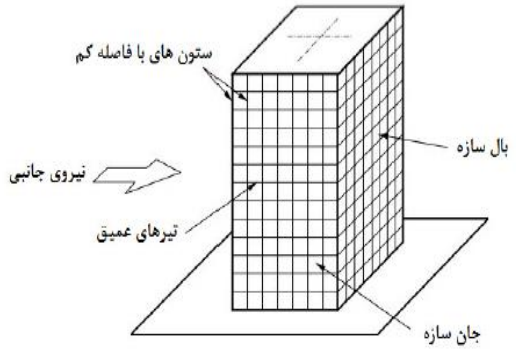
۳- پیشینه کارهای صورت پذیرفته

در سال ۱۹۶۵ میلادی، مهندسی آمریکایی-بنگلادشی به نام ((فضلور رحمان خان)) ایده جالبی را برای ساخت سازه‌های بلندمرتبه ارایه داد. فضلور رحمان خان، ملقب به "انیشتین مهندسی سازه" با ارایه این طرح، امکان مقاوم‌سازی برج‌های بلندمرتبه را در برابر نیروهای جانبی فراهم کرد. این طرح با ایجاد بزرگترین دهانه آزاد ممکن و خلق فضایی انعطاف‌پذیر، روزنه اقتصادی نوینی را به سوی مهندسین سازه و معماران گشود. از آن تاریخ به بعد، اکثر برج‌های بالای ۴۰ طبقه در ایالات متحده آمریکا، با استفاده از این سیستم ساخته شدند. اولین ساختمان بلندمرتبه‌ای که با بکارگیری سیستم لوله در لوله اجرا شد، ساختمان Dewitt-chestnut در شیکاگو بود. این ساختمان در ۴۳ طبقه طراحی شد.

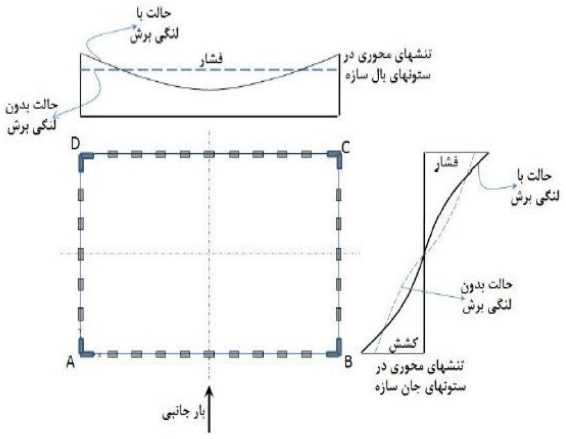
دکترعلی همتی و حمید میرزاحسینی در تحقیق خود با عنوان طراحی بهینه سیستم سازه‌ای لوله در لوله در ساختمان‌های بلند بتن آرمه مشاهده نمودند که لوله‌های داخلی در کنترل انحرافات و تعدیل لنگی برش نقش قابل توجهی ایفا می‌کنند و پیشنهاد کردند که جهت طراحی بهینه سازه‌های مشابه سیستم بررسی شده، در قاب خارجی از تیر و ستون‌های میانی با عمق و عرض زیاد استفاده نگردد چرا که در تمامی مدل‌ها افزایش عمق و عرض تیر و ستون‌ها فقط باعث کاهش نیروی محوری در ستون‌های گوشه گردیده ولی لنگی برش را در ستون‌های میانی تشدید می‌کند. [۴]

همچنین این محققین پیشنهاد نمودند که به منظور کاهش لنگی برش و نزدیک کردن توزیع نیروی محوری ستون‌ها به حالت بهینه خطی و همچنین به منظور کنترل تغیر مکان جانبی کلی سازه و انحراف طبقات بر روی نقش دیوارهای لوله داخلی تمرکز بیشتری گردد. [۴]

حسین نادرپور و علی خیرالدین در بررسی خود با عنوان بررسی پدیده لنگی برش در ساختمان‌های بلند بتن آرمه با سیستم لوله‌ای پدیده لنگی برش در سازه‌های لوله‌ای بتن آرمه را مورد بررسی قرار دادند. مدل‌های سازه‌ای با طبقات مختلف و دارای پلان‌های مربعی و مستطیلی شکل در تحلیل‌ها استفاده شد. به منظور بررسی نتایج حاصل از تحلیل سازه‌ها، پارامتری بدون بعد تحت عنوان اندیس لنگی برش تعریف گردید. 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. اشکال ۳ و ۴ پدیده لنگی برشی را به صورت شماتیک به تصویر می‌کشد. [۵]



شکل ۳- وضعیت توزیع تنش محوری در ستون‌های بال و جان سازه و وقوع پدیده لنگی برش تحت اثر بار جانبی



شکل ۴- وضعیت توزیع تنش محوری در ستون‌های بال و جان سازه و وقوع پدیده لنگی برش تحت اثر بار جانبی

نتایج زیر از تحقیق این محققین حاصل گردید :

۱- پدیده لنگی برش در سازه‌های با سیستم لوله‌ای در اثر تغییر مکان قائم ناهمگون ستون‌ها در یک قاب به وجود می‌آید. بنابراین هر ستون داخلی نسبت به ستون خارجی سمت خود، تغییر شکل و تنش کمتری خواهد داشت. [۵]

۲- آنچه از در نظر گرفتن نتایج حاصل از سازه با افزایش بعد ستون (کاهش فاصله بین ستون‌ها) 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. [۵]

۳- با افزایش سختی تیرهای رابط بین ستونها در پیرامون سازه، اندیس لنگی برش که به صورت نسبت بار محوری ستون به بار محوری ستون مرکزی تعریف می‌شود، کاهش نسبتاً چشمگیری داشته و در واقع مهمترین پارامتر مورد بررسی در کاهش اندیس لنگی برش، می‌تواند تغییر در ابعاد تیر رابط درنظر گرفته شود. [۵]

۴- در سازه با پلان مربعی عامل افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا ۱۳ درصد توانست اندیس لنگی برش را در سازه ۲۰ طبقه کاهش دهد .میزان کاهش اشاره گردیده در سازه مذکور ۴۰ طبقه در حالت حداکثر خود به ۶ درصد رسید. [۵]

۵- در سازه با پلان مستطیلی عامل افزایش سختی تیرهای پیرامونی تا ۱۰ درصد توانست اندیس لنگی برش را در سازه ۲۰ طبقه کاهش دهد .میزان کاهش اشاره گردیده در سازه مذکور ۴۰ طبقه در حالت حداکثر خود به ۶ درصد رسید. [۵]

۴- موارد آیین‌نامه‌ای

از دیدگاه یک مهندس سازه، بهترین فرم سازه‌ای، انتخابی است که در آن اعضای اصلی ترکیب‌های مختلف بارهای قائم و افقی را به صورت بهینه تحمل نمایند. ولی در عمل معمولاً ملاحظات غیر سازه‌ای، تاثیرات بسیار مهمی در انتخاب فرم سازه دارند و ممکن است تعیین‌کننده باشند. از عوامل مهمی که باید در تصمیم‌گیری فرم سازه دخالت داده شوند، پلان داخلی، مواد، روش اجرا، معماری و شکل خارجی ساختمان، موقعیت و مسیر سیستمهای تاسیساتی و سرویس، نوع و مقدار بار جانبی و ارتفاع ساختمان می‌باشند. هرچه ساختمان بلندتر و لاغرتر باشد، عوامل سازه‌ای از درجه اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردند، و متعاقباً نیاز به انتخاب فرم سازه‌ای نیز بیشتر می‌شود.

در بررسی چگونگی توزیع نیروی جانبی در تحلیل طیفی ، به پارامتر اثر مدهای بالاتر و همچنین تیپ‌بندی مقاطع طراحی اشاره می‌شود .به این معنی که علت چنین توزیع نیروی جانبی در تحلیل طیفی ، اثرات مدهای بالاتر و همچنین تیپ‌بندی مقاطع طراحی است، البته باید اشاره کرد که منظور از اثر تیپ‌بندی مقاطع طراحی همان سختی می‌باشد . بنابراین ملاحظه می‌شودکه مدهای بالاتر و همچنین سختی مقاطع در سیستم لوله‌ای دسته‌بندی شده نقش مهمی ایفا می‌کنند. [۲]

در یک سازه بلند در اثر تغییرمکان‌های جانبی ناشی از باد، حرکت تناوبی ایجاد شده باعث احساس ناراحتی استفاده‌کنندگان سازه خواهد شد. معمولاً شتاب به عنوان عامل اصلی و تعیین‌کننده پاسخ انسان به ارتعاش در نظر گرفته می‌شود. منحنی‌های حد رفتاری انسان بر حسب شتاب و تواتر در دسترس می‌باشد. بنابراین برای مقایسه پاسخ سازه با منحنی‌های حد رفتاری، نیاز به یک آنالیز دینامیکی است. [۶]

تامین سختی مناسب و بخصوص سختیِ جانبی سازه، به دلایل بسیار مهمی از عوامل اساسی طراحی ساختمانهای بلند است. در حد نهائی مقاومت، تغییرشکل‌های جانبی باید به طریقی محدود گردند که اثرات ثانویه ناشی از بارگذاری قائم (اثرات $P\text{-}\Delta$) باعث شکست و انهدام سازه نگردند. در حد بهره‌برداری، اولاً تغییرشکلها باید به مقادیری محدود شوند که اعضای غیرسازه‌ای نظیر درها و آسانسورها به خوبی عمل نمایند، ثانیاً باید برای جلوگیری از ترک‌خوردگی و افت سختی از ازدیاد و تشدید تنش در سازه‌ها جلوگیری نمود و از توزیع بار بر روی اعضای غیر سازه‌ای نظیر میان قابها و یا نماها خودداری کرد. ثالثاً سختی سازه باید به اندازه‌ای باشد که حرکت‌های دینامیکی آن محدود شده و باعث اختلال ایمنی و آرامش استفاده‌کنندگان و ایجاد مشکل در تاسیسات ساختمان نگردند. [۷]

اثر P-Delta (اعمال مفاهیم پایداری در تحلیل سازه‌ها) به تعابیر بسیاری عمدتاً در سازه‌های بلند نمایان می‌گردد. این موضوع در تحلیل استاتیکی مصداق دارد؛ لیکن از نظر دینامیکی، مفهوم پایداری به دلیل تغییرات مداوم نیروهای محوری، ماهیتا نمی‌تواند طی یک روند ثابت و کلی ارزیابی گردد. چه، این تغییرات حتی در سازه‌های کوتاه نیز می‌توانند پایداری عمومی را دگرگون سازند . [۸]

۵- مدلسازی صورت پذیرفته

لازم به ذکر است که هدف از این مطالعه بررسی کفایت یا عدم کفایت سیستم فوق در یک سازه بلند می‌باشد و پس از مدل‌سازی و تحلیل مقادیر تغییر مکان جانبی ، دریفت و تنش‌های حاصل شده با مقادیر مجاز آیین‌نامه‌ای مقایسه می‌گردند که مطابق نتایج حاصل شده کفایت این سیستم برای تحمل بار جانبی و ثقلی در یک سازه بلند با مشخصات معرفی گردیده تحت آنالیز دینامیکی طیفی اثبات می‌گردد. لذا در این تحقیق سازه بلند ۲۶ طبقه با ۳ طبقه زیرزمین (که در آن دیوارهای حائل ملزم به طراحی در برابر نیروی جانبی خاک پیرامونی خود نیز می‌باشند.) دارای سیستم دوگانه در تحلیل و طراحی با هسته مرکزی لوله در لوله بوده که تحت اثر نیروی جانبی زلزله تحلیل گردیده و میزان تغییر مکان جانبی سازه و تغییرات در نیروی وارد بر اجزای آن در نرم افزار تحلیلی Sap2000 بررسی می‌شود. سیستم فوق از سیستم‌های نوین در صنعت ساختمان بوده و از این رو مدلسازی آن جهت بررسی کفایت در برابر نیروهای ثقلی و جانبی وارد بر آن امری مهم و لازم می‌باشد.

ساختمان در شهر ارومیه با خطر لرزه‌خیزی شدید واقع شده است و نوع زمین I می‌باشد. آرماتورهای مورد استفاده از نوع A3-18 می‌باشد. سیستم دوگانه در آنالیز و طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار بار دیوارهای پیرامونی با احتساب نما سازی برابر ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد که بر تیرهای محیطی ساختمان وارد می‌گردد.

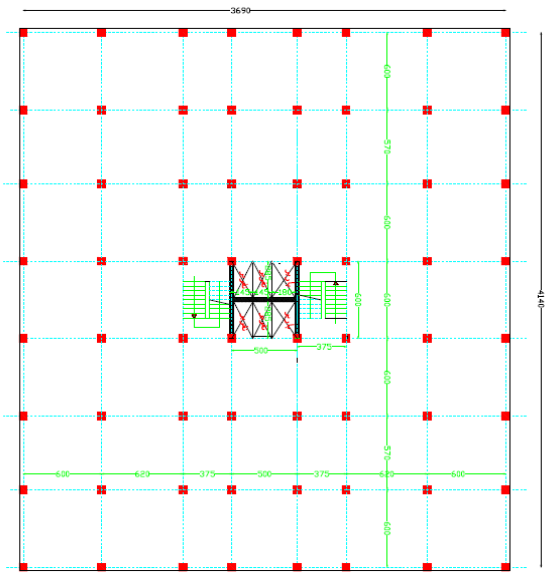
در سه طبقه دیوارهای حایل زیرزمین وجود خواهد داشت. بر اساس آئین‌نامه مورد نظر (مبحث ششم مقررات ملی ساختمان) مقدار بار q=0.95 ton/m2 می‌باشد که این نیرو در عمق یک متری خاک وارد می‌شود و بصورت خطی در عمق تغییر می‌کند که حداکثر مقدار آن در عمق ۹ متری به ۸,۵۵ ton/m2 می‌رسد. این نیرو را در سه تراز بصورت صفحه‌ای به دیوارهای حایل پیرامونی وارد می‌شود که مقدار آن برای دیوارهای حایل در عمق ۰ تا ۳- متری ۲,۸۵ ton/m2 ، برای دیوارهای حایل در عمق۳- تا ۶- متری ۵,۷ ton/m2 و برای دیوارهای حایل در عمق ۶- تا ۹- متری ۸,۵۵ ton/m2 می‌باشد.

برای انجام آنالیز دینامیکی باید طیف طرح آئین‌نامه مورد نظر به نرم‌افزار معرفی شده و یا از طیف‌های موجود در نرم‌افزار استفاده شود. با توجه به این که طیف طرح آئین‌نامه ایران در نرم‌افزار Sap 2000 وجود ندارد، باید آن را از طریق فایل متنی به نرم‌افزار وارد نمود. مقادیر ضریب بازتاب طرح بر اساس زمان تناوب سازه در بازه ۰ تا ۴/۶ ثانیه با گام‌های ۰/۰۱ محاسبه گردیده و در یک فایل متنی ذخیره شده و در نرم‌افزار وارد می‌گردد.

بر طبق ضوابط تحلیل دینامیکی طیفی به ازای هر طبقه ساختمان ۳ مود بایستی در نظر گرفته شود. از آنجایی که سازه مورد نظر دارای ۲۶ طبقه است، تعداد مود هایی که برای آن باید در نظر گرفته شود ۷۸ مود می‌باشد. همچنین Scale Factor مناسب برای این سازه از رابطه زیر بدست می‌آید که در آن A ضریب خطرپذیری زلزله می‌باشد که برای شهر ارومیه که در منطقه خطرپذیری شدید واقع شده است ۰,۳ می‌باشد. I ضریب اهمیت ساختمان می‌باشد که با توجه به کاربری تعریف شده طبقات مقدار آن ۱,۰ می‌باشد. g شتاب گرانش زمین می‌باشد که مقدار آن برابر ۹,۸۱ متر بر مجذور ثانیه بوده و R ضریب رفتار سازه می‌باشد که با توجه به سیستم سازه‌ای موجود مقدار آن برابر ۷,۵ می‌باشد.

تفاوت اصلی میان روش استاتیکی معادل و روش تحلیل دینامیکی در نحوه توزیع نیروی برش پایه در بین طبقات می‌باشد. در روش استاتیکی معادل سهم نیروی زلزله هر طبقه متناسب با وزن طبقه و فاصله از از تراز پایه تعیین می‌گردد. اما در تحلیل دینامیکی طیفی سهم نیروی زلزله در هر طبقه بر اساس ترکیب برش پایه مودهای مختلف بدست می‌آید.

آئین‌نامه‌های مورد استفاده در این بررسی ACI 318-14 و آئین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم وهمچنین مبحث ششم مقررات ملی ساختمان جهت تعیین حداقل بارهای وارده خواهد بود. پلان سازه مورد نظر در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- پلان سازه مورد نظر در طراحی

مشخصات سازه مورد نظر و بارگذاری مربوطه در جدول ۱ بیان شده است. در این بررسی آنالیز دینامیکی طیفی بر روی این سازه انجام پذیرفته و طراحی نیز بر این مبنا صورت گرفته است. تفاوت اصلی میان روش استاتیکی معادل و روش تحلیل دینامیکی در نحوه توزیع نیروی برش پایه در بین طبقات می‌باشد. در روش استاتیکی معادل سهم نیروی زلزله هر طبقه متناسب با وزن طبقه و فاصله از از تراز پایه تعیین می‌گردد. اما در تحلیل دینامیکی طیفی سهم نیروی زلزله در هر طبقه بر اساس ترکیب برش پایه مودهای مختلف بدست می‌آید.

جدول ۱- مشخصات سازه مدلسازی شده

شماره طبقات	ارتفاع طبقات(متر)	کاربری طبقه مربوطه	بار زنده (کیلوگرم بر متر مربع)	بار معادل تیغه بندی(کیلوگرم بر متر مربع)	بار مرده طبقات شامل دال و کف (کیلوگرم بر متر مربع)
-3	3	پارکینگ	300	0	630
-2	3	پارکینگ	300	0	630
-1	3	پارکینگ	300	0	630
همکف	4	لابی ورودی و انباری	300	100	630
1	4	تجاری	600	0	630
2	4	تجاری	600	0	630
3-21	4	مسکونی	200	100	630
22	4	رستوران	500	0	630
پشت بام	0	پشت بام	150	0	630

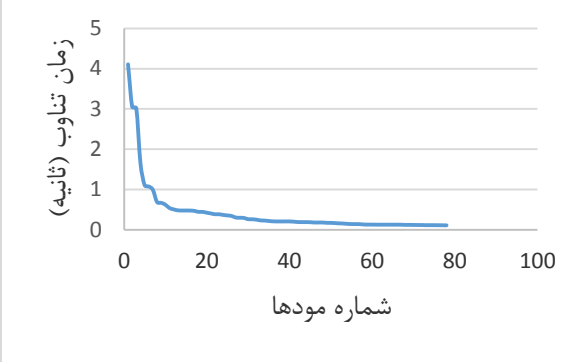
کنترل حداقل تعداد مودها

آئین‌نامه مقرر می‌دارد که حداقل سه مود اول ارتعاش، کلیه مودهایی که زمان تناوب بیش از ۰,۴ ثانیه دارند و یا کل مودهایی که مجموع جرم‌های موثر در آنها بیشتر از ۹۰٪ جرم کل سازه است ، باید در نظر گرفته شوند. برای کنترل این ضابطه باید نتایج آنالیز مودال بررسی گردد. در مجموع ۷۸ مود برای سازه مورد نظر بررسی می‌گردد که ۲۱ مود اول نوسان دارای زمان تناوب بیش از ۰,۴ ثانیه می‌باشند که به عنوان مودهای موثر در نظر گرفته می‌شوند. همچنین مودهای ۵۳ الی ۷۸ دارای مجموع جرم‌های موثر بیشتر از ۹۰٪ جرم کل سازه می‌باشند و باید در نظر گرفته شوند.

۱- نمودارها و نتایج

۶-۱ - زمان تناوب سازه بر اساس شماره مودهای نوسانی

شکل ۶ زمان تناوب سازه ۲۶ طبقه مدلسازی شده در نرم افزار را بر حسب مودهای نوسانی آن نشان می دهد.



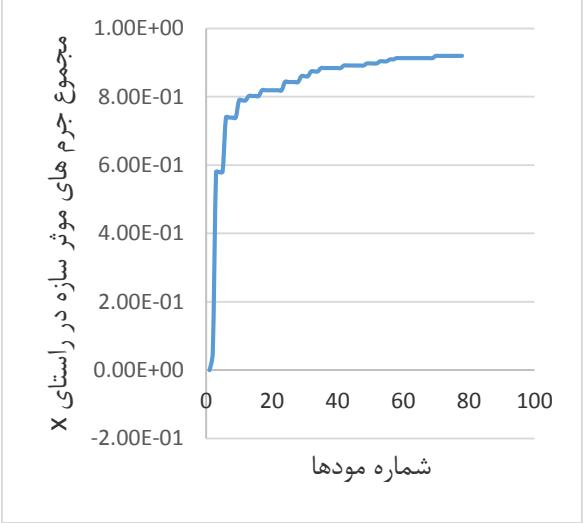
شکل ۶- زمان تناوب سازه بر اساس شماره مودهای نوسانی

۶-۲ -تعیین جرم‌های موثر در راستاهای طولی و عرضی سازه بر اساس مودهای ارتعاشی سازه

جرم‌های موثر سازه از عواملی می‌باشد که در تعیین نیروی زلزله تاثیر می‌گذارد. بدین مفهوم که با افزایش جرم موثر سازه در یک بعد ، نیروی موثر زلزله در آن بعد افزایش می‌یابد. بدین منظور بر اساس آئین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران لازم است در هر امتداد ساختمان مودهایی که مجموع جرم آنها از ۹۰٪ جرم سازه بیشتر است، در طراحی مد نظر قرار گیرند. لازم به ذکر است که در نمودارهای مربوطه محور افقی معرف شماره مود های ارتعاشی و محور قائم نسبت جرم مشارکت‌کننده است.

۶-۲-۱- مجموع جرم‌ها در راستای محور طولی سازه

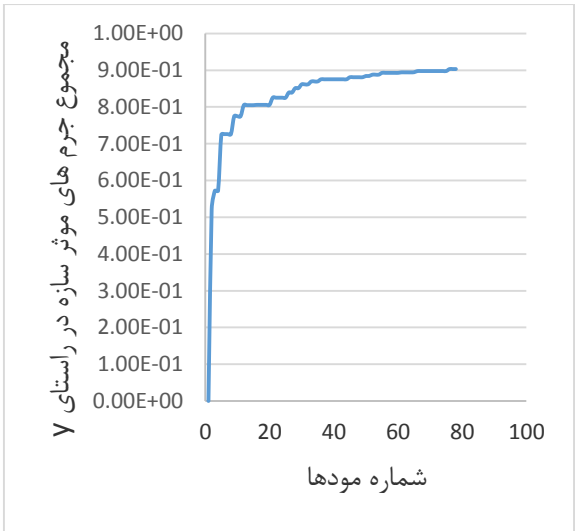
شکل ۷ مجموع جرم‌های سازه را در راستای محور طولی برای مودهای ارتعاشی مختلف سازه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در مواردی که مجموع جرم‌های در راستاهای مختلف سازه بیش از ۹۰٪ جرم سازه باشد آن مود سازه موثر ارزیابی شده است. لازم به ذکر است که در نمودارهای مربوطه محور افقی معرف شماره مودهای ارتعاشی و محور قائم نسبت جرم مشارکت‌کننده است.



شکل ۷- مجموع جرم های موثر سازه در راستای محور طولی بر اساس مودها

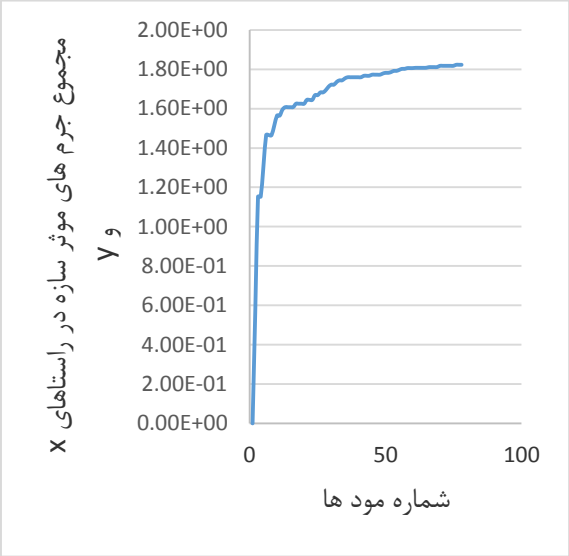
۶-۲-۲ - مجموع جرم‌ها در راستای محور عرضی بر اساس مودهای ارتعاشی سازه

همانند موارد اشاره شده در قبل مجموع جرم‌های موثر در راستای محور عرضی نیز مهم می‌باشد. شکل ۸ مجموع جرم‌ها بر اساس مودهای ارتعاشی سازه در راستای محور عرضی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در نمودارهای مربوطه محور افقی معرف شماره مودهای ارتعاشی و محور قائم نسبت جرم مشارکت‌کننده است.



شکل ۸ – مجموع جرم‌های موثر سازه در راستای محور عرضی بر اساس مودها

در نهایت مجموع جرم‌های موثر سازه بر اساس مودهای ارتعاشی در هر دو جهت X و Y در شکل ۹ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در نمودارهای مربوطه محور افقی معرف شماره مودهای ارتعاشی و محور قائم نسبت جرم مشارکت‌کننده است.

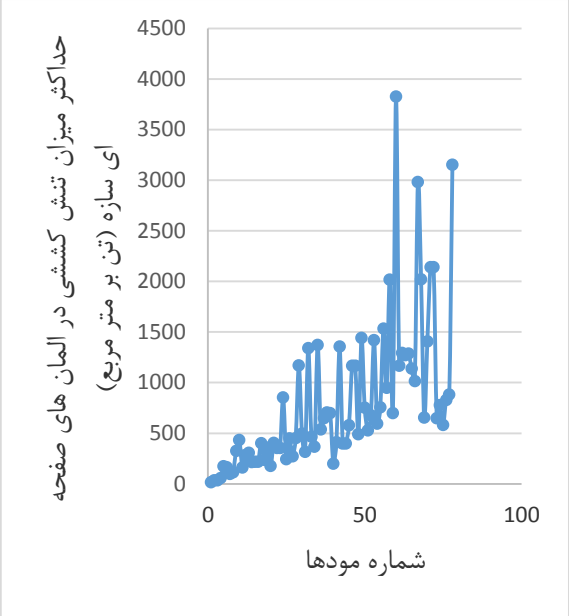


شکل ۹- مجموع جرم های موثر سازه در راستای محور طولی و عرضی بر اساس مودهای ارتعاشی

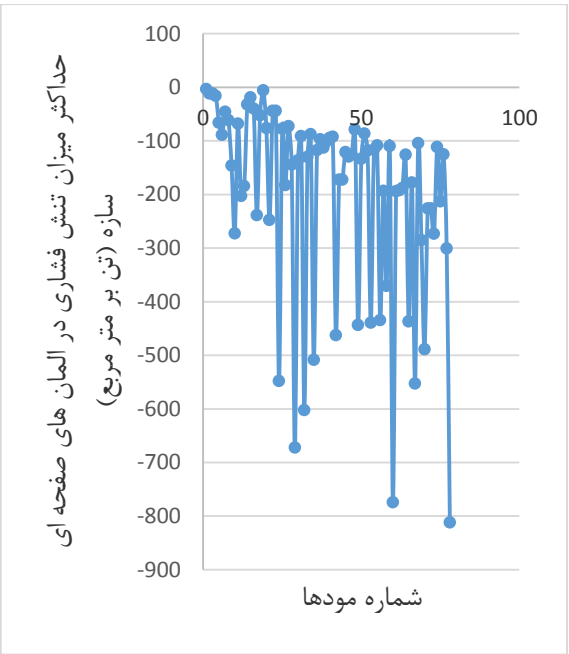
در نهایت با توجه به نمودارهای شکل‌های ۶ الی ۹ مشاهده می‌شود که مجموع جرم‌های موثر بالاتر در مودهای بالاتر سازه اتفاق می‌افتد و از این جهت مودهای بالاتر ارتعاشی سازه علیرغم دارا بودن زمان تناوب کمتر، مهم می‌باشند.

۶-۳ - تنش‌های کششی و فشاری بدست آمده در اعضای صفحه‌ای سازه تحت مودهای مختلف

تنش‌های به وجود آمده در المان‌های سازه بتن آرمه در تعیین ضخامت و مقادیر آرماتورهای آن و در بیان کلی در طراحی آن مهم و حائز اهمیت می‌باشد. این تنش‌ها بر اساس آنالیز دینامیکی صورت پذیرفته در مودهای مختلف سازه بدست می‌آیند. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مقادیر تنش‌های کششی و فشاری بدست آمده در اعضای صفحه‌ای سازه را تحت مودهای مختلف نشان می‌دهند.



شکل ۱۰ – حداکثر تنش بدست آمده کششی در اعضای صفحه‌ای سازه



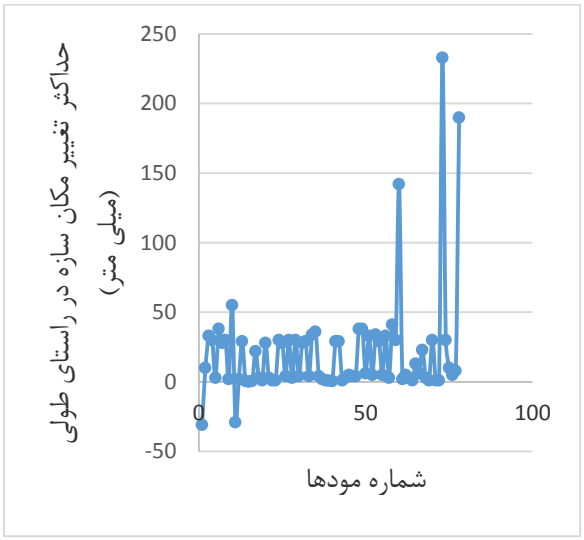
شکل ۱۱ – حداکثر تنش بدست آمده فشاری در اعضای صفحه‌ای سازه

۶-۴- مقادیر تغییر مکان حداکثر و حداقل سازه در راستاهای طولی و عرضی

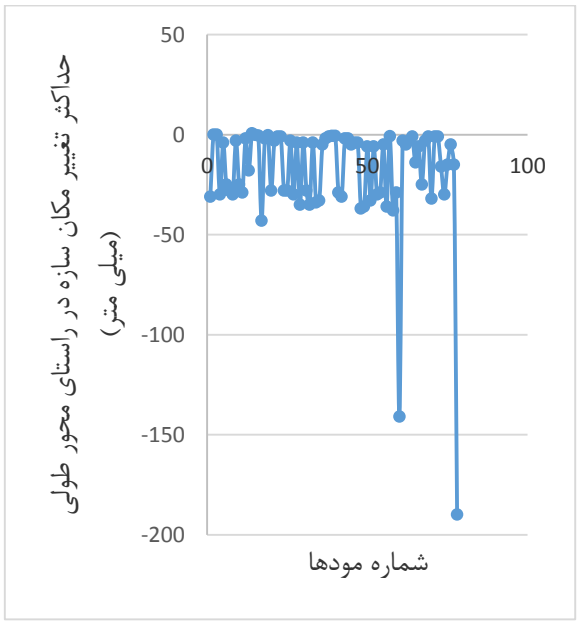
تغییر مکان جانبی حداکثر در سازه تحت بارهای جانبی از مهمترین پارامترهایی است که بایستی در تحلیل و طراحی سازه مد نظر قرار گیرد تا در سازه تغییر شکل غیر قابل پیش‌بینی به وجود نیاید. در آنالیز دینامیکی طیفی بر اساس بند ۴-۳ آئین‌نامه ۲۸۰۰ بایستی مقادیر تغییر مکان جانبی برای هر مود بصورت مجزا حساب گردد. بنابراین در این قسمت ، حداکثر میزان تغییرمکان جانبی طبقات و جهات آنها در راستاهای طولی و عرضی سازه که تحت مودهای ارتعاشی سازه از طریق مدلسازی در نرم‌افزار حاصل گردیده‌اند مد نظر قرار گرفته است.

۶-۴-۱ -تغییر مکان حداکثر و حداقل سازه در راستای محور طولی

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب تغییر مکان‌های حداکثر و حداقل سازه را در راستای محور طولی تحت بارهای جانبی و مودهای مختلف نشان می‌دهند.



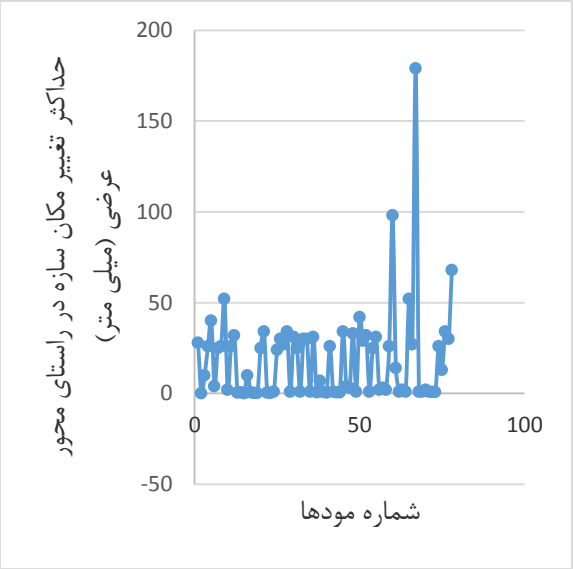
شکل ۱۲ –حداکثر تغییر مکان سازه در راستای محور طولی تحت مودهای مختلف در جهت مثبت



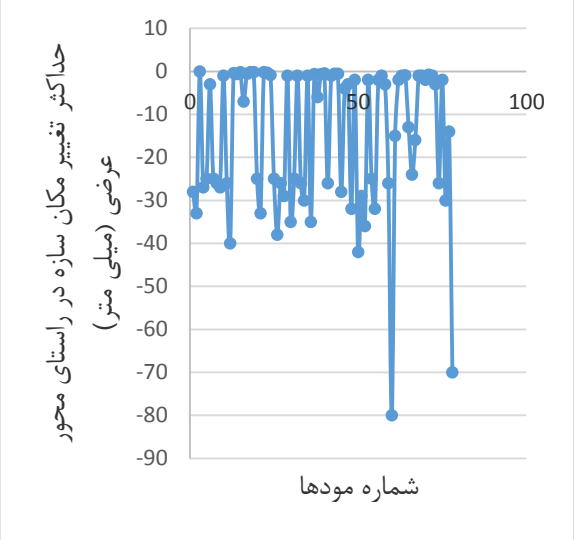
شکل ۱۳– حداکثر تغییر مکان سازه در راستای محور طولی تحت مودهای مختلف در جهت منفی

۶-۴-۲- تغییر مکان حداکثر و حداقل سازه در راستای محور عرضی

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب تغییر مکان‌های حداکثر سازه را در راستای محور عرضی در جهات مثبت و منفی تحت بارهای جانبی و مودهای مختلف نشان می‌دهند.



شکل ۱۴ – حداکثر تغییر مکان سازه در راستای محور عرضی تحت مودهای مختلف در جهت مثبت



شکل ۱۵ – حداکثر تغییر مکان سازه در راستای محور عرضی تحت مودهای مختلف در جهت منفی

۷- نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی و طراحی سازه ۲۶ طبقه مدل‌سازی شده

نتایج بدست آمده از سازه ۲۶ طبقه تحلیل و طراحی شده در نرم‌افزار SAP 2000 بصورت زیر بیان می شود :

۱) زمان تناوب سازه ۲۶ طبقه مدلسازی شده در نرم‌افزار را بر حسب مودهای نوسانی آن تعیین می‌گردد. بر این اساس تراکم مودهای نوسانی (حدود ۹۵٪ مودها) در زمان‌های تناوب پایین (کوچکتر از ۰٫۶ ثانیه) اتفاق افتاده و این زمان‌های تناوب کوچک در مودهای بالاتر سازه مشاهده می‌گردد.

۲) در مواردی که مجموع جرم‌های موثر در راستاهای مختلف سازه بیش از ۹۰٪ جرم سازه باشد آن مود سازه موثر ارزیابی شده است. در سازه مورد نظر مجموع جرم‌های موثر با درصد بیشتر در مودهای بالاتر سازه اتفاق می‌افتد.

۳) با توجه با منظم بودن سازه ساختمان از نظر آئین‌نامه و دارا نبودن تغییر در پلان و طبقه نرم، ضریب هم پایه‌سازی استاتیکی معادل برای آن محاسبه گردید، ولی به سبب کوچکتر بودن ضریب هم پایه‌سازی از ۱ ، نیازی به اعمال این ضریب در سازه نمی‌باشد و سازه مورد نظر در جهت اطمینان با برش پایه دینامیکی طراحی شده است.

۴) حداکثر تنش کششی در المان‌های صفحه‌ای سازه به حدود ۴۰۰۰ تن بر متر مربع (۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در مود نوسانی شماره ۶۰ و در حالت فشاری به ۸۰۰ تن بر متر مربع (۸۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در مود شماره ۷۸ می‌رسد.

۵) مقادیر تغییر مکان حداکثر در سازه در جهات طولی عموما در محدوده ۰ تا ۵۰ میلی متر قرار گرفته است. اما با بالا رفتن شماره مودها حداکثر این مقادیر به حدود ۲۴۰ میلی‌متر (مود ۷۳) در جهت مثبت محور طولی (X های مثبت) و ۱۹۰ میلی‌متر (مود ۷۸) در جهت منفی محور طولی (X های منفی) رسیده است.

۶) مقادیر تغییر مکان حداکثر در سازه در جهات عرضی عموما در محدوده ۰ تا ۵۰ میلی‌متر قرار گرفته است. اما با بالا رفتن شماره مودها حداکثر این مقادیر به حدود ۱۸۰ میلی‌متر (مود ۶۸) در جهت مثبت محور عرضی (Yهای مثبت) و ۸۰ میلی متر (مود ۵۹) در جهت منفی محور عرضی (Y های منفی) رسیده است.

۷) به سبب بیشتر بودن نسبی بعد عرضی ساختمان (Y) در مقابل بعد طولی آن (X) ، (۴۱۴۰ سانتیمتر در مقابل ۳۹۶۰ سانتیمتر در مقادیر) و سیستم سازه‌ای یکسان در

هردو، این بعد سختی جانبی بیشتری داشته و بنابراین حداکثر میزان تغییر مکان جانبی در این بعد تا حدودی پایین تر از بعد دیگر به ثبت رسیده است.

۸) حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات با توجه به مقادیر مجاز آئین‌نامه‌ای و ارتفاع سازه مورد نظر (۱۰۱ متر از فنداسیون و ۹۲ متر از تراز کف زمین) در محدوده مجاز واقع گردیده و سیستم سازه‌ای و مقاطع تخصیص داده شده از این جهت مناسب ارزیابی می‌شوند.

۹) پس از طراحی سازه، مقاطع تیر در تمامی طبقات در محدوده تنشی ۵۰ الی ۷۰ درصد ظرفیت خمشی خود قرار داشتند، حال آنکه این نسبت برای ستون‌های سازه به حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد ظرفیت باربری خود می‌رسید. علت این امر آن است که در سیستم لوله‌ای تیرها بسیار عمیق در نظر گرفته شده و ظرفیت باربری آنها افزایش یافته است.

۹- مراجع

۱- دکتر خیرالدین، حسین جمشیدی – مقایسه سیستم‌های لوله‌ای در ساختمانهای بلند بتن آرمه

۲- دکتر زندی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی–مدیر پروژه در مهندسین مشاور طازند* فرهاد احمدی، دانشجوی دکترای سازه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف– مهندس پروژه مهندسین مشاور طازند – بهسازی لرزه‌ای ساختمان ۱۴ طبقه اسکلت فولادی با هسته مرکزی بتنی مسلح

۳- علی اکبر نادرعلی – دانشجوی کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی جلفا – بررسی ویژگی‌های سازه هسته مرکزی با مهار بازویی و خرپاهای کمربندی در ساختمان‌های بلند با نمونه‌های موردی برج تایپه ۱۰۱ و برج شانگهای

۴- دکترعلی همتی و حمید میرزاحسینی – طراحی بهینه سیستم سازه‌ای لوله در لوله در ساختمان‌های بلند بتن آرمه
http://www.civilica.com/Paper-NCCESDR02-NCCESDR02_006.html

کد COI مقاله: NCCESDR02_006

۵- دکتر نادرپور، دکتر خیرالدین– بررسی پدیده لنگی برش در ساختمان‌های بلند بتن آرمه با سیستم لوله‌ای

6. FEMA 356 – Prestandard & Commentary for the Rehabilitation of Buildings, ASCE, 2000

7. FEMA 450 – NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and otherStructures, 2003

8. KOWALCZYK.R ,“ Tall building – Past , Present and Future Developments” , University of Beira Interior, Covilha , Portugal , July ۱۱-۱۵ , ۲۰۰۵ , Summer School Urban Steel Structures.

9. K. Gbemou, V. Taupin, J.M. Raulot, C. Fressengeas - Building compact dislocation cores in an elasto-plastic model of dislocation fields-Original Research Article International Journal of Plasticity, Volume 82, July 2016, Pages 241-259

Spatial Analysis and Handling of High-rise Buildings from Reinforced Concrete Core Internal Resistant Pipe System under Dynamic Loads on the Tube

Saeed Ghani Shayesteh
Department of civil engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran
Ashkan Khodabandelou
Department of civil engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

Abstract:

The construction of high-rise structures around the world is rapidly increasing and this trend has been accelerated following the rapid economic growth and expansion of cities and increasing demand for space in populated areas. As these skyscrapers reach higher heights, they become a symbol of the power and superiority of technology advancement and economic development. Therefore, the use of new structural systems and modern construction technologies with the aim of reaching taller buildings considered by designers and engineers. In this study, a 26-story structure with 3-story underground with retaining walls is required to design against the lateral soil force of the surrounding area, that has a dual core system with tubular core modelled and dynamic analysis was performed under the influence of earthquake lateral force, and extent of lateral displacement of the structure and changes in force applied to its components were investigated in Sap2000 software. The tube in tube system indicated good performance against gravity and lateral forces and the maximum lateral displacement of the floors was within the permissible range due to the code and height of the structure concerned.

Keywords: High-rise structures, Central Core, Tube in tube System, Dynamic Analysis, Sap2000 Software