بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه

اثرات کمربند خرپایی بر روی پایداری سازه‌های بلند با سیستم هسته مرکزی و مهار بازویی

مؤلف :

حمیده حلاجیان

استاد راهنما :

دکتر رضا رهگذر

استاد مشاور :

دکتر سید مرتضی مرندی

آذر ماه ۱۳۹۳

این پایان نامه به‌عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو : حمیده حلاجیان

استاد راهنما : دکتر رضا رهگذر

استاد مشاور : دکتر سید مرتضی مرندی

داور ۱ : دکتر پیمان ترکزاده ماهانی

داور ۲ : دکتر حسین ابراهیمی

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع : دکتر محمدحسین باقری پور

معاونت آموزشی و پژوهشی دانشکده : دکتر مرتضی زند رحیمی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آنان که از خواسته هایشان گذشتند،

سختی ها را به جان خریدند

و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند

تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم .

تشکر و قدردانی:

با سپاس بی پایان از جناب آقای دکتر رهگذر که در طول نگارش این مجموعه با راهنمایی‌های عالمانه و بجایشان، سکان دار شایسته‌ای در هدایت این پایان نامه بوده‌اند.

چکیده:

در این پایان نامه اثرات کمربند خرپایی و مهار بازویی بر روی پایداری سازه بلند با سیستم هسته مرکزی و مهار بازویی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای تحلیل این نوع سازه اثرات کمربند خرپایی و مهار بازویی به صورت یک ممان متمرکز در محل کمربند خرپایی بر روی هسته برشی مدل می‌شود. این ممان در جهت خلاف دوران ناشی از بار جانبی عمل می‌کند. مدل ریاضی آن شامل محاسبه تغییرشکل جانبی با اعمال تغییراتی بر روی مدل از طریق تحلیل تیر مزدوج برای به دست آوردن بار بحرانی می‌باشد. این روش برای سازه‌هایی با هندسه منظم در ارتفاع بسیار مناسب است و روش خوبی برای مراحل اولیه طراحی و مقایسه آن با آنالیز کامپیوتری و تحلیل اجزا محدودی به حساب می‌آید.

واژه‌های کلیدی: پایداری، سازه بلند، کمربند خرپایی و مهار بازویی، هسته برشی.

فهرست مطالب:

عنوان	صفحه
فصل اول / مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ مروری بر تحقیقات انجام شده	۴
۱-۳ اهداف	۷
فصل دوم / انواع سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی در سازه‌های بلند	۸
۲-۱ تاریخچه ساختمانهای بلند	۹
۲-۲ تعریف برج	۱۱
۲-۳ انواع سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی	۱۲
فصل سوم / روشهای ارائه شده برای پایداری سازه	۱۹
۳-۱ مقدمه	۲۰
۳-۲ روش فرکانس برای پایداری سازه‌های منظم در ارتفاع	۲۰
۳-۳ روش تیموشینکو برای یافتن بار بحرانی سازه بلند	۲۴
فصل چهارم / تأثیر کمربند خرپایی بر روی پایداری سازه بلند	۳۱

۴-۱ مقدمه ۳۲

۴-۲ مدل سازی هسته برشی و مهار بازویی ۳۲

۴-۳ محاسبه بار بحرانی تحت اثر کمربند خرپایی ۳۵

۴-۴ محاسبه بار بحرانی سازه بلند با دو کمربند خرپایی و مهار بازویی صلب ۵۰

فصل پنجم / نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۷

۵-۱ نتیجه گیری ۶۸

۵-۲ پیشنهاداتی برای مطالعات آینده ۷۰

مراجع ۷۱

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۲-۱) ساختمانهای مرتفع	۱۰
شکل (۲-۲) انواع برج	۱۱
شکل (۲-۳) انواع مهاربندها	۱۴
شکل (۲-۴) اندرکنش قاب صلب و قاب مهار بندی شده	۱۵
شکل(۲-۵) تاثیر کمربند خرپایی در قاب مهاربندی شده	۱۸
شکل(۲-۶) قاب محیطی مهاربندی شده	۱۸
شکل (۳-۱) مدل تحلیلی سازه تحت اثر بار محوری متمرکز	۲۵
شکل (۳-۲) مدل تحلیلی سازه تحت اثر بار محوری گسترده یکنواخت	۲۷
شکل (۴-۱) مقطع سیستم مهار بازویی هسته مرکزی	۳۳
شکل(۴-۲) معادل سازی لنگر فنر پیچشی با کوپل نیرو	۳۴
شکل (۴-۳) رفتار سیستم مهار بازویی و هسته برشی	۳۵
شکل (۴-۴) مدل تحلیلی سازه تحت بار گسترده یکنواخت برای یافتن θ_a	۳۶
شکل (۴-۵) مدل تحلیلی تیر مزدوج برای بار گسترده یکنواخت	۳۹
شکل (۴-۶) مدل تحلیلی سازه تحت بار گسترده خطی برای یافتن θ_a	۴۱
شکل (۴-۷) مدل تحلیلی تیر مزدوج برای بار گسترده خطی	۴۳

شکل (۴-۸) مدل تحلیلی سازه تحت بار متمرکز برای یافتن θ_a ۴۵

شکل (۴-۹) مدل تحلیلی تیر مزدوج برای بار متمرکز ۴۷

شکل (۴-۱۰) مدل تحلیلی سازه با دو مهار بازویی ۵۱

شکل (۴-۱۱) معادل سازی لنگر فنرهای پیچشی با کوپل نیروها ۵۲

شکل (۴-۱۲) مدل تحلیلی سازه بلند با دو مهار بازویی تحت بار گسترده یکنواخت برای یافتن θ_a و θ_b ۵۴

شکل (۴-۱۳) مدل تحلیلی تیر مزدوج سازه بلند با دو مهار بازویی تحت بار گسترده یکنواخت ۵۸

شکل (۴-۱۴) مدل تحلیلی سازه بلند با دو مهار بازویی تحت بار گسترده خطی برای یافتن θ_a و θ_b ۶۰

شکل (۴-۱۵) مدل تحلیلی تیر مزدوج سازه بلند با دو مهار بازویی تحت بار گسترده خطی ۶۱

شکل (۴-۱۶) مدل تحلیلی سازه بلند با دو مهار بازویی تحت بار متمرکز انتهای سازه برای یافتن θ_a و θ_b ۶۲

شکل (۴-۱۷) مدل تحلیلی تیر مزدوج سازه بلند با دو مهار بازویی تحت بار متمرکز ۶۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۳-۱) ضریب اصلاح r_s	۲۱
جدول (۳-۲) ضریب بار بحرانی α	۲۲
جدول (۳-۳) ضریب اصلاح r_f	۲۳
جدول (۳-۴) فرکانس η	۲۳
جدول (۴-۱) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج نرم افزار برای سازه ۵۰ طبقه با یک مهار بازویی	۴۹
جدول (۴-۲) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج نرم افزار برای سازه ۴۰ طبقه با یک مهار بازویی	۴۹
جدول (۴-۳) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج نرم افزار برای سازه ۳۰ طبقه با یک مهار بازویی	۵۰
جدول (۴-۴) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج نرم افزار برای سازه ۵۰ طبقه با دو مهار بازویی	۶۵
جدول (۴-۵) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج نرم افزار برای سازه ۴۰ طبقه با دو مهار بازویی	۶۵
جدول (۴-۶) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج نرم افزار برای سازه ۳۰ طبقه با دو مهار بازویی	۶۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

از ابتدای تمدن بشری، برجها و ساختمانهای بلند مورد توجه بوده اند. ساخت ساختمانهای بلند ابتدا با هدف دفاع شروع شده و سپس جنبه های نمادی وکاربردی پیدا کرد. رشد و توسعه ساختمانهای بلند جدید در دهه ۸۰ قرن نوزدهم با کاربرد تجاری و مسکونی شروع گردید. ایجاد ساختمانهای تجاری در ابتدا پاسخی به تقاضای جامعه بازرگانی بود، که نیاز داشتند تا حد امکان به یکدیگر و به مراکز شهرها نزدیک باشند. این مساله باعث شدکه بر فضای افقی محدوده مراکز شهرها فشار زیادی اعمال گردد. سازه های بلند به خاطر این که معمولا از نظر ظاهری شاخص هستند، مدیریتهای تجاری از آن به عنوان وسیله تبلیغی نیز استفاده می کنند. ازطرف دیگر جامعه تجاری و توریستی، به دلیل کثرت مراجعه و بازدهی اقتصادی مطلوب، علاقه مند به ایجاد هتلهای مرتفع در مراکز شهرها می باشد. افزایش قیمت زمین، نیاز به محدود نمودن گسترش افقی شهرها و حفظ زمینهای کشاورزی از عواملی هستند که بر توسعه و ساخت سازه های بلند موثر بوده‌ا ند. ضمنا در بعضی شهرها مانند هنگ کنگ و ریودوژاینرو، بخاطر شرایط توپوگرافی منطقه، ساخت سازه های بلند تنها راه حل تامین مسکن است.

طرح ساختمان های بلند، چه برای استفاده های واحدی مانند آپارتمانها، ادارات، مدارس، بیمارستانها و یا برای استفاده های گوناگون با مقیاس بزرگتر نیاز به تشریک مساعی بین گروههای مختلف طراح، سازنده مصالح و اجرای ساختمان دارد. ایجاد ساختمانهای بلند علیرغم پیشرفت و گسترش دامنه‌های فنی مربوط به خود، همواره با انتقاداتی از نظر اجتماعی، اقتصادی، محیطی و کالبدی و دیگر وجوه مربوط به آن در عرصه‌های شهری روبرو بوده است. در چهارچوب این مباحث، موقعیت ایجاد ساختمانهای بلند از نظر کالبدی (physical) در قالب کاربری اراضی شهری جایگاه ویژه‌ای داشته است. این جایگاه از آن نظر اهمیت دارد که به رغم بسیاری از دست اندرکاران و متخصصان شهر سازی، برنامه ریزی مناسب کاربری زمین شهری که در آن موقعیت ساختمانهای بلند نیز قابل جایابی باشد، می‌تواند در کاهش بسیاری از عوارض اجتماعی و هزینه‌های اقتصادی و تنظیم شرایط محیطی نقش تعیین کننده‌ای داشته باشد. هدف از ایجاد ساختمانهای بلند، استفاده از فضای بیشتر به منظور پاسخگویی به نیازهای مختلف شهروندان است. این مورد ضمن صرفه جویی در مصرف زمین و تسهیم قیمت آن به نسبت استفاده کنندگان، راه حلی در جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه زمین، مقابله با کمبود آن و گسترده شدن سطوح شهری محسوب می شود. اگر چه در سطح شهرهای جهان،

ایجاد ساختمانهای بلند، بیشتر در اراضی متراکم و گران قیمت شهرها و بویژه در محدوده های تجاری و اداری و غالبا در جهت پاسخ به همین عملکردها صورت می گیرد. در عصر صنعت، کشورهای پیشرفته صنعتی در ایجاد ساختمانهای بلند تجربه بیشتری دارند ولی این پدیده در شهرهای بزرگ و پر تراکم کشورهای در حال توسعه نیز در طول چند دهه اخیر شدت یافته است. هدف از ایجاد ساختمانهای بلند بیشتر از آن جهت است که ضمن صرفه جویی در مساحت زمین و سرشکن کردن قیمت آن برای ساکنان، قیمت مسکن را با سطح درآمد خانوارها هماهنگ ساخته و راه حل مناسبی را در جهت پاسخگویی به نیاز مسکونی ساکنان شهرها در پیش روی می گذارد. از همین روی استفاده از ساختمانهای بلند مسکونی چه از نظر سطح درآمد متقاضیان و چه از نظر حل مشکلات سازمان‌های شهری چاره‌ای مناسب به شمار می آید. در عین حال قبل از ایجاد ساختمانهای مرتفع مسکونی، باید تمهیدات مقدماتی لازم در زمینه همجواری‌های شهری، ظرفیت راه‌ها، تاسیسات عمومی و زیر بنایی شهر انجام گرفته باشد. پس از در نظر گرفتن کلیه جوانب ایجاد یک سازه بلند می‌باید سیستم سازه‌ای مناسبی برای ساختمان تعبیه گردد. یکی از مهمترین مسائل پیش روی طراحان انتخاب نوع سیستم مقاوم در برابر بارهای اعمالی به ساختمان است. با در نظر گرفتن هر یک از انواع سیستم‌های سازه‌ای نمی‌توان به راه‌حل معقول و بهینه‌ای دست یافت.

لازم است که طراح بتواند بهترین نوع سیستم سازه ای را مشخص کرده و طراحی را بر اساس آن انجام دهد. یکی از راههای اقتصادی پذیرفته شده جهت احداث ساختمانهای بلند استفاده از قاب محیطی است. فرم اولیه قابهای محیطی شامل ستونهایی نزدیک بهم در پیرامون سازه می باشد که در تراز طبقات توسط تیرهای عمیق به یکدیگر متصل شده اند و تشکیل یک قوطی مستطیلی شکل شامل چهار قاب صلب عمود بر هم را می دهند. در قابهای محیطی متغیرهای زیادی باعث توزیع نیروهای داخلی می گردد که از آن جمله می توان به ممان اینرسی، سطح مقطع تیر و ستونها، فاصله بین ستونها، ارتفاع طبقات، ابعاد سازه و غیره اشاره کرد. رفتار قابهای محیطی بسیار پیچیده‌تر از رفتار یک مقطع قوطی شکل می باشد و در عین حال سختی آن نیز کمتر است. اگرچه سیستم قاب محیطی سازه ای پر بازده برای مقابله در برابر نیروهای جانبی است، ولی پتانسیل سختی آن با رفتار طره‌ای قابهای جان (در اثر خمش ستونها و تیرها) و لنگی برش در قابهای بال که موجب تقلیل سهم آنها در تحمل لنگرهای خمشی می‌شود، کاهش می‌یابد و در نتیجه تغییرمکان جانبی قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت. افزایش تنش‌های محوری در ستونهای کناری و کاهش آن در ستونهای میانی لنگی برش مثبت و افزایش

تنش‌های محوری در ستونهای میانی و کاهش آن در ستونهای کناری لنگی برش منفی می‌باشد. روشهای متعددی جهت کاهش تغییرمکان و لنگی برش ارائه شده است. مثلا با افزودن پانل‌های جان متشکل از قابهای میانی در سرتاسر عرض ساختمان و ایجاد یک سازه قاب محیطی دسته شده یا گروه‌بندی شده، لنگی برش به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. راه حل عملی دیگر جهت افزایش بازدهی سازه‌های قاب محیطی، اضافه کردن مهاربندی‌های قطری به وجوه سازه می‌باشد. در این حالت، فاصله ستونهای خارجی زیاد می‌شوند و اعضای قطری که معمولاً به زاویه ۴۵ درجه نسبت به قائم قرار می‌گیرند، ستونهای خارجی و تیرهای کناری را به یکدیگر وصل نموده و تشکیل قابهای مهاربندی شده در نمای ساختمان می‌دهند. همچنین با افزودن کمربندی خرپایی به سازه قاب محیطی می‌توان توزیع تنش‌ها و تغییرمکان‌ها را متعادل کرد. در صورت اضافه شدن هسته مرکزی و اتصال آن به کمربند خرپایی که توسط مهارهای بازویی انجام می‌گیرد، یک سازه محیطی طره بسیار صلب که رفتاری نزدیک به سازه جداره‌ای صلب کامل دارد، ایجاد می‌گردد. جهت تسریع در آنالیز سازه و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف موثر در رفتار سازه نیاز به ارائه روشی جهت آنالیز تقریبی قاب محیطی و کمربند خرپایی می‌باشد. علاوه بر این روش‌های تقریبی جهت آنالیز سازه، نیاز به داده‌های کمتری در قیاس با روش‌های تحلیل دقیق دارند و در نتیجه زمان تحلیل سازه در کامپیوترهای شخصی کاهش چشمگیری می‌یابد.

۱-۲ مروری بر تحقیقات انجام شده

یکی از مهمترین مسائل در سازه‌های بلند انتخاب فرم سازه‌ای مناسب برای تحمل بارهای جانبی است. حساسیت سازه‌های بلند در برابر بارهای جانبی به مراتب بیشتر از بارهای ثقلی است. در صورتی که ارتفاع سازه از حدی بیشتر شود، دیگر روش‌های متداول برای مهاربندی این سازه‌ها کفایت نمی‌کند. سیستم‌های سازه‌ای متعددی جهت بهبود مقاومت سازه‌های بلند در مقابل بارهای جانبی وجود دارد، ازجمله: سیستم قاب خمشی، قاب مهاربندی شده، دیوار برشی، قاب محیطی، قاب محیطی دسته‌بندی شده، هسته مرکزی، سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی را می‌توان نام برد [۱ و ۲]. رفتار قاب محیطی در برابر بارهای جانبی شبیه یک تیر طره قوطی شکل می‌باشد. آنالیز تیرهای طره قوطی شکل نیز طبق قوانین مقاومت مصالح مقدماتی با رابطه خمش کلاسیک قابل محاسبه است. لیکن رفتار پیچیده قابهای محیطی باعث می‌شود که فرض اولر- برنولی در آنالیز این نوع سازه صادق نباشد

[۳].جهت آنالیز قابهای محیطی روش‌های متعددی ارائه شـده اسـت. کول *(Coull)* و بوس *(Bose)* در سـال ۱۹۷۵ روشـی را بر اسـاس تئوری الاسـتیسـیته ارائه نمودند. در این روش سازه به صورت صفحات ارتوتروپیک معادل، مدل‌سـازی شـده و روابط تعادل و سـازگاری در سـازه معادل ارضـاء می‌گردند [۴].کول *(Coull)* و احمد *(Ahmed)* درسـال ۱۹۷۸ روشـی را جهت بدسـت آوردن تغییرمکان قاب محیطی ارائه کردند [۵]. کوان *(Kwan)* در سـال ۱۹۹۴ با اسـتفاده از صـفحه‌های ارتوتروپیک معادل، روابط انرژی و روابط تئوری الاسـتیسـیته، معادلاتی را برای تعیین تنش در سـتون‌ها و همچنین بدسـت آوردن تغییرمکـان جانبی سـازه قاب محیطی ارائه نمود [۶].کانور *(Connor)* و پوانگر *(Pouangare)* درسـال ۱۹۹۱ روش پنج عضـو قائم را پیشـنهاد نمودند که در آن سـازه به تیرها و صفحه‌های عمودی، معادل سـازی می‌شـود و با محاسـبه سـختی برشـی و خمشی اعضاء، روابطی برای تنش‌های موجود در سـتون‌ها بدسـت می‌آید [۷]. روش‌های متعدد دیگری نیز جهت آنالیز قاب‌های محیطی ارائه شده است [۸–۱۱].

جهت افزایش بازدهی سازه و نزدیک کردن رفتار قاب محیطی به رفتار جداره‌ای صلب کامل، فرم سـنتی این نوع قاب‌ها دسـتخوش تغییرات گوناگونی گردیده اسـت که از آن جمله می‌توان به افزودن پانل‌های میانی در سـرتاسـر عرض سـازه، ایجاد مهاربندی‌های کلی در وجوه سـازه [۱۲] و همچنین افزودن هسـته مرکزی و کمربند خرپایی اشـاره کرد [۱۵–۱۳]. یکی دیگر از روش‌ها جهت بهبود رفتار قـاب محیطی، افزودن قـاب‌هـای محیطی داخلی به سـازه اولیه می‌باشـد. در این حالت توزیع تنش و تغییرمکان تعدیل چشـمگیری می‌یابند [۱۶ و ۱۷]. جهت بررسـی پارامترهای موثر بر رفتار سازه ترکیبی قاب محیطی، هسـته مرکزی و کمربند خرپایی نیاز به شـناخت رفتار و عملکرد تک‌تک سـازه‌های تشکیل دهنده سیستم ترکیبی می‌باشد. رفتار هسته مرکزی تحت اثر پیچش و نیز تاثیر پدیده لنگی برش بر این سـازه در مراجع [۱۴ و ۱۸] بررسـی شـده اسـت. رفتار مهارهای بازویی و کمربند خرپایی در سیستم‌هایی متفاوت مانند دیوار برشی کوپله و قاب ساده مهاربندی شده و تاثیر آن بر کاهش جابجایی و بهینه کردن رفتار سـازه در مراجع [۲۱–۱۹] آمده است. سیستم‌های ترکیبی موثر و گوناگون سازه‌ای جهت افزایش بازدهی سـازه قاب محیطی وجود دارد، اضافه نمودن هسته مرکزی و کمربند خرپایی به همراه مهـار بـازویی به سـیسـتم قاب محیطی باعث توزیع یکنواخت‌تر تنش محوری در قاب‌های بال وجـان، و همچنین کـاهش جابجایی در بالاترین تراز می‌شـود. در مورد ارتعاش آزاد سـازه‌های بلند

نیزتحقیقات زیادی توسط محققین مختلف انجام شده است که در بیشتر موارد ارتعاش سازه را به ارتعاش یک تیر کنسول مدل کرده‌اند [۳۷-۲۲].

تارجان (*Tarjan*) و کولار (*Kollar*) در سال ۲۰۰۴ آنالیز لرزه‌ای ساختمان‌های با سیستم‌های مقاوم جانبی مختلف از جمله دیوار برشی، سیستم مهاربندی خرپایی، دیوار برشی کوپله و هسته مرکزی را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از روش پیوسته، زمان تناوب ارتعاش آزاد و نیروهای داخلی تیر جایگزین را به طور تقریبی بدست آوردند [۲۸].پس از آن یک روش تقریبی بر اساس سیستم پیوسته، ماتریس انتقال و مدل‌سازی تمامی سازه به یک تیر ساندویچی جهت آنالیز استاتیکی و دینامیکی سیستم دیوار برشی کوپله توسط بزدگان (*Bozdogan*) در سال ۲۰۰۶ ارائه گردید[۳۱]. پس از آن وی در سال ۲۰۰۹ با استفاده از روش جرم متمرکز آنالیز ارتعاش آزاد سازه‌های بلند را مورد بررسی قرار داد[۳۲]. دایم (*Dym*) و ویلیامز (*Wiliams*) در سال ۲۰۰۷ مدلی تقریبی جهت تقریب فرکانس‌های طبیعی و اشکال مودی متناظر در ساختمان‌های بلند پیشنهاد کردند[۳۴]. کاویانی (*Kaviani*) و همکاران در سال ۲۰۰۸ با استفاده از تیر ساندویچی معادل و تئوری فاپل، زمان تناوب ساختمان‌های بلند به همراه سیستم‌های جانبی مقاوم متفاوت از جمله دیوار برشی، قاب خمشی و دیوار برشی کوپله را ارائه کردند[۳۵]. لی (*Lee*) و همکاران در سال ۲۰۰۸ معادلات حاکم بر رفتار سیستم ترکیبی قاب-دیوار برشی به همراه مهارهای بازویی را با استفاده از روش پیوسته و مدلسازی کل سازه به شکل یک تیر طره به همراه فنر را بدست آوردند[۳۶].کانگ (*Kang*) و همکاران در سالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۹ فرکانس‌های طبیعی و اشکال مودی متناظر ارتعاش آزاد سازه‌های بلند را با استفاده از روش مدل‌سازی پیوسته و اصل دالامبر بدست آوردند[۳۰-۲۹].

محققین زیادی رفتار سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی یا سیستم ترکیبی قاب خمشی، هسته مرکزی، مهار بازویی و کمربند خرپایی در ساختمان‌های بلند را مورد بررسی قرار داده‌اند [۴۷-۳۷ و ۱۵، ۱۳]. سوادیجپونگ (*Swaddiwudhipong*) و همکاران در سال ۲۰۰۱ اندرکنش سیستم ترکیبی قاب و هسته مرکزی در سازه‌های بلند را مورد بررسی قرار دادند[۲۶]. یک روش ساده تقریبی جهت آنالیز سازه‌های با مهار بازویی توسط اسمیت (*Smith*) و کول (*Coull*) در سال ۱۹۹۱ [۴۴] و تارنات (*Taranath*) در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید[۱۳]. همچنین هندرکمپ (*Hoenderkamp*) و بیکر (*Bakker*) در سال ۲۰۰۳ و هندرکمپ (*Hoenderkamp*) در سال ۲۰۰۴ اثرات سیستم دیوار برشی به همراه کمربند خرپایی بر روی تغییرمکان جانبی سازه را با استفاده از یک مدل ساده مورد بررسی قرار دادند

[۲۰ و ۲۱]. در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ رهگذر و همکاران توزیع تنش و جابجایی سیستم ترکیبی قاب محیطی، هسته مرکزی به همراه مهار بازویی و کمربند خرپایی در ساختمان‌های بلند را با استفاده از یک مدل ساده بدست آوردند [۴۸] و [۴۹].

۱-۳ اهداف

به منظور افزایش بازدهی سازه قاب محیطی روش‌های متعددی معرفی گردیده است. سیستم ترکیبی قاب محیطی، هسته مرکزی، مهار بازویی و کمربند خرپایی یکی از این روش‌هاست. جهت کاهش تغییرمکان جانبی قاب محیطی، می‌توان یک هسته مرکزی با صلبیت نسبتاً زیاد را با آن ترکیب کرد. هنگامی که مهارهای بازویی و کمربندهای خرپایی به این سیستم افزوده گردد و در بهترین شرایط از لحاظ موقعیت قرار گیرند، تغییرمکان جانبی سازه کاهش بیشتری خواهد داشت.

متداول است که جهت مدلسازی این سیستم ترکیبی، هسته مرکزی با یک تیر طره معادل‌سازی گردد و اندرکنش قاب محیطی و هسته مرکزی با سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی، به صورت فنر پیچشی در محل قرارگیری مهار بازویی و کمربند خرپایی مدل شود. فنر پیچشی در خلاف جهت دوران ناشی از بارهای جانبی عمل می‌کند و باعث کاهش جابه‌جایی جانبی شده و مقدار بار بحرانی افرایش می‌یابد.

در گذشته تحقیقات بسیاری جهت یافتن مقدار بار بحرانی سازه بلند بدون در نظر گرفتن کمربند خرپایی صورت گرفته است و نتایج قابل قبولی نیز بدست آمده است.

در این پایان نامه با استفاده از تحلیل تیر مزدوج، مقدار بار بحرانی تحت اثر مهار بازویی و کمربند خرپایی در حالتهای زیر تعیین و نشان داده شده است که نتایج این تحقیق همخوانی زیادی با نتایج آنالیز کامپیوتری دارد.

۱. تعیین مقدار بار بحرانی یک سازه با سیستم ترکیبی تحت اثر یک مهار بازویی و کمربند خرپایی صلب با استفاده از تحلیل تیر مزدوج
۲. تعیین مقدار بار بحرانی یک سازه با سیستم ترکیبی تحت اثر دو مهار بازویی و کمربند خرپایی صلب با استفاده از تحلیل تیر مزدو

فصل دوم

مروری بر مقاوم سازی سازه‌های بلند

۲-۱ تاریخچه ساختمانهای بلند

در طول تاریخ انسان همواره به دنبال صعود به اوج و فاصله گرفتن از زمین خاکی بوده است. این آرزو با تلاش انسان در بالا رفتن از کوه‌ها، ساختن ساختمانهای بلند و در انتها به پرواز بر فراز آسمان و فراتر از آن همراه بوده است. در روزگار قدیم و کهن سکنی گزیدن بر بالاترین مکان یک منطقه، نشانگر قدرت و اقتدار اشخاص بوده است. بنابراین بهترین عامل ساخت سازه‌های بلند کهن و قدیمی مانند برج بابل، مجسمه بزرگ رودز (Rhodes) ، معابد مایان (Mayan) در مکزیک و مناره کاتاب (Kutub) در هند، فخر و مباهات بوده است. اما درحال حاضر علاوه بر عوامل فوق باید به مسائل اجتماعی و اقتصادی مانند رشد جمعیت و ازدحام آن در شهرها و غیره اشاره نمود، بطوریکه گسترش عمودی شهرهای بزرگ تنها راه چاره برای مهار جمعیت در سطح کم می‌باشد. مصالح ساختمانی در ساختمان‌سازی یکی از مسائل مهم و تعیین کننده است بطوریکه در سالیان گذشته مردم از مواد در دسترس نظیر چوب و سنگ استفاده می‌کردند ولی چوب مقاومت کافی برای سازه‌های بلند را نداشت و همچنین مقاومت آن در برابر آتش‌سوزی بسیار ناچیز بود. مصالح بنایی در سال ۱۸۹۱ با احداث ساختمان مونادنک (Monadnock) در ۱۶ طبقه با ۶۴ متر ارتفاع در شهر شیکاگو به اوج خود رسید.

پس از آن در سال ۱۸۹۹ ساختمان ۹ طبقه (Rand-McNally) با قابهای فولادی ساخته شد. دوسال بعد در شیکاگو، مهاربندی های قطری معرفی و در قابهای خارجی ساختمان ۲۰ طبقه (Masonic Temple) برای ایجاد خرپاهای قائم استفاده گردید. در سال ۱۹۰۵ ساختمان ۵۰ طبقه برج متروپولیتن (Metropolitan) و به دنبال آن در سال ۱۹۳۱ ساختمان ۱۰۲ طبقه امپایراستیت (Empire State) به ارتفاع ۳۸۱ متر در نیویورک ساخته شد. ساختمانهای جان هانکوک (John Hancock) در شهر شیکاگو به ارتفاع ۳۴۴ متر و مرکز تجارت جهانی (World Trade Center) در شهر نیویورک به ارتفاع ۴۱۲ متر در سال ۱۹۶۸ ساخته شدند. برج سیرز (Sears Tower) در ۱۱۰ طبقه به ارتفاع ۴۴۲ متر در شهر شیکاگو در سال ۱۹۷۴ احداث گردید [۵۰]. برج مخابراتی تورنتو به بلندی ۱۸۰۰ فوت در کانادا احداث شد. برجهای دوقلوی پطروناس (Petronas) در سال ۱۹۹۶ به ارتفاع ۴۵۲ متر بنا نهاده شدند که بلندترین برجهای دنیا به شمار می‌روند. در سالهای ۱۸۹۰ بتن بعنوان یکی از مصالح سازه‌ای رایج مطرح شد. اوگوست پرت (Auguste Perret) اولین کسی بود که اسکلت بتن مسلح را در سازه‌های بلند و ساختمان آپارتمانی خود واقع در پاریس در سال ۱۹۰۳ به کاربرد و بتن را از لحاظ معماری نمایان کرد. در همین زمان ساختمان ۱۶ طبقه اینگال (Ingall) در سن سناتی (Cincinati)