

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها

ضابطه شماره ۵۲۳
(تجدید نظر اول)

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Nezamfanni.ir



omoorepeyman.ir

شماره: ۹۸/۲۷۰۰۰۴	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۹۸/۰۵/۲۰	
موضوع: راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها (تجدید نظر اول)	
در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، نظام فنی و اجرایی یکپارچه و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۵۲۳ با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها - تجدید نظر اول» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۰۱ الزامی است. امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد. مفاد این بخشنامه و دستورالعمل فنی پیوست، با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها - تجدید نظر اول» جایگزین مفاد و پیوست بخشنامه شماره ۱۰۰/۱۲۳۹۱ مورخ ۱۳۸۹/۲/۲۵ می‌شود. محمد باقر نوبخت	



اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir
 - ۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.
 - ۳- به بخش نظرخواهی این نشریه مراجعه فرمایید.
 - ۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.
 - ۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni@mporg.ir

web: nezamfanni.ir



باسمه تعالی

پیشگفتار

کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از رویداد زلزله همواره یکی از دغدغه‌های مهندسی کشور بوده و هر ساله تحقیقات و مطالعات قابل توجهی در این خصوص انجام می‌شود. هرچند افزایش مقاومت ساختمان‌ها اولین راهکار قابل تصور برای این مساله محسوب می‌شود، اما مشکلات جنبی نظیر افزایش وزن و هزینه‌های ساخت، باعث شده‌است تا سایر رویکردها از جمله استفاده از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای نیز مورد توجه قرار گیرد. با توجه به پیشرفت تکنولوژی ساخت و طراحی این سیستم‌ها، بازبینی و به‌روزرسانی ضوابط مرتبط، بصورت دوره‌ای، الزامی است.

با توجه به مطالب فوق، بازنگری ضابطه شماره ۵۲۳ با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها» توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و با هماهنگی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرار گرفت. این ضابطه پس از تهیه، برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال شد که پس از بررسی و تصویب، براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه کشور موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید.

علی‌رغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردیده، با این‌حال مطالب آن مصون از وجود اشکال و ابهام نیست؛ بنابراین در راستای تکمیل و پربار شدن این دستورالعمل از کارشناسان و خوانندگان محترم درخواست می‌گردد موارد اصلاحی را به امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند تا در تجدید نظرهای آتی مورد استفاده قرار گیرد. امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این ضابطه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی، بدین وسیله از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران جناب آقای دکتر سید جواد قانع‌فر و کارشناسان محترم این امور، مجری محترم پروژه و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه این بزرگواران را آرزومند است.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

تابستان ۱۳۹۸



تهیه و کنترل « راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها »

(تجدید نظر اول)

[ضابطه شماره ۵۲۳]

مجری

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

اعضای کمیته تهیه کننده متن اصلی

۱- دکتر افشین کلانتری

۲- دکتر امید بهار

۳- مهندس ریحانه شفیعی پناه

بازخوانی

دکتر علی بخشی دانشگاه صنعتی شریف

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور)

۱- علیرضا توتونچی معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

۲- فرزاد پارسا رئیس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

ترکیب اعضای تهیه کننده و همکاران ویرایش نخست (سال ۱۳۸۹)

اعضای کارگروه تهیه کننده

۱- دکتر افشین کلانتری (مدیر پروژه) پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲- دکتر تورج تقی‌خانی دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

اعضای کارگروه بازخوانی و نهایی نمودن نشریه

۱- امید بهار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲- علی تبار دفتر نظام فنی اجرایی

۳- حمیدرضا خاشعی دفتر نظام فنی اجرایی

۴- شهرزاد روشن‌خواه دفتر نظام فنی اجرایی

۵- حامد سرمست دفتر نظام فنی اجرایی



فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	فصل اول – کلیات
۳	۱-۱- مقدمه
۴	۱-۲- گستره
۴	۱-۳- جداسازی لرزه‌ای
۶	۱-۴- تحلیل و طراحی سازه‌ی جداسازی شده
۹	فصل دوم- جداسازهای لرزه‌ای
۱۱	۲-۱- مقدمه
۱۲	۲-۲- انواع جداسازهای لرزه‌ای
۱۲	۲-۳- جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی
۱۳	۲-۳-۱- انواع لاستیک مورد استفاده در جداسازهای لاستیکی
۱۴	۲-۳-۲- سختی افقی و قائم جداسازهای لاستیکی
۱۴	۲-۳-۳- ساخت جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی
۱۵	۲-۳-۴- ویژگی‌های جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی
۱۵	۲-۴-۱- رفتار جداسازها در برابر بارهای جانبی و قائم
۱۷	۲-۴-۲- عملکرد در برابر بارهای فشاری
۱۷	۲-۴-۳- عملکرد در برابر بارهای کششی
۱۸	۲-۴-۴- دوام
۱۹	۲-۴-۵- مقاومت در برابر آتش
۱۹	۲-۴-۶- شرایط محیطی
۱۹	۲-۴-۷- مهار جابجایی جداساز
۱۹	۲-۴-۸- واژگونی



۱۹	۲-۳-۴-۹- بازرسی
۲۰	۲-۳-۴-۱۰- کنترل کیفیت
۲۰	۲-۴- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی
۲۱	۲-۵- جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد
۲۲	۲-۶- جداسازهای اصطکاکی
۲۵	۲-۷- انواع دیگر وسایل جداساز لرزه‌ای

۲۷ فصل سوم- طراحی سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای

۲۹	۳-۱- کلیات
۲۹	۳-۲- مدل سازی و تحلیل سازه جداسازی شده
۲۹	۳-۲-۱- مدل‌های عددی سازه و سامانه جداسازی
۳۰	۳-۲-۲- مدل‌های رفتاری وسایل جداسازی
۳۳	۳-۳- طراحی وسایل جداسازی لرزه‌ای
۳۴	۳-۳-۱- جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد دارای ورق‌های فولادی
۳۴	۳-۳-۱-۱- مدل رفتاری جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد دارای ورق‌های فولادی
۳۷	۳-۳-۱-۲- مبانی طراحی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد دارای ورق‌های فولادی
۴۴	۳-۳-۲- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی
۴۴	۳-۳-۲-۱- مدل رفتاری جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی
۴۵	۳-۳-۲-۲- مبانی طراحی جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی
۵۳	۳-۳-۳- جداسازهای آونگ اصطکاکی
۵۳	۳-۳-۳-۱- مدل رفتاری جداسازهای آونگ اصطکاکی
۵۵	۳-۳-۳-۲- مبانی طراحی جداسازهای آونگ اصطکاکی

۵۷ فصل چهارم- میراگرها و توصیه‌های طراحی

۵۹	۴-۱- کلیات
----	------------



فصل پنجم- ملاحظات اجرایی در طراحی سازه‌های جداسازی شده

۱-۵- کلیات

۲-۵- ملاحظات عمومی در زمان طراحی

۳-۵- مشخصات بستر

۴-۵- اثر نوع خاک

۵-۵- آثار حوزه‌ی نزدیک

۶-۵- اثر مولفه‌ی قائم زمین‌لرزه

۷-۵- توجه به تاثیر مودهای بالاتر

۸-۵- ارتفاع ساختمان

۹-۵- رفتار روسازه

۱۰-۵- انتخاب موقعیت تجهیزات جداسازی در ارتفاع

۱۱-۵- طراحی بر اساس شرایط محیطی

۱۲-۵- مقاومت در برابر آتش

۱۳-۵- سختی جانبی جداسازها

۱۴-۵- چیدمان جداسازها در پلان

۱۵-۵- تعویض تجهیزات جداسازی

۱۶-۵- فاصله‌ی آزاد جانبی و قائم

۱۷-۵- طرح اعضای سازه‌ای مجاور واحدهای جداساز

۱۸-۵- جزییات اجرایی معماری

۱۹-۵- جزییات اجرایی تجهیزات مکانیکی

۲۰-۵- کنترل کیفیت وسایل جداسازی لرزه‌ای

۱-۲۰-۵- آزمایش‌های سنجش کیفیت

۲-۲۰-۵- ثبت نتایج

۳-۲۰-۵- آزمایش‌های نمونه اولیه در کارخانه



۸۲	۵-۲۰-۴- جداسازهای وابسته به بار جانبی دو جهته
۸۲	۵-۲۰-۵- حداکثر و حداقل بار قائم
۸۲	۵-۲۰-۶- سامانه‌های مقاوم در برابر باد
۸۲	۵-۲۰-۷- تعیین مشخصات نیرو-تغییر مکان
۸۳	۵-۲۰-۸- آزمایش‌های محصول تولید شده
۸۴	۵-۲۱- مطالعه‌ی اقتصادی طرح‌های دارای جداسازی لرزه‌ای
۸۵	۵-۲۲- کنترل نتایج طراحی
۸۶	۵-۲۳- مدارک فنی طرح

۸۷	پیوست ۱: فهرست استانداردهای مورد استفاده در صنایع مرتبط با جداسازی لرزه‌ای
----	--

۹۱	پیوست ۲: نمونه جدول مشخصات فنی لاستیک تولیدی برای جداسازها
----	--

۹۵	پیوست ۳: مثال طراحی واحدهای سامانه جداسازی
----	--

۱۰۵	منابع و مراجع
-----	---------------

۱۰۷	واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
-----	---------------------------



فهرست اشکال

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱- رفتار سازه (الف) بدون سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای و استفاده از شکل‌پذیری، (ب) به همراه سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای ۳
- شکل ۲-۱- تراز جداسازی و اجزای آن ۵
- شکل ۳-۱- توصیف تاثیر جداسازی لرزه‌ای با استفاده از طیف پاسخ زلزله ۵

فصل دوم: جداسازهای لرزه‌ای

- شکل ۱-۲- جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی ۱۳
- شکل ۲-۲- تاثیر ورقه‌های فولاد بر روی سختی قائم جداساز لاستیکی ۱۶
- شکل ۳-۲- توزیع نیرو در جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی ۱۷
- شکل ۴-۲- اثر اکسیداسیون بر روی مولکول‌های لاستیک ۱۸
- شکل ۵-۲- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی ۲۰
- شکل ۶-۲- نمونه‌هایی از جداسازهای لاستیکی طبیعی با میرایی زیاد ۲۱
- شکل ۷-۲- جداساز آونگ اصطکاکی ۲۳
- شکل ۸-۲- جداساز آونگ اصطکاکی با سطح مقعر دوگانه ۲۳
- شکل ۹-۲- جداساز کاسه‌ای ۲۵

فصل سوم: طراحی سیستم‌های جداساز لرزه‌ای

- شکل ۱-۳- مدل‌های رفتاری جداسازها در زمان تحریک ۳۰
- شکل ۲-۳- مدل دوخطی یک جداساز ۳۲
- شکل ۳-۳- حلقه‌های نیرو- تغییرشکل برای تکیه‌گاه لاستیکی با میرایی زیاد ۳۴
- شکل ۴-۳- مدول برشی مماسی و نسبت میرایی مؤثر تکیه‌گاه لاستیکی با میرایی زیاد ۳۵
- شکل ۵-۳- مقطع جداساز لاستیکی با ورق‌های فولادی ۳۷



- ۳۹ شکل ۳-۶- توصیف عامل‌های A_f و A
- ۴۰ شکل ۳-۷- معرفی عوامل Δ_s ، A_{re} ، β و d
- ۴۲ شکل ۳-۸- نمایش عامل‌های مورد نیاز در کنترل چرخش جداساز
- ۴۳ شکل ۳-۹- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد و جداساز لاستیکی با ورق‌های فولادی
- ۴۴ شکل ۳-۱۰- منحنی نمونه نیرو - تغییر شکل برای تکیه گاه لاستیکی - سربی
- ۴۵ شکل ۳-۱۱- ساختمان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی
- ۵۲ شکل ۳-۱۲- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی
- ۵۳ شکل ۳-۱۳- حلقه‌های نیرو - جابجایی تکیه‌گاه‌های لغزشی
- ۵۵ شکل ۳-۱۴- توصیف بخش‌های مختلف یک جداساز آونگ اصطکاکی

فصل پنجم: ملاحظات اجرایی در طراحی سازه‌های جداسازی شده

- ۶۴ شکل ۵-۱- با نرم شدن خاک پاسخ سازه در دوره‌ی تناوب‌های بلندتر افزایش می‌یابد
- ۶۶ شکل ۵-۲- جداسازی در ارتفاع
- ۶۶ شکل ۵-۳- جداسازی لرزه‌ای سازه‌ی زیرزمینی
- ۶۷ شکل ۵-۴- چیدمان (تعداد و ابعاد جداسازها، موقعیت آن‌ها و فواصل آن‌ها از هم) در نتایج طراحی تاثیرگذار است
- ۶۹ شکل ۵-۵- رواداری در بخش‌های مختلف
- ۷۰ شکل ۵-۶- توزیع تنش بر روی جداساز
- ۷۱ شکل ۵-۷- آزمایشات جزئیات اجرایی توصیه شده در برش یک ساختمان
- ۷۲ شکل ۵-۸- توجه به رعایت رواداری‌های جانبی در جزئیات ساختمان جداسازی شده
- ۷۵ شکل ۵-۹- توجه به رواداری‌های جانبی در جزئیات ساختمان
- ۷۷ شکل ۵-۱۰- جزئیات نحوه استفاده از لوله‌های تاسیساتی انعطاف‌پذیر در محل تماس با زمین
- ۸۰ شکل ۵-۱۱- نمودار فرایند طراحی، ساخت تا ارسال جداسازها
- ۸۳ شکل ۵-۱۲- مشخصات اسمی مدل دوخطی نیرو- تغییر مکان جداساز
- ۸۵ شکل ۵-۱۳- هزینه‌ی اجرا و خطرپذیری زلزله برای یک ساختمان



فهرست جداول

صفحه

عنوان

۶۳

جدول ۵-۱- قابلیت‌های مورد نیاز برای سامانه‌های جداسازی لرزه‌ای





فهرست تصاویر

صفحه

عنوان

۷۳	تصویر ۵-۱-الف- فراهم نمودن امکان جابجایی جانبی و قائم در کناره‌های ساختمان جداسازی شده
۷۳	تصویر ۵-۱-ب- ایجاد قابلیت جابجایی جانبی و قائم در محل پل دسترسی با ایجاد شیار
۷۴	تصویر ۵-۲- فراهم کردن امکان تغییر مکان جانبی در محل‌های تماس ساختمان با اطراف
۷۸	تصویر ۵-۳-الف- استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر در محل عبور لوله‌های تاسیسات از طبقه‌ی جداسازی
۷۸	تصویر ۵-۳-ب- استفاده از تکیه‌گاه متحرک در محل عبور لوله‌های تاسیسات انعطاف‌پذیر از طبقه‌ی جداسازی



علامت‌ها و نشانه‌ها

علامات و نشانه‌های زیر در این راهنما به کار می‌روند:

d	قطر جداساز دایره ای
B	طول ضلع در جداساز چارگوش
t_r	ضخامت یک لایه لاستیک
N	تعداد لایه های لاستیک
t_s	ضخامت ورقه های فولادی.
P_{DL+LL}	نیروی قائم ناشی از وزن سازه بر روی جداساز
T_D	دوره تناوب اصلی سازه جداسازی شده
K_{eff}	سختی جانبی معادل جداساز
γ_{eff}	تغییر شکل نسبی برشی موثر
E	مدول یانگ
G	مدول برشی لاستیک
σ_c	تنش فشاری مجاز بر روی تکیه‌گاه
D_D	تغییر مکان طرح
S	ضریب شکل
K_v	سختی قائم تکیه‌گاه
K_h	سختی افقی تکیه‌گاه
E_c	مدول فشاری مجموعه ورقه های لاستیکی و فولادی، $E_c = E(1 + 2ks^2)$
A	سطح مقطع کامل تکیه‌گاه (تحت بار)
t_t	کل ارتفاع لایه‌های لاستیک
k	ضریب اصلاح در محاسبه مدول فشاری مجموعه ورقه‌های لاستیکی و فولادی
S	ضریب شکل A/A_f
A_f	سطح خارج از بارگذاری در اطراف تکیه‌گاه
A_1, A_2, A_3	سه مقدار محاسبه شده مساحت جداساز
ϵ_b	حداکثر تغییر شکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی.
A_{sf}	حداقل مساحت سطح مقطع برای احتراز از گسیختگی
Δ_s	تغییر مکان جانبی تکیه‌گاه
t_r	ضخامت یک لایه لاستیک



ضخامت لایه‌های لاستیک بالا و پایین ورق فولادی	t_i و t_{i+1}
تنش مجاز در فولاد	f_y
شعاع ژیراسیون جداساز ($\frac{b\sqrt{3}}{2}$ برای جداساز چارگوش و $\frac{d}{2}$ برای جداساز دایره ای)	R
پارامترهای مشخصه لاستیک که برای سفتی مشخصی از لاستیک را می‌توان با آزمایش و از جداولی مانند جدول موجود در پیوست شماره ۲ که توسط تولیدکننده تایید شده ارائه می‌شوند به دست آورد.	E و k
حداکثر تغییر شکل نسبی برشی در جداساز ناشی از فشار	γ_c
حداکثر تغییر شکل نسبی برشی در جداساز ناشی از پیچش	γ_t
حداکثر تغییر شکل نسبی برشی در جداساز ناشی از بار جانبی	γ_{eq}
ابعاد سازه	l و b
خروج از مرکزیت سازه	e
بار قائم روی تکیه‌گاه با در نظر گرفتن وزن سازه و نیروی زلزله	$P_{DL}+P_{LL}+EQ$
ارتفاع کل جداساز لاستیکی	h
سختی موثر جداساز	k_{eff}
بعد کوچکتر جداساز لاستیکی یا قطر آن	L
مقاومت مشخصه جداساز لاستیکی با هسته سربی	Q_d
میزان انرژی از بین رفته در هر چرخه	W_d
مقاومت مشخصه	$Q_d = A_p \times f_{py}$
تنش تسلیم سرب هسته سربی	f_{py}
سطح مقطع هسته سربی	A_p
تغییر مکان جداساز لاستیکی با هسته سربی در لحظه تسلیم	d_y
سختی ثانویه جداساز لاستیکی با هسته سربی با رفتار غیرخطی که به صورت دو خطی مدل می‌شود	k_p
ارتفاع موثر هسته سربی	h_p
قطر هسته سربی	Φ_p
ضریب منظور کننده اثر هسته سربی در جداساز لاستیکی با هسته سربی	f_l
شعاع انحناى سطح جداساز اصطكاكى- پاندولی	R_{FPS}
ضریب اصطكاك سطح جداساز اصطكاكى- پاندولی	μ
شتاب جاذبه زمین	g
میرایی موثر جداساز	β
تغییر مکان قائم سازه با جداساز اصطكاكى- پاندولی در زمان ارتعاش	δ_v
پارامترهای مربوط به طیف طرح ارتجاعی مطابق جدول (۳) استاندارد ۲۸۰۰	S و T_s



ضریب رفتار سازه جداسازی شده مطابق دستورالعمل	R_I
ضریب میرایی مطابق مقادیر مندرج در دستورالعمل	B_M و B_D
برش پایه موثر بر مجموعه اعضای سازه‌ای بالاتر از تراز جداسازی	V_S
برش پایه موثر بر مجموعه اعضای سامانه جداساز یا اعضای پایین‌تر از تراز جداسازی	V_b
تغییر مکان کل طرح	D'_D
بیشترین تغییر مکان کل	D'_M
برش پایه برای سطح تقاضای زلزله طرح	V_{sD}
برش پایه برای سطح تقاضای بیشترین زلزله محتمل	V_{sM}
بیشترین سختی مؤثر سامانه جداساز متناظر با تغییر مکان طرح در جهت افقی مورد نظر	$K_{D,max}$
کمترین سختی مؤثر سامانه جداساز متناظر با تغییر مکان طرح در جهت افقی مورد نظر	$K_{D,min}$
بیشترین سختی مؤثر سامانه متناظر با بیشترین تغییر مکان در جهت افقی مورد نظر	$K_{M,max}$
کمترین سختی مؤثر سامانه جداساز متناظر با بیشترین تغییر مکان در جهت افقی مورد نظر	$K_{M,min}$



فصل اول

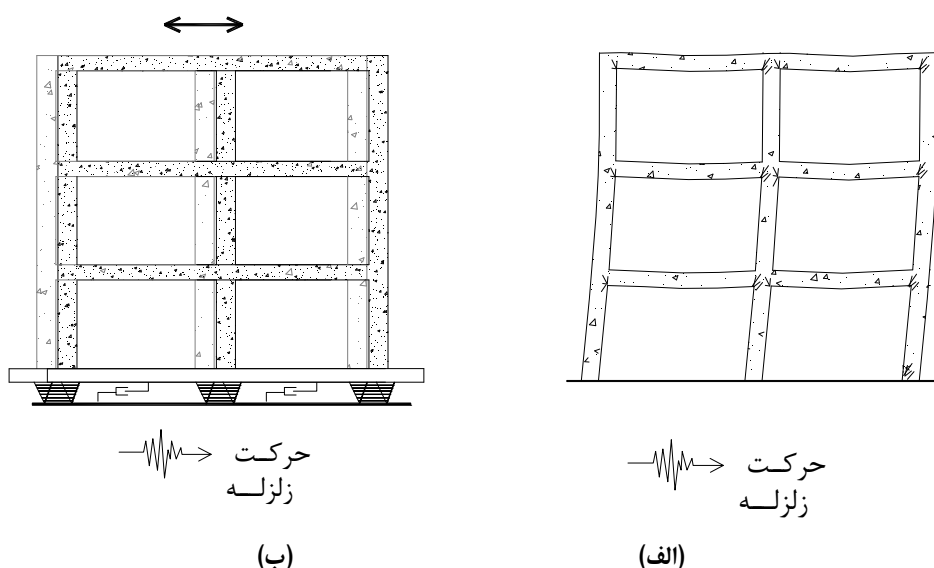
کلیات



۱-۱- مقدمه

جداسازی لرزه‌ای عبارت است از جداکردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای آن بخش در زمان رویداد زلزله.

روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طراحی لرزه‌ای، ایجاد ظرفیت باربری جانبی در سازه، با افزایش مقاومت و تامین شکل‌پذیری آن صورت می‌گیرد. در نتیجه‌ی اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات افزایش یافته و بطور معمول اعضای مقاوم لرزه‌ای همچون مهاربند یا دیوار برشی یا سایر اعضای سخت‌کننده به سازه اضافه می‌گردد.



شکل ۱-۱- رفتار سازه (الف) بدون سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای و استفاده از شکل‌پذیری، (ب) به همراه سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای

افزایش سختی سازه که جذب نیروی بیش‌تر ناشی از زلزله را به دنبال داشته و سبب افزایش ابعاد اعضای سازه‌ای به منظور تامین مقاومت می‌شود، موجب کاهش ارزش اقتصادی پروژه می‌گردد. علاوه بر آن، در روش‌های مرسوم طراحی، امکان بروز آسیب در اجزای سازه و محتویات به دلیل تغییرشکل‌های غیرخطی در اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای یا وقوع تغییرمکان و شتاب‌های قابل توجه در طبقات، وجود دارد. کنترل و مهار آسیب‌های ناشی از زلزله به خصوص در تکان‌های نسبتاً شدید کاری دشوار است. براساس مشاهدات پس از رویداد زلزله‌های شدید، سازه‌های ساخته شده مبتنی بر روش‌های مرسوم طراحی و ساخت، مقادیر شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه می‌کنند. این امر در نهایت سلب آرامش از ساکنان ساختمان‌های بلند، آسیب در اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات، و احتمال قطع خدمات ارائه شده از شبکه‌های مختلف در شریان‌های حیاتی مانند تلفن، حمل و نقل، بیمارستان‌ها، برق و آب را به همراه دارد.

بنابراین برای دسته‌ای از سازه‌ها مانند بیمارستان‌ها، ساختمان‌های دارای ارزش هنری، پل‌های مهم، نیروگاه‌های برق، موزه‌ها، ساختمان‌هایی که آسیب در آنها تهدیدی برای محیط زیست خواهد بود و سازه‌های مهمی که در مناطق با احتمال وقوع زلزله‌های شدید قرار دارند، روش طراحی مرسوم مبتنی بر شکل‌پذیری ممکن است مناسب‌ترین روش نباشد. علاوه بر این با افزایش سطح نیازهای شهری هزینه‌های قابل توجهی صرف ایجاد شریان‌های حیاتی و سازه‌های موجود خواهد شد. این امر نیاز به پیش‌بینی تمهیدات لازم برای ارتقای سطح ایمنی این بناها در برابر رویدادهای احتمالی زلزله در آینده را به همراه دارد.

با پیشرفت دانش فنی و تجربه‌ی زلزله‌های شدید، به مرور تغییراتی در آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها به وجود آمده و ضمن تغییر در فلسفه‌ی طراحی سازه‌ها، فناوری‌هایی همچون کنترل لرزه‌ای غیرفعال سازه‌ها به کار گرفته شده است. جداسازی لرزه‌ای نیز، با هدف کاستن آسیب لرزه‌ای در طراحی و ساخت سازه‌های با اهمیت زیاد پیشنهاد می‌گردد. با استفاده از این روش، رفتار دینامیکی سازه در حد امکان، در محدوده‌ی از قبل پیش‌بینی شده قرار گرفته و میزان آسیب‌های لرزه‌ای به اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای کاهش می‌یابد. پیشرفت دانش فنی، تغییرات یاد شده در ضوابط و معیارهای طراحی و ارزیابی سازه‌ها یا زوال سازه در طول خدمت رسانی باعث شده تا بسیاری از سازه‌های موجود طی ارزیابی‌های مجدد شرایط سطح عملکرد موردنظر را نداشته باشند. روش جداسازی لرزه‌ای در زمینه‌ی بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های موجود نیز قابل کاربرد است. این روش با توجه به آزادی عملی که در اختیار طراحان و مجریان قرار می‌دهد در بسیاری از پروژه‌های بهسازی لرزه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این حال نحوه‌ی اجرای عملیات بهسازی لرزه‌ای و نصب جداسازها نیاز به برنامه‌ریزی و دقت کافی دارد.

برای ساختمان‌های ذیل، مطالعه برای انتخاب گزینه‌ی جداسازی لرزه‌ای به طور خاص براساس عملکرد و اهمیت توصیه می‌گردد:

۱- ساختمان‌های با اهمیت بالا: ساختمان‌هایی که عملکرد آن‌ها در وضعیت بحرانی پس از زلزله مهم است، مانند ساختمان‌های امدادرسانی و بیمارستانی؛

۲- ساختمان‌های دارای ارزش تاریخی و هنری (به عنوان یک گزینه در بهسازی لرزه‌ای)؛

۳- بخش‌های اصلی از شریان‌های حیاتی همچون پل‌های مهم یا نیروگاه‌ها؛

۴- واحدهای تولیدی دارای تجهیزات یا محصولات گران‌قیمت یا راهبردی؛

۵- ساختمان‌هایی که آسیب احتمالی در آنها، تهدیدی جدی برای محیط زیست تلقی گردد.

۱-۲- گستره

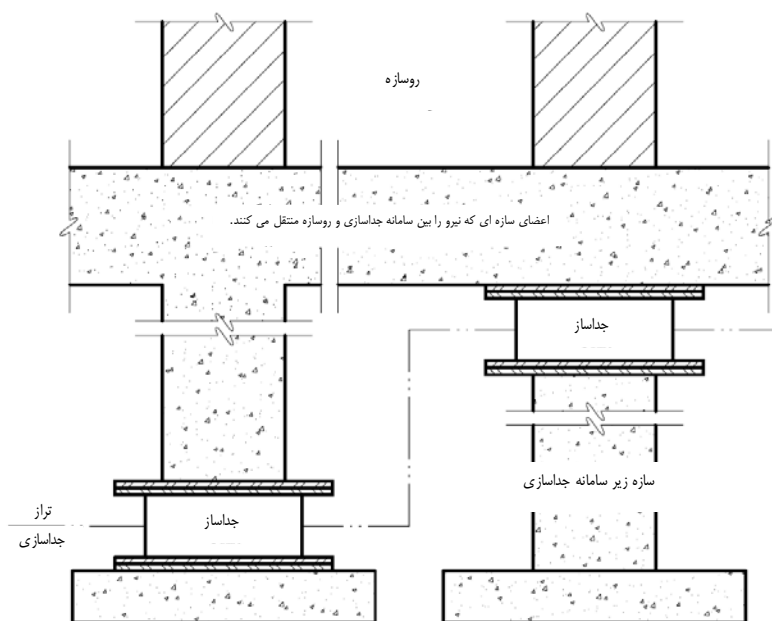
این نشریه راهنمای طراحی و اجرای جداسازی لرزه‌ای در ساختمان‌ها و سازه‌های حوزه‌ی شمول "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)" و "دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای" است. در مواردی به بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها در این راهنما اشاره گردیده است. در این موارد، در صورت وجود اختلاف، ضوابط مربوط در سایر نشریات مرتبط همچون نشریه‌ی شماره‌ی ۳۶۰ این دفتر در اولویت قرار دارد.

۱-۳- جداسازی لرزه‌ای

با توجه به آسیب‌های سازه‌ای و مشکلات ساکنین در طی زلزله‌های شدید گذشته، "روش جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها" در مقابل "روش مرسوم طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله" مطرح گردیده است. ایده‌ی طراحی سازه جداشده از پایه بر اساس کنترل نیروی زمین‌لرزه از طریق ممانعت از ورود انرژی لرزه‌ای به سازه بنا شده است. این ایده در سال‌های اخیر در موارد بسیاری در طراحی و اجرای سازه‌های مهم مورد استفاده قرار گرفته است. مطابق نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی، سامانه‌های سازه‌ای مجهز به این فناوری پاسخ لرزه‌ای کوچکتری نسبت به سازه‌های متعارف دارد.

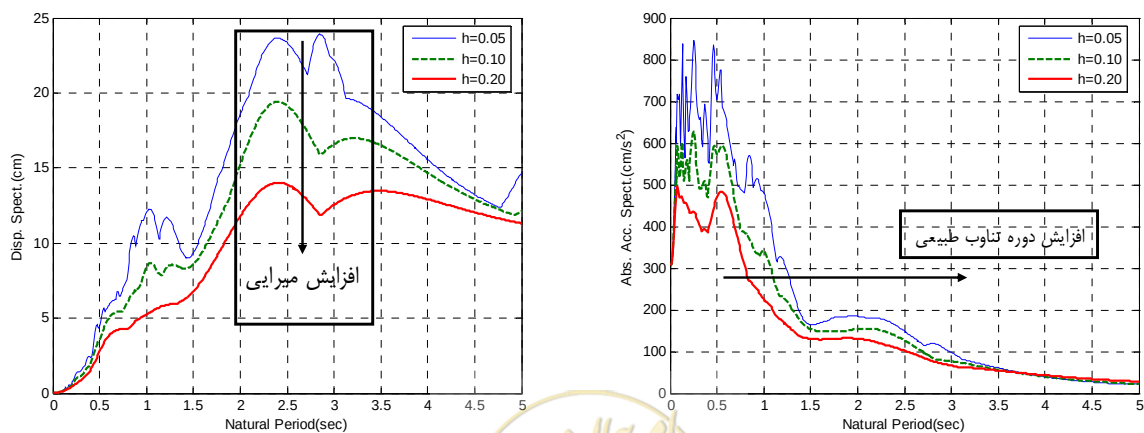


در جداسازی لرزه‌ای دوره‌ی تناوب اصلی سازه به کمک تجهیزاتی که مطابق شکل (۲-۱) بین روسازه و بخش پایین‌دست آن قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد. در هر حال جداسازها و میراگرها ممکن است همگی در یک تراز افقی قرار گیرند یا با توجه به ماهیت، هدف جداسازی یا وضعیت معماری سازه در ترازهای مختلفی نصب گردند.



شکل ۲-۱- تراز جداسازی و اجزای آن

افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی سازه موجب کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در زمان وقوع ارتعاشات با دوره‌ی تناوب حاکم کوتاه‌تر می‌گردد. این قابلیت در شکل (۳-۱) نمایش داده شده‌است. در سازه‌های با پایه ثابت، احتمال وقوع تشابه یا نزدیکی دوره‌ی تناوب طبیعی سازه با دوره‌ی تناوب حاکم در ارتعاش ناشی از زلزله زیاد است. جداسازی لرزه‌ای در واقع باعث طولانی شدن دوره‌ی تناوب طبیعی سازه می‌گردد. این امر با توجه به طیف پاسخ شتاب زلزله، در اغلب موارد به کاهش نیروها و شتاب‌ها در سازه منتهی می‌گردد.



شکل ۳-۱- توصیف تاثیر جداسازی لرزه‌ای با استفاده از طیف پاسخ زلزله



نیاز به کاهش شتاب مترادف با طراحی سامانه‌ی جداسازی با سختی کم است. این خود احتمال بوجود آمدن تغییرمکان‌های قابل توجه در طی زلزله را افزایش می‌دهد. از این‌رو ساز و کارهایی به منظور استهلاک انرژی در سامانه‌ی جداسازی تعبیه می‌گردد تا ضمن محدود نمودن شتاب سازه، تغییرمکان نیز کاهش یابد. این ساز و کار استهلاک انرژی، همچنین پدیده‌ی تشدید پاسخ ناشی از وجود مولفه‌های با دوره‌ی تناوب طولانی در حرکت زمین را کاهش می‌دهد. اما در عین حال باید توجه نمود که در برداشتن میرایی زیاد در سامانه‌ی جداسازی خود موجب افزایش نیروی منتقل شده به سازه می‌گردد و باید از سوی طراح مورد توجه قرار گیرد.

لازم است یک سامانه‌ی جداسازی دارای قابلیت‌های زیر باشد:

- ۱- بتواند نیروهای قائم ناشی از وزن و پاسخ زلزله در زمان زلزله را تحمل کند،
- ۲- در مقابل بارهای جانبی دوره بهره‌برداری سختی کافی داشته باشد،
- ۳- در هنگام وقوع زلزله در راستای افقی انعطاف پذیری لازم را تامین نماید،
- ۴- قابلیت جذب انرژی داشته باشد،
- ۵- پس از اتمام رویداد زلزله خصوصیات بازگشت به موقعیت اولیه را تامین نماید.

این قابلیت‌ها می‌تواند به طور همزمان در یک وسیله یا به کمک چند وسیله برای سامانه‌ی جداسازی فراهم گردد. علاوه بر این طراح ممکن است برای محدود نمودن تغییرمکان جداسازها، در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای، مهارهایی نیز پیش‌بینی نماید. همانطور که در بخش‌های بعد اشاره خواهد شد، با توجه به این تغییرمکان، فاصله‌ی آزاد مشخصی باید در اطراف سازه در نظر گرفته شود تا حرکت در تراز جداسازی، به سهولت امکان‌پذیر گردد.

تجهیزات جداسازی لرزه‌ای عبارتند از:

- تکیه‌گاه‌ها و جداسازها؛
- میراگرها.

تکیه‌گاه‌ها و جداسازها در فصل‌های ۲ و ۳ این راهنما معرفی شده‌اند. به میراگرها در فصل ۴ این راهنما اشاره شده است. در کنار این اجزا، ممکن است امکانات دیگری برای فراهم‌سازی قابلیت جابجایی در تراز جداسازی ایجاد گردد که در فصل ۵ این راهنما به آنها پرداخته شده است. در نهایت مثال‌هایی برای شرح نحوه‌ی به کارگیری روابط ارائه شده در این راهنما در فصل ۶ تدوین شده است.

۱-۴- تحلیل و طراحی سازه‌ی جداسازی شده

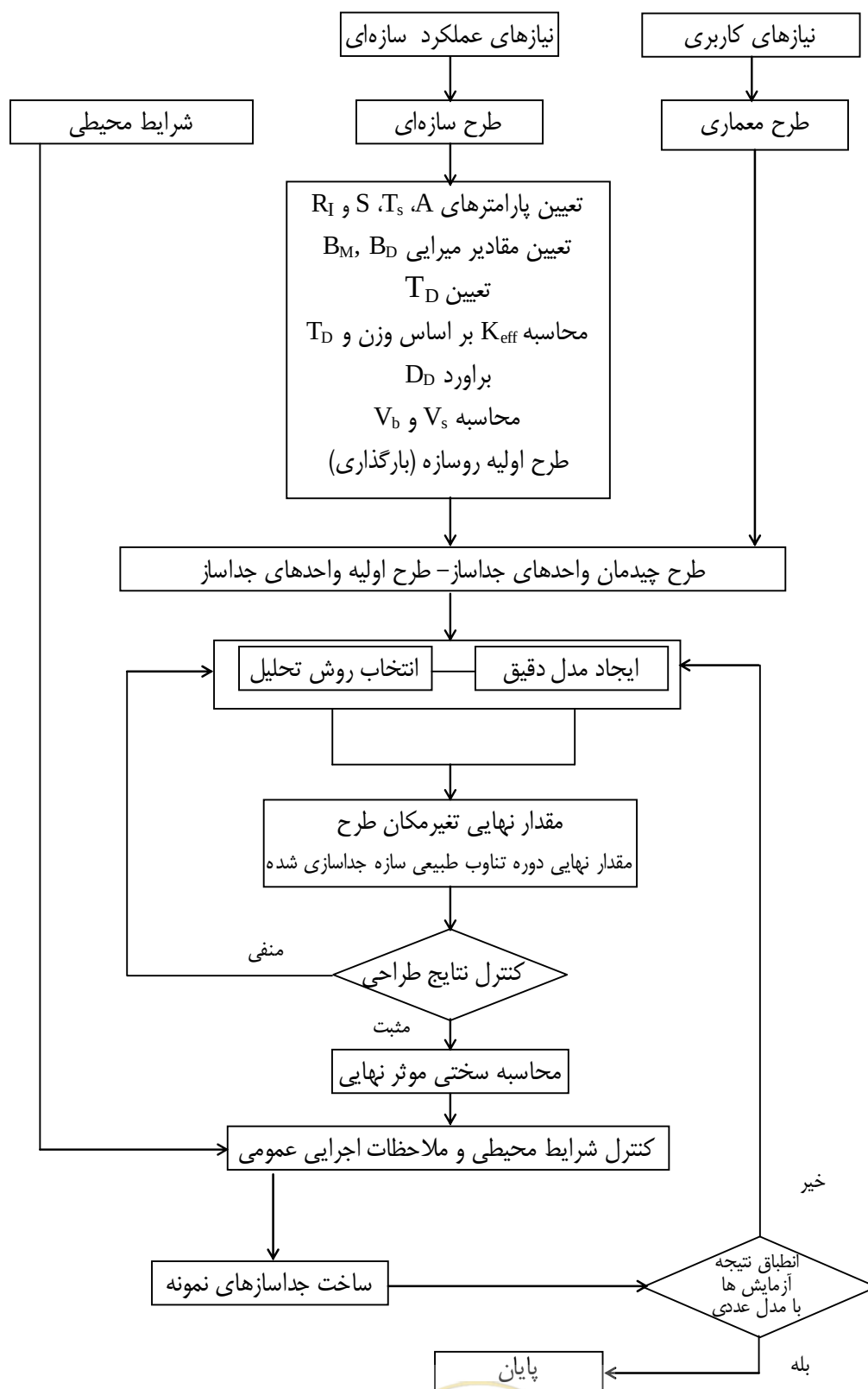
ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای به دو روش نیروی معادل و دینامیکی تحلیل و سپس طراحی می‌شوند. برای هریک از روش‌های تحلیل، شرایط لازم در دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای ارائه می‌گردد. با این حال معمولاً در طراحی مقدماتی روش نیروی معادل استفاده شده و نتایج حاصل به منظور تحلیل‌های دقیق‌تر و طراحی نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج تغییرمکان طرح و حداکثر حاصل از این محاسبات مبنای طراحی اولیه جداسازهای لرزه‌ای به روش توضیح داده شده در این راهنما خواهد بود. بر اساس مشخصات انتخاب شده در این طرح اولیه لازم است تا روند محاسبه‌ی ساختمان و جداساز تا حصول به نتیجه مناسب تکرار گردد.



انتظار می‌رود تا عملکرد سازه‌های جداسازی شده در زلزله‌های شدید و متوسط بهتر از سازه‌های با پای گیردار باشد. عملکرد واقعی سازه‌ی جداسازی شده باید با انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی و محاسبه‌ی نیاز جابجایی نسبی و شتاب طبقه تحت دسته‌ای از تحریکات لرزه‌ای تعیین شود. این نتایج برای محاسبه هزینه تعمیر سازه پس از زلزله با استفاده از FEMA P-58 روش مهندسی زلزله بر اساس عملکرد (FEMA 2012) و شبیه‌سازی با ابعاد واقعی برای هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم با نرم‌افزار HAZUS (FEMA 1999) کاربرد دارد. در ارزیابی بهبود عملکرد لرزه‌ای با استفاده از جداسازی لرزه‌ای باید اثرات ضربه‌ای آن بر شتاب‌های طبقه همانند جابجایی نسبی طبقه منظور شود زیرا این عوامل پارامترهای کلیدی در نیاز مهندسی هستند که در آسیب رسیدن به تجهیزات الکتریکی، مکانیکی و لوله‌کشی‌ها، سقف‌ها و جداکننده‌ها و همینطور محتویات ساختمان موثر می‌باشند.

در تجهیزات با پای گیردار، از دست دادن سطح عملکرد انتظار نمی‌رود مگر اینکه آسیب عمده‌ی سازه‌ای یا غیرسازه‌ای موجب شود دسترسی به بخش‌هایی از ساختمان امکان‌پذیر نباشد. در سایر موارد، یک مجموعه حتی در صورت تجربه آسیب محدود یا بدون آسیب سازه‌ای در نتیجه‌ی آسیب‌های وارده به اجزای غیرسازه‌ای یا محتویات آن، ممکن است کارایی خود را از دست دهد.





فصل دوم

معرفی جداسازهای لرزه‌ای



۲-۱- مقدمه

در جداسازی لرزه‌ای کل یا بخشی از سازه برای کاهش پاسخ لرزه‌ای آن بخش در زمان زلزله از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه جدا می‌شود. این کار با استفاده جداسازهایی که بر اساس مشخصات دینامیکی سازه، اهداف عملکردی مورد نظر طراح و شرایط خطر لرزه‌ای ساختگاه، طراحی و ساخته شده‌اند صورت می‌پذیرد. وظیفه‌ی اصلی این جداسازها ایجاد فاصله بین دوره‌ی تناوب طبیعی سازه و محدوده‌ی دوره‌ی تناوب حاکم در ارتعاش زمین‌لرزه احتمالی در محل سازه‌ی مورد نظر است. علاوه بر این، انرژی ارتعاشی ناشی از زلزله نیز با کمک سازوکارهای مختلفی جذب شده و از انتقال آن به سازه جلوگیری می‌گردد.

جداساز وسیله‌ای است که سازه‌ی روی خود را از بخش زیرین جدا می‌کند. برای اینکه در زمان بروز زلزله هیچ نیرویی به سازه منتقل نشود، لازم است این وسیله، سازه را به طور کامل از زمین جدا نموده و آن را به حالت شناور درآورد. اما این امر علاوه بر اشکالات اجرایی، معیار کنترل تغییرمکان سازه نسبت به زمین در زمان تحریک زلزله را نیز تامین نمی‌نماید. بر این اساس لازم است وسایل جداسازی لرزه‌ای دارای ویژگی‌هایی باشند که بتوانند معیارهای مربوط به تغییرمکان و نیرو را به طور همزمان مورد توجه قرار داده و میزان تقاضای لرزه‌ای نیرو-جابجایی محاسبه شده در روند طراحی ساختمان جداسازی شده را برآورده نمایند. این ویژگی‌ها باید براساس سطوح لرزه‌ای مورد نظر در مراحل طراحی تامین گردند.

در زمان طراحی توجه به این نکته ضروری است که با کاهش سختی جداسازها (افزایش دوره تناوب طبیعی سازه)، شتاب منتقل شده به روسازه کاهش می‌یابد. تغییرمکان نسبی تراز جداسازی و پاسخ شتاب سازه همواره با هم نسبت عکس دارند. بنابراین کاهش در سختی تراز جداسازی موجب افزایش پاسخ تغییرشکل در آن می‌گردد. در این شرایط با انتخاب سازوکار استهلاک انرژی مناسب در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای می‌توان هم به کاهش مورد نیاز در شتاب مجموعه دست پیدا کرد و هم میزان تغییرمکان نسبی ذکر شده را در محدوده‌ی موردنظر طراحی نگاه داشت. سازوکارهای گوناگونی به منظور استهلاک انرژی در سامانه‌های جداسازی لرزه‌ای به کار گرفته می‌شوند. لازم است طراحی این سازوکارها به گونه‌ای باشد تا روسازه پس از خاتمه‌ی ارتعاشات لرزه‌ای به موقعیت اولیه‌ی خود بازگردد. در این سامانه‌ها به طور متعارف سختی قائم فشاری بسیار بیشتر از سختی قائم کششی آن‌ها است. این می‌تواند در برابر نیروهای جانبی رفت و برگشتی ناشی از زلزله احتمال وقوع حرکت گهواره‌ای در سازه وجود دارد. بنابراین لازم است در طراحی سختی قائم کافی برای جلوگیری از حرکت گهواره‌ای سازه در نظر گرفته شود.

تراز جداسازی لرزه‌ای به گونه‌ای طراحی می‌گردد تا با ایجاد تغییرشکل، اهداف طراحی تحت زلزله‌های متوسط و شدید را فراهم آورد. در مقابل لازم است از هرگونه تغییرشکل در این تراز و حرکت در روسازه تحت بارهای سطح بهره‌برداری احتراز گردد. بنابراین می‌بایست در هنگام طراحی، سختی اولیه‌ی کافی برای جلوگیری از حرکت‌های ناخواسته‌ی ناشی از وزش باد و لرزه‌های با دامنه‌ی کم (بارهای سطح بهره‌برداری) برای آن تعبیه شده باشد.

در کنار موارد فوق توجه به مسائل اقتصادی، اجرایی و دوام این تجهیزات در زمان طراحی و ساخت بسیار ضروری است. انتخاب گزینه جداسازی لرزه‌ای برای یک ساختمان و نوع وسایل جداسازی در کنار معیارهای فنی مستلزم مطالعه‌ی اقتصادی طرح است. طراح لازم است براساس هزینه وسایل جداسازی، فضای پیرامونی لازم برای ساختمان جداسازی شده و سایر پیش‌بینی‌های مورد نیاز در تراز جداسازی، اهمیت ساختمان و لرزه‌خیزی منطقه به مطالعه‌ی پروژه پرداخته و با مشورت با کارفرما نسبت به انتخاب گزینه جداسازی و وسایل لازم برای آن تصمیم‌گیری نماید.



۲-۲- انواع جداسازهای لرزه‌ای

به طور کلی جداسازهای لرزه‌ای را می‌توان به دو دسته‌ی جداسازهای لاستیکی و جداسازهای اصطکاکی تقسیم‌بندی کرد.

جداسازهای زیر از جداسازهای لاستیکی به شمار می‌روند:

- جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی (و میرایی کم)؛

- جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد؛

- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی.

از جداسازهای اصطکاکی به طور عمده جداسازهای زیر در صنعت تولید می‌شوند:

- جداسازهای اصطکاکی تخت

- جداسازهای اصطکاکی آونگی

برای استفاده‌ی همزمان از قابلیت‌های جداسازهای لاستیکی و اصطکاکی، این دو سامانه در موارد زیر با هم ترکیب شده‌اند:

- ترکیب سری جداسازهای اصطکاکی و لاستیکی؛

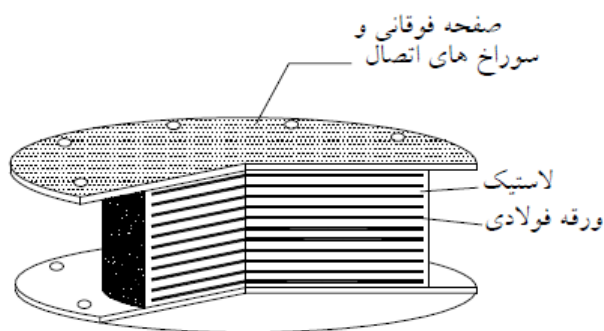
- ترکیب موازی جداسازهای اصطکاکی و لاستیکی.

۲-۳- جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی

جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی یکی از جداسازهایی هستند که نیاز به انتقال دوره‌ی تناوب طبیعی سازه و وظیفه‌ی جدا نمودن ارتعاش روسازه از بستر خود را برای مهندسان و طراحان برآورده می‌کنند. جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی همان‌طور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است از ورق‌های نازک لاستیکی و فولادی که به ترتیب بر روی هم چیده شده و تحت فشار و حرارت به شکل مجموعه‌ای متورق و یکپارچه در می‌آیند تشکیل شده‌اند. لاستیک‌های طبیعی رفتار مکانیکی پیچیده‌ای همانند ترکیب رفتارهای هیستریزس و ویسکوالاستیک را از خود نشان می‌دهند. تکیه‌گاه‌های لاستیکی طبیعی با میرایی کم در کرنش‌های برشی بزرگ اساساً رفتار ویسکوز خطی و ارتجاعی خطی از خود نشان می‌دهند. این جداسازها در کرنش‌های برشی محدوده ۰ تا ۲، معمولاً میرایی موثری کمتر از ۰.۰۷ میرایی ویسکوز معادل دارند. این جداسازها که در ابتدا برای ایجاد انعطاف‌پذیری در پایه‌ی پل‌ها در زمان انقباض و انقباض استفاده شد، بعدها به منظور رفع مشکل ارتعاش ناشی از حرکت قطارهای زیرزمینی کارکرد مناسبی از خود نشان دادند.

جداسازهای لاستیکی به آسانی تولید می‌شوند، و هزینه‌ی تولید آنها در مقایسه با دیگر انواع جداسازها نسبتاً پایین است. هم‌چنین خصوصیات مکانیکی آنها مستقل از تغییرات دمای محیط و سالخوردگی است. اما نظر به میرایی کم آنها، برای کنترل جابجایی جانبی بالاتر نیاز به میراگرهای الحاقی دارند.





شکل ۲-۱- جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی

۲-۳-۱- انواع لاستیک مورد استفاده در جداسازهای لاستیکی

لاستیک‌ها یا الاستومرها ترکیباتی از پلیمرها، فیلرها (پرکننده‌ها)، روغن، شتاب‌دهنده‌ها، مواد ضد ازن، مواد دیرگیر و کندگیرکننده هستند که با هم مخلوط و توسط حرارت با هم ترکیب و ولکانیزه می‌شوند.

لاستیک‌هایی که بیش‌ترین کاربرد را در جداسازهای لاستیکی دارند عبارتند از: لاستیک طبیعی، نئوپرن، بوتیل و نیتریل. خصوصیات هر دو نوع لاستیک طبیعی و مصنوعی بسیار پایدار است و تحت بارگذاری طولانی‌مدت خزش از خود نشان نمی‌دهند. از جداسازهای لاستیکی بخوبی در ساختمان‌ها و سازه‌های غیرساختمانی استفاده شده است. عمر خدمت‌رسانی آنها به بالای ۵۰ سال می‌رسد.

همه‌ی این لاستیک‌ها تحت بارگذاری، فرآیند "کریستالی شدن کرنشی" از خود نشان می‌دهند. این ویژگی بروز ترک در لاستیک را محدود کرده همچنین باعث می‌شود تا در کرنش‌های زیاد سختی برشی لاستیک افزایش یافته و از تغییر مکان بی‌رویه به نحوی جلوگیری گردد. البته این ویژگی را نباید به عنوان یک عامل ایمنی در برابر تغییر مکان‌های جانبی به هر مقدار در نظر گرفت. توجه به این امر ضروری است که همه‌ی لاستیک‌ها ویژگی کریستالی شدن را ندارند. به عنوان مثال لاستیک استایرن بوتادین (SBR) دارای ویژگی کریستالی شدن کرنشی نیست و نباید به عنوان لاستیک در جداسازها استفاده شود. مشخصات مکانیکی لاستیک طبیعی از بیش‌تر لاستیک‌های مصنوعی که برای ساخت جداسازهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند بهتر است؛ برای نمونه مقاومت در مقابل پارگی، افت کم مقاومت ناشی از خستگی در تغییر مکان‌های زیاد، مقاومت در مقابل خزش و تغییرات کم خصوصیات در دماهای پایین. بنابراین لاستیک طبیعی و پس از آن نئوپرن بیش‌تر از هرگونه لاستیک دیگری در ساخت این امکانات مورد استفاده قرار می‌گیرند. لاستیک‌های بوتیل برای استفاده در دمای پایین و لاستیک‌های نیتریل برای موارد محدودی در سازه‌های دریایی استفاده شده‌اند.

نسبت میرایی به دست آمده از این جداسازها بسیار کم و در محدوده‌ی ۲ تا ۴ درصد میرایی بحرانی است. از این رو طراح در زمان به کارگیری این نوع جداساز باید به کمک ساز و کاری دیگر استهلاک انرژی مورد نیاز را تامین نماید.

به منظور دستیابی به عملکرد بهتر این جداسازها اغلب مواد پرکننده به لاستیک اضافه می‌شود. رفتار نیرو-تغییر مکان این جداسازها به مقدار زیادی بستگی به نوع و میزان ماده‌ی پرکننده در آن‌ها دارد. این مواد پرکننده موجب بهبود عملکرد در موارد زیر می‌گردد:

۱- میرایی بیش‌تر؛

۲- سختی اولیه‌ی بیش‌تر؛



۳- تغییر شکل برشی کم‌تر.

میرایی قابل دسترسی توسط این روش به حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد میرایی بحرانی می‌رسد. مواد پرکننده‌ی مختلفی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به اکسیدهای فلزی، رس و سلولز اشاره نمود. اما ماده‌ی پرکننده‌ای که بیش از همه مورد استفاده قرار گرفته دوده است.

استفاده از ورق‌های فولاد سبب افزایش سختی قائم این جداسازها می‌شود. اما از سوی دیگر سبب افزایش وزن آن‌ها شده و کار ساخت، حمل و نصب را دشوار می‌نماید. این امر در کنار این مشکلات موجب افزایش هزینه‌ی ساخت و نصب آن‌ها می‌گردد. اخیراً روش‌هایی برای ساخت کم‌هزینه‌تر جداسازها ارائه شده است. در یکی از این روش‌ها شبکه‌های الیافی جایگزین ورق‌های فولادی شده و وزن این جداسازها را به اندازه‌ی قابل توجهی کاهش می‌دهند.

در کاربردهای مهندسی، لاستیک‌ها معمولاً با میزان سفتی مشخص می‌شوند. سفتی با بعضی از خصوصیات فیزیکی مهم لاستیک مانند مدول برشی و مدول فشاری آن ارتباط دارد. یک واحد برای اندازه‌گیری این ویژگی درجه‌ی سفتی بین‌المللی (IRHD) است که برای لاستیک ولکانیزه بین ۲۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. به عنوان مثال مقدار IRHD برای مداد پاک‌کن ۳۰ و برای لاستیک اتومبیل در حدود ۶۰ است. لاستیک‌های مورد استفاده برای جداسازهای مورد نظر در این مجموعه دارای IRHD در حدود ۵۰ تا ۶۰ هستند. به عنوان نمونه جدولی شامل اطلاعات یادشده از یک محصول تولید شده در یک کارخانه تولید لاستیک در پیوست شماره ۱ ارائه شده است. واحد دیگر اندازه‌گیری سفتی لاستیک‌ها durometer است.

۲-۳-۲- سختی افقی و قائم جداسازهای لاستیکی

در جداسازهای لاستیکی، مواد مصرفی برای تامین میرایی بر روی سختی جداساز اثر دارند. در زمان طراحی و ساخت باید به میزان مواد مصرفی و تاثیر آن‌ها توجه نمود. همچنین لازم است در زمان طراحی کنترل‌های لازم برای پرهیز از کمانش یا ناپایداری جداساز صورت پذیرد. سختی قائم مجموعه‌ی لاستیک و فولاد متورق باید به گونه‌ای تنظیم گردد که متناسب با نیروی قائم ناشی از ستون بالای خود باشد.

جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی با استفاده‌ی مناسب از ویژگی‌های لاستیک، دارای سختی کم و قابلیت تغییر مکان زیاد در جهت افقی هستند. در حال حاضر این جداسازها با سختی افقی حدود یک هزارم سختی عمودی خود هم تولید می‌شوند.

۲-۳-۳- ساخت جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی

جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی به دو روش سرد و گرم ساخته می‌شوند. روش گرم در حال حاضر بیش‌تر از روش سرد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در روش سرد، ورق‌های لاستیک با چسب به ورق‌های فولاد چسبانده شده و برای خشک شدن کامل چسب در دمای معمولی یا دمای بالا (توسط تجهیزات گرمادهی) نگهداری می‌شوند. پس از خشک شدن چسب در بین لایه‌ها، مرحله‌ی دوم اجرا می‌گردد. در مرحله‌ی دوم یک لایه‌ی لاستیک محافظ با چسب به دور جداساز چسبانده شده و دوباره فرایند خشک کردن این چسب انجام می‌گردد. لایه‌ی محافظ دوم به منظور حفظ ورق‌های فولادی از دسترسی اکسیژن و سایر مواد خارجی و بروز خوردگی در فولاد است.



در روش گرم، لاستیک پس از ترکیب مواد مختلف در حالی که هنوز به حالت نیمه مایع است، در بین ورق‌های فولادی ریخته می‌شود. برای حفظ فاصله‌ی برابر بین ورق‌های فولادی از پرچ، گوه‌های فولادی یا پین‌هایی بین آن‌ها استفاده می‌شود. در این روش ورق‌های فولادی از قبل با روشی مانند سند بلاست کاملاً تمیز و آماده‌سازی شده و سطح آن‌ها چسب زده می‌شود. سپس مجموعه حرارت داده شده و تحت فشار قرار می‌گیرد تا لاستیک کاملاً جوش خورده و چسب خشک شود. نتیجه‌ی این کار به دست آمدن قطعاتی بدون بخش‌های مجزا و کاملاً یکدست است که به کیفیت، طول عمر و عملکرد آن‌ها می‌افزاید. در این روش نیز برای جلوگیری از تغییرات در جداساز در طول زمان و مقابله با عوامل مهاجم خارجی، یک پوشش لاستیکی دور آن کشیده شده و به منظور ارتقای کیفیت پوشش لاستیکی در طول زمان، موادی به آن افزوده می‌شود.

محصولی با این فرایند تولید به طور قطع نیاز به کنترل کیفیت فراوان دارد. به ویژه به نکات زیر در طی تولید باید توجه نمود:

- کیفیت مواد خام مورد استفاده در ساخت لاستیک؛
- فرایند خمیرکردن و ترکیب مواد؛
- ضخامت ورق‌های لاستیکی و فولادی؛
- آماده‌سازی سطح ورق‌های فولادی و کشیدن مواد چسبی بر روی آن‌ها؛
- تنظیم شرایط فراوری محصول (دما و زمان) برای خشک کردن چسب و فراوری لاستیک.

۲-۳-۴- ویژگی‌های جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی

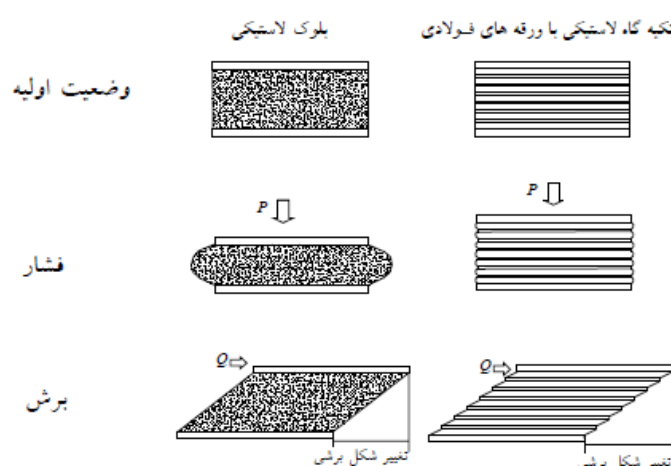
جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی از ویژگی‌های خاصی برخوردارند که باید به آن‌ها توجه نمود. برای نمونه ضخامت متعارف صفحات بالا و پایین، ورق‌های فولادی و لایه‌های لاستیکی به ترتیب به قرار زیر می‌باشند: ضخامت صفحات فولادی در بالا و پایین جداساز تقریباً ۲.۵ سانتی‌متر، ضخامت ورق‌های فولادی حدود ۲ تا ۳ میلی‌متر و ضخامت لایه‌ی لاستیکی بین ورق‌های فولادی بین ۷ تا ۲۰ سانتی‌متر متغیر است. استفاده از ورق‌های فولادی در جداسازها در مقایسه با جداسازهای لاستیکی خالص میزان تغییرشکل قائم جداساز را کاهش داده و مانع بیرون‌زدگی لایه‌های لاستیکی آن می‌شود. بر این اساس سختی جداساز در کشش بسیار کمتر از سختی آن در فشار می‌باشد. از آنجا که صفحات فولادی مانع جابجایی جانبی لایه‌های لاستیک نمی‌شوند، روی سختی جانبی آن که بسیار کمتر از سختی قائم است، تاثیر قابل ملاحظه‌ای نمی‌گذارند.

در ادامه به ویژگی‌های عملکردی لاستیک‌های با ورق‌های فولادی از جمله رفتار آن‌ها در برابر بارهای فشاری، کششی، بارهای توام جانبی و قائم، و پایایی پرداخته شده است.

۲-۳-۴-۱- رفتار جداسازها در برابر بارهای جانبی و قائم

شکل (۲-۲) ویژگی‌های رفتاری جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی را نشان می‌دهد. رفتار جداساز قبل و بعد از مسلح شدن به ورق‌های فولادی تحت نیروی فشاری و نیروی برشی نمایش داده شده است.





شکل ۲-۲- تاثیر ورق‌های فولاد بر روی سختی قائم جداساز لاستیکی

با توجه به نتایج مطالعات عددی و آزمایشگاهی، توزیع تنش و نیروی فشاری داخلی در این جداسازها را می‌توان با آنچه در شکل (۳-۲) نشان داده شده معرفی کرد.

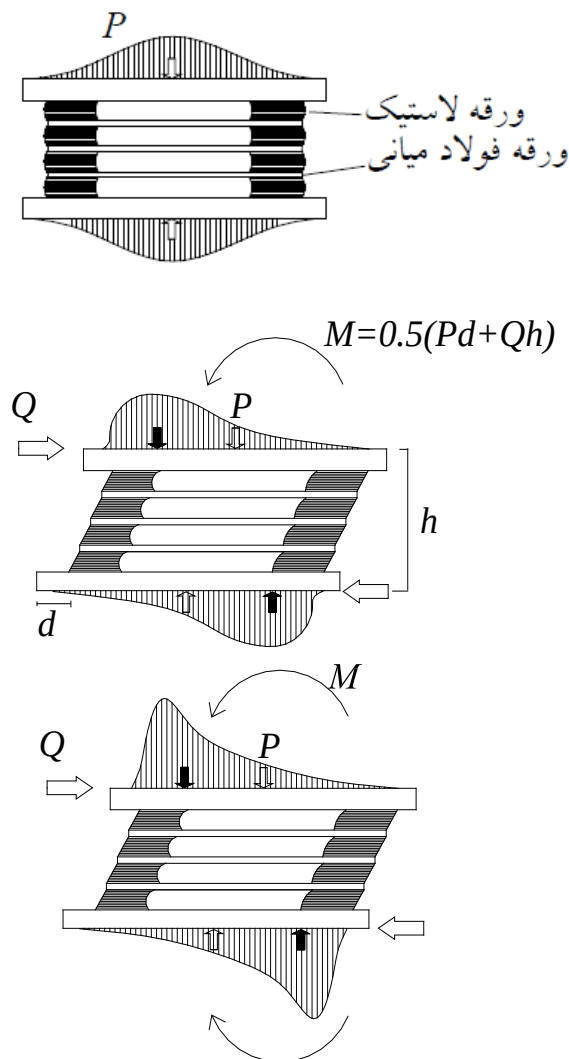
با تحت فشار قرار گرفتن جداساز لاستیکی، ورق لاستیکی تمایل به تغییر شکل در جهت شعاعی و به سمت بیرون دارد. اما به دلیل ممانعت ورق‌های فولادی قادر به این تغییر مکان نیست. در این حالت مطابق شکل (۳-۲)، تنش فشاری در جداساز با توزیعی سهمی شکل دارای حداکثر مقدار خود در مرکز جداساز خواهد بود. این شرایط به دلیل اثر گیرداری ورق‌های فولادی و ویژگی فیزیکی لاستیک (ضریب پواسن حدود ۰/۵) و در نتیجه‌ی آن‌ها بروز شرایط تنش فشاری سه محوری (فشار هیدرواستاتیکی) است. به این دلیل، وقتی جداساز تحت فشار قرار می‌گیرد، درصد الاستیسیته‌ی ظاهری جداساز، از درصد الاستیسیته‌ی ظاهری خود لاستیک بسیار بیش‌تر خواهد بود.

در زمان اعمال بار افقی به جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی، از آنجا که ورق‌های فولادی تغییر شکل برشی ورق‌های لاستیکی را محدود نمی‌کنند، تغییر شکل جداساز برابر با تغییر شکل برشی لاستیک شده و سختی افقی کمی را نشان می‌دهد. با بزرگ شدن تغییر شکل برشی، نیروی حاصل از تنش توزیع شده به سمت جداساز منتقل می‌شود اما تنش کششی به وجود آمده در سمت مخالف کوچک است. به دلیل اینکه در تغییر شکل‌های بزرگ هم در مرکز جداساز شرایط تنش فشاری سه محوری ادامه می‌یابد، علاوه بر حفظ قابلیت باربری میزان کاهش ارتفاع جداساز هم کم‌تر می‌شود. از این رو می‌توان گفت بخش مرکزی جداساز از نقطه نظر تحمل بار دارای اهمیت است.

در زمان زلزله با به وجود آمدن لنگر واژگونی در سازه و ارتعاش غیر یکنواخت پی، تنش‌های فشاری اضافی در جداساز به وجود می‌آید. در این حال لازم است تا به منظور حفظ باربری و پایداری جداسازها، تحلیل، طراحی و ساخت این تجهیزات به گونه‌ای صورت پذیرد که تغییرات تنش فشاری تأثیری بر روی ظرفیت برشی آن‌ها وارد نکند. برای این منظور انتخاب ابعاد و مصالح مناسب برای جداساز ضروری است.

افزایش تغییر شکل برشی جداساز باعث بروز پدیده‌ی سخت شدگی در رفتار نیرو - تغییر شکل جداساز می‌گردد. اگرچه این پدیده ممکن است موجب کاهش تغییر شکل ایجاد شده در جداساز می‌گردد، اما در عین حال نیروی منتقل شده به سازه و در نتیجه‌ی آن پاسخ طبقات را افزایش می‌دهد.





شکل ۲-۳- توزیع نیرو در جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی

۲-۴-۳-۲- عملکرد در برابر بارهای فشاری

در جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی با فرض یکسان بودن ارتفاع لایه‌ها، اگر ضخامت لایه‌های لاستیک را کاهش داده و تعداد آن را افزایش دهیم (ضریب شکل یک بعدی بزرگ‌تر) به سختی قائم جداساز افزوده و نیرو و تغییر شکل رابطه‌ی خطی پیدا خواهند کرد. از سوی دیگر با ضخیم‌تر شدن ضخامت یک لایه‌ی لاستیک و کاهش ضریب شکل یک بعدی، سختی قائم کاهش یافته و جداساز قادر به کاهش اثر نیروها در جهت قائم می‌گردد.

۲-۴-۳-۲- عملکرد در برابر بارهای کششی

ممکن است تحت بارهای رفت و برگشتی ناشی از زلزله وسایل جداسازی مانند ستون‌ها تحت نیروهای کششی قرار گیرند. جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی در مقابل نیروهای کششی رفتاری دو خطی از خود نشان می‌دهند. سختی کششی این جداسازها به مراتب از سختی آن‌ها در جهت فشاری کمتر است. با تداوم اعمال بار کششی در جداسازها لاستیک از فولاد جدا شده و حفره‌هایی در بین لایه‌های لاستیک و فولاد پدید می‌آید. بروز این حفره‌ها موجب کاهش میزان سختی قائم در جهت فشاری تا حد ۵۰ درصد میزان اولیه می‌گردد. از

این رو تحت کشش قرار گرفتن این جداسازها اثر منفی بر روی آن‌ها داشته و توصیه نمی‌گردد. آزمایش‌های انجام شده هم حداکثر میزان قابل قبول تنش کششی بر روی این تجهیزات را در حد کمتر از ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع نشان داده است.

۲-۳-۴- دوام

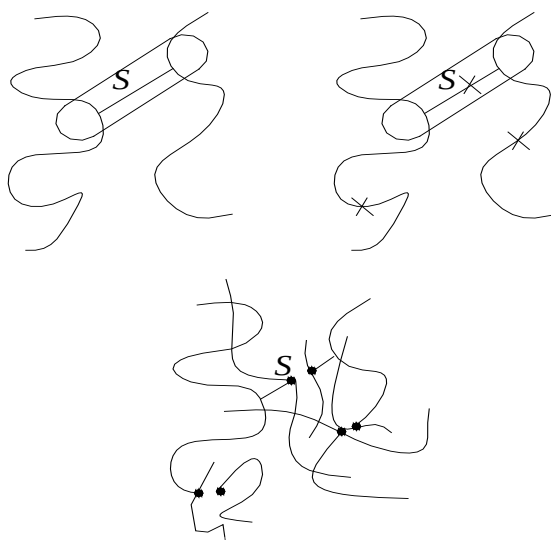
جداسازهایی که از لاستیک و فولاد ساخته شده‌اند، ممکن است به مرور زمان دچار تغییر در ویژگی‌های رفتاری گردند. بخش قابل توجهی از این تغییرات ناشی از تغییر خصوصیات لاستیک است. لاستیک ماده‌ای آلی است و ویژگی‌های آن به تدریج تغییر می‌کند. عوامل بروز این تغییرات را می‌توان به شکل زیر دسته‌بندی کرد:

عوامل خارجی مانند: گازها، نور، تغییرات دما و نیروهای خارجی که باعث تغییرات فیزیکی می‌شوند.

عوامل داخلی مانند: پلیمر، مواد پرکننده و فرم شکل‌گیری پل‌ها و غیره که باعث تغییرات شیمیایی می‌شوند.

با توجه به اینکه جداسازها معمولاً در محیطی دور از نور و حرارت قرار دارند، توجه بیش‌تری باید به پدیده اکسیداسیون لاستیک معطوف گردد. این پدیده یکی از مهمترین عوامل داخلی ایجاد تغییرات شیمیایی در این گروه از جداسازها است که موجب افزایش سختی لاستیک می‌شود. به طور معمول مولکول‌های لاستیک (پلیمر) توسط سولفورها به هم متصل می‌گردند که پل نامیده می‌شود. این اتصال با مداخله‌ی اکسیژن، قطع و ارتباط آن با پلیمر دیگری برقرار می‌گردد. در نتیجه‌ی تکرار این فرایند، ساختار شبکه‌ای جدیدی در لاستیک به وجود می‌آید، آزادی مولکول‌ها محدود شده و لاستیک سخت‌تر می‌شود. شکل (۲-۴) این امر را به صورتی ساده نشان داده است. این پدیده تنها در بخش کوچکی از سطح بیرونی لاستیک رخ می‌دهد و بخش عمده داخلی به دلیل نازک بودن ورق‌های فولاد و تماس محدود اکسیژن با سطح لاستیک، سالم باقی می‌ماند.

علاوه بر اکسیداسیون، توجه به خزش در طول زمان نیز باید مورد توجه طراح قرار گرفته و در زمان ساخت تمهیدات لازم برای محدود نمودن آن در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۴- اثر اکسیداسیون بر روی مولکول‌های لاستیک



۲-۳-۴-۵- مقاومت در برابر آتش

مقاومت در برابر آتش برای سیستم جداسازی باید حداقل مشابه میزان مقاومت موردنیاز در برابر آتش برای ستون‌ها، دیوارها یا سایر اعضای باربر ثقیلی در همان محدوده از سازه باشد. اگر آتش بر ویژگی‌های رفتار جانبی جداساز اثر می‌گذارد، لازم است وسایل جداساز به گونه‌ای حفاظت شوند تا مقاومت لازم در برابر بارهای ثقیلی حفظ گردد و پایداری سایر اعضای سازه که توسط جداساز نگهداری می‌شوند نیز تامین شود. در صورت عدم اطمینان از مقاومت جداساز در برابر آتش لازم است از تمهیداتی مانند به کارگیری پوشش‌های ضد حریق یا تخته‌های گچی در اطراف جداساز با هدف محافظت آن در برابر حرارت زیاد یا حریق استفاده نمود.

۲-۳-۴-۶- شرایط محیطی

لازم است شرایط محیطی با امکان ایجاد اثرات منفی بر عملکرد سامانه جداسازی، کاملاً مورد بررسی قرار گیرند. مشخصات مصالح جداسازها در طول عمر مفید سازه تحت اثر عوامل وابسته به زمان قرار می‌گیرند. از آنجا که آزمایش‌های کنترل کیفیت کارخانه‌ای و نمونه‌های کارگاهی، اثر سالخوردگی، آلودگی، تغییرفرم یافتگی (زوال مشخصات مکانیکی تحت چرخه‌های تکرار شونده)، دما، اثرات سرعت و پوشش را منظور نمی‌کنند، این اثرات باید توسط طراح در تحلیل‌ها در نظر گرفته شود. اثر این عوامل را مانند برخی ضوابط بین المللی مانند آستو می‌توان توسط ضرایب اصلاح مشخصات در طراحی وسایل جداساز در نظر گرفت.

۲-۳-۴-۷- مهار جابجایی جداساز

استفاده از مهارهای جانبی برای محدود نمودن جابجایی‌ها به کمتر از جابجایی موردنظر توصیه نمی‌گردد. در صورتیکه مهارهای جانبی در سامانه جداسازی بکار رفته است لازم است از روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی سازه در سطح بیشینه زلزله‌ی محتمل برای منظور نمودن اثرات مهار جانبی استفاده شود.

۲-۳-۴-۸- واژگونی

در طراحی ساختمان و سامانه جداسازی لازم است واژگونی کلی سازه و تنش‌های اضافی در اجزا به دلیل برکنش موضعی کنترل شوند. جزییات اتصال در بعضی از وسایل جداسازی به گونه‌ای است که در کشش کارایی وسیله تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اثرات برکنش در جداساز تا زمانی قابل قبول است که عملکرد افقی وسیله جداسازی دچار مشکل نشود. ضعف جزییات اتصال وسایل جداسازی در کشش باید در تحلیل و طراحی منظور شود. هنگام استفاده از ظرفیت کششی یک جداساز برای تحمل نیروهای ناشی از برکنش، طراحی و آزمایش برای نمایش کفایت سیستم در تحمل نیروهای کششی در جابجایی مورد نظر لازم است.

۲-۳-۴-۹- بازرسی

اگرچه اغلب سیستم‌های جداسازی پس از زلزله به جایگزینی نیاز ندارند، با این وجود شرایط بازرسی، تعمیر و جایگزینی آنها همواره باید فراهم باشد. در برخی موارد لازم است سازه به موقعیت اولیه خود بازگردانده شود. سامانه‌های جداسازی باید بطور دوره‌ای، بازرسی شده و بخش‌های آسیب دیده تعمیر یا جایگزین شوند. این عملیات پس از وقوع زلزله‌ی سطح بهره‌برداری الزامی است.



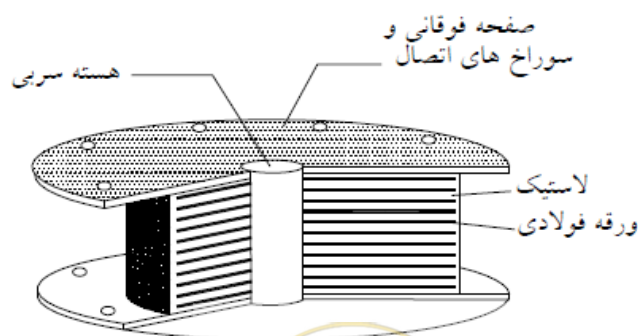
۲-۳-۴-۱۰- کنترل کیفیت

یک برنامه ریزی جهت آزمایش و بازرسی فرآیند تولید و نصب جداسازها الزامی است. در هر پروژه روش‌های بازرسی ویژه و آزمایش‌های بارگذاری برای سنجش کیفیت تولید باید وجود داشته باشد. الزامات مربوط مطابق با نوع سیستم جداسازی مورد استفاده قابل تغییر است. الزامات خاص کنترل کیفیت در فصل ۵ این راهنما آورده شده است.

۲-۴- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

این جداساز شامل یک هسته‌ی سربی است که در داخل جداساز لاستیکی محصور شده است. همان‌طور که ذکر شد، جداسازهای لاستیکی قادر به تامین میرایی زیاد و جذب انرژی مناسب نیستند. با تعبیه‌ی یک هسته‌ی سربی در میان جداسازهای لاستیکی می‌توان بر خصیصه‌ی نامساعد میرایی کم آنها غلبه نمود. بطور معمول سوراخ از پیش تعبیه شده‌ای با قطری نسبتاً کوچکتر از قطر هسته‌ی سربی در مرکز جداساز تعبیه می‌شود. هنگامی که هسته‌ی سربی با فشار درون آن سوراخ جاسازی شد، دو قطعه با هم یکی شده و جداساز هسته سربی، که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است، را تشکیل می‌دهند. دلیل انتخاب سرب برای این جداساز این است که فلز سرب دارای ساختمانی بلوری است. ساختار بلوری سرب با تسلیم شدن تغییر می‌کند اما بلافاصله با تغییر جهت حرکت به ساختار بلوری اولیه بازگشته و به این ترتیب تسلیم‌های متوالی تحت بارهای ارتعاشی دینامیکی جانبی باعث به وجود آمدن پدیده‌ی خستگی در آن نمی‌شود.

عملکرد جداساز با هسته سربی به میزان نیروی جانبی وارده به آن بستگی دارد. اگر نیروی جانبی کوچک باشد، هسته‌ی سربی مانع از تغییرشکل جداساز می‌شود، و جداساز سختی جانبی بالاتری از خود نشان می‌دهد. این ویژگی از حرکت سازه‌ی جداسازی شده در برابر بارهای جانبی سطح بهره‌برداری، مانند باد یا زلزله‌های خفیف جلوگیری می‌کند. با افزایش نیروی جانبی، تغییرشکل جداساز و به تبع آن هسته سربی افزایش یافته تا آنجا که هسته سربی به حد تسلیم می‌رسد و سختی جانبی جداساز کاهش می‌یابد. تنش تسلیم سرب ۸ تا ۱۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع است. هسته‌ی سربی در جداسازهای لاستیکی با تسلیم شدن در زمان ارتعاش، میزان میرایی را از حدود ۳ درصد میرایی بحرانی در جداسازهای لاستیکی به حدود ۱۵٪ تا ۳۵٪ می‌رساند. این رفتار هیستریزس، پایدار بوده و میزان قابل توجهی از انرژی را در زمان رخداد زلزله‌های نسبتاً بزرگ مستهلک می‌کند. رفتار هیستریزس این جداسازها را می‌توان به صورت دوخطی با سختی اولیه‌ای در حدود ۹ تا ۱۶ برابر سختی پس از تسلیم آن‌ها در نظر گرفت.



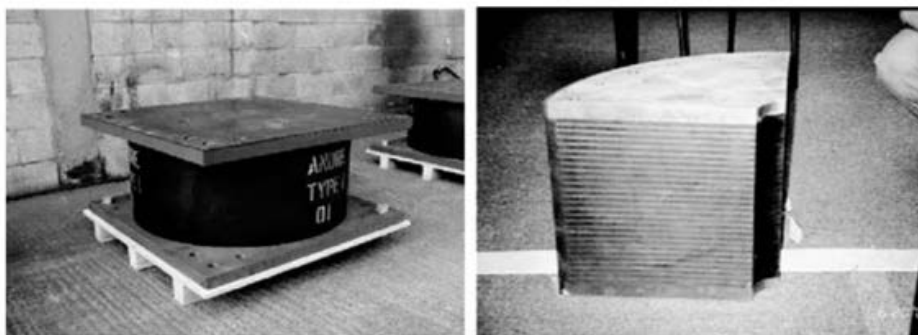
شکل ۲-۵- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی



بخش لاستیکی این تجهیزات مشابه جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی است و وظیفه‌ی تامین نیروی بازگرداننده به مبدا را پس از پایان ارتعاش سازه به عهده دارد.

۲-۵- جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد

روش موثر دیگر برای افزایش میرایی جداساز لاستیکی اعم از اینکه لاستیک طبیعی یا مصنوعی باشد، اصلاح ترکیبات لاستیک است. برای نمونه، افزودن کربن سیاه یا انواع دیگر پرکننده‌ها به لاستیک طبیعی، خصوصیات آن را تغییر می‌دهد و منجر به میرایی زیادتر لاستیک می‌شود. جداساز لاستیکی با میرایی زیاد تنها از لاستیک و ورق‌های نازک فولادی تشکیل شده است. این جداسازها در کنار انعطاف‌پذیری لازم توانایی استهلاک انرژی بیشتری نسبت به جداسازهای لاستیکی معمولی دارند. شکل ۲-۶ نمونه‌هایی از جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶- نمونه‌هایی از جداسازهای لاستیکی طبیعی با میرایی زیاد

برای توصیف اثر نیروی جانبی اعمالی بر روی این جداساز و جابجایی حاصل از آن باز هم می‌توان از مدل دوخطی استفاده نمود. میرایی موثر جداساز لاستیکی با میرایی زیاد تابعی از کرنش‌های برشی آن است. برای لاستیک طبیعی، میرایی موثر از حدود تقریبی ۱۵٪ در کرنش برشی کم تا ۱۰٪ در کرنش برشی بالا تغییر می‌کند.

خصوصیات مکانیکی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد بگونه‌ای تحت تاثیر اثرات ناشی از سالخوردگی، تغییرات دمایی، و تغییر فرم یافتگی قرار می‌گیرد. تغییر فرم یافتگی طی فرآیندی اتفاق می‌افتد که جداساز لاستیکی تحت یک یا تعداد بیشتری چرخه‌های تغییر مکانی با دامنه زیاد قرار می‌گیرد. این فرآیند ساختار مولکولی لاستیک را بهبود بخشیده و موجب می‌گردد جداساز در سطوح کرنشی پایین‌تر از میزانی که این فرآیند در لاستیک اتفاق افتاده، چرخه‌های هیستریزس پایدار بیشتری را تجربه کند.

اگرچه معمولاً فرض بر این است که ویژگی‌های تغییر فرم یافتگی لاستیک با گذشت زمان تغییر نمی‌کند، بررسی‌ها نشان می‌دهند که احتمال اصلاح نسبی بخش تغییر فرم نیافته لاستیک وجود دارد. میزان گسترش این اصلاح نسبی به ترکیبات لاستیک مربوط می‌گردد. مدل‌های ریاضی تاکنون توانایی توصیف تغییرات میان مشخصات اولیه و تغییر یافته‌ی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد را نداشته‌اند. در این مورد انجام تحلیل‌هایی با مدل‌های هیستریزس پایدار و استفاده از آن در تحلیل دینامیکی مناسب خواهد بود. انتخاب سختی و میرایی این نوع جداساز نیز به ترکیبات لاستیکی آن مربوط است.



۲-۶- جداسازهای اصطکاکی

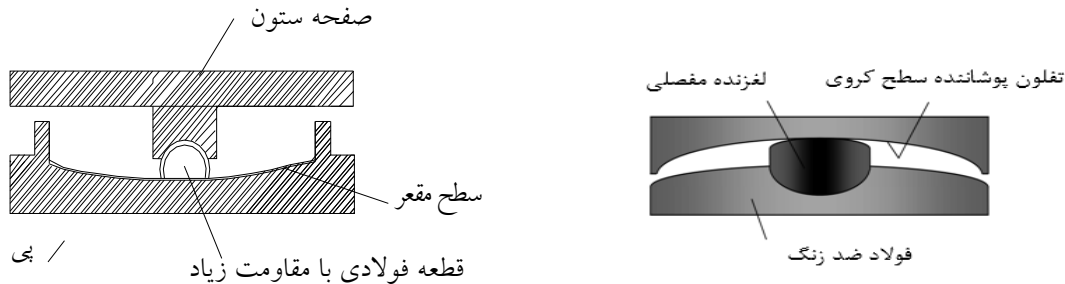
در این نوع از جداسازی، روسازه اجازه می‌یابد تا در زمان رخداد زلزله‌های نسبتاً بزرگ بر روی جداساز بلغزد. سازه به محض تجاوز نیروی برشی در طبقه‌ی جداسازی شده از میزان نیروی اصطکاکی در نظر گرفته‌شده برای جداسازها بر روی آن‌ها شروع به لغزش می‌کند و به این ترتیب از ارسال نیروهای لرزه‌ای بزرگ به سازه جلوگیری می‌شود. در این حال نیروی اصطکاکی به وجود آمده در جداسازها در مقابل نیروی محرک زلزله عمل کرده و انرژی جنبشی را مستهلک می‌کند. در این نوع جداساز ضریب اصطکاک مناسب، عامل کنترل نیروی انتقالی به روسازه و همچنین کنترل تغییرمکان جانبی سازه خواهد بود. از سوی دیگر این نوع جداسازها ممکن است باعث انتقال ارتعاشات با فرکانس‌های نسبتاً زیاد به سازه گردند. از این رو استفاده از این تجهیزات در جداسازی سازه‌هایی که ابزار دقیق و حساس به ارتعاش در فرکانس‌های بالا در آن‌ها نصب خواهد شد باید با مطالعه‌ی دقیق صورت پذیرد.

در مواردی که از این نوع جداسازها به تنهایی استفاده می‌شوند، سامانه‌ی جداسازی به محتوای فرکانس موجود در ارتعاش تحریک حساس نبوده و موجب تشدید مولفه‌های خاصی از آن نیز نمی‌گردد. در این حالت شتاب موجود در طبقه‌ی جداسازی متناسب با ضریب اصطکاک در نظر گرفته برای جداسازها خواهد بود. از این رو با کاهش ضریب اصطکاک می‌توان شتاب اعمال شده به سازه در طی ارتعاش را کاهش داد. برای کاهش میزان اصطکاک موادی مانند تفلون و فولاد استیل کارایی قابل توجهی در این گونه جداسازها از خود نشان داده‌اند. هرچند کاهش ضریب اصطکاک به هر میزان دلخواه به معنای افزایش تغییر مکان به وجود آمده در تراز جداسازی است.

جداسازهای اصطکاکی اولیه دارای صفحات لغزشی مسطح بودند. نیروی مقاوم در مقابل نیروی جانبی اعمال شده حاصل از ضرب بارهای قائم وارده به جداساز در ضریب اصطکاک می‌باشد. نقص عمده‌ی جداسازهای اصطکاکی با سطح لغزش افقی این است که سازه‌ی ساختمانی پس از وقوع زلزله قادر به بازگشت به موقعیت اولیه‌ی خود نیست. در واقع، زمانی که نیروی جانبی اعمالی به سازه از نیروی مقاوم تولید شده توسط اصطکاک کمتر شود، ساختمان از حرکت می‌ایستد و باعث می‌گردد سازه در موقعیتی که اندکی دورتر از مرکز جداساز است، قرار گیرد. پس‌لرزه‌ها ساختمان را مجبور می‌کنند تا از محل استقرار فعلی خود حرکت نموده و در موقعیتی باز هم دورتر از مکان اصلی خود قرار گیرد. به این ترتیب، حرکت ساختمان می‌تواند از دامنه‌ی جابجایی مجاز جداسازها خارج شده که نتیجه آن گسیختگی جداسازها خواهد بود.

به منظور کاهش فاصله‌ی توقف سازه از مرکز جداساز پس از زلزله، جداساز اصطکاکی با سطح لغزشی کروی یا مقعر ارائه شد. این نوع جداساز که در شکل (۲-۷) نشان داده شده است، جداساز آونگ/اصطکاکی نامیده شد. بخش داخلی این جداساز از یک سطح مقعر فولاد استیل تشکیل شده است که یک قطعه‌ی فولادی با مقاومت زیاد و اصطکاک کم بر روی آن حرکت می‌کند. بطور معمول، سطح لغزش کروی با لایه‌ای از تفلون با ضریب اصطکاک تقریبی ۳٪ پوشانده می‌شود. نیروی جانبی اعمالی، جداساز را در دو راستای افقی و قائم می‌راند. به محض اینکه نیروی جانبی حذف شود، یک نیروی بازگرداننده تولید می‌شود. بخشی از نیروی قائم اعمالی بصورت مولفه‌ای در راستای مماس بر سطح کروی عمل نموده و کمک می‌کند تا جداساز دوباره به موقعیت مرکزی خود بازگردد. حرکت جداساز زمانی متوقف خواهد شد که نیروی اصطکاک مساوی یا بزرگتر از این مولفه‌ی مماسی تولید شده از بار قائم اعمالی گردد. شعاع انحنای این جداساز دوره‌ی تناوب سامانه‌ی جداسازی را مشخص می‌کند. بنابراین در صورتی که وزن سازه تغییر کند یا با میزان برآورد شده متفاوت باشد، دوره‌ی تناوب تغییری نخواهد کرد.

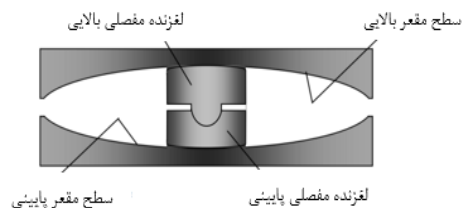




شکل ۲-۷ - جداساز آونگ اصطکاکی

یکی از خصیصه‌های قابل توجه در جداساز آونگ اصطکاکی، که اصطکاک استاتیکی نامیده می‌شود، آن است که نیروی جانبی لازم برای آغاز لغزش، بزرگتر از نیرویی است که عامل تداوم حرکت لغزشی است. به محض اینکه نیروی اعمالی بر مقاومت ناشی از اصطکاک غلبه نماید، سطح لغزنده انحنادار فعال شده و در راستای سطح کروی آغاز به حرکت می‌کند. ضریب اصطکاک از بار قائم اعمالی و سرعت لغزش تاثیر می‌پذیرد. هرچه بار قائم اعمالی بیشتر باشد ضریب اصطکاک کمتر است، درحالی‌که در سرعت‌های بالا ضریب اصطکاک تا اندازه‌ای زیادی افزایش می‌یابد.

جداساز آونگ اصطکاکی به مراقبت و نگهداری بسیار کمی نیاز دارد. پوشش تفلون روی سطح فولاد ضدزنگ به طرز موثری سطح لغزش را از خوردگی حفظ می‌کند. از آنجایی که لغزش جداساز فقط در حین وقوع زلزله اتفاق می‌افتد، پوشش تفلون می‌تواند در تمام دوره‌ی عمر طراحی دوام داشته باشد. از طرف دیگر، اثرات سالخوردگی و تغییرات دمایی به سختی می‌تواند بر روی خصوصیات مکانیکی جداساز اثر بگذارد.



شکل ۲-۸ - جداساز آونگ اصطکاکی با سطح مقعر دوگانه

به منظور بهبود رفتار این جداسازها، جداساز آونگ اصطکاکی با دو یا چندین سطح لغزشی مقعر نیز ارائه شده است. شکل ۲-۸ تصویری تقریبی از جداساز با دو سطح لغزشی را نشان می‌دهد. در یک حرکت افقی مشابه، ابعاد جداساز آونگ اصطکاکی با دو سطح لغزشی در مقایسه با جداساز با یک سطح لغزشی، از اندازه‌ی کوچکتری برخوردار است، چرا که حرکت افقی می‌تواند در دو سطح مقعر در بالا و پایین اتفاق بیافتد.

خصوصیت دیگر این نوع جداسازی تناسب نیروی اعمالی از سامانه‌ی جداسازی با جرم سازه است. بنابراین مرکز جرم سازه با مرکز سختی تراز جداسازی یکی خواهد بود و در نتیجه‌ی آن پیچش در تراز جداسازی سازه‌های غیرممتقارن به وجود نخواهد آمد.



با توجه به اینکه در این‌گونه سامانه‌های جداسازی، ممکن است سازه پس از اتمام لرزه دقیقاً به محل اولیه‌ی خود باز نگردد، به این منظور لازم است طراح در زمان طراحی و به کمک تحلیل‌های دقیق به همراه آزمایش‌های لازم بر روی تجهیزات سامانه و با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی این نوع سامانه، از عملکرد آن اطمینان یافته و در صورت نیاز تمهیدات مناسب برای احتراز از وقوع اشکالات احتمالی پیش‌بینی نماید. همچنین طراح باید به موارد زیر در طول دوره‌ی ساخت و نگهداری جداساز نیز توجه کافی مبذول دارد:

- امکان جوش خوردن سطح تماس جداسازها در طول زمان؛

- وقوع یخ‌زدگی؛

- مسئله خوردگی؛

- از بین رفتن سطوح کم اصطکاک در این تجهیزات.

به طور خلاصه شرایط این جداسازها در طول زمان و در شرایط محیطی متغیر باید مورد توجه قرار گیرد. از این‌رو بازدیدهای منظم و دوره‌ای باید به منظور کنترل وضعیت این جداسازها انجام پذیرد.

در زمان کاربرد این سامانه باید در مورد میزان دقیق ضریب اصطکاک در آن، تغییرات آن در زمان حرکت و عوامل موثر بر آن به کمک آزمایش‌های مورد تایید کارفرما اطمینان یافت.

منحنی نیرو- تغییرشکل جداسازهای لغزشی باید با در نظر گرفتن فشار تماسی، سرعت بارگذاری، تغییرشکل دوجبهه، حرارت، سایر بارهای محیطی و آثار سن در طول عمر مفید جداسازها تعیین شود. برای مدل‌سازی عددی جداسازهای لغزشی باید مشخصات جداسازها براساس تحلیل یا نتایج آزمایش مصالح آن تعیین شود. مشخصات لازم برای مدل عددی جداساز باید براساس نتایج آزمایش نمونه‌های ساخته شده تدقیق گردد.

در سازه‌های جداسازی شده که به صورت توأم از دو نوع جداساز لاستیکی و لغزشی استفاده می‌نمایند، باید توجه خاصی به تفاوت‌های قابل توجه جابجایی‌های قائم این دو جداساز به عنوان تابعی از جابجایی‌های افقی آن‌ها مبذول نمود. به کارگیری این دو نوع جداساز در مجاورت هم در زیر اعضای قائم با سختی زیاد مانند دیوارهای برشی بتن‌آرمه، می‌تواند مسئله ساز شده و باعث گردد باز توزیع قابل توجه بارهای ثقیلی اتفاق افتد.

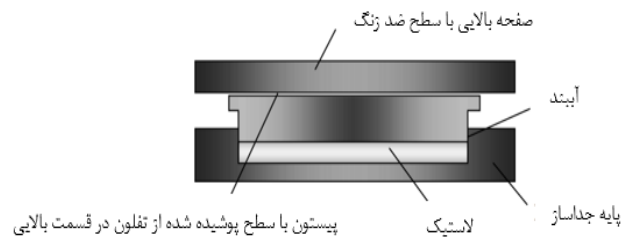
انواع دیگری نیز از حالت‌های ترکیبی وجود دارند که از آن میان می‌توان به تلفیق جداسازهای لاستیکی با میراگرهای فولادی در محل جداسازی اشاره نمود. در این حالت برای ایجاد نیروی بازگرداننده در سامانه‌های مجهز به جداسازهای اصطکاکی، استفاده‌ی همزمان از جداسازهای لاستیکی پیشنهاد می‌شود. در این نوع جداساز ترکیبی نیروی بازگرداننده توسط جداساز لاستیکی و فرایند استهلاک انرژی به کمک جداساز اصطکاکی تامین می‌گردد. در زمان ایجاد مدل عددی برای رفتار سامانه‌ی مورد نظر باید به نحوه‌ی ترکیب این دو رفتار توجه گردد.

نوع دیگری از جداسازهای اصطکاکی، جداسازهای الاستیک اصطکاکی هستند. این جداسازها شامل چندین لایه‌ی اصطکاکی پوشیده شده با تفلون است که با هم و با یک هسته‌ی لاستیکی در تماس هستند. هسته‌ی مرکزی لاستیکی نیروی بازگرداننده را در مجموعه به وجود می‌آورد و اصطکاک بین صفحات باعث از بین رفتن انرژی ارتعاشی می‌گردد.



۲-۷- انواع دیگر وسایل جداساز لرزه‌ای

جداسازهای کاسه‌ای که در ابتدا در اروپا معرفی شد، مثالی از جداسازهای ترکیبی نوع لاستیکی و لغزشی است. لاستیک این جداساز در یک جام شبیه پیستون که سطح بالای آن از تفلون پوشیده شده، محصور شده است. در شکل ۲-۹ برشی از جداساز کاسه‌ای ارائه شده است. از آنجا که در این جداساز پیستون کاملاً محصور است، در فشارهای بالا، لاستیک از بیرون زدگی حفظ می‌شود. هم‌چنین، جداساز کاسه‌ای ظرفیت پیچشی دارد بطوریکه سطح لغزش در اثر جابجایی‌های ناشی از زلزله تحت بارگذاری یکنواخت‌تری قرار می‌گیرد. اما، خروج از مرکزیت ناشی از حرکت جانبی منجر به جابجایی بیشتر روسازه می‌شود.



شکل ۲-۹ - جداساز کاسه‌ای

جداسازهای لاستیکی برای مقابله با نیروهای جانبی استفاده می‌شوند و نیروی بازگرداننده تولید می‌نمایند، درحالی‌که جداسازهای لغزشی برای تحمل بارهای قائم طراحی می‌شوند. عملکرد سامانه‌ی جداساز تا اندازه‌ی زیادی به نحوه‌ی توزیع و موقعیت جداسازها دارد. اگر در جای مناسبی قرار نگرفته باشند، ممکن است جداساز لاستیکی نیروهای کششی قابل توجهی را تجربه کند فقط به این دلیل که بگونه‌ای طراحی نشده است که بارهای ثقلی را تحمل نماید.

در موارد اجرا شده، به منظور تامین امکان استهلاک انرژی در کنار جداسازهای لاستیکی از جداسازهای اصطکاکی، میراگرهای تسلیم شونده یا لزج ویسکوز) استفاده شده است.

علاوه بر آنچه در بالا به آن اشاره شد، جداساز لرزه‌ای اصطکاکی برگشت‌پذیر، جداساز لرزه‌ای فنری شکل و سامانه‌های جداساز شمع غلاف‌دار نیز به عنوان پیشنهادهایی در این حوزه ارائه شده اند.



فصل سوم

طراحی سامانه‌های جداسازی

لرزه‌ای



۳-۱- کلیات

در طراحی ساختمان‌های مجهز به سامانه‌های جداساز لرزه‌ای باید از "دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای" و "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله- استاندارد ۲۸۰۰ ایران" استفاده نمود. در این فصل از راهنما، رهنمودهایی برای طراحی یک سازه‌ی دارای جداساز لرزه‌ای و قطعات جداساز پیشنهاد می‌گردد. در انتخاب مصالح دستگاه جداساز، و تعیین مقادیر مشخصات فنی و کنترل کیفیت آن‌ها، لازم است در ابتدا مفاد دستورالعمل و آیین‌نامه‌ی یادشده رعایت گردند.

۳-۲- مدل‌سازی و تحلیل سازه‌ی جداسازی شده

برای بررسی رفتار سازه‌ی مجهز به سامانه جداساز لازم است برحسب انتظاری که از ارزیابی سامانه جداساز و سازه‌ی بالای آن داریم مدل‌های مناسب رفتاری و تحلیلی اتخاذ گردد. برای این منظور در زیر بخش‌های آینده مدل‌های رفتاری سامانه جداساز و مدل‌های تحلیلی سازه‌ی جداسازی شده ارائه می‌گردد. به این ترتیب پاسخ تغییر مکان و نیروی جداسازها در سامانه جداسازی و پاسخ کلی سازه در تراز جداسازی با استفاده از مدلی مناسب قابل دستیابی است. در این زمینه لازم است مفاد بند ۶-۵ دستورالعمل رعایت گردد.

۳-۲-۱- مدل‌های عددی سازه و سامانه جداسازی

مدل‌های عددی با اهداف مختلف توسط طراح ایجاد می‌شوند. در مواردی مدل عددی تنها با شبیه‌سازی روسازه با یک جرم متمرکز و سامانه‌ی جداسازی با یک فنر و میراگر معادل ایجاد می‌شود. این مدل تنها با هدف شناسایی رفتار جداساز تحت بارگذاری لرزه‌ای مورد نظر ایجاد می‌شود. در این شرایط نیازی به مدل‌سازی دقیق از رفتار روسازه وجود نخواهد داشت.

مدل دوبعدی با جرم‌های متمرکز نیز برای مطالعه‌ی تاثیر جداسازی بر روی رفتار طبقات و رفتار مودی روسازه ایجاد می‌شود. در این حالت رفتار سامانه‌ی جداسازی می‌تواند به صورت مدل خطی یا غیر خطی مورد بررسی قرار گیرد. برای ارزیابی بهتر رفتار سازه در این حالت می‌توان از مدل‌های دقیق‌تر که در آن تمامی اعضا با جزییات مدل شده و مدل رفتار غیرخطی برای آن‌ها در نظر گرفته شده، نیز استفاده نمود.

به کمک نرم‌افزارهای اجزا محدود امکان ایجاد مدلی سه‌بعدی، نزدیک به واقعیت و مطالعه‌ی دقیق‌تر رفتار اجزای سازه و سامانه‌ی جداسازی مقدور شده است. در این مدل‌ها اثرات پیچش روسازه و اثر تحریک‌های همزمان قابل بررسی است. توصیه می‌شود طراح در مدل‌سازی و به‌کارگیری این نرم‌افزارها به خوبی از جزییات اجرایی سازه‌ی مورد نظر آگاه بوده و با نحوه‌ی تعریف مشخصات اعضای سازه‌ای و سامانه‌ی جداسازی، نحوه‌ی تعریف بارگذاری در نرم‌افزار و چگونگی استنتاج از نتایج تحلیل آشنا باشد.

روش‌های معمول تحلیل سازه‌ی جداسازی شده عبارتند از:

- روش بار جانبی معادل؛

- روش دینامیکی؛

- روش طیف پاسخ؛



- روش تاریخچه‌ی زمانی.

هر یک از روش‌های ذکر شده در این بند باید با توجه به محدودیت‌های مذکور در "دستورالعمل" به کار روند. عوامل مهم در انتخاب روش تحلیل سازه عبارتند است از:

وضعیت ساختگاه؛

تعداد طبقات سازه؛

ارتفاع سازه؛

دوره‌ی تناوب طبیعی سازه‌ی جداسازی شده؛

شکل و ترکیب سازه (منظم یا نامنظم بودن سازه)؛

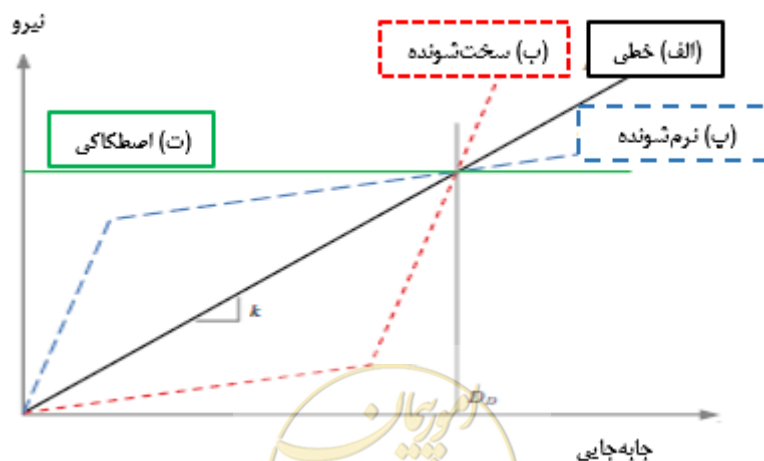
ویژگی‌های سامانه‌ی جداسازی مانند: سختی موثر، قابلیت سامانه در تامین نیروی برگرداننده به مبدا؛

حداکثر تغییرمکان سازه؛

۳-۲-۲- مدل‌های رفتاری وسایل جداسازی

چهارگونه رفتار برای پاسخ نیرو- تغییرمکان سامانه‌های جداسازی تعریف می‌شود. شکل زیر این رفتارها را به طور ایده‌آل با تغییرمکان طراحی مشابه (D) برای زلزله‌ی طراحی نشان می‌دهد.

نمودار "الف" یک دستگاه جداساز با رفتار خطی را نشان می‌دهد. این دستگاه جداسازی در تمام مراحل بارگذاری لرزه‌ای دوره تناوب طبیعی ثابتی دارد که مستقل از نیاز جابجایی است. در این مدل رفتاری نیروی ایجاد شده در روسازه متناسب با جابجایی دستگاه جداسازی است. در زمان به کارگیری این مدل رفتاری لازم است میرایی موثر جداساز نیز به روش مناسبی محاسبه و منظور گردد. این کار معمولاً با فرض میرایی لزج (ویسکوز) برای المان در نظر گرفته شده برای جداساز و با معرفی ضریب میرایی موثر انجام می‌پذیرد.



شکل ۳-۱- مدل‌های رفتاری جداسازها در زمان تحریک

نمودار "ب" رفتار دوخطی یک سامانه‌ی جداساز سخت شونده را نشان می‌دهد که سختی جانبی اولیه‌ی پایینی دارد (یا معادل آن، دوره تناوب موثر بلند). به دنبال آن در نیازهای جابجایی بالاتر تقریباً از سختی ثانویه بالایی (یا دوره تناوب موثر کوتاه) برخوردارند. زمانیکه جابجایی از جابجایی طراحی بیشتر شود، روسازه در مقایسه با سامانه‌ی خطی معادل در جابجایی‌های برابر تحت نیازهای نیرویی بزرگتری قرار می‌گیرد.

نمودار "پ" رفتار دوخطی یک سامانه‌ی جداساز نرم شونده را نشان می‌دهد. این سامانه تقریباً سختی اولیه بالایی دارد (دوره تناوب موثر کوتاه) که به دنبال آن با افزایش جابجایی، سختی جانبی ثانویه آن کاهش می‌یابد (دوره تناوب موثر بلند). به طور متعارف جداسازهای لاستیکی معمولی، جداسازهای لاستیکی با میرایی بالا (HDRB)، جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی (LRB) و جداسازهای اصطکاکی با نیروی برگرداننده، این گونه رفتار را از خود نشان می‌دهند. در یک سامانه‌ی جداسازی نرم شونده، زمانیکه جابجایی‌ها از جابجایی طراحی بیشتر شوند، روسازه تحت نیازهای نیرویی کاهش یافته‌ای قرار می‌گیرد که در مقایسه با سیستم خطی، جابجایی‌های بزرگتری را تجربه می‌کند.

در نمودار "ت"، رفتار یک سامانه‌ی جداسازی اصطکاکی ایده‌آل بدون ظرفیت نیروی جانبی بازگرداننده نمایش داده شده است. پاسخ در این سامانه با ضریب اصطکاک و در نتیجه‌ی آن نیروی اصطکاک ایجاد شده در سطح لغزش کنترل می‌گردد. با افزایش نیروی زلزله دوره‌ی تناوب موثر افزایش می‌یابد در حالی که حداکثر نیروی منتقل شده به سازه به مقدار ثابتی محدود است. با توجه به عدم وجود نیروی بازگرداننده به میدا این سامانه‌ها اغلب در ترکیب با سامانه‌ای که این قابلیت را تامین نماید مانند جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی استفاده می‌شوند.

در هر یک از نمودارهای بالا لازم است به رفتار سامانه‌ی جداسازی قبل و بعد از تغییرمکان طراحی توجه گردد.

حداقل تغییرمکان جانبی طراحی جداسازها در زلزله و نیروهای موجود بر روی آن‌ها باید براساس مشخصات تغییرشکلی این سامانه‌ها که توسط آزمایش‌های لازم مشخص می‌شوند تعیین شده باشد.

در مدل‌سازی، طراح باید ضوابط مندرج در "دستورالعمل" در این زمینه را در محاسبات منظور نماید. مدل ایجاد شده در صورت نیاز باید با ضوابط و آیین‌نامه‌های طراحی موجود مطابقت داشته باشد.

طراح باید در تعیین مشخصات مصالح در مدل، در تعریف مشخصه‌های مدل و در استفاده از نتایج، عواملی همچون تفاوت رفتار مدل با رفتار سازه‌ی واقعی، نوسانات و عدم قطعیت در مشخصات مصالح، عدم قطعیت در رفتار اعضا، بار ورودی و سایر موارد را مدنظر قرار دهد.

مدل ریاضی در نظر گرفته شده برای وسایل جداساز باید با توجه به رفتار نیرو-تغییرمکان آن‌ها که بر اساس نتایج آزمایشگاهی مندرج در بخش "آزمایش‌های لازم برای سامانه‌ی جداسازی" در "دستورالعمل" و یا "آزمایش‌های مورد نیاز" در این راهنما، مشخص شده و اصلاح گردد. این مدل‌سازی باید به گونه‌ای صورت گیرد تا جزییات زیر را در بر داشته باشد:

۱- توزیع جداسازها در پلان

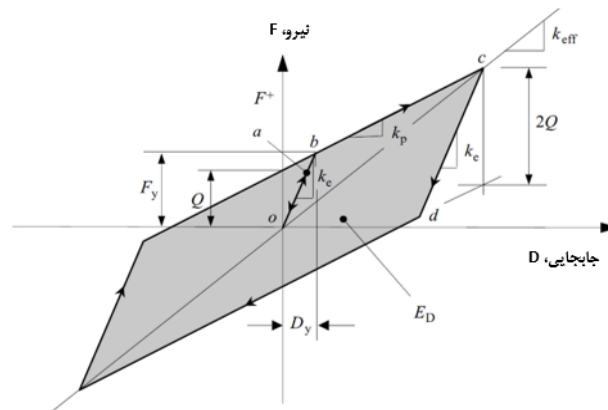
۲- محاسبه‌ی تغییرمکان افقی و پیچشی روسازه با توجه به بدترین شرایط قرارگیری جرم در روسازه



۳- محاسبه‌ی نیروهای واژگونی و برکنش برای کلیه‌ی جداسازها

۴- منظور نمودن اثرات ناشی از بار قائم، بار دوطرفه و سرعت بارگذاری

در این راهنما از یک مدل عمومی برای شبیه سازی رفتار جداسازهای لرزه‌ای استفاده شده است. پارامترهای این مدل براساس نوع جداساز در هر بخش معرفی می‌شوند. "مدل عمومی دوخطی" که در این راهنما برای بیان رابطه‌ی میان نیروی برشی و جابجایی جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، با استفاده از سه پارامتر تعریف می‌گردد: "سختی/ارتجاعی"، k_e ، "سختی پس از تسلیم" k_p ، و "مقاومت مشخصه"، Q . بطور معمول زمانی که یک جداساز تعداد زیادی حلقه‌های بارگذاری و باربرداری را تجربه می‌کند، مقاومت مشخصه، Q ، تخمینی از پایداری رفتار هیسترتیک آن را ارائه می‌دهد. این سه پارامتر بخوبی نشانگر خصوصیات مکانیکی جداسازها بوده و برآورد قابل قبولی از رفتار غیرخطی آنها بدست می‌دهد. شکل زیر مدل دوخطی ایده‌آل که براساس نتایج داده‌های آزمایش ترسیم شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲- مدل دوخطی یک جداساز

در صورت انجام تحلیل‌های خطی، رفتار غیرخطی سامانه‌ی جداساز و وسایل جداسازی لرزه‌ای با مدل معادل خطی جایگزین می‌شوند. به این منظور از پارامترهای سختی موثر و میرایی معادل ویسکوز برای مدل سازی وسیله‌ی جداساز استفاده می‌گردد. این مقادیر برای جابجایی مشخص محاسبه می‌گردند. از این رو با تغییر مقدار جابجایی (جابجایی طراحی، جابجایی نهایی یا جابجایی برای سطوح عملکردی خاص) مقادیر معادل سختی و میرایی خطی نیاز به تصحیح دارند.

"سختی موثر" یک جداساز، k_{eff} ، در ناحیه پس از تسلیم را می‌توان براساس جملات سختی پس از تسلیم، k_p ، مقاومت مشخصه، Q ، و جابجایی جانبی متناظر، D ، به صورت زیر محاسبه نمود:

$$k_{eff} = k_p + \frac{Q}{D} \quad (1-3)$$

جابجایی تسلیم، D_y نیز که در برخی نرم افزارهای رایانه‌ای به سهولت برای تعریف مدل دوخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد، را می‌توان براساس پارامترهای k_p ، k_e و Q بدست آورد.

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \quad (2-3)$$



نیروی تسلیم، F_y ، در جابجایی تسلیم، D_y با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_y = Q + k_p D_y \quad (۳-۳)$$

"نسبت میرایی موثر"، β_{eff} ، معیاری از میزان جذب انرژی در حلقه‌ی کامل رفت و برگشت با دامنه‌ی جابجایی مورد نظر است. این نسبت به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi k_{eff} D^2} \quad (۴-۳)$$

در رابطه بالا E_D مقدار انرژی تلف شده در یک حلقه‌ی کامل رفت و برگشت است. در شکل (۳-۲) برای مدل دوخطی، E_D به عنوان سطح محصور در هر حلقه‌ی هستریزاس محدود بین جابجایی‌های جانبی $-D$ و $+D$ برآورد می‌گردد. به این ترتیب،

$$E_D = 4Q(D - D_y) \quad \text{و میرایی موثر } \beta_{eff} \text{، به فرم زیر خواهد بود:}$$

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi k_{eff} D^2} = \frac{2Q(D - D_y)}{\pi k_{eff} D^2} \quad (۵-۳)$$

در طراحی سختی موثر و میرایی موثر در جابجایی بیشینه، D_M ، محاسبه می‌شوند.

۳-۳- طراحی وسایل جداسازی لرزه‌ای

در شرایط ایده‌آل انتظار می‌رود تغییرمکان جانبی ساختمان جداسازی‌شده به جای طبقات ساختمان، در درجه اول در قالب تغییرشکل‌های بزرگ در تراز سامانه جداساز اتفاق افتد. بنابراین دستورالعمل طراحی این ساختمان‌ها به گونه‌ای تدوین گردیده تا سختی و مقاومت کافی برای محدود نمودن رفتار غیرارتجاعی روسازه تامین گردد.

اگرچه کنترل آسیب هدف تصریح شده این دستورالعمل‌ها نیست، طراحی برای محدود کردن پاسخ غیرارتجاعی، به طور مستقیم به کاهش میزان آسیب در سازه‌ها منجر می‌گردد.

در حالت کلی، از ساختمان‌های دارای جداسازی لرزه‌ای انتظار می‌رود اهداف عملکردی زیر را در زمان زلزله تامین نمایند:

- در رویدادهای لرزه‌ای ضعیف و متوسط آسیب در اعضای سازه‌ای، اجزای غیرسازه‌ای و محتویات ساختمان اتفاق نیفتد.



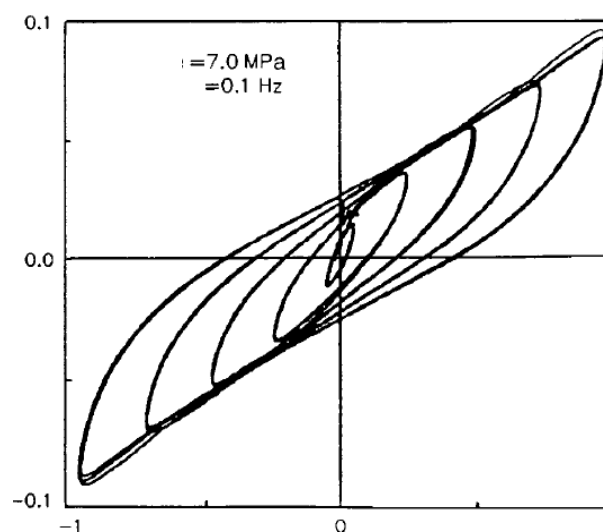
در رویدادهای لرزه‌ای شدید، سامانه جداسازی لرزه‌ای دچار آسیب و شکست نشده، آسیب جدی به اعضای سازه‌ای، آسیب گسترده به اجزای غیر سازه‌ای وارد نگردیده و وقفه قابل توجه در خدمت‌رسانی ساختمان اتفاق نیفتد. در طراحی ابعاد و مشخصات هندسی وسایل جداساز لرزه‌ای، در این راهنما از فلسفه‌ی طراحی تنش مجاز پیروی شده است. بر این مبنا، در محاسبه‌ی بار محوری قائم بر روی جداساز، بارهای مرده DL، بار زنده LL و بار محوری ناشی از زلزله EQ (در صورت لزوم) بدون ضریب در محاسبات مربوط به انتخاب ابعاد هندسی یا کنترل معیارهای پذیرش، مبنا خواهند بود.

برای محاسبه‌ی مقادیر جابجایی مورد نظر طراحی (D) از مقدار وزن موثر سازه $(DL + \alpha LL)$ استفاده می‌شود که ضریب $\alpha \leq 1.0$ بسته به میزان مشارکت بار زنده و برف در محاسبه‌ی نیروی جانبی لرزه‌ای و مطابق جدول ۳-۱ استاندارد شماره‌ی ۲۸۰۰ ایران تعیین می‌شود.

۳-۳-۱- جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد دارای ورق‌های فولادی

۳-۳-۱-۱- مدل رفتاری جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد دارای ورق‌های فولادی

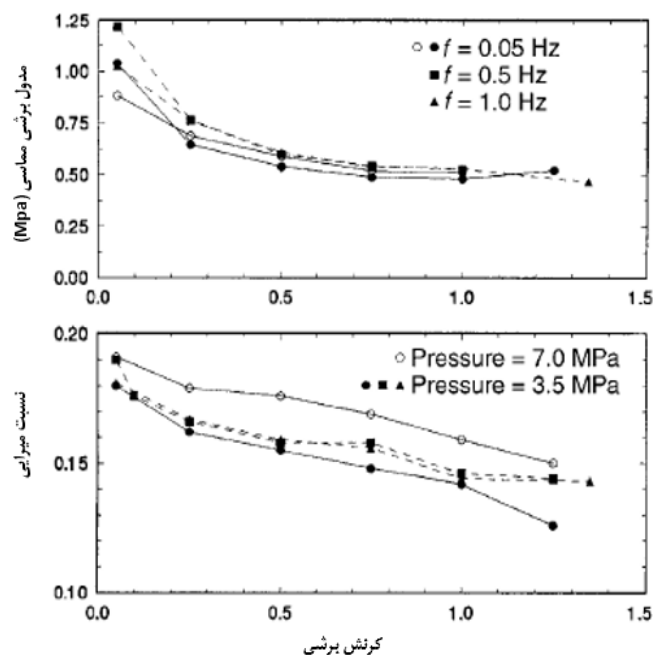
مدل هیسترتیک هموار و دوخطی که توانایی مدلسازی رفتار نشان داده شده در شکل (۳-۲) را داشته باشد، تا زمانی که حداکثر کرنش برشی در زیر ناحیه سخت شوندگی تقریباً برابر ۱.۵ تا ۲ باشد، مناسب خواهد بود. در طول این محدوده کرنشی، رفتار سخت شوندگی که بیشتر الاستومرها از خود به نمایش می‌گذارند دارای سختی مماسی تقریباً دو برابر سختی مماسی پیش از شروع سخت شوندگی می‌باشد.



شکل ۳-۳- حلقه‌های نیرو- تغییر شکل برای تکیه‌گاه لاستیکی با میرایی زیاد

در شکل (۳-۴) نمونه‌ای از نتایج آزمایش تکیه‌گاه‌های لاستیکی با میرایی زیاد نشان داده شده است. نتایج نشان داده شده مبین آن است که فرکانس بارگذاری و تنش فشاری در محدوده نشان داده شده اثرات محدودی روی مدول برشی مماسی و ضریب میرایی معادل دارند.





شکل ۳-۴- مدول برشی مماسی و نسبت میرایی مؤثر تکیه‌گاه لاستیکی با میرایی زیاد

سه پارامتر استفاده شده در شکل‌گیری مدل دوخطی برای جداسازهای با میرایی زیاد بطور متعارف با استفاده از مدول برشی مماسی، G ، و میرایی مؤثر، β_{eff} ، آنها مشخص می‌شود. مدول برشی مماسی از آزمایش‌های دینامیکی برش تعیین می‌گردد. مقدار میرایی مؤثر که از آزمایش‌های جداسازهای نمونه بدست می‌آید، بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ میرایی بحرانی تغییر می‌کند. به این ترتیب، سختی پس از تسلیم با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$k_p = \frac{GA_b}{t_t} \quad (۳-۶)$$

که A_b سطح محصور لاستیک، و t_t ضخامت کامل لاستیک است. مقاومت مشخصه، Q ، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} k_p D^2}{(2 - \pi \beta_{eff})D - 2D_y} \quad (۳-۷)$$

که D نشانگر تغییر مکان جداساز است. در رابطه بالا تا زمانی که پارامترهای k_p ، k_e و Q محاسبه نشده‌اند مقدار جابجایی تسلیم، D_y ، شناخته شده نیست. تخمین تقریبی D_y بدست آمده از نتایج آزمایش، می‌تواند به عنوان ضریبی از ضخامت کامل لاستیک، t_t ، بیان شود: $D_y = \lambda t_t$ ، که مقدار ضریب λ ، بین ۰.۰۵ تا ۰.۱ تغییر می‌کند.

با داشتن مقادیر k_p ، D_y و Q ، نیروی تسلیم جداساز، F_y ، به شرح زیر خواهد بود:

$$F_y = Q + k_p D_y \quad (۳-۸)$$



سختی ارتجاعی جداساز با میرایی زیاد با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$k_e = \frac{F_y}{D_y} = k_p + \frac{Q}{D_y} = k_p \left\{ 1 + \frac{\pi \beta_{eff} D^2}{\lambda t_t [(2 - \pi \beta_{eff}) D - 2 \lambda t_t]} \right\} \quad (۹-۳)$$

با قرار دادن $D_y = \lambda t_t$ در رابطه‌ی (β_{eff}) ، سختی موثر در جابجایی طرح می‌تواند بصورت زیر بدست آید:

$$k_{eff} = \frac{2Q(D - \lambda t_t)}{\pi \beta_{eff} D^2} \quad (۱۰-۳)$$

جداسازهای لاستیکی سختی قائم محدودی نیز دارند که پاسخ قائم سازه‌ی جداسازی شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. سختی قائم تکیه‌گاه‌های لاستیکی نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_t} \quad (۱۱-۳)$$

که در آن E_c مدول فشاری می باشد. از بین روابط تجربی پیشنهاد شده در مطالعات و دستورالعمل‌های مختلف برای محاسبه مدول فشاری روابطه زیر را می‌توان برای تکیه‌گاه‌های دایروی توصیه نمود.

$$E_c = \left[\frac{1}{6G_{eff} S^2} + \frac{4}{3K} \right]^{-1} \text{ or } E_c = E(1 + 2KS^2) \quad (۱۲-۳)$$

در رابطه فوق K مدول حجمی لاستیک (که معمولاً برابر ۲۰۰۰ Mpa فرض می شود) و S ضریب شکل می باشند. ضریب شکل به صورت نسبت سطح بارگذاری شده به سطح جانبی یک لایه لاستیکی تعریف می شود. برای تکیه‌گاه دایروی به قطر ϕ و ضخامت کامل لاستیک t_t ضریب شکل برابر است با :

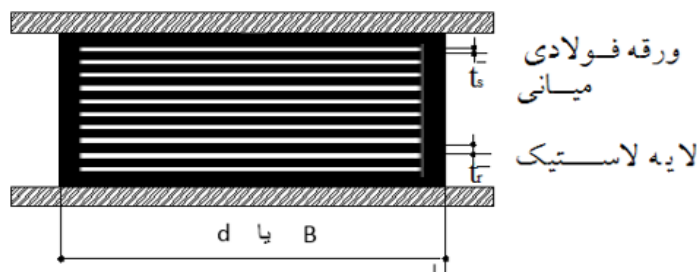
$$S = \frac{\phi}{4t_t} \quad (۱۳-۳)$$

تکیه‌گاه‌های لاستیکی عموماً با ضریب شکلی برابر با ۱۲ الی ۲۰ طراحی می شوند. با در نظر گرفتن $S=۱۵$ ، $G_{eff}=۱\text{Mpa}$ ، $K=۲۰۰۰\text{Mpa}$ نسبت سختی قائم به سختی مؤثر افقی تقریباً معادل ۷۰۰ بدست می آید. بنابراین دوره تناوب طبیعی ارتعاش قائم ساختمانهای جداسازی شده در حدود $\sqrt{700}$ (حدود ۲۶) برابر کمتر از دوره تناوب طبیعی ارتعاش افقی بوده و در محدوده کمتر از ۰/۱ ثانیه قرار دارد. این مقدار دوره تناوب قائم قابلیت تشدید شتاب زمین توسط جداساز را فراهم می‌سازد. نخستین تاثیر این تشدید تغییر بار قائم جداسازها می‌باشد که ممکن است نیاز باشد تا برای برخی عملکردهای طراحی مشخص در نظر گرفته شود. مورد دیگر در طراحی لرزه‌ای سازه جداسازی شده با جداساز لاستیکی، کاهش ارتفاع یک جداساز با افزایش تغییرشکل جانبی می‌باشد. درحالی‌که این کاهش ارتفاع معمولاً کم است ممکن است در مواردی که جداساز لاستیکی در ترکیب با سایر جداسازهایی که از نظر قائم صلب هستند قرار می‌گیرد (همچون جداساز لغزشی) حائز اهمیت باشد. علاوه بر این سازگاری تغییرمکان‌های قائم می‌تواند موجب بازتوزیع بارها شود.



۳-۱-۲-۳- مبانی طراحی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد دارای ورق‌های فولادی

عوامل اصلی در طراحی تکیه‌گاه‌های لاستیکی با ورق‌های فولادی مطابق شکل ۵-۳ عبارتند از:



شکل ۵-۳- مقطع جداساز لاستیکی با ورق‌های فولادی

d : در جداساز دایره‌ای، قطر؛

B : در جداساز چهارگوش، طول ضلع؛

t_r : ضخامت یک لایه‌ی لاستیک؛

N : تعداد لایه‌های لاستیک؛

t_s : ضخامت ورق‌های فولادی.

گام‌های پیشنهادی برای طراحی این نوع جداساز به ترتیب زیر است. در روند طراحی منظور از تغییرمکان، پارامتر تغییرمکان استفاده شده در طراحی سامانه جداساز لرزه‌ای است. این تغییرمکان در برخی آیین‌نامه‌ها تغییرمکان طراحی و در برخی دیگر تغییرمکان بیشینه است.

۱- تعیین وزن موثر لرزه‌ای سازه شامل بار مرده و درصدی از بار زنده مطابق استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران و نیروی قائم بر روی جداساز (P_{DL+LL}).

۲- تعیین دوره‌ی تناوب طبیعی اصلی سازه‌ی جداسازی شده (T).

- دوره‌ی تناوب اصلی سازه‌ی جداسازی شده T به مشخصات ساختگاه بستگی دارد. در طراحی به عنوان یک معیار کلی حدود ۳ برابر دوره‌ی تناوب اصلی همین سازه با پایه‌ی ثابت (با همان جرم و همان سیستم باربر لرزه‌ای) پیشنهاد می‌گردد.

۳- با داشتن دوره‌ی تناوب طبیعی و وزن سازه سختی جانبی موثر جداساز k_{eff} ، بار رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$k_{eff} = \frac{W}{g} + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2, (W = P_{DL+LL}) \quad (۱۴-۳)$$

۴- تعیین حداکثر مقادیر تغییرشکل نسبی برشی موثر (γ_{eff})، مدول یانگ (E) و مدول برشی (G) برای لاستیک با استفاده



از نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌ها.

مشخصات مربوط به رفتار لاستیک همچون مدول یانگ یا مدول برشی، توسط کارخانه‌ی سازنده‌ی لاستیک ارایه خواهد شد. جدول ارایه شده در پیوست شماره‌ی ۱، یک نمونه از این اطلاعات است. مقادیر تجربی که در این راهنما به عنوان مقادیر اولیه‌ی طراحی پیشنهاد می‌شوند عبارتند از:

- تغییرشکل نسبی برشی قابل تحمل لاستیک $\gamma \approx 100$ to 150 (درصد)

- مدول برشی به ترکیب مواد موجود در لاستیک بستگی دارد و در حدود $G \approx 0.69$ to 0.86 MPa است.

۵- تعیین نسبت میرایی معادل موثر ξ_{eff} .

کاربرد مواد پرکننده مانند دوده‌ی کربن در لاستیک باعث افزایش میرایی در رفتار دینامیکی جداساز و دستیابی به جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد می‌شود. در این حالت میرایی تا حد ۱۰ تا ۱۵ درصد قابل دسترسی است.

۶- تعیین فشار مجاز بر روی جداساز (σ_c) .

بر اساس نتایج تجربی این مقدار در حدود $6/9$ تا $7/84$ نیوتن بر میلی‌مترمربع پیشنهاد می‌شود. مقدار قطعی این عامل باید بر اساس آزمایش یا گزارش تایید شده‌ی سازنده‌ی قطعات تعیین شود.

۷- تعیین تغییرمکان طرح سامانه جداساز لرزه‌ای (D) با استفاده از روابط و روش‌های مندرج در دستورالعمل.

سامانه جداسازی و به تبع آن جداسازها باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که بتوانند تغییرمکان طرح (D) را با در نظر گرفتن حدود بالا و پایین سختی و مقاومت جداساز تحمل کنند (برای تعیین حدود بالا و پایین سختی و مقاومت جداساز به ضوابط و دستورالعمل‌های معتبر مراجعه شود). مقدار تغییرمکان (D)، به شدت لرزه‌خیزی منطقه و ضریب طیفی بستگی دارد که تابعی از مختصات ساختگاه، دوره‌ی تناوب اصلی سازه و میرایی سامانه‌ی جداسازی است.

۸- ضخامت کل جداساز لاستیکی صرفنظر از ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر اساس تغییرمکان، مشخص شده در بند

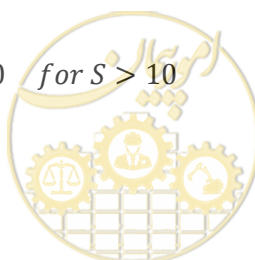
۷ و حداکثر تغییرشکل نسبی برشی قابل تحمل توسط لاستیک، مشخص شده در بند ۴، به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$t_t = \frac{D}{\gamma_{max}} \quad (15-3)$$

برای محاسبه‌ی ابعاد جداساز همچون ضخامت لایه‌های لاستیکی باید عامل ضریب شکل $(S = \frac{A}{A_f})$ برای جداساز از رابطه‌ی

زیر محاسبه شود:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c A}{t_t}}{\frac{G A}{t_t}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E(1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \quad \text{for } S > 10 \quad (16-3)$$



در این رابطه‌ها:

K_v : سختی قائم بالشتک؛

K_h : سختی افقی بالشتک

G : مدول برشی در محدوده‌ی ۰/۴ تا ۱/۰ مگاپاسکال

E : مدول یانگ در محدوده‌ی ۱/۵ تا ۵/۰ مگاپاسکال

E_c : مدول فشاری مجموعه‌ی ورق‌های لاستیکی و فولادی، $E_c = E(1 + 2kS^2)$ or $E_c = \left[\frac{1}{6G_{eff}S^2} + \frac{4}{3K} \right]^{-1}$

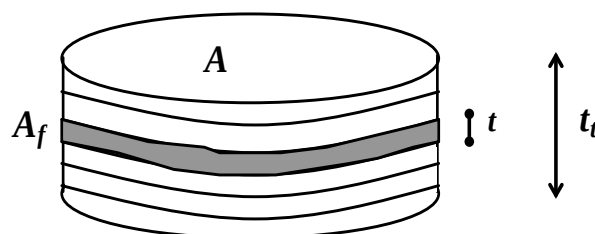
A : سطح مقطع کامل بالشتک (تحت بار)

t_t : کل ارتفاع لایه‌های لاستیک

k : ضریب اصلاح در محدوده‌ی ۱ تا ۰/۵

S : ضریب شکل (A/A_f)

A_f : سطح خارج از بارگذاری در اطراف یک لایه از جداساز (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- توصیف عامل‌های A و A_f

۹- مساحت جداساز برای تعیین ضخامت لایه‌ی لاستیکی و ابعاد آن از تعیین حداکثر سه مقدار محاسبه شده (A_1, A_2)

(A_3) در طی عملیات زیر به دست می‌آید.

الف) با داشتن بار قائم طراحی و تنش فشاری مجاز، مقدار (A_1) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_1 = \frac{P_{DL+LL}}{\sigma_c} \quad (۱۷-۳)$$

بار قائم در بند ۱، تعریف شده است.

ب) مساحت A_2 بر اساس محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = \frac{6 \times S \cdot P_{DL+LL}}{E_c \cdot \gamma_c|_{DL+LL}} \quad (۱۸-۳)$$



مقدار در نظر گرفته شده برای تغییر شکل نسبی برشی لاستیک تحت این بار $\gamma_c|_{DL+LL}$ باید از بیشینه تغییر شکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی کوچکتر باشد. برای این ضریب اطمینان عدد ۳ پیشنهاد می‌گردد.

$$\gamma_c|_{DL+LL} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \quad (۱۹-۳)$$

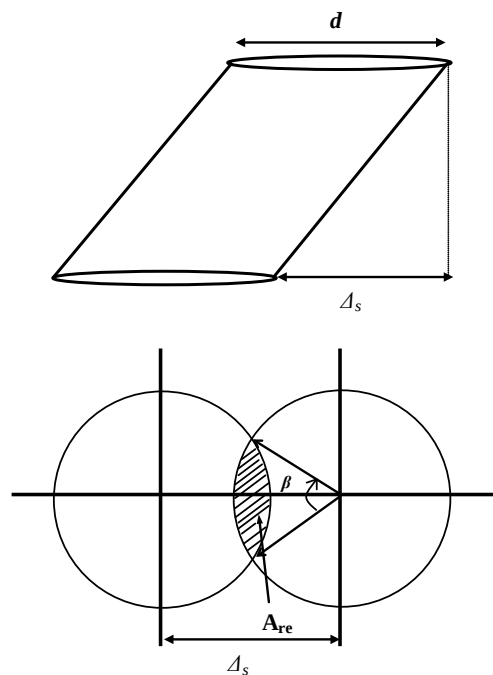
ε_b عبارت است از حداکثر تغییر شکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی.

پ) مساحت A_3 براساس حداقل سطح مقطع برای گسیختگی برشی، A_{sf} ، تعیین و محاسبه می‌گردد. حداقل مساحت سطح مقطع کاهش یافته A_{sf} برای احتراز از گسیختگی در برش از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{sf} = \frac{k_{eff} \cdot t_t}{G} \quad (۲۰-۳)$$

با استفاده از A_{sf} ابعاد تقریبی جداساز محاسبه می‌گردد، طول و عرض جداساز چهارگوش (L, B) یا قطر جداساز دایره‌ای (d).

سپس سطح مقطع موثر A_3 به عنوان سطح کاهش یافته A_{re} از روابط زیر بدست می‌آید:



شکل ۳-۷- معرفی عوامل Δ_s ، A_{re} ، β و d

$$A_3 = A_{re} = L \times (B - \Delta_s)$$

برای جداسازهای چهارگوش

$$A_3 = A_{re} = \frac{d^2}{4} \times (\beta - \sin \beta) \quad , \quad \beta = 2 \cos^{-1} \times \left(\frac{\Delta_s}{d} \right)$$

برای جداسازهای دایره‌ای

در این روابط Δ_s تغییر مکان جانبی جداساز، B عرض پیشنهادی در امتداد موازی Δ_s در جداسازهای چهارگوش و d قطر پیشنهادی جداسازهای دایره‌ای است.

(ت) سطح مقطع طراحی بالشتک برابر لایه‌ی لاستیک t_r :

$$t_r = \frac{d}{4S}$$

برای جداسازهای دایره‌ای

$$t_r = \frac{B \times L}{2(L + B) \times S}$$

برای جداسازهای چهارگوش

براساس مقادیر محاسبه شده مقدار t_r مناسب انتخاب می‌گردد. با داشتن مقادیر t_r و t_t تعداد لایه‌های لاستیک برابر با $N = \frac{t_t}{t_r}$

محاسبه می‌شود.

(ث) سطح مقطع طراحی بالشتک برابر است با حداکثر سه مقدار فوق:

$$A = \max(A_1, A_2, A_3)$$

۱۰- ضخامت ورق‌های فولادی t_s با توجه به میزان تنش تسلیم فولاد مصرفی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{ref} f_y} \quad (21-3)$$

در این رابطه، t_i و t_{i+1} ضخامت لایه‌های بالا و پایین ورق فولادی و f_y تنش مجاز فولاد هستند. مقدار سطح مقطع کاهش یافته A_{re} براساس ابعاد انتخاب شده در بند ۹-ث مجدداً محاسبه می‌گردد.

باید توجه کرد که ضخامت زیاد ورق‌های فولادی موجب افزایش قابل توجه وزن جداساز و ایجاد مشکل در حمل و نصب آن می‌شود. این مقدار در حدود ۲/۰ تا ۳ میلی‌متر توصیه می‌شود.

۱۱- برای جلوگیری از ناپایداری جداساز، متوسط تنش ایجاد شده در آن نباید از حدود مشخصی تجاوز کند. کمناش جداساز در مواردی مانند جداسازی سازه‌های نسبتاً سبک اهمیت بیش‌تری می‌یابد. حدود تعیین شده برای جداسازها به قرار زیر است:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} < \sigma_{cr} = \begin{cases} \frac{\pi G S d}{2\sqrt{2} t_t} \\ \frac{\pi G S L}{\sqrt{6} t_t} \end{cases} \quad (22-3)$$

σ_{cr} : تنش بحرانی کمناش جداسازهای با مقطع چهارگوش (L, B) و دایره‌ای (d)

۱۲- حداکثر تغییرشکل نسبی برشی جداساز (γ_{max}) باید محدود گردد.

با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۳ تحت بارهای قائم این مقدار به رابطه‌ی زیر محدود می‌شود:

$$\gamma_c \approx 6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \quad (23-3)$$

در این رابطه پارامترهای S و E_c باید براساس ابعاد انتخابی جداساز مجدداً محاسبه گردند.



۱۳- برای طراحی در حد نهایی با منظور نمودن اثرات زلزله، ضریب اطمینان ۱/۳۳ در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس حداکثر تغییرشکل نسبی برشی بر اثر ترکیب فشار (γ_c)، پیچش (γ_t) و بار جانبی لرزه‌ای (γ_{eq}) باید در رابطه زیر صدق کند.

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} < \frac{\epsilon_b}{1.33} \quad (۲۴-۳)$$

$$\gamma_c = \frac{6S \times P_{DL+LL+EQ}}{E_c \times A_{re}} \quad (۲۵-۳)$$

$$\gamma_t \approx \frac{B^2}{2t_t t_r} \times \frac{12De}{b^2 + l^2} \quad (۲۶-۳)$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_t} \quad (۲۷-۳)$$

b و l: ابعاد سازه با پلان مستطیلی

e: خروج از مرکزیت حقیقی سازه در تراز جداسازی به اضافه‌ی ۵ درصد بعد سازه عمود بر راستای زلزله‌ی موردنظر به عنوان خروج از مرکزیت تصادفی

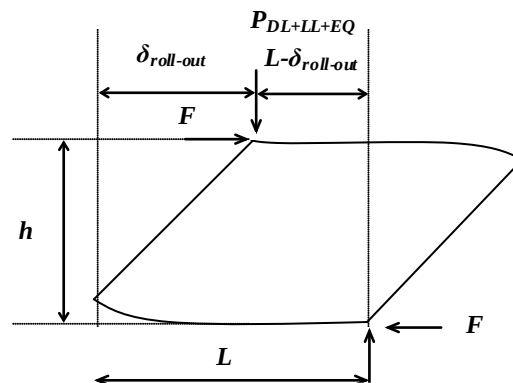
$P_{DL+LL+EQ}$: بار قائم روی جداساز با در نظر گرفتن نیروهای قائم و نیروی جانبی ناشی از زلزله.

A_{re} : سطح مقطع کاهش یافته جداساز محاسبه شده در بند ۹

۱۴- برای پرهیز از چرخش جداساز، تغییرمکان جداساز تحت زلزله باید شرایط زیر را ارضا نماید:

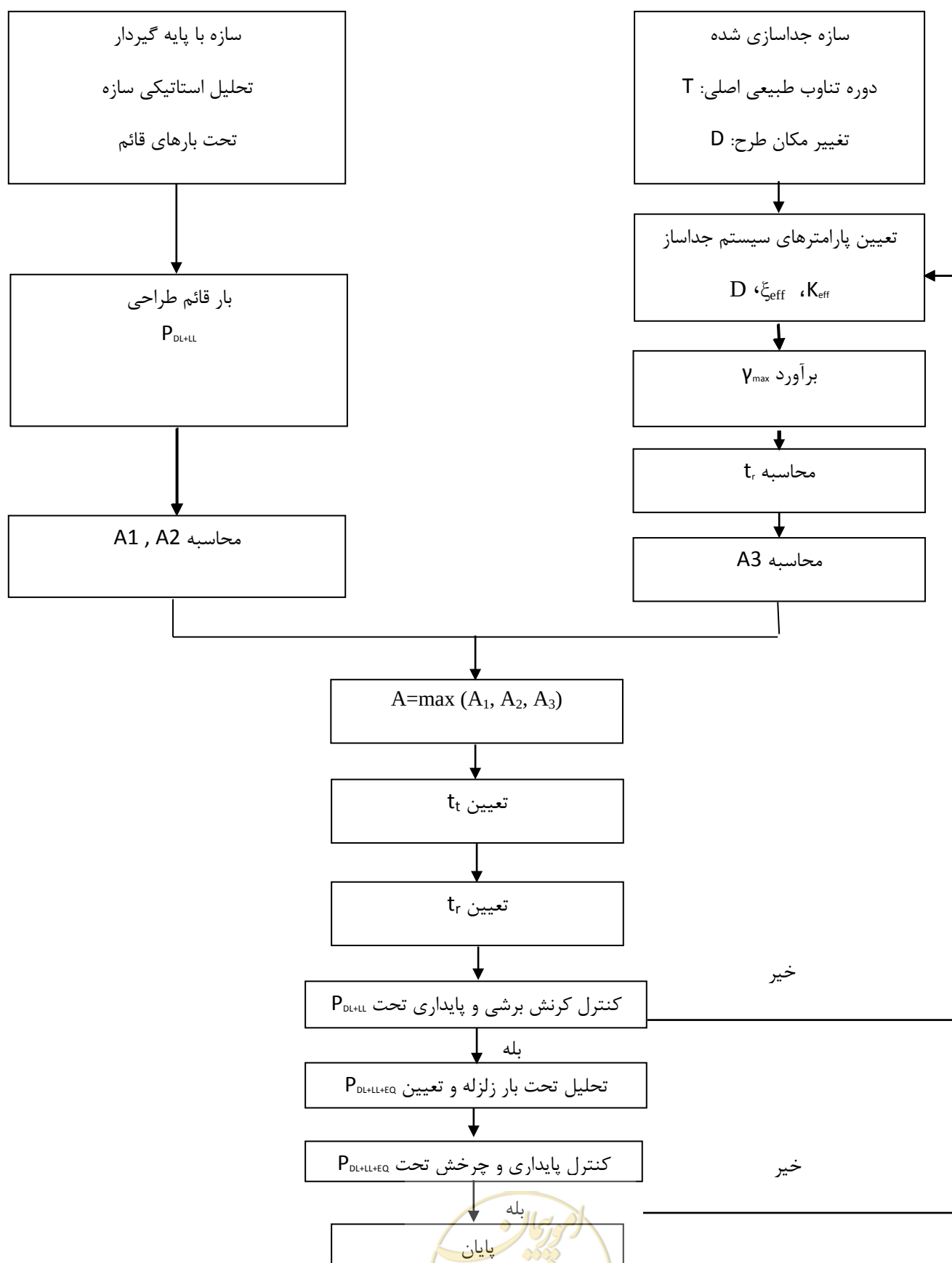
$$D \leq \delta_{roll\ out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \times L}{P_{DL+LL+EQ} + k_{eff} h} \quad (۲۸-۳)$$

که در آن، h: ارتفاع کل جداساز؛ k_{eff} : سختی موثر جداساز و L: بعد کوچک‌تر جداساز یا قطر آن است.



شکل ۳-۸- نمایش عامل‌های مورد نیاز در کنترل چرخش جداساز

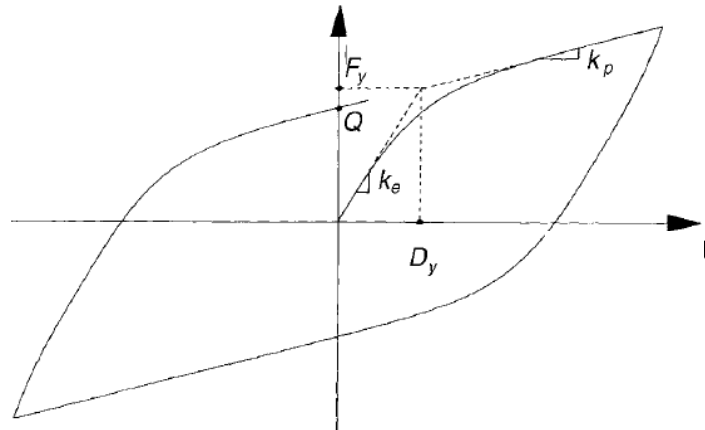
گام‌های طراحی ذکر شده بالا در نمودار (۹-۳) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳-۹- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد و جداساز لاستیکی با ورق‌های فولادی

۳-۳-۱- مدل رفتاری جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

منحنی ایده آل شده نیرو- تغییرشکل برای رفتار جداسازهای لاستیکی با هسته سربی در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۰- منحنی نمونه نیرو - تغییرشکل برای تکیه گاه لاستیکی - سربی

مقاومت مشخصه، Q ، در جداسازهای لاستیکی با هسته سربی با مقاومت برشی هسته سربی آن کنترل می‌شود. تسلیم برشی هسته سربی در تنش برشی نسبتاً پایین اتفاق می‌افتد. اما رفتار هیسترتیک این جداساز حتی در تعداد تکرارهای زیاد بارهای رفت و برگشتی همچنان پایدار است. به این ترتیب، مقاومت مشخصه، Q ، برابر است با حاصلضرب تنش تسلیم سرب، f_y ، و سطح هسته جاسازی شده‌ی سرب، A_1 ، که بصورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$Q = A_1 f_y \quad (۲۹-۳)$$

سختی پس از تسلیم، k_p ، نیز با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$k_p = \frac{A_b G f_L}{t_t} \quad (۳۰-۳)$$

که در آن A_b سطح محصور لاستیک، t_t ضخامت کامل لاستیک، و ضریب f_L ، بطور معمول برابر ۱.۵ در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه G بیان کننده مدول برشی مماسی لاستیک است که از آزمایش‌های دینامیکی برشی محاسبه می‌گردد. سختی این نوع جداساز لرزه‌ای پس از تسلیم (k_p) معمولاً بیش از سختی برشی جداسازهای بدون هسته سربی متناظر می‌باشد.

سختی ارتجاعی، k_e ، به آسانی قابل محاسبه نیست، اما می‌توان مقدار تقریبی آن را بصورت زیر تخمین زد:

$$6.5k_p \leq k_e \leq 10k_p \quad (۳۱-۳)$$



براساس رابطه (D_y) ، جابجایی تسلیم را می‌توان با فرض $k_e = \kappa k_p$ بدست آورد که در آن ضریب κ نسبت سختی ارتجاعی به سختی پس از تسلیم با مقداری بین ۶.۵ الی ۱۰ به فرم زیر مشخص می‌شود:

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \approx \frac{Q}{\kappa k_p - k_p} = \frac{Q}{(\kappa - 1)k_p} \quad (32-3)$$

با جایگزین نمودن جابجایی تسلیم و سختی موثر در رابطه (β_{eff}) ، "میرایی موثر" با عبارت‌های Q ، k_p و κ به فرم زیر تعریف خواهد شد:

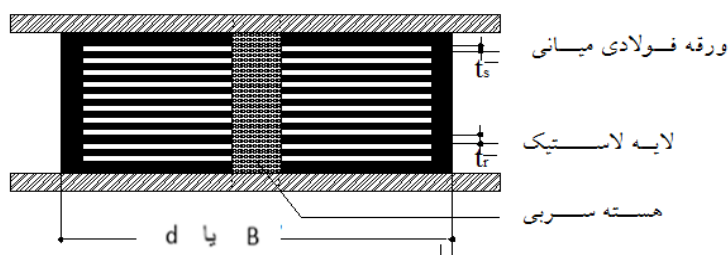
$$\beta_{eff} = \frac{2Q(D - D_y)}{\pi k_{eff} D^2} = \frac{2Q[(\kappa - 1)k_p D - Q]}{\pi(\kappa - 1)k_p(k_p D + Q)D} \quad (33-3)$$

پس از محاسبه مقاومت مشخصه، Q و سختی پس از تسلیم، k_p ، از آزمایش‌های جداسازهای نمونه اولیه، مدل دوخطی ارائه شده در بالا شکل گرفته و می‌تواند در تحلیل غیرخطی سازه‌ی مجهز به جداساز هسته سربی مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲-۲- مبانی طراحی جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

طراحی این نوع از جداسازها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

- طراحی هسته‌ی سربی؛
- طراحی بخش لاستیکی.



شکل ۳-۱۱- ساختمان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

بسیاری از گام‌های طراحی این جداساز شامل مواردی است که در بخش طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد قید گردیده است. توصیه‌های زیر در مورد نحوه‌ی طراحی این جداساز ارایه می‌شوند:

۱- تعیین وزن موثر لرزه‌ای سازه شامل بار مرده و درصدی از بار زنده مطابق استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران و نیروی قائم بر روی جداساز (P_{DL+LL}) .

۲- تعیین دوره‌ی تناوب طبیعی اصلی سازه‌ی جداسازی شده (T) .

- دوره‌ی تناوب اصلی سازه‌ی جداسازی شده T به مشخصات ساختگاه بستگی دارد. در طراحی به عنوان یک معیار کلی حدود ۳



برابر دوره‌ی تناوب اصلی همین سازه با پایه‌ی ثابت (با همان جرم و همان سیستم باربر لرزه‌ای) پیشنهاد می‌گردد.

۳- با داشتن دوره‌ی تناوب طبیعی و وزن سازه سختی جانبی موثر جداساز k_{eff} ، بار رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$k_{eff} = \frac{W}{g} + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (W = P_{DL+LL}) \quad (3-34)$$

۴- تعیین حداکثر مقادیر تغییرشکل نسبی برشی موثر (γ_{eff})، مدول یانگ (E) و مدول برشی (G) برای لاستیک با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌ها.

مشخصات مربوط به رفتار لاستیک همچون مدول یانگ یا مدول برشی، توسط کارخانه‌ی سازنده‌ی لاستیک ارایه خواهد شد. جدول ارایه شده در پیوست شماره‌ی ۱، یک نمونه از این اطلاعات است. مقادیر تجربی که در این راهنما به عنوان مقادیر اولیه‌ی طراحی پیشنهاد می‌شوند عبارتند از:

- تغییرشکل نسبی برشی قابل تحمل لاستیک $\gamma \approx 100$ to 150 (درصد)

- مدول برشی به ترکیب مواد موجود در لاستیک بستگی دارد و در حدود $G \approx 0.69$ to 0.86 MPa است.

۵- تعیین نسبت میرایی معادل موثر ξ_{eff} .

کاربرد مواد پرکننده مانند دوده‌ی کربن در لاستیک باعث افزایش میرایی در رفتار دینامیکی جداساز و دستیابی به جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد می‌شود. در این حالت میرایی تا حد ۱۰ تا ۱۵ درصد قابل دسترسی است.

۶- تعیین فشار مجاز بر روی جداساز (σ_c).

بر اساس نتایج تجربی این مقدار در حدود ۶/۹ تا ۷/۸۴ نیوتن بر میلی‌مترمربع پیشنهاد می‌شود. مقدار قطعی این عامل باید بر اساس آزمایش یا گزارش تایید شده‌ی سازنده‌ی قطعات تعیین شود.

۷- تعیین تغییرمکان سامانه جداساز لرزه‌ای (D) با استفاده از روابط و روش‌های مندرج در دستورالعمل.

سامانه جداسازی و به تبع آن جداسازها باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که بتوانند حداقل تغییرمکان (D) را با در نظر گرفتن حدود بالا و پایین سختی و مقاومت جداساز تحمل کنند (برای تعیین حدود بالا و پایین سختی و مقاومت جداساز به ضوابط و دستورالعمل‌های معتبر مراجعه شود). مقدار تغییرمکان (D)، به شدت لرزه‌خیزی منطقه و ضریب طیفی بستگی دارد که تابعی از مختصات ساختگاه، دوره‌ی تناوب اصلی سازه و میرایی سامانه‌ی جداسازی است.

۸- ضخامت کل جداساز لاستیکی صرفنظر از ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر اساس تغییرمکان، مشخص شده در بند

۷ و حداکثر تغییرشکل نسبی برشی قابل تحمل توسط لاستیک، مشخص شده در بند ۴، به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$t_t = \frac{D}{\gamma_{max}} \quad (3-35)$$



۹- طراحی هسته‌ی سربی.

هسته‌ی سربی برای تامین سختی اولیه‌ی مورد نیاز در تکیه‌گاه و از بین بردن انرژی ارتعاشی در زلزله‌های نسبتاً شدید و شدید از طریق فرایند تسلیم سرب طراحی می‌شود. در طراحی هسته‌ی سربی با در نظر گرفتن سختی پیش از تسلیم و سختی پس از تسلیم و رفتار دو خطی نیرو- تغییر مکان، بین مقاومت مشخصه (Q_d) با میزان انرژی مستهلک شده (W_d) یا نسبت میرایی موثر معادل (ξ_{eff}) رابطه‌ی زیر برقرار می‌گردد:

$$Q_d = \frac{W_d}{4(D - D_y)} = \frac{2\pi k_{eff} D^2 \xi_{eff}}{4(D - D_y)} \quad (3-36)$$

در این روابط:

$Q_d = A_p \times f_{py}$: مقاومت مشخصه؛

$f_{py} \approx 10.5 \text{ MPa}$: تنش تسلیم سرب؛

A_p : سطح مقطع هسته‌ی سربی؛

D_y : تغییر مکان در لحظه‌ی تسلیم؛

k_{eff} : سختی موثر معادل جداساز؛

D و D_y بر روی شکل (۳-۷) نمایش داده شده‌اند.

مقدار دقیق Q_d با تکرار سعی و خطا به شرح زیر قابل محاسبه است.

با فرض اینکه D_y در مقایسه با D بسیار کوچک است، مقدار اولیه برای Q_d از طریق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q_d = \frac{W_d}{4D} \quad (3-37)$$

با داشتن این مقدار، رابطه‌ی سختی ثانویه با سختی معادل عبارت است از:

$$k_{eff} D = Q_d + k_p D \quad (3-38)$$

در این رابطه k_p برابر است با سختی ثانویه‌ی جداساز.

مقدار دقیق D_y با سعی و خطا قابل محاسبه است. با توجه به اینکه D_y در مقایسه با D کوچک است، در محاسبات، مقدار تقریبی اولیه برای Q_d قابل استفاده است.

لازم است تا ابعاد هسته‌ی سربی تحت رابطه‌ی زیر کنترل شوند:

$$1.25 \leq \frac{h_p}{\Phi_p} \leq 5 \quad (3-39)$$



در این رابطه:

h_p : ارتفاع موثر هسته‌ی سربی؛

Φ_p : قطر هسته‌ی سربی.

۱۰- تعیین ضریب شکل برای جداساز:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c A}{t_t}}{\frac{GA}{t_t}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E(1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \quad \text{for } S > 10 \quad (40-3)$$

مساحت جداساز برای تعیین ضخامت لایه‌ی لاستیکی و ابعاد آن از تعیین حداکثر سه مقدار محاسبه شده (A_1, A_2, A_3) در طی عملیات زیر به دست می‌آید.

الف) با داشتن بار قائم طراحی و تنش فشاری مجاز، مقدار (A_1) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_1 = \frac{P_{DL+LL}}{\sigma_c} \quad (41-3)$$

بار قائم در بند ۱، تعریف شده است.

ب) مساحت A_2 بر اساس محدودیت تغییرشکل نسبی برشی تحت بار قائم به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = \frac{6 \times S \cdot P_{DL+LL}}{E_c \gamma_c|_{DL+LL}} \quad (42-3)$$

مقدار در نظر گرفته شده برای تغییرشکل نسبی برشی لاستیک تحت این بار $\gamma_c|_{DL+LL}$ باید از بیشینه تغییرشکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی کوچکتر باشد. برای این ضریب اطمینان عدد ۳ پیشنهاد می‌گردد.

$$\gamma_c|_{DL+LL} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \quad (43-3)$$

ε_b عبارت است از حداکثر تغییرشکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی.

پ) سختی پس از تسلیم تکیه‌گاه، k_p معمولاً بیش‌تر از سختی ارتجاعی این جداساز، k_r است. این سختی به شکل زیر معرفی می‌شود:

$$k_p = k_{eff} - \frac{Q_d}{D} \quad (44-3)$$

با داشتن k_p سختی ارتجاعی تکیه‌گاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$k_p = k_r \left[1 + 12 \frac{A_p}{A_1} \right] \quad (45-3)$$



ت) مساحت A_3 براساس حداقل سطح مقطع برای گسیختگی برشی، A_{sf} ، تعیین و محاسبه می‌گردد. حداقل مساحت سطح مقطع کاهش یافته A_{sf} برای احتراز از گسیختگی در برش از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{sf} = \frac{k_r \cdot t_t}{G} \quad (۴۶-۳)$$

با استفاده از A_{sf} ابعاد تقریبی جداساز محاسبه می‌گردد، طول و عرض جداساز چهارگوش (L, B) یا قطر جداساز دایره‌ای (d). سپس سطح مقطع موثر A_3 به عنوان سطح کاهش یافته A_{re} از روابط زیر بدست می‌آید:

$$A_3 = A_{re} = L \times (B - \Delta_s) \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

$$A_3 = A_{re} = \frac{d^2}{4} \times (\beta - \sin \beta) \quad , \quad \beta = 2 \cos^{-1} \times \left(\frac{\Delta_s}{d} \right) \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

در این روابط Δ_s تغییر مکان جانبی جداساز، B عرض پیشنهادی در امتداد موازی Δ_s در جداسازهای چهارگوش و d قطر پیشنهادی جداسازهای دایره‌ای است.

ث) سطح مقطع طراحی بالشتک برابر است با حداکثر سه مقدار فوق:

$$A = \max (A_1, A_2, A_3)$$

ج) انتخاب ابعاد مناسب برای جداساز لرزه‌ای براساس سطح مقطع بدست آمده.

۱۱- برآورد ضریب شکل جداساز (S) با استفاده از سختی قائم k_v و سختی افقی جداساز k_h

$$6S^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$6.73S^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

حداقل مقدار توصیه شده برای نسبت سختی ذکر شده $\frac{K_v}{K_h}$ برابر است با ۴۰۰.

۱۲- ضخامت یک لایه‌ی لاستیک t_r محاسبه می‌شود:

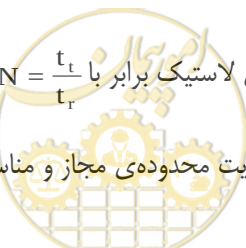
$$t_r = \frac{d}{4S} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$t_r = \frac{B \times L}{2(L + B) \times S} \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

در این روابط d قطر جداساز است.

۱۳- با داشتن مقادیر t_r و t_t تعداد لایه‌های لاستیک برابر با $N = \frac{t_t}{t_r}$ محاسبه می‌شود.

۱۴- ضخامت ورق‌های فولادی t_s با رعایت محدوده‌ی مجاز و مناسب محاسبه می‌شوند:



$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{ref} f_y} \geq 2mm \quad (۴۷-۳)$$

در این رابطه، t_i و t_{i+1} ضخامت لایه‌های بالا و پایین ورق فولادی و f_y تنش مجاز فولاد هستند.

۱۵- کماتش جداساز در مواردی مانند جداسازی سازه‌های نسبتاً سبک اهمیت بیش‌تری می‌یابد. متوسط تنش ایجاد

شده در جداساز $\frac{P}{A}$ نباید از تنش بحرانی (σ_{cr}) تجاوز کند:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{2}\pi GS}{t_t} \times R \quad (۴۸-۳)$$

R: شعاع ژیراسیون ($\frac{b\sqrt{3}}{2}$ برای جداساز چهارگوش و $\frac{d}{2}$ برای جداساز دایره‌ای)

ترکیبات مورد استفاده در ساخت لاستیک برای تامین میرایی در جداساز بر روی سختی جداساز اثر دارد. در زمان طراحی و ساخت باید به میزان ترکیبات و تاثیر آن‌ها توجه نمود. همچنین لازم است در زمان طراحی، کنترل‌های لازم برای پرهیز از کماتش یا ناپایداری جداساز صورت پذیرد.

۱۶- حداکثر تغییرشکل نسبی برشی جداساز (γ_{max}) باید محدود گردد.

با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۳ تحت بارهای قائم این مقدار به رابطه‌ی زیر محدود می‌شود:

$$\gamma_c \approx 6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\epsilon_b}{3} \quad (۴۹-۳)$$

در این رابطه پارامترهای S و E_c باید براساس ابعاد انتخابی جداساز مجدداً محاسبه گردند. k و E برای میزان سفتی مشخصی از لاستیک را می‌توان با آزمایش و از جداولی مانند جدول مندرج در پیوست شماره‌ی ۲ به دست آورد.

۱۷- برای طراحی در حد نهایی با منظور نمودن اثرات زلزله، ضریب اطمینان ۱/۳۳ در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس

حداکثر تغییرشکل نسبی برشی بر اثر ترکیب فشار (γ_c)، پیچش (γ_t) و بار جانبی لرزه‌ای (γ_{eq}) باید در رابطه زیر صدق کند.

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} < \frac{\epsilon_b}{1.33} \quad (۵۰-۳)$$

$$\gamma_c = \frac{6S \times P_{DL+LL+EQ}}{E_c \times A_{re}} \quad (۵۱-۳)$$

$$\gamma_t \approx \frac{B^2}{2t_t t_r} \times \frac{12De}{b^2 + l^2} \quad (۵۲-۳)$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_t} \quad (۵۳-۳)$$

b و l: ابعاد سازه با پلان مستطیلی



e: خروج از مرکزیت حقیقی سازه در تراز جداسازی به اضافه‌ی ۵ درصد بعد سازه عمود بر راستای زلزله‌ی موردنظر به عنوان خروج از مرکزیت تصادفی

$P_{DL+LL+EQ}$: بار قائم روی جداساز با در نظر گرفتن نیروهای قائم و نیروی جانبی ناشی از زلزله.

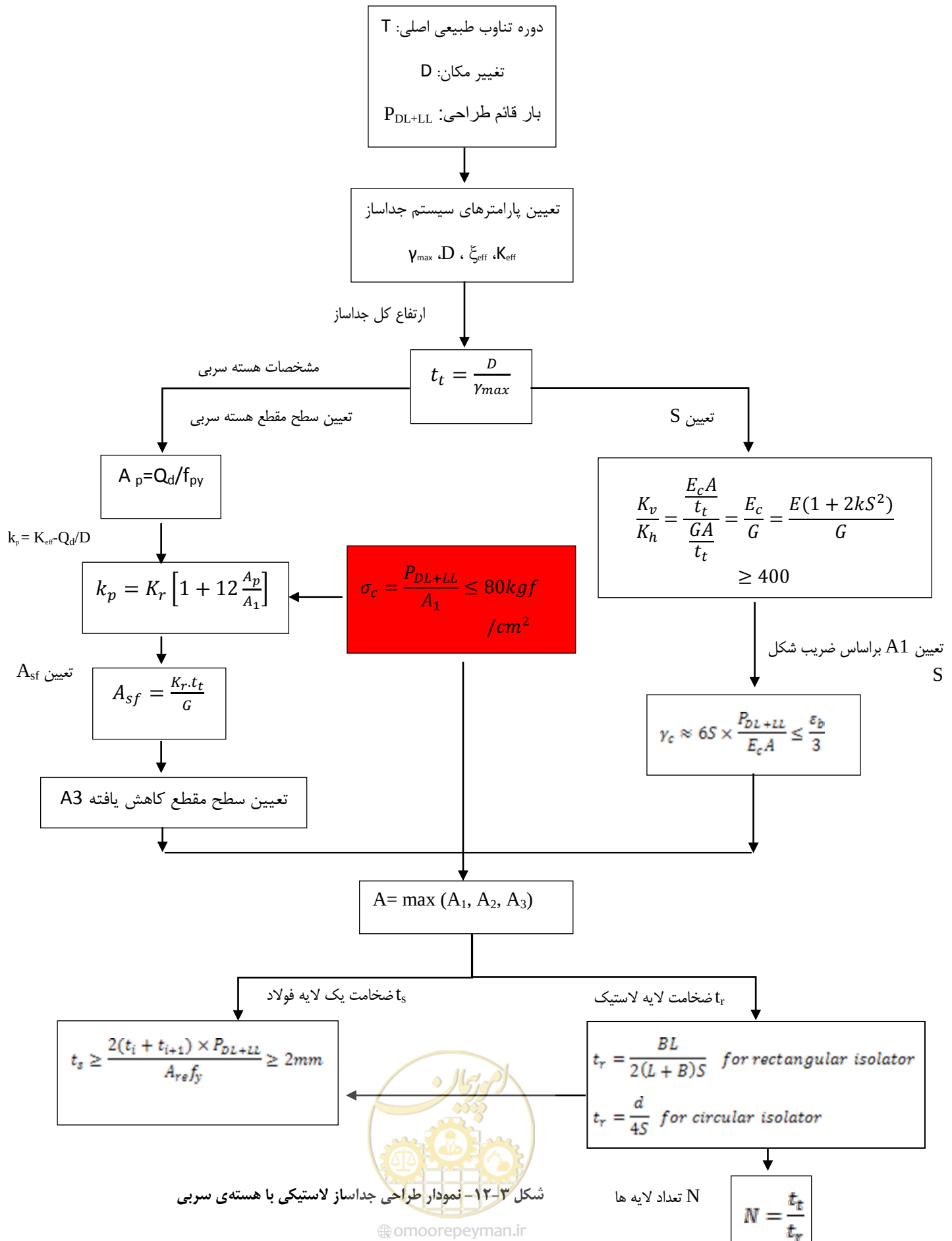
A_{re} : سطح مقطع کاهش یافته جداساز محاسبه شده در بند ۱۰

۱۸- برای پرهیز از چرخش جداساز، تغییرمکان جداساز تحت زلزله باید شرایط زیر را ارضا نماید:

$$D \leq \delta_{roll\ out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \times L}{P_{DL+LL+EQ} + k_{eff}h} \quad (۵۴-۳)$$

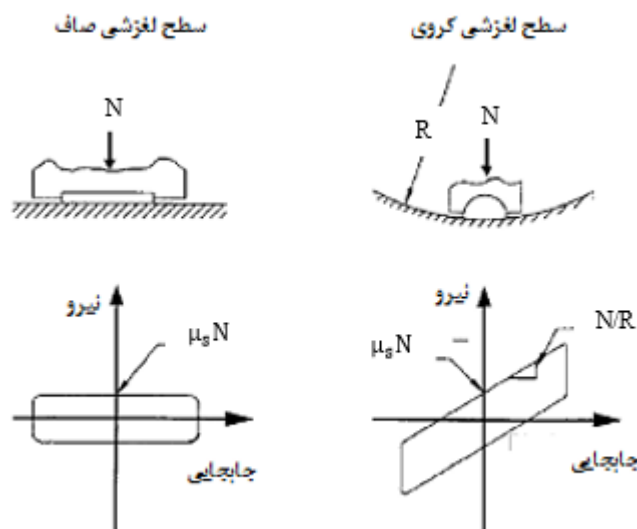
h: ارتفاع کل جداساز، k_{eff} : سختی موثر جداساز و L: بعد کوچک‌تر جداساز یا قطر آن است.





۳-۳-۳- جداسازهای آونگ اصطکاکی

استفاده از سطوح لغزشی به عنوان جداسازهای لرزه‌ای در انتقال نیروی ناشی از حرکت قوی زمین به روسازه موثر می‌باشد. بر این اساس جداسازهای اصطکاکی با سطح لغزشی صاف یا کروی مطابق آنچه در شکل زیر نشان داده شده، کاربرد فراوان دارد.



شکل ۳-۱۳- حلقه‌های نیرو - جابجایی تکیه‌گاه‌های لغزشی

جداسازهای آونگ اصطکاکی همانگونه که در فصل ۲ ذکر شد شامل سطوح با امکان لغزش در مسیرهای انحنادار بوده و قابلیت برگشت‌پذیری در آنها به کمک این انحنا تامین می‌گردد. در ادامه روابط لازم برای مدلسازی و طراحی این وسایل جداسازی ارائه شده است.

۳-۳-۱- مدل رفتاری جداسازهای آونگ اصطکاکی

نیروی جانبی جداساز آونگ اصطکاکی از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$F = \frac{N}{R} U + \mu_s N \operatorname{sgn}[\dot{U}] \quad (3-55)$$

که در آن U تغییر مکان، $\dot{U}$ سرعت لغزش، R شعاع انحنا، μ_s ضریب اصطکاک لغزشی و N بار قائم تکیه‌گاه می‌باشند. بار قائم شامل بار ثقلی (W)، اثر شتاب قائم زمین $[\ddot{U}_v]$ و بار قائم ناشی از لنگر واژگونی (PS) است.

مؤلفه قائم شتاب زلزله دو مشخصه از این جداسازها را تحت تأثیر قرار می‌دهد:

- تغییرات نیروی محوری (N)
- ضریب اصطکاک جداساز

اگر شتاب قائم زمین قابل صرف‌نظر باشد، اثرات ناشی از آن در برآورد نیروی محوری منظور نمی‌گردد.



نیروی محوری جداساز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$N = W \left[1 + \frac{\ddot{U}_v}{g} + \frac{P_s}{W} \right] \quad (۵۶-۳)$$

در یک سطح لغزش انحنادار، در صورت ثابت بودن شعاع انحناء، نیروی بازگرداننده‌ی جداساز با فرض تغییر شکل‌های کوچک به صورت خطی تغییر می‌کند. بر این اساس، مقاومت مشخصه جداساز آونگ اصطکاکی، Q ، با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$Q = \mu_s N \quad (۵۷-۳)$$

پارامتر μ_s "ضریب اصطکاک لغزشی" است. در این جداسازها، ضریب اصطکاک، به پارامترهای متعددی بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از: ساختار سطح لغزش، نیروی محوری جداساز و سرعت لغزش. رابطه‌ی ضریب اصطکاک با سرعت حرکت سطح لغزش به شکل زیر ارائه شده است:

$$\mu_s = \mu_{max} - (\mu_{max} - \mu_{min}) e^{-\xi |\dot{D}|} \quad (۵۸-۳)$$

در این رابطه μ_{max} و μ_{min} به ترتیب ضرایب اصطکاک در سرعت‌های بالا و پایین می‌باشند؛ $\dot{D}$ بیان کننده‌ی سرعت جابجایی جداساز؛ ξ نیز وارون "سرعت لغزش مشخصه" خوانده می‌شود که انتقال از μ_{max} به μ_{min} را کنترل نموده و از طریق آزمایش به دست می‌آید. مقدار پیشنهادی برای ξ تقریباً ۱ ثانیه بر سانتی‌متر است.

لازم به ذکر است که ضریب اصطکاک مورد نظر در روابط بالا علاوه بر سرعت نسبت به نیروی محوری جداساز نیز حساس است. با این حال با توجه به ناچیز بودن این امر در مطالعات مهندسی، در بسیاری از موارد از تاثیر آن صرف‌نظر می‌گردد.

سختی پس از تسلیم این وسیله برابر N/R خواهد بود، که در آن R شعاع انحنای سطح است. براساس مشاهدات سختی اولیه جداساز آونگ اصطکاکی (پیش از آغاز لغزش)، k_e ، بطور متعارف بیش از ۱۰۰ برابر بزرگتر از سختی پس از تسلیم، k_p ، در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب، جابجایی تسلیم، D_y ، با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \approx \frac{Q}{100k_p} = \frac{\mu_s N}{100(N/R)} = \frac{\mu_s R}{100} \quad (۵۹-۳)$$

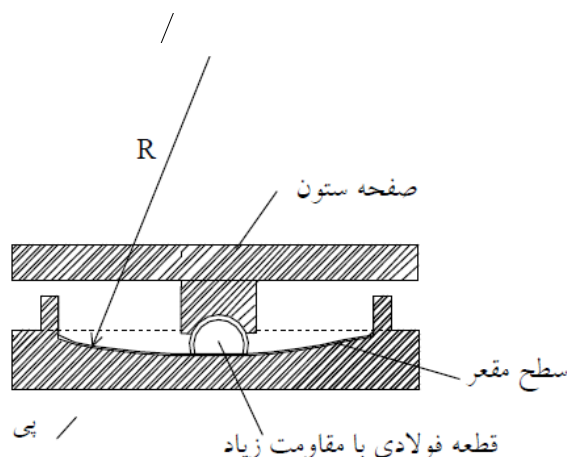
مقدار جابجایی تسلیم در جداساز آونگ اصطکاکی بسیار کوچک بوده و می‌توان بطور تقریبی آن را معادل ۲ میلی‌متر در نظر گرفت.



۳-۳-۲- مبانی طراحی جداسازهای آونگ اصطکاکی

عوامل مورد نظر طراحی در جداسازهای آونگ اصطکاکی عبارتند از:

شعاع انحنای سطح جداساز (R)، ضریب اصطکاک لغزشی سطح جداساز (μ_s) و ابعاد جداساز.



شکل ۳-۱۴- توصیف بخش‌های مختلف یک جداساز آونگ اصطکاکی

شعاع انحنای سطح جداساز (R) بر اساس دوره‌ی تناوب طبیعی مورد نظر (T)، و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$R = g \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad (3-60)$$

g : شتاب جاذبه‌ی زمین؛

T : دوره‌ی تناوب طبیعی مورد نظر.

ابعاد جداساز بر اساس تغییر مکان مورد نظر D تعیین می‌گردد. میزان انرژی جذب شده توسط جداساز، بر اساس ضریب اصطکاک لغزشی جداساز (μ_s) و تغییر مکان سازه در تراز جداسازی قابل اندازه‌گیری است.

از آنجا که جابجایی تسلیم، D_y ، بسیار کوچکتر از جابجایی موردنظر، D ، است، "سطح حلقه هیسترتیک" در جداساز آونگ اصطکاکی می‌تواند ساده شده و به فرم تقریبی زیر برآورد گردد:

$$E_D = 4Q(D - D_y) \approx 4QD = 4\mu_s ND \quad (3-61)$$

"میرایی موثر" جداساز آونگ اصطکاکی بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \left(\frac{\mu_s}{\mu_s + \frac{D}{R}}\right) \quad (3-62)$$

ξ_{eff} : میرایی موثر.



میرایی مناسب بسته به مشخصات سامانه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر می‌نماید.

سختی موثر سامانه‌ی جداسازی در تغییر مکان مورد نظر با صرف نظر از اثرات شتاب قائم به وسیله‌ی رابطه‌ی زیر قابل برآورد است:

$$k_{eff} = \frac{W}{R} \times \left(\frac{\mu_s W}{D} \right) \quad (۶۳-۳)$$

در این رابطه، W نیروی محوری جداساز است.

تغییر مکان قائم سازه δ_v با رابطه‌ی زیر برآورد می‌گردد:

$$\delta_v \approx \frac{D^2}{2R} \quad (۶۴-۳)$$

برای اطمینان از بازگشت سازه به نقطه‌ی شروع حرکت، نیروی بازگرداننده باید بیش‌تر از نیروی اصطکاک باشد. از این‌رو لازم

است تا:

$$\frac{D}{R} \geq \mu_s \quad (۶۵-۳)$$



فصل چهارم

میراگرها، توصیه‌های طراحی



۴-۱- کلیات

در این بخش توضیحات مختصری در خصوص تجهیزات معمول در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای به منظور افزایش ظرفیت استهلاک انرژی در زمان وقوع زمین‌لرزه در تراز جداسازی ارائه می‌شود.

۴-۲- معرفی تجهیزات

برای کاهش تغییرمکان سامانه‌ی جداسازی در زمان ارتعاش و محدود کردن آن به مقادیر حاصل از دستورالعمل، باید از تجهیزاتی با قابلیت مناسب در جذب انرژی استفاده نمود. میراگرها در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای به این منظور به کار می‌روند. مقدار مناسب جذب انرژی در زمان بروز زمین‌لرزه به شدت لرزه‌ی ورودی بستگی دارد. با انتخاب میرایی مناسب علاوه بر کاهش دامنه‌ی تغییرمکان، امکان کاهش پاسخ شتاب نیز به وجود خواهد آمد. برای ایجاد استهلاک انرژی، از فرایند تسلیم فلزات، اصطکاک و لزجت سیالات استفاده شده است. در مواردی امکان استهلاک انرژی در جداسازها به وجود آمده و میراگر و جداساز به صورت یکپارچه در یک تجهیز ارایه شده‌اند. این تجهیزات باید قابلیت حمل نیروی قائم را نیز داشته باشند. اما در موارد بسیاری میراگرها به صورت مستقل و جداگانه ساخته شده‌اند و در این صورت الزامی برای قابلیت حمل بار قائم در آن‌ها وجود ندارد.

یکی از عواملی که لازم است طراح در حین بررسی، انتخاب میراگر و مدل‌سازی به آن توجه نشان دهد، مقدار بیشینه نیروی ایجاد شده در میراگر ناشی از پاسخ‌های بیشینه جابجایی، سرعت نسبی و شتاب مطلق طبقات سازه است. میراگرهای به کار رفته در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

- میراگرهای هیسترتیک یا فلزی مانند میراگرهای سربی، میراگرهای فولادی، میراگرهای اصطکاکی. در این میراگرها استهلاک انرژی به واسطه رفتار هیستریزس نیرو- تغییرمکان ایجاد می‌گردد.

- میراگرهای ویسکوز مانند میراگرهای روغنی. در این میراگرها، استهلاک انرژی ناشی از لزجت سیال و متناسب با سرعت نسبی حرکت پیستون میراگر نسبت به بدنه آن است.

نیروی ایجاد شده در میراگرهای هیستریزس بستگی به پارامترهای مشخصه‌ی ماده‌ی مصرفی در آن‌ها دارد. فلزاتی مانند فولاد یا سرب به عنوان میراگر قابلیت مناسب داشته و دوام خوبی را در طول زمان از خود نشان داده‌اند. از این رو هزینه‌ی نگهداری آن‌ها نیز بسیار کم است.

در میراگرهای اصطکاکی، بخشی از بار قائم ناشی از وزن سازه که توسط میراگر تحمل می‌گردد، در آن نیروی جانبی ثابتی ناشی از حاصلضرب این بار قائم در ضریب اصطکاک بوجود می‌آورد. این نیرو در حالت سازه‌ی ساکن بیشتر بوده و ظرفیت لازم برای تحمل بارهای جانبی خدمت‌رسانی را تامین می‌نماید. با آغاز حرکت جانبی در سازه، این نیرو می‌تواند به عنوان یک نیروی مقاوم ثابت، انرژی حرکتی سازه را مستهلک نماید. در این میراگرها منحنی هیستریزس نیرو- تغییرمکان نزدیک به الاستیک-کاملاً پلاستیک است. در طراحی این نوع میراگر باید به موضوع دوام و تغییرات ایجاد شده در نیروی اصطکاک (ضریب اصطکاک) در طول زمان توجه گردد.

در میراگرهای ویسکوز از میرایی ناشی از لزجت سیالات در حین حرکت استفاده می‌شود. این میراگرها از اجزای مکانیکی پیچیده‌تر از گونه‌های بالا تشکیل شده و نگهداری آن‌ها در مدت بهره‌برداری مستلزم توجه بیش‌تری است. عملکرد این میراگرها و پاسخ آن‌ها



تابع دمای محیط بوده و به مقدار زیادی به سرعت پاسخ بستگی دارد. مطابق دستورالعمل طراحی ساختمان‌های جداسازی شده، در فرایند طراحی این سازه‌ها میزان میرایی موجود در سیستم جداساز به صورت میرایی ویسکوز معادل در نظر گرفته می‌شود. این معادل‌سازی به کمک روابط موجود در دستورالعمل و با هدف تطبیق روش‌های طراحی و استفاده از طیف‌های پاسخ است. طراح در طراحی میراگرها علاوه بر ضوابط و معیارهای طراحی مندرج در دستورالعمل باید از قابلیت‌های زیر در میراگر اطمینان حاصل نماید:

- قابلیت استهلاک انرژی؛
 - امکان تغییر مکان کافی؛
 - امکان عمل در کلبه‌ی جهت‌هایی که احتمال حرکت برای آنها وجود دارد؛
 - دوام میراگر؛
 - موارد مربوط به کنترل کیفیت.
- طراح باید تغییرات ایجاد شده در مشخصات فیزیکی میراگر ناشی از حرارت به وجود آمده در زمان ارتعاش را به خوبی شناسایی و از عدم بروز آسیب در رفتار میراگر در اثر این پدیده اطمینان حاصل کند.
- طراح باید به کمک مدل‌سازی و آزمایش‌های لازم از پایداری چرخه‌های هیستریزس ایجاد شده توسط میراگر در زمان وقوع تغییر مکان‌های بزرگ اطمینان حاصل نماید.
- پیش‌بینی تمهیدات لازم توسط طراح برای اطمینان از دوام میراگر پیش از نصب ضروری است. همچنین طراح باید در برنامه‌ی بازرسی دوره‌ای سامانه‌ی جداسازی اقدامات لازم برای بازرسی از وضعیت میراگرها را نیز پیش‌بینی نماید.
- طراح باید تاثیرات ناشی از رفتار میراگر بر روی روسازه را در طی مرحله‌ی ارزیابی رفتار و تهیه مدل تحلیلی سازه کنترل نماید. طراح می‌تواند با ترکیب میراگرهایی که تنها در یک امتداد امکان حرکت دارند، امکان عمل در دو جهت متعام را به وجود آورد. در فرایند کنترل کیفیت محصول در کارخانه، کلبه‌ی میراگرها باید مورد آزمایش قرار گیرند. در آزمایش، هر یک از محصولات باید تحت مقدار واقعی سرعت یا تغییر مکان کنترل شوند.
- در طراحی، اغلب پاسخ سازه و سامانه‌ی جداسازی تحت معیارهای طراحی لرزه‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد و مشخصات میراگر برای این حالت بهینه‌یابی می‌گردد. این امر امکان بزرگنمایی پاسخ در زمان وقوع زلزله‌های نسبتاً کوچک‌تر یا پاسخ‌های بزرگ در زمان وزش بادهای شدید و سلب آرامش کاربران را به همراه دارد. از این رو لازم است تا طراح عملکرد میراگر را در زمان وقوع زلزله‌های متوسط یا بادهای شدید نیز کنترل نماید.
- در چیدمان میراگرها باید به کاهش خروج از مرکزیت سامانه‌ی جداسازی و افزایش سختی پیچشی توجه نمود.
- در طراحی مشخصات فنی میراگر، طراح می‌تواند برای طراحی میراگر از نیروهایی بزرگتر از مقدار بوجود آمده در زمان وقوع زمین‌لرزه استفاده نماید.

طراح در ارزیابی میرایی ناشی از به کارگیری میراگرها از روش‌های مختلف بهره می‌گیرد. از جمله این روش‌ها عبارتند از:

- مقایسه‌ی طیف پاسخ زلزله‌ی ناشی از مقادیر میرایی مختلف؛
- رسم منحنی‌های تشدید در سازه‌های مجهز به مقادیر مختلف میرایی؛
- ارزیابی میزان میرایی معادل به روش‌های معمول به صلاحدید طراح.



فصل پنجم

ملاحظات اجرایی در طراحی سازه‌های جداسازی شده



۵-۱- کلیات

در طراحی ساختمان‌های مجهز به سامانه‌های جداساز لرزه‌ای باید از "دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداسازی لرزه‌ای" و "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ ایران" استفاده نمود. در این فصل از این راهنما، ملاحظات اجرایی در روند طراحی و اجرای ساختمان‌های جداسازی شده ارایه می‌گردد.

۵-۲- ملاحظات عمومی در زمان طراحی

سامانه‌ی جداسازی طراحی شده باید دارای قابلیت‌های مندرج در جدول شماره‌ی (۵-۱) بوده و تامین این قابلیت‌ها باید در مرحله‌ی طراحی در نظر گرفته شده و توسط آزمایش‌های معینی تایید گردند:

جدول ۵-۱- قابلیت‌های مورد نیاز برای سامانه‌های جداسازی لرزه‌ای

قابلیت	هدف
مقاوم در برابر وزن سازه	جلوگیری از تاب خوردن سازه در زمان زلزله توزیع نامناسب بارهای قائم بر روی جداسازها
سختی افقی کم	تامین دوره‌ی تناوب طبیعی مورد نیاز
سختی قائم زیاد	جلوگیری از تاب خوردن سازه Rocking
جذب و از بین بردن انرژی کافی	کنترل تغییر مکان جانبی
سختی اولیه‌ی کافی	جلوگیری از تغییر مکان‌های ناخواسته در زمان وزش باد و لرزه‌های خفیف

تعیین مشخصات فنی سامانه‌ی جداسازی در تراز جداسازی (تعداد و موقعیت جداسازها و میراگرهای مورد نیاز، دوره‌ی تناوب سازه‌ی جداسازی شده، رواداری‌ها و ...) و اجزای سامانه، با توجه به عملکرد مورد انتظار از سازه‌ی جداسازی شده در زمان زلزله صورت می‌گیرد. در این زمینه طراح باید مبنای عملکرد مورد انتظار خود را با توجه به رفتار اجزای سازه‌ای، تجهیزات و اجزای غیرسازه‌ای (مثل سامانه‌های رایانه‌ای یا تجهیزات حساس به لرزه یا دارای اهمیت) یا آرامش ساکنان یا کاربران ساختمان تعیین نماید و با توجه به یک یا همه‌ی این معیارها، برای مشخصات اصلی مانند سختی و میرایی سامانه‌ی جداسازی تصمیم‌گیری کند.

در ضمن طراحی باید به ایمنی سازه و سامانه‌ی جداسازی به عنوان یکی از حدود و سطوح عملکرد توجه کرد. با توجه به تاثیر سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای بر روی پاسخ روسازه، عملکرد لرزه‌ای سازه‌ی جداسازی شده با نحوه‌ی طراحی و عملکرد اجزای سامانه‌ی جداسازی (جداسازها و میراگرها) تعیین می‌شود.

از این رو برای شناخت عملکرد سازه‌ی جداسازی شده، طراح باید در حد امکان در زمینه‌ی مواد اولیه و مشخصات فنی اجزای سامانه‌ی جداساز و رفتار آن‌ها در زمان ارتعاش شناخت داشته باشد.

طراح باید پاسخ اجزای سامانه همچون پاسخ نیرو- تغییر شکل قائم و افقی ایجاد شده در آن را در برابر بار لرزه‌ای مبنای طرح، محاسبه و این اجزا را به گونه‌ای طراحی نماید تا امکان ارایه عملکرد در محدوده‌ی پاسخ مورد تقاضای برآورد شده برای آن‌ها وجود داشته باشد.

عدم قطعیت در بار لرزه‌ای طرح ساختگاه باعث می‌شود تا بسته به شرایط بستر و ساختگاه، پاسخ نهایی به طور قطعی و کامل مشخص نباشد. با توجه به این عوامل طراح باید در مورد جداسازها که تمام پاسخ روسازه به آن‌ها منتقل خواهد شد، حدود عملکردی



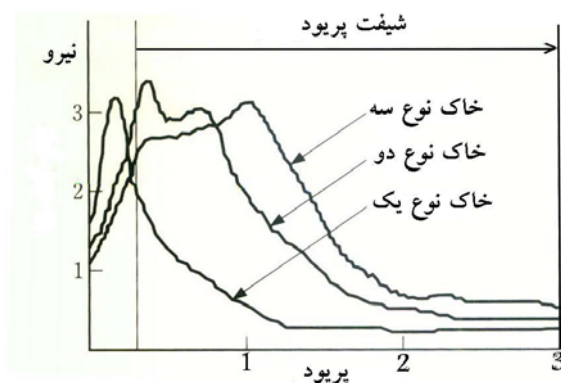
نهایی مانند حد شکست و خرابی جداسازها یا کماتش در آن‌ها را در حد امکان مشخص و بررسی نموده و در طراحی منظور کند. همچنین پیش‌بینی قابلیت حمل بار قائم روسازه را نیز تحت این شرایط در طراحی سامانه مدنظر داشته باشد.

۵-۳- مشخصات بستر

بررسی نوع بستر سازه از اقدامات اولیه‌ی لازم در طراحی سازه است. وجود بستر نرم برای سازه‌ی جداسازی شده شرایط ویژه‌ای به وجود آورده و مستلزم توجه خاص و دقیق طراح به موضوع است. با توجه به ویژگی‌های دینامیکی سازه‌های جداسازی شده باید مطالعه‌ی دقیق بر روی تاریخچه‌ی لرزه‌ای منطقه و بافت بستر سازه به منظور شناسایی زلزله‌های احتمالی و ویژگی‌های آن‌ها مانند محتوای فرکانسی یا حداکثر شتاب و غیره صورت پذیرد.

۵-۴- اثر نوع خاک

جداسازی لرزه‌ای در خاک‌های سخت عملکرد مطلوبی دارد. با کاهش سختی خاک یا کاهش سرعت موج برشی در آن، تاثیر جداسازی کاهش می‌یابد. اگر با توجه به مفاد آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ ایران، نوع خاک یک، دو و سه به ترتیب دارای خاک نرم‌تری باشند، همانطور که به صورت نمادین در شکل (۵-۱) نشان داده شده‌است، با نرم شدن خاک دوره‌ی تناوب‌های بلند در موج انتقالی در آن تقویت می‌شوند. این امر با توجه به ماهیت جداسازی لرزه‌ای در عملکرد مطلوب آن تاثیر منفی به جا می‌گذارند. طراح باید با دانش کافی از نوع خاک ساختگاه، در مورد انتخاب نوع و دوره‌ی تناوب طبیعی سازه‌ی جداسازی شده تصمیم‌گیری نماید.



شکل ۵-۱- با نرم شدن خاک پاسخ سازه در دوره‌ی تناوب‌های بلندتر افزایش می‌یابد

۵-۵- آثار حوزه‌ی نزدیک

در فاصله‌ی نزدیک از کانون زلزله اثرات نزدیکی به گسل، وجود فرکانس‌های ارتعاشی کوتاه در ارتعاشات زلزله و وجود اثر ضربه‌ای در تحریکات ناشی از زلزله اغلب موجب پیچیده‌شدن عملکرد جداسازی لرزه‌ای و عدم قطعیت در کارکرد مناسب آن است. از این رو در



مواردی که سازه‌ی مورد مطالعه در فاصله‌ی نزدیکی از گسل فعال و با احتمال بالای فعالیت در طول عمر پیش‌بینی شده‌ی سازه قرار گرفته باشد مطالعه‌ی ویژه بر روی این موضوع ضروری است.

۵-۶- اثر مولفه‌ی قائم زمین لرزه

اثر مولفه‌ی قائم زمین لرزه در طراحی سازه‌های با پایه‌های ثابت در حالت عادی به جز بندهای محدود آیین‌نامه‌ای در نظر گرفته نشده است. در سازه‌های جداسازی شده با توجه به احتمال وجود تجهیزات و دستگاه‌های حساس به شتاب در داخل سازه مانند دستگاه‌های ابزار دقیق و رایانه‌ها باید اثر شتاب قائم زلزله به طور خاص مورد توجه قرار گیرد. همچنین در زمان استفاده از سامانه‌های اصطکاکی در جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها توجه به تاثیر مولفه‌ی قائم شتاب زلزله بر روی عملکرد جداسازهای اصطکاکی ضروری است.

۵-۷- توجه به تاثیر مودهای بالاتر

برای عملکرد مناسب‌تر سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای لازم است سهم عمده‌ی پاسخ سازه در مود اول حرکت آن قرار گیرد. افزایش سهم مودهای بالاتر باعث کاهش تاثیر جداسازی لرزه‌ای در عملکرد لرزه‌ای سازه می‌شود. با به‌اصطلاح "لاغرتر شدن ساختمان" که به مفهوم افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی آن است، یا "افزایش میرایی در سامانه‌ی جداسازی" یا "افزایش رفتار غیرخطی در سامانه‌ی جداسازی" سهم مودهای بالاتر ارتعاشی سازه افزایش می‌یابد.

۵-۸- ارتفاع ساختمان

افزایش ارتفاع ساختمان در حالت کلی متناظر با افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی آن است. باید توجه نمود که در جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها با نزدیک شدن دوره‌ی تناوب مودهای ارتعاشی در سازه بدون جداسازی لرزه‌ای به مود ارتعاشی سازه‌ی جداسازی شده، تاثیر روش جداسازی لرزه‌ای کاهش می‌یابد.

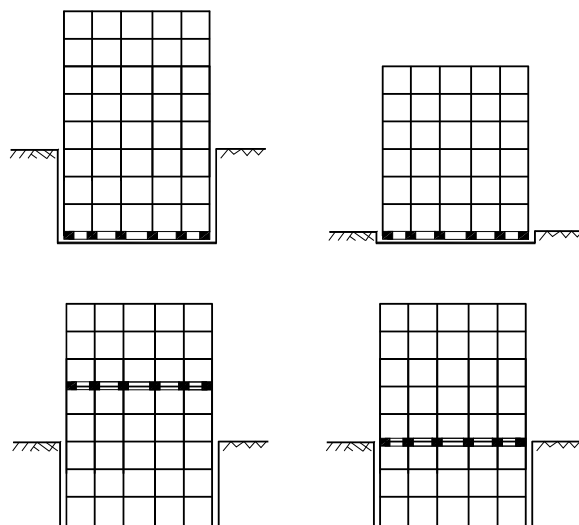
۵-۹- رفتار روسازه

دوره‌ی تناوب طبیعی روسازه تابعی از "ارتفاع سازه"، "جنس سازه"، "سامانه‌ی سازه‌ای" و "شکل سازه" است. از نظر مفهومی، در حالت ایده‌آل، سازه‌ی جداسازی شده یک سامانه‌ی یک درجه‌ی آزادی با یک جرم صلب بر روی یک فنر نرم در نظر گرفته می‌شود. هر چه سختی جانبی روسازه بیش‌تر باشد، شتاب طبقات، نیروی اعمالی به سازه در زمان زلزله و تغییرشکل نسبی در طبقات کاهش خواهد یافت.

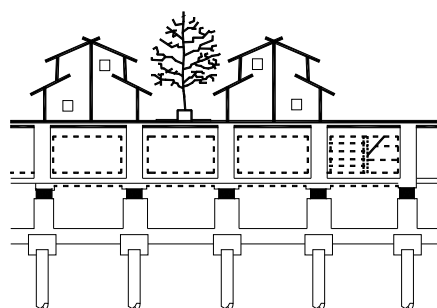
۵-۱۰- انتخاب موقعیت تجهیزات جداسازی در ارتفاع

تجهیزات جداسازی را می‌توان در سازه‌های مختلف و با توجه به عوامل گوناگون، در ترازهای مختلفی از سازه قرار داد. شکل‌های (۲-۵) و (۳-۵) نشان‌دهنده‌ی موقعیت‌های مختلف سامانه‌ی جداسازی در ارتفاع یک ساختمان است.





شکل ۵-۲- جداسازی در ارتفاع



شکل ۵-۳- جداسازی لرزه‌ای سازه‌ی زیرزمینی

تجهیزات جداسازی را می‌توان در بستر سازه و یا در طبقات میانی سازه نصب کرد. انتخاب موقعیت این تجهیزات با توجه به عواملی همچون کاربری سازه، عملکرد سازه‌ای، هزینه‌ی اجرای سازه و امکان اجرا صورت می‌گیرد.

۵-۱۱- طراحی بر اساس شرایط محیطی

اجزای سامانه‌ی جداسازی باید برای عوامل محیطی مانند تغییرات ناشی از گذشت زمان، خزش، خستگی، دما، رطوبت یا مواد خارجی مخرب، احتمال خوردگی و زنگ‌زدگی، اتصال بین لایه‌های جداسازهای اصطکاکی و مانند این موارد طراحی شوند. مقاومت این اجزا در برابر آتش به ویژه در زمانی که این اجزا در تراز میانی ساختمان و در معرض مواد اشتعال‌زا قرار دارند باید توسط طراح مدنظر قرار گیرد. نتایج تحلیل و طراحی سازه‌های جداسازی شده شامل زیرسازه، سامانه‌ی جداسازی و روسازه باید با توجه به تغییر مشخصات مواد جداسازها در طول عمر سازه و با در نظر گرفتن عوامل محیطی کنترل گردد.

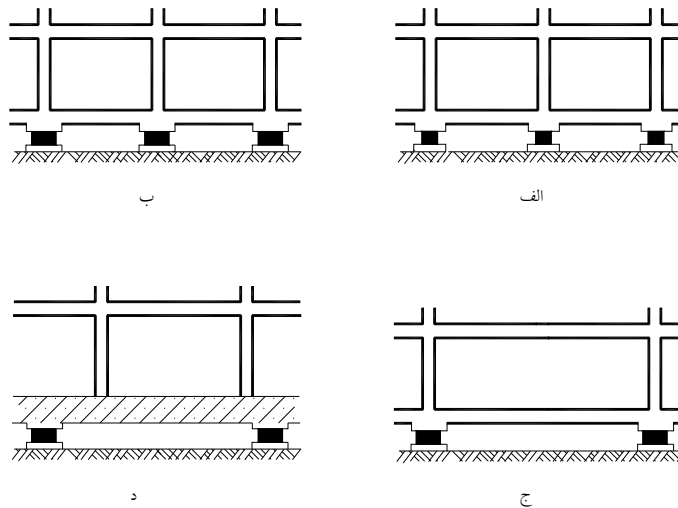
۵-۱۲- مقاومت در برابر آتش

این قطعات باید با رعایت ضوابطی مشابه آنچه برای تیرها و ستون‌ها تدوین شده در مقابل آتش محافظت شوند.



۵-۱۳- سختی جانبی جداسازها

برای افزایش تاثیر جداسازی لرزه‌ای باید به اندازه‌ی کافی سختی جانبی جداسازها را کاهش داده و دوره‌ی تناوب طبیعی سازه را افزایش داد. شکل (۵-۴) حالت‌های مختلفی از چیدمان جداسازها و ابعاد آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۴- چیدمان (تعداد و ابعاد جداسازها، موقعیت آن‌ها و فواصل آن‌ها از هم) در نتایج طراحی تاثیر گذار است

تحت این شرایط، نکاتی در هر حالت قابل توجه خواهد بود:

در شکل (۵-۴ الف) با کاهش قطر جداسازها سختی جانبی سامانه‌ی جداسازی کاهش داده شده است. اما کاهش قطر جداسازهای لاستیکی با کاهش حداکثر تغییرمکان جداساز توأم بوده و آن را محدود می‌سازد.

در شکل (۵-۴ ب)، قطر تکیه‌گاه‌ها افزایش یافته و تغییرشکل ممکن برای سامانه‌ی جداسازی افزایش یافته است. از سوی دیگر این افزایش قطر ممکن است به افزایش سختی جانبی و در نهایت کاهش تاثیر سامانه‌ی جداسازی در کنترل نیروی ناشی از زلزله منجر گردد.

به منظور افزایش تاثیر جداسازی لرزه‌ای، همانند شکل ۵-۴ ج، بهتر است مساحت مقطع یک جداساز را در حد ممکن افزوده و تعداد کل جداسازها را کاهش داد.

در مقایسه با حالت (۵-۴ ج)، مطابق شکل (۵-۴ د) می‌توان جداسازها را با اجرای تیر صلب در زیر سازه و روی تراز جداسازی، بدون توجه به موقعیت ستون‌ها توزیع نمود. این امر تاثیر قابل توجهی بر روی هزینه‌ی اجرای شالوده داشته و به علاوه نیازمند مطالعه و محاسبه‌ی دقیق و اطمینان از عملکرد آن است.

عملکرد تکیه‌گاه‌های لاستیکی تحت کشش و برش در مقایسه با فشار و برش نسبتاً ناشناخته‌تر است. آزمایش‌های کم‌تری در این زمینه صورت گرفته و نتایج تجربی کم‌تری در دسترس است. در عین حال همانطور که در بخش‌های دیگر نیز ذکر گردیده اتصال بین لاستیک و ورقه‌های فولادی با چسب مخصوص انجام می‌شود. این اتصال تحت نیروی کششی دارای ضعف است. با افزایش تعداد دفعات بارگذاری کششی حفره‌هایی بین ورقه‌ی فولادی و لاستیک پدید می‌آید. این حفره‌ها با تکرار بارگذاری توسعه پیدا می‌کنند. از این



رو لازم است تا طراح و سازنده در زمان طراحی و ساخت تجهیزات و همچنین طراحی سازه تمهیداتی را برای اجتناب از اعمال بارهای کششی به جداسازها در نظر بگیرند. پیشنهاد می‌شود در ضمن طراحی سازه بارهای قائم را در دو انتهای قاب‌ها متمرکز نموده و با انتقال بار فشاری وزن سازه بر روی بخش‌هایی از پی که در زمان نوسان سازه احتمال به وجود آمدن تنش‌های کششی در آن‌ها وجود دارد، شدت بار کششی را در این نقاط کم‌تر کرد. در این حال باید توجه نمود که این امر بر روی سختی جانبی سازه اثر گذاشته و ممکن است دوره‌ی تناوب طبیعی آن را طولانی‌تر نماید. از این رو با توجه به این امر باید محدودیت‌های لازم در حین طراحی در نظر گرفته شود.

۵-۱۴- چیدمان جداسازها در پلان

در ساختمان‌های جداسازی شده مبنای چیدمان جداسازهای لرزه‌ای، جلوگیری از بروز پیچش در سازه است. برای این منظور و برای احتراز از بروز پیچش در سازه، این جداسازها به گونه‌ای قرار داده می‌شوند تا مرکز سختی مجموعه‌ی جداسازها با مرکز جرم سازه دارای مختصات یکسان در صفحه باشد. از سوی دیگر در مواردی مانند ساختمان‌های غیر متقارن امکان عدم تامین این شرط به وجود می‌آید. در این حال می‌توان با استفاده از میراگرها در سازه اثر پیچش را کاهش داد. با نصب میراگرها در محیط سازه می‌توان تغییر شکل‌های ناشی از پیچش را به نحو موثری کاهش داد.

۵-۱۵- تعویض تجهیزات جداسازی

جداسازها در سازه‌ی جدا شده وظیفه‌ی تامین تغییر شکل لازم و جذب انرژی را به عهده دارند. یکی از نکات قابل توجه در زمان طراحی و اجرای این نوع سازه‌ها پیش‌بینی تمهیدات لازم برای تعویض تجهیزات جداسازی است. در مواردی پس از بروز زلزله جداسازها و یا میراگرها از کارایی افتاده و نیاز به تعویض آن‌ها بوجود می‌آید. از این رو باید امکاناتی برای تعویض این تجهیزات در شرایط خاص پیش‌بینی شود.

۵-۱۶- فاصله‌ی آزاد جانبی و قائم

عملکرد مناسب جداسازی لرزه‌ای ناشی از "امکان تغییر شکل قابل توجه و جذب انرژی" در سامانه‌ی جداسازی است. ایمنی تجهیزات جداسازی در زمان ارتعاش زلزله با کنترل‌های لازم در زمان ساخت و نصب این تجهیزات تامین خواهد شد. در مورد سازه، کنترل‌های لازم به منظور اطمینان از رفتار سازه در زمان بروز زلزله‌های شدید الزامی است. در سازه‌های جداسازی شده، تغییر شکل زیاد تجهیزات جداسازی در زمان زلزله‌های شدید مانع از انتقال نیروی ناشی از زلزله به سازه خواهد شد. از این رو سازه باید مطابق شکل (۵-۵) امکان حرکت در فضای اطراف خود در حد مورد نیاز را داشته باشد. معمولاً فاصله‌ی افقی بین ۱/۵ تا ۲ برابر تغییر مکان محاسبه شده برای سازه‌ی جداسازی شده در زمان رخداد زلزله‌های شدید برای این منظور در نظر گرفته می‌شود. در تعیین فاصله‌ی آزاد افقی لازم، باید به تغییر مکان افقی ناشی از پیچش سازه نیز توجه گردد.

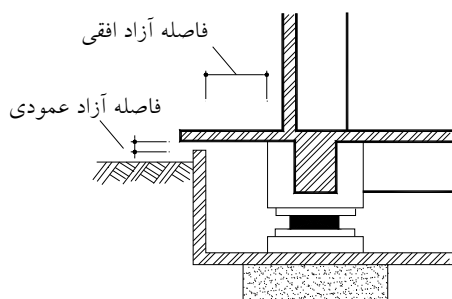
- فاصله‌ی قائم فراهم شده برای تغییر مکان‌های موجود در تراز جداسازی برای جداسازهای لاستیکی باید با توجه به عوامل زیر

تعیین شود:

- تغییر شکل‌های ناشی از خزش در جداساز؛



- تغییر شکل‌های ناشی از تغییرات دما؛
 - تغییر شکل‌های قائم ناشی از تاب خوردن سازه در زمان ارتعاش‌های جانبی؛
 - ملاحظات اجرایی نصب و دسترسی به جداساز.
- در عمل معمولاً مقادیر حاصل از ملاحظات اجرایی در تعیین این عامل حاکم خواهد بود.



شکل ۵-۵- رواداری در بخش‌های مختلف

- با توجه به شرایط خاص سازه‌های جداسازی شده در این مورد، طراح با در نظر گرفتن شرایط مالک، کاربر و مسوول نگهداری سازه باید اقدامات لازم را برای تهیه مدارک راهنما انجام دهد. این مدارک راهنما برای ساختمان‌ها می‌تواند شامل موضوعات زیر باشد:
- اقدامات مورد نیاز از سوی مسوول نگهداری سازه، تهیه دفترچه راهنمای نگهداری؛
- تهیه دفترچه اصول معماری سازه برای کاربرد توسط کاربر سازه؛
- تهیه و نصب تابلوی نشان‌دهنده "سازه‌ی قابل حرکت در زمان زلزله" در اطراف بخش جداسازی شده.

۱۷-۵- طرح اعضای سازه‌ای مجاور واحدهای جداساز

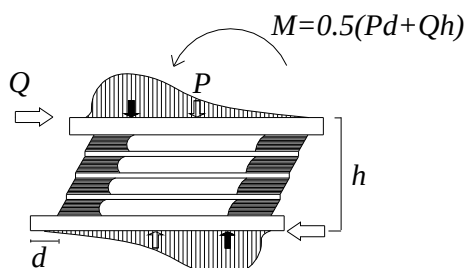
در زمان زلزله‌های شدید، تغییر مکان تراز جداسازی و تغییر شکل‌های جداسازها تا چند ده سانتی‌متر هم می‌رسد. در این حالت در اطراف جداسازها تنش‌های اضافی نیز ایجاد می‌گردد. از این رو لازم است تا اتصالات و جزییات سازه‌ای و معماری در اطراف این تجهیزات با دقت طراحی و ایمن سازی گردند.

همچنین در صورت وجود تجهیزات و محتویات داخلی مانند مخازن آب و به‌طور کلی مایعات داخل ساختمان‌ها که به دلیل تلاطم مایع به تغییر مکان‌های زیاد و ارتعاشات با دوره‌ی تناوب نسبتاً بلند حساس هستند توجه کافی به تاثیر رفتار سازه‌ی جداسازی شده بر رفتار آن‌ها ضروری است.

در جداسازهایی که وزن سازه را بر روی خود دارند، در زمان وقوع تغییر مکان‌های افقی، موقعیت نیروی موثر ناشی از تنش توزیع شده در جداساز جابه‌جا می‌گردد. بر اساس فاصله‌ی محل اثر این نیرو با مرکز جداساز، لنگر خمشی M در روسازه و سازه‌ی شالوده به وجود می‌آید. در اغلب موارد این لنگر توسط تیر (و ستون) روی جداساز تحمل می‌شود. ایجاد یک کف کاملاً صلب در بالای تراز جداسازی در افزایش تاثیر جداسازی و کاهش ارتفاع مورد نیاز برای سامانه‌ی جداسازی نقش چشم‌گیری دارد.



به طور کلی سازه‌ی پی در مقایسه با جداساز دارای سطح وسیع‌تری است اما توزیع تنش‌ی شبیه توزیع تنش اعمال شده بر جداساز که در شکل (۵-۶) نشان داده در محل سازه‌ی شالوده به وجود می‌آید. به بیان دیگر با جابه‌جایی محل اثر نیروی عکس العمل، نیروی مقاوم در برابر لنگر خمشی به وجود می‌آید.



شکل ۵-۶- توزیع تنش بر روی جداساز

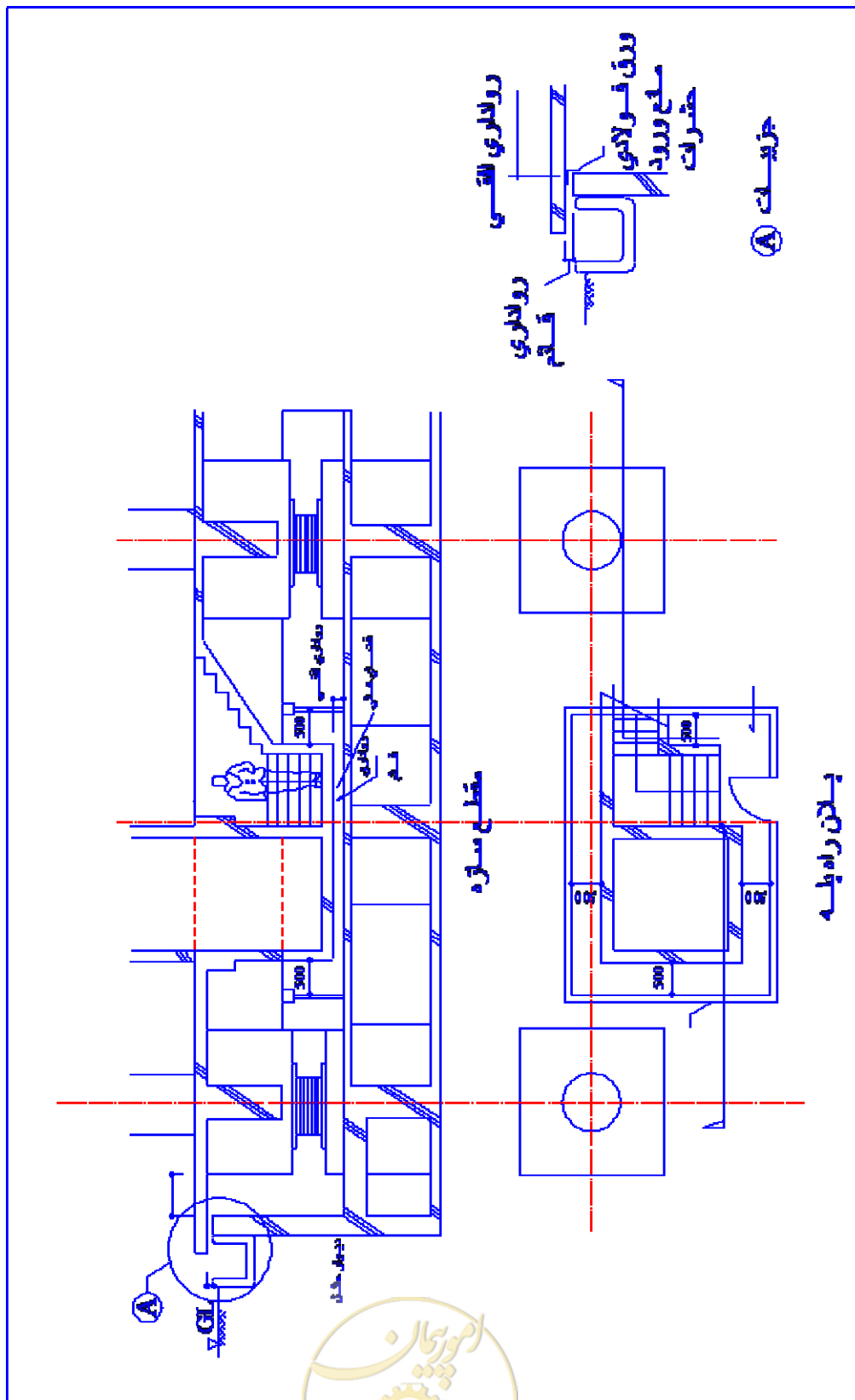
در مواردی که میرایی مورد نیاز در سامانه‌ی جداسازی از طریق نصب میراگرهای مجزایی صورت می‌گیرد، همانند جداسازها، در زمان به وجود آمدن تغییر مکان‌های افقی، نیروها و تنش‌های متمرکز در اطراف این تجهیزات ایجاد می‌گردد. در این شرایط در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تامین مقاومت و سختی مورد نیاز متناسب با نیروهای به وجود آمده در اعضای متصل شونده در محل اتصال در شالوده و روسازه ضروری است. نیروی متمرکز در اطراف میراگر متناسب با نیروی میرایی اعمالی از سوی میراگر (در حدود چند تن تا چند ده تن) است که باید در حین تحلیل و طراحی معین شده و طراحی بر اساس آن صورت پذیرد.

۵-۱۸- جزییات اجرایی معماری

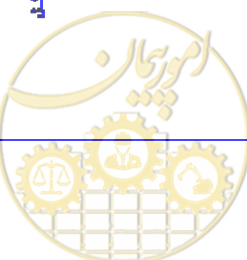
الف) جزییات اجرایی در سازه‌های جداسازی شده که سامانه‌ی جداسازی در پای سازه قرار دارد (شکل ۵-۷):

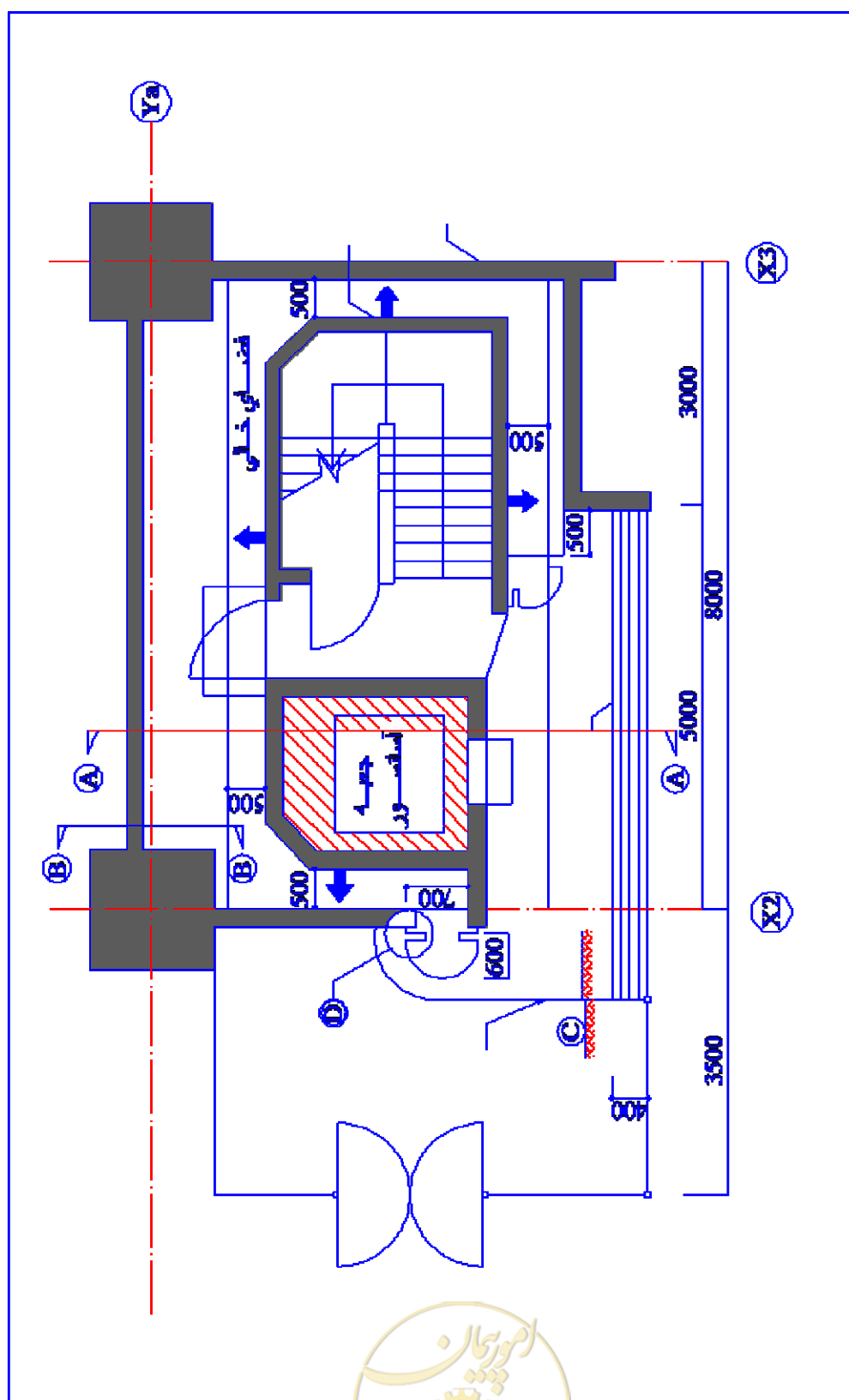
- راه پله‌ی منتهی به طبقه‌ی جداسازی (طبقه‌ای که در آن تجهیزات جداسازی نصب شده است) به سادگی یک پله بالاتر از طبقه‌ی پایان یافته و به دیوار باربر خود متصل شده و یا بر روی تیر باربر می‌نشینند و از کف متصل به تجهیزات جداسازی جدا می‌شود.
- در مواردی که آسانسور به طبقه‌ی جداسازی ختم می‌شود، جعبه‌ی آسانسور در طبقه‌ی بالای آن به تیر اصلی متصل شده و دیوار و دال کف جعبه به طور یکپارچه با هم به گونه‌ای که به کف طبقه‌ی جداسازی متصل نیستند اجرا می‌شوند.
- در اطراف پله و جعبه‌ی آسانسور فاصله‌ای در حدود چند ده سانتی‌متر به عنوان فاصله‌ی آزاد باقی گذاشته و از اجرا یا نصب هر چیزی که مانع حرکت سازه گردد خودداری شود.





شکل ۵-۷- نمایش جزئیات اجرایی توصیه شده در برش یک ساختمان







تصویر ۵-۱-الف- فراهم نمودن امکان جابجایی جانبی و قائم در کناره‌های ساختمان جداسازی شده



تصویر ۵-۱-ب- ایجاد قابلیت جابجایی جانبی و قائم در محل پل دسترسی با ایجاد شیار

در اطراف بخش جداسازی شده، در محل دیوار حائل یا آبروی دور سازه‌ی جداسازی شده مطابق تصاویر (۵-۲-الف) و (۵-۱-ب)، فاصله‌ی آزاد افقی و قائم (حدود ۱/۵ برابر میزان تغییر مکان سازه پیشنهاد می‌شود) تامین شده و برای جلوگیری از ورود حیوانات کوچک این فاصله به طور مناسب پوشانده شود.

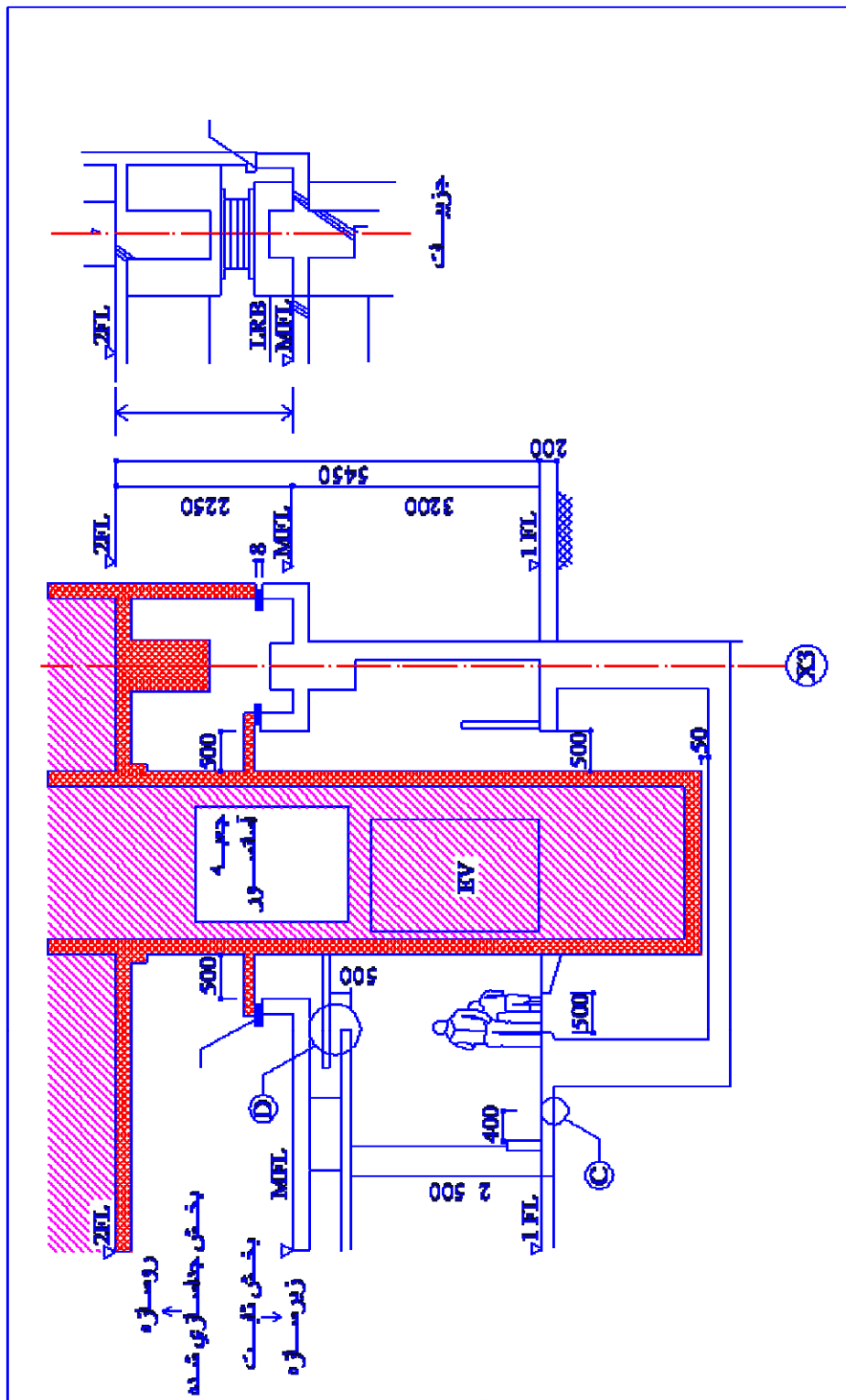
ب) جزییات اجرایی در سازه‌های جداسازی شده که طبقه‌ی جداسازی در طبقات میانی سازه قرار دارد (شکل ۵-۹):
- جعبه پله یا آسانسور را که از طبقه‌ی جداسازی شده عبور می‌دهند باید از روسازه آویخته و آن‌ها را به سازه‌ی زیر طبقه‌ی جداسازی متصل ننمود. در این حال در اطراف این فضاها باید فاصله‌ی آزاد متناسب با تغییر مکان‌های نسبی طراحی سازه پیش‌بینی گردد.

- موارد ایمنی و نگهداری در برابر آتش‌سوزی باید در اطراف تجهیزات جداسازی پیش‌بینی گردد. در این حالت می‌توان از فضای طبقه‌ی جداسازی به عنوان پارکینگ یا انبار هم استفاده نمود.



تصویر ۵-۲- فراهم کردن امکان تغییر مکان جانبی در محل‌های تماس ساختمان با اطراف





شکل ۵-۹- توجه به رعایت رواداری‌های جانبی در جزئیات ساختمان

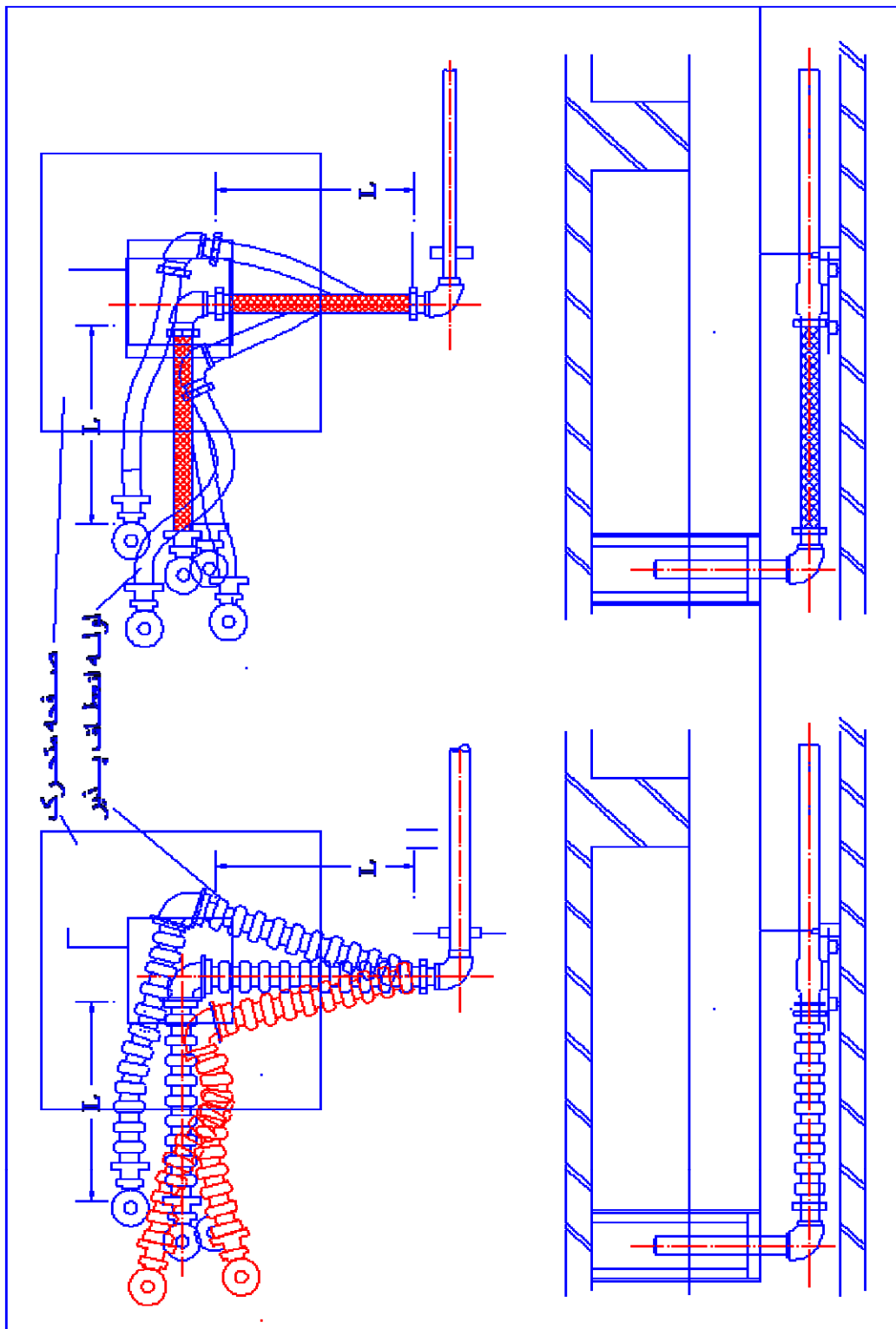


۵-۱۹- جزئیات اجرایی تجهیزات مکانیکی

در مواردی که لوله‌های آب سرد و گرم و فاضلاب، لوله‌های گاز، خطوط برق و تلفن و سیم‌کشی و خطوط ارتباطی برق و مخابرات در ساختمان از طبقه‌ی بالای محل نصب سامانه‌ی جداسازی به طبقه‌ی زیر این سامانه عبور می‌کنند باید قابلیت تحمل تغییر مکان‌های نسبی در محل جداسازی را در خود داشته باشند. در لوله‌های آب و گاز و خطوط با اهمیت کمتر مانند لوله‌های دفع آب باران و غیره هم باید با روش‌های ساده‌ای تمهیدات لازم به این منظور پیش‌بینی گردد. شکل (۵-۱۰) و تصاویر (۵-۳ الف) و (۵-۳ ب) نمونه‌هایی از تجهیزات مکانیکی را به همراه اتصالات انعطاف‌پذیر نشان می‌دهند که این قابلیت در آن‌ها پیش‌بینی شده است. در زمان طراحی باید فضای مورد نیاز قرارگیری این اتصالات پیش‌بینی گردد.

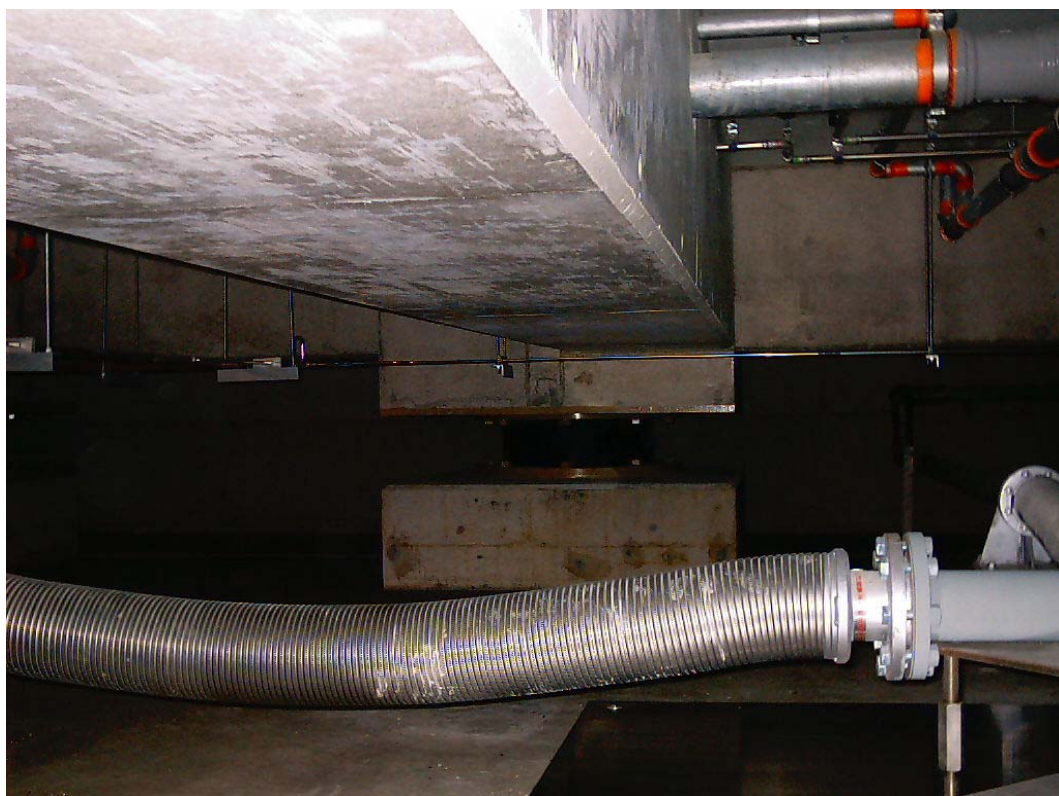
پس از اجرای طرح، یک کارشناس باید محل‌های جدا شده سازه و اجزایی که تراز جداسازی را قطع می‌کنند (مانند لوله‌ها و ...) را پیش از صدور مجوز استفاده از سازه، مورد بازدید چشمی قرار دهد. این بازدید باید تایید نماید که سازه اجازه‌ی تغییر مکان بدون مانع تا حداکثر میزان تغییر مکان طراحی را داراست و همه‌ی اجزایی که طبقه‌ی جداسازی را قطع می‌کنند قادر به تامین این تغییر شکل بوده و در کارکرد آن‌ها تاثیر منفی به وجود نخواهد آمد.



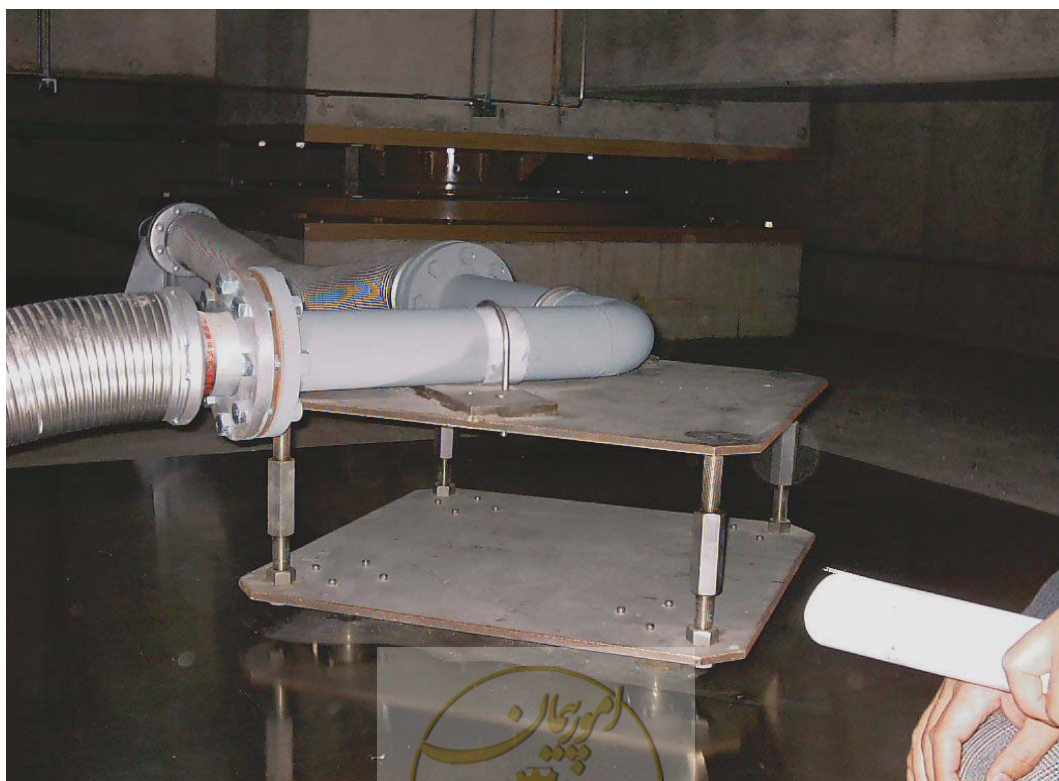


شکل ۵-۱۰- جزئیات نحوه استفاده از لوله‌های تاسیساتی انعطاف پذیر در محل تماس با زمین





تصویر ۵-۳-الف- استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر در محل عبور لوله‌های تاسیسات از طبقه‌ی جداسازی



تصویر ۵-۳-ب- استفاده از تکیه‌گاه متحرک در محل عبور لوله‌های تاسیسات انعطاف‌پذیر از طبقه‌ی جداسازی



از سوی دیگر در بعضی از روش‌های جداسازی، این امکان وجود دارد تا سازه از نظر الکتریکی نیز از زمین زیر خود جدا شود. این نکته در زمان بروز رعد و برق اهمیت پیدا کرده و ایمنی سازه را به خطر می‌اندازد. در این موارد باید نسبت به نصب خطوط اتصال به زمین برای سازه توجه لازم صورت گیرد.

۵-۲۰- کنترل کیفیت وسایل جداسازی لرزه‌ای

عملکرد درست وسایل جداساز لرزه‌ای در مدت زمان طولانی برای حفظ ایمنی لرزه‌ای سازه ضروری است. به این منظور مهندس طراح باید برنامه‌ی کنترل کیفیت مناسبی برای اطمینان از تطابق رفتار و عملکرد وسایل جداسازی در کارخانه و کارگاه تدوین نماید. در برنامه‌ی ارائه شده، باید استانداردهای مورد نظر معرفی گردند. پیروی از استانداردهای تدوین شده برای هر یک از موارد مرتبط با این راهنما ضامن تامین کیفیت لازم برای محصول به دست آمده است. بر این اساس، لازم است در فرایند کنترل کیفیت به موارد زیر توجه گردد:

- کنترل دقیق فرایند ساخت
- کنترل نمونه‌های ساخته شده در کارخانه
- کنترل محصول نهایی در کارگاه

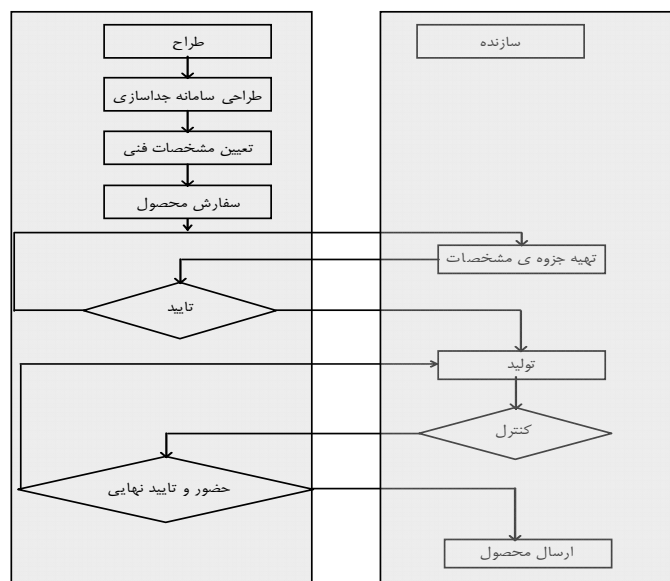
فهرست برخی از استانداردهای مورد استفاده در ساخت و کنترل کیفیت جداسازهای لاستیکی در پیوست شماره ۲ معرفی شده‌اند. اقدامات مورد نیاز برای کنترل کیفیت محصول را می‌توان به موارد مورد نظر برای طراح و سازنده تقسیم نمود. مهندس طراح مشخصات فنی تجهیزات را تهیه کرده، برنامه‌ی آزمایش کنترل کیفیت واحدهای جداساز را مطابق "دستورالعمل‌های مرتبط" ارائه می‌نماید. همچنین گزارش مشخصات فنی محصول تدوین شده توسط سازنده را تایید می‌نماید، در عملیات کنترل کیفیت محصول حضور یافته و در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده در مورد کیفیت محصول نظر می‌دهد. منظور از "مهندس طراح" شخص حقوقی مانند شرکت‌های دارای صلاحیت در طراحی ساختمان‌های دارای سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای نزد مراجع قانونی است. شرکت سازنده‌ی وسایل جداسازی مورد نظر، لازم است برنامه‌ی آزمایش کنترل کیفیت واحدهای جداساز که توسط مهندس طراح تدوین شده را تحت نظارت او اجرا نموده، و گزارش مشخصات فنی محصول را براساس نتایج به دست آمده تنظیم و ارائه نماید.

کنترل کیفیت محصول، براساس نظر مهندس طراح به طور معمول شامل موارد ذیل است:

- کنترل مواردی که در گزارش مشخصات فنی محصول درج شده است،
- کنترل رعایت موارد مندرج در استاندارد تدوین شده برای محصول،
- انجام آزمایش‌های لازم برای مواد اولیه،
- کنترل ابعاد تجهیزات جداسازی،
- انجام آزمایش‌های قابلیت باربری و ظرفیت تغییر مکان،
- سایر موارد لازم

شکل زیر یک روند نما از فرایند طراحی، تولید و کنترل کیفیت محصول جداسازهای لرزه‌ای ارائه می‌دهد.





شکل ۵-۱۱- نمودار فرایند طراحی، ساخت تا ارسال جداسازها

ویژگی‌های تغییرشکل و مقادیر میرایی سامانه‌های جداسازی که در تحلیل و طراحی ساختمان‌های جداسازی شده‌ی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید قبل از آغاز مرحله ساخت براساس آزمایش تعدادی از نمونه‌های انتخابی از جداسازها تعیین گردد. اجزای سامانه جداسازی که مورد آزمایش قرار می‌گیرند، در صورتیکه قرار باشد در طراحی استفاده شوند، باید مجهز به سازوکار مقاوم در برابر باد نیز باشند. آزمایش‌های تعیین شده در ادامه‌ی این بخش برای سنجش ویژگی‌های وسیله‌ی جداساز و سامانه جداسازی و کنترل کیفیت آنها پیشنهاد می‌شوند. لازم است مهندس طراح با رعایت این حداقل‌ها برنامه‌ی کنترل کیفیت مورد نظر خود را براساس استانداردهای معتبر برای این کار تدوین نماید.

۵-۲۰-۱- آزمایش‌های سنجش کیفیت

سازندگان وسایل جداسازی لرزه‌ای برای دریافت تایید، موظفند نتایج آزمایش‌های تولیدات خود را که شامل اطلاعات زیر است به مهندس طراح که صلاحیت و مسئولیت طراحی سازه‌ی دارای جداساز لرزه‌ای را دارد، ارائه نمایند. نتایج آزمایش‌ها حداقل باید موارد زیر را در برگیرد:

- آزمایش‌های سنجش کیفیت،
- تحلیل داده‌های آزمایش و مطالعات علمی جانبی قابل کاربرد در محاسبه مقدار گرمای ایجاد شده در حرکات چرخه‌ای دینامیکی و تاثیر ناشی از بالارفتن دما،
- مشخصات نیرو - تغییرشکل براساس نرخ بارگذاری در دمای میانگین محل ساختگاه،
- تغییر مشخصات در محدوده‌ی دمای محیطی در محل ساختگاه،
- پراکندگی و عدم قطعیت در مشخصه‌های جداسازهای تولید شده،
- شرایط دوام و اثرات ناشی از سالخوردگی،
- تغییر فرم یافتگی،



– شرایط زیست محیطی و امکان آلاینده‌گی محیط

آزمایش‌های سنجش کیفیت را باید بتوان برای انواع مختلف اجزای سامانه‌های جداسازی، مدل‌ها و مصالح قابل کاربرد در ساخت آنها مورد استفاده قرار داد. این آزمایش‌ها همچنین باید بر روی اجزای سامانه جداسازی که توسط همان تولیدکننده ساخته می‌شود و قرار است در سازه اصلی به کار رود نیز، انجام پذیرد. هنگام استفاده از نمونه‌های مقیاس شده در آزمایش‌های سنجش کیفیت، باید اصول مقیاس کردن و شبیه‌سازی در بررسی و تفسیر داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

آزمایش‌های مورد نظر برای وسایل جداساز لرزه‌ای باید در دو مرحله تولید در کارخانه (به منظور کنترل کیفیت و تطابق با شرایط طراحی) و اجرا در کارگاه ساختمانی (به منظور کنترل مضاعف و کنترل کیفیت محصولات دریافت شده از سازنده) مورد آزمایش‌های کنترل کیفیت قرار گیرند.

شاخص‌های مورد نظر در فرایند کنترل کیفیت شامل موارد مندرج در بندهای ادامه‌ی این فصل بوده اما محدود به آنها نمی‌باشد. روش انجام روال‌های کنترل کیفیت تا زمان تدوین استانداردهای لازم برای آزمایش وسایل جداسازی لرزه‌ای در کشور براساس استانداردهای معتبر بین‌المللی خواهد بود. در صورت صلاحدید مهندس ناظر، تعداد بیشتر آزمایش‌ها و شاخص‌های لازم در برنامه‌ی کنترل کیفیت قرار خواهد گرفت.

۵-۲۰-۲- ثبت نتایج

رفتار نیرو – تغییر مکان نمونه‌ی مورد آزمایش، باید در هر چرخه از هر آزمایش به گونه‌ای ثبت شود که رفتار هیستریزیس جداساز قابل ترسیم و تحلیل باشد.

در صورتی که رفتار وسیله‌ی جداساز تابع نیروی محوری باشد لازم است این اطلاعات نیز در زمان بارگذاری ثبت و ارائه شوند.

۵-۲۰-۳- آزمایش‌های نمونه اولیه در کارخانه

آزمایش‌های نمونه اولیه باید بطور جداگانه بر روی دو نمونه با ابعاد واقعی (یا مجموعه‌ای از نمونه‌ها در صورت لزوم) از هر نوع و اندازه‌ی غالب در سامانه جداسازی انجام پذیرد. در صورتی که قرار باشد نمونه‌های آزمایشی در طراحی مورد استفاده قرار گیرند، لازم است در برابر باد نیز مقاوم باشند. نمونه‌های آزمایش شده نباید برای ساخت مورد استفاده قرار گیرند مگر اینکه توسط مهندس طراح قابل پذیرش باشند.

هریک از مراحل آزمایش زیر باید برای تعداد تعیین شده‌ای از چرخه‌ها در بار قائمی برابر با متوسط بار مرده به اضافه نیمی از اثرات ایجاد شده توسط بار زنده بر روی تمام جداسازهای با یک نوع و اندازه‌ی معمول، انجام گیرد:

- کنترل رفتار چرخه‌ای وسیله‌ی جداساز در برابر نیروی جانبی ناشی از باد
- کنترل رفتار و مشخصات جداساز در جابجایی حداقل تا جابجایی مورد نظر طرح به گونه‌ای که امکان استخراج رفتار نیرو- تغییر شکل در این محدوده وجود داشته باشد. با تکرار چرخه‌های متوالی باید از پایداری منحنی هیستریزیس در محدوده‌ی قبل و بعد از تسلیم اطمینان حاصل نمود.

ثبت نتایج آزمایش‌ها باید به گونه‌ای باشد که در گزارش آزمایش به وضوح به مشخصه‌های مکانیکی وسیله‌ی جداساز که در روند طراحی توسط مهندس طراح تعیین یا کنترل می‌شوند، اشاره شده باشد.



- شرایط آزمون باید به گونه‌ای باشد که نمونه‌ها تحت بار در فرکانسی که نمایانگر نرخ بارگذاری نمونه اولیه با ابعاد واقعی است، آزمایش شود تا رفتار وسیله‌ی جداساز تحت بار دینامیکی مشخص گردد.
- شرایط آزمایش باید به گونه‌ای باشد که از نظر دامنه و تعداد چرخه‌های بارگذاری، پایداری چرخه‌های هیستریزس را مشخص نموده و در خصوص زوال مشخصات مکانیکی از جمله سختی و مقاومت وسیله‌ی جداساز در این شرایط، اطلاعات کافی در اختیار مهندس طراح قرار دهد.

شرایط آزمایش باید به گونه‌ای باشد که بار قائم ناشی از بار مرده، بخشی از بار زنده (براساس استاندارد مورد استفاده) و بار افزایش یافته‌ی ناشی از واژگونی در زلزله در روال آزمایش مورد توجه قرار گرفته شود. در این آزمایش‌ها، بار قائم ترکیبی باید به اندازه‌ی نیروی رو به پایین متعارف یا متوسط وارده بر روی جداسازهایی از آن نوع با ابعاد معمول در نظر گرفته شود.

در تعریف مقادیر نیروی محوری و جابه‌جایی در هر آزمایش باید عدم قطعیت‌های محتمل موثر در این عوامل شامل اثرات دما، خوردگی و غیره مورد توجه قرار گیرند. این مقادیر باید بیشتر از مقادیر تعیین شده از طریق تحلیل به همراه مقادیر حد بالا و پایین مشخصات سامانه‌ی جداسازی ناشی از این عوامل در نظر گرفته شوند.

۵-۲۰-۴- جداسازهای وابسته به بار جانبی دو جهته

اگر در مشخصه‌های نیرو - تغییرمکان جداساز وابستگی به بار جانبی دو جهته مشهود باشد، آزمایش‌های تعیین شده باید تحت بار جانبی دو جهته در ضرایب جابه‌جایی استفاده شده در طراحی، انجام پذیرند. به عنوان نمونه می‌توان از این مقادیر استفاده نمود: (۰,۲۵ و ۱)، (۰,۵ و ۱)، (۰,۶۷ و ۱) و در نهایت (۱ و ۱).

اگر نمونه‌های با ابعاد کمتر از ابعاد واقعی برای تعیین مشخصات وابسته به بار جانبی دو جهته مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید الزامات مربوط به مقیاس‌سازی ابعاد را تامین کنند. این نمونه‌ها باید نوع و مصالحی مشابه نمونه واقعی داشته باشند و در فرآیند و با کیفیتی مشابه نمونه‌ی اولیه با ابعاد واقعی ساخته شده باشند.

در صورتیکه سختی موثر تحت بارگذاری جانبی دو جهته بیش از ۱۵٪ با سختی موثر تحت بار جانبی یکطرفه اختلاف داشته باشد، باید از مشخصات نیرو - تغییرمکان وابسته به بار جانبی دو جهته‌ی جداساز استفاده شود.

۵-۲۰-۵- حداکثر و حداقل بار قائم

جداسازهایی که بار قائم تحمل می‌کنند باید تحت بارگذاری‌های رفت و برگشتی کامل در جابه‌جایی مورد نظر طراحی D قرار گیرند، در حالی که مقادیر جداگانه متناسب با حداقل و حداکثر بار قائم بر روی آنها اعمال شده باشد. این آزمایش‌ها باید حداقل بر روی یک جداساز از هر نوع و اندازه متعارف در پروژه انجام پذیرد. مقادیر بیشینه‌ی بار محوری و جابه‌جایی‌های مورد استفاده در آزمایش باید بیش از مقادیری باشند که از محاسبات تحلیلی با منظور نمودن عدم قطعیت‌ها در ویژگی و رفتار جداساز، و اثرات آن بر این پاسخ‌ها، بدست آمده‌اند.

۵-۲۰-۶- سامانه‌های مقاوم در برابر باد

در صورت استفاده از سامانه‌های مقاوم در برابر باد، مقاومت نهایی باید بوسیله آزمایش تعیین شود.

۵-۲۰-۷- تعیین مشخصات نیرو-تغییرمکان



مشخصات نیرو - تغییر مکان یک جداساز باید براساس آزمایش‌های بار چرخه‌ای نمونه‌های اولیه‌ی جداساز باشد. سختی موثر یک جداساز k_{eff} ، باید برای هر چرخه بارگذاری طبق رابطه زیر محاسبه شود:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (۱-۵)$$

F^+ و F^- نیروهای مثبت و منفی در جابجایی‌های حداکثر مثبت و حداقل منفی، Δ^+ و Δ^- است. میرایی موثر β_{eff} ، برای جداساز در هر چرخه بارگذاری باید طبق رابطه زیر محاسبه شود.

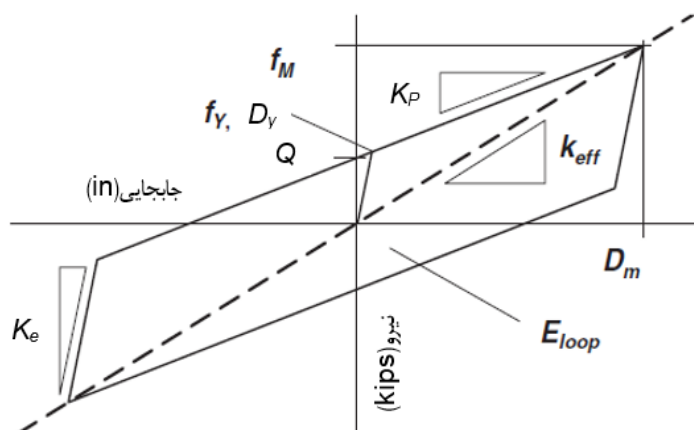
$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{E_{loop}}{k_{eff}(|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \quad (۲-۵)$$

در رابطه فوق انرژی مستهلک شده در هر چرخه بارگذاری E_{loop} ، و سختی موثر k_{eff} ، باید بر اساس حداکثر جابجایی‌های آزمایش Δ^+ و Δ^- ، محاسبه شود.

سختی پس از تسلیم k_p در هر جداساز باید در هر چرخه‌ی بارگذاری با کمک فرضیات زیر محاسبه شود:

۱. یک چرخه‌ی آزمایش باید با فرض دارا بودن مشخصات هیسترتیک دو خطی با مقادیر k_e ، k_p ، Q ، f_y ، k_{eff} و E_{loop} طبق شکل زیر در نظر گرفته شود.

۲. منحنی نیرو - جابجایی محاسبه شده برای هر جداساز باید دارای سختی موثر k_{eff} و استهلاک انرژی در هر چرخه بارگذاری E_{loop} ، برابر با آنچه از آزمایش حاصل شده است، باشد.



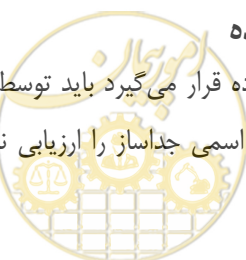
شکل ۵-۱۲- مشخصات اسمی مدل دوطبقی نیرو- تغییر مکان جداساز

۳. مقدار فرضی k_e باید انطباق بصری مناسبی با سختی الاستیک جداساز در زمان باربرداری بلافاصله پس از D داشته باشد.

استفاده از روش‌های مختلف برای انطباق چرخه مانند ترسیم یک خط مستقیم هموار کننده برای k_p روی منحنی هیسترتیک و امتداد یافته تا جابجایی D و سپس تعیین k_e برای تطبیق E_{loop} نیز مجاز می‌باشد.

۵-۲۰-۸- آزمایش‌های محصول تولید شده

برنامه‌ی آزمایش جداساز که در ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرد باید توسط مهندس طراح تعیین شده باشد. برنامه‌ی آزمایش باید بتواند سازگاری مقادیر اندازه‌گیری شده از خصوصیات اسمی جداساز را ارزیابی نماید. این ارزیابی با انجام آزمایش روی تمام جداسازها



تحت ترکیب نیروی برشی و فشاری، در مقادیری نه کمتر از ۲/۳ جابه‌جایی مدنظر D- که در آن با توجه به عوامل ایجاد عدم قطعیت بحرانی‌ترین حالت را ایجاد کرده باشند- صورت می‌گیرد.

۵-۲۱- مطالعه‌ی اقتصادی طرح‌های دارای جداسازی لرزه‌ای

در مطالعه‌ی اقتصادی یک طرح جداسازی لرزه‌ای باید میزان خطرپذیری^۲ ناشی از زلزله در سازه قبل و بعد از جداسازی لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد.

مقدار خطرپذیری در تعریف برابر است با میزان خسارت محتمل ضرب در احتمال وقوع خسارت.

$$R=C \times P$$

(۵-۳)

در رابطه‌ی بالا، C مقدار خسارت محتمل و P میزان احتمال وقوع خسارت (احتمال وقوع خطر لرزه‌ای معین) و R مقدار خطرپذیری سازه است.

از اقدامات قابل توصیه برای کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، می‌توان به "رویکرد فیزیکی کاهش خطرپذیری"، "رویکرد انتقال خطرپذیری" و "رویکرد حفظ خطرپذیری" نام برد. از این میان در رویکرد فیزیکی کاهش خطرپذیری می‌توان از روش‌های فیزیکی پیشگیری از خسارت مانند تقویت سازه‌ای یا جداسازی لرزه‌ای و همچنین روش‌های کاهش خسارت مانند آموزش، پیش‌بینی سامانه‌های آتش‌نشانی استفاده کرد.

لازم است تا طراح در رویکرد خود در کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، میزان کاهش احتمال بروز آسیب و میزان کاهش خسارت، را ارزیابی نماید.

همچنین با توجه به اینکه "وقوع یا عدم وقوع زلزله در طول عمر مفید سازه، امری کاملاً نامشخص است"، طراح در این کار باید توجه کافی به مفهوم دوره‌ی کار یا طول عمر و داشتن دید بلندمدت در طی تحلیل، خطرپذیری پروژه را مشخص می‌کند.

کنترل لرزه‌ای سازه‌ها به روش غیرفعال یا جداسازی لرزه‌ای روشی موثر برای کاهش خطرپذیری است. اما به عنوان یک روش مقاوم در برابر خطر زلزله، ممکن است برای کارفرمای پروژه در نگاه اول در مواردی بسیار گران قیمت تلقی شود. از این رو لازم است تا این موضوع در چارچوب مفهوم طول عمر سازه و با در نظر گرفتن میزان احتمال فراگذشت زلزله از حدود معین و مقدار خسارت محتمل ناشی از آن‌ها به سازه تحت مطالعه در مرحله‌ی مطالعات توجیهی طرح ارزیابی گردیده و نتیجه‌گیری شود.

هزینه‌های مورد نظر در محاسبات را می‌توان "هزینه‌های اولیه و دوران ساخت"، "هزینه‌های دوران خدمت و نگهداری" و "هزینه‌های ناشی از خسارت" در نظر گرفت.

بدیهی است که طراح باید هزینه‌های اولیه‌ی اضافی ناشی از کاربرد سامانه‌های جداساز لرزه‌ای را در گام‌های محاسباتی خود دیده و از سوی دیگر قادر به ارزیابی کاهش خسارت محتمل به کمک کاربرد این سامانه‌ها یا به طور کلی‌تر کاهش خطرپذیری به کمک کاربرد این سامانه‌ها باشد. تغییر در هزینه‌ها به دلیل استفاده از جداسازی لرزه‌ای را می‌توان در بخش‌های زیر دید:

- تغییر هزینه‌های طراحی و مستندسازی طرح؛

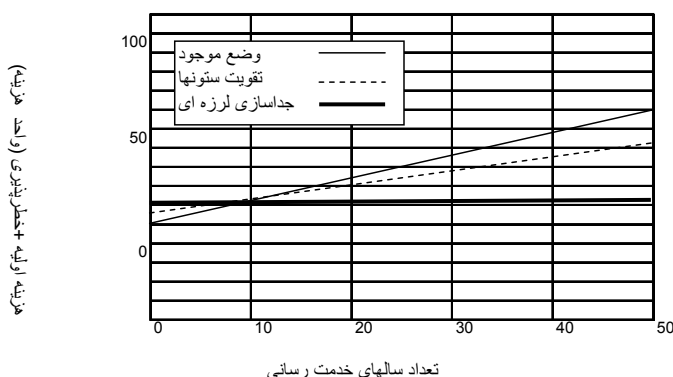
- قیمت سامانه‌ی جداسازی (جداساز و میراگرها)؛



^۲ Risk

- هزینه ناشی از تغییرات در سازه؛
 - هزینه ناشی از تغییرات در معماری و موارد غیرسازه‌ای؛
 - کاهش هزینه احتمالی در سازه؛
 - کاهش هزینه ناشی از کاهش احتمالی خسارت.
- شکل (۵-۱۱) به صورتی نمادین، مقایسه‌ی وضعیت هزینه‌ی پروژه‌ی بهسازی لرزه‌ای یک ساختمان در سه حالت: حفظ وضعیت موجود، تقویت ستونها و بهسازی با روش جداسازی لرزه‌ای را نمایش می‌دهد. نکته‌ی مهم در این جا در نظر گرفتن زمان و طول عمر پروژه است. با حرکت در محور زمان میزان شدت زلزله محتمل در ساختمان افزایش یافته و مترادف با افزایش خسارت ناشی از زلزله خواهد شد.

لازم است تا زمان قطع منحنی‌ها در نمودار تعیین و با موازنه‌ی هزینه‌ها به روشی که از نظر اقتصادی مناسب‌تر است رسید.



شکل ۵-۱۳- هزینه اجرا و خطرپذیری زلزله برای یک ساختمان

بدیهی است وضعیت لرزه‌خیزی ساختمان در مقادیر محاسبه شده هزینه‌ها تاثیر قابل توجهی داشته و منحنی‌های نمودار بالا را به شکلی چشمگیر جا به جا می‌نماید. از این رو اطلاعات هر چه دقیق‌تر از میزان خطر لرزه‌ای ساختمان بر روی دقت نتایج این مطالعه تاثیر خواهد داشت.

۵-۲۲- کنترل نتایج طراحی

نتایج طراحی سامانه‌ی جداسازی و برنامه‌ی آزمایش‌های مرتبط باید توسط کارشناس یا کارشناسان مستقلی که دارای تجربه‌ی کافی در طراحی این تجهیزات بوده و افراد مجرب در زمینه‌ی روش‌های تحلیل دینامیکی سازه‌ها و نظریه و کاربرد جداسازی لرزه‌ای صورت پذیرد. این کنترل باید شامل موارد زیر باشد اما محدود به این موارد نمی‌گردد:

- بررسی ضوابط مربوط به مشخصات ساختمان و نتایج آن، فرایند تهیه‌ی طیف پاسخ و تاریخچه‌ی زمانی و سایر ضوابط و مشخصات تدوین شده مخصوص ساختمان؛

- بررسی نتایج طرح اولیه شامل تغییر مکان‌های کل سامانه‌ی جداسازی و نیروهای جانبی؛
- بررسی و مشاهده‌ی نتایج تست نمونه‌ها که بر اساس ضوابط مندرج در بخش "آزمایش‌های لازم برای سامانه‌ی جداسازی" در



دستورالعمل اجرا می شوند؛

- بررسی نتایج نهایی کل سازه و تحلیل‌های انجام شده برای آن؛
- بررسی برنامه‌ی آزمایش کنترل کیفیت سامانه‌ی جداسازی منطبق با ضوابط بخش "آزمایش‌های لازم برای سامانه‌ی جداسازی" در دستورالعمل.

۵-۲۳- مدارک فنی طرح

طراح سامانه‌ی جداسازی باید برای اجرای صحیح پروژه اطلاعات دقیق و شفافی در زمینه‌ی مشخصات طراحی، ساخت قطعات، آزمایش قطعات و نحوه‌ی اجرای سامانه را در قالب مدارک فنی طرح تدوین نماید. به این منظور لازم است ضوابط و مقررات ارزیابی و تایید صلاحیت سازندگان و کنترل کیفیت محصولات ایشان نیز تدوین گردد. در این زمینه اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود.

طراح در انتهای مرحله‌ی مقدماتی طراحی، اسناد مربوط به منظور اخذ مدارک صلاحیت سازندگان را در دو بخش "اطلاعات سامانه‌ی جداسازی در نظر گرفته شده برای پروژه" و "اطلاعات واحدهای جداساز در نظر گرفته شده برای پروژه" تهیه می‌کند (مستندات احراز صلاحیت). در گام بعد طراح طی استعلامی از سازندگان دارای قابلیت ساخت این تجهیزات مدارک موید صلاحیت سازنده و تجربیات پیشین در ساخت قطعات و واحدهای جداساز مورد نیاز پروژه را دریافت نموده و به کمک آن‌ها فهرست کوتاه شده‌ای از سازندگان دارای صلاحیت بیش‌تر تهیه می‌نماید.

در این مرحله امکان ارایه‌ی پیشنهادهای جایگزین به طراح از سوی سازندگانی که مدارک بالا را تهیه و ارایه نموده‌اند وجود خواهد داشت.

در مرحله‌ی بعد پس از نهایی شدن طراحی و مشخصات فنی سامانه‌ی جداسازی مورد نظر، مستندات زیر توسط طراح تهیه می‌گردد:

- جزییات مواد اولیه‌ی مورد قبول؛
 - محدودیت‌های ابعادی؛
 - ویژگی‌های رفتاری؛
 - فرآیند ساخت قطعات؛
 - روند و نحوه‌ی انجام آزمایش‌ها؛
 - معیارها یا نحوه‌ی ضمانت کیفیت قطعات و واحدها؛
 - برنامه‌ی دوره‌ای بازرسی، پایش و نگهداری سامانه‌ی جداسازی.
- این مدارک به عنوان «مشخصات فنی طرح و ساخت قطعات جداساز» به همراه "مستندات احراز صلاحیت" برای برگزاری مناقصه بین سازندگان تایید شده ارسال شود.

این مدارک از این مقطع به بعد مرجع بررسی هر مورد در زمینه‌ی طراحی، ساخت و اجرای پروژه خواهند بود. طراح باید دقت لازم را در تدوین هماهنگ این مدارک نماید به گونه‌ای که هم مشخصات فنی و نحوه‌ی اجرا و ساخت در آن‌ها تبیین گردیده و هم مسوولیت هر یک از بخش‌های درگیر در پروژه اعم از مشاور، سازنده‌ی قطعات، پیمانکار و ناظر پروژه با شفافیت عنوان گردد.



پیوست ۱

**فهرست استانداردهای مورد
استفاده در صنایع مرتبط با
جداسازی لرزه‌ای**



استانداردهای مورد استفاده برای آزمایش‌های لازم بر روی لاستیک

شماره شناسه	عنوان / استاندارد
ASTM A36	Specification for structural steel
ASTM A570	Specification for hot rolled carbon steel sheet and strip, structural quality
ASTM D395	Test methods for rubber property- compression set
ASTM D412	Test methods for rubber in tension
ASTM D429	Test methods for rubber property- adhesion to rigid substrates.
ASTM D815	Test methods for rubber deterioration-surface cracking
ASTM D573	Test methods for rubber deterioration in an air oven
ASTM D624	Test methods for rubber property- test resistance
ASTM D832	Practice for rubber conditioning for low-temperature testing
ASTM D1149	Test methods for rubber deterioration- surface zone cracking in a chamber
ASTM D1229	Test methods for rubber property- compression set at low temperatures
ASTM D1415	Test methods for rubber property- international hardness
ASTM D1418	Practice for rubber and rubber latics - nomenclature
ASTM D2137	Test methods for rubber and rubber-coated fabrics- brittleness temperature by impact
ASTM D2240	Test methods for rubber property- Durometer hardness
Australia	
AS-1523-81	Elastomeric bearing for use in structures, Standard association of Australia
Germany	
DIN 4141 T1-84	Structural bearings; general design rules
DIN 4141 T2-84	Structural bearings; bearing system for civil engineering structures forming part of traffic routes (Bridges)
DIN 4141 T3-84	Structural bearings; bearing system for buildings
DIN 4141 T4-87	Structural bearings; transport, storage on site and installation
DIN 4141 T14-85	Structural bearings; laminated elastomeric bearings, design and construction
DIN 4141 T140-91	Structural bearings; reinforced elastomeric bearings; building materials, requirements, testing, and inspection
DIN 4141 T150-91	Structural bearings; unreinforced Elastomeric bearings; building material, requirements, testing and inspection
Great Britain	
BS-6177:1982	Guide to select and use of elastomeric bearings for vibration isolation of buildings, British standard institute
BS-5400: section 9.1:1983	Code of practice for design of bridge bearings, British standard institute
BS-5400: section 9.2:1983	Specification for materials, manufacture and installation of bridge bearings, British standard institute
International	
UIC code 772	Code for use of rubber bearings for rail bridges, international union of railways (Union internationale des chemins de fer) Brussels
ISO 11346	Rubber vulcanized or thermos-plastic estimation of life-time and maximum temperture of use
ISO 188	Ruber vulcanized or thermoplastic – Accelerated aging or heat resistant tests

پیوست ۲

نمونه جدول مشخصات فنی لاستیک تولیدی برای جداسازها



جدول نمونه از مشخصات یک نمونه لاستیک که در سال ۱۹۹۰ توسط شرکت بریجستون منتشر گشته است رابطه بین سفتی الاستومر و سایر مشخصات آن را در موارد آزمایش شده نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲. مشخصات یک نمونه لاستیک معرفی شده توسط کارخانه تولیدکننده [بریجستون]

Rubber Hardness IRHD ± 2	Young's Modulus E (N/cm ²)	Shear Modulus G (N/cm ²)	Modified Factor k
30	92	30	0.93
35	118	37	0.89
40	150	45	0.85
45	180	54	0.8
50	220	64	0.73
55	325	80	0.64
60	445	106	0.57
65	585	137	0.54
70	735	173	0.53
75	940	222	0.52



پیوست ۳

مثال‌های طراحی



پ ۳-۱- مقدمه

در این پیوست ۳ مثال طراحی برای جداسازی لرزه ای یک ساختمان بتن آرمه قاب خمشی طرح و مراحل محاسبات لازم ارائه شده است. مراحل طراحی برای حالت اول (جداساز لاستیکی با میرایی زیاد) در ادامه توضیح داده شده است. در مراحل بعدی روال طراحی جداساز به صورت خلاصه ارائه گردیده اند.

پ ۳-۲- صورت مساله

ساختمان دارای ۵ طبقه با ابعاد ۲۰ متر در ۳۰ متر در پلان می باشد. طول هر دهانه ۶ متر است. ساختمان در منطقه ی با خطر نسبی خیلی زیاد و خاک سخت (خاک نوع ۲) قرار گرفته است. فرض می شود شرایط بارگذاری ستون ها مشابه باشد. وزن موثر سازه روی هر ستون $W=1570\text{KN}$ ، مقدار بار مرده و زنده در پای ستون مورد نظر $P_{DL+LL}=335.16\text{ kN}$ و بار قائم ناشی از بار مرده، زنده و اثرات زلزله $P_{DL+LL+EQ}=402\text{ KN}$ است.

دوره تناوب طبیعی سازه با پایه ثابت $T=0.6\text{ sec}$ می باشد. به این ترتیب دوره تناوب سازه جداسازی شده $T=1.59\text{sec}$ در نظر گرفته می شود. از سه جداساز زیر برای این منظور در سه مساله استفاده شده است؟

جداساز لاستیکی با میرایی زیاد

جداساز لاستیکی با هسته سربی

جداساز اصطکاکی آونگ وارونه

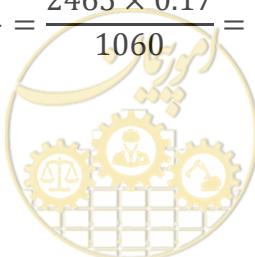
مقدار کرنش حد گسیختگی، $\epsilon_b = 500\%$ و ضریب ثابت لاستیک $k=0.57$ می باشد. ظرفیت تنش فشاری لاستیک $\sigma_c = 7.84\text{ N/mm}^2$ است. مقدار کرنش برشی حداکثر، مدول الاستیسیته و مدول برشی برای لاستیک به ترتیب: $G = 106\text{ N/cm}^2$, $E = 445\text{ N/cm}^2$, $\gamma_{\max} = 150\%$ در نظر گرفته شده است. میرایی موثر $\xi_{\text{eff}} = 5\%$ در نظر گرفته شده است.

پارامترهای لرزه ای				
b (m)	20	$\gamma_{\max}$	1.5	A 0.350
L (m)	30	ξ_{eff}	0.1	Ts 0.500
W (MN)	1.57	B	1.2	S 1.500
PDL+LL (MN)	2.07	σ_c (MN/m ²)	7.84	
PDL+LL+EQ (MN)	2.59	k	0.57	
Tfix (sec)	0.6	ϵ_b	5	
Tisolated (sec)	1.8	e (m)	1.5	
E (MN/m ²)	4.45	pi	3.14159265	
G (MN/m ²)	1.06	g (m/s ²)	9.81	
fy (MN/m ²)	235.44	fpy (MN/m ²)	10	
Fs (MN/m ²)	141.264			



پ ۳-۳- طراحی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB)

حل مثال	فرضیات
در مرحله‌ی اول بر اساس دوره تناوب طبیعی مفروض، سختی موثر جانبی جداساز محاسبه می‌شود:	
$k_{eff} = \frac{1570}{9.81} \times \left(\frac{2\pi}{1.6}\right)^2 = 2465 \text{ kN/m}$	رابطه ۳-۱۴
$A = 0.35, \quad Ts = 0.5, \quad B = 1.2, \quad S = 1.5$	محاسبه سختی موثر جانبی جداساز
$D = \frac{\left(\frac{9.81}{4\pi^2}\right) \times 0.35 \times (1.5 + 1) \times (0.6^{2/3}) \times 1.6}{1.2} = 0.206 \text{ m}$	رابطه ۵-۱ از ضابطه-۵۵۰ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با فرض میرایی ۱۰ درصد و استاندارد ۲۸۰۰ و رابطه بند ۵-۳-۵ از همان ضابطه برای تعیین تغییر مکان جداساز
$D(e = 5\%) = 0.206 \times \left(1 + 15 \times \frac{12 \times 0.05 \times 30}{20^2 + 30^2}\right)$ $D = 1.208 \times 0.206 = 0.25 \text{ m}$	
محاسبه ضخامت کل جداساز:	
$t_t = \frac{0.25}{1.5} = 0.17 \text{ m}$	رابطه ۳-۱۵
	محاسبه ضخامت کل جداساز
$\frac{445(1 + 2 \times 0.57 \times S^2)}{106} \geq 400 \rightarrow S > 9.09 \rightarrow use S = 20$	رابطه ۳-۱۶
	تعیین ضریب شکل جداساز
$E_c = 445 \times (1 + 2 \times 0.57 \times 20^2) = 2033.65 \text{ MN/m}^2$	مدول فشاری مجموعه‌ی ورقه‌های لاستیکی و فولادی
تعیین مساحت مقطع جداساز با فرض شکل دایره‌ای	
$A_1 = \frac{2.07 \times 10^6}{7.84 \times 10^6} = 0.264 \text{ m}^2$	رابطه ۳-۱۷
	تعیین سطح مقطع
$A_2 = \frac{6 \times 20 \times 2.07 \times 10^6}{2033.65 \times 3 \times 10^6} = 0.073 \text{ m}^2$	رابطه ۳-۱۸، ۳-۱۹
	تعیین سطح مقطع
$A_{sf} = \frac{2465 \times 0.17}{1060} = 0.395 \text{ m}^2$	رابطه ۳-۲۰
	تعیین سطح مقطع



قطر جداساز دایره ای

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Asf}{\pi}} = 0.709m$$

برای جداساز دایره ای

$$\beta = 2 \times \cos^{-1} \frac{D}{d} = 2.42$$

تعیین سطح مقطع کاهش یافته

$$A_3 = \frac{d^2}{4} \times (\beta - \sin \beta) = 0.221m^2$$

بند ۹-ت از فصل ۳

$$A = \max(0.267, 0.073, 0.221) = 0.267m^2$$

انتخاب سطح مقطع

انتخاب ابعاد مناسب براساس سطح مقطع بدست آمده	
--	--

بند ۹-ت از فصل ۳

$$d = 0.5m, A = 0.384, Are = 0.26$$

انتخاب ابعاد مناسب براساس سطح مقطع
بدست آمده

ضخامت یک لایه ی لاستیک	
------------------------	--

بند ۱۰ از فصل ۳

$$t_r = \frac{50}{4 \times 20} = 0.625cm \rightarrow t_r = 1cm$$

ضخامت یک لایه ی لاستیک

تعداد لایه های لاستیک	
-----------------------	--

بند ۱۰ از فصل ۳

$$N = \frac{17}{1} = 17$$

تعداد لایه های لاستیک

ضخامت ورقه های فولادی	
-----------------------	--

رابطه ۳-۲۱

$$t_s \geq \frac{2(0.01 + 0.01) \times 2.07}{0.26 \times 141.2} = 2.5mm \rightarrow t_s = 2.5mm$$

ضخامت ورقه های فولادی

کنترل های ناپایداری و مقاومت برشی	
-----------------------------------	--

رابطه ۳-۲۲

$$\sigma_c = \frac{2.07}{5.39} < \sigma_{cr} = \frac{\pi \times 1.06 \times 17.5 \times 0.7}{2\sqrt{2} \times 0.17} \rightarrow ok$$

کنترل ناپایداری جداساز

کنترل حداکثر تغییر شکل نسبی برشی	
----------------------------------	--

رابطه ۳-۲۳

$$\gamma_c \approx 6 \times 17.5 \times \frac{2.07}{1558 \times 0.384} = 0.363 \leq \frac{5}{3} \rightarrow ok$$

کنترل حداکثر تغییر شکل نسبی برشی

تغییر شکل نسبی برشی بر اثر فشار	
---------------------------------	--



رابطه ۲۵-۳

$$\gamma_c = \frac{6 \times 17.5 \times 2.59}{1558 \times 0.26} = 0.671$$

تغییر شکل نسبی برشی بر اثر فشار

	تغییر شکل نسبی برشی بر اثر پیچش
--	---------------------------------

رابطه ۲۶-۳

$$\gamma_t \approx \frac{0.7^2}{2 \times 0.17 \times 0.01} \times \frac{12 \times 0.25 \times 0.05 \times 30}{30^2 + 20^2} = 0.009$$

تغییر شکل نسبی برشی بر اثر پیچش

رابطه ۲۷-۳

$$\gamma_{eq} = \frac{0.25}{0.17} = 1.471$$

تغییر شکل نسبی برشی تحت بار جانبی

لرزه‌ای

رابطه ۲۴-۳

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} = 2.642 < \frac{\varepsilon_b}{1.33} \rightarrow ok$$

کنترل تغییر شکل نسبی برشی تحت

فشار، پیچش و بار جانبی

رابطه ۲۸-۳

$$D = 0.25m \leq \delta_{roll out} = \frac{2.59 \times 0.7}{2.59 + 2.465 \times 0.21} = 0.583m$$

کنترل چرخش جداساز

 $\rightarrow ok$

در روال طراحی در صورتیکه فرضیات اولیه بر اساس محاسبات تغییر نمودند تکرار مراحل محاسبات با مقادیر جدید تا زمان نیل به همگرایی مناسب مقادیر لازم است.

مقادیر ابعاد و مشخصات فنی جداسازهای طراحی شده باید با مقادیر حاصل از آزمایشهای کارخانه و کارگاه مقایسه شوند. در صورت وجود تفاوت معنی دار در مقادیر لازم ست محاسبات با نتایج حاصل از آزمایش‌ها مجدداً کنترل گردند.



پ ۳-۴ - طراحی جداساز لاستیکی با هسته ی سربی برای ساختمان مورد نظر

پارامترهای لرزه ای			
b (m)	20	γ_{max}	1.5
L (m)	30	ξ_{eff}	0.1
W (MN)	1.57	B	1.2
PDL+LL (MN)	2.07	σ_c (MN/m ²)	7.84
PDL+LL+EQ (MN)	2.59	k	0.57
Tfix (sec)	0.6	ϵ_b	5
Tisolated (sec)	1.8	e (m)	1.5
E (MN/m ²)	4.45	pi	3.14159265
G (MN/m ²)	1.06	g (m/s ²)	9.81
fy (MN/m ²)	235.44	fpy (MN/m ²)	10
Fs (MN/m ²)	141.264		

	Calculated Parameter	Assumed Parameter
keff (MN/m) =	1.950	
D (m) =	0.205	
D (e=0.05) (m) =	0.248	0.25
ttotal (m) =	0.167	0.2
Qd (MN) =	0.077	
Ap (m ²) =	0.008	
dp (m) =	0.099	0.1
revised Ap (m ²) =		0.007853982
Shape Factor =	9.094	20
Ec (MN/m ²) =	2033.650	
A1 (m ²) =	0.264	
A2 (m ²) =	0.073	
kp (MN/m) =	1.644	
kr (MN/m ²) =	1.219	
Asf (m ²) =	0.230	
d (m) =	0.541	
β (rad) =	2.181	
A3 (m ²) =	0.100	
Amin (m ²) =	0.264	
Atotal (m ²) =	0.272	
dtotal (m) =	0.588	0.7
Atotal Revised (m ²) =	0.385	

yield force of the lead plug



β Revised (rad) =	2.411		
Asf Revised (m ²) =	0.214		
tr (m) =	0.009	0.01	Single Rubber Layer Thickness
Revised Shape Factor =		17.5	
Revised Ec (MN/m ²) =	1558.056		
N =	20.000	20	Number of Rubber Layers
ts (m) =	0.003	0.003	Steel Plate Thickness
σ_{crit} (MN) =	72.114		
σ (MN) =	5.379	< σ_{crit} , then OK	
Hp/dp =	2.570	1.25 < Hp/dp <= 5.0, then OK	
γ_c =	0.362	γ_c <= $\epsilon_b/3$, then OK	
γ_{sc} =	0.817		
γ_{eq} =	1.250		
γ_t =	0.424		
$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_t$ =	2.491	<= 0.75 ϵ_b , then OK	
δ roll out (m) =	0.587	>= D, then OK	



پ ۳-۵- طراحی جداساز اصطکاکی پاندول وارونه برای ساختمان مورد نظر
در محاسبات این جداساز مراجع تکرار محاسبات به منظور نیل به همگرایی مورد نیاز ارائه شده است.

		پارامترهای لرزه ای	
b (m)	20	$\xi_{eff}^{initial}$ (%)	10
L (m)	30	B	1.208
W (MN)	1.57	μ	0.05
PDL+LL (MN)	2.07	e (m)	1.5
PDL+LL+EQ (MN)	2.59	pi	3.141592654
Tfix (sec)	0.6	g (m/s ²)	9.81
Tisolated (sec)	1.8		

	Calculated Parameter	Assumed Parameter
R fps (m) =	0.805	1.000
Revised T isolated (sec) =	2.006	
D (m) =	0.227	
D (e=0.05) (m) =	0.275	
	ξ_{eff} (%) =	9.803
	B	1.201
	D (m) =	0.229
	D (e=0.05) (m) =	0.276
the 2nd iteration	ξ_{eff} (%) =	9.754
	B	1.199
	D (m) =	0.229
	D (e=0.05) (m) =	0.277
the 3rd iteration	ξ_{eff} (%) =	9.742
	B	1.199
	D (m) =	0.229
	D (e=0.05) (m) =	0.277
the 4th iteration	ξ_{eff} (%) =	9.739
	B	1.199
	D (m) =	0.229
	D (e=0.05) (m) =	0.277
δv (m) =	0.038	
Resiliency	0.277	$\geq \mu$, then OK

OK

مراجع

1. Shenton, H. W., "Standard Test Procedures for Seismic Isolation System", NIST SP 871
2. Japan Society of Base Isolation, "An Introduction to Base Isolation", (免振構造入門), Ohmsha, 1995.
3. NEHRP commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 274), issued by FEMA in furtherance of the decade for natural disaster reduction, 1997.
4. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, (FEMA 356), 2000.
5. Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Provisions, (FEMA 450-1), 2003.
6. Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Commentary (FEMA 450-2), 2003.
7. ASCE/SEI 7 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American society of civil engineers, 2016.
8. Uniform Building Code (UBC), International Council of Building Officials (ICBO), 1997.
9. Kelly, J. M., "Earthquake resistant design with rubber", 2nd edition, Springer verlog, London.
10. Kelly, J. M., "Base Isolation: Linear Theory and Design", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 223~244.
11. Skinner, R. I., Robinson, W. H., McVerry, G. H., "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons, Chichester, 1993.
12. Paz, M, "Structural Dynamics, Theory and Computation", Chapman and Hall, New, Chapman and Hall, New York, 1991.
13. Guidelines for seismic isolation and response control, (振、免振、制振構造 設計法ガイドライン (案)), Japan Society of civil engineers, 2002.
14. Yang, Y. B., Chang, K. C., and Yau, J. D., "Base isolation", in "Earthquake engineering Handbook", 1st edition, Chen, W. F. and Scawthorn, C., CRC Press, Boca Raton, FL.
15. Chopra, A., K., "Dynamics of structures, Theory and applications to earthquake engineering", Printice Hall, Upper saddle river, NJ., 1995.
16. Kelly, J. M., Naeim, F., "Design of seismic isolated structures, from theory to Practice", John wiley & Sons, 1999.
17. Taylor, A. W. Lin A. N. Martin J. W., "Performance of Elastomers in Isolation Bearings : A Literature Review", Earthquake spectra, 1992, vol. 8, no2, pp. 279-303.
18. Bridgestone Corporation, "Multi-Rubber Bearings", International Industrial Products Department", Tokyo, 1990.
19. Recommendations for the design of base isolated buildings, Architectural Institute of Japan, 2001.
20. Wai-Fah Chen, Charles Scawthorn, "Earthquake Engineering Handbook", CRC, 2003.

۲۱. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد شماره ۲۸۰۰.

۲۲. پیش نویس دستورالعمل طراحی ساختمان های دارای جداساز لرزه ای، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

23. Hofmann W., "Rubber Technology Handbook", Hanzer Publisher, 1989.
24. Brown R. P., "Practical guide to the assessment of useful life of elastomers", Smithers Rapra Publishing, 2002.

ش

accelerator.....شتاب دهنده‌ها
Mode shape شکل مود

ط

performance based design.....طراحی بر اساس عملکرد
earthquake response spectra.....طیف پاسخ زلزله

ک

strain crystallization.....کریستالی شدن کرنشی
passive control.....کنترل غیرفعال
retarder.....کندگیرکننده

گ

aging.....گذشت زمان

ل

styrene butadiene rubber (SBR).....لاستیک استایرن بوتادین
semi-liquid unvulcanized elastomer.....لاستیک جوش نخورده نیمه مایع
natural rubber.....لاستیک طبیعی

م

damper.....میراگر
damping.....میرایی
effective damping, ξ_{eff}میرایی موثر

ن

neoprene (polychloroprene rubber).....نئوپرن

و

durometer.....واحد اندازه گیری سفتی الاستومر ها

الف

damage.....آسیب

ب

polysobutylene rubber (butyl).....بوتیل

ت

rocking.....تاب خوردن، حرکت گهواره‌ای
isolation level.....تراز جداسازی
design displacement, D_Dتغییر مکان طرح
Rubber bearing (RB).....تکیه‌گاه لاستیکی

ج

isolator.....جداساز
friction bearingجداساز اصطکاکی
friction pendulum systemجداساز اصطکاکی پاندولی
(FPS)
high damping rubber bearingجداساز لاستیکی با میرایی زیاد
(HDRB)
lead core rubberجداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی
bearing (LRB)

خ

creep.....خزش
loss.....خسارت
seismic risk.....خطرپذیری لرزه‌ای، خطرپذیری ناشی از زلزله

د

international rubberدرجه‌ی سفتی بین‌المللی لاستیک
hardness degree (IRHD)
carbon black.....دوده
natural period.....دوره‌ی تناوب طبیعی

ر

superstructure.....روسازه
cold bonding methodروش سرد در ساخت تکیه‌گاه لاستیکی
روش گرم یا جوش دادن در ساخت تکیه‌گاه لاستیکی
vulcanizing method

س

isolation system.....سامانه‌ی جداسازی
effective stiffness, K_{eff}سختی موثر
hardness.....سفتی



خواننده گرامی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می باشد.



**Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization**

Guideline for Design and Practice of Base Isolation Systems in Buildings

**No. 523
(First Revision)**

Deputy of Technical, Infrastructure and
Production Affairs

Department of Technical and Executive
Affairs, Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

2019



omoorepeyman.ir

این ضابطه

با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای سامانه‌های جداسازی لرزه‌ای در ساختمان‌ها» به منظور استفاده در طراحی و اجرای سامانه‌های جداسازی لرزه‌ای تدوین شده است. در این راهنما اصول طراحی و اجرا به تفصیل در پنج فصل و سه پیوست ذکر شده است که راهنمای مناسبی برای مشاوران و طراحان و پیمانکاران پروژه‌های دارای این سامانه‌ها می‌باشد.

