

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



وزارت راه و شهرسازی
سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و
عمومی

گزارش نهایی مطالعات پروژه
بررسی کارائی میراگرهای MR و جداسازهای لرزه‌ای
در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها

کارفرما

سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی

مجری

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اسفند ۹۲

مدیر پروژه

دکتر نادر خواجه احمد عطاری

اعضاء کمیته فنی پروژه‌های پژوهشی سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی

۱- مهندس رضا اخباری

۲- مهندس خالد خیری

۳- مهندس داوود سازگاری

۴- مهندس خسرو شادمهر

اعضاء کمیته تدوین

۱- دکتر نادر خواجه احمد عطاری

۲- دکتر فیاض رحیم‌زاده رفوئی

۳- مهندس عاطفه جهان‌محمدی

۴- مهندس هیمن حجت‌جلالی

۵- مهندس محمدحسین اخوان سیگاری یزد

۶- مهندس پریسا تیموری

هدایت و راهبری پروژه

مهندس رحیم بادامیان

چکیده

گزارش حاضر، با هدف ارزیابی سیستم‌های استهلاک انرژی و کنترل سازه با تمرکز بر سیستم‌های جداساز لرزه‌ای تهیه شده است. در این گزارش تلاش شده است تا مجموعه شرایط و نیازهای کاربردی و اجرایی در خصوص بهره‌گیری از این ابزارها به همراه روابط و ضوابط آیین‌نامه‌ای مرتبط بیان شود. علاوه بر این، میزان تاثیر این روش تجهیز در میزان هزینه و کارایی طرح و نیز، بهبود سطح عملکرد سیستم‌های ساختمانی به طور کمی و کیفی تشریح می‌شود. همچنین، در راستای بررسی چگونگی کاربردی شدن این ضوابط در ساختمان‌های تجهیز شده با جداسازهای لرزه‌ای، طرح پیشنهادی بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز که توسط گروه مهندسين مشاور همگون تهیه شده است، به طور خلاصه ارائه شده و مورد بررسی و اظهار نظر قرار گرفته است.

فهرست مطالب

فصل اول

۱	کلیات
۱-۱	مقدمه
۲-۱	معرفی انواع سیستم‌های کنترل سازه‌ها
۳-۱	جداسازهای لرزه‌ای
۱-۳-۱	کلیات و ویژگی‌های عمومی
۲-۳-۱	تأثیرات بهره‌گیری از جداسازهای لرزه‌ای
۳-۳-۱	هزینه سیستم جداسازی پایه

فصل دوم

۱۹	انواع و مشخصات عمومی و فنی جداسازهای پایه
۱-۲	سیستم جداساز لرزه‌ای الاستومری
۱-۱-۲	مشخصات دینامیکی پایه
۲-۲	تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای برای جداسازی لرزه‌ای
۱-۲-۲	تکیه گاه‌های لاستیکی برای پلها و جداسازها
۲-۲-۲	تکیه گاه لاستیکی، ظرفیت باربری قائم W_{max}
۳-۲-۲	جداسازی با تکیه گاه‌های لاستیکی، سختی، پرپود و میرایی
۴-۲-۲	جابجایی لرزه ای مجاز X_b
۵-۲-۲	حداکثر کرنش های مجاز لاستیک
۶-۲-۲	عوامل دیگر در طراحی تکیه گاه لاستیکی
۷-۲-۲	خلاصه تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای
۳-۲	سیستم جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی
۱-۳-۲	مقدمه
۲-۳-۲	مشخصات دینامیکی پایه
۳-۳-۲	خصوصیات جداساز سرب لاستیکی
۴-۳-۲	وابستگی به قطر سرب به کار رفته
۵-۳-۲	وابستگی به سرعت



۴۳	۶-۳-۲ خستگی و دما.....
۴۴	۷-۳-۲ تاثیر بار قائم بر رفتار هیستریزیس.....
۴۴	۸-۳-۲ خلاصه مشخصات تکیه گاه‌های سرب لاستیکی.....
۴۵	۴-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرایی بالا.....
۴۶	۵-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده.....
۴۷	۱-۵-۲ مشخصات دینامیکی پایه.....
۴۹	۶-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد.....
۵۰	۱-۶-۲ مشخصات دینامیکی پایه.....
۵۱	۷-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۱).....
۵۱	۱-۷-۲ مشخصات دینامیکی پایه.....
۵۲	۸-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۲).....
۵۳	۱-۸-۲ مشخصات دینامیکی پایه.....
۵۳	۹-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی ریلی.....
۵۴	۱-۹-۲ مشخصات دینامیکی پایه.....
۵۵	۱۰-۲ سیستم جداساز لرزه‌ای پاندول اصطکاکی.....
۵۶	۱۱-۲ نمونه‌های اجرایی و کاربردی جداسازهای لرزه‌ای.....
۶۰	۱۲-۲ شیوه‌های ارزیابی جداسازهای لرزه‌ای.....

فصل سوم

۶۱	ضوابط طراحی ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای.....
۶۱	۱-۳ کلیات.....
۶۱	۱-۱-۳ تغییر در مشخصات مصالح.....
۶۱	۲-۱-۳ تعاریف.....
۶۳	۲-۳ ضوابط کلی.....
۶۳	۱-۲-۳ ضریب اهمیت.....
۶۳	۲-۲-۳ ضرایب شتاب پاسخ طیفی.....
۶۴	۳-۲-۳ ساختار.....
۶۴	۴-۲-۳ سیستم جداساز.....
۶۷	۵-۲-۳ سیستم سازه‌ای.....
۶۷	۶-۲-۳ المان‌های سازه‌ای و اجزاء غیرسازه‌ای.....
۶۸	۳-۳ حرکت زمین برای سیستم‌های جداسازی شده.....
۶۸	۱-۳-۳ طیف طرح.....
۶۹	۲-۳-۳ تاریخچه حرکت زمین.....



۶۹	.....	۴-۳ انتخاب روش تحلیل
۶۹	.....	۱-۴-۳ تحلیل استاتیکی (روش بار جانبی معادل)
۷۰	.....	۲-۴-۳ تحلیل دینامیکی
۷۱	.....	۵-۳ کنترل طراحی

فصل چهارم

۷۳	.....	روش بار جانبی معادل
۷۳	.....	۱-۴ کلیات
۷۳	.....	۲-۴ مشخصه‌های تغییرشکل در سیستم جداساز
۷۳	.....	۳-۴ تغییر مکان جانبی حداقل
۷۳	.....	۱-۳-۴ تغییر مکان طرح
۷۴	.....	۲-۳-۴ دوره تناوب موثر در تغییر مکان طرح
۷۵	.....	۳-۳-۴ حداکثر تغییر مکان
۷۵	.....	۴-۳-۴ دوره تناوب موثر در تغییر مکان کل
۷۶	.....	۵-۳-۴ تغییر مکان کل
۷۷	.....	۴-۴ حداقل نیروهای جانبی
۷۷	.....	۱-۴-۴ سیستم جداساز و المان‌های سازه‌ای که زیر سیستم جداساز قرار دارند
۷۷	.....	۲-۴-۴ المان‌های سازه‌ای بالای سیستم جداساز
۷۷	.....	۳-۴-۴ محدودیت‌های V_s
۷۸	.....	۵-۴ توزیع قائم نیرو
۷۸	.....	۶-۴ محدودیت‌های تغییر مکان طبقه

فصل پنجم

۷۹	.....	تحلیل دینامیکی
۷۹	.....	۱-۵ کلیات
۷۹	.....	۲-۵ مدل سازی
۷۹	.....	۱-۲-۵ سیستم جداساز
۸۰	.....	۲-۲-۵ سازه جداسازی شده
۸۰	.....	۳-۵ روند تحلیل دینامیکی
۸۰	.....	۱-۳-۵ کلیات
۸۱	.....	۲-۳-۵ زلزله مورد نظر
۸۱	.....	۳-۳-۵ روش طیف پاسخ
۸۱	.....	۴-۳-۵ روش تاریخچه زمانی



۴-۵	حداقل نیروها و تغییر مکان‌های جانبی	۸۲
۱-۴-۵	سیستم جداساز و المان‌های سازه‌ای که در زیر سیستم جداساز قرار می‌گیرند	۸۲
۲-۴-۵	المان‌های سازه‌ای بالای سیستم جداساز	۸۲
۳-۴-۵	مقیاس‌بندی نتایج	۸۳
۴-۴-۵	محدودیت‌های تغییر مکان طبقه	۸۳

فصل ششم

۸۵	مسائل اجرائی	۸۵
۱-۶	معرفی	۸۵
۲-۶	موقعیت و نوع جداسازهای لرزه‌ای	۸۶
۱-۲-۶	انتخاب جانمایی جداسازها در ساختمان‌ها	۸۶
۲-۲-۶	انتخاب نوع جداساز	۹۰
۳-۶	ورودی لرزه‌ای	۱۰۳
۱-۳-۶	ساختار ورودی‌های لرزه‌ای	۱۰۳
۲-۳-۶	رکوردهای ثبت‌شده زلزله	۱۰۵
۳-۳-۶	اثرات نزدیک گسل	۱۱۴
۴-۳-۶	تغییرات تغییر مکان	۱۱۵
۵-۳-۶	ورودی لرزه‌ای تاریخچه زمانی	۱۱۷
۶-۳-۶	انتخاب و مقیاس کردن رکوردها برای تحلیل تاریخچه زمانی	۱۱۸
۷-۳-۶	انتخاب رکوردها از یک مجموعه	۱۲۳
۸-۳-۶	مقایسه ضرایب مقیاس کردن زلزله	۱۲۴
۴-۶	تحلیل دقیق سیستم	۱۲۵
۱-۴-۶	مدل یک درجه آزادی	۱۲۶
۲-۴-۶	مدل غیرخطی دو بعدی	۱۲۷
۳-۴-۶	مدل خطی معادل سه بعدی	۱۲۷
۴-۴-۶	مدل سه بعدی، سازه الاستیک، جداسازهای جاری شونده	۱۲۸
۵-۴-۶	مدل سه بعدی کاملاً غیر خطی	۱۲۸
۶-۴-۶	مدل سازی جداسازها	۱۲۸
۷-۴-۶	تحلیل ETABS برای ساختمان‌ها	۱۲۹
۸-۴-۶	اثرات همزمانی زلزله	۱۳۵
۵-۶	طراحی اتصالات	۱۳۹
۱-۵-۶	جداسازهای با پایه الاستومری	۱۳۹
۲-۵-۶	جداسازهای لغزنده	۱۴۴



۱۴۵	..... نحوه اجرا و مثال های نصب
۱۵۱	..... جزئیات اجرایی معماری و تجهیزات مکانیکی

فصل هفتم

۱۵۷	..... آزمون ها
۱۵۷	..... ۱-۷ کلیات
۱۵۷	..... ۲-۷ آزمون های شبیه سازی شده
۱۵۸	..... ۱-۲-۷ ثبت داده ها
۱۵۸	..... ۲-۲-۷ ترتیب و چرخه ها
۱۵۸	..... ۳-۲-۷ اجزاء وابسته به نرخ بارگذاری
۱۵۹	..... ۴-۲-۷ اجزاء وابسته به بارهای جانبی دوطرفه
۱۵۹	..... ۵-۲-۷ بار قائم حداقل و حداکثر
۱۵۹	..... ۶-۲-۷ سیستم مهار اولیه مقاوم در برابر باد
۱۶۰	..... ۷-۲-۷ آزمایش اجزاء مشابه
۱۶۰	..... ۳-۷ تعیین مشخصات بار-تغییر شکل
۱۶۰	..... ۴-۷ کنترل دقت نمونه های آزمایش شده
۱۶۱	..... ۵-۷ مشخصات طراحی سیستم جداساز
۱۶۱	..... ۱-۵-۷ سختی موثر حداقل و حداکثر
۱۶۲	..... ۲-۵-۷ میرایی موثر

فصل هشتم

بررسی مطالعات مرحله اول سازه بیمارستان ۵۴۰ تخت خوابی تبریز

۱۶۳	..... با استفاده از سیستم جداساز لرزه ای
۱۶۴	..... ۱-۸ معرفی پروژه
۱۶۷	..... ۲-۸ مطالعات ساختگاه
۱۶۹	..... ۳-۸ مدلسازی طرح های پیشنهادی
۱۶۹	..... ۱-۳-۸ فرضیات مدلسازی
۱۷۱	..... ۲-۳-۸ گزینه های پیشنهادی برای طراحی
۱۷۲	..... ۴-۸ گزینه سازه ای پیشنهادی
۱۷۴	..... ۵-۸ دآوری طرح
۱۷۵	..... ۶-۸ جوابیه مهندسین مشاور



مراجع ۱۷۹

پیوست الف

مقایسه آئین نامه‌های مختلف دنیا ۱۸۱

الف-۱ روش تحلیل خطی معادل (ELM) ۱۸۱

الف-۲ روش تاریخچه زمانی (THA) ۱۸۵

فهرست جداول

فصل اول

- کلیات ۱
- جدول (۱-۱) طبقه‌بندی سیستم‌های کنترل سازه ۳
- جدول (۲-۱) وابستگی خسارت به گریز ۱۷
- جدول (۳-۱) وابستگی خسارت به شتاب طبقه ۱۷
- جدول (۴-۱) نسبت هزینه‌های جداسازی به کل هزینه‌های ساختمان ۱۸

فصل دوم

- انواع و مشخصات عمومی و فنی جداسازهای پایه ۱۹
- جدول (۱-۲) ارزیابی جزئیات جداسازها ۶۰

فصل سوم

- ضوابط طراحی ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای ۶۱
- جدول (۱-۳) ضریب F_a ۶۳
- جدول (۲-۳) ضریب F_v ۶۴
- جدول (۳-۳) پارامترهای تخمینی دوره تناوب ۷۰

فصل چهارم

- روش بار جانبی معادل ۷۳
- جدول (۱-۴) ضرایب میرایی ۷۴

فصل پنجم

- تحلیل دینامیکی ۷۹

فصل ششم

- مسائل اجرائی ۸۵
- جدول (۱-۶) مزایا و معایب ابزارهای جداسازی لرزه‌ای ۱۰۲
- جدول (۲-۶) مقادیر طیف متوسط با میرایی ۵ درصد ۱۰۷



- جدول (۳-۶) رکوردهای مناسب در ساختگاه‌های با بیش از ۱۰ کیلومتر فاصله از گسل ۱۱۸
- جدول (۴-۶) رکوردهای مناسب در ساختگاه‌های نزدیک به گسل ۱۱۹
- جدول (۵-۶) مقایسه ضرایب مقیاس ۱۲۴
- جدول (۶-۶) تحلیل سازه های جداسازی شده ۱۲۶
- جدول (۷-۶) مشخصات تکیه گاه اصطکاکی صاف ۱۳۱
- جدول (۸-۶) مقادیر پیشنهادی برای مدلسازی تکیه گاه اصطکاکی صاف ۱۳۱

فصل هفتم

- آزمون‌ها ۱۵۷

فصل هشتم

بررسی مطالعات مرحله اول سازه بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز

- با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای ۱۶۳
- جدول (۱-۸) اولویت‌بندی سیستم‌های سازه‌ای با استفاده از ماتریس خانه کیفیت [۱۰] ۱۷۴
- پیوست الف ۱۸۱
- مقایسه آئین‌نامه‌های مختلف دنیا ۱۸۱
- جدول (الف-۱) کاربرد روش تحلیل خطی معادل در پنج آئین‌نامه متفاوت ۱۸۲
- جدول (الف-۲) خلاصه‌ای از روش خطی معادل در پنج آئین‌نامه مورد بحث ۱۸۴

فهرست شکل‌ها

فصل اول

- کلیات ۱
- شکل (۱-۱) نحوه عملکرد جداساز لرزه ای ۷
- شکل (۲-۱) تاثیر استفاده از جداسازهای لرزه‌ای در ساختمان ۸
- شکل (۳-۱) مقایسه عملکرد سیستم جداسازی پایه با سیستم قاب معمولی (قاب خمشی) ۸
- شکل (۴-۱) ضریب شکل طیف برای انواع زمین‌های مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ایران-ویرایش چهارم ۱۳

فصل دوم

- انواع و مشخصات عمومی و فنی جداسازهای پایه ۱۹
- شکل (۱-۲) نمای شماتیک از مقطع جداساز لرزه‌ای الاستومری با صفحات فولادی ۲۰
- شکل (۲-۲) مقطع جداساز لرزه‌ای الاستومری با صفحات فولادی ۲۰
- شکل (۳-۲) محدوده عملکرد سیستم جداساز الاستومری ۲۱
- شکل (۴-۲) رابطه نیرو-تغییر مکان جداساز لرزه‌ای الاستومری ۲۲
- شکل (۵-۲) چرخه بارگذاری لرزه‌ای جداساز لرزه‌ای الاستومری ۲۳
- شکل (۶-۲) شکل شماتیک تکیه گاه الاستومریک لایه‌ای با مساحت A و محیط C که در آن لایه‌های لاستیکی با ضخامت t به ورق‌های فولادی نازک متصل شده اند ۲۴
- شکل (۷-۲) شکل شماتیک لایه لاستیک دایره‌ای شکل به قطر D ، ضخامت t ، و توزیع فشار سهمی p ۲۵
- شکل (۸-۲) شکل شماتیک استوانه لاستیکی با قطر D و جابجایی برشی X_B و مساحت مشترک A' ۲۶
- شکل (۹-۲) تکیه گاه بخش بندی شده که از اجزای لاستیکی که در گوشه ورق‌های پایدارکننده قرار می‌گیرد (۶) ورق پایدارکننده به همراه ۲۰ بخش (چند لایه‌ای) ۳۱
- شکل (۱۰-۲) تکیه گاه لاستیکی لایه ای الف) قبل از بارگذاری، ب) بعد از بارگذاری و ج) نمودار تنش- کرنش تکیه گاه تحت کشش و فشار (Tyler, 1991) ۳۵
- شکل (۱۱-۲) اجزا مختلف سیستم جداسازی لرزه ای سرب-لاستیکی ۳۸
- شکل (۱۲-۲) ساختار کلی سیستم جداسازی لرزه ای سرب-لاستیکی ۳۸
- شکل (۱۳-۲) مدل رفتاری جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی ۳۹
- شکل (۱۴-۲) چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی ۴۰
- شکل (۱۵-۲) حلقه هیستریزس نیرو- جابجایی برای تکیه گاه با قطر ۶۵۰ mm ۴۱
- شکل (۱۶-۲) نیروی ناشی از سرب به عنوان تابعی از سطح مقطع سرب به کار رفته ۴۲
- شکل (۱۷-۲) آزمایش دینامیکی هفت زلزله شبیه سازی شده روی تکیه گاه سرب لاستیکی ۴۴



- شکل (۱۸-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرائی بالا ۴۵
- شکل (۱۹-۲) چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرائی بالا ۴۶
- شکل (۲۰-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده ۴۷
- شکل (۲۱-۲) مدل رفتاری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده ۴۸
- شکل (۲۲-۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده ۴۹
- شکل (۲۳-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد ۴۹
- شکل (۲۴-۲) مدل رفتاری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد ۵۰
- شکل (۲۵-۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد ۵۱
- شکل (۲۶-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۱) ۵۱
- شکل (۲۷-۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۱) ۵۲
- شکل (۲۸-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۲) ۵۲
- شکل (۲۹-۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۲) ۵۳
- شکل (۳۰-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی ریلی ۵۴
- شکل (۳۱-۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی ریلی ۵۴
- شکل (۳۲-۲) جداساز پاندولی اصطکاکی ۵۵
- (الف) حالت سکون ۵۶
- (ب) حرکت آونگ داخلی در سطح زلزله بهره برداری ۵۶
- (ج) حرکت آونگ پایینی در سطح زلزله طراحی ۵۶
- (د) حرکت آونگ بالایی در سطح حداکثر زلزله معتبر (MCE) ۵۶
- شکل (۳۳-۲) جداساز پاندولی اصطکاکی سه‌گانه ۵۶
- شکل (۳۴-۲) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای سرب-لاستیکی ۵۶
- شکل (۳۵-۲) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای لاستیکی با میرایی بالا ۵۷
- شکل (۳۶-۲) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای پاندولی-اصطکاکی ۵۸
- شکل (۳۷-۲) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای پاندولی-اصطکاکی ۵۸
- شکل (۳۸-۲) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای پاندولی-اصطکاکی سه‌گانه ۵۹

فصل سوم

۶۱ ضوابط طراحی ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای

فصل چهارم

۷۳ روش بار جانبی معادل



فصل پنجم

۷۹ تحلیل دینامیکی

فصل هشتم

۸۵ مسائل اجرائی

- ۸۷ شکل (۱-۶) ساختمان بدون زیر زمین
- ۸۷ شکل (۲-۶) نصب در زیر زمین
- ۸۹ شکل (۳-۶) مفاهیم نصب سیستم مقاومسازی
- ۹۰ شکل (۴-۶) جک مسطح
- ۹۳ شکل (۵-۶) ظرفیت باربری تکیه‌گاه الاستومری
- ۹۵ شکل (۶-۶) مقطع تکیه‌گاه سرب لاستیکی
- ۹۸ شکل (۷-۶) تکیه‌گاه لغزنده مدور
- ۱۰۰ شکل (۸-۶) میراگر ویسکوز در کنار جداساز هیستریزس
- ۱۰۶ شکل (۹-۶) طیف شتاب با میرایی ۵٪
- ۱۰۶ شکل (۱۰-۶) طیف جابجایی با میرایی ۵٪
- ۱۰۸ شکل (۱۱-۶) زلزله ۱۹۴۰ El Centro
- ۱۰۸ شکل (۱۲-۶) زلزله ۱۹۵۲ Kern County
- ۱۰۹ شکل (۱۳-۶) زلزله ۱۹۴۰ Bonds Corner Record, El Centro
- ۱۱۰ شکل (۱۴-۶) زلزله ۱۹۸۵ Mexico City
- ۱۱۰ شکل (۱۵-۶) زلزله ۱۹۸۹ Loma Prieta
- ۱۱۱ شکل (۱۶-۶) زلزله ۱۹۹۲ Landers
- ۱۱۱ شکل (۱۷-۶) زلزله ۱۹۹۴ Northridge
- ۱۱۲ شکل (۱۸-۶) زلزله ۱۹۹۴ Northridge
- ۱۱۵ شکل (۱۹-۶) رکورد زلزله با مشخصات نزدیکی به گسل
- ۱۱۶ شکل (۲۰-۶) اختلاف بین زمین لرزه‌ها
- ۱۲۵ شکل (۲۱-۶) طیف شتاب با میرایی ۵٪
- ۱۲۵ شکل (۲۲-۶) طیف شتاب با میرایی ۵٪
- ۱۳۷ شکل (۲۳-۶) جابجایی در حالتیکه نیروها به طور همزمان اعمال می‌شوند
- ۱۳۸ شکل (۲۴-۶) برش در حالتیکه نیروها به طور همزمان اعمال می‌شوند
- ۱۳۹ شکل (۲۵-۶) نحوه نصب در ساختمان‌های جدید به صورت عمومی
- ۱۴۰ شکل (۲۶-۶) نیروهای روی تکیه‌گاه در حالت تغییر شکل یافته
- ۱۴۱ شکل (۲۷-۶) نیروهای ستون معادل
- ۱۴۲ شکل (۲۸-۶) توزیع نیرو در بولت‌ها



- شکل (۲۹-۶) صفحه باربر دایره ای شکل ۱۴۳
- شکل (۳۰-۶) صفحه باربر مربع شکل ۱۴۴
- شکل (۳۱-۶) مراحل اجرا و نصب جداساز ۱۴۵
- شکل (۳۲-۶) مثال نصب: سازه جدید ۱۴۶
- شکل (۳۳-۶) مثال نصب: دیوار بنایی موجود ۱۴۷
- شکل (۳۴-۶) مثال نصب: ستون موجود ۱۴۸
- شکل (۳۵-۶) مثال نصب: دیوار بنایی موجود ۱۴۹
- شکل (۳۶-۶) مثال نصب: ستون فولادی ۱۵۰
- شکل (۳۷-۶) مثال نصب: Steel Energy Dissipator ۱۵۱
- شکل (۳۸-۶) جزئیات اجرای معماری توصیه شده برای سازه جداسازی شده ۱۵۲
- شکل (۳۹-۶) (الف) استفاده از جزئیات خاص کف برای ساختمان های دسترسی به ساختمان جداسازی شده، (ب) نمای جانبی جزئیات ارائه شده در حالات کاملاً بسته، اسمی و کاملاً باز ۱۵۳
- شکل (۴۰-۶) استفاده از اتصالات و شیرآلات انعطاف پذیر در سازه های جداسازی شده ۱۵۳
- شکل (۴۱-۶) نمونه از اتصالات انعطاف پذیر در محل اتصال لوله به پمپ ۱۵۴
- شکل (۴۲-۶) نمونه‌ای از اتصالات انعطاف پذیر لوله‌ها ۱۵۴
- شکل (۴۳-۶) مفصل پلاستیکی کانال ۱۵۵
- شکل (۴۴-۶) لوله از نوع شلنگ سیمی ۱۵۵
- شکل (۴۵-۶) لوله از نوع شلنگ پلاستیکی ۱۵۵
- شکل (۴۶-۶) شلنگ پلاستیکی با میله کنترلی ۱۵۶
- شکل (۴۷-۶) نمونه‌ای از درزهای انبساطی ۱۵۶

فصل هفتم

- آزمون‌ها ۱۵۷

فصل هشتم

بررسی مطالعات مرحله اول سازه بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز

- با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای ۱۶۳
- شکل (۱-۸) پلان زیرزمین اول بیمارستان [۱۰] ۱۶۴
- شکل (۲-۸) پلان طبقه همکف بیمارستان [۱۰] ۱۶۵
- شکل (۳-۸) پلان طبقه اول بیمارستان [۱۰] ۱۶۵
- شکل (۴-۸) پلان طبقه سوم بیمارستان با عقب‌رفتگی در پلان به نسبت طبقات زیرین [۱۰] ۱۶۵
- شکل (۵-۸) پلان طبقه هشتم بیمارستان با عقب‌رفتگی در پلان به نسبت طبقات زیرین [۱۰] ۱۶۶
- شکل (۶-۸) پلان جانمایی ستون‌ها، دیوارهای برشی و درزهای انقطاع در پلان طبقات اول تا چهارم [۱۰] .. ۱۶۶



- شکل (۷-۸) موقعیت پروژه و گسل تبریز [۱۰] ۱۶۸
- شکل (۸-۸) نمای یکی از قاب‌های ساختمان پروژه با روسازه فولادی و جداساز لرزه‌ای [۱۰] ۱۷۳
- شکل (۹-۸ الف) جوابیه گروه مهندسين مشاور همگون ۱۷۶
- شکل (۹-۸ ب) جوابیه گروه مهندسين مشاور همگون ۱۷۷

پیوست الف

- مقایسه آئین‌نامه‌های مختلف دنیا ۱۸۱
- شکل (الف-۱) نمایش روند همگراشدن روش تحلیل خطی معادل ۱۸۵

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در هنگام وقوع زلزله، سازه‌ها تحت اثر بارهای لرزه‌ای با شدت زیاد قرار گرفته و برخی اعضای باربر جانبی آن‌ها وارد ناحیه غیرخطی می‌شوند. در این حالت بخش عمده‌ای از انرژی ورودی به سازه از طریق میرایی ذاتی سازه و مکانیزم غیرخطی هیسترتیک مستهلک می‌شود. در زلزله‌های شدیدتر، انرژی ورودی به سازه افزایش یافته و سهم بیشتری از انرژی توسط ایجاد تغییرشکل‌های پلاستیک تلف می‌گردد. تغییرشکل‌های مذکور ناشی از بوجود آمدن مفاصل پلاستیک به صورت موضعی در نقاطی از سازه بوده که خود موجب افزایش استهلاک انرژی در سیستم می‌گردد. در نتیجه مقدار زیادی از انرژی ورودی زلزله به ساختمان به واسطه تخریب‌های موضعی در سیستم باربر جانبی سازه مستهلک می‌گردد، طوری که در صورت عدم اتخاذ تمهیدات لازم، این امر می‌تواند به از دست دادن کارایی و در نهایت فروریزش سازه بیانجامد.

در سالیان اخیر، روش‌های ابداعی جهت افزایش کارایی و ایمنی سازه‌ها در برابر خطرات طبیعی از جمله زلزله در دست تحقیق و ارائه می‌باشد. از منظر انرژی، برای طراحی لرزه‌ای مناسب می‌بایست مقدار انرژی هیسترتیک مستهلک شده توسط سازه کاهش یابد. این عمل توسط سیستم‌های کنترلی در سازه‌ها به دو طریق زیر صورت می‌گیرد:

۱- کاهش مقدار انرژی ورودی به سازه (به عنوان مثال به روش جداسازی پایه)



۲- معرفی مکانیزم‌های اضافی اتلاف انرژی در سازه، طوری که سهم عمده‌ای از انرژی ورودی را مستهلک کنند و در نتیجه خسارات وارد شده به سازه اصلی در اثر استهلاک انرژی هیسترتیک را کاهش دهند.

۲-۱ معرفی انواع سیستم‌های کنترل سازه‌ها

سیستم‌های کنترل برحسب میزان انرژی موردنیاز و نیز نحوه عملکرد، به چهار گروه کلی زیر تقسیم می‌شوند. در جدول (۱-۱) طبقه‌بندی کاملی از این سیستم‌ها ارائه شده است.

۱. سیستم‌های کنترل غیرفعال^۱
۲. سیستم‌های کنترل فعال^۲
۳. سیستم‌های کنترل نیمه‌فعال^۳
۴. سیستم‌های کنترل مختلط^۴

سیستم‌های کنترل غیرفعال با استفاده از جذب یا انعکاس قسمتی از انرژی ورودی ناشی از زلزله به سازه، از آنها محافظت می‌کنند و جهت کارکرد به منبع انرژی خارجی نیاز ندارند. سیستم‌های جداسازی پایه^۵، میراگر با جرم متوازن^۶ و ... نمونه‌هایی از سیستم‌های غیرفعال هستند.

سیستم‌های کنترل فعال در بسیاری از موارد نسبت به سیستم‌های کنترل غیرفعال عملکرد بهتری نشان می‌دهند. این گونه سیستم‌ها با اعمال نیروی خارجی در خلاف جهت نیروی لرزه‌ای وارد بر ساختمان، سعی بر کنترل رفتار آن در هنگام بروز زلزله را دارند. همچنین سیستم‌های مذکور قابلیت این را دارند که خود را با شرایط بارگذاری مختلف تطبیق دهند، بدین منظور از پاسخهای سازه‌ای اندازه‌گیری شده جهت تعیین نیروی کنترل اعمالی به سازه استفاده می‌کنند. در این صورت، نیاز به استفاده از سیستم‌های پیچیده و کنترل هوشمند، برای اعمال نیروهای مورد نیاز و نیز الگوریتم‌های مناسب تعیین بهینه این نیروها می‌باشد.

¹ - Passive Control Devices

² - Active Control Devices

³ - Semi – Active Control Devices

⁴ - Hybrid Control Devices

⁵ - Base Isolation

⁶ - Tuned Mass Damper (TMD)



جدول (۱-۱) طبقه‌بندی سیستم‌های کنترل سازه

تکیه‌گاه لغزنده مسطح	سیستم‌های لغزنده یا غلتکی	جداسازی لرزه‌ای	کنترل غیرفعال
لایه‌های لغزنده			
تکیه‌گاه‌های غلتکی			
سایر			
تکیه‌گاه‌های چندلایه الاستومری	المان‌های انعطاف‌پذیر		
تکیه‌گاه شمی انعطاف‌پذیر			
سایر			
فولاد	نوع چرخه‌ای لرزه‌ای		
بار			
سایر			
نوع اصطکاکی		اتلاف انرژی	
نوع هیدرولیکی	نوع سیال		
نوع ویسکوز			
سایر			
نوع ویسکو الاستیک		اثرات جرم موثر	
نوع جرم و فنر			
نوع پاندولی			
لرزش سیال			
سایر		کنترل میرایی	
نوع هیدرولیک	سیستم‌های با میرایی متغیر		
سایر			
نوع مهاربندی	سیستم‌های با سختی متغیر		کنترل سختی
سایر			
سایر		کنترل فعال و مختلط	
میراگرهای جرم موثر			اثرات جرم اضافی
میراگرهای جرم مختلط			
سایر			
تاندون فعال			کنترل نیرو
سایر			
سایر			
در سیستم لایه‌های لغزنده، از لایه‌های شن و رس برای نگهداری سازه استفاده می‌شود.			



از مشکلات عمده سیستمهای کنترل فعال این است که جهت عملکرد مناسب به میزان انرژی خارجی زیادی نیاز دارند و از آنجا که این سیستمها انرژی خارجی قابل توجهی جهت کنترل سازه به آن وارد می‌کنند، امکان ناپایدار شدن سازه بر اثر سیستمهای مذکور وجود دارد. سیستمهای میراگر با جرم فعال^۷، تاندونهای فعال^۸ و... نمونه‌هایی از سیستم‌های فعال هستند.

سیستمهای کنترل نیمه‌فعال که می‌توان آنها را سیستمهای کنترل غیرفعال قابل تنظیم نیز نامید، مجهز به میراگرهایی هستند که در هر لحظه قابل کنترل بوده ولی قادر به اعمال انرژی به سازه نمی‌باشند. آنها برعکس سیستمهای کنترل فعال به انرژی خارجی قابل توجه نیازی ندارند. این مسأله بخصوص هنگام وقوع زلزله نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. از ویژگیهای سیستمهای کنترلی مذکور این است که می‌توانند در هر لحظه عملکرد خود را براساس نیروی وارده تطبیق دهند (ویژگی سیستمهای فعال) و تنها انرژی را جذب یا مستهلک کنند (ویژگی سیستمهای غیرفعال)، لذا پایداری سیستم را تأمین می‌کنند. از طرفی این نوع سیستمهای کنترل، در مقایسه با سیستمهای کنترل فعال، انرژی بسیار کمتری مصرف کرده و نسبت به سیستم‌های کنترل غیرفعال در کاهش پاسخهای سازه‌ای مؤثرترند. بعلاوه، در صورت آسیب دیدن منبع انرژی، مانند سیستمهای کنترل غیرفعال عمل می‌کنند.

در سیستم کنترل مختلط بطور همزمان از میراگرهای کنترل فعال و غیرفعال استفاده می‌شود. این گونه سیستمها معمولاً طوری تنظیم می‌شوند که در زلزله‌های ضعیف و متوسط که کارایی سیستم کنترل غیرفعال کم بوده و سیستم کنترل فعال احتیاج به اعمال انرژی کمتری دارد، مشابه سیستم کنترل فعال و در زلزله‌های شدید که کارایی سیستم کنترل غیرفعال بسیار مناسب بوده و سیستم کنترل فعال به دلیل وجود حد اشباع در تولید نیروی کنترل مورد نظر دچار مشکل می‌باشد، مانند سیستم کنترل غیرفعال عمل نمایند. در ادامه، بنحو مبسوط‌تری به بررسی هر یک از روشهای ذکر شده اقدام می‌گردد.

غیرفعال بودن این سیستمهای کنترلی بدین معنی است که عامل کنترل‌کننده تا پیش از تحریک سازه غیرفعال است. با شروع تحریک سازه، سیستم فعال شده و شروع به فعالیت کنترلی خود می‌نماید و پس از خاتمه تحریک دوباره به حالت غیرفعال باز می‌گردد. این سیستمها مجهز به وسایلی هستند که مشخصات سازه‌ای مثل شکل‌پذیری، مقاومت و غیره را اصلاح می‌کنند و یا انرژی را مستهلک می‌نمایند. بنابراین طی این عمل، ارتعاشات سازه کاهش می‌یابد.

سیستمهای کنترل غیر فعال جهت کارکرد به منبع انرژی خارجی نیازی ندارند. این سیستمها با تولید حرکت نسبی درون دستگاههای کنترل، با استفاده از حرکت سازه، یا تبدیل انرژی جنبشی به گرما، انرژی ورودی به سازه را مستهلک می‌کنند. از آنجا که سیستمهای مذکور هیچ‌گونه انرژی خارجی‌ای به سیستم وارد نمی‌کنند، باعث ناپایداری سازه نمی‌شوند.

⁷ -Active Mass Damper (AMD)

⁸ -Active Tendons



مزیت دیگر آنها، هزینه کم نگهداریشان می‌باشد. این سیستم‌های کنترل به جهت داشتن مشخصات دینامیکی (جرم، سختی، زمان تناوب و میرایی) ثابت، تا حدودی به ویژگیهای تحریک مانند دامنه شتاب (PGA) و فرکانس غالب رکورد زلزله حساس هستند. این حساسیت بر میزان کارایی عامل کنترل کننده برای تحریکهایی که ماهیت دلخواه و غیرمشخصی دارند (مثل زلزله) به شدت اثر می‌گذارد و در نتیجه سبب محدود شدن کارایی و کاربرد هر سیستم برای بارگذاری و تحریک خاصی می‌شود.

در حالت کلی، سیستم‌های کنترل غیرفعال براساس روش جذب انرژی‌شان طبقه‌بندی می‌شوند. سیستم‌های مذکور به طور عمده با روشهایی مانند لغزش اصطکاکی، عبور سیالات از روزنه، تغییر شکل ویسکوالاستیک جامدات یا سیالات، تبدیل حالت و تسلیم‌شدگی در فلزات، انرژی را جذب و پاسخ سیستم‌های سازه‌ای را میرا می‌کنند. از انواع سیستم‌های کنترل غیرفعال متداول در سازه‌ها می‌توان به سیستم جداسازی پایه^۹، میراگر با جرم متوازن^{۱۰}، میراگر مایع متوازن^{۱۱}، میراگر جاری شونده فلزی^{۱۲}، میراگر اصطکاکی^{۱۳}، میراگر ویسکوالاستیک^{۱۴}، میراگر با سیال ویسکوز^{۱۵} و ... اشاره نمود. در ادامه به معرفی کلی سیستم‌های جداساز پایه، فلسفه ساخت و اجزائی که به طور معمول در این سیستم‌ها به کار رفته‌است پرداخته می‌شود و مزیت بهره‌گیری از این سیستم‌ها در مقایسه با سایر سیستم‌های کنترل غیرفعال تشریح می‌گردد. توضیحات کلی و فنی در خصوص انواع جداسازهای لرزه‌ای و محاسبات مربوطه در فصل‌های آتی ارائه خواهد شد.

۱-۳-۳ جداسازهای لرزه‌ای

۱-۳-۱ کلیات و ویژگی‌های عمومی

جداسازی موفق یک سازه خاص به میزان زیادی به انتخاب مناسب تجهیزات جداساز یا سیستم‌های مورد استفاده برای ایجاد انعطاف افقی کافی با حداقل نیروهای متمرکز و میرایی متناسب، بستگی دارد. همچنین لازم است فاصله لرزه‌ای مناسبی بین یک سازه جداسازی شده و سازه مجاور فراهم شود تا تمام جابجایی‌های جداساز نیز در بر گرفته شود. در برخی موارد ممکن است لازم باشد با ابزارهایی، جابجایی‌های جداساز حین زلزله‌های شدید محدود شود.

⁹ - Base Isolation

¹⁰ - Tuned Mass Damper (TMD)

¹¹ - Tuned Liquid Damper (TLD)

¹² - Metallic yield Damper

¹³ - Friction Damper

¹⁴ - Viscoelastic Damper (VED)

¹⁵ - Viscous Fluid Damper



کارکرد اصلی یک سیستم جداساز، حفظ انسجام و سختی سازه در شرایطی است که انعطاف افقی زیادی فراهم شده‌باشد. این فرایند باعث بالارفتن دوره تناوب موثر سازه و در نهایت، کاهش نیروی زلزله و ثقلی را باعث خواهد شد. از آنجایی که عمر یک سازه جداسازی شده بین ۳۰ تا ۸۰ سال و شاید بیشتر تخمین زده می‌شود، سیستم جداساز بایستی برای چنین عمر مفیدی همچنان قابلیت‌های عملیاتی خود را حفظ کند و مشکلات تعمیر و نگهداری آن نباید از مشکلات رایج خود سازه بیشتر باشد. به همین دلیل طراحی به نسبت سازه و درست و استفاده از تجهیزات کاملاً آزمایش شده برای جداساز از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود.

کارکرد اصلی جداساز در محدود کردن نیروها شاید تنها یک بار یا چند بار به طور خفیف در طول عمر مفید سازه فعال شود، به عنوان مثال ۱۵ ثانیه در ۵۰ سال. هر چند، در این زمان‌ها، جداساز بایستی با وجود تمام مخاطرات محیطی، شامل مخاطراتی که باعث خوردگی در سطوح فلزی می‌شوند و باعث خرابی الاستومر یا تغییر مشخصات فیزیکی تجهیزات می‌شوند، عملکرد موفقی داشته باشد. علاوه بر بارهای لرزه‌ای که بسیار نادر هستند، جداساز معمولاً با بارهای کوچک اما با تواتر بیشتری مانند بار باد مواجه است که این بارها نیز بایستی با موفقیت تحمل شوند. تغییرات دمایی در طول روز باعث بروز جابجایی می‌شود که بایستی توسط سیستم جداساز بدون ذخیره نیروی اضافی تحمل شوند. از آنجایی که تجهیزات جداساز که بتوانند معیارهای بالا را ارضا کنند همچنین قرار است هزینه کلی سیستم سازه را نیز پایین بیاورد، لذا جداساز بایستی دارای طرحی ساده باشند تا هزینه تولید و نصب آنها ارزان تمام شود. انواع مختلف سیستم‌های جداسازی کف عبارتند از: الاستومر، جداسازهای لاستیک-سرب^{۱۶}، جداسازهای لاستیکی با میرایی بالا^{۱۷}، ورق‌های اتصال لاستیک مسلح^{۱۸} و جداسازهای آونگی اصطکاکی- لغزشی^{۱۹} که در فصل دوم به ارائه توضیح مختصری در خصوص مشخصات انواع متداول آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۳-۲ تاثیرات بهره‌گیری از جداسازهای لرزه‌ای

هنگام طراحی لرزه‌ای متداول یک ساختمان، فرض می‌شود نیروی زلزله‌ای قابل ملاحظه‌ای به سازه انتقال می‌یابد که مسئله طراحی ایجاد ظرفیت کافی در سازه جهت مقاومت در برابر این نیروها است. در جداسازی لرزه‌ای، هدف اصلی، کاهش قابل ملاحظه‌ی نیروی انتقال یافته به سازه است. این هدف معمولاً به وسیله‌ی تعبیه‌ی یک لایه‌ی جدا کننده بین شالوده و سازه تحقق می‌یابد، به طوری که در هنگام وقوع زلزله، زمانی که زمین در زیر شالوده یا تراز زلزله به شدت در حال جنبش است، تنها ارتعاشی ملایم در ساختمان ایجاد می‌شود. روش‌ها و سیستم‌های عملی جداسازی

¹⁶ - Lead-Rubber Bearings

¹⁷ - High Damping Rubber Bearings

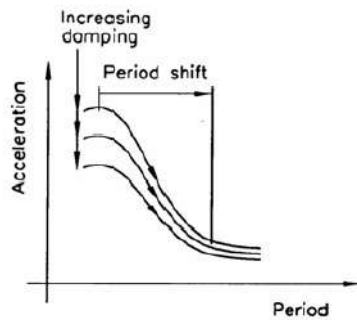
¹⁸ - Elastomeric Bearing Pads

¹⁹ - Sliding Friction Bearings

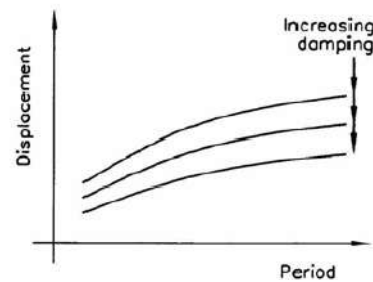


لرزه‌ای بایستی توازی بین نیروهای ایجاد شده و نیز جابجایی‌های طبقات دستگانه جداساز ایجاد کنند. یک سیستم جداساز لرزه‌ای با خواص چرخه‌ای جابجایی- نیرو می‌تواند به نحوه مطلوبی کاهش سطح نیروها را همزمان با افزایش نرمی و میرایی سیستم را در برابر نیروهای شدید لرزه‌ای تأمین کند. چنین سیستمی همچنین سختی بالای مورد نیاز در محدوده‌ی نیروهای کوچک ناشی از باد را نیز دارا است و می‌تواند جابجایی‌ها را محدود کند.

قرار دادن ساختمانها بر روی یک سیستم جداساز، صرفنظر از تفاوت‌های گسترده و تنوع در جزئیات روشهای جداساز پایه، مبتنی بر استفاده از یک لایه با سختی جانبی کم در بین پی و سازه است. اینگونه جداسازی سبب افزایش قابل ملاحظه زمان تناوب سازه و در نتیجه کاهش بسیار زیاد شتاب طیفی و به تبع آن کاهش در شتاب طبقات و نیز کاهش در انرژی ورودی به سازه می‌شود که این خود رانشهای بین طبقه‌ای سازه را تقلیل می‌دهد (شکل ۱-۱). به عبارت دیگر اصل جداسازی لرزه‌ای پایه، ایجاد انعطاف‌پذیری در تراز پایه‌سازه در یک صفحه افقی، به همراه قرار دادن اجزای میراکننده (با میرایی برابر ۵٪ الی ۳۰٪ میرایی بحرانی)، برای محدود کردن دامنه حرکت ناشی از مؤلفه افقی زلزله (حدود ۱۰۰ الی ۴۰۰ میلی متر) است. شکل (۱-۱)، به طور شماتیک پاسخ یک سیستم جداسازی شده در پایه را با سیستم معمولی مقایسه می‌کند.

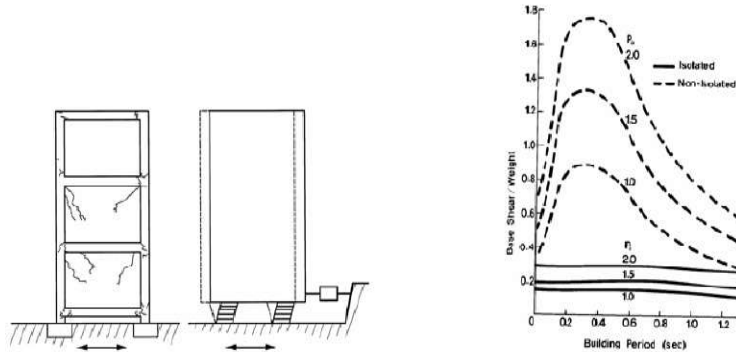


الف) انتقال دوره تناوب اصلی جهت کاهش انرژی وارده



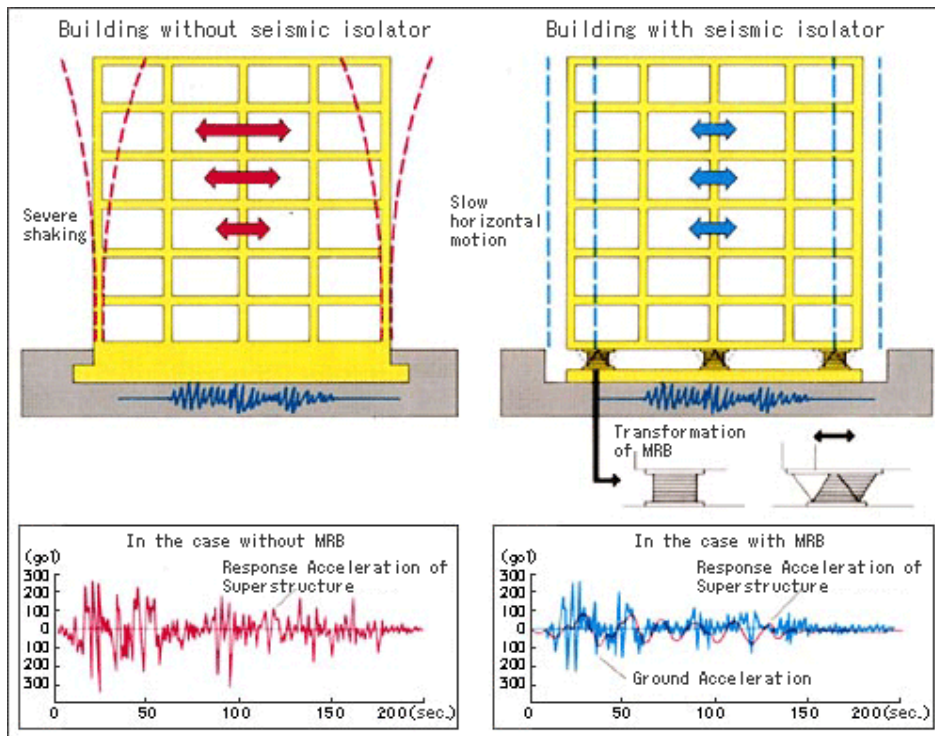
ب) افزایش میرایی جهت محدود نمودن تغییر مکان

شکل (۱-۱) نحوه عملکرد جداساز لرزه ای



ب) برش پایه در سازه با و بدون جداساز لرزه‌ای تحت اثر زلزله تشدید (الف) پاسخ سازه با و بدون جداساز لرزه‌ای به زلزله یافته ال سترو

شکل (۳-۱) تاثیر استفاده از جداسازهای لرزه‌ای در ساختمان



شکل (۳-۱) مقایسه عملکرد سیستم جداسازی پایه با سیستم قاب معمولی (قاب خمشی)



۱-۳-۳ هزینه سیستم جداسازی پایه

هزینه جداسازهای پایه همواره یکی از سوال‌های اولیه بسیاری از مهندسان در بکارگیری این روش می‌باشد. در بیشتر موارد هزینه یک ساختمان جدید جداسازی شده معمولاً بین ۰ تا ۵٪ از هزینه یک ساختمان غیر جداسازی شده (معمولی) بیشتر می‌باشد. نصب سیستم جداسازی همواره به هزینه‌های ساخت اولیه ساختمان اضافه می‌گردد. این در حالیست که در خصوص ساختمان‌های غیر جداسازی شده هزینه‌های ساخت اولیه ساختمان اضافه می‌گردد. سازه ساختمان برای سطح عملکرد بالاتری نسبت به سازه غیر جداسازی شده طراحی می‌گردد و به طور کامل از کاهش نیروها به منظور کاهش هزینه‌ها در سازه روی جداسازها نمی‌توان استفاده نمود (به طور کلی، شکل پذیری سازه‌های جداسازی شده از نصف شکل پذیری سازه غیر جداسازی شده کمتر است) و صرفه جویی در سیستم سازه‌ای که می‌تواند هزینه سیستم جداسازی را جبران نماید، به همین دلیل محدود می‌گردد.

برای مقاوم سازی ساختمان، هزینه استفاده از راه حل جداسازی در اغلب اوقات کمتر از سایر روش‌های مقاوم سازی می‌باشد. زیرا در مقاوم سازی کمتر از روش طراحی شکل پذیر استفاده می‌گردد و از این جهت روش جداسازی و غیر جداسازی قابل مقایسه می‌باشند.

۱-۳-۳-۱ هزینه مهندسی، طراحی و مستندات

طراحی سازه‌های جداسازی شده نیازمند تحلیل، طراحی، جزئیات و مستندات بیشتری نسبت به سازه‌های غیر جداسازی شده می‌باشد. هزینه‌های اضافی مرتبط وابسته به نوع پروژه می‌باشد. در زیر برخی از مواردی که قابل در نظر گرفتن هستند، ارائه شده‌اند:

- بیشترین هزینه اضافی مهندسی مربوط به بخش تحلیل می‌باشد. نوع و هزینه تحلیل وابسته به نوع ساختمان و محل آن می‌باشد. تعداد کمی از سازه‌های جداسازی شده را می‌توان با استفاده از روش استاتیکی معادل تحلیل نمود و حداقل باید از روش تحلیل طیف پاسخ جهت تحلیل استفاده کرد. در تحلیل برخی از سازه‌ها باید از روش تاریخچه زمانی استفاده نمود. حتی در صورتیکه در تحلیل سازه غیر جداسازی شده از روش‌های ذکر شده استفاده شود، تحلیل سازه‌های جداسازی شده نیازمند دقت و تلاش بیشتری می‌باشد. به عنوان مثال، در تحلیل طیف پاسخ یک سازه جداسازی شده، معمولاً از روش تکراری استفاده می‌شود، زیرا سختی و میرایی در این سازه تابعی از جابجایی بوده که به نوبه خود تابعی از سختی و میرایی می‌باشد.
- فروشنده جداساز معمولاً طراحی سیستم جداسازی را انجام می‌دهد و از این جهت هزینه زیادی به هزینه‌های مهندسی اضافه نمی‌شود. هرچند، بررسی طراحی‌ها نیازمند زمان می‌باشد.



- طراحی اتصالات جداساز یکی از هزینه‌های اضافه شده می‌باشد. جابجایی‌های بزرگ اعمال شده منجر به ایجاد اثرات ثانویه (اثرات $P-\Delta$) شده که نیازمند دقت و تلاش زیاد در طراحی می‌باشد.
 - برای هر سازه به طور کلی باید تعدادی پیشنهاد، که عمدتاً پیچیده بوده و به سختی قابل صحت سنجی می‌باشد، ارزیابی گردد.
 - نمونه‌های اولیه و نحوه تولید باید بازرسی و ارزیابی گردد.
 - در مرحله نصب نیاز به بازرسی مضاعف کارگاه می‌باشد.
- هیچگونه صرفه جویی در هزینه طراحی و مستندات در خصوص استفاده از جداسازی به نظر نمی‌رسد. اما امکان ساده سازی به دلیل استفاده از طراحی الاستیک در مقابل طراحی شکل پذیر وجود دارد. هرچند این امر غیر طبیعی است.

۱-۳-۳-۲ هزینه جداسازها

هزینه جداسازها بسیار متنوع است. در مورد بیشتر آن‌ها حداکثر جابجایی بیشترین تاثیر را در هزینه جداساز دارد و در درجات بعدی بار قابل تحمل توسط جداساز حائز اهمیت می‌باشد. برای سطح مشخصی از زلزله، جابجایی متناسب با پیروید (سازه) جداسازی شده بوده و در نتیجه، هر چه درجه جداسازی بیشتر گردد، هزینه بیشتری باید متحمل شد. هزینه هر وسیله جداساز بین ۱۵ میلیون ریال تا ۳۰۰ میلیون ریال متغیر است.

هزینه کل سیستم جداسازی شده تابع میزان کارایی و نحوه چیدمان جداسازها می‌باشد. به طور کلی، میزان کارایی متناسب با بار وارده به هر جداساز است. به عبارت دیگر، هر چه بار وارده بر هر جداساز بیشتر باشد، کارایی سیستم بالاتر خواهد بود. به عنوان مثال، هزینه کل سیستم برای سازه‌ای که در منطقه‌ای با خطر نسبی زلزله زیاد قرار دارد و بر روی ۵۰ جداگر قرار دارد، حدود ۲۰ الی ۴۰ درصد کمتر از هزینه سازه‌ای با همان وزن که بر روی ۱۰۰ جداگر قرار دارد، می‌باشد. زیرا ابعاد و مشخصات میراگر اساساً بر اساس جابجایی حداکثری که قادر به تحمل آن می‌باشد، تعیین کننده هزینه جداساز بوده و ظرفیت بار محوری بیشتر وسایل جداساز تاثیر چندانی در هزینه آن‌ها ندارد. به همین منظور به منظور افزایش تاثیر جداساز لرزه ای بهتر است سطح مقطع یک جداساز را در حد امکان افزایش و تعداد کل جداسازهای را کاهش داد. باید توجه داشت که با افزایش قطر جداساز تغییر شکل مجاز برای جداساز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش قطر، سختی جانبی جداساز افزایش یافته و منجر به کاهش اثرگذاری سیستم جداسازی در کاهش نیروی زلزله می‌گردد.



۱-۳-۳-۳ هزینه تغییرات سازه‌ای

یکی از اصلی‌ترین هزینه‌ها به صورت بالقوه، تغییر آرایش (چینش) اعضای سازه‌ای بوده و تابعی از شکل و آرایش ساختمان می‌باشد. سازه‌ای که دارای زیرزمین است را می‌توان در تراز زیر طبقه همکف با هزینه کمی جداسازی نمود. ساختمانی که بر روی دالی بر سطح زمین بنا شده نیازمند طبقه معلق است. تفاوت هزینه طبقه معلق و دال مسطح در سطح زمین بخش به طور قابل ملاحظه‌ای بر هزینه‌های ساخت می‌افزاید.

باید به هزینه‌های احتمالی دیگر در مورد بخشی از سازه که در تراز زیر سطح جداسازی شده قرار دارد، توجه داشت. به عنوان مثال، در صورتیکه جداگرها بر روی دیوارهای زیرزمین، در زیر طبقه همکف قرار داشته باشند، منجر به اعمال نیروهای خارج صفحه به دیوارهای زیرزمین می‌شوند. در این صورت ممکن است برای مقابله با این نیروها نیاز به استفاده از المان‌های مرزی (کلاف‌های قائم) یا دیوار پشت بند باشد.

یکی از راهکارهای دیگر اجرای جداسازها بر روی تیر یا کف صلب در تراز جداسازی می‌باشد. بدین ترتیب مستقل از موقعیت ستون‌ها می‌توان آرایش مناسب تری برای جداسازها تعیین نمود. هر چند استفاده از این روش باید همراه با مطالعات ویژه از نظر عملکرد سیستم و تاثیر آن بر شالوده و زیر تراز جداسازی شده باشد.

به طور واضح، هزینه تغییرات سازه‌ای برای اعمال جداسازی بسیار وابسته به نوع پروژه می‌باشد. به طور کلی، هزینه تغییرات سازه‌ای بین ۰ تا ۲۰ درصد هزینه‌های سازه‌ای است (هر چند حدود بالا و پایین این هزینه‌ها به ندرت ممکن است رخ دهد). به طور معمول بین ۱٪ تا ۳٪ به هزینه‌های سازه‌ای اضافه می‌گردد. در برخی موارد، برخی صرفه جویی‌ها در تراز بالای جداسازها این هزینه‌های اضافی را تعدیل و جبران می‌کند.

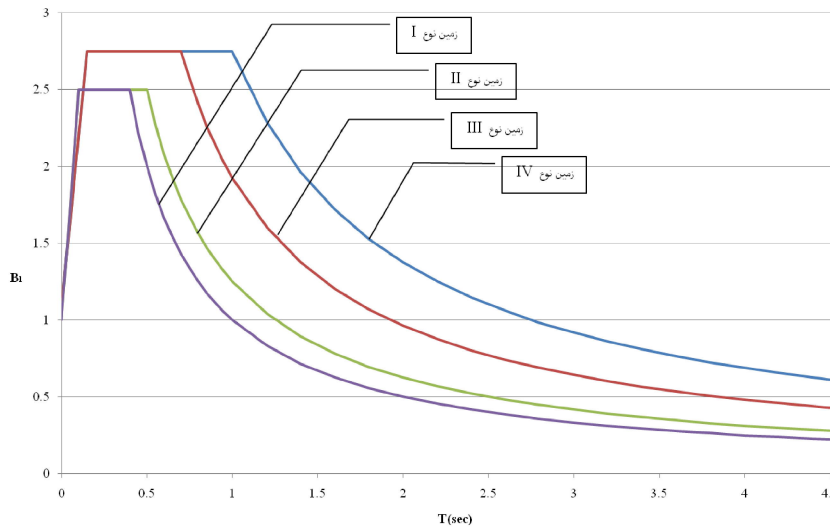
نکته حائز اهمیت دیگری که در این خصوص قابل توجه است، این است که بهره‌گیری از جداسازهای لرزه‌ای به عنوان یکی از سیستم‌های کنترل سازه‌ها در برابر زلزله، لزوماً سبب کاهش مقاطع سازه و در نهایت، وزن آن نخواهند شد. این مسئله بدان جهت است که ساختمان‌ها با و بدون جداساز لرزه‌ای، عموماً و براساس محاسبات مرتبط، با نیروی برش پایه تقریباً یکسانی طراحی خواهند شد.

به عبارت بهتر، در حالت تحلیل استاتیکی (بار جانبی معادل)، ضریب $C = \frac{ABI}{R}$ که به عنوان ضریب پایه نیروی برشی شناخته می‌شود، به عنوان عامل موثر بر تعیین وزن روسازه و مقاطع آن محسوب می‌شود. در شرایطی که سازه بدون لرزه‌ای طراحی می‌شود، در بحرانی‌ترین حالت تحلیل، دوره تناوب سازه ممکن است در ناحیه ضریب ثابت طیف قرار گیرد که البته این مقدار براساس نوع خاک، ممکن است مقادیر متفاوتی داشته باشد. حال آنکه، در سازه‌های با جداساز لرزه‌ای که دوره تناوب آنها بین ۲ تا ۲/۵ ثانیه تعیین می‌شود، این ضریب به طور تقریبی به میزان $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{5}$ ، نسبت به مقدار متناظر آن برای سازه‌های بدون جداساز لرزه‌ای کاهش خواهد یافت (شکل ۱-۳-۳-۳). از سوی دیگر، ضریب



رفتار سازه‌های بدون جداساز لرزه‌ای براساس متوسط مقدار معرفی شده در آئین‌نامه برای انواع سیستم‌های سازه‌ای، حداکثر ۳ برابر همین پارامتر برای سازه‌های با جداساز لرزه‌ای خواهد بود. با در نظر گرفتن هر دو این پارامترها در تعیین نیروی برشی ناشی از زلزله، مشاهده می‌شود که در روش بار استاتیکی معادل برای سازه با جداساز لرزه‌ای، مقدار ضریب C تقریباً مشابه و در شرایطی گاه بزرگتر از این ضریب برای سازه بدون جداساز خواهد بود که در نهایت، منجر به اسکلتی با ابعاد مقاطع مشابه یا بزرگتر خواهد شد.

هرچند ممکن است این مسئله در دید اول توجه بهره‌گیری از جداسازهای لرزه‌ای در ساختمان را تحت الشعاع قرار دهد، با این حال، نقاط مثبتی که در بهره‌گیری از این جداسازها حاصل می‌شود، در مقایسه با تغییر نامحسوس در هزینه اسکلت، قابل تامل خواهد بود. از مهمترین نکات حائز اهمیت در ساختمان‌های با جداساز لرزه‌ای، کاهش قابل توجه میزان شتاب و تغییرمکان نسبی (دریفت) است که در نهایت باعث کاهش قابل توجه هزینه‌های ناشی از خسارات زلزله، در اجزاء غیرسازه‌ای و افزایش سطح عملکرد ساختمان خواهد شد. در سازه‌های بیمارستانی، به طور خاص، که میزان ارزش اجزاء غیرسازه‌ای در حدود ۸۰٪ و ارزش اجزاء سازه‌ای ۲۰٪ ارزش ساختمان می‌باشد، این کاهش از دو جهت حائز اهمیت است. اول اینکه با کاهش میزان خسارت وارده به اجزاء غیرسازه‌ای، خسارت مالی اندکی به مجموعه وارد خواهد شد و دوم آنکه، با این کاهش خسارت، سطح بهره‌گیری از این اجزاء افزایش خواهد یافت که در نهایت، باعث افزایش سطح عملکرد مجموعه بیمارستان در شرایط پس از زلزله خواهد شد. این افزایش سطح عملکرد که گاهی تا سطح IO نیز قابل دستیابی خواهد بود، ممکن است با روش‌های دیگری نیز حاصل شود ولی در مقابل، هزینه‌های بسیاری به سازه تحمیل خواهد شد که ممکن است در مقایسه با سیستم جداسازهای لرزه‌ای قابل توجه نباشد.



شکل (۱-۴) ضریب شکل طیف برای انواع زمین‌های مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ایران-ویرایش چهارم

۴-۳-۳-۱ تغییرات معماری، خدمات دهی و موارد غیر سازه‌ای

بیشتر هزینه‌های معماری ناشی از ارائه جزئیات برای جداکردن اطراف ساختمان از محیط اطراف می‌باشد. به عبارت دیگر در فاصله‌ای حداقل برابر با بیشینه جابجایی سیستم جداگر، هیچگونه مانعی برای حرکت ساختمان نباید وجود داشته باشد. پله‌ها باید یا به صورت طره نسبت به روسازه جداسازی شده قرار گرفته یا بر تکیه گاه‌های غلتکی (لغزشی) قرار گیرند.

تمامی مراکز خدماتی و ورودی ساختمان باید از روی سطح جداسازی شده عبور نمایند و در نتیجه در اثر زلزله دچار تغییر مکان می‌گردند. تعبیه اتصالات انعطاف پذیر دارای هزینه اضافی است. شفت آسانسور از سطح جداسازی شده عبور می‌نماید و باید از جزئیات خاص استفاده شود و اغلب به صورت طره رو به پایین از روسازه جداسازی شده قرار می‌گیرد. همانند هزینه تغییرات سازه‌ای، هزینه این موارد نیز بسیار متغیر است و معمولاً شبیه هزینه تغییرات سازه‌ای، حدود ۱٪ تا ۳٪ هزینه سازه‌ای، می‌باشد.



۱-۳-۳-۵ صرفه جویی در هزینه سیستم سازه‌ای

فلسفه جداسازی لرزه‌ای کاهش نیروهای ناشی از زلزله بر سیستم سازه‌ای بوده و در نتیجه سیستمی که برای نیروهای کمتر طراحی شود، دارای هزینه کمتر می باشد. میزان کاهش نیرو تابع نوع سازه، سطح زلزله و میزان جداسازی می باشد. به طور کلی، نیروهای زلزله حداقل به یک سوم کاهش یافته و حتی در موارد ایده آل این مقدار به یک هشتم نیز می رسد.

متأسفانه کاهش نیروها به عنوان مثال به یک پنجم، هزینه ها را به همین نسبت کاهش نمی دهد. سیستم سازه‌ای همچنان باید در مقابل بارهای دیگری چون بار ثقلی و باد مقاومت کند. برای مقابله با این بارها سیستم سازه‌ای باید دارای حداقل ابعاد و اندازه‌ای باشد.

از این مهم تر، مقدار کاهش نیروها در اثر جداسازی به طور کلی با مقدار کاهش نیرو در سازه‌های غیرجداسازی شده در اثر شکل پذیری، در یک مرتبه قرار دارد. به عنوان مثال، در آیین نامه UBC 1997 بیشینه نیروی زلزله در ساختمان غیرجداسازی شده با ضریب اصلاح پاسخ R کاهش می یابد که کمترین و بیشترین مقدار $2/2$ و $8/5$ به ترتیب برای ساختمان ستونی طره و قاب خمشی ویژه می باشد.

ساختمان جداسازی شده انرژی را توسط جداسازها جذب می نماید، در حالیکه در ساختمان های معمولی جذب انرژی توسط رفتار شکل پذیر سیستم سازه‌ای صورت می گیرد. در صورتیکه سازه روی جداساز برای سطح شکل پذیری ساختمان های معمولی (غیر جدا سازی شده) طراحی شود، به احتمال زیاد در اثر جاری شدن اعضای سازه‌ای کارایی سیستم جداسازی کاهش می یابد. در ادامه سیستم شکل پذیر دچار نرمی می گردد و شکل پذیری گسترده می تواند منجر به نزدیک شدن پیوند سازه و سیستم جداساز شده، که در نهایت می تواند منجر به اندرکنش (کوپله شدن، درگیر شدن) دو سیستم و رزنانس گردد. به دلایل عنوان شده، سازه روی سیستم جداساز برای سطح پایینی از شکل پذیری و یا حتی بدون شکل پذیری، طراحی می گردد. به عنوان مثال، بر اساس آیین نامه UBC 1997 ضریب اصلاح پاسخ برای سازه جداسازی شده، R_1 ، به ترتیب بین $1/4$ و 2 برای ساختمان ستونی طره و قاب خمشی ویژه متغیر می باشد.

در نتیجه محدودیت شکل پذیری مورد استفاده در سازه های جداسازی شده، قابلیت صرفه جویی در سیستم سازه ای در سازه های با شکل پذیری ذاتی کم، دارای بیشترین مقدار خود می باشد. برای سازه‌های با شکل پذیری بسیار زیاد، مانند قاب خمشی ویژه، احتمالاً هیچ صرفه جویی در سیستم سازه‌ای وجود نخواهد داشت. به عنوان مثال، در صورتیکه برای سازه معمولی (غیر جداسازی شده) $R=8/5$ ، و سازه جداسازی شده $R_1=2/0$ باشد، سیستم جداساز باید نیروها را حداقل با ضریب $4/25$ کاهش دهد تا نیروها با نیروهای بدست آمده در سیستم معمولی برابر شوند.

با وجود اینکه میزان صرفه جویی در صورت استفاده از همان سیستم سازه‌ای کم می باشد، با استفاده از جداسازی می توان از سیستمی با شکل پذیری کمتر استفاده نمود. به عنوان مثال، میزان R_1 برای تمامی قاب های خمشی (ویژه،



متوسط و معمولی) یکسان می باشد؛ در حالیکه برای قاب جداسازی نشده مقدار R بین $3/5$ تا $8/5$ متغیر است. همچنین می توان با توجه به لرزه خیزی منطقه، به جای قاب خمشی ویژه از قاب خمشی متوسط جداسازی شده در طراحی استفاده نمود که منجر به صرفه جویی می شود.

در مقاوم سازی، مقدار صرفه جویی در سیستم سازه‌ای بیشتر از مقدار آن در ساختمان جدید می باشد. زیرا، بیشتر سازه‌های موجود که در زلزله آسیب پذیر می باشند، عمدتاً دارای شکل پذیری کم می‌باشند. سیستم سازه‌های جدید باید برای بارهای در حد الاستیک طراحی گردد (ضریب R کم)، در غیر اینصورت، تغییر شکل های غیرالاستیک منجر به آسیب المان های موجود می‌گردد. در این حالت، می توان به طور مستقیم از کاهش بارهای وارده در اثر جداسازی در طراحی استفاده نمود.

۱-۳-۶ کاهش هزینه‌های ناشی از خسارت

در واقعیت ساختمان جداسازی شده به دلیل شکل پذیری کمتری که در طراحی ساختمان‌های جداسازی شده در نظر گرفته می‌شود، کمتر از ساختمان معمولی (غیر جداسازی شده) آسیب می‌بینند. کاهش هزینه‌ها در اعضا غیرسازه‌ای و مواد داخل ساختمان به مراتب نسبت به سیستم سازه‌ای بیشتر می‌باشد. زیرا در اثر جداسازی شتاب و دررفت (گریز) طبقه کاهش می‌یابد.

به طور معمول برای بیشتر سازه‌ها، تعیین مقدار کاهش هزینه‌های خسارت بدلیل عدم انجام تجزیه و تحلیل هزینه چرخه عمر سازه، کار دشواری است. هر چند با گسترش استفاده از طراحی بر اساس عملکرد، ممکن است شاهد تعیین این مقدار باشیم. در این میان (در حال حاضر) روش‌هایی جهت ارزیابی میزان کاهش خسارات وجود دارند. با داشتن تجزیه و تحلیل هزینه چرخه عمر مانند جدول ۱-۲ و ۱-۳ می‌توان هزینه خسارات ناشی از زلزله را برآورد نمود. خسارت ناشی از زلزله دارای دو دلیل عمده می‌باشد:

۱. خسارت ناشی از گریز. تغییر شکل ناشی از گریز منجر به خسارت به سازه اصلی و اجزا غیر سازه‌ای مانند نما، پنجره، پارتیشن‌ها و ... می‌گردد. با توجه به جدول ۱-۲ مشاهده می‌گردد که با افزایش گریز (دررفت) میزان خسارت افزایش می‌یابد. همچنین این جدول نشان می‌دهد که برای یک گریز مشخص، میزان خسارت در اجزا غیر سازه‌ای از خسارت اجزای سازه‌ای بیشتر است.

۲. شتاب. نیروهای اینرسی در اثر شتاب طبقه منجر به خسارت اجزایی مانند سقف و متعلقات آن می‌گردد. در ساختمان‌های معمولی کنترل این دو مورد دشوار است. به عبارت دیگر، می‌توان سازه را سخت تر طراحی نمود تا گریز و خسارات ناشی از آن را کاهش داد، اما با افزایش سختی شتاب طبقه افزایش یافته و در نتیجه خسارات ناشی از آن افزایش می‌یابد.



این مساله می‌تواند منجر به وضعیت متناقضی گردد؛ مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد که بدون جداسازی، هزینه خسارات با قویتر کردن ساختمان، افزایش می‌یابد. زیرا آسیب‌های ناشی از افزایش شتاب طبقه در مقایسه با کاهش آسیب‌های ناشی از گریز قابل ملاحظه خواهد بود.

باید توجه داشت که معمولاً تنها در خصوص ساختمان‌های مهم تجزیه و تحلیل هزینه چرخه عمر سازه انجام می‌گیرد و معمولاً کاهش هزینه خسارات به صورت کیفی در نظر گرفته می‌شود. با این وجود، در جداول ۱-۲ و ۱-۳ میزان کاهش هزینه‌ها نشان داده شده‌اند. به عنوان مثال، فرض کنید که در اثر بکارگیری جداساز، گریز و شتاب به ترتیب از ۲٪ و ۵ g به ۰/۵٪ و ۰/۱۸ g کاهش یابد. دست‌یابی به این مقادیر با جداسازی به راحتی قابل دستیابی است. به همین تناسب، نسبت متوسط هزینه‌های خسارت ناشی از گریز و شتاب به ترتیب از ۰/۲۹ و ۰/۳۹ به ۰/۰۶ و ۰/۰۹ کاهش می‌یابد. به طور متوسط، هزینه خسارات از ۳۵٪ هزینه‌های کل ساختمان به ۸٪ کاهش می‌یابد. بنابراین، افزایش هزینه‌های اولیه کمتر از ۵٪ قابل توجیه می‌باشد. در برخی مناطق لرزه خیز، مانند کالیفرنیا، خریداران و سرمایه‌گذاران ساختمان میزان بیشینه ضرر محتمل^{۲۰} (PML) را در تعیین ارزش یک سازه در نظر می‌گیرند. کاهش میزان بیشینه ضرر محتمل به طور کلی نشان‌دهنده بازگشت خالص مثبت (سرمایه) به دلیل استفاده از جداسازها می‌باشد.

²⁰ -Maximum Probable Loss



جدول (۱-۲) وابستگی خسارت به گریز

گریز طبقه (%)										
۱۴	۱۰	۷/۰	۴/۰	۳/۰	۲/۰	۱/۰	۰/۵	۰/۱	ضریب تعمیر	
۱/۰	-/۵۰	-/۳۵	-/۲۰	-/۱۰	-/۰۵	-/۰۲	-/۰۱	۰	۲/۰	قاب خمشی
۱/۰	۱/۰	۱/۰	-/۱۸۵	-/۴۰	-/۲۲	-/۱۴	-/۰۳	۰	۲/۰	قاب بادبندی
۱/۰	۱/۰	۱/۰	-/۱۸۵	-/۶۰	-/۳۰	-/۳۰	-/۰۵	۰	۲/۰	دیوار برشی
۱/۰	۱/۰	۱/۰	-/۳۰	-/۱۰	-/۰۲	-/۰۱	-/۰۰۵	۰	۱/۵	قاب غیر لرزه ای
-	-	-	۱/۰۰	۱/۰۰	-/۵۰	-/۲۰	-/۱۰	۰	۲/۰	سازه بنایی
-	-	-	-	-	۱/۰۰	-/۸۰	-/۳۰	۰	۱/۵	پنجره و قاب
-	-	-	-	-	۱/۰۰	-/۳۰	-/۱۰	۰	۱/۲۵	پارتیشن، اجزاء معماری
۱/۰۰	۱/۰۰	-/۸۰	-/۳۵	-/۲۰	-/۱۲	-/۰۴	-/۰۱	۰	۱/۵	کف
۱/۰۰	۱/۰۰	-/۵۰	-/۳۰	-/۲۵	-/۱۰	-/۰۴	-/۰۱	۰	۱/۵	فونداسیون
۱/۰۰	۱/۰۰	-/۸۰	-/۴۵	-/۳۵	-/۱۵	-/۰۷	-/۰۲	۰	۱/۲۵	تجهیزات و لوله کشی
۱/۰۰	۱/۰۰	-/۸۰	-/۴۵	-/۳۵	-/۱۵	-/۰۷	-/۰۲	۰	۱/۰	محتویات

جدول (۱-۳) وابستگی خسارت به شتاب طبقه

شتاب طبقه (g)						
۱/۴	۱/۲	۰/۵۰	۰/۱۸	۰/۰۸	ضریب تعمیر	
۱/۰	-/۵۰	-/۱۰	-/۰۲	-/۰۱	۱/۵	سیستم سقف و کف
۱/۰	-/۹۵	-/۶۰	-/۱۰	-/۰۱	۱/۲۵	پوشش داخلی سقف و روشنایی
۱/۰	-/۶۰	-/۴۵	-/۱۰	-/۰۱	۱/۲۵	تجهیزات و لوله کشی ساختمان
۱/۰	-/۷۰	-/۵۰	-/۱۰	-/۰۱	۱/۵	آسانسور
۱/۰	-/۵۰	-/۱۰	-/۰۲	-/۰۱	۱/۵	فونداسیون
۱/۰	-/۹۰	-/۶۰	-/۲۰	-/۰۵	۱/۰۵	محتویات



۱-۳-۳-۱ احتمال خسارت

زلزله‌های بزرگ دارای احتمال وقوع کم اما عواقب سنگین می‌باشند. برای مطالعات هزینه سود، احتمال وقوع سالانه آن‌ها کم بوده و در نتیجه هزینه خسارات ناشی از زلزله در مقایسه با ارزش خالص کنونی بسیار پایین می‌باشد. هرچند، احتمال وقوع سالانه پایین به معنی تضمین مالک که می‌خواهد بداند "چه اتفاقی می‌افتد اگر زلزله سال بعد اتفاق بیفتد" نمی‌باشد. برای ارزیابی این قضیه می‌توان تحلیل هزینه سود را بر اساس احتمالات شرطی انجام داد که در آن فرض می‌شود که زلزله در عمر مفید (عمر طراحی) ساختمان رخ دهد. با استفاده از این روش به طور قابل توجهی نسبت سود به هزینه افزایش می‌یابد.

۱-۳-۳-۱ قوانین سرانگشتی هزینه

هزینه‌های اضافی مهندسی و مستندات آن در مقایسه با طراحی سازه غیر جداسازی شده احتمالاً حداقل ۲۰٪ می‌باشد و حتی ممکن است بسته به نوع پروژه بیشتر نیز باشد. محدوده هزینه‌های کلی در جدول ۳-۵ نشان داده شده است. بدون در نظر گرفتن کاهش در هزینه‌های خسارت، هزینه‌های اضافه شده بین ۳/۵٪ تا ۱۲٪ هزینه کل ساختمان متغیر است. با در نظر گرفتن کاهش در هزینه‌های خسارت میزان صرفه جویی بین ۲۸/۵٪ تا ۳۸٪ می‌باشد.

جدول (۱-۴) نسبت هزینه‌های جداسازی به کل هزینه‌های ساختمان

عنوان هزینه	کران پایین (%)	کران بالا (%)
خدمات مهندسی و مستندسازی	۰/۱	۰/۵
جداسازها	۰/۵	۵
تغییرات سازه ای	۰	۵
تغییرات معماری و خدمت رسانی	۱	۵
صرفه جویی در سیستم سازه ای	-۵	۰
کاهش در هزینه‌های خسارت	-۲۵	-۵۰

فصل دوم

انواع و مشخصات عمومی و فنی جداسازهای پایه

در طول سال‌های اخیر فن‌آوری‌های گوناگونی در راستای کاهش آسیب ناشی از زمین‌لرزه بر روی پل‌ها، ساختمان‌ها و محتویات آسیب‌پذیر آنها توسعه یافته‌اند. جداسازی لرزه‌ای یک روش نسبتاً جدید و رو به تکامل این گونه فن‌آوری است. در این فصل تلاش شده‌است تا با استناد بر تحقیقات و گزارش‌های موجود در دنیا، فهرست نسبتاً کاملی از انواع جداسازهای لرزه‌ای که در سطح دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند ارائه شود. در همین راستا، ضمن معرفی کلیات هر جداساز لرزه‌ای، تلاش شده‌است تا در صورت وجود، روابط مرتبط با محاسبه مشخصات رفتاری جداسازهای نیز ارائه شود.

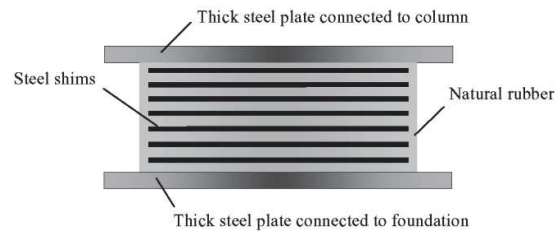
۲-۱ سیستم جداساز لرزه‌ای الاستومری^{۲۱}

الاستومرهای اولیه از صفحات لاستیک طبیعی ساخته می‌شدند. امروزه جهت تقویت این جداساز، به طور معمول از ورق‌های فلزی داخلی و ورق‌های رویه فلزی استفاده می‌شود که لایه‌های میانی از پلاستیک و فولاد با لایه‌های فولادی ورق بالا و پائین، محصور و محدود شوند (شکل ۲-۱). معمولاً ضخامت این صفحات فولادی ۲۵ میلیمتر و ضخامت صفحات لاستیکی بین ۷/۵ الی ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. استفاده از صفحات فولادی باعث کاهش تغییرشکل قائم الاستومر شده و از بشکه‌ای شدن لاستیک جلوگیری می‌کند.

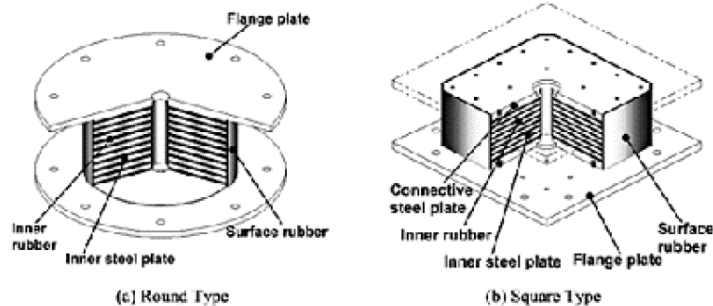
²¹ -Natural Rubber Bearing



نماید. امروزه در ساخت الاستومرها از لاستیک های مصنوعی مانند نئوپرن نیز استفاده می گردد. بدلیل انعطاف پذیر بودن لاستیک و تغییر شکل های برشی الاستیک بالا، میزان میرایی بحرانی الاستومرها بین ۲٪ الی ۳٪ می باشد. به همین دلیل در رده تکیه گاه های با میرایی پایین قرار می گیرند. همانطور که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، این جداساز می تواند دایره‌ای و یا مربعی باشد. تولید و ساخت الاستومرها در مقایسه با سایر تکیه گاه ها ساده تر و کم هزینه تر می باشد و خصوصیات مکانیکی آن ها تابع دما و زمان نیست. هر چند به دلیل میرایی بحرانی کم، مقاومت چندانی در برابر بارهای بهره برداری ندارند و جهت کنترل تغییر مکان های جانبی بالاتر باید از میراگرهای دیگری استفاده گردد (Cheng et al. 2008).



شکل (۱-۲) نمای شماتیک از مقطع جداساز لرزه‌ای الاستومری با صفحات فولادی



شکل (۲-۲) مقطع جداساز لرزه‌ای الاستومری با صفحات فولادی

۱-۱-۲ مشخصات دینامیکی پایه

مشخصات دینامیکی پایه برای این جداسازها با معادلاتی مشابه و بدون توجه به شکل جداساز تعریف می‌شود. سختی قائم این جداسازها، K_v ، با رابطه (۱-۲) تعیین می‌شود.



$$K_v = \alpha_v \cdot \frac{A_r}{H} \cdot \frac{E_0(1 + 2\kappa S_1^2)E_\infty}{E_0(1 + 2\kappa S_1^2) + E_\infty} \quad (1-2)$$

که در آن،

A_r : سطح مقطع لایه‌های لاستیکی نازک

H : ضخامت کلی الاستومر

S_1 : ضریب شکل اصلی

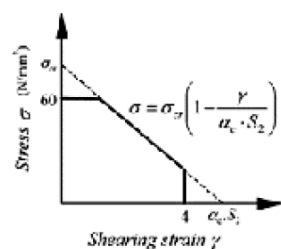
α_v : ضریب اصلاحی برای الاستیسیته افقی

E_0 : مدول الاستیک افقی الاستومر

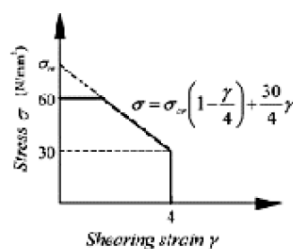
E_∞ : مدول بالک الاستومر

κ : ضریب اصلاحی سفتی الاستومر

شکل (۳-۲) محدودیت‌های عملکردی جداسازهای الاستومری را نشان می‌دهند. همانطور که نشان داده شده‌است، حداکثر مقاومت فشاری بحرانی برابر ۶۰ مگاپاسکال بوده و حداکثر کرنش برشی، ۴۰۰ درصد است. مقاومت فشاری بحرانی از رابطه (۲-۲) یا (۳-۲) برای حالات ۱ یا ۲، که در ضریب شکل دوم، S_2 متفاوت هستند، محاسبه می‌شود.



(a) Case 1 : $\sigma_{cr} \left(1 - \frac{4}{\alpha_c \cdot S_2} \right) < 30$



(b) Case 2 : $\sigma_{cr} \left(1 - \frac{4}{\alpha_c \cdot S_2} \right) \geq 30$

شکل (۳-۲) محدوده عملکرد سیستم جداساز الاستومری

حالت اول: $\sigma_{cr} \left(1 - \frac{4}{\alpha_c \cdot S_2} \right) < 30$

$$\sigma = \sigma_{cr} \left(1 - \frac{\gamma}{\alpha_c \cdot S_2} \right) \leq 60 \text{ MPa}$$

(۲-۲)



بررسی کارائی میراگرهای MR در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها / ۲۲

$$\sigma_{cr} \left(1 - \frac{4}{\alpha_c \cdot S_2} \right) \geq 30 \quad \text{حالت دوم:} \quad (3-2)$$

$$\sigma = \sigma_{cr} \left(1 - \frac{\gamma}{4} \right) + \frac{30}{4} \gamma \leq 60 \text{MPa}$$

که در آن، σ_{cr} ، مقاومت بحرانی فشاری برای کرنش برشی $\gamma=0$ ، G_r مدول برشی الاستومر، S_2 ضریب شکل دوم است.

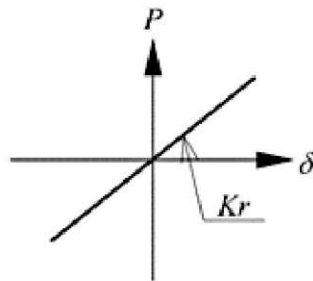
$$\sigma_{cr} = \xi \cdot G_r \cdot S_1 \cdot S_2$$

$$\xi = \begin{cases} 0.85 & (S_1 \geq 30) \\ 0.95 & (S_1 < 30) \end{cases}$$

$$\alpha_c = \begin{cases} 1.0 & (S_2 < 4) \\ 0.1(S_2 - 3) + 1 & (S_2 \geq 4) \end{cases}$$

$$S_2 = \begin{cases} S_2 & (S_2 \leq 6) \\ 6 & (S_2 > 6) \end{cases}$$

رابطه نیرو-تغییرشکل جانبی در جداسازهای الاستومری با میرائی کم، به طور خطی با سختی K_r تقریب زده می‌شود (شکل ۴-۲).



شکل (۴-۲) رابطه نیرو-تغییرمکان جداساز لرزه‌ای الاستومری

سختی جانبی جداسازهای الاستومری، K_r ، در ۱۵ درجه سانتیگراد با رابطه (۴-۲) تعیین می‌شود در حالیکه، رابطه (۵-۲) می‌تواند برای محاسبه وابستگی این سختی به درجه حرارت برای نوع G4 به کار رود.

$$K_r = G_r \cdot \frac{A_r}{H} \quad \text{در دمای ۱۵ درجه} \quad (4-2)$$

$$K_r(t) = K_r(t_0) \cdot \exp(-0.00271(t - t_0)) \quad (5-2)$$

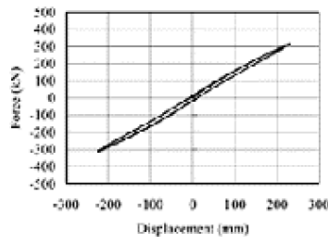


در این روابط، G_r ، مدول برشی الاستومر، t_0 درجه حرارت قبل از اصلاح و t درجه حرارت بعد از اصلاح (correction) است.

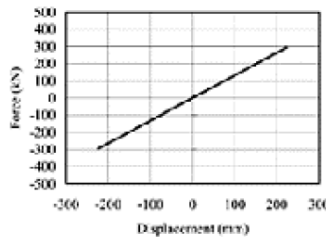
در شکل (۲-۵) مثالی از چرخه‌های بارگذاری باربرداری برای یک جداساز الاستومری دایره‌ای با ابعاد زیر ارائه شده است:

قطر لایه‌های لاستیکی = ۱۰۰۰ میلی‌متر، ضخامت لایه‌ها = ۸ میلی‌متر

تعداد لایه‌های لاستیکی = ۲۸ لایه، ضخامت کل لایه‌های لاستیکی = ۲۲۴ میلی‌متر



(a) Test Result



(b) Analysis Model

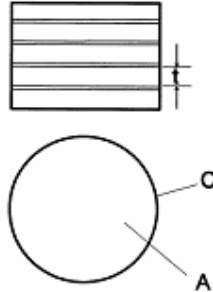
شکل (۲-۵) چرخه بارگذاری لرزه‌ای جداساز لرزه‌ای الاستومری

۲-۲ تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای برای جداسازی لرزه‌ای

۲-۲-۱ تکیه گاه‌های لاستیکی برای پلها و جداسازها

یکی دیگر از راه‌های جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها، نصب آن‌ها بر تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای (الاستومریک) می‌باشد. استفاده از این تکیه گاه‌ها در مواردی که تغییر شکل‌های قابل توجهی در اثر تغییر حرارت بوجود می‌آید، مانند پل‌ها، می‌توان استفاده نمود. در سال‌های اخیر استفاده از آن‌ها در جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها و دیگر سازه‌ها نیز افزایش یافته است.

این تکیه گاه‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که علاوه بر اینکه وزن زیادی را تحمل کرده و مقاومت اندکی در برابر تغییر مکان‌های افقی دارند، قادر به تحمل دوران متوسطی در سطح بالایی تکیه گاه می‌باشند. در شکل ۲-۶ نوع متداول دایره‌ای که در پل‌ها کاربرد فراوانی دارد، مشاهده می‌گردد. این نوع تکیه گاه‌ها معمولاً از لایه‌های لاستیکی‌ای که توسط ورق‌های فولادی تقویت شده‌اند، ساخته می‌شوند.



شکل (۲-۶) شکل شماتیک تکیه گاه الاستومریک لایه‌ای با مساحت A و محیط C که در آن لایه‌های لاستیکی با ضخامت t به ورق‌های فولادی نازک متصل شده اند.

برای مصالح لاستیکی مشخص و سطح ثابت تکیه گاه، ظرفیت باربری با کاهش ضخامت هر لایه لاستیک افزایش می‌یابد، در حالیکه مقاومت در برابر حرکت افقی و دوران با افزایش ضخامت لاستیک کاهش می‌یابد. یکی از پارامترهای مهم در این جداسازها نسبت ظرفیت باربری قائم به شکل پذیری افقی می باشد که تعیین کننده بیشینه دوره تناوب قابل دست یابی، T_b ، سازه صلب می باشد. همچنین یکی از پارامترهای مهم بیشینه جابجایی افقی مجاز، X_b ، می باشد که یا توسط کرنش مجاز پلاستیک یا توسط انحراف مجاز بین سطح بالا و پایین تکیه گاه تعیین می‌گردد. همچنین در تکیه گاه‌های لاستیکی در جابجایی های بزرگ لرزه‌ای، نیروهای بازگرداننده (به سمت حالت اولیه) به اندازه کافی مشاهده می‌گردند.

تکیه گاه هایی لاستیکی به صورت گسترده ای در جداسازی لرزه ای به کار می روند، که در ادامه این فصل به آن‌ها اشاره خواهد شد. همانطور که عنوان شد، این تکیه گاه‌ها دارای ظرفیت باربری و شکل پذیری افقی بالا و نیروهای بازگرداننده می‌باشند. میرایی جداساز را می توان به واسطه اجزای جداگانه افزایش داد. یکی از روش هایی که می توان میرایی این تکیه گاه ها را افزایش داد، استفاده از میله های سربی برای افزایش میرایی هیسترتیک می باشد. همچنین می توان تکیه گاه‌های لاستیکی را بر روی صفحات لغزنده افقی قرار داد که منجر به انعطاف پذیری (شکل پذیری) افقی بیشتر و میرایی اصطکاکی بالاتر می‌گردد.

طراحی کامل و تولید تکیه گاه‌های لاستیکی نیازمند تخصص فنی می باشند. هر چند مشخصات تقریبی تکیه گاه‌های لاستیکی را می توان با روش های ساده و شناخته شده، مانند آنچه در زیر استفاده می گردد، بدست آورد. درک عوامل تاثیر گذار بر رفتار و مشخصات تکیه گاه‌های الاستومری در تولید سیستم های جداساز و طرح های اولیه می‌تواند مفید واقع شود.



۲-۲-۲ تکیه گاه لاستیکی، ظرفیت باربری قائم W_{max}

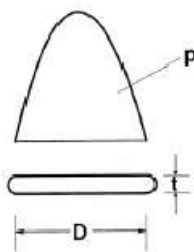
مشخصات اصلی تکیه گاه‌های لاستیکی را می‌توان از رفتار یک دیسک (صفحه) نازک لاستیکی متصل به یک صفحه فولادی صلب هنگام اعمال بارهای نرمال (محوری) یا موازی (برشی) مشاهده کرد. رابطه بین بار، W ، و کرنش برشی مهندسی حداکثر، γ ، در دیسک توسط گنت و لیندلی^{۲۲} (۱۹۵۹) محاسبه شده است که فرم اصلاح شده آن در زیر آمده است. $\eta_{xz} = \gamma_{xz} = \partial w / \partial x + \partial u / \partial z = 2\eta_{xz}$ که در آن η_{xz} تانسور کرنش برشی است.

با فرض تراکم ناپذیر بودن لاستیک، کرنش فشاری قائم ϵ_z باعث بیرون زدگی لاستیک به میزان نسبت فاصله از مرکز می‌گردد. در صورتیکه شکل بیرون زدگی برای هر شعاع دلخواه r به وسیله سهمی تقریب زده شود، با توجه به تراکم ناپذیر بودن لاستیک و ثابت بودن حجم آن بیشینه کرنش برشی، γ_{xz} ، از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\gamma_{xz} = 6S\epsilon_x \quad (۶-۲)$$

در این رابطه کرنش قائم، $\epsilon_z = \Delta t / t$ ، که t ضخامت لایه های لاستیک و S فاکتور شکل که برابر است با (مساحت خالی از نیرو) / (مساحت بارگذاری شده) $S =$ می‌باشند. به عنوان مثال، برای یک دیسک دایره‌ای با قطر D و ضخامت t که بر روی سطح پلان بارگذاری شده است، ضریب شکل برابر $S = D/4t$ بدست می‌آید.

نیروهای برشی لاستیک منجر به تولید گرادین فشاری در دیسک می‌شود که با فاصله از مرکز تناسب دارند. بدین ترتیب یک توزیع فشار سهمی مطابق شکل ۷-۲ بدست می‌آید.



شکل (۷-۲) شکل شماتیک لایه لاستیک دایره‌ای شکل به قطر D ، ضخامت t ، و توزیع فشار سهمی p فشار بیشینه p_0 از رابطه زیر بدست می‌آید:

²²- Gent and Linley



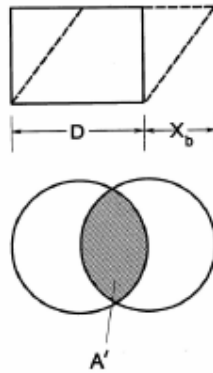
$$p_0 = 2GS\gamma_{xz} \quad (۷-۲)$$

در این رابطه G مدول برشی لاستیک می‌باشد.

بار W متناظر را می‌توان با جمع فشار بر روی مساحت دیسک برابر A بدست آورد. در این صورت خواهیم داشت:

$$W = AGS\gamma_{xz} \quad (۸-۲)$$

حال تکیه گاه لاستیکی ابتدایی که از n لایه لاستیک با ضخامت مساوی با هر شکلی تشکیل شده اند را در نظر بگیرید. در صورتیکه صفحه بالایی تکیه گاه به اندازه X_b جابجا شود، مساحتی که از روی هم افتادن سطح بالا و پایین تکیه گاه بدست می‌آید برابر A' خواهد بود (شکل ۸-۲).



شکل (۸-۲) شکل شماتیک استوانه لاستیکی با قطر D و جابجایی برشی X_b و مساحت مشترک A'

می‌توان با آزمایش و تحلیل نشان داد که معادله (۸-۲) به صورت کلی زیر نوشته شود:

$$W_{\max} = A'GS\gamma_w \quad (۹-۲)$$

در این رابطه W_{\max} ، γ_w و A' به ترتیب وزن مجاز، کرنش برشی مجاز تحت اثر وزن و هم پوشانی مساحت سطح بالا و پایین جداساز می‌باشد.

استفاده از A' در معادله (۹-۲) یک ساده سازی اختیاری است و شاید تا حدی محافظه کارانه باشد.

۳-۲-۲ جداسازی با تکیه گاه‌های لاستیکی، سختی، پیرو و میرایی

در صورتیکه جداساز از یک مجموعه تکیه گاه لاستیکی مساوی تشکیل شود به نحوی که هر یک وزن مساوی را تحمل کنند، پیرو جداساز را می‌توان به صورت مستقیم از وزن و سختی یک تکیه گاه بدست



آورد. در عمل وزن میانگین به ازای هر تکیه گاه را می‌توان کاهش داد، زیرا یا وزن وارده بر برخی تکیه گاه‌ها برای حذف بارهای لرزه‌ای قائم، کاهش یافته یا این کار بدلیل مسائل معماری و سازه‌ای انجام می‌گیرد. هرچند در این بخش از چنین کاهش وزنی صرف نظر می‌شود و پارامترهای جداساز با استفاده از روابط بدست آمده برای یک تکیه گاه بدست می‌آیند.

۲-۳-۲-۱ سختی افقی تکیه گاه K_b

به طور تقریبی می‌توان تکیه گاه لاستیکی را به صورت یک تیر برشی قائم مدلسازی نمود، زیرا ورقه‌های فولادی به شدت مانع ایجاد تغییر شکل های موجی در تکیه گاه شده و در عین حال هیچ مانعی برای تغییر شکل های برشی ایجاد نمی‌کنند. سختی افقی تقریبی، K_b ، با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_b = GA/h \quad (10-2)$$

در این رابطه A و h به ترتیب مساحت لایه لاستیک و ارتفاع کل لاستیک می‌باشند. در جابجایی‌های بزرگ ارتفاع تکیه گاه تا حدی کاهش می‌یابد که این امر تا اندازه‌ای به خاطر عملکرد خمشی و فشردگی اضافی در مساحت همپوشانی کاهش یافته، A' ، می‌باشد. در اثر عملکرد آونگی (از نوع معکوس) تحت وزن سازه‌ای، سختی افقی، K_b ، کاهش یافته و در بدترین حالت نیروهای بازگرداننده به شدت کاهش می‌یابند. باید توجه داشت که نیروهای آونگی معکوس با افزایش ضریب شکل لایه، S ، کاهش می‌یابند؛ هر چند این نیروها برای مقادیر S در بازه ۱۰ تا ۲۰، که به طور معمول در جداسازها به کار می‌رود، قابل توجه نیست.

۲-۳-۲-۲ پریود تکیه گاه T_b

با ترکیب ظرفیت باربری قائم تکیه گاه، W_{max} ، از رابطه (۹-۲) و سختی افقی، K_b ، از رابطه (۱۰-۲) می‌توان پریود جداساز و تکیه گاه، T_b ، را تحت پیشینه وزن وارده بدست آورد:

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{S\gamma_w A'}{Ag}} \quad (11-2)$$

در این رابطه γ_w کرنش برشی مجاز تحت اثر وزن، W ، می‌باشد.



به عنوان مثال با فرض $S=۱۶$ ، $h=۰/۱۵m$ ، $A'/A=۰/۶$ و $\Delta L/L=۰/۲$ که در آن کرنش کششی در هنگام شکست برابر $\Delta L/L=۵$ (معمولاً بین $۴/۵$ تا $۷/۰$)، دوره تناوب تکیه گاه، T_b ، برابر $۲/۴$ بدست می‌آید.

۳-۳-۲-۲ میرایی تکیه گاه Z_z

میرایی در این جداسازها در اثر اتلاف انرژی در لایه های لاستیکی تغییر شکل یافته بوجود می‌آید که به شدت به سرعت وابسته است. در تکیه گاه‌هایی که به طور معمول در پل‌ها استفاده می‌شود، میرایی در بازه ۵ تا ۱۰ درصد میرایی بحرانی قرار می‌گیرد. هرچند با پیشرفت تکنولوژی جداسازهایی با درصد میرایی ۱۵٪ و بالاتر تولید شده اند.

۴-۳-۲-۲ سختی قائم تکیه گاه K_z

استفاده از تکیه گاه‌های لاستیکی به عنوان جداساز تحت تاثیر سختی قائم آن‌ها و سختی خمشی آن‌ها می‌باشد.

تغییر شکل قائم تکیه گاه از مجموع تغییر شکل های ناشی از کرنش برشی لاستیک و تغییر حجم لاستیک تشکیل می‌گردد. این دو نوع سختی به صورت سری عمل می‌کنند. در نتیجه سختی قائم کل از رابطه (۲-۱۲) بدست می‌آید:

$$K_z = K_z(\gamma) K_z(V) / [K_z(\gamma) + K_z(V)] \quad (۱۲-۲)$$

در این رابطه $K_z(\gamma)$ سختی قائم تکیه گاه بدون تغییر حجم (برشی خالص) می باشد که از ترکیب روابط (۲-۶) و (۲-۸) بدست می‌آید:

$$K_z(\gamma) = 6GS^2 \frac{A}{h} \quad (۱۳-۲)$$

همچنین در رابطه (۲-۱۲)، $K_z(V)$ ، سختی قائم ناشی از تغییر حجم بدون کرنش برشی می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_z(V) = \kappa \frac{A}{h} \quad (۱۴-۲)$$

در اینجا κ ، مدول فشردگی لاستیک می‌باشد.



در نتیجه در نتیجه سختی قائم کل عبارتست از:

$$K_z = 6GS^2 \frac{Ak}{(6GS^2 + \kappa)h} \quad (15-2)$$

معادلات (۱۲-۲ تا ۱۵-۲) نشان می‌دهد که در ضریب شکل های کوچک، S ، سختی قائم به واسطه کرنش برشی کنترل شده و منتج به سختی قائم متعادل می‌شود؛ در حالیکه در ضریب شکل‌های بزرگ، S ، سختی قائم به واسطه تغییر حجم کنترل شده و باعث ایجاد سختی قائم زیاد می‌گردد. به عنوان مثال، برای تکیه گاه لاستیکی‌ای که به طور معمول در پل‌ها به کار می‌رود، $G=1$ MPa و $\kappa=200$ MPa و $S \approx 18$ ، درصد مشارکت کرنش برشی و تغییر حجم بر سختی قائم یکسان می‌باشد. در مطالب عنوان از اثر کاهش $K_z(\gamma)$ بدلیل بازتوزیع فشار در لایه‌ها (ناشی از تراکم پذیری لاستیک) صرف نظر شده است. در ضریب شکل‌های بالا، در اثر فشردگی لاستیک سختی قائم تکیه گاه و در نتیجه آن سختی خمشی مربوطه کاهش می‌یابد؛ هرچند فشردگی لاستیک تغییر کمی در دیگر پارامترهای توصیف شده برای تکیه گاه ایجاد می‌کند.

۲-۲-۴- جابجایی لرزه ای مجاز X_b

۲-۲-۴-۱ جابجایی مجاز بر اساس کرنش برشی لرزه ای $\underline{\epsilon}_s$

زمانی که کرنش برشی لاستیک γ_w ناشی از بار محوری W کمتر از حداکثر مقدار مجاز باشد، ظرفیت کرنش برشی ذخیره، γ_s ، که منجر به جابجایی افقی، X_b ، می‌گردد، وجود خواهد داشت که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$X_b = h\gamma_s \quad (16-2)$$

در این رابطه γ_s کرنش برشی مجاز ناشی از جابجایی افقی لرزه‌ای است. در صورتیکه این جابجایی کم باشد، می‌توان با افزایش ارتفاع لاستیک، h ، آن را افزایش داد. علاوه بر این، یا به صورت جایگزین، γ_s را می‌توان با کاهش کرنش برشی ناشی از وزن، γ_w ، افزایش داد.

۲-۲-۴-۲ جابجایی مجاز بر اساس ضریب روی هم افتادگی A'/A

برای یک تکیه گاه جداساز، حد پایین ضریب روی هم افتادگی، A'/A ، با کاهش ظرفیت وزن و گاهی اوقات با افزایش لنگر انتهایی بدست می‌آید (رابطه ۲-۹). معمولاً حد پایین ضریب روی هم افتادگی برای یک جابجایی افقی دائمی و برای جابجایی زلزله طرح می‌تواند به ترتیب برابر $0/8$ و $0/6$ باشد. در صورت امکان،



حدود ضریب روی هم افتادگی باید بر اساس انجام آزمایش و تجربیات میدانی تعیین گردد. رابطه بین ضریب روی هم افتادگی، A'/A ، جابجایی تکیه گاه، X_b ، و ابعاد تکیه گاه تا حدی به شکل مقطع افقی تکیه گاه بستگی دارد.

برای یک تکیه گاه استوانه ای با صفحات لاستیکی به مساحت A و قطر D داریم:

$$\frac{A'}{A} = 1 - \frac{2}{\pi}(\theta + \sin\theta \cos\theta) \quad (17-2)$$

در این رابطه $\sin\theta = X_b/D$ و برای مقادیر متوسط X_b/D داریم:

$$X_b \approx 0.8D \left(1 - \frac{A'}{A}\right) \quad (18-2)$$

به طور مشابه، برای تکیه گاه مستطیلی شکل داریم:

$$\frac{A'}{A} \approx 1 - \frac{X_b(B)}{B} - \frac{X_b(C)}{C} \quad (19-2)$$

در این رابطه $X_b(B)$ و $X_b(C)$ جابجایی تکیه گاه در راستای موازی با اضلاع با طول های به ترتیب B و C است. در نتیجه، برای جابجایی های موازی با ضلع B داریم:

$$X_b(B) \approx B \left(1 - \frac{A'}{A}\right) \quad (20-2)$$

هنگامیکه جهت جابجایی X_b ممکن مشخص نباشد، بهتر است برای برآورد جابجایی از رابطه زیر استفاده شود:

$$X_b \approx 0.8B \left(1 - \frac{A'}{A}\right) \quad (21-2)$$

که در این رابطه، B طول کوتاه تر (عرض) تکیه گاه است.

با استفاده از معادلات (۱۸-۲) و (۲۱-۲) مشاهده می‌شود که برای ضریب روی هم افتادگی $A'/A = 0.6$ مقادیر مجاز X_b ، به ترتیب برابر $D/3$ و $B/3$ می باشند.

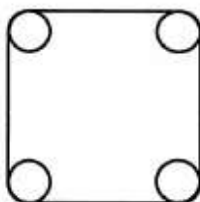
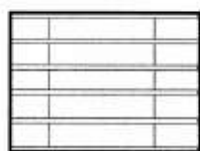
هنگامیکه بار (قائم) وارده بر هر تکیه گاه کم باشد، تکیه گاه لاستیکی با قطر، D ، یا ضلع، B ، نمی‌تواند به اندازه جابجایی لرزه‌ای مورد نیاز، X_b ، تغییرمکان دهد. در صورتیکه اختلاف بین جابجایی لرزه‌ای مورد نیاز و ظرفیت جابجایی موجود زیاد نباشد، می‌توان با افزایش مساحت تکیه گاه، A ، و یا با کاهش جابجایی زلزله طرح، X_b ، به پاسخ مورد نظر رسید. در صورتیکه مطابق رابطه (۱۰-۲) مدول برشی، G ، کاهش و یا ارتفاع



لاستیک، h ، افزایش یابد، می‌توان بدون تغییر نسبت سختی تکیه گاه، K_b/W ، مساحت تکیه گاه را افزایش داد. یک روش دیگر برای افزایش مساحت تکیه گاه لاستیکی استفاده از تعداد تکیه گاه کمتر برای جداسازی یا به عبارتی افزایش نسبت بار وارده به هر تکیه گاه می‌باشد. همچنین می‌توان با افزایش میرایی موثر جداساز جابجایی زلزله طرح، X_b ، را کاهش داد.

در صورتیکه بار قائم وارده به ازای هر تکیه گاه به طور قابل ملاحظه‌ای از جابجایی زلزله طرح کمتر باشد، می‌توان به اندازه مورد نیاز، با تقسیم بندی تکیه گاه به بخش های مختلف و استفاده از صفحات پایدار کننده به شرح زیر جابجایی مجاز را افزایش داد.

۲-۲-۳-۳ تکیه گاه تقسیم بندی شده به بخش‌های مختلف برای نسبت وزن به جابجایی کم W/X_b
 هنگامیکه بار قائم وارده به تکیه گاه (وزن)، W ، کم باشد، مساحت تکیه گاه لاستیکی، A ، و در نتیجه ظرفیت جابجایی مطابق روابط (۱۸-۱) و (۲۰-۲) کوچک خواهد بود. چنین تکیه گاه ساده‌ای را می‌توان با یک تکیه گاه بخش بندی شده معادل مطابق با شکل ۲-۹ جایگزین کرد و به این ترتیب ظرفیت جابجایی افزایش می‌یابد.



شکل (۲-۹) تکیه گاه بخش بندی شده که از اجزای لاستیکی که در گوشه ورق های پایدارکننده قرار می‌گیرد (۶ ورق پایدارکننده به همراه ۲۰ بخش (چند لایه‌ای))



فرض کنید مطابق شکل ۲-۹ یا ارائه شده توسط اسکینر^{۲۳} (۱۹۷۶) تکیه گاه ساده با یک تکیه گاه بخش بندی شده معادل که یک سری ۴ بخشی در نزدیکی گوشه های سکو یا ورق های پایداری مستطیل شکل قرار دارند، جایگزین گردد.

در صورتیکه تمامی ابعاد (شامل ضخامت) لایه های لاستیک بخش بندی شده نصف مقادیر لایه های تکیه گاه ساده باشند، و اگر تعداد لایه ها به گونه ای افزایش یابد که ارتفاع لاستیک بدون تغییر باقی بماند، هر دو تکیه گاه ساده و بخش بندی شده مساحت لاستیک، A، و ارتفاع لاستیک، h، یکسانی خواهند داشت، و ضریب شکل، S، نیز یکسان باقی می ماند، که در نتیجه آن ظرفیت بار و سختی افقی K_b یکسان خواهد بود. خواهیم داشت. برای یک نوع لاستیک مشخص و شرایط بهره برداری، ضریب شکلی که برای تکیه گاه ساده مناسب است، برای تکیه گاه بخش بندی شده نیز مناسب می باشد. معمولاً هر یک از بخش های سیلندری نشان داده شده در شکل ۲-۹ چند لایه خواهند بود تا بدون استفاده از تعداد ورق پایداری کننده بیشتر از مقدار مورد نیاز برای تامین ضریب روی هم افتادگی جهت پایداری کل تکیه گاه، ضخامت لایه کم مورد نیاز بدست آید.

به طور مثال در نمونه عنوان شده در این قسمت، بخش های تقسیم بندی شده نصف ابعاد افقی تکیه گاه غیر بخش بندی شده مربوطه را دارند، و در هر پشته عمودی n بخش وجود دارد (به عنوان مثال در شکل ۲-۹، n=۵)؛ در این صورت ضریب روی هم افتادگی مورد نیاز تغییر نخواهد کرد، در حالیکه طبق رابطه (۲-۲) جایجایی مجاز افزایش یافته است:

$$X_b(n) = \frac{nX_b(1)}{2} \quad (2-2)$$

در این رابطه $X_b(1)$ برابر جایجایی مجاز تکیه گاه غیر بخش بندی شده (ساده) مربوطه است.

۲-۲-۵ حداکثر کرنش های مجاز لاستیک

۲-۲-۵-۱ کرنش های برشی مجاز ϵ_{xy} و ϵ_{yz}

همانطور که در بالا بحث شد، کرنش های برشی مجاز لاستیک برای بارها و جایجایی های گوناگون، عوامل مهمی در عملکرد تکیه گاه های لاستیکی هستند. در صورتیکه تکیه گاه ها به عنوان سیستم جداسازی برای سازه های محدود (مانند ساختمان های متداول) استفاده می شود، باید قادر به تحمل اثر همزمان کرنش های



برشی لاستیک ناشی از وزن سازه‌ای و جابجایی لرزه‌ای باشند. هنگامیکه تکیه گاه‌ها برای جداسازی روسازه پل‌ها به کار می‌روند، بایستی علاوه بر تحمل کرنش‌های برشی ناشی از وزن و جابجایی لرزه‌ای، قادر به تحمل کرنش برشی ناشی از بار ترافیک و تغییر مکان حرارتی باشد. علاوه بر طراحی لرزه‌ای، تکیه گاه‌های لاستیکی باید برای بارهای غیر لرزه‌ای و جابجایی‌های دائمی، که احتمال وقوع آن‌ها بیشتر است، کنترل شوند.

با افزایش مدت زمان اعمال کرنشی خاص و با افزایش تعداد دفعاتی که کرنش کم می‌شود یا تغییر جهت می‌دهد، اثر مخرب آن کرنش افزایش می‌یابد. این موضوع خصوصاً (در مورد کرنش لاستیک) تحت بارهای تناوبی که به صورت مکرر به تکیه گاه لاستیکی وارد می‌شود (مانند بار ترافیک) نسبت به بارهای دائمی وارده در طول عمر تکیه گاه، شدیدتر است. از طرف دیگر، آزمایش‌ها نشان می‌دهد که کرنش‌های چرخه‌ای ناشی از جابجایی‌های لرزه‌ای به دلیل پایین بودن تعداد چرخه‌های بارگذاری و مدت زمان اثر، بسیار کمتر از کرنش‌های متناظر با بارهای دائمی طولانی مدت می‌باشد.

کرنش برشی دائمی در یک تکیه گاه لاستیکی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه شود (استاندارد مهندسی پل، ۱۹۷۶):

$$\gamma_w = 0.2\varepsilon_t \quad (2-23)$$

که در این رابطه ε_t کرنش شکست تحت کشش در مدت زمان کوتاه می‌باشد.

آزمایشات نشان می‌دهند که ضرایب مرتبط برای کرنش برشی حین زلزله برای زلزله طرح و زلزله‌های شدید به ترتیب برابر $0/4$ یا بیشتر و حدود $0/7$ هستند.

۲-۲-۲-۲ فشار مجاز منفی

در اثر ترکیب نیروهای برکننده (آپلیفت) و لنگرهای انتهایی ممکن است لاستیک درون تکیه گاه‌های جداساز تحت فشارهای منفی بزرگی قرار گیرد. به عنوان مثال، تکیه گاه لاستیکی‌ای که تحت نیروی برکننده W_{max} قرار گرفته را در نظر بگیرید. با استفاده از معادلات (۲-۶ تا ۲-۹) مشاهده می‌گردد که این نیرو باعث افزایش ارتفاع تکیه گاه به میزان $\Delta h = h\gamma_w / (6S)$ و ایجاد فشار منفی به میزان $p_0 = -2GS\gamma_w$ می‌گردد. برای یک تکیه گاه معمولی پل، با $G=1\text{MPa}$ ، $h=0/1\Delta m$ ، $S=10$ و $\gamma_w = -1$ ، خواهیم داشت $\Delta h = 2/\Delta mm$ و $p_0 = -20\text{MPa}$.



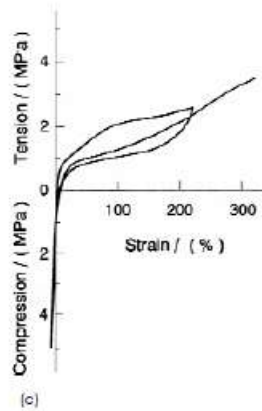
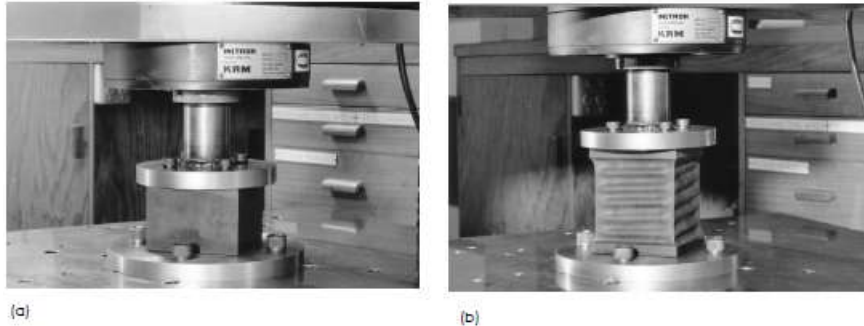
فشارهای منفی همچنین می‌توانند به خاطر لنگرها انتهایی تکیه گاه، که در اثر جابجایی های نسبی و دوران در انتهای تکیه گاه بوجود می‌آیند، ایجاد گردند. این لنگر انتهایی سبب افزایش و کاهش موضعی فشار درون دیسک‌های (صفحات) تکیه گاه می‌گردد.

در اثر فشار منفی بزرگ یک سری حفره کوچک در لاستیک تکیه گاه ایجاد می‌گردد که به طور پیش رونده تحت فشارهای منفی چرخه ای و دائمی رشد می‌کنند. در اثر حفره‌ها سختی محوری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد که می‌توان این کاهش را به کاهش ضریب شکل موثر، S ، نسبت داد. باید توجه داشت که در اثر حفره‌های ایجاد شده سختی برشی افقی به طور ناچیز کاهش می‌یابد.

در شکل ۲-۱۰-الف و ب تکیه گاه لاستیکی لایه‌ای را پیش و در حین بارگذاری قائم نشان داده شده، در حالیکه در شکل ۲-۱۰-ج نمودار تنش- کرنش تکیه گاه تحت کشش و فشار مشاهده می‌گردد. تکیه گاه نشان داده شده در کرنش کششی ۳۵۰٪ در لاستیک دچار شکست شد، هر چند به احتمال زیاد ترک‌های داخلی کوچک پیش از اینکه این کرنش حاصل شود، وجود داشته است.

در عمل، طراحی تکیه گاه‌های پل‌ها به گونه‌ای انجام می‌شود که فشار منفی در لاستیک تحت اثر ترکیب بارهای غیر لرزه‌ای و حرکتی (ترافیک) اتفاق نیافتند. همچنین در طراحی سازه‌های جداسازی شده بهتر است طراحی به گونه ای انجام شود که در اثر تلاش های غیر لرزه‌ای فشار منفی در لاستیک تکیه گاه ایجاد نشود.

هر چند، در اثر تلاش‌های لرزه‌ای وجود مقدار قابل ملاحظه ای فشار منفی در جداساز بدلیل کم بودن مدت زمان زلزله و فرکانس پایین می‌تواند قابل قبول تلقی گردد (Tyler, 1991). به طور کلی در طراحی جداساز باید سعی شود تا حد امکان از ایجاد فشارهای منفی قابل ملاحظه حین زلزله جلوگیری نمود. در حالت خاص ستون های گوشه در قاب‌های دو طرفه که نیروهای برکننده بزرگ در ستون وجود دارند، می‌توان با اتصال قسمت بالایی تکیه گاه به تیرهای پایینی قاب گوشه طراحی شده برای نیروی برکننده، از ایجاد فشارهای منفی بزرگ در تکیه گاه های لاستیکی گوشه جلوگیری نمود (به عنوان مثال آنطور که در Huckelbridge (1977) آمده است).



شکل (۲-۱۰) تکیه گاه لاستیکی لایه ای (الف) قبل از بارگذاری، (ب) بعد از بارگذاری و (ج) نمودار تنش- کرنش تکیه گاه تحت کشش و فشار (Tyler, 1991)

۲-۲-۶ عوامل دیگر در طراحی تکیه گاه لاستیکی

در عمل، استفاده از تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای در جداسازی لرزه‌ای نیازمند طراحی پیچیده و تکنولوژی تولید تخصصی است. در فرمولاسیون لاستیک باید پایداری طولانی مدت و مقاومت در برابر عوامل محیطی، به ویژه خرابی ناشی از اوزون و نور فرابنفش در نظر گرفته شود. پیوند (اتصال) بین لاستیک و صفحات فلزی درون آنها باید قادر به تحمل تنش‌های عملیاتی بزرگ و متغیر باشند. تکیه گاه‌ها باید در دو انتها و کناره‌ها با پوشش‌های لاستیکی پوشیده شوند تا از خوردگی صفحات فلزی جلوگیری کرده و بواسطه آن‌ها خرابی سطح لاستیک در ناحیه‌های با کرنش عملیاتی بالا از بین برود. همچنین از پوشش لاستیک و دیگر مصالح سطحی می‌توان به منظور افزایش مقاومت در برابر آتش استفاده نمود. صفحات فولادی داخلی بایستی مقاومت کافی برای مقاومت در برابر نیروهای برشی لاستیک داشته باشند. هر چند، مقداری خمش در ورق ممکن است



میزان افزایش کشش در لاستیک را وقتی جابجایی های بزرگ منجر به ایجاد لنگرهای انتهایی بزرگ شوند، کاهش دهد. صفحات انتهایی تکیه گاه بایستی از داوول (خم) یا ابزارهای دیگر برای جلوگیری از لغزش ورق های انتهایی تحت نیروی برشی جلوگیری کنند. چنین اتصالات برشی باید با وجود لنگرهای انتهایی و برکنش (آپلیفت) عملکرد خود را حفظ کنند.

۲-۲-۷ خلاصه تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای

در حال حاضر از تکیه گاه‌های لاستیکی لایه‌ای در پل ها جهت هدایت انبساط حرارتی، استفاده می‌شود. اصلاح آنها برای جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها و پل‌ها یک مفهوم مهندسی نسبتاً ساده است، اما در عمل نیازمند طراحی پیچیده و تکنولوژی تولید پیشرفته می‌باشد.

۲-۳ سیستم جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی^{۲۴}

۲-۳-۱ مقدمه

تکیه گاه‌های لاستیکی ورقه‌ای قادر به تامین جابجایی مورد انتظار برای جداسازی لرزه‌ای هستند. با ترکیب این لایه‌ها با هسته‌ی سربی -که استهلاک انرژی هیسترتیک را فراهم می‌کند- میرایی مورد انتظار برای یک سیستم جداساز لرزه‌ای موفق در یک مجموعه فشرده گنجانده می‌شود. در نتیجه یک وسیله قادر است سازه را به صورت قائم تحمل کرده، انعطاف پذیری افقی را همراه با نیروی بازگرداننده فراهم کند و میرایی هیسترتیک مورد نیاز را نیز بوجود آورد.

تکیه گاه‌های سرب لاستیکی در آوریل سال ۱۹۷۷ توسط رابینسون، زمانی که او تلاش داشت برای دستیابی به کرنش‌های بزرگتر، از میراگر برشی سربی استوانه‌ای شکل همراه با تکیه‌گاه‌های لاستیکی استفاده کند ابداع شد. صفحات فلزی در تکیه گاه الاستومری توانستند به عنوان راه حلی برای مسئله کنترل شکل سرب حین تغییر شکل‌های پلاستیک در نظر گرفته شوند. همانطور که در شکل (۲-۶) نشان داده شده است، یک تکیه گاه الاستومری چسبیده سوراخ شد تا منفذی برای میله سربی بوجود آید. این وسیله بلافاصله آزمایش شد و نتایج آن به وزارت کار و توسعه نیوزلند گزارش شد. چند هفته بعد این وزارت خانه جداسازها را برای ساختمان ویلیام کلیتون مجدداً طراحی کرد و آن را جایگزین طرح قبلی (تکیه گاه‌های الاستومری به علاوه میراگرهای فلزی) نمود. این میراگرها ارزان تر بود و همچنین یک تکیه گاه الاستومری با قطر ۶۵۰mm را

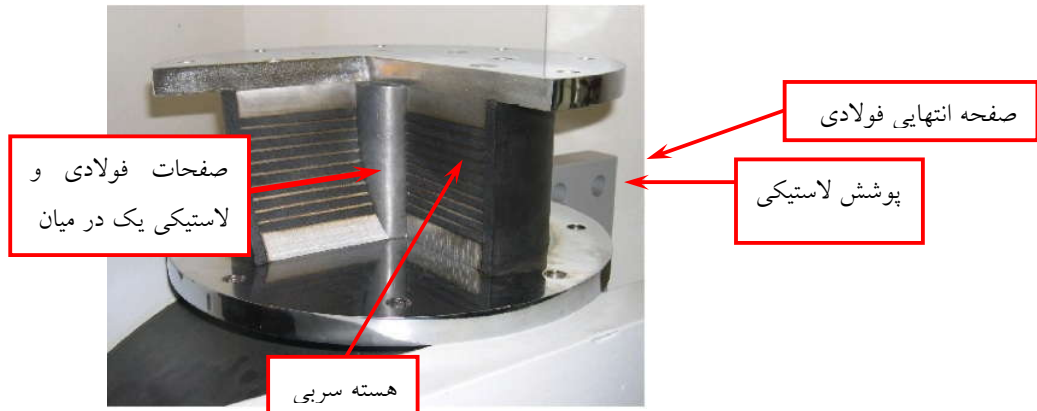
²⁴ -Lead-Rubber Bearing (LRB)



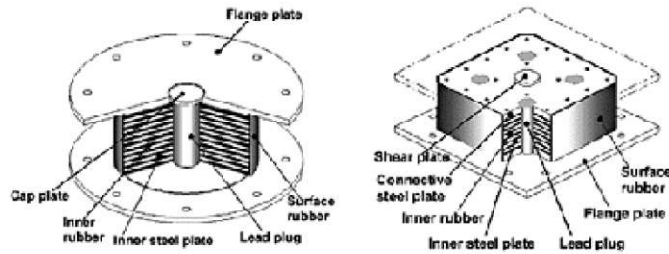
برای آزمایش با انواع مختلف میله های سربی تهیه شد. در همین زمان، بخش پل سازی این وزارت خانه، پل های توتو و وایوتوکوپونا را با استفاده از جداسازهای سرب لاستیکی طراحی کرد. در نتیجه در مدت زمانی کوتاه، تکیه گاه های سرب لاستیکی، اختراع، آزمایش و مورد بهره برداری قرار گرفت. پیش از توضیح تفصیلی تکیه گاه های سرب لاستیکی، لازم است دلایل انتخاب سرب به عنوان ماده ای که در جداساز به کار می رود، توضیح داده شود.

دلیل اصلی این است که سرب در برشی نسبتا کم (در حدود 10MPa) تسلیم شده و تقریبا مشابه یک جامد الاستو پلاستیک عمل می کند. به همین دلیل، یک مجرا با قطر حدود 100mm برای ایجاد نیروهای میرایی پلاستیک به اندازه حدود 100kN برای یک تکیه گاه لاستیکی 2MN معمول نیاز است. همچنین به این دلیل سرب انتخاب شده زیرا وقتی این ماده در دمای محیط تغییر شکل می یابد "گرم کاری" شده و خواص مکانیکی سرب پیوسته به دلیل فرآیندهای بازیابی، باز کریستالی شدن و رشد دانه ها، به حالت اولیه خود باز می گردد (Wulff et al, 1956; Birchenall, 1959; Van Vlack, 1985). در واقع اعمال تغییر شکل پلاستیک به سرب به در دمای 20 درجه سلسیوس معادل اعمال تغییر شکل پلاستیک به آهن یا فولاد در دماهای بیش از 400 درجه سلسیوس است. در نتیجه سرب دارای خواص خستگی مناسب در کرنش های پلاستیک است (Robinson & Greenbank, 1976). یکی دیگر از مزایای سرب این است که در باتری ها استفاده می شود و به همین خاطر این ماده با خلوص بالای $99/9$ درصد که مورد نیاز برای پیش بینی خواص مکانیکی است، به سادگی یافت می شود.

یک تکیه گاه الاستومری را می توان با قرار دادن یک میله سربی در مرکز آن (شکل ۲-۱۱) به یک تکیه گاه سرب لاستیکی تبدیل کرد. سوراخ میله سربی را می توان پس از تولید روی تکیه گاه ماشین کاری کرد یا اگر تعداد لایه ها محدود باشد، می توان سوراخی در صفحات فولادی و لاستیکی پیش از اتصال به یکدیگر، بوجود آورد. در این صورت سرب را می توان به طور مستقیم درون سوراخ ریخت یا پیش از اینکه درون سوراخ قرار داده شود به شکل میله در آورد. در هر دو روش قرار دادن سرب، لازم است میله سربی به سختی درون سوراخ محکم شده باشد و با صفحات فولادی قفل شده و حتی کمی در لایه های لاستیک فرو برود. برای اطمینان از این موضوع، توصیه می شود حجم میله سربی 1 درصد از حجم سوراخ بیشتر باشد تا میله سربی محکم درون سوراخ قرار گیرد. در نتیجه وقتی تکیه گاه الاستومری به صورت افقی تغییر شکل می یابد، میله سربی به واسطه فولاد قفل شده مجبور به تغییر شکل برشی در تمام حجم خود می شود. پوشش لاستیکی جهت جلوگیری از زنگ زدگی صفحات فولادی نصب می گردد. همانطور که در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده، این جداسازها می توانند مربعی و دایره ای باشند.



شکل (۱۱-۲) اجزا مختلف سیستم جداسازی لرزه ای سرب-لاستیکی



شکل (۱۲-۲) ساختار کلی سیستم جداسازی لرزه ای سرب-لاستیکی

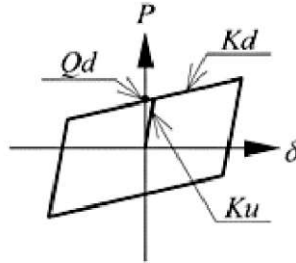
عملکرد این سیستم وابسته به بار جانبی وارده می باشد. در صورتیکه نیروی جانبی قابل توجه نباشد، هسته سربی جلوی حرکت صفحات فولادی را گرفته و در نتیجه تکیه گاه سختی جانبی بیشتری خواهد داشت. با افزایش نیروی جانبی، صفحه فولادی به هسته سربی نیرو وارد کرده و منجر به تغییر شکل و در نهایت جاری شدن هسته سربی می گردد. بدینصورت میرایی هیسترتیک (چرخه ای) تولید می گردد و انرژی توسط هسته سربی جذب می گردد که منجر به کاهش سختی جانبی تکیه گاه می گردد. میرایی معادل این تکیه گاه بین ۱۵٪ الی ۲۵٪ می باشد (Cheng et al. 2008).

۲-۳-۲ مشخصات دینامیکی پایه

سختی قائم K_v و محدودیت‌های عملکردی این جداسازها براساس همان روش ارائه شده برای جداسازهای الاستومری محاسبه می‌شود. در شکل (۱۳-۲) یک حلقه چرخه‌ای دوخطی که می‌توان به عنوان مدل رفتاری



این جداسازها استفاده شود نشان داده شده است. پارامترهای مدل عبارتند از سختی اولیه، K_{II} ، سختی ثانویه، K_d ، و نیروی تسلیم، Q_d .



شکل (۲-۱۳) مدل رفتاری جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی

سختی ثانویه این جداسازها، K_d ، در دمای ۱۵ درجه از رابطه (۲-۲۴) تعیین می‌شود. C_{Kd} ضریب اصلاح روی K_d است که برای وابستگی آن به کرنش و در رابطه (۲-۲۵) تعیین شده است. معادله (۲-۲۶) نیز می‌تواند در شرایط وابستگی K_d به درجه حرارت، به کار رود.

$$K_d = C_{Kd} (K_r + K_p) \quad \text{در دمای ۱۵ درجه} \quad (۲-۲۴)$$

$$C_{Kd} = \begin{cases} 0.779\gamma^{-0.43} & [\gamma < 0.25] \\ \gamma^{-0.25} & [0.25 \leq \gamma < 1.0] \\ \gamma^{-0.12} & [1.0 \leq \gamma < 2.5] \end{cases} \quad (۲-۲۵)$$

$$K_d(t) = K_d(t_0) \cdot \exp(-0.00271(t - t_0)) \quad (۲-۲۶)$$

در این روابط، K_r سختی جانبی و برابر است با:

$$K_r = G_r \cdot \frac{A_r}{H}$$

هم‌چنین، K_p سختی اضافی ناشی از استوانه‌های فولادی است که از رابطه زیر بدست می‌آید و در آن، A_p سطح مقطع یک استوانه است.

$$K_p = \alpha \cdot \frac{A_p}{H}$$

نیروی تسلیم یک جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی، یا Q_d ، در درجه حرارت ۱۵ از رابطه (۲-۲۷) تعیین می‌شود. ضریب اصلاح C_{Qd} که در رابطه (۲-۲۸) معرفی شده است، روی Q_d و برای وابستگی به کرنش اعمال می‌شود. رابطه (۲-۲۹) نیز برای در نظر گرفتن اثر درجه حرارت ارائه شده است.



$$Q_d = C_{Qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_p \text{ درجه } 15 \text{ درجه} \quad (27-2)$$

$$C_{Qd} = \begin{cases} 2.036\gamma^{0.41} & [\gamma \leq 0.1] \\ 1.106\gamma^{0.145} & [0.25 < \gamma < 1.0] \\ 1.0 & [\gamma \geq 0.5] \end{cases} \quad (28-2)$$

$$Q_d(t) = Q_d(t_0) \cdot \exp(-0.00879(t-t_0)) \quad (29-2)$$

در این روابط، σ_{pb} ، تنش برشی تسلیم استوانه است. سختی اولیه K_u ، سختی معادل K_{eq} ، و نسبت میرایی معادل h_{eq} از روابط (۳۰-۲) و (۳۱-۲) و (۳۲-۲) تعیین می‌شود. در این روابط، β نسبت K_u به K_d است.

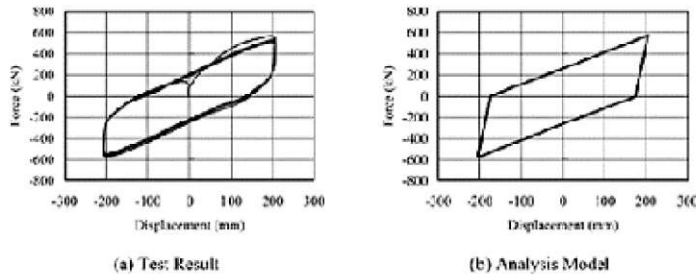
$$K_u = \beta \cdot K_d \quad (30-2)$$

$$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_d \quad (31-2)$$

$$h_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \left\{ \gamma \cdot H - \frac{Q_d}{(\beta-1)K_d} \right\}}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot H)^2} \quad (32-2)$$

شکل (۱۴-۲) یک نمونه از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی دایروی را با ابعاد زیر نشان می‌دهد:

قطر لایه‌های لاستیکی = ۱۰۰۰ میلی‌متر، قطر استوانه = ۲۰۰ میلی‌متر، تعداد استوانه‌ها = ۱، ضخامت لایه‌های لاستیکی = ۶ میلی‌متر، تعداد لایه‌های لاستیکی = ۳۴ لایه، ضخامت کل جداساز = ۲۰۴ میلی‌متر



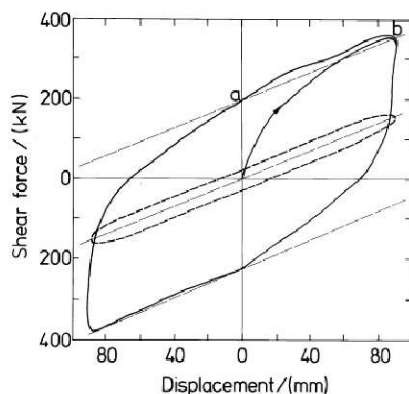
شکل (۱۴-۲) چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای سرب-لاستیکی



۲-۳-۳ خصوصیات جداساز سرب لاستیکی

روش‌های آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری حلقه‌های تغییر شکل-بار تکیه‌گاه‌های سرب لاستیکی چین جابجایی‌های افقی در زلزله طرح و زلزله‌های شدید در حالی که بار محوری به عنوان وزن سازه به آن اعمال شده است، طراحی شده‌اند. این آزمایشات در سرعت‌های لرزه‌ای انجام شده‌اند تا اطمینان حاصل شود که نرخ کرنش سرب و افزایش دما مطابق شرایط عملی یک زلزله باشد. اندازه‌گیری‌های دیگر در سرعت‌های خیلی پایین بارگذاری انجام شده تا واکنش به تغییرات ابعاد سازه‌ای ناشی از تغییر دمای روزانه و نیز واکنش به حرکات آهسته‌تر ناشی از زوال جابجایی‌های پسماند جداساز پس از زلزله نیز در نظر گرفته شود (Robinson & Tucker, 1977, 1981; Robinson, 1982).

حلقه هیستریزیس نیرو-جابجایی یک تکیه‌گاه الاستومری بدون میله سربی به صورت منحنی نقطه چین در شکل (۲-۱۵) نشان داده شده است. این حلقه، که برای تکیه‌گاهی با قطر ۶۵۰mm است، اساساً الاستیک بوده و سختی برشی لاستیک آن برابر $K_b(t) = 1/75 \text{ MN/m}$ است. همچنین در شکل یک حلقه برای همان تکیه‌گاه نشان داده شده زمانی که یک منفذ سرب با قطر ۱۷۰mm میلی‌متر را در بر می‌گیرد. منحنی خط چین دارای شیب $1/75 \text{ MN/m}$ بوده و تقریب خوبی برای سختی پس از تسلیم هستند. در این مورد، سرب به صورت یک جامد پلاستیک رفتار کرده و 235 kN به نیروی الاستیک لازم برای برش تکیه‌گاه اضافه می‌کند.



شکل (۲-۱۵) حلقه هیستریزیس نیرو-جابجایی برای تکیه‌گاه با قطر ۶۵۰mm

یک نکته جالب دیگر، بخش الاستیک اولیه منحنی نیرو-جابجایی برای نیروهای کم است.



در نتیجه یک توضیح مناسب برای حلقه هیستریزیس عبارت است از یک جامد دو خطی با سختی الاستیک اولیه K_{b1} و با سختی پس از تسلیم K_{b2} به نحوی که

$$K_{b1} \sim 10K_b(r) \quad (۳۳-۲)$$

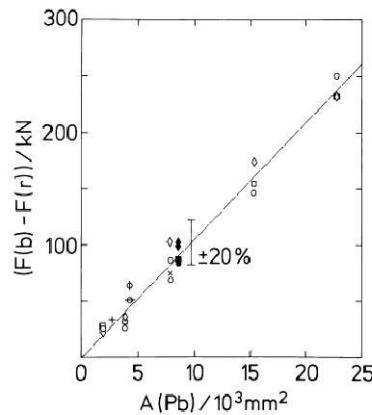
$$K_{b2} \approx K_b(r) \quad (۳۴-۲)$$

۴-۳-۲ وابستگی به قطر سرب به کار رفته

نیروی افقی، F ، لازم برای اینکه تکیه گاه به صورت افقی برش داده شود را میتوان به صورت دو نیرو که به صورت موازی عمل می‌کنند در نظر گرفت. اولین نیرو به دلیل الاستیسیته لاستیک و نیروی دوم به دلیل پلاستیسیته سرب است. الاستیسیته سرب نیرویی را موجب می‌شود که با جابجایی تناسب دارد در حالی که پلاستیسیته نیازمند نیرویی مستقل از جابجایی است.

در نتیجه با تقریب خوبی

$$F = \tau(Pb) A(Pb) + K(r) X \quad (۳۵-۲)$$



شکل (۱۶-۲) نیروی ناشی از سرب به عنوان تابعی از سطح مقطع سرب به کار رفته

در این رابطه تنش برشی که سرب در آن تسلیم می‌شود $\tau(Pb)=۱۰/۵MPa$ ، مساحت سطح مقطع سرب، $K(r)$ سختی لاستیک در صفحه افقی و X جابجایی در بالای تکیه گاه نسبت به پایه آن است. این موضوع در شکل (۱۶-۲) نشان داده شده که در آن نیروی برشی حداکثر منهای نیروی ناشی از سختی الاستیک لاستیک، در برابر مساحت سطح مقطع سرب به کار رفته نمایش داده شده است. شیب این خط،



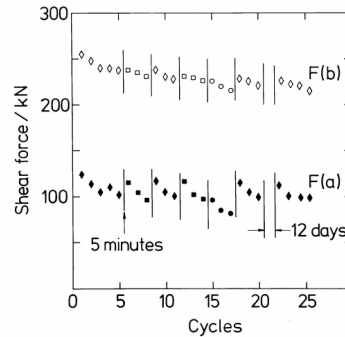
تنش تسلیم سرب $10/5\text{MPa}$ است. توجه شود که Q_y یک میراگر هیسترتیک، به طور تقریبی برابر $\tau(\text{Pb})A(\text{Pb})$ ارائه شده است.

۲-۳-۵ وابستگی به سرعت

برای تعدادی از کاربردها لازم است رفتار تکیه گاه سرب لاستیکی، تحت شرایط خزش شناخته شود. به عنوان مثال، اگر یک عرشه پل بر روی تکیه گاه‌ها نصب شود، در این صورت در سیکل‌های 24 ساعته دما، تکیه گاه‌ها میبایست چندین جابجایی به میزان $\pm 3\text{mm}$ را بدون ایجاد نیروهای بزرگ تحمل کنند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تکیه گاه سرب لاستیکی در نرخ کرنش $3 \times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ تا 10s^{-1} وابستگی کمی به نرخ دارد، که در این نرخ، فرکانس‌های معمول زلزله 10^{-1}s^{-1} تا 1s^{-1} وجود دارند. برای این بازه از نرخ کرنش، افزایش نرخ با ضریب ده باعث افزایش در نیرو به اندازه تنها 8 درصد می‌شود. در نرخ‌های کرنش کمتر از $3 \times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ ، وابستگی تنش برشی به نرخ خزش بیشتر می‌شود، به طوری که با هر تغییر مرتبه در نرخ، 40 درصد نیرو تغییر می‌کند. هر چند این بدان معناست که در جابجایی‌های خزش حدود 1mm/h برای یک تکیه گاه معمول با ارتفاع 100mm (یعنی در $3 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$)، تنش برشی به اندازه 35 درصد مقدار آن در نرخ‌های زلزله معمول که در حدود 1s^{-1} کاهش می‌یابد.

۲-۳-۶ خستگی و دما

میتوان انتظار داشت که تکیه گاه سرب لاستیکی زلزله‌های زیادی را تحمل کند، به طور که هر کدام انرژی ورودی به اندازه 3 تا 5 ضربه با دامنه $\pm 100\text{mm}$ داشته باشند. به عنوان مثال، نتایج برای یک سری آزمایش‌های دینامیکی بر روی تکیه گاه با قطر 650mm با میله سربی با قطر 140mm در شکل (۲-۱۷) نشان داده شده است. علائم $F(a)$ و $F(b)$ مربوط به نقاطی مانند a و b بر روی شکل (۲-۱۵) هستند. $F(a)$ و $F(b)$ به اندازه 10 درصد و 25 درصد در پنج سیکل اول کاهش یافتند، اما مقداری از این کاهش را در پنج دقیقه وقفه بین آزمایش‌ها جبران کرده‌اند.



شکل (۲-۱۷) آزمایش دینامیکی هفت زلزله شبیه سازی شده روی تکیه گاه سرب لاستیکی

یک وقفه دوازده روزه بین دو آزمایش آخر، بازیابی بزرگتری از مقدار بدست آمده در وقفه پنج دقیقه‌ای بدست نداد.

آزمایشات نشان داده‌اند، خستگی و دما تاثیرات چندانی روی عملکرد تکیه گاه‌های سرب، لاستیکی ندارد.

۲-۳-۷ تاثیر بار قائم بر رفتار هیستریزیس

می‌توان تکیه گاه‌های سرب لاستیکی را طوری طراحی کرد که تغییر کمی در حلقه های هیستریزیس در بازه وسیعی از بارهای قائم، از خود نشان دهند (Taylor & Robinson, 1984). بر اساس یک مدل ساده، حد بالای اسمی نیروی هیستریزیس، $\tau_y(Pb)A(Pb)$ ، در صورتی که هیچ لغزش قائمی در گوشه های میله وجود نداشته باشد و هیچ لغزش افقی در انتهای میله نیز دیده نشود بدست می‌آید. لغزش گوشه را میتوان با استفاده از فضای کوچک بین صفحات و با اطمینان حاصل کردن از یک فشار محدود کننده p_0 کاهش داد.

۲-۳-۸ خلاصه مشخصات تکیه گاه‌های سرب لاستیکی

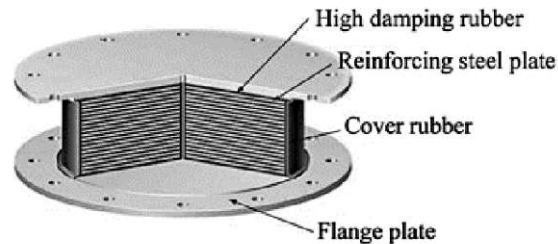
برای بازه کرنش حدود $1s^{-1}$ ، تکیه گاه هیستریک سرب لاستیکی را میتوان به عنوان یک جامد دو خطی با سختی برشی اولیه حدود $10K_b(r)$ و سختی برشی پس از تسلیم $K_b(r)$ ، در نظر گرفت. نیروی تسلیم سرب به کار رفته را می‌توان از تنش تسلیم سرب در تکیه گاه بدست آورد، یعنی $\tau_y(Pb) \sim 10/5MPa$. در نتیجه نیروی برشی حداکثر برای یک جابجایی معلوم برابر مجموع نیروی الاستیک تکیه گاه الاستومری و نیروی پلاستیک مورد نیاز برای تغییر شکل سرب می‌باشد. سختی پس از تسلیم واقعی می‌تواند به اندازه $\pm 40\%$ درصد با $K_b(r)$ تغییر کند اما احتمالاً در بازه $\pm 20\%$ درصد این مقدار خواهد بود. سختی الاستیک اولیه را تنها



می‌توان از نتایج تجربی برآورد کرد و شاید در واقعیت در بازه $9K_b(r)$ تا $16K_b(r)$ باشد. پیش بینی نیروی حداکثر، $F(b)$ ، دقیق تر بوده و به اندازه $\pm 20\%$ درصد عدم اطمینان دارد که برابر مقدار مورد انتظار برای عدم دقت در سختی برشی تکیه گاه‌های الاستومری تولید شده است. مساحت واقعی حلقه هیستریزس شکل گرفته بوسیله این مدل دو خطی، تقریباً ۲۰ درصد بیشتر از مساحت حلقه هیستریزس اندازه گیری شده است. تکیه گاه هیسترتیک سرب لاستیکی راه حل اقتصادی به مشکل سازه‌های جداسازی لرزه ای شده می‌باشد، چرا که این تکیه گاه، سه عملکرد نگهداری قائم، انعطاف پذیری افقی (از طریق لاستیک) و میرایی هیسترتیک (با تغییر شکل پلاستیک سرب) را فراهم می‌کند.

۲-۴ سیستم جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرایی بالا^{۲۵}

این سیستم که در شکل (۲-۱۸) مشاهده می‌گردد شامل ورقه های فولادی به شکل حلقه، ورقه های لاستیکی به شکل حلقه هایی که با ورقه های فولادی بصورت یک در میان قرار می‌گیرند، پوششی از لاستیک با میرایی بالا، پیش آمدگی پیرامونی بالا و پایین جداساز می باشد این جداساز ها، ساختاری شبیه جداسازهای سربی-لاستیکی دارند با این تفاوت که این نوع جداسازها فاقد هسته سربی می باشند. میزان میرایی موثر این نوع تکیه گاه ها تابعی از کرنش برشی می باشد. برای لاستیک طبیعی، میرایی موثر برای کرنش های برشی کم و زیاد به ترتیب برابر ۱۵٪ و ۱۰٪ می باشد. از نقاط ضعف این سیستم تاثیر دما و زمان بر خصوصیات مکانیکی آن می باشد. همچنین سختی و میرایی این نوع تکیه گاه تابعی از جنس لاستیک بکار رفته است و در نتیجه با محدودیت هایی مواجه است.



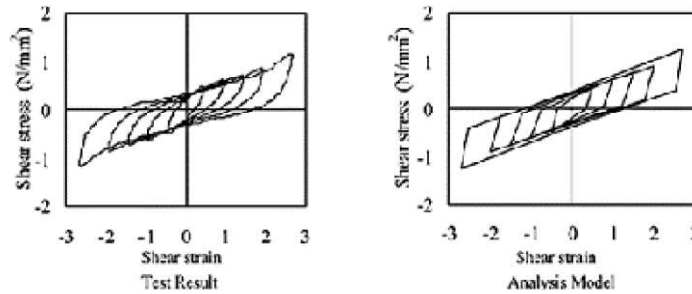
شکل (۲-۱۸) ساختار یک جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرایی بالا

²⁵ -High-Damping Rubber Bearing (HDRB)



شکل (۲-۱۹) نمونه‌ای از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری برای یک جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرائی بالا را با ابعاد زیر نشان می‌دهد.

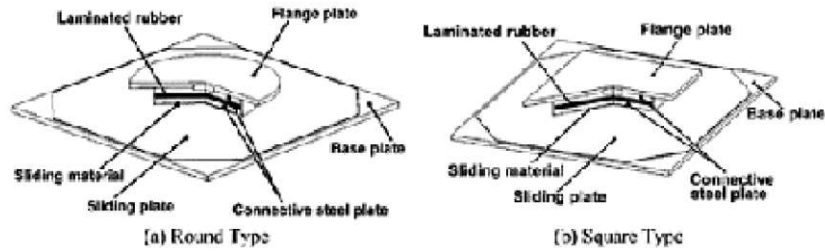
قطر لایه‌های لاستیکی = ۲۲۵ میلی‌متر، ضخامت لایه‌های لاستیکی = ۱/۶ میلی‌متر
تعداد لایه‌های لاستیکی = ۲۸ لایه، ضخامت کل لایه‌های لاستیکی = ۴۴/۸ میلی‌متر



شکل (۲-۱۹) چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای لاستیکی با میرائی بالا

۲-۵ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده^{۲۶}

شکل (۲-۲۰) ساختار یک جداساز لرزه‌ای تکیه‌گاه الاستیک لغزنده دایره‌ای و مربعی را نشان می‌دهد. این جداساز به طور کلی متشکل از لایه‌های نازک لاستیکی، ورق‌های اتصالی فولادی، ورق‌های رویه، مصالح لغزنده، یک ورق لغزنده و ورق پایه است. مصالح لغزنده در ورق فولادی اتصالی که به نوبت روی ورق لغزنده تعبیه شده روی ورق پایه قرار می‌گیرد، تنظیم شده‌است. قبل از اینکه نیروهای زلزله از نیروی تسلیم متناظر با لغزش ارائه شده توسط رابطه (۲-۳۹) تجاوز کند، تغییرشکل برشی به تغییرشکل لایه‌های نازک لاستیکی محدود می‌شود، اگرچه پس از رد شدن نیروی زلزله از نیروی تسلیم، مجموعه‌ی جداساز می‌لغزد و لذا می‌تواند تغییرشکل‌های بزرگ را متحمل شود.



شکل (۲-۲۰) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده

۲-۵-۱ مشخصات دینامیکی پایه

سختی قائم K_v این جداسازها براساس رابطه (۲-۳۶) محاسبه می‌شود.

$$K_v = \alpha_v \cdot \frac{A_r}{H} \cdot \frac{E_0(1 + 2\kappa S_1^2)E_\infty}{E_0(1 + 2\kappa S_1^2) + E_\infty} \quad (۲-۳۶)$$

که در آن:

A_r : سطح مقطع لایه‌های لاستیکی نازک

H : ضخامت کلی لایه لاستیکی

S_1 : ضریب شکل اصلی

α_v : ضریب اصلاحی روی K_v برای مصالح لغزنده

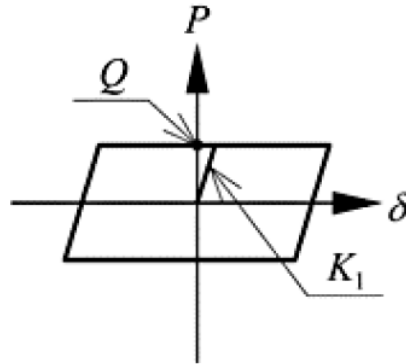
E_0 : مدول الاستیک افقی لاستیک

E_∞ : مدول بالک لاستیک

κ : ضریب اصلاحی سفتی لاستیک

شکل (۲-۱۳) چرخه‌های رفت و برگشتی مدل ارائه شده برای این جداساز را که تابعی از سختی اولیه K_1 و

نیروی تسلیم Q است، نشان می‌دهد.



شکل (۲۱-۲) مدل رفتاری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده

سختی اولیه این جداسازها، K_1 ، در درجه حرارت ۱۵ از رابطه (۳۷-۲) بدست می‌آید. رابطه (۳۸-۲) نیز برای در نظر گرفتن وابستگی K_1 به درجه حرارت به کار می‌رود.

$$K_1 = G_r \cdot \frac{A_r}{H} \quad \text{در دمای ۱۵ درجه} \quad (۳۷-۲)$$

$$K_1(t) = K_1(t_0) \cdot \exp(-0.00271(t - t_0)) \quad (۳۸-۲)$$

نیروی تسلیم این جداساز، Q ، از رابطه (۳۹-۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه، μ ، ضریب اصطکاک و W نیروی قائم (ثقلی) است.

$$Q = \mu \cdot W \quad (۳۹-۲)$$

ضریب اصطکاک به سرعت و تنش وابسته است. این ضریب، با افزایش تنش کاهش می‌یابد و با کاهش سرعت، افزایش می‌یابد. رابطه (۴۰-۲) می‌تواند برای در نظر گرفتن آثار این وابستگی، به کار رود.

$$\mu(\sigma, v) = (0.0801 - 0.0437 \cdot \exp(-0.005 \cdot v)) \cdot \sigma^{-0.33} \quad (۴۰-۲)$$

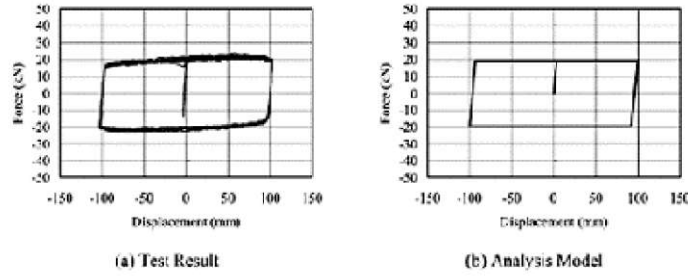
در این رابطه، v سرعت و σ بیانگر تنش است. سختی معادل این جداساز، K_{eq} ، نیز از رابطه (۴۱-۲) محاسبه می‌شود.

$$K_{eq} = \frac{Q}{\gamma \cdot H} \quad (۴۱-۲)$$

شکل (۲۲-۲) یک نمونه از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده دایروی را با ابعاد زیر نشان می‌دهد:



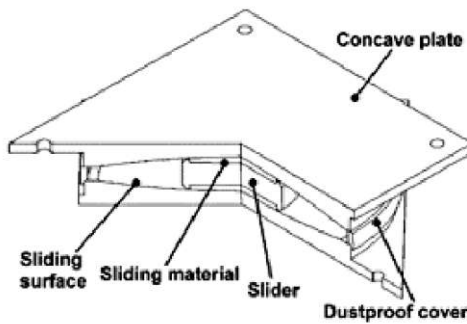
قطر لایه‌های لاستیکی = ۴۵۰ میلی‌متر، قطر مصالح لغزنده = ۳۵۰ میلی‌متر، ضخامت لایه‌های لاستیکی = ۸ میلی‌متر، تعداد لایه‌های لاستیکی = ۳ لایه، ضخامت کل جداساز = ۲۴ میلی‌متر



شکل (۲-۲۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستیک لغزنده

۲-۶ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد^{۲۷}

شکل (۲-۲۳) ساختار یک سیستم جداساز لرزه‌ای تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده‌است، این جداساز به طور کلی متشکل از ورق‌های مقعر، یک لغزنده، مصالح لغزنده و روکش ضدغبار است.



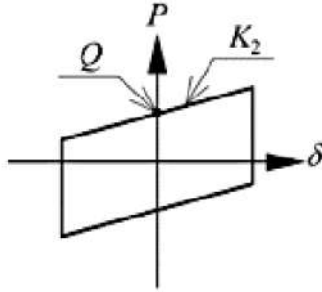
شکل (۲-۲۳) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد

²⁷- Curved Plane Sliding Bearing



۲-۶-۱ مشخصات دینامیکی پایه

شکل (۲-۲۴) یک چرخه بارگذاری لرزه‌ای از مدل این جداساز را با سختی ثانویه K_2 و بار تسلیم Q نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲۴) مدل رفتاری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد

سختی ثانویه این جداساز، از رابطه (۲-۴۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه، SR شعاع فضائی سطح لغزنده می‌باشد.

$$K_2 = \frac{W}{2.SR} \quad (۲-۴۲)$$

بار تسلیم این جداساز، Q ، نیز از رابطه (۲-۴۳) محاسبه می‌شود. ضریب اصطکاک مورد استفاده در این رابطه به سرعت و تنش وابسته است و با رابطه (۲-۴۴) می‌توان آثار این وابستگی را در نظر گرفت. همچنین، سختی معادل این جداساز، K_{eq} ، نیز از رابطه (۲-۴۵) محاسبه می‌شود.

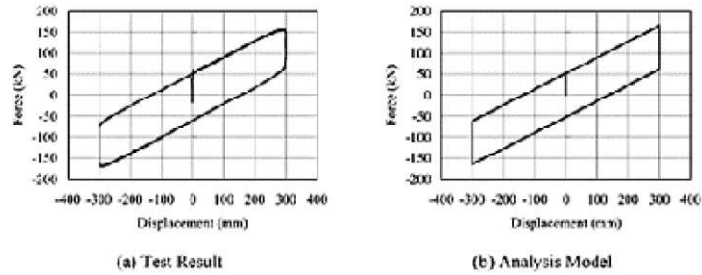
$$Q = \mu.W \quad (۲-۴۳)$$

$$\mu(\sigma, v) = (0.197 - 0.121.exp(-0.009.v)).\sigma^{-0.57} \quad (۲-۴۴)$$

$$K_{eq} = \frac{Q}{\gamma.H} + K_2 \quad (۲-۴۵)$$

شکل (۲-۲۵) یک نمونه از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد را با ابعاد زیر نشان می‌دهد:

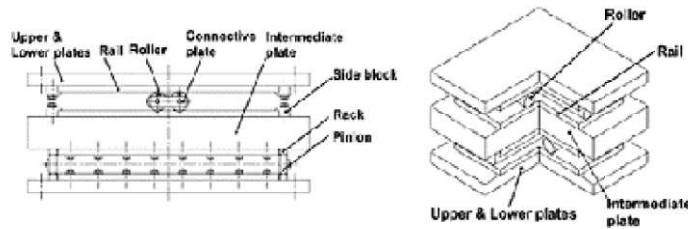
قطر مصالح لغزنده = ۳۵۰ میلی‌متر، شعاع فضائی سطح لغزنده = ۲۵۰۰ میلی‌متر



شکل (۲-۲۵) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه لغزنده بر صفحه گرد

۲-۷ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۱) ۲۸

شکل (۲-۲۶) ساختار یک سیستم جداساز لرزه‌ای تکیه‌گاهی غلتکی مسطح را که به طور کلی متشکل از غلتک‌ها، ریل‌ها، ورق‌های فوقانی و تحتانی، ورق‌های میانی و چارچوب و دنده می‌باشند، نشان می‌دهند. سطح غلتک‌ها با پوشش ضدغبار پوشانده شده‌است.



شکل (۲-۲۶) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۱)

۲-۷-۱ مشخصات دینامیکی پایه

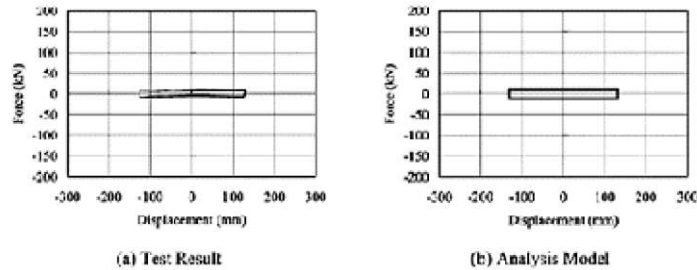
سختی قائم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح، K_v ، از رابطه (۲-۴۶) بدست می‌آید. در این رابطه، D قطر غلتک، α ضریب و ضریب اصطکاک، μ ، کمتر مساوی 0.03 است.

$$K_v = \alpha \cdot D \quad (۲-۴۶)$$



شکل (۲-۲۷) یک نمونه از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح نوع (۱) را با ابعاد زیر نشان می‌دهد:

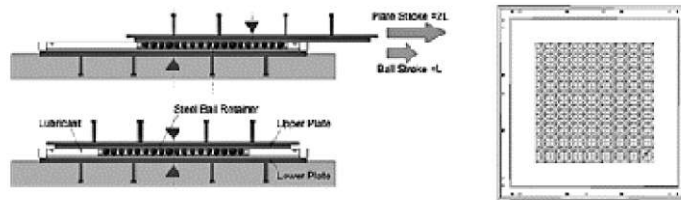
قطر غلتک = ۴۰ میلی‌متر، سرعت = ۱۰ میلی‌متر/ثانیه، شدت = ۱۳۰ میلی‌متر



شکل (۲-۲۷) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۱)

۲-۸ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۲)

این قطعه، یک جداساز متشکل از تعدادی تکیه‌گاه توپی است که با ورق‌های فولادی نگهداری شده‌اند (شکل ۲-۲۸) تا ضریب اصطکاک بسیار کمی ایجاد کنند. تعداد این تکیه‌گاه‌ها به سادگی و در طول طراحی، متناسب با بار قائم ساختمان تعیین می‌شود. این جداساز معمولاً در ترکیب با میراگرها و جداسازهای لاستیکی به کار می‌رود.



شکل (۲-۲۸) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۲)



۲-۸-۱ مشخصات دینامیکی پایه

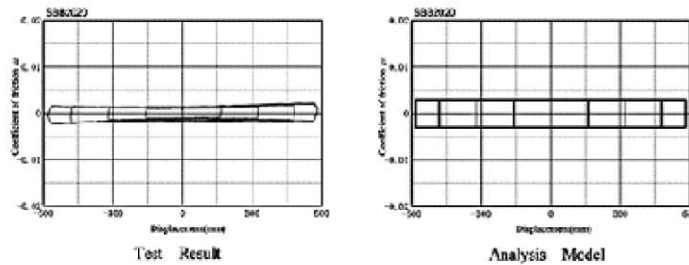
سختی قائم از رابطه (۲-۴۷) بدست می‌آید که در آن، N ، تعداد توپ‌های فولادی و α ضریب (60kN/mm) است. مقاومت نیز از رابطه (۲-۴۸) محاسبه می‌شود که در آن، μ ضریب اصطکاک (۰/۰۰۳) و P_v بار قائم (kN) است.

$$K_v = \alpha \cdot N \quad (۲-۴۷)$$

$$Q_d = \mu \cdot P_v \quad (۲-۴۸)$$

شکل (۲-۲۹) یک نمونه از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری این جداساز را با ابعاد زیر نشان می‌دهد:

قطر توپ‌های لغزنده = ۵۰/۸ میلی‌متر، تعداد توپ‌ها = ۲۰ × ۲۰



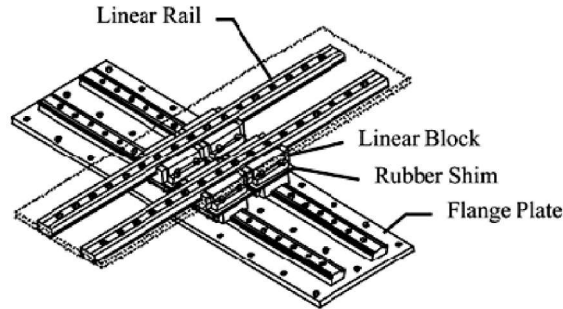
شکل (۲-۲۹) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی مسطح - نوع (۲)

۲-۹ سیستم جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی ریلی^{۲۹}

این جداساز، از دو جداساز خطی با اصطکاک کم که بین دو ریل خطی متقاطع قرار گرفته‌است، تشکیل شده‌است. این ریل‌های غلتکی تکیه‌گاهی ضرایب اصطکاک بسیار کمی دارند و نیروی برشی بسیار کمی ایجاد می‌کنند.

مهمترین مشخصه این ریل‌های متقاطع، این است که این جداسازها می‌توانند نیروهای کششی و فشاری را متحمل شوند. این جداسازها اغلب در ترکیب با میراگرها یا جداسازهای لاستیکی به کار می‌روند. شکل (۲-۳۰) یکی از این جداسازها را که از چهار بلوک و چهار ریل تشکیل شده‌است، نشان می‌دهد.

²⁹ - Rail roller bearing



شکل (۳۰-۲) ساختار یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی ریلی

۱-۹-۲ مشخصات دینامیکی پایه

سختی قائم از رابطه (۴۹-۲) بدست می‌آید. مقدار C به عنوان مثال برای فشار و برای مدل CLB200F برابر با 23796 (kN/mm) است. مقاومت نیز از رابطه (۵۰-۲) محاسبه می‌شود که در آن، μ_i ضریب اصطکاک و برابر با $\mu_i = (1.0 + 4.5P_i/P_0)/1000$ و P_i بار قائم (kN) و P_0 بار حد استاتیکی (kN) است. سختی اولیه و ثانویه نیز به ترتیب از روابط (۵۱-۲) و (۵۲-۲) تعیین می‌شوند.

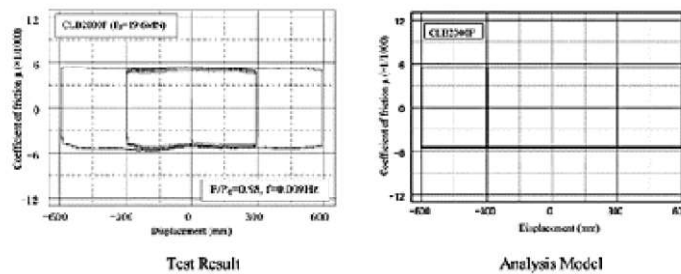
$$K_v = C \quad \text{تمام انواع} \quad (۴۹-۲)$$

$$Q_d = \sum P_i \mu_i \quad (۵۰-۲)$$

$$K_1 = 5000 \sum P_i \mu_i \quad (۵۱-۲)$$

$$K_2 = 0 \quad (۵۲-۲)$$

شکل (۳۱-۲) یک نمونه از چرخه‌های بارگذاری و باربرداری این جداساز را نشان می‌دهد.

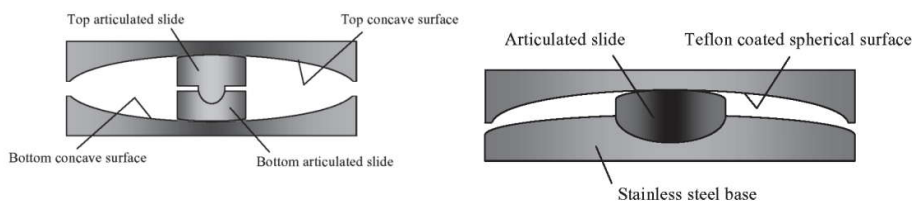


شکل (۳۱-۲) چرخه بارگذاری و باربرداری یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه غلتکی ریلی



۲-۱۰ سیستم جداساز لرزه‌ای پاندولی اصطکاکی^{۳۰}

تکیه گاه‌های اصطکاکی اولیه متشکل از دو سطح صاف با قابلیت لغزش نسبت به هم بودند. نیروی مقاوم در برابر بار خارجی اعمال شده از حاصلضرب ضریب اصطکاک و بار قائم وارده بدست می‌آید. بزرگترین نقطه ضعف سیستم اصطکاکی مسطح، عدم بازگشت ساختمان به موقعیت اولیه پس از زلزله است. برای حل این مشکل از سطح لغزش مقعر یا بخشی از سطح کره استفاده می‌گردد. به این نوع سیستم‌ها سیستم پاندولی اصطکاکی اطلاق می‌گردد که در شکل (۲-۳۲-الف) نشان داده شده‌اند. سطح کروی معمولاً دارای پوشش تفلونی با ضریب اصطکاک حدود ۳٪ می‌باشد. بدلیل داشتن سطحی مقعر، در اثر اعمال نیروی جانبی تغییر مکان در هر دو جهت افقی و قائم مشاهده می‌گردد. هنگامیکه اثر نیروی خارجی از بین می‌رود، مولفه مماس بر سطح مقعر نیروی قائم به عنوان نیروی بازگرداننده عمل کرده و تکیه گاه را به موقعیت اولیه هدایت می‌نماید. مقدار نیروی قائم و سرعت اعمال بارگذاری از جمله پارامترهای موثر بر ضریب اصطکاک هستند، بطوریکه با افزایش بار قائم وارده کاهش یافته و در سرعت‌های بالای بارگذاری به شدت افزایش می‌یابد. یکی از مزایای این سیستم هزینه نگهداری پایین آن است. پوشش تفلون از زنگ زدن فولاد سطح لغزش جلوگیری می‌نماید و با توجه به اینکه لغزش معمولاً تنها در هنگام زلزله رخ می‌دهد نیازی به تعویض آن در طول عمر مفید سازه نمی‌باشد. همچنین تغییرات دما و گذشت زمان تاثیر چندانی در خصوصیات مکانیکی تکیه گاه ندارد. در شکل (۲-۳۲-ب) با دو سطح مقعر مشاهده می‌گردد. در اینحالت به دلیل استفاده از دو سطح مقعر می‌توان با تکیه گاه‌های کوچکتر میزان جابجایی مورد نظر را تامین نمود.



ب) جداساز پاندولی اصطکاکی دوگانه

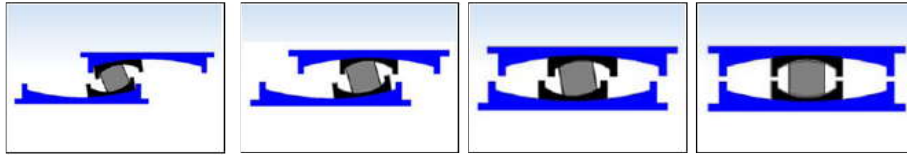
الف) جداساز پاندولی-اصطکاکی

شکل (۲-۳۲) جداساز پاندولی اصطکاکی

³⁰ -Friction Pendulum System (EPS)



اخیراً نوع جدیدی از این جداسازها را ارائه شده است که به سیستم جداساز آونگی اصطکاکی سه گانه^{۳۱} معروف است. در شکل (۲-۳۳) نحوه عملکرد آن تحت شرایط مختلف نشان داده شده است.



(الف) حالت سکون
(ب) حرکت آونگ داخلی در سطح زلزله بهره برداری
(ج) حرکت آونگ پایینی در سطح حداکثر زلزله معتبر (MCE)
(د) حرکت آونگ بالایی در سطح حداکثر زلزله معتبر (MCE)
شکل (۲-۳۳) جداساز پاندولی اصطکاکی سه‌گانه

۲-۱۱ نمونه‌های اجرایی و کاربردی جداسازهای لرزه‌ای

سیستمهای جداسازی پایه در ساختمانهای زیادی واقع در آمریکا، ژاپن، نیوزلند و چین بکار گرفته شده است. نمونه‌هایی از ساختمان‌های مقاوم سازی شده با استفاده از جداسازهای لرزه‌ای سرب-لاستیکی عبارتند از ساختمان شهرداری اوکلند^{۳۲} در آمریکا (شکل ۲-۳۴-الف) و ساختمان مرکز پست غرب ژاپن^{۳۳} (شکل ۲-۳۴-ب).



(ب) ساختمان مرکز پست غرب ژاپن



(الف) ساختمان شهرداری اوکلند

شکل (۲-۳۴) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای سرب-لاستیکی

³¹ - triple friction pedulum

³² -Oakland City Hall

³³ -West Japan Postal Center



نمونه‌هایی از ساختمان‌های مقاوم سازی شده با استفاده از جداسازهای لرزه‌ای لاستیکی با میرایی بالا عبارتند از ساختمان سازمان فرماندهی و کنترل آتش نشانی^{۳۴} شهر لس آنجلس (شکل ۲-۳۵-الف) و ساختمان مرکز قانون و عدالت اجتماعی فوت هیل^{۳۵} واقع در شهر سان برناندینو^{۳۶} (شکل ۲-۳۵-ب).



الف) ساختمان سازمان فرماندهی و کنترل آتش نشانی شهر لس آنجلس
ب) مرکز قانون و عدالت اجتماعی فوت هیل^{۳۷} واقع در شهر سان برناندینو

شکل (۲-۳۵) کاربردهای جداسازهای لرزه‌ای لاستیکی با میرایی بالا

نمونه‌هایی از ساختمان‌های مقاوم سازی شده با استفاده از جداسازهای لرزه‌ای پاندولی-اصطکاکی عبارتند از ساختمان دادگاه استیناف ایالات متحده^{۳۸} در شهر سان فرانسیسکو (شکل ۲-۳۶-الف) و ساختمان پایانه بین المللی فرودگاه سان فرانسیسکو (شکل ۲-۳۶-ب). همچنین از پروژه‌های عظیمی که جهت مقاوم سازی از این نوع جداسازها استفاده شده است می‌توان پل Benicia Martinez در سانفرانسیسکو (شکل ۲-۳۷-الف) و پل Hernando DeSoto در ممفیس (شکل ۲-۳۷-ب) آمریکا اشاره نمود.

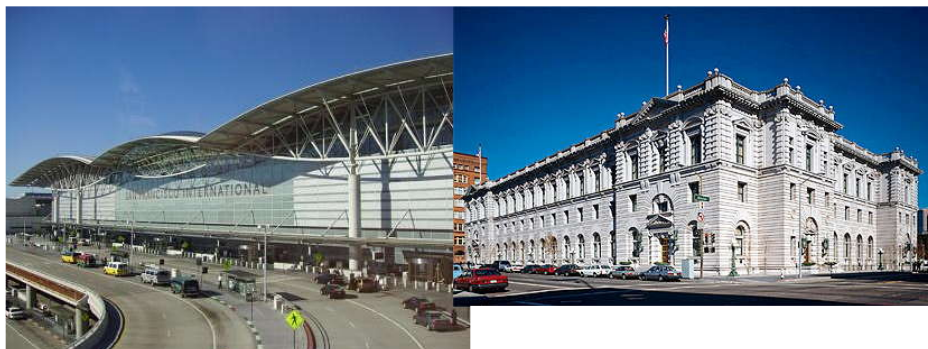
³⁴ -Fire Command and Control Facility

³⁵ -Foothill Communities Law and Justice Center

³⁶ -San Bernardino

³⁷ -Foothill Communities Law and Justice Center

³⁸ - U.S. Court of Appeals



الف) ساختمان دادگاه استیناف ایالات متحده در شهر

ممفیس

سان فرانسیسکو

شکل (۲-۳۶) کاربردهای جداسازهای لرزه ای پاندولی-اصطکاکی



ب) بکار رفته در پل Hernando DeSoto در

ممفیس

الف) بکاررفته در پل Benicia Martinez در

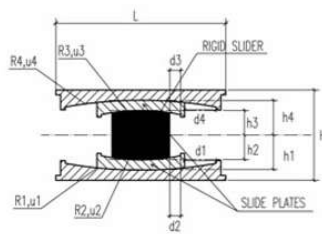
سانفرانسیسکو

شکل (۲-۳۷) کاربردهای جداسازهای لرزه ای پاندولی-اصطکاکی

یکی دیگر از پروژه هایی که جهت مقابله با زلزله از جداسازهای پاندولی-اصطکاکی سه گانه استفاده شده است، پایانه بین المللی فرودگاه سبیحا-گوکن در استانبول می باشد و یکی از بزرگترین ساختمان هایی است که بدینوسیله مقاوم سازی شده است. در شکل (۲-۳۸) سازه این پایانه به همراه جزئیات این جداساز مشاهده می گردد.



الف) پایانه بین المملی فرودگاه سیجا-گوکن شهر استانبول



ب) جزئیات جداساز مورد استفاده و نحوه اجرای آن

شکل (۲-۳۸) کاربردهای جداسازهای لرزه ای پاندولی-اصطکاکی سه گانه

فصل سوم

ضوابط طراحی ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای

۳-۱ کلیات

تمامی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای و هر قسمت از آن باید براساس ضوابط ارائه شده در این فصل و نیازهای مطرح شده، طراحی و اجرا شوند.

۳-۱-۱ تغییر در مشخصات مصالح

در تحلیل سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، شامل سازه، زیر سازه و جداساز باید تغییرهای محتمل در مشخصات مصالح به کار رفته در جداساز لرزه‌ای در زمان عمر مورد انتظار برای سازه تحت اثر پیرشدگی مصالح، آلودگی، شرایط محیطی، نرخ بارگذاری، Scragging و درجه حرارت مدنظر قرار گیرد.

۳-۱-۲ تعاریف

تغییر مکان طراحی: تغییر مکان جانبی در طراحی لرزه‌ای، به جز تغییر مکان‌های اضافی ناشی از پیچش‌های واقعی و تصادفی، برای طراحی سیستم جداساز لازم است.

تغییر مکان کل طراحی: تغییر مکان جانبی در طراحی لرزه‌ای، به همراه تغییر مکان‌های اضافی ناشی از پیچش‌های واقعی و تصادفی، برای طراحی سیستم جداساز لازم است.



تغییر مکان حداکثر کل: حداکثر تغییر مکان جانبی مدنظر برای زلزله، با در نظر گرفتن تغییر مکان‌های اضافی ناشی از پیچش واقعی و تصادفی، که برای تأیید پایداری سیستم جداساز یا قطعات آن، طراحی نحوه اعمال جداسازی لرزه‌ای در سازه و نیز، بارهای قائم به کار رفته در آزمایش واحدهای جداساز لازم است. سیستم مقاوم در برابر تغییر مکان: مجموعه‌ای از المان‌های سازه‌ای که محدودکننده تغییر مکان جانبی سازه‌های جداساز شده لرزه‌ای تحت اثر حداکثر زلزله مدنظر می‌باشند.

میرائی موثر: مقدار میرائی ویسکوز معادل مرتبط با انرژی مستهلک شده در طول پاسخ چرخه‌ای سیستم جداساز.

سختی موثر: مقدار نیروی جانبی در سیستم جداساز یا هر المان آن که بر تغییر مکان جانبی متناظر با آن تقسیم می‌شود.

سطح جداسازی شده: مرز بین سازه جداسازی شده فوقانی و زیرسازه که به صورت صلب به زمین متصل شده‌است.

سیستم جداساز: مجموعه‌ای از المان‌های سازه‌ای که دربرگیرنده تمام اجزاء جداساز، تمام المان‌های سازه‌ای که نیرو را به اجزاء جداساز منتقل می‌کنند و تمام اتصالاتها به سایر المان‌های سازه‌ای می‌باشد. سیستم جداساز هم‌چنین دربرگیرنده سیستم مقاوم در برابر باد، ابزارهای اتلاف انرژی و یا سیستم مقاوم در برابر تغییر مکان می‌باشد.

واحد جداساز: یک المان سازه‌ای در سیستم جداساز که در راستای افقی انعطاف‌پذیر و در راستای قائم، صلب است و اجازه تغییر مکان‌های جانبی زیاد را تحت اثر بارهای سازه‌ای به سیستم جداساز می‌دهد. واحد جداساز را می‌توان به عنوان بخشی از سیستم نگهدارنده وزن و یا علاوه بر آن استفاده نمود.

تغییر مکان حداکثر: حداکثر تغییر مکان جانبی زلزله مورد نظر، به جز تغییر مکان‌های ناشی از پیچش واقعی و تصادفی.

Scragging: بارگذاری چرخه‌ای و یا عملکردی محصولات لاستیکی (Rubber) که در برگیرنده جداسازهای الاستومری است، برای تحت تأثیر قراردادن کاهش در مشخصات سختی که بخشی از آن، در طول زمان ثبت خواهد شد.

سیستم مقاوم در برابر باد: مجموعه‌ای از المان‌های سازه‌ای که مقاومت سازه جداساز شده لرزه‌ای را در برابر بار باد ایجاد می‌کند. سیستم مقاوم در برابر باد می‌تواند یک بخش از سیستم جداساز و یا جدای از آن باشد.



۲-۳ ضوابط کلی

۱-۲-۳ ضریب اهمیت

تمام اجزاء سازه، از جمله روسازه، باید براساس نوع کاربری و میزان اهمیت، به یک رده از ایمنی پس از زلزله اختصاص داده شوند. برهمن اساس ضرایب اهمیت سازه‌ها تعیین می‌شود که این ضریب اهمیت I_e ، باید برای سازه جداسازی شده لرزه‌ای، فارغ از لرزه‌خیزی منطقه و نوع کاربری آن، برابر با ۱/۰ در نظر گرفته شود.

۲-۲-۳ ضرایب شتاب پاسخ طیفی

این ضرایب که با MCE_R نشان داده می‌شوند در قالب دو ضریب S_{M1} و S_{MS} معرفی و براساس روابط زیر محاسبه شوند. ضریب S_{MS} برای دوره تناوب‌های کوتاه و ضریب S_{M1} برای دوره تناوب یک ثانیه تعیین می‌شوند.

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (۱-۳)$$

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (۲-۳)$$

در این روابط، S_S پارامتر شتاب پاسخ طیفی MCE_R نگاشت شده در دوره تناوب‌های کوتاه و S_I پارامتر شتاب پاسخ طیفی MCE_R نگاشت شده در دوره تناوب ۱ ثانیه است. همچنین ضرایب A ، B_S و B_1 به ترتیب شتاب پایه، ضریب بازتاب ساختمان در پریود ۰/۲ ثانیه و ۱ ثانیه بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشند. ضرایب F_v و F_a در جدول‌های (۱-۳) و (۲-۳) آمده‌است.

جدول (۱-۳) ضریب F_a

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_k) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9



جدول (۲-۳) ضریب F_v

Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_R) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period					
Site Class	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

۳-۲-۳ ساختار

ساختار سازه‌های جداساز لرزه‌ای یک ساختار نامنظم محسوب می‌شود، زیرا یک سیستم سازه‌ای در بالای یک سیستم جداساز قرار گرفته که مشخصه‌های تحلیلی متفاوتی با هم دارند.

۴-۲-۳ سیستم جداساز

۱-۴-۲-۳ شرایط محیطی

علاوه بر نیازهایی که برای بارهای جانبی افقی و قائم شامل بارهای باد و زلزله لازم است، سیستم جداساز باید برای سایر شرایط محیطی شامل اثرات طول عمر، خزش، خستگی، حرارت ناشی از عملکرد اجزاء و قرار گرفتن در معرض رطوبت و یا خرابی تامین شود.

۲-۴-۲-۳ بارهای باد

سازه‌های جداسازی شده لرزه ای باید توان تحمل بار طراحی باد را در تمام ترازهای بالای سطح جداسازی شده داشته باشند. در سطح جداسازی شده، یک سیستم مقاوم در برابر باد باید تعبیه شود تا امکان محدود کردن تغییرمکان جانبی در سیستم جدا ساز را محدود کند. این مقدار باید در اندازه ی مورد نیاز برای تغییرمکان مجاز بین طبقات روسازه بوده و براساس بخش ۴-۶ تعیین شود.

۳-۴-۲-۳ مقاومت در برابر حریق

مقاومت در برابر حریق برای سیستم جداساز باید نیازها و ضوابط مرتبط با ستونها، دیوارها و سایر اجزاء باربر ثقلی را در همان محدوده از ساختمان برآورده نماید.



۳-۲-۴-۴ نیروی جانبی بازگرداننده^{۳۹}

سیستم جداساز باید قادر به تولید یک نیروی بازگرداننده باشد به نحوی که نیروی جانبی در تغییر مکان طراحی کل حداقل به میزان $0.7025W$ از میزان نیرو در ۵۰ درصد تغییر مکان طراحی کل بیشتر باشد.

۳-۲-۴-۵ قید تغییر مکانی

سیستم جداساز نباید به نحوی تعریف شود که قید تغییر مکانی ای در آن وجود داشته باشد که تغییر مکان جانبی ناشی از حداکثر زلزله مورد نظر را به کمتر از تغییر مکان حداکثر کل محدود کند، مگر آنکه سازه جداسازی شده لرزه‌ای، براساس معیارهای طراحی زیر بسیار سخت تر از ضوابط بند ۳-۲ طراحی شده باشد:

۱- پاسخ حداکثر زلزله مورد نظر براساس تحلیل دینامیکی، در فصل ۵ محاسبه می‌شود، که در آن به طور صریح مشخصات غیرخطی سیستم جداساز و روسازه آن در نظر گرفته می‌شود.

۲- ظرفیت نهائی سیستم جداساز و اجزاء سازه‌ای زیر سیستم جداساز باید از نیاز تغییر مکانی و نیروئی حداکثر زلزله مورد نظر بیشتر باشد.

۳- روسازه باید برای پایداری و شکل‌پذیری مورد نیاز در حداکثر زلزله مورد نظر کنترل شود.

۴- قید تغییر مکانی نباید برای تغییر مکان‌های کمتر از 0.75 برابر تغییر مکان طراحی کل فعال شود، مگر اینکه با استفاده از تحلیل ثابت شود که این فعالیت زودرس، به عملکرد نامطلوبی منجر نخواهد شد.

۳-۲-۴-۶ پایداری تحت بار قائم

هر المان سیستم جداساز باید به نحوی طراحی شود که تحت اثر بار قائم طراحی در زمانی که تغییر مکان افقی برابر با حداکثر تغییر مکان کل نیز در آن وجود داشته باشد، پایدار باشد. بار قائم طراحی باید برای بار قائم حداکثر و حداقل، براساس ترکیب بارهای موجود در آئین‌نامه‌های بارگذاری مرجع محاسبه شود. در صورتیکه از آئین‌نامه ASCE7-10 برای طراحی جداسازها استفاده شود، ترکیب بار حداکثر و حداقل به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$1.2D + 1.0E + L + 0.25S \quad (3-3)$$

$$(0.9 - 0.2S_{MS})D + \rho Q_E \quad (4-3)$$

³⁹ Restoring force



که در این روابط، D بار مرده، L بار زنده، E اثر ترکیبی نیروهای افقی و عمودی ناشی از زلزله و S بار برف است. همچنین Q_E اثرات ناشی از نیروهای افقی زلزله است که با ضریب ρ کاهش داده می‌شود. لازم به ذکر است که بارهای قائمی که از به کارگیری نیروی لرزه‌ای افقی، Q_E ، حاصل می‌شود، باید براساس حداکثر پاسخ به زلزله حداکثر مورد نظر تعیین شود.

۳-۲-۴-۷ واژگونی

ضریب اطمینان در برابر چرخش کلی سازه در سطح جداسازی شده نباید برای ترکیب بارهای موردنیاز کمتر از ۱/۰ در نظر گرفته شود. تمام شرایط بارگذاری لرزه‌ای و ثقلی باید بررسی شود. نیروهای لرزه‌ای برای شرایط واژگونی باید براساس زلزله حداکثر مورد نظر بوده و W باید برای نیروهای بازگرداننده قائم استفاده شود. بلندشدگی (Uplift) موضعی المان‌های مجزا نباید مورد تأیید قرار گیرد مگر آنکه تغییرمکان‌های بوجود آمده ایجاد تنش بیش از حد و یا ناپایداری در اجزاء جداساز یا سایر المان‌های سازه‌ای ایجاد نکند.

۳-۲-۴-۸ بازرسی و تعمیر

الف) دسترسی برای بازرسی و تعمیر و جایگزینی تمام اجزاء سیستم جداساز باید تامین شود.
ب) یک طراح متخصص و معتبر باید آخرین بازرسی‌ها و مشاهدات مربوط به جداسازی نواحی سازه و اجزای آن را که از روی سطح جداسازی می‌گذرد را، پیش از اطمینان از تأیید کاربرد سیستم جداساز برای سازه، ثبت نماید. این مشاهدات و بازرسی‌ها باید نشان‌دهنده‌ی آن باشد که سازه امکان تغییرمکان آزاد و بدون تأخیر را تحت اثر سطح زلزله حداکثر طراحی را خواهد داشت و تمام اجزایی که از سطح جداسازی عبور می‌کنند، به نحوی نصب شده‌اند که اجازه تغییرمکانهای مقید شده را خواهند داشت.
ج) سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای باید برنامه‌های مونیتورینگ، بازرسی و تعمیر و نگهداری داشته باشند تا سیستم جداسازی که توسط متخصص تأیید شده‌است به طور مداوم ارزیابی شود.
د) تغییر در ساختار سیستم جداساز و یا تعمیر و مقاوم‌سازی آن در سطح جداسازی، که مربوط به اجزائی است که از آن سطح عبور کرده‌اند، باید تحت نظارت و هدایت متخصصین انجام شود.



۳-۲-۴-۹ کنترل کیفیت

برنامه آزمایشی برای کنترل کیفیت اجزاء مختلف سیستم جداساز باید توسط گروه متخصصی که مسئولیت طرح یا اجرای این سیستم را بر عهده می‌گیرند انجام شود.

۳-۲-۵ سیستم سازه‌ای

۳-۲-۵-۱ توزیع افقی نیرو

یک دیافراگم افقی یا المان سازه‌ای دیگری باید برای تامین پیوستگی در بالای سطح جداسازی شده تعبیه شود و باید مقاومت و شکل‌پذیری کافی برای انتقال نیروهای ناشی از حرکت غیریکنواخت زمین را از بخشی به بخش دیگری از سازه داشته باشد.

۳-۲-۵-۲ جداسدگی ساختمان

حداقل جداسدگی بین سازه جداسازی شده و دیوارهای نگهدارنده و یا سایر موانع ثابت پیرامونی نباید کمتر از حداکثر تغییرمکان کل سازه باشد.

۳-۲-۵-۳ سازه‌های غیرساختمانی

سازه‌های غیرساختمانی باید براساس ضوابط موجود برای طرح لرزه‌ای سازه‌های غیرساختمانی طراحی و اجرا شوند. نیروها و تغییرمکان‌های طراحی این سازه‌ها می‌تواند از فصول ۴ و ۵ این گزارش استخراج شود.

۳-۲-۶ المان‌های سازه‌ای و اجزاء غیرسازه‌ای

بخش یا اجزاء یک سازه جداسازی شده، اجزاء غیرسازه‌ای دائمی و اتصالات آن‌ها، و اتصالات مربوط به تجهیزات ثابتی که توسط سازه نگهداری می‌شوند، باید برای مقاومت در برابر نیروها و تغییرمکان‌های زلزله که در این بخش بحث شده است و نیز ضوابط مربوط به طراحی اجزاء غیرسازه‌ای طراحی شوند.



۳-۲-۶-۱ اجزائی که رو یا بالای سطح جداسازی قرار دارند

المان‌های سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای و اجزاء غیر سازه‌ای یا قسمت‌هایی از آنها که رو یا بالای سطح جداسازی قرار می‌گیرند، باید برای تحمل نیروی جانبی لرزه‌ای کل برابر با حداکثر پاسخ دینامیکی المان یا جزء موردنظر طراحی شوند.

استثنا: المان‌های سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای و اجزاء یا قسمت‌های غیرسازه‌ای که براساس ضوابط موجود، برای مقاومت در برابر نیروها و تغییرمکان‌های لرزه‌ای طراحی شده باشند.

۳-۲-۶-۲ اجزائی که از سطح جداسازی عبور می‌کنند

المان‌های سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای و اجزاء غیرسازه‌ای، یا قسمت‌هایی از آنها که از سطح جداسازی عبور می‌کنند باید برای تحمل تغییرمکان حداکثر کل طراحی شوند.

۳-۲-۶-۳ اجزائی که زیر سطح جداسازی قرار دارند

المان‌های سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای و اجزاء غیرسازه‌ای، یا قسمت‌هایی از آنها که پائین‌تر از سطح جداسازی قرار دارند، باید براساس ضوابط موجود در این زمینه اجرا شوند.

۳-۳ حرکت زمین برای سیستم‌های جداسازی شده

۳-۳-۱ طیف طرح

روش‌های انتخاب و تعیین طیف پاسخ زمین برای مشخصات متفاوت زمین در آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ ایران ارائه شده‌است و برای استفاده برای ارزیابی هر سازه‌ای مجاز می‌باشد. برای سازه‌هایی که روی زمین‌های با خاک‌های رسی قرار دارند، تحلیل پاسخ زمین باید براساس حرکات پاسخ زمین تعیین شود. برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای در زمین‌های با S_1 بزرگتر-مساوی 0.6 ، آنالیز میزان خطرپذیری زمین باید براساس ضوابط موجود انجام شود. در سازه‌هایی که نیاز به تحلیل پاسخ زمین ندارند، می‌توان تحلیل را با استفاده از طیف طرح مبنای زلزله براساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، انجام داد.



۳-۳-۲ تاریخچه حرکت زمین

هرگاه از تاریخچه زمانی شتاب استفاده شود، حرکت زمین باید متشکل از هر دو مولفه افقی شتاب حرکت زمین باشد، با این شرط که در این مولفه‌ها، به جای استفاده از زمان تناوب‌های $0.2T$ و $1.5T$ از $0.5T_D$ و $1.25T_M$ استفاده شود، که T_D و T_M براساس بخش ۳-۴ تعیین می‌شوند.

۳-۴ انتخاب روش تحلیل

سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، به جز مواردی که در بخش ۳-۴-۱ معرفی می‌شوند، باید با استفاده از روش تحلیل دینامیکی مورد بحث در فصل ۵ تحلیل شوند.

۳-۴-۱ تحلیل استاتیکی (روش بار جانبی معادل)

روش بار جانبی معادل که در فصل ۴ معرفی شده‌است، برای طراحی سازه‌های جداسازی لرزه‌ای با شرایط زیر مناسب می‌باشد:

- ۱- سازه در زمینی با مقدار S_1 کوچکتر از 0.6 قرار داشته باشد.
- ۲- سازه در زمینی با خاک از نوع غیررسی قرار داشته باشد.
- ۳- ارتفاع روسازه که بالای سطح جداسازی قرار دارد از تراز پایه، h_n ، کمتر یا مساوی چهار طبقه یا 20 متر باشد.
- ۴- دوره تناوب موثر سازه جداسازی شده در تغییرمکان حداکثر، T_M ، کمتر-مساوی 3 ثانیه باشد.
- ۵- دوره تناوب موثر سازه جداسازی شده در تغییرمکان طرح، T_D ، بزرگتر از سه برابر مقدار دوره تناوب همین سازه با مشخصات الاستیک و پایه گیردار که براساس روابط تقریبی استاندارد 2800 ایران محاسبه می‌شود، باشد. در صورتیکه از مراجع بین‌المللی برای تخمین این دوره تناوب استفاده شود، می‌توان رابطه (۳-۵) و (۳-۶) را به کار برد.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (۳-۵)$$

$$T_a = 0.1N \quad (۳-۶)$$

در این روابط، h_n ، ارتفاع سازه و ضرایب C_t و x پارامترهای عددی برای تخمین دوره تناوب است که در جدول (۳-۳) آمده‌است. همچنین، N تعداد طبقاتی است که از روی تراز پایه تعریف شده‌است.



جدول (۳-۳) پارامترهای تخمینی دوره تناوب

Structure Type	C_t	x
Moment-resisting frame systems in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by components that are more rigid and will prevent the frames from deflecting where subjected to seismic forces:		
Steel moment-resisting frames	0.028 (0.0724) ^a	0.8
Concrete moment-resisting frames	0.016 (0.0466) ^a	0.9
Steel eccentrically braced frames in accordance with Table 12.2-1 lines B1 or D1	0.03 (0.0731) ^a	0.75
Steel buckling-restrained braced frames	0.03 (0.0731) ^a	0.75
All other structural systems	0.02 (0.0488) ^a	0.75

۶- روسازه دارای سازه‌ای منظم باشد.

۷- سیستم جداسازی معیارهای زیر را برآورده سازد:

الف) سختی موثر سیستم جداساز در تغییرمکان طرح، بزرگتر از یک-سوم سختی موثر در ۲۰٪ تغییرمکان طرح باشد.

ب) سیستم جداساز قادر به تولید نیروی بازگرداننده براساس ضوابط بند ۳-۲-۴ باشد.

ج) سیستم جداساز تغییرمکان مربوط به زلزله حداکثر را به کمتر از مقدار تغییرمکان حداکثر کل محدود نکند.

۳-۴-۲ تحلیل دینامیکی

تحلیل دینامیکی مورد بحث در فصب ۵ به شرح آنکه در این بخش بیان می‌شود، مجاز به استفاده خواهد بود.

۳-۴-۲-۱ روش طیف پاسخ

تحلیل به روش طیف پاسخ نباید برای طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای مورد استفاده قرار گیرد، مگر آنکه موارد زیر وجود داشته باشد:

۱- سازه در زمینی با خاک غیررسی قرار داشته باشد.

۲- سیستم جداساز ضوابط و معیارهای بند ۷ از مطالب بخش ۳-۴-۱ را برآورده سازد.

۳-۴-۲-۲ روش تاریخچه زمانی

استفاده از روش تاریخچه زمانی برای تحلیل تمامی سازه‌ها مجاز است و باید برای طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای که معیارهای بند ۳-۴-۱ را برآورده نمی‌سازد به کار رود.



۳-۵ کنترل طراحی

کنترل طراحی سیستم جداساز و مجموعه آزمونهای مرتبط باید توسط یک تیم تخصصی دارای صلاحیت و تجربه در تحلیل‌های لرزه‌ای و تئوری و کاربرد سیستم‌های جداساز انجام شود. در این کنترل موارد زیر باید رعایت شود ولی این کنترل‌ها نباید به این موارد محدود شود:

- ۱- کنترل معیارهای انتخاب مشخصه‌های لرزه‌ای زمین شامل طیف‌های ساختگاه و تاریخچه زمانی و تمام معیارهای طراحی مرتبط با شرایط خاص پروژه
- ۲- کنترل طرح اولیه شامل تعیین تغییرمکان طرح کل، تغییرمکان حداکثر کل و نیروهای جانبی در ترازهای مختلف

۳- مشاهدات و ارزیابی آزمون‌های شبیه‌سازی‌شده (فصل ۶)

۴- کنترل طرح نهائی سیستم سازه‌ای و تمام تحلیل‌های مرتبط با آن

۵- کنترل کیفیت برنامه آزمون‌های مربوط به سیستم جداساز (۳-۲-۴-۹)

فصل چهارم

روش بار جانبی معادل

۴-۱ کلیات

هرگاه استفاده از روش بار جانبی معادل برای تحلیل و طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای مورد نظر باشد، نیازهای این بخش باید مدنظر قرار گیرد.

۴-۲ مشخصه‌های تغییرشکل در سیستم جداساز

تغییرمکان‌ها و نیروهای طراحی برای حداقل زلزله جانبی بر روی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای باید بر مبنای مشخصه‌های تغییرشکلی سیستم جداساز باشد. اگر سیستم مقاوم در برابر باد وجود داشته باشد، مشخصه‌های تغییرشکلی سیستم جداساز باید به طور صریح در برگرنده اثرات این سیستم باشد. مشخصه‌های تغییرشکلی سیستم جداساز باید براساس آزمون‌های مرتبط مورد اشاره در بخش ۶ باشد.

۴-۳ تغییرمکان جانبی حداقل

۴-۳-۱ تغییرمکان طرح

سیستم جداساز باید برای تحمل حداقل تغییرمکان جانبی لرزه‌ای، D_D ، که در هر کدام از محورهای افقی سازه با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید، طراحی و اجرا شود:



$$D_D = \frac{g S_{DI} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (۱-۴)$$

که در آن:

g - شتاب ثقلی زمین، اگر D_D در واحد mm باشد، این شتاب با واحد (mm^2/s) وارد می‌شود.
 S_{D1} - پارامتر شتاب طیفی میراشده ۵ درصد، در دوره تناوب ۱ ثانیه، با واحد $g-s$ ، که براساس روابط (۲-۴) و (۳-۴) و براساس مقادیر محاسبه شده از روابط (۱-۳) و (۲-۳) تعیین می‌شود.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (۲-۴)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (۳-۴)$$

T_D - دوره تناوب موثر سازه جداسازی شده لرزه‌ای، در تغییرمکان طرح در راستای مورد بحث که براساس موارد بخش ۲-۴ و برحسب ثانیه تعیین می‌شود.

B_D - ضریب عددی متناظر با میرایی موثر سیستم جداساز در تغییرمکان طرح، β_D ، که براساس جدول ۱-۴ تعیین می‌شود.

جدول (۱-۴) ضرایب میرایی

Effective Damping, β_D or β_M (percentage of critical) ^{a,b}	B_D or B_M Factor
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

۲-۳-۴ دوره تناوب موثر در تغییرمکان طرح

دوره تناوب موثر سازه جداسازی شده در تغییرمکان طرح، T_D ، باید براساس مشخصات تغییرشکلی سیستم جداساز و رابطه (۴-۴) تعیین شود:



$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D \min} g}} \quad (4-4)$$

که در آن:

W - وزن موثر لرزه‌ای روسازه که براساس ضوابط مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ایران محاسبه می‌شود (kN)
 $k_{D \min}$ - حداقل سختی موثر سیستم جداساز در تغییرمکان طرح در راستای افقی مورد نظر که براساس معادله ۴-۶ تعیین می‌شود (kN/mm)

۴-۳-۳ حداکثر تغییرمکان

حداکثر تغییرمکان سیستم جداساز، D_M ، در بحرانی‌ترین راستای افقی باید از رابطه (۴-۵) محاسبه شود:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (5-4)$$

که در آن:

S_{M1} - پارامتر شتاب طیفی میراشده ۵ درصد در زلزله حداکثر، در دوره تناوب ۱ ثانیه، با واحد $g-s$ ، که براساس موارد بخش ۳-۲-۲ تعیین می‌شود.
 T_M - دوره تناوب موثر سازه جداسازی شده لرزه‌ای، در تغییرمکان حداکثر در راستای مورد بحث که براساس موارد بخش (۴-۴) و برحسب ثانیه تعیین می‌شود.
 B_M - ضریب عددی متناظر با میرایی موثر سیستم جداساز در تغییرمکان حداکثر، β_M ، که براساس جدول (۴-۴) (۱) تعیین می‌شود.

۴-۳-۴ دوره تناوب موثر در تغییرمکان کل

دوره تناوب موثر روسازه در حداکثر تغییرمکان، T_M ، باید براساس مشخصه‌های تغییرشکلی سیستم جداساز و با استفاده از رابطه (۴-۶) محاسبه شود:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M \min} g}} \quad (6-4)$$

$k_{M \min}$ - حداقل سختی موثر سیستم جداساز در تغییرمکان حداکثر در راستای افقی مورد نظر که براساس معادله (۴-۶) تعیین می‌شود (kN/mm)



۴-۳-۵ تغییر مکان کل

تغییر مکان طرح کل، D_{TD} ، و تغییر مکان حداکثر کل، D_{TM} ، المان‌های سیستم جداساز باید دربرگیرنده تغییر مکان‌های اضافی ناشی از پیچش تصادفی و اتفاقی باشد. این مقادیر از محاسبات مرتبط با توزیع سه بعدی سختی جانبی سیستم جداساز و موقعیت‌های نامناسب جرم‌های متمرکز حاصل می‌شود.

تغییر مکان طرح کل، D_{TD} ، و تغییر مکان حداکثر کل، D_{TM} ، المان‌های سیستم جداساز با توزیع یکنواخت سختی جانبی، نباید کمتر از مقادیر بدست آمده از روابط (۷-۴) و (۸-۴) در نظر گرفته شوند:

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (۷-۴)$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (۸-۴)$$

که در آن:

y - فاصله بین مرکز سختی سیستم جداساز و المان مورد نظر که در جهت عمود بر راستای اعمال بار لرزه‌ای مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود.

e - خروج از مرکزیت واقعی بین مرکز جرم روسازه و مرکز سختی سیستم جداساز (روی پلان) به علاوه خروج از مرکزیت ناشی از پیچش که برابر با ۵ درصد بلندترین طول سازه عمود بر راستای اعمال بار لرزه‌ای مورد نظر تعیین می‌شود.

d - بلندترین طول در پلان سازه.

b - کوتاهترین طول در پلان سازه که عمود بر d است.

استثناء: در صورتیکه با استناد به محاسبات بتوان اثبات کرد که سیستم جداساز قادر به تحمل پیچش خواهد بود، تغییر مکان طرح کل، D_{TD} ، و تغییر مکان حداکثر کل، D_{TM} ، می‌توانند کمتر از مقادیر بدست آمده در روابط (۷-۴) و (۸-۴) انتخاب شوند ولی مقادیرشان نباید به ترتیب از $1.1D_D$ و $1.1D_M$ کمتر باشد.



۴-۴ حداقل نیروهای جانبی

۴-۴-۱ سیستم جداساز و المان‌های سازه‌ای که زیر سیستم جداساز قرار دارند

سیستم جداساز، پی و تمام المان‌های سازه‌ای که زیر آن قرار می‌گیرند باید برای تحمل حداقل نیروی جانبی زلزله، V_b ، طراحی و اجرا شوند. این نیرو براساس ضوابط مربوط به سازه‌های غیر جداسازی شده و با استفاده از رابطه (۹-۴) تعیین می‌شود.

$$V_b = k_{Dmax} D_D \quad (۹-۴)$$

که در آن k_{Dmax} حداکثر سختی موثر سیستم جداساز در تغییرمکان طرح در راستای افقی مورد نظر است که براساس رابطه (۳-۶) تعیین می‌شود (kN/mm)
 V_b نباید کمتر از حداکثر نیروی بوجود آمده در سیستم جداساز در هر تغییرمکانی کمتر-مساوی تغییرمکان طرح انتخاب شود.

۴-۴-۲ المان‌های سازه‌ای بالای سیستم جداساز

روسازه باید برای مقاومت در برابر حداقل نیروی برشی، V_s ، طراحی و اجرا شود. این نیرو، با استفاده از ضوابط مربوط به اجزاء جداسازی نشده و به شرح رابطه (۱۰-۴) تعیین می‌شود:

$$V_s = \frac{k_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (۱۰-۴)$$

که در آن، R_I ضریب عددی مربوط به نوع سیستم مقاوم در برابر نیروی زلزله برای سازه بالای سیستم جداساز است. این ضریب برابر با $\frac{3}{8}$ مقدار R تعیین شده در جدول سیستم‌های ساختمانی استاندارد ۲۸۰۰ ایران است و مقدار آن نباید از ۱ کمتر و از ۲ بیشتر باشد.

۴-۴-۳ محدودیت‌های V_s

مقدار V_s نباید از مقادیر زیر کمتر انتخاب شود:

- ۱- نیروی جانبی زلزله مورد نیاز برای سازه‌ای با وزن موثر یکسان، W و دوره تناوبی برابر با دوره تناوب جداسازی شده، T_D ، که با پایه گیردار مدل شده و نیروی جانبی زلزله آن براساس روابط پایه محاسبه برش زلزله ($V=C.W$) محاسبه شده‌است، تعیین می‌شود.
- ۲- برش پایه متناظر با بار باد طراحی ضریب‌دار.



۳- نیروی جانبی زلزله مورد نیاز برای فعال شدن کامل سیستم جداساز (به عنوان مثال حد تسلیم یک سیستم نرم شوند، حد نهایی یک سیستم مقاوم در برابر باد، یا سطح حذف اصطکاک یک سیستم لغزنده) که در ضریب ۱/۵ ضرب شده‌باشد.

۴-۵ توزیع قائم نیرو

نیروی برشی V_s باید در ارتفاع سازه بالای سطح جداسازی شد با استفاده از معادله (۴-۱۱) توزیع شود:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (4-11)$$

که در آن:

F_x - بخشی از V_s که به تراز ارتفاعی x تخصیص یافته است

w_x - بخشی از وزن W که به تراز ارتفاعی x تخصیص یافته است

h_x - ارتفاع تراز ارتفاعی x از تراز پایه

در هر تراز ارتفاعی که با x معرفی می‌شود، نیرو، F_x ، باید بر ناحیه‌ای که جرم طبقه در آن توزیع شده‌است، اختصاص داده شود.

۴-۶ محدودیت‌های تغییرمکان طبقه

حداکثر تغییرمکان طبقه برای روسازه نباید از $0.15h_{sx}$ بیشتر باشد. این تغییرمکان برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، باید براساس رابطه (۴-۱۲) و با مقدار C_d برابر با R_1 که در بخش ۴-۴-۲ تعیین گردید، محاسبه شود.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (4-12)$$

در این رابطه، δ_x تغییرمکان در موضع مورد نظر است که با حل الاستیک حاصل شده و I_e ضریب اهمیت است.

فصل پنجم

تحلیل دینامیکی

۱-۵ کلیات

هرگاه تحلیل دینامیکی برای طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای مورد نیاز باشد، ضوابط این بخش باید رعایت شود.

۲-۵ مدل سازی

مدل‌های ریاضی ساخته شده از سازه‌های جداسازی شده، دربرگیرنده سیستم جداساز، سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی، و سایر المان‌های سازه‌ای باید منطبق بر نیازهای آئین‌نامه‌ای استانداردهای ملی بوده و نیازهای بخش‌های ۱-۲-۵ و ۲-۲-۵ را نیز برآورده سازد.

۱-۲-۵ سیستم جداساز

سیستم جداساز باید با استفاده از مشخصه‌های تغییرشکلی که براساس ضوابط بخش (۲-۴) از آزمایش حاصل شده‌اند، مدلسازی شود. سیستم جداساز باید با جرئیات کافی به نحوی مدل شود که امکانات زیر فراهم شود:
الف) محاسبه توزیع سه بعدی واحدهای جداساز



ب) محاسبه تغییرمکان در هر دو جهت افقی و پیچش روسازه با در نظر گرفتن خروج از مرکزیت‌های نامناسب جرم نسبت به سختی

ج) دستیابی به نیروهای بیرون کشش و واژگونی وارد شده بر هر جزء از اجزاء جداساز

د) بررسی تأثیرات بار قائم، بارهای جانبی در هر دو جهت افقی، و یا نرخ بارگذاری (اگر مشخصات تغییرشکلی جداساز به آن وابسته باشد) بر روی پارامترهایی که در بندهای الف تا ج مطرح شد

تغییرمکان طرح کل و حداکثر کل در سیستم جداساز باید با استفاده از یک مدل از سازه جداسازی شده که مشخصه‌های بار-تغییرشکل المان‌های غیرخطی سیستم جداساز و سیستم مقاوم در برابر بار لرزه‌ای را به کار می‌برد، محاسبه شود.

۲-۲-۵ سازه جداسازی شده

تغییرمکان حداکثر هر طبقه و تغییرمکان‌ها و نیروهای طراحی را می‌توان با استفاده از مدل الاستیک خطی سازه جداسازی شده محاسبه کرد، اگر دو شرط زیر برآورده شوند:

۱- مشخصات سختی فرض شده برای اجزاء غیرخطی سیستم جداساز براساس سختی موثر حداکثر سیستم جداساز باشد.

۲- تمام اجزاء سیستم مقاوم در برابر بار لرزه‌ای روسازه در زلزله طرح الاستیک باقی بمانند.

سیستم مقاوم در برابر بار لرزه‌ای با المان‌های الاستیک، در برگیرنده (و نه محدود به) سیستم‌های سازه‌ای غیرمنظمی است که برای یک بار جانبی بیشتر-مساوی ۱۰۰ درصد V_s طراحی می‌شوند و سیستم‌های سازه‌ای منظمی است که برای یک بار جانبی بیشتر-مساوی ۸۰ درصد V_s طراحی می‌شوند. مقدار V_s در بخش ۴-۴-۲ تعیین گردید.

۳-۵ روند تحلیل دینامیکی

۱-۳-۵ کلیات

طیف پاسخ و طیف تاریخچه زمانی باید براساس مطالب ضوابط این بخش و مطالب مرتبط در استاندارد ۲۸۰۰ ایران تعیین شوند.



۵-۳-۲ زلزله مورد نظر

حرکت‌های زمین تحت اثر زلزله طرح باید برای محاسبه تغییرمکان طرح کل سیستم جداساز و نیروها و تغییرمکان‌های جانبی بوجود آمده در سازه جداسازی‌شده به کار روند. زلزله حداکثر مورد نظر نیز باید برای محاسبه تغییرمکان حداکثر کل سیستم جداساز به کار رود.

۵-۳-۳ روش طیف پاسخ

تحلیل طیف پاسخ باید با استفاده از مقدار میرائی مودال برای مود اصلی در جهت مورد نظر انجام شود. این میرائی نباید از حداقل مقدار بین میرائی موثر سیستم جداساز یا ۳۰ درصد میرائی بحرانی آن، بزرگتر انتخاب شود. مقدار میرائی مودال برای مودهای بالاتر باید سازگار با شرایطی باشد که برای تحلیل طیف پاسخ روسازه با فرض پایه گیردار مناسب است.

تحلیل طیف پاسخ برای تعیین تغییرمکان طرح کل و تغییرمکان حداکثر کل باید به طور همزمان تحریک مودال با ۱۰۰ درصد حرکت زمین در راستای بحرانی و ۳۰ درصد حرکت زمین در راستای متعامد آن (هر دو راستای افقی) را دربر بگیرد. حداکثر تغییرمکان سیستم جداساز باید با جمع برداری تغییرمکان‌ها در راستاهای متعامد محاسبه شود.

برش طراحی در هر طبقه نباید کمتر از برش طبقه حاصل از توزیع نیروی افقی در ارتفاع با استفاده از رابطه (۴-۱۱) و کمتر از مقدار V_s برابر با برش پایه که از تحلیل طیف پاسخ در راستای دلخواه حاصل شده‌است، باشد.

۵-۳-۴ روش تاریخچه زمانی

هرگاه روش تاریخچه زمانی برای تحلیل به کار رود، مجموعه‌ای از سه زوج با بیشتر از حرکت‌های زمین باید انتخاب و براساس بخش ۳-۳-۲ مقیاس شود.

هر زوج از مولفه‌های حرکت زمین باید به طور همزمان به مدل وارد شود. در این مدل، باید اثر خروج از مرکزیت نامناسب مرکز جرم و سختی نیز دیده شود. حداکثر تغییرمکان سیستم جداساز باید از جمع برداری تغییرمکان‌ها در دو راستای متعامد در هر گام بارگذاری محاسبه شود.

پارامترهای مورد نظر باید برای هر حرکت زمین که برای تحلیل تاریخچه زمانی به کار رفته‌است، محاسبه شود. اگر هفت زوج و یا بیشتر از حرکات زمین در این تحلیل به کار روند، مقدار میانگین پارامتر پاسخ مورد نظر می‌تواند برای طراحی به کار رود. اگر کمتر از هفت زوج حرکت زمین مورد استفاده قرار گیرد، از حداکثر مقدار پارامتر پاسخ باید برای طراحی استفاده کرد.



۵-۴ حداقل نیروها و تغییرمکان‌های جانبی

۵-۴-۱ سیستم جداساز و المان‌های سازه‌ای که در زیر سیستم جداساز قرار می‌گیرند

سیستم جداساز، پی و تمام المان‌های سازه‌ای که زیر سیستم جداساز قرار می‌گیرند، باید با استفاده از تمام ضوابط متناظر برای سازه‌های جداسازی نشده و با نیروهای بدست آمده از تحلیل دینامیکی بدون اعمال کاهش در آنها، طراحی شوند، ولی نیروی جانبی طراحی نباید کمتر از ۹۰ درصد نیروی برشی V_b حاصل از رابطه (۹-۴) در نظر گرفته شود.

تغییرمکان طراحی کل سیستم جداساز نباید کمتر از ۹۰ درصد مقدار D_{TD} که براساس بخش ۴-۳-۵ تعیین شده است، انتخاب شود. حداکثر تغییرمکان کل سیستم جداساز نباید کمتر از ۸۰ درصد D_{TM} که در بخش ۴-۳-۵ تعیین شد، انتخاب شود.

محدودیت‌های تغییرمکان که در این بخش تشریح می‌شود، باید با داشتن مقادیر D_{TD} و D_{TM} ارزیابی شوند، فقط لازم است در روابط بخش (۵-۴) در این زمینه، به جای D_D از D'_D و به جای D_M از D'_M استفاده شود. این دو پارامتر از روابط (۱-۵) و (۲-۵) محاسبه می‌شوند:

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + (T/T_D)^2}} \quad (1-5)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + (T/T_M)^2}} \quad (2-5)$$

که در آن، T دوره تناوب روسازه با فرض الاستیک بودن و پایه گیردار است که براساس روابط بخش ۳-۴-۱ محاسبه می‌شود.

۵-۴-۲ المان‌های سازه‌ای بالای سیستم جداساز

المان‌های سازه‌ای بالای سیستم جداساز باید با استفاده از ضوابط متناسب برای سازه‌های جداسازی نشده و نیروهای حاصل از تحلیل دینامیکی که با ضریب R_1 کاهش داده شده‌اند، طراحی شوند. نیروی برشی جانبی طراحی بر روی روسازه، به شرط منظم بودن سازه، نباید کمتر از ۸۰ درصد V_s یا کمتر از محدودیت‌های مندرج در بند ۴-۴-۳ انتخاب شود.



استثنا: نیروی برشی جانبی در روسازه، به شرط منظم بودن و به شرط استفاده از روش تاریخچه زمانی در تحلیل دینامیکی، می‌تواند کمتر از ۸۰ درصد و نه کمتر از ۶۰ درصد نیروی برشی V_s ، انتخاب شود. نیروی برشی جانبی طراحی روسازه، در صورتیکه نامنظم باشد، نباید کمتر از V_s و کمتر از محدودیت‌های مندرج در بخش ۴-۴-۳ باشد.

استثنا: نیروی برشی جانبی طراحی روسازه، در صورتیکه نامنظم باشد و به شرط استفاده از روش تاریخچه زمانی در تحلیل دینامیکی، می‌تواند کمتر از ۱۰۰ درصد ولی نه کمتر از ۸۰ درصد V_s انتخاب شود.

۳-۴-۵ مقیاس بندی نتایج

هرگاه نیروی برشی جانبی ضریب‌دار روی المان‌های سازه‌ای، که از روش تحلیل طیفی و یا تاریخچه زمانی بدست آمده‌است، کمتر از مقادیر حداقل بدست آمده از ۵-۴-۱ و ۵-۴-۲ باشد، تمام پارامترهای پاسخ باید به طور متناسب افزایش داده شوند:

۴-۴-۵ محدودیت‌های تغییر مکان طبقه

حداکثر تغییر مکان طبقه متناظر با نیروهای جانبی طراحی با در نظر گرفتن تغییر مکان ناشی از تغییر شکل قائم سیستم جداساز نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

- ۱- حداکثر تغییر مکان طبقه روسازه محاسبه شده با استفاده از طیف پاسخ نباید از $0.15h_{sx}$ تجاوز کند.
 - ۲- حداکثر تغییر مکان طبقه روسازه محاسبه شده با استفاده از روش طیف پاسخ براساس مشخصات نیرو-تغییر شکل المان‌های غیرخطی سیستم مقاوم در برابر بار لرزه‌ای نباید از $0.2h_{sx}$ تجاوز کند.
- تغییر مکان طبقات باید با استفاده از رابطه (۴-۱۲) و با جایگزینی R_1 با Cd محاسبه شود. اثرات مرتبه دوم تغییر مکان جانبی مربوط به حداکثر زلزله بر روی روسازه در ترکیب با نیروهای ثقلی، در صورتیکه نسبت تغییر مکان طبقه از $0.10/R_1$ تجاوز نماید، باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

فصل ششم

مسائل اجرایی

۶-۱ معرفی

در فصول پیشین، تئوری‌های مرتبط با طراحی ساختمان‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای مطرح شد. برخی از مطالب مرتبط با به کارگیری و استفاده از این جداسازها، که ممکن است در پروژه‌های مختلف رخ دهد، در این بخش به بحث گذاشته می‌شود. بر همین اساس، اصول مرتبط با تصمیم‌گیری در مورد جایابی جداسازها و موقعیت و نوع آنها و نیز ابزارهای مورد نیاز در کنار آنها، در ابتدای فصل ارائه خواهد شد. در ادامه، به ورودی لرزه‌ای^{۴۰} که از اهمیت بسیار زیادی در جداسازهای لرزه‌ای برخوردار است اشاره می‌شود و در انتها، به روش‌های تحلیل و طراحی سازه، طراحی اتصالات و ملاحظات خاص، پرداخته می‌شود.

⁴⁰ - Seismic Input



۶-۲ موقعیت و نوع جداسازهای لرزه‌ای

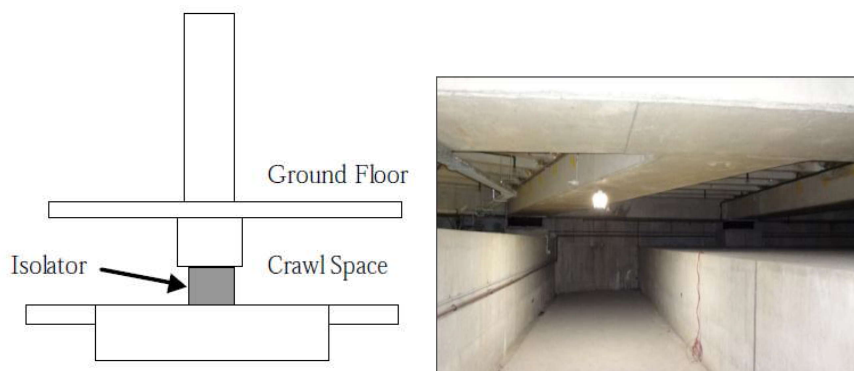
۶-۲-۱ انتخاب جانمایی جداسازها در ساختمان‌ها

جانمایی جداسازها، بسته به اینکه در سازه‌های ساختمانی، سازه‌های معماری، پل‌ها یا سازه‌های غیرساختمانی موارد به کار می‌روند، متفاوت است. در این بخش، به طور خاص بر روی جانمایی جداسازها در سازه‌های ساختمانی پرداخته می‌شود.

اصلی‌ترین نیاز در نصب یک سیستم جداساز این است که ساختمان بتواند نسبت به زمین، حرکت افقی حداقل برابر با ۱۰۰ میلی‌متر را داشته باشد، که این مقدار در برخی موارد حتی به ۱ متر نیز رسیده‌است. پلان‌های جداسازی برای تامین چنین تغییرمکانی باید در نظر گرفته شود. هرچند تصمیم نهائی در خصوص این پلان به سازه ساختمانی مرتبط است ولی، موارد حائز اهمیت دیگری نیز وجود دارند که در ادامه (بخش ۶-۶) تشریح می‌شوند.

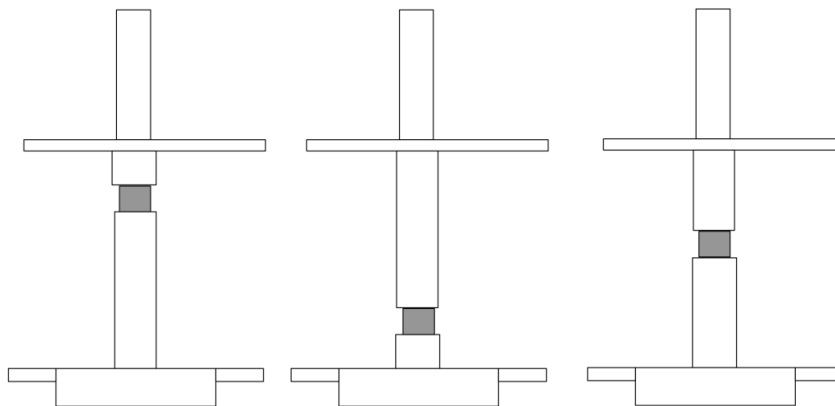
مرسوم‌ترین ساختار پیشنهادی این است که یک دیافراگم بلافاصله بالای سیستم جداساز تعبیه شود، بدین ترتیب، بارهای زلزله می‌تواند در آن دیافراگم متمرکز شده و سپس در اجزاء زلزله به نسبت سختی توزیع شوند. برای ساختمانی بدون زیرزمین، جداسازها در تراز روی فونداسیون نصب می‌شوند و سازه روی آن اجرا می‌شود (شکل ۶-۱). فاصله سیار^{۴۱} معمولاً به قدری بلند در نظر گرفته می‌شود که نظارت و تعمیر و بازسازی جداسازها میسر باشد، این ارتفاع در حدود ۱/۲ تا ۱/۵ متر توصیه می‌شود. در شکل (۶-۱) نمونه‌ای از این فضای ایجاد شده در یک پروژه عملی دیده می‌شود. باید توجه داشت که در فاصله قائمی (سیار) که برای جداساز تعبیه می‌شود، مسائلی از قبیل تغییر شکل‌های بلند مدت ناشی از خزش در جداساز، تغییر شکل‌های ناشی از تغییر دما، تغییر شکل‌های قائم ناشی از نوسانات جانبی سازه و ملاحظات مربوط به نصب و نگهداری در نظر گرفته شود که در عمل مورد آخر تعیین کننده است.

⁴¹ - Crawl



شکل (۱-۶) ساختمان بدون زیر زمین

در ساختمان‌های دارای زیرزمین، گزینه‌هایی برای نصب جداسازها در بالا، پایین و یا میانه ستون‌ها و دیوارهای زیرزمین وجود دارد (شکل ۲-۶). در شرایطی که جداساز در قسمت فوقانی یا تحتانی ستون/دیوار نصب خواهد شد، المان ستون/دیوار باید برای ممان خمشی طره ناشی از نیروی برشی جداساز طراحی شود. به همین دلیل، سطح مقطع قابل توجهی برای این المان مورد نیاز است که در برخی موارد نیاز به تعبیه پدستال^{۴۲} برای تحمل نیروها خواهد بود.



شکل (۲-۶) نصب در زیر زمین

⁴² - Pilaster



تعبیه جداساز در وسط ستون/دیوار این مزیت را خواهد داشت که نیروها در دو ناحیه فوقانی و تحتانی تقسیم می‌شوند، اگرچه در این شرایط اثر $P-\Delta$ وارد محاسبات می‌شود که در ادامه در بخش (۶-۵) بررسی خواهد شد.

در صورتیکه در ساختمان‌های دارای زیرزمین، برای انتخاب صحیح از نوع جداساز و سختی آن، توجه مناسبی به عمل آید، می‌توان نیازهای المان‌های سازه‌ای را به حداقل رساند. به عنوان مثال، در صورت استفاده از سیستم LRB، در محل اتصالات گوشه دیوارها، استفاده از هسته‌های بزرگ برای جداساز مناسب می‌باشد، چون این نواحی مقاومت بیشتری در برابر نیروهای زلزله دارند. حال آنکه، المان‌های آسیب‌پذیرتر، از جمله ستون‌های میانی، را می‌توان با جداسازهایی به هسته‌های کوچکتر و یا حتی بدون هسته تجهیز کرد. از آنجا که با وجود دیافراگم، تغییرمکان یکسانی در تمام جداسازها ایجاد می‌شود، بنابراین نیرو در ستون‌های میانی به شدت کاهش خواهد یافت.

در صورتیکه المان‌های زیر سطح جداسازی، انعطاف‌پذیر هستند، ممکن است نیاز به اصلاح عملکرد سیستم جداسازی باشد، زیرا تغییرمکانی بیشتر از تغییرمکان جداساز، در آن المان‌ها رخ خواهد داد. این اعضا باید در مدلسازی سازه‌ای مدنظر قرار گیرند.

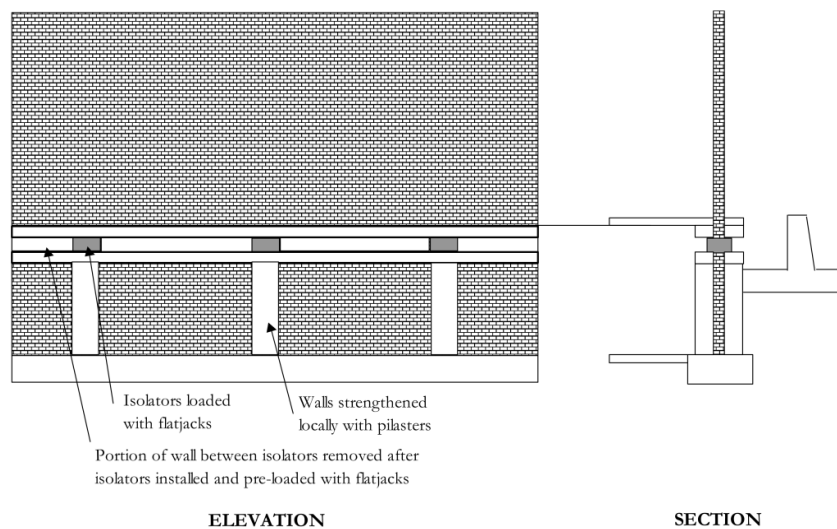
انتخاب پلان جانمایی جداسازها برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود، روندی همانند روند مطرح‌شده برای ساختمان‌های جدید خواهد داشت ولی معمولاً در این شرایط، محدودیت‌هایی وجود خواهد داشت. همچنین، علاوه بر جانمایی، مقاوم‌سازی المان‌های متأثر از حضور جداساز لرزه‌ای، از جمله لنگرهای خمشی مرتبه دوم، عملکرد دیافراگمی در سطح فوقانی جداسازها و ظرفیت زیرسازه در تحمل حداکثر نیروهای جداساز، باید مورد توجه قرار گیرد. در شکل (۶-۳) برخی از این موارد به طور شماتیک نشان داده شده‌است و پیش‌بینی می‌شود در تمام پروژه‌های مقاوم‌سازی، حداقل برخی از این موارد، مواجه شود.

علاوه بر این، توجه به این نکات ضروری است:

۱- جداسازها باید به سازه موجود متصل شوند و سازه موجود باید برای نصب جداسازها، در برخی موارد به طور موضعی تخریب شود. در نصب جداسازها روی ستون، نیاز به تامین مهارهای موقت برای مقاومت در برابر بار ستون‌ها می‌باشد، همچنین، در سازه‌های دیواری، ممکن است بتوان بازشوه‌های در دیوار تعبیه کرد تا نصب جداساز صورت بگیرد و سایر فضای دیوار، بار وارده را متحمل شود. دیوار بین جداسازها، پس از نصب جداساز از میان برداشته خواهد شد.



۲- بار ثقیلی باید روی جداسازها توزیع شود. معمولاً این امر با استفاده از جک های مسطح^{۴۳}، که کپسول های هیدرولیکی هستند که به شکل دو نعلبکی تخت روی هم قرار گرفته در آمده اند، انجام می شود. ورق های فشاری لغزنده^{۴۴} در بالا و پایین تعبیه می شوند (شکل ۶-۴). ورق های بالا و پائین با اعمال نیروی هیدرولیکی از هم دور می شوند. این فشارهای هیدرولیکی می تواند با استفاده از روغن انجام شود ولی در بسیاری از پروژه های جداسازی، گروت اپوکسی در جک ها استفاده می شود و جک ها به طور دائم در محل باقی می ماند.



ELEVATION

SECTION

شکل (۶-۳) مفاهیم نصب سیستم مقاوم سازی

۳- برای نصب جداسازها در دیوارها، دیوار باید در بالا و پائین جداساز مقاوم سازی شود تا اثر لنگرهای مرتبه اول و دوم، برطرف شود. در این شرایط اغلب از تیرهای بتنی پیش ساخته غیرمشغوری^{۴۵} که در بالا و پائین هر دو وجه دیوار موجود، نصب و مهار شده اند، استفاده می شود. این تیرها با استفاده از میله های پیش تنیده نصب می شوند.

⁴³ - Flat jack

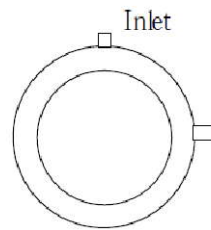
⁴⁴ - Thrust plates

⁴⁵ - Needle beam



۴- دیوارهای موجود باید برای انتقال لنگر خمشی حاصل از نیروی جداساز به المان‌های فونداسیون نیز مقاوم‌سازی شود که در این شرایط، نیاز به پدستال وجود خواهد داشت.

۵- روسازه، باید بتوان به طور آزادانه در حد حداکثر تغییرمکان مورد نیاز که بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و حتی بیشتر هست، تغییرمکان بدهد. این مسئله نیازمند آن است که یک خندق^{۴۶} پیرامون ساختمان ایجاد شود و همچنین، ممکن است بر انتخاب پلان جانمایی جداسازها متاثر باشد زیرا نصب جداساز در زیر دیوارهای زیرزمین، نیازمند دیوارهای باربر عمیقی است که بتواند این جابجایی را تامین کند.



PLAN



Before Pressurizing



After Pressurizing

شکل (۴-۶) جک مسطح

۶-۲-۲ انتخاب نوع جداساز

در انتخاب جداساز، هیچ‌کدام از انواع آن‌ها ارجحیت نخواهد داشت، به همین دلیل، در ادامه برخی از جداسازهای موجود با خلاصه‌ای مشخصات، مزایا و معایب آنها تشریح می‌شود. براساس اهداف و محدودیت‌های هر پروژه‌ای، لازم است جداسازهای به نوعی انتخاب شوند که نیازهای پروژه مرتفع شود.

⁴⁶ - Moat



۶-۲-۱ ترکیب انواع جداساز با ابعاد متفاوت

در اغلب پروژه‌ها از یک نوع جداساز استفاده می‌شود، حال آنکه جداسازهای با تکیه‌گاه‌های لغزنده^{۴۷} به طور متداول همراه با جداسازهای سرب-لاستیکی^{۴۸} یا جداسازهای الاستومری با میرائی بالا^{۴۹} به کار می‌روند. همانطور که در ادامه بیان خواهد شد، جداسازهای با تکیه‌گاه‌های لغزنده ائتلاف انرژی زیادی را ایجاد می‌کند و می‌تواند در مقابل بارهای زیاد فشاری مقاومت نماید و در زمان ایجاد کشش، امکان بلند شدگی^{۵۰} را بوجود می‌آورد، ولی در مقابل، اصطکاک آن مانع از ایجاد نیروی بازدارنده می‌گردد. اگر این جداسازها، در ترکیب با جداسازهای تکیه‌گاهی که امکان ایجاد نیروی بازدارنده را دارند به کار رود، این عیب برطرف خواهد شد. روش‌های مطرح‌شده در آیین نامه UBC می‌تواند برای تعیین نسبت دو نوع از تکیه‌گاه‌ها به کار رود. یک قانون سرانگشتی این است که ۳۰ درصد جرم لرزه‌ای توسط جداسازهای با تکیه‌گاه‌های لغزنده و مابقی آن، توسط LRBها و HDRها تحمل شود. متداولترین کاربرد جداسازهای با تکیه‌گاه‌های لغزنده، در شرایطی است که دیوار برشی نیروی واژگونی زیادی ایجاد می‌کند. همچنین، این جداساز می‌تواند به طور کاملاً موثری در برابر نیروهای فشاری قابل توجه بوجود آمده در دیوار مقاومت نموده و به لبه کششی دیوار نیز، اجازه بلندشدگی (uplift) بدهد.

برای اغلب جداسازهای تکیه‌گاهی، مساحت فضای به‌کارگرفته‌شده توسط جداساز با افزایش بار فشاری افزایش می‌یابد، ولی، ارتفاع جداساز (در جداسازهای LRB و HDR) و یا شعاع (در جداسازهای FPS) بدون توجه به مقدار بار قائم، ثابت در نظر گرفته خواهد شد، زیرا تمام جداسازها تحت اثر تغییرمکان یکسانی قرار خواهند گرفت. بدین ترتیب، پلان جداسازها می‌تواند براساس بار قائم متحمله تعیین شود، در عمل، سعی می‌شود در یک پروژه، از جداسازهایی با یک اندازه یا در دو اندازه متفاوت استفاده شود، که دلیل این امر، عبارتست از:

۱- در اغلب کاربری‌های تعریف‌شده برای جداسازها، دو نمونه جداساز به عنوان نمونه آزمایشگاهی برای انجام آزمون بر روی آن‌ها مورد نیاز است. این جداسازهای نمونه صرفاً برای ارزیابی آزمایشگاهی به کار می‌روند و در سازه به کار نخواهند رفت. اگر اندازه جداساز برای موقعیت‌هایی که دارای بار قائم کمتری هستند کاهش داده شده باشد، هزینه ذخیره شده از این بابت، به اندازه‌ای نیست که بتوان جداسازهای نمونه

⁴⁷ - Sliding bearing

⁴⁸ - Lead rubber

⁴⁹ - High damping rubber bearing

⁵⁰ - Uplift



را ساخت و آزمایش کرد. در صورتیکه کمتر از ۲۰ عدد جداساز از یک اندازه در پروژه استفاده شده باشد، ممکن است صرفه اقتصادی در این باشد که این جداسازها به جداسازهایی با اندازه بزرگتر تبدیل شود. ۲- برای نواحی با خطر لرزه‌خیزی بالا، حداقل اندازه جداسازهای LRB یا HDR برای تامین پایداری تحت اثر حداکثر تغییرمکان جانبی مورد نیاز است. از آنجاکه تمام جداسازها یک تغییرمکان را تجربه خواهند کرد، بار قائم کاهش‌یافته ممکن است در کاهش اندازه جداساز تاثیر چندانی نداشته باشد. برای تصمیم‌گیری در خصوص تعداد و اندازه جداسازها، به نظر می‌رسد استفاده از روند طراحی مناسب باشد. در این حالت، موقعیت جداسازها براساس بار قائم حداکثر مرتب می‌شود و سپس، براساس تعداد کل جداسازها، به ۲، ۳ یا بیشتر گروه دسته بندی می‌شوند. این جداسازها ابتدا براساس اندازه یکسان برای هر گروه و سپس، براساس حداقل ابعاد جداساز طراحی می‌شوند. با کنترل حجم کل مورد نیاز برای هر کدام از دو حالت، با در نظر گرفتن جداسازهای نمونه، ارزیابی اقتصادی روی کل حجم حاصله انجام می‌شود تا گروه‌بندی با صرفه اقتصادی بیشتر تعیین شود.

۶-۲-۲-۲-۶ جداسازهای با تکیه‌گاه الاستومری

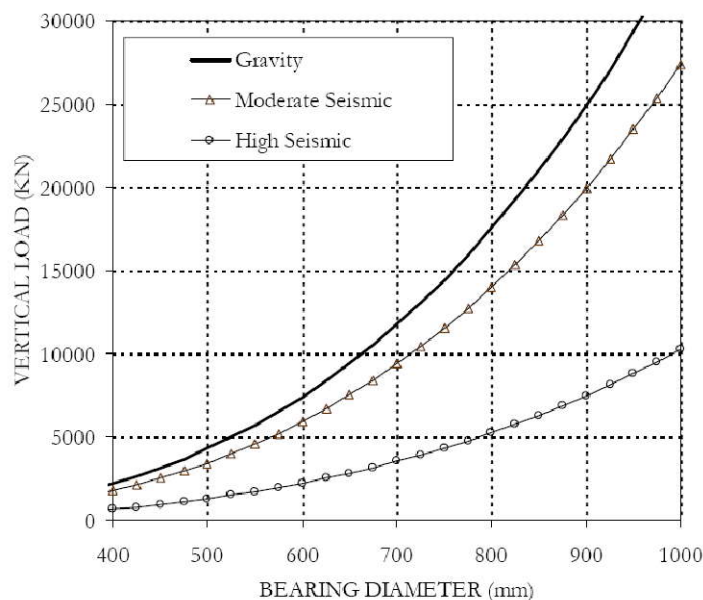
یک جداساز لرزه‌ای با تکیه‌گاه الاستومری از لایه‌های متعددی از الاستومر و ورق‌های نازک فولادی که برای تشکیل یک واحد یکپارچه بهم تنیده شده‌اند، تشکیل شده‌است. لایه‌های الاستومری معمولاً ضخامتی بین ۸ تا ۲۰ میلی‌متر دارند که با ورق‌های فولادی به ضخامت ۲ یا ۳ میلی‌متر از هم جدا شده‌اند. ورق‌های فولادی از تقعر بیش از حد لایه‌های الاستومری جلوگیری می‌کند و سبب می‌شود که این جداساز بتواند بارهای ثقلی زیاد را با تغییرمکان قائم بسیار کم (در حدود ۱ تا ۳ میلی‌متر در وضعیت حداکثر بار وارده) تحمل نماید. این ورق‌ها، تغییرمکان افقی را محدود نمی‌نمایند و لذا، جداساز تحت بارهای جانبی نسبت به بارهای ثقلی، بسیار انعطاف‌پذیرتر است، که این انعطاف‌پذیری حداقل در حدود ۲ برابر خواهد بود.

جداسازهای با تکیه‌گاه الاستومری به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به ویژه در پل‌ها، و نمونه‌های به کار گرفته شده نشان داده‌اند که این جداسازها در طول ۵۰ سال، بازدهی خوبی داشته‌است. این جداسازها وسیله مناسبی برای تامین انعطاف‌پذیری مورد نیاز جداساز لرزه‌ای خواهد بود.

لایه‌های الاستومری این جداسازها از لاستیک‌های طبیعی و یا مصنوعی (همانند نیوپرن)، که میرائی ذاتی کمی در حدود ۲ تا ۳ درصد میزان میرائی ویسکوز بحرانی دارند، ساخته می‌شود. این لاستیک‌ها همچنین در تمام سطوح کرنش انعطاف‌پذیر هستند و مقاومتی در برابر تغییرمکان‌های بارهای سرویس نخواهند داشت.



بنابراین، برای کاربرد جداسازی، این جداسازها به همراه ترکیبات الاستومری ویژه‌ای (تکیه‌گاه‌های الاستومری با میرایی بالا) یا سایر ابزارها (از جمله جداسازهای سرب-لاستیکی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، ظرفیت بار یک جداساز با تکیه‌گاه الاستومری در یک حالت تغییر شکل نیافته، تابعی از ابعاد سطح مقطع و ضخامت لایه‌هاست. هرگاه تغییر مکان برشی به جداساز وارد شود، ظرفیت باربری به دلیل وارد آمدن کرنش برشی به الاستومر و کاهش سطح مقطع موثر جداساز، کاهش می‌یابد. در شکل (۵-۶) نمونه‌ای از ظرفیت باربری این جداساز با لاستیک نسبتاً نرم و لایه‌های ۱۰ میلی‌متری نشان داده شده‌است. در این شکل ظرفیت باربری برای بارهای ثقیلی بدون اثر تغییر مکان‌های جانبی) و دو موقعیت لرزه‌ای دیگر ارائه شده‌است.



شکل (۵-۶) ظرفیت باربری تکیه‌گاه الاستومری

در موقعیت لرزه‌ای اول، تغییر مکان متوسطی که کرنش برشی در حدود ۱۵۰ درصد ایجاد می‌نماید و سطح موثر آن ۰/۵ برابر سطح کل است و در موقعیت لرزه‌ای دوم، تغییر مکان لرزه‌ای شدیدی که کرنش برشی در حدود ۲۵۰ درصد ایجاد نموده و سطح موثر آن تنها در حدود ۰/۲۵ سطح کل خواهد بود، مدنظر قرار گرفته است.



همانطور که در شکل (۵-۶) اشاره شده‌است، بار قائم مجاز، با افزایش تغییرمکان جانبی لرزه‌ای، به شدت کاهش می‌یابد. به همین دلیل، تعیین ابعاد این جداسازها در نواحی با لرزه‌خیزی بالا بسیار پیچیده خواهد شد. علاوه بر این، به دلیل اینکه بار قائم روی جداساز ممکن است با افزایش تغییرمکان افزایش یابد (در دیوارهای برشی و ستون‌های پیرامونی)، این تعیین ابعاد پیچیده‌تر هم خواهد شد.

۳-۲-۶ جداسازهای الاستومری با میرائی بالا

عنوان جداساز الاستومری با میرائی بالا به جداسازی الاستومری اطلاق می‌شود که الاستومر به‌کار رفته در آن (چه از لاستیک طبیعی و چه مصنوعی) مقدار زیادی از میرائی در حدود ۸ تا ۱۵ درصد میرائی بحرانی را ایجاد می‌نماید. این مقدار در مقایسه با الاستومرهای متداول که میرائی در حدود ۲ درصد دارند، قابل توجه است. این میرائی اضافی با اصلاح در ترکیب لاستیک و تغییر چگالی اتصال متقابل^{۵۱} مولکول‌ها برای تامین چرخه هیستریزیس در لاستیک بوجود می‌آید. بنابراین، این میرائی به طور ذاتی چرخه‌ای و وابسته به تغییرمکان است. در بسیاری از ترکیبات HDR، مولفه ویسکوز میرائی (وابسته به سرعت) تقریباً بسیار اندک و در حدود ۲ تا ۵ درصد مقدار بحرانی باقی می‌ماند.

میرائی ایجاد شده با ساختار چرخه‌ای لاستیک، می‌تواند با در نظر گرفتن مفهوم میرائی ویسکوز معادل که از محاسبه سطح چرخه‌ها اندازه‌گیری می‌شود (همانند آنچه برای LRBها تعیین می‌شود)، در طراحی به کار برود. بر همین اساس، میرائی موثر تابعی از کرنش خواهد بود. برای اغلب HDRها که امروزه استفاده می‌شوند، میرائی موثر در حدود ۱۵ درصد برای کرنش‌های کوچک در بازه ۲۵ تا ۵۰ درصد، و در حدود ۸-۱۲ درصد برای محدوده کرنش‌های بزرگ بیشتر از ۱۰۰ درصد تعیین می‌شود، اگرچه، برخی ترکیبات مصنوعی می‌تواند تا ۱۵ درصد میرائی را برای کرنش‌های بیشتر تامین نماید.

برای طراحی، میزان میرائی از نسبت میرائی موثر معادل برای ترکیبات خاص الاستومر بدست می‌آید. ظرفیت بار برای این جداسازها براساس روابطی که برای جداسازهای با تکیه‌گاه الاستومری تعیین می‌شود، تعیین خواهد شد.

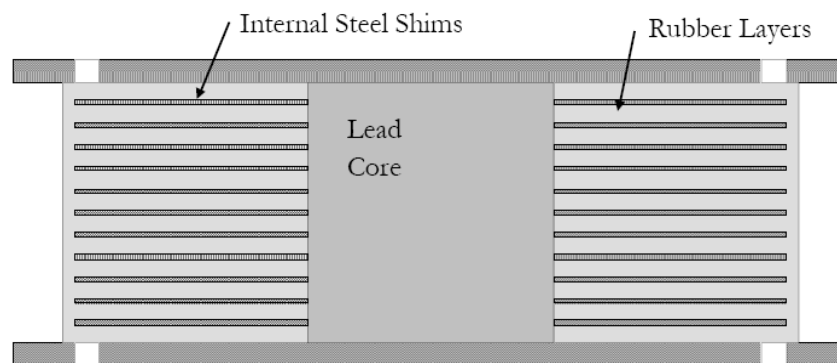
⁵¹ - Cross link



۴-۲-۲-۶ جداسازهای سرب-لاستیکی

جداساز سرب-لاستیکی از یک میله سربی که با اعمال نیرو در یک حفره از پیش تعبیه شده در الاستومر قرارداده می‌شود، تشکیل شده‌است. این هسته سربی صلبیتی در مقابل بارهای سرویس و اتلاف انرژی در برابر بارهای جانبی شدید ایجاد می‌نماید. ورق‌های فولادی بالا و پائین، که از لایه‌های فولادی میانی ضخیم‌تر هستند، برای تامین حرکت یکپارچه به کار می‌روند (شکل ۶-۶). کل ساختار جداساز در نهایت در یک کاور لاستیکی برای حفاظت در برابر عوامل محیطی، قرار می‌گیرد.

در مقابل بارهای جانبی کم (از جمله زلزله‌های خفیف، بار باد یا ترافیک)، جداساز سرب-لاستیکی هم به صورت افقی و هم به صورت قائم دارای سختی مناسب است. سختی جانبی از سختی الاستیک بالای هسته سربی و صلبیت جانبی (که در تمام سطوح بار باقی می‌ماند) از ورقه‌های فولادی داخل جداساز حاصل می‌شود.



شکل (۶-۶) مقطع تکیه‌گاه سرب لاستیکی

در سطوح بالاتری از بار، هسته سربی تسلیم شده و سختی جانبی جداساز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. به همین دلیل، شیفت پربودی اتفاق می‌افتد که مشخصات جداساز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از آنجا که جداساز در تغییر مکان‌های بزرگ cycle شده‌است، از جمله در طول زلزله‌های متوسط و شدید، تغییر شکل پلاستیک هسته سربی، انرژی را همانند میراثی چرخه‌ای جذب می‌نماید. میراثی ویسکوز معادل که توسط این چرخه ایجاد می‌شود، تابعی از تغییر مکان است و معمولاً بین ۱۵ تا ۳۵ درصد تغییر می‌کند.

از مهمترین مزایای این جداساز این است که عملکرد صلب در بارهای سرویس با انعطاف‌پذیری در بارهای زلزله و نیز، میراثی را در یک واحد یکپارچه به طور منسجم حاصل می‌آورد. این مشخصات سبب می‌شود تا



این جداساز از پرستفاده‌ترین نوع جداساز در شرایط با نیاز به میرائی بسیار بالا (در مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا) یا برای سازه‌هایی که صلبیت تحت بارهای سرویس حائز اهمیت است (مثل پل‌ها) باشد. همانطور که برای جداسازهای HDR عنوان شد، روابط مرتبط با تکیه‌گاه الاستومری در طراحی LRBها نیز قابل استفاده است.

۶-۲-۵- جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده مسطح

جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده یک ساختار الاستیک-کاملاً پلاستیک چرخه‌ای ایجاد می‌نماید که پس از افزایش بار وارده از مقدار بار قائم ضرب در ضریب اصطکاک، سخت‌شوندگی کرنشی در آن رخ نخواهد داد. این مسئله از دیدگاه طرح سازه‌ای حائز اهمیت است زیرا برش کل پایه سازه به مقدار نیروی لغزش محدود خواهد شد.

یک جداساز تکیه‌گاهی لغزنده مسطح ایده‌آل، یک چرخه هیستریزیس مستطیلی ایجاد می‌کند که میرائی ویسکوز موثر $2/\pi$ یا $63/7$ درصد میرائی بحرانی، که بسیار بیشتر از میرائی حاصل از LRBها یا LDRهاست را تامین می‌نماید.

۱- تغییرمکان‌ها غیرمقید هستند زیرا هیچ نیروی بازگرداننده ای^{۵۲} وجود ندارد. سازه قرار گرفته روی سیستم لغزنده باید بتواند به حرکت در جهت رخداد زلزله ادامه دهد.

۲- در جداساز تکیه‌گاهی اصطکاکی، نیروی مورد نیاز برای شروع لغزش بسیار بیشتر از نیروی مورد نیاز برای حفظ لغزش است. این ویژگی، اصطکاک استاتیکی^{۵۳} نامیده می‌شود. اگر لغزنده‌ها تنها اجزاء جداساز هستند، این اصطکاک استاتیکی در تغییرمکان صفر، نیروی حاکم برای طراحی می‌باشد.

براساس آئین‌نامه‌های UBC و AASHTO، سیستم جداساز باید یک نیروی بازدارنده مشخص داشته باشد و یا، طوری طراحی و اجرا شود که قادر به تحمل سه برابر میزان تغییرمکان متاثر از زلزله باشد. از آنجاکه تغییرمکان حداکثر ناشی از زلزله، در حدود ۴۰۰-۵۰۰ میلی‌متر خواهد بود، لازم است که سیستم لغزنده برای تغییرمکانی برابر با ۱/۵ متر طراحی شود. این مشخصه، برای اتصالات، سرویس‌ها و آسانسورها تقریباً غیرعملی است.

یک سیستم ترکیبی^{۵۴} با جداسازهای با تکیه‌گاه‌های الاستومری که نیروی بازدارنده دارند، در کنار جداسازهای لغزنده، می‌تواند یک سیستم اقتصادی باشد. جداسازهای لغزنده همانند تکیه‌گاه‌های گلدانی^{۵۵}، از

⁵²- Centering

⁵³- Stiction



تفلون به عنوان سطح لغزنده استفاده می‌کنند که می‌تواند تنش فشاری بیشتری را در مقایسه با الاستومر (۶۰MPa در مقابل ۱۵MPa) تحمل نماید. همچنین، تکیه‌گاه می‌تواند بدون جداسدن میخ‌های پایه، اجازه بلندشدگی به سازه را بدهد. بنابراین، استفاده از این جداسازها در انتهای دیوارهای برشی مناسب است. متداول‌ترین سطح لغزنده، تفلون روی فولاد ضدزنگ است. این سطح، ضریب اصطکاک استاتیکی کمتری در حدود ۳ درصد دارد، هرچند، این ضریب تابعی از بار فشاری و سرعت لغزش است. با افزایش فشار، ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد و با افزایش سرعت، ضریب اصطکاک به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و در سرعت‌های زلزله (۰/۲ تا ۱ m/sec) این ضریب به ۸-۱۲ درصد می‌رسد. برای طرح اولیه، یک ضریب اصطکاک در حدود ۱۰ درصد فرض می‌شود. برای طراحی دقیق، مدل المان باید تغییر این ضریب نسبت به تغییر مکان و سرعت را در بر بگیرد.

۶-۲-۶ جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده مدور^{۵۶} (Friction Pendulum)

اگرچه وجود تعدادی عضو مدور در این جداساز مجاز می‌باشد ولی، جداساز تکیه‌گاهی لغزنده مدور که در بیشتر موارد مورد استفاده قرار می‌گیرد، یک ابزار شناخته شده است که در آن سطح لغزنده دارای شکلی کروی است که یکی از انواع میراگرهای پاندول اصطکاکی است. نمایی از این جداساز در شکل (۶-۷) ارائه شده است.

این جداساز همانند نمونه با سطح تخت، بواسطه ضریب اصطکاک مقاومتی در برابر بارهای سرویس ایجاد می‌کند. به محض اینکه ضریب اصطکاک بر حرکت لغزنده پیوسته غلبه کند، و به دلیل کروی بودن سطح لغزش، حرکت جانبی به همراه حرکت قائم رخ می‌دهد. این مسئله باعث ایجاد یک نیروی بازگرداننده می‌شود (شکل ۶-۷).

مشخصات این جداساز براساس ضریب اصطکاک، شعاع کره و وزن قابل تحمل تعریف می‌شوند. سختی پس از لغزش نیز با توجه به هندسه و وزن قابل تحمل (W/R) شناخته می‌شود.

کل نیروئی که توسط تکیه‌گاه لغزنده کروی تحمل می‌شود به طور مستقیم متناسب با وزن قابل تحمل خواهد بود. اگر تمام جداسازهای یک پروژه با شعاع و ضریب اصطکاک یکسان انتخاب شوند و تحت اثر تغییر مکان یکسان قرار بگیرند، نیروی کل در هر کدام از جداسازها برابر با ضریب ثابتی ضرب در وزن قابل تحمل

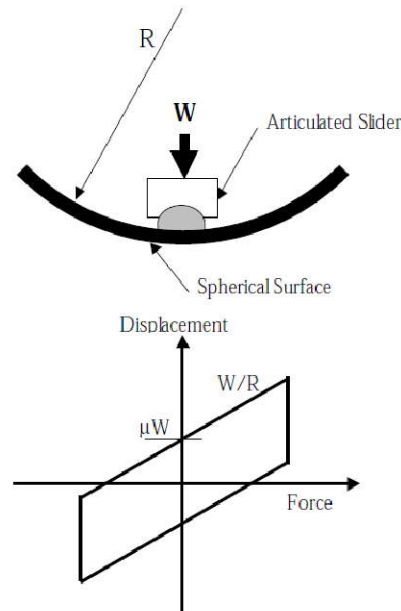
⁵⁴ - Hybrid

⁵⁵ - Pot bearings

⁵⁶ - Curved Slider Bearings



خواهد بود. به همین دلیل، مرکز سختی و جرم این سیستم همیشه برهم منطبق است و لذا لنگر پیچشی در آن وجود نخواهد داشت. لازم به ذکر است که این به این معنا نیست که هیچ حرکت پیچشی در این جداساز بوجود نخواهد آمد، زیرا عدم انطباق مرکز جرم و سختی در روسازه محتمل خواهد بود.



شکل (۶-۷) تکیه گاه لغزنده مدور

۶-۲-۲-۶ جداسازهای تکیه‌گاهی غلتکی و توپی

هرچند جداسازهای تکیه‌گاهی غلتکی^{۵۷} از نظر تئوری و به دلیل ساده‌ترین ابزاری که امکان ایجاد انعطاف‌پذیری را فراهم می‌کنند، از محبوبیت بالایی برخوردار هستند، ولی به نظر نمی‌رسد بتوان سازه‌ای را به طور اجرائی بر این جداسازها اجرا نمود. جداساز لرزه‌ای توپی^{۵۸} که در دست ساخت می‌باشد، از مواد قابل فشرده‌شدنی استفاده می‌کند که در زمان چرخش تغییرشکل می‌دهد و نیروی بازدارنده‌ای در برابر بارهای سرویس و نیز، اتلاف انرژی ایجاد می‌نماید (Robinson RoBall). نتایج اولیه نشان می‌دهد این جداساز برای سازه‌های با جرم کم قابل اعتماد باشد. سایر اطلاعات مربوطه در آینده نزدیک در اختیار خواهد بود.

⁵⁷- Roller bearing

⁵⁸- Ball bearing



جداسازهای غلتکی یا تویی از فولاد یا آلیاژ ساخته می‌شوند و در آن‌ها، فشردگی^{۵۹} سطح تماس بویژه اگر آن سطح تحت اثر تنش‌های زیادی باشد، مشکل بزرگی خواهد بود. به نظر می‌رسد که این مشکل استفاده از این جداسازها را محدود خواهد ساخت، علاوه بر این، این جداسازهای مقاومتری در برابر بارهای سرویس یا میرایی ایجاد نمی‌کنند بنابراین همواره لازم است در کنار آن‌ها از جداسازهای دیگری نیز استفاده شود.

۶-۲-۲-۸ جداسازهای الحاقی^{۶۰}

سیستم‌هایی که به طور ذاتی نیروی بازدارنده و/یا میرایی ندارند، از جمله جداسازهای با تکیه‌گاه الاستومری، جداسازهای با تکیه‌گاه‌های لغزنده^{۶۱}، ممکن است در کنار میراگرها مورد استفاده قرار گیرند. این ابزار هم در دسته‌بندی میرایی‌های روسازه طبقه‌بندی می‌شوند و نوع متفاوتی از ابزارهای کنترل غیرفعال در برابر زلزله به شمار می‌روند. میرایی‌های الحاقی ممکن است در کنار جداسازهای دارای میرایی (از جمله LRBها و HDRها) استفاده شوند تا بتوانند تغییر مکان را در نواحی نزدیک گسل کنترل نمایند.

میراگرهای خارجی^{۶۲}، به میراگرهای هیستریزیس یا ویسکوز طبقه‌بندی می‌شوند. برای میراگرهای هیستریزیس، نیرو تابعی از تغییر مکان است و برای میراگرهای ویسکوز، این نیرو تابعی از سرعت خواهد بود. در سیستم‌های نوسانی، سرعت و تغییر مکان غیرهم‌فاز هستند و حداکثر سرعت در تغییر مکان صفر رخ می‌دهد. بنابراین، نیروی میرایی ویسکوز، با نیروی الاستیک بوجود آمده در سیستم غیرهم‌فاز بوده و به نیروی کل در تغییر مکان حداکثر افزوده نخواهد شد. به‌طور کلی، میرایی ویسکوز از میرایی هیستریزیس بیشتر مورد توجه و نظر است.

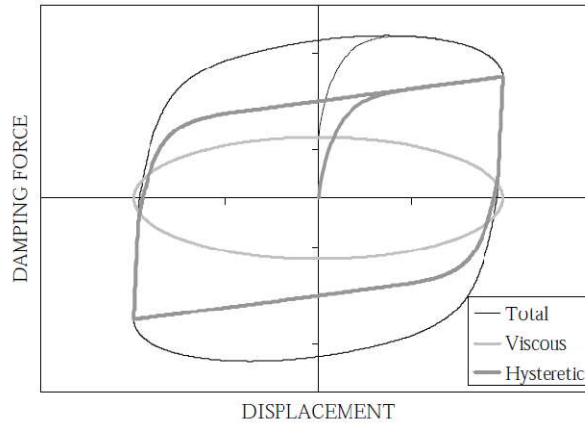
در عمل، اگر یک میراگر ویسکوز در کنار یک جداساز هیستریزیس استفاده شود، تا حد بسیار زیادی این دو سیستم با هم درگیر خواهند بود (شکل ۶-۸). حداکثر نیرو در سیستم ترکیبی، بیشتر از زمانی است که جداساز به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد. اگر میراگر ویسکوز، سرعت Cut-off (نیروی ثابتی که برای سرعت‌های بیشتر از مقدار از پیش مشخص شده، تعیین شده‌است)، این ترکیب بسیار مقبول خواهد بود.

⁵⁹ - Flattening

⁶⁰ - Supplemental

⁶¹ - Sleeved piles

⁶² - External



شکل (۸-۶) میراگر ویسکوز در کنار جداساز هیستریزس

در عمل، دستیابی به سطوح بالایی از میرایی ویسکوز، در یک سازه تحت اثر زلزله، مشکل است. انرژی میرایی به گرما تبدیل خواهد شد و مصالح رفتار ویسکوز بالایی از خود نشان خواهند داد، از جمله روغن که با افزایش دما ویسکوزیته بیشتری از خود نشان می‌دهد. به همین دلیل، میراگرها با افزایش شدت یا مدت زمان زلزله، میزان تاثیرگذاری خود را از دست می‌دهند مگر آنکه، حجم زیادی از مصالح در آن‌ها به کار رفته باشد. در هر دو نوع میراگرهای ویسکوز یا هیستریزس، میرایی‌ای که با سیستم جداساز مشارکت می‌کند از مساحت زیر حلقه هیستریزس در یک تغییر مکان مشخص، بدست می‌آید. این چرخه، سپس به سطحی که از سایر اجزاء موجود از جمله جداساز با تکیه‌گاه سرب-لاستیکی ایجاد می‌شود، اضافه می‌شود. این مفاهیم همانند مفاهیمی است که در میرایی سازه و اتلاف انرژی در آن، وجود دارد.

۹-۲-۲-۶ مزایا و معایب انواع جداسازها

در جدول (۱-۶) مزایا و معایب ابزارهای جداسازی لرزه‌ای متداول مورد اشاره قرار گرفته‌است. لازم به ذکر است که هرچند برخی از معایب ممکن است در حالت کلی برای تمام ابزارها مطرح باشند ولی برخی از تولیدکنندگان با استفاده از فرآیندهای خاصی برای تولید، این معایب را مرتفع ساخته‌اند. به عنوان مثال، اصطکاک استاتیکی یک ناکارآمدی ذاتی در جداسازهای با تکیه‌گاه‌های لغزنده است ولی تولیدکنندگان با تولید وسایلی از جمله Friction Pendulum System توانسته‌اند نوعی از جداساز با تکیه‌گاه لغزنده را بسازند که این مشکل را ندارد.



برخی از مواردی که در جدول (۶-۱) آمده است، نقص ذاتی ابزارها نیستند ولی ممکن است در طراحی برای برخی پروژه‌ها به عنوان عیب یا نقص یا ناکارآمدی مطرح باشد. به عنوان مثال، LRBها و HDRها لنگرهای اولیه و ثانویه‌ای ایجاد می‌کنند که به طور متناسب (مساوی) در بالا و پائین جداساز تقسیم می‌شوند و لذا، این لنگرها باید در طراحی فونداسیون و روسازه مدنظر قرار گیرند. در سیستم‌های لغزنده نیز، لنگر P-Δ ایجاد می‌شود که جداساز باید طوری تعبیه شود که یا تمام این لنگر به فونداسیون منتقل شود و سازه از این لنگر، چیزی محتمل نشود و یا برعکس.

مزایا و معایبی که به طور کلی در این جدول بیان شده‌اند، ممکن است جامع و کامل نباشند. در هر پروژه‌ای، برخی مشخصات حائز اهمیت خواهد بود، به همین دلیل نمی‌توان یک قانون خاصی را برای ارزیابی ابزارهای متفاوت آنهم در فاز اولیه طراحی تعیین نمود. به طور کلی همواره این مسئله مورد اهمیت است که حداقل طرح اولیه برای انواع متفاوتی از سیستم‌های جداساز به درستی انجام شود تا بتوان در خصوص طرح بهینه تصمیم‌گیری نمود.



جدول (۶-۱) مزایا و معایب ابزارهای جداسازی لرزه‌ای

معایب	مزایا	نوع جداساز
تغییر مکان‌های بزرگ میرائی اندک بدون مقاومت در برابر بارهای سرویس لنگر $P-\Delta$ در بالا و پائین	شتاب روسازه اندک هزینه اندک	جداسازهای با تکیه‌گاه الاستومری
سختی وابسته به کرنش و میرائی تحلیل پیچیده محدوده کمی از سختی و میرائی تغییر در مشخصات با scragging لنگر $P-\Delta$ در بالا و پائین	شتاب روسازه متوسط مقاومت در برابر بارهای سرویس میرائی متوسط تا زیاد	جداسازهای الاستومری با میرائی بالا
تغییر در مشخصات چرخه‌ای لنگر $P-\Delta$ در بالا و پائین	شتاب روسازه متوسط محدوده وسعی از سختی و میرائی	جداسازهای سرب-لاستیکی
شتاب روسازه زیاد مشخصات تابعی از سرعت و بار فشاری Sticking بدون نیروی بازدارنده	Low Profile مقاومت در برابر بارهای سرویس میرائی بالا لنگرهای $P-\Delta$ در بالا یا پائین	جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده مسطح
شتاب روسازه زیاد مشخصات تابعی از سرعت و بار فشاری Sticking	Low Profile مقاومت در برابر بارهای سرویس میرائی متوسط تا زیاد لنگرهای $P-\Delta$ در بالا یا پائین پاسخ پیشگی کاهش یافته	جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده مدور
هیچ تولید کننده‌ای وجود ندارد		جداسازهای تکیه‌گاهی غلتکی و توپی
نیازمند استفاده مناسب میرائی کم بدون مقاومت در برابر بارهای سرویس	با هزینه کمتر (احتمالاً) موثر در تامین انعطاف‌پذیری	Sleeved Piles
افزودن نیروی سیستم	کنترل‌کننده تغییر مکان ارزان قیمت	میراگرهای هیستریزیس
گران قیمت با دسترسی محدود	کنترل‌کننده تغییر مکان افزودن نیروی بسیار کمتری به سیستم، در مقایسه با میراگر هیستریزیس	میراگرهای ویسکوز



۳-۶ ورودی لرزه‌ای

۱-۳-۶ ساختار ورودی لرزه‌ای

بارهای لرزه‌ای پدیده‌های دینامیکی هستند که در آنها، حرکت زمین که باعث افزایش نیروها می‌شود، در طول زمان تغییر می‌کند. این بارها همچنین نامعین هستند زیرا هر زلزله‌ای، حرکت متفاوتی در زمین ایجاد خواهد کرد و این حرکات سپس با استفاده از مشخصات خاک زمین، اصلاح می‌شوند. برای طراحی بهینه یک سازه، مجموعه‌ای از بارهای مشخص مورد نیاز است که به همین منظور، آئین‌نامه‌های متفاوت تلاش کرده‌اند تا بارهای زلزله را در ساختاری مناسب برای طراحی ارائه دهند. براساس پیچیدگی ساختار بارهای لرزه‌ای معرفی شده در آئین‌نامه‌ها، ساختارهای زیر از پیچیدگی کم تا زیاد، عبارتند از:

۱-۱-۳-۶ بار معادل استاتیکی

این بارها به عنوان پوش برش طبقه که ممکن است توسط زلزله‌ای با احتمال وقوع مشخص ایجاد شود، معرفی می‌شوند. اغلب آئین‌نامه‌ها این بارها را به عنوان تابعی از مشخصات سازه (اغلب دوره تناوب سازه)، نوع خاکی که سازه بر آن بنا شده و میزان خطرپذیری منطقه تعریف می‌کنند. بار استاتیکی با توزیع مشخصی که اغلب مربوط به وزن یا نیروی اینرسی جرمی است، به طور خطی در ارتفاع سازه توزیع می‌شود. این توزیع براساس پاسخ مود اول سازه است و ممکن است برای در نظر گرفتن سایر مشخصات سازه اصلاح شود (از جمله بار شلاقی روی خرپشته یا توزیع غیرخطی نسبت به ارتفاع).

جداسازهای لرزه‌ای مشخصات دینامیکی سازه را تغییر می‌دهند و معمولاً به میزان میراثی سازه می‌افزایند. این آثار برای معرفی شدن به محدودیت‌های روش بار استاتیکی، با مشکلاتی مواجه هستند و لذا، در اغلب آئین‌نامه‌ها، محدودیت‌های شدیدی برای این روش در طراحی سازه‌های دارای جداساز اعمال می‌شود.



۶-۳-۱-۲ روش طیف پاسخ

طیف پاسخ منحنی است که پاسخ نوسانی یک درجه آزاد یک سازه را در دوره تناوب‌های متفاوت برای یک زلزله خاص، در بر می‌گیرد. طیف پاسخ ممکن است شتاب، سرعت یا تغییر مکان پاسخ را شامل شود، این طیف همچنان ممکن است با فرض سطوح متنوعی از میرائی ویسکوز در سازه نوسانی یک درجه آزاد، بدست بیاید.

آئین‌نامه‌ها طیف‌های پاسخی را که ترکیب یا پوشی از تمام زلزله‌هایی هستند که ممکن است در یک موقعیت جغرافیایی رخ بدهند را، با در نظر گرفتن نوع خاک منطقه و خطر لرزه‌خیزی آن، در نظر بگیرند. طیف آئین‌نامه یک طیف هموار بوده و بیانگر یک پدیده یا زلزله خاص نمی‌باشد.

در یک تحلیل طیفی با طیف پاسخ، فرض بر این است که پاسخ سازه ممکن است به مودهای مختلف مستقل از هم تجزیه شود. پاسخ هر مود را می‌توان با استفاده از شتاب طیفی در دوره تناوب آن مود ضربدر ضریب مشارکت مودی بدست آورد. حداکثر پاسخ تمام مودها در یک زمان رخ نخواهد داد و بنابراین، روش‌های احتمالاتی برای ترکیب آن‌ها به کار می‌رود که از آن جمله می‌توان به جذر مجموع مربعات (SRSS) یا ترکیب کامل درجه دوم (CQC) اشاره نمود. روش دوم، ساختاری که در آن مودهای closely spaced پاسخ نسبتاً با هم ترکیب خواهند شد را در بر می‌گیرد و به طور کلی، دقیق‌تر از روش SRSS است.

جداکردن پاسخ مودها از یکدیگر تنها زمانی ممکن است که سازه الاستیک خطی باشد و روش طیف پاسخ نیز به طور مستقیم برای سازه‌های دارای جداساز لرزه‌ای قابل استفاده نمی‌باشد، هرچند، این محدودیت هم‌چنین در زمان تسلیم سازه‌های بدون جداساز نیز وارد می‌شود. اغلب آئین‌نامه‌ها اجازه می‌دهند که روش طیف پاسخ برای تحلیل سازه‌های دارای جداساز لرزه‌ای (محدوده متنوع و وسیعی از کاربری جداسازها) به کار برود.

در عمل، سیستم جداساز به عنوان یک سیستم استاتیکی معادل مدل می‌شود و میرائی آن با استفاده از طیف کاهش‌یافته براساس میرائی برای مدل جداسازی شده، اعمال می‌شود.

۶-۳-۱-۳ طیف تاریخچه زمانی

بارهای لرزه‌ای در سازه، توسط شتاب بوجود آمده در زمین ایجاد می‌شود بنابراین دقیق‌ترین ابزار برای معرفی مشخصات زلزله و شتاب لحظه‌ای زمین، طیف تاریخچه زمانی است. روش‌های طراحی برای محاسبه پاسخ



سازه تحت اثر این نوع از بارگذاری موجود است. سختی به کارگیری این روش‌ها این است که فرم کلی شتاب لحظه‌ای نامشخص است.

حرکت‌های ثبت‌شده از زلزله‌های پیشین، اطلاعاتی در خصوص شتاب زمین بدست می‌دهند ولی هر رکورد ثبت شده، به خودی خود منحصر بفرد است و لذا نمی‌تواند اطلاعاتی از حرکت زمین در زلزله‌های آینده به کاربر بدهد.

تحلیل تاریخچه زمانی، همانند تحلیل طیفی، نمی‌تواند با حرکت‌های ترکیبی یا پوش مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، تعدادی طیف تاریخچه زمانی که در ترکیب با یکدیگر می‌توانند بیشترین پاسخ مورد انتظار سازه را ایجاد نمایند، انتخاب و مورد استفاده قرار گیرند. زلزله‌شناسی در پیش‌بینی دقیق حرکت محتمل در زلزله برای یک موقعیت جغرافیایی خاص، ضعیف است و لذا، ترکیب چند طیف با هم، می‌تواند کمی این پیش‌بینی را دقیقتر نماید.

آئین‌نامه‌ها روشهایی برای انتخاب و مقیاس‌بندی حرکات زلزله ارائه می‌دهند ولی هنوز مجموعه مشخصی از طیف‌ها برای نواحی مختلف با خاک‌ها و لرزه‌خیزی‌های متفاوت تهیه نشده‌است. در بخش‌های آتی، برخی از حرکات زلزله معرفی می‌شوند ولی لازم به ذکر است که هر پروژه‌ای به طور خاص، نیازمند انتخاب دقیق رکوردهای مناسب است.

۶-۳-۲ رکوردهای ثبت‌شده زلزله

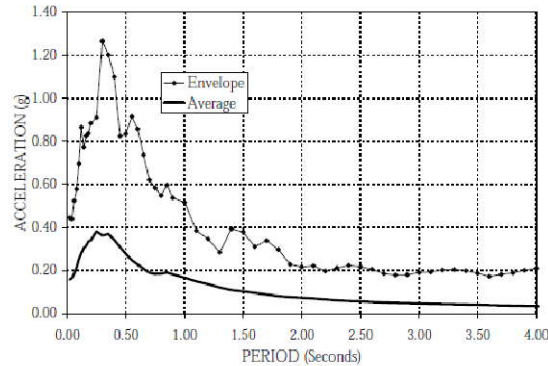
۶-۳-۱-۲ رکوردهای پیش از سال ۱۹۷۱

جدی‌ترین تحقیقات کاربردی در خصوص جداسازهای لرزه‌ای در آخرین سالهای دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ و براساس رکوردهای ثبت‌شده تا آن لحظه، اتفاق افتاد. به عنوان یک نمونه از مجموعه اطلاعات در دسترس از تحقیقات آن زمان، می‌توان به مجموعه Caltech Smarts اشاره نمود که ۳۹ طیف از زلزله‌های بین ۱۹۳۳ Long Beach تا ۱۹۷۱ San Fernando، هر کدام شامل سه مولفه ی زلزله (دو مولفه افقی و یک مولفه قائم) را در بر می‌گیرد.

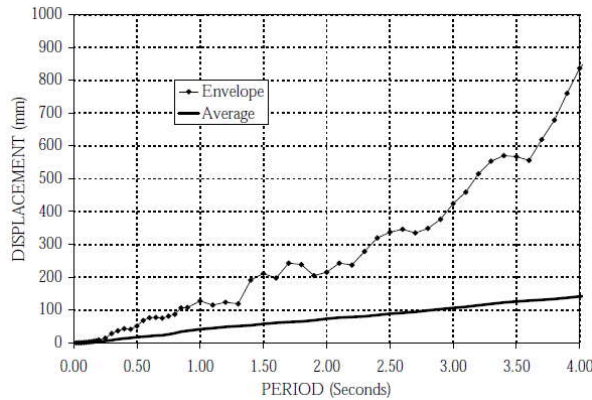
از مجموع این طیف‌ها، یک مجموعه انتخاب شد که در آن، طیف‌های ثبت‌شده از طبقات بالای ساختمان و طیف ثبت‌شده روی سد Pacoima در San Fernando، که دربرگیرنده اثرات خاصی از موقعیت ساختگاه بودند، حذف شدند. طیف پاسخ، سپس با استفاده از ۲۷ طیف ثبت‌شده دیگر و با استفاده از هر دو مولفه افقی طیف و سپس، متوسط‌گیری روی مجموع ۵۴ مقدار در دسترس تهیه شد. این طیف، و طیف میراشده آن با



میرایی ۵ درصد در شکل (۹-۶) نشان داده شده‌است و طیف تغییرمکان معادل آن برای میرایی ۵ درصد نیز در شکل (۱۰-۶) آمده‌است.



شکل (۹-۶) طیف شتاب با میرایی ۵٪



شکل (۱۰-۶) طیف جابجایی با میرایی ۵٪

یک منحنی متناسب با $1/T$ روی طیف شتاب و تغییرمکان، برای دوره تناوب 0.5 ثانیه و بیشتر از آن، به خوبی منطبق می‌شود (جدول ۶-۲). این مسئله نشان می‌دهد که:

- ۱- اگر فرض شود که طیف به طور معکوس با دوره تناوب $1/5$ ثانیه و بیشتر از آن متناسب است، رابطه برای تعیین ضریب شتاب برابر خواهد بود با $S_a = C_0 / T$. ضریب C_0 می‌تواند با استفاده از مقدار شتاب در 0.5 ثانیه محاسبه شود به عنوان نمونه $C_0 = 0.5 \times 0.278 = 0.139$. شتاب در دوره تناوب‌های $0.2/5$ و $0.3/5$ ثانیه با رابطه $S_a = 0.139/T$ محاسبه می‌شوند که منطبق بر طیف شتاب متوسط‌گیری شده خواهد بود.

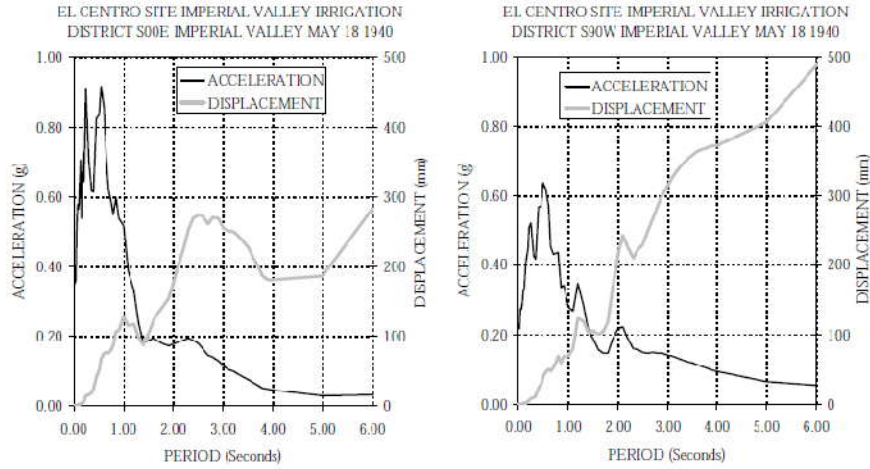


۲- تغییرمکان طیفی با رابطه $S_d = S_a \cdot g \cdot T^2 / 4\pi^2$ به شتاب طیفی مرتبط است. در واحد میلی‌متر، $g = 9810 \text{ mm/sec}^2$ است و لذا رابطه $S_d = 248.5 S_a \cdot T^2$ برقرار خواهد بود. با جاگذاری $S_a = 0.139/T$ ، طیف معادل تغییرمکانی در واحد میلی‌متر برابر با $S_d = 34.5T$ خواهد بود. مقادیر ارائه‌شده در جدول (۲-۶) نشان‌می‌دهد که این روابط در مقایسه با مقادیر متوسط طیفی، از دقت مطلوبی برخوردار هستند.

جدول (۲-۶) مقادیر طیف متوسط با میرایی ۵ درصد

۳/۰ ثانیه	۲/۵ ثانیه	۲/۰ ثانیه	۰/۵ ثانیه	
				شتاب (g)
۰/۰۴۸	۰/۰۵۷	۰/۰۷۴	۰/۲۷۸	مقدار متوسط
۰/۰۴۶	۰/۰۵۶	۰/۰۷۰	۰/۲۷۸	مقدار محاسباتی ($S_a = 0.139/T$)
				تغییرمکان (mm)
۱۰۶	۸۹	۷۳	۱۷	مقدار متوسط
۱۰۴	۸۶	۶۹	۱۷	مقدار محاسباتی ($S_d = 34.5T$)

این نتایج نشان می‌دهند که ضرایب بار لرزه‌ای اشاره شده در آئین‌نامه، که متناسب با معکوس دوره تناوب بدست آمده‌اند، دقت خوبی در بیان مشخصات رکوردهای واقعی زلزله داشته‌است. شکل‌های (۶-۱۱) و (۶-۱۲)، که به ترتیب مربوط به زلزله‌های ۱۹۴۰ El Centro و ۱۹۵۲ Kern County می‌باشند، ساختار متداول تعریف‌شده برای طیف در زلزله‌های قدیمی را نشان می‌دهند. برای دوره تناوب‌های متوسط تا زیاد (بین ۱ تا ۴ ثانیه)، با افزایش دوره تناوب، شتاب‌ها کاهش یافته و تغییر مکان‌ها، افزایش می‌یابند. اگرچه، در ادامه بیان خواهد شد که در زلزله‌های بعدی این رویکرد مورد توجه قرار نگرفته‌است.



شکل (۶-۱۱) زلزله ۱۹۴۰ El Centro

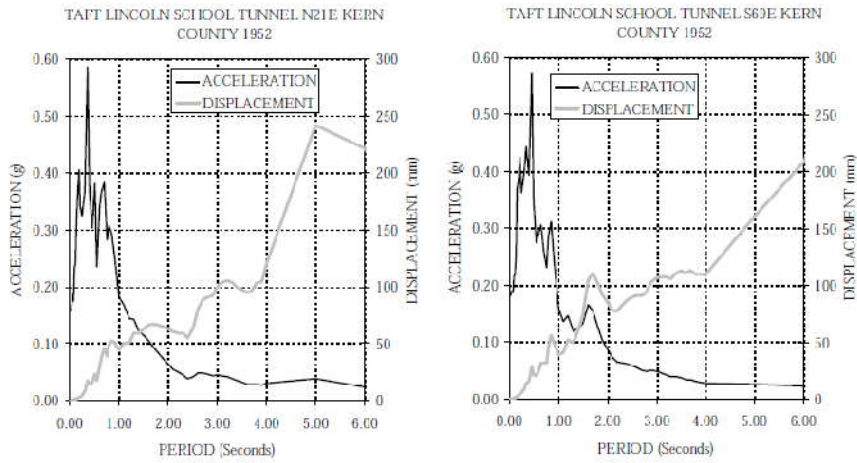


Figure 9.12: 1952 Kern County Earthquake

شکل (۶-۱۲) زلزله ۱۹۵۲ Kern County

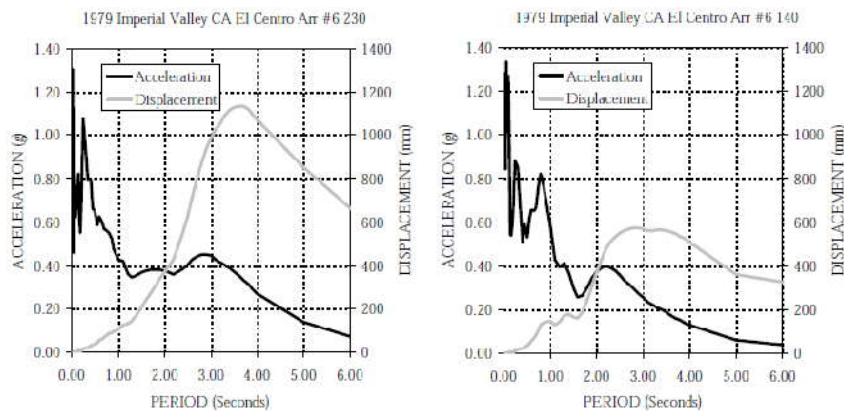


۶-۳-۲ رکوردهای پس از سال ۱۹۷۱

از سال ۱۹۷۱ دستگاه‌های ثبت رکوردهای زلزله به شدت افزایش یافت و لذا مجموعه زیادی از این رکوردها جمع‌آوری گردید که همچنان روز به روز به میزان آنها افزوده می‌شود. از آنجا که رکوردهای متعددی حاصل آمد، براساس مطالعات مشخص شد که تنوع بسیار زیادی در زلزله وجود دارد که از آنچه پیشتر تصور می‌شد نیز بیشتر است. به طور کلی، شتاب‌های زمین بسیار بزرگتر از آنچه انتظار می‌رفت ثبت شد و همچنین، اثرات نزدیک گسل نیز بر روی زلزله‌های با دوره تناوب بزرگ، تاثیرگذار شد.

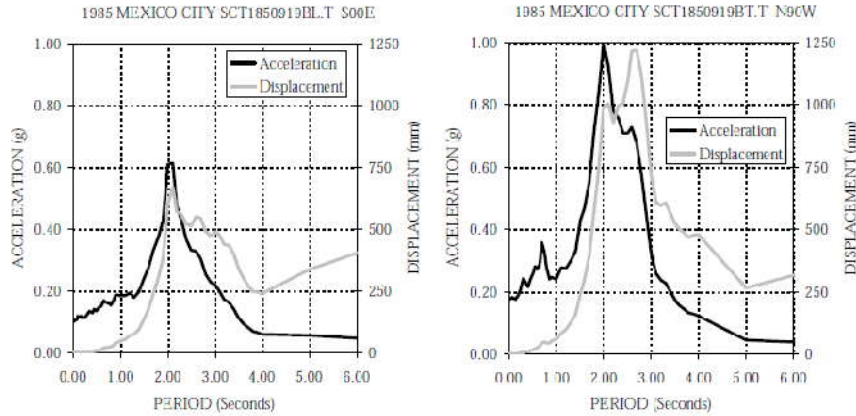
در شکل‌های (۶-۱۳) تا (۶-۱۸)، که دربرگیرنده طیف با میرایی ۵ درصد برای هر دو مولفه افقی تغییرمکان است، برخی از این اثرات شرح داده می‌شود.

۱- در رکورد ثبت‌شده از زلزله ۱۹۷۹ El Centro، در ایستگاه ۶ در حدود ۲ کیلومتری گسل، مشاهده می‌شود که اثرات نزدیکی به گسل سبب بوجود آمدن حداکثر مقدار طیف در زمان‌های بین ۲ تا ۳ ثانیه شده‌است و تغییرمکان طیفی نیز، در دوره تناوب ۳/۵ ثانیه، از ۱ متر تجاوز کرده‌است. برای این رکورد، سیستم جداساز می‌تواند در دوره تناوب ۲ ثانیه یا کمتر، بهترین عکس‌العمل خود را نشان بدهد. اگر دوره تناوب از ۲ ثانیه بیشتر شود، شتاب و تغییرمکان کاهش خواهند یافت.



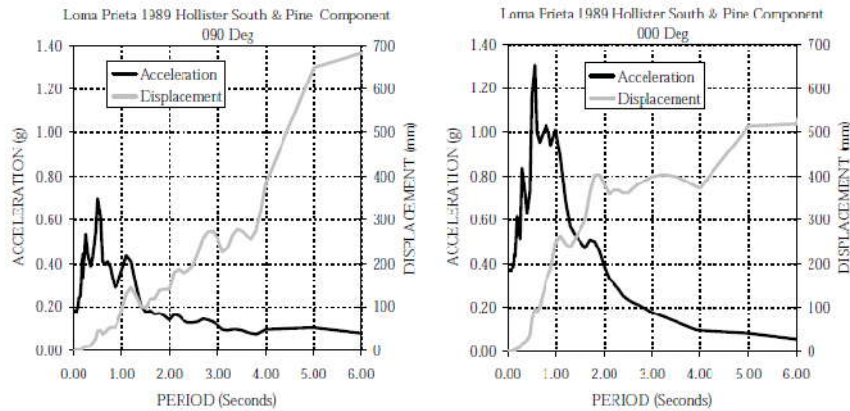
شکل (۶-۱۳) زلزله ۱۹۴۰ El Centro، Bonds Corner Record

۲- در زلزله ۱۹۸۵ Mexico City، در مشخصه دوره تناوب سایت در ۲ ثانیه تشدید رخ می‌دهد، در این شرایط یک سازه جداسازی‌شده لرزه‌ای روی این نوع از خاک، ناکارآمد است و به خودی خود، باعث بوجود آمدن خرابی می‌شود.



شکل (۶-۱۴) زلزله ۱۹۸۵ Mexico City

۳- در زلزله ۱۹۸۹ Loma Prieta، تعدادی رکورد در خاک نرم و سخت ثبت شد. در شکل (۶-۱۵) طیف این زلزله روی خاک سخت نشان داده شده‌است که در آن، با کاهش دوره تناوب شتاب نیز کاهش یافته‌است حال آنکه مولفه غالب، تغییرمکان ثابتی برای دوره تناوب بین ۲ تا ۴ ثانیه خواهد داشت. در این محدوده، انعطاف‌پذیری سیستم جداساز لرزه‌ای، می‌تواند برای کاهش شتاب به یک-چهارم مقدار فعلی (از ۰/۴ به ۰/۱) افزایش یابد در حالیکه هیچ افزایشی در تغییرمکان ثبت نخواهد شد.

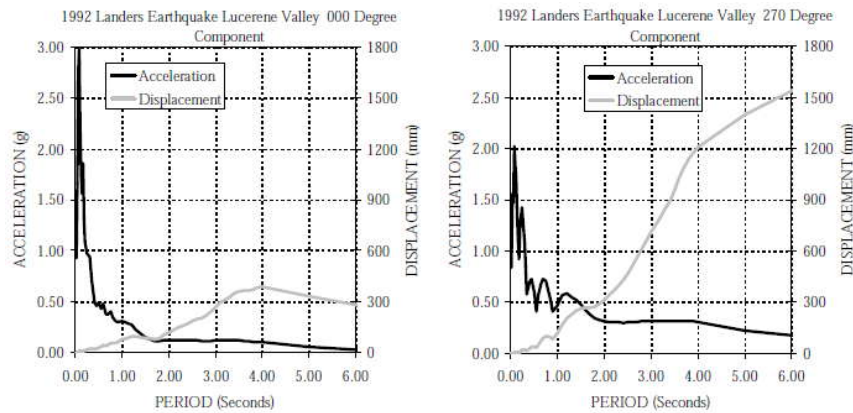


شکل (۶-۱۵) زلزله ۱۹۸۹ Loma Prieta

۴- در زلزله ۱۹۹۲ Landers، رکوردهایی با دوره تناوب کوتاه به ثبت رسیدند که در طیف با میرایی ۵ درصد، شتاب آن‌ها از 3g تجاوز می‌کرد و در محدوده دوره تناوب ۲ تا ۴ ثانیه، شتاب ثابتی روی مولفه ۲۷۰ درجه

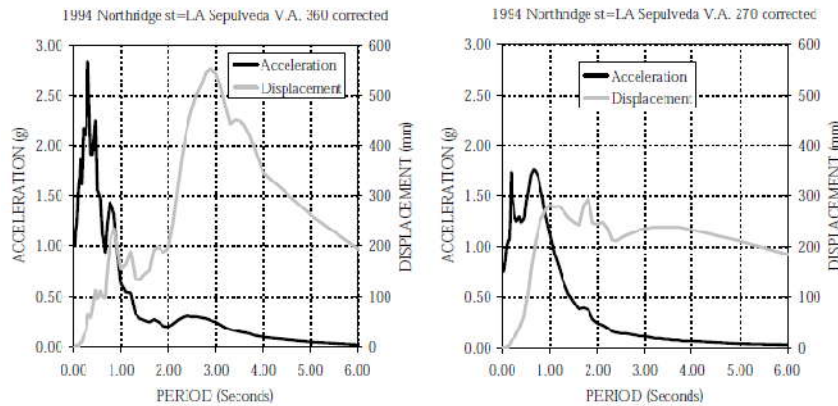


برای آنها به ثبت رسیده بود (شکل ۶-۱۶). در این نوع از رکورد، سیستم جداساز باید برای ساختمان‌های با دوره تناوب کوتاه کارآمد باشد به شرط آنکه دوره تناوب بهینه جداساز از ۲ ثانیه تجاوز نکند. در دوره تناوب‌های بلند، تغییرمکان بدون اینکه شتاب کاهش پیدا کند، افزایش خواهد یافت.



شکل (۶-۱۶) زلزله ۱۹۹۲ Landers

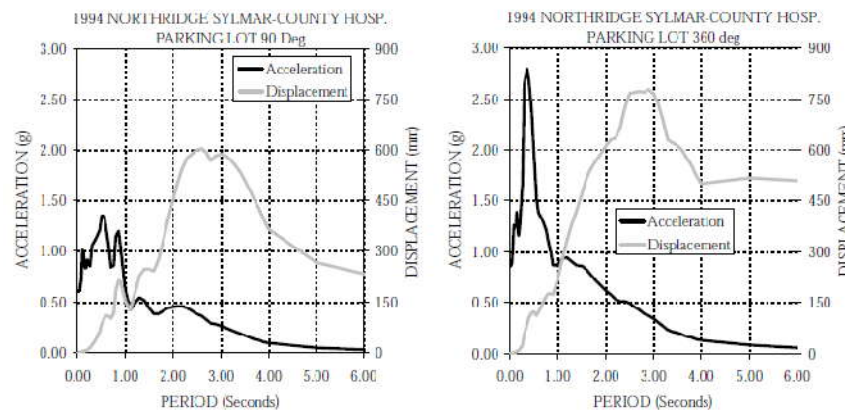
۵- در رکورد ثبت‌شده در Sepulveda VA در زلزله ۱۹۹۴ Northridge، شکل (۶-۱۷)، طیف شتاب با دوره تناوب بسیار کوتاهی حاصل آمد که در آن، مقدار شتاب از 2.5g تجاوز می‌کرد ولی مولفه ۳۶۰ درجه، حداکثر شتابی در دوره تناوب ۲ ثانیه را در خود داشت. برای این نوع زلزله‌ها، تغییرمکان به شدت و به سرعت، در شرایطی که دوره تناوب جداساز از ۲ ثانیه بیشتر شود، افزایش خواهد یافت.



شکل (۶-۱۷) زلزله ۱۹۹۴ Northridge



۶- در رکورد ثبت‌شده از بیمارستان Sylmar Conutry در زلزله ۱۹۹۴ Northridge، شکل (۶-۱۸)، مجدداً یک طیف شتاب با دوره تناوب کوتاه بدست آمد که در آن برای یک مولفه، مقدار شتاب از 2.5g تجاوز می‌کرد. این رکورد، از آن جهت غیرمعمول بود که هر دو مولفه شتاب‌های بسیار زیادی را در دوره تناوب‌های بلند داشتند به طوری‌که در دوره تناوب ۲ ثانیه شتاب از 0.5g بیشتر شده بود. سیستم جداسازی که برای این زلزله پیشنهاد می‌شود باید توان آنرا داشته باشد که دوره تناوبی بیش از ۳ ثانیه داشته باشد به طوری‌که از ۳ ثانیه به بعد، میزان شتاب و تغییرمکان با افزایش دوره تناوب کاهش یابد.



شکل (۶-۱۸) زلزله ۱۹۹۴ Northridge

یک پارامتر مشترک در تمام زلزله‌های مطرح‌شده این است که ویژگی مشخصه‌ی هر زلزله، در تعیین سیستم جداساز بهینه برای زلزله، کمک قابل توجهی می‌نماید. در هر حال، سیستم جداساز بهینه انتخاب شده براساس مشخصات یک زلزله، به طور حتم برای تمام زلزله‌ها بهینه نخواهد بود. براساس ضوابط آئین‌نامه‌ای، در شرایط بهره‌گیری از روش تاریخچه زمانی، بهتر است از طیفی با بیشترین انطباق از نظر موقعیت جغرافیائی منطقه به موقعیت پروژه مورد بررسی، استفاده شود. برخی از روش‌های ترکیب یا مقیاس کردن طیف‌ها در ادامه به اختصار تشریح می‌شود.

۶-۳-۲-۳ رکوردهای ایران

علاوه بر مجموعه رکوردهای اشاره‌شده که در مراجع بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به منظور بومی‌سازی و یا کنترل مضاعف سیستم‌های ساختمانی مجهز به سیستم جداساز در کشور، می‌توان



مجموعه‌ای از زلزله‌های ثبت شده در کشور را که از نظر بزرگا و شدت و نیز، نزدیکی به گسل‌ها، حائز اهمیت بوده و دارای شاخص‌های ارزشمندی هستند، مورد توجه قرار داد. در همین راستا، سه زلزله اصلی طیس، منجیل و بم، که این مشخصه‌ها را در خود دارند، در این قسمت به طور خلاصه معرفی می‌شوند.

الف) زلزله طیس (۱۳۵۷)

زلزله طیس که در ۲۵ شهریور ۱۳۵۷ حدود ساعت ۱۵:۳۵ دقیقه به وقت ایران اتفاق افتاد، با شدت ۷/۷ در مقیاس ریشتر و با کانونی در عمق ۳۴ کیلومتری زمین ثبت گردید. این زلزله تا شعاع ۵۴۰ کیلومتری کانون زمین‌لرزه احساس شد و بیشترین خرابی‌های آن، تا شعاع ۳۰ کیلومتری طیس، گزارش شده‌است. این زلزله به دلیل نزدیکی به منطقه‌ی گسل نایبند و گسل‌های مهم کوهبانان، کلمرو، داور، کلرکوه، اصفهک، اسفندیار، نایبند که عموماً شمالی - جنوبی می‌باشند و گسل جدید آن در ۵ کیلومتری طیس که شمالی جنوبی می‌باشد و با این زلزله دیده شده است، در زمره شتاب‌نگاشت‌های نزدیک به گسل می‌باشد.

ب) زلزله منجیل (۱۳۶۹)

زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل با شدت ۷/۴ در مقیاس ریشتر که به مدت ۶۰ ثانیه به طول انجامید، در استان‌های گیلان و زنجان احساس گردید. این زمین‌لرزه، با گسلش زمین‌لرزه‌ای سه تکه‌ای ناپیوسته که حدود ۸۰ کیلومتر گسترش داشته‌است، همراه بوده‌است. بررسی شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده از این زمین‌لرزه نشان می‌دهد که شتاب حرکت زمین در حوالی مرکز زلزله بیش از $0/6g$ بوده است. بیشترین شتاب افقی و قائم که از این زلزله ثبت شده است در دستگاه شتاب‌نگار آب‌بر است که در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری گسل زمین‌لرزه قرار گرفته بود. حداکثر شتاب افقی شتاب‌نگاشت به دست آمده از این شتاب‌نگار حدود $0/65g$ و حداکثر شتاب قائم حدود $0/52g$ است. این زلزله نیز، در زمره زلزله‌های حوزه نزدیک طبقه‌بندی می‌شود.

ج) زلزله بم (۱۳۸۲)

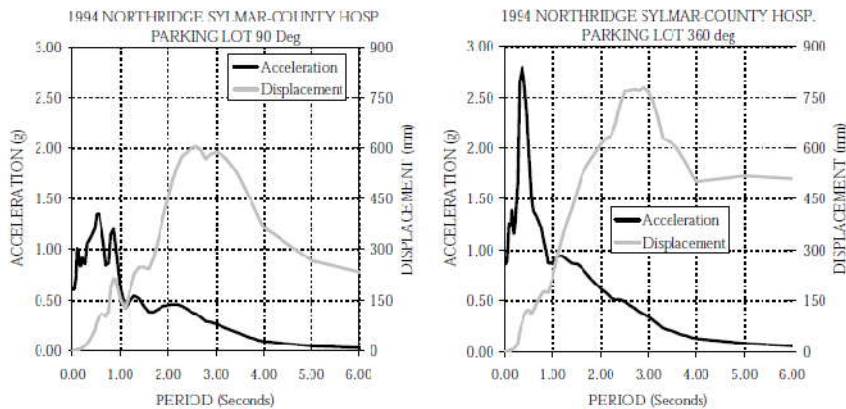
زمین‌لرزه ۵ دیماه ۱۳۸۲ بم با بزرگای ۶/۵ در مقیاس ریشتر در ساعت ۵:۲۶:۲۶ به وقت محلی در شهر تاریخی بم در جنوب شرقی کشور و در جنوب شرقی کرمان رخ داد. کانون زمین‌لرزه - بر اساس اطلاعات کسب شده از لرزه اصلی و پس‌لرزه‌ها توسط لرزه نگارها و شتاب‌نگارهای مستقر در بم - در محدوده شهر بم واقع بوده است. بر اساس بررسی‌های انجام شده بخشی از گسل بم که از کنار شهر بم عبور می‌کند در این زلزله فعال شده است. داده‌های شتاب‌نگاری از زمین‌لرزه بم در ۱۸ ایستگاه شبکه ملی شتاب‌نگاری ایران ثبت



شده است (وب سایت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن). نگاشت بدست آمده در ایستگاه بم بیشینه شتاب تصحیح نشده افقی با ترتیب $g/0.8$ و $g/0.7$ بر روی مولفه‌های افقی شرقی - غربی و شمالی - جنوبی نشان می‌دهد. همچنین بیشینه شتاب تصحیح نشده $g/0.98$ روی مولفه قائم نشان می‌دهد. مشاهدات اولیه جنبش زمین در ایستگاه بم و همچنین بررسی خرابی‌ها در بم نمایانگر اثر جهت پذیری قائم به دلیل قرار گیری در حوزه نزدیک گسل است. این اثر را می‌توان با مشاهده نگاشت مولفه قائم و تغییر مکانهای شدید به سمت بالا و پائین در هنگام لرزه اصلی بم و از سوی دیگر با تغییر مکانهای شدید در راستای عمود بر گسل (شرقی - غربی) توجیه نمود. خرابی ساختمانها و دطورار منازل در جهت‌های یاد شده و همچنین اظهارات اهالی از نوع جنبش و تکانهای احساس شده نمایانگر چنین اثری می‌باشد.

۳-۳-۶ اثرات نزدیک گسل

اثرات نزدیکی به گسل باعث ایجاد پالس‌های سرعتی بزرگ در نزدیکی شکستگی گسل خواهد شد. این اثرات در محدوده ۱ کیلومتری گسل بسیار زیاد است ولی تا حدود ۱۰ کیلومتری آن تاثیر می‌گذارد. ضوابط UBC بیان می‌دارد که اثرات نزدیک گسل باید با افزایش در بارهای لرزه‌ای، با ضریبی تا حدود ۱/۵، با توجه به فاصله از نزدیکترین گسل فعال و شدت زلزله‌ای که آن گسل قادر به ایجادش می‌باشد، اعمال شود. براساس تحقیقات انجام شده در نیوزیلند، طیف‌ها با توجه به اثرات نزدیکی به گسل اصلاح شده‌اند. همانطور که در شکل (۶-۱۹) نشان داده شده‌است، در زمان‌های بین ۶ تا ۹ ثانیه، شتاب‌های نسبتاً بزرگی برای دوره تناوب‌های بزرگ در نظر گرفته شده‌است، که باعث بوجود آمدن سرعتها و تغییر مکان‌های بزرگ در سازه در دوره تناوب متوسط در حدود ۱/۵ تا ۳ ثانیه می‌شود. این نوع از شتاب‌نگارها، محدوده وسیعی از سازه‌ها، و نه تنها سازه‌های جداسازی شده را دربر می‌گیرد.

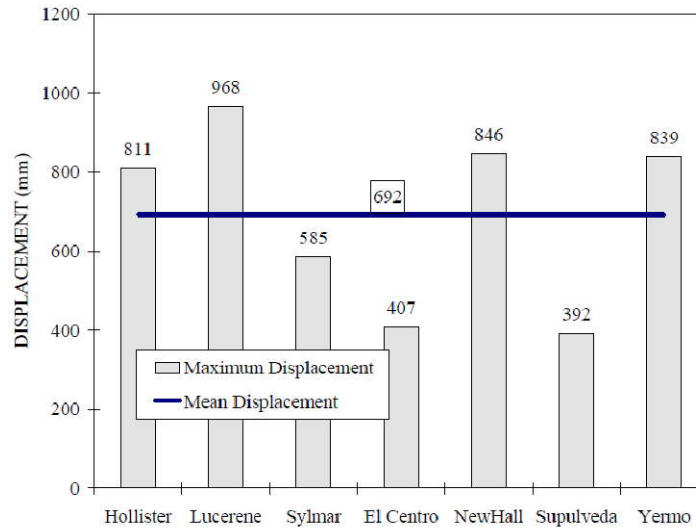


شکل (۶-۱۹) رکورد زلزله با مشخصات نزدیکی به گسل

۶-۳-۴ تغییرات تغییرمکان

در شکل (۶-۲۰) تغییرات حداکثر تغییرمکان ۷ زلزله، که براساس ضوابط UBC برای منطقه California مقیاس‌بندی شده‌اند، نشان داده می‌شود. محدوده تغییرمکان‌ها بین ۳۹۲ تا ۹۶۸ میلی‌متر و با متوسط مقدار ۶۹۲ میلی‌متر تعیین شده‌است. اگر حداقل ۷ زلزله مورد استفاده قرار گیرد، UBC اجازه می‌دهد که مقدار متوسط به عنوان مقدار طراحی در نظر گرفته شود. تغییرمکان ۴ زلزله از ۷ زلزله انتخاب شده، از تغییرمکان متوسط طراحی، ۶۹۲ میلی‌متر، تجاوز می‌کند. این زلزله‌ها، که از کالیفرنیا جنوبی انتخاب شده‌اند، از آنجهت مورد توجه قرار گرفته‌اند که تمام آنها دربرگیرنده اثرات نزدیکی به گسل هستند. هر کدام از این زلزله‌ها، به دوره تناوب متناظر با سیستم جداساز مقیاس شده‌اند. پراکندگی حاصل از این زلزله‌ها مطمئناً بیشتر از حالتی است که رکوردهای تقریباً مشابه بدون در نظر گرفتن اثرات نزدیکی به گسل استفاده شود. طراح مختار است:

- ۱- متوسط این ۷ زلزله، یعنی تغییرمکان ۶۹۲ میلی‌متر را استفاده نماید.
- ۲- سه زلزله با بیشترین مقادیر را انتخاب نموده و حداکثر تغییرمکان پاسخ یعنی ۹۶۸ میلی‌متر را استفاده کند.
- ۳- سه زلزله با کمترین مقادیر را انتخاب نموده و از بین آنها، حداکثر تغییرمکان پاسخ یعنی ۵۸۵ میلی‌متر را به کار ببرد.



شکل (۶-۲۰) اختلاف بین زمین لرزه‌ها

تصمیم‌گیری در خصوص طراحی، در شرایطی که تعداد زیادی از زلزله‌ها تغییرمکان‌هایی بیشتر از مقادیر طراحی ایجاد کنند، کار سختی است. هرچند، با انتخاب طیف‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ از طیف‌های معرفی شده در شکل (۶-۲۰)، هم ضوابط آئین‌نامه‌ای، که حداقل ۳ طیف تاریخیچه زمانی برای انجام محاسبات نیاز دارد، برآورده می‌شود و هم، مقدار تغییرمکان طراحی برابر با ۵۸۵ میلی‌متر انتخاب می‌شود که گزینه سوم از روشهای در اختیار طراحان است.

به طور کلی نیاز به تعیین نیازهای ویژه در روش طیف تاریخیچه زمانی وجود دارد تا بتوان از عدم رخ دادن اتفاقات غیرمنتظره و عدم تجاوز حداکثر تغییرمکان تجربه شده از حداکثر تغییرمکان طراحی، اطمینان حاصل کرد.

روشی که در اغلب پروژه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد این است که حداقل یک زلزله frequency scaled، به زلزله واقعی مقیاس شده افزوده شود. این زلزله frequency scaled، frequency content ای دارد که به نحوی اصلاح شده است که یک طیف که بیشترین نزدیکی به طیف طرح در تمام دوره‌های تناوب را دارد (در میرائی $\pm 5\%$)، ایجاد شود. این مسئله سبب می‌شود تا تمام محدوده فرکانس پاسخ در تحلیل وارد شود.



۶-۳-۵ ورودی لرزه‌ای تاریخچه زمانی

شتابنگاشت‌ها را می‌توان به دو گروه تقسیم بندی کرد. گروه اول شامل شتابنگاشت‌هایی می‌باشند که فاصله سایت از محل گسل برابر یا بیشتر از ۱۰ کیلومتر باشد و شتابنگاشت‌های دور از گسل (حوزه دور)^{۶۳} نامیده می‌شوند. در غیر این صورت شتابنگاشت‌ها، نزدیک به گسل^{۶۴} محسوب می‌شوند. شتابنگاشت‌های نزدیک به گسل به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱) شتابنگاشت‌هایی که دارای پالس‌های قوی باشند (NF- Pulse) ۲) شتابنگاشت‌هایی که پالس قوی در آنها وجود نداشته باشد (NF- No Pulse). در این پایان نامه از شتابنگاشت‌های دور از گسل استفاده شده است.

بزرگترین معضل در به‌کارگیری سیستم جداساز لرزه‌ای این است که روش طیف تاریخچه زمانی تنها روش قابل اعتماد در دستیابی دقیق به عملکرد قابل پیش‌بینی سیستم است حال آنکه، ضوابط آئین‌نامه‌ها برای انتخاب طیف تاریخچه زمانی به حجم زیادی از اطلاعات ورودی منجر می‌شود.

استفاده از ورودی‌های محافظه‌کارانه به عنوان ورودی در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای، نه تنها به افزایش هزینه طراحی منجر می‌شود، که علاوه بر آن، عملکرد سیستم را در زلزله‌های با سطوح کمتر، به شدت می‌کاهد. تمام سیستم‌های جداساز لرزه‌ای مورد استفاده باید برای عملکرد بهینه در سطح مشخصی از زلزله مدنظر قرار گیرند. این امر اغلب برای حداکثر زلزله مورد نظر، روی حداکثر تغییرمکان کنترل می‌شود که در نهایت به یک سیستم غیربهینه برای سطوح پائین زلزله منجر می‌شود.

به جز این، استفاده از رکوردهای مقیاس شده براساس ضوابط آئین‌نامه‌ای الزامی است. هر زمان که ممکن باشد، مطالعه لرزه‌ای بر روی ساختگاه باید توسط مشاور زلزله شناسی انجام شود تا اثرات نزدیکی به گسل تعیین شود و بازگشت دوره تناوب برای شدت زلزله و نیز، احتمال تاثیرپذیری ساختگاه از اثرات نزدیکی به گسل مشخص شود. همچنین ترجیح داده می‌شود که مشاور زلزله شناسی طیف‌های تاریخچه زمانی مناسبی به همراه ضرایب مقیاس مناسب را تعیین نماید تا بتواند هر دو سطح DBE و MCE را به درستی تعریف کرد.

⁶³ Far Field

⁶⁴ Near Field



۶-۳-۶ انتخاب و مقیاس کردن رکوردها برای تحلیل تاریخچه زمانی

۶-۳-۶-۱ انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها

همانطور که پیشتر اشاره شد، بهترین روش برای انتخاب طیف‌های تاریخچه زمانی، بهره‌گیری از دانش مشاور زلزله‌شناسی است. اگرچه، این روش اغلب در دسترس نمی‌باشد و لذا، می‌توان از مطالب ارائه‌شده در آئین‌نامه‌ها، در این خصوص بهره برد.

راهنماهای ارائه‌شده برای UBC و FEMA-356 پیچیده بوده و معمولاً ضوابط مشابهی را در برمی‌گیرند. در این منابع، نیاز به سه زوج مولفه طیف تاریخچه زمانی است. اگر هفت زوج یا بیشتر مورد استفاده قرار گیرد، نتایج متوسط می‌تواند برای طراحی به کار رود، در غیر اینصورت، مقادیر حداکثر باید مورد استفاده قرار گیرد. این طیف‌ها باید با شدت مناسب، فاصله مناسب از گسل و source mechanism برای ساختگاه انتخاب شوند. البته استفاده از طیف‌های تاریخچه زمانی مشابه‌سازی‌شده نیز مجاز می‌باشد.

در ATC-40، ۱۰ رکورد به عنوان مجموعه مناسب برای ساختگاه‌های دور از گسل (جدول ۶-۳) و ۱۰ رکورد به عنوان مجموعه مناسب برای ساختگاه‌های نزدیک گسل (جدول ۶-۴) پیشنهاد می‌شود. در غیاب سایر رکوردها، این مجموعه‌ها مناسب خواهد بود.

جدول (۶-۳) رکوردهای مناسب در ساختگاه‌های با بیش از ۱۰ کیلومتر فاصله از گسل

ردیف	بزرگا	سال	زلزله	ایستگاه ثبت داده
۱	۷/۱	۱۹۴۹	Westren	ایستگاه ۳۲۵
۲	۶/۵	۱۹۵۴	Washington	ایستگاه ۰۲۲
۳	۶/۶	۱۹۷۱	Eureka, CA	ایستگاه ۲۴۱
۴	۶/۶	۱۹۷۱	San Fernando, CA	ایستگاه ۲۴۱
۵	۷/۱	۱۹۸۹	San Fernando, CA	Hollister, Sth & Pine
۶	۷/۱	۱۹۸۹	Loma Prieta, CA	Gilroy #2
۷	۷/۵	۱۹۹۲	Loma Prieta, CA	Yermo
۸	۷/۵	۱۹۹۲	Landers, CA	Joshua Tree
۹	۶/۷	۱۹۹۴	Landers, CA	Moorpark
۱۰	۶/۷	۱۹۹۴	Northridge, CA	Century City LACC N



جدول (۴-۶) رکوردهای مناسب در ساختگاه‌های نزدیک به گسل

ردیف	بزرگا	سال	زلزله	ایستگاه ثبت داده
۱	۶/۵	۱۹۴۹	Imperial Valley, CA	El Centro Array 6
۲	۶/۵	۱۹۵۴	Imperial Valley, CA	El Centro Array 7
۳	۷/۱	۱۹۷۱	Loma Prieta, CA	Corralitos
۴	۷/۱	۱۹۷۱	Loma Prieta, CA	Capitola
۵	۶/۹	۱۹۸۹	Cape Mendocino, CA	Pertolia
۶	۶/۷	۱۹۸۹	Northridge, CA	Newhall Fire Station
۷	۶/۷	۱۹۹۲	Northridge, CA	Sylmar Hospital
۸	۶/۷	۱۹۹۲	Northridge, CA	Sylmar Converter Stat.
۹	۶/۷	۱۹۹۴	Northridge, CA	Sylmar Converter St E
۱۰	۶/۷	۱۹۹۴	Northridge, CA	Rinaldi Treatment Plant

استاندارد FEMAP695 (ATC-63) با تایید ضوابط ارائه شده در ATC-40، توصیه‌های زیر را

برای انتخاب شتابنگاشت‌ها جهت تحلیل دینامیکی غیرخطی مطرح نموده است:

الف) بزرگای زلزله:

بزرگای زلزله به کار رفته در تحلیل دینامیکی غیرخطی باید به اندازه ای باشد که موجب ایجاد خرابی گسترده در اکثر ساختمان‌های موجود گردد. زمین لرزه‌های با بزرگای کمتر از ۶/۵ ریشتر ($M < 6.5$) ممکن است باعث خرابی در ساختمان‌ها گردند ولی قادر به فروریزی ساختمان‌های جدید نمی‌باشند. حتی اگر زمین لرزه‌های با بزرگای کم باعث حرکت شدید زمین شوند، طول مدت حرکت شدید آن‌ها نسبتاً کم است و محدوده تاثیر آن‌ها نیز به نسبت کوچک است. این در حالی است که زمین لرزه‌های با بزرگای زیاد، قادر به تولید حرکات شدید زمین در طول مدت زیاد و ناحیه ای گسترده که تعداد زیادی ساختمان در آن قرار دارد، می‌باشند.



ب) نحوه‌ی گسلش (منشاء ایجاد زلزله)

طبقه بندی گسل‌ها فقط به هندسه و جهت لغزش نسبی آن‌ها بستگی دارد. بیشتر شتابنگاشت‌های زلزله تحت مکانیسم گسلش امتداد لغز^{۶۵} و یا گسلش معکوس^{۶۶} ثبت شده‌اند. سایر مکانیسم‌های گسلش به ندرت رخ می‌دهند.

ج) شرایط خاک سایت:

شتابنگاشت‌های انتخابی از میان زلزله‌هایی باشند که بر روی سایت سنگ سست (دسته C) و یا خاک سخت (دسته D) رخ داده‌اند. شتابنگاشت‌های مربوط به خاک سست (دسته E) و نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد (دسته F) انتخاب نمی‌شوند. هم چنین تعداد کمی از شتابنگاشت‌های دارای حرکت شدید بر روی خاک دسته B رخ داده‌اند.

د) فاصله از منشاء زلزله:

فاصله سایت از محل وقوع زلزله که معیار دور یا نزدیک بودن گسل است، از روش‌های گوناگونی قابل محاسبه است. معمولاً این فاصله را میانگین اعداد به دست آمده از روش‌های Joyner-Boore و Campbell در نظر می‌گیرند که در پایگاه داده PEER NGA نیز از همین روش استفاده شده است.

ه) تعداد شتاب‌نگاشت‌های انتخابی از یک زلزله:

بسته به تعداد ایستگاه‌های شتاب نگار که در نزدیکی محل وقوع زلزله قرار دارند، شتابنگاشت‌های متعددی می‌توانند از یک زلزله موجود باشند. برای جلوگیری از تاثیر بیش از حد یک زلزله نسبت به سایر زلزله‌ها در یک تحلیل دینامیکی غیرخطی، نباید بیش از دو شتابنگاشت از میان هر زلزله انتخاب گردد. چنانچه بیش از دو شتابنگاشت از یک زلزله، سایر شرایط انتخاب شتابنگاشت را داشته باشند، آن دو تایی که دارای PGV بزرگتری هستند، انتخاب می‌شوند.

⁶⁵ Strike-Slip

⁶⁶ reverse or Thrust



و) شدت شتاب‌نگاشت‌های انتخابی:

برای این که شتاب‌نگاشت انتخاب شده قادر به ایجاد خرابی کافی بر روی مدل باشد، توصیه می‌شود که شتاب‌نگاشت‌ها دارای PGA بزرگتر از 0.2g و PGV بزرگتر از 15 cm/sec باشند.

ز) موقعیت شتاب‌نگار:

گاهی دستگاه‌های شتاب‌نگار داخل ساختمان‌هایی قرار می‌گیرند که اگر این ساختمان‌ها بزرگ باشند می‌توانند به واسطه اندرکنش خاک و سازه بر روی شتاب ثبت شده تاثیر بگذارند. به همین دلیل شتاب‌نگاشت‌هایی باید انتخاب شوند که دستگاه شتاب‌نگار در محیطی آزاد^{۶۷} و یا بر روی طبقه همکف ساختمان‌های کوچک قرار داشته باشند.

۶-۳-۲ مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها

مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها به منظور تصحیح و یک‌دست کردن آن‌ها انجام می‌شود. به طوری که قادر به ایجاد خرابی کافی در ساختمان‌های حاضر باشند. روند مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها شامل دو مرحله است: (۱) نرمال سازی^{۶۸} و (۲) مقیاس سازی^{۶۹} تا کنون روش‌های متعددی برای مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها ارائه شده است. در ادامه دو روش مقیاس سازی ارائه گردیده است.

الف) روش آئین‌نامه ASCE7-10:

الف) تحلیل دو بعدی: ابتدا شتاب‌نگاشت‌های انتخابی به یک عدد نرمال شده و سپس طوری مقیاس می‌شوند که میانگین پاسخ شتاب طیفی آن‌ها برای ۵ درصد میرایی در محدوده بین 0.2T تا 1.5T در هیچ نقطه‌ای از طیف طرح کمتر نباشد. T زمان تناوب طبیعی ساختمان است که از رابطه $T = C_u T_a$ به دست می‌آید.

⁶⁷ Free – Field

⁶⁸ normalization

⁶⁹ scaling



ب) تحلیل سه بعدی: ابتدا مؤلفه با PGA بزرگتر در هر زوج شتابنگاشت به یک عدد (مثلاً 1g) نرمال شده و مؤلفه دیگر در ضریب نرمال سازی مساوی ضرب می‌شود. سپس از پاسخ شتاب طیفی دو مؤلفه برای ۵ درصد میرایی SRSS گرفته می‌شود. مقیاس سازی طوری صورت می‌گیرد که میانگین طیف‌های SRSS شده در هیچ نقطه‌ای در محدوده 0.2T تا 1.5T از ۹۰ درصد ۱/۳ برابر طیف طرح کمتر نشود.

ب) روش آئین‌نامه (ATC-63) FEMAP695

در این روش، تحلیل دو بعدی و سه بعدی تأثیری در مقیاس سازی ندارند. ابتدا هر یک از شتابنگاشت‌ها بر اساس PGV نرمال می‌شوند. نرمال سازی بر اساس PGV، آسان‌ترین راه برای حذف نوسانات و تغییرات موضعی شتابنگاشت‌ها که ناشی از تفاوت در بزرگای فاصله از منشأ، نوع گسلش و شرایط خاک سایت می‌باشند، محسوب می‌شود. نرمال سازی بر اساس PGV محاسبه شده در پایگاه داده PEER NGA انجام می‌شود. PGV_{PEER} در واقع میانگین هندسی PGV دو مؤلفه افقی شتابنگاشت می‌باشد.

ضریب نرمال سازی در این حالت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$NM_i = \text{Median}(PGV_{PEER,i}) / PGV_{PEER,i} \quad (۱-۶)$$

$$NTH_{1,i} = NM_i \times TH_{1,i} \quad , \quad NTH_{2,i} = NM_i \times TH_{2,i} \quad (۲-۶)$$

که در روابط فوق،

NM_i = ضریب نرمال سازی شتابنگاشت که برای هر دو مؤلفه آن یکسان است.

$PGV_{PEER,i}$ = حداکثر سرعت زمین برای شتابنگاشت i طبق پایگاه داده PEER NGA

$NTH_{1,i}$ = مؤلفه اول افقی شتابنگاشت نرمال شده i ام

$NTH_{2,i}$ = مؤلفه دوم افقی شتابنگاشت نرمال شده i ام

$TH_{1,i}$ = مؤلفه اول افقی شتابنگاشت i ام

$TH_{2,i}$ = مؤلفه دوم افقی شتابنگاشت i ام

مقیاس سازی شتابنگاشت‌های نرمال شده به روش فوق همانند روش ASCE7-06 می‌باشد با این تفاوت که کافی است میانگین پاسخ شتاب طیفی شتابنگاشت‌ها برای ۵ درصد میرایی، در زمان تناوب T (به جای محدوده بین 0.2T تا 1.5T) از طیف مطرح شده در روش ASCE 7 کمتر نشود.



۶-۳-۷ انتخاب رکوردها از یک مجموعه

هرچند UBC و FEMA در خصوص طیف نهائی حاصل از مقیاس‌شدگی رکوردها مواردی را مطرح کرده‌است، مطالبی در خصوص نحوه انتخاب رکوردهای خاصی از مجموعه ضرایب مقیاس محاسباتی برای هر رکورد ارائه ننموده‌است. در آخرین ویرایش اعمال‌شده در ترکیب بارهای آئین‌نامه نیوزیلند، NZS 1170، روشی ارائه شده که در سایر آئین‌نامه‌ها نیز قابل استفاده است.

در این روش، دو گام وجود دارد، مقیاس کردن هر رکورد و سپس، مقیاس کردن مجموعه‌ای از رکوردها. ۱- تعیین ضریب مقیاس یک رکورد، K_1 : برای هر کدام از مولفه‌های افقی رکورد، K_1 ضریب مقیاسی است که در حداقل متوسط مربعات (least mean square)، مقدار عبارت $\log(K_1 SA_{component} / SA_{target})$ را روی محدوده دلخواهی از دوره تناوب، حداقل می‌سازد. این مسئله با تعریف D_1 قابل بررسی است که در آن، حداقل کردن مقدار D_1 به ازای K_1 ، مورد توجه قرار گرفته و با تعیین K_1 ، ضریب مقیاس هر مولفه رکورد تعیین می‌شود.

$$D_1 = \sqrt{\frac{1}{(1.5 - 0.4)T_1} \int_{0.4T}^{1.5T} [\log(\frac{k_1 SA_{component}}{SA_{target}})]^2 dT} \quad (3-6)$$

۲- گام دوم، اطمینان از این مسئله است که پوش رکوردهای مقیاس‌شده، از طیف هدف تجاوز خواهد نمود. در این گام، ضریب K_2 که مربوط به مقیاس کردن مجموعه ی طیف‌هاست، به نحوی تعیین می‌شود که برای هر دوره تناوب در محدوده دوره تناوب دلخواه، مولفه اصلی در حداقل یک رکورد که با ضریب K_1 متناظر خودش مقیاس شده‌است، از مقدار طیف هدف تجاوز کند.

در هنگام انتخاب زیرمجموعه‌ای از رکوردها، از مجموعه‌های بزرگتر، مقدار D_1 برای تمام رکوردها محاسبه می‌شود و طیف‌های با کمترین مقدار D_1 انتخاب می‌شوند.

در آئین‌نامه نیوزیلند، مولفه‌ی اصلی مقیاس می‌شود و سپس، ضریب مقیاس آن به هر دو مولفه اعمال می‌شود، در UBC و FEA هر دو مولفه مدنظر قرار گرفته و پس از تعیین ضریب مقیاس هر کدام از مولفه‌ها به طور مجزا، طیف مقیاس‌شده معادل از رابطه $SA_{component} = \sqrt{SA_1^2 + SA_2^2}$ بدست می‌آید که در آن SA_1 ، طیف مقیاس‌شده مولفه اول و SA_2 طیف مقیاس‌شده مولفه دوم است. پس از آن، SA_{target} برابر با $1/3$ برابر طیف طراحی تعریف می‌شود.



۶-۳-۸ مقایسه ضرایب مقیاس کردن زلزله

در FEMA و UBC، روشی برای تعیین ضرایب مقیاس برای طیف پاسخ بیان شده‌است که از دو منظر با آئین‌نامه نیوزیلند متفاوت است.

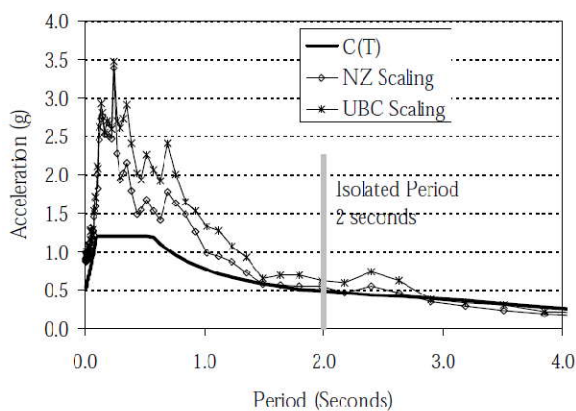
۱- ضرایب مقیاس UBC براساس نسبت SRSS دو مولفه به $1.3C(T)$ است در حالیکه در آئین‌نامه نیوزیلند این نسبت روی مولفه اصلی به $C(T)$ تعریف شده‌است.

۲- ضریب مقیاس مجموعه رکوردها در UBC به نحوی محاسبه می‌شود که متوسط سه رکورد از طیف هدف در تمام دوره تناوب‌ها، تجاوز نماید. آئین‌نامه نیوزیلند این ضریب را به نحوی انتخاب می‌کند که حداقل یک رکورد از طیف هدف تجاوز نماید.

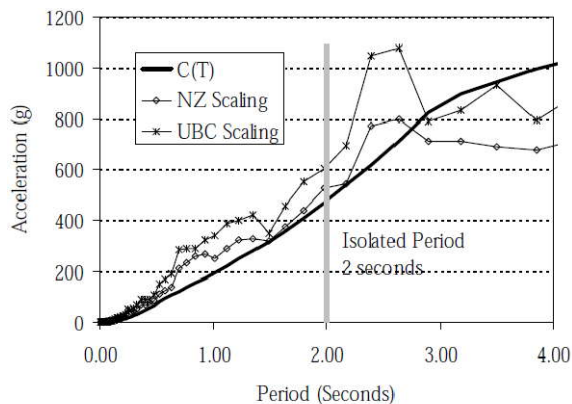
اصلی‌ترین تاثیر این دو تفاوت در این است که ضرایب مقیاس UBC به طیف پاسخی با ۱۵ درصد افزایش نسبت به طیف پاسخ نیوزیلند منجر می‌شود، که در جدول (۶-۵) نیز این مسئله برای ساختمان جداسازی شده لرزه‌ای با دوره تناوب ۲ ثانیه بررسی شده‌است. تغییرمکان طیفی در دوره تناوب ۲ ثانیه ۴۶۹ میلی‌متر است که تقریباً برابر با تغییرمکان سیستم جداسازی است که با طیف پاسخ طراحی شود. در طراحی به روش تاریخیچه زمانی، این تغییرمکان در نیوزیلند ۱۲ درصد و در UBC ۲۹ درصد بیشتر محاسبه می‌شود.

جدول (۶-۵) مقایسه ضرایب مقیاس

رکورد	UBC	آئین‌نامه نیوزیلند NZS 1170
Mexico, UNIO, La Union Michoacan (Mexico) 1985 S00E	۵/۴۲	۴/۰۱
Iran, Tabas, 1978 N74E	۱/۰۳	۰/۹۶
Iran, Tabas, 1978 N90E	۰/۹۶	۱/۰۱
Spectral Acceleration at 2.0 seconds ($C(T)=0.148$)	۰/۶۲	۰/۵۴
Spectral Displacement at 2.0 seconds ($C(T)=469$ mm)	۶۰۵	۵۲۶



شکل (۶-۲۱) طیف شتاب با میرایی ۵٪



شکل (۶-۲۲) طیف شتاب با میرایی ۵٪

۶-۴ تحلیل دقیق سیستم

روش طراحی ارایه شده در سراسر این کتاب صرفاً براساس پاسخ سیستم جداسازی ، بدون در نظر گرفتن انعطاف پذیری خود سازه ، می باشد. با در نظر گرفتن انعطاف پذیری سازه بالای تکیه گاه ها(جداسازها)یا زیرسازه زیر تکیه گاه های پل) پاسخ سیستم بهبود خواهد یافت، زیرا بخشی از جابجایی در خود سازه اتفاق خواهد افتاد. میزان تغییرات پاسخ به انعطاف پذیری سازه یا زیرسازه نسبت به سیستم جداسازی بستگی دارد.



می توان روش طراحی را با در نظر گرفتن انعطاف پذیری زیرسازه پل ها اصلاح نمود. در این فرآیند، سختی تکیه گاه از ترکیب سری سختی جداساز ها و پایه بدست می آید. در هر صورت، با وجود رایانه ها در دفاتر طراحی و شرکت ها، بهتر است انعطاف پذیری سازه را در مرحله تحلیل در نظر گرفت. در جدول ۶-۶ روش های تحلیل براساس میزان پیچیدگی نشان داده شده اند. هر کدام از روش ها نقش خود را در فرایند طراحی و ارزیابی دارد. معمولاً از ساده ترین روش شروع کرده و بر حسب نیاز پروژه به ترتیب از تحلیل های پیچیده تر استفاده می گردد. بدین ترتیب، با استفاده از هر روشی نتایجی بدست می آید که برای ارزیابی نتایج روش پیچیده بعدی از آن استفاده می گردد.

جدول (۶-۶) تحلیل سازه های جداسازی شده

کاربرد	نوع تحلیل
طراحی سیستم جداساز	یک درجه آزادی - غیرخطی
مقایسه سطح طراحی و مطالعات خسارت، اثر انعطاف پذیری پایه	قاب یا دیوار دو بعدی-مدل های دوبعدی پل - غیر خطی
نیروهای طراحی اعضا	سه بعدی-خطی
مستخصات سیستم جداساز	سه بعدی-روسازه خطی-جداسازهای غیرخطی
عملکرد سیستم جداساز و سازه	سه بعدی-روسازه غیر خطی-جداسازهای غیرخطی

۶-۴-۱ مدل یک درجه آزادی

معمولاً در مرحله اولیه طراحی، به ویژه برای سیستم های ترکیبی، از یک مدل ساده استفاده می شود. روسازه صلب فرض شده و کل وزن به عنوان یک جرم واحد مدل می شود. سپس از تعدادی المان ها که به صورت موازی کار می کنند، برای مدل سازی جداکننده استفاده می شود. برای مثال، کلیه تکیه گاه های الاستومری به صورت یک المان الاستیک، هسته های سربی به عنوان یک المان الاستو-پلاستیک و تکیه گاه های لغزنده به عنوان یک المان اصطکاکی در نظر گرفته میشوند. میرایی ویسکوز نیز در المان الاستیک در نظر گرفته می شود نه در المان های تسلیم شونده. با استفاده از این مدل می توان بیشینه جابجایی و نیروهای جداساز را بدست آورد و از آن برای کنترل طراحی انجام شده استفاده نمود. از این مدل نتایجی معادل نتایج بدست آمده از فرآیند طراحی بدست می آید، اما از دو جنبه دقیق تر است:



۱. ورودی این مدل مجموعه ای از تاریخچه های زمانی (شتابنگاشت ها) بوده و بنابراین با استفاده از نتایج این روش می توان اختلاف بین نتایج بدست آمده از تحلیل تاریخچه و روش تحلیل طیف پاسخ، که در فرآیند طراحی از آن استفاده می شود، را به صورت کمی بیان کرد.
 ۲. با استفاده از این روش می توان به جرم سازه به صورت همزمان دو مؤلفه زمین لرزه را اعمال کرد، که منجر به ایجاد جابجایی ها و برش پایه با در نظر گرفتن اثر اندرکنش جاری شدن جداساز در دو جهت، می شود.
- برای این نوع تحلیل ها برنامه هایی مانند NONLIN یا DRAIN-2D برای تحلیل تک مؤلفه ای و ETABS، SAP2000 یا ANSR برای تحلیل همزمان چند مؤلفه موجود می باشد.

۶-۴-۲ مدل غیرخطی دو بعدی

مدل های دوبعدی قاب یا دیوار برشی یک ساختمان روش مؤثری برای ارزیابی اثرات پاسخ روسازه/زیرسازه و تسلیم آن ها می باشد. اعضاء سازه به صورت اعضاء جاری شونده دو خطی و جداسازها به صورت مدل تک درجه آزادی مدل سازی می گردند.

برای پل ها از دو مدل دوبعدی مجزا استفاده میشود، یکی برای مدل سازی پاسخ طولی و دیگری برای مدل سازی پاسخ عرضی پل.

یکی از برنامه های متداول در این زمینه DRAIN2D2 می باشد. این نوع تحلیل به ندرت برای ساختمان ها به کار می رود، زیرا امکانات محاسباتی به حدی از پیشرفتگی رسیده اند که تحلیل سه بعدی غیرخطی تقریباً در تمام موارد ممکن است. اما این روش هنوز هم به عنوان تحلیل نهایی برای پل ها که می توانند در دو جهت طولی و عرضی به صورت مجزا تحلیل شوند، به کار روند.

۶-۴-۳ مدل خطی معادل سه بعدی

استفاده از یک مدل الاستیک خطی با برنامه ای مانند ETABS برای ساختمان (یا STRUDL برای پل ها) برای طراحی نهایی برخی سازه ها کافی است. در این حالت از با استفاده از تحلیل طیف پاسخ سازه تحت اثر زلزله بدست می آید. در این نوع تحلیل جداسازها به صورت ستون کوتاه یا تکیه گاهی در نظر گرفته میشوند که دارای سختی مؤثری برابر با سختی موثر جداسازها باشند. میرایی نیز با کاهش طیف پاسخ در محدوده پریودهای جداسازی شده به نسبت B، در نظر گرفته می شود.



همانطور که قبلاً توضیح داده شد، در خصوص بیشتر سیستم‌هایی که دارای جداسازهای غیرخطی هستند، در این روش لنگر واژگونی کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود. با در نظر گرفتن این موضوع، همواره توصیه می‌گردد که در این مدل‌ها همواره تحلیل تاریخچه زمانی انجام شود.

۶-۴-۴ مدل سه بعدی، سازه الاستیک، جداسازهای جاری شونده

استفاده از این نوع مدل زمانی مناسب است که جاری شدن در تعداد اندکی از اعضاء سازه ای در تراز بالا یا پایین جداساز مشاهده گردد. در برخی برنامه‌ها، مانند 3D-BASIS، ساختمان به صورت یک "ابن‌المان" مدل می‌گردد، که در آن از مدل کاملاً الاستیک خطی سازه با پایه گیردار برای کاهش کل روسازه به یک عضو با سه درجه آزادی در هر طبقه، استفاده شده است. با این روش به طور مستقیم جابجایی جداساز و نیروهای روسازه بدست می‌آید و بارهای بحرانی به مدل الاستیک خطی اعمال می‌شوند تا نیروهای طراحی روسازه بدست آیند.

در صورت مدل‌سازی جداساز با المان‌های جاری شونده (غیرخطی) نمی‌توان از روش تحلیل طیفی استفاده نمود. در نتیجه باید از تحلیل تاریخچه زمانی برای این تحلیل استفاده کرد. برنامه ETABS دارای المان‌های جداساز غیر خطی است و توصیه می‌شود برای تمامی سازه‌های جداسازی شده مورد استفاده قرار گیرد.

۶-۴-۵ مدل سه بعدی کاملاً غیر خطی

با وجود پیشرفت رایانه‌ها استفاده از مدل‌های سازه‌ای کاملاً غیر خطی متداول شده است؛ با این وجود بدلیل زمان بر بودن این نوع تحلیل‌ها از آن‌ها بیشتر در طراحی سازه‌های خاص استفاده می‌شود. مدل غیر خطی موزه نیوزلند با ۲۲۵۰ درجه آزادی و بیش از ۱۵۰۰ عضو با قابلیت جاری شدن بر روی سیستم MS-DOS 486 تحلیل شد و توسط آن جزئیات کامل نیروها و تغییر شکل‌های جداساز، چرخش‌های پلاستیک سازه‌ای، گریزها، شتاب طبقات و طیف پاسخ درون سازه‌ای بدست آمد. رایانه‌های کنونی قادر به تحلیل مدل‌هایی با بیش از ۲۰۰۰۰ درجه آزادی هستند.

۶-۴-۶ مدل سازی جداسازها

تابع تسلیم جداسازها برای تحلیل غیر خطی باید به صورت صریح مدل گردد. نوع این تابع وابسته به نوع جداساز می‌باشد:



۱. تکیه گاه های از نوع لاستیک با چگالی بالا (HDR) یا به صورت خطی الاستیک با میرایی ویسکوز مدل می گردند یا حلقه هیستریزس آن ها باید به طور مشخص مدل گردد.
 ۲. جداسازهای سرب-لاستیکی (LRB) یا به صورت دو عضو مجزا (لاستیک به صورت خطی و هسته سربی به صورت الاستوپلاستیک) یا به صورت یک عضو دو خطی مدل می شوند.
 ۳. تکیه گاه های اصطکاکی (لغزشی) توسط یک عضو الاستیک-پلاستیک کامل با سختی اولیه زیاد مدل سازی شوند که در آن سطح تسلیم تابعی از فشار عمودی و سرعت است. در صورتیکه در تحلیل ها برکنش (آپلیفت) مشاهده شود، این سیستم با المان Gap ترکیب می شود تا نیروی برشی هنگام برکنش (آپلیفت) صفر شود.
- در مدلسازی باید توجه داشت که میرایی دو بار در فرمولاسیون ویسکوز و هیستریک، وارد نشود. به همین دلیل است که معمولاً بهتر است LRB ها به صورت دو عضوی مدل شوند. میرایی اعضا در عضو لاستیکی، که دارای میرایی ویسکوز است، در نظر گرفته می شود، اما به عضو سربی، میرایی تعلق نمی گیرد.
- در مورد موزه نیوزلند، برای تعیین رابطه ضریب اصطکاک با ضریب فشار و سرعت تعدادی آزمایش بر روی مصالح تلفون انجام شد و از آن برای کالیبراسیون مدل ANSR-II ساخته شده، استفاده شد.
- برنامه ETABS دارای یک عضو لغزنده (اصطکاکی) است که اثرات سرعت را در نظر می گیرد و می تواند برای سیستم های لغزنده منحنی استفاده شوند.

۶-۴-۷ تحلیل ETABS برای ساختمان ها

نسخه های ۶ و بالاتر برنامه ETABS دارای قابلیت مدلسازی ساختمان های جداسازی شده در پایه را دارد. راهنمای برنامه ETABS توصیه هایی برای ایجاد یک مدل جداسازی شده دارد.

می توان از یک برگه طراحی جداسازی، مانند مثالی که در این کتاب ارائه شده است، برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل با استفاده از ETABS استفاده کرد. در ادامه مبانی نحوه تحلیل ساختمان جداسازی شده را با استفاده از ETABS ارائه می گردد.

۶-۴-۷-۱ خصوصیات سیستم جداسازی

در طراحی سیستم جداسازی معمولاً از تکیه گاه سربی لاستیکی (LRB)، تکیه گاه های الاستومتریک (ELAST)، تکیه گاه لاستیکی با میرایی بالا (HDR)، یا تکیه گاه های لغزنده (اصطکاکی) صاف یا منحنی (PTFE و FPS)، استفاده می شود. در نرم افزار ETABS این تکیه گاه به صورت فنر مدل می شوند:



۶-۴-۷-۲ تکیه گاه های سربی لاستیکی (LRB)

تکیه گاه های LRB به صورت حلقه هیسترتیک دو خطی معادل، مدل می گردد که خصوصیات آن با استفاده تش تسلیم سرب و سختی الاستومر محاسبه می گردد. این نوع تکیه گاه ها توسط فنر از نوع ISOLATOR1 در برنامه ETABS مدلسازی می شوند.

۶-۴-۷-۳ تکیه گاه الاستومری (ELAST)

تکیه گاه های الاستومری ساده به صورت فنر از نوع LINEAR مدل سازی میشوند.

۶-۴-۷-۴ تکیه گاه های لغزنده (اصطکاکی) (PFS و PTFE)

تکیه گاه های لغزنده توسط فنر از نوع ISOLATOR2 مدل می شوند که در آن مشخصات ضریب اصطکاک در سرعت های آهسته و سریع، که از آزمایشات بدست می آیند، پارامترهای ورودی می باشند. ضریب اصطکاک تابعی از فشار وارده بر تکیه گاه و سرعت است. برنامه ETABS تنها اثر وابستگی به سرعت را در نظر می گیرد اما از اثر وابستگی به فشار صرف نظر می کند. جدول ۶-۷ ضرایب اصطکاک اندازه گیری شده را که از سری آزمایشات انجام شده در دانشگاه ایالتی نیویورک، بوفالو انجام شده است را نشان می دهد. این آزمایشات بر روی تفلون بدون مصالح پرکننده^{۷۰} (UF) و با ۱۵٪ و ۲۵٪ شیشه به عنوان مصالح پرکننده (۱۵GF و ۲۵GF) انجام شده اند. آزمایش بر روی مصالح UF به دو صورت موازی با لایه (P) و عمود بر لایه (T) انجام شد.

جدول ۶-۷ وابستگی قابل توجه ضریب اصطکاک به فشار، سرعت و جنس مصالح را نشان می دهد. اغلب جداسازها از تفلون بدون مصالح پر کننده استفاده می کنند و به همین جهت تنها مقادیر UF جالب توجه هستند. با استفاده از جدول ۶-۷، مقادیر منطقی برای خصوصیات مدلسازی جداساز اصطکاکی با تفلون بدون مصالح پر کننده استخراج شده که در جدول ۶-۸ نشان داده شده است. برای تکیه گاه های اصطکاکی دارای انحناء، شعاع انحناء نیز جزء پارامترها است. برای این نوع تکیه گاه ها برای ضریب اصطکاک توصیه می شود از مقادیر پیشنهادی توسط سازنده استفاده گردد.

⁷⁰-Unfilled Teflon



جدول (۶-۷) مشخصات تکیه گاه اصطکاکی صاف

توان a	ضریب سرعت بالا	ضریب سرعت پائین	فشار MPa	جهت حرکت	نوع تفلون
۰/۶	۰/۱۱۹	۰/۰۲۷	۷	P	UF
۰/۶	۰/۰۸۷	۰/۰۱۸	۱۴	P	UF
۰/۸	۰/۰۷۰	۰/۰۱۵	۲۱	P	UF
۰/۵	۰/۰۵۷	۰/۰۰۹	۴۵	P	UF
۰/۶۰	۰/۱۴۶	۰/۰۴	۷	P	12GF
۰/۵۵	۰/۱۰۱	۰/۰۴۳	۱۴	P	12GF
۰/۶۰	۰/۰۸۵	۰/۰۴۳	۲۱	P	12GF
۰/۷۰	۰/۰۵۳	۰/۰۲۲	۴۵	P	12GF
۰/۶۵	۰/۱۳۲	۰/۰۵۵	۷	P	25GF
۰/۶۵	۰/۱۱۲	۰/۰۴۹	۱۴	P	25GF
۰/۳۲	۰/۰۹۶	۰/۰۴۴	۲۱	P	25GF
۰/۹۰	۰/۰۵۹	۰/۰۳۲	۴۵	P	25GF
۰/۴۵	۰/۱۴۲	۰/۰۲۴	۷	T	UF
۰/۷۰	۰/۱۰۵	۰/۰۱۷	۱۴	T	UF
۰/۵۵	۰/۰۸۲	۰/۰۲۹	۲۱	T	UF
۰/۴۵	۰/۰۵۵	۰/۰۱۱	۴۵	T	UF

جدول (۶-۸) مقادیر پیشنهادی برای مدلسازی تکیه گاه اصطکاکی صاف

تغییرات کنترل کننده ضریب اصطکاک	ضریب اصطکاک در سرعت بالا	ضریب اصطکاک در سرعت پائین	فشار قائم روی PTFE
۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۰۳	کمتر از ۵ MPa
۰/۶۵	۰/۱۰	۰/۰۲۵	۵ تا ۱۵ MPa
۰/۶۰	۰/۰۸	۰/۰۲	بیشتر از ۱۵ MPa



۶-۴-۷-۵ تکیه گاه های لاستیکی با میرایی بالا (HDR)

اگرچه الاستومر استفاده شده در این تکیه گاه ها تحت عنوان "میرایی بالا" شناخته می شود، مکانیزم اصلی اتلاف انرژی الاستومر از نوع هیسترتیک است تا ویسکوز. به عبارت دیگر منحنی های تغییر شکل نیرو یک حلقه هیسترتیک غیر خطی تشکیل می دهند. در آیین نامه UBC روشی برای تبدیل مساحت زیر منحنی هیسترتیک به میرایی ویسکوز معادل برای استفاده در تحلیل های خطی معادل، ارائه شده است.

برای تحلیل های غیر خطی، بهتر است که منحنی نیرو-تغییر شکل به طور مستقیم وارد مدل گردد و بدین ترتیب میرایی هیسترتیک به صورت غیر صریح در نظر گرفته می شود. با این روش تقریب بکار رفته در تبدیل مساحت هیسترتیک به میرایی ویسکوز از بین می رود.

دومین خط داده در فایل ورودی نرم افزار ETABS حاوی مشخصات دو خطی برای انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی می شود. روش بدست آوردن این مشخصات به شرح زیر می باشد:

۱. سختی موثر در جابجایی طراحی بر اساس زوش طراحی و سختی الاستومر بدست می آید. با این روش نیروی تکیه گاهی در جابجایی طراحی بدست می آید.

۲. برای الاستومر کرنش "تسلیم" معادل تعریف میشود. بدین ترتیب جابجایی تسلیم محاسبه می گردد.

۳. با استفاده از مدول برشی الاستومر در کرنش "تسلیم" فرض شده، می توان نیروی تسلیم را محاسبه کرد و حلقه هیسترتیک را ساخت.

۴. مساحت حلقه هیسترتیک محاسبه شده و از این مساحت و سختی موثر، میرایی ویسکوز معادل بدست می آید.

۵. در صورت لزوم، کرنش "تسلیم" فرض شده تا جایی که میرایی ویسکوز معادل در جابجایی ماکزیموم با میرایی بدست آمده در آن سطح کرنش مساوی شود، ادامه پیدا می کند.

۶-۴-۷-۶ روش تحلیل

مدل ETABS را می توان با چندین روش تحلیل کرد، که به ترتیب پیچیدگی به شرح زیر ارائه میشود:

۱. بار استاتیک معادل

۲. تحلیل طیف پاسخ خطی

۳. تحلیل تاریخچه زمانی خطی

۴. تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی



در آیین نامه UBC بسته به نوع ساختمان و لرزه خیزی محل آن، ضوابطی در مورد حداقل سطح تحلیل مورد استفاده ارائه شده است:

تحلیل استاتیکی خطی معادل در مورد ساختمان های کوچک و معمولی کاربرد دارد و تقریباً هرگز برای پروژه های جداسازی کافی نیست.

تحلیل طیف پاسخ خطی معمول ترین روش تحلیل است. این روش تقریباً برای تمامی سیستم های جداسازی شامل تکیه گاه های LRB و HDR کافی است.

در روش تحلیل طیف پاسخ از سختی موثر تکیه گاه ها استفاده می شود که از نیروی تکیه گاه تقسیم بر جابجایی بدست می آید. در نتیجه، این روش تکراری خواهد بود به عبارت دیگر، اگر در تحلیل جابجایی ای بدست آید که از مقدار فرض شده برای محاسبه ویژگی های سختی متفاوت باشد، سختی موثر بایستی تصحیح شده و تحلیل تکرار شود.

در عمل، استفاده از روش یک درجه آزادی که برای طراحی سیستم جداساز معمولاً به کار می رود، تخمین خوبی از جابجایی بدست میدهد و نیاز به تحلیل های چندگانه نخواهد بود. هر چند، اگر در تحلیل نرم افزار ETABS مقدار جابجایی های مرکز جرم بالای جداساز، که از مقادیر روش طراحی بسیار متفاوت است، بدست آید (تغییرات بیش از حدود ۱۰ درصد) مشخصات بایستی از نو محاسبه شوند.

سختی موثر در جابجایی مشخص، Δ ، را میتوان از داده های خط دوم ورودی ISOLATOR1 به ترتیب زیر محاسبه کرد:

$$KE2 = \frac{FY2(1-RK2)}{\Delta} + K2.RK2 \quad (۴-۶)$$

میرایی موثر را میتوان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$DE2 = \frac{2.FY2.(1-RK2)(\Delta - \frac{FY2}{K2})}{\pi.KE2.\Delta^2} \quad (۵-۶)$$

باید توجه داشت که میرایی بدست آمده، میرایی کل است و از آن باید مقدار میرایی سازه (حدود ۰/۰۵) که در ETABS مشخص شده است، کاسته شود.

با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی خطی اطلاعات نسبتاً بیشتری از تحلیل طیف پاسخ، با تلاش بسیار بیشتر، بدست می آید و به خاطر همین کمتر مورد استفاده قرار میگیرد.

استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای (۱) سیستم های قرار گرفته روی خاک های خیلی نرم، (۲) سیستم های فاقد نیروی بازگرداننده (مانند سیستم های لغزنده)، (۳) سیستم های وابسته به سرعت، و (۴) سیستم های با قابلیت جابجایی محدود، الزامی است.



در عمل، تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی در بسیاری از پروژه‌ها، حتی هنگامیکه در آیین نامه UBC استفاد از آن توصیه نشده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا اغلب پروژه‌های جداسازی شده ساختمان‌های بسیار با ارزش بوده و یا پیچیده می‌باشند. همانطور که پیشتر بحث شد، نگرانی‌هایی راجع به دقت نتایج تحلیل روش سختی معادل وجود دارد.

۶-۴-۷ طیف پاسخ ورودی

در تحلیل طیف پاسخ، پاسخ هر یک از مد‌ها نسبت به محور طیفی در آن پریود محاسبه می‌گردد. برای مدهای جداسازی شده، بایستی میرایی ویسکوز معادل تکیه‌گاه‌های LRB و HDR در میرایی در نظر گرفته شود. در نتیجه برای پوشش مقدار میرایی در کلیه مدها باید از یک سری طیف پاسخ استفاده گردد. این طیف‌ها با تقسیم کردن مقادیر طیفی بر فاکتور B برای هر میرایی، همانطور که در UBC مشخص شده است، محاسبه می‌شوند:

در روش حل تاریخچه زمانی، میرایی مودال در پاسخ هر مد، حین انتگرال‌گیری صریح، اعمال می‌گردد. در نتیجه، در این روش نیازی به تصحیح شتابنگاشت (تاریخچه زمانی) ورودی برای بازتاب میرایی نمی‌باشد.

۶-۴-۸ میرایی

در برنامه ETABS برای هر دو روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی و سختی موثر سختی موثر به صورت مستقیم در نظر گرفته می‌شود. هر چند، روش اعمال میرایی نسبتاً پیچیده است. در بیشتر تحلیل‌ها از میرایی ۵ درصد برای مد‌های سازه‌ای استفاده می‌شود، در حالیکه میرایی سیستم جداسازی باید تنها به مد‌های جداسازی شده اعمال گردد. روش مورد استفاده برای انجام این امر در هر یک از روش‌های تحلیل در زیر مورد بحث قرار گرفته است.

۶-۴-۹ تحلیل طیف پاسخ

برای تحلیل طیف پاسخ، از مقدار ۵ درصد برای DAMP در قسمت Lateral Dynamic Spectrum Data استفاده می‌گردد. بدین ترتیب مقدار میرایی ۵ درصد برای تمامی مد‌ها، شامل مد‌های جداسازی شده، اعمال می‌گردند. برای اینکه این میرایی دو بار وارد نگردد، از هر دو مقدار DE2 و DE3 در قسمت Spring Properties ۵ درصد کاسته می‌شود.



۶-۴-۱۰ تحلیل تاریخچه زمانی خطی

در روش تحلیل تاریخچه زمانی خطی از سختی موثر و میرایی بکار رفته در تحلیل طیفی استفاده می گردد و همانند تحلیل طیفی از همین روش برای مشخص کردن میرایی استفاده می گردد، به عبارت دیگر از مقدار DE2 و DE3 ۵ درصد کاسته می شود.

در روش تحلیل تاریخچه زمانی روش جایگزینی نیز وجود دارد. در این روش، مقدار NDAMP برابر ۳ در قسمت Lateral Dynamic Time History Data وارد میشود و میرایی مد های ۱ تا ۳ صفر در نظر گرفته می شوند.

۶-۴-۱۱ روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

در روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی میرایی هیسترتیک به صورت صریح مدلسازی می شود و از مقادیر DE2 و DE3 استفاده نمی شوند. تنها روش موجود برای جلوگیری از دو بار در نظر گرفتن میرایی این است که میرایی ویسکوز را در سه مد اول ۰ وارد کنیم (روش دوم مشخص شده در بالا برای روش تحلیل تاریخچه زمانی). این روش مقدار میرایی کلی را تا حدی کمتر بدست میدهد.

روش استفاده شده برای مشخص کردن میرایی در روش های مختلف تحلیل به طور کلی بر مبنای این فرض است که میرایی هیسترتیک تنها در ایزولاتورها موجود است و هیچ میرایی ویسکوزی در آن ها وجود ندارد. این یک رویکرد محافظه کارانه میباشد. آزمایشات انجام شده بر روی این تکیه گاه ها در فرکانس های متفاوت، نشان می دهد که میرایی ویسکوز می تواند تا ۲۰ درصد میرایی کل را افزایش دهد. در برخی از تحلیل ها، این افزایش را می توان با افزایش مقدار لوپ هیسترتیک انجام داد.

۶-۴-۸ اثرات همزمانی زلزله

روش طراحی برای سیستم های جداسازی شده بر مبنای تقریب یک درجه آزادی می باشد که در آن یک جهت ثابت برای بارهای زلزله در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی سیستم سازه باید حرکات زلزله به طور همزمان در هر دو محور افقی اعمال شوند.

در روش تحلیل طیف پاسخ، آیین نامه UBC ملزم میدارد که ۱۰۰ درصد طیف در یک جهت و ۳۰ درصد طیف در جهت عمود بر آن اعمال شود. در روش تحلیل تاریخچه زمانی باید دو مولفه افقی زلزله به صورت همزمان به سیستم اعمال گردند.



تابع تسلیم سیستم های دو خطی مانند تکیه گاه های سربی لاستیکی توسط فرمول اندرکنشی دایروی در نظر گرفته می شود:

$$\frac{\sqrt{V_{ax}^2 + V_{ay}^2}}{V_y} = 1.0 \quad (6-6)$$

در اینجا V_{ax} و V_{ay} برش اعمال شده در هر دو محور افقی بوده و V_y مقاومت تسلیم سیستم جداسازی است. در صورتیکه نیروهای برشی همزمان در دو جهت عمود بر هم اعمال شوند، سطح تسلیم موثر در هر یک از محورها کمتر از مقدار طراحی بر مبنای بارهای لرزه ای غیر همزمان خواهد بود. برای حالتی که نیروهای برشی مساوی در هر دو جهت به طور همزمان اعمال می شوند، نیروی برشی در طول هر یک از محورها بایستی مساوی $\frac{V_y}{\sqrt{2}}$ باشد.

بدین صورت، نیروی تسلیم در یک جهت خاص کاهش یافته و در نتیجه میرایی ویسکوز معادل کمتر از مقدار محاسبه شده از روش طراحی بدست می آید. بدین ترتیب عملکردی متفاوتی از مقدار محاسبه شده بدست می آید. در برخی موارد، می توان سطح تسلیم را افزایش داد تا پاسخ همزمان، همخوانی بیشتری با مقدار محاسبه شده از پاسخ غیر همزمان، داشته باشد.

به عنوان مثال یک ساختمان جداسازی شده برای هفت رکورد زلزله حوزه نزدیک گسل تحلیل شد، هر کدام با دو مولفه افقی مقیاس شده به یک میزان.

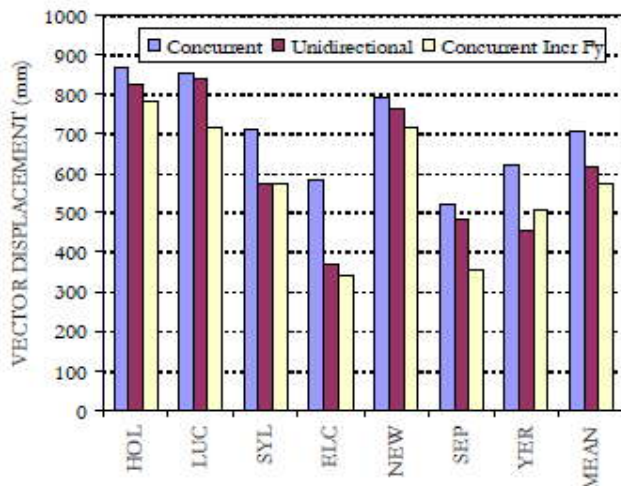
جابجایی های حداکثر و ضرایب برش پایه برای سه حالت بدست آمدند:

۱. طراحی سیستم جداساز مطابق با روند استاندارد، بیشینه پاسخ زمانیکه هر دو مولفه به طور همزمان اعمال شده اند.

۲. طراحی سیستم جداساز مطابق با روند استاندارد، بیشینه پاسخ زمانیکه هر مولفه به صورت منفرد وارد شده اند.

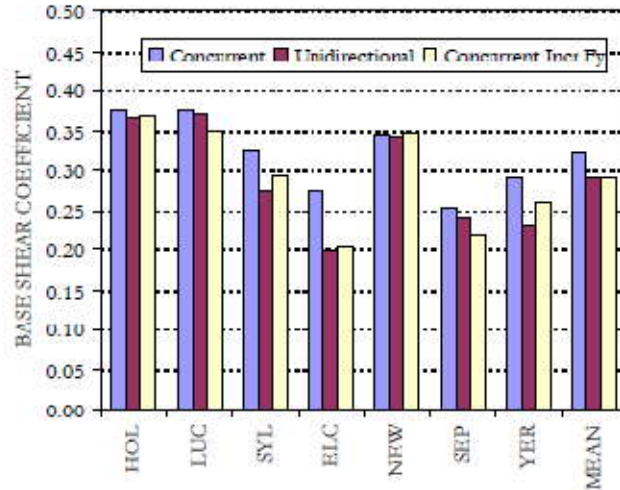
۳. سیستم جداسازی با سطح تسلیم افزایش یافته با ضریب $\sqrt{2}$ و بیشینه پاسخ زمانیکه هر دو مولفه به طور همزمان اعمال شده اند..

در شکل های ۶-۲۳ و ۶-۲۴ به ترتیب جابجایی ها و ضرایب برشی بدست آمده برای سه حالت عنوان شده و برای هر زلزله، نشان داده شده است. همچنین، میانگین نتایج تحلیل ها، که برای طراحی در حالتیکه ۷ رکورد زلزله برای تحلیل استفاده شده است، در شکل نشان داده شده است.



شکل (۶-۲۳) جابجایی در حالتیکه نیروها به طور همزمان اعمال می شوند

نتایج نشان می دهند که در صورتیکه مولفه های زلزله به صورت همزمان وارد شوند، همواره جابجایی ها و نیروهای برشی بدست آمده از حالتیکه تحلیل ها به صورت تک مولفه انجام می گردند، بیشتر است. هر چند، میزان تفاوت به شدت تابعی از رکوردهای زلزله است. جابجایی ها از ۲ تا ۵۷ درصد بیشتر بوده و برش نیز ۱ تا ۳۸ درصد می باشد. همچنین مقدار میانگین جابجایی و میانگین برش ۱۵ درصد و ۱۱ درصد بیشتر بدست آمد.



شکل (۶-۲۴) برش در حالتیکه نیروها به طور همزمان اعمال می شوند

به طور کلی (اما نه همیشه) افزایش مقاومت تسلیم سیستم جداسازی در حالتیکه مولفه های زلزله به صورت همزمان اعمال شدند، سبب کاهش جابجایی ها و برش ها نسبت به حالتیکه مقاومت تسلیم پایین تر بوده و مولفه های زلزله به صورت مستقل و غیر همزمان اعمال می گردند، بدست می آید. در این مثال، افزایش میزان مقاومت تسلیم با ضریب $\sqrt{2}$ ، سبب کاهش میانگین جابجایی و افزایش ناچیز برش پایه نسبت به حالتیکه مولفه های زلزله به صورت مستقل و غیر همزمان اعمال می گردند، می شود. به طور کلی توصیه می شود که اثر همزمان مولفه های زلزله برای توجیه استفاده از مقامت تسلیم بالاتر برای هر پروژه به صورت جداگانه بررسی گردد.

در صورتیکه برش پایه طراحی $1/5$ برابر مقاومت تسلیم سیستم (جداساز) باشد، افزایش مقدار تسلیم ممکن است منجر به افزایش نیروهای طراحی روسازه روی سیستم جداسازی گردد. اگر این معیار در طراحی حاکم باشد، افزایش جابجایی ها و برش های ناشی از اثر همزمانی مطلوب تر است.

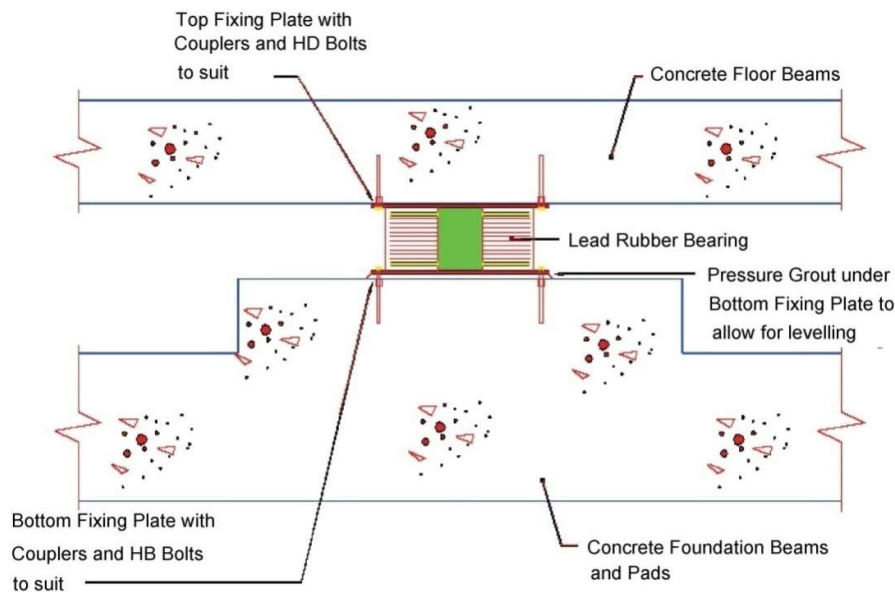


۶-۵ طراحی اتصالات

۶-۵-۱ جداسازهای با پایه الاستومری

در تکیه گاه های جداساز لرزه ای اولیه از صفحات باربری استفاده می شد که در آن صفحه باربر با بولت به یک پلیت فولادی، که در داخل لاستیک قرار داشت، متصل می شد. تکنولوژی ساخت اکنون به گونه ای ارتقا یافته است که اغلب تکیه های گاه های جداساز لرزه ای دارای صفحات فلنجی، یا صفحه باربر می باشند که در داخل کارخانه به بالا و پایین تکیه گاه متصل شده اند. ابعاد این ورق ها از خود ایزولاتور بزرگتر بوده و برای متصل کردن تکیه گاه به فونداسیون زیر و سازه بالا به کار می رود.

صفحات باربر بسته به پروژه می توانند به صورت دایره ای شکل، مربع یا مستطیل باشند. مقدار بیرون زدگی به اندازه بولت ها و جابجایی لرزه ای بستگی دارد. بولت ها باید به اندازه کافی از جداساز دور باشند به نحوی که لاستیک پوشش را حین جابجایی های لرزه ای ماکزیموم دچار آسیب نکنند. سطح باربر صفحات بار مربعی کمتر از سطح صفحات دایره ای شکل می باشند و به همین دلیل بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. همانطور که در شکل ۶-۲۵ نشان داده شده است، جداساز ها بین فونداسیون و سازه نصب میشوند. طراحی اتصال باید به گونه ای باشد که از انتقال حداکثر نیروها از فونداسیون به تکیه گاه و روسازه و بالعکس اطمینان حاصل شود.



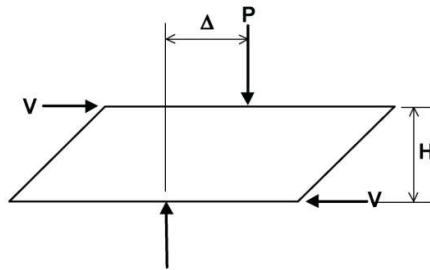
شکل (۶-۲۵) نحوه نصب در ساختمان های جدید به صورت عمومی



۶-۵-۱-۱ اصول طراحی

اتصال جداساز به سازه باید قادر به انتقال نیروهای برشی، نیروهای محوری و لنگرهای خمشی باشد. لنگر خمشی از دو بخش لنگر اولیه (VH) و ثانویه ($P\Delta$) (شکل ۶-۲۶) تشکیل می‌شود. طراحی برای برش تقریباً ساده است اما طراحی برای لنگر خمشی به خاطر شکل ناشناخته بلوک فشاری، به ویژه تحت تغییر شکل‌های شدید، کاری پیچیده‌تر است.

باید توجه داشت که رویکرد طراحی استفاده شده در اینجا ساده سازی شده است و بیانگر شرایط تنش واقعی در محل اتصال نمی‌باشد. هر چند، آزمایش بر نمونه‌های اولیه، حاکی از محافظه کارانه بودن روش معرفی شده می‌باشد به نحوی که در آزمایش‌های انجام شده تعداد بولت کمتر و ورق‌های نازک‌تری نسبت به مقادیر بدست آمده از تئوری ساده شده، مورد نیاز بود.



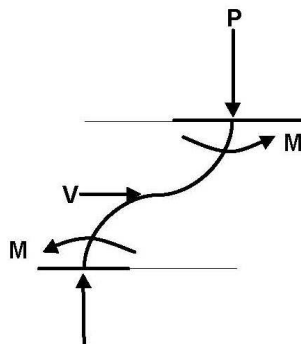
شکل (۶-۲۶) نیروها روی تکیه‌گاه در حالت تغییر شکل یافته

در طراحی تکیه‌گاه معمولاً ابعاد ورق و بولت‌های نصب تعیین می‌گردند. اساس طراحی به مشخصات طراحی بستگی دارد، اما معمولاً یا از مقدار تنش‌های مجاز آیین‌نامه AASHTO با فاکتور افزایش تنش ($\frac{F_u}{\phi}$) برای بارهای لرزه‌ای یا ضوابط AISC استفاده می‌شود.

۶-۵-۱-۲ تلاش‌های طراحی

اتصالات برای دو حالت طراحی میشوند، (۱) بار قائم بیشینه، و (۲) بار قائم کمینه، که هر کدام به صورت همزمان با بیشینه جابجایی زلزله و نیروی برشی اعمال می‌شوند.

تکیه‌گاه به بالا و پایین سازه با بولت متصل می‌شود و به همین دلیل برای بدست آوردن لنگرهای طراحی به صورت یک ستون گیردار عمل می‌کند. شکل ۶-۲۷ نحوه ایجاد تلاش‌های نشان داده شده در شکل ۶-۲۶ را به صورت یک ستون معادل بر روی مرکز تکیه‌گاه نشان می‌دهد.



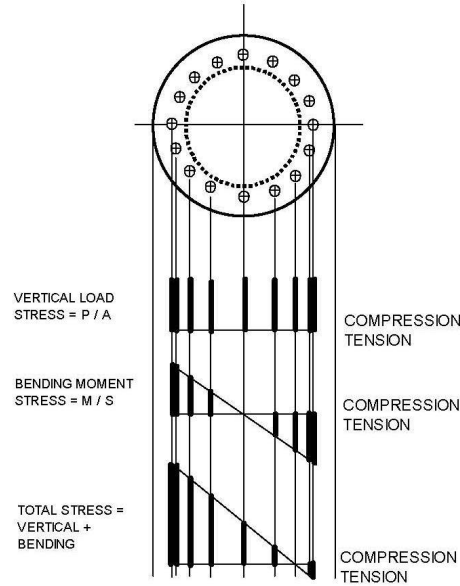
شکل (۶-۲۷) نیروهای ستون معادل

لنگر کلی ناشی از نیروهای برشی اعمال شده، VH ، به همراه خروج از مرکزیت نیروی محوری، $P\Delta$ ، توسط لنگرهای مساوی در بالا و پایین جداساز تحمل می شوند. بنابراین لنگرهای طراحی عبارتند از: طراحی مساوی زیر هستند:

$$M = \frac{1}{2}(VH + P\Delta) \quad (۶-۷)$$

۶-۵-۳ طراحی بولت اتصال

روش طراحی استفاده شده برای اتصال صفحات نصب بر مبنای شرایط ساده شده شکل ۶-۲۸ می باشد، به طوری که مجموع بار محوی و لنگر خمشی توسط گروه بولت ها تحمل می شوند. در شکل ۶-۲۸، مساحت استفاده شده برای محاسبه P/A مساحت مجموع تمامی بولت ها و اساس مقطع استفاده شده برای محاسبه M/S اساس مقطع تمامی بولت ها است. شکل ۶-۲۸ مربوط به یک صفحه برابر دایره ای شکل است. از این روش می توان برای شکل های دیگر نیز استفاده شود.



شکل (۶-۲۸) توزیع نیرو در بولت‌ها

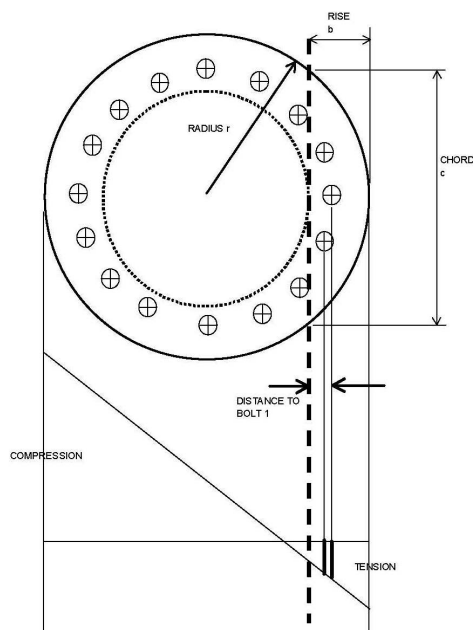
باید توجه داشت که در واقعیت نیروهای فشاری توسط صفحه نصب فولادی تحمل می‌شوند. هر چند، سختی تکیه‌گاه برای محاسبه نسبت مدولار و در نتیجه موقعیت تار خنثی، مشخص نیست. به همین دلیل است که از روش عنوان شده استفاده می‌شود. در این روش خاطر دست کم گرفتن اساس مقطع واقعی، کران بالای نیروی کششی در بولت‌ها بدست می‌آید و به همین دلیل محافظه کارانه است. روش طراحی بولت به شرح زیر است:

۱. نیروی برشی هر بولت به صورت V/n بدست می‌آید که در آن n تعداد بولت است.
 ۲. نیروی محوری هر بولت به صورت P/A محاسبه میشود.
 ۳. تنش کششی ناشی از لنگر برای هر بولت به صورت M/S محاسبه میشود، که در آن S اساس مقطع گروه بولت‌ها است.
 ۴. تنش کششی خالص به ازای هر بولت به صورت $P/A - M/S$ محاسبه می‌شود.
 ۵. بولت برای ترکیب برش و کشش محاسبه کنترل شود.
- این فرآیند برای بیشینه و کمینه بارهای قائم انجام می‌گردد.



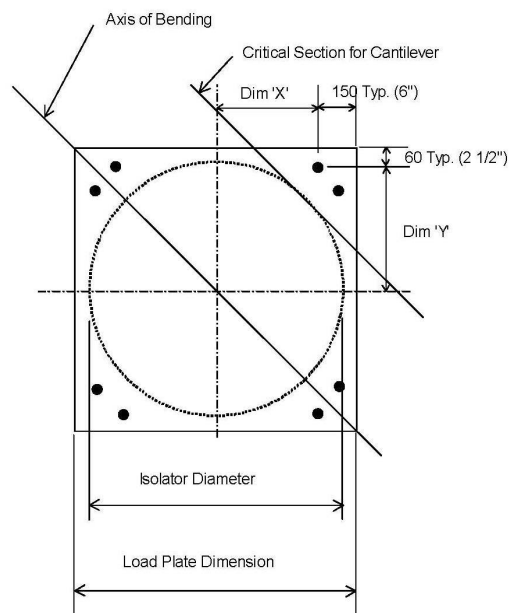
۴-۱-۵-۶ طراحی صفحه باربر

در شکل ۲۹-۶ توزیع نیروی فرض شده برای محاسبه صفحه باربر دایره ای شکل نشان داده شده است. در این بخش فرض می شود که مقطع بحرانی صفحه باربر در خمش در بخش کناری تحت تنش کششی باشد. فرض می شود که وتر تعریف شده برای مشخص کردن مقطع بحرانی مماس بر گوشه تکیه گاه است. در مثال شکل ۲۹-۶ این بخش دارای سه بولت می باشد. به طور محافظه کارانه، فرض می شود که تمامی بولت ها (سه بولت در این مثال) دارای حداکثر نیروی کششی بوده و همچنین فرض می شود که هر سه بولت دارای بازوی مقاومی برابر با بازوی مقاوم دورترین بولت هستند.



شکل (۲۹-۶) صفحه باربر دایره ای شکل

روش طراحی برای اتصال یک صفحه مربعی شکل در شکل ۳۰-۶ نشان داده شده است. فرض می شود بارگذاری در طول قطر انجام می شود، چرا که این شرایط بحرانی ترین حالت برای شکل بولت های استفاده شده با این نوع صفحه باربر می باشد.



شکل (۳۰-۶) صفحه باربر مربع شکل

۲-۵-۶ جداسازهای لغزنده

در مورد جداسازهای لغزنده (اصطکاک) خروج از مرکزیت بار در جابجایی ماکزیموم به جهت گیری تکیه گاه ها بستگی دارد. اگر ورق لغزنده در بالا باشد، تحت جابجایی های ماکزیموم، بار قائم لنگری برابر با $P-\Delta$ اعمال می گردد که باید توسط سیستم سازه ای روی جداساز مقاومت شود. اگر ورق لغزنده در پایین باشد، خروج از مرکزیت به فونداسیون زیر جداساز بار وارد می کند اما در بالا لنگری ایجاد نمی گردد. به همین دلیل، در اغلب اوقات استفاده از جداسازهای لرزه ای لغزنده هنگامی موثر تر خواهند بود که ورق لغزنده در پایین واقع شود.

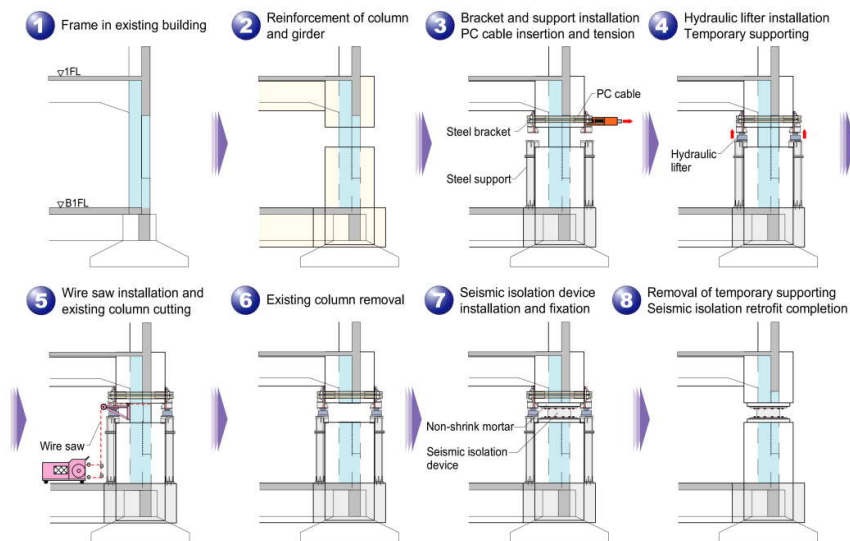
اغلب تکیه گاه های لغزنده با یک ضریب اصطکاک کم در محل لغزش طراحی می شوند. در تئوری، هیچ اتصال برشی نیاز نیست. اصطکاک در سطح مشترک تکیه گاه با سازه روی آن و فونداسیون زیر، (که معمولاً فولاد روی بتن می باشد)، دارای ضریب اصطکاک بالاتری می باشد و در نتیجه لغزشی در آن محل ها رخ



نمی دهد. در عمل، بولت ها معمولا در گوشه های صفحه لغزنده نصب می شوند و اجزای لغزنده معمولا بوسیله چهار بولت به سازه بالا بولت می شوند.

۳-۵-۶ نحوه اجرا و مثال های نصب

در این بخش سعی بر تشریح مراحل اجرا و جاگذاری جداسازها در پروژه های جدید و سازه های موجود شده است. هر چند باید توجه داشت که روش ها و جزئیات ارائه شده تنها به عنوان نمونه ارائه شده است و روش ها و جزئیات برای هر پروژه بخصوص باید جداگانه تعیین گردد. در شکل (۳۱-۶) برای حالتیکه جداساز در تراز بالای ستون زیرزمین نصب شده است، مراحل اجرا تشریح شده است. همانگونه که در شکل (۳۱-۶) مشاهده می گردد ابتدا باید تیر و ستون محل جداساز تقویت گردد (شماره ۲). سپس با قرار دادن جکت های فولادی به عنوان تکیه گاه های جک های تکیه گاهی، نسبت به تخریب و برداشت ستون موجود اقدام می گردد (شماره های ۳ تا ۶). در نهایت با نصب جداساز و برداشتن جک های تکیه گاهی، عملیات نصب جداساز به پایان می رسد.

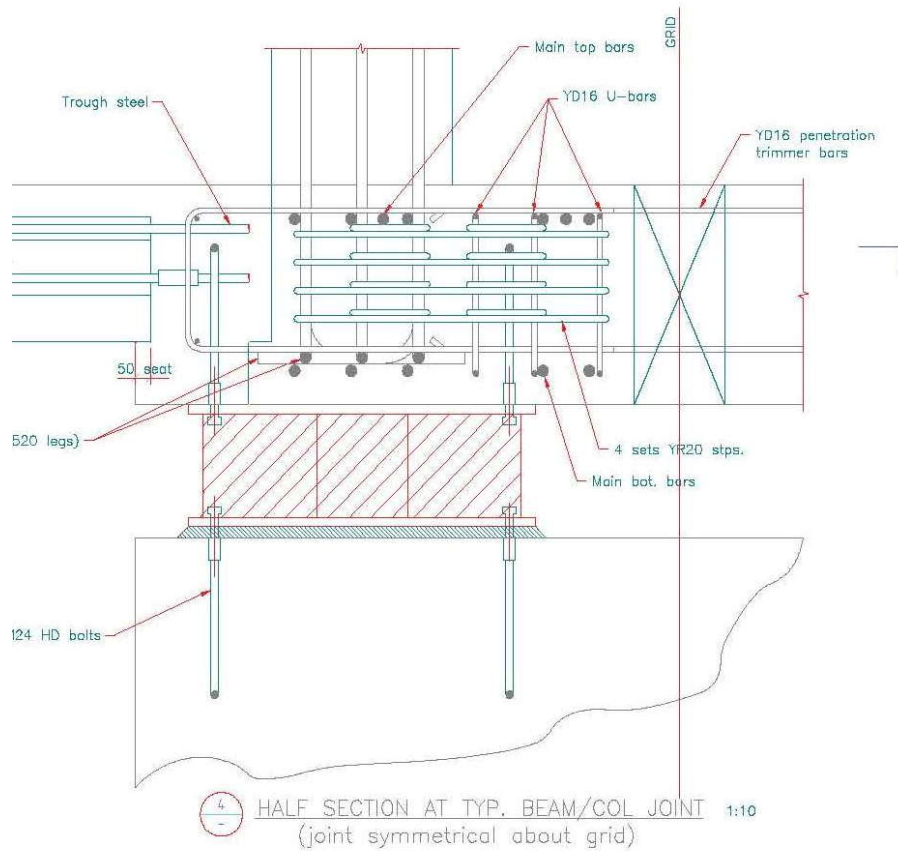


شکل (۳۱-۶) مراحل اجرا و نصب جداساز

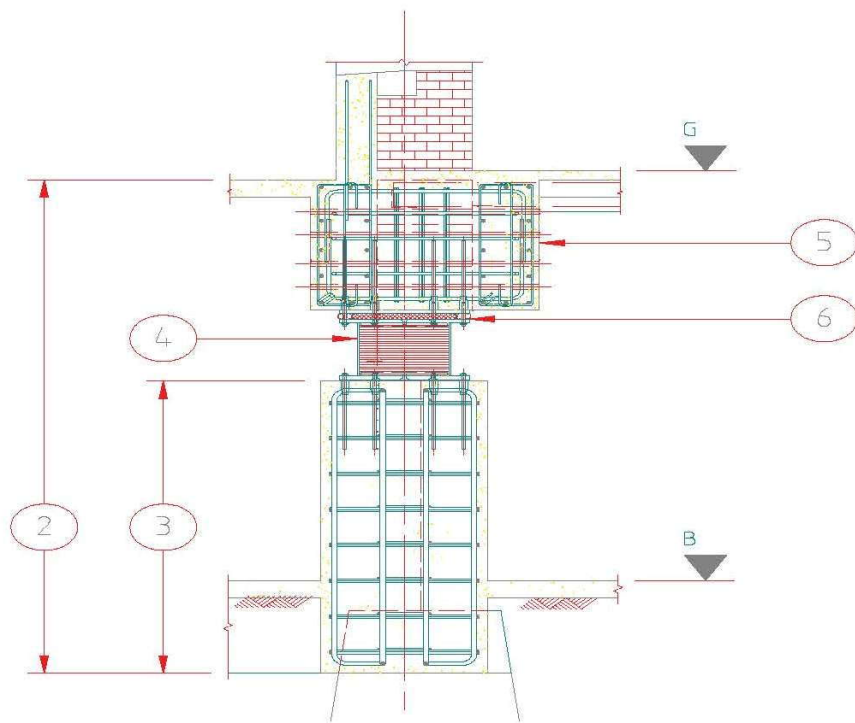
در شکل های ۳۲-۶ تا ۳۷-۶ مثال هایی از جزئیات نصب در پروژه های اجرا شده جداسازی شده، مشاهده می گردند. در این مثال ها پروژه های جدید و قدیمی مشاهده می گردند. گرچه این جزئیات را نمیتوان به



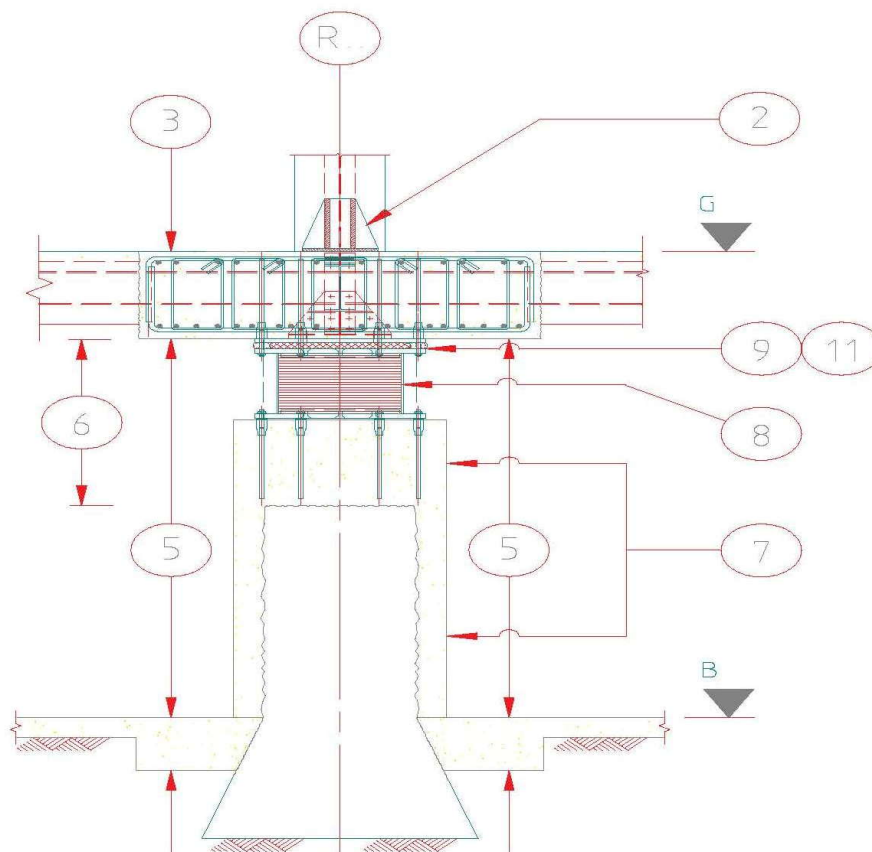
طور مستقیم برای پروژه‌های دیگر استفاده کرد اما می‌توان از آن‌ها به عنوان مثال‌هایی از روش نصب و مقاوم سازی، استفاده کرد.



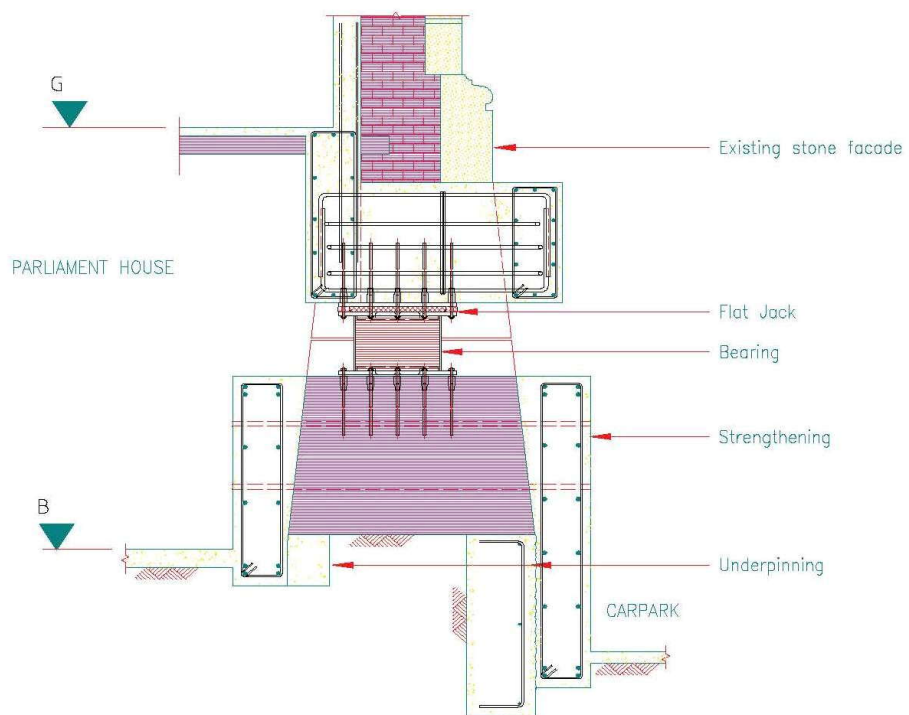
شکل (۳۲-۶) مثال نصب: سازه جدید



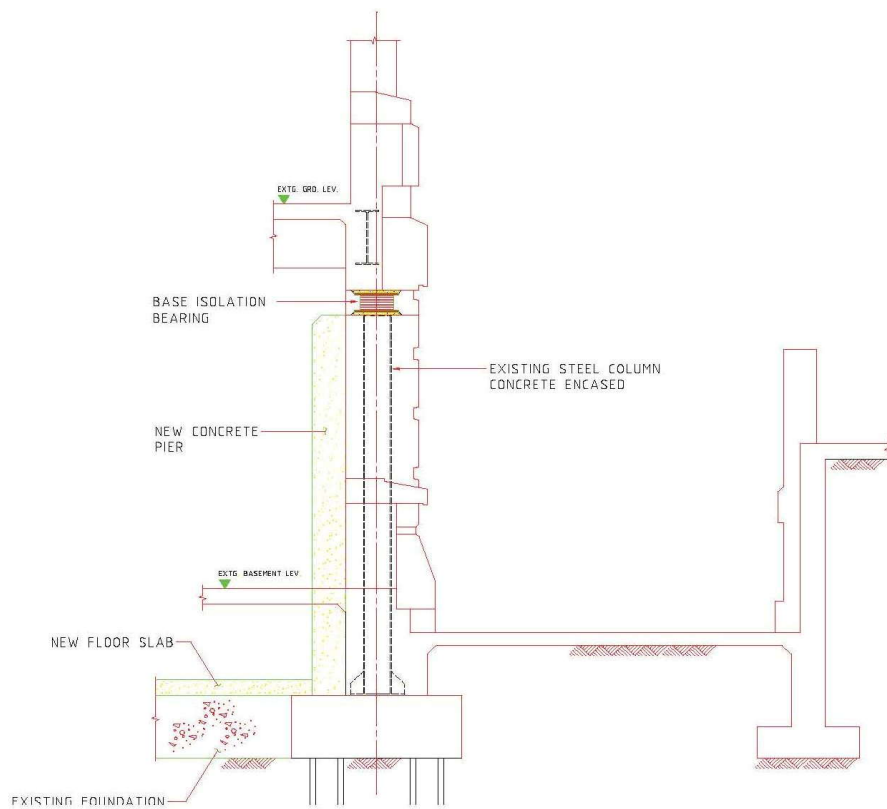
شکل (۳۳-۶) مثال نصب: دیوار بنایی موجود



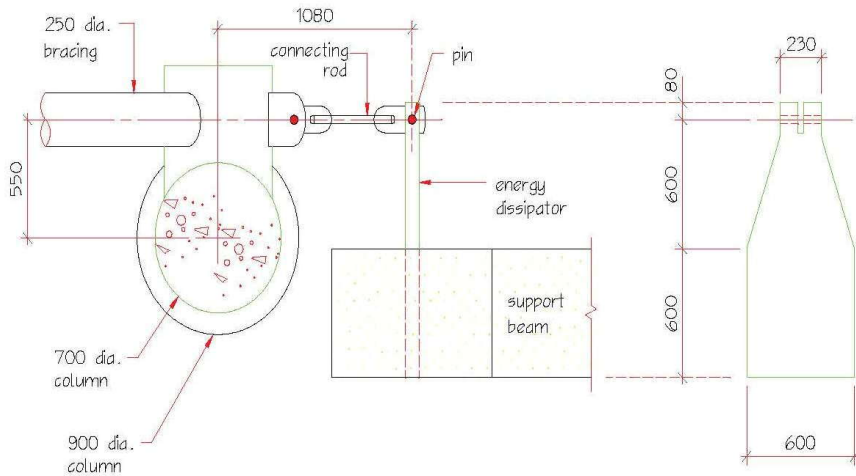
شکل (۶-۳۴) مثال نصب: ستون موجود



شکل (۳۵-۶) مثال نصب: دیوار بنایی موجود



شکل (۳۶-۶) مثال نصب: ستون فولادی



typical energy dissipator assembly plan

energy dissipator

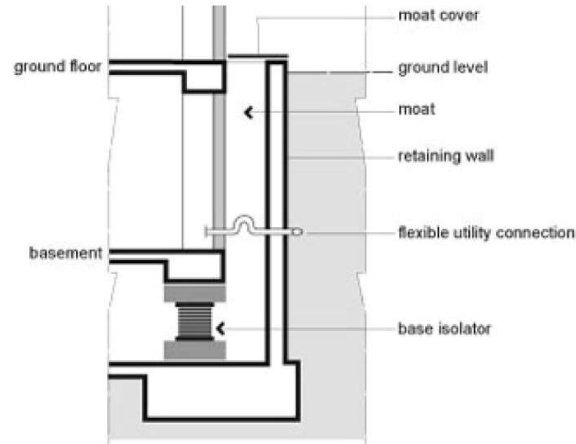
شکل (۳۷-۶) مثال نصب: Steel Energy Dissipator

۴-۵-۶ جزئیات اجرایی معماری و تجهیزات مکانیکی

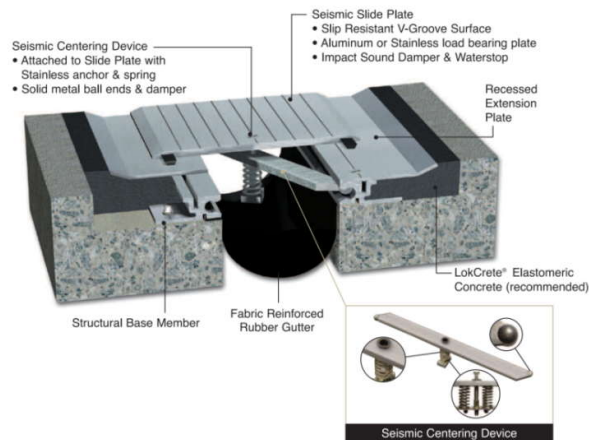
در صورت استفاده از سیستم های جداساز باید جزئیات اجرای معماری و تجهیزات مکانیکی بخصوصی برای تامین جابجایی مورد نیاز رعایت گردد. در شکل (۳۸-۶) جزئیات معماری در حالتیکه اطراف ساختمان دیوار حائل وجود دارد و جداساز در تراز فونداسیون نصب شده است، مشاهده می گردد. فاصله جانبی سازه جداسازی شده تا دیوار حائل باید به اندازه کافی باشد تا از برخورد سازه با دیوار حائل جلوگیری گردد. معمولاً فاصله ای بین ۱/۵ تا ۲ برابر تغییر مکان محاسبه شده برای سازه جداسازی شده تحت زلزله های شدید بدین منظور در نظر گرفته می شود. همچنین باید فاصله قائمی بین پوشش خندق و دیوار حائل حفظ شود تا قیدی برای تغییر مکان های ناشی از تغییرات دما، خزش جداساز و غیره وجود نداشته باشد. همچنین پله ها باید یا به صورت طره نسبت به روسازه جداسازی شده قرار گرفته یا بر تکیه گاه های غلتکی (لغزشی) قرار گیرند. همچنین رعایت فاصله افقی و قائم مورد نیاز برای جلوگیری از برخورد راه پله با سازه الزامی است. تمامی مراکز خدماتی و ورودی ساختمان باید از روی سطح جداسازی شده عبور نمایند و در نتیجه در اثر زلزله دچار تغییر مکان می گردند. با استفاده از اتصالات انعطاف پذیری در کف ها مانند شکل (۳۹-۶) امکان استفاده از این مراکز را پس از وقوع زلزله فراهم می سازد. در این شکل، شفت آسانسور معمولاً از سطح جداسازی شده



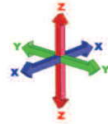
عبور می‌نماید و باید از جزئیات خاص استفاده شود و اغلب به صورت طره رو به پایین از روسازه جداسازی شده قرار می‌گیرند. همچنین در سازه‌های جداسازی شده، برای تجزیه مکانیکی و لوله کشی باید از دیتیل‌های خاص استفاده شود که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل‌های (۴۰-۶) تا (۴۷-۶) مشاهده می‌گردد.



شکل (۳۸-۶) جزئیات اجرای معماری توصیه شده برای سازه جداسازی شده



(الف)



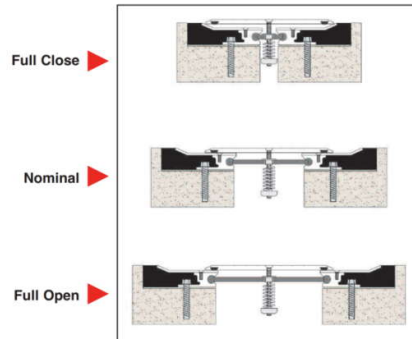
Seismic Movement Capability

X-Axis - Expansion & Contraction

Y-Axis - Lateral Shear

Z-Axis - Vertical Displacement

Seismic Displacement



(ب)

شکل (۶-۳۹) (الف) استفاده از جزئیات خاص کف برای ساختمان های دسترسی به ساختمان جداسازی

شده، (ب) نمای جانبی جزئیات ارائه شده در حالات کاملاً بسته، اسمی و کاملاً باز



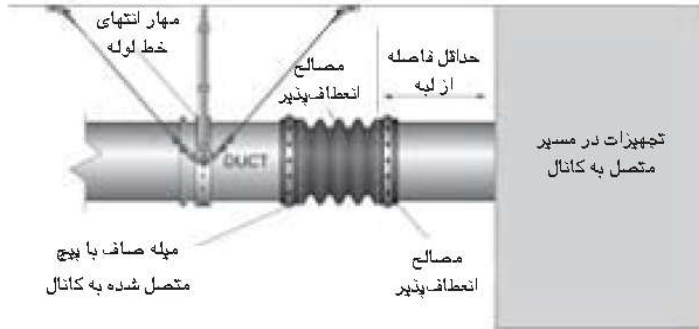
شکل (۶-۴۰) استفاده از اتصالات و شیرآلات انعطاف پذیر در سازه های جداسازی شده



شکل (۴۱-۶) نمونه از اتصالات انعطاف پذیر در محل اتصال لوله به پمپ



شکل (۴۲-۶) نمونه‌ای از اتصالات انعطاف پذیر لوله‌ها



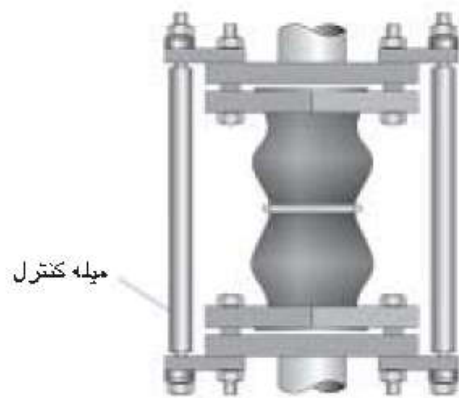
شکل (۶-۴۳) مفصل پلاستیکی کانال



شکل (۶-۴۴) لوله از نوع شلنگ سیمی



شکل (۶-۴۵) لوله از نوع شلنگ پلاستیکی



شکل (۴۶-۶) شلنگ پلاستیکی با میله کنترلی



شکل (۴۷-۶) نمونه‌ای از درزهای انبساطی

فصل هفتم

آزمون‌ها

۷-۱ کلیات

مشخصات تغییرشکلی و مقادیر میرائی سیستم جداساز که در طراحی و تحلیل سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای استفاده می‌شوند، باید براساس آزمون‌هایی بر روی یک نمونه انتخاب شده از اجزاء پیش از استفاده در ساخت و به شرح آنچه در این بخش گفته می‌شود، تعیین شود.

اجزاء سیستم جداساز که باید مورد آزمایش قرار گیرند، باید در صورت وجود سیستم مقاوم در برابر باد در طراحی، این سیستم را نیز شامل شوند.

آزمون‌هایی که در این بخش مشخص شده‌اند، برای تعیین و اعتبارسنجی مشخصات طراحی سیستم جداساز بوده و نباید به عنوان آزمون‌های کنترل کیفیت مورد بحث در بخش ۳-۲-۴-۹ به حساب آیند.

۷-۲ آزمون‌های شبیه‌سازی شده

این آزمون‌ها باید با طور جداگانه بر روی دو نمونه در مقیاس واقعی از هر نوع یا اندازه متداول برای المان‌ها یا اجزاء سیستم جداساز (یا مجموعه‌ای از نمونه‌ها، به نحوی که مناسب باشد) انجام شوند. در صورتیکه سیستم مقاوم در برابر باد وجود داشته باشد، نمونه تحت آزمون برای آن، باید به عنوان یک واحد جداساز مجزا در نظر



گرفته شود. نمونه‌های آزمایش شده نباید برای ساخت جداساز به کار روند مگر اینکه توسط متخصص طراحی مجرب مورد تأیید قرار گیرند.

۷-۲-۱ تبت داده‌ها

برای هر چرخه از آزمایش، رفتار بار-تغییرشکل و رفتار چرخه‌ای نمونه باید ثبت شود.

۷-۲-۲ ترتیب و چرخه‌ها

ترتیب آزمون‌ها برای تعداد معینی از چرخه‌ها در یک بار قائم برابر با بار متوسط به علاوه نصف اثرات ناشی از بار مرده بر روی تمام اجزاء جداساز با نوع و اندازه متداول، به شرح زیر باید رعایت شود:

- ۱- ۲۰ چرخه رفت و برگشتی کامل از بارگذاری در نیروی جانبی متناظر با نیروی طراحی باد
- ۲- ۳ چرخه کامل رفت و برگشتی برای هر کدام از گام‌های تغییرمکان کل به شرح زیر: $0.25D_D - 0.5D_D$
- ۳- ۳ چرخه کامل رفت و برگشتی برای بارگذاری در حداکثر تغییرمکان کل، $1.0D_{TM}$
- ۴- تعداد $(30SD_I / S_{DS}B_D)$ و نه کمتر از ۱۰ چرخه کامل رفت و برگشتی در بارگذاری متناظر با تغییرمکان طراحی کل، $1.0D_{TD}$

در صورتیکه سیستم جداساز به عنوان المان باربر قائم نیز در نظر گرفته شود، آزمون‌های بند ۲ باید برای دو بار قائم اضافی که در بند ۳-۲-۴-۶ تعیین شده‌است، انجام شوند. افزایش بار ناشی از چرخش حاصل از زلزله، Q_E ، باید برابر یا بزرگتر از حداکثر نیروی قائم پاسخ به زلزله (متناظر با تغییرمکانی که در آزمون مدنظر قرار گرفته است) باشد. در این آزمون‌ها، ترکیب بار قائم باید به عنوان موردی یا متوسط بر روی تمام اجزاء سیستم جداساز با نوع و اندازه متداول در نظر گرفته شوند.

۷-۲-۳ اجزاء وابسته به نرخ بارگذاری

اگر مشخصات نیرو-تغییرشکل اجزاء جداساز به نرخ بارگذاری وابسته باشد، هر مجموعه از آزمون‌های تعیین شده در بخش ۷-۲-۲ باید به طور دینامیکی در فرکانسی برابر با معکوس دوره تناوب موثر، T_D ، انجام شود.



اگر نمونه‌های شبیه‌سازی شده مقیاس شده برای کنترل میزان وابستگی به نرخ بارگذاری استفاده خواهند شد، این نمونه‌ها باید از نوع و مصالح نمونه‌های با مقیاس واقعی بوده و به همان روش تولید شده باشند و در فرکانسی آزمایش شوند که نرخ بارگذاری نمونه‌های با مقیاس کامل را ایجاد نمایند.

در صورتیکه مقادیر مشخصات اندازه‌گیری شده (سختی موثر یا میرائی موثر) در تغییرمکان طرح، برای فرکانس‌های بین ۱ تا ۲ برابر معکوس TD با مقادیر حاصل از آزمون آن‌ها در فرکانسی برابر با معکوس TD، بیش از ۱۵٪ تفاوت داشته باشد، مشخصات بار-تغییرشکل اجزاء جداساز باید وابسته به نرخ بارگذاری در نظر گرفته شود.

۷-۲-۴ اجزاء وابسته به بارهای جانبی دوطرفه

اگر مشخصه‌های بار-تغییرشکل به بارگذاری جانبی دو طرفه وابسته باشد، آزمون‌های معرفی شده در بند ۷-۲-۲ و ۷-۲-۳ باید با بارگذاری‌های جانبی دو طرفه در گامهای ۰/۲۵، ۱/۰ و ۰/۵، ۱/۰ و ۰/۷۵، ۱/۰ و ۱/۰ و ۱/۰ از تغییرمکان طراحی کل، D_{TD} ، تکمیل شوند.

اگر نمونه‌های شبیه‌سازی شده مقیاس شده برای کنترل وابستگی مشخصات بار-تغییرشکل به نرخ بارگذاری مورد استفاده قرار گیرند، این نمونه‌ها باید از نوع و مصالح نمونه‌های با مقیاس واقعی بوده و به همان روش تولید شده باشند.

در صورتیکه مقدار سختی موثر حاصل از بارگذاری جانبی دو جهته، با سختی موثر حاصل از بارگذاری یک جهته، بیش از ۱۵٪ متفاوت باشد، مشخصات بار-تغییرشکل اجزاء جداساز باید وابسته به نرخ بارگذاری در نظر گرفته شود.

۷-۲-۵ بار قائم حداقل و حداکثر

اجزاء جداساز که بار قائم را متحمل می‌شوند باید به طور استاتیکی برای حداکثر و حداکثر نیروهای ثقلی در حداکثر تغییرمکان کل مورد آزمایش قرار گیرند. در این آزمون‌ها، ترکیب بارهای قائم باید براساس بخش ۳-۲-۴-۶ و بر روی هریک از جداسازها اعمال شوند.

۷-۲-۶ سیستم مهار اولیه مقاوم در برابر باد

اگر سیستم مهار اولیه مقاوم در برابر باد، به منظور مقاومت در برابر بارهای جانبی کم، در سازه مورد استفاده قرار گیرد، ظرفیت نهائی آن باید با انجام آزمون تعیین شود.



۷-۲-۷ آزمایش اجزاء مشابه

در صورتیکه اجزاء مشابهی از جداساز، از همان نوع و اندازه و مصالح قبلاً مورد آزمایش قرار گرفته باشد، انجام آزمون‌های شبیه‌سازی شده مورد نیاز نمی‌باشد.

۷-۳ تعیین مشخصات بار-تغییر شکل

مشخصات بار-تغییر شکل سیستم جداساز باید براساس نتایج حاصل از آزمون‌های بار چرخه‌ای که در بخش (۷-۲) تشریح شد، تعیین شود.

سختی موثر یک المان جداساز، k_{eff} ، باید برای هر چرخه بارگذاری از رابطه (۷-۱) تعیین شود:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (۷-۱)$$

که F^+ و F^- نیروهای مثبت و منفی و Δ^+ و Δ^- تغییر مکان‌های متناظر با آن‌ها هستند.

میرائی موثر، β_{eff} ، یک جداساز باید برای هر چرخه بارگذاری از رابطه (۷-۲) تعیین شود:

$$\beta_{eff} = \frac{2 E_{Loop}}{\pi k_{eff} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)} \quad (۷-۲)$$

که انرژی مستهلک شده در هر چرخه بارگذاری، E_{Loop} ، و سختی موثر، باید براساس حداکثر تغییر مکان‌های Δ^+ و Δ^- باشد.

۷-۴ کنترل دقت نمونه‌های آزمایش شده

عملکرد نمونه‌های آزمایش شده در صورتیکه ضوابط زیر را برآورده سازد، مورد تأیید خواهد بود:

۱- نمودارهای بار-تغییر شکل برای تمام آزمون‌های مطرح شده در بخش ۷-۲ باید ظرفیت نیروی مقاوم مثبت افزایش یافته باشد.

۲- برای هر گام تغییر مکانی تعیین شده در بند ۲ از بخش ۷-۲-۲ و برای هر ترکیب بار قائم مطرح شده در بخش ۷-۲-۲:

الف) برای هر نمونه آزمایش شده، تفاوت بین سختی موثر در هر سه چرخه آزمون، و مقدار متوسط سختی موثر، نباید از ۱۵ درصد بیشتر باشد.



ب) برای هر چرخه آزمون، تفاوت بین سختی موثر دو نمونه آزمایش شده مشابه و سختی موثر متوسط نباید از ۱۵ درصد بیشتر باشد.

۳- برای هر نمونه نباید تفاوت بین سختی موثر اولیه و سختی‌های حاصله در چرخه‌های آزمون‌های معرفی شده در بند ۴ بخش ۷-۲-۲ بیشتر از ۲۰ درصد باشد.

۴- برای هر نمونه نباید تفاوت بین میرائی موثر اولیه و میرائی‌های حاصله در چرخه‌های آزمون‌های معرفی شده در بند ۴ بخش ۷-۲-۲ بیشتر از ۲۰ درصد باشد.

۵- تمام نمونه‌های آزمایش شده از اجزاء متحمل بار قائم در شرایطی که براساس بند ۷-۲-۵ آزمایش شده باشند، پایدار باقی مانده باشند.

۷-۵ مشخصات طراحی سیستم جداساز

۷-۵-۱ سختی موثر حداقل و حداکثر

در تغییرمکان طرح، حداکثر و حداقل سختی موثر سیستم جداساز، k_{Dmax} و k_{Dmin} ، باید براساس نتایج آزمون‌های چرخه‌ای بند ۲ بخش ۷-۲-۲ و با استفاده از روابط (۷-۳) و (۷-۴) محاسبه شود:

$$k_{Dmax} = \frac{\sum |F_D^+|_{max} + \sum |F_D^-|_{max}}{2D_D} \quad (۷-۳)$$

$$k_{Dmin} = \frac{\sum |F_D^+|_{min} + \sum |F_D^-|_{min}}{2D_D} \quad (۷-۴)$$

در تغییرمکان حداکثر، حداکثر و حداقل سختی موثر سیستم جداساز، k_{Mmax} و k_{Mmin} ، باید براساس نتایج آزمون‌های چرخه‌ای بند ۲ بخش ۷-۲-۲ و با استفاده از روابط (۷-۵) و (۷-۶) محاسبه شود:

$$k_{Mmax} = \frac{\sum |F_M^+|_{max} + \sum |F_M^-|_{max}}{2D_M} \quad (۷-۵)$$

$$k_{Mmin} = \frac{\sum |F_M^+|_{min} + \sum |F_M^-|_{min}}{2D_M} \quad (۷-۶)$$

حداکثر سختی موثر سیستم جداساز، k_{Dmax} (یا k_{Mmax})، باید براساس نیروهای حاصل از آزمایش شبیه‌سازی شده چرخه‌ای در تغییرمکان برابر با D_D (یا D_M) که بیشترین مقدار سختی موثر را ایجاد می‌کند



تعیین شود. حداقل سختی موثر، k_{Dmin} (یا k_{Mmin}) باید براساس نیروهای حاصل از آزمایش شبیه‌سازی شده چرخه‌ای در تغییرمکان برابر با D_D (یا D_M) که کمترین مقدار سختی موثر را ایجاد می‌کند تعیین شود. برای اجزاء جداساز که براساس آزمون‌های بخش‌های ۲-۷، ۳-۷ و ۴-۷ آزمایش شده باشند و مشخص شده‌باشد که مشخصات بار-تغییرشکلی آن‌ها به بار قائم وابسته است، لازم است مقادیر k_{Dmax} و k_{Mmax} افزایش داده شود. اگر این مشخصات به نرخ بارگذاری وابسته باشد، در صورت لزوم باید مقادیر k_{Dmin} و k_{Mmin} کاهش داده شود، و اگر مشخصات مورد بحث به بارگذاری جانبی دوچهرته وابسته باشد بابر اثرات تغییرات اندازه‌گیری شده در سختی، محدود شوند.

۷-۵-۲ میرائی موثر

در تغییرمکان طراحی، میرائی موثر سیستم جداساز، β_D ، باید براساس نتایج آزمون‌های چرخه‌ای بند ۲ از بخش ۲-۷ و رابطه (۷-۷) محاسبه شود:

$$\beta_D = \frac{\sum E_D}{2\pi k_{Dmax} D_D^2} \quad (7-7)$$

در این رابطه، انرژی کل مستهلک شده در هر چرخه از پاسخ تغییرمکان طراحی، $\sum E_D$ ، باید برابر با مجموع انرژی مستهلک شده در تمام اجزاء جداساز در چرخه و در تغییرمکان آزمونی برابر با D_D بوده و باید براساس نیروها و تغییرشکل‌های حاصل از آزمون‌های شبیه‌سازی شده انجام شده در تغییرمکان D_D که کمترین مقدار میرائی موثر را ایجاد می‌کند باشد.

در تغییرمکان حداکثر، میرائی موثر سیستم جداساز، β_M ، باید براساس آزمون‌های چرخه‌ای بند ۲ از بخش ۷-۲ و رابطه (۸-۷) تعیین شود:

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_{Mmax} D_M^2} \quad (8-7)$$

در این رابطه، انرژی کل مستهلک شده در هر چرخه از پاسخ تغییرمکان طراحی، $\sum E_M$ ، باید برابر با مجموع انرژی مستهلک شده در تمام اجزاء جداساز در چرخه و در تغییرمکان آزمونی برابر با D_M بوده و باید براساس نیروها و تغییرشکل‌های حاصل از آزمون‌های شبیه‌سازی شده انجام شده در تغییرمکان D_M که کمترین مقدار میرائی موثر را ایجاد می‌کند باشد.

فصل هشتم

بررسی مطالعات مرحله اول سازه بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز

با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای

گزارش فنی مهندسین مشاور همگون [۱۰] با عنوان "مطالعات سازه، مرحله اول (قسمت اول) و مرحله اول (قسمت دوم)، بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز" شامل مطالعات اولیه بر روی طرح و بازرسی‌های به‌عمل آمده بر روی سازه و سیستم ساختمانی بیمارستان و نیز، مدلسازی یک نمونه بیمارستان مشابه واقع در سنندج به منظور بررسی و معرفی سیستم‌های مناسب برای مقاوم‌سازی ساختمان بیمارستان تبریز، به سازمان مجری ارائه و در اختیار مشاور پروژه حاضر، قرار گرفت.

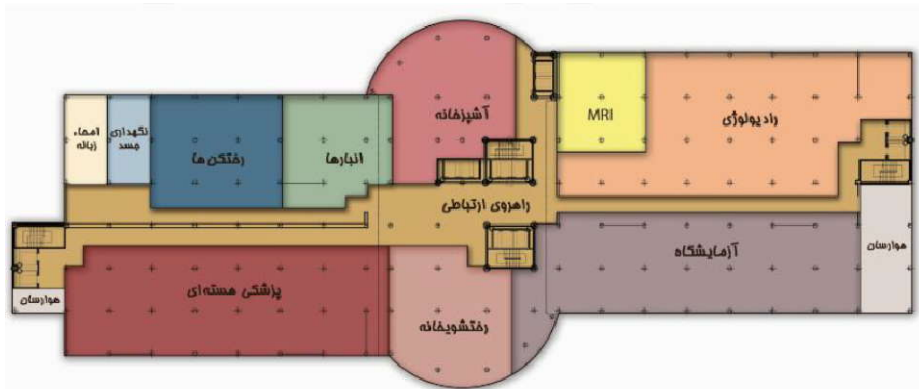
خلاصه‌ای از این گزارش در این فصل ارائه می‌شود که در آن، ابتدا به معرفی پروژه بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز و سپس به مطالعات انجام شده در خصوص ساختگاه احداث این پروژه اشاره خواهد شد. پس از آن و براساس مدارک ارائه شده توسط شرکت مهندسین مشاور همگون، به بررسی طرح پیشنهادی برای ساختمان بیمارستان سنندج با استفاده از جداگر لرزه‌ای پرداخته خواهد شد. در ادامه نیز، پیشنهادات مشاور در خصوص طرح بیمارستان تبریز، نظرات داوری مشاور پروژه حاضر در خصوص این طرح و پاسخ گروه مهندسین مشاور همگون ارائه می‌شود.



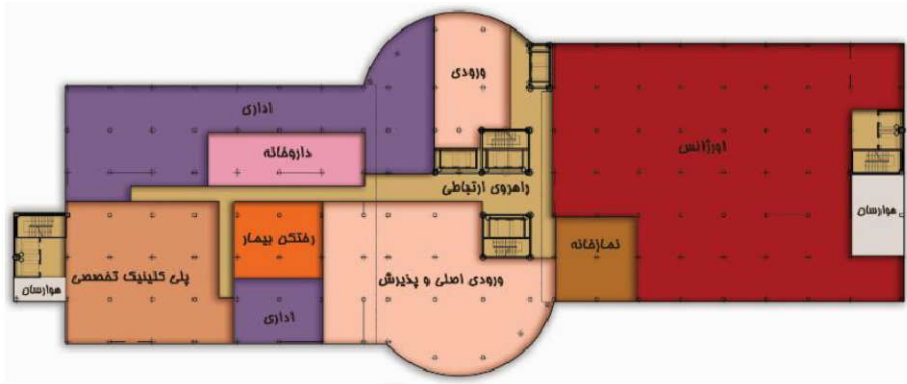
۸-۱ معرفی پروژه

بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز، در ۱۱ طبقه و با متراژی در حدود ۵۵۸۹۰ مترمربع در دست احداث است که به منظور ایجاد نظم در پلان و ارتفاع و جلوگیری از تاثیر تنش‌های ناشی از انبساط و انقباض، به ۳ بلوک جداگانه تقسیم شده‌است. براساس طرح اولیه و مشاهدات و تصاویر تهیه شده توسط شرکت مهندسی مشاور همگون، ملاحظه می‌شود که این ساختمان در ۴ طبقه اول دارای پلان یکسان بوده و در طبقات بعدی، پلان دارای عقب نشینی است. در این بیمارستان، طبقات همکف تا سوم مربوط به فضاهای اورژانس، پلی‌کلینیک و عمل‌های جراحی است و طبقات بالاتر، اغلب کاربری بستری دارند. لازم به ذکر است که فضاهای معماری در این بیمارستان هنوز نهائی نشده‌است.

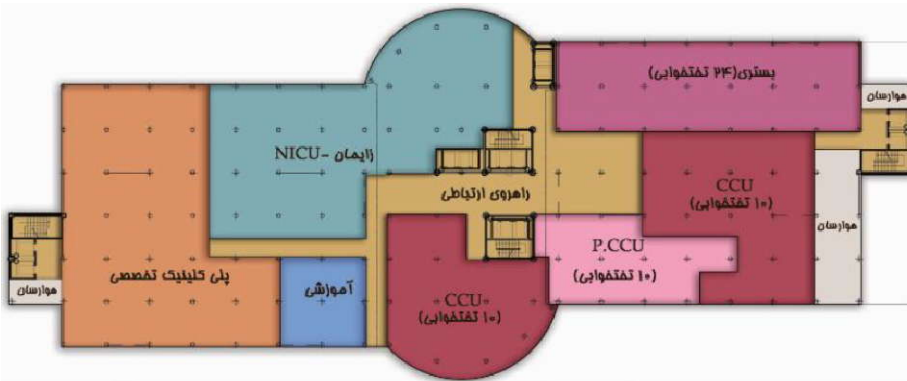
دهانه‌های طراحی شده در بلوک‌های طرفین به صورت مدولار و در ۷ متر و در بلوک وسطی، این دهانه در طولهایی بین ۷ تا ۸ متر اجرا خواهد شد. مدولار بودن دهانه‌ها در بلوک‌های طرفین از جمله نقاط قوت این ساختمان است که در صورت بهره‌گیری از سیستم جداساز لرزه‌ای در ساخت آن، تامین حرکتی صلب و یکنواخت در روسازه را فراهم نموده و از بوجود آمدن پیچش در سامانه ایزولاتور و کشش بیش از حد در لایه لاستیکی جداساز جلوگیری می‌کند [۱۰].



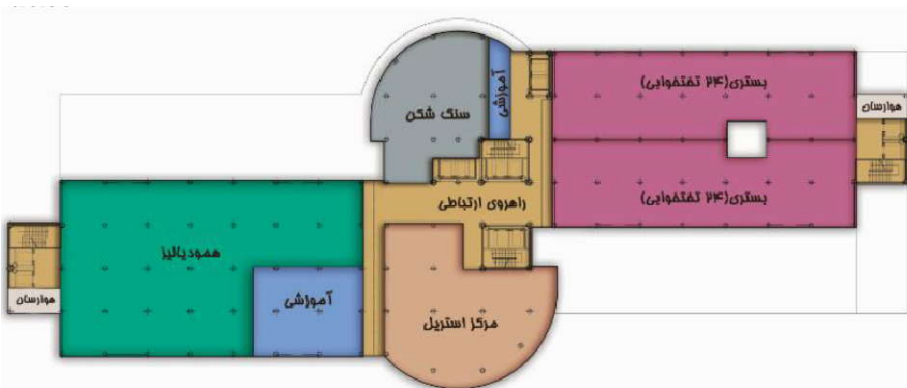
شکل (۸-۱) پلان زیرزمین اول بیمارستان [۱۰]



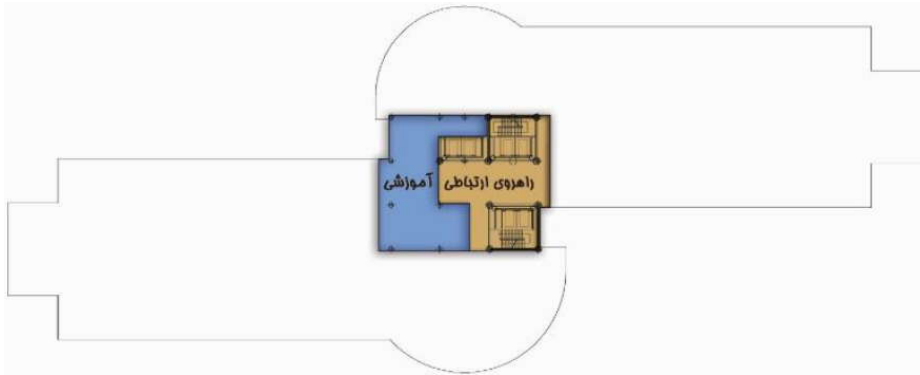
شکل (۲-۸) پلان طبقه همکف بیمارستان [۱۰]



شکل (۳-۸) پلان طبقه اول بیمارستان [۱۰]

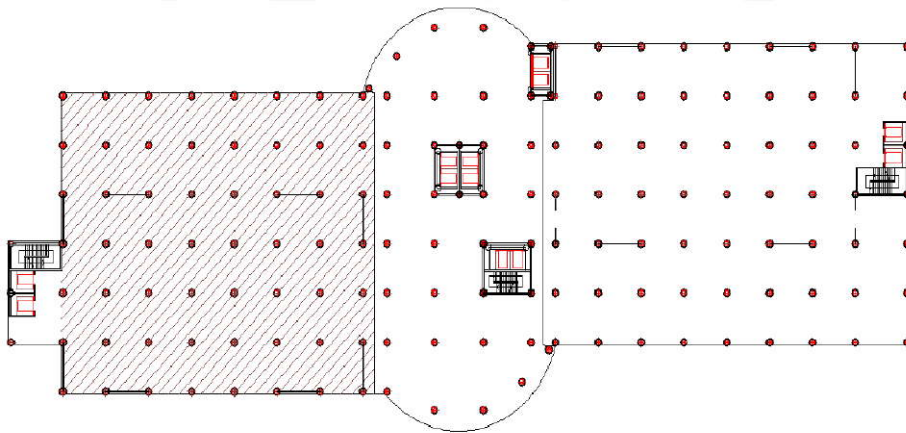


شکل (۴-۸) پلان طبقه سوم بیمارستان با عقب‌رفتگی در پلان به نسبت طبقات زیرین [۱۰]



شکل (۵-۸) پلان طبقه هشتم بیمارستان با عقب‌رفتگی در پلان به نسبت طبقات زیرین [۱۰]

مطابق بررسی‌های به عمل آمده، در این ساختمان دو درز انبساط برای جداسازی سه بلوک موجود در نظر گرفته شده‌است که در نهایت، هر بلوک را به بلوکی با پلان چهارگوشه تبدیل می‌نماید. بدین ترتیب و براساس هندسه پلان، توزیع سختی در کل پلان تقسیم شده و ضوابط نظم در پلان و ارتفاع برآورده می‌شود. سیستم اصلی باربر لرزه‌ای این بیمارستان نیز، سیستم دیوار برشی است. شکل (۶-۸) محل درزهای انقطاع و نیز، دیوارهای برشی را در پلان نشان می‌دهد.



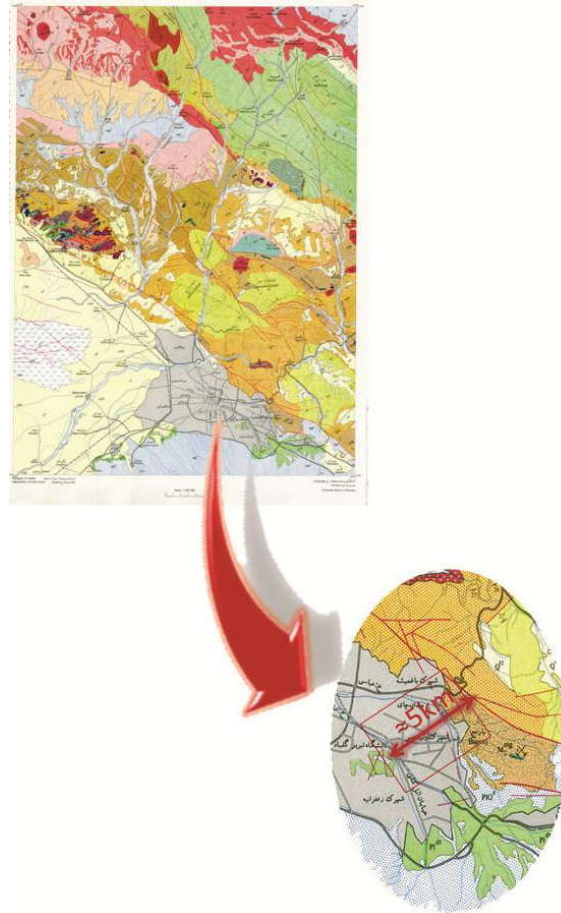
شکل (۶-۸) پلان جانمایی ستون‌ها، دیوارهای برشی و درزهای انقطاع در پلان طبقات اول تا چهارم



۸-۲ مطالعات ساختگاه

تبریز روی سامانه گسلی واقع شده که دارای ساز و کار امتداد لغز بزرگ در شمال باختری ایران و شرق ترکیه می‌باشد. طبق مطالعات صورت گرفته این سامانه با زلزله ترکیه فعال شده و امکان وقوع زلزله در ادامه این سامانه و تبریز غیر ممکن به نظر نمی‌رسد. این سامانه از مرند (دامنه شمالی میشو داغی) تا بستان آباد (با راستای شمال باختری - جنوب خاوری) به طول حدود ۲۰۰ کیلومتر امتداد دارد. گسل‌های گیلاتو، سیه چشمه، خوی و گسل چالدران (در شمال شرق دریاچه وان ترکیه) شاخه‌هایی مرتبط با این سامانه امتداد لغز راستگرد بزرگ هستند و با اینکه هیچ زمین لرزه دستگامی بزرگی، طی ۲۳۰ سال گذشته در تبریز به ثبت نرسیده است ولی نگاهی به زمین لرزه‌های تاریخی تبریز و آبادی‌های مجاور آن نشان می‌دهد که این گستره بارها رخداد‌های ویرانگری را متحمل شده‌است. گسل تبریز مهمترین گسل این شهر بوده که از شمال این شهر عبور کرده و شهرک‌های مختلفی را در معرض خطر قرار داده است، طول این گسل از قم تا آنتولی ترکیه بوده و سن آن به دوران دوم زمین‌شناسی مربوط بوده و علت اصلی وقوع زمین لرزه‌های تبریز در گذشته، حرکت و جنبش این گسل بوده است. همچنین بخش اعظمی از حاشیه نشین شهرستان تبریز در قسمتی از کمربند شمالی شهر اسکان یافته‌اند که ساختمان‌های آنها به هیچ وجه در مقابل کوچکترین تکان‌ها نیز مقاوم نیست.

تصویر (۸-۷) نمایانگر موقعیت گسل تبریز و فاصله آن تا محل پروژه می‌باشد. در این تصویر خیابان ائل‌گلی (خیابان محل احداث پروژه) و گسل تبریز (خط قرمز) نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود فاصله این خیابان تا گسل تبریز بصورت میانگین حدود ۵ کیلومتر تخمین زده می‌شود.



شکل (۷-۸) موقعیت پروژه و گسل تبریز [۱۰]

با توجه به فاصله گسل تا پروژه مورد نظر و همچنین پتانسیل لرزه‌زایی پیش بینی شده، سایت پروژه جزو سازه های حوزه نزدیک بحساب می‌آید. حوزه نزدیک به مناطق با فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر از گسل اطلاق می‌شود. در چنین مناطقی در صورت فعال شدن گسل، خسارات بسیار جدی بوده و نحوه انتشار امواج بسیار سریع و پیچیده، همانند امواج ناشی از انفجار خواهد بود. برای آنکه بتوان ذهنیت مناسبی از آنچه که در صورت فعال شدن گسلی همچون گسل تبریز که در اطراف پروژه قرار داد، دریافت نمود، میتوان مقایسه‌ای با آنچه که در زلزله سال ۲۰۱۱ هوکایدو ژاپن رخ داد انجام داد. این زلزله که منجر به کشته شدن بیش از ۱۵۰۰۰ و مفقود شدن حدود ۱۲۰۰۰ نفر گردید دارای قدرتی برابر ۹ ریشتر و ۵ پس لرزه با قدرت بیش از ۷ ریشتر بوده‌است.



قدرت و همچنین زمان طولانی این زلزله (۳ دقیقه) موجب ایجاد شتابی در حدود g ۱ در شهر گردید. نکته قابل توجه آنکه گسل فعال شده در این فاجعه که موجب خسارات پیش گفته شده‌اند، دارای درازایی در حدود ۳۰۰ کیلومتر و فاصله‌ای در حدود ۱۰۰ کیلومتر از شهر سندای (Sendai) است؛ حال آنکه گسل تبریز که مهم‌ترین گسل پیرامون پروژه می‌باشد، دارای درازای حدود ۲۰۰ کیلومتر و در فاصله حدود ۵ کیلومتر از محل پروژه می‌باشد. بنابراین در صورت فعال شدن این گسل، در صورت عدم آمادگی شهر از نظر مقابله با شتابهای ناشی از زلزله، خسارات بسیار جدی به قلب شهر تبریز وارد خواهد آمد.

۸-۳ مدل‌سازی طرح‌های پیشنهادی

به منظور ارائه یک طرح تقریبی از سازه پیشنهادی برای بیمارستان تبریز، گروه مهندسين مشاور همگون اقدام به بررسی مشخصات بیمارستان تبریز براساس مشخصات یک ساختمان مشابه (بیمارستان سنندج) با استفاده از جداساز لرزه‌ای نموده‌اند و براساس نتایج حاصله، پیشنهاداتی در خصوص طرح مناسب برای اجرا در بیمارستان تبریز ارائه کرده‌اند. خلاصه جزئیات این مدل‌سازی به همراه برخی نتایج حاصله، در ادامه می‌آید [۱۰].

۸-۳-۱ فرضیات مدل‌سازی

براساس گزارش شرکت مهندسين مشاور همگون، در شرایطی که ساختمان‌های با اهمیت زیاد در معرض زلزله‌های با شدت بالا قرار می‌گیرند، اتکاء صرف به مقاومت و عملکرد غیرخطی اجزاء سازه‌ای کافی نبوده و بهتر است در این شرایط، از سیستم‌های کمکی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها استفاده شود. در همین راستا، گزارش این مشاور با هدف بهره‌گیری از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در سازه‌های دارای اهمیت خاص، تهیه شده‌است. به دلیل اینکه هنوز مطالعات ساختگاهی پروژه تبریز به طور دقیق نهائی نشده‌است، لذا این گروه، نسبت به بررسی ساختمان بیمارستان سنندج به عنوان ساختمان مشابه با نیازهای لرزه‌ای و عملکردی تقریباً یکسان، مورد بررسی قرار گرفته‌است که در ادامه، به برخی فرضیات به کار رفته در مدل‌سازی آن اشاره خواهد شد.



۸-۳-۱-۱ نوع اسکلت سازه

با استناد به گزارش گروه مهندسين همگون [۱۰]، اسکلت انتخابی برای این سازه، از نوع اسکلت فولادی انتخاب شده‌است. این گروه، بالا بودن کیفیت و امکان کنترل‌های دقیق بر اجرای سازه‌های فولادی، سرعت اجرای بالای این سازه در مقابل سازه‌های بتنی و نیز، شکل‌پذیری و مقاومت آن را در مقایسه با سازه‌های بتنی را علت انتخاب این سیستم و اسکلت دانسته‌است.

۸-۳-۱-۲ بارگذاری

بار مرده: با انتخاب سقف مرکب بتنی-فولادی با ورق‌های دوزنقه‌ای به عنوان سقف طبقات، وزن بار مرده 290 kg/m^2 علاوه بر بار مرده ناشی از وزن بتن و فولاد مصرفی (تیرچه‌ها و ورق‌ها) در نظر گرفته شده‌است.

بار زنده: از آنجاکه هنوز جانمایی فضاهای معماری نهائی نشده‌است، لذا بار زنده طبقات به طور متوسط برابر با 350 kg/m^2 و بار زنده بام برابر با 150 kg/m^2 در نظر گرفته شده‌است.

بار زلزله: دو پروژه سنج و تبریز، از سه جهت با هم متفاوت هستند. اول آنکه سنج در ناحیه‌ای با خطرپذیری لرزه‌ای زیاد و تبریز در ناحیه‌ای با خطرپذیری لرزه‌ای خیلی زیاد قرار دارد. دوم آنکه، بیمارستان سنج در شرایط دور از گسل و بیمارستان تبریز، در شرایط نزدیک به گسل قرار گرفته‌است و سوم آنکه، سیستم سازه‌ای در بیمارستان سنج، قاب خمشی ویژه با دیوار برشی بتنی و این سیستم، در بیمارستان تبریز، قاب خمشی فولادی با دیوار برشی به همراه جداساز لرزه‌ای تعیین شده‌است. در همین راستا، مهندسین مشاور نسبت به اصلاح برخی فرضیات به کار رفته در پروژه سنج، به منظور نزدیک نمودن طرح به پروژه تبریز اقدام نموده‌اند.

۸-۳-۱-۳ مقاطع مصرفی

در طرح اولیه، تیرها از مقاطع تیورق با ارتفاع ۴۳ سانتی‌متر، دارای بال‌هایی به عرض ۱۵ و ضخامت $1/5$ سانتی‌متر تعریف شده‌است. ستون‌ها نیز، مقاطع قوطی شکل به عمق ۴۵ سانتی‌متر و ضخامت‌های $1/5$ و ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌است. دیوارهای برشی نیز در تمام طبقات، با ضخامت ۸ میلی‌متر تعریف شده‌است.



۸-۳-۱-۴ کنترل‌های طراحی

براساس اطلاعات ارائه شده توسط گروه مهندسين مشاور همگون، کنترل‌های اعمال شده در این طرح، بر روی میزان برش پایه، تغییر مکان سازه و نیز، مقاومت اجزاء سازه‌ای انجام شده است.

۸-۳-۲ گزینه‌های پیشنهادی برای طراحی

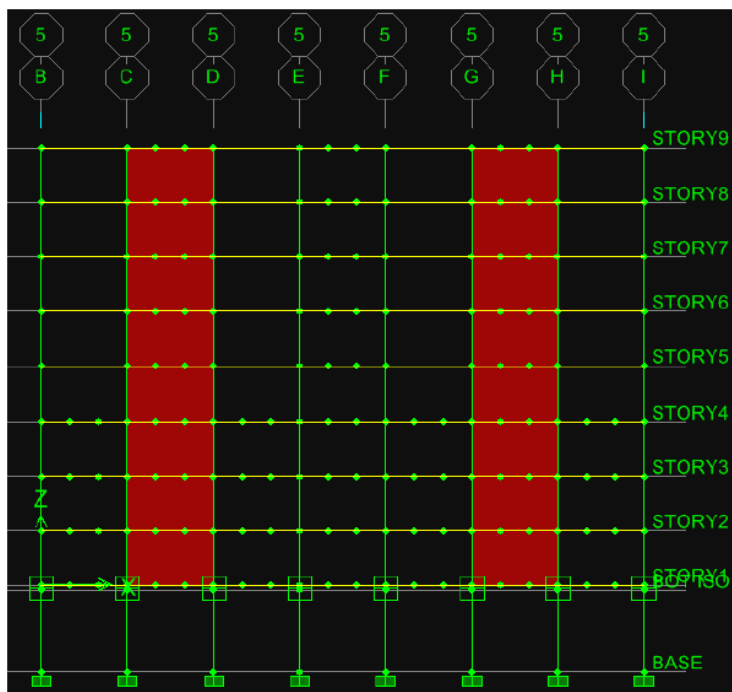
۸-۳-۳-۱ اسکلت فولادی با دیوار برشی بتنی (بدون بهره‌گیری از سامانه جداساز لرزه‌ای)

در این مدل، که برگرفته از سازه بیمارستان سنج است، اسکلت فولادی در ترکیب با دیوارهای برشی بتنی مورد توجه قرار گرفته است. در این طرح، از سختی زیاد دیوارهای برشی برای بالابردن سختی سازه می‌توان استفاده نمود ولی در مقابل، اتصالات سخت و گاه پیچیده اجزاء بتنی و فولادی، ممکن است شرایط اجرائی را سخت نموده و یا از عملکرد یکپارچه سازه جلوگیری کند.

در این طرح، دیوار برشی با طولی در حدود ۲۸ متر در راستای افق و ۳۵ متر در راستای قائم و همگی با ضخامت ۴۷ سانتی‌متر در تمام طبقات استفاده شده است. میلگردگذاری‌های طولی با فواصل ۱۵ و عرضی با فواصل ۱۰ سانتی‌متر مورد توجه قرار گرفته است. هم‌چنین، سقف سازه نیز دال بتنی با ضخامت ۱۳ سانتی‌متر با تسلیح تک سفره‌ای آرمان‌تور تعیین شده است.

۸-۳-۳-۲ اسکلت فولادی با دیوار برشی فولادی (با بهره‌گیری از سامانه جداساز لرزه‌ای)

سازه دوم، با هدف استفاده از جداساز لرزه‌ای برای بیمارستان تبریز، با روسازه اسکلت فولادی با دیوار برشی فولادی و زیرسازه اسکلت بتنی مورد توجه قرار گرفت. در شکل (۸-۸) تراز جداسازها در قابهای فولادی نشان داده شده است. در این طرح در مقایسه با پروژه سنج، مقاطع بند ۸-۳-۱-۳ مورد استفاده قرار گرفته و تیربزی سقف هم با دو تیرچه لانه زنبوری در فاصله ۷ متری انجام شده است.



شکل (۸-۸) نمای یکی از قاب‌های ساختمان پروژه با روسازه فولادی و جداساز لرزه‌ای [۱۰]

۸-۴ گزینه سازه‌ای پیشنهادی

گروه مهندسين مشاور همگون به منظور بررسی تمامی عوامل تاثیرگذار بر روند اجرای سیستم‌های سازه‌ای، از روش ارزیابی "ماتریس خانه کیفیت (HoQ)" استفاده نموده‌است. این روش، ابزاری برای جمع‌بندی مشخصات و ویژگی‌های یک محصول و اولویت‌بندی آن براساس اهمیت یا نیاز مطرح‌شده، فراهم می‌آورد. در شرایط حاضر، این روش برای انتخاب یکی از سیستم‌های سازه‌ای "اسکلت فلزی به همراه جداساز لرزه‌ای"، "اسکلت فلزی به همراه دیوار برشی" و "اسکلت بتنی به همراه دیوار برشی" برای پروژه بیمارستانی تبریز به کار رفته‌است.

همانطور که در جدول (۸-۱) مشاهده می‌شود، در ستون سمت چپ، نیازهای مرتبط با کاربری ساختمان بیمارستانی مطرح‌شده‌است. این نیازها به طور خلاصه عبارت خواهند بود از دستیابی به بهره‌برداری بی‌وقفه،



کاهش هزینه‌های اولیه و ثانویه، کاهش خسارات ناشی از زلزله حین و بعد از واقعه، و سرعت و سهولت اجرا، که برای هر یک از این انتظارات، ضریب اهمیتی بسته به نوع و ویژگی‌های پروژه تعریف می‌شود. علاوه بر این، در ردیف اصلی این جدول، انواع سیستم‌های سازه‌ای مورد توجه در این گزارش آمده‌است که لازم است نیازها و شرایط مهندسی حاکم بر استفاده از این سیستم‌ها، در راستای رسیدن به اهداف یا انتظارات طرح، ارزیابی شوند. میزان تاثیر هر یک از این سیستم‌ها، در نیازهای مهندسی با اعدادی به نام ضریب تاثیر تعریف می‌شود و در نهایت، با در نظر گرفتن مجموع انتظارات (اثر دادن میزان اهمیت در انتظارات) و مجموع توانمندی‌های سیستم در برآوردن آنها (اثر دادن میزان تاثیر در نیازهای مهندسی) می‌توان به سیستم سازه‌ای مطلوب برای پروژه رسید.

بر اساس نظرات مهندسین مشاور و با توجه به جدول (۸-۱)، به نظر می‌رسد که اولویت اول در سیستم مناسب برای سازه بیمارستان تبریز، اسکلت فولادی با جداگر لرزه‌ای، اولویت بعدی، اسکلت فولادی با دیوار برشی فولادی و اولویت آخر، سازه بتنی با دیوارهای برشی بتنی باشد.

بر این اساس، طرح پیشنهادی گروه مهندسین مشاور همگون، سیستم اسکلت فولادی با دیوار برشی و جداساز لرزه‌ای است که روسازه آن، متشکل از اسکلت فولادی پیچ و مهره‌ای با دیوارهای برشی فولادی و سقف مرکب بتنی-فولادی و زیرسازه آن، اسکلت بتنی با سقف دال بتن‌آرمه است.



جدول (۸-۱) اولویت‌بندی سیستم‌های سازه‌ای با استفاده از ماتریس خانه کیفیت [۱۰]

نیازهای مشتری	ضریب اهمیت	فلزی و جداگر لرزه‌ای	فلزی و دیوار برشی	بتنی و دیوار برشی
		** حاصلضرب		
عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه	۴	۷ ۲۸	۱ ۴	۱ ۴
کاهش خسارات پس از بحران	۳	۷ ۲۱	۵ ۱۵	۳ ۹
کاهش هزینه‌های اولیه	۲	۱ ۲	۷ ۱۴	۷ ۱۴
کاهش هزینه‌های ثانویه	۲	۵ ۱۰	۱ ۲	۱ ۲
سرعت اجراء	۱	۵ ۵	۷ ۷	۳ ۳
سهولت اجراء	۱	۵ ۵	۵ ۵	۷ ۷
جمع بندی		۷۱	۴۷	۳۹
اولویت بندی		A	B	C

* میزان تاثیر نیازهای طرح بر شرایط حاکم بر طرح

** حاصلضرب میزان تاثیر در ضریب اهمیت

۸-۵ داوری طرح

پیرو ارسال گزارش مهندسین مشاور به داور پروژه، نظرات زیر به عنوان نظرات داوری پروژه ارسال شد که متأسفانه پاسخ‌های ارائه‌شده توسط مهندسین مشاور، مورد پذیرش نهایی گروه داوری قرار نگرفت.

۱. مطالب ارائه شده در ۳۰ صفحه اول گزارش فاقد موضوعیت است. توضیحات بند ۱-۳-۱-۲ از لحاظ فنی صحیح نمی‌باشد.

۲. نفی روش‌های دیگر با دلایل غیرقابل دفاع و غیر منطقی قابل توجیه نیست و توجیحات ارائه شده کامل نمی‌باشد.

۳. بر اساس ضوابط آئین‌نامه ۷ ASCE، ضریب واژگونی باید براساس زلزله MCE، ۱/۴ برابر زلزله ۲۸۰۰ کنترل و چک شود و هیچ عضوی نباید در کشش قرار بگیرد.



۴. استفاده از روش نیروی معادل زلزله در این سایت به علت اینکه $S1$ بزرگتر از $0/6$ است مجاز نیست. بنابراین تحلیل استاتیکی مجاز نیست. بنابراین تمام محاسبات قبلی فاقد موضوعیت است. ($S1$ برابر با $SD1$ $1/4$ می‌باشد).
۵. ضوابط آئین‌نامه ۷ ASCE تحریف شده است. تعریف $Sm1$ اشتباه است.
۶. فایل‌های مدل‌سازی ارائه نشده است. بدون فایل‌های مدل‌سازی نمی‌توان در خصوص جزئیات طرح اظهار نظر کرد.
۷. حداکثر یک درز انبساط در سازه کافی می‌باشد.
۸. استفاده از اسکلت فولادی در شرایط کنونی شدیداً هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. توصیه می‌شود از اسکلت بتنی در طرح استفاده شود. توجیحات ارائه شده برای استفاده از سازه فولادی قابل دفاع نمی‌باشد.
۹. پس از تغییر سیستم سازه، سیستم سقف نیز باید تغییر کند. همچنین اجرای هزینه سیستم سازه‌ای پیشنهادی و سیستم سقف پیشنهادی بسیار بیش از سازه بتنی است.
۱۰. در سیستم دارای جداساز لرزه‌ای با توجه به R پائین آن استفاده از دیوار برشی فولادی توجیه ندارد. همچنین حداکثر Ru در سیستم جداسازی شده ۲ نمی‌باشد که براساس Rw $2/8$ 2800 می‌شود.
۱۱. طرح ارائه شده به عنوان فاز صفر سازه‌ای نیز دارای ایراد و مشکلات اساسی بوده و به هیچ عنوان مورد پذیرش نمی‌باشد.

۸-۶ جوابیه مهندسين مشاور

در پاسخ به نظرات داوری ارائه‌شده بر روی طرح پیشنهادی مشاور، گروه مهندسين مشاور همگون جوابیه خود را که در تصاویر (۸-۹ الف و ب) مشاهده می‌شود به کارفرما ارسال نمودند که متأسفانه پاسخ‌های مذکور، کمکی در رفع ابهامات مطرح شده در نظرات داوری ننمود و مورد پذیرش قرار نگرفت.



FROM : HAMGOON FAX NO. : 0211502305 T. NO. : 02113 42403PM P1

شماره: ۹۲۱۸۲۷ / ص
تاریخ: ۱۳۹۲/۴/۱۹
پوست:

HAMGOON
CONSULTING ENGINEERS
J.C.C.C

مهندسین مشاور همگون

وزارت راه و شهرسازی
سازمان مخری ساختمانها و تأسیسات دولتی و عمومی
مدیر کل محترم امور مهندسی جناب آقای مهندس سرکاری
موضوع: مطالعات مرحله اول سازه پروژه بیمارستان ۴۰۰ دانشجویی تبریز

احتراماً
بازگشت به نامه شماره ۰۳۶۲۰۲۷۶۹ مورخ ۰۲۳/۱۶/۹۲ از شما با منقالات مرحله اول سازه بیمارستان ۴۰۰ دانشجویی تبریز به اسحضار می‌رساند:

- ۱- همانطور که در مقدمه گزارش اشاره گردیده است موضوعیت صنایع تحت گرایش مخری در انواع سیستم‌های باربر، شامل تکیه و تیرهای می‌باشد پس از آن به بررسی عملکرد سیستم‌های باربر مبتنی بر تکیه و تیر استفاده از فن آوری‌های نوین پرداخته شده است. لازم بذکر است معاینات ارائه شده در این بخش براساس بند الف، شرح وظایف مهندس مشاور در زمینه ارائه مطالعات مرحله اول می‌باشد. در گزارش ارسالی سعی با عنوان ۳-۱-۴ ارائه گردیده است.
- ۲- طی گزارش ارائه شده سیستم‌های نگردیده است، بکه با توجه به خدمات فنی برقرار شده با کارشناسان و مدیران محترم آن سازمان مبنی بر استفاده از تکنولوژی‌های نوین جهت ارتقاء سطح عملکرد سازه بیمارستانی، دو سیستم جداساز لرزه‌ای و تیرهای فولادی، محور اصلی گزارش قرار گرفته است.
- ۳- همانگونه که پیش از این ذکر گردید گزارش ارسالی مرحله اول بوده و صرفاً جهت مقایسه بین سیستم‌های سازه‌ای در دو پروژه مشابه ارائه گردیده است. مواردی همچون کنترل واکنش سازه مربوط به کنترل‌های بی‌از طراحی می‌باشد. لازم بذکر است بر این اساس، روش‌های بارگذاری، سازه‌های حمایت ارائه گردیده و نکاتی بپیرامون کنترل کمانش سازه ارائه گردیده است. خواست و رواد کنترل‌های عملکرد سازه در صورت تأیید استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای، در دفترچه محاسبات برای ارائه خواهد گردید.
- ۴- ضابطه این نامه ASCE 7 تعیین نگردیده است. در این آیین نامه پارامتر Sml سه عنوان مشخصه شتاب طیفی در زمان تناوب ۱ ثانیه یا سیرالی ۵ درجه یاد شده است. در گزارش ارسالی تحت عنوان "تشدید لرزه‌ای در زمان تناوب یک ثانیه یا احتساب جداگانه ۵ سیرالی" ذکر گردیده است که با توجه به ذکر بحرانی بودن حالت در توضیحات فرمول مربوطه، میرز مشخصه شتاب مدنظر بوده است.
- ۵- مطابق شرح خدمات مطالعاتی، در این بخش از گزارش نیاز به ارائه فاین‌های محاسباتی نمی‌باشد.

Edman Deal Ltd., Shakh, Spadanga St., Sec-1 ab, Iran, Post Code : 8124734591, Tel: (98 911) 6632301-4, Fax: (9811) 6632305
Web site : www.hamgoon.ir Email : hamgoon.org@yahoo.com

شکل (۸-۹ الف) جوابیه گروه مهندسی مشاور همگون



FROM: THAVS001 FROM NO.: 00210033005 Jul 19 2013 12:00PM PE

برسئله

HAMGOON No. شماره: ۹۲/۸۲۷ / ص
CONSULTING ENGINEERS Date: تاریخ: ۱۳۹۲/۴/۱۹
J.C.C.C Connected. پیوست

مهندسین مشاور همگون

۶- با توجه به پلان معماری پروژه پیش گفته ایجاد دو درز انقطاع جهت ایجاد نظم در پلان و ارتقا و جلوگیری از پیش‌ش در سازه مورد نیاز می‌باشد.

۷- اگرچه معمولاً سازه‌های فولادی ترازهای اضافه هزینه‌های سبب به سازه‌های شسی می‌باشند که صرفاً به دلیل هزینه اضافی به راحتی نمی‌توان در سازه‌های با اهمیت زیاد، پروژه در سازه‌های بیمارستانی و در مناطق لرزه‌خیز از آن چشم‌پوشی نمود. لازم‌الذکر است، در صورت‌های دفاع نبودن توضیحات ارائه شده از نظر کنترل کننده محترم، موارد مورد نظر بصورت مشخص ذکر تا مورد بررسی و بحث قرار گیرد. همچنین کافی بودن توضیحات ارائه شده در راستای استفاده از اسکلت فولادی، دلیل استفاده از اسکلت بتنی نخواهد گردید.

۸- در سازه‌های بیمارستانی هدف ایجاد سطح عملکرد خدمت زمانی بی‌وقفه به بهره‌بردار می‌باشد که دستیابی به این صدمه مسلماً با صرف هزینه‌های همراه خواهد بود. در پروژه حاضر مناطق آنچه در گزارش ارائه شده به ویژه بخش ۴-۲ ذکر گردیده قسمتی از هزینه‌های اولیه وسیله بکارگیری سیستم‌های بایزر جلیبی مناسب و کاهش وزن سازه جبران خواهد گردید ضمن آنکه بهره‌بردار بی‌وقفه قابل برآورد نمی‌باشد لیکن هزینه‌های پروژه به خوبی قابل برآورد است.

۹- موارد مربوطه به رفتار سازه‌های سبب به جداگر لرزه‌ای در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ذکر نگردیده است. هزینه رفتار (R) در این سازه‌ها در دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جاساز و سایر این‌نامه‌ها معتبر نخواهد بود. ذکر گردیده است.

۱۰- همانطور که در بخش نخست اشاره گردید، نتایج ارائه شده در چهارچوب شرح خدمات مطالعات سازه بوده و هماهنگی‌های انجام شده با کارشناس محترم سازه نیازمن درون‌بند تهیه گردیده است. لذا خواهشمند است ایرادات و مشکلات مورد نظر کنترل کننده بصورت جزئی بطرح‌نا امکان واضح متناسب مهیا گردد.

مهندسین مشاور همگون

پانچ‌امین تیران‌کوی منگول، پلاک ۱۱، تهران، کد پستی: ۱۹۶۳۱۱۱
Boltan Dent End, Sheikh Sadrhigh St., Esfahan, Iran. Post Code: 816475459. Tel: (98 311) 6672301-4. Fax: (9811) 6632305
Web site: www.hamgoon.ir Email: hamgoon_org@yahoo.com

شکل (۸-۹) جوابیه گروه مهندسين مشاور همگون

مراجع

- [1] American Society of Civil Engineers, "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", ASCE Standard, ASCE/SEI 41-06.
- [2] American Society of Civil Engineers, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", ASCE Standard, ASCE/SEI 7-10.
- [3] Trevor E Kelly, S.E., "Base Isolation of Structures", Holmes Consulting Group Ltd., Guidelines, 2001.
- [4] Higashino, M., Okamoto, Sh., "Response Control and Seismic Isolation of Buildings", Taylor and Francis, 2006.
- [5] Skinner, R., I., Robinson, B.W.H., Trevor E. Kelly, "Seismic Isolation for Designers and Structural Engineers", Holmes Consulting Group, 2005.
- [6] Robinson, W.H. (1998). Passive Control of Structures, The New Zealand Experience. ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 375, Vol. 35, No. 4, pp. 63-75
- [7] Cheng, F. Y., Jiang, H., Lou, K., (2008). Smart structures: innovative systems for seismic response control. CRC press
- [8] "دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای"، نشریه شماره ض-۵۵۰، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، چاپ اول، ۱۳۸۹
- [9] "راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها"، نشریه شماره ۵۲۳، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۹.
- [۱۰] "مطالعات سازه، مرحله اول (قسمت اول) و مرحله اول (قسمت دوم)، بیمارستان ۵۴۰ تخت‌خوابی تبریز"، گزارش فنی مهندسین مشاور همگون، ۱۳۹۲.

پیوست الف

مقایسه آئین‌نامه‌های مختلف دنیا

هرچند تحلیل دینامیکی در اغلب آئین‌نامه‌های طراحی و اجرای جداسازهای لرزه‌ای توصیه شده‌است، ولی در مقابل، روش ساده‌سازی شده‌ای براساس تحلیل خطی معادل در شرایط محدودی قابل استفاده است. از آنجاکه تعداد زیادی ضریب اطمینان باید در این روش ساده‌سازی شده مورد استفاده قرار گیرد، به نظر می‌رسد که روش تحلیل دینامیکی از نظر هزینه محاسباتی و اقتصادی به صرفه‌تر خواهد بود. لازم به ذکر است که برای مقایسه نتایج این دو روش، پارامترهای متعددی که در آئین‌نامه‌های مختلف معرفی شده‌اند، ممکن است به طور مشخصی همسان نباشند. در اینجا به ارائه خلاصه مقایسه‌ای بین ۵ آئین‌نامه مطرح دنیا برای طراحی جداسازهای لرزه‌ای پرداخته خواهد شد.

الف-۱ روش تحلیل خطی معادل (ELM)

در تمامی این پنج آئین‌نامه، یک روش تحلیل خطی معادل بر مبنای یک سیستم یک درجه آزادی، تعریف شده‌است. تمام آئین‌نامه‌های محدودیت‌هایی بر کاربرد این روش ارائه کرده‌اند، که این محدودیت‌ها در جدول (الف-۱) آمده‌است. در این جدول، عبارات زیر عبارتند:



T_f : دوره تناوب طبیعی روسازه با پایه گیرداد

T_2 : دوره تناوب سیستم جداساز با در نظر گرفتن سختی تکیه‌گاه لاستیکی به تنهائی

T_e : دوره تناوب معادل سیستم جداساز

T_v : دوره تناوب سیستم جداساز در جهت قائم

جدول (الف-۱) کاربرد روش تحلیل خطی معادل در پنج آئین‌نامه متفاوت

آئین‌نامه ساختمانی	ژاپن	چین	آمریکا	ایتالیا	تایوان
محدودیت در لرزه‌خیزی سایت	-	-	$S_1 < 0.6g$	-	-
محدودیت در رده‌بندی خاک	۱ و ۲	I, II, III	A, B, C, D	-	۱ و ۲
حداکثر بعد پلان	-	-	-	۵۰ m	-
حداکثر ارتفاع روسازه	۶۰ m	۴۰ m	۱۹/۸ m	۲۰ m	-
حداکثر تعداد طبقات	-	$T_f \leq 1s$	۴	۵	-
موقعیت قطعات	در تراز پایه	در تراز پایه	-	-	-
حداکثر خروج از مرکزیت جرم و سختی	٪۳	-	-	٪۳	-
K_v/K_e	-	-	-	≥ 800	-
تنش در جداساز	غیرمجاز	غیرمجاز	مجاز	غیرمجاز	غیرمجاز
تنش تسلیم	$> 0.03W$	-	-	-	-
محدوده T_e	$T_2 > 2.5s$	-	$3T_f \sim 3.0s$	$3T_f \sim 3.0s$	$\leq 2.5s$
حداکثر مقدار T_v	-	-	-	$< 0.1s$	-

اصلی‌ترین محدودیت‌های این روش عبارتند از:

(الف) به جز در آئین‌نامه ایتالیا، محدوده ساخت به مناطق با خاک سخت محدود می‌شود.

(ب) حداکثر ارتفاع روسازه به جز در آئین‌نامه تایوان، محدود است. در آئین‌نامه‌های ژاپن و چین، این محدودیت

ارتفاع کمتر است. بنابراین، ساختمان‌ها می‌تواند به طور وسیعی از این تکنولوژی استفاده کنند.

(ج) در آئین‌نامه‌های چین و ژاپن، موقعیت قطعات جداساز به تراز پایه سازه محدود شده است.

(د) به جز در آمریکا، هیچ تنشی در اجزاء جداساز مجاز نمی‌باشد.

(ح) محدودیت‌هایی بر دوره تناوب سازه جداسازی شده، به جز در آئین‌نامه چین، وجود دارد.



لازم به توجه است که در آئین‌نامه ژاپن، این محدودیت‌ها کمتر است، در مقابل، در آئین‌نامه‌های ایتالیا، آمریکا و تایوان، محدودیت‌های بیشتری در این زمینه وجود دارد. به طور کلی، نیروی برش پایه، از شتاب طیفی و وزن، و براساس رابطه (الف-۱) محاسبه می‌شود.

$$D_D = \frac{MB(\xi, T_e) S_a(T_e)}{K_e}$$

$$D_M = \alpha \gamma D_D \quad (\text{الف-۱})$$

$$Q_s = \frac{K_e D_D}{R_I}$$

که در آن،

D_D تغییرمکان طرح سیستم جداساز

M وزن کل ساختمان

$B(\xi, T_e)$ ضریب کاهش پاسخ

ξ میرایی موثر

$S_a(T_e)$ (g) شتاب پاسخ منطقه با در نظر گرفتن شرایط خاک

K_e سختی موثر سیستم جداساز

D_M حداکثر تغییرمکان طراحی به کار رونده در تعیین معیارها

a ضریب متناظر با خروج از مرکزیت سیستم جداساز

γ ضریب اطمینان (>1.2) متناظر با تغییر مشخصات با توجه به حرارت، پیرشدگی یا عدم رعایت رواداری‌های

قطعات (براساس آئین‌نامه ژاپن)

Q_s نیروی برشی در پایه روسازه

R_I ضریب کاهش متناظر با شکل‌پذیری روسازه



جدول (الف-۲) خلاصه‌ای از روش خطی معادل در پنج آئین‌نامه مورد بحث

Structure	Standard	China	USA	USA	Taiwan	
Isolation system	D_D	$\frac{M D (\sum_{i=1}^n \xi_i \gamma_i)}{K_r}$	$Q_{iso} K_r$	$\frac{K_{iso} S_{D1} D}{4 \pi^2 B_D}$	$\frac{M S_{D1} (2 \xi_i \gamma_i)}{K_{iso}}$	$0.25 \xi_i \gamma_i \tau_i^2$
	τ_{iso}	τ_i	$(1 + \xi_i \frac{12c}{b^2 + d^2})$			
	D_{fix}	$D_D K_r$	$S_{D1} D_{fix} M$	$K_{iso} D_D$	$K_{iso} D_D$	$K_r D_D$
	D_{fix}	$r D_{fix}$	$\lambda_i D_{fix}$	D_{fix}	D_{fix}	$1.2 D_{fix}$
Super-structure	Q_i	Q_{iso}	Q_{iso}	$\frac{Q_{iso}}{R_i}$	$\frac{Q_{iso}}{R_i}$	
	Q_i	$r (\lambda_i Q_i + Q_i)$	$\frac{M_i H_i}{\sum_{j=1}^n M_j H_j} Q_{iso}$	$M_i S_{D1} (\xi_i \gamma_i)$	$\frac{M_i H_i}{\sum_{j=1}^n M_j H_j} Q_i$	
Sub-structure	Q_i	$r Q_{iso}$	Q_{iso}	$K_{iso} D_D$	Q_{iso}	$\frac{K_r D_D}{0.8 R_i}$
Isolation system used	λ_i	$2\pi \sqrt{\frac{M}{K_r}}$	$2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{iso}}}$	$2\pi \sqrt{\frac{M}{K_r}}$		

در جدول (الف-۲) جزئیات روش خطی معادل ارائه شده و نکات مهم به اختصار عبارتند از:

الف) ضریب مرتبط با خروج از مرکزیت سیستم جداساز در تمام آئین‌نامه‌ها مدنظر قرار گرفته‌است. مقدار معین ۱/۱ برای آئین‌نامه ژاپن تعیین شده و در سایر آئین‌نامه‌ها، معادلانی برای آن تعریف شده‌است.

ب) یک ضریب کاهش یافته با در نظر گرفتن شکل‌پذیری روسازه در تمام آئین‌نامه‌ها، به جز ژاپن و چین، در نظر گرفته می‌شود.

ج) آئین‌نامه چین، آمریکا و تایوان روابط مشترکی برای محاسبه توزیع نیروی برش پایه در ارتفاع روسازه استفاده می‌کنند.

د) در آئین‌نامه چین، روش ساده سازی‌شده‌ای که سازگار با روش محافظه‌کارانه طرح لرزه‌ای است ارائه شده‌است. یک ضریب کاهش افقی براساس نسبت نیروی برش پایه بین Q_{ISO} (نیروی برشی بعد از جداسازی) و Q_{FIX} (نیروی برشی برای شرایط گیرداری پایه) در جدول (۳-۸) تعیین شده است. این ضریب برای ارتباط برقرار کردن با روش طراحی شدت لرزه‌ای (Seismic Intensity) که به طور وسیعی توسط مهندسين سازه استفاده می‌شود، تعیین شده‌است. به عنوان مثال، اگر نسبت Q_{ISO}/Q_{FIX} بین ۰/۳۵ تا ۰/۲۶ باشد، یک ضریب کاهش برابر با ۰/۵ از جدول بدست می‌آید که روسازه یک ساختمان روی جداساز لرزه‌ای که در نواحی با خطر لرزه‌ای VIII قرار دارد، می‌تواند با آن ضریب برای طراحی همین سازه وقتی در ناحیه VII و با پایه گیردار قرار داشته باشد، طراحی شود.



جدول (الف-۳) ضریب کاهش افقی که براساس نسبت برش پایه تعیین می‌شود (چین)

Q _{ISO} /Q _{FIX}	۰/۵۳	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۱۸
ضریب کاهش	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۲۵

روند همگرایی روش تحلیل خطی معادل در شکل (الف-۱) نشان داده شده‌است. این روش به شرح زیر خلاصه می‌شود:

(الف) تغییر مکان D_{D0} برای سیستم جداساز در نظر گرفته می‌شود.

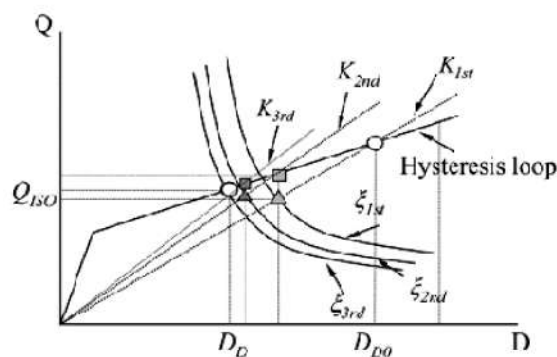
(ب) سختی موثر، K_e ، و میرایی موثر، ξ_e برای سیستم جداساز، با فرض یک مدل دو خطی برای آن، محاسبه می‌شود.

(ج) دوره تناوب معادل، T_e ، سیستم جداساز محاسبه می‌شود.

(د) ضریب کاهش پاسخ متناظر، $B(\xi_e, T_e)$ ، و شتاب طیفی، $S_g(T_e)$ ، محاسبه می‌شود.

(ه) تغییر مکان جدیدی برای سیستم جداساز، D_D ، با استفاده از رابطه (الف-۱) محاسبه می‌شود.

(و) گام‌های الف تا ه تا رسیدن به همگرایی تکرار می‌شود.



شکل (الف-۱) نمایش روند همگرایی روش تحلیل خطی معادل

الف-۲ روش تاریخچه زمانی (THA)

هرچند تمام آئین‌نامه‌های مورد بحث ضوابطی برای تحلیل پاسخ دینامیکی ارائه داده‌اند، جزئیاتی که برای استفاده از این تحلیل در یک سازه جداسازی شده لرزه‌ای به طور واضح در دسترس قرار نگرفته‌است. در بسیاری از آئین‌نامه‌ها، دو روش تحلیل دینامیکی معرفی شده‌اند: تحلیل طیف پاسخ و تحلیل تاریخچه زمانی.



برای یک ساختمان جداسازی شده لرزه‌ای، تحلیل تاریخچه زمانی دقیقتر و پرکاربردتر است. بنابراین، در ادامه به تحلیل تاریخچه زمانی پرداخته خواهد شد.

در تحلیل تاریخچه زمانی، حرکات‌های ورودی مصنوعی که بر طیف پاسخ یا رکوردهای زلزله واقعی منطبق باشد (یا با مقیاس کردن یا با اصلاح حرکت)، باید برای تحلیل پاسخ دینامیکی به کار رود. از آنجاکه نتایج تحلیل پاسخ دینامیکی، به شدت وابسته به حرکات ورودی است، حرکات‌های ورودی متعددی پیشنهاد می‌شوند. در آئین‌نامه ژاپن، براساس تعداد حرکت‌هایی بیش از سه عدد (معمولاً شش عدد)، حداکثر مقادیر پاسخ به عنوان مقادیر طراحی تعیین می‌شوند. در آئین‌نامه چین، براساس سه حرکت ورودی، مقادیر پاسخ متوسط به عنوان مقادیر طراحی تعیین می‌شوند. در آئین‌نامه‌های آمریکا و ایتالیا، حداقل سه زوج تاریخچه زمانی باید برای تحلیل به کار روند. اگر سه زوج تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گیرد، طراحی باید براساس مقادیر حداکثر پاسخ انجام شود، هرچند، اگر هفت زوج (یا بیشتر) تاریخچه زمانی به کار رفته باشد، طراحی براساس مقادیر متوسط انجام می‌شود. از آنجاکه تحلیل تاریخچه زمانی معمولاً به مقادیر پاسخ کوچکتری منجر می‌شود، در آئین‌نامه‌های آمریکا و تایوان، نتایج تحلیل تاریخچه زمانی به نتایج بدست آمده از تحلیل خطی معادل محدود می‌شوند. به عنوان مثال، در آئین‌نامه آمریکا، تغییرمکان کل طراحی یک سیستم جداساز نباید از ۹۰ درصد نتیجه حاصل از تحلیل خطی معادل کمتر باشد. از سوی دیگر، هیچ محدودیتی در آئین‌نامه ژاپن و ایتالیا موجود نیست.