بسم الله الرحمن الرحیم

جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها با جداگر لرزه‌ای الاستومریک

(با ارائه روش‌های محاسبه و طراحی سامانه جداساز لرزه‌ای)

مؤلفین:

دکتر عباس حق اللهی **مهندس امید قیامی اردبیلی**

سر شناسه : حق اللهی،عباس، ۱۳۳۸ .
عنوان و نام پدید آور : جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها با جداگر لرزه‌ای الاستومریک/ مؤلفین عباس حق اللهی، امید قیامی اردبیلی.
مشخصات نشر : تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری : ۲۳۶ ص.: مصور، جدول.
شابک : ۹-۰۱-۶۵۹۴-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : ساختمان سازی – طرح و محاسبه
موضوع : سازه – طرح و محاسبه
موضوع : ساختمان‌های ضد زلزله
موضوع : ساختمان‌ها – اثر زلزله
شناسه افزوده : قیامی اردبیلی،امید، ۱۳۵۶.
شناسه افزوده : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.
رده بندی کنگره : ۱۳۹۱ ۴ج۷ ج/TH۱۴۶
رده بندی دیویی : ۶۹۰/۱
شماره کتابشناسی ملی : ۲۷۳۳۸۹۸

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان : جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها با جداگر لرزه‌ای الاستومریک
تألیف : عباس حق اللهی، امید قیامی اردبیلی.
نوبت چاپ : اول، ۱۳۹۱
انتشارات : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
لیتوگرافی : رضا
چاپ : ناطقی
ویراستار : ص.سلمانی نژاد مهرآبادی
ناظرفنی : غلامرضا کارگریان مروستی
شمارگان : ۱۰۰۰ جلد
قیمت : ۵۰۰۰ تومان
شابک : ۹ –۰۱– ۶۵۹۴ – ۶۰۰ – ۹۷۸ ISBN: 978-600-6594-01- 9

کلیهٔ حقوق این اثر برای مؤلف و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان – کد پستی ۱۶۷۸۸ – صندوق پستی ۱۶۳ – ۱۶۷۸۵ – تلفن: ۹ – ۲۲۹۷۰۰۶۰
نمابر: ۲۲۹۷۰۰۷۰ پست الکترونیک sru@srttu.edu

پیش گفتار مؤلفین

سیستم جداساز لرزه‌ای، روشی مناسب برای کاهش تأثیر زلزله بر سازه‌هاست که موجب کاهش تغییر مکان نسبی و شتاب طبقه‌ای می‌گردد؛ به‌طوری‌که این سیستم با جذب و اتلاف بخشی از انرژی ورودی ناشی از زمین لرزه، از زمان تناوب‌های حاوی انرژی زلزله دور گردیده و از عمل تشدید جلوگیری می‌کند. به طور کلی جدا کردن بخشی از سازه یا کل آن از زمین به منظور کاهش پاسخ زلزله را جداسازی لرزه‌ای می‌گویند.

در این روش، نشیمن‌های جداساز در ترازی از سیستم و نزدیک به پی، قرار می‌گیرند که این وسیله، عامل جداسازی بخش فوقانی از پایه زیرین می شود. سیستم جداگر با متمرکز کردن تغییر مکان‌های حاصله در تراز جداسازی شده، انعطاف‌پذیری مورد نیاز سازه را فراهم ساخته و ساختمان را تا حد زیادی از مؤلفه‌های افقی حرکت زمین جدا می‌سازد. در این شرایط سیستمی به‌وجود می‌آید که فرکانس آن بسیار کوچک‌تر از فرکانس غالب زمین لرزه است. سیستم جداساز ضمن جذب بخشی از انرژی ورودی ناشی از زمین لرزه، با تغییر در زمان تناوب ارتعاشی اصلی سیستم، از زمان تناوب‌های حاوی انرژی زمین لرزه فاصله می-گیرد و در نتیجه با اجتناب از عمل تشدید پاسخ لرزه‌ای سازه را کاهش می‌دهد. جداسازی لرزه‌ای به عنوان یک روش کنترل غیر فعال برای کاهش پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله در نظر گرفته می‌شوند. این روش تقریباً یک ایده قدیمی است؛ به‌طوری‌که در برخی بناهای تاریخی ایران نظیر پاسارگاد و بعضی از بناهای سنتی شمال کشور نیز به نوعی مشاهده شده است.

این کتاب شامل تاریخچه، شناخت و مروری بر تحقیقات انجام شده در مورد جداگر لرزه‌ای است. همچنین به بحث جداسازها و دستورالعمل‌های مربوطه می‌پردازد و در بخش آخر به کنترل کیفیت، روند تولید و نحوه همکاری بین مهندس سازه و تولید کننده جداگر نیز پرداخته است.

نوشته حاضر بر مبنای یک کار تحقیقاتی و با انگیزه بومی‌سازی و ترویج صنعت جداسازی سازه‌ها در ایران، بر مبنای ضوابط و دستورالعمل‌های ایرانی تألیف شده است. کنترل ضوابط بهسازی لرزه‌ای بر مبنای دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) و تفسیر آن (نشریه ۳۶۱) انجام شده است. همچنین طراحی و کنترل ایزولاتورها بر مبنای دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای (نشریه ض-۵۵۰ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن) و راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها (نشریه ۵۲۳) تهیه شده‌است و در بخش محاسبات، قسمت‌های ضروری نشریه ۰۳۸ کنترل شده‌اند.

با توجه به تأکید آیین‌نامه‌ها، مباحث محاسباتی برای سیستم‌های جداسازی در دو سطح زلزله متوسط و شدید انجام گرفته است. همچنین به علت گسترش روز افزون روش‌های تحلیل، ضوابط و معیارها در قسمت‌های لازم با هر دو روش تنش مجاز (ASD) و روش حدی (LRFD) مورد بحث قرار گرفته‌اند.

مؤلفین در خاتمه لازم می‌دانند از آقایان مهندس سیامک پور صدر و مهندس خسرو آقاجانی و علی خاقانی که ما را در نگارش این کتاب یاری فرمودند، سپاس گزاری نمایند.

عباس حق‌اللهی
Haghollahi@srttu.edu

امید قیامی اردبیلی
Omidardabili@yahoo.com

فهرست مطالب

فصل اول

کلیات جداساز لرزه‌ای

۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. عنوان مسأله جداساز لرزه‌ای ۵
۱-۳. معرفی سیستم جداساز لرزه‌ای ۱۳
۱-۳-۱. جداساز لرزه‌ای در بهسازی نوین ۱۳
۱-۳-۲. تاریخچه ساخت و اجرای جداسازهای لرزه‌ای ۱۴
۱-۳-۳. نمونه‌ای از سازه‌های معروف جدا سازی شده ۲۱
۱-۳-۴. تجربه‌های موفقیت‌آمیز ۲۶
۱-۳-۵. انواع ایزولاتورها ۲۸
۱-۳-۵-۱. بالشتک‌های لاستیکی با میرایی کم ۲۸
۱-۳-۵-۲. بالشتک لاستیکی با میرایی کم دارای هسته سربی ۳۱
۱-۳-۵-۳. بالشتک لاستیکی با میرایی زیاد ۳۴
۱-۳-۵-۴. سیستم آونگ اصطکاکی ۳۵
۱-۳-۵-۵. تکیه‌گاه لغزشی ۳۷
۱-۳-۵-۶. تکیه‌گاه‌های لغزنده ۳۸
۱-۳-۶. آزمایش‌های مورد نیاز برای جداسازهای لرزه‌ای ۳۹
۱-۳-۷. اجزای اصلی سیستم‌های جدا کننده ۴۰
۱-۳-۸. میراگرهای به کار رفته در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای ۴۳
۱-۴. اهمیت و ضرورت مطالعه جداسازهای لرزه‌ای ۴۵
۱-۵. اهداف روش جداسازی لرزه‌ای ۴۷

فصل دوم

مروری بر ادبیات جداسازهای لرزه‌ای

۲-۱. مقدمه‌ای بر نظریه‌های بهسازی با سیستم جداگر لرزه‌ای ۵۰
۲-۲ جایگاه سامانه جداگر در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۵۳
۲-۳. اثر خاک زیرین در رفتار روبنای جداسازی شده ۵۴

۲-۴. تأثیر سایت‌های نزدیک و دور از گسل زلزله بر روی سامانه جداسازی شده ۵۶
۲-۵. تأثیر ویژگی و خاصیت مدل سازی در پاسخ‌های رو سازه ۵۸
۲-۶. تأثیر نحوه توزیع بالشتک‌ها در تراز پایه ۶۳
۲-۷. مطالعات جداساز لرزه‌ای بر سازه‌های مخازن ۶۵
۲-۸. ساختمان‌های بنایی جداسازی شده ۶۷

فصل سوم

مروری بر بهسازی و ضوابط جداسازهای لرزه‌ای

۳-۱. مقدمه‌ای بر بهسازی لرزه‌ای ۷۲
۳-۱-۱. نیاز به شکل پذیری ساختمان ۷۴
۳-۱-۲. طراحی براساس عملکرد ۷۴
۳-۱-۳. اعضای ترد و نرم ۷۵
۳-۱-۴. مقایسه طراحی بر اساس عملکرد و مقاومت عضو ۷۸
۳-۲. اهداف طراحی سیستم‌های جداگر لرزه‌ای ۸۰
۳-۲-۱. ضوابط و آیین‌نامه‌های جداساز لرزه‌ای ۸۰
۳-۲-۲. معرفی آیین‌نامه‌های اروپایی و آمریکایی در مورد مطالعه طراحی ساختمان با سیستم جداساز لرزه‌ای ۸۲
۳-۲-۳. مقایسه نحوه توزیع بارجانبی زلزله در ارتفاع در EUROCODE ۸ ، UBC - ۹۷، FEMA-۳۵۶ ۸۶
۳-۲-۴. موارد اختلاف آیین‌نامه‌های طراحی و دستورالعمل مقاوم سازی در بین ضوابط موجود در داخل کشور ۸۷
۳-۲-۴-۱. روش‌های تحلیل ۸۸
۳-۲-۴-۲. اعمال ضریب رفتار ۸۸
۳-۲-۴-۳. نحوه تعیین زمان تناوب سازه ۹۰
۳-۲-۴-۴. تعیین تغییر مکان هدف ۹۱
۳-۲-۴-۵. تعیین برش پایه ۹۲
۳-۲-۴-۶. اصلاح مقادیر بازتاب‌ها، برش پایه تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی ۹۴
۳-۲-۴-۷. طبقه بندی اعضا ۹۵
۳-۳. مدل‌سازی جداگرهای ارتعاشی به صورت خطی و دو خطی ۹۶

فصل چهارم

روش مدل‌سازی

۴-۱. مقدمه روش مدل‌سازی ۱۰۲
۴-۲. مدل و فرضیات استفاده شده ۱۰۳
۴-۲-۱. مشخصات مصالح و مقاطع ۱۰۵
۴-۲-۲. تعریف دیافراگم یکپارچه در تراز طبقات ۱۰۷
۴-۳. تعریف مفاصل پلاستیک در اعضای سازه‌ای ۱۱۰
۴-۴. بیان تئوری و روش معرفی تحلیل غیر خطی ۱۱۳
۴-۵. تغییر مکان هدف براساس نشریه ۳۶۰ و FEMA-۳۵۶ ۱۱۵
۴-۶. پارامترهای بارگذاری تحلیل استاتیکی غیرخطی ۱۱۸
۴-۷. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی ۱۱۹
۴-۷-۱. معرفی پارامترهای تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ۱۲۱
۴-۸. مدل سازی جداسازهای الاستومری ۱۲۳

فصل پنجم

مثال‌های طراحی برای سامانه‌های جداساز لرزه‌ای مطابق دستورالعمل‌های موجود در کشور

۵-۱. طراحی سامانه جداساز مرکب، شامل جداگر لاستیکی با میرایی بالا و بالشتک الاستومری با هسته سربی ۱۳۰
۵ – ۱ – ۱. محاسبه بالشتک‌های الاستومری برای زلزله سطح خطر (۱) یا DBE ۱۳۳
۵ – ۱ – ۲. محاسبه بالشتک الاستومری با هسته سربی برای زلزله سطح خطر (۲) یا MCE ۱۵۱
۵ -۲. طراحی بالشتک‌های الاستومری بر اساس دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای ۱۵۴
۵ -۳. طراحی سیستم جداساز لرزه‌ای بر اساس آیین‌نامه تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت ۱۷۶

فصل ششم

کنترل کیفیت نشیمن‌های جداگر لرزه‌ای

۶-۱. آزمایش‌های مورد نیاز برای جداسازهای لرزه‌ای ۱۸۰
۶-۲. آزمایش تکیه‌گاه‌های لغزنده ۱۸۱
۶-۲ -۱. آزمایش فشار پایدار ۱۸۱
۶-۲ -۲. تعیین ضریب لرزه‌ای اصطکاک ۱۸۲
۶-۲-۳. ماده الاستیک تکیه‌گاه‌های لغزنده اسلایدر ۱۸۳
۶-۳. خطاهای مجاز برای ابعاد تکیه گاه ۱۸۴
۶-۴. مشخصات و جداگرهای لرزه‌ای تست‌ها ۱۸۴
۶-۵. تأییدیه اطمینان از کیفیت ۱۸۴
۶-۶. دستور کار ۱۸۵
۶-۷. طراحی تکیه‌گاه‌ها ۱۸۵
۶-۸. مشخصات فنی ارسالی ۱۸۵
۶-۹. اطلاعات محصول ۱۸۶
۶-۱۰. مدارک تأییدی ۱۸۶
۶-۱۱. گزارش‌های آزمایش ۱۸۷
۶-۱۲. ساخت جداساز الاستومری با هسته سربی ۱۸۸
۶-۱۲-۱. اندازه و اجزا ۱۸۸
۶-۱۲-۲. تولید LRB ۱۸۹
۶-۱۲-۳. صفحات سوراخ شده ۱۸۹
۶-۱۲-۴. سطوح فولادی در معرض عوامل خارجی ۱۹۰
۶-۱۲-۵. صفحات پایه ۱۹۰
۶-۱۲-۶. سوراخ‌های مرکزی ۱۹۰
۶-۱۲-۷. سوراخ‌گیر سربی ۱۹۱
۶-۱۲-۸ . رواداری‌های مجاز تولید ۱۹۱
۶-۱۲-۹. مواد لاستیک ۱۹۲
۶-۱۲-۱۰. صفحات فلزی میانی ۱۹۳
۶-۱۲-۱۱. خلوص سرب ۱۹۴
۶-۱۲-۱۲. تست جداگر الاستومری با هسته سربی LRB ۱۹۴
۶-۱۲-۱۳. اندازه‌گیری تنش کششی ۱۹۴

۶-۱۲-۱۴. مقاومت کششی و افزایش طول نهایی الاستومر ۱۹۵
۶-۱۲-۱۵. مقاومت اتصال لاستیک به فلز ۱۹۵
۶-۱۲-۱۶. سختی مستمر ۱۹۵
۶-۱۲-۱۷. تراکم فشار ۱۹۶
۶-۱۲-۱۸. تردی و شکنندگی ۱۹۶
۶-۱۲-۱۹. مقاومت حرارتی ۱۹۷
۶-۱۲-۲۰. مشخصات در دمای پایین و سختی مستمر ۱۹۷
۶-۱۲-۲۱. مقاومت در برابر اوزن ۱۹۸
۶-۱۲-۲۲. آزمایش‌های برش چرخشی ۱۹۸
۶-۱۳. آزمایش نمونه‌های اولیه ۱۹۹
۶-۱۴. شناسایی ۲۰۰
۶-۱۵. اطمینان از کیفیت ۲۰۰
۶-۱۶. مناسب بودن سیستم ۲۰۰
۶-۱۷. آزمایش محصول ۲۰۱
۶-۱۷-۱. آزمایش فشار پایدار ۲۰۱
۶-۱۷-۲. آزمایش‌های سختی فشاری ۲۰۲
۶-۱۷-۳. آزمایش‌های برشی و فشار ترکیب شده ۲۰۲
۶-۱۷-۴. آزمایش‌های کششی ۲۰۳
۶-۱۷-۵. مستندسازی آزمایش ۲۰۳
۶-۱۸. استانداردهای مربوطه ۲۰۴

منابع و مراجع ۲۰۸
علائم و اختصارات ۲۱۸

فهرست اشکال

فصل اول

کلیات جدا سازلرزه‌ای

شکل ۱-۱. نمایش مراحل خطی و غیر خطی یک سازه قابی تحت بار ثقلی و جانبی ۵
شکل۱-۲. مقایسه تغییر مکان در دو حالت جداسازی شده و پایه ثابت ۸
شکل۱-۳. مدلی از قرار گرفتن جدا ساز در زیر دیوار باربر ۱۱
شکل ۱-۴. مدلی از قرار گرفتن جدا ساز در زیر مخازن سوخت ۱۲
شکل۱-۵. بلوک‌های لاستیکی با انبساط جانبی در پایه ساختمان مدرسه اسکوپیه یوگسلاوی ۱۵
شکل۱-۶. نمایش انبساط جانبی در بالشتک مسلح شده و مسلح نشده ۱۶
شکل ۱-۷. دکتر روبینسون مخترع ایزولاتور لاستیکی با هسته سربی ۱۷
شکل۱-۸. بنای پاسارگاد ۱۹
شکل ۱-۹. جداسازی با چوب‌های گرد و ضخیم در ماسوله ایران ۲۰
شکل۱-۱۰. ساختمان شهرداری سن فرانسیسکو ۲۱
شکل۱-۱۱. ساختمان شهرداری لس آنجلس ۲۲
شکل۱-۱۲. ساختمان یونیون هاوس در اوکلند نیوزلند ۲۳
شکل۱-۱۳. بنای تاریخی پارلمان نیوزلند۰ ۲۴
شکل۱-۱۴. دانشکده مهندسی معدن دانشگاه نوادا ۲۵
شکل۱-۱۵. برج ۱۲ طبقه مخابرات تهران ۲۶
شکل۱-۱۶. بیمارستانUSC ۲۷
شکل۱-۱۷. مرکز کامپیوتری وزارت مخابرات ژاپن ۲۸
شکل۱-۱۸. بالشتک لاستیکی مسلح شده ۲۹
شکل۱-۱۹. جداساز الاستومری با میرایی کم همراه با سیستم میراگر جانبی ۳۰
شکل۱- ۲۰. وقوع پدیده کشش قائم همراه با جابجایی جانبی در جداساز الاستومری ۳۱
شکل۱- ۲۱. بالشتک لاستیکی با میرایی کم و هسته سربی ۳۲
شکل۱- ۲۲. نمایش رفتار دو خطی جداگر الاستومریک ۳۳
شکل۱- ۲۳. منحنی نیرو- تغییر مکان برای ایزلاتور لاستیکی با هسته سربی ۳۴
شکل۱- ۲۴. حلقه‌های نیرو و تغییر شکل برای تکیه گاه لاستیکی با میرایی بالا ۳۵
شکل۱- ۲۵. حرکات سیستم آونگ اصطکاکی ۳۶

شکل۱- ۲۶. تکیه‌گاه لغزشی ۳۸
شکل۱- ۲۷. تصویری از اجرای اسلایدر ۳۹
شکل۱- ۲۸. اثرافزایش دوره تناوب برطیف شتاب ۴۱
شکل۱- ۲۹. تأثیر افزایش درصد میرایی در کاهش جابجایی ۴۲
شکل۱- ۳۰. نمایش مساحت زیر حلقه نمودار ناشی از میرایی فلز جاری شونده در بالشتک الاستومری ۴۴

فصل دوم

مروری بر ادبیات جداسازهای لرزه‌ای

شکل۲-۱. ملاحظه افزایش شتاب مطلق طبقات برای میرایی‌های فوق‌العاده زیاد در مطالعه پروویداکیس ۵۷
شکل۲-۲. تغییرات زمانی شتاب مطلق روسازه و تغییرمکان تکیه‌گاه یک ساختمان ۵ طبقه، برای مدل‌های خطی و دوخطی جداساز ۶۰
شکل۲-۳. اثر توزیع نامتقارن بالشتک‌های الاستومری با هسته سربی در مطالعه وجکوکیلار و دیوید کورن ۶۴
شکل۲-۴. ستونک‌های فلزی توخالی برای بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی ۶۸
شکل۲-۵. بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی با جدا کردن دیوار از پی ۷۰

فصل سوم

مروری بر بهسازی و ضوابط جداسازهای لرزه ای

شکل۳-۱. منحنی رفتار عضو شکل پذیر ۷۶
شکل۳-۲. منحنی رفتار عضو نیمه شکل پذیر ۷۶
شکل۳-۳. منحنی رفتار عضو ترد ۷۷
شکل۳-۴. منحنی شکل پذیری ۷۹
شکل۳-۵. نمایش جاگذاری جداساز الاستومری در زیر عرشه پل‌ها ۸۴
شکل۳-۶. نمایش توزیع بار زلزله در ارتفاع ساختمان ۸۷
شکل۳-۷. مدل رفتار ویسکوالاستیک معادل خطی و هیسترتیک واقعی ۹۶

شکل۳-۸. مدل رفتار واقعی و دو خطی نرم شونده برای الاستومر با هسته سربی ۹۸
شکل۳-۹. مدل‌های رفتاری جداسازها در زمان تحریک ۹۹

فصل چهارم

روش مدل سازی ۱۰۳
شکل ۴-۱. نمایش پلان سازه‌های قاب خمشی و مهاربندی با اتصالات ساده فولادی
شکل ۴-۲. نمایش برش ارتفاع طبقات سازه(نمونه ۹ طبقه ای) ۱۰۴
شکل۴-۳. ضریب بازتاب ساختمان برای زمین نوع (۲) باخطر نسبی زیاد ۱۰۵
شکل۴-۴. تعریف وابستگی گره های هر تراز ۱۰۷
شکل۴-۵. همپوشانی در محل اتصالات اعضای سازه فولادی ۱۰۸
شکل۴-۶. برون محوری و خروج از مرکزیت در اتصالات فولادی لحاظ شده ۱۰۸
شکل۴-۷. شکل محورهای محلی برای اعضا ۱۰۹
شکل۴-۸. تعریف سطح عملکرد در یک مفصل برای کنترل شوندگی بر اساس تغییر شکل ۱۱۰
شکل۴-۹. نمونه‌ای از تعرف مفصل خمیری و ظرفیت باربری عضو در مرحله نهایی ۱۱۱
شکل۴-۱۰. تعریف مفاصل بر اساس تغییر شکل در اعضا ۱۱۲
شکل۴-۱۱. اصلاح محل مفاصل پلاستیک در اعضا ۱۱۳
شکل۴-۱۲. نمایش دو خطی منحنی پوش آور و تعیین پارامترهای مربوطه ۱۱۶
شکل۴-۱۳. مشخصات رفتار دو خطی در چرخه هیسترتیک برای بالشتک الاستومری با هسته سربی ۱۲۳
شکل۴- ۱۴. نمایش مشخصات سختی‌های افقی و مساحت زیر جرخه نمودار ۱۲۴
شکل۴- ۱۵. اجرای فضای حاشیه در پیرامون سامانه جداسازی شده ۱۲۶
شکل۴- ۱۶. ویژگی هیسترتیک دو جهته برای بالشتک الاستومری ۱۲۷

فصل پنجم

مثال‌های طراحی برای سامانه‌های جداساز لرزه‌ای مطابق دستورالعمل های ایرانی

شکل ۵- ۱. نمایش پلان ساختمان مورد طراحی ۱۳۱
شکل ۵- ۲. نمایش تیپ بندی جداساز ها ۱۳۲
شکل ۵- ۳. نمایش مساحت حلقه پسماند یا کل انرژی مستهلک شده ۱۳۷
شکل ۵– ۴. نمایش پارامترهای اصلی برای معرفی جداساز الاستومری با هسته سربی ۱۴۱
شکل ۵– ۵. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تغییر مکان کل طراحی ۱۴۸
شکل ۵-۶. معرفی عوامل ۱۶۰
شکل ۵-۷. معرفی سطح همپوشانی برای یک جداساز چهار گوش ۱۶۱
شکل ۵-۸. معرفی سطح همپوشانی برای یک جداساز دایره‌ای ۱۶۲
شکل ۵-۹. نمایش برش قائم بالشتک مسلح شده لاستیکی بدون هسته سربی ۱۶۵

فهرست جداول

فصل چهارم

روش مدل سازی

جدول۴-۱. مشخصات مصالح بتنی دیافراگم طبقات ۱۰۶
جدول۴-۲. مشخصات مصالح فولادی سازه ۱۰۶

فصل پنجم

مثال‌های طراحی برای سامانه‌های جداساز لرزه‌ای مطابق دستورالعمل‌های ایرانی

جدول ۵ -۱. ضریب B_1 برحسب درصد میرایی موردنظر (β) ۱۳۵
جدول ۵- ۲. مشخصات فنی هر یک از نشیمن‌های سامانه مورد طراحی ۱۴۶
جدول ۵- ۳. مشخصات فرکانس و زمان تناوب هر یک از نشیمن‌ها ۱۴۷
جدول ۵ -۴. ضریب B_D برحسب درصد میرایی مورد نظر β ۱۵۷
جدول ۵ – ۵. سختی مؤثر برای هر تیپ از نشیمن‌ها ۱۷۲

فصل ششم

کنترل کیفیت نشیمن‌های جداگرلرزه ای

جدول ۶-۱. مشخصات ماده الاستیک استفاده شده در اسلایدر ۱۸۳
جدول ۶-۲. خطاهای مجاز برای لغزنده اسلایدر ۱۸۴
جدول ۶-۳. رواداری‌های مجاز تولید بالشتک الاستومری ۱۹۲
جدول ۶-۴. استانداردهای مربوط به تأمین کننده جداگر لرزه‌ای ۲۰۴

فصل اول

کلیات جداسازلرزه‌ای

۱-۱. مقدمه

گاهی حرکت صخره‌ها در دو طرف گسل به صورت تدریجی و آهسته صورت می‌گیرد. در این حالت انرژی تغییر شکل زمین به صورت نامحسوس رها شده و زلزله‌ای رخ نمی‌دهد. حرکت لغزشی تدریجی و آهسته در مناطقی از گسل‌ها صورت می‌گیرد که از صخره‌های خرد شده تغییر شکل یافته تشکیل شده باشند. حرکت‌های ایجاد شده در طول گسل در طی میلیون‌ها سال صخره‌ها را شکسته و آنها را به شکل مواد ریز دانه و خاک درمی‌آورد. این مواد سپس در اثر نفوذ آب به صورت ماده خمیری تغییر شکل پذیری درمی‌آیند که رفتار شکننده‌ای از خود نشان نمی‌دهند. در این شرایط به نظر می‌رسد که در اثر حرکت تدریجی و آهسته گسل، زلزله بزرگی رخ نخواهد داد؛ زیرا لغزش کند باعث می‌شود که انرژی تغییر شکل در صخره‌های پوسته زمین بدون گسیختگی ناگهانی آزاد شود. مطابق نظر دیگر، صخره‌های سخت در قسمت‌های عمیق‌تر پوسته زمین به صورت ناگهانی رها می‌گردند. در حین وقوع چنین زلزله‌ای، مواد نرم قسمت فوقانی منطقه گسل به وسیله صخره‌هایی که در قسمت کناره‌ها و زیر مواد نرم قرار دارند، به صورت یکباره جابجا می‌شوند. به طور عمومی زلزله‌هایی که به وسیله رهایی ناگهانی انرژی اندوخته شده در پوسته زمین ایجاد می‌شوند، زلزله‌های تکتونیک خوانده می‌شوند. تعدادی زلزله‌های کوچکتر نیز وجود دارند که به علل دیگر مانند لغزش و ریزش کوه‌ها، فرو ریختن غارها و صخره‌های زیرزمینی و فعالیت آتشفشانی به وقوع می‌پیوندند[۱].

برخی فعالیت‌های انسان، مانند آزاد کردن انرژی بزرگ از طریق منفجر نمودن بمب یا خراب شدن غارهای زیرزمینی و نظایر آن ممکن است خود موجب ایجاد لرزش زمین می-شود که باعث ایجاد زلزله‌های کوچکتر می‌شوند. زلزله‌ها اغلب در مناطق آتشفشانی رخ می‌دهند که توسط گسل‌های تکتونیکی و حرکت ماگما در آتشفشان‌ها ایجاد می‌شوند. چنین زلزله‌هایی می‌توانند به عنوان مشخصه هشدار دهنده زود هنگام فوران آتشفشان باشند؛ مانند زلزله‌هایی که در طول فوران کوه سنت هلن در (۱۹۸۰) رخ داده‌اند. همچنین ازدحام زلزله‌ها می‌تواند نشانه و فرصتی برای خروج جریان ماگما از محل آتشفشان باشد. اکثر خوشه‌های زلزله شامل لرزش‌های کوچکی هستند که به طور عمومی خسارت کمی وارد می‌کنند و یا خسارتی ندارد. همچنین بیشتر زمین لرزه‌ها از لحاظ مکان و زمان به یکدیگر مربوط هستند؛ اما این تئوری وجود دارد که زلزله می‌تواند در یک الگوی منظم تکرار شود. سلسله‌ای از زمین لرزه‌ها هستند که در منطقه‌ای خاص در مدت زمان کوتاهی اتفاق می‌افتند. آنها با زلزله‌هایی که به دنبالشان مجموعه‌ای از پس لرزه‌ها قرار دارند، متفاوتند. با توجه به این واقعیت که هیچ کدام از تک زمین لرزه‌ها در این شرایط در دنباله شوک اصلی نیستند، نسبت به سایرین از قدرت قابل توجه و بالاتری برخوردار نیستند[۲].

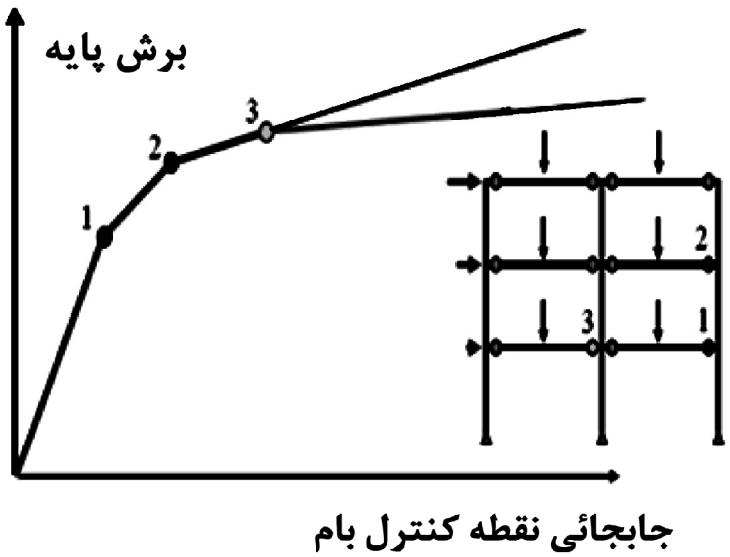
سه نوع عمده از گسل وجود دارد که ممکن است موجب زلزله شود. گسل‌ها به سه نوع عادی، معکوس (محوری) و ضربه‌ای- لغزشی تقسیم می‌شوند. گسل نرمال به طور عمده درحوزه‌هایی رخ می‌دهد که پوسته زمین مثل مرز واگرا در حال رشد است و گسل‌های معکوس در مناطقی که پوسته مانند مرز همگرا در حال کوتاه شدن هستند، رخ می‌دهند؛ اما گسل‌های ضربه‌ای – لغزشی از ساختار شیب داری برخوردار هستند که دو سمت گسل به صورت افقی در کنار یکدیگر می‌لغزند[۱].

زمین لرزه ناشی از گسیختگی سریع در گسل‌های زمین به علت آزاد شدن انرژی پوستهٔ در مدتی کوتاه به وقوع می‌پیوندد. محلی را که منشأ زلزله است و انرژی از آنجا خارج می‌شود، کانون زلزله و نقطهٔ بالای کانون در سطح زمین را مرکز زلزله گویند. زلزله‌ها به سه صورت عمودی، افقی و موجی به وقوع می‌پیوندند که بخش آخر از شایع‌ترین آنهاست و بیشترین تأثیر را در وقوع پدیده برکنش در ساختمان‌های جداسازی شده دارند[۳]. زمین لرزه‌ها اغلب معلول شکستگی گسل‌ها هستند. همچنین فعالیت‌های آتشفشانی، ریزش کوه‌ها، انفجار معادن و آزمایشات هسته‌ای، نقطه آغازین شکاف زمین و در نهایت وقوع لرزه را فراهم می‌آورند. جمیعت کثیری از جهان در مناطق زلزله‌خیز دنیا زندگی می‌کنند که در آن مناطق احتمال خطر زمین لرزه‌هایی با شدت و فراوانی‌های مختلف وجود دارد که ایران نیز جزء یکی از این کشورها می‌باشد.

در طول سال‌های مختلف، تکنولوژی ساخت و طراحی سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله در جهت کاهش اثرات تخریبی آن بر ساختمان‌ها، پل‌ها و سیستم‌های تأسیساتی، پیشرفت زیادی داشته است؛ بنابراین تحریکات زمین که منجر به ایجاد شتاب در طبقات سازه می‌شود، موجب تغییر مکان‌های جانبی ساختمان شده و احتمال خطر را برای اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای دارد. در این شرایط تمامی طبقات ساختمان با یک سرعت و در یک زمان واحد تغییر مکان نمی‌دهد. این امر باعث تغییر مکان افقی نسبی بین طبقات می‌شود؛ از این رو احتمال دارد که این پدیده همراه با ایجاد تلاش‌های بزرگ در اجزای ساختمان خرابی هم فراهم آورد[۱].

۱-۲. عنوان مسأله جداسازلرزه‌ای

در صورتی که معیارهای پذیرش سازه با توجه به عملکرد مورد نیاز و شدت زلزله احتمالی در سیستم ساختمانی ارضا نشود، باید سازه به لحاظ لرزه‌ای مقاوم سازی شود. ساختمان‌ها در برابر سطوح متوسط، شدید و ماکزیمم زمین لرزه به دلایل اقتصادی مجاز هستند از ظرفیت جذب در مرحله غیر ارتجاعی استفاده نمایند. هر اندازه نیاز لرزه‌ای سازه افزایش یابد، در مقابل نیاز به شکل پذیری سیستم هم افزایش خواهد یافت[۴].



شکل ۱-۱. نمایش مراحل خطی و غیر خطی یک سازه قابی تحت بار ثقلی و جانبی[۵].

تغییر مکان جانبی طبقات ساختمان که بیشترین خطر را برای اجزای غیر سازه‌ای دارد، در زمان تحریکات زمین منجر به ایجاد شتاب در طبقات سازه می‌شود. این واقعه باعث تغییر مکان افقی نسبی بین طبقه‌ای در سازه می‌شود؛ از این رو احتمال آن وجود دارد که این پدیده در ساختمان‌های نسبتاً بلند باعث شود که طبقات در جهت عکس یکدیگر حرکت کنند و تغییر مکان‌های نسبی بزرگی را به سیستم وارد سازند[۱]. بر مبنای این ایده است که ساختمان در مقابل زلزله شکل پذیری را درخواست می‌کند. یکی از روش‌های بهسازی و تأمین شکل پذیری، استفاده از جداگر لرزه‌ای در پایه ساختمان است. تأثیر استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای در سازه‌های ساختمانی در امر مقاوم سازی جای مطالعه گسترده‌ای دارد. به طور معمول بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها با چند روش و هدف در نظر گرفته می‌شوند که عمده آنها عبارتند از :

- افزایش ظرفیت سازه به لحاظ سختی، مقاومت و شکل پذیری؛
- کاهش جرم سازه؛
- کاهش نیاز لرزه‌ای با استفاده از سیستم جداگر و اتلاف کننده انرژی.

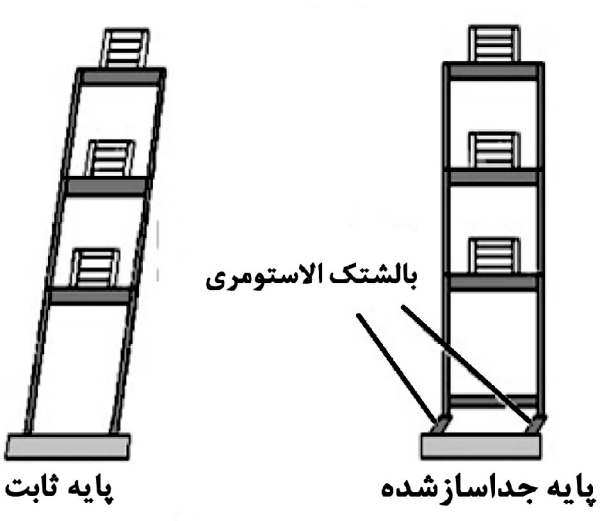
سیستم جداساز لرزه‌ای روشی جدید برای کاهش تغییر مکان نسبی و شتاب طبقه‌ای است؛ به‌طوری‌که این سیستم با جذب و اتلاف بخشی از انرژی ورودی ناشی از زمین لرزه از زمان تناوب‌های حاوی انرژی زلزله فاصله گرفته و از عمل تشدید جلوگیری می‌کند. به طور کلی جدا کردن بخشی یا کل سازه را آن از زمین به منظور کاهش پاسخ زلزله جداسازی لرزه‌ای می‌گویند[۶].

روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است که در این حالت سازه بر مبنای افزایش مقاومت اعضا و تأمین شکل‌پذیری در مقابل زلزله بهسازی می‌شود. با اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات آن افزایش یافته و اعضای

مهاربندی جانبی یا دیوار برشی و سایر سخت کننده‌ها در نظر گرفته می‌شوند. افزایش سختی سازه، جذب بیشتر نیروهای زلزله را به همراه دارد. همچنین لازم است در زمان مقاوم سازی، کل یا بخشی از ساختمان تخلیه شود تا اقدامات اجرایی برای بهسازی انجام پذیرد[۷].

همچنین در روش‌های مرسوم طراحی به دلیل تغییر شکل‌های غیرخطی در اعضای سازه‌ای، امکان بروز خرابی و تجربه شتاب‌های قابل توجه در تراز طبقات وجود دارد. این پدیده می تواند کاربری ساختمان را پس از وقوع زلزله‌های نسبتاً بزرگ مختل نماید؛ بنابراین برای ساختمان‌هایی که در شریان‌های حیاتی نقش مهمی را ایفا می‌کنند، طراحی ممکن است بر اساس افزایش سختی و شکل پذیری اعضا مناسب‌ترین روش نباشد[۸]. کاربرد روش جداساز لرزه‌ای علاوه بر ساختمان‌های خیلی مهم در پل‌ها و سایت‌های تأسیساتی نیز می‌تواند بسیار مفید می‌باشد.

در این روش، در ترازی از سیستم و نزدیک به پی، نشیمن‌های جداساز قرار می‌گیرند که این اسباب، عامل جداسازی بخش فوقانی از پایه زیرین هستند. سیستم جداگر با متمرکز کردن تغییر مکان‌های حاصله در تراز جداسازی شده، انعطاف‌پذیری مورد نیاز سازه را فراهم ساخته و ساختمان را از مؤلفه‌های افقی حرکت زمین جدا می‌سازد. در این شرایط سیستمی به وجود می‌آید که فرکانس آن بسیار کوچکتر از فرکانس غالب زمین لرزه است[۹].



شکل۱-۲. مقایسه تغییر مکان در دو حالت جداسازی شده و پایه ثابت[۱۰].

سیستم جداساز ضمن جذب بخشی از انرژی ورودی ناشی از زمین لرزه، با جابه‌جا نمودن زمان تناوب ارتعاشی اصلی سیستم از پریودهای حاوی انرژی زمین لرزه فاصله می-گیرد و در نتیجه با اجتناب از عمل تشدید، پاسخ لرزه‌ای سازه را کاهش می‌دهد[۱۱]. جداسازی لرزه‌ای به عنوان یک روش کنترل غیر فعال برای کاهش پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله در نظر گرفته می‌شوند. این روش تقریباً یک ایده قدیمی است؛ به‌طوری‌که در برخی بناهای تاریخی ایران نظیر پاسارگاد و بعضی از بناهای سنتی شمال کشور مشاهده شده است[۳،۱۲]. سیستم کنترل جداساز لرزه‌ای می‌تواند در کنار یک سیستم هوشمند جدید استفاده شود. سیستم جداساز غیر فعال دارای قابلیت محدود در تطبیق با تغییرات پاسخ سازه‌ای تحت زلزله است[۱۳]. همچنین این سیستم تغییر مکان بین طبقه‌ای و شتاب مطلق سازه را در مقابل افزایش تغییر مکان پایه کاهش می‌دهد که در سیستم‌های مرکب هر دو نوع تغییر مکان نسبی و مطلق طبقات کاهش می‌یابند[۱۴]. در سیستم‌های جداساز

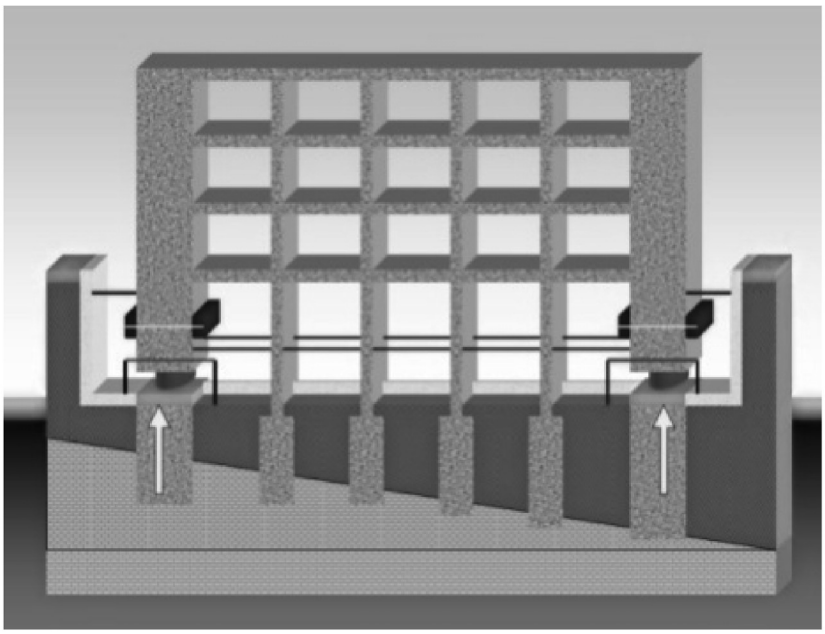
لرزه‌ای، هیچ یک از مسائل مربوط به سیستم معمولی با پایه گیردار اتفاق نمی‌افتد. در این حالت سازه فوقانی تقریباً به صورت یک جسم صلب مانند، روی جداسازهای نرم تغییر مکان می‌دهد که در نتیجه با بزرگ کردن زمان تناوب سازه فوقانی و استهلاک انرژی زلزله از خرابی اعضای سازه ای و غیر سازه‌ای جلوگیری می‌شود.

این سیستم‌ها علاوه بر سازه‌های جدید می توانند در تقویت ساختمان‌های قدیمی و آثار باستانی ارزشمند و مهم نیز به کار گرفته شوند. جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌های تاریخی با سیستم‌های مصالح بنایی به دو شیوه متفاوت قابل انجام هستند؛ در روش اول جداسازی ساختمان از زمین به وسیله بالشتک‌ها و لغزنده‌ها انجام می‌پذیرد؛ اما در روش دوم ساختمان‌ها توسط مصالح بنایی مانند ماسه و نظایر آن از حرکات زمین جداسازی می‌شوند. در این روش به دلیل وجود لایه لغزشی بین روسازه و پی، کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار برش پایه رخ می‌دهد؛ اما مقدار تغییر مکان کل پایه بسیار کوچکتر از روش متداول خواهد بود[۱۵].

عمل جداسازی پایه از نظر بهسازی در برابر زلزله، یک سیستم سازه‌ای انعطاف پذیر و مناسب را به‌وجود می‌آورد. سیستم‌های جداساز لرزه‌ای از گوناگونی زیادی برخوردارند؛ ولی پایه و اساس همگی آنها بر دو نوع سیستم لغزشی و الاستومری استوار است که هر کدام به منظور جداسازی از حرکت‌های زمین در ساختمان‌ها و پل‌ها مورد استفاده قرار می-گیرند[۱۶]. عایق ارتعاشی بر اساس این واقعیت قرار گرفته است که جدا کردن سازه از زمین و محافظت آن در مقابل اثرات مخرب زلزله امکان پذیر و عملی می‌باشد. برای حصول این نتیجه با حفظ قابلیت بهره برداری سازه، نوعی انعطاف پذیری در پی ساختمان تأمین می‌شود و با افزایش کیفیت در ساخت و تولید تکیه‌گاه‌ها می‌توان قابلیت انعطاف جانبی بیشتری را تأمین کرد که این عمل به نوبه خود موجب افزایش دوره تناوب نوسان ساختمان

می‌شود. به نظر می‌رسد استفاده از تکیه‌گاه‌های جداکننده، عملی‌ترین روش برای تأمین انعطاف در پایه است که مهم‌ترین آنها عبارتند از انواع غلطک‌ها، بالشتک‌های لاستیکی و اصطکاکی[۷].

اضافه شدن شکل‌پذیری به همراه میرایی مؤثر در پایه منجر به کاهش خرابی می‌گردد. در بحث مقاوم سازی با روش‌های مرسوم و معمول، نیاز به تخریب و اصلاح سیستم سازه‌ای است. در این شیوه‌ها سختی و شکل پذیری سیستم افزایش می‌یابد؛ به همین دلیل برای تقویت ساختمان‌های تاریخی یا ابنیه‌های معماری که لازم است ویژگی‌هایشان حفظ شوند، استفاده از جداگر لرزه‌ای می‌تواند یک گزینه مناسب برای بهسازی لرزه‌ای محسوب شود[۱۷].



شکل۱-۳. مدلی از قرار گرفتن جدا ساز در زیر دیوار باربر [۱۸].