بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
دانشکده فنی ومهندسی
گروه عمران

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران – سازه

بررسی اثر پدیده تأخیر برش در سازه‌های بلند با سیستم لوله‌ای و سیستم دیوار برشی و مهاربند تحت بار جانبی(باد) با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا امامی آزادی

پژوهشگر:

مسعود باقری

شهریور/ ۱۳۹۱

تبریز/ ایران

تقدیم به:

پدر، مادر و همسر عزیزم

و به تمام آزاد مردانی که نیک می‌اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نمـوده و جـز رضـای الهـی و پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند.

تقدیر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر محمد رضا امامی آزادی به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از اساتید محترم، آقایان دکتر عبدالحسین فلاحی و دکتر بهمن فرهمند آذر بخاطر قبول زحمت داوری و حضور در جلسه دفاع سپاسگزاری می‌نمایم.

مسعود باقری

شهریور – ۹۱

تبریز، ایران

فهرست مطالب

فهرست جداول.....د

فهرست اشکال.....و

فصل اول: مقدمه.....۱-٤

۱-۱- کلیات.....۱

۱-۲- تعریف مساله.....۲

۱-۳- اهداف پایان نامه.....۲

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه.....۳

فصل دوم: کلیاتی در رابطه با سازه‌های بلند،سیستم‌های سازه‌ای متداول و طراحی ابتدایی.....۵-۳۸

۲-۱- تاریخچه کلی ساختمان‌های بلند ۵

۲-۲- پیشرفت سیستم‌های سازه‌ای.....٦

۲-۳- بهای بیشتر(وزن سازه‌ای بیشتر) بخاطر ارتفاع ۸

۲-٤- سیستم های سازه ای ساختمان های بلند.....۹

۲-۵- طبقه بندی سیستم‌های سازه‌ای.....۱۱

۲-٦- سازه‌های داخلی.....۱۲

۲-٦-۱- قاب خمشی.....۱۵

۲-٦-۲- قاب‌های مهاربندی شده.....۱۵

۲-٦-۳- دیوارهای برشی.....۱۷

۲-٦-٤- سیستم اندرکنشی قاب- دیوار برشی (یا خرپای برشی).....۱۸

۲-٦-۵- سیستم‌های بازویی.....۱۹

۲-۷- سازه‌های بیرونی.....۲۲

۲-۷-۱- سیستم لوله قاب بندی شده.....۲۳

۲-۷-۲- سیستم لوله مهاربندی شده.....۲۵

۲-۷-۳- سیستم لوله دسته شده.....۲٦

۲-۷-٤- سیستم لوله-در-لوله.....۲۷

۲-۷-۵- سیستم شبکه بندی قطری.....۲۸
۲-۷-٦- خرپای فضایی.....۳۱
۲-۷-۷- سوپر فریم‌ها.....۳۱
۲-۷-۸- سازه‌های اسکلت خارجی.....۳۲
۲-۸- طراحی اولیه سازه‌های بلند.....۳۲
۲-۹- سیستم‌های سازه‌ای بهینه-مسائل طراحی.....۳۳
۲-۱۰- انتخاب اولیه سیستم‌های سازه‌ای.....۳۳
۲-۱۱- بهینه سازی سیستم‌های سازه‌ای مختلف.....۳٦
فصل سوم: پدیده تأخیر برشی.....۳۹-٤۹
۳-۱- مقدمه‌ای بر تأخیر برشی ۳۹
۳-۲- تأخیر برشی در سازه‌های لوله قاب بندی شده.....٤٤
فصل چهارم: مدلسازی و تحلیل.....۵۰-۱۱۳
٤-۱ مقدمه ۵۰
٤-۲- مدلسازی.....۵۱
٤-۳- بارگذاری.....۵۲
٤-۳-۱- بارگذاری آیین نامه‌ای باد.....۵۲
٤-۳-۱- ۱- روش ساده شده.....۵۲
٤-۳-۱- ۲- روش تحلیلی.....۵۳
٤-۳-۲- بارگذاری به روش بار یکنواخت استاتیکی معادل بار باد.....۵٤
٤-٤- روند تحلیل و بررسی نتایج.....۵٦
٤-۵- مقایسه بارگذاری آیین نامه‌ای باد با بار گسترده یکنواخت معادل باد در بررسی تأخیر برش.....۵۸
٤-٦- تأخیر برشی در سیستم لوله مهاربندی شده.....٦۱
٤-٦-۱- مطالعه پارامتریک در لوله مهاربندی شده.....٦۱
٤-٦-۲- مشخصات مدل‌ها و تغییرات زاویه.....٦۲
٤-٦-۳- روند تحلیل و بررسی نتایج.....٦۲

٤-٧- تاخیر برشی در سیستم لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم.....٦٩
٤-٧-١- مطالعه پارامتریک در سیستم لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم.....٧٠
٤-٧-٢- مشخصات مدل‌های لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم.....٧٠
٤-٧-٣- روند تحلیل و بررسی نتایج در سیستم لوله قاب بندی با مهاربندی‌های مرسوم.....٧١
٤-٨- تاخیر برشی در سیستم لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی.....٧٧
٤-٨-١- مطالعه پارامتریک در لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی.....٧٨
٤-٨-٢- مشخصات مدل‌ها و آرایش‌های در نظر گرفته شده.....٧٨
٤-٨-٣- روند تحلیل و بررسی نتایج در لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی.....٧٩
٤-٩- تاخیر برشی در سیستم لوله قاب بندی دارای هسته بتنی.....٨٦
٤-٩-١- پارامترهای در نظر گرفته شده در سیستم لوله قاب بندی دارای هسته بتنی.....٨٦
٤-٩-٢- مشخصات مدل و هسته استفاده شده در داخل لوله قاب بندی شده.....٨٦
٤-٩-٣- روند تحلیل و بررسی نتایج سیستم لوله قاب بندی شده دارای هسته بتنی.....٨٧
٤-١٠- تاثیر ستون‌های گوشه در شدت تاخیر برشی در سیستم لوله قاب بندی شد.....٩٠
٤-١٠-١- پارامترهای در نظر گرفته شده.....٩٠
٤-١٠-٢- مشخصات مدل‌های در نظر گرفته شده.....٩٠
٤-١٠-٣- روند تحلیل و بررسی نتایج لوله قاب بندی شده با ستون‌های سخت‌تر گوشه.....٩٢
٤-١٠-٤- روند تحلیل و بررسی نتایج حذف ستون‌های گوشه لوله قاب بندی شده.....٩٤
٤-١١- تاثیر موقعیت قرار گیری ستون‌های با مقطع مستطیلی در شدت تاخیر برشی.....١٠٠
٤-١١-١- مطالعه پارامتریک.....١٠١
٤-١١-٢- مشخصات مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی.....١٠٢
٤-١١-٣- روند تحلیل و بررسی نتایج.....١٠٢
٤-١٢- تاثیر شکل پلان لوله قاب بندی شده در شدت تأخیر برش.....١٠٨
٤-١٢-١- مشخصات مدل‌ها.....١٠٩
٤-١٢-٢- روند تحلیل و بررسی نتایج.....١٠٩
٤-١٣- تاثیر تعداد طبقات لوله قاب بندی شده در شدت تاخیر برشی.....١١١
٤-١٣-١- مشخصات مدل‌ها.....١١٢

٤-١٣-٢- روند تحلیل و بررسی نتایج.....١١٢

فصل پنجم: بررسی پدیده تأخیر برشی با درنظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه.....١٢٩-١١٤

٥-١- مقدمه.....١١٤

٥-٢- بررسی مسأله اندرکنش با استفاده از روش فنر و کمک فنر معادل.....١١٥

٥-٢-١- مشخصات خاک در نظر گرفته شده.....١١٦

٥-٢-٢-بدست آوردن سختی فنر معادل خاک اطراف شمع‌ها درجهات افقی با استفاده ازمنحنی‌های p-y.....١١٨

٥-٢-٣- بدست آوردن سختی فنر معادل خاک اطراف شمع‌ها درجهت عمودی بااستفاده ازمنحنی‌های t-z....١٢٠

٥-٢-٤- بدست آوردن سختی فنر معادل خاک در نوک شمع با استفاده از منحنی‌های q-z.....١٢١

٥-٢-٥- بدست آوردن میرایی لایه‌های ١ متری خاک تا عمق ٢٠ متری.....١٢١

٥-٣- بررسی تأخیر برشی با لحاظ نمودن اندرکنش خاک و سازه در لوله قاب بندی شده.....١٢٢

٥-٣-١- روند تحلیل و بررسی نتایج حاصل از تحلیل.....١٢٢

٥-٣-٢- مقایسه شدت تأخیر برشی با مدل اصلی.....١٢٣

٥-٤- بررسی تأخیر برشی با لحاظ نمودن اندرکنش خاک و سازه در لوله مهاربندی شده.....١٢٥

٥-٤-١- روند تحلیل و بررسی نتایج.....١٢٥

٥-٤-٢- تأثیر در نظر گرفتن اندرکنش بر تأخیر برشی در لوله‌های مهاربندی شده و مقایسه مدل‌ها...١٢٧

فصل ششم: نتیجه گیری، توصیه های طراحی و پیشنهادات برای تحقیقات آتی.....١٣٥-١٣٠

فهرست جداول

جدول ١-١: سیستم‌های سازه‌ای لوله‌ای مورد تحقیق.....٣

جدول ٢-١: سازه های داخلی.....١٣

جدول ٢-٢: سازه های بیرونی.....١٤

جدول ٤-١: مشخصات اعضای بکار رفته در مدل اصلی.....٥١

جدول ٤-٢: مقایسه ضریب تاخیر برشی(f) در مدل اصلی برای بارگذاری‌های متفاوت باد.....٦٠

جدول ٤-٣ : تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی(f) در لوله مهاربندی شده با زوایای مختلف برای حالت (الف)...٦٤

جدول ٤-٤: تغییر مکان جانبی و ضریب تأخیر برشی(f) در لوله مهاربندی شده با زوایای مختلف برای حالت (ب).....٦٥

جدول ٤-٥: وزن سازه جانبی و تغییر مکان جانبی در لوله مهاربندی شده با زوایای مختلف برای حالت (الف).....٦٧
جدول ٤-٦: وزن سازه جانبی و تغییر مکان جانبی در لوله مهاربندی شده با زوایای مختلف برای حالت (ب).....٦٨
جدول ٤-٧ : تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی در لوله قاب بندی با مهاربندی‌های مرسوم برای حالت (الف)...٧٣
جدول ٤-٨ : تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی(f) در لوله قاب بندی با مهاربندی‌های مرسوم برای حالت (ب)...٧٣
جدول ٤-٩ : وزن سازه جانبی و تغییر مکان جانبی در لوله قاب بندی با مهاربندی‌های مرسوم برای حالت (الف).....٧٥
جدول ٤-١٠: وزن سازه جانبی و تغییر مکان جانبی در لوله قاب بندی با مهاربندی‌های مرسوم برای حالت (ب)....٧٦
جدول ٤-١١: تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی در لوله قاب بندی با دیوار برشی برای حالت (الف).....٨٢
جدول ٤-١٢: تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی در لوله قاب بندی در ترکیب با دیوار برشی برای حالت(ب).....٨٢
جدول ٤-١٣: وزن سازه جانبی برای حالت تغییر مکان جانبی ثابت در سیستم لوله قاب‌بندی با دیوار برشی.....٨٤
جدول ٤-١٤: تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی(f) در لوله قاب بندی دارای هسته بتنی برای حالت (الف).....٨٩
جدول ٤-١٥: تغییر مکان جانبی و ضریب تاخیر برشی(f) در لوله قاب بندی دارای هسته بتنی برای حالت (ب)....٨٩
جدول ٤-١٦: تغییر مکان جانبی و ضریب (f) در لوله قاب بندی با ستون‌های بزرگتر گوشه برای حالت (الف).....٩٣
جدول ٤-١٧: تغییر مکان جانبی و ضریب (f) در لوله قاب بندی با ستون‌های حذف شده گوشه برای حالت (الف).....٩٦
جدول ٤-١٨: تغییر مکان جانبی و ضریب (f) در لوله قاب بندی با ستون‌های حذف شده گوشه برای حالت (ب).....٩٧
جدول٤-١٩: وزن سازه جانبی و تغییر مکان جانبی مدل‌هایی که ستون‌های گوشه در آنها حذف شده در حالت (الف)...٩٨
جدول ٤-٢٠: وزن سازه جانبی و تغییر مکان جانبی مدل‌هایی که ستون‌های گوشه در آنها حذف شده در حالت (ب)...٩٩
جدول ٤-٢١: تغییر مکان جانبی و ضریب (f) در لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی برای حالت (الف).....١٠٤
جدول ٤-٢٢: تغییر مکان جانبی و ضریب (f) در لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی برای حالت (ب).....١٠٥
جدول ٤-٢٣: وزن سازه جانبی مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی برای حالت (ب).....١٠٧
جدول ٤-٢٤: ضریب تأخیر برشی (f) در لوله قاب بندی‌شده با نسبت طول به عرض‌های متفاوت پلان.....١١١
جدول ٤-٢٥: تغییر مکان جانبی و ضریب (f) در لوله قاب بندی‌شده با تعداد طبقات متفاوت در حالت (ب).....١١٢

جدول ٥-١: مقایسه تغییر مکان جانبی و شدت تأخیر برشی در لوله قاب بندی شده با و بدون لحاظ نمودن اندر کنش بین خاک و سازه.....١٢٥
جدول ٥-٢: مقایسه تغییر مکان جانبی و شدت تأخیر برشی در لوله مهار بندی شده با زوایای متفاوت با و بدون لحاظ نمودن اندر کنش بین خاک و سازه.....١٢٩

جدول ٦-١: مقایسه تغییر مکان جانبی، ضریب (f) و وزن برای سیستم‌های لوله‌ای مختلف در حالت (الف)..١٣٤
جدول ٦-٢: مقایسه ضریب (f) و وزن برای سیستم‌های لوله‌ای مختلف در حالت (ب).....١٣٥

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ : وزن سازه‌ای بیشتر بخاطر ارتفاع بیشتر..... ۱۰

شکل ۲-۲: طبقه بندی سیستم های سازه ای بلند توسط Fazlur Khan..... ۱۱

شکل ۲-۳ : سازه‌های درونی..... ۱۶

شکل ۲-٤ : سازه‌های بیرونی..... ۱۷

شکل ۲-۵ : سیستم اندرکنشی قاب - دیوار برشی(یا خرپای برشی)..... ۱۹

شکل ۲-٦ : سازه‌های بازویی با هسته پشتیبان..... ۲۰

شکل ۲-۷ : پدیده تاخیر برش در یک ساختمان لوله‌ای..... ۲٤

شکل ۲-۸ : سیستم لوله مهاربندی شده بکار رفته در ساختمان John Hancock Center ۲۵

شکل ۲-۹ : سیستم لوله دسته شده بکار رفته در برج Sears..... ۲۷

شکل ۲-۱۰:سیستم diagrid بکار رفته در ساختمان Mary Axe..... ۳۰

شکل ۲-۱۱ : ساختمانO-14..... ۳۰

شکل ۲-۱۲ : نمودار تغییرات سختی ستون در ازای وزن فولاد سازه‌ای..... ۳٦

شکل ۲-۱۳ : مدل‌های ۱۰ طبقه معادل جهت بررسی تأخیر برشی و طراحی بهینه برای (a) لوله قاب بندی شده و (b) لوله مهاربندی شده..... ۳۷

شکل ۲-۱٤ : فلوچارت طراحی ابتدایی یک سازه بلند..... ۳۸

شکل ۳-۱: توزیع تنش‌های محوری در سازه یک تیر مستطیل شکل (الف) بدون اثر تأخیر برشی (ب) با اثر تأخیر برشی..... ٤۰

شکل ۳-۲: تأخیر برشی منفی..... ٤۱

شکل ۳-۳: تنش‌های بال بالایی برای بار متمرکز در وسط دهانه..... ٤۲

شکل ۳-٤: تغییر شکل بال..... ٤۲

شکل ۳-۵: بار گسترده خطی در دو حالت بار گذاری..... ٤۳

شکل ۳-٦: تجمیع تنش‌ها در محل تفکیک نیروها..... ٤۳

شکل ۳-۷: تأخیر برشی در لوله قاب بندی شده..... ٤۵

شکل ۳-۸: تغییرات ۱ ($F\Delta$) و ۲ ($F\Delta$) در امتداد ارتفاع ساختمان..... ٤۷

شکل ۳-۹: نیروهای محوری در پانل بال یک ساختمان ٤۰ طبقه..... ٤۷

شکل ۳-۱۰: مهاربندی‌های بزرگ در سیستم سازه‌ای از نوع لوله قاب بندی شده..... ٤۹

شکل ۳-۱۱: کمربند خرپایی در سیستم سازه‌ای از نوع لوله قاب بندی شده..... ٤۹

شکل ٤-١ : مدل سازه لوله قاب بندی شده (مدل اصلی).....٥٥
شکل ٤-٢ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده.....٥٧
شکل ٤-٣ : منطبق کردن نمودارهای توزیع نیروی محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده در هر دو حالت بارگذاری.....٦٠
شکل ٤-٤ : مدل‌های سازه لوله مهاربندی شده با زوایای مهاربندی متفاوت.....٦٣
شکل ٤-٥ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله مهار بندی شده.....٦٤
شکل ٤-٦ : تاخیر برش در مدل‌های سازه لوله مهاربندی شده برای حالت (الف).....٦٥
شکل ٤-٧ : تاخیر برش در مدل‌های سازه لوله مهاربندی شده برای حالت (ب).....٦٥
شکل ٤-٨ : تغییر مکان جانبی لوله مهاربندی شده برای زوایای مختلف در حالت (الف).....٦٦
شکل ٤-٩ : وزن سازه جانبی برای زوایای متفاوت مهاربندی در حالت مقاطع ثابت (الف).....٦٧
شکل ٤-١٠ : وزن سازه جانبی برای زوایای متفاوت مهاربندی در حالت (ب).....٦٨
شکل ٤-١١ : مدل‌های لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم.....٧١
شکل ٤-١٢ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم.....٧٢
شکل ٤-١٣ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم برای حالت (الف).....٧٣
شکل ٤-١٤: تغییرات تاخیر برش درمدل‌های لوله قاب بندی شده با مهاربندی‌های مرسوم برای حالت (ب)....٧٤
شکل ٤-١٥ : تغییر مکان جانبی در مدل‌های ترکیبی و مدل اصلی(در حالت مقاطع ثابت).....٧٤
شکل ٤-١٦ : وزن سازه جانبی برای تراکم‌های مختلف مهاربندی در حالت مقاطع ثابت(الف).....٧٥
شکل ٤-١٧: وزن سازه جانبی برای تراکم‌های مختلف مهاربندی در حالت (ب).....٧٦
شکل ٤-١٨ : آرایشات مختلف دیوارهای برشی در ترکیب با لوله قاب بندی شده.....٨٠
شکل ٤-١٩ : (الف)توزیع نیروهای محوری در پانل بال و (ب)توزیع نیروهای محوری در پانل جان لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوار برشی.....٨١
شکل ٤-٢٠ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی برای حالت (الف).....٨٢
شکل ٤-٢١ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی برای حالت (ب) ٨٣
شکل ٤-٢٢ : تغییر مکان جانبی در مدل‌های لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی در حالت (الف).....٨٣

شکل ٤-٢٣ : وزن سازه جانبی برای لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوار برشی در حالت (ب) ٨٥
شکل ٤-٢٤ : مدل لوله قاب بندی شده داری هسته مرکزی به ابعاد 12m×12m.....٨٧
شکل ٤-٢٥ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده دارای هسته.....٨٨
شکل ٤-٢٦ : لوله قاب بندی شده‌ای که برخی ستون‌های گوشه در آن حذف شده‌اند.....٩١
شکل ٤-٢٧ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده با ستون‌های سخت گوشه.....٩٣
شکل ٤-٢٨ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های بزرگتر در گوشه برای حالت (الف).....٩٤
شکل ٤-٢٩ : تغییر مکان جانبی در مدل‌های دارای ستون‌های بزرگ در گوشه در حالت (الف).....٩٤
شکل ٤-٣٠ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده‌ای که ٣ عدد از ستون‌ها گوشه در آن حذف شده است.....٩٦
شکل ٤-٣١ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های حذف شده از گوشه‌ها برای حالت (الف).....٩٧
شکل ٤-٣٢ : تغییرات تاخیر برش در لوله‌های قاب بندی شده با ستون‌های حذف شده گوشه‌ها برای حالت (ب).....٩٧
شکل ٤-٣٣ : تغییر مکان جانبی در لوله قاب بندی با ستون‌های حذف شده از گوشه (در حالت مقاطع ثابت).....٩٨
شکل ٤-٣٤ : وزن سازه جانبی در مدل‌هایی که ستون‌های گوشه در آنها حذف شده در حالت (الف).....٩٨
شکل ٤-٣٥ : وزن سازه جانبی در مدل‌هایی که ستون‌های گوشه در آنها حذف شده برای حالت (ب).....٩٩
شکل ٤-٣٦ : پلان سازه‌ای برای سازه لوله‌ای.....١٠٠
شکل ٤-٣٧ : پلان مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی.....١٠٢
شکل ٤-٣٨ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی شکل (مدل شماره ١).....١٠٣
شکل ٤-٣٩ : (الف)توزیع نیروهای محوری در پانل بال و (ب)توزیع نیروهای محوری در پانل جان لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی شکل (مدل شماره ٢).....١٠٤
شکل٤-٤٠: تغییرات تاخیربرش در مدل‌های لوله قاب بندی شده باستون‌های مستطیلی برای حالت (الف).....١٠٥
شکل٤-٤١: تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی برای حالت (ب).....١٠٥

شکل ٤-٤٢ : تغییر مکان جانبی در مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی و مدل اصلی در حالت (الف).....١٠٦
شکل ٤-٤٣ : تغییر مکان جانبی برای مدل اصلی و مدل‌های شماره ١ و ٢ در حالت (الف).....١٠٧
شکل ٤-٤٤: وزن سازه جانبی مدل‌های لوله قاب بندی شده با ستون‌های مستطیلی برای حالت (ب).....١٠٨
شکل ٤-٤٥ : مدل‌های لوله قاب بندی شده با پلان مستطیلی شکل.....١٠٩
شکل ٤-٤٦ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان لوله قاب بندی شده با پلان مستطیلی (L/W=2.0).....١١٠
شکل ٤-٤٧ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده با نسبت طول به عرض‌های متفاوت.....١١١
شکل ٤-٤٨ : تغییرات تاخیر برش در مدل‌های لوله قاب بندی شده با تعداد طبقات متفاوت در حالت تغییر مکان جانبی مجاز.....١١٣
شکل ٥-١: لایه‌های خاک در نظر گرفته شده در اطراف شمع.....١١٦
شکل ٥-٢: نمودار تعیین ضریب عکس العمل بستر(K).....١١٨
شکل ٥-٣: نمودار تعیین ضرایب $C1$، $C2$ و $C3$.....١١٩
شکل ٥-٤: منحنی t-z.....١٢٠
شکل ٥-٥: منحنی q-z.....١٢١
شکل ٥-٦: مدلسازی شمع‌های بتنی و فنرهایی با سختی معادل سختی خاک اطراف شمع‌ها برای لحاظ نمودن اثر اندرکنش بین خاک و سازه در لوله قاب بندی شده.....١٢٢
شکل ٥-٧ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان برای لوله قاب بندی شده‌ای که در آن اندرکنش بین خاک و سازه لحاظ شده است.....١٢٣
شکل ٥-٨ : مقایسه نحوه توزیع نیروهای محوری و شدت تأخیر برشی در پانل بال لوله قاب بندی شده با و بدون لحاظ نمودن اندر کنش بین خاک و سازه.....١٢٤
شکل ٥-٩: مدل سازی شمع‌های بتنی و فنرهایی با سختی معادل سختی خاک اطراف شمع‌ها برای لحاظ نمودن اثر اندرکنش بین خاک و سازه در لوله مهاربندی شده.....١٢٦
شکل ٥-١٠ : توزیع نیروهای محوری (الف) در پانل بال و (ب) در پانل جان برای لوله مهار بندی شده‌ای که در آن اندرکنش بین خاک و سازه لحاظ شده است.....١٢٧
شکل ٥-١١ : مقایسه نحوه توزیع نیروهای محوری و شدت تأخیر برشی در پانل بال لوله مهار بندی شده با و بدون لحاظ نمودن اندر کنش بین خاک و سازه.....١٢٨
شکل ٦-١ : تغییرات ضریب تأخیر برشی و وزن برای سیستم‌های لوله‌ای مختلف در حالت (ب).....١٣٥

چکیده

در دهه‌های اخیر آسمانخراش‌های بسیاری که در آسمان اوج گرفته‌اند در نقاط مختلف دنیا از جمله ایالت متحده امریکا، اروپا، ژاپن و حتی اخیراً در ایران ساخته شده‌اند. یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین سیستم‌های سازه‌ای بکار رفته در چنین آسمانخراش-هایی سیستم سازه‌ای لوله‌ای می‌باشد. در سیستم‌های لوله‌ای بعلت انعطاف پذیری تیرهای پیرامونی در قاب، تغییر شکل‌های ناشی از برش ایجاد می‌شود که این پدیده تأخیر برش نام دارد. بنابراین این سیستم‌ها تحت اثرات منفی پدیده تأخیر برش می-باشند که باعث توزیع غیر خطی نیروهای محوری در ستون‌های اطراف ساختمان، افزایش تغییر مکان جانبی و کاهش کارآیی می‌شود. لذا مطالعه اثر این پدیده در سازه‌های بلند با سیستم لوله‌ای امری مهم و غیر قابل اجتناب می‌باشد. در صورتیکه تأخیر برشی به حداقل برسد می‌توان انتظار داشت که ساختمان با سیستم لوله‌ای همانند یک تیر طره‌ای خالص عمل نماید.

در این تحقیق پس از ارائه کلیاتی در باره سازه‌های بلند، مطالعات انجام یافته قبلی بر روی پدیده تأخیر برش مرور می‌شود. سپس با هدف بررسی پدیده تأخیر برشی در سیستم‌های لوله‌ای مختلف از قبیل سیستم‌های لوله‌ای قاب بندی شده به تنهایی یا در ترکیب با مهاربندی و دیوار برشی و نیز لوله قاب بندی شده تغییر یافته و ارائه پاسخ‌های مناسب در خصوص نقش پارامترهای مختلف در شدت پدیده تأخیر برشی، روی این سازه‌ها تحلیل استاتیکی انجام می‌گیرد. بدین منظور پس از مدلسازی سیستم‌های سازه‌ای ذکر شده در نرم افزار SAP2000 ، تحلیل‌های مورد نظر جهت تعیین شدت پدیده تأخیر برشی و ارزیابی کارآیی سیستم صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که از بارهای دینامیکی زلزله به دلیل ایجاد پیچیدگی در روند بررسی تأخیر برشی صرفنظر شده و فقط بارهای استاتیکی معادل بار باد در نظر گرفته شده است. همچنین در این تحقیق در بررسی تأخیر برشی در سیستم لوله قاب بندی شده و لوله مهاربندی شده اندرکنش بین خاک و سازه نیز جهت بررسی تأثیر آن بر تأخیر برشی در نظر گرفته شده است. جهت لحاظ کردن اندرکنش بین خاک و سازه از مدل شمع، فنر و کمک فنر معادل (میرایی) استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی نقش پارامترهای مختلف بر روی پدیده تأخیر برشی بیانگر این مطلب است که استفاده از مهاربندی‌های بزرگ X شکل در سیستم‌های سازه‌ای لوله‌ای نسبت به دیگر تغییرات اعمال شده بر روی لوله قاب بندی شده تأثیر بیشتری در جهت کاهش تأخیر برشی خواهد داشت و نیز با در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و سازه از شدت پدیده تأخیر برش کاسته خواهد شد.

کلید واژه:

تأخیر برش، سازه‌های بلند، سیستم لوله‌ای، توزیع غیر خطی تنش، اندرکنش بین خاک و سازه، سیستم سازه‌ای لوله مهاربندی شده.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات:

ساخت ساختمان‌های بلند بخاطر نیاز روز افزون به فضای بیشتر در مناطق شهری با تراکم بالای جمعیت صورت گرفته است. با افزایش ارتفاع ساختمان‌های بلند، آسمانخراش‌ها تبدیل به نماد برجستگی و برتری بین کشورها شده‌اند. پیشرفت‌های بوجود آمده در علوم مهندسی سازه و تکنولوژی، محدودیت‌های ارتفاع را به میزان قابل توجهی رفع نموده است. رشد این نوع سازه‌ها با اختراع مکانیسم ایمنی برای بالابرهای عمومی توسط Elisha G. Otis در اوسط قرن هجدهم افزایش یافت که آسانسور را به امن‌ترین و موثرترین وسیله حمل و نقل عمودی در ساختمان‌های بلند تبدیل کرد. با پیشرفت‌های بوجود آمده در روش‌های ساخت و ساز، ساخت آسمانخراش‌ها نه تنها عملی گردید بلکه باعث افزایش ارتفاع آنها نیز گشت. طی سال‌ها، ملت‌ها همواره به دنبال عنوان بلندترین ساختمان در جهان بوده‌اند. توسعه سیستم‌های سازه‌ای متنوع که امکان ساخت سازه‌های بلندتر را فراهم می‌کند، اصلی‌ترین پیشرفت در مهندسی سازه بوده است.

به محض اینکه ارتفاع ساختمان افزایش می‌یابد سیستم مقاوم در مقابل بارهای جانبی نسبت به سیستم مقاوم در مقابل بارهای ثقلی اهمّیت بیشتری پیدا می‌کند. سیستم‌های مقاوم در مقابل بار جانبی که به طور گسترده در سازه‌ها استفاده می‌شوند عبارتند از: قاب‌های صلب، قاب‌های مهاربندی شده، سیستم‌های مهار بازویی با کمربند خرپایی و لوله‌های قاب بندی شده. معمولاً یک هسته و یا ترکیبی از هسته‌ها که سختی مضاعفی ایجاد می‌کنند به منظور محفظه‌های آسانسور و کاربردهای مربوطه در ساختمان‌های بلند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با ترکیب سیستم‌های مقاوم در مقابل بار جانبی و یا با ایجاد تغییراتی در مفهوم کلی یک سازه مانند سیستم لوله مهاربندی شده یا سیستم لوله دسته شده نتیجه منجر به ساخت سازه‌های بلند با نسبت عرض به ارتفاع ۷:۱ و یا بیشتر گردیده است.

۱-۲- تعریف مساله:

تا کنون سیستم‌های سازه‌ای مختلفی در ساختمان‌های بلند بکار رفته است. بسیاری از آسمانخراش‌های بلندتر سیستم لوله قاب بندی شده یا سیستم لوله مهاربندی شده را بعنوان سیستم سازه‌ای اصلی خود مورد استفاده قرار داده‌اند زیراکه سیستم‌های لوله‌ای بعلت کارآیی بالا یکی از بهترین فرم‌های سازه‌ای به شمار می‌آیند. به هرحال سیستم‌های لوله‌ای بکار برده شده تحت اثر پدیده تأخیر یا لنگی برش قرار دارند. تأخیر برش عبارت است از توزیع غیر خطی تنش‌ها در وجوه مقطع که معمولاً در تیرهای با مقطع صندوقه‌ای تحت نیروی جانبی مشاهده می‌گردد. این پدیده باعث به وجود آمدن تنش‌های بیشتر در ستون‌های گوشه نسبت به ستون‌های میانی در وجوه ساختمان می‌گردد. از آنجایی که تأخیر برش کارآیی سازه‌ای سیستم لوله‌ای را کاهش داده و تغییر مکان جانبی ساختمان تحت نیروی جانبی را افزایش می‌دهد، لذا کنترل این پدیده در طراحی این سیستم‌ها امر مهمی به شمار می‌رود. هدف کلی از طراحی بهینه قاب‌های لوله‌ای به حداقل رساندن تأخیر برش و رسیدن به رفتار طره‌ای سازه در محدوده عملی و قابل قبول می‌باشد (بعنوان مثال رسیدن به تغییر شکل طره‌ای در حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد از کل حرکت جانبی ساختمان).

۱-۳- اهداف پایان نامه:

در این پایان نامه هدف از تحقیق، بررسی پدیده تأخیر برشی و عوامل مؤثر بر آن در سیستم‌های لوله‌ای، ارزیابی کارآیی سیستم‌های مختلف، مقایسه آنها و تعیین سیستم بهینه می‌باشد. دلیل انجام مطالعات بر روی پدیده تأخیر برشی در ساختمان‌های بلند با سیستم لوله‌ای اینست که این پدیده باعث کاهش کارآیی سازه‌ای و افزایش تغییر مکان جانبی ساختمان تحت نیروی جانبی می‌گردد.

این بررسی در دو حالت بدون لحاظ نمودن اندرکنش بین خاک و سازه و نیز با لحاظ نمودن آن صورت گرفته است. تاکنون در تحقیق‌های انجام یافته بر روی پدیده تأخیر برشی در سازه‌های بلند لوله‌ای، اثر اندرکنش خاک و سازه در نظر گرفته نشده و تکیه گاه‌ها بصورت صلب و تغییر شکل پذیر فرض و از انعطاف پذیری خاک زیر سازه صرفنظر شده است. در این تحقیق سعی بر آن شده است تا تأثیر اندرکنش بین خاک و سازه بر تأخیر برشی تحت بررسی قرار گیرد. بنابراین برخی از سیستم‌های لوله‌ای مانند لوله قاب بندی شده (مدل اصلی) و لوله مهاربندی شده با مهاربندهای خیلی بزرگ، یک بار بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه و یک بار با در نظر گرفتن آن برای بارگذاری جانبی

ناشی از باد تحلیل شده‌اند. نهایتاً با مقایسه نحوه توزیع نیروهای محوری در ستون‌های اطراف ساختمان و شدت تأخیر برش در دو حالت متفاوت ذکر شده، تأثیر در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه بر روی تأخیر برشی نشان داده خواهد شد.

سیستم‌های سازه لوله‌ای که در این تحقیق بررسی شده‌اند در جدول ۱-۱ خلاصه شده‌اند:

جدول ۱-۱: سیستم‌های سازه‌ای لوله‌ای مورد تحقیق.

ردیف	نوع سیستم سازه لوله‌ای
۱	لوله قاب بندی شده (مدل اصلی)
۲	لوله مهاربندی شده (لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی های بزرگ)
۳	لوله قاب بندی شده در ترکیب با مهاربندی‌های مرسوم
٤	لوله قاب بندی شده در ترکیب با دیوارهای برشی
٥	لوله قاب بندی شده دارای هسته بتنی
٦	لوله قاب بندی شده‌ای که ستون‌های گوشه آن سخت‌تر گردیده
۷	لوله قاب بندی شده‌ای که ستون‌های گوشه از آن حذف گردیده
۸	لوله قاب بندی شده‌ای که در آن از ستون‌های با مقطع مستطیلی استفاده شده
۹	لوله قاب بندی شده با پلان مستطیلی شکل با نسبت طول به عرض‌های متفاوت
۱۰	لوله قاب بندی شده با تعداد طبقات متفاوت
۱۱	لوله قاب بندی شده (مدل اصلی) با در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و سازه
۱۲	لوله مهاربندی شده با در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و سازه

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه:

در این پایان نامه نتایج حاصل از تحقیق و بررسی در شش فصل ارائه خواهد شد. پس از معرفی موضوع تحقیق، ضرورت و اهداف انجام آن در فصل نخست، در فصل دوم کلیاتی راجع به سازه‌های بلند شامل تاریخچه سازه‌های بلند، طراحی‌های اولیه و سیستم‌های سازه‌ای متداول ارائه شده است. در فصل سوم به مطالعات انجام یافته قبلی و ماهیت تأخیر برشی در مقاطع صندوقه‌ای و تأخیر برشی در سازه‌های بلند پرداخت شده است. در فصل چهارم نتایج حاصل از تحلیل سیستم‌های مختلف سازه لوله‌ای تحت نیروی جانبی باد مورد بررسی قرار گرفته و با ارائه نمودارهای توزیع نیروهای محوری در

ستون‌های اطراف ساختمان پدیده تأخیر برشی نشان داده شده است. در این فصل سعی بر آن شده تا با تغییر دادن برخی پارامترهای دخیل در توزیع نیروهای محوری در هر سیستم سازه‌ای مدل‌های جدیدی ایجاد گردد تا با مقایسه شدت تأخیر برشی و کارآیی آنها سیستم بهینه انتخاب گردد. در فصل پنجم اندرکنش بین خاک و سازه برای تحلیل و بررسی پدیده تأخیر برشی در برخی سیستم‌های سازه-ای مانند لوله قاب بندی شده (مدل اصلی) و لوله مهاربندی شده با استفاده از روش مدل فنر و کمک فنر معادل (میرایی) برای خاک لحاظ شده است تا تأثیر آن بر روی نحوه توزیع نیروهای محوری در ستون‌های اطراف ساختمان و تأخیر برشی بررسی شود. فصل ششم نیز شامل نتیجه گیری‌های بدست آمده از این تحقیق و پیشنهادات می‌باشد.

فصل دوم

کلیاتی در رابطه با سازه‌های بلند،

سیستم‌های سازه‌ای متداول و طراحی ابتدایی

۲-۱- تاریخچه کلی ساختمان‌های بلند:

ساختن سازه‌های بلند و بلندتر، بعنوان سمبل قدرت، همیشه آرزوی بشر بوده است. در کل تاریخ ثبت شده ساختمان‌ها شاید هیچ چیز جذّابتر از آرزوی بشر برای خلق سازه‌های بلندتر نباشد. به نظر می‌رسد تفاخر کردن اصلی‌ترین انگیزه برای ساختن سازه‌های بلند باستانی مانند برج Babel، مجسمه Colossus of Rhodes، اهرام مصر و فانوس دریایی اسکندر بوده است.

تاریخچه ساختمان‌های بلند را کلاً می‌توان در ۳ دوره طبقه بندی کرد: برای *دوره اول* می‌توان ساختمان‌هایی مانند Reliance (Chicago, 1894) ، Guaranty (Buffalo, 1895) و Carson Pirie Scott-Department Store (Chicago, 1904) را نام برد. اکثر این ساختمان‌ها، سازه‌هایی با مصالح بنایی و دیوارهای ضخیم بنایی بوده‌اند. بعنوان مثال ساختمان ۱۷ طبقه Manadnock (Chicago, 1891) با دیوارهایی به ضخامت ۲/۱۳ متر در طبقه همکف ساخته شده بود. مساحت اشغال شده، ۱۵٪ از کلّ مساحت طبقه همکف را تشکیل می‌داد.

در *دوره دوّم* با توسعه سازه‌های فولادی و تجهیزات پیشرفته مانند بالابرهای مکانیکی و سیستم تهویه، محدودیت‌های موجود برای ساختمان‌های بلند تا حدودی رفع گردید. تقاضا برای ساختمان‌های

بلند در این دوره افزایش چشمگیری یافت؛ زیرا شرکت‌های تجاری به مزیت‌های ارتباط نامشان با یک دفتر تجاری در یک برج پی برده بودند؛ همچنین از آنجایی که این ساختمان‌ها می‌توانستند درآمد زیادی از راه اجاره تولید نمایند، لذا برای سرمایه گذاری محل مناسبی به نظر می‌رسیدند. رقابت در ارتفاع از شهرهای نیویورک و شیکاگو شروع شد. از میان تمامی ساختمان‌های مشهور این دوره می‌توان ساختمان‌های Woolworth (New York, 1930) و Chrysler (New York, 1930) را نام برد. رقابت با ساختن ساختمان Empire State (New York, 1931) پایان یافت که با ۳۸۱ متر بلندترین ساختمان قرن بیستم تا آن تاریخ بود.

بتن مسلّح هویت خود را در دهه ۱۹۵۰ در *دوره سوّم* اثبات نمود که در حال حاضر بعنوان مدرنیسم در تاریخ ساخت و ساز در نظر گرفته می‌شود. در مقایسه با دوره‌های قبلی که تأکیدهای معماری بیشتر بر روی نمای ساختمان و سبک‌های تاریخی بود، در دوره سوّم تأکیدها بیشتر بر روی دلایل، کارآیی‌ها و تکنولوژی قرار داشت. این نسل جدید با ساختن ساختمان‌هایی مانند World Trade Centre (New York, 1972) و Sears Tower (Chicago, 1974) شروع شد.

۲-۲- پیشرفت سیستم‌های سازه‌ای:

پیشرفت سازه‌ای ساختمان‌های بلند همواره یک روند رو به رشد بوده است. در عصر آسمانخراش‌ها برای ساختمان‌های بلند تاریخچه سازه‌ای جداگانه‌ای همانند تاریخچه سبک‌های معماری آنها وجود دارد. دامنه این مراحل از قاب صلب، لوله[1]، هسته - بازویی[2] به سیستم‌های با شبکه بندی قطری[3] تغییر پیدا می‌کند. شرح مختصری از پیشرفت سازه‌ای ساختمان‌های بلند در گذشته در زیر ارائه گردیده است.

در اواخر قرن نوزدهم، پیشرفت‌های اولیه ساختمان‌های بلند بر اساس معادلات اقتصادی بود. این مسأله به خاطر افزایش مساحت قابل اجاره ساختمان‌ها با انباشته کردن دفاتر کار بصورت عمودی و بیشتر کردن اجاره بهای این دفاتر بخاطر ارائه بیشترین نور طبیعی ممکن بود. برای بکار گرفتن این محرک اقتصادی تکنولوژی‌های جدیدی دنبال می‌شد که موجب بهتر شدن وضعیت سیستم‌های سازه‌ای

1 - Tube

2 - Core-Outrigger

3 - Diagrid