

مجموعه تصاویرهای

طراحی برای ساختمان‌های

جداسازی شده لبره‌های

(AIJ 2016)

Architectural Institute Of Japan

موسسه معماری ژاپن

مترجمین:

مهندس علیرضا صالحین مهندس سجاد شایا

تقدیم نامه

این اثر را به پاس زحمات جناب آقای اصغر قندچی به میهن و رشادت های ایشان در جبهه های جنگ تحمیلی به روح پر فتوح ایشان تقدیم می گردانم. آقای قندچی کارآفرین ایرانی و پدر صنعت کامیون سازی و مؤسس اولین و بزرگترین کارخانه تریلر و کامیون ساخت ایران بدون مونتاژ خارجی به نام ایران کاوه (سایپا دیزل) بوده و از بنیانگذاران صنعت تولید خودروهای تجاری در ایران محسوب می‌شود. کشور ایران و جوانان آن قدردان چنین زحمت کشان و کار آفرینانی می باشند.



مهندس علیرضا صالحین

پاییز 1399

تقدیم به:

پدر و مادر و برادران عزیزم که در حل معادلات زندگی همیشه در کنارم ایستادند.
همسر خوبم که در مسیر ناهموار زندگی واژه صبر را برایم به تصویر کشید و گل نازم که
سلامتی و موفقیتش مهمترین آرزویم است.
اساتید عزیز و پویندگان علم و دانش که همواره برای تبدیل مجهولات به معلومات در
تلاش هستند.

مقدمه ویرایش انگلیسی

در اوایل سال 1980 میلادی در ژاپن برای اولین بار از جداساز لاستیکی لایه لایه ای بصورت عملی استفاده شده است و پیرو آن، کار تحقیق و توسعه سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای آغاز گردید. اگرچه برای اولین بار در سال 1982 میلادی خانه‌ای به صورت جداساز لرزه‌ای در شهر **Yachiyo** در استان **Chiba** ساخته شد ولی با این وجود ساخت سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای در آن زمان توسعه نیافت. پس از آن در سال 1986 میلادی کمیته فرعی برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای (به ریاست **Hideyuki Tada**) توسط انجمن معماران ژاپن (**AIJ**) تاسیس گردید تا اساس کار مربوط به سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای به صورتی منطقی با توسعه تحقیقات به صورت مطلوب ترکیب شده و دامنه کاربرد اینگونه سازه‌ها شفاف‌تر گردد. با فعالیت مجدانه کمیته فرعی در سال 1989 میلادی کتاب توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای (چاپ اول) منتشر گردید. این توصیه‌های طراحی بر اساس اصولی که در ادامه خواهد آمد در چاپ‌های بعدی مورد بازبینی قرار خواهد گرفت. این کتاب با تاکید بر توسعه، قضاوت هدفمند در مورد مطالب مهم و شاخص در جهت کمک به تصمیم‌گیری طراحان سازه تهیه گردیده است. زمانیکه در جستجوی سیستم‌های جدید سازه‌ای قابل اجرا هستیم، درک اصول اساسی طراحی باید به روش‌های متداول ارجحیت داده شود. حقیقت مبهم این است که خطوط راهنما، فقط در تصمیم‌گیری به یاری مهندسين سازه می‌آیند و یا در جهت راحتی کار آنها نیز دخیل هستند. احتمال دارد تصمیم بر این اساس باعث کمتر شدن خلاقیت و رفتار فرآیند گونه در آینده گردد.

پس از چاپ اول در تاریخ 1989 کمیته فرعی برای سازه‌های جداسازی شده (**hiroshi akiyama**) تلاش مستمری برای جمع‌آوری و توسعه تکنولوژی‌های مربوط به سازه‌های جداسازی شده، انجام داده‌اند که بر اساس نتایج این تحقیقات در سال 1993 ویرایش دوم توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای به چاپ رسید. در این کتاب کمیته فرعی تایید نمود که سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای بهترین انتخاب در بین انواع سازه‌های مقاوم در برابر زلزله بوده و نیز رفتار بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد. همچنین این کمیته بیان کرد که سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای باید تابع محدودیت‌های خاص در مقایسه با ساختمان‌های معمولی از لحاظ مقیاس، سیستم سازه‌ای و مدیریت تعمیرات و غیره باشد. پس از زمین لرزه **Kobe** در سال 1995 ادامه بهره‌برداری و تعمیرات اساسی ساختمان‌ها بسیار مشکل گردید و هزینه‌های تعمیرات زیادی را تحمیل کرد. بعد از زلزله **Kobe** ساخت سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای بیشتر شده و تمرکز روی فرآیند طراحی این نوع سازه‌ها افزایش یافته و تجهیزات جداساز لرزه‌ای نیز توسعه یافت. برای انعکاس این دستاوردها، کمیته فرعی برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای (**Akira Wada**) در سال 2001 ویرایش سوم توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای را به چاپ رسانید.

بعد از آن گستره استفاده از تکنولوژی جداساز لرزه‌ای افزایش یافته و اکنون در ساختمان‌های بلند مرتبه استفاده می‌شود. علاوه بر این ارزیابی پاسخ حرکت زمین در دوره‌های تناوبی زیاد، منتشر شد. پس از آن در سال 2013 کمیته فرعی برای سازه‌های جداساز (**Mineo Takayama**) به جمع‌آوری آخرین یافته‌ها و چاپ ویرایش چهارم توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای پرداخت که خلاصه‌ای از آخرین یافته‌ها در زمینه طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای بود. سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای تکنولوژی نسبتاً جدیدی هستند، که برخی مالکان ساختمان و طراحان سازه نسبت به آن یک حس بی‌اعتمادی دارند. این موضوع را می‌توان با قابلیت توسعه سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای و با الهام از فاکتورهای متنوع که شامل تلاش موسسه معماری

ژاپن در جمع آوری و انتشار تکنولوژی‌های جدید برای جامعه با انتشار توصیه‌های طراحی، انجمن جداسازی لرزه‌ای ژاپن JSSI تاسیس 1993، گسترش تلاش‌های مختلف برای استفاده وسیع آن در توسعه سلامتی و نیز با تایید عملکرد سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای در زلزله Kobe 1995 و Tohoku 2011، برطرف نمود.

قسمت اول و دوم از چاپ چهارم نسخه انگلیسی ترجمه شده، توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای می‌باشد. قسمت سوم و چهارم نسخه ژاپنی توصیه‌های طراحی شامل مثال‌ها و اسناد طراحی می‌باشد که در این ویرایش حذف شده است. امیدواریم که این کتاب برای گسترش تکنولوژی استفاده از جداساز لرزه‌ای در کشورهای دیگر مفید باشد. ما از بهبود محیط در اثر استفاده طراحان سازه از روش‌های جداساز که باعث ایمنی برای شهروندان و شهرهای جهان در مقابل تهدیدات زلزله می‌شود، خوشنود می‌شویم.

در تهیه این کتاب ما از همکاری شرکت‌های خصوصی، JSSI و مهندسان چه بصورت ترجمه و چه بصورت مالی با بودجه کل 3.5 میلیون ین شامل 0.5 میلیون ین از فعالیت‌های بین‌المللی AIJ استفاده کردیم. بخصوص تشکر ویژه‌ای از آقای Akitsugu Muramatsu (Nikken Sekkei Ltd) Masanori Tasaka (شرکت Shigenobu Suzuki)، آقای Ryotaro Kurosawa (ساخت و ساز Kurosawa)، آقای Yasushi Ichikawa (شرکت Bridgestone Nippon Steel & Sumikin)، آقای Yasuo Tsuyuki (شرکت Kayaba System Machinery Co., Ltd Engineering Co.)، آقای Toru Takeuchi (موسسه فناوری Tokyo)، آقای Nagahide Kani (JSSI) و آقای Mineo Takayama (دانشگاه Fukuoka). برای هر گونه سؤال درباره محتوای این سند، لطفاً با Mineo Takayama (mineot@fukuoka-u.ac.jp) ارتباط برقرار نمایید.

آوریل 2016

موسسه معماری ژاپن - AIJ

مقدمه

این توصیه نامه‌ها برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای می‌باشد. این سازه‌ها با استفاده از سطح جداساز لرزه‌ای بوسیله جداسازها، ساختمان را با تغییر شکل‌های منعطف در امتداد افقی در زمان زلزله و میراگرها که جابجایی‌ها را کاهش می‌دهند و نیز انرژی ورودی زلزله را جذب می‌کنند، تشکیل می‌شوند.

اطلاعات تکمیلی برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای بعد از انتشار چاپ سوم تاکنون، بازبینی قانون استاندارد ساختمان می‌باشد (انتشار در 1998، لازم‌الاجرا در 2000) و زلزله بزرگ ژاپن در سال 2011 در ویرایش مجدد قانون استاندارد ساختمان، توصیه‌ها و تذکراتی در مورد سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای منتشر شد که در آن، تاییدیه از طرف وزارت برای تجهیزات جداساز لرزه‌ای ضروری بود. در اطلاعیه‌ها از اصطلاح ماده جداسازی لرزه‌ای استفاده شده ولی با این حال، در این توصیه‌های فعلی، اصطلاح دستگاه جداسازی لرزه‌ای استفاده شده است، زیرا اینگونه در نظر گرفته می‌شود که جداسازها و میراگرها، مهمترین اجزا هستند و در ساختارهای جدا شده لرزه‌ای باید به همان شیوه ساختاری معمولی مورد بررسی قرار گیرند. تجهیزات جداساز گوناگونی در بازار برای بهبود عملکرد وجود دارد. انواع تجهیزات جداساز برای انواع کاربردها وجود دارد. توسعه انواع تجهیزات جداسازی لرزه‌ای در گسترش دامنه کاربرد ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای نقش دارد. به عبارت دیگر ظرفیت‌های مختلف برای جذب انرژی برای پیوندهای طولانی، مدت زمان طولانی حرکت لرزه‌ای، تغییر شکل‌های بزرگ در اثر امواج ضربه‌ای در کنار گسل، باید پس از تایید عملکرد مورد قبول آنها مورد استفاده قرار گیرد. بعلاوه پاسخ تاریخیچه زمانی تحلیل‌ها در چاپ اول توضیح داده شده است.

توصیه‌ها، روش‌های پیش‌بینی پاسخ را بر اساس روش انرژی توصیف می‌کنند، روش‌های پیش‌بینی پاسخ لرزه‌ای برای ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای در این نسخه اصلاح شده، علاوه بر این روش، روش پیش‌بینی پاسخ با استفاده از خطی‌سازی معادل نیز ارائه می‌شود. اگرچه بسیاری از ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای تا حدودی مشکل داشتند و در زلزله شرق ژاپن در برخی از اتصالات جداساز لرزه‌ای و میراگرهای هیسترتیک، خسارات ناشی از سونامی در آنها بصورت وسیعی گزارش شده است. طراحی لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده برای سونامی وظیفه تحقیقات آینده است. سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای دارای اثربخشی کافی در مقابل حرکات لرزه‌ای از پیش تعیین شده هستند. تأثیر مشخصات سیستم‌ها و حرکات لرزه‌ای بر پاسخ چنین سازه‌هایی زیاد است، نیروهای لرزه‌ای که بر روی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای عمل می‌کنند، نامشخص هستند و به همین دلیل در طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، در نظر گرفتن حاشیه اطمینان مناسب ضروری است.

مطلوب است که پاسخ در روسازه زیاد نشود. پاسخ در مقابل حرکات لرزه‌ای از پیش تعیین شده نباید فراتر برود و از طرف دیگر، برای ورودی حرکت لرزه‌ای و وزش کوچک و باد شدید، بهتر است که نوسانات لرزه‌ای ساختمان‌های جداسازی شده در یک محدوده مجاز قرار گیرند.

طراحی لرزه‌ای با پیش‌بینی حرکت‌های لرزه‌ای ورودی شروع می‌شود، اما در حال حاضر تقریباً پیش‌بینی دقیق حرکات لرزه‌ای در مکانی که قرار است یک ساختمان احداث شود، غیرممکن است. طرح‌های مهندسان سازه بر مبنای فاکتورهای نامشخص انجام می‌شود و شرایط این نسخه بر حمایت از تصمیمات این مهندسان تأکید دارد.

نکات اصلی که در مقایسه با نسخه‌های قبلی تقویت شده‌اند، به شرح زیر است:

- معرفی جدیدترین دانش در مورد مشخصات تجهیزات جداساز لرزه‌ای.
- معرفی دانش جدید در مورد حرکات لرزه‌ای ورودی مانند مدت زمان ارتعاش طولانی،

ارزیابی پاسخ ساختمان‌های بسیار مرتفع در مقابل وزش باد شدید. در این نسخه، ارایه دانش جدید تا حد امکان در اولویت قرار گرفت، بنابر این موارد تکراری از مطالب نسخه قبلی حذف شد. این نسخه باید به عنوان یک مکمل برای نسخه قبلی در نظر گرفته شود. این نسخه شامل قسمت اول "توصیه‌های طراحی" و قسمت دوم "تفاسیر" است. توصیه‌های طراحی، خصوصیات سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، الزامات اساسی طراحی و مفاهیم اساسی طراحی، تفاسیر شامل توضیحات و مطالب برای تعمیق درک توصیه‌ها را شامل می‌شود. با این روش طراحی می‌توان به تمام اهداف طراحی دست یافت و همچنین گزینه‌های مختلفی در دسترس هستند. مهندس طراح باید ارزیابی دقیقی از این گزینه‌ها داشته باشد. از این منظر، توصیه‌های طراحی تا آنجا که ممکن است باید عینی باشد و روش‌های تحقق یک طراحی خاص در تفاسیر آمده است، به گونه‌ای که متناسب با تحولات، امکان اضافه یا اصلاح مطالب وجود دارد. ساختار فصل‌های 1 و 3 از بخش تفسیر به گونه‌ای نوشته شده است که به غیر از متخصصان طراحی به راحتی توسط طراحان درک شود.

اکتبر 2013

موسسه معماری ژاپن - AIJ

مقدمه مترجمان:

با تلاش و ممارست و با نامه نگاری های متعدد توانستیم نسخه اصلی این کتاب و برخی کتب دیگر را از ژاپن تهیه نماییم. با وجود این که ژاپنی ها به سختی جوابگوی تلفن و فاکس و ایمیل هستند، در هر حال، این کتاب از AIJ تهیه گردید. AIJ انستیتو معماری ژاپن است که چیزی کم از JSCE یعنی انجمن مهندسين عمران ژاپن ندارد و تدوین و نشر بسیاری از آیین نامه ها و توصیه نامه ها که بسیار هم جنبه پیچیده محاسباتی دارد، برعهده این انجمن می باشد. این کتاب با همکاری مستقیم انجمن جداسازی لرزه ای ژاپن (JSSI) و AIJ تهیه و نگارش گردیده است. در کل دنیا تنها چند کشور هستند که تلفیق و پیوند قوی معماری و عمرانی دارند که می توان از آنها به ایتالیا، آمریکا و ژاپن اشاره نمود. حد اعلاء این مهم در ژاپن دیده می شود. خلاقانه ترین طرح ها و بیشترین استفاده از سیستم های جداسازی لرزه ای و میراگرهای فعال، نیمه فعال و غیرفعال در همین کشور است و تمامی این مطالب به هم مرتبط و به هم تنیده هستند. همکاری نزدیک بین ارگان های مختلف و کارگروه های مشترک با همکاری واقعی و عملی بین مهندسين به خصوص عمران و معماری در نهایت پیشرفت هایی از این قبیل را رقم می زند. صد البته که وظیفه تهیه و ترجمه این چنین کتاب هایی به جای هزینه از سرمایه شخصی مترجمان و انتشارات، بر عهده پژوهشگاه بین المللی زلزله، مرکز تحقیقات راه و ساختمان، سازمان مدیریت بحران کشور، شهرداری، سازمان برنامه و بودجه و ارگان ها و نهادهای دیگر می باشد، که متأسفانه تاکنون این ارگان ها در این زمینه عملکرد مناسبی نداشتند.

کتاب اصلی به زبان انگلیسی ترجمه ناقص از نسخه اصلی کتاب به زبان ژاپنی (توسط خود AIJ از JSSI) می باشد که در دسترس عموم برای مطالعه قرار داده شده بود. ساختار این راهنما یا توصیه نامه مشابه آیین نامه های معتبر می باشد، که بخش اصلی و بخش تفسیر جداگانه دارد. این اثر ارزشمند حاصل سالیان سال تجربه ارزشمند ژاپنی ها در عرصه طراحی، اجرا و نگهداری سیستم های جداسازی لرزه ای می باشد. در انتهای هر بخش، برای مطالعات بیشتر، شما را به مقالات و نشریات ژاپنی ارجاع می دهد. مطالبی که در این کتاب آمده است، تجربیات و جزییات بدون مثل و ماندی را ارائه کرده که در کتب دیگر نیست، بنابر این به کلیه طراحان، مشاوران و علاقه مندان به این سیستم ها، مطالعه دقیق این کتاب توصیه می گردد.

به این نکته نیز باید اشاره شود که متن از زبان ژاپنی به انگلیسی برگردان شده (توسط AIJ) و ژاپنی ها متأسفانه نگارش مناسبی به انگلیسی ندارد و سرتاسر متن پر از ابهام و موارد نامفهوم (به نسبت متون آمریکایی یا بریتانیایی نگارش شده) بوده و به همین دلیل ترجمه این کتاب را به حدود یک سال درازا کشانید. این اطمینان به خوانندگان محترم داده می شود که مترجمان نهایت تلاش خود را برای ارائه متن روان و قابل فهم انجام داده اند ولی در هر حال احتمال وجود اشتباهات و نواقص وجود دارد.

اصل این کتاب به همراه حدود 12000 جلد کتاب مهندسی سازه و زلزله در کانال تلگرامی به آدرس <https://t.me/seismicisolation> موجود می باشد و دوستان می توانند برای ارائه پیشنهادات و انتقادات خود با انتشارات فرهمند و یا با آیدی تلگرامی @alirezasaalehin ارتباط برقرار نمایند.

مهندس علیرضا صالحین، مهندس سجاد شایا

زمستان 1399

فهرست مطالب

فصل اول

12..... توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای

12..... بخش اول: بررسی کلی ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای

1-1 مشخصات سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

2-1 طرح کلی تجهیزات جداسازی شده لرزه‌ای

3-1 قابلیت اجرای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

14..... بخش دوم: طراحی عمومی

1-2 ارزیابی عملکرد جداساز لرزه‌ای

2-2 طرح اصلی

3-2 چینش و انتخاب تجهیزات جداساز لرزه‌ای

4-2 طراحی تجهیزات ساختمان

5-2 مدیریت تعمیرات

18..... بخش سوم: طراحی سازه

1-3 ارزیابی بنیادی

2-3 طراحی برای زلزله و حرکت زمین

3-3 طراحی باد

4-3 امنیت طراحی

5-3 پیش‌بینی پاسخ لرزه‌ای

6-3 مدل‌های تحلیل پاسخ

7-3 حاشیه لرزه‌ای (فاصله اطراف سازه جداساز) تضمین شده

8-3 نکات ارزیابی مربوط به سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

24..... فصل دوم: تحلیل‌ها و تفاسیر

24..... بخش اول: خلاصه ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای

1-1 ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای در قرن 21

توسعه طراحی لرزه‌ای و انعطاف‌پذیری در قیاس با سختی

2-1 اصول ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای

3-1 امکان کاربرد ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای

37..... بخش دوم: تجهیزات جداسازی لرزه‌ای

1-2 انواع تجهیزات و عملکرد آنها

2-2 خصوصیات مکانیکی هر دستگاه

3-2 ترکیب و انتخاب تجهیزات جداساز لرزه‌ای

4-2 دستگاه‌ها و سیستم‌های جداساز برای ساختمان‌های منفصل

5-2 طراحی و ساخت برای راه اندازی دستگاه ها و پوشش ضد حریق

6-2 کیفیت و دوام تجهیزات جداساز لرزه ای

85..... **فصل سوم: طراحی عمومی**

1-3 تاریخچه ساختمان های با جداساز لرزه ای

2-3 تاثیر سازه های جداسازی شده لرزه ای

3-3 نکات قابل توجه در برنامه ریزی و طراحی

4-3 نکات قابل توجه در برنامه ریزی ساخت

5-3 کنترل کیفیت تجهیزات جداسازی لرزه ای

6-3 تعمیرات سطح جداساز لرزه ای و تجهیزات جداسازی لرزه ای

95..... **فصل چهارم: طراحی سازه**

1-4 اهداف طراحی

2-4 حرکت زمین ورودی

3-4 پیش بینی پاسخ لرزه ای با روش های ساده تحلیل

4-4 پیش بینی پاسخ با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی پاسخ

5-4 طراحی باد

6-4 نکات قابل توجه در سازه های جداسازی شده لرزه ای خاص

202..... **واژه نامه تخصصی**

فصل اول

توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای

بخش 1 بررسی کلی ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای

1-1 مشخصات سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

1 اصول سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

مقیاس، جرم، مقاومت و سختی ساختمان‌ها در قیاس با اندازه و جرم و انعطاف انسان خیلی بزرگتر است. زندگی روزمره انسان داخل فضاهای ساختمانی دارای جرم و سختی، محافظت شده است. بسیار مهم است که این سازه‌ها قدرت تحمل بارهای ثقلی که به طور ثابت به آنها اعمال می‌شوند را داشته باشند و نیز قادر به تحمل آشفته‌گی‌های خارجی از قبیل زلزله و طوفان با فرکانس پایین را دارا باشند. بیشتر خسارت زلزله‌ها در اثر نوسانات و حرکت زمین و خرابی اعضای سازه‌ها پیش می‌آید. در این وضعیت سازه‌ها قادر به تحمل وزن خود نبوده و فضایی که انسان در آن زندگی می‌کند، فرو می‌ریزد. اصل اول در طراحی لرزه‌ای سازه این است که سازه بتواند نیروی وزن خود را تحمل کند و اصل دوم نیز این است که سازه انرژی ورودی سازه را از طریق مقاومت و شکل‌پذیری، جذب نماید. آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأکید دارد که حفظ عملکرد ساختمان و ایمنی انسان در هنگام حرکت زمین در زمان زلزله ارزشمند بوده و جلوگیری از خرابی سازه‌ها در زلزله‌های بزرگ و حفظ جان انسان‌ها به ترتیب در اولویت هستند. برای جلوگیری از خرابی در سازه‌ها و جذب مطلوب‌تر انرژی ورودی زلزله، اجازه می‌دهیم تا ایجاد ترک در سازه‌های بتنی و تسلیم فولاد در سازه‌های فولادی به وقوع بپیوندد. زمانی که سرعت و شتاب و نیز تغییر مکان‌های طبقات سازه نسبتاً بزرگ است، بدیهی است که خرابی رخ داده و تغییر شکل‌های ماندگار بعد از رخداد زلزله مشاهده شود، البته که در این حالت امکان برگرداندن عملکرد سازه و هزینه تعمیرات خیلی زیاد است. یک سازه جداسازی شده به سازه‌ای گفته می‌شود که در آن جداسازی در قسمت پی یا در طبقات ابتدایی ساختمان انجام شده باشد. سازه‌های یاد شده از مولفه‌های افقی حرکت زمین جداسازی می‌شوند. سطح جداساز لرزه‌ای با استفاده از تجهیزات جداساز لرزه‌ای مانند جداسازها منجر به جلوگیری از خرابی در اثر تغییر شکل‌های در اثر وزن سازه شده و عملکرد مطلوبی با میراگرهای جاذب انرژی زلزله دارند. این روش سازه‌ای قادر است دو موردی را که در فوق به آن اشاره شد ارضاء نماید. تأثیر کم و ناچیز نیروی افقی بر روی روسازه در اثر زلزله‌های بزرگ و مقایسه آن در روی سازه‌های معمولی نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از طراحی الاستیک (خطی) بر نیروهای افقی در روسازه فایز آمد. در نتیجه، از عملکرد ساختمان در زمان تعمیرات پس از زلزله‌های قوی ارزش آن کاسته نشده و بلکه حفظ ایمنی ساکنان نیز ادامه پیدا می‌کند.

2 عملکرد و تأثیر جداساز لرزه‌ای در سازه‌ها

رکوردهای لرزه‌ای ثبت شده که شامل خیلی از ساختمان‌های جداسازی شده بود مانند دانشگاه بیمارستانی کالیفرنیا جنوبی در زمین لرزه Northridge (1994)، ساختمان غربی در زمین لرزه Hyogo جنوبی (1995)، مجتمع Suisen در زلزله Niigata (2004) و چندین ساختمان در زلزله‌های بزرگ قسمت شرقی ژاپن (2011)،

جمع آوری گردید. پس از بررسی این رکوردها تایید شد که شتاب افقی در روسازه، $1/3$ یا $1/4$ یا کمتر از شتاب اولیه و ورودی بوده است.

در سازه‌های متداول پاسخ شتاب سازه‌های بزرگ 2 تا 3 برابر شتاب سطح زمین بوده و نوسان داخلی در ساختمان‌های با جداساز لرزه‌ای کمتر از ساختمان‌های معمولی می‌باشد. حرکات عمودی در روسازه‌های جداسازی شده مانند یک ساختمان معمولی به تدریج گسترش می‌یابد. کاهش حرکات افقی باعث افزایش احساس ایمنی و امنیت در داخل ساختمان می‌گردد. در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای، هدف این است که سازه‌ها حتی در تغییرشکل‌های بزرگ فرو نریزد و نیز بر شکل‌پذیری آنها تاکید دارد. علاوه بر این هدف توزیع تغییرشکل پلاستیک در کل ساختمان به خاطر این است که انرژی لرزه‌ای ورودی از طریق کل ساختمان جذب شود. نوسانات سازه به مشخصات زمین لرزه بستگی دارد، بخاطر همین موضوع توزیع یکسان تغییر شکل‌های پلاستیک در کل طبقات سازه کار مشکلی است.

بیشترین خسارات در طبقه خاصی متمرکز شده و تعیین آن در اولویت است. سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای بر اساس ارزیابی تغییر شکل‌ها، در زمان زلزله و تمرکز این تغییرشکل‌ها در قسمت جداسازی شده، طراحی می‌شوند و به همین دلیل پیش‌بینی عملکرد سازه در این حالت امکان‌پذیر است. نتیجه سال‌ها تحقیق نشان داده که اکنون امکان افزایش ظرفیت تغییر شکل در سازه‌های قاب‌بندی شده وجود دارد. اگرچه بخاطر دیوارهای خارجی، دیوارهای داخلی و دیگر اجزای غیرسازه‌ای که از مصالح ترد و شکننده ساخته می‌شود، طراحی در سازه‌های معمولی با افزایش عرض اتصال بین پنل‌ها و ایجاد درز بین اتصالات، پیچیده‌تر می‌شود. در صورتی که در سازه‌های بزرگ تغییر مکان‌های نسبی داخل طبقات کاهش چشمگیری نشان می‌دهد. به جز در شرایط خاص، المان‌های غیرسازه‌ای را می‌توان بدون در نظر گرفتن تغییر مکان‌های نسبی طبقات در اثر زلزله طراحی نمود.

3) طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

طراحی و به ویژه طراحی معماری یک فعالیت خلاقانه است. طراحی صرفاً انتخاب اعضاء از یک منو بر طبق فرآیند توصیه شده نیست. طراحی سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای نیز فرآیندی خلاقانه به شمار می‌آید. درک عمیق فیزیکی و مهندسی برای مهندسان سازه امری مهم به حساب می‌آید. سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای باید کاملاً برای رفتار مشخص در زمان زلزله، با رجوع به دفترچه‌های راهنمای طراحی، روش‌های طراحی توسعه یافته جدید، میزان خسارت در زلزله‌های گذشته، تحلیل‌های عددی و نتایج آزمایشات تجربی سازه‌ها، طراحی گردند.

چندین موضوع و مطلب ناشناخته هنوز باقی مانده، با این وجود شناخت پتانسیل حرکت زمین در زمان زلزله و رفتار سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای در زمان زلزله، دو فاکتور مهم هستند که تلاش زیادی برای درک بهتر آنها باید انجام شود.

1-2 مطالب کلیدی در مورد تجهیزات جداساز لرزه‌ای

1) مشخصات تجهیزات و ارزیابی عملکرد آنها

در سازه‌های قاب‌بندی شده متداول، اعضایی مانند ستون‌ها و تیرها به صورت صلب به هم متصل هستند، بنابراین رفتار مکانیکی هر یک از آنها در دیگری تاثیرگذار است. بنابراین حتی از نتایج آزمایشات اعضاء به صورت جداگانه نمی‌توان به رفتار کلی سازه پی برد. تغییر شکل‌های تجهیزات جداساز لرزه‌ای در زمان زلزله به صورت صرفاً

افقی بوده، به عبارتی اگر هر تجهیز جداساز به صورت منحصر به فرد تحت آزمایش قرار گیرد به صورت نسبی می‌توان از نتایج این آزمایشات برای تعیین مشخصات سازه استفاده نمود.

نمونه‌ها برای آزمایش الاستیک طبق قانون تشابه، نسبت به اندازه، اعتبار کسب می‌کنند. اگر چه پدیده شکست نهایی به اندازه نمونه آزمایش بستگی دارد، ولی در نهایت باید بتوان نتایج را به نمونه با اندازه واقعی تعمیم داد. آزمایش تجهیزات جداساز لرزه‌ای به صورت انفرادی در اندازه واقعی امکان پذیر است. این مزیت سیستم‌های سازه‌ای جداساز لرزه‌ای است.

2) جداساز

برای تحمل پایدار جرم ساختمان برای دوره زمانی طولانی به جداساز نیاز است. حتی زمانی که تغییر شکل افقی در زمان زلزله رخ می‌دهد، جداساز باید به صورت پایدار نیروی عمودی را تحمل کند و با تغییر شکل افقی در امتداد عمودی نشیمن، این نیروها را کاهش دهد. ارتباطی روشن بین عمل نیروهای افقی در جداساز و تغییر شکل افقی وجود دارد، اما برای تأیید آن باید در موقعیت واقعی بررسی شود. برای طراحی، تغییر شکل افقی مجاز برای تغییرات سختی جداساز تعیین شده است و برای هر نیروی فشاری یا کششی (تغییر شکل کششی) در جداساز، تغییرات سختی باید به روشنی در طراحی مشخص شده باشد.

3) میراگر

زمانی که یک سازه جداسازی شده لرزه‌ای در معرض حرکت لرزه‌ای زمین قرار می‌گیرد، انرژی ورودی جمع شده همان انرژی کرنشی الاستیک جداساز است و از طریق تغییر شکل پلاستیک یا مقاومت اصطکاکی در میراگر جذب می‌شود. نقش میراگر کاهش تغییر شکل‌های ایجاد شده در اثر زمین لرزه و نیز در نهایت جذب کلیه انرژی‌های ورودی به سازه می‌باشد. همچنین انتظار می‌رود که میراگر در معرض تغییر شکل‌های تکرارشونده در دوره زمانی طولانی و در مقابل نیروهای تکراری مقاومت کافی داشته و نیز از حاشیه مناسبی برای ظرفیت جذب انرژی برخوردار باشد.

1-3 قابلیت اجرای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

جداساز لرزه‌ای علاوه بر موثر بودن برای ساختمان‌های معمول، همچنین یک روش موثر در مقاوم سازی لرزه‌ای می‌باشد. به ویژه در ساختمان‌های تاریخی یا در مواقعی که تداوم زندگی روزمره و کارهای تجاری در زمان مقاوم سازی ضرورت داشته باشد. فضای حاشیه (فضای خالی اطراف سازه جداساز) باید در اطراف ساختمان یا یک سازه-جداسازی شده لرزه‌ای فراهم شود. فضای حاشیه باید مطابق با دامنه ارتعاش در زمان زلزله باشد. به همین دلیل اجرای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای در شهرهای با بافت متراکم، مشکل است. با این وجود بعضی روش‌ها می‌تواند راه‌گشای این مساله باشد، روش‌هایی مانند ساخت پی مجازی با استفاده از سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای برای کل بلوک به صورت یکجا، اگر بر این مشکل فایده‌ایم اجرای جداساز لرزه‌ای برای بیشتر ساختمان‌ها بدون محدودیت نوع ساختمان امکان پذیر می‌گردد.

بخش دوم: طراحی، کلیات

2-1 ارزیابی عملکرد جداساز لرزه‌ای

1) ارزیابی ایمنی لرزه‌ای

ساختمان‌ها به ندرت در معرض زلزله قرار دارند. زمانی که زلزله رخ می‌دهد مشکلات مختلفی بروز می‌کند. خسارات لرزه‌ای در ساختمان‌های معمولی در چندین گام بوجود می‌آید، مانند عدم توانایی در نگهداری عملکرد سازه، افتادن مبلمان و ادوات نصب شده، خسارات جزئی به سازه، زخمی شدن ساکنان، خسارات سازه‌ای غیر قابل تعمیر، از دست رفتن ارزش ساختمان، از دست رفتن جان انسان‌ها و خرابی ساختمان‌ها. هدف سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای کاهش این خسارات تا حد ممکن است، اما سازه‌های در معرض زلزله باید توسط مهندسین سازه ارزیابی گردند. هشت آیتم ذیل خسارات سازه‌ای و غیرسازه‌ای محتمل را نشان می‌دهند. برای جلوگیری از این خسارات باید حاشیه ایمنی (فاصله اطراف سازه جداساز) مناسبی را در عملکرد سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای در نظر گرفت.

- (1) خسارت در درز انبساط
- (2) آسیب به لوله کشی در تراز نصب جداساز لرزه‌ای
- (3) افزایش محدوده تغییرشکل یا ظرفیت جذب انرژی در تجهیزات جداساز لرزه‌ای توسط میراگر
- (4) افزایش محدوده تغییرشکل از طریق جداسازها
- (5) افزایش فاصله مورد نیاز خالی اطراف سازه (از طریق سازه‌های قابل تنظیم، پیاده روها یا دیوار)
- (6) تغییرشکل پلاستیک روسازه
- (7) از دست دادن ظرفیت باربری عمودی دستگاه جداساز لرزه‌ای
- (8) گسیختگی پلاستیک پی سازه و از دست دادن ظرفیت باربری عمودی.

(2) ارزیابی عملکرد جداساز لرزه‌ای و حرکت زمین برای طراحی به طور کلی عملکرد متعین برای سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، فراهم کردن ایمنی در هنگام زلزله‌های بزرگ است. به طور همزمان، عملکرد سازه از چند نکته نظر ارزیابی می‌گردد، مانند کاهش شتاب پاسخ در قسمت‌های مسکونی در زمان زلزله، میزان عملکرد سازه بعد از وقوع زلزله و کاهش نیروی افقی در روسازه‌ها و تغییر مکان نسبی طبقات. اگر حرکت زمین در اثر زلزله که برای طراحی استفاده می‌شود، زیاد در نظر گرفته شود، تعداد میراگرها در سازه جداساز لرزه‌ای نیز افزایش می‌یابد. حتی در صورت افزایش ایمنی در زلزله‌های شدید، در اثر کاهش شتاب پاسخ و کاهش نیروی افقی در روسازه و جابجایی نسبی در سازه، در اثر زلزله ملایم می‌تواند اثرات بدتری داشته باشد. بنابراین عملکرد جداساز لرزه‌ای هم برای زلزله‌های با شدت کم و شدید باید ارزیابی گردد. زمانی که حرکت یک سازه به علت یک زلزله بزرگ از زلزله‌ای که برای آن طراحی شده تجاوز کند، پاسخ جابجایی به مشخصات سطح جداساز لرزه‌ای و زمین لرزه بستگی دارد.

2-2 تمهیدات اصلی

(1) شرایط روسازه
در یک آیین نامه سازه مقاوم لرزه‌ای، بدلیل اینکه به قاب سازه اجازه تغییرشکل پلاستیک داده شده است، انتظار می‌رود تا انرژی موقع زلزله جذب شده و مقدار معینی از صدمه در قاب سازه‌ای اجتناب ناپذیر گردد. در سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، تغییرشکل در سطح جداساز لرزه‌ای تمرکز داشته و تجهیزات جداسازی لرزه‌ای کل انرژی ورودی را جذب نموده، با این وجود روسازه نیازی به جذب انرژی ندارد. بنابراین خسارت روسازه در زمان زلزله

افزایش نمی‌یابد. در موقع لزوم برای طراحی از پاسخ روسازه در محدوده الاستیک در مقابل نیروهای افقی در هنگام زلزله استفاده می‌شود. برای برقراری این وضعیت لازم است تا با افزایش مقاومت و سختی روسازه از ایجاد تغییرشکل پلاستیک قابل توجه جلوگیری گردد. بنابر این طراحی با شکل پذیری بالا در طراحی لرزه‌ای سازه‌های متعارف در حالت سازه جداسازی شده لرزه‌ای می‌تواند به مراتب ساده‌تر باشد. با بهره‌گیری از این مشخصات امکان کاهش تغییرمکان عرضی میان طبقه‌ای در زمان زلزله و نیز درجات آزادی با اهداف طراحی پلان و استفاده از مصالح و دیتیل‌های معماری بوجود می‌آید.

2) شرایط زمین

در زمان ساخت یک ساختمان متعارف، انتخاب ساختگاه مناسب با شرایط زمین خوب، یک نکته مهم به شمار می‌آید. اگر شرایط زمین ساختگاه خوب نباشد، از شمع‌ها یا سایر پی‌های موثر برای بهبود عملکرد پی‌سازه بهره می‌گیرند. با این حال در ساخت سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای نکته حایز اهمیت جلوگیری از نشست غیر یکنواخت یا نامتقارن است. مشکلاتی از قبیل، صدمه به پی‌ها یا تکیه‌گاه‌ها از طریق وزن سازه در هنگام زلزله نباید رخ دهد.

یک سازه جداساز لرزه‌ای در مقابل لرزش‌های ورودی با پی‌ود کوتاه جداسازی شده است، در حالی که پاسخ آن به صورت لرزش ورودی با پی‌ود بلندتر می‌باشد. مولفه‌های چالش برانگیز در پی‌ود بلند، بین 2 ثانیه تا حدود 10 ثانیه می‌باشد. در حالی که زمین لرزه‌های با این پی‌ود بر اساس وضعیت و شرایط حاکم بر چند صد متری زیر سطح زمین گسترش می‌یابد. بنابر این علم بر مشخصات عمق زیر سطح زمین و تا حدودی نزدیک سطح آن مهم است. از آنجا که مشخصات ارتعاشی، سازه جداساز لرزه‌ای به صورت غیرخطی با میرایی بالا می‌باشد، پاسخ تشدید یافته نمی‌تواند در اثر پی‌ود اصلی زلزله اتفاق بیافتد. در حالیکه برای زمین لرزه‌های با مولفه‌های پی‌ود بلند، تشدید ارتعاشی می‌تواند در سطح جداسازی شده افزایش یابد. زمین لرزه‌هایی که در نزدیکی گسل‌ها اتفاق می‌افتد، منجر به پاسخ با تغییرشکل‌های بزرگ در سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای می‌گردند. برای گسل‌ها و فعالیت آنها در نزدیکی سایت، باید توجه ویژه‌ای به زلزله‌های رخ داده و آخرین اطلاعات جمع‌آوری شده و جزئیات ارزیابی‌های انجام شده، داشته باشیم.

3) موقعیت و محل جداسازی

زمانیکه یک سازه جداساز لرزه‌ای با زیرزمین طراحی می‌شود، دو روش می‌توان برای تعیین سطح جداساز مورد استفاده قرار گیرد. 1) در روش اول کل ساختمان شامل زیرزمین توسط تجهیزات جداساز، جداسازی می‌شود (جداسازی پایه) 2) در روش دوم سطح جداساز لرزه‌ای مابین بالایی سطح زمین و سطح زیرزمین انتخاب می‌شود و (جداسازی لرزه‌ای بین سطحی یا بین طبقه‌ای) در روش اول در اطراف ساختمان دیوارحایل باید احداث گردد و در روش دوم، تغییرمکان نسبی در مابین زیر زمین و قسمتی از طبقه اول و بالاتر اتفاق می‌افتد که باید در طراحی مدنظر قرار گیرد.

در جداساز بین سطحی، جداسازی شامل تعدادی از طبقات ساختمان می‌شود. تشدید زمین لرزه ورودی، پایین‌تر از سطح جداسازی شده و پاسخ قسمت پایین حایز اهمیت می‌باشد. طراحی آسانسورها، پله‌ها و لوله‌کشی باید بر اساس تغییر شکل‌های بزرگ در قسمت سطح متوسط جداسازی شده باشد و نیز پوشش ضد حریق روی تجهیزات جداساز لرزه‌ای استفاده گردد.

4) فاصله اطراف ساختمان جداساز لرزه‌ای

برخلاف ساختمان‌های متعارف، در زمان زلزله، جابجایی‌هایی در حد چند سانتیمتر در قسمت جداسازی شده در ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای اتفاق می‌افتد. بنابر این وجود فضای لازم برای تغییر مکان جانبی در زمین مورد احداث در اطراف ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای باید وجود داشته باشد.

2-3 چینش و انتخاب تجهیزات جداساز لرزه‌ای

(1) چینش تجهیزات جداساز لرزه‌ای

مشخصات تجهیزات جداساز لرزه‌ای شامل ظرفیت باربری، ظرفیت تغییر شکل، سختی و ظرفیت جذب انرژی می‌باشد. چینش این تجهیزات جداساز لرزه‌ای باید به صورت متوازن با در نظر گرفتن وزن کلی روسازه و تاثیر بار عمودی در پای هر ستون انجام شود. در زمان زمین لرزه یک نیروی محوری اضافی در جداسازها از طریق لنگر واژگونی و نیروی عمودی زمین لرزه وارد عمل می‌شود. تجهیزات جداساز لرزه‌ای باید بر اساس تفاوت مشخصات و از کوچکترین بار محوری اضافی قابل تحمل، انتخاب و چینش گردند. برای کاهش تغییر شکل‌های پیچشی سطح جداساز لرزه‌ای، جداسازها باید در مرکز جرم ساختمان و مرکز سختی آن بکار گرفته شوند تا کل تغییر شکل‌ها در سطح جداساز لرزه‌ای منطبق گردد.

در سازه‌های متعارف از طریق اعضای سازه‌ای و داشتن حاشیه اطمینان طراحی، صدمه کلی سازه کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر در سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای تغییر شکل‌ها در زمان زلزله در سطح جداساز لرزه‌ای متمرکز می‌باشد. از آنجا که انرژی ورودی لرزه‌ای به صورت عمدی از طریق این قسمت جذب می‌شود، باید سطح جداساز لرزه‌ای دارای مشخصات مکانیکی، عملکرد مکانیکی بوده و تنظیم حاشیه ظرفیت تغییر شکل در طراحی مورد توجه واقع شود.

(2) انتخاب تجهیزات جداساز لرزه‌ای

تجهیزات جداساز لرزه‌ای یکی از مهمترین اعضای سازه‌ای برای حفظ ایمنی کل ساختمان می‌باشند. بنابر این لازم است که آنها انرژی ورودی را جذب و به طور همزمان وزن ساختمان را نیز حتی در زمانیکه در معرض نیروی بزرگ افقی زلزله قرار می‌گیرند، به صورت پایدار تحمل نمایند. تجهیزات جداساز لرزه‌ای باید بر اساس عملکرد و مشخصات اصلی شان انتخاب و طراحی گردند. اگرچه در حدود 30 سال از ساخت اولین سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای گذشته است، سرانجام استاندارد (JIS (K6410 مربوط به باربری لاستیک‌های لایه لایه ای (لمینیتی) منتشر و بعد از تصویب هیئت وزیران، اجباری گردید. تجهیزات جداساز لرزه‌ای عموماً از تولیدات تایید شده و یا از کاتالوگ کارخانه‌های تولید کننده انتخاب می‌شوند، ولی با این حال باید توسط مهندس طراح به صورت مستقل از لحاظ عملکرد مکانیکی و مقاومت بررسی گردد.

(3) اطمینان از عملکرد تجهیزات جداساز لرزه‌ای

عملکرد تجهیزات جداساز لرزه‌ای بر اساس طراحی و ساخت سازه جداساز لرزه‌ای باید به صورت درست ارزیابی گردد. بنابر این آزمایش ارزیابی باید، با تغییر مکان واقعی و سرعت در زمان زمین لرزه واقعی و اندازه واقعی آن، محیط واقعی و بار واقعی انجام گیرد. استفاده از تجهیزات جداساز لرزه‌ای ناچاراً در مقیاس بزرگی در ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای گسترش پیدا کرده است. بهتر است که تجهیزات جداساز لرزه‌ای در اندازه کامل با استفاده از تغییر مکان واقعی و سرعت‌های واقعی مورد آزمایش قرار گیرد. زمانیکه امکان آزمایش دستگاه‌ها در اندازه و در موقعیت واقعی وجود نداشته باشد، متغیرات و عملکرد نهایی باید با استفاده از نمونه در مقیاس کوچک و مناسب آزمایش گردد.

دو نوع آزمایش ارزیابی عملکرد برای تجهیزات جداساز وجود دارد. آزمایش اول تعیین رفتار در گسیختگی نهایی با هدف بدست آوردن اطلاعات طراحی مورد نیاز می باشد (آزمایش ارزیابی مشخصات، تایید عملکرد جداساز) و آزمایش دوم، تایید کیفیت و عملکرد تجهیزات جداساز لرزه ای در حالت کاربردی در ساختمان (گواهی عملکرد محصول) می باشد. عملکرد مکانیکی تجهیزات جداساز بر اساس مواد و عملیات حرارتی شان در فرآیند تولیدشان تعیین می شود. در نتیجه عملکرد کلیه محصولات باید آزمایش گردد. به عنوان یک قاعده، آزمایش برای کلیه محصولات باید با استفاده از تجهیزات مناسب آزمایش و نیز روش های معتبر می بایستی انجام گیرد.

4-2 طراحی تاسیسات ساختمان

همانند ساختمان های متعارف، ساختمان های جداساز لرزه ای نیز از برق، آب، سیستم فاضلاب و گاز که با بیرون ساختمان در ارتباط هستند، بهره مند می باشند. در بعضی موارد آب گرم، بخار، مواد شیمیایی نیز به موارد فوق اضافه می گردد. طراحی و ساخت مربوط به لوله کشی با تغییر شکل های مجاز برای تاسیسات مهم ساختمان ضروری است. این تغییر شکل های مجاز باید مطابق با بیشترین جابجایی های افقی در سطح جداساز لرزه ای در هنگام زلزله باشد. ارتعاش لوله‌های محتوی مایعات در مابین تکیه گاه ها می‌تواند مشکل ساز گردد. فرض می‌شود که عملکرد لرزه ای در سازه های جداسازی شده لرزه ای بیشتر از محیط اطراف می باشد. اگر عملکرد ساختمان وابسته به نگهداری مداوم بعد از زلزله شدید باشد، برای حفظ عملکرد به صورت مستقل برای چندین روز بدون وابستگی به محیط اطراف باید آمادگی لازم را داشت. ایجاد درزهای انبساطی در بین سطح جداساز لرزه ای و سطح زمین و یا مابین سطح جداساز لرزه ای و ساختمان مقاوم در برابر لرزه، که توانایی حرکت افقی در دو جهت و حرکت عمودی را دارد، ضروری است. برای اینکه درزهای انبساط درست عمل کنند، ضروری است که عملکرد آنها به صورت عددی، صحت سنجی گردد و یا به صورت آزمایشگاهی قبلاً تایید و روش های ساخت اصولی در آنها رعایت شده باشد.

5-2 مدیریت تعمیر و نگهداری

نه تنها ساختمان ها، بلکه همه سازه ها نیازمند مدیریت نگهداری با توجه به عملکرد اصلی آنها، در بازه زمانی طولانی هستند. در زمان طراحی ساختمان، مصالح استفاده شده، اعضای سازه ای و کل سازه باید به گونه ای بکار گرفته شود که نیاز به تعمیرات زیادی نداشته باشد. برای عدم نیاز به مدیریت نگهداری ویژه، جداسازها و میراگرها باید دارای دوام معادل یا بیشتر از اعضای ساختمان‌های متعارف را داشته باشند. همچنین کل سازه جداساز لرزه ای، باید با مصالح و اعضای طراحی و ساخته شوند که در سطح مدیریت نگهداری مورد نیاز یک ساختمان متعارف باشد. اگر چه بخاطر امنیت سازه ساختمان ها در زمان زلزله، بر اساس عملکرد جداساز و میراگر و تغییر مکان افقی بزرگ ایجاد شده در سطح جداساز لرزه ای در زمان زلزله، باید به مالک ساختمان اطلاع و آموزش لازم در مورد بازرسی های چشمی، بازرسی های دوره ای و بعد از زلزله داده شود.

بخش سوم : طراحی سازه

3-1 ملاحظات اساسی

اهداف اصلی در زمان طراحی ساختمان های جداسازی شده لرزه ای کاهش نیروهای موثر در روسازه و نگه داشتن تغییر شکل های جداسازها در محدوده مجاز می باشد. در ساختمان های جداساز لرزه ای کوتاه و متوسط مرتبه، مقدار انرژی جذب شده از طریق روسازه در مقایسه با سطح جداساز لرزه ای قابل اغماض می باشد. بنابر این اگر

روسازه بتواند در مقابل نیروهای لرزه‌ای، بوسیله رفتار صلب مقاومت کند و اگر روسازه از این شرایط محدود کننده خارج شود، نیازی به ظرفیت جذب انرژی نبوده و این وضعیت باید در یک ساختمان متعارف، تضمین شده باشد. همچنین برخلاف تاثیر لرزش های پیچشی بر اثر جرم و سختی در مرکز روسازه، اساساً بوسیله از بین بردن منبع پیچش در سطح جداساز لرزه‌ای از این وضعیت باید جلوگیری شود. بنابر این در مقایسه با یک ساختمان متعارف، نیروی طرح ساختمان جداسازی شده لرزه‌ای از آزادی خیلی زیادتری برخوردار است. در یک ساختمان متعارف، نیروی لرزه‌ای قوی تر از ظرفیت باربری تامین شده، برای تحمل این نیروی لرزه‌ای می باشد. نیروهای لرزه‌ای کاهش یافته و بار باد به نیروی غالب تبدیل می گردد و به همین دلیل حاشیه طراحی بر اساس بارهای دراز مدت کاهش می یابد. این بدین معنی است که در ساختمان های جداسازی شده لرزه‌ای باید توجه ویژه‌ای به بارهای طراحی نسبت به بارهای لرزه‌ای در جهت تضمین صحت ساخت به عمل آید. ورودی حرکت زمین لرزه در طراحی ساختمان های با اهمیت بالا و نیازهای اجتماعی، عموماً توسط مهندس طراح تعیین می گردد.

3-2 طراحی بر اساس ورودی حرکت زمین لرزه

ارزیابی صحیح یک زمین لرزه در یک ساختمان تاثیر بسزایی دارد و در زمان کنونی پیش بینی درست نتیجه حرکت زمین بر اثر زلزله در یک سایت کار ساده ای نیست، بنابر این اعمال حرکت زمین، بر اثر زمین لرزه در طراحی یک ساختمان یک مشکل بزرگ بر خلاف ساختمان های جداساز لرزه‌ای می باشد. بر اساس یافته های فوق بهتر است که ورودی حرکت زمین بر اثر زلزله در طراحی ساختمان جداسازی شده لرزه‌ای به طور مناسب و بر طبق عملکرد مورد نیاز آن و بر اساس اهمیت هر ساختمان اعمال گردد. این کار از طریق تلفیق علم لرزه شناسی و علم مهندسی زلزله انجام می گیرد، اگر دقیق تر بنگریم به این حقیقت پی خواهیم برد که دوره تناوب ساختمان های جداساز لرزه‌ای در زمان حرکت زمین به مراتب طولانی تر است. مشخصات حرکات زمین در زلزله شامل بیشینه ی شتاب، بیشینه ی سرعت، مشخصات طیف، مشخصات فاز، مدت زمان، دامنه زمان و مشخصات متغیر طیف می باشد. برخی از فاکتورهای تاثیرگذار بر روی این مشخصات، شامل نقش حرکت ورودی زمین بر روی ساختمان به ترتیب زیر می باشد:

الف) فعالیت لرزه‌ای محدوده سایت و محوطه اطراف آن

ب) مشخصات منبع

ج) مشخصات مسیر انتشار از منبع

د) مشخصات عمق زمین

ه) مشخصات سطح چینه ها و زمین

از طریق ارزیابی مناسب، تاثیر این فاکتورها برای محدوده‌های منحصر به فرد حرکت ورودی زمین لرزه را می توان تعیین نمود. دوره تناوب ساختمان های جداسازی شده لرزه‌ای طولانی بوده و به همین دلیل در زمان اعمال حرکت ورودی زمین لرزه باید توجه ویژه ای به مشخصات طیف در دوره تناوب طولانی، انرژی ورودی کل و مشخصات فاز داشته باشیم. در نتیجه به ناچار باید فرضیات و قضاوت های زیادی در هنگام اعمال حرکت ورودی زمین لرزه در طراحی در نظر گرفته شود.

بعد از توجه به عدم قطعیت های ذاتی، طراح باید در اعمال حرکت ورودی زمین لرزه مطابق با عملکرد و اهمیت ساختمان و همچنین توجه به محدوده لرزش ساختمان، دقت لازم را داشته باشد. مهندس طراح فقط می تواند در اعمال حرکت زمین لرزه، طرح طیف پاسخ و طرح طیف انرژی را بکار گیرد. حرکات ثبت شده در اثر زلزله واقعی و

شبه سازی شده که مطابق با طرح طیف پاسخ یا سطح طیف انرژی باشد را می توان در تحلیل تاریخچه زمانی بکار برد. برای ارزیابی صحیح تاثیر مشخصات فاز و مشخصات متغیر حرکت زمین در پاسخ لرزه ای ناگزیر به استفاده از چندین نوع حرکت زمین (رکورد) هستیم.

3-3 بار باد طرح

بار باد برای ساختمان بر اساس شکل ساختمان، مشخصات سازه ای و موقعیت های اطراف محل ساختمان تعیین می شود. امکان استفاده از "توصیه هایی برای بارهای ساختمان" (AIJ 2004)، ابلاغیه های عمومی سازمان زمین شناسی، زیرساخت و حمل و نقل ژاپن و یا نتایج بدست آمده از آزمایش تونل باد، در تعیین ضرایب بار وجود دارد. در زیر خلاصه ای از مشخصات اغتشاش بار باد خارجی در روی ساختمان آورده شده است :

الف) اغتشاش بار باد خارجی یک مولفه میانگین در کنار مولفه نوسانی دارد.

ب) باید به این نکته نیز توجه داشت که پیوند مولفه های متغیر اغتشاش باد خارجی، طولانی تر از اغتشاش لرزش خارجی می باشد.

ج) اغتشاش بار باد می تواند از ارتعاشات ناپایدار آیرودینامیکی سازه بوجود آید.

د) مدت زمان اغتشاش بار باد خارجی قوی مانند طوفان ها، می تواند بعد از یک طوفان سهمگین برای چندین ساعت ادامه یابد. ساختمان های بلند تحت تاثیر اغتشاش بار باد خارجی قوی تری می باشند. اخیراً بیشتر ساختمان های جداساز لرزه ای بلند مرتبه که ساخته می شود، ارزیابی مقاومت در برابر باد در آنها به یک ضرورت تبدیل شده است.

3-4 مسایل قراردادی در طراحی (سیاست های طراحی)

1) ساختمان های جداسازی شده لرزه ای تحت بررسی، شامل سازه کوتاه، یک سطح جداساز لرزه ای که خود شامل جداساز، میراگر و روسازه می باشد.

2) در طراحی سازه، بارها و نیروهای خارجی به غیر از بارهای لرزه ای باید مطابق روش های استفاده شده برای ساختمان های متعارف اعمال گردد. گرچه در برخی موارد، بارگذاری باد در ساختمان های بلند مرتبه جداسازی شده لرزه ای و خانه های جداساز لرزه ای شده منفصل در سطح جداسازی شده می توانند جابجایی های بزرگی را ایجاد نماید که بخاطر این وضعیت باید تاثیر بارگذاری باد در تجهیزات جداساز لرزه ای ارزیابی شده باشد.

3) سطح جداسازی شده و روسازه باید برطبق پاسخ سازه برای تحلیل های مختلف و برای لرزش های ورودی در جهت افقی طراحی گردد. این تحلیل ها بطور مستقل برای دو جهت افقی در ساختمان انجام می گیرد.

4) جداسازها و میراگرها باید به گونه ای چیدمان گردند که پیچش در سطح جداساز لرزه ای در زمانی که روسازه به صورت صلب باشد، اتفاق نیفتد.

5) مقدار بیشینه جابجایی و بیشینه نیروی محوری در جداساز و جذب انرژی مورد نیاز میراگرها برای پاسخ های ورودی طرح لرزه ای باید مورد تایید قرار گرفته و در محدوده مقادیر مجازشان قرار داشته باشد.

6) برای روسازه امکان اجرای یک طراحی به روش تنش مجاز تحت بارهای طراحی لرزه ای، وجود دارد.

7) طراحی سازه کوتاه نیز باید به همان روشی که ساختمان متعارف طراحی می شود، انجام گیرد تا اطمینان حاصل گردد که نشست بیش از اندازه، انحراف و حرکت افقی اتفاق نمی افتد. مخصوصاً اگر نشست متقارن اتفاق بیفتد، باعث جابجایی افقی در سطح جداسازی شده بر اثر کم بودن سختی افقی، در این سطح می گردد. همچنین امکان

دارد که بار محوری در جداسازها دچار تغییر شده و ظرفیت تغییرشکل کاهش یابد. به همین دلیل طراحی به صورت دقیق باید انجام شود.

3-5 پیش بینی پاسخ لرزه ای

1) پیش بینی پاسخ لرزه ای ساختمان های جداسازی شده لرزه ای برای لرزش افقی ورودی اعمال شده در تحلیل پاسخ زمانی (2 را مشاهده نمایید) یا روش تحلیل ساده شده (3 را مشاهده نمایید).
2) یک مدل لرزه ای مناسب، مانند مدل هایی از بین مدل های توصیفی در بخش 3-6 برای تحلیل تاریخچه زمانی باید مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت فرض می شود که اعداد واقعی حرکت زمین در اثر زلزله مورد استفاده قرار گرفته است.

3) در پیش بینی پاسخ لرزه ای با استفاده از روش تحلیل ساده شده، فرض بر این است که سختی روسازه یک ساختمان جداسازی شده لرزه ای به صورت معمول، در مقایسه با سختی سطح جداساز لرزه ای خیلی بیشتر است. نتیجه تحلیل پاسخ لرزه ای، در مدل تحلیل یک روسازه که به صورت جرم متمرکز فرض شده و نیز پیش بینی پاسخ کلی آن نیز قابل بررسی می باشد.

الف) پیش بینی پاسخ بر اساس توازن انرژی

با این روش، بیشینه جابجایی سطح جداساز لرزه ای از طریق بررسی انرژی ورودی لرزه ای که در سطح جداساز لرزه ای متمرکز شده است، بدست می آید. این روش مبتنی بر مشخصات تجهیزات جداساز لرزه ای است که در این روش امکان بررسی میراگر، استفاده از مشخصات نیروی کاملاً الاستیک و پلاستیک مقاوم و جداساز کاملاً الاستیک، یا میراگر با مکانیزم میرایی ویسکوز وجود دارد.

ب) روش طیف پاسخ

ساختمان مدل شده به صورت مدل جرم متمرکز غیرخطی، به صورت معادل به یک سیستم جرم متمرکز خطی دارای یک دوره تناوب معادل با سختی معادل در دامنه جابجایی بیشینه پیش بینی شده سطح جداساز لرزه ای و ضریب میرایی ویسکوز در هر دوره تبدیل شده است. بر اساس شتاب طیف پاسخ سیستم خطی معادل، بیشینه جابجایی سطح جداساز حاصل می شود. زمانی که از روش تحلیل ساده استفاده می شود، پاسخ روسازه می تواند بر اساس توزیع ضریب نیروی برشی مشتق شده از مشخصات سازه روسازه و سطح جداساز لرزه ای تعیین گردد.

4) سطح جداساز لرزه ای در سازه جداسازی شده لرزه ای دارای سختی افقی ضعیف در مقایسه با روسازه می باشد. انتقال مود اول در جهت افقی، در رفتار شبیه جسم صلب روسازه، بصورت آشکاری ظاهر می شود. بسامد (فرکانس) مود اول سازه جداسازی شده خیلی کوتاه است. به همین علت، عموماً تأثیر تشدید دینامیکی در منطقه بسامد کوتاه، کوچک است. پیچش مود اول شبیه انتقال (جابجایی) مود اول ظاهر می شود. تشدید ارتعاش پیچشی نیز در سازه جداسازی شده لرزه ای خیلی کوچک است. امکان تشدید دینامیکی بزرگ از طریق ارتعاش پیچشی مشتق شده از مرکز سختی و مرکز جرم روسازه خیلی کم بوده بنابر این تنش در هر قسمت از قاب روسازه با استفاده از نیروی لرزه ای مطابق نیروی برشی لرزه ای قابل محاسبه می باشد. از طریق نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی، تغییر شکل پیچشی ساختمان قابل بررسی می باشد.

3-6 مدل های تحلیل پاسخ

1) مدل های تحلیل پاسخ برای سازه های جداساز لرزه ای را می توان بر اساس هدف، به چندین سطح از ساده تا دقیق، تنظیم نمود.

- (الف) مدل جرم متمرکز واحد
روسازه به شکل یک جسم صلب مدل می‌شود. پاسخ سطح جداساز لرزه‌ای در برابر حرکت زمین در یک جهت مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- (ب) مدل جرم متمرکز چندگانه
در این مدل، سطح جداساز لرزه‌ای در اولین طبقه قرار دارد و هر طبقه از روسازه به صورت یک جرم متمرکز مدل می‌شود. سپس هر دو رفتار سطح جداساز لرزه‌ای و پاسخ هر قسمت روسازه مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- (ج) مدل ارتعاشی پیچشی
این مدل به بررسی طبقات صلب و جابجایی افقی در هر دو جهت و جابجایی پیچشی مولفه‌های جابجایی هر طبقه می‌پردازد. ارتعاش پیچشی و پاسخ به ورودی افقی در دو جهت قابل بررسی می‌باشد.
- (د) مدل سه بعدی
در این مدل کل ساختمان به صورت قاب سازه سه بعدی و حرکات عمودی هر ستون مورد بررسی قرار می‌گیرد. پاسخ، شامل تاثیر چیدمان نامنظم دیوار برشی و برکنش بر روی جداسازها می‌تواند مورد بحث باشد.
- (ه) حرکت عمودی و مدل برکنش
هر طبقه از روسازه بصورت جرم متمرکز با قابلیت انعطاف و فنرهای برشی، فنرهای محوری که در موقعیت خود و در پایین‌ترین سطح دستگاه جداساز قرار دارد، مدل شده است.
- (2) تجهیزات جداساز لرزه‌ای (جداسازها و میراگرها) در کل به صورت فنر واحد که هر کدام مشخصات هیستریزس خود را دارا می‌باشند، مدل می‌گردد. اگر چه برای صحت بازتولید رفتار جداسازها و میراگرها، تقسیم هر کدام از آنها بر اساس مشخصات مکانیکی آنها بر المان‌های بازخوردی تاثیرگذار می‌باشد، بنابر این آنها بر اساس مکانیسم ترکیبی این المان‌ها مدل می‌شوند.

7-3 حاشیه اطمینان لرزه‌ای

- (1) پاسخ ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای به صورت گسترده‌ای تحت تاثیر مشخصات سطح جداساز لرزه‌ای می‌باشد، به همین دلیل سطح جداساز لرزه‌ای فقط از تجهیزات جداساز لرزه‌ای تشکیل شده که عملکرد آنها توسط آزمایشات مختلف ارزیابی و نوسانات در نتایج تحلیل پاسخ از طریق آنها کاهش یافته است. در سطح جداسازی لرزه‌ای، بارها صرفاً توسط تجهیزات جداساز لرزه‌ای تحمل می‌شوند و بخاطر همین موضوع باید به حاشیه استفاده شده در محاسبه، دقت داشت. طراحی باید بر اساس متغیرهایی مانند، رواداری‌های ساخت، تغییرات دمایی و تغییرات گذشت زمان، انجام گیرد. علاوه بر این طراحان سازه باید روی مقادیر تغییراتی که در اثر فاکتورهای نامشخص ایجاد می‌شود، نیز تمرکز نمایند. از سوی دیگر در ساختمان‌های معمولی در محاسبه تنش مجاز، انواع دیوارها و اعضاء غیرسازه‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و به طور کلی حاشیه در محاسبات دخالت داده نمی‌شود.
- (2) برای تنظیم حرکت زمین لرزه ورودی، پارامترهای زیادی، پاسخ ساختمان‌های جداساز لرزه‌ای را تحت الشعاع قرار می‌دهد. در ارزیابی متنوع، باید تاثیر مقادیر این پارامترهای متغیر به دقت در نظر گرفته شود. اگر چه پیش بینی حرکات بر اثر زمین لرزه، توسط مهندسان لرزه شناس در مرحله پژوهش قرار دارد. در حال حاضر مهندسان کمی این تحقیقات را مورد توجه قرار داده‌اند و در اعمال حرکت زمین لرزه در طراحی از آن استفاده می‌کنند. در

نتیجه مورد خرابی ساختمان در اثر حرکات زمین لرزه ورودی که بیشتر از مقدار پیش بینی شده است، باید مورد بررسی قرار گیرد و حاشیه طراحی با رفتار خرابی ایمن اختیار گردد.

4 نکات قابل توجه در باب سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای

(1) اگر روسازه و سازه تحتانی به خرابی پلاستیک برسند، جذب انرژی در سطح جداساز لرزه‌ای کاهش می‌یابد و نمی‌تواند به گونه‌ای که انتظار داشتیم، تأثیری در جداسازی داشته باشد. به عنوان یک قاعده، قسمت‌های دیگر از سطح جداساز لرزه‌ای باید برای رفتار الاستیک باقی مانده از یک زلزله بزرگ، طراحی گردند.

(2) در سازه‌های جداسازی شده لرزه‌ای، ارزیابی ظرفیت جذب انرژی روسازه در هنگام زلزله، در طراحی، اهمیتی ندارد. زمانی که یک حاشیه طراحی مناسب در نظر گرفته شده است، قواعد سازه برای ظرفیت تغییرشکل را می‌توان آزادانه و بر اساس قضاوت طراح در نظر گرفت.

(3) در ساختمان‌هایی که تأثیر بارگذاری باد در آنها تعیین کننده می‌باشد، مانند ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای بلند مرتبه و خانه‌های جداسازی شده لرزه‌ای منفصل، تأثیر جداساز لرزه‌ای در هنگام زلزله‌های شدید باید بررسی شده و همچنین برای افزایش رضایت مندی و جلوگیری از تغییر شکل‌های بزرگ در سطح جداساز لرزه‌ای بر اثر بار باد قوی، توجه ویژه‌ای نیاز است.

(4) در برخی موارد، در ساختمان‌های جداسازی شده لرزه‌ای با نسبت ابعادی بزرگ، امکان ایجاد بار محوری مضاعف در تجهیزات جداساز لرزه‌ای و پی‌ها وجود دارد، که نه تنها باعث ایجاد لنگر واژگونی از طریق نیروهای افقی شده، بلکه باعث ارتعاش نیز می‌گردد. بنابراین ارزیابی ساختمان در مقابل واژگونی بسیار حایز اهمیت است.

(5) در ساختمان‌های با سطح وسیع، پیش‌روی ورودی می‌تواند از طریق تغییر فاز و از طریق تغییرات انتقال مسیر حرکت زمین لرزه، کنترل گردد. نتیجه این پاسخ پیش‌روی تحریک ساختمان است. در حالت عادی سختی پیش‌روی در سطح جداساز لرزه‌ای مقدار کوچکی است، که در اثر آن حرکات افقی و پیش‌روی به صورت زوج نیرو باعث پاسخ الاستوپلاستیک می‌گردد. حتی زمانی که پاسخ زاویه‌ای پیش‌روی کوچک است می‌تواند منجر به یک تغییر شکل افقی بزرگ در تجهیزات جداساز لرزه‌ای در گوشه‌های ساختمان گردد. به همین دلیل ارتعاشات پیش‌روی باید به صورت دقیقی ارزیابی گردد.

(6) زمانی که یک ساختمان جداساز لرزه‌ای با پی‌ریز طولانی طراحی می‌شود، تأثیر جداساز لرزه‌ای از طریق اعمال یک نیروی برشی کوچک (نیروی تسلیم برشی) در سطح جداساز لرزه‌ای و نیز پی‌ریز جداساز لرزه‌ای می‌تواند افزایش یابد. البته این افزایش باید در ارتعاشات ناشی از پی‌ریز حرکات زمین لرزه و باد شدید و ظرفیت جذب انرژی میراگرها ارزیابی گردد.