

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها

نشریه شماره ۵۲۳

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۳۳۹۱	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۸۹/۲/۲۵	
موضوع: راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها		

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی - مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۲۳ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

ابراهیم عزیزی

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه 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 خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر 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 صفی‌علیشاه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱
Email: tsb.dta@mporg.ir web: <http://tec.mporg.ir/>

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است.

روش‌های طراحی و فناوری‌های اجرای ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها یکی از این روش‌هاست که با توجه به قدمت آن و تجربیات موجود در دنیا در بسیاری از موارد عملکرد مناسبی را در برابر خطرات لرزه‌ای وقوع یافته نشان داده و از این رو مورد اقبال مهندسان و سازندگان ساختمان‌ها واقع شده است. در کشور ما نیز با توجه به توسعه‌ی روزافزون و روند رو به رشد ساخت و ساز از یک سو و لرزه‌خیزی زیاد آن و خسارات قابل توجهی که از این موضوع مترتب می‌گردد از سوی دیگر به کارگیری این فناوری مورد توجه قرار گرفته‌است. این امر در حالی است که مدارک و معیارهای فنی در این رابطه در کشور محدود است. این راهنما با هدف معرفی جزییات طراحی و- در حد امکان- اجرایی این فناوری و ارایه توصیه‌های طراحی به زبانی نسبتاً ساده برای طراحان و مهندسان تهیه گردیده‌است. بدیهی است که وجود این قبیل اطلاعات در ترویج فن‌آوری‌های سودمند برای جامعه نیز نقش قابل توجهی داشته و به فراگیر شدن منطقی و قانونمند آن کمک خواهد نمود.

در ادامه‌ی مطلب در فصل اول این راهنما به معرفی کلیات جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها پرداخته می‌شود. در فصل دوم جداسازهای لرزه‌ای مورد استفاده در ساختمان‌ها و نحوه‌ی عملکرد آن‌ها معرفی شده است. در فصل سوم معیارهای معمول مورد استفاده در طراحی ساختمان جداسازی‌شده و همچنین سامانه‌ی جداسازی بیان می‌گردد. در فصل چهارم توصیه‌هایی در زمینه‌ی میراگرهای مورد استفاده در سامانه‌های جداسازی بیان شده است. در فصل پنجم نیز ملاحظات اجرایی در فرآیند انتخاب جداسازها، طراحی سامانه‌ی جداسازی، اجرا و نگهداری این سامانه ارایه شده‌اند.

با توجه به نویا بودن این دانش فنی در کشور ما و با همه‌ی تلاش انجام‌شده قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که این‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود. در پایان، از تلاش و جدیت مدیرکل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان این دفتر، مجری محترم پروژه و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۹

ترکیب اعضای تهیه‌کننده و همکاران:

این مجموعه با مسوولیت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و با همکاری کارشناسان و متخصصان زیر تهیه شده است که از زحمات این عزیزان قدردانی می‌گردد.

اعضای کارگروه تهیه‌کننده

افشین کلانتری (مدیر پروژه) پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

تورج تقی‌خانی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

اعضای کارگروه بازخوانی و نهایی نمودن نشریه

امید بهار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

علی تبار دفتر نظام فنی اجرایی

حمیدرضا خاشعی دفتر نظام فنی اجرایی

شهرزاد روشن‌خواه دفتر نظام فنی اجرایی

حامد سرمست دفتر نظام فنی اجرایی

افشین کلانتری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول - کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۳
۱-۲- گستره.....	۴
۱-۳- جداسازی لرزه‌ای.....	۴

فصل دوم- جداسازهای لرزه‌ای

۱-۲- کلیات.....	۹
۱-۱-۲- عملکرد.....	۹
۱-۲-۱- انواع جداسازهای لرزه‌ای.....	۱۰
۱-۲-۲- جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۱۰
۱-۲-۲-۱- انواع لاستیک مورد استفاده در جداسازهای لاستیکی.....	۱۱
۱-۲-۲-۲- سختی افقی و قائم جداسازهای لاستیکی.....	۱۲
۱-۲-۲-۳- ساخت جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۱۲
۱-۲-۲-۴- کنترل کیفیت محصول.....	۱۳
۱-۲-۲-۵- ویژگی‌های جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۱۵
۱-۲-۳- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی.....	۱۸
۱-۲-۴- جداسازهای اصطکاکی.....	۱۹
۱-۲-۴-۱- جداسازهای اصطکاکی پاندولی.....	۲۰
۱-۲-۴-۲- جداسازهای لاستیکی با میراگرهای فولادی در محل جداساز.....	۲۱
۱-۲-۴-۳- جداسازهای الاستیک اصطکاکی.....	۲۱

فصل سوم- طراحی سیستم‌های جداساز لرزه‌ای

- ۳-۱- کلیات ۲۵
- ۳-۲- مدل سازی و تحلیل سازه‌ی جداسازی شده ۲۵
- ۳-۲-۱- مدل های عددی ۲۵
- ۳-۲-۲- تحلیل سازه‌ی جداسازی شده ۲۵
- ۳-۲-۳- مدل سازی دینامیکی سامانه‌ی جداساز ۲۶
- ۳-۳- روابط پیشنهادی برای طراحی واحدهای جداساز ۲۷
- ۳-۳-۱- طراحی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد و جداسازهای لاستیکی با ورقه‌ی فولادی ۲۷
- ۳-۳-۲- طراحی جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی ۳۴
- ۳-۳-۳- طراحی جداسازهای اصطکاکی- پاندولی ۴۰
- ۳-۴- مراحل طراحی سازه‌ی جداسازی شده ۴۱

فصل چهارم- میراگرها و توصیه‌های طراحی

- ۴-۱- کلیات ۴۷
- ۴-۲- معرفی تجهیزات ۴۷

فصل پنجم- ملاحظات اجرایی در طراحی سازه‌های جداسازی شده

- ۵-۱- کلیات ۵۱
- ۵-۲- ملاحظات عمومی در زمان طراحی ۵۱
- ۵-۳- مشخصات بستر ۵۲
- ۵-۴- اثر نوع خاک ۵۲
- ۵-۵- اثرات حوزه‌ی نزدیک ۵۲
- ۵-۶- اثر مولفه‌ی قائم زمین لرزه ۵۳
- ۵-۷- توجه به تاثیر مودهای بالاتر ۵۳
- ۵-۸- ارتفاع ساختمان ۵۳
- ۵-۹- رفتار روسازه ۵۳

۵-۱۰- انتخاب موقعیت تجهیزات جداسازی در ارتفاع.....	۵۳
۵-۱۱- طراحی بر اساس شرایط محیطی.....	۵۴
۵-۱۲- مقاومت در برابر آتش.....	۵۴
۵-۱۳- سختی جانبی جداسازها.....	۵۵
۵-۱۴- قراردعی جداسازها در پلان.....	۵۶
۵-۱۵- تعویض تجهیزات جداسازی.....	۵۶
۵-۱۶- فاصله‌ی آزاد جانبی و قائم.....	۵۶
۵-۱۷- طرح اعضای سازه‌ای مجاور واحدهای جداساز.....	۵۷
۵-۱۸- جزییات اجرایی معماری.....	۵۸
۵-۱۹- جزییات اجرایی تجهیزات مکانیکی.....	۶۴
۵-۲۰- آزمایش‌های موردنیاز برای جداسازهای لرزه‌ای.....	۶۷
۵-۲۱- مطالعه‌ی اقتصادی طرح‌های دارای جداسازی لرزه‌ای.....	۶۸
۵-۲۲- کنترل نتایج طراحی.....	۶۹
۵-۲۳- مدارک فنی طرح.....	۷۰
پیوست ۱- استانداردهای مورد استفاده برای آزمایش‌های لازم بر روی لاستیک.....	۷۳
پیوست ۲- نمونه جدول مشخصات فنی لاستیک تولیدی برای جداسازها.....	۷۵
پیوست ۳- مثال طراحی واحدهای سامانه جداسازی.....	۷۷
منابع و مراجع.....	۹۱
واژه‌نامه فارسی - انگلیسی.....	۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل	صفحه
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
شکل ۱-۲- جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۱۰
شکل ۲-۲- نمودار فرایند طراحی، ساخت تا ارسال جداسازها.....	۱۴
شکل ۳-۲- تاثیر ورقه‌های فولاد بر روی سختی قائم جداساز لاستیکی.....	۱۵
شکل ۴-۲- توزیع نیرو در جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۱۶
شکل ۵-۲- اثر اکسیداسیون بر روی مولکول‌های لاستیک.....	۱۸
شکل ۶-۲- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی.....	۱۹
شکل ۷-۲- جداسازهای اصطکاکی پاندولی.....	۲۰
شکل ۱-۳- مدل‌های رفتاری جداسازها در زمان تحریک.....	۲۶
شکل ۲-۳- مقطع جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۲۷
شکل ۳-۳- توصیف عامل‌های A و A_f	۲۹
شکل ۴-۳- معرفی عوامل Δ_s ، A_{re} ، β و d	۳۰
شکل ۵-۳- نمایش عامل‌های مورد نیاز در کنترل چرخش جداساز.....	۳۲
شکل ۶-۳- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد و جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی.....	۳۳
شکل ۷-۳- رفتار غیرخطی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی.....	۳۴
شکل ۸-۳- ساختمان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی.....	۳۴
شکل ۹-۳- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی.....	۳۹
شکل ۱۰-۳- توصیف بخش‌های مختلف یک جداساز اصطکاکی پاندولی.....	۴۰
شکل ۱۱-۳- روندنمای طراحی سازه‌ی جداسازی شده.....	۴۴
شکل ۱-۵- با نرم شدن خاک پاسخ سازه در دوره‌ی تناوب‌های بلندتر افزایش می‌یابد.....	۵۲
شکل ۲-۵- جداسازی در ارتفاع.....	۵۴
شکل ۳-۵- جداسازی لرزه‌ای سازه‌ی زیرزمینی.....	۵۴
شکل ۴-۵- چیدمان (تعداد و ابعاد جداسازها، موقعیت آن‌ها و فواصل آن‌ها از هم) در نتایج طراحی تاثیر گذار است.....	۵۵
شکل ۵-۵- رواداری در بخش‌های مختلف.....	۵۷

شکل ۵-۶- توزیع تنش بر روی جداساز	۵۸
شکل ۵-۷- نمایش جزییات اجرایی توصیه شده در برش یک ساختمان	۵۹
شکل ۵-۸- توجه به رعایت رواداری‌های جانبی در جزییات ساختمان جداسازی شده	۶۰
شکل ۵-۹- توجه به رعایت رواداری‌های جانبی در جزییات ساختمان	۶۳
شکل ۵-۱۰- جزییات نحوه‌ی استفاده از لوله‌های تاسیساتی انعطاف‌پذیر در محل تماس با زمین	۶۵
شکل ۵-۱۱- هزینه‌ی اجرا و خطرپذیری زلزله برای یک ساختمان	۶۹
شکل پ-۱-۳- پلان ساختمان مورد نظر و گروه‌بندی مقطع ستون‌ها در مثال	۷۷
شکل پ-۳-۲- مقدار نیروی قائم ناشی از بار مرده و زنده در پای هر ستون	۷۸

فهرست تصویرها

عنوان تصویر	صفحه
تصویر ۵-۱-الف- فراهم نمودن امکان جابجایی جانبی و قائم در کناره‌های ساختمان جداسازی شده	۶۱
تصویر ۵-۱-ب- ایجاد قابلیت جابجایی جانبی و قائم در محل پل دسترسی با ایجاد شیار	۶۱
تصویر ۵-۲- فراهم کردن امکان تغییرمکان جانبی در محل‌های تماس ساختمان با اطراف	۶۲
تصویر ۵-۳-الف- استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر در محل عبور لوله‌های تاسیسات از طبقه‌ی جداسازی	۶۶
تصویر ۵-۳-ب- استفاده از تکیه‌گاه متحرک در محل عبور لوله‌های تاسیسات انعطاف‌پذیر از طبقه‌ی جداسازی	۶۶

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول	صفحه
جدول ۵-۱- قابلیت‌های مورد نیاز برای سامانه‌های جداسازی لرزه‌ای	۵۱
جدول پ-۱-۱- استانداردهای مورد استفاده برای آزمایش‌های لازم بر روی لاستیک	۷۳
جدول پ-۲-۱- مشخصات یک نمونه‌ی لاستیک معرفی شده توسط کارخانه‌ی تولید کننده	۷۵

علايم

d	قطر جداساز دايره اى
B	طول ضلع در جداساز چارگوش
t_r	ضخامت يك لايه‌ى لاستيك
N	تعداد لايه‌هاى لاستيك
t_s	ضخامت ورقه‌هاى فولادى.
P_{DL+LL}	نيروى قائم ناشى از وزن سازه بر روى جداساز
TD	دوره‌ى تناوب اصلى سازه‌ى جداسازى شده
K_{eff}	سختى جانبى معادل جداساز
γ_{eff}	تغييرشكل نسبى برشى موثر
E	مدول يانگ
G	مدول برشى لاستيك
σ_c	تنش فشارى مجاز بر روى تكيه‌گاه
D_D	تغييرمكان طرح
S	ضريب شكل
K_v	سختى قائم تكيه‌گاه
K_h	سختى افقى تكيه‌گاه
E_c	مدول فشارى مجموعه‌ى ورقه‌هاى لاستيكى و فولادى، $E_c = E(1 + 2kS^2)$
A	سطح مقطع كامل تكيه‌گاه (تحت بار)
t_t	كل ارتفاع لايه‌هاى لاستيك
k	ضريب اصلاح در محاسبه‌ى مدول فشارى مجموعه‌ى ورقه‌هاى لاستيكى و فولادى
S	ضريب شكل $A/A_f =$
A_f	سطح خارج از بارگذارى در اطراف تكيه‌گاه
A_1, A_2, A_3	سه مقدار محاسبه شده‌ى مساحت جداساز
ϵ_b	حداكثر تغييرشكل نسبى كششى لاستيك در زمان گسيختگى.
A_{sf}	حداقل مساحت سطح مقطع براى احتراز از گسيختگى
Δ_s	تغييرمكان جانبى تكيه‌گاه
t_r	ضخامت يك لايه‌ى لاستيك
t_{i+1} و t_i	ضخامت لايه‌هاى لاستيك بالا و پايين ورق فولادى

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 مشخصه‌ی لاستیک که برای سفتی مشخصی از لاستیک را می‌توان با آزمایش و از جداولی مانند جدول موجود در پیوست شماره‌ی ۲ که توسط تولیدکننده تایید شده ارایه 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 مشخصه‌ی جداساز لاستیکی با هسته‌ی 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 هسته‌ی سربی	f_{py}
سطح مقطع هسته‌ی سربی	A_p
تغییر مکان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی در لحظه‌ی تسلیم	d_y
سختی ثانویه‌ی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی با رفتار غیرخطی که به صورت دو خطی مدل می‌شود	k_p
ارتفاع موثر هسته‌ی سربی	h_p
قطر هسته‌ی سربی	Φ_p
ضریب منظور کننده‌ی اثر هسته‌ی سربی در جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی	f_l
شعاع انحنا‌ی سطح جداساز اصطکاکی- پاندولی	R_{FPS}
ضریب اصطکاک سطح جداساز اصطکاکی- پاندولی	μ
شتاب جاذبه‌ی زمین	g
میرایی موثر جداساز	β
تغییر مکان قائم سازه با جداساز اصطکاکی- 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 پایه‌ی موثر بر مجموعه‌ی اعضای سازه‌ای بالاتر از تراز جداسازی	V_s
برش پایه‌ی موثر بر مجموعه‌ی اعضای سامانه‌ی 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 موثر سامانه‌ی جداساز متناظر با تغییر مکان طرح در جهت افقی مورد نظر	$K_{D,max}$
کم‌ترین سختی موثر سامانه‌ی جداساز متناظر با تغییر مکان طرح در جهت افقی مورد نظر	$K_{D,min}$
بیش‌ترین سختی موثر سامانه‌ی متناظر با بیش‌ترین تغییر مکان در جهت افقی مورد نظر	$K_{M,max}$
کم‌ترین سختی موثر سامانه‌ی جداساز متناظر با بیش‌ترین تغییر مکان در جهت افقی مورد نظر	$K_{M,min}$

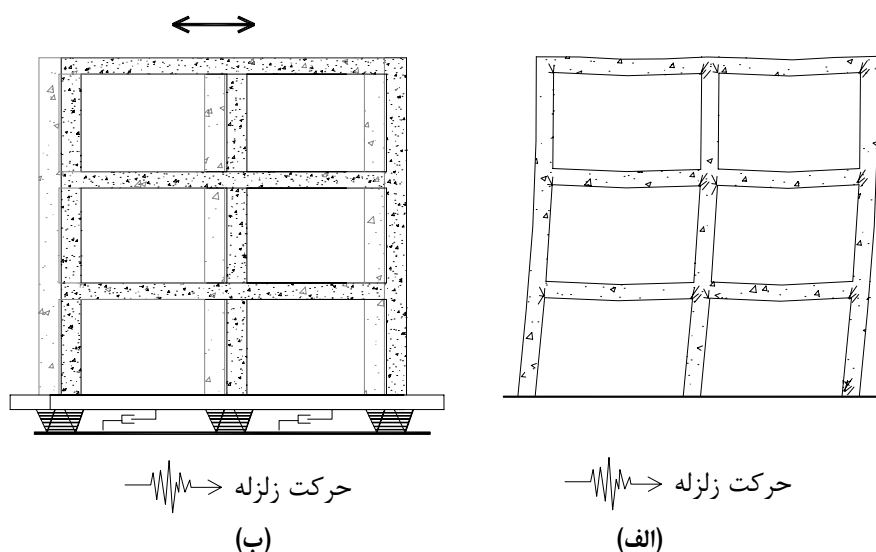
فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

جداسازی لرزه‌ای عبارت است از جداکردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه بمنظور 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 نتیجه اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات افزایش یافته و در سازه، اعضای مهاربند جانبی همچون بادبند یا دیوار برشی یا سایر اعضای سخت‌کننده در نظر گرفته می‌شود.



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، به دلیل تغییر شکل‌های غیرخطی در اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای امکان بروز خرابی در این اعضا و وقوع آسیب در اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات داخل طبقه به دلیل وقوع تغییر مکان و شتاب‌های قابل توجه در طبقه وجود دارد. کنترل بروز آسیب در اثر زلزله به خصوص در تکان‌های نسبتاً شدید کار دشواری خواهد بود. بر اساس مشاهدات پس از رویداد زلزله‌های شدید، سازه‌های ساخته شده بر اساس روش‌های مرسوم طراحی و ساخت، مقادیر شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه می‌کنند که این امر در نهایت سلب آرامش از ساکنان ساختمان‌های بلند، آسیب در اجزای غیر سازه‌ای و تجهیزات و احتمال قطع خدمات ارایه 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 بر اساس 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 رویداد احتمالی زلزله 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 غیر سازه‌ای کاهش می‌یابد. پیشرفت دانش فنی و تغییرات یاد شده در ضوابط و معیارهای طراحی و ارزیابی سازه‌ها باعث شده تا بسیاری از سازه‌های موجود طی ارزیابی‌های مجدد در حاشیه‌ی "ناامن" قرار گیرند. روش جداسازی لرزه‌ای در زمینه‌ی مقاوم‌سازی و بهسازی 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 بر اساس عملکرد و اهمیت توصیه می‌گردد:

- ۱- ساختمان‌های با اهمیت بالا: ساختمان‌هایی که عملکرد آن‌ها در وضعیت بحرانی پس از زلزله مهم است، مانند ساختمان‌های امدادسانی 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.

۲-۱- 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"^۱ 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.

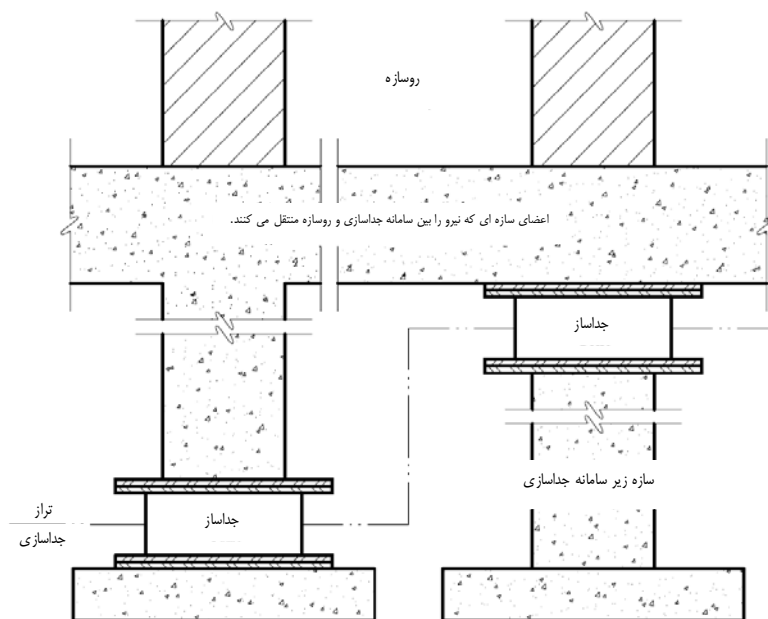
۳-۱- جداسازی لرزه‌ای

در مقابل ایده‌ی طراحی و اجرای ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، با توجه به آسیب‌های سازه‌ای و مشکلات بروز کرده برای ساکنان در طی زلزله‌ها، ایده‌ی طراحی سازه جداشده از پایه بر اساس کنترل نیروی زمین‌لرزه از طریق ممانعت از ورود آن به سازه بنا

۱- در حال حاضر این دستورالعمل به صورت پیش‌نویس در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه و در دست تدوین نهایی است. در این راهنما هر جا عبارت "دستورالعمل" بکار برده شده منظور "پیش‌نویس دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای" است.

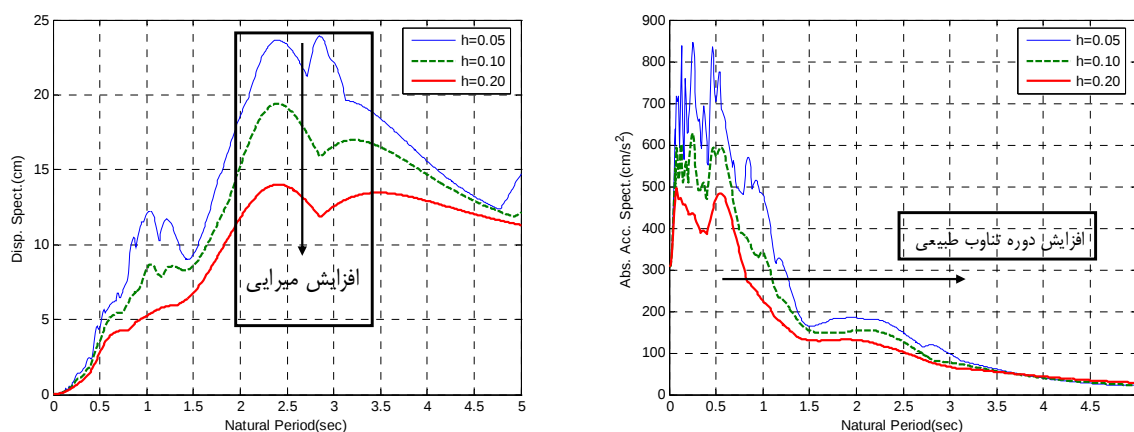
شده است. این ایده در سال‌های اخیر در موارد بسیاری در طراحی و اجرای سازه‌های مهم مورد استفاده قرار گرفته است. مطابق نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی، سامانه‌های سازه‌ای مجهز به این فناوری پاسخ لرزه‌ای کم‌تری نسبت به سازه‌های معمول خواهند داشت.

در جداسازی لرزه‌ای دوره‌ی تناوب اصلی سازه به کمک تجهیزاتی که مطابق شکل (۳-۱) بین روسازه و بخش پایین‌دست آن قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱- 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 مرسوم، 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 بلندتر شدن دوره‌ی تناوب طبیعی سازه می‌شود. این امر با توجه به طیف پاسخ شتاب زلزله، در اغلب موارد منجر به کاهش احتمال وقوع نیروها و شتاب‌های زیاد در سازه می‌گردد.



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

طراح باید توجه داشته باشد که کاهش شتاب با توجه به رفتار نیرو- تغییر مکان جداسازها انجام می‌پذیرد و نیاز به کاهش شتاب ممکن است منتهی به سامانه‌ی جداسازی با سختی کمی گردد که این خود احتمال بوجود آمدن تغییر مکان‌های 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 تغییر مکان، شتاب سازه نیز کاهش یابد. این میرایی همچنین پدیده‌ی تشدید پاسخ ناشی از وجود مولفه‌های با دوره‌ی تناوب بالا در حرکت زمین را کاهش می‌دهد. اما در عین حال باید توجه نمود که در برداشتن میرایی زیاد در سامانه‌ی جداساز خود موجب افزایش نیروی منتقل شده به سازه می‌گردد و باید از سوی طراح مورد توجه قرار گیرد.

بنابراین 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 جهت افقی انعطاف پذیری لازم را تامین نماید؛

۳- قابلیت جذب انرژی داشته باشد.

این قابلیت‌ها می‌تواند به طور همزمان در یک وسیله تامین شود یا به کمک چند وسیله آن‌ها را برای سامانه‌ی جداسازی فراهم آورد. علاوه بر این طراح ممکن است برای محدود نمودن تغییر مکان جداسازها، در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای، ضربه‌گیرهایی نیز پیش‌بینی نماید.

همانطور که در بخش‌های بعد اشاره خواهد شد، با توجه به این تغییر مکان، فاصله‌ی آزاد مشخصی باید در اطراف سازه در نظر گرفته شود تا حرکت طبقه‌ی جداسازی شده به سهولت امکان‌پذیر گردد.

تجهیزات جداسازی لرزه‌ای عبارتند از:

- تکیه‌گاه‌ها و جداسازها؛

- میراگرها.

در کنار این اجزاء ممکن است امکانات دیگری برای فراهم‌سازی قابلیت جابجایی در تراز جداسازی ایجاد گردد.

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.

فصل دوم

جداسازهای لرزه‌ای

۲-۱- کلیات

۲-۱-۱- عملکرد

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 از جداسازهایی که بر اساس مشخصات دینامیکی سازه، اهداف عملکردی مورد نظر طراح و شرایط خطر لرزه‌ای ساختگاه، طراحی و ساخته شده‌اند صورت می‌گیرد. وظیفه 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 سامانه‌ای است که سازه روی خود را از بخش زیرین خود جدا می‌کند. برای اینکه در زمان بروز زلزله هیچ نیرویی به سازه منتقل نشود، لازم است این سامانه، سازه را به حالت شناور درآورد. این امر با توجه به نیاز به کنترل تغییر مکان‌های نسبی جانبی در زمان تحریک زلزله از نظر اجرایی درست و امکان پذیر نیست. دو گروه اصلی از جداسازهای لرزه‌ای برای کنترل نیروی منتقل شده به روسازه در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند:

الف- استفاده از جداسازهای لاستیکی برای افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی سازه؛

ب- استفاده از جداسازهای اصطکاکی و کنترل حداکثر نیروی منتقل شده به روسازه و استهلاک انرژی در محل جداساز.

جداسازها باید مقاومت لازم برای تحمل وزن سازه روی خود را داشته باشند. در عین حال جداسازهای لاستیکی باید در جهت افقی به اندازه‌ی کافی نرم باشند.

در زمان طراحی توجه به این نکته ضروری است که با نرم‌تر شدن جداسازها، تغییر مکان نسبی بین زمین و سازه افزایش می‌یابد. به این ترتیب تغییر مکان نسبی تراز جداسازی و پاسخ شتاب سازه همواره با هم نسبت عکس دارند. 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 تغییر مکان نسبی ذکر شده را در محدوده‌ی مورد نظر طراحی نگاه داشت. به این ترتیب، از جداسازها، قابلیت تحمل بار، تغییر مکان‌های زیاد و بازگشت به محل اولیه پس از پایان یافتن زلزله انتظار می‌رود.

در جداسازهای اصطکاکی ضریب اصطکاک مناسب عامل کنترل نیروی انتقالی به روسازه و همچنین کنترل تغییر مکان 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.

مسایل اقتصادی، اجرایی و دوام این تجهیزات در زمان طراحی و ساخت آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. جداسازی موفق یک سازه خاص، مستلزم انتخاب، طراحی و ساخت سامانه‌ی جداسازی مناسب برای آن است. علاوه بر تامین انعطاف‌پذیری جانبی کافی و میرایی مناسب، همانطور که قبلاً نیز ذکر شد سامانه‌ی جداسازی باید قادر باشد تا پس از اتمام ارتعاش زلزله به وضعیت اولیه‌ی خود بازگردد. این سامانه‌ها باید سختی قائم زیادی برای جلوگیری از تاب خوردن و حرکت گهواره‌ای سازه و سختی اولیه‌ی کافی برای جلوگیری از حرکت‌های ناخواسته‌ی ناشی از وزش باد و لرزه‌های با دامنه‌های کم داشته باشند.

۲-۱-۲- 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 ورقه‌های 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:

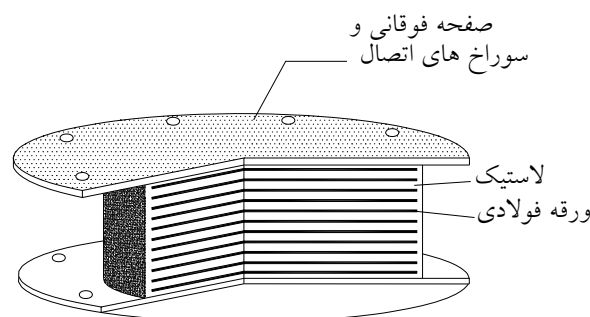
- جداسازهای اصطکاکی؛
- جداسازهای الاستیک اصطکاکی؛
- جداسازهای اصطکاکی پاندولی.

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.

۲-۲- جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های 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 ورقه‌های فولادی همان‌طور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است از ورقه‌های 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.



شکل ۱-۲- جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

این جداسازها که در ابتدا برای ایجاد انعطاف‌پذیری در پایه‌ی پل‌ها در زمان انبساط و انقباض آن‌ها استفاده شد، بعدها به منظور رفع مشکل ارتعاش ناشی از حرکت قطارهای زیرزمینی کارکرد مناسبی از خود نشان دادند.

۲-۲-۱- 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. همه‌ی این لاستیک‌ها تحت بارگذاری، فرآیند "کریستالی شدن کرنشی" را 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 مانند مقاومت در مقابل پارگی، مقاومت و خستگی در تغییر مکان‌های زیاد، خزش و خصوصیات آن در دمای پایین، از بیش‌تر لاستیک‌های مصنوعی که برای ساخت جداسازهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند بهتر است. 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 ورقه‌های 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.

اخیرا روش‌هایی برای ساخت کم‌هزینه‌تر جداسازها ارایه شده است. در یکی از این روش‌ها شبکه‌های الیافی جایگزین ورقه‌های 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 ارائه شده است. واحد دیگر اندازه‌گیری سفتی لاستیک‌ها durometer است.

۲-۲-۲- 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 کماتش یا ناپایداری جداساز صورت پذیرد.

سختی قائم مجموعه‌ی لاستیک و فولاد متورق باید متناسب با نیروی ناشی از ستون بالای خود باشد. به عنوان مثال، برای جداسازی به قطر ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر، ستون بتن مسلح به ابعاد 70×70 سانتی‌متر را در نظر بگیرید. سختی عمودی جداساز به کمک رابطه‌ای که در بخش مربوط پیشنهاد شده با در نظر گرفتن ثابت‌های زیر برای لاستیک: $\kappa = 0.5$ ، $G = 4 \text{ kg/cm}^2$ ، $E_b = 20 \text{ ton/cm}^2$ و مدول یانگ برای بتن ۲۱۰ تن بر سانتی‌متر مربع برابر است با حدود ۲۱۴۰ تن بر سانتی‌متر. از سوی دیگر با توجه به ابعاد، سختی ستون بتن مسلح حدود ۲۵۰۰ تن بر سانتی‌متر است.

جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های 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. در مثال بالا، قابلیت تغییر مکان یک جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی به قطر ۷۰ سانتی‌متر حدود ۴۰ سانتی‌متر است در حالی که اگر نسبت تغییر مکان جانبی یک ستون بتن مسلح در یک طبقه را $1/200$ فرض نماییم، این مقدار متناظر است با تغییر مکانی حدود ۲ سانتی‌متر.

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

جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های 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، ورقه‌های لاستیک با چسب به ورقه‌های 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 ورقه‌های 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 ورقه‌های فولادی ریخته می‌شود. برای حفظ فاصله‌ی برابر بین ورقه‌های فولادی از پرچ، گوه‌های فولادی یا پین‌هایی بین آن‌ها استفاده می‌شود. در این روش ورقه‌های 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.

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.

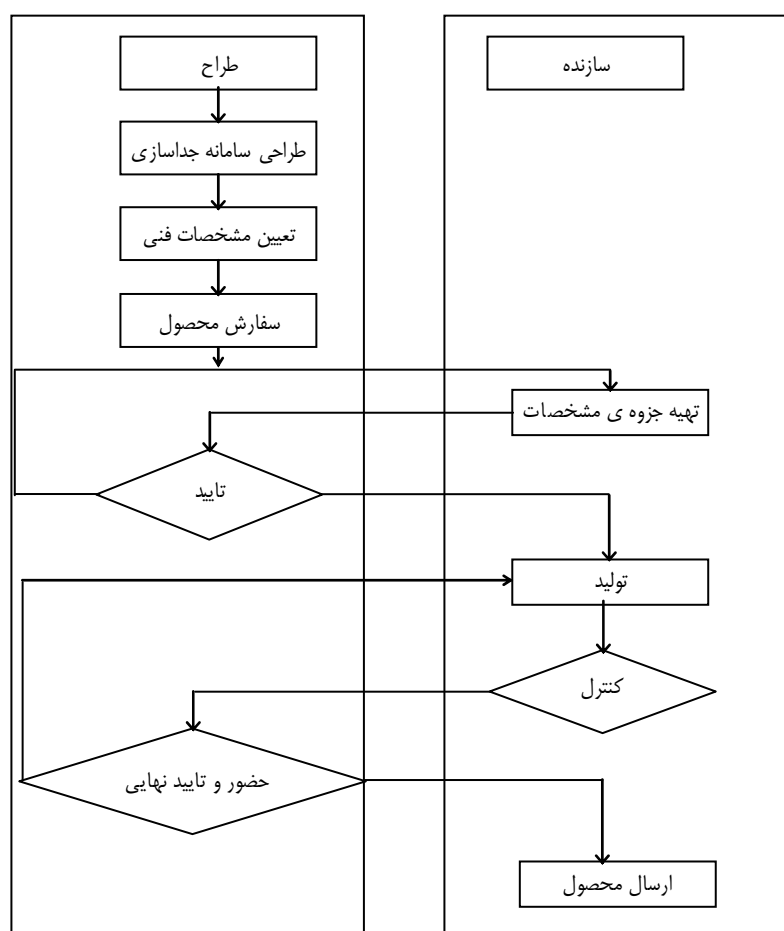
محصولی با این فرایند تولید به طور قطع نیاز به کنترل کیفیت فراوان دارد. به ویژه به نکات زیر در طی تولید باید توجه نمود:

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

۲-۲-۴- کنترل کیفیت محصول

پیروی از استانداردهای تدوین شده برای هر یک از موارد فوق ضامن تامین کیفیت لازم برای محصول به دست آمده است. عملکرد درست این تجهیزات در مدت زمان طولانی برای حفظ ایمنی لرزه‌ای سازه ضروری است. از این‌رو لازم است تا علاوه بر انجام آزمایش‌های کنترل‌کننده نمونه‌ها مانند اندازه‌گیری ابعاد یا مقاومت و سختی جداساز در برابر بارهای جانبی در مرحله‌ی پایانی توسط خریدار، کنترل کیفیت دقیق فرایند ساخت این قطعات که نسبتاً پیچیده و حساس است بر اساس استانداردها و ضوابط معین و مورد تایید کارفرما مطابق برنامه‌ی آزمایش کنترل کیفیت سامانه‌ی جداسازی که توسط مهندس طراح بر اساس ضوابط مندرج در "دستورالعمل" تنظیم می‌گردد صورت پذیرد.

فهرست برخی از استانداردهای مورد استفاده در ساخت و کنترل کیفیت جداسازهای لاستیکی در پیوست یک معرفی شده‌اند. در مرکز این جداسازها اغلب سوراخی وجود دارد. از نظر قابلیت باربری این جداسازها، وجود این سوراخ ممکن است نقطه‌ی ضعفی به شمار آید. اما وجود آن به نحوه‌ی ساخت این وسایل بر می‌گردد. لازم است در زمان طراحی بر عدم بروز اشکال در عملکرد جداساز به دلیل وجود این سوراخ دقت گردد. در زمان ساخت با دادن حرارت از داخل این سوراخ، به توزیع حرارت در مجموعه‌ی جداساز کمک کرده و کیفیت محصول را از این طریق بالا می‌برند. به ویژه در مواردی که قطر خارجی این جداسازها زیاد می‌شود، اعمال حرارت تنها از خارج آن کافی نیست. شکل زیر یک روند نما از فرایند طراحی، تولید و کنترل کیفیت محصول جداسازهای لرزه‌ای ارائه می‌دهد.



شکل ۲-۲- نمودار فرایند طراحی، ساخت تا ارسال جداسازها

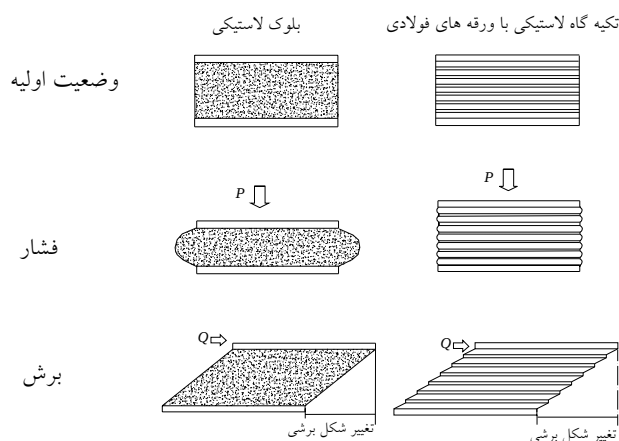
اقدامات مورد نیاز برای کنترل کیفیت محصول را می‌توان به موارد مورد نظر برای طراح و سازنده تقسیم نمود. مهندس طراح مشخصات فنی تجهیزات را تهیه کرده، برنامه‌ی آزمایش کنترل کیفیت واحدهای جداساز را مطابق "دستورالعمل" ارایه نموده، جزوه‌ی مشخصات فنی محصول تدوین شده توسط سازنده را تایید می‌کند، در عملیات کنترل محصول حضور می‌یابد و در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده در مورد کیفیت محصول نظر می‌دهد. سازنده، جزوه‌ی مشخصات فنی محصول را تدوین می‌کند، بر اساس آن کار کنترل کیفیت محصول را انجام داده و گزارش نتایج را تهیه می‌نماید.

کنترل کیفیت محصول، به طور معمول شامل کنترل مواردی که در جزوه‌ی مشخصات فنی محصول درج شده، کنترل رعایت موارد مندرج در استاندارد تدوین شده برای محصول، انجام آزمایش‌های لازم برای مواد اولیه، ابعاد تجهیزات جداسازی، آزمایش قابلیت باربری و تغییر مکان و سایر موارد لازم است.

۲-۲-۵- ویژگی‌های جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

۲-۲-۵-۱- رفتار جداسازها در برابر بار جانبی و قائم

شکل (۲-۳) ویژگی‌های رفتاری جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی را نشان می‌دهد. رفتار جداساز قبل و بعد از مسلح شدن به ورقه‌های فولادی تحت نیروی فشاری و نیروی برشی نمایش داده شده است.

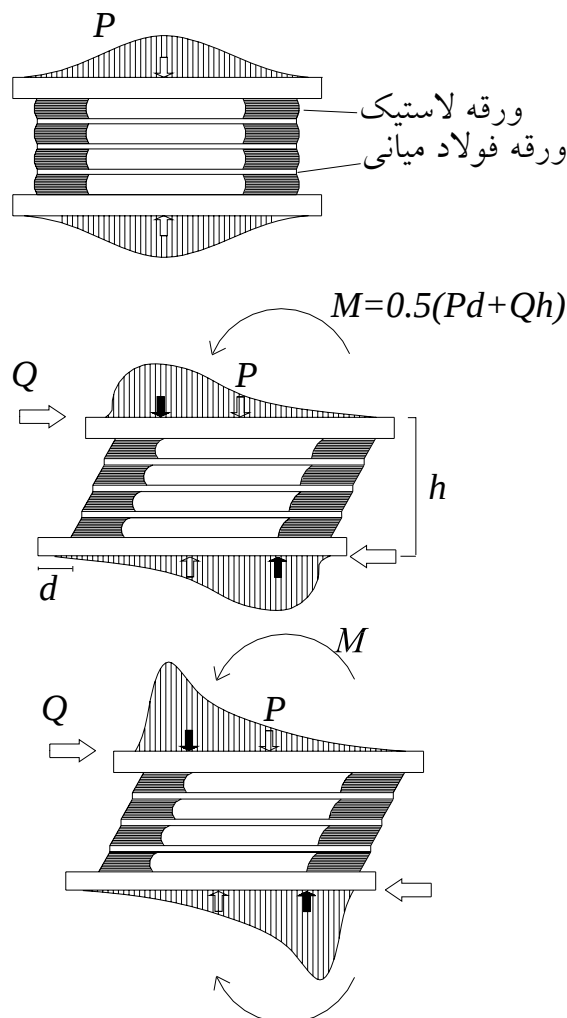


شکل ۲-۳- تاثیر ورقه‌های فولاد بر روی سختی قائم جداساز لاستیکی

با توجه به نتایج مطالعات عددی و آزمایشگاهی، توزیع تنش و نیروی فشاری داخلی در این جداسازها را می‌توان با آنچه در شکل (۲-۴) نشان داده شده معرفی کرد.

با تحت فشار قرار گرفتن جداساز لاستیکی، ورقه لاستیکی تمایل به تغییر شکل در جهت شعاعی و به سمت بیرون دارد. اما به دلیل ممانعت ورقه‌های فولادی قادر به این تغییر مکان نیست. در این حالت مطابق شکل (۲-۴)، تنش فشاری در جداساز با توزیعی سهمی شکل دارای حداکثر مقدار خود در مرکز جداساز خواهد بود. این شرایط به دلیل اثر گیرداری ورقه‌های 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 ورقه‌های فولادی، از آنجا که ورقه‌های فولادی تغییر شکل برشی ورقه‌های 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.



شکل ۲-۴- توزیع نیرو در جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

۲-۵-۲-۲- عملکرد در برابر بارهای فشاری

در جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های 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.

۲-۵-۳-۲- عملکرد در برابر بارهای کششی

این جداسازها در مقابل نیروی 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 سانتی‌متر مربع نشان داده است.

۲-۲-۵-۴- عملکرد در برابر بارهای فشاری و برشی

جداسازها باید ضمن تحمل وزن سازه در شرایط عادی، با نشان دادن سختی کم و تغییر مکان قابل توجه در زمان زلزله، نیروی موثر زلزله بر سازه را کاهش دهند. 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 باربری نیروی 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 گردد، اما در عین حال نیروی منتقل شده به سازه و در نتیجه پاسخ طبقات افزایش می‌یابد. از این رو مطلوب است تا در زمان طراحی، تغییر شکل طراحی جداساز در محدوده‌ی خطی تعیین گردد.

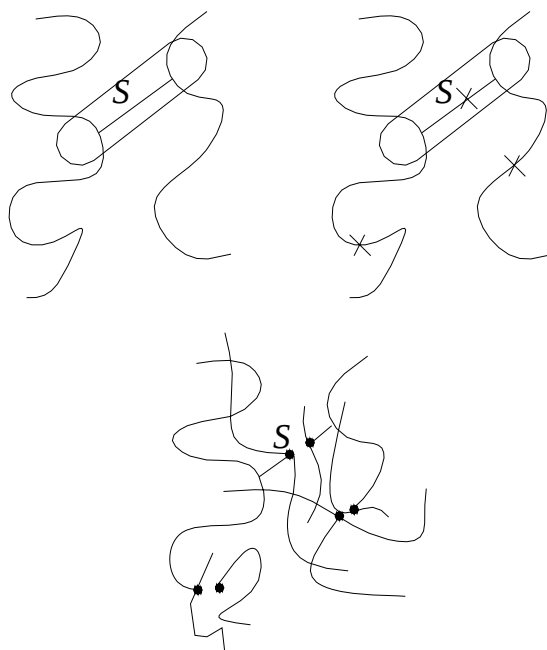
۲-۲-۵-۵- پایایی

به منظور بررسی پایایی در جداسازهایی که از لاستیک و فولاد ساخته شده‌اند، توجه خاص باید به پایایی لاستیک در طول زمان معطوف گردد. لاستیک ماده‌ای آلی است و ویژگی‌های آن به مرور زمان به تدریج تغییر می‌کند. عوامل بروز این تغییرات را می‌توان به شکل زیر دسته‌بندی کرد:

عوامل خارجی مانند: گازها، نور، گرما 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 بیش‌تر باید معطوف تأثیر عملکرد آن‌ها در مقابل اکسیداسیون گردد. اکسیداسیون لاستیک موجب افزایش سختی آن می‌شود. این پدیده را به طور ساده می‌توان به شکل زیر توضیح داد. در حالی که مولکول‌های لاستیک (پلیمر) توسط سولفورها به هم متصل می‌گردند (پل) با مداخله‌ی اکسیژن این اتصال قطع و با پلیمر دیگری اتصال پیدا می‌کند. در نتیجه‌ی تکرار این فرایند ساختمانی شبکه‌ای در لاستیک به وجود می‌آید و آزادی مولکول‌های لاستیک محدود شده و لاستیک سخت‌تر می‌شود. شکل (۲-۵) این امر را به صورتی ساده نشان داده است.

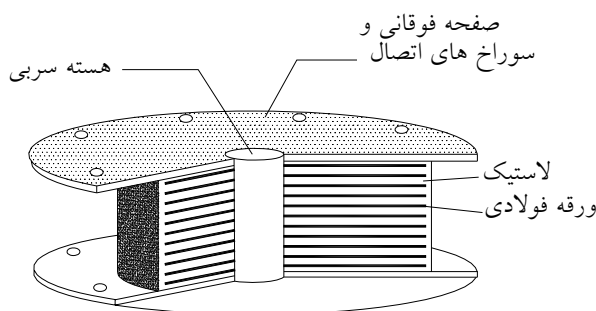


شکل ۲-۵- اثر اکسیداسیون بر روی مولکول‌های لاستیک

از سوی دیگر ورقه‌های لاستیک و فولاد بسیار نازک هستند و اکسیژن تنها قادر به تماس با سطح بسیار کوچکی از لاستیک است. از این رو اگرچه سطح بیرونی اکسید می‌شود بخش داخلی 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.

۲-۳- 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. هسته‌ی سربی در جداسازهای لاستیکی با تسلیم شدن در زمان ارتعاش، میزان میرایی را از حدود ۳ درصد میرایی بحرانی در جداسازهای لاستیکی به چیزی در حدود بیش از ۱۰ درصد می‌افزاید. همچنین هسته‌ی سربی با تامین سختی اولیه‌ی کافی، سازه‌ی جداسازی شده را در برابر بارهای جانبی ضعیف مانند باد یا زلزله‌های خفیف مقاوم می‌کند.



شکل ۲-۶- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

دلیل انتخاب سرب برای این جداساز این است که فلز سرب دارای ساختمانی کریستالی است. ساختار کریستالی سرب با تغییر مکان تغییر می‌کند اما بلافاصله با برگشت تغییر مکان به حالت اولیه بازگشته و به این ترتیب تسلیم‌های متوالی تحت بارهای ارتعاشی دینامیکی جانبی باعث به وجود آمدن پدیده‌ی خستگی در آن نمی‌شود.

سرب تحت نیروی برشی در تنش‌های نسبتاً پایین در حدود ۸ تا ۱۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع به حد تسلیم می‌رسد و بنابراین رفتار هیستریزیس پایداری نشان داده و میزان قابل توجهی از انرژی را در زمان رخداد زلزله‌های نسبتاً بزرگ از بین می‌برد. رفتار هیستریزیس این جداسازها را می‌توان به صورت دوخطی با سختی اولیه‌ای در حدود ۹ تا ۱۶ برابر سختی پس از تسلیم آن‌ها در نظر گرفت.

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

۲-۴- 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 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.

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

یک نکته‌ی قابل توجه در این‌گونه سامانه‌های جداسازی، نبود نیروی بازگرداننده در آن است. این امر ممکن است موجب شود تا سازه پس از اتمام لرزه به محل اولیه‌ی خود باز نگردد. علاوه بر این طراح باید در طی طراحی به موارد زیر در طول دوره‌ی ساخت و نگهداری سامانه نیز توجه کافی داشته باشد:

- امکان جوش خوردن سطح تماس جداسازها در طول زمان؛

- وقوع یخ‌زدگی؛

- بروز خوردگی؛

- از بین رفتن سطح کم اصطکاک این تجهیزات.

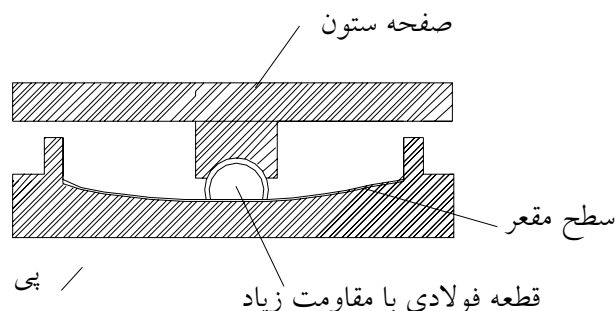
به طور خلاصه شرایط این جداسازها در طول زمان و در شرایط محیطی متغیر باید مورد توجه قرار گیرد. از این‌رو بازدیدهای منظم و دوره‌ای باید به منظور کنترل وضعیت این جداسازها انجام پذیرد.

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.

نبود نیروی بازگرداننده در این روش جداسازی، امکان بروز اشکال در عملکرد مطلوب آن را به همراه دارد. 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.

۲-۴-۱- جداسازهای اصطکاکی پاندولی

نیروی بازگرداننده در این جداسازها (شکل ۲-۷) توسط جاذبه‌ی زمین و وزن سازه تامین می‌شود. 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.



شکل ۲-۷- جداسازهای اصطکاکی پاندولی

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.

۲-۴-۲- جداسازهای لاستیکی با میراگرهای فولادی در محل جداسازی

برای ایجاد نیروی بازگرداننده در سامانه‌های مجهز به جداسازهای اصطکاکی، استفاده‌ی همزمان از جداسازهای لاستیکی پیشنهاد می‌شود. در این حالت نیروی بازگرداننده در سامانه 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.

۲-۴-۳- جداسازهای الاستیک اصطکاکی

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.

فصل سوم

طراحی سیستم‌های 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 تجهیزات جداساز، تعیین مقدار دقیق مشخصات فنی آن‌ها و کنترل کیفیت آن‌ها، در صورت وجود اختلاف در درجه‌ی اول لازم است مفاد دستورالعمل و آیین‌نامه‌ی یادشده رعایت گردد.

۳-۲- مدل‌سازی و تحلیل سازه‌ی جداسازی شده

۳-۲-۱- مدل‌های عددی

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 شود. 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 مودال روسازه ایجاد می‌شوند. در مواردی با در نظر گرفتن پیچش در روسازه مدل پیشرفته‌تری ایجاد می‌گردد. به کمک نرم‌افزارهای المان محدود امکان ایجاد مدلی سه‌بعدی، نزدیک به واقعیت و مطالعه‌ی دقیق‌تر رفتار اجزای سازه و سامانه‌ی جداسازی مقدور شده است. توصیه می‌شود طراح در مدلسازی و به‌کارگیری این نرم‌افزارها به خوبی از جزئیات 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.

۳-۲-۲- تحلیل سازه‌ی جداسازی شده

روش‌های معمول در "دستورالعمل" به منظور محاسبه‌ی نیرو در سازه‌ی جداسازی شده عبارتند از:

- روش بار جانبی معادل؛
- روش دینامیکی؛
- روش طیف پاسخ؛
- روش تاریخچه‌ی زمانی.

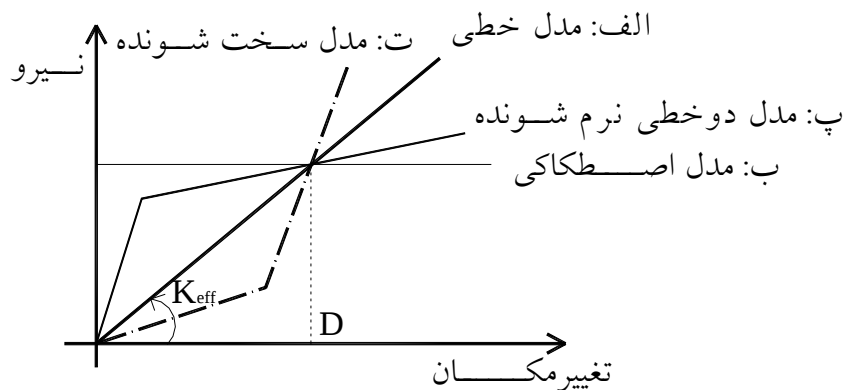
هر یک از روش‌های ذکر شده در این بند باید با توجه به محدودیت‌های مذکور در "دستورالعمل" به کار روند. عوامل مهم در انتخاب روش تحلیل سازه از بین موارد فوق عبارت است از:

- 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؛

۳-۲-۳- مدل‌سازی دینامیکی سامانه‌ی جداسازی

لازم است پاسخ تغییر مکان و نیروی جداسازها در سامانه‌ی جداسازی و پاسخ کلی سازه در تراز جداسازی با استفاده از یک مدل از سازه‌ی جداسازی شده که امکان وارد کردن رفتار غیرخطی نیرو- تغییرمکان تجهیزات جداسازی و سامانه‌ی مقاوم در برابر نیروهای جانبی را دارد محاسبه گردند. در این زمینه لازم است مفاد بند ۵-۶ دستورالعمل رعایت گردد. 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.



شکل ۳-۱- مدل‌های رفتاری جداسازها در زمان تحریک

نمودار "الف" رفتاری خطی با سختی موثر و دوره‌ی تناوب طبیعی یکسان را برای تمام سطوح بارگذاری زلزله نشان می‌دهد. نیروی منتقل شده به روسازه همواره متناسب با تغییرمکان تراز جداسازی است.

در نمودار "ب"، رفتار یک سامانه‌ی جداسازی اصطکاکی ایده‌آل نمایش داده شده است. پاسخ در این سامانه با ضریب اصطکاک و در نتیجه نیروی اصطکاک موجود بر روی تکیه‌گاه‌ها 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 مبدا این سامانه‌ها اغلب در ترکیب با سامانه‌ای که این قابلیت را تامین نماید مانند جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی استفاده می‌شوند.

نمودار "پ" رفتار دوخطی نرم شونده را نشان می‌دهد. این سامانه در ابتدا سخت (با دوره‌ی تناوب موثر کوتاه) بوده و با افزایش نیروی زلزله نرم‌تر می‌شود (افزایش دوره‌ی تناوب موثر). معمولاً جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB)، جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی (LRB) یا جداسازهای اصطکاکی با نیروی برگرداننده این گونه رفتار را از خود نشان می‌دهند.

نمودار "ت" رفتار یک سامانه‌ی سخت شونده را نشان می‌دهد. این گونه سامانه‌ها سختی اولیه‌ی کمی دارند. با افزایش میزان پاسخ تغییر شکل آن‌ها، سختی آن‌ها افزایش می‌یابد.

در هر یک از نمودارهای بالا لازم است به رفتار سامانه‌ی جداسازی قبل و بعد از تغییر مکان طراحی توجه گردد. حداقل تغییر مکان جانبی طراحی جداسازها در زلزله و نیروهای موجود بر روی آن‌ها باید بر اساس مشخصات تغییر شکلی این سامانه‌ها 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 استنتاج 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.

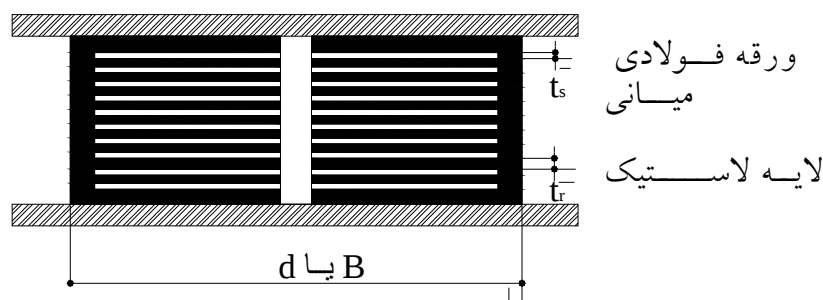
مدل ریاضی در نظر گرفته شده برای این جداسازها باید با توجه به رفتار نیرو-تغییر مکان آن‌ها که بر اساس نتایج آزمایشگاهی مندرج در بخش "آزمایش‌های لازم برای سامانه‌ی جداسازی" در "دستورالعمل" و یا "آزمایش‌های مورد نیاز" در این راهنما مشخص شده و اصلاح گردد. این مدلسازی باید به گونه‌ای صورت گیرد تا جزییات زیر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

- ۱- توزیع جداسازها در پلان را در نظر گرفته باشد.
- ۲- با توجه به بدترین شرایط قرارگیری جرم در روسازه، تغییر مکان افقی و پیچشی روسازه را محاسبه کند.
- ۳- نیروهای واژگونی و برکنش را بر روی هر یک از جداسازها محاسبه کند.
- ۴- اگر رفتار جداسازها تابعی از اثر بار قائم، بار دوطرفه و سرعت بارگذاری باشد این اثرات را در نظر گیرد.

۳-۳- روابط پیشنهادی برای طراحی واحدهای جداساز

۳-۳-۱- طراحی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد و جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

عوامل اصلی در طراحی تکیه‌گاه‌های لاستیکی با ورقه‌های فولادی مطابق شکل ۳-۲ عبارتند از:



شکل ۳-۲- مقطع جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی

d : قطر در جداساز دایره‌ای؛

B : طول ضلع در جداساز چهارگوش؛

t_r : ضخامت یک لایه‌ی لاستیک؛

N: تعداد لایه‌های لاستیک؛

t_s : ضخامت ورقه‌های فولادی.

گام‌های پیشنهادی برای طراحی این جداسازها به ترتیب زیر است:

۱- تعیین وزن سازه و نیروی قائم بر روی جداساز (P_{DL+LL}).

- در تعیین بار قائم بر روی جداساز، ترکیب بار مرده، بار زنده و بار لرزه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد.

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

- دوره‌ی تناوب اصلی طراحی سازه T_D به مشخصات ساختگاه بستگی دارد. در طراحی به عنوان یک معیار کلی حداقل مقدار عددی برای این عامل حدود ۳ برابر دوره‌ی تناوب اصلی نوسانی سازه‌ی جداسازی نشده (سازه‌ی با پایه‌های ثابت) است.

۳- با داشتن دوره‌ی تناوب طبیعی طرح و وزن سازه سختی جانبی موثر جداساز K_{eff} محاسبه می‌شود.

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \times \frac{2\pi}{T_D} \quad (W=P_{DL+LL})$$

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

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 بستگی به ترکیب لاستیک 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 ۱۵ تا ۲۰ 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 طرح (D_D) با استفاده از روابط و روش‌های مندرج در دستورالعمل.

مقدار تغییرمکان طرح (D_D)، به شدت لرزه‌خیزی منطقه و ضریب طیفی بستگی دارد که تابعی از مختصات ساختگاه، دوره‌ی تناوب اصلی نوسان سازه و میرایی سامانه‌ی جداسازی است.

۸- ضخامت کل جداساز لاستیکی صرفنظر از ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر اساس تغییر مکان طرح و حداکثر تغییر شکل نسبی برشی قابل تحمل توسط لاستیک به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{max}}$$

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

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

در این رابطه:

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

$E_c = E(1 + 2kS^2)$: مدول فشاری مجموعه‌ی ورقه‌های لاستیکی و فولادی،

A : سطح مقطع کامل بالشتک (تحت بار)

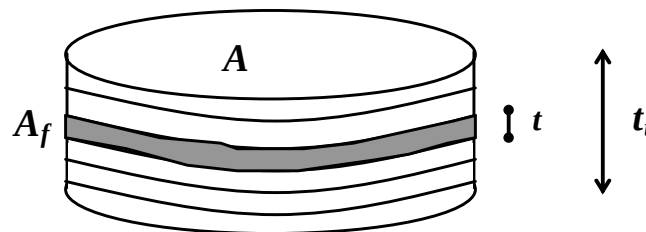
t_t : کل ارتفاع لایه‌های لاستیک

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 بالشتک (شکل ۳-۳).

مشخصات مربوط به رفتار لاستیک همچون مدول یانگ یا مدول برشی، توسط کارخانه‌ی سازنده‌ی لاستیک ارایه خواهد شد. جدول ارایه شده در پیوست شماره‌ی ۲، یک نمونه از این اطلاعات را ارایه می‌کند.



شکل ۳-۳- توصیف عامل‌های A_f و A

۱۰- 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 به دست می‌آید.

با داشتن نیروی قائم طراحی و تنش فشاری مجاز، مقدار اولیه برای مساحت جداساز (A_1) محاسبه می‌شود:

$$A_1 = \frac{P_{DL+LL}}{\sigma_c}$$

نیروی قائم از مجموع بار مرده و زنده ($W = P_{DL+LL}$) محاسبه می‌شود.

۱۱- مساحت A_2 بر اساس محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = \frac{6 \times S.P_{DL+LL}}{E_c \cdot \gamma_c|_{DL+LL}}$$

مقدار در نظر گرفته شده برای تغییر شکل نسبی برشی لاستیک تحت این بار $\gamma_c|_{DL+LL}$ باید در نامعادله‌ی زیر صدق کند:

$$\gamma_c|_{DL+LL} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

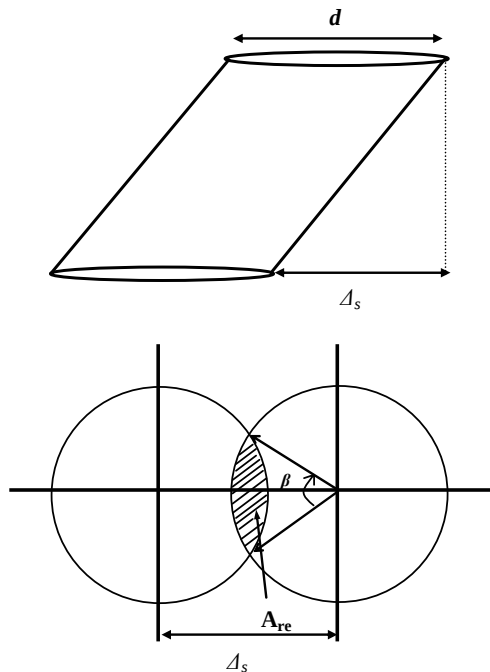
ε_b عبارت است از حداکثر تغییر شکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی.

۱۲- برای محاسبه‌ی طول و عرض بالشتک چهارگوش (L, B) یا قطر بالشتک دایره‌ای (d) ، حداقل مساحت سطح مقطع A_{sf}

برای احتراز از گسیختگی در برش از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{sf} = \frac{K_{eff} \cdot t_t}{G}$$

ابعاد بالشتک بر اساس A_{sf} تعیین و مقدار سوم برای سطح مقطع A_3 محاسبه می‌گردد:



شکل ۳-۴- معرفی عوامل Δ_s ، A_{re} ، β و d

$$A_3 = A_{re} = A \times \left(1 - \frac{\Delta_s}{B}\right)$$

برای جداسازهای چهارگوش

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

برای جداسازهای دایره‌ای

$$\beta = 2 \cos^{-1} \times \left(\frac{\Delta_s}{d}\right)$$

در این روابط Δ_s تغییر مکان جانبی بالشتک، B عرض پیشنهادی در امتداد موازی Δ_s در بالشتک‌های چهارگوش و d قطر پیشنهادی

بالتک‌های دایره‌ای است.

۱۳- سطح مقطع طراحی بالتک برابر است با حداکثر سه مقدار فوق:

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

۱۴- برآورد ضریب شکل بالتک (S) با استفاده از سختی قائم k_v و سختی افقی 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.

۱۵- 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.

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

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

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times f_y}$$

باید توجه کرد که ضخامت زیاد فولاد موجب افزایش قابل توجه وزن جداساز و ایجاد مشکل در حمل و نصب آن می‌شود. این مقدار در حدود ۲۰ تا ۳ میلی‌متر توصیه می‌شود.

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

۱۷- 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:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{2\pi}GS}{t_t} \times R$$

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

۱۸- حداکثر تغییر شکل نسبی برشی جداساز (γ_{max}) باید محدود گردد.

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

$$\gamma_c \approx 6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

در این رابطه:

ϵ_b : حداقل تغییر شکل نسبی کششی که لاستیک در آن حد پاره می‌شود.

$$E_c = E(1 + kS^2)$$

k و E : برای سفتی مشخصی از لاستیک را می‌توان از طریق آزمایش یا از جداولی مانند جدول موجود در پیوست شماره ۲ که

توسط تولیدکننده تایید و ارایه می‌شوند به دست آورد.

۱۹- برای طراحی در حد نهایی، ضریب اطمینان ۱/۳۳ را در نظر گرفته می‌شود.

بر این اساس حداکثر تغییر شکل نسبی برشی به خاطر ترکیب فشار (γ_c)، پیچش (γ_t) و بار جانبی (γ_{eq}) باید کمتر از $\frac{\epsilon_b}{3}$ باشد.

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} < \frac{\epsilon_b}{1.33}$$

$$\gamma_c = \frac{6S \times P_{DL+LL+EQ}}{E_c \times A_{re}}$$

$$\gamma_t \approx \frac{B^2}{2t_t t_r} = \frac{12De}{b^2 + l^2}$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_t}$$

b و l : ابعاد سازه و e خروج از مرکزیت آن است.

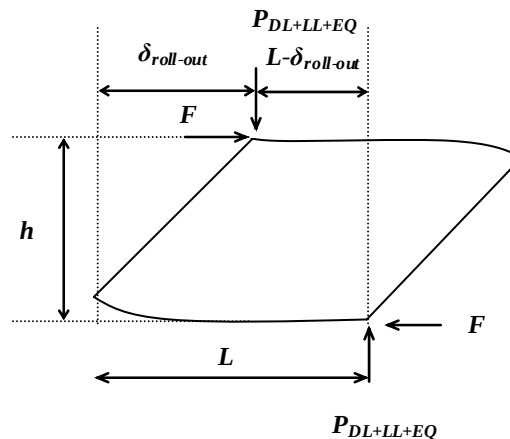
$P_{DL+LL+EQ}$: عبارت است از بار قائم روی جداساز با در نظر گرفتن نیروی زلزله.

در این حالت برای سطح مقطع موثر جداساز (A) مقدار کاهش یافته A_2 یا A_{re} در نظر گرفته می‌شود.

۲۰- برای پرهیز از چرخش جداساز (Rollout)، تغییر مکان جداساز تحت زلزله باید شرایط زیر را ارضا نماید:

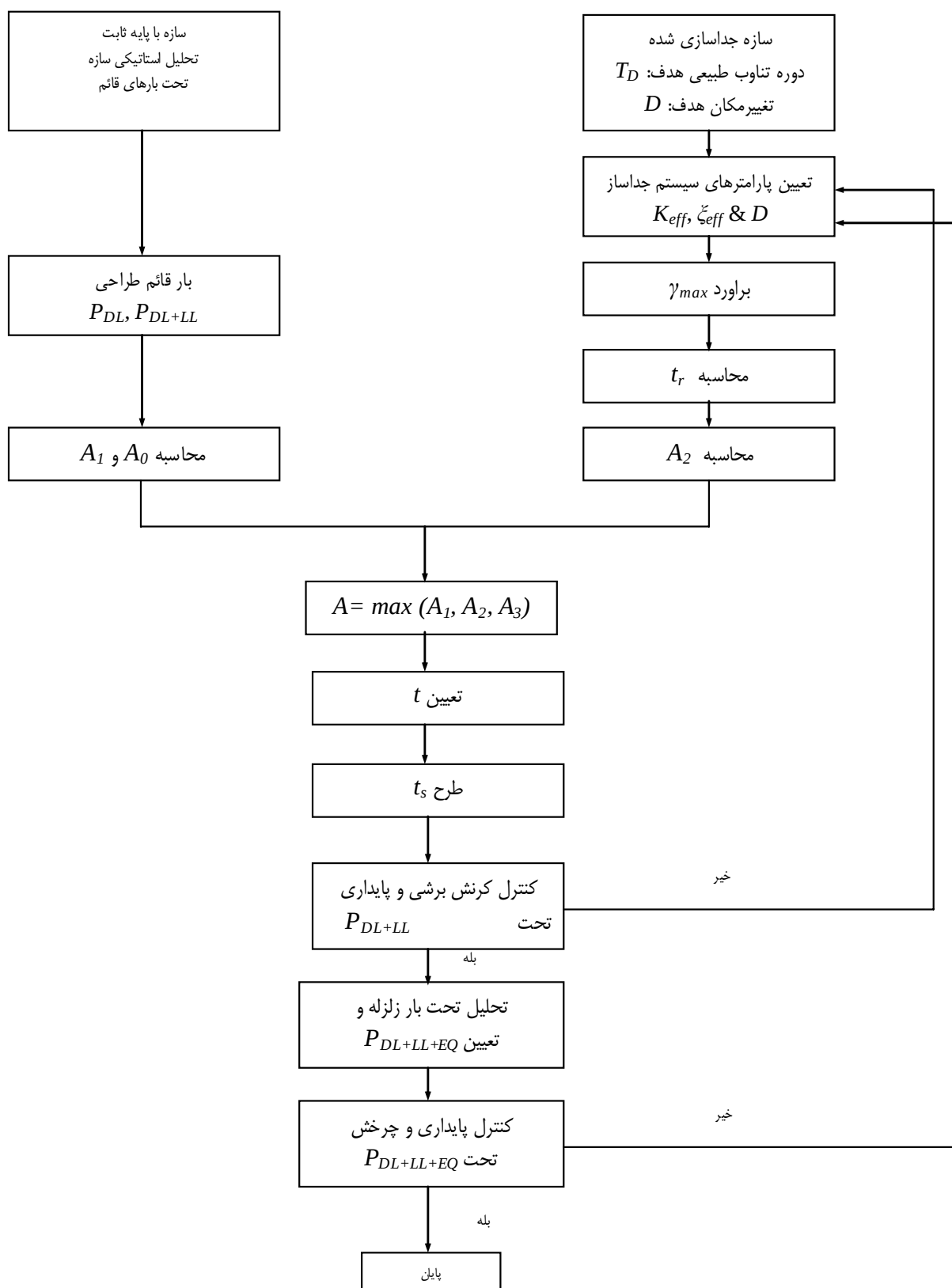
$$D \leq \delta_{roll\ out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \times L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} h}$$

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



شکل ۳-۵- نمایش عامل‌های مورد نیاز در کنترل چرخش جداساز

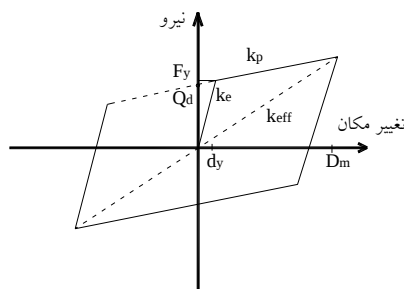
گام‌های طراحی ذکر شده بالا در نمودار (۳-۶) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳-۶- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد و جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی

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

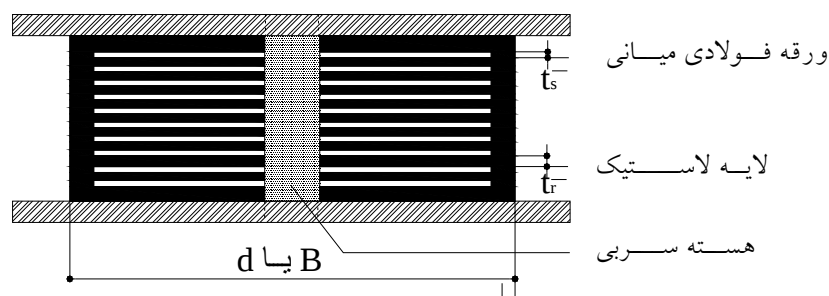
تکیه‌گاه‌های لاستیکی با هسته‌ی سربی با نمایش رفتاری دوطبقی با نرم‌شدگی تحت بارهای نسبتاً شدید لرزه‌ای، عملکرد مطلوبی در زمینه‌ی کنترل توام لرزه‌های خفیف و شدید از خود نشان داده‌اند. هسته‌ی سربی این تکیه‌گاه‌ها به همراه سختی بخش لاستیکی که در مقایسه با سختی بخش سربی بسیار اندک است، تامین کننده‌ی سختی اولیه‌ی مورد نیاز در نمودار نیرو- تغییرمکان این تکیه‌گاه‌ها است. با افزایش میزان بارگذاری، این بخش به حد تسلیم رسیده و سختی بسیار کمی را در مقابل بار جانبی از خود نشان می‌دهد. این سختی به همراه سختی بخش لاستیکی تکیه‌گاه، سختی ثانویه را در نمودار نیرو- تغییرمکان از خود نشان می‌دهد. این رفتار در شکل ۷-۳ نشان داده شده است.



شکل ۷-۳- رفتار غیرخطی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

با این دیدگاه طراحی این نوع از تکیه‌گاه‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

- طراحی هسته‌ی سربی؛
- طراحی بخش لاستیکی.



شکل ۸-۳- ساختمان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

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

- ۱- تعیین وزن سازه و نیروی قائم بر روی جداساز (P_{DL+LL}).
- در تعیین بار قائم بر روی جداساز، ترکیب بار مرده، بار زنده و بار لرزه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد.
- ۲- تعیین دوره‌ی تناوب طبیعی هدف سازه‌ی جداسازی شده (T_D).

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

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \times \frac{2\pi}{T_D} \quad (W=P_{DL+LL})$$

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

۵- تعیین میرایی معادل موثر ξ_{eff} .

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

۷- تعیین تغییر مکان طرح (D_D) با استفاده از روابط و روش‌های مندرج در دستورالعمل.

مقدار تغییر مکان طرح (D_D)، به شدت لرزه‌خیزی منطقه و ضریب طیفی بستگی دارد که تابعی از مختصات ساختگاه، دوره‌ی تناوب اصلی نوسان سازه و میرایی سامانه‌ی جداسازی است.

۸- ضخامت جداساز لاستیکی صرفنظر از ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر اساس این تغییر مکان و تغییر شکل نسبی برشی حداکثر قابل تحمل توسط لاستیک به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{max}}$$

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:

$$Q_d = \frac{W_d}{4(D_m - d_y)} \\ = \frac{2\pi k_{eff} D^2 \xi_{eff}}{4(D_m - d_y)}$$

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_m 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_m بسیار کوچک است، مقدار اولیه برای Q_d از طریق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q_d = \frac{W_d}{4D_m}$$

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

$$k_{eff} D_m = Q_d + k_p D_m$$

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_m کوچک است، در محاسبات، مقدار تقریبی اولیه برای Q_d قابل استفاده است.

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

$$1.25 \leq \frac{h_p}{\Phi_p} \leq 5.0$$

در این رابطه:

h_p : ارتفاع موثر هسته‌ی سربی؛

Φ_p : قطر هسته‌ی سربی.

۱۰- تعیین ضریب شکل برای ایزولاتور:

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

۱۱- با داشتن نیروی قائم طراحی و تنش فشاری مجاز، مقدار اولیه برای مساحت جداساز (A_1) محاسبه می‌شود:

$$A_1 = \frac{P_{DL+LL}}{\sigma_c}$$

نیروی قائم از مجموع بار مرده و زنده ($W=P_{DL+LL}$) محاسبه می‌شود.

۱۲- مساحت A_2 بر اساس محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = \frac{6S \times P_{DL+LL}}{E_c \gamma_c|_{DL+LL}}$$

باید توجه کرد که مقدار در نظر گرفته شده برای $\gamma_c|_{DL+LL}$ در نامعادله‌ی زیر صدق کند:

$$\gamma_c|_{DL+LL} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

۱۳- سختی پس از تسلیم تکیه‌گاه معمولاً بیش‌تر از سختی تکیه‌گاه بدون هسته‌ی سربی k_h است. این سختی به شکل زیر

معرفی می‌شود:

$$k_p = f_1 \times k_h$$

f_1 : ضریب منظورکننده‌ی اثر هسته‌ی سربی بوده و همیشه از ۱ بزرگ‌تر است.

رابطه‌ی دیگر مرتبط کننده‌ی k_p و k_h عبارت است از:

$$k_p = k_h \left[1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right]$$

$$k_p = K_{eff}$$

۱۴- برای محاسبه‌ی طول و عرض جداساز چهارگوش (L, B) یا قطر جداساز دایره‌ای (d)، حداقل مساحت سطح مقطع A_{sf} از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{sf} = \frac{K_{eff} \times t_r}{G}$$

از اینجا مقدار سوم برای سطح مقطع A_3 محاسبه می‌گردد:

$$A_3 = A_{re} = A \cdot \left(1 - \frac{\Delta_s}{B} \right) \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

$$A_3 = A_{re} = d^2 \frac{(\beta \sin \beta)}{4} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\Delta_s}{d} \right)$$

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.

۱۴- سطح مقطع طراحی جداساز برابر است با حداکثر سه مقدار فوق:

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

۱۵- 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.

۱۶- 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.

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

۱۸- ضخامت ورقه‌های فولادی t_s با رعایت محدوده‌ی مجاز و مناسب محاسبه می‌شوند:

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times f_y} \geq 2mm$$

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

۱۹- 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:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{2\pi GS}}{t_t} \times R$$

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

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

۲۰- حداکثر تغییر شکل نسبی برشی جداساز (γ_{max}) باید محدود گردد.

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

$$\gamma_c \approx 6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

در این رابطه:

ϵ_b : حداقل تغییر شکل نسبی کششی که لاستیک در آن حد پاره می‌شود.

$E_c = E(1 + kS^2)$: مدول فشاری جداساز

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.

۲۱- برای طرح در حالت نهایی، ضریب اطمینان ۱/۳۳ توصیه می‌شود.

در این حالت حداکثر تغییر شکل نسبی برشی به خاطر ترکیب فشار (γ_c)، پیچش (γ_t) و بار جانبی (γ_{eq}) باید کمتر از $\frac{\epsilon_b}{3}$ باشد.

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} < \frac{\epsilon_b}{1.33}$$

$$\gamma_c = \frac{6S \times P_{DL+LL+EQ}}{E_c A_{re}}$$

$$\gamma_t \approx \frac{B^2}{2t_t t_r} = \frac{12De}{b^2 + l^2}$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_t}$$

b و l ابعاد سازه و e خروج از مرکزیت آن است.

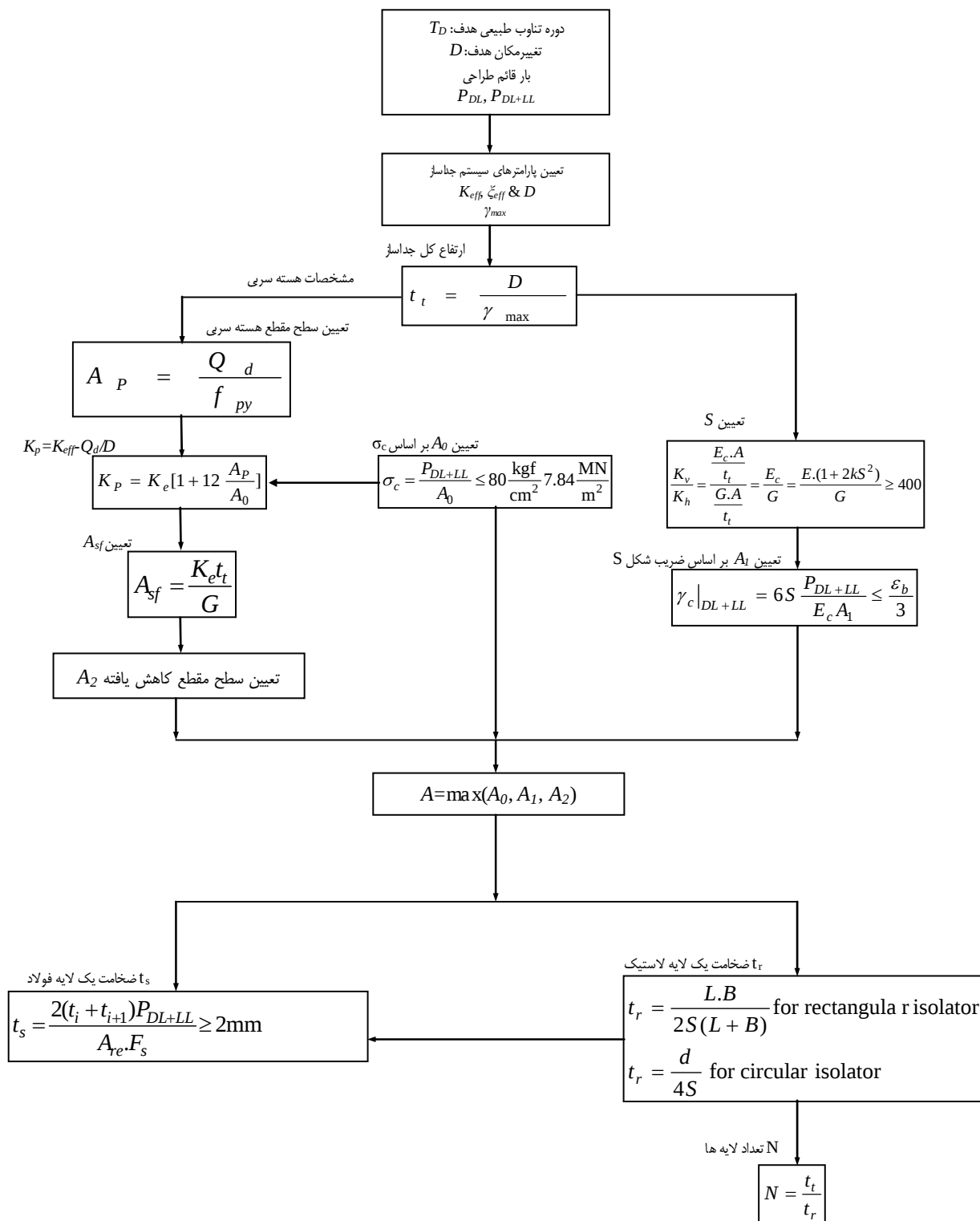
$P_{DL+LL+EQ}$: بار قائم روی جداساز با در نظر گرفتن نیروی زلزله.

در این حالت سطح مقطع موثر جداساز (A) کاهش یافته و مقدار کاهش یافته A_2 یا A_{re} در نظر گرفته می‌شود.

۲۲- برای پرهیز از چرخش جداساز (Rollout)، تغییر مکان جداساز تحت زلزله باید شرایط زیر را ارضا نماید:

$$D \leq \delta_{\text{rollout}} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \times L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{\text{eff}} h}$$

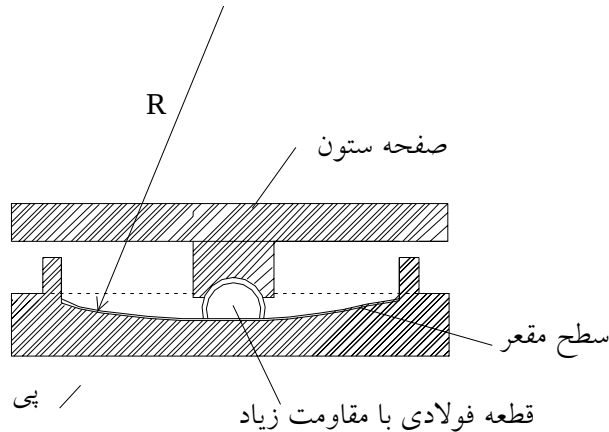
h : ارتفاع کل جداساز، K_{eff} : سختی موثر جداساز و L : بعد کوچک‌تر جداساز یا قطر آن است.



شکل ۳-۹- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

۳-۳-۳ طراحی جداسازهای اصطکاکی - پاندولی

عوامل مورد نظر طراحی در جداسازهای اصطکاکی - پاندولی عبارتند از:
شعاع انحنای سطح جداساز (R_{FPS})، ضریب اصطکاک سطح جداساز (μ) و ابعاد جداساز.



شکل ۳-۱۰- توصیف بخش‌های مختلف یک جداساز اصطکاکی پاندولی

شعاع انحنای سطح جداساز (R_{FPS}) بر اساس دوره‌ی تناوب مورد نظر طراحی (T_D)، و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{FPS} = g \times \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2$$

g : شتاب جاذبه‌ی زمین؛

T_D : دوره‌ی تناوب طبیعی طراحی.

ابعاد جداساز بر اساس حداکثر تغییر مکان طراحی D تعیین می‌گردد. میزان انرژی جذب شده توسط جداساز، بر اساس ضریب اصطکاک سطح جداساز (μ) و تغییر مکان سازه در تراز جداسازی قابل اندازه‌گیری است. میرایی موثر برای این سامانه بر اساس رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \left(\frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R_{FPS}}} \right)$$

β : میرایی موثر.

میرایی مناسب بسته به مشخصات سامانه ممکن است بین ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر نماید. سختی موثر سامانه‌ی جداسازی در تغییر مکان طراحی به وسیله‌ی رابطه‌ی زیر قابل برآورد است:

$$k_{eff} = \frac{W}{R_{FPS}} + \frac{\mu W}{D}$$

در این رابطه، W وزن روسازه است. تغییر مکان قائم سازه δ_v با رابطه‌ی زیر تخمین زده می‌شود:

$$\delta_v \approx \frac{D^2}{2R_{FPS}}$$

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

$$\frac{D}{R_{FPS}} \geq \mu$$

۳-۴- مراحل طراحی سازه‌ی جداسازی شده

طراحی یک سازه‌ی جداسازی شده در دو مرحله‌ی مقدماتی و تفصیلی یا نهایی صورت می‌گیرد.

در مرحله‌ی طراحی مقدماتی، لازم است به گام‌های زیر توجه گردد:

- ۱- تعیین میزان خطر ساختگاه با نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف A .
- ۲- تعیین طبقه‌بندی نوع زمین (خاک نوع ۱ تا ۴ مندرج در استاندارد ۲۸۰۰).
- ۳- تعیین پارامترهای T_s و S_s (پارامترهای مربوط به طیف طرح ارتجاعی مطابق جدول ۳ استاندارد ۲۸۰۰) بر اساس نوع زمین و میزان خطر لرزه‌ای ساختگاه.
- ۴- تعیین مقدار ضریب رفتار R_I .
- ۵- این ضریب بر اساس سیستم سازه‌ای روسازه و بر مبنای دستورالعمل انتخاب می‌گردد.
- ۵- انتخاب نوع جداساز و ضریب میرایی B_D و B_M .
- در این مرحله، نسبت میرایی برای سامانه‌ی جداسازی بر اساس نوع جداساز و به طور محافظه‌کارانه انتخاب می‌گردد. بر این اساس مقادیر ضریب میرایی B_D و B_M با استفاده از جدول ارایه شده در دستورالعمل مشخص می‌شوند.
- در صورت نیاز می‌توان برای خواندن ضریب میرایی B_D و B_M از میانبایی خطی استفاده نمود.
- ۶- انتخاب دوره‌ی تناوب طبیعی T_D برای سازه‌ی جداسازی شده برای محاسبه‌ی تغییرمکان طرح.
- مقدار اولیه‌ی دوره‌ی تناوب طبیعی با توجه به قابلیت سامانه‌ی جداسازی، وضعیت خطر لرزه‌ای در منطقه و در حدود ۲ تا ۳ ثانیه انتخاب می‌شود.
- ۷- محاسبه‌ی سختی موثر سازه K_{eff} با داشتن وزن ساختمان W و دوره‌ی تناوب طبیعی T_D انتخاب شده.
- ۸- برآورد تغییرمکان طرح D_D با داشتن A و S ، T_D و B_D با استفاده از رابطه‌ی مندرج در دستورالعمل.
- اگر مقدار اولیه برای D_D به دلیل محدودیت‌های فیزیکی موجود بیش از مقدار قابل قبول برای پروژه است، به مرحله‌ی ۶ بازگشته و مقدار کم‌تری برای T_D انتخاب نمایید.
- ۹- محاسبه‌ی برش پایه‌ی سازه V_s و برش در پای سامانه‌ی جداسازی V_b با استفاده از ضوابط مندرج در دستورالعمل. در این مرحله به محدودیت‌های موجود در دستورالعمل توجه گردد.
- ۱۰- طرح اولیه‌ی اعضای روسازه.

- نیروی معادل استاتیکی در طبقات توسط روابط مندرج در دستورالعمل محاسبه می‌گردد.

در تحلیل به روش شبه استاتیکی لازم است محدودیت تغییرمکان نسبی در روسازه معادل $\frac{0.01}{R_I}$ در نظر گرفته شود.

در روش تحلیل طیفی یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، این محدودیت‌ها به ترتیب برابر $\frac{0.015}{R_I}$ و $\frac{0.02}{R_I}$ در نظر گرفته می‌شود.

در محاسبه‌ی تغییر مکان کل طرح و بیش‌ترین تغییر مکان کل در دستورالعمل در روش تحلیل دینامیکی از مقادیر D_M و D_D استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی این عوامل مقدار T زمان تناوب اصلی روسازه، باید بر اساس مقادیر نهایی پس از طراحی روسازه کنترل و در صورت نیاز اصلاح گردد.

۱۱- طرح اولیه‌ی واحدهای سامانه‌ی جداسازی و نحوه‌ی توزیع آن‌ها

براساس ضوابط دستورالعمل، مقادیر انتخابی در گام‌های قبل و موارد پیشنهاد شده در فصل سه این راهنما، ابعاد و مختصات اولیه‌ی واحدهای سامانه‌ی جداساز طراحی می‌شوند. واحدهای جداساز مطابق ضوابط دستورالعمل باید دارای مقاومت کافی در برابر بارهای قائم و جانبی بوده و نیازهای تغییر مکان‌های طرح و کل را برآورده نمایند.

براساس مشخصات نمونه‌های از قبل آزمایش شده یا اطلاعات اولیه‌ی ارایه شده توسط سازندگان واحدهای جداساز، منحنی هیستریزیس رفتار برای هر دسته از این واحدها ترسیم می‌گردد. این مشخصات و منحنی‌ها در ادامه‌ی مطالعات پروژه باید براساس طراحی دقیق و نتایج آزمایش‌های انجام گرفته تدقیق گردند.

در مرحله‌ی طراحی دقیق یا تفضیلی یک ساختمان جداسازی شده لازم است به گام‌های زیر توجه شود:

- ۱- ساخت مدل عددی از ساختمان جداسازی شده برای تحلیل و ساختمان بدون سامانه جداسازی.
- در ایجاد مدل باید ضوابط مندرج در دستورالعمل راجع به مدل عددی رعایت شود.
- در مدل در دست تهیه مشخصات فنی رفتار به دست آمده در گام ۱۱ برای واحدهای جداساز تعبیه گردد.
- ۲- انتخاب روش تحلیل (روش تحلیل شبه استاتیکی، تحلیل طیفی یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی) براساس ضوابط مندرج در دستورالعمل.

- توصیه می‌گردد در صورت الزام دستورالعمل بر کاربرد روش تحلیل تاریخچه‌ی زمانی نیز، در طراحی مقدماتی، سازه‌ی مورد نظر به روش شبه استاتیکی یا طیفی مطابق دستورالعمل تحلیل و برآوردهای اولیه‌ی پاسخ محاسبه گردند.

۳- تعیین مقدار نهایی تغییر مکان طرح و دوره‌ی تناوب طبیعی سازه‌ی جداسازی شده.

- با استفاده از مدل عددی ساخته شده برای تحلیل در گام ۱ از مرحله‌ی طراحی دقیق و نیاز لرزه‌ای تعیین شده در گام ۲ از این مرحله با انجام تحلیل، طراحی و کنترل نتایج و تکرار این مراحل به طرح نهایی سازه و ویژگی‌های جداساز مورد نیاز دست یافته می‌شود.

این طرح باید ظرفیت مورد نیاز برای تغییر مکان‌ها و نیروهای هدف طراحی را تامین نماید. مقادیر D_M و D_D باید براساس نتایج طرح نهایی، تعیین گردند. براین اساس مقادیر T_M و T_D محاسبه می‌شوند. در دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ در صورت استفاده از روش تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، امکان استفاده از تخفیف‌هایی برای تغییر مکان‌ها و برش پایه وجود دارد.

۵- تعیین مقدار نهایی سختی موثر

- مقادیر سختی مؤثر برای سازه براساس نتایج تحلیل و به شرح زیر محاسبه شوند:

$$K_{D,max} = K_{D,min} = \frac{V_{SD}}{D_D}$$

V_{SD} : برش پایه برای سطح تقاضای طرح.

$$K_{M,max} = K_{M,min} = \frac{V_{SM}}{D_M}$$

V_{SM} : برش پایه برای سطح تقاضای حداکثر.

- در مواردی که از واحدهای جداسازی که رفتار متفاوتی در جهات مثبت و منفی تغییر مکان از خود نشان می‌دهند استفاده می‌شود، سختی موثر باید با توجه به این رفتار در آن‌ها محاسبه گردد.

۶- کنترل دوره‌ی تناوب طبیعی موثر حاصل از مدل عددی

- مقادیر T_M و T_D حاصل از مدل باید با مقادیر حاصل از روابط آیین‌نامه‌ای به ترتیب مربوط به محاسبه‌ی D_D و D_M کنترل شود.

۷- کنترل مقدار میرایی حاصل از مدل عددی

- لازم است مقدار میرایی حاصل از مدل عددی محاسبه و با مقادیر مستخرج از دستورالعمل مقایسه شوند.

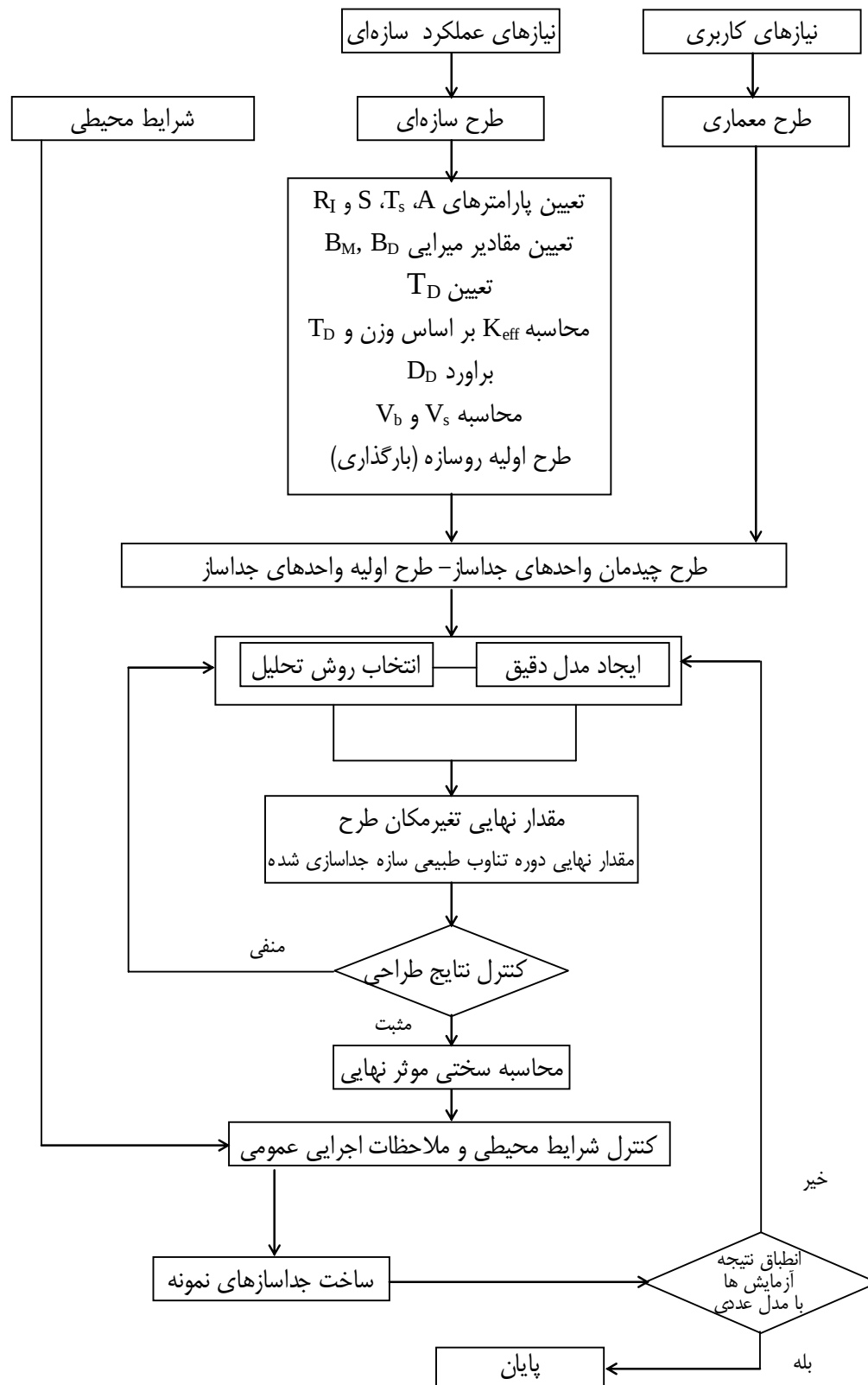
۸- کنترل تغییر مکان‌ها و نیروهای طرح با مقادیر مستخرج از دستورالعمل

طراح می‌تواند تخفیف‌های در نظر گرفته شده در دستورالعمل در مورد تحلیل‌های دینامیکی را مورد توجه قرار دهد. براساس دستورالعمل در روش تحلیل طیف پاسخ یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، هنگامی که مقادیر نیروهای برش جانبی به دست آمده کمتر از مقادیر حداقل مشخص شده در دستورالعمل باشند، متغیرهای پاسخ شامل نیروها و لنگرهای اعضا باید متناسباً افزایش داده شوند.

۹- کنترل عملکرد واحدهای جداساز براساس نتایج آزمایش جداسازهای نمونه

لازم است با اخذ نتایج حاصل از آزمایش جداسازهای نمونه مطابق ضوابط دستورالعمل، مدل عددی بازنگری شود در این خصوص مقادیر سختی موثر $K_{D,max}$ ، $K_{D,min}$ ، $K_{M,max}$ و $K_{M,min}$ با استفاده از روابط دستورالعمل و نتایج آزمایش دوباره محاسبه و اصلاح می‌شوند.

شکل (۳-۱۱) روندنمای پیشنهادی برای طراحی سازه‌های جداسازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱- روندنمای طراحی سازه‌ی جداسازی شده

فصل چهارم

میراگرها و توصیه‌های طراحی

۴-۱- کلیات

در این بخش تجهیزات معمول در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای برای استهلاک انرژی در زمان وقوع زمین‌لرزه معرفی می‌شوند. روش‌های کلی معرفی این تجهیزات در مدل‌های ریاضی توضیح داده شده و توصیه‌های طراحی ارائه خواهد شد.

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 ارائه 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.

میراگرهای به کار رفته در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

- میراگرهای هیستریزیس یا فلزی مانند: میراگرهای سربی، میراگرهای فولادی، میراگرهای اصطکاکی. در این میراگرها استهلاک انرژی به کمک رفتار هیستریزیس نیرو- تغییرمکان در آن‌ها ایجاد می‌گردد.

- میراگرهای روغنی یا میراگرهای ویسکوز مانند: میراگرهای روغنی. در این میراگرها، لزجت موجود در سیال به کار گرفته شده در میراگر که تابعی از سرعت حرکت در آن است، انرژی را مستهلک می‌کند.

یکی از عواملی که لازم است طراح در حین بررسی، انتخاب میراگر و مدلسازی آن مورد توجه قرار دهد، نیروی ایجاد شده در آن‌ها است. نیروی ایجاد شده در میراگرهای هیستریزیس بستگی به مشخصات 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 کمتر است.

در میراگرهای اصطکاکی، میراگر در حال حمل بار قائم ناشی از وزن سازه نیرویی را که مقدار آن ثابت است به سازه اعمال کرده و انرژی حرکتی را مستهلک می‌نماید. در این میراگرها منحنی هیستریزیس نیرو- تغییرمکان نزدیک به الاستیک-کاملاً پلاستیک است. در طراحی این نوع میراگر باید به موضوع دوام و تغییرات ایجاد شده در نیروی اصطکاکی (ضریب اصطکاکی) 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 گونه‌ای 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 معادل میرایی ویسکوز 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 کلیه جهات احتمالی حرکت؛
- 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 هیستریزیس 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 تأثیرات ناشی از تأثیر رفتار میراگر بر روی روسازه را طی مطالعه و مدل‌سازی کنترل نماید.

طراح می‌تواند با ترکیب میراگرهایی که تنها در یک امتداد امکان حرکت دارند، امکان عمل در دو جهت متعامد را به وجود آورد. در فرایند کنترل کیفیت محصول در کارخانه، کلیه‌ی 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 در حالت وقوع زلزله طرح مورد توجه قرار گرفته 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 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 با مبنا قرار دادن لزوم بزرگ‌تر بودن انرژی مستهلک شده در میراگر نسبت به انرژی ورودی ناشی از زمین‌لرزه به سازه، کار طراحی را انجام دهد.

طراح در ارزیابی میرایی ناشی از به کارگیری میراگرها از روش‌های مختلف بهره‌می‌گیرد. 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- تغییرشکل 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

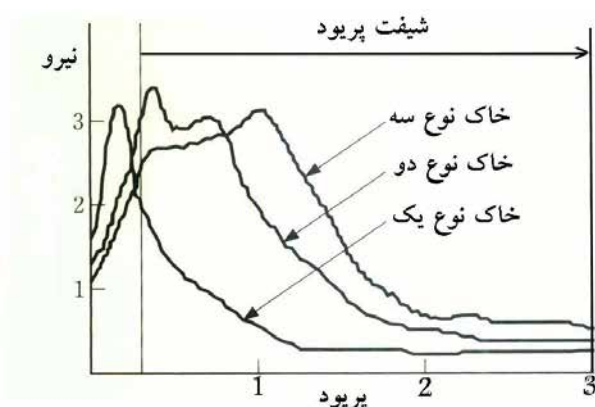
نهایی مانند حد شکست و خرابی جداسازها یا کمانش در آن‌ها را در حد امکان مشخص و بررسی نموده و در طراحی منظور کند. همچنین پیش‌بینی قابلیت حمل بار قائم روسازه را نیز تحت این شرایط در طراحی سامانه مدنظر داشته باشد.

۳-۵- 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.

۴-۵- 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 زمین‌لرزه

اثر مولفه‌ی قائم زمین‌لرزه 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

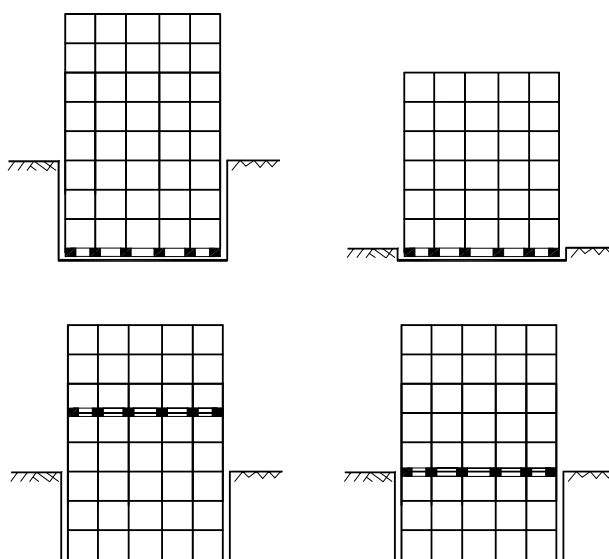
افزایش ارتفاع ساختمان در حالت کلی متناظر با افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی آن است. باید توجه نمود که در جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها با نزدیک شدن دوره‌ی تناوب مودهای ارتعاشی در سازه بدون جداسازی لرزه‌ای به مود ارتعاشی سازه‌ی جداسازی شده، تاثیر روش جداسازی لرزه‌ای کاهش می‌یابد.

۵-۹- رفتار روسازه

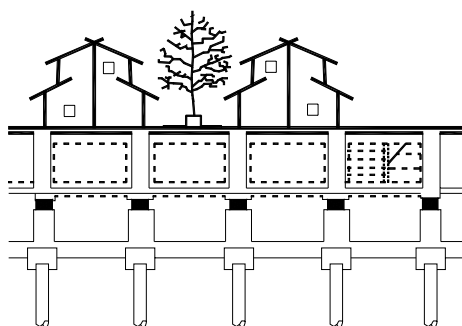
دوره‌ی تناوب طبیعی روسازه تابعی از "ارتفاع سازه"، "جنس سازه"، "سامانه‌ی سازه‌ای" و "شکل سازه" است. از نظر مفهومی، در حالت ایده‌آل، سازه‌ی جداسازی شده یک سامانه‌ی یک درجه‌ی آزادی با یک جرم صلب بر روی یک فنر نرم در نظر گرفته می‌شود. هر چه سختی جانبی روسازه بیش‌تر باشد، شتاب طبقات، نیروی اعمالی به سازه 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 (۵-۲) و (۵-۳) 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

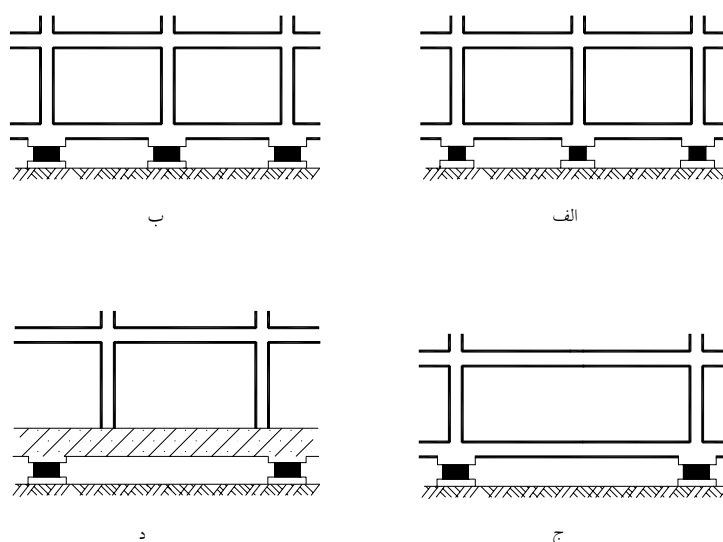
اجزای سامانه‌ی جداسازی باید برای عوامل محیطی مانند تغییرات ناشی از گذشت زمان، خزش، خستگی، دما، رطوبت یا مواد خارجی مخرب، احتمال خوردگی و زنگ‌زدگی، اتصال بین لایه‌های جداسازهای اصطکاکی و مانند این موارد طراحی شوند. مقاومت این اجزا در برابر آتش به ویژه در زمانی که این اجزا در تراز میانی ساختمان و در معرض 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 تغییر مکان جداساز توام بوده و آن را محدود می‌سازد.

در شکل (۵-۴ ب)، قطر تکیه‌گاه‌ها افزایش یافته و تغییر شکل 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- قراردادگی جداسازها در پلان

در ساختمان‌های جداسازی شده مبنای قراردگی 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.

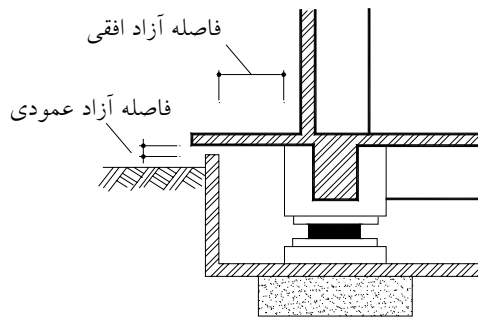
۵-۱۶- فاصله‌ی آزاد جانبی و قائم

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 تهیه‌ی مدارک راهنما انجام دهد. این مدارک راهنما برای ساختمان‌ها می‌تواند شامل موضوعات زیر باشد:
- اقدامات مورد نیاز از سوی مسوول نگهداری سازه، تهیه‌ی دفترچه‌ی راهنمای نگهداری؛
 - تهیه‌ی دفترچه‌ی اصول معماری سازه برای کاربرد توسط کاربر سازه؛
 - تهیه و نصب تابلوی نشان‌دهنده‌ی "سازه‌ی قابل حرکت در زمان زلزله" در اطراف بخش جداسازی شده.

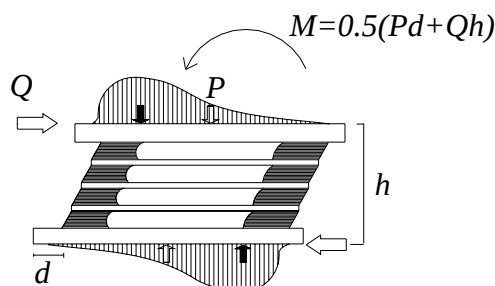
۵-۱۷- طرح اعضای سازه‌ای مجاور واحدهای جداساز

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.

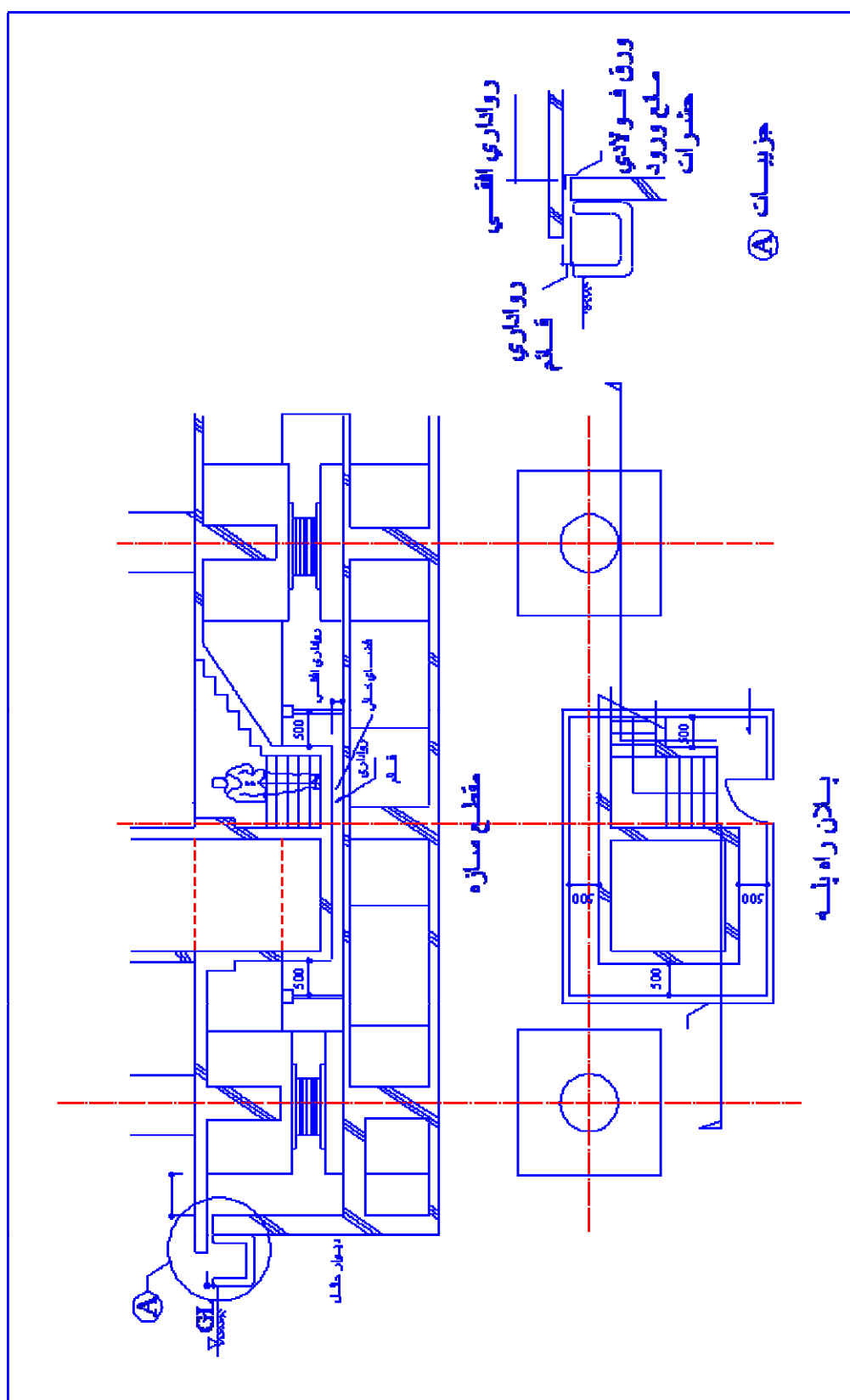


شکل ۵-۶- توزیع تنش بر روی جداساز

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- جزئیات اجرایی معماری

- الف) جزئیات 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

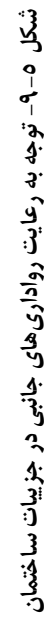
در اطراف بخش جداسازی شده، در محل دیوار حائل یا آبروی دور سازه‌ی جداسازی شده مطابق تصاویر (۴-۲-الف) و (۴-۱-ب)، فاصله‌ی آزاد افقی و قائم (حدود ۱/۵ برابر میزان تغییر مکان سازه پیشنهاد می‌شود) تامین شده و برای جلوگیری از ورود حیوانات کوچک این فاصله به طور مناسب پوشانده شود.

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.



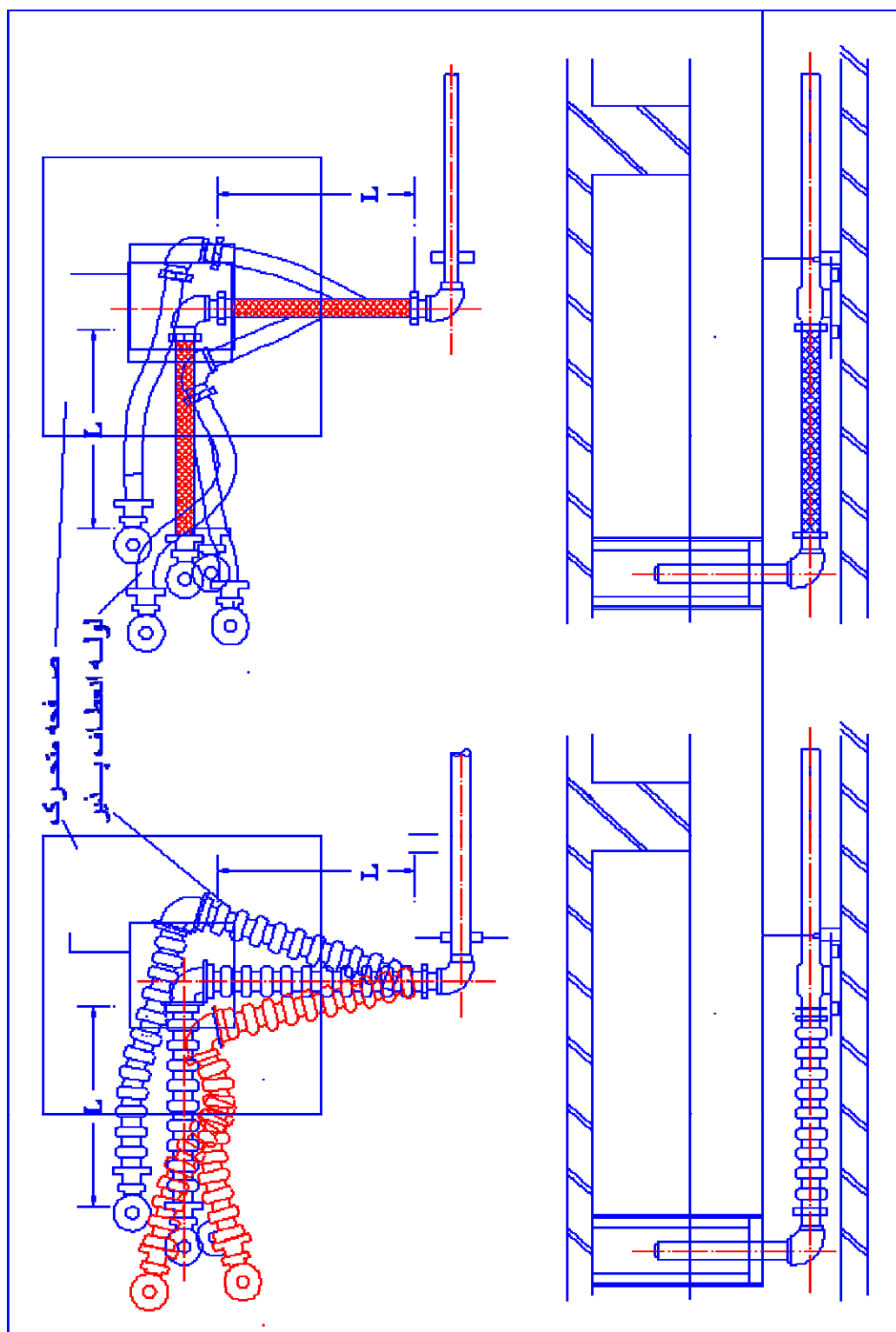
تصویر ۵-۲- فراهم کردن امکان تغییر مکان جانبی در محل‌های تماس ساختمان با اطراف



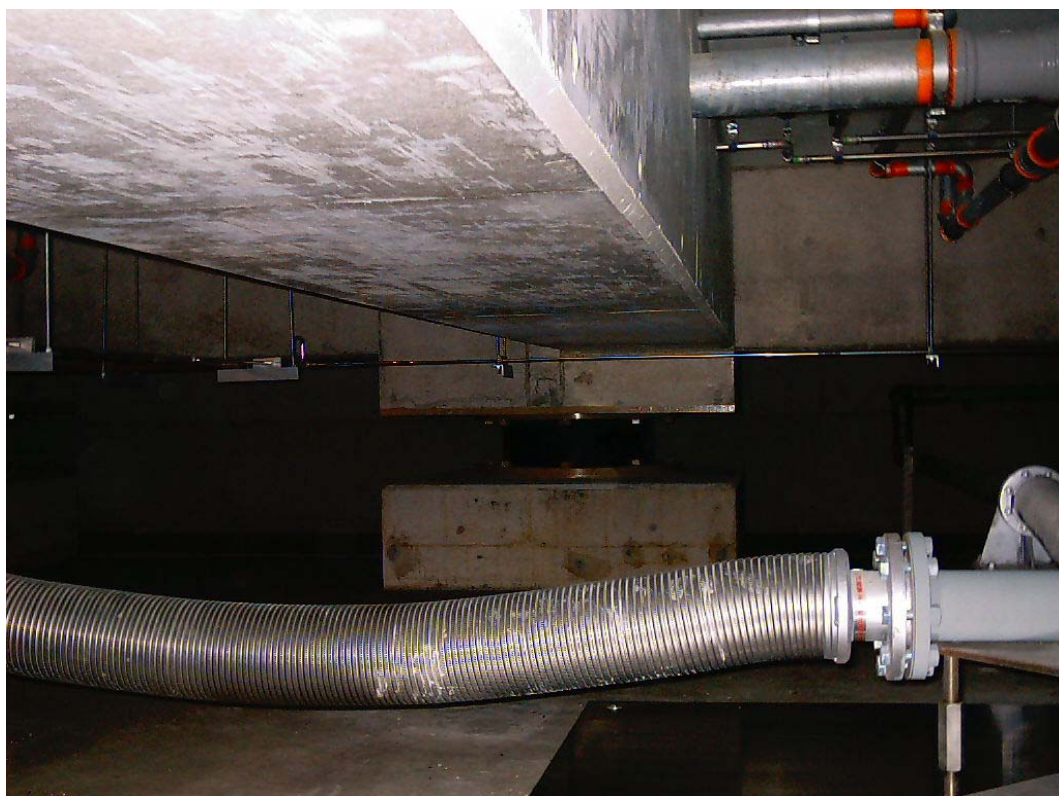
۵-۱۹- جزئیات اجرایی تجهیزات مکانیکی

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 (۴-۳ الف) و (۴-۳ 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.

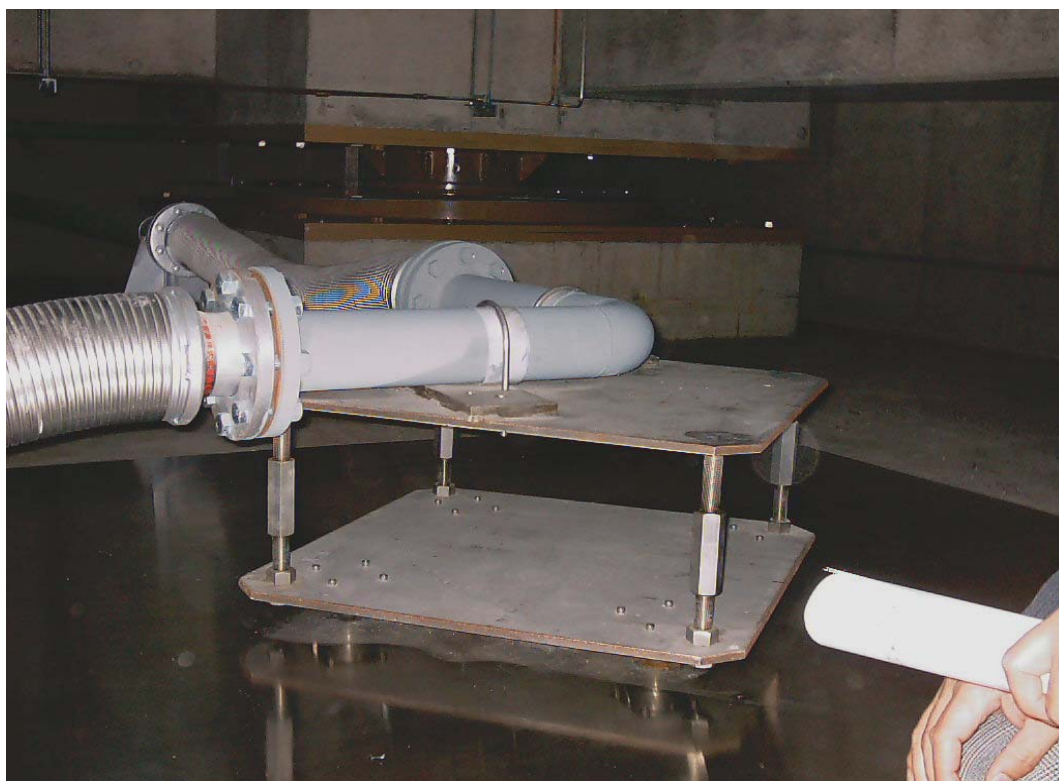
پس از اجرای طرح، یک کارشناس باید محل‌های جدا شده سازه و اجزایی که تراز جداسازی را قطع می‌کنند (مانند لوله‌ها و ...) را پیش از صدور مجوز استفاده از سازه، مورد بازدید چشمی قرار دهد. این بازدید باید تایید نماید که سازه اجازه‌ی تغییر مکان بدون مانع تا حداکثر میزان تغییر مکان طراحی را داراست و همه‌ی اجزایی 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



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



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- آزمایش‌های مورد نیاز برای جداسازهای لرزه‌ای

جداسازها قطعاتی هستند که طی یک فرایند صنعتی با استفاده از مواد اولیه‌ی مختلفی ساخته می‌شوند. با توجه به اهمیت و لزوم عملکرد مناسب و از پیش تعریف شده‌ی این تکیه‌گاه‌ها باید پیش از هر چیز از کیفیت و نوع رفتار آن‌ها اطلاع دقیقی داشت. به این منظور کارشناس طراح سامانه‌ی جداسازی موظف است تا طی فرایند طراحی مطابق مفاد بخش "آزمایش‌های لازم برای سامانه‌ی جداسازی" مندرج در "دستورالعمل"، برنامه‌ای را برای انجام آزمایش‌های لازم بر روی این قطعات تنظیم نماید.

به طور کلی سه دسته آزمایش به شرح زیر برای تعیین ویژگی‌های جداسازهای لرزه‌ای صورت می‌گیرد:

- آزمایش‌های با هدف ارزیابی اولیه‌ی جداسازها: این آزمایش‌ها که توسط کارخانه‌ی سازنده‌ی تجهیزات و برای معرفی اولیه‌ی محصول انجام می‌شوند برای پروژه‌ی معینی طراحی نشده‌اند. بلکه در طی آن‌ها مشخصات اصلی جداسازها تعیین می‌شوند. همچنین توسط این آزمایش‌ها، میزان وابستگی مشخصات فنی جداساز به عواملی همچون تغییرات بار و تغییرات در شرایط محیطی مشخص می‌شود.

- آزمایش‌های لازم برای نمونه‌های جداساز مورد استفاده: این آزمایش‌ها مطابق مفاد مندرج در دستورالعمل برای یک پروژه‌ی خاص طراحی می‌شوند و خصوصیات در نظر گرفته شده در زمان طراحی سامانه را پیش از اجرا کنترل و تایید می‌نمایند.

- آزمایش‌های کنترل کیفیت: جداسازها هم همچون هر محصول دیگری باید فرایند کنترل کیفیت را پشت سر گذارند. این آزمایش‌ها که برای پروژه‌ی معین تعریف می‌شوند، کیفیت و مشخصات قطعات ساخته شده را پیش از نصب تایید یا رد می‌کنند.

از مهمترین عواملی که باید در نتایج آزمایش گزارش شوند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تغییر مکان لرزه‌ای طرح؛

- تغییر مکان حرارتی طرح؛

- سختی افقی موثر در تغییر مکان طرح؛

- میزان استهلاک انرژی مستهلک شده در هر چرخه در زمان وقوع تغییر مکان طرح.

فرایند اجرای سامانه‌های جداساز مجموعه‌ای است که هر سه بخش طراح، سازنده‌ی قطعات و پیمانکار طرح را در حوزه‌ی کاری خود به موضوع مرتبط می‌نماید. از این رو لازم است تا طی برنامه‌ای دقیق گام‌های لازم در اجرا و انجام آزمایش‌های لازم در هر مرحله روشن شده و نقش هر یک از اعضای گروه در این امور تعریف گردد.

۵-۲۱- مطالعه 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.

$$R=C \times P$$

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)؛

- هزینه‌ی ناشی از تغییرات در سازه؛

- هزینه‌ی ناشی از تغییرات در معماری و موارد غیرسازه‌ای؛

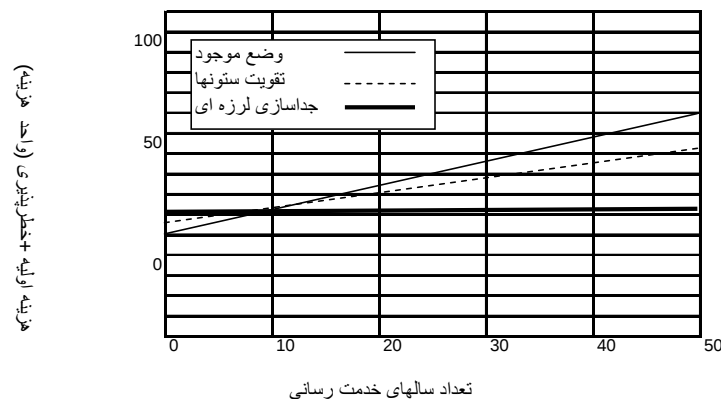
- کاهش هزینه‌ی احتمالی در سازه؛

^۲ Risk

- کاهش هزینه‌ی 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 ساختگاه 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 ۵-۱۱- هزینه‌ی اجرا و خطرپذیری زلزله برای یک ساختمان

بدیهی است وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه 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 ساختگاه 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 ساختگاه و نتایج آن، فرایند تهیه‌ی طیف پاسخ و تاریخچه‌ی زمانی و سایر ضوابط و مشخصات تدوین شده مخصوص ساختگاه؛

- 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 می‌شوند؛

- 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.

پیوست‌ها

پیوست ۱

جدول پ-۱-۱- استانداردهای مورد استفاده برای آزمایش‌های لازم بر روی لاستیک

شماره‌ی شناسه	عنوان استاندارد
US	
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

پیوست ۲

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

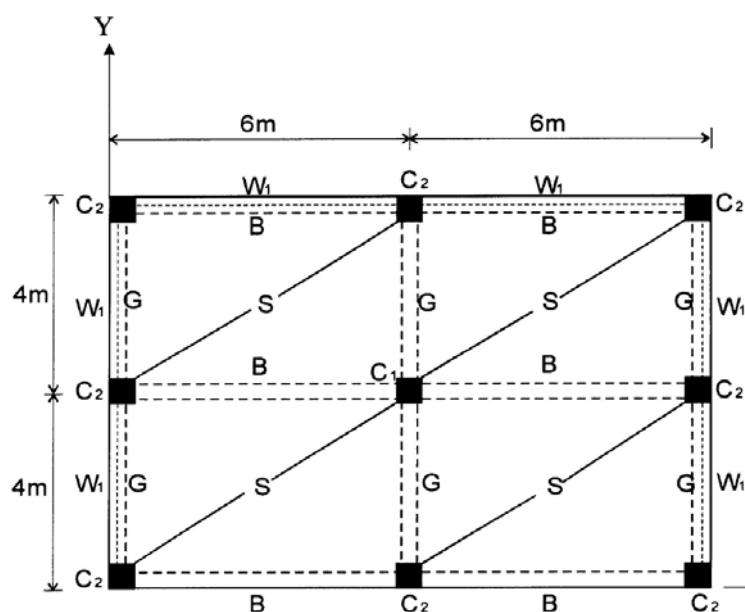
جدول پ-۲-۱- مشخصات یک نمونه‌ی لاستیک معرفی شده توسط کارخانه‌ی تولیدکننده

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

مثال

یک ساختمان بتنی سه طبقه با پلان نمایش داده شده در شکل زیر در نظر است. سامانه‌ی باربر جانبی در هر دو جهت دیوار برشی در نظر گرفته شده است.

محل احداث، دارای خاک سخت، در زمین نوع B و دور از گسل‌های فعال قرار دارد. با فرض اینکه ساختمان دارای شرایطی است که ضریب رفتار ساختمان با پایه‌ی ثابت برابر با $R = 6$ در نظر گرفته شده پس از جداسازی لرزه‌ای، این ضریب برابر خواهد بود با $R_1 = 2$ (مطابق دستورالعمل).



شکل پ ۱-۳- پلان ساختمان مورد نظر و گروه‌بندی مقطع ستون‌ها در مثال

ارتفاع طبقه‌ی اول ۵ متر و طبقه‌ی دوم و سوم ۴ متر است. ابعاد ستون‌ها، تیرها، دیوارها و دال‌های کف در زیر ارایه شده‌اند:

- ستون‌های داخلی C_1 : 0.3×0.3 متر

- ستون‌های خارجی C_2 : 0.25×0.25 متر

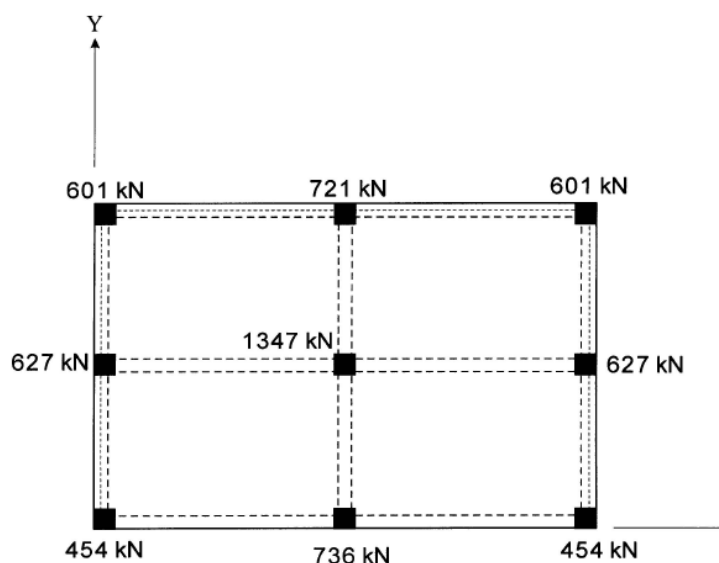
- تیرهای B و G: 0.25×0.4 متر

- ضخامت معادل دیوار W_1 : 0.18 متر

- ضخامت دال S: 0.15 متر

بارهای روی ساختمان برابرند با $10 \frac{kN}{m^2}$ و $2.5 \frac{kN}{m^2}$ به ترتیب برای بار مرده و بار زنده.

ساختمان دارای پلان منظم با سه ستون با فواصل ۶ متر در جهت x و سه ستون با فواصل ۴ متر در امتداد y است. کل وزن ساختمان W_T برابر است با 5209 kN. مقدار نیروی قائم ناشی از بار مرده و زنده در پای هر ستون در شکل زیر نمایش داده شده‌اند.



شکل پ-۳-۲- مقدار نیروی قائم ناشی از بار مرده و زنده در پای هر ستون

به دلیل محدودیت در طرفین زمین محل احداث، حداکثر تغییر مکان افقی مجاز ساختمان ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. نیروهای قائم موجود در پای ستون‌ها (محل نصب تکیه‌گاه‌ها) به کمک تحلیل استاتیکی در نرم‌افزار مناسب محاسبه می‌شوند. دوره‌ی تناوب طبیعی سازه با پایه‌ی ثابت در جهت X و Y به ترتیب برابر با ۰/۲۴ و ۰/۱۶ ثانیه گزارش شده است. در ادامه نحوه‌ی طراحی یک تکیه‌گاه که در زیر یکی از ستون‌های داخلی که حداکثر نیروی قائم در آن $P_{DL+LL} = 1347 \text{ kN}$ است مطابق با نکات پیشنهادی در این راهنما و ضوابط مندرج در دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ ارایه خواهد شد.

تکیه‌گاه‌های لاستیکی با میرایی زیاد

(۱) مشخصات مقدماتی مساله

در این مثال دوره‌ی تناوب طبیعی طراحی هدف برای ساختمان جداسازی شده، T_D ، بیش از سه برابر پریود سازه با پایه‌ی ثابت در نظر گرفته می‌شود. فرضیات مساله به شرح زیر خواهد بود:

(۱-۱) دوره‌ی تناوب طبیعی هدف $T_D = 2.5 \text{ s}$ در نظر گرفته می‌شود.

(۲-۱) تکیه‌گاه لاستیکی دارای حداکثر تغییر شکل نسبی برشی $\gamma_{\max} = 150\%$ است.

(۳-۱) نسبت میرایی موثر $\xi_{\text{eff}} = 20\%$ است.

(۴-۱) ضریب میرایی B_D برای سامانه‌ی جداسازی با $\xi_{\text{eff}} = 20\%$ بر اساس مفاد دستورالعمل برابر است با ۱/۵.

(۵-۱) منطقه‌ی محل احداث سازه با خطر نسبی خیلی زیاد ارزیابی شده و نوع زمین I است. از این رو مطابق استاندارد ۲۸۰۰،

نسبت شتاب مبناى طرح $A = 0.35$ ، $T_0 = 0.1 \text{ s}$ ، $T_s = 0.4 \text{ s}$ و $S = 1.5$ خواهند بود.

(۲) تحلیل

سختی موثر افقی، K_{eff} برای جداسازی عبارت خواهد بود از:

$$K_{\text{eff}} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \Big|_{W=P_{DL+LL}} = \frac{1347}{9.8} \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 = 868 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

مقدار تغییر مکان طرح مطابق دستورالعمل عبارت خواهد بود از:

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{A \times (S+1) T_s^{\frac{2}{3}} \times T_D}{B_D} = 0.2\text{m} < 0.3\text{m}$$

۳) طراحی

۳-۱- تعیین ابعاد جداساز:

۳-۱-۱) ارتفاع کل لاستیک:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{\text{max}}} = \frac{0.2}{1.5} = 0.133 \rightarrow t_t = 0.14\text{m}$$

۳-۱-۲) با فرض اینکه اطلاعاتی مطابق جدول مندرج در پیوست ۲ از کارخانه مورد تایید برای خرید اخذ شده، خصوصیات لاستیک از جدول ارائه شده به شرح زیر انتخاب می‌شوند:

سختی = IRHD - 60

$\varepsilon_b = 500\%$ تغییر طول در زمان پارگی

خصوصیات مواد به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$E = 4.45 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 106 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1.06 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$K = 0.57$$

۳-۱-۳) مساحت A و ضخامت t هر لایه‌ی لاستیک محاسبه می‌شود:

الف) انتخاب ضریب شکل S:

$$\frac{E(1+2kS^2)}{G} \geq 400 \Rightarrow \frac{445(1+2 \times 0.57S^2)}{1.6} \geq 400 \Rightarrow S > 9.09$$

در این مساله $S = 20$ در نظر گرفته می‌شود.

$$E_c = E(1+2kS^2) = 445(1+2 \times 0.57 \times 20^2) = 20.33 \times 10^5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

ب) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_0 بر اساس تنش محوری مجاز برای بار قائم P_{DL+LL} :

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 7.84 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \Rightarrow \frac{1.347 \times 10^6 \text{ N}}{A_0} \leq 7.84 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \Rightarrow A_0 > 0.172\text{m}^2$$

ج) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_1 بر اساس شرایط تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} :

$$6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \Rightarrow 6 \times 20 \times \frac{1.347 \times 10^6}{20.34 \times 10^5 \times A_1} \leq \frac{500\%}{3} \Rightarrow A_1 > 0.048\text{m}^2$$

د) تعیین حداقل سطح مقطع مورد نیاز A_{sf} برای جلوگیری از شکست برش تکیه‌گاه:

$$G = \frac{K_{eff} \cdot t_t}{A_{sf}} \Rightarrow A_{sf} = \frac{K_{eff} \cdot t_t}{G} = \frac{868 \times 10^3 \times 0.14}{1.06 \times 10^6} = 0.115 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow d = 0.383 \text{ m}, \beta = 117^\circ$$

$$\Rightarrow A_2 = A_{re} = 0.04 \text{ m}^2$$

هـ) حداقل سطح مقطع نهایی تکیه‌گاه:

$$A = \max(A_0, A_1, A_2) = \max(0.172, 0.048, 0.04) = 0.172 \text{ m}^2$$

و) تعیین ابعاد لایه‌های لاستیک:

$$A_{re} \leq \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta)$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_D}{d} \right)$$

با توجه به حداقل مساحت محاسبه شده در بند قبل و شرایط مساله، قطر جداساز $d = 0.7 \text{ m}$ در نظر گرفته شده و از اینجا:

$$\text{مساحت } A = 0.385 \text{ m}^2$$

$$\text{مساحت کاهش یافته } A_{re} = 0.204 \text{ m}^2$$

ز) ضخامت یک لایه t و تعداد لایه‌های لاستیک N برای تکیه‌گاه دایره‌ای:

$$S = \frac{d}{4t} \Rightarrow 20 = \frac{0.7}{4t} \Rightarrow t = 0.0088 \text{ m} \Rightarrow t = 0.01 \text{ m}$$

۳-۱-۵) تعیین ضخامت ورق فولادی t_s برای فولاد با تنش مجاز F_s :

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times F_s} \geq 0.002 \text{ m}$$

برای فولاد A_{36} :

$$F_s = 0.6 F_y = 0.6 \times 274 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\beta = 2 \times \cos^{-1} \left(\frac{0.2}{0.7} \right), A_{re} = 0.204 \text{ m}^2$$

$$t_s \geq \frac{2(0.01 + 0.01) \times 1.347 \times 10^6}{0.204 \times (0.6 \times 274.4 \times 10^6)} = 0.0016 \text{ m}$$

$$\Rightarrow t_s = 0.002 \text{ m}$$

۳-۱-۶) ارتفاع کل تکیه‌گاه:

با فرض اینکه ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه ۵/۲ سانتی‌متر باشد کل ارتفاع تکیه‌گاه عبارت است از:

$$h = t_t + 11 \times t_s + 2 \times 0.025 = 0.212 \text{ m}$$

۴) محدودیت‌های تغییر شکل نسبی برشی پایداری

۴-۱) بار قائم P_{DL+LL}

$$\gamma_{c,DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A} = 6 \times 20 \times \frac{1.347 \times 10^6}{20.34 \times 10^5 \times 0.385} = 0.206$$

$$\leq \frac{\epsilon_b}{3} = \frac{500\%}{3} = 1.667$$

۴-۲) کنترل پایداری:

$$\sigma_c = \frac{p}{A} = \frac{1347}{0.385} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\leq \sigma_c = \frac{G.S.L}{2.5t_t} = \frac{(1.06 \times 10^6) \times 20 \times 0.7}{2.5 \times 0.14} = 42.4 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \Rightarrow \text{ok}$$

۵) نتایج طراحی ابعاد تکیه گاه لاستیکی HDRB

قطر تکیه گاه: $d = 0.7 \text{ m}$

ارتفاع کل تکیه گاه: $h = 0.212 \text{ m}$

تعداد لایه های لاستیک: $N = 12$

ضخامت هر لایه: $t = 1 \text{ cm}$

تعداد ورق های فولادی: $N_s = 11$

ضخامت ورق: $t_s = 2 \text{ mm}$

ضخامت ورق های بالا و پایین تکیه گاه: 2.5 cm

۶) تحلیل پاسخ زلزله

۶-۱) دوره ی تناوب طبیعی سازه ی بدون سامانه ی جداسازی:

$$T_{Dpx} = 1.71 \text{ Sec.}$$

$$T_{Dpy} = 1.67 \text{ Sec.}$$

۶-۲) حداقل برش تابع V_b در تراز جداسازی:

$$V_{b,1} = K_H \times D_D = (\sum K_{eff}) \times D_D = (0.868 \times 10^3 \times 9) \times 0.2 = 1562 \times 10^3 \text{ N}$$

$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} \left(\frac{2\pi}{T_{DP}} \right)^2 \times D_D = \frac{5209 \times 10^3}{9.81} \left(\frac{2\pi}{1.67} \right)^2 \times 0.12 = 1503 \times 10^3 \text{ N}$$

$$V_b = \max(V_{b,1}, V_{b,2}) = 1562 \times 10^3 \text{ N}$$

نیروی زلزله طرح برای سازه ی بالا دست طبقه جداسازی لرزه ای:

$$V_s = \frac{V_b}{R_1} = 1562 \times 10^3 / 2 = 781 \times 10^3 \text{ N} = 0.15 W_T$$

مقدار نیروی برش طرح V_s باید بزرگ تر از برش پایه ی ساختمان با پایه ی ثابت در همان ساختگاه باشد.

۶-۳) توزیع نیروی زلزله در ارتفاع:

مطابق روابط مندرج در دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیروی وارد بر طبقه ی n-ام ساختمان F_n برابر است با:

$$F_n = \frac{w_n h_n}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_s$$

که در این رابطه W_n و W_i به ترتیب وزن طبقه n و i -ام بوده h_n و h_i ارتفاع طبقه n و i -ام در بالای تراز جداسازی می‌باشد.

بر اساس این رابطه نیروی وارده بر سقف، طبقات ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند ۳۷۶، ۱۴۵ و ۲۶۰ کیلو نیوتن.

نیروی جانبی در تراز طبقه اول ۱۵۶۲ کیلو نیوتن است. فرض می‌کنیم با در نظر گرفتن ۵٪ پیچش اتفاقی و اعمال همزمان ۱۰۰٪ نیروی قائم و افقی در جهت x و ۳۰٪ نیروهای افقی در جهت y ، حداکثر نیروی فشاری محاسبه شده برای جداساز مرکزی تحت زلزله $P_{DL+LL+EQ}$ برابر با ۱۶۳۰ کیلو نیوتن است. بر این اساس کنترل پایداری و چرخش جداساز تحت بار زلزله به شرح بند بعد انجام می‌گردد:

(۷) کنترل پایداری و چرخش (Roll out) تحت بار زلزله:

(۷-۱) محدودیت تغییر شکل نسبی برش با در نظر گرفتن اثر زلزله:

$$P_{DL+LL+EQ} = 1630 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\gamma_{SC} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} \cdot E_C} = 6 \times 20 \times \frac{1630 \times 10^3}{0.267 \times 20.34 \times 10^5} = 0.307$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} = \frac{0.2}{0.14} = 1.43$$

$$\theta = \frac{12D_D \times E}{b^2 + l^2} = \frac{12 \times 0.2 \times (0.05 \times 12)}{12^2 + 8^2} = 0.007$$

$$\gamma_{sr} = \frac{b^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} = \frac{0.7^2 \times 0.007}{2 \times 0.01 \times 0.14} = 1.225$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.36 + 1.43 + 1.225 = 3.015 < 0.75 \varepsilon_b = 0.75 \times 500\% = 3.75 \text{ OK.}$$

محدودیت مربوط به چرخش تکیه‌گاه:

$$\delta_{roll \text{ out}} = \frac{1}{2} \times \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} \cdot h} = \frac{1}{2} \times \frac{1630 \times 10^3 \times 0.7}{1630 \times 10^3 + 868 \times 10^3 \times 0.212}$$

$$= 0.35\text{m} > D_D = 0.2\text{m} \text{ OK}$$

(L معادل قطر d برای جداساز دایره‌ای در نظر گرفته شده است)

باید توجه نمود که نحوه‌ی چیدمان جداسازها در این مثال مدنظر قرار نگرفته است.

تکیه‌گاه‌های لاستیکی با هسته‌ی سربی

(۱) مشخصات مقدماتی مساله

مشخصات زیر برای سامانه‌ی جداسازی با جداساز لاستیکی دارای هسته‌ی سربی فرض می‌شوند:

(۱-۱) دوره‌ی تناوب طبیعی هدف $T_D = 2.5s$ در نظر گرفته می‌شود.

(۲-۱) تکیه‌گاه لاستیکی دارای حداکثر تغییر شکل نسبی برشی $\gamma_{max} = 150\%$ است.

(۳-۱) نسبت میرایی موثر $\xi_{eff} = 10\%$ است.

(۴-۱) ضریب میرایی B_D برای سامانه‌ی جداسازی با $\xi_{eff} = 10\%$ بر اساس مفاد دستورالعمل برابر است با $1/2$.

(۵-۱) منطقه‌ی محل احداث سازه با خطر نسبی خیلی زیاد ارزیابی شده و نوع زمین I است. از این رو مطابق استاندارد ۲۸۰۰،

نسبت شتاب مبنای طرح $A = 0.35$ ، $T_0 = 0.1s$ ، $T_s = 0.4s$ و $S = 1.5$ خواهند بود.

(۲) تحلیل

(۱-۲) سختی موثر افقی، K_{eff} برای جداسازی عبارت خواهد بود از:

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \Big|_{W=P_{DL}+LL} = \frac{1347}{9.8} \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 = 868 \frac{kN}{m}$$

مطابق دستورالعمل مقدار تغییر مکان طرح عبارت خواهد بود از:

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{A \times (S+1) T_s^3 \times T_D}{B_D} = 0.25m < 0.3m \text{ OK.}$$

(۲-۲) نیروی تسلیم اولیه Q_d برابر خواهد بود با:

$$Q_d = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{\pi}{2} K_{eff} \times \xi_{eff} \times D_D = \frac{\pi}{2} \times 868 \times 10\% \times 0.25 = 34.1kN$$

(۳-۲) سختی ثانویه‌ی K_d برابر است با:

$$K_d = K_{eff} - \frac{Q_d}{D_D} = 868 - \frac{34.1}{0.25} = 732kN$$

(۳) طراحی

(۱-۳) طرح اولیه هسته‌ی سربی

با فرض تنش تسلیم برای سرب برابر با $f_{py} = 8.82 \text{ MN/m}^2$ ، حداقل سطح مقطع مورد نیاز برای آن برابر خواهد بود با:

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}} = \frac{34.1}{8.82 \times 10^3} = 0.0039m^2$$

در اینجا از $d_p = 7 \text{ cm}$ استفاده می‌کنیم. در ادامه کنترل نسبت ارتفاع به قطر هسته‌ی سربی انجام گرفته و بر اساس آن مقدار

نهایی برای قطر آن تعیین می‌گردد:

$$\text{If } d_p = 0.07 \text{ m} \rightarrow A_p = 0.0049 > 0.0039 \quad \text{OK.}$$

۲-۳) تعیین ابعاد جداساز:

۱-۲-۳) ارتفاع کل لاستیک:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{\max}} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5 \text{ m}$$

۲-۲-۳) خصوصیات لاستیک از جدول ارایه شده در پیوست شماره ۲ به شرح زیر انتخاب می‌شوند:

IRHD - 60 = سختی

$\varepsilon_b = 500\%$ تغییر طول در زمان پارگی

خصوصیات مواد به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$E = 4.45 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 106 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1.06 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$K = 0.57$$

۳-۲-۳) مساحت A و ضخامت t هر لایه‌ی لاستیک محاسبه می‌شود:

الف) انتخاب ضریب شکل S:

$$\frac{E(1+2kS^2)}{G} \geq 400 \Rightarrow \frac{445(1+2 \times 0.57S^2)}{1.6} \geq 400 \Rightarrow S > 9.09$$

در این مساله $S = 20$ در نظر گرفته می‌شود.

$$E_c = E(1+2kS^2) = 445(1+2 \times 0.57 \times 20^2) = 20.33 \times 10^5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

۴-۲-۳) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_0 بر اساس تنش محوری مجاز برای بار قائم P_{DL+LL} :

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 7.84 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \Rightarrow \frac{1.347 \text{ kN}}{A_0} \leq 7.84 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \Rightarrow A_0 > 0.172 \text{ m}^2$$

۵-۲-۳) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_1 بر اساس شرایط تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} :

$$6S = \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \Rightarrow 6 \times 20 \times \frac{1.347}{2033.65 \times A_1} \leq \frac{500\%}{3} \Rightarrow A_1 > 0.048 \text{ m}^2$$

۶-۲-۳) سختی الاستیک تکیه‌گاه K_r :

$$K_d = K_r \left[1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right] \Rightarrow 773 = K_r \left[1 + 12 \frac{0.0039}{0.172} \right] \Rightarrow K_r = 575 \text{ kN/m}$$

۷-۲-۳) تعیین حداقل سطح مقطع مورد نیاز A_{sf} برای جلوگیری از شکست برشی تکیه‌گاه:

$$G = \frac{K_{\text{eff}} \cdot t_t}{A_{sf}} \Rightarrow A_{sf} = \frac{K_{\text{eff}} \cdot t_t}{G} = \frac{630 \times 0.5}{1.06 \times 10^3} = 0.271 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow d = 0.59 \text{ m}$$

$$\Rightarrow A_2 = A_{re} = 0.131 \text{ m}^2$$

۳-۲-۸) سطح مقطع نهایی تکیه‌گاه:

$$A = \max(A_0, A_1, A_2) = \max(0.172, 0.048, 0.131) = 0.172 \text{ m}^2$$

۳-۲-۹) تعیین ابعاد لایه‌های لاستیک برای تکیه‌گاه دایره‌ای:

$$A_{re} \leq \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta)$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_D}{d} \right)$$

$$\rightarrow d = 0.7 \text{ m قطر}$$

$$A = 0.385 \text{ m}^2 \text{ مساحت}$$

$$A_{re} = 0.214 \text{ m}^2 \text{ مساحت کاهش یافته}$$

۳-۲-۱۰) ضخامت یک لایه t و تعداد لایه‌های لاستیک N برای تکیه‌گاه دایره‌ای:

$$S = \frac{d}{4t} \Rightarrow 20 = \frac{70}{4t} \Rightarrow t = 0.88 \text{ cm} \Rightarrow t = 1.0 \text{ cm} \Rightarrow (t_r = 0.5) \Rightarrow N = 50$$

۳-۳) ابعاد ورق‌های فولادی و ابعاد کلی تکیه‌گاه

۳-۳-۱) تعیین ضخامت ورق فولادی t_s برای فولاد A_{36} با تنش مجاز F_s :

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times F_s}$$

$$t_s \geq \frac{2(0.01 + 0.01) \times 1.347 \times 10^6}{0.214 \times (0.6 \times 274.4 \times 10^6)} = 0.0015 \text{ m}$$

$$\Rightarrow t_s = 2 \text{ mm}$$

۳-۳-۲) ارتفاع کل تکیه‌گاه:

با فرض اینکه ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه ۲/۵ سانتی‌متر باشد کل ارتفاع تکیه‌گاه عبارت است از:

$$h = t_t + 49 \times t_s + 2 \times 2.5 \text{ cm} = 0.648 \text{ m}$$

۴) محدودیت‌های تغییر شکل نسبی برشی - پایداری

بندهای ۴-۱ تا ۴-۳ با توجه به روابط موجود برای کنترل پاسخ جداسازها آورده شده‌اند.

۴-۱) بار قائم P_{DL+LL} :

$$\gamma_{sc, DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A} = 6 \times 20 \times \frac{1347 \times 10^3}{20.34 \times 10^3 \times 0.385} = 0.206$$

$$\leq \frac{\epsilon_b}{3} = \frac{500\%}{3} = 1.667 \text{ OK.}$$

۴-۲) کنترل پایداری:

$$\sigma_c = \frac{p}{A} = \frac{1347}{0.385} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\leq \sigma_c = \frac{G.S.L}{2.5t_t} = \frac{(1.06 \times 10^3) \times 20 \times 0.7}{2.5 \times 0.5} = 141872 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \Rightarrow \text{OK}$$

۳-۴ کنترل قطر هسته‌ی سربی:

$$1.25 \leq \frac{H_p}{d_p} \leq 5.0 = \frac{0.5}{0.07} = 7.143 \leq 5.0 \quad \text{NG.}$$

$$\text{Try: } d_p = 0.13\text{m} \Rightarrow \frac{H_p}{d_p} = 3.85 \leq 5.0 \quad \text{OK.}$$

۵) نتایج طراحی:

قطر تکیه‌گاه: $d = 70\text{cm}$

ارتفاع کل تکیه‌گاه: $h = 55.2\text{cm}$

تعداد لایه‌های لاستیک: $N = 42$

ضخامت هر لایه: $t = 1\text{cm}$

تعداد ورق‌های فولادی: $N_s = 41$

ضخامت ورق: $t_s = 2\text{mm}$

ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه: 2.5cm

قطر هسته‌ی سربی: $d_p = 13\text{cm}$

۶) تحلیل پاسخ زلزله:

۱-۶ دوره‌ی تناوب طبیعی سازه

$$T_{Dpx} = 1.71\text{Sec.}$$

$$T_{Dpy} = 1.67\text{Sec.}$$

۲-۶ حداقل برش تابع V_b در تراز جداسازی:

$$V_{b,1} = K_H \times D_D = (\sum K_{eff}) \times D_D = (868 \times 9) \times 0.25 = 1953\text{kN}$$

$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} \left(\frac{2\pi}{T_{DP}} \right)^2 \times D_D = \frac{5209}{9.81} \left(\frac{2\pi}{1.67} \right)^2 \times 0.25 = 1879\text{kN}$$

$$V_b = \max(V_{b,1}, V_{b,2}) = 1953\text{kN}$$

نیروی زلزله طرح برای سازه‌ی بالادست تراز جداسازی لرزه‌ای:

$$V_s = \frac{V_b}{R_I} = 1953 / 2 = 977\text{kN} = 0.19W_T$$

مقدار نیروی برش طرح V_s باید بزرگ‌تر از برش پایه‌ی ساختمان با پایه‌ی ثابت در همان ساختگاه باشد.

۳-۶ توزیع نیروی زلزله در ارتفاع:

مشابه حالت قبل، مطابق روابط مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ایران:

$$F_X = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_S$$

بر اساس این رابطه نیروی وارده بر سقف، طبقات ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند از ۵۳۹، ۳۲۵ و ۱۸۱ کیلو نیوتن. نیروی جانبی در تراز طبقه اول ۱۹۵۰ کیلو نیوتن است. حداکثر نیروی قائم برای هر جداساز با در نظر گرفتن ۵٪ پیش افتاقی و اعمال همزمان ۱۰۰٪ نیروی قائم و افقی در جهت x و ۳۰٪ نیروهای افقی در جهت y و بالعکس قابل محاسبه است. با محاسبه‌ی مقادیر تغییر شکل نسبی طبقات تحت این توزیع نیروی قائم می‌توان ناچیز بودن آن‌ها و صحت فرض صلیبیت رفتار سازه را کنترل نمود.

۷) کنترل پایداری و چرخش (Roll out) تحت بار زلزله

۷-۱) محدودیت تغییر شکل نسبی برشی با در نظر گرفتن اثر زلزله:

$$P_{DL+LL+EQ} = 1849 \text{ kN}$$

$$\gamma_{SC} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} \cdot E_C} = 6 \times 20 \times \frac{1849}{0.267 \times 20.34 \times 10^5} = 0.51$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5$$

$$\theta = \frac{12D_D \times E}{b^2 + l^2} = \frac{12 \times 0.25 \times (0.05 \times 12)}{12^2 + 8^2} = 0.0087$$

$$\gamma_{sr} = \frac{b^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} = \frac{0.7^2 \times 0.0087}{2 \times 0.01 \times 0.5} = 0.43$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.51 + 0.5 + 0.43 = 1.421 < 0.75 \varepsilon_b = 0.75 \times 500\% = 3.75 \text{ OK.}$$

محدودیت مربوط به چرخش تکیه‌گاه:

$$\delta_{rollout} = \frac{1}{2} \times \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L - Q_d \cdot h}{P_{DL+LL+EQ} + K_d \cdot h} = \frac{1}{2} \times \frac{11780 \times 0.7 - 28.6 \times 0.648}{1780 + 732 \times 0.648} = 0.27 \text{ m} > D_D = 0.25 \text{ m OK.}$$

تکیه‌گاه‌های پاندولی اصطکاکی

برای این سامانه هم مشابه حالت‌های قبلی دوره‌ی تناوب طبیعی $T_D = 2.5 \text{ s}$ انتخاب می‌شود. ضریب اصطکاک سطح کروی تکیه‌گاه ۰/۰۶ و فرض اولیه برای تغییر مکان افقی طرح $D = 20 \text{ cm}$ در نظر گرفته می‌شود. این مقدار در ادامه طرح کنترل خواهد شد.

۱- شعاع انحنای تکیه‌گاه:

$$R_{FPS} = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2 = 1.55 \text{ m} \Rightarrow R_{FPS} = 1.5 \text{ m}$$

۲- سختی موثر کل سامانه‌ی جداسازی

$$\sum K_{eff} = \frac{W_T}{R_{FPS}} + \frac{\mu W_T}{D} = \frac{5209}{1.5} + \frac{0.06 \times 5209}{0.2} = 5035 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{5035}{9} = 560 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ بنابراین سختی موثر متوسط برای یک جداساز عبارت است از:}$$

۳- میرایی موثر ξ_{eff} به تغییر مکان بستگی داشته و به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} = 0.2 = 20\%$$

مطابق دستورالعمل ضریب میرایی B_D برای $\xi_{\text{eff}} = 20\%$ برابر ۱/۵ می‌باشد.

ساختمان مورد نظر همانند قسمت‌های قبل منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد ارزیابی شده و نوع زمین I است. از این‌رو مطابق استاندارد ۲۸۰۰، نسبت شتاب مبنای طرح $A = 0.35$ ، $T_0 = 0.1\text{s}$ ، $T_s = 0.4\text{s}$ و $S = 1.5$ خواهند بود.

۴- کنترل تغییر مکان طرح D_D :

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{A \times (S+1) T_s^{\frac{2}{3}} \times T_D}{B_D} = 0.2\text{m} = 0.2\text{m OK.}$$

۵- برآورد تغییر مکان قائم δ_v :

$$\delta_v \approx \frac{\delta^2}{2R_{\text{FPS}}} = \frac{0.2^2}{2 \times 1.5} = 0.013 = 1.3\text{cm}$$

عمق تکیه‌گاه ۱/۷ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

اگر قطر تکیه‌گاه $d = 45\text{cm}$ باشد:

$$\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R_{\text{FPS}}} = \frac{\left(\frac{0.42}{2}\right)^2}{2 \times 1.5} = 0.017\text{m} \geq 0.013\text{m} \Rightarrow \text{OK}$$

۶- کنترل قابلیت تکیه‌گاه در ایجاد نیروی باز گرداننده در زمان زلزله:

$$\frac{D}{R_{\text{FPS}}} = \frac{0.2}{1.5} = 0.13 \geq \mu = 0.06$$

۷- ابعاد تکیه‌گاه FPS:

شعاع انحنای سطح کروی: $R_{\text{FPS}} = 1.5\text{m}$

عمق صفحه: $\delta = 1.7\text{cm}$

شعاع صفحه: $d = 45\text{cm}$

۸- تحلیل پاسخ تحت زلزله

۸-۱) دوره‌ی تناوب طبیعی سازه در دو جهت:

$$T_{\text{Dpx}} = 2.042 \text{ Sec.}$$

$$T_{\text{Dpy}} = 2.036 \text{ Sec.}$$

۸-۲) حداقل برش پایه‌ی سازه V_b در تراز جداسازی:

$$V_{b1} = K_H \times D = (\sum K_{eff}) \times D = 5035 \times 0.2 = 1007 \text{ kN}$$

$$V_{b2} = \frac{w_t}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \times d = 1012 \text{ kN}$$

$$V_b = \max(V_{b1}, V_{b2}) = 1012 \text{ kN}$$

نیروی زلزله طرح برای سازه‌ی بالادست تراز جداسازی: ($R_I = 2$)

$$V_s = \frac{V_b}{R_I} = \frac{1012}{2} = 506 \text{ kN} = 0.097 W_T$$

۳-۸) توزیع قائم نیروی زلزله طرح:

نیروی جانبی F_x در تراز x از سازه‌ی جداسازی شده مطابق ضوابط دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ ایران از رابطه‌ی زیر محاسبه

می‌شود:

$$F_x = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_s$$

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. Uniform Building Code (UBC), 1997.
8. Kelly, J. M., "Earthquake resistant design with rubber", 2nd edition, Springer verlog, London.
9. Kelly, J. M., "Base Isolation: Linear Theory and Design", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 223~244.
10. Skinner, R. I., Robinson, W. H., McVerry, G. H., "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons, Chichester, 1993.
11. Paz, M, "Structural Dynamics, Theory and Computation", Chapman and Hall, New, Chapman and Hall, New York, 1991.
12. 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.
13. 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.
14. Chopra, A., K., "Dynamics of structures, Theory and applications to earthquake engineering", Printice Hall, Upper saddle river, NJ., 1995.
15. Kelly, J. M., Naeim, F., "Design of seismic isolated structures, from theory to Practice", John wiley & Sons, 1999.
16. 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.
17. Bridgestone Corporation, "Multi-Rubber Bearings, International Industrial Products Department", Tokyo, 1990.
18. Recommendations for the design of base isolated buildings, Architectural Institute of Japan, 2001.
19. Wai-Fah Chen, Charles Scawthorn, "Earthquake Engineering Handbook", CRC, 2003.

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

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

ش

accelerator.....شتاب‌دهنده‌ها
Mode shape شکل مود

ط

performance based design.....طراحی براساس 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 اندازه‌گیری سفتی الاستومرها

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

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی-فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات این دفتر در پایگاه اطلاع‌رسانی <http://tec.mporg.ir> قابل دسترسی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Guideline for Design and Practice of Base Isolation Systems in Buildings

No. 523

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System
<http://tec.mporg.ir>

2010

این نشریه

با عنوان "راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای در ساختمان‌ها" به منظور استفاده در طراحی و اجرای سیستم‌های 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.