

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله

تعیین ضرایب عملکرد سازه دارای مهاربند کمانش تاب با در نظر گرفتن اندرکنش

خاک و سازه

توسط:

رضا خدابخشی سورشجانی

استاد راهنما:

نام استاد راهنمای اول: حسن قاسم زاده نام استاد راهنمای دوم: سعید صبوری قمی

زمستان ۱۳۹۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم / آقای: رضا خدابخشی سورشجانی

را با عنوان: تعیین ضرایب عملکرد سازه دارای مهاربند کمانش تاب با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی/ کارشناسی ارشد تأیید می کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	حسن قاسم زاده	دانشیار	
۲- استاد راهنما	سعید صبوری قمی	استاد	
۳- استاد ممتحن	فرامرز خشنودیان	استاد	
۴- استاد ممتحن	مصطفی مسعودی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی			

تقديم

پدر و مادر عزیزم

تَشْكُرُ وَ قَدَّرْدَانِي

چکیده

در این پایان نامه هدف به دست آوردن فاکتورهای عملکرد لرزه‌ای سازه‌های ۴ و ۶ و ۸ طبقه به همراه فاکتورهای اضافه مقاومت^۱، شکل‌پذیری^۲ و ضریب رفتار^۳ مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه است. بدین ترتیب در این مطالعه با استفاده ترکیبی از نتایج تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی افزایشی^۴، ضرایب رفتار طلب و ظرفیت و عملکرد لرزه‌ای سازه را برای سازه‌ها با تعداد طبقات مختلف و سیستم مهاربندی شورون^۵ هشتی و مهاربندی ضربدری هفتی هشتی^۶ در سطوح عملکردی مختلف مورد بررسی قرار داده‌ایم. این ضرایب با دخیل نمودن اثر پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار سازه همچون شکل‌پذیری، اضافه مقاومت، درجه نامعینی، سطح خطر منطقه و سطوح عملکردی مدنظر تعیین می‌شود. مجموعه آنالیزهای استاتیکی خطی و غیرخطی پوش آور، آنالیز دینامیکی خطی و غیرخطی تاریخچه زمانی و آنالیز دینامیکی افزایشی برای محاسبه ضریب رفتار در نرم‌افزار متن‌باز Opensees انجام شد. برای انجام آنالیز دینامیکی افزایشی از ۷ رکورد حوزه دور FEMA P695 که مطابق با شرایط منطقه و نوع خاک مورد مطالعه بود استفاده شد. با بررسی نتایج می‌توان مشاهده کرد که با لحاظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه شکل‌پذیری و ضریب رفتار در سطوح عملکردی مختلف سازه افزایش چشمگیری پیدا کرده و در شرایط خاک نرم لازم به در نظرگیری ضریب رفتار بیشتری برای سازه دارای مهاربند کمانش تاب و در سطوح عملکردی مختلف این نوع سازه‌ها است. همچنین در این نوع سازه سیستم مهاربندی هشتی عملکرد بهتری نسبت به سیستم مهاربندی ضربدری هفتی هشتی از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مهاربند کمانش تاب، اندرکنش خاک و سازه، ضریب رفتار، سطوح عملکردی، IDA

^۱ Over strength

^۲ Ductility

^۳ Response modification factor

^۴ Incremental dynamic analysis

^۵ Chevron

^۶ Split X

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	ج
فهرست شکل‌ها.....	ه
فهرست علائم و نشانه‌ها.....	ح
فصل ۱- مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار.....	۱
۲-۱- ضرورت تحقیق.....	۱
۳-۱- هدف از این تحقیق.....	۳
۴-۱- سؤالات تحقیق.....	۳
۵-۱- روش تحقیق.....	۴
۶-۱- ساختار تحقیق.....	۴
فصل ۲- ادبیات موضوعی.....	۶
۱-۲- مقدمه.....	۶
۲-۲- تاریخچه و سیر تکامل ضرایب عملکردی.....	۶
۳-۲- مهاربند کمانش تاب.....	۷
۱-۳-۲- اجزای مهاربند کمانش تاب.....	۹
۲-۳-۲- ضریب رفتار سازه دارای مهاربند کمانش تاب.....	۱۱
۳-۳-۲- عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهارشده با و بدون مهاربند کمانش تاب.....	۱۷
۴-۳-۲- مدل آزمایشگاهی مهاربند کمانش تاب.....	۱۹
۴-۲- اندرکنش خاک و سازه.....	۲۴
۱-۴-۲- روش محاسبه اندرکنش خاک و سازه.....	۲۴
۲-۴-۲-۱- تحلیل اندرکنش خاک- سازه با استفاده مستقیم از روش مستقیم.....	۲۴
۲-۴-۲-۲- روش زیرسازه برای آنالیز زمین‌لرزه در سازه‌ها شامل اندرکنش خاک و سازه.....	۲۵
۲-۴-۲- اندرکنش خاک و سازه بر روی سازه‌ها.....	۲۶
۲-۴-۲-۱- آنالیز ساده‌سازی شده قاب سازه‌های با دمپ‌های ویسکوالاستیک در بررسی اثرات اندرکنش خاک و سازه.....	۲۷
۲-۴-۲-۲- تأثیرات اندرکنش خاک و سازه در جداگر لرزه‌ای.....	۳۳

۳۵.....	۲-۴-۲- اثر لرزه‌ای TMD در بررسی اندرکنش خاک و سازه
۳۶.....	۲-۴-۲-۱- مدل سازی خاک و سازه سیستم TMD
۳۹.....	فصل ۳- معرفی مدل ها و نحوه مدل سازی
۳۹.....	۱-۳- مقدمه
۳۹.....	۲-۳- مشخصات سازه ها
۴۱.....	۳-۳- بارگذاری سازه
۴۱.....	۱-۳-۳- بارگذاری جانبی
۴۳.....	۲-۳-۳- بارگذاری جانبی
۴۴.....	۴-۳- مشخصات و نحوه صحت سنجی مهاربند کمانش تاب
۴۷.....	۵-۳- سازه های مدل سازی شده در نرم افزار Opensees
۴۸.....	۶-۳- خاک مدل سازی شده در پروژه
۵۳.....	۷-۳- ضریب رفتار، شکل پذیری و فاکتور اضافه مقاومت
۵۵.....	۱-۷-۳- ضریب رفتار طلب
۵۹.....	۲-۷-۳- ضریب رفتار ظرفیت
۶۱.....	۸-۳- انتخاب و مقیاس رکوردها مطابق ۲۸۰۰
۶۷.....	فصل ۴- نتایج تحلیل های عددی
۶۷.....	۱-۴- مقدمه
۶۷.....	۲-۴- محاسبه ضریب رفتار طلب
۷۴.....	۳-۴- محاسبه ضریب رفتار ظرفیت
۸۳.....	فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها
۸۳.....	۱-۵- نتیجه گیری
۸۵.....	۲-۵- پیشنهادها
۸۷.....	ضمیمه أ- توضیحات و معرفی نرم افزار OpenSees
۸۹.....	فهرست مراجع
۹۲.....	واژه نامه فارسی به انگلیسی

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ جدول نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته شده در بهار ۱۹۹۹ و پاییز ۲۰۰۰ [13].....	۱۹
جدول ۲-۲ مشخصات مهاربندهای کمانش تاب مورد آزمایش قرار گرفته [14].....	۲۲
جدول ۳-۲ پارامترهای شمع و خاک [18].....	۲۹
جدول ۴-۲ پارامترهای سازه و میراگر ویسکوالاستیک [18].....	۳۰
جدول ۵-۲ خطاهای روش پیشنهاد شده در مقایسه با روش محاسباتی دقیق [18].....	۳۲
جدول ۶-۲ پارامترهای سیستم خاک و سازه و TMD [20].....	۳۷
جدول ۷-۲ فرکانس بنیادی و نسبت میرایی در سیستم خاک و سازه [20].....	۳۷
جدول ۱-۳ جزئیات سقف طبقات سازه‌های مدل‌سازی شده.....	۴۱
جدول ۲-۳ جزئیات سقف بام سازه‌های مدل‌سازی شده.....	۴۲
جدول ۳-۳ مقدار برش پایه و ضریب برش پایه سازه‌های مدل‌سازی شده.....	۴۴
جدول ۴-۳ مشخصات مصالح خاک مدل‌سازی شده.....	۴۹
جدول ۵-۳ پی‌ود مود اول و دوم در opensees.....	۵۲
جدول ۶-۳ پی‌ود حاصل‌شده با استفاده از روابط تجربی.....	۵۲
جدول ۷-۳ جدول مشخصات زلزله‌های انتخاب شده مطابق با شرایط محیط با سرعت موج برشی ۱۸۰ تا ۳۶۰ متر بر ثانیه برای خاک تیپ ۳.....	۶۱
جدول ۱-۴ مقدار برش پایه ماکزیمم سازه مدل‌سازی شده (V_e) تحت ۷ زلزله مقیاس شده برحسب kN برای سازه ۴ طبقه با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه.....	۶۸
جدول ۲-۴ تغییر مکان هدف به‌دست‌آمده برای آنالیز پوش آور با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی.....	۶۹
جدول ۳-۴ مقادیر شکل‌پذیری و اضافه مقاومت و ضریب رفتار طلب سازه برای سازه‌های دارای مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه.....	۷۳
جدول ۴-۴ سطوح عملکردی مهاربند کمانش تاب مدل‌سازی شده برحسب تغییر شکل محوری.....	۷۴
جدول ۵-۴ مقادیر محاسبه شده $V_y(kN)$ برای سازه مهاربندی کمانش تاب شورون هشتی و ضربدری هفتی هشتی با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه.....	۷۵
جدول ۶-۴ مقادیر PGA بدست آمده از تحلیل IDA برای مقیاس زلزله های سازه ۴ طبقه مهاربندی هشتی.....	۷۸

جدول ۷-۴ مقادیر PGA بدست آمده از تحلیل IDA برای مقیاس زلزله های سازه ۴ طبقه مهاربندی هشتی
 با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۹

جدول ۸-۴ مقادیر PGA بدست آمده از تحلیل IDA برای مقیاس زلزله های سازه ۴ طبقه مهاربندی
 ضربدری هفتی هشتی ۷۹

جدول ۹-۴ مقادیر PGA بدست آمده از تحلیل IDA برای مقیاس زلزله های سازه ۴ طبقه مهاربندی
 ضربدری هفتی هشتی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۸۰

جدول ۱۰-۴ مقادیر حداکثر برش پایه ($V_e(kN)$) با فرض رفتار الاستیک برای سازه با و بدون در نظر گرفتن
 اثر اندرکنش خاک و سازه ۸۰

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲ اجزای مهاربند کمانش تاب [6].....	۸
شکل ۲-۲ مقایسه رفتار هیستریسیس مهاربند کمانش تاب در مقایسه با مهاربند معمولی [6].....	۹
شکل ۳-۲ پلان و نمای سازه مورد مطالعه [8].....	۱۲
شکل ۴-۲ نمودارهای سمت راست مربوط به اضافه مقاومت و شکل پذیری و ضریب رفتار سازه با سیستم دوگانه و نمودارهای سمت چپ مربوط به اضافه مقاومت و شکل پذیری و ضریب رفتار سازه با سیستم دوگانه [8].....	۱۳
شکل ۵-۲ ضریب رفتار سازه‌های مدل سازی شده با طبقات و سیستم مهاربندی مختلف سازه‌ای [9] ..	۱۴
شکل ۶-۲ ضریب رفتار سازه دارای مهاربند کمانش تاب در دو حالت ASD و LRFD [10].....	۱۵
شکل ۷-۲ پلان و نمای سازه‌های مدل سازی شده [11]	۱۶
شکل ۸-۲ ضریب رفتار سازه مهاربند کمانش تاب [11].....	۱۶
شکل ۹-۲ ارزیابی قاب‌های دارای پیکره‌بندی بادبند X در دو طبقه [12].....	۱۷
شکل ۱۰-۲ ارزیابی قاب‌های دارای بادبند شورون هشتی [12].....	۱۷
شکل ۱۱-۲ مقایسه رفتار منحنی هیستریسیس بادبند معمولی و BCB [12].....	۱۸
شکل ۱۲-۲ رفتار غیر الاستیک بادبند کمانش تاب و معمولی تحت فشار در ۲٪ دررفت طبقه [12].....	۱۹
شکل ۱۳-۲ نمونه آزمایش شده در پاییز ۲۰۰۰ [13].....	۲۰
شکل ۱۴-۲ پروتکل بارگذاری SAC [13].....	۲۰
شکل ۱۵-۲ نمودار هیستریسیس نمونه ۹۹-۲ تحت پروتکل بارگذاری SAC [13]	۲۱
شکل ۱۶-۲ پروتکل بارگذاری نمونه‌ها [14].....	۲۲
شکل ۱۷-۲ منحنی هیستریسیس نیروی محوری بر حسب جابجایی مهاربندهای کمانش تاب [14].....	۲۳
شکل ۱۸-۲ مدل سازه چند درجه آزادی قرار گرفته بر روی گروه شمع با میراگر ویسکوالاستیک [18]	۲۸
شکل ۱۹-۲ مقایسه جابجایی بام در فرکانس‌های غالب با سرعت موج برشی ۱۰۰ متر بر ثانیه [18]	۳۱
شکل ۲۰-۲ مقایسه اتلاف انرژی میراگرها در حالت‌های مختلف [18].....	۳۳
شکل ۲۱-۲ مدل سیستم جداگر لرزه‌ای [19].....	۳۴
شکل ۲۲-۲ نمودار هیستریسیس دوسویه در جداگر با هسته سربی [19].....	۳۴
شکل ۲۳-۲ سیستم اندرکنش خاک و سازه و میراگر جرم هماهنگ شده [20].....	۳۶

شکل ۱-۳ (A) پلان سازه مدل سازی شده (B) سازه ۴ طبقه با دو سیستم مهاربندی کمانش تاب شورون هشتی و ضربدری هفتی هشتی (C) سازه ۶ طبقه با دو سیستم مهاربندی کمانش تاب شورون هشتی و ضربدری هفتی هشتی (D) سازه ۸ طبقه با دو سیستم مهاربندی کمانش تاب شورون هشتی و ضربدری هفتی هشتی ۴۰

شکل ۲-۳ سقف طبقات سازه های مدل سازی شده ۴۱

شکل ۳-۳ سقف بام سازه های مدل سازی شده ۴۲

شکل ۴-۳ پروتکل بارگذاری استفاده شده برای تست نمونه ۲-۹۹ [13] ۴۵

شکل ۵-۳ نمونه تست شده توسط Black و Makris [13] ۴۶

شکل ۶-۳ (A) مصالح Steel102 استفاده شده با رفتار یکسان در کشش و فشار برای مهاربند کمانش تاب (B) نمایش شیب ناحیه الاستیک موجود در مصالح مدل سازی شده (C) نمودار هسترسیس نمونه مدل سازی شده در نرم افزار Opensees [13] ۴۷

شکل ۷-۳ سازه چهار طبقه شورون هشتی و ضربدری هفتی قرار گرفته بر روی خاک مدل سازی شده در نرم افزار Opensees ۴۹

شکل ۸-۳ ستون خاک قرار گرفته تحت آنالیز پوش آور در Opensees ۵۱

شکل ۹-۳ منحنی دوخطی سازه نیرو- تغییر مکان سازه برای محاسبه V_y ۵۷

شکل ۱۰-۳ منحنی بار افزون برای محاسبه مقدار V_s ۵۸

شکل ۱۱-۳ نمونه مقیاس شتاب نگاشت به حداکثر خود (زلزله) kobe ۶۲

شکل ۱۲-۳ مؤلفه دوم زلزله kobe ۶۲

شکل ۱۳-۳ نمونه طیف پاسخ انجام شده در نرم افزار seismosignal (زلزله kobe) ۶۲

شکل ۱۴-۳ طیف پاسخ مؤلفه دوم زلزله kobe ۶۳

شکل ۱۵-۳ طیف متوسط جذر مجموع مربعات ۶۴

شکل ۱۶-۳ طیف آیین نامه ۲۸۰۰ ۶۵

شکل ۱۷-۳ طیف طرح استاندارد ۶۵

شکل ۱۸-۳ مقایسه طیف طرح استاندارد آیین نامه و طیف به دست آمده از SRSS رکوردها ۶۶

شکل ۱-۴ مقادیر V_e محاسبه شده برای سازه ۴ طبقه با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۶۸

شکل ۲-۴ نمودار پوش آور سازه مهاربندی کمانش تاب ضربدری هفتی هشتی با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۶۹

شکل ۳-۴ نمودار پوش آور سازه مهاربندی کمانش تاب شورون هشتی با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۰

شکل ۴-۴ منحنی دوطبقی شده سازه ۴ طبقه (سمت راست ضربدری هفتی هشتی و سمت چپ شورون هشتی) برای محاسبه مقدار V_y ۷۰

شکل ۴-۵ مقادیر V_y استخراج شده از دوطبقی کردن منحنی های پوش آور سازه با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۱

شکل ۴-۶ برآورد برش متناظر با شروع رفتار غیرخطی در سازه با مهاربند کمانش تاب ۴ طبقه ۷۲

شکل ۴-۷ مقدار V_s به دست آمده از محل جدایش نمودار پوش آور خطی و غیرخطی در سازه های دارای مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۲

شکل ۴-۸ مقدار ضریب رفتار طلب سازه های دارای مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۳

شکل ۴-۹ منحنی IDA سازه ۴ طبقه مهاربند کمانش تاب ضربدری هفتی هشتی ۷۶

شکل ۴-۱۰ منحنی IDA سازه ۴ طبقه مهاربند کمانش تاب ضربدری هفتی هشتی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۷

شکل ۴-۱۱ منحنی IDA سازه ۴ طبقه مهاربند کمانش تاب شورون هشتی ۷۷

شکل ۴-۱۲ منحنی IDA سازه ۴ طبقه مهاربند کمانش تاب شورون هشتی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه ۷۸

شکل ۴-۱۳ ضریب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار ظرفیت سازه مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در سطح عملکرد IO ۸۱

شکل ۴-۱۴ ضریب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار ظرفیت سازه مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در سطح عملکرد LS ۸۲

شکل ۴-۱۵ ضریب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار ظرفیت سازه مهاربند کمانش تاب با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در سطح عملکرد CP ۸۲

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
برش پایه	V
ضریب برش پایه	C
وزن لرزه‌ای سازه	W
ضریب وابسته به نوع سیستم سازه‌ای	K
ضریب رفتار سازه	R
پریود سازه	T
پریود مشخصه طیف طراحی	T_S
ضریب بزرگنمایی شتاب	β_0
پریود تجربی سازه	T_a
ضریب بازتاب سازه	B
ضریب شکل طیف	B_1
ضریب میرایی عمود بر سطح	C_N
ضریب میرایی موازی با سطح	C_P
چگالی خاک	ρ
سرعت موج برشی خاک	V_S
سرعت موج فشاری خاک	V_P
تنش برشی خاک	τf
فاصله المان مرکزی خاک	Z
مقاومت برشی زهکشی نشده	C_u
زاویه اصطکاک داخلی خاک	ϕ
ارتفاع خاک	H
مدول برشی خاک	G
ضریب رفتار طلب	R_{Demand}
ضریب اضافه مقاومت	Ω_d
ضریب شکل‌پذیری	R_μ
مقاومت جانبی متناظر با مکانیزم خرابی	V_y

V_s

V_e

مقاومت جانبی متناظر با مکانیزم طراحی

برش پایه ماکزیمم

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

در تحلیل‌های متداول دینامیکی یک سازه، روش معمول به این صورت است که حرکت میدان آزاد زمین در محل ساخت تعیین شود و حرکت به‌دست‌آمده به‌پای سازه، به‌صورت صلب اعمال می‌شود. این مورد در حالتی صحیح است که ساختمان بر روی سنگ یا خاک کاملاً متراکم ساخته‌شده باشد. در حالت قرار گرفتن سازه بر روی خاک نرم، وضعیت کاملاً متفاوت است و یک مؤلفه دورانی ناشی از انعطاف‌پذیری تکیه‌گاه بر حرکات افقی پی اضافه می‌شود. قسمتی از انرژی ارتعاشی سازه می‌تواند با انتقال به خاک زیر پی، بر اثر میرایی تشعشعی حاصل از انتشار موج و میرایی هیستریزیس مصالح خاک تلف شود. در صورتی که در حالت کلاسیک با صلب فرض کردن خاک زیر سازه این اتلاف انرژی در نظر گرفته نمی‌شود. در این حالت در هنگام وقوع زلزله، رفتار غیرخطی خاک زیرین و وقوع پدیده اندرکنش خاک و سازه، در پاسخ سازه‌ای به صورتی نتیجه می‌دهد که می‌تواند کاملاً متفاوت از پاسخ یک سازه با پایه صلب قرار گرفته تحت اثر حرکت میدان آزاد زمین باشد.

۱-۲- ضرورت تحقیق

به‌طور کلی می‌توان طراحی یک سازه را مطلوب نامید که علاوه بر تأمین عملکرد لرزه‌ای مناسب برای سازه، توجیه‌پذیری اقتصادی نیز داشته باشد. طراحی الاستیک سازه با این مفهوم که باید سختی سازه به نحوی باشد که در هنگام رخ دادن زلزله، تمام نیروهای شکل‌گرفته در اعضا در محدوده الاستیک باقی بماند، علاوه بر این که افزایش بی‌قاعده ابعاد اعضا را به دنبال خواهد داشت، پتانسیل رفتار غیرخطی مصالح و اضافه مقاومت‌های موجود در سازه را نادیده می‌گیرد و لذا استفاده از این روش طراحی صرفه اقتصادی ندارد. در عوض می‌توان با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح در اعضا، سازه را به‌گونه‌ای طراحی نمود که در صورت رخ دادن زلزله و عبور مقادیر نیروی اعضا از محدوده مقاومت ارتجاعی، این نیروی اضافی از

طریق شکل‌پذیری عضو در محدوده رفتار پلاستیک اتلاف گردد. بدان معنی که عضو نیروهای فراتر از سطح مقاومت ارتجاعی با امکان ایجاد تغییر مکان در محدوده رفتار غیر الاستیک مستهلک می‌نماید.

به‌منظور دست یافتن به چنین هدفی، آیین‌نامه‌های طراحی مقاومت ارتجاعی سازه را با به‌کارگیری ضربی به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌دهند تا امکان بهره‌گیری از رفتار غیرخطی مصالح فراهم گردد. این ضریب کاهش در برخی آیین‌نامه‌ها بانام ضریب رفتار معرفی شده است. مشکل اصلی تعیین این ضرایب، مبنای تجربی تعیین آن‌ها است. ضریب رفتار بر اساس سیستم سازه‌ای در جداولی مشخص شده است که مستقل از پیوند است و معمولاً به‌صورت مستقل از تقاضای زلزله ورودی و پارامترهای مؤثر در رفتار دینامیکی سازه بیان شده‌اند درحالی‌که انتظار می‌رود با تغییر حرکات ورودی به سازه و تغییر در پارامترهایی همچون پیوند، اضافه مقاومت، شکل‌پذیری و جنس خاک و تأثیر اندرکنش خاک و سازه پاسخ سازه تغییر کرده و نیاز به کاهش مقاومت ارتجاعی نیز مقادیر متفاوتی را طلب نماید.

به‌منظور بررسی تأثیر انعطاف‌پذیری خاک زیر شالوده در پاسخ لرزه‌ای سازه انتظار می‌رود پاسخ سازه تحت تأثیر سیستم دینامیکی جدید قرار بگیرد، تغییر شکل‌های یک سازه در هنگام زلزله تحت تأثیر اندرکنش خاک و سازه به سیستم مرتبط با همدیگر سازه، مشخصات المان‌های خاک زیر و اطراف قرار دارد که آنالیز اندرکنش خاک و سازه پاسخ این سیستم‌ها را به حرکت زمین در میدان آزاد را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، خاک زیر شالوده در مطالعات مهندسی سازه‌ها عموماً صلب فرض می‌شود و از انعطاف‌پذیری آن صرف‌نظر می‌گردد، در این حالت انعطاف‌پذیری خاک، در پاسخ لرزه‌ای سازه در نظر گرفته نشده است و پاسخ سازه متأثر از خواص دینامیکی سازه است.

حال با توجه به اهمیت در نظرگیری تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر سازه‌های قرارگرفته بر روی خاک نرم و همچنین تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر روی ضریب رفتار سازه که این تأثیر باعث اقتصادی‌تر شدن سازه‌های مدل‌سازی شده یا بحرانی‌تر شدن حالت‌های رفتاری سازه می‌شود ضرورت بررسی تأثیر اندرکنش خاک و سازه را بر روی سازه دارای مهاربند کمانش تاب بیش‌ازحد مهم جلوه می‌دهد.

۱-۳- هدف از این تحقیق

تحقیقات زیادی جهت تعیین ضریب رفتار سازه دارای مهاربند کمانش تاب انجام شده است. ضریب رفتار سازه با در نظر گرفتن عواملی چون درجه نامعینی سازه، شکل پذیری، درجه آزادی، جنس خاک، و پرود سازه و ... تعیین می گردد و درواقع این ضریب متأثر از زلزله طلب و پاسخ سازه بر اساس ویژگی ها و مشخصات دینامیکی زلزله است.

بررسی اثر خاک بر روی سازه مهاربندی شده با مهاربند کمانش تاب و لحاظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه در رفتار مهاربند کمانش تاب و بررسی رفتار این مهاربند در سطوح عملکردی مختلف هنگامی که سازه بر روی خاک نرم انجام نشده است بدیهی است که در این حالت رفتار سازه دچار تغییراتی می شود که این تغییرات دربرش پایه سازه و جابجایی های سازه و سایر خصوصیات رفتاری سازه قابل مشاهده است. به همین دلیل در این تحقیق بررسی این رفتار بر روی مهاربند کمانش تاب با تأثیر اثر اندرکنش خاک و سازه و در نظرگیری سطوح عملکردی در رفتار مهاربند مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

۱-۴- سؤالات تحقیق

در این تحقیق هدف پاسخ گویی به سؤالاتی است که در مورد مهاربندهای کمانش تاب در زمینه های مختلف رفتاری مورد ارزیابی قرار می گیرد. ازجمله سؤالاتی که در این تحقیق به پاسخ گویی و بررسی پرداخته شده است مربوط به ضرایب عملکردی مهاربند کمانش تاب با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه است. ضریب رفتار مهاربند کمانش تاب در این تحقیق علاوه بر ضریب رفتار طلب، ضریب رفتار مهاربند کمانش تاب در سطوح عملکردی مختلف IO, LS و CP مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین ضرایب عملکردی مهاربند کمانش تاب با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و همچنین ضریب رفتارهای حاصل شده طلب و سطوح عملکردی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه به دست آورده شده و به مقایسه این ضرایب در حالت بدون اثر اندرکنش خاک و سازه پرداخته شده است تا به سؤال در مورد تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر روی این نوع سیستم سازه ای پاسخ داده شود.

۱-۵- روش تحقیق

برای انجام تحقیق موردنظر از نرم‌افزار متن‌باز Opensees جهت مدل‌سازی المان‌های سازه‌ای و مدل‌سازی مهاربند کمانش تاب به دلیل بررسی دقیق رفتاری اجزا محدود این نرم‌افزار و همچنین دقت و سرعت بالای این نرم‌افزار در روند محاسبات انجام‌شده استفاده‌شده است.

همچنین در این تحقیق از روش مستقیم و مدل‌سازی اجزا محدودی و دقیق خاک زیر سازه جهت دقت بالای مدل‌سازی اندرکنش خاک و سازه استفاده‌شده است و برای مدل‌سازی مهاربند کمانش تاب نیز از صحت سنجی کردن مهاربند کمانش تاب ساخته‌شده توسط نتایج تجربی موجود استفاده‌شده است.

۱-۶- ساختار تحقیق

این پایان‌نامه در قالب پنج فصل تدوین‌شده است که در ادامه علاوه بر ذکر عناوین این فصول، به محتوا و شرح فعالیت‌های انجام‌شده در هر فصل به‌طور خلاصه اشاره‌شده است:

در فصل ۱، ضمن تعریف مسئله و بیان ابعاد آن، پیرامون اهمیت و لزوم انجام این پژوهش سخن به میان می‌آید.

در فصل ۲، به جمع‌آوری، معرفی و بررسی نقاط قوت و ضعف احتمالی تعدادی از معتبرترین پژوهش‌های موجود پرداخته می‌شود و با نگاهی به کارهای مقالات و پایان‌نامه‌های انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی و بررسی رفتاری شمع رویکرد انجام پروژه و اهمیت انجام آن موردبررسی قرار می‌گیرد.

در فصل ۳، در این فصل سعی شده است فرضیات و روش‌های استفاده‌شده در این نرم‌افزار معرفی شود و تمامی مراحل کارایی مدل و چگونگی واردکردن پارامترهای ورودی به نرم‌افزار موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌طور کامل مراحل مدل‌سازی و نحوه صحت سنجی مدل‌های ساخته‌شده و همچنین در این فصل مدل‌ها موردبررسی و تحلیل قرار گرفته و نحوه مقیاس و اعمال زلزله‌های منتخب توضیح داده می‌شود.

در فصل ۴، به بررسی نتایج حاصل شده از مدل های ساخته شده با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه پرداخته و نتایج حاصل شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل ۵، جمع بندی و نتیجه گیری ارائه خواهد شد. در این فصل پس از مرور اجمالی کارهای انجام شده در فصول قبلی، به بررسی نتایج حاصله و تحلیل آنها، جمع بندی و نتیجه گیری و همچنین ارائه پیشنهادهایی جهت ادامه پژوهش در زمینه کار انجام شده در این پایان نامه پرداخته شده است.

فصل ۲- ادبیات موضوعی

۲-۱- مقدمه

چنانچه طراحی ساختمان در برابر زلزله با فرض رفتار ارتجاعی باشد، نیازمند سازه‌ای غیراقتصادی و با مقاطع بزرگ خواهیم بود و چنین سازه‌ای در برابر زلزله‌های نادر نیز وارد به محدوده غیر ارتجاعی نخواهد شد. در عوض با پذیرش خسارات قابل کنترل، بدون فروریزش کامل ناشی از توان سازه جهت تحمل تغییرشکل‌های بزرگ، می‌توان مقاومت جانبی سازه در برابر زلزله را با حفظ انسجام و مقاومت سازه جهت تحمل بارهای ثقلی به مقدار قابل توجهی کاهش داد. حال اگر مؤلفه‌های سازه‌ای چنین تغییر شکل‌های بالایی را متحمل شوند و با شکل‌پذیری طراحی گردند قادر به ممانعت از خرابی کامل سازه خواهند بود. به‌هرحال فهم کامل تحمل چنین رفتار غیرخطی پروری بوده و لازم است طلب زلزله چنین سازه‌هایی با تخمین مناسبی محاسبه شود.

۲-۲- تاریخچه و سیر تکامل ضرایب عملکردی

در سال ۱۹۷۸ نشریه ATC 3-06 بنایی را در مهندسی زلزله در آمریکا پایه‌گذاری کرد و مفاهیم جدیدی را به این شرح مطرح نمود که در آن برای اولین بار مفهوم ضریب رفتار در در مخرج رابطه برش پایه اعمال شد.

ضریب رفتار توصیه‌شده در آیین‌نامه‌ها بر پایه مشاهدات عملکرد سیستم‌های ساختمانی مختلف در برابر زلزله‌های قدرتمند گذشته ارائه شده است. تحقیقات زیادی بر نحوه محاسبه ضریب رفتار سازه انجام شده است و بر این عقده هستند که تخمین دقیق این ضریب تا حد زیادی سبب قابلیت اطمینان بیشتر ضوابط آیین‌نامه‌ای می‌گردد [1].

علت اصلی انتخاب روش نیرویی در آیین‌نامه‌ها که R_{code} عنوان می‌شود آن است که در آن اصل شکل‌پذیری در محاسبه دخالت داده نشده است. در بسیاری از آیین‌نامه‌ها از جمله FEMA 368 و NEHRP

همچنین در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مقادیر Rcode بر اساس سیستم سازه‌ای و نوع مصالح در جداولی ارائه شده است و مستقل از پریود سازه طراحی شده است [1].

ضریب دیگری که شامل ضرایب عملکردی سازه است ضریب اضافه مقاومت سازه است که جهت نشان دادن اختلاف مقدار واقعی و لازم مقاومت یک مصالح و یا یک سیستم سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجارب زلزله‌های شدید در گذشته همراه با نتایج آزمایشگاهی و تحقیقات عددی در زمینه عملکرد ساختمان‌ها نشان می‌دهد که ضریب اضافه مقاومت سازه‌ای در ایجاد حاشیه ایمنی نقش بسیار مهمی دارد. این ضریب تا حد زیادی به پریود سازه و سطح شدت لرزه‌خیزی منطقه و همچنین حالات طراحی بدون اثر زلزله و سطح شکل‌پذیری اعمالی در طراحی بستگی دارد [1].

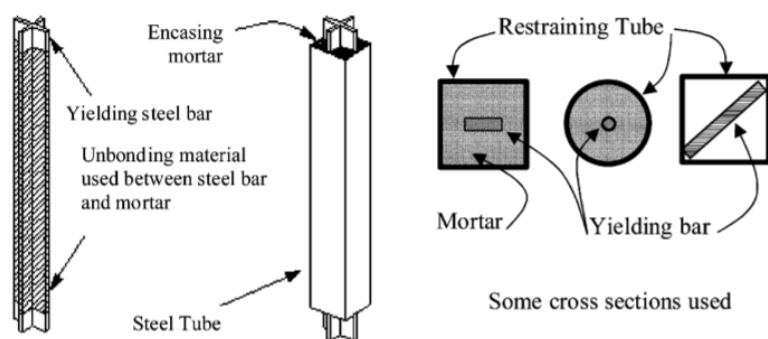
ضریب شکل‌پذیری سازه یکی دیگر از ضرایب عملکردی برای بیان کمی شکل‌پذیری سازه استفاده شده است. درواقع مقدار این ضریب برای بیان کمی توانایی یک سازه در برابر تحمل تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی معرفی شده است و بیانگر حداکثر تغییر شکل سازه است که تحت بارهای وارده قبل از خرابی می‌تواند نسبت به تغییر مکان حد ارتجاعی تحمل نماید [1].

۲-۳- مهاربند کمانش تاب

در سیستم‌های مهاربندی تحقیقات زیادی جهت رسیدن به رفتار الاستوپلاستیک ایده‌آل گردیده است. برای رسیدن به این هدف لازم است تا با استفاده از مکانیزم مناسبی از کمانش مهاربند جلوگیری شود و امکان تسلیم فشاری فولاد فراهم شود. یک روش استفاده شده از محصور کردن هسته فلزی شکل‌پذیر در میان بتن قرار گرفته در یک غشای فلزی است. مبانی اصلی عملکرد غلاف بتنی جلوگیری از کمانش هسته فولادی به منظور امکان وقوع تسلیم فشاری و جذب انرژی در این سیستم سازه‌ای است [2]. در زمینه رفتاری مهاربند کمانش تاب و منحنی هیسترسیس و محاسبه ضرایب رفتار در سال‌های اخیر کارهای زیادی صورت گرفته است. عسگریان و حصاری نیز با در نظر گرفتن تحلیل دینامیکی افزایشی نیز منحنی‌های هیسترسیس برای مقایسه رفتاری BRBF و OCF ارائه کردند که مساحت زیر منحنی هیسترسیس مهاربند کمانش تاب

به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به مهاربندهای معمولی بیشتر بود [3]. Kim and Choi ظرفیت اتلاف انرژی و پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فلزی مجهز به مهاربند کمانش ناپذیر را مورد بررسی قرار دادند و همچنین یک روش طراحی ساده برای یافتن تغییر مکان هدف ارائه دادند نتیجه گرفتند که افزایش سختی این مهاربندها نسبت میرایی معادل سازه‌های یک درجه آزادی عموماً افزایش می‌یابد و ماکزیمم تغییر مکان ساختمان‌ها عموماً کاهش می‌یابد [4].

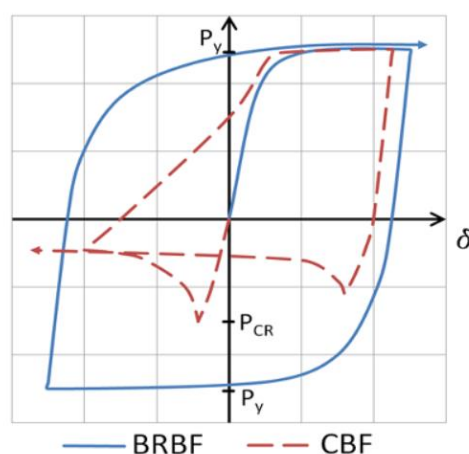
بسیاری از مشکلات عملکردی مرتبط با مهاربندهای معمول از تفاوت بین ظرفیت کشش و فشاری است و از تنزل ظرفیت مهاربند تحت بارگذاری فشاری و چرخه‌ای افزایش می‌یابند. یکی از ایده‌هایی که در جهت تحقیقات انجام شده در زمینه مهاربندها انجام شده است جلوگیری از کمانش مهاربند در جهت فشاری است. تعدادی از پیشنهادهایی که برای انجام این کار پیشنهاد شده است در شکل (۱-۲) نشان داده شده است که شامل محکم کردن هسته فلزی ورق (معمولاً فولاد) (صفحات مستطیلی یا کروی، میله‌های دایره‌ای و غیره) در یک لوله فولادی پر از بتن که درون یک غشای فولادی قرار گرفته است [5,6].



شکل ۱-۲ اجزای مهاربند کمانش تاب [6]

سیستم مهاربندی معمولی به دلیل آنکه همواره بار کمانشی از ظرفیت تسلیم محوری عضو کمتر است، بنابراین فشار کنترل کننده طراحی خواهد بود که این باعث افزایش مقطع طراحی شده برای مهاربند می‌گردد. نکته حائز اهمیت راجع به این مهاربندها رفتار هیسترسیس این المان‌ها به علت کمانش فشاری

تحت بارهای رفت و برگشتی ناقص بوده که باعث استهلاک انرژی در طول زلزله می‌گردد و به همین دلیل این گونه سیستم‌ها دارای شکل‌پذیری پایینی هستند [6]. رفتار هیسترسیس مهاربند کمانش تاب در مقایسه با مهاربندهای معمولی در شکل (۲-۲) نشان داده شده است که رفتار یکسان در کشش و فشار مهاربند کمانش تاب و عدم کمانش این مهاربند در بارهای چرخه‌ای وارده را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲ مقایسه رفتار هیسترسیس مهاربند کمانش تاب در مقایسه با مهاربند معمولی [6]

مطالعات تجزیه و تحلیل عناصر محدود نشان داد که نتایج خوبی با نتایج آزمایش دارد. جالب توجه است، تفاوت بین استحکام کششی و مقاومت فشاری فولاد، مقاومت یکسان فشاری را در مقایسه با کشش ایجاد می‌کند [6].

۲-۳-۱- اجزای مهاربند کمانش تاب^۱

مهاربندهای مقاوم در کمانش (BRB) از ۴ قسمت تشکیل شده است که به شرح زیر است:

۱. قسمت تسلیم یابنده و مهارشده: این بخش فولادی می‌تواند به شکل مقطع مستطیلی یا صلیبی باشد. هرچند که استفاده از یک صفحه فولادی که توسط پوشش پیرامونی مهارشده رایج است

^۱ Buckling restrained brace (BRB)