

تاسیس ۱۳۰۷  
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پایان نامه کارشناسی ارشد  
مهندسی عمران - گرایش زلزله

مطالعه موردی و مقاوم سازی یک سازه فولادی و بررسی اثرات زلزله حوزه نزدیک بر آن  
**Case study and Retrofitting of steel building and considering near field earthquake**

استاد راهنما:

دکتر محمود یحیایی

دانشجو:

یاشار زرین قلم

۸۶۰۲۰۳۴

بهار ۸۹

## چکیده

رکوردهای زلزله ثبت شده از زلزله های اخیر نشان دهنده متفاوت بودن خصوصیات رکوردهای زلزله حوزه نزدیک نسبت به زلزله های حوزه دور می باشد به طوری که یک رکورد زلزله حوزه نزدیک دارای مشخصات متمایزی نسبت به رکوردهای زلزله حوزه دور دارد. از جمله این خصوصیات می توان به حالت پالس گونه بودن این رکوردها و همچنین بالا بودن ماکزیمم سرعت و جابه جایی های زمین اشاره کرد. به همین دلیل این نوع رکوردها نسبت به زمین لرزه های معمولی باعث بالا رفتن نیاز های لرزه ای سازه می شوند. در واقع یکی از مهمترین عوامل تاثیر گذار در زلزله های نزدیک گسل، جهت انتشار گسیختگی گسل نسبت به مکان مورد نظر می باشد. در این مطالعه ابتدا با ارزیابی لرزه ای یک سازه ۱۱ طبقه مهاربندی شده هم محور موجود اقدام به مقاوم سازه مورد نظر با استفاده از مهاربندهای برون محور، مهاربندهای کمانش ناپذیر و میراگر های ویسکوز شده و سپس شتاب نگاشت های ثبت شده بر روی خاک نرم و در حوزه نزدیک زلزله به سازه اعمال شده و نیاز های لرزه ای سازه مقاوم سازی شده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که پاسخ سازه به زلزله های حوزه نزدیک اساسا متفاوت از پاسخ آن به زلزله های حوزه دور می باشد.

علاوه بر این در این پایان نامه دقت روش تحلیل استاتیکی غیر خطی مدرک FEMA 356 در برآورد نیاز لرزه ای ساختمان فلزی مورد نظر که تحت حرکات زمین با مشخصات نزدیک گسل و دور از گسل قرار دارند، بررسی شده است. نتایج ارزیابی ها نشان دهنده این است که پیش بینی های انجام شده مبنی بر عدم دقت مناسب روش های اشاره شده در برآورد نیاز لرزه ای ساختمان مورد بررسی، منطقی به نظر می رسد.

**فصل اول : مقدمه و کلیات**

- ۱-۱ طبقه بندی روش های مقاوم سازی ..... ۲
- ۱-۱-۱ روش های افزایش استقامت سازه ..... ۲
- ۱-۱-۲ روش های کاهش تحریک زلزله و کنترل ارتعاشات سازه ..... ۳
- ۲-۱ سیستم های کنترل فعال ..... ۴
- ۳-۱ سیستم های کنترل نیمه فعال ..... ۵
- ۴-۱ سیستم های کنترل مختلط ..... ۶
- ۵-۱ سیستم های کنترل غیر فعال ..... ۶
- ۱-۵-۱ روش های کاهش تحریک ورودی ..... ۸
- ۲-۵-۱ روش های کاهش پاسخ سازه ..... ۹
- ۱-۲-۵-۱ وسایل اتلاف گر انرژی وابسته (حساس) به سرعت ..... ۹
- ۲-۲-۵-۱ وسایل اتلاف گر انرژی وابسته (حساس) به جابه جایی ..... ۱۰
- ۶-۱ قاب های مهاربندی مجهز به المان های جاذب انرژی (میراگرها) ..... ۱۱

**فصل دوم : زلزله های حوزه نزدیک**

- ۱-۲ زلزله های حوزه نزدیک ..... ۱۴
- ۲-۲ تعریف محدوده نزدیک گسل ..... ۱۴
- ۳-۲ عوامل موثر بر جنبش نیرومند زمین در نزدیکی گسل ..... ۱۵
- ۱-۳-۲ جهت پذیری گسل ..... ۱۵
- ۱-۱-۳-۲ جهت پذیری پیش رونده ..... ۱۶
- ۲-۱-۳-۲ جهت پذیری پس رونده ..... ۱۶
- ۲-۳-۲ تغییر مکان ماندگار ..... ۱۷

- ۴-۲ آیین نامه ها و اثرات زلزله حوزه نزدیک ..... ۱۹
- ۱-۴-۲ آیین نامه UBC97 ..... ۱۹
- ۲-۴-۲ آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰- ..... ۲۲
- ۳-۴-۲ سایر آیین نامه ها ..... ۲۲
- ۵-۲ پرپود پالس ..... ۲۲
- ۶-۲ خصوصیات زلزله های حوزه نزدیک از دیدگاه طیفی ..... ۲۵
- ۱-۶-۲ افزایش سختی ظاهری سیستم ..... ۲۶
- ۲-۶-۲ افزایش نیاز شکل پذیری ..... ۲۶
- ۳-۶-۲ محدود کردن کاربری جداسازی ارتعاشی پایه ..... ۲۶
- ۴-۶-۲ کاهش محدوده کاری میراگرهای ویسکوز الحاقی ..... ۲۶
- ۷-۲ اثر میرایی در رفتار سازه در زلزله های نزدیک گسل ..... ۲۷
- ۷-۲ تاریخچه مطالعات انجام شده در مورد زلزله های حوزه نزدیک ..... ۲۷
- ۸-۲ جمع بندی ویژگی های زلزله های حوزه نزدیک ..... ۳۲

### فصل سوم: مدل سازی المان ها و سازه جهت ارزیابی لرزه ای

- ۱-۳ مدل سازی در نرم افزار Perform 3D ..... ۳۵
- ۲-۳ نحوه مدل سازی تیرها در نرم افزار Perform 3D ..... ۳۵
- ۱-۲-۳ مدل چرخشی - خمشی ..... ۳۶
- ۲-۲-۳ مدل مفصل پلاستیک ..... ۳۷
- ۳-۲-۳ مدل ناحیه پلاستیک ..... ۳۸
- ۴-۲-۳ مدل المان محدود ..... ۳۹
- ۳-۳ نحوه مدل سازی ستون ها در نرم افزار Perform 3D ..... ۴۰
- ۱-۳-۳ سطح اندرکشی P-M-M نوع فولادی ..... ۴۰
- ۲-۳-۳ سطح اندرکشی P-M-M از نوع بتنی ..... ۴۱

۴۱	۴-۳ مدل های چرخه های هیستریزیس
۴۲	۵-۳ تعریف رابطه تلاش - تغییر شکل برای اجزای مختلف
۴۵	۶-۳ مدل سازی میراگر سیال لزج
۴۶	۱-۶-۳ جزئیات مدل سازی میراگر ویسکوز مایع
۴۸	۲-۶-۳ نحوه قرار گیری میراگرها در سازه
۴۹	۳-۶-۳ نحوه مدل سازی المان میله ویسکوز
۵۱	۷-۳ مهاربند های BRB
۵۲	۱-۷-۳ پیکر بندی و مدل سازی بادبندهای کمانش ناپذیر
۵۴	۲-۷-۳ دیدگاه های حاکم بر طراحی بادبندهای کمانش تاب
۵۶	۸-۳ مهاربندهای EBF
۵۸	۱-۸-۳ تیر پیوند
۶۰	۲-۸-۳ نحوه مدل سازی تیر پیوند برشی در نرم افزار Perform
۶۱	۹-۳ مدل کردن میرایی
۶۱	۱-۹-۳ میرایی مودال
۶۱	۲-۹-۳ میرایی ریلی
۶۳	۳-۹-۳ اعمال میرایی در تحلیل ها

#### فصل چهارم : معرفی سازه و زمین لرزه ها

۶۶	۱-۴ معرفی پروژه
۶۸	۱-۱-۴ زمین لغزش
۶۹	۲-۱-۴ وضعیت ساختمان های مجاور
۷۰	۳-۱-۴ اتصالات و جوشکاری
۷۳	۴-۱-۴ کمانش بادبندها
۷۶	۲-۴ معرفی بارگذاری اعمال شده روی مدل ها

۷۶	..... بارگذاری ثقلی ۱-۲-۴
۷۶	..... بارگذاری جانبی در تحلیل استاتیکی غیر خطی ۲-۲-۴
۷۷	..... بارگذاری جانبی در تحلیل دینامیکی خطی ۳-۲-۴
۷۷	..... بارگذاری جانی در روش تحلیل دینامیکی غیر خطی ۴-۲-۴
۷۹	..... گسل های شناسایی شده نزدیک محدوده مورد بحث ۳-۴
۸۱	..... مقایسه زلزله های حوزه نزدیک و دور مورد استفاده در این تحقیق ۴-۴
۸۴	..... روش مقیاس کردن زوج شتاب نگاشت ها ۵-۴

### فصل پنجم : ارزیابی و تفسیر نتایج

۸۸	..... مقدمه ۱-۵
۸۸	..... ارزیابی لرزه ای سازه موجود ۲-۵
۹۲	..... شمای تشکیل مفاصل پلاستیک ۱-۲-۵
۹۶	..... مقاوم سازی با مهاربندهای کماتش ناپذیر ۳-۵
۱۰۰	..... بررسی نسبت های DCR در سازه مقاوم سازی شده با مهاربند کماتش ناپذیر ۱-۳-۵
۱۰۵	..... تغییر مکان نسبی میان طبقات در سازه با مهاربندهای کماتش ناپذیر ۲-۳-۵
۱۰۷	..... تغییر مکان ماکزیمم طبقات در سازه با مهاربندهای کماتش ناپذیر ۳-۳-۵
۱۰۹	..... برش طبقات در سازه با مهاربندهای کماتش ناپذیر ۴-۳-۵
۱۱۰	..... مقاوم سازی با مهاربندهای EBF ۴-۵
۱۱۴	..... بررسی نسبت های DCR در سازه مقاوم سازی شده با مهاربند کماتش ناپذیر ۱-۴-۵
۱۱۷	..... تغییر مکان نسبی میان طبقات در سازه با مهاربندهای EBF ۲-۴-۵
۱۱۹	..... تغییر مکان ماکزیمم طبقات در سازه با مهاربندهای EBF ۳-۴-۵
۱۲۱	..... برش طبقات در سازه با مهاربندهای EBF ۴-۴-۵
۱۲۲	..... مقاوم سازی توسط میراگرهای ویسکوز ۵-۵
۱۲۴	..... بررسی نسبت های DCR در سازه مقاوم سازی شده با میراگر ۱-۵-۵

- ۱۲۹..... ۲-۵-۵ تغییر مکان نسبی میان طبقات در سازه با میراگرهای ویسکوز.
- ۱۳۳..... ۳-۵-۵ مقایسه میراگر ویسکوز با سایر سیستم های کنترل غیر فعال.
- ۱۳۵..... ۶-۵ مقایسه نتایج تحلیل برای مناطق دور و نزدیک گسل.
- ۱۳۶..... ۱-۶-۵ بررسی کارآمدی توزیع های بار جانبی.
- ۱۳۷..... ۲-۶-۵ سازه مقاوم سازی شده با BRB.
- ۱۴۰..... ۳-۶-۵ سازه مقاوم سازی شده با EBF.

### فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۴۳..... ۱-۶ مقدمه.
- ۱۴۳..... ۲-۶ نتیجه گیری و پیشنهادات.
- ۱۴۶..... ۳-۶ پیشنهاداتی برای ادامه تحقیقات.

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) انواع سیستم های ائتلاف انرژی سازه ها به صورت شماتیک ..... ۴
- شکل (۲-۱) بخش های مختلف سیستم کنترل فعال ..... ۵
- شکل (۳-۱) عملکرد قاب های مهاربندی مجهز به المان های جاذب انرژی ..... ۱۲
- شکل (۱-۲) اثر جهت پذیری گسیختگی در گسل در حرکت نیرومند زمین که به یک سایت تحمیل می شود ..... ۱۷
- شکل (۲-۲) انواع حالت های جهت پذیری ..... ۱۷
- شکل (۳-۲) نمودار نشان دهنده پدیده جهت پذیری و تغییر مکان ماندگار زمین برای دو نوع گسل متفاوت ..... ۱۸
- شکل (۴-۲) مقایسه مدل های مختلف برای تخمین پریود پالس ..... ۲۵
- شکل (۱-۳) مدل چرخشی - خمشی ..... ۳۶
- شکل (۲-۳) اجزای اصلی مدل چرخشی - خمشی ..... ۳۶
- شکل (۳-۳) مدل چرخشی - خمشی در نرم افزار Perfrom ..... ۳۷
- شکل (۴-۳) نحوه تغییر شکل مدل چرخشی - خمشی ..... ۳۷
- شکل (۵-۳) مدل سازی تیر با استفاده از مفاصل پلاستیک ..... ۳۸
- شکل (۶-۳) مدل ناحیه پلاستیک ..... ۳۸
- شکل (۷-۳) مدل المان محدود ..... ۳۹
- شکل (۸-۳) سطح اندرکنشی P-M-M نوع فولادی ..... ۴۰
- شکل (۹-۳) سطح اندرکنشی P-M-M از نوع بتنی ..... ۴۱
- شکل (۱۰-۳) رابطه تلاش - تغییر مکان و چرخه هیستریزیسی ..... ۴۱
- شکل (۱۱-۳) رابطه تلاش - تغییر شکل ..... ۴۲
- شکل (۱۲-۳) رابطه نیرو - تغییر شکل برای یکی از بادبندها ..... ۴۳
- شکل (۱۳-۳) رابطه نیرو - تغییر شکل برای یکی از تیرها ..... ۴۴
- شکل (۱۴-۳) نیرو - تغییر شکل را برای یکی از ستون ها ..... ۴۴
- شکل (۱۵-۳) رفتار غیر خطی تعریف شده برای یک تیر در تحلیل دینامیکی غیر خطی ..... ۴۵



- شکل (۱۶-۳) نمودار نیرو - سرعت برای میراگر های ویسکوز ..... ۴۷
- شکل (۱۷-۳) مدل دینامیکی میراگر ..... ۴۷
- شکل (۱۹-۳) مهاربند دمپر های قطری و چورون ..... ۴۸
- شکل (۲۰-۳) مهاربند دمپر های زانویی بالایی و پایینی ..... ۴۸
- شکل (۲۱-۳) مدل المان میله ویسکوز ..... ۴۹
- شکل (۲۲-۳) نمودار تلاش - تغییر شکل میراگر ویسکوز ..... ۵۰
- شکل (۲۳-۳) چرخه بارگذاری مهاربند کمانش تاب و مهاربند معمولی ..... ۵۲
- شکل (۲۴-۳) ساختار مهاربندهای کمانش تاب ..... ۵۳
- شکل (۲۶-۳) رفتار غیر خطی تعریف شده برای یکی از مهاربندهای کمانش ناپذیری ..... ۵۵
- شکل (۲۸-۳) قاب های مهاربندی شده با محورهای غیر متقارب ..... ۵۷
- شکل (۲۹-۳) سطح اندرکنش نیروی برشی و ممان خمشی در تیر پیوند ..... ۵۹
- شکل (۳۰-۳) مدل تیر لینک برشی ..... ۶۰
- شکل (۳۱-۳) نمودار نیرو-تغییر شکل برای یکی از تیرهای لینک ..... ۶۱
- شکل (۳۲-۳) معنی فیزیکی میرایی  $\alpha M + \beta K$  ..... ۶۲
- شکل (۳۳-۳) تغییرات نسبت میرایی ..... ۶۴
- شکل (۱-۴) نمای سازه ..... ۶۶
- شکل (۲-۴) نمای کلی ساختمان ..... ۶۷
- شکل (۳-۴) دیوار حائل موجود در نزدیکی ساختمان ..... ۶۸
- شکل (۴-۴) شکل گودبرداری انجام شده در محل ساختگاه ..... ۶۹
- شکل (۵-۴) درز انقطاع ساختمان با ساختمان مجاور ..... ۷۰
- شکل (۶-۴) آزمایش جوش ها ..... ۷۱
- شکل (۷-۴) نمونه ای از under cut جوشها ..... ۷۱
- شکل (۸-۴) طول ناحیه اتصال کوتاه در بادبند ..... ۷۲
- شکل (۹-۴) عدم پیوستگی تیر ..... ۷۲

- شکل (۴-۱۰) اشکالات اتصالات ..... ۷۳
- شکل (۴-۱۱) کمانش مهاربندها ..... ۷۴
- شکل (۴-۱۲) کمانش و بریدگی از ناحیه اتصال مهاربند ..... ۷۵
- شکل (۴-۱۳) طیف مورد استفاده در تحلیل ..... ۷۷
- شکل (۴-۱۴) تاریخچه زمانی مولفه شمالی - جنوبی زلزله نورث ریج ..... ۸۲
- شکل (۴-۱۵) تاریخچه زمانی مولفه شرقی - غربی زلزله نورث ریج ..... ۸۲
- شکل (۴-۱۶) طیف های زوج شتاب نگاشت مورد استفاده در تحلیل ..... ۸۴
- شکل (۴-۱۷) طیف شتاب زلزله های حوزه نزدیک ..... ۸۶
- شکل (۴-۱۸) طیف شتاب زلزله های حوزه دور ..... ۸۷
- شکل (۴-۱۹) مقیاس سازی زلزله های حوزه دور ..... ۸۷
- شکل (۵-۱) نمای کلی مدل سازه ..... ۸۹
- شکل (۵-۲) نمای شمال - جنوب سازه ..... ۹۰
- شکل (۵-۳) نمای شرق - غرب سازه ..... ۹۰
- شکل (۵-۴) پلان تیر ریزی ..... ۹۱
- شکل (۵-۵) نمودار پوش آور تحت اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در جهت شرق به غرب ..... ۹۱
- شکل (۵-۶) نمودار پوش آور تحت اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در جهت شمال به جنوب ..... ۹۲
- شکل (۵-۷) شمای تشکیل مفاصل پلاستیک در زلزله حوزه دور ..... ۹۵
- شکل (۵-۸) شمای تشکیل مفاصل پلاستیک در زلزله حوزه نزدیک ..... ۹۵
- شکل (۵-۹) شمای تشکیل مفاصل پلاستیک در اثر تحلیل استاتیکی غیر خطی ..... ۹۶
- شکل (۵-۱۰) نمای شمال - جنوب ..... ۹۷
- شکل (۵-۱۱) نمای شرق - غرب ..... ۹۸
- شکل (۵-۱۲) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در امتداد شرق به غرب ..... ۹۹
- شکل (۵-۱۳) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در امتداد شمال به جنوب ..... ۹۹
- شکل (۵-۱۴) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع اول در امتداد شمال به جنوب ..... ۱۰۰

- شکل (۵-۱۵) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع اول در امتداد شرق به غرب ..... ۱۰۰
- شکل (۵-۱۶) نسبت های کاربردی المان مهاربند کمانش ناپذیر ..... ۱۰۲
- شکل (۵-۱۷) نسبت های کاربردی برای ستون ها ..... ۱۰۲
- شکل (۵-۱۸) نسبت های کاربردی برای بخش های الاستیک مهاربند ها ..... ۱۰۳
- شکل (۵-۱۹) نسبت های کاربردی در مورد کنترل برش تیرها ..... ۱۰۳
- شکل (۵-۲۰) نسبت های کاربردی در مورد کنترل ممان تیرها ..... ۱۰۴
- شکل (۵-۲۱) ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دوره و نزدیک زلزله chi chi ..... ۱۰۶
- شکل (۵-۲۲) ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دور و نزدیک Northridge ..... ۱۰۷
- شکل (۵-۲۳) میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دور و نزدیک ..... ۱۰۷
- شکل (۵-۲۴) ماکزیمم تغییر مکان بام تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی ..... ۱۰۸
- شکل (۵-۲۵) میانگین ماکزیمم تغییر مکان طبقات مختلف تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی ..... ۱۰۹
- شکل (۵-۲۶) میانگین ماکزیمم تغییر مکان طبقات مختلف تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی ..... ۱۰۹
- شکل (۵-۲۷) میانگین برش پایه طبقات تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی در جهت شرق به غرب ..... ۱۱۰
- شکل (۵-۲۸) میانگین برش پایه طبقات تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی در جهت شمال به جنوب ..... ۱۱۱
- شکل (۵-۲۹) نمای شمال - جنوب سازه ..... ۱۱۲
- شکل (۵-۳۰) نمای شرق - غرب ..... ۱۱۲
- شکل (۵-۳۱) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در امتداد شرق به غرب ..... ۱۱۳
- شکل (۵-۳۲) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در امتداد شمال به جنوب ..... ۱۱۴
- شکل (۵-۳۳) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع اول در امتداد شمال به جنوب ..... ۱۱۴
- شکل (۵-۳۴) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع اول امتداد شرق به غرب ..... ۱۱۵
- شکل (۵-۳۵) نسبت های کاربردی در مورد کنترل ستون ها ..... ۱۱۶
- شکل (۵-۳۶) نسبت های کاربردی در مورد کنترل مهاربند ها ..... ۱۱۶
- شکل (۵-۳۷) نسبت های کاربردی در مورد کنترل تیر پیوند ..... ۱۱۷
- شکل (۵-۳۸) نسبت های کاربردی در مورد کنترل نیروی برشی در تیرهای الاستیک ..... ۱۱۷

- شکل (۳۹-۵) نسبت های کاربردی در مورد کنترل ممان خمشی در تیرهای الاستیک..... ۱۱۸
- شکل (۴۰-۵) ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دوره و نزدیک زلزله نورث ریج..... ۱۱۹
- شکل (۴۱-۵) میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دور و نزدیک..... ۱۲۰
- شکل (۴۲-۵) ماکزیمم تغییر مکان طبقه ۱۱ حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی..... ۱۲۰
- شکل (۴۳-۵) میانگین برش پایه طبقات تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی در جهت شرق به غرب..... ۱۲۱
- شکل (۴۴-۵) میانگین برش پایه طبقات تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی در جهت شمال به جنوب..... ۱۲۱
- شکل (۴۵-۵) میانگین برش طبقات حاصل از تحلیل هفت رکورد تاریخچه زمانی زلزله حوزه نزدیک و دور در جهت H1..... ۱۲۲
- شکل (۴۶-۵) میانگین برش طبقات حاصل از تحلیل هفت رکورد تاریخچه زمانی زلزله حوزه نزدیک و دور در جهت H2..... ۱۲۲
- شکل (۴۷-۵) نمای شمالی - جنوبی سازه مقاوم سازی شده با میراگر..... ۱۲۳
- شکل (۴۸-۵) نحوه قرار گیری میراگرها در طبقه در حالت قطری در نمای شرقی - غربی سازه..... ۱۲۴
- شکل (۴۹-۵) نمودار نیرو - تغییر مکان میراگر..... ۱۲۴
- شکل (۵۰-۵) جدولی جهت انتخاب ابعاد میراگر با توجه به میزان نیروی وارده..... ۱۲۵
- شکل (۵۱-۵) میانگین نسبت های کاربردی برای ستون ها در تحلیل تاریخچه زمانی تحت رکورد شرق به غرب..... ۱۲۶
- شکل (۵۲-۵) میانگین نسبت های کاربردی برای ستون ها در تحلیل تاریخچه زمانی تحت رکورد شرق به غرب..... ۱۲۶
- شکل (۵۳-۵) میانگین نسبت های کاربردی برای ستون ها در تحلیل تاریخچه زمانی تحت رکورد شمال به جنوب..... ۱۲۷
- شکل (۵۴-۵) میانگین نسبت های کاربردی برای ستون ها در تحلیل تاریخچه زمانی تحت رکورد شمال به جنوب..... ۱۲۷
- شکل (۵۵-۵) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در امتداد شرق به غرب..... ۱۲۸
- شکل (۵۶-۵) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع دوم در امتداد شمال به جنوب..... ۱۲۸
- شکل (۵۷-۵) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع اول در امتداد شمال به جنوب..... ۱۲۹
- شکل (۵۸-۵) منحنی ظرفیت سازه و تغییر مکان هدف در اثر پوش توسط توزیع بار نوع اول در امتداد شرق به غرب..... ۱۲۹
- شکل (۵۹-۵) ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دوره و نزدیک زلزله loma prieta..... ۱۳۰
- شکل (۶۰-۵) ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دوره و نزدیک زلزله نورث ریج..... ۱۳۱
- شکل (۶۱-۵) میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی میان طبقات تحت تحریک زلزله های حوزه دور و نزدیک..... ۱۳۱
- شکل (۶۲-۵) میانگین برش طبقات حاصل از تحلیل هفت رکورد تاریخچه زمانی زلزله حوزه نزدیک و دور در جهت H1..... ۱۳۲

- شکل (۶۳-۵) میانگین برش طبقات حاصل از تحلیل هفت رکورد تاریخچه زمانی زلزله حوزه نزدیک و دور در جهت H2..... ۱۳۲
- شکل (۶۴-۵) میانگین برش پایه طبقات تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی در جهت شرق به غرب ..... ۱۳۳
- شکل (۶۵-۵) میانگین برش پایه طبقات تحت تحریک های مختلف تاریخچه زمانی در جهت شمال به جنوب ..... ۱۳۳
- شکل (۶۶-۵) ماکزیمم تغییر مکان طبقه ۱۱ حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی ..... ۱۳۴
- شکل (۶۷-۵) ماکزیمم نیاز تغییر مکانی طبقات حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در مقایسه با برآورد دستورالعمل بهسازی لرزه ای ..... ۱۳۸
- شکل (۶۸-۵) ماکزیمم نیاز تغییر مکانی طبقات حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در مقایسه با برآورد دستورالعمل بهسازی لرزه ای ..... ۱۳۹
- شکل (۶۹-۵) تغییر مکان نسبی میان طبقات حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در مقایسه با برآورد دستورالعمل بهسازی لرزه ای ۱۴۰
- شکل (۷۰-۵) ماکزیمم نیاز تغییر مکانی طبقات حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در مقایسه با برآورد دستورالعمل بهسازی لرزه ای ..... ۱۴۱
- شکل (۷۱-۵) تغییر مکان نسبی میان طبقات حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در مقایسه با برآورد دستورالعمل بهسازی لرزه ای ۱۴۲

فهرست جداول

جدول (۱-۲) جهت پالس ناشی از جهت پذیری گسیختگی و گام جهشی را برای مکانیزم های مختلف گسلش	۱۹
جدول (۲-۲) فاکتور پرپود کوتاه (Na)	۱۹
جدول (۳-۲) فاکتور پرپود متوسط ( $N_v$ )	۲۰
جدول (۴-۲) توضیح انواع منابع لرزه ای	۲۰
جدول (۵-۲) مقادیر ضریب $C_a$	۲۱
جدول (۶-۲) مقادیر ضریب $C_v$	۲۱
جدول (۷-۲) تخمین ها برای $T_{v-p}$ و $T_v$	۲۴
شکل (۱۸-۳) مدل میراگر سیال لزج	۴۷
شکل (۲۵-۳) طراحی مهاربند کماتش ناپذیر بر اساس میراگر	۵۴
شکل (۲۷-۳) رفتار غیر خطی یکی از مهاربندهای کماتش ناپذیری در تحلیل دینامیکی غیر خطی	۵۶
جدول (۱-۴) رکوردهای مورد استفاده در تحلیل	۸۰
جدول (۲-۴) پرپود پالس رکوردها	۸۵
جدول (۱-۵) نسبت های نیاز و ظرفیت برای بادبندهای برای عملکردی ایمنی جانی	۹۳
جدول (۲-۵) نسبت های ظرفیت/نیاز در سطح عملکرد ایمنی جانی برای مهاربندهای نمای شمالی - جنوبی	۱۰۴
جدول (۳-۵) نسبت های ظرفیت/نیاز در سطح عملکرد ایمنی جانی برای مهاربندهای نمای شرقی - غربی	۱۰۵
جدول (۴-۵) نسبت های ظرفیت/نیاز در سطح عملکرد ایمنی جانی برای مهاربندهای	۱۰۵
جدول (۵-۵) بررسی دقت روش ضرایب در سازه مقاوم سازی شده با BRB	۱۳۷
جدول (۶-۵) بررسی دقت روش ضرایب در سازه مقاوم سازی شده با EBF	۱۳۷



فصل اول

مقدمه و کلیات



## ۱-۱ طبقه بندی روش های مقاوم سازی

تکنیک ها و روش های ابداع شده و بکار رفته برای مقاوم سازی را می توان چنین تقسیم کرد:

(۱) روش های افزایش استقامت سازه

(۲) روش های کاهش تحریک زلزله و کنترل ارتعاشات سازه

### ۱-۱-۱ روش های افزایش استقامت سازه

بدین منظور در حالت کلی می توان سیستم هایی را به سازه اضافه کرد که باعث افزایش استقامت سازه می گردند. اجزای مقاوم جانبی از جمله دیوار برشی و بادبند و غیره از جمله این سیستم ها می باشند. انتخاب و طراحی سیستم مقاومت جانبی در ساختمان تابع عوامل متعددی است و احتیاج به تجربه و قضاوت مهندسی و خبرگی فنی دارد و معمولاً لازم می گردد سه ویژگی مختلف را در تناسب با هم ( و البته با در نظر داشتن محدودیت های طرح معماری ) در سازه مراعات نمود.

این سه ویژگی عبارت است از :

(۱) مقاومت<sup>۱</sup>

(۲) سختی و صلیبیت<sup>۲</sup>

(۳) شکل پذیری و ظرفیت استهلاک انرژی<sup>۳</sup>

همان طور که قبلاً اشاره شد برای جلوگیری از خرابی تامین حد معینی از مقاومت و شکل پذیری لازم است و می توان با افزودن بر شکل پذیری، سازه را در مقابل نیروهای موثر کوچک تری محاسبه نمود. ولی این عمل خود محدود است، زیرا را که تغییر شکل های بزرگ در سیستم اشکالات دیگری را به وجود می آورد که از آن جمله ناپایداری حاصل از لنگر های ثانوی (عامل پی - دلتا) و یا صدمه زیاد در قسمت های غیر باربر (عناصر معماری) ساختمان و برای جلوگیری از آن ها باید سختی و صلیبیت در حد لازم مراعات گردد.

دستگاه های مقاوم در برابر نیروهای جانبی به طور کلی در دو شکل مختلف مقاومت نشان می دهند:

الف) مقاومت در خمش

ب) مقاومت در کشش و فشار مستقیم و یا برش

---

<sup>1</sup> strength  
<sup>2</sup> stiffness-rigidity  
<sup>3</sup> ductility

محاسبه نشان می دهد که بازده مقاومتی گروه دوم بهتر از گروه اول است ولی در مقابل ، گروه اول خاصیت مساعد شکل پذیری زیاد را داراست که در سازه های مقاوم در برابر زلزله بسیار ضروری است. عنصر اصلی در دستگاه های مقاوم گروه اول قاب های خمشی برنده لنگر و در گروه دوم مهاربندی و بادبندی و دیوار برشی است.

#### ۱-۲ روش های کاهش تحریک زلزله و کنترل ارتعاشات سازه

تفکر کنترل ارتعاش ورودی و پاسخ سازه باعث ایجاد تغییرات اساسی در روند مقاوم سازی سازه ها در برابر زلزله شده است. در این تفکر به جای مقاوم سازی سازه به عنوان یک تک عنصر اقدام به تعبیه وسایل و امکانات جانبی می شود تا به همراه سازه و به صورت یک مجموعه در برابر زلزله مقاومت کنند. این وسایل و امکانات با رفتار خاص خود باعث بهبود پاسخ سازه به هنگام زمین لرزه می شوند.

روش های کاهش تحریک زلزله به نحوی سعی دارند از شدت تحریک وارد شده به سازه بکاهند و به عبارت دیگر با کنترل ارتعاشات سازه ها پاسخ تغییر مکان و یا شتاب سازه، که از جمله مهم ترین عوامل ایجاد خرابی به هنگام زلزله می باشد را کاهش دهند. برای ایجاد سهولت در مطالعه روش های مختلف کنترل ارتعاشات، طبقه بندی های مختلفی صورت گرفته است. مبنای برخی از این طبقه بندی ها مشخصه های دینامیکی سازه ها و برخی دیگر محل و نحوه توزیع عامل کنترل کننده در ساختمان است. اما کلی ترین و متداول ترین روش طبقه بندی بر اساس نحوه عملکرد سیستم کنترل است که به چهار دسته زیر تقسیم می شوند. [۱] و [۵]

۱) سیستم های کنترل فعال<sup>۱</sup>

۲) سیستم های کنترل غیر فعال<sup>۲</sup>

۳) سیستم های کنترل نیمه فعال<sup>۳</sup>

۴) سیستم های کنترل مختلط<sup>۴</sup>

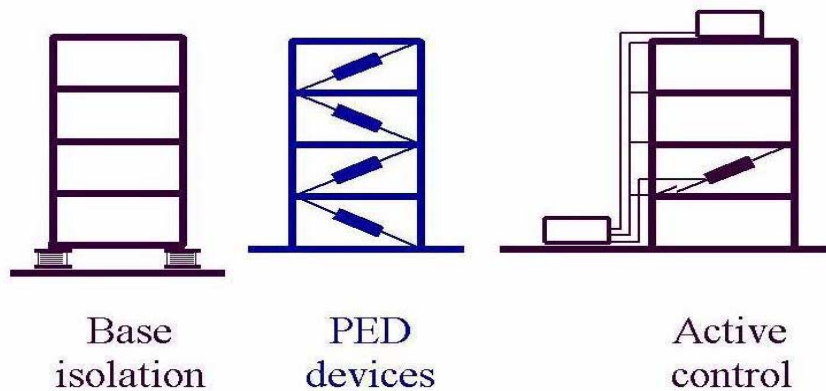
---

<sup>۱</sup> Active control systems

<sup>۲</sup> Passive control systems

<sup>۳</sup> Semi active control systems

<sup>۴</sup> Hybrid control systems



شکل (۱-۱) انواع سیستم های اتلاف انرژی سازه ها به صورت شماتیک

## ۲-۱ سیستم های کنترل فعال

سیستم های کنترل فعال، یکی از ایده های جالبی بود که در دهه ۱۹۶۰ میلادی برای مقابله با نیروهای مخرب زلزله مطرح گردید. در این سیستم ها هنگام اعمال بار خارجی، توسط دستگاه های مختلفی از جمله کنترل هوشمند کامپیوتری، در هر لحظه مقدار نیرویی معادل اما در خلاف جهت نیروی وارده، بر سازه اعمال می گردد، به عبارت دیگر مانند ماشینی در برابر نیروهای خارجی واکنش می دهد. در مهندسی سازه، در سیستم های کنترل فعال یا حرکت سازه مورد مطالعه کنترل می گردد و یا با استفاده از عملکرد یک سیستم کنترل و در سایه یک مولد خارجی اصلاح می گردد.

نخستین ایده های سیستم کنترل فعال توسط آقای زوک<sup>۱</sup> ارائه شده که در آن نظریه سازه های جنبشی مطرح گردیده است. وی تمام سازه هایی را که قادر به تغییر شکل فرم یا وضعیت خود با نیروهای دائم تغییر بودند، در نظر گرفت. اما تحقیقات سیستماتیک در این زمینه توسط آقای یائو<sup>۲</sup> انجام پذیرفت که وی تئوری کنترل دقیق را بر اساس مفهوم سازه ای ارائه کرد. در این تئوری یک سیستم کنترل فعال به منظور ایجاد ایمنی در سازه های مهندسی پیشنهاد گردیده بود. این سیستم ها معمولاً بسیار پیچیده بوده و دانش های مختلفی چون الکترونیک، کامپیوتر، مکانیک و... در آن ها دخیل هستند. چنین سیستم های به تجهیزاتی ویژه مثل عملگرهای هیدرولیکی (به عنوان محرک خارجی) و سیستم های دقیق کنترل یعنی گیرنده های حساس و تجهیزات سخت افزاری و نرم افزاری احتیاج دارند. به همین دلیل هزینه های نصب، نگهداری و تعمیر آن ها بیشتر از سیستم های

<sup>۱</sup> Zuk(1960)

<sup>۲</sup> Yao(1972)

کنترل غیر فعال است. این سیستم ها بر خلاف کنترل غیر فعال، برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاش سازه نیازمند استفاده از منابع انرژی خارجی بوده و به همین دلیل به نام سیستم های کنترل فعال معروفند. به طور کلی سیستم های کنترل فعال دارای عملکرد بهتری (راندمان بالاتری) نسبت به سیستم های کنترل غیر فعال در ازای هزینه های بهره برداری بیشتر می باشند.

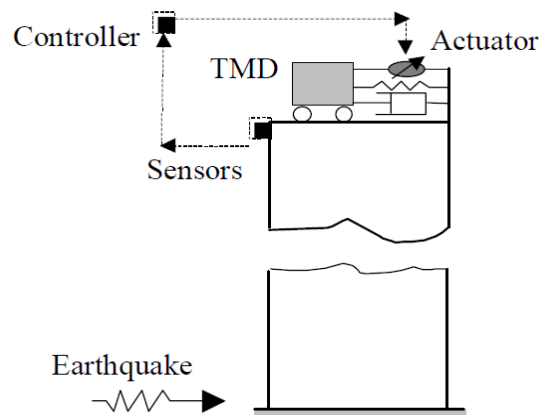
هر سیستم کنترل فعال شامل سه بخش اصلی است.

الف) رفتار سنجی<sup>۱</sup>: که وظیفه دریافت و ارائه اطلاعات را برعهده دارد.

ب) کنترل کننده<sup>۲</sup>: که بر اساس اطلاعات رسیده از بخش رفتار سنجی، تصمیم به یک سری عملیاتی گرفته و فرمان های لازم را به عمل گر ها می دهد.

ج) عمل گر ها<sup>۳</sup>: یک سری وسایل مکانیکی بوده که فرمان های بخش کنترل کننده را اجرا می نمایند.

در شکل زیر نمونه ای از کنترل فعال که در سیستم میراگر جرمی استفاده شده است را مشاهده می کنید.[1]



شکل (۱-۲) بخش های مختلف سیستم کنترل فعال

### ۳-۱ سیستم های کنترل نیمه فعال

مقایسه بین عملکردهای سیستم های کنترل فعال و غیر فعال، سبب پیدایش سیستم کنترل جدیدی تحت عنوان نیمه فعال گردید. وسایل کنترل نیمه فعال دارای خواصی هستند که در هر لحظه قابل تنظیم هستند و لیکن قادر به

<sup>1</sup> Monitoring

<sup>2</sup> Controller

<sup>3</sup> Actuators