

مثالی طرح کارپردی

ساختمان های جدید سازی

لرزه های زمین های و اسکور

*Constanitine Shauhaibar, Mason Walters
Michael Gemmill, Anthony Giammona
William McVitty, Andrew Taylor
H.Kit Miyamoto, Amir Gilani
Rene Vignos, Chris Petteys*

مترجمین

مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی اکبر خلیلی

صفحه تقدیم نامه

Dedication Page

This book is dedicated to distinguished professor Michael C. Constantinou for his relentless efforts in Structural and Earthquake Engineering; especially in the field of seismic isolation and energy dissipation devices; professor Constantinou's years of research & practice are well known for the people in this field. He kindly shares his studies and findings in public domain and publications

Eng. Alireza Salehin -2019

تقدیم به

پدر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری
دلسوز، فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم
بوده‌اند.

مهندس علی اکبر خلیلی

فهرست مطالب

۶	مقدمه اصلی کتاب
۷	مقدمه انتشارات
	فصل اول - مثال طراحی ساختمان جداسازی لرزه ای شده با تکیه گاه هایسربی لاستیکی و تکیه گاه های پاندولی اصطکاکی
۸	
۶۱	فصل دوم - مثال طراحی قاب خمشی ویژه با میراگرهای ویسکوز
	فصل سوم - مثال طراحی طراحی ساختمان با میراگرهای ویسکوز، مثال تکمیلی از کتاب ۲۰۱۵ <i>NEHRP</i>
۱۳۶	
۱۷۵	مراجع

مقدمه اصلی کتاب

جلد ۵ (از سری کتب ۵ جلدی طراحی لرزه ای SEAOC) طراحی ساختمان های جداسازی لرزه ای شده و ساختمان های دارای میراگر را پوشش می دهد. این جلد یکی از دو جلد کاملاً جدیدی است که بخشی از راهنمای طراحی لرزه ای/ سازه ای SEAOC IBC ۲۰۱۲ هستند.

هدف از این جلد روشن شدن و در دسترس تر بودن طراحی ساختمان های جداسازی لرزه ای شده و ساختمان های دارای میرایی مکمل است. دو نوع ساختمانی که طراحی آن ها معمولاً پیشرفته در نظر گرفته شده و دفاتر فنی و شرکت های مشاور اندکی آن ها را طراحی می نمایند.

ساختمان های جداسازی لرزه ای شده (یا ساختمان های جداسازی پایه شده) از یک یا چند نوع تکیه گاه مانند پاندولی اصطکاکی، لاستیکی، لاستیکی با میرایی بالا، لاستیکی سربی یا صفحه لغزشی استفاده می کنند. مثال یک به صورت دو مثال مجزا شروع شد که طراحی دو تکیه گاه معمول را نشان می دهد: پاندولی اصطکاکی و لاستیکی سربی. اکثر طراحی ها مشابه هستند و مثال ها در هم ادغام شدند.

ساختمان های دارای میرایی مکمل (یا ساختمان های دارای میراگر) معمولاً با استفاده از یکی از این انواع میراگرها طراحی می شوند: ویسکوز (خطی یا غیرخطی)، ویسکوالاستیک، هیستریسیس، اصطکاکی یا جرمی تنظیم شده. مثال ۲ از میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی که معمول ترین میراگرهای هستند، استفاده می کند.

امیدوارم که در آینده این نسخه اولیه از جلد ۵ با مثال ها و جزئیات بیشتر، بر اساس بازخوردی که از کاربران با تجربه و همچنین کاربرانی که برای اولین بار از فناوری های و روش های روشن شده در اینجا استفاده می کنند دریافت می کنیم، گسترش پیدا کند.

Constantine Shuhaibar

Volume 5 Manager

2012 IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual Series

مقدمه مدیر علمی انتشارات

پس از انتشار دو کتاب طراحی و اجرای جداسازی لرزه ای در ۸۳۰ صفحه (انتشارات فرهمند-۱۳۹۴) و طراحی میراگرهای غیرفعال در برابر زلزله در ۷۴۲ صفحه (انتشارات فرهمند-۱۳۹۵) که در زمان خود آثار پیش رو، به روز و نسبتاً جامعی بودند، به مرور و در تعامل با نظام دانشگاهی، طراحان، مدرسین و محققین، احساس نیازی به یک مرجع بسیار خلاصه در مورد نکات طراح و محاسبه بر پایه مثال حس گردید. تهیه همچنین مرجعی آنچنان کار سختی نبود، ولی نیاز به پایگاه معتبر علمی برای بیان خیلی از مسائل و ارائه اظهار نظرهایی داشت که نمیتوانستیم آنرا به صورت تالیفی همچون کتاب تدوین نمود، چرا که شاید صحت مدلسازی، اظهار نظرات، تفسیر برخی بند های آیین نامه ای و... زیر سوال می رفت. از این رو با تحقیق و مطالعه مراجع مختلف، به سری کتاب ۵ جلدی طرح لرزه ای انجمن مهندسی محاسب کالیفرنیا برخوردیم که جلد پنجم در این راستا بسیار مناسب این موضوع پیدا کردیم.

این مرجع از ۲ بخش تشکیل شده که شامل مثال طراحی ساختمان جداسازی شده لرزه ای با جداسازهای FPS و LRB، و طراحی ساختمان مجهز به میراگر ویسکوز بود. به علت آنکه در زمینه میراگر ویسکوز مطلبی زیادی در دسترس نبود، یک مثال معتبر دیگر نیز از کتاب *NEHRP Recommended 2015 Seismic Provisions-Design Examples* برای میراگر ویسکوز، با شرایط مشابه ولی ساختمانی با پلان و مشخصات متفاوت نیز در انتهای این کتاب افزوده گردید.

به واسطه کاهش تعداد صفحات و افزایش توان خرید مخاطبین عزیز، دیکشنری انتهای کتاب حذف گردیده و سایر مطالب لازمه برای تکمیل این کتاب به همراه دیکشنری تخصصی در زمینه جداساز و میراگر را به عوض DVD، در داخل کانال جداساز لرزه ای آپلود نموده ایم. همچنین فایل های ETABS مدلسازی مثال های ذکر شده و اصل کتاب لاتین به همراه بسیاری مراجع دیگر نیز در کانال موجود می باشد.

هیچ اثری خالی از عیب و ایراد نبوده و همچنین دیکته نانوشته نیز همیشه دارای نمره ای برابر ۲۰ است، با وجود اینکه مترجمین و ویراستار در حد توان تلاش خود را برای ارائه کار با کیفیت بالا نموده اند، ممکن است سهواً ایراداتی در متن وجود داشته باشد. فلذا از مخاطبین عزیز و محترم خواهشمندیم، لطف نموده و آنها را با انتشارات فرهمند و یا با آیدی @alirezasaalehin در میان بگذارند.

آدرس کانال جداسازی لرزه ای: <https://t.me/seismicisolation>

مهندس علیرضا صالحین، بهار ۱۳۹۸

فصل اول

مثال طراحی ۱

ساختمان جداسازی لرزه‌ای شده با تکیه‌گاه‌های سربی لاستیکی و پاندولی اصطکاکی

خلاصه

این مثال طراحی دو نوع معمول سیستم‌های جداساز - سربی لاستیکی (LR) و پاندولی اصطکاکی (FP) - را برای یک ساختمان ساده شده نشان می‌دهد. تنها طراحی سیستم جداسازی در اینجا نشان داده شده و خواننده برای طراحی روسازه و دیگر اجزای اطراف سیستم جداساز به مثال‌های دیگر ارجاع داده شده است. فرآیند کلی طراحی برای دو سیستم جداساز شبیه به هم می‌باشد؛ اما در صورت لزوم برای هر سیستم تفاوت‌هایی ایجاد شده است. توصیه می‌شود که مهندس طراح هر دو سیستم (و دیگر سیستم‌هایی که در اینجا نشان داده نشده‌اند) را در هنگام انتخاب سیستم جداسازی در نظر بگیرد.

هر چند بعضی از جنبه‌های طراحی ساختمان جداسازی شده ممکن است پیچیده باشد، اما رفتار چنین ساختمان عموماً بسیار ساده است. به زبان ساده غیرخطی بودن (و عدم قطعیت) نیروهای زلزله در روسازه ساختمان پایه‌گیردار سنتی با غیرخطی بودن متمرکز در سیستم جداساز که عملکرد مشخصی دارد، جایگزین می‌شود.

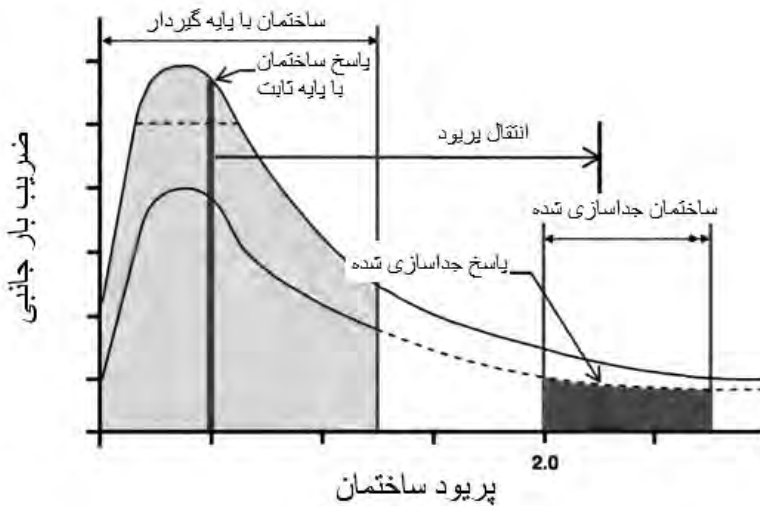
یک ساختمان پایه‌گیردار به خوبی به زمین مهار شده و شرایطی ایجاد می‌کند که در آن لرزش زمین در هنگام زلزله مستقیماً به سازه منتقل شود. جداسازی پایه‌گیرهای جانبی زلزله منتقل شده به ساختمان را با طولانی کردن پریود ساختمان کاهش می‌دهد؛ به گونه‌ای که پاسخ ساختمان از لرزش جانبی زمین متمایز می‌شود. این کار با مفهومی به نام «تغییر پریود» انجام می‌شود (شکل ۱-۱ را ملاحظه فرمائید). اولین مود ساختمان با استفاده از سیستم جداساز در زیر سازه طولانی شده است (تغییر کرده است).

سیستم جداساز معمولاً از تکیه‌گاه‌های خاصی (جداسازها) به عنوان تکیه‌گاه ساختمان تشکیل شده که سختی جانبی کم و سختی عمودی بالایی دارند. یک فضای بدون مانع (خندق) در اطراف ساختمان تعبیه می‌شود که حرکت آزادانه سیستم جداساز را میسر می‌کند. ملاحظات عملی اندازه و عملکرد سخت افزار جداسازی تغییر پریود قابلیت دستیابی را محدود می‌نماید؛ با این حال طراحی‌های معمول از تغییر پریود حدود دو تا سه ثانیه یا بیشتر استفاده می‌کنند. ASCE 7 بخش ۱۷.۴ محدودیت‌هایی برای حداقل تغییر پریود وضع نموده که می‌توان از آن‌ها در استفاده از نیروهای جانبی معادل استفاده کرد. هنگام استفاده از طیف پاسخ یا تاریخچه پاسخ هیچ محدودیتی وجود ندارد.

جداسازی پایه، پاسخ ساختمان را با میرایی هیستریتیس افزوده ایجاد شده با سیستم جداساز کاهش می‌دهد. یک سیستم جداساز معمول با استفاده از اجزایی که هنگام حرکت جانبی ساختمان میرایی هیستریتیس ایجاد می‌کنند، پیکربندی می‌شود. اثرات میرایی افزوده را می‌توان در شکل ۱-۱، که در آن پاسخ ساختمان جداسازی شده روی منحنی متفاوتی (پایین تر) نسبت به پاسخ ساختمان پایه‌گیردار است، مشاهده کرد؛ زیرا سیستم جداسازی میرایی افزوده ایجاد کرده است. میرایی یک ملاحظه بحرانی در طراحی ساختمان جداسازی شده بوده و طراح باید در تعیین مقدار میرایی در سیستم جداساز با دقت عمل نماید. میرایی ناکافی منجر به تغییر مکان‌های بزرگ در جداساز و در نتیجه اندازه بزرگ خندق می‌گردد. میرایی اضافی هم باعث

محدودیت دینامیکی سیستم جداساز و تاثیرات جداسازی تغییر پریود می گردد؛ در نتیجه لرزش زلزله به روسازه منتقل می شود. محدوده میرایی موجود با تغییر مکان سیستم جداساز تغییر می کند، اما برای سیستم های LR معمول حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد میرایی بحرانی و برای سیستم FP معمول حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد میرایی بحرانی است.

سیستم های جانبی پایه گیرداری که امروزه استفاده می شوند، معمولاً توازنی بین کاهش شتاب های طبقات و تغییر مکان جانبی بین طبقات به صورت مستقل ایجاد می کنند. جداسازی پایه قابلیت منحصر به فرد کاهش همزمان شتاب و تغییر مکان جانبی را دارد؛ بنابراین محافظت لرزه ای از سیستم های سازه ای و غیرسازه ای افزایش پیدا می کند.



شکل ۱-۱. تغییر پریود در ساختمان های جداسازی شده

ساختمان های دارای سیستم های جانبی نسبتاً سخت معمولاً بهترین گزینه برای جداسازی پایه هستند؛ زیرا روسازه صلب آنها، تغییر پریود قابل دستیابی را افزایش می دهد. با این وجود بسیاری از انواع دیگر سازه ها از جمله سازه های با پریود بالا و بلندمرتبه هم جداسازی شده اند؛ بنابراین نباید سخت بودن روسازه را یک الزام در نظر گرفت. برای ساختمان های بلندتر، جداسازی تمایل به کاهش اثرات مود بالاتر، که می توانند در نبود جداسازی تاثیر قابل توجهی بر پاسخ داشته باشند، دارد. از نظر تاریخی جداسازی در ایالات متحده در ساختمان هایی که عملکرد یا محتویات مهمی دارد، استفاده شده است؛ با این وجود هیچ مبنای مهندسی برای عدم استفاده از جداسازی برای ساختمان های جدید در مناطق لرزه خیز وجود ندارد.

بر خلاف دیگر بخش های آیین نامه، مقررات ASCE 7 بخش ۱۷ از مسیری که مهندس طراح باید برای طراحی یک ساختمان معمولی طی کند، پیروی نمی کند. این مثال طراحی از مسیری تبعیت می کند که نشان دهنده روش عملی بوده و در صورت نیاز مقررات آیین نامه ساختمانی در طول فرآیند ارزیابی شده اند. روش طراحی به گونه ای توسعه پیدا کرده که اکثر ساختمان های جداسازی شده در پایه با استفاده از تحلیلی تاریخیچه پاسخ غیرخطی (NLRHA) طراحی می شوند. در این مثال هم از این روش استفاده شده است.

NLRHA تطبیق پذیرترین روش تحلیل است و بر اساس ASCE 7 بخش ۱۷,۲,۲، استفاده از آن برای تمام ساختمان‌ها مجاز است. این مثال طراحی از برنامه کامپیوتری ETABS شرکت CSI استفاده می‌کند. در زمان تهیه این مثال آخرین نسخه موجود این برنامه ۹,۷,۳ بود. دلیل انتخاب ETABS این بود که این برنامه پلت فرم معمول مورد استفاده طراحان برای طراحی ساختمان‌های جداسازی شده است؛ اما می‌توان از برنامه‌های دیگر هم استفاده کرد. انتخاب ETABS به معنای تأیید خاص این برنامه (یا عدم تأیید برنامه‌های دیگر) نیست و تنها به عنوان یکی از برنامه‌های موجود برای این کار از آن استفاده شده است.

رئوس مطالب

مقدمه

۱. هنده و بارهای ساختمان
۲. حرکات (رکوردهای) زمین
۳. اهداف طراحی
۴. طرح سیستم جداساز و طراحی اولیه
۵. هماهنگی با سازنده(گان) جداساز
۶. تحلیل ساختمان با مشخصات تکیه گاه پیشنهادی
۷. محاسبات حداقل آیین نامه ای
۸. تعیین نیروهای عضو
۹. تعیین الزامات آزمایش‌های نمونه آزمایشی
۱۰. بررسی طراحی
۱۱. ایجاد مشخصاتی برای جداسازها
۱۲. تأیید مطابقت مشخصات تکیه گاه آزمایش شده با فرضیات طراحی

هندسه و بارهای ساختمان

اطلاعات داده شده

ساختمان مورد استفاده در این مثال در ضمیمه ۱ کاملاً توصیف شده است. پلان طبقه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. ارتفاع روسازه ۷۲ فوت و وزن کل ساختمان (بدون جداسازها) ۱۱۷۷۰ کیلوپوند است. ساختمان به دلیل بی نظمی به سمت داخل در گوشه‌ها، بر اساس ASCE 7 جدول ۱۲,۳-۱ مورد ۲، نامنظم در نظر گرفته می‌شود. سیستم جانبی از قاب مهاربندی شده هم محور ویژه (SCBF) با مقدار R برابر با ۶ بر اساس ASCE 7 جدول ۱۲,۲-۱ تشکیل شده است.

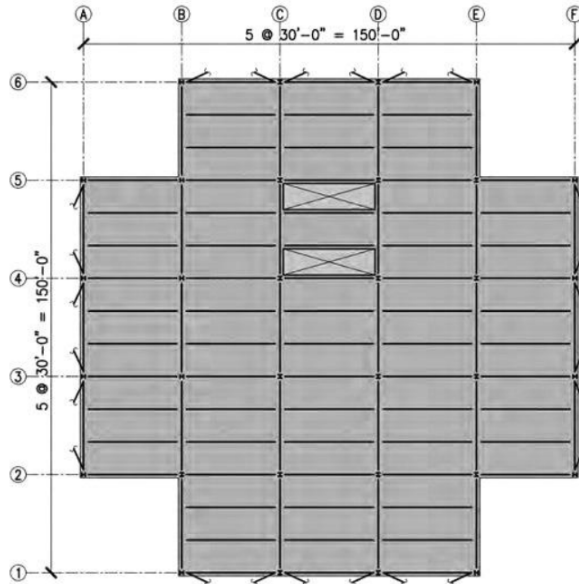
بخش ۱۷ مقررات ASCE 7 از مقدار R کاهش یافته، R_1 ، برای طراحی روسازه استفاده می‌کند. این مقدار R کاهش یافته برای حفظ حالت ضرورتاً الاستیک و تغییر پریود در نظر گرفته می‌شود. R_1 بر اساس بخش ۱۷,۵,۴,۲ از ASCE 7 محاسبه می‌شود:

$$R_1 = \frac{3}{8} \times R \leq 2.0$$

$$R_1 = \frac{3}{8} \times 6 = 2.25 \leq 2.0$$

از $R_1 = 2.0$ استفاده می‌کنیم.

نظرات این بخش و بخش ۳،۱ را برای بحث بیشتر در مورد ضریب R ساختمان‌های جداسازی شده ببینید.



شکل ۱-۲. پلان قاب سقف و طبقه تپ

انتخاب سیستم مقابله با نیروی جانبی

جداسازی لرزه‌ای تقاضای شکل‌پذیری روسازه را به شدت کاهش می‌دهد. به همین دلیل تعیین جزئیات شکل‌پذیری ایجاد شده در سیستم‌های مقاوم نیروی لرزه‌ای ویژه مدرن (مثلاً سیستم‌های فهرست شده در ASCE 7 جدول ۱۲،۲-۱) عموماً تضمین نشده است. در واقع ASCE 7 بخش ۱۷ ضریب R_1 را به 2.0 محدود می‌کند که رفتار «ضرورتاً الاستیک» را ایجاد می‌کند؛ حتی اگر مقدار R برای روسازه تا 8.0 باشد. استفاده از شکل‌پذیری بیش از مقدار لازم برای سطح عملکرد الاستیک به دلیل افزایش پریود روسازی در صورت تسلیم آن، مشکل ساز شود؛ بنابراین کاهش تغییر پریود باعث کاهش اثربخشی سیستم جداسازی و احتمالاً افزایش تسلیم و تقاضای شکل‌پذیری روسازه می‌شود.

ایجاد شکل‌پذیری بیش از الزامات آیین‌نامه‌ای احتمالاً بی‌فایده خواهد بود؛ بنابراین می‌توان برای کاهش هزینه‌های ساختمان با وجود حفظ منافع عملکردی و قابلیت اعتماد جداسازی لرزه‌ای، از نسخه‌های معمولی و متوسط سیستم‌های مقابله با نیرو استفاده کرد.

این مثال طراحی از SCBF استفاده می‌کند؛ زیرا ارتفاع ساختمان مورد نظر از محدودیت ارتفاعی ASCE 7 جدول ۱۲،۲-۱ برای OCBF بیشتر است. استفاده از OCBF (یا هر سیستم معمولی یا متوسط دیگر) برای این مثال را می‌توان از نظر فنی توجیه نمود؛ اما این کار انحراف از ASCE 7 بوده و قبل از استفاده باید به تایید مسئول مربوطه برسد.

حرکات (رکوردهای) زمین

به دست آوردن مجموعه ای از حرکات زمین با اندازه مناسب

یک دسته رکورد حرکت زمین MCE با هفت دامنه (یعنی ضرب شده در ضریب اسکالر) در ضمیمه ۱ وجود دارد. حرکات زمین به گونه ای انتخاب و مقیاس شده اند که طیف SRSS میانگین تقریباً با طیف MCE_R محل که در ضمیمه ۱ مشخص گردیده، سازگاری دارد (مساوی یا بزرگتر است). حرکات زمین معمولاً توسط یک مهندس ژئوتکنیک با در نظر گرفتن ورودی های مهندس سازه تهیه می شوند.

مقیاس شده حرکت زمین برای ساختمان های جداسازی شده

همانند تحلیل تاریخچه پاسخ، انتخاب حرکت های زمینی که شتاب رادر محدوده پیروید مورد نظر با حداقل مقیاس گذاری ایجاد کنند، مهم است. این کار برای سازه جداسازی شده که نیازمند رکوردهایی برای ایجاد مقادیر در پیروید های طولانی تر هستند، چالش برانگیزتر خواهد بود. باید توجه خاصی به انتخاب و مقیاس شده حرکت ها نمود. تخمین اولیه محدوده پیروید سیستم جداساز بر اساس ASCE 7 بخش ۱۷.۳.۲ می باشد؛ برای تخمین مورد استفاده در این مثال به ضمیمه ۱ مراجعه نمایید. روش های متعددی برای مقیاس شده حرکت زمین توسعه پیدا کرده اند. ساده ترین روش از یک ضریب اسکالر برای تمام مولفه های یک رکورد مشخص استفاده میکند و در این مثال از این روش استفاده کرده ایم. (ممکن است مهندس ژئوتکنیک پروژه تشخیص دهد که روش های دیگر مناسب تر می باشند.)

اهداف طراحی

تعیین اهداف طراحی برای عملکرد لرزه ای سیستم جداساز

مشخصات سیستم جداساز را می توان به صورتی انتخاب کرد که یک یا چند کمیت پاسخ مانند اندازه خندق، شتاب طبقه، تغییر مکان جانبی بین طبقات یا برش پایه به حداقل برسد. انتخاب مشخصات سیستم جداساز در درجه اول بر اساس کاربری مد نظر، عملکرد و مشخصات ساختمان است. معمولاً این اطلاعات در معیار طراحی لرزه ای خاص پروژه ارائه می شوند.

برای این مثال هدف طراحی به حداقل رساندن برش پایه در روسازه بدون ایجاد تغییر مکان های اضافی انتخاب شده است. سیستم های جداساز ارایه شده در این مثال متناسب با این اهداف انتخاب شده اند؛ هر چند می توان تکرارهای طراحی بیش از آنچه اینجا نشان داده شده است، انجام داد. ASCE 7 بخش ۱۷.۷ بررسی طراحی (یعنی بررسی همکار) سیستم جداساز را الزامی می کند و بهتر است معیار طراحی لرزه ای هم قبل از ادامه طراحی بررسی شود.

بهبود عملکرد یک ساختمان جداسازی شده

با وجود الزامی نبودن به عنوان هدف طراحی، جداسازی پایه معمولاً منجر به بهبود عملکرد سازه ای و غیرسازه ای نسبت به سیستم سنتی با پایه گیردار می شود. این بهبودها می تواند از نظر سازه ای مانند کاهش برش پایه، تغییر مکان نسبی بین طبقات و شتاب های طبقات یا اهداف عملکردی مانند بهبود عملکرد ایمنی جانی، کاهش هزینه های تعمیرات یا کاهش زمان بسته بودن بعد از یک زلزله باشد. روسازه یک ساختمان جداسازی شده به گونه ای طراحی می شود که الاستیک یا نزدیک به حالت الاستیک باشد و در نتیجه ضریب R_1 مورد استفاده برای طراحی بسیار کمتر از ضریب ساختمان پایه گیردار سنتی در نظر گرفته

می شود. هر چند ضرایب برش پایه طراحی برای ساختمان پایه گیردار و جداسازی شده قابل مقایسه هست، اما عملکرد حاصله معمولاً قابل مقایسه نیست؛ زیرا برش پایه طراحی پایه گیردار با استفاده از ضریب R بزرگتر، جاری شدن (یعنی آسیب) بیشتری را در بر دارد.

ASCE 7 توجه خاص به این منافع عملکردی ندارد، اما در دیگر آیین نامه های مدل مانند FEMA 450 به آن ها اشاره شده است. در FEMA 450 عنوان شده است که «اهداف عملکردی برای سازه های جداسازی شده بسیار بیشتر از عملکرد مورد انتظار برای سازه های پایه گیردار در هنگام زلزله های متوسط و بزرگ است». دیگر منفعت جداسازی پایه که در ASCE 7 در نظر گرفته نگردیده، افزایش قابلیت اعتمادی است که استفاده از سیستم جداساز می تواند در پی داشته باشد. ساختمان پایه گیردار معمولاً انرژی زلزله را با مکانیزم های جاری شدن توزیع شده در اعضاء سازه ای و غیرسازه ای مستهلک می کند که ممکن است عدم قطعیت هایی در بر داشته باشد. جداسازی پایه تمام غیرخطی بودن ها را در یک سیستم جداساز مشخص که آزمایشات گسترده ای روی آن انجام شده و کاملاً قابل اعتماد است، متمرکز می کند.

مهندس طراح باید با بهبود عملکرد داخلی در یک ساختمان جداسازی شده و بهبودهای عملکردی اضافی که وجود دارند، آشنایی داشته باشد. این آشنایی به ایشان در مذاکره با ذینفعان پروژه کمک می نماید. این مثال طراحی حداقل الزامات آیین نامه ساختمانی را روشن می کند. ممکن است بعضی از پروژه ها به بهبود عملکرد و قابلیت اعتماد نیاز داشته باشند. این بهبود با استفاده از ضریب R_1 کوچکتر، فراهم کردن ظرفیت تغییرمکان سیستم جداساز بیشتر از مقدار تعیین شده در تحلیل یا در نظر گرفتن صریح تغییرمکان های جانبی بین طبقات و شتاب های طبقات در طراحی سیستم جداساز ایجاد می شود.

هنگام انتخاب ضریب R_1 ، طراح باید مقررات مورد ۳ از ASCE 7 بخش ۱۷.۵.۴.۳ را در نظر بگیرد (بحث های بخش ۷.۲ را ملاحظه فرمائید).

طرح سیستم جداساز و طراحی اولیه

طرح سیستم جداساز

طرح سیستم جداساز، از جمله انتخاب صفحه جداسازی، برای هر پروژه می تواند متفاوت و بر اساس ملاحظات زیادی باشد. برای این مثال یک زیر زمین دارای کاربری در ساختمان LR و یک گربه روی (فضای گربه رو *crawlspace*)، فضای بین پی و تراز جداساز هنگامی که این فاصله کوتاه می باشد، معادل سازی از مهندس صالحین) بدون کاربری در ساختمان FP فرض شده است. این پیکربندی های مختلف در ضمیمه در شکل های A1-2 تا A1-3 نشان داده شده است.

موقعیت صفحه جداسازی

موقعیت های صفحه جداسازی اختصاص داده شده به هر سیستم در این مثال دلخواه هستند و تنها برای نشان دادن گزینه های مختلف از آن ها استفاده شده است. هر دو موقعیت مزایا و معایبی دارند و باید برای هر پروژه با دقت از آن ها استفاده شود. در طراحی اولیه باید به پله ها، شفت های آسانسور و سیستم های ساختمانی و تاسیساتی که از صفحه جداساز عبور می کند، توجه خاصی نمود. در اکثر طراحی ها یک جداساز در زیر هر ستون ساختمان قرار می گیرد. ممکن است بعضی از پیکربندی های ساختمان به چند نوع جداساز

نیاز داشته باشند تا از آن‌ها برای ستون‌هایی با بارهای محوری مختلف در ساختمان استفاده شود. در این مثال زیر هر ستون ساختمان از یک جداساز استفاده شده است.

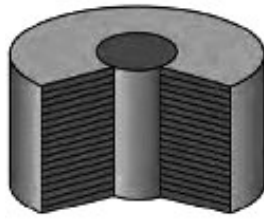
مرکز صلبیت

در ساختمان مثال مرکز سختی سیستم جداساز را می‌توان به راحتی با مرکز جرم ساختمان هماهنگ نمود. اما همیشه اینطور نیست و در بعضی از سیستم‌های جداسازی برای این کار باید اصلاحاتی انجام داد. جداسازهای FP ویژگی منحصر به فردی دارند که سختی تکیه‌گاه آن‌ها متناسب با باری است که تحمل می‌کنند و این ویژگی معمولاً منجر این هماهنگی می‌شود. دیگر سیستم‌های جداساز برای این هماهنگی نیاز به اصلاحاتی از جمله استفاده از جداسازهایی با سختی‌های جانبی مختلف یا استفاده از اجزای لغزشی با اصطکاک خیلی پایین دارند. هر دو نوع سیستم برای بسیاری از شرایط موجود قابل اعتماد هستند و باید بررسی شوند.

تکیه‌گاه‌های LR با هسته سربی و تکیه‌گاه‌های اصطکاک سه‌گانه با مشخصات اصطکاک مشابه در سطوح بالا و پایین، در حال حاضر انواع تکیه‌گاه معمول هستند و در این مثال نشان داده شده اند (شکل ۱-۵ را ملاحظه فرمائید). در سیستم FP، بارهای محوری ستون به اندازه کافی یکنواخت فرض می‌شوند؛ به گونه‌ای که می‌توان در تمام ستون‌ها از یک نوع جداساز استفاده کرد. سیستم LR از تکیه‌گاه‌هایی با هسته سربی در زیر ستون‌های اطراف ساختمان برای کاهش پاسخ پیچشی و از تکیه‌گاه‌های لاستیکی ساده (بدون هسته سربی) برای زیر ستون‌های داخلی استفاده می‌کند.

چیدمان سیستم‌های جداساز سربی لاستیکی

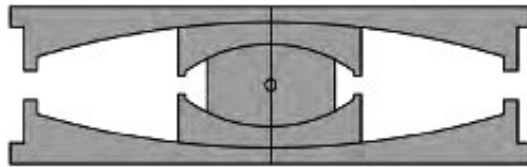
برای سیستم‌های جداساز سربی لاستیکی، معمولاً طراح تکیه‌گاه‌ها با هسته‌های سربی را در ستون‌های پیرامونی پلان قرار می‌دهد تا پاسخ پیچشی سیستم جداساز را کاهش دهد. تا زمانی که مشخصات مرکب سیستم جداساز مشخصات مطلوب را دارد و دیافراگم برای انتقال بارها بین انواع جداسازها کافی است، می‌توان از تکیه‌گاه‌های لاستیکی ساده یا لغزنده‌های مسطح برای دیگر جداسازها استفاده کرد. همچنین معمولاً در زیر اجزای سیستم مقاوم نیروی جانبی در ساختمان هم از تکیه‌گاه‌هایی با هسته سربی استفاده می‌شود. در این پیکربندی لازم نیست نیروهای اجزای LFRS از طریق دیافراگم جداساز به تکیه‌گاه‌هایی با مقاومت تسلیم جانبی (یعنی تکیه‌گاه‌های دارای هسته‌های سربی) منتقل شود. در ساختمان‌های جداسازی شده‌ای که از LR و سیستم‌های مشابه استفاده می‌کنند، ساختمان همیشه یک مود پیچشی خواهد داشت؛ اما هدف طراح باید قرار دادن جداسازهایی برای کنترل و محدود نمودن پاسخ پیچشی باشد. با توجه به دو نوع جداساز موجود در سیستم جداساز LR، یک مرکز سختی وجود خواهد داشت که تمام جداسازها در آن مشارکت دارند (جداسازهای لاستیکی ساده سختی را بیشتر می‌کنند) و یک مرکز مرکز تسلیم که تنها جداسازهای سربی - لاستیکی در آن مشارکت دارند (جداسازهای لاستیکی ساده اجزای جاری شونده نیستند). چیدمان انواع مختلف جداسازها، به گونه‌ای که موقعیت‌های حاصله این دو نقطه (نزدیک بودن هر چه بیشتر مرکز سختی CR به مرکز جرم CM) نزدیک باشند به طراح در کنترل پاسخ پیچشی کمک می‌کند. روش‌هایی مانند اندازه مختلف هسته سربی برای تکیه‌گاه‌های سربی لاستیکی هم به کنترل پاسخ پیچشی کمک می‌کنند.



جداساز لاستیکی باهسته سربی



جداساز پاندولی تک قوسی



جداساز پاندولی سه قوسی

شکل ۱-۳. سطح مقطع جداسازهای سربی لاستیکی، پاندولی اصطکاکی منفرد و پاندولی اصطکاکی سه گانه

انتخاب نوع تکیه گاه

انواع دیگر تکیه گاه هم به غیر از تکیه گاه های نشان داده شده در این مثال وجود دارند و بهتر است مهندس طراح تمام تولید کنندگان را برای اطلاع از آخرین محصولات پیشنهادی، کنترل نماید. یک تفاوت مهم بین تکیه گاه های LR، لغزنده مسطح، پاندول منفرد، پاندولی دوگانه و پاندولی سه قوسی، نحوه انتقال لنگر P-delta جداساز (یعنی لنگر ایجاد شده با تغییر مکان جداساز ضرب در بار عمودی تکیه گاه آن) به سازه بالایی و پایین است. این موضوع ممکن است در بعضی از کاربردها اهمیت داشته باشد. برای اطلاعات بیشتر در مورد این موضوع به بخش ۸ مراجعه نمایید.

طراحی اولیه سیستم جداساز

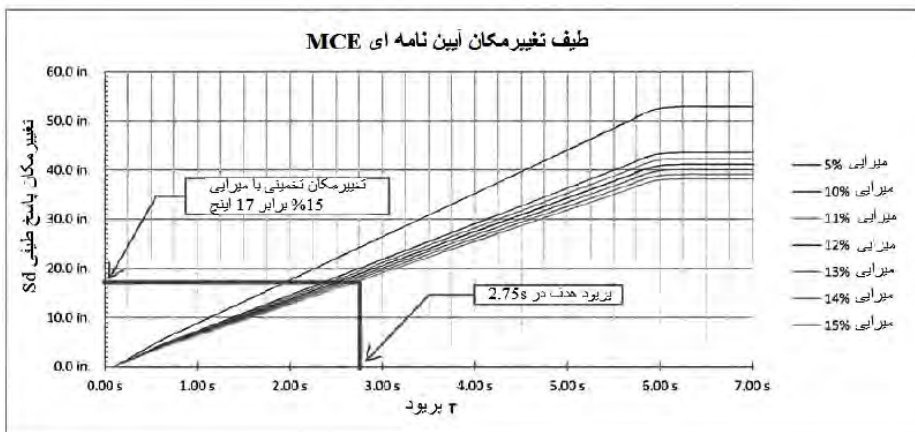
هدف طراحی اولیه سیستم جداساز تایید اثر بخشی جداسازی ساختمان و مشخصات تقریبی سیستم جداساز برای برآورده کردن اهداف طراحی است. از مشخصات تعیین شده در اینجا با هماهنگی تولید کننده، برای انتخاب سیستم جداساز نهایی استفاده خواهد شد. در این مثال تحلیل اولیه تنها با در نظر گرفتن تغییر مکان و برش پایه سیستم جداساز و چشم پوشی از مشخصات عضو منفرد انجام شده است.

به دلیل پیچیدگی تحلیل و مقدار زیاد داده های حاصله، استفاده از مدل سه بعدی ساختمان با NLRHA برای طراحی اولیه، سنگین می باشد. ساده سازی ها امکان طراحی اولیه سیستم جداساز با روش های تخمینی را فراهم می کنند. دو روش تخمینی در ادامه ارائه شده اند. روش اول برای سیستم LR استفاده شده و از طیف تغییر مکان برای رسیدن نسبتاً سریع به جواب تقریبی استفاده می کند (که آن را برای مطالعات اولیه سریع امکان سنجی جداساز ایده آل می کند). سپس برای تایید این تخمین های اولیه از مدل اولیه ساختمان استفاده می شود. روش دو مکه برای سیستم FP از آن استفاده شده است، نیازمند انجام NLRHA برای مدل سیستم جداساز ساده شده است. این مدل برای مطالعات اولیه عمیق تر مناسب است. از هر دو روش

می‌توان برای هر نوع سیستم جداساز استفاده کرد و ارتباط آن به یک سیستم خاص در این مثال اختیاری است. از هر دو روش می‌توان برای کنترل نتایج به دست آمده از NLRHA پیچیده‌تر کامل ساختمان استفاده کرد. هر دو روش مورد استفاده فرض می‌کنند که روسازه صلب است و برای ارزیابی پاسخ روسازه مناسب نیستند. این محاسبات اولیه تنها بر اساس دینامیک سازه هستند و مقررات ASCE 7 را در نظر نمی‌گیرند (مانند ضریب R_1 و نیروها و تغییرمکان‌های حداقل). در مرحله طراحی اولیه تولید کننده می‌تواند با ارایه اطلاعات سخت افزاری و توصیه‌های طراحی، به مهندس طراح کمک نماید.

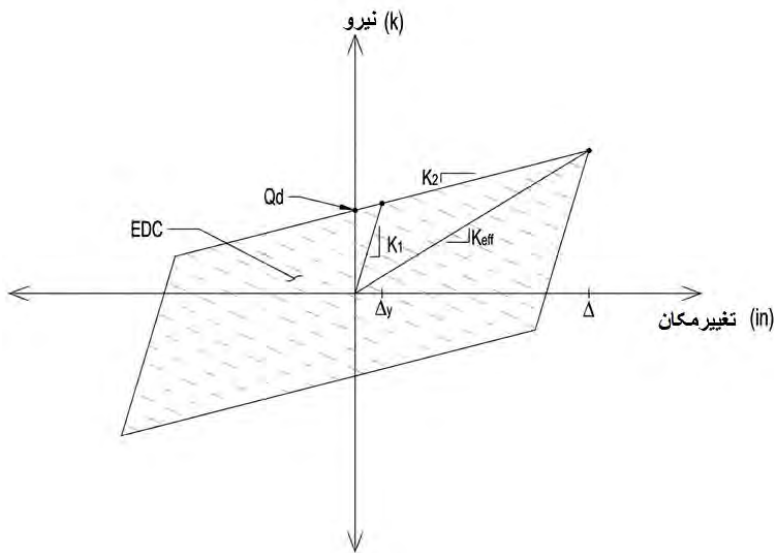
طراحی اولیه سیستم سربی - لاستیکی

برای شروع فرآیند طراحی یک سیستم جداساز، داشتن یک تخمین خوب از مشخصات جداساز مورد نظر و تغییرمکان سیستم حاصله (Δ) برای حداکثر زلزله در نظر گرفته شده اهمیت زیادی دارد. برای سیستم‌های تکیه‌گاه سربی لاستیکی استفاده از میرایی موثر (β_{eff}) در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد و پرپود موثر (T_{eff}) تا ۲٫۵ تا ۳٫۵ ثانیه شروع خوبی است. با دستکاری طیف طراحی برای این سطوح مختلف میرایی و نگاه کردن به طیف تغییرمکان در محدوده پرپود معمول، می‌توان در طراحی محدوده‌ای از مقادیر هدف را تعریف کرد (شکل ۴-۱) را ملاحظه فرمائید). در این مثال از مقادیر هدف ۲٫۷۵ ثانیه و میرایی ۱۵ درصد استفاده شده است.



شکل ۴-۱. تخمین تغییرمکان از طیف تغییرمکان آیین نامه ای MCE_R

با یک مقدار هدف Δ ، T_{eff} و β_{eff} می‌توان مشخصات سیستم میرایی با مقادیر Q_d و K_p تعریف شده در زیر را تکرار کرد. مقادیر باید تا زمانی که T_{eff} و β_{eff} محاسبه شده برای سیستم جداساز در Δ با مقادیر شروع کننده فرض شده برای T_{eff} و β_{eff} برابر شوند، تکرار شود (شکل ۵-۱ را ببینید).



شکل ۱-۵. تعریف سیستم نیرو - تغییر مکان جداساز

این مقادیر را می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد (Kelly, ۱۹۹۷):

$$K_1 = \frac{K_v}{\dots}$$

$$K_{eff} = \frac{Q_d}{\Delta} + K_d$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_{eff}}}$$

$$EDC = \nu Q_d (\Delta - \Delta_y)$$

$$\beta_{eff} = \frac{EDC}{2\pi K_{eff} \Delta^2}$$

نسبت فرض شده برای K_1 و K_v مقادیر پیشنهادی است که باید توسط تولید کننده جداساز تایید گردد. با علم بر مشخصات مرکب سیستم جداساز مطلوب، طراح می‌تواند مشخصات تکیه گاه‌های منفرد مورد نیاز برای سازگاری با الزامات سیستم کلی را تعیین نماید. طراح می‌تواند مقادیر تکیه گاه‌های معمول را با مقادیر موجود سازنده مقایسه کرده یا مستقیماً به دنبال ابعاد تکیه گاه سربی لاستیکی که مقادیر مطلوب را فراهم می‌کند، باشد. مقادیر خروجی از مطالعه مقدار تسلیم تکیه گاه (Q_d) و سختی تسلیم (K_v) را خواهد داد. مشخصات یک تکیه گاه سربی - لاستیکی را می‌توان بر اساس ساختمان تکیه گاه (Kelly ۱۹۹۷) محاسبه نمود. از روابط زیر، قطر تکیه گاه، تعداد و ضخامت لایه‌های لاستیک سختی تکیه گاه و قطر سرب مقاومت تسلیم را می‌توان محاسبه نمود. یک معادله هم برای محاسبه سختی عمودی (K_v) تکیه گاه ارائه شده است:

$$K_r = \frac{GA_e}{T_e}$$

$$Q_d = F_y A_p$$

$$K_v = \frac{E_v A_b}{T_r}$$

که در این رابطه:

$$A_e = A - A_p$$

و

D = قطر تکیه گاه لاستیکی

D_p = قطر توپی سربی

D_{hole} = قطر سوراخ در مرکز جداساز لاستیکی ساده

B = قطر پیوسته لاستیک (D منهای لاستیک پوشش)

G = مدول برشی موثر لاستیک که می توان از تولید کننده به دست آورد (محدوده معمول آن ۵۵ - ۵۰ psi است، هر چند محدوده وسیع تری از لاستیک ها نیز موجود هستند)

A = مساحت کل تکیه گاه لاستیکی

A_p = مساحت هسته سربی

A_b = مساحت پیوسته کل تکیه گاه لاستیکی

T_r = ضخامت کل لاستیک (جمع ضخامت تمام لایه های لاستیک)

F_y = مقاومت جاری شدن سرب که می توان از تولید کننده دست آورد (محدوده معمول ۱,۳ - ۱,۰ ksi است)

E_v = مدول سختی عمودی جداساز که می توان از تولید کننده به دست آورد

LRB = تکیه گاه سربی لاستیکی

NR = تکیه گاه لاستیکی طبیعی یا ساده (بدون هسته سربی)

مثلاً مقدار حاصله برای Δ انتخاب شده برای طیف تغییرمکان MCE عبارت است از:

$$\Delta = ۱۷ \text{ in}$$

این تغییرمکان متناظر با پرپود و میرایی موثر زیر خواهد بود:

$$T_{eff} = ۲.۷۵ \text{ s}$$

$$\beta_{eff} = ۱۵\%$$

تکرارهای روابط تعریف شده در فوق، مشخصات و مقادیر زیر را برای سیستم جداساز می دهد:

$$Q_d = ۶۶۵.۱ \text{ k}$$

$$K_r = ۱۲۲.۳ \text{ k/in}$$

$$K_v = ۱۵۲۹ \text{ k/in}$$

$$K_{eff} = ۱۶۱.۴۳ \text{ k/in}$$

$$T_{eff} = ۲.۷۵ \text{ s}$$

$$\Delta_y = ۰.۴۷ \text{ s}$$

$$EDC = 43969 \text{ k/in}$$

$$\beta_{\text{eff}} = 15.0\%$$

همان طور که قبلاً هم بحث شد، تکیه گاه های پیرامونی هسته های سربی خواهند داشت و تکیه گاه های داخلی تنها لاستیکی (NRB) خواهند بود. برای این مثال طراحی، از هسته سربی تنها در زیر مرزهای قاب ها استفاده می شود. بقیه تکیه گاه ها لاستیکی ساده هستند. پیکربندی بر اساس نیروهای محوری بالا در تکیه گاه های زیر قاب ها و برای به حداکثر رساندن تغییر پریود انتخاب شده است. با تکرار ابعاد تکیه گاه ها، ابعاد و مشخصات سیستم حاصله زیر مشخص می شوند (جدول ۱-۱ را ملاحظه فرمائید).

ویژگی ها					ابعاد				تعداد تکیه گاهها	نوع تکیه گاه
EDC (k. in)	K_{eff} (k. in)	K_1 (k. in)	K_2 k. in)	Q_d (k)	D_{hole} (in)	D_p (in)	T_r (in)	D (in)		
۵۱۸۲	۸.۲۶	۸۲.۲	۳.۵	۸۱.۱	-	۱۰.۴	۱۱.۳	۳۲	۸	LRB
۰	۳.۹۰	۳۸.۰	۳.۹	۰	۲	-	۱۱.۳	۳۲	۲۴	NR
۴۱۴۵۶	۱۶۰.۰	۱۵۷۱.۰	۱۲۲.۰	۶۴۹.۰	مشخصات مرکب					
۴۳۹۶۸	۱۶۱.۰	۱۵۲۹.۰	۱۲۲.۰	۶۶۵.۰	مشخصات هدف					
۰.۹۴	۰.۹۹	۱.۰۳	۱.۰۰	۰.۹۸	مرکب تقسیم بر هدف					

جدول ۱-۱

مشخصات تعیین شده فوق مشخصات «اسمی» سیستم جداساز هستند و مرزبندی (Bounding) در تعیین آن ها در نظر گرفته نشده است. تحلیل محدودیت بعداً در این مثال انجام خواهد شد. این ابعاد و مشخصات مطلوب به دست آمده را می توان برای یک تولید کننده جداساز ارسال کرد تا در دسترس بودن تکیه گاه های به دست آمده را تایید نماید. شاید بتوان ویژگی ها را با یک جداساز که قبلاً آزمایش شده است، تنظیم کرد. این کار به دلیل حذف یا کاهش نیاز به آزمایش تکیه گاه های دلخواه سودمند خواهد بود. آخرین مرحله تحلیل اولیه اجرای یک مدل اولیه ETABS با استفاده از NLRHA است. فیلدهای ورودی مختلف برای تعریف ETABS اجزای جداساز در جدول ۱-۲ زیر نشان داده شده اند:

جدول ۱-۲. مشخصات رابط تکیه گاه سیستم جداساز LR

NRB	LRB	ویژگی
۳.۹۰	۸.۲۶	سختی موثر خطی U2/U3
۰	۱.۲۷	میرایی موثر خطی U2/U3
۳.۹۰	۸۲.۲۲	سختی غیرخطی U2/U3
۰	۸۴.۷۲	مقاومت تسلیم غیرخطی U2/U3
۱	۰.۰۴۲۴	نسبت سختی قبل از تسلیم U2/U3

۵۲۷۱	۶۳۶۶	سختی موثر خطی U1
۵۶	۴.۳	میرایی موثر خطی U1

NLRHA انجام شده و میانگین هفت تغییرمکان SRSS حداکثر در مرکز جرم سطح جداساز محاسبه شد. مقایسه این تغییرمکان با مقدار اولیه از طیف تغییرمکان نشان دهنده این است که طراحی اولیه جداساز به اندازه کافی دقیق بوده است. می توان از مدل اولیه ETABS برای تعیین بارهای محوری جداسازها نیز استفاده نمود (فهرست شده در بخش ۴,۳).

نتایج تحلیل اولیه

در این مثال تغییرمکان MCE اولیه تخمین زده شده از طیف تغییرمکان ۱۷ اینچ است. طراحی اولیه و اجرای NLRHA برای ساختمان، تغییرمکان میانگین MCESRSS ۱۳,۵ اینچ را نشان می دهد. یک تکرار دیگر انجام و تکیه گاه ها برای برقراری الزامات سیستم در مقدار تغییر مکان ۱۳,۵ اینچ (همان فرآیند خلاصه شده در جدول ۱-۱) اصلاح شد. تکیه گاه های بازنگری شده در NLRHA به روز شده و تغییرمکان حاصله ۱۳,۸ اینچ تعیین شد. این دو مقدار مطابقت خوبی دارند. بنابراین طراحی تکیه گاه جدول ۱-۳ به تحلیل نهایی منتقل شده و می توان آن را برای تامین کننده جداساز ارسال کرد. Q_d محاسبه شده برای سیستم جداساز با تکیه گاه های نشان داده شده در جدول ۱-۳، ۵۷۶ kips است، که به دلیل قطر کمتر هسته سربی، از سیستم آزمون اولیه کمتر است. این مقدار به این دلیل در اینجا ارایه شده است که در ادامه از آن برای کنترل های حداقل آیین نامه برای سیستم استفاده خواهد شد.

جدول ۱-۳. ابعاد نهایی تکیه گاه سیستم جداساز LR

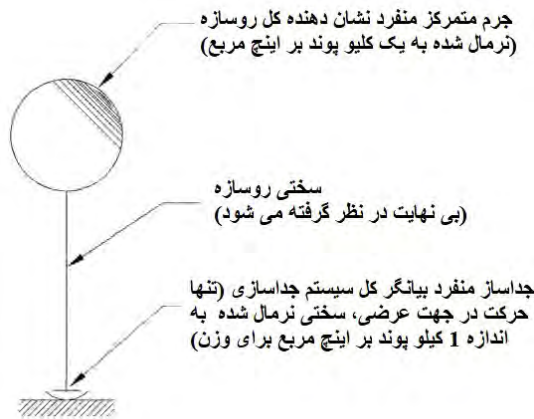
D_{hole} (in)	D_p (in)	T_r (in)	D (in)	تعداد تکیه گاه ها	نوع تکیه گاه
-	۹.۸	۹.۵	۳۰	۸	LRB
۲	-	۹.۵	۳۰	۲۴	NR

طراحی اولیه سیستم اصطکاکی پاندولی

یک روش دیگر برای انجام تحلیل اولیه انجام چند NLRHA روی یک مدل ساده شده از ساختمان جداسازی شده با مشخصات سیستم جداساز مختلف است. ترسیم نتایج این تحلیل اهمیت نسبی مشخصات مختلف سیستم جداساز را نشان می دهد. استفاده از NLRHA در مرحله طراحی اولیه نسبت به دیگر روش های موجود معمول تر است؛ اما با کار بیشتر می توان دقت را افزایش داده و درک بهتری از تعادل بین نیروها و تغییر مکان در طراحی سیستم جداساز به دست آورد. استفاده از NLRHA در مراحل اولیه فرآیند، به طراحی با NLRHA پیچیده تر در تحلیل کل ساختمان کمک می کند.

سختی جانبی سیستم جداساز معمولاً بسیار پایین تر از روسازه روی آن است. این موضوع تخمین زدن کل ساختمان جداسازی شده به عنوان یک مدل یک درجه آزادی (SDOF) که تمام حرکت های جانبی را در تراز جداساز متمرکز می کند را ممکن می کند. این فرض از سختی سازه صرف نظر کرده و سازه را تنها یک جسم صلب روی سیستم جداساز در نظر می گیرد. سیستم جداساز با یک جداساز واحد مدلسازی می شود که

نشان دهنده مشخصات مرکب تمام جداسازها است. سختی SDOF تنها متناظر با سختی سیستم جداساز به تنهایی است و جرم SDOF متناظر با جرم کل ساختمان جداسازی شده است. ویژگی منحصر به فرد سیستم جداساز FP این است که پرپود جداسازی شده آن به شدت به جرم روسازه بستگی دارد و امکان نرمال کردن جرم و سختی مدل SDOF برای بار تکیه گاهی kip ۱ را فراهم می کند (به جای بارهای واقعی ساختمان و سختی سیستم جداسازی). این کار باعث می شود که بتوان NLRHA اولیه را بدون اطلاع دقیق از وزن ساختمان انجام داد؛ هر چند دانستن وزن ساختمان برای تعیین نسبت ظرفیت بار عمودی تکیه گاه لازم است. شکل ۱-۶ مدل SDOF را نشان می دهد.



شکل ۱-۶. مدل SDOF

برنامه های زیادی برای مدلسازی سیستم SDOF دوخطی وجود دارد و بعضی از آن ها مانند ETABS، یک عضو جداساز اصطکاکی پاندولی در برنامه تحلیل سازه ای خود دارند. برنامه Bispec برای این کار مناسب است؛ زیرا استفاده از آن راحت بوده و یک عضو دوخطی با اتصال در دو طرف دارد که امکان تحلیل حرکات دوجبهته زلزله را فراهم می کند. استفاده از یک برنامه مستقل مانند Bispec این مزیت را هم دارا است که در ادامه فرآیند طراحی می توان یک کنترل واقعی مستقل از تحلیل سازه ای پیچیده تر انجام داد.

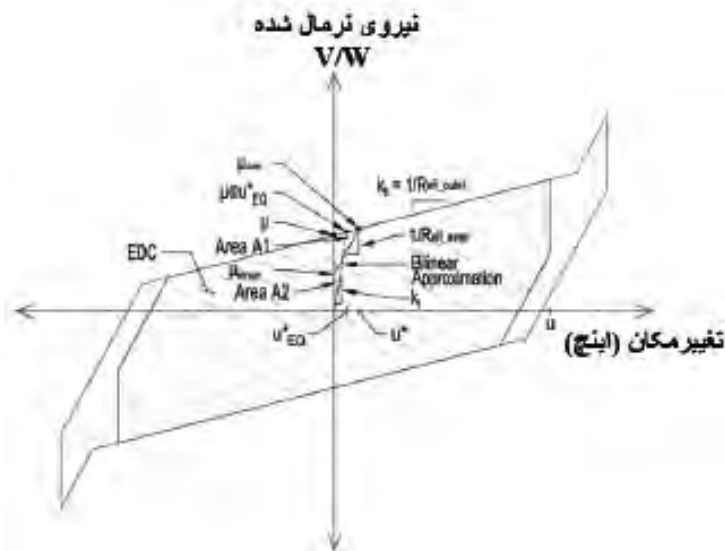
ASCE 7 بخش ۱۷,۶,۴,۱ مقرر می کند که حداکثر تغییرمکان جداساز بر اساس MCE و برش پایه طراحی بر اساس DE باشد. تحلیل Bispec انجام شده در این مثال برای سطح MCE انجام گردیده تا بهترین تخمین از حداکثر تغییرمکان جداساز به دست بیاید. تحلیل Bispec را می توان برای DE هم تکرار کرد تا برش پایه طراحی ASCE 7 به دست بیاید.

معمولاً مشخصات تکیه گاه FP با تنظیم قطر تکیه گاه، ضریب های اصطکاک و یا شعاع سطوح لغزنده اصلاح می شود. عموماً قطر نشان دهنده ظرفیت تغییرمکان تکیه گاه بوده، ضریب های اصطکاک بر ویژگی ها لغزش تاثیر می گذارند و شعاع هم سختی جانبی را تغییر می دهد. این مثال از محدوده ای از مشخصات Triple Friction Pendulum (TFP) برای روشن شدن فرآیند استفاده می کند. مشخصات خاص باید توسط سازنده تایید شوند. فرض می شود که هر دو سطح داخلی و هر دو سطح خارجی ضرایب اصطکاک یکسانی دارند. هر چند ممکن است طراحی به گونه ای باشد که این مقادیر متفاوت باشند. در این

مثال از قطر موثر و دیگر مشخصات عمومی استفاده شده و ابعاد ویژه تکیه گاه فهرست نشده است. برای شرح کامل ویژگی‌ها و مکانیک تکیه گاه های TFP به مقاله Fenz و Constantinou 2007,b مراجعه نمایید.

رابطه نیرو - تغییر مکان تکیه گاه TFP چند خطی است و نمایش کامل آن ممکن است به مدل های تحلیلی پیچیده نیاز داشته باشد. برای طراحی اولیه می توان این رابطه را با یک رابطه دو خطی نیرو- تغییر مکان که نشان دهنده رفتار مورد نیاز تکیه گاه در محدوده تغییر مکان است، تخمین زد.

این مثال از تخمین دو خطی با روش مساحت برابر استفاده می کند که تغییر مکان تسلیم مدل دو خطی (u_{EQ}^*) را با تساوی مساحت حلقه هیستریسیس به دست آمده و اتلاف شده در تخمین محاسبه می کند (مساحت های ۱ و ۲ در شکل ۷-۱). شکل ۷-۱ مقایسه رفتار واقعی تکیه گاه و تخمین دو خطی مساحت برابر را نشان می دهد. این مدل رفتار سخت شوندگی که در نزدیکی حداکثر ظرفیت تغییر مکان تکیه گاه رخ می دهد را نمی تواند در نظر بگیرد؛ با این حال معمولاً تکیه گاه ها به گونه ای تعیین می شوند که این سخت شوندگی تا بعد از تقاضای جابه جایی MCE اتفاق نمی افتد. معمولاً طراحی ها تغییر مکان بالاتر از سطح خطر را در نظر نمی گیرند، بنابراین محدودیت این مدل تکیه گاه مشکل ساز نیست.



شکل ۷-۱. نمودار نیرو - تغییر مکان نرمال شده برای رفتار واقعی TFP و تخمین دو خطی با تعریف پارامترهای مورد استفاده در تحلیل Bispec

نمونه محاسبات ورودی Bispec

مشخصات زیر را برای ارزیابی های نرم افزار Bispec در نظر می گیریم:

جدول ۱-۴. مشخصات Bispec برای تمام ارزیابی ها

پارامتر	مقدار	یادداشت
وزن سیستم	۱ kip	مدل SDOF برای ۱ kip نرمال شده است. سختی جانبی هم بر همین اساس محاسبه می شود.
جرم	$0.00259 \text{ kip} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{in}}$	$\frac{1}{g} = \frac{1}{386.4} / \text{s}^2$
میرایی ویسکوز خطی و غیرخطی	۰٪	در این مثال میرایی در تحلیل Bispec تنها با رفتار هیستریتیس در نظر گرفته شده است.
اصطکاک هر دو سطح لغزنده داخلی	$\mu_{\text{inner}} = 2\% (0.02)$	برای سادگی بیشتر، در این مثال تمام ارزیابی های Bispec از اصطکاک ۲ درصد برای سطوح لغزنده داخلی استفاده می کنند.
اصطکاک هر دو سطح لغزنده خارجی	$\mu_{\text{outer}} = 5, 6, 7, 8, 9, 10\%$	تفاوت اصطکاک برای تعیین اثرات آن بر پاسخ سیستم است
شعاع موثر داخلی	$R_{\text{eff inner}} = 11, 24, 46, 66 \text{ in}$	تفاوت شعاع موثر داخلی برای تعیین اثرات آن بر پاسخ سیستم است.
شعاع موثر خارجی	$R_{\text{eff outer}} = 167, 303 \text{ in}$	تفاوت شعاع موثر خارجی برای تعیین اثرات آن بر پاسخ سیستم است.
مشخصات تحلیل برنامه Bispec	گزینه Interaction Surface Power را با مقدار ۲ انتخاب کنید تا ماهیت دو جهته تکیه گاه های FP در نظر گرفته شود. مقدار Strength and Stiffness Ratios را برای هر دو جهت تحلیل یکسان انتخاب کنید ($\frac{K_1}{K_2}$) $(1, \frac{Y_{\text{neg}}}{Y_{\text{pos}}} = 1, \frac{Y_1}{Y_2} = 1)$	تحلیل منفرد دو جهته با مشخصات غیرخطی دوخطی را انتخاب کنید.

نمونه محاسبات Bispec برای مشخصات تکیه گاه زیر انجام شده است. محاسبات بعدی برای دیگر ارزیابی های Bispec هم مشابه این محاسبات هستند.

جدول ۱-۵. مشخصات Bispec برای محاسبات ساده

مقدار محاسباتی نمونه	پارامتر محاسباتی نمونه
$\mu_{inner} = 2\% (0.02)$	اصطکاک در هر دو سطح لغزنده داخلی
$\mu_{outer} = 5\% (0.05)$	اصطکاک در هر دو سطح لغزنده بیرونی
$R_{eff\ outer} = 167\ in$	شعاع خارجی موثر
$R_{eff\ inner} = 46\ in$	شعاع داخلی موثر

تغییرمکان تسلیم برای سطح لغزنده خارجی بر اساس رفتار واقعی تکیه گاه (u^*) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$u^* = (\mu_{outer} - \mu_{inner}) \times R_{eff\ inner} = (0.05 - 0.02) \times 46\ in = 1.38\ in.$$

(تغییرمکان تسلیم برای سطح لغزنده داخلی خیلی کوچک است و می توان از آن صرف نظر کرد).
ضریب اصطکاک در تغییرمکان صفر (μ) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\mu = \mu_{outer} - u^* \left(\frac{1}{R_{eff\ outer}} \right) = 0.05 - 1.38\ in \times \frac{1}{167\ in} = 0.0417$$

تغییرمکان تسلیم برای مدل دو خطی مساحت برابر (u_{EQ}^*) با تعادل مساحت های A1 و A2 نشان داده شده در شکل ۱-۷ تخمین زده می شود. این مقدار را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$u_{EQ}^* = \frac{(\mu_{inner} - \mu) \times u^*}{u^* \times \left(\frac{1}{R_{eff\ inner}} \right) - \mu_{outer}} = \frac{(0.02 - 0.0417) \times 1.38\ in}{1.38\ in \times \left(\frac{1}{167\ in} \right) - 0.05} = 0.046$$

ضریب اصطکاک در u_{EQ}^* به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\mu@u_{EQ}^* = \mu + \mu_{EQ}^* \times \frac{1}{R_{eff\ outer}} = 0.0417 + 0.718\ in \times \frac{1}{167\ in} = 0.046$$

سختی اولیه مدل SDOF، (k_1) با نتایج قبل تعیین می شود:

$$k_1 = \mu@ \frac{u_{EQ}^*}{u_{EQ}^*} = \frac{0.046}{0.718\ in} = 0.0641 \frac{k}{in}$$

سختی ثانویه مدل SDOF، k_h ، عبارت است از:

$$k_h = \frac{1}{R_{eff\ outer}} \times W = \frac{1}{167\ in} \times 1\ kip = 0.006\ k/in$$

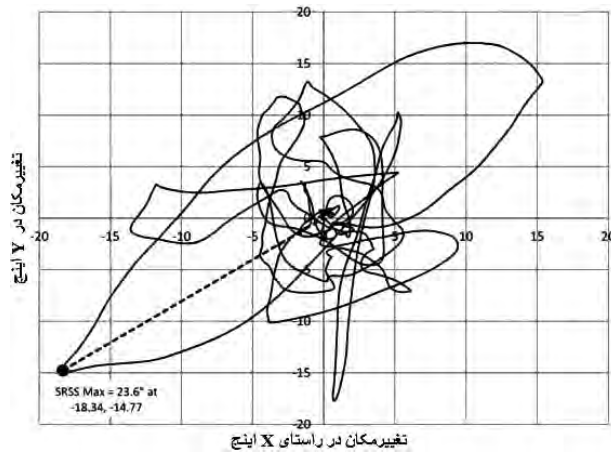
نسبت سختی سخت شوندگی Bispec، نسبت سختی ثانویه به سختی اولیه است. این نسبت برای مدل دو خطی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{k_h}{k_1} = \frac{0.006\ k \cdot in}{0.0641\ k \cdot in} = 0.0936$$

تحلیل Bispec برای تمام هفت زوج حرکت زمین انجام شده و نتایج تغییرمکان X و Y به صفحه گسترده وارد می شوند. میانگین حداکثرهای SRSS برای تمام زوج های حرکت زمین بر اساس ASCE 7 بخش ۱۲، ۳، ۱، ۲ محاسبه می شوند. نتایج در جدول ۱-۶ ارایه شده اند. محدوده تغییرمکان برای یک رکورد در شکل ۱-۸ نمایش داده شده است.

جدول ۱-۶. تغییرمکان‌های حداکثر SRSS از محاسبات نمونه Bispec

تغییرمکان SRSS حداکثر (اینچ)	رکورد
۱۸,۲	۱۸۷
۹,۲	۴۵۸
۱۶,۴	۵۴۹
۲۳,۶	۷۲۸
۲۸,۷	۸۶۴
۳۳,۶	۱۱۵۸
۱۸,۳	۱۷۵۱
۲۱,۱	میانگین حداکثرها

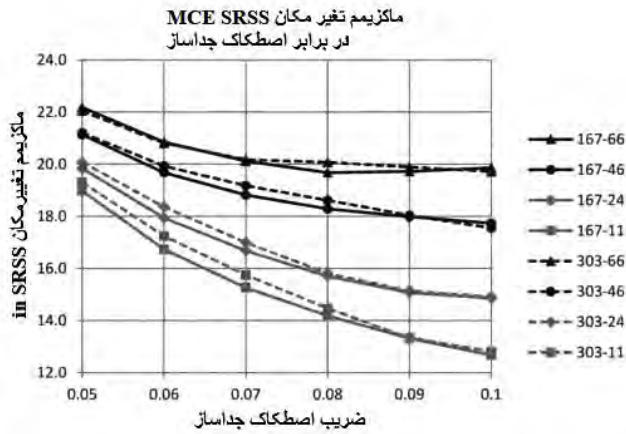


شکل ۱-۸. نمودار تغییرمکان برای رکورد ۷۲۸

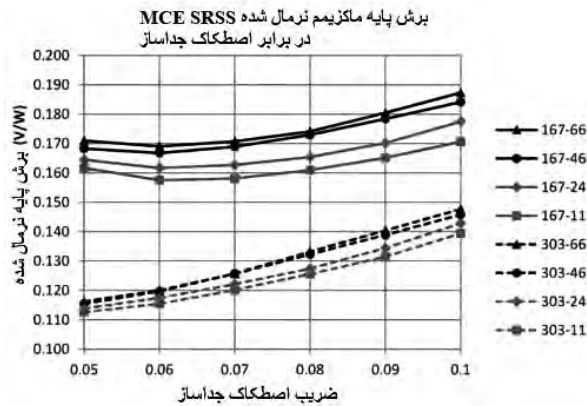
ضریب برش پایه در حداکثر تغییرمکان SRSS را می‌توان از نمودار نیرو - تغییرمکان نرمال شکل ۱-۷ با استفاده از روابط زیر به دست آورد:

$$V = \mu + \frac{1}{R_{\text{eff outer}}} \times (u_{\text{MAX SRSS}}) = 0.042 + \frac{1}{167} \times 21.1 = 0.168 W$$

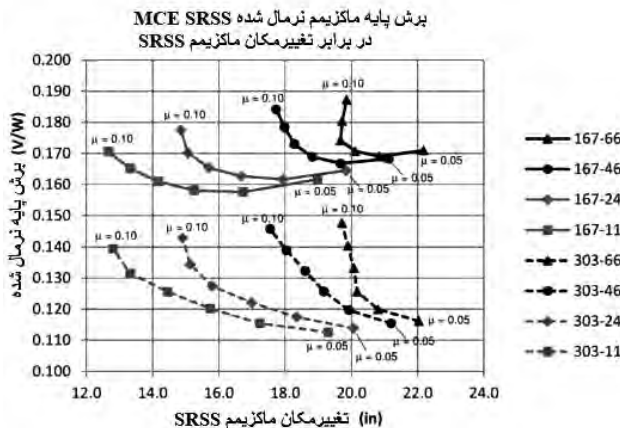
تحلیل فوق برای تمام جایگشت‌های مشخصات جداساز در نظر گرفته شده تکرار می‌شود. نتایج در نمودار شکل ۱-۹ تا ۱-۱۱ ارائه شده است.



شکل ۹-۱. میانگین تغییر مکان SRSS حداکثر FP-4 برای MCE بر حسب ضریب اصطکاک



شکل ۱۰-۱. میانگین برش پایه نرمال شده FP-5 برای MCE بر حسب ضریب اصطکاک



شکل ۱۱-۱. میانگین برش پایه نرمال شده FP-6 برای MCE بر حسب ضریب اصطکاک

نتایج تحلیل اولیه

نتایج تحلیل اولیه در شکل ۱-۱۱ آمده است، که در آن اثرات هندسه تکیه گاه و اصطکاک مختلف بر برش پایه و تغییرمکان را می توان مشاهده نمود. شعاع موثر خارجی ۳،۳ اینچ، شعاع موثر داخلی ۱۱ اینچ و تکیه گاه اصطکاک ۷ درصد بهترین گزینه برای برآورده کردن هدف نهایی طراحی برای به حداقل رساندن برش پایه و محدود کردن تغییرمکان ها در MCE خواهند بود؛ بدین علت که این گزینه پایین تر از گوشه راست نمودار قرار گرفته و تعادل را بین برش پایه و تغییرمکان پایین برقرار کرده است. با این حال این طراحی تکیه گاه باید برای الزامات حداقل سختی در ASCE 7 بخش ۱۷،۲،۴،۴ کنترل شود.

تحلیل بیشتر در سطح خطر DE (در این مثال نیامده است) نشان می دهد که تغییرمکان حداکثر SRSS در سطح خطر DE (همان زلزله طرح یا DBE) تقریباً ۹ اینچ است. بر اساس ASCE 7 بخش ۱۷،۵،۳،۵ و بحث های بخش ۱۷،۳ این مثال، D_{TD} تقریباً ۱،۱ برابر این مقدار است.

مقررات ASCE 7 بخش ۱۷،۲،۴،۴ را می توان با استفاده از نمودار نیرو - تغییرمکان نرمال و مقدار $D_{TD} = 9.9 \text{ in} = 1.1 \times 9 \text{ in}$ کنترل کرد. تغییرمکان تسلیم برای سطح لغزنده بیرونی بر اساس رفتار تکیه گاهی واقعی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$u^* = (\mu_{\text{outer}} - \mu_{\text{inner}}) \times R_{\text{eff inner}} = (0.07 - 0.02) \times 11 \text{ in} = 0.55 \text{ in}$$

ضریب نیروی نرمال در D_{TD} :

$$\mu_{D_{TD}} = \mu_{\text{outer}} + (D_{TD} - u^*) = 0.07 + (9.9 - 0.55) = 0.10$$

ضریب نیروی نرمال شده در D_{TD} ۵۰٪:

$$\mu_{50\% D_{TD}} = \mu_{\text{outer}} + (D_{TD} - u^*) = 0.07 + (0.5 \times 9.9 - 0.55) = 0.085$$

مقایسه دو مقدار با ASCE 7 بخش ۱۷،۲،۴،۴:

$$\mu_{D_{TD}} = 0.10 < \mu_{50\% D_{TD}} + 0.025 = 0.085 + 0.025 = 0.11 \quad (\text{حاکم نیست})$$

الزام حداقل سختی ASCE 7 بخش ۱۷،۲،۴،۴ ارضاء نشده است، بنابراین باید از دیگر پیکربندی های تکیه گاه استفاده شود.

یادداشت هایی در مورد ASCE 7 بخش ۱۷،۲،۴،۴

الزامات بخش ۱۷،۲،۴،۴ از ASCE 7 تنها با حاشیه کوچکی حاکم هستند. معمولاً این الزامات حاکم نیستند. این الزام در طراحی اولیه برای پیکربندی تکیه گاه کنترل شد و باید در طراحی نهایی تایید شود.

ASCE 7 مشخص نکرده است که D_{TD} باید از تحلیل برگرفته شود یا از D_{TD} حداقل آیین نامه در بخش ۱۷،۵،۳،۵ از ASCE 7. این مثال از D_{TD} تغییرمکان تحلیل اولیه استفاده می کند؛ هر چند می توان از جایگشت های دیگر هم استفاده کرد. این تفسیر در حالتی که تغییرمکان به دست آمده از تحلیل و معادلات حداقل آیین نامه ای با هم تفاوت بیشتری داشته باشند، ممکن است تاثیر بیشتری بر طراحی داشته باشد.

در این مثال تکیه گاه اصطکاک پاندولی سه قوسی با شعاع خارجی موثر ۱۶،۷ اینچ، شعاع موثر داخلی ۱۱ اینچ، ضریب اصطکاک اسمی سطح لغزنده داخلی ۰،۰۲ و ضریب اصطکاک اسمی سطح لغزنده خارجی ۰،۰۸ انتخاب شده است. بر اساس طراحی اولیه فوق، میانگین تغییرمکان حداکثر SRSS جداساز برای MCE با این مشخصات ۱۴،۲ اینچ و ضریب برش پایه SRSS حداکثر برای MCE برابر 16.0 in است. پرود TFP

با تغییر مکان تغییر می کند؛ اما این ویژگی ها متناظر با پریرود موثر سیستم جداساز تقریبی ۳ ثانیه در MCE بیشینه و ۲٫۶ ثانیه در DE است (محاسبات بخش ۲٫۲٫۲ را ملاحظه فرمائید). این ویژگی ها احتمالاً هدف طراحی نهایی برای به حداقل رساندن برش پایه و در عین حال محدود کردن تغییر مکان در MCE را برآورده می کنند. این فرآیند انتخاب، اثرات تغییر مکان جانبی بین طبقات روسازه یا شتاب های طبقات را در نظر نمی گیرد، اما برای ارزیابی مشخصات سیستم جداساز برای این پارامترها می توان تحلیل های بیشتری انجام داد.

تعیین بارهای محوری جداساز

تخمین محدوده بارهای محوری که جداساز باید تحمل کند در طراحی اولیه برای مهندس مفید است. دوباره دو روش برای تعیین بارهای محوری ارایه خواهد شد که هر دوی آن ها ادامه فرآیند بیان شده در بخش ۴٫۲ هستند.

تعیین بارهای محوری جداسازها برای سیستم سربی - لاستیکی

بارهای عمودی جداساز را می توان به صورت مستقیم از مدل اولیه ETABS به دست آورد. بارهای لرزه ای با استخراج حداکثر مقدار ناشی از رکوردهای حرکت زمین MCE و میانگین گیری از آن ها به دست می آیند. این بارها در جدول ۱-۷ فهرست شده اند.

جدول ۱-۷. خلاصه بارهای اولیه جداساز

ترکیب بار	خطر و محدودیت	جداساز داخلی (GL)	جداساز پیرامونی (GL)
		(۳/C)	(۱/E)
۱٫۴D	-	۶۳۴	۳۱۸
1.2D + 1.6L + 0.5L _r	-	۸۹۴	۳۸۸
1.2D + 1.6L _r + 0.5L	-	۶۶۹	۳۱۴
1.2D + 1.6L + E _M + E _{VM}	اسمی /MCE	N/A	۸۵۱

در این مرحله توصیه می شود که مدل اولیه هم کنترل گردیده تا در صورت ایجاد نیروی کششی در هر کدام از جداسازها، این موضوع مشخص شود. کشش و برکنش جداسازها یک نگرانی بزرگ است و باید در مراحل اولیه فرآیند طراحی ارزیابی شود؛ زیرا ممکن است تاثیر زیادی بر سیستم جداساز انتخابی و یا چیدمان سیستم جداساز داشته باشد. نتایج اولیه NLRHA در ETABS نشان دهنده نیروهای کششی بزرگ در جداسازهای پیرامونی گوشه است. معمولاً جداسازهای LRB می توانند در برابر نیروهای کششی تا ۱۰۰ psi مقاومت کنند (باید توسط تولید کننده تایید شود). نتایج نیروی کششی تحلیل اولیه از این محدوده تنش بیشتر می شود. با این نتایج اولیه می توان انتخاب های زیر را انجام داد:

۱. کنترل تنش کششی به دست آمده و در صورت قرار گرفتن در محدودیت قابل قبول تولید کننده، ادامه طراحی.
۲. پیکربندی مجدد چیدمان قاب و یا ابعاد ساختمان برای به حداقل رساندن یا حذف کشش/ برکنش در جداسازها.

۳. حفظ پیکربندی موجود و ایجاد قیدهای کششی در جداسازهایی که مشکل کشش دارند. این کار را می‌توان با استفاده از تکیه گاه های خطی ضربدری یا انواع وسایل دیگر انجام داد؛ برای اطلاع از انتخاب های موجود با تولید کننده مشورت کنید.

۴. محدود کردن برکنش LRB به $3/4$ اینچ (باید توسط تولید کننده تایید شود). LRB ها می‌توانند مقدار کمی برکنش را تحمل کرده و قابلیت های محصور شدگی و تغییر مکان خود را هم حفظ کنند. برای این مثال از گزینه ۴ استفاده شده است. مدل ETABS برای امکان کنترل برکنش در جداسازها با اضافه کردن المان Gap رابط غیرخطی در زیر لینک های جداساز پیرامونی، اصلاح شد. این روش مدل سازی برکنش مفید نشده کششی در جداسازها را حذف نموده و گزارش دادن محافظه کارانه مقادیر تغییر مکان برکنش در جداسازهای پیرامونی را با فرض عدم وجود قید عمودی میسر می‌کند. تعیین مقاومت برکنش جداساز برای تکیه گاه های الاستومری در حال حاضر امکان پذیر نیست. سختی مودال واقعی تکیه گاه های جداساز با تغییر مکان افقی متغیر است و در نرم افزار کنونی هم در نظر گرفته نشده است.

بارهای جداساز گوشه و پیرامون بین مدل های LR و FP متفاوت است. زیرا جداسازهای پیرامونی در مدل LR سختی عمودی متفاوتی نسبت به جداسازهای داخلی دارند. جداسازهای گوشه در مدل LR جداسازهای سربی لاستیکی هستند (مثلاً خط شبکه $1/E$) و جداسازهای پیرامونی غیر گوشه ای لاستیکی ساده هستند (مثلاً خط شبکه $1/D$). جداساز سربی لاستیکی سختی عمودی بیشتری نسبت به جداساز لاستیکی ساده دارد و بنابراین بار عمودی بیشتری در گوشه ها جمع می‌شود. جداسازهای مدل FP تماماً سختی عمودی یکسانی دارند.

تعیین بارهای محوری جداساز برای سیستم اصطکاکی پاندولی

برای تخمین بارهای جداساز می‌توان از محاسبات دستی ساده یا مدل های کامپیوتری پیچیده استفاده کرد. محاسبات دستی ممکن است از مساحت مثلثی برای بارهای زنده و مرده و ضریب های برش پایه (که در بخش ۴,۲,۲ تعیین شدند) و ترازهای قاب برای نیروهای واژگونی لرزه ای استفاده کنند. با وجود اینکه الزامی وجود ندارد، در این مرحله ممکن است ایجاد یک مدل کامپیوتری سه بعدی اولیه به جای استفاده از روش استاتیکی ارائه شده در فوق، راحت تر باشد. انجام این کار منجر به تولید نتایج دقیق تر (که برای سازه های پیچیده تر لازم باشد) شده و فرصتی برای شروع مدل کامپیوتری مورد نیاز در بخش ۶ به حساب می‌آید.

برای این مثال یک مدل سه بعدی ETABS با بارهای جانبی استاتیکی برای تخمین بارهای جداساز ایجاد شد. مدل به گونه ای ایجاد شده است که نشان دهنده هندسه ساختمان و بارهای جانبی نشان داده شده در ضمیمه ۵,۱ باشد؛ با این تفاوت که سیستم جداساز در برابر انتقال گیردار است. یک تحلیل استاتیکی یک جهته با استفاده از برش پایه MCE تعیین شده در تحلیل اولیه، $0.16W$ ، با توزیع نیروی عمودی مشابه معادله ۱۷,۵-۹ در ASCE 7 انجام شده است. عکس العمل های جداساز از انواع جداساز معمول به دست آمده از مدل در جدول ۱-۸ فهرست شده اند. نیروهای زلزله در سطح MCE هستند و در یک جهت اعمال شده اند. برای سادگی در این مثال بار زنده با حداکثر کاهش مجاز ۶۰٪ بر اساس بخش ۴,۲,۲ از ASCE 7 و بار زنده سقف با حداکثر کاهش مجاز ۴۰ درصد بر اساس بخش ۴,۲,۲ از ASCE 7 کاهش پیدا کرده اند.

مانند مثال سربی لاستیکی، برکنش جداساز را می توان با مقایسه نیروهای استاتیکی برکنش جداساز با بارهای مرده مقاوم ارزیابی کرد.

جدول ۱-۸. خلاصه بارهای اولیه جداساز

ترکیب بار	خطر و محدودیت	جداساز داخلی (GL) (۳/C)	جداساز پیرامونی (GL) (۱/E)
$۱.۴D$	-	۶۳۴	۲۸۷
$1.2D + 1.6L$ $+ 0.5L_r$	-	۸۹۴	۳۴۷
$1.2D + 1.6L_r$ $+ 0.5L$	-	۶۶۹	۲۸۳
$1.2D + 1.6L + E_M$ $+ E_{vM}$	اسمی /MCE	N/A	۷۸۳

هماهنگی با تولید کنندگان

تماس با تولید کننده(گان) جداساز

اهداف طراحی بخش ۳ و طراحی اولیه جداساز در بخش ۴ را می توان به یک یا چند تولید کننده جداساز داد. توصیه می شود با تولید کنندگان چند نوع جداساز تماس بگیرید؛ زیرا بعضی از سیستم های جداساز برای بعضی از کاربردها مناسب تر هستند و این موضوع باعث ایجاد فضای مناقصه رقابتی می شود. اطلاعات زیر هم برای ارایه به تولید کننده(گان) مفید هستند:

- طرح ساختمان
- کاربری ساختمان
- موقعیت مکانی و خطر لرزه ای
- برنامه زمانی پروژه
- توزیع خاص بارهای جداساز
- ذکر کردن در صورت کاهش بارهای زنده
- ذکر کردن سطح بارهای ارایه شده (LRFD، ASD، DBE یا MCE)
- مشخصات سیستم جداساز و فرضیاتی که برای تحلیل اولیه انجام شده است.
- نوع روسازه
- پیوند پایه گیردار تخمین زده شده
- جزئیات مورد انتظار اتصال بین جداسازها و سازه

۵.۲. دریافت اطلاعات در مورد محصول پیشنهادی از تولید کننده

تولید کننده می تواند با استفاده از اطلاعات بخش ۵.۱ و مذاکره با مهندس طراح، جداساز خاصی که از نظر او برای پروژه مناسب است را پیشنهاد بدهد.

گرفتن اطلاعات زیر از تولید کننده می تواند سودمند باشد:

- هندسه، ویژگی ها و حلقه هیستریسیس جداساز

- نقشه های نصب و اجرای جداساز
- داده های آزمایشی پیشین
- اطلاعات هزینه ای
- حدود (کران) بالا و پایین مشخصات تکیه گاه

ضرایب اصلاح ویژگی تکیه گاه

تولید کننده حدود بالا و پایین مشخصات جداساز را ارایه می نماید. روشن شدن منبع تفاوت های ویژگی برای طراح مهم است. منابع احتمالی شامل تغییرات در چرخه های مختلف یک آزمایش نمونه، سرعت آزمایش یک نمونه، تغییرات در تکیه گاه ها به دلیل تولید یا تغییرات در یک نوبت تولید و تغییرات بین نوبت های تولید مختلف هستند. از این ویژگی ها گاهی به عنوان «هدف» یاد می شود، زیرا مقادیر دقیق آن ها با آزمایش نمونه اولیه تایید می شوند (مگر این که داده های قبلی مشابهی در اختیار باشد). مهندس طراحی باید دیگر منابع تغییرات ویژگی که مربوط به سازنده نیستند را هم در نظر بگیرد. در مورد این موارد در بخش ۶,۱ بحث شده است.

برای سادگی در این مثال فرض می شود که تولید کننده همان طراحی های جداسازی را توصیه می کند که در بخش ۴ تعیین شده است.

۱. تحلیل ساختمان با مشخصات تکیه گاه (جداساز) پیشنهادی

یک مدل ETABS سه بعدی تفصیلی برای نمایش هندسه و بارهای ساختمان نشان داده شده در ضمیمه ۵,۱ ایجاد شده است. (برای سیستم LR این مدل در هنگام طراحی اولیه ایجاد شد؛ برای سیستم FP این کار ادامه مدل ایجاد شده در بخش ۴,۳ خواهد بود) سیستم جداساز مدل با استفاده از روش های زیر و روسازه با قاب خطی و اعضاء دال نمایش داده شده است. حالات NLRHA با استفاده از زوج های حرکت زمین بخش ۲ تعریف شده اند.

مشکلات مدلسازی کامپیوتری

NLRHA یک ساختمان جداسازی شده پیچیده است. طراح باید توجه زیادی به روش ها و تنظیمات موجود در برنامه های تحلیلی امروزی داشته باشد. قویاً توصیه می شود که مهندس طراح خارج از برنامه تحلیلی اعتبارسنجی مستقل انجام دهد تا مطمئن شود که NLRHA نتایج منطقی ایجاد می کند. روش های تحلیلی مورد استفاده در بخش اولیه این سند را می توان برای این اعتبارسنجی استفاده کرد. برنامه های خاص دیگری مانند 3D-BASIS هم وجود دارد.

هر سکوی تحلیل ممکن است به تنظیمات خاصی نیاز داشته و به مهندس طراح توصیه می شود که تمام انتخاب های انجام شده برای ایجاد مدل را کاملاً درک گردد. برای این مثال از روش تحلیل غیرخطی سریع (FNA) به دلیل سرعت و دقت محاسباتی آن در این برنامه استفاده می شود. Sarlis و Constantinou (۲۰۱۰) بحث مفیدی در مورد مدیریت میرایی جداسازها، به خصوص در ETABS، انجام داده اند. دیگر برنامه های تحلیلی که می توان استفاده کرد هم باید به طریق مشابه تایید شوند.

توصیه می شود که مهندس طراحی حساسیت نتایج تحلیل به تنظیمات برنامه تحلیلی را بررسی کند. این کار را می توان با تغییر دادن تنظیمات و کنترل پاسخ پارامترهای کلیدی انجام داد. یک مثال از اهمیت این موضوع انتخاب تعداد صحیح مودها برای استفاده در تحلیل مودال مورد نیاز برای FNA است. برای اطمینان از این که تغییر پرپود حفظ شده است، ساختمان جداسازی شده معمولاً برای داشتن پاسخ الاستیک یا نزدیک به الاستیک طراحی می شود. مدل تحلیلی مورد استفاده در این مثال این موضوع را با مدلسازی روسازه به صورت الاستیک و متمرکز کردن تمام غیرخطی بودن در اعضاء جداساز منعکس می کند. برش در سیستم های FP متناسب با بار عمودی تحمل شده است و بنابراین جرم و وزن مدل ساختمان باید به گونه ای باشد که نیروهای داخلی توسط نیروهای اصطکاکی جداساز صحیحی تحمل شوند. همچنین درک نحوه محاسبه نیروهای P-delta جداسازها توسط برنامه هم برای مهندس طراح مهم است. برای این مثال میرایی مودال ۲ درصد میرایی بحرانی در تمام مودها در نظر گرفته شده است. فرضیات دیگر نیز می توانند مناسب باشند.

معمولاً NLRHA بدون ورودی تحریک در جهت Z و برای اضافه شدن اثرات تحریک عمودی الزامی آیین نامه (مثلاً $0.2S_{DS}$) روی نتایج NLRHA انجام می شود. در این مثال از این روش استفاده شده است. روش های دیگری هم وجود دارد.

محاسبات ویژگی رابط ETABS

ETABS اعضاء رابط داخلی برای نمایش تکیه گاه های LR و FP دارد. این اعضاء در ETABS به ترتیب با نام های «جداساز ۱» و «جداساز ۲» تعریف شده اند. این اعضاء نیازمند ورودی های مختلف بر اساس مشخصات تکیه گاه هستند. محاسبات زیر نحوه تعیین مشخصات رابط را روشن می کنند.

تحلیل محدودیت

بخش ۱۷،۲،۴،۱ ملزم می نماید که طراحی سیستم جداساز اثرات عوامل محیطی و افزایش سن را در نظر بگیرد. با وجود اینکه در ASCE 7 عنوان نشده است، یک راه معمول برای به دست آوردن این اثرات برای مهندس طراح انجام یک دسته تحلیل و طراحی های موازی برای مشخصات متغیر سیستم جداساز است. تحلیل ها معمولاً برای مشخصات حد بالا و پایین جداساز انجام می شود؛ معمولاً تحلیل حد بالا نیروهای عضو بزرگتر و تحلیل حد پایین تغییر مکان جداساز بزرگتری ایجاد می کند. محدوده ویژگی ها برای انواع تکیه گاه، شرایط نصب و سازندگان متفاوت است. در این مثال از مقادیر و روشهای معمول برای محدودیت استفاده می شود؛ زیرا آیین نامه الزامی را تعیین نمی کند. برای کاربردهای خاص باید با تولید کننده مشورت کرد.

تعیین مشخصات رابط برای مدلسازی جداساز LRB در ETABS

برای توسعه مشخصات مبنای المان LINK «جداساز ۱» در ETABS بخش ۱۷،۲،۴،۱ را ملاحظه فرمائید. برای این مثال مشخصات مینا برای سختی جانبی و نیروی جاری شدن به اندازه $+25$ درصد/ -15 درصد تغییر کرده اند، تا تغییرات مربوط به ASCE 7 بخش ۱۷،۲،۴،۱ در نظر گرفته شوند. این کار با تغییر اندازه مدول برشی لاستیک (G) و تنش تسلیم سرب (F_y) برای در نظر گرفتن تغییرات احتمالی در مشخصات مصالح تکیه گاهی، ساخت و تغییرات در ویژگی ها به دلیل افزایش سن (سالخوردگی) لاستیک انجام می شود. در

۲۵+ درصد / ۱۵- درصد یک +/- ۵ درصد برای تغییرات آزمایش و تولید جای داده شده است، یعنی نتایج آزمایش مقیاس واقعی از مشخصات جداساز تخمین زده شده و تکیه گاه های تولیدی برای پروژه با کمی تغییر از نمونه واقعی ساخته شده است. مشخصات حد بالا و پایین جداساز در جدول ۱-۹ و ۱-۱۰ فهرست شده است.

جدول ۱-۹. مشخصات حد بالا تکیه گاه سیستم جداساز LR

Δ' (in)	EDC (k/in)	K_{eff} (k/in)	K_1 (k/in)	K_2 (k/in)	Q_d (k)	تعداد تکیه گاه ها	نوع تکیه گاه
۱۳.۵	۴۵۳۸	۱۱.۲۴	۱۰.۹	۴.۶	۸۹.۸	۸	LRB
۱۳.۵	۰	۵.۱۴	۵۰.۱۴	۵.۱۴	۰	۲۴	NR
-	۳۶۳۰.۴	۲۱۳	۲۰.۷۵	۱۶۰	۷۱۸	مرکب	

نکته: تغییر مکان اصلی از تحلیل اولیه برای تعیین EDC و K_{eff} استفاده شدند.

جدول ۱-۱۰. مشخصات حد پایین تکیه گاه سیستم جداساز LR

Δ' (in)	EDC (k/in)	K_{eff} (k/in)	K_1 (k/in)	K_2 (k/in)	Q_d (k)	تعداد تکیه گاه ها	نوع تکیه گاه
۱۳.۵	۳۰۹۶	۷.۷	۷۴.۲	۳.۱	۶۱.۳	۸	LRB
۱۳.۵	۰	۳.۵	۳۴.۱	۳.۵	۰	۲۴	NR
-	۳۴۷۶۸	۱۴۵	۱۴۱۳	۱۰.۹	۴۹۰	مرکب	

توجه: از تغییر مکان اصلی به دست آمده از تحلیل اولیه برای تعیین EDC و K_{eff} استفاده شده است. پارامترهای ورودی برای المان LINKETABS باید متناظر با مشخصات حد بالا و پایین تکیه گاه باشند. حدود بالا و پایین پارامترهای ورودی ETABS در جدول های ۱-۱۱، ۱-۱۲ و ۱-۱۳ فهرست شده اند.

جدول ۱-۱۱. نام ویژگی، جرم و وزن رابط LR

نام ویژگی ETABS	نوع	جرم ($k/in/s^2$)	وزن (k)	اینرسی دورانی ۱	اینرسی دورانی ۲	اینرسی دورانی ۳
LRB	جداساز ۱	۰	۵	۰	۰	۰
NRB	جداساز ۲	۰	۵	۰	۰	۰

جدول ۱-۱۲. مشخصات حد بالای تکیه گاه سیستم جداسازی LR

ویژگی	LRB	NRB
سختی موثر خطی U2/U3	۱	۱
میرایی موثر خطی U2/U3	۰	۰
سختی غیرخطی u2/u3	۱۰۸.۹۹	۵.۱۴
مقاومت تسلیم غیرخطی U2/U3	۹۳.۷۱	۰
نسبت سختی پس از تسلیم U2/U3	۰.۰۴۲۱	۱
سختی موثر خطی U1	۷۰.۲۵	۵۸.۰۹
میرایی موثر خطی U1	۰	۰

جدول ۱-۱۳. مشخصات حد پایین رابطه تکیه گاه سیستم جداساز LR

NRB	LRB	ویژگی
۱	۱	سختی موثر خطی U2/U3
۰	۰	میرایی موثر خطی U2/U3
۳,۵	۷۴,۲	سختی غیرخطی u2/u3
۱	۶۳,۹۴	مقاومت تسلیم غیرخطی U2/U3
۱	۰,۰۴۲۱	نسبت سختی پس از تسلیم U2/U3
۴۴۵۱	۵۳۸۲	سختی موثر خطی U1
۰	۰	میرایی موثر خطی U1

یادداشت:

- (۱) اینرسی دورانی برای ساده شدن تحلیل و ورودی رابط صفر تنظیم شده است. اینرسی دورانی هیچ تاثیری بر خروجی ندارد و این موضوع با تغییر این مقادیر تایید شده است.
- (۲) منبع جرم بارهای مدل است، بنابراین هیچ جرمی در اینجا اختصاص داده نشده است.
- (۳) فرض شده است که تنها میرایی مودال و هیستریسیس در میرایی تاثیر دارند، پس هیچ میرایی اضافی در تعریف المان LINK در نظر گرفته نشده است.
- (۴) نیروهای P-delta موضعی باید در نظر گرفته شده و تنظیمات P-delta برای رابط باید متناظر با آن انجام شود.
- (۵) سختی موثر خطی برای تحلیل غیرخطی یک در نظر گرفته شده است تا از تشکیل صحیح ماتریس میرایی برای تحلیل در ETABS اطمینان حاصل شود. نوار تفسیر تحلیل را ملاحظه فرمائید.
- (۶) تکیه گاه های لاستیکی ساده مولفه تسلیم ندارند و بنابراین این مقدار صفر است. برای این که این تکیه گاه در تحلیل غیر خطی در نظر گرفته شود، یک عبارت غیرصفر در این فیلد الزامی است. برای این تحلیل، از مقدار kip استفاده شده است.

تعیین مشخصات رابط برای مدل سازی FP در ETABS

مشخصات رابط ETABS بر اساس نتایج طراحی اولیه جداساز محاسبه شده اند:

$$R_{\text{eff inner}} = 11 \text{ in}$$

$$R_{\text{eff outer}} = 167 \text{ in}$$

$$\mu_{\text{target inner}} = 2\%$$

$$\mu_{\text{Target outer}} = 8\%$$

وزن جداساز = ۵ kips (فرض شده؛ تایید شده توسط سازنده)

اصطکاک جداساز برای طراحی

تحلیل اولیه یک دسته تخمین از مشخصات هدف جداساز که عملکرد خوبی خواهد داشت را تعیین کرد؛ با این حال ASCE 7 بخش ۱,۲,۳,۴,۱۷ در نظر گرفتن شرایط محیطی که می تواند بر عملکرد تکیه گاه تاثیر بگذارد را الزامی می کند. ضرایب اصلاح ویژگی معمولاً به مقادیر اصطکاک هدف مورد استفاده برای طراحی اعمال می شوند تا تغییرات احتمالی در اصطکاک در هنگام وقوع زلزله در نظر گرفته شود. (ظرفیت تغییر مکان

تکیه گاه و شعاع سطوح لغزنده با ضریب اطمینان بالایی معلوم فرض شده اند، بنابراین ضرایب اصلاح به این ویژگی ها اعمال نشده اند). ضریب اصلاح اصطکاک برای شرایط تکیه گاه خاص را می توان در مقاله Constantinou و همکاران (۲۰۰۷) پیدا کرد. ضرایب جدول ۱-۱۴ در این مثال فرض شده اند.

جدول ۱-۱۴. ضرایب اصلاح ویژگی اصطکاک

منبع تغییر	حد پایین	حد بالا
اثرات افزایش سن - λ_a	۱.۱۰	۱.۰۰
اثرات آلودگی - λ_c	۱.۰۵	۱.۰۰

به علاوه ضرایب اصلاح ویژگی متعددی می توان به مقادیر اصطکاک هدف اعمال کرد تا عدم قطعیت در آزمایش نمونه اولیه جداساز و فرآیند آزمایش تولید جداساز در نظر گرفته شود. این مقادیر باید توسط سازنده تایید شوند. اگر فرآیند طراحی بعد از فاز آزمایش انجام شود، ضریب تغییر مربوطه را می توان با مقدار واقعی جایگزین کرد. جدول ۱-۱۵ ضرایب مورد استفاده برای این مثال را فهرست می کند.

جدول ۱-۱۵. ضرایب اصلاح عدم قطعیت آزمایش

منبع تغییرات	حد بالا	حد پایین
$\lambda_{\text{prototype}}$ - تغییر نمونه واقعی تکیه گاه (تغییرات بین اصطکاک هدف و نتایج آزمایش واقعی یا تغییرات در اصطکاک بین چرخه های آزمایش نمونه اولیه)	۱.۰۵	۰.۹۵
$\lambda_{\text{Production}}$ - تغییرات تولید تکیه گاه (تغییر در اصطکاک بین نتایج آزمایش نمونه اولیه و نتایج آزمایش تولید)	۱.۰۵	۰.۹۵

برای این مثال ضرایب اصلاح تنها برای اصطکاک سطح خارجی اعمال شده اند و نه برای اصطکاک سطح لغزنده داخلی؛ زیرا سطح خارجی بزرگترین تاثیر را بر پاسخ سازه ای دارد. فرآیند مشابهی باید برای اصطکاک سطح لغزنده داخلی دنبال شود. با ترکیب مقادیر اصطکاک هدف و ضرایب اصلاح ویژگی مقادیر اصطکاک طراحی به دست می آید:
حد بالا:

$$\mu_{\text{Design,outer,U.B}} = \mu_{\text{Target,outer}} \times \lambda_a \times \lambda_c \times \lambda_{\text{Production}} \times \lambda_{\text{Prototype}} \\ = 0.08 \times 1.10 \times 1.05 \times 1.05 \times 1.05 = 0.102$$

$$\mu_{\text{Design,inner,U.B}} = \mu_{\text{Target,inner}} = 0.02$$

$$\mu_{\text{Design,outer,L.B}} = \mu_{\text{Target,outer}} \times \lambda_a \times \lambda_c \times \lambda_{\text{Production}} \times \lambda_{\text{Prototype}} \\ = 0.08 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.95 \times 0.95 = 0.072$$

$$\mu_{\text{Design,inner,L.B}} = \mu_{\text{Target,inner}} = 0.02$$

محاسبات پیش رو با مشخصات حد بالای تکیه گاه انجام می شوند. محاسبات با استفاده از مشخصات حد پایین هم به صورت مشابه هستند.

انتخاب مدل تکیه گاه

روش های زیادی برای مدلسازی تکیه گاه های پاندولی سه قوسی چندخطی پیشنهاد شده است که از اعضاء رابط پاندولی اصطکاکی دو خطی ETABS با درجات مختلف پیچیدگی استفاده می کنند. مراجع این نوشته به صورت مفصل تر در مورد این روش ها بحث می کنند. در این مثال از عضو «جداساز ۲» منفرد ETABS برای ایجاد تخمین دو خطی از TFP چندخطی استفاده شده است. این تخمین به این دلیل استفاده شده است که یک روش ساده بوده و در عین حال رفتار اساسی تکیه گاه را هم نشان می دهد. مدل دو خطی مورد استفاده در ETABS مشابه مدل مورد استفاده در تحلیل Bispec در شکل ۱-۷ است. خطاها در نیروها و تغییرمکان های مربوط به این مدل تخمینی کوچک هستند، هر چند خطاها در دیگر پارامترهای پاسخ از جمله شتاب می تواند بزرگتر باشند. همانند طراحی اولیه، این مدل تکیه گاه نمی تواند رفتار سخت شدگی که در نزدیکی حداکثر تغییرمکان تکیه گاه رخ می دهد را در نظر بگیرد؛ با این حال این برای طراحی های معمول مشکلی ایجاد نمی کند. قرار گرفتن تغییر مکان های تحلیلی در محدوده کاربرد مدل تکیه گاه باید تایید شود.

مشخصات LINK زیر بر اساس بار میانگین جداساز با فرض این که توزیع بار در تمام جداسازها به اندازه کافی یکنواخت است و مشخصات جداساز تاثیر قابل توجهی نمی پذیرند، محاسبه شده اند. می توان با ایجاد ارتباط بین مشخصات جداساز و بار تحمل شده توسط آن اصلاح بیشتری انجام داد. ETABS سختی اولیه جداساز را به صورت یک مقدار ثابت تعریف می کند که با بار تحمل شده توسط جداساز تغییر نمی کند.

محاسبه مشخصات LINK

$$P_{Avg} = \frac{\text{وزن جداساز}}{2} + \frac{\text{وزن کل ساختمان}}{\text{تعداد کل المانهای Link}} = \text{میانگین بار در هنگام NLRHA}$$

نصف وزن لرزه ای جداساز مستقیماً به زمین منتقل می شود.

$$P_{Avg} = \frac{11770 \text{ kips}}{32} + \frac{5 \text{ kips}}{2} = 370 \text{ kips/Isolator}$$

مشخصات اصطکاک

اصطکاک در تکیه گاه FP با سرعت لغزش تغییر می کند. مقاله Constantinou و همکاران (۲۰۰۷) را برای شرح بیشتر این رفتار مطالعه کنید. المان LINKFP در ETABS مقادیر اصطکاک برای لغزش سریع و کند و یک پارامتر سرعت که گذار بین لغزش سریع و کند را تعریف می کند را می پذیرد. برای این مثال اصطکاک سریع برابر با اصطکاک خارجی طراحی و اصطکاک کند، برابر با نصف اصطکاک سریع تنظیم شده است. پارامتر سرعت هم 2.54 sec.in در نظر گرفته شده است و سرعت با نسبت مساوی با سطوح لغزنده بالا و پایین تکیه گاه در نظر گرفته شده است. در نتیجه پارامتر سرعت $1.27 \text{ sec.in} = 2.54/2$ خواهد بود. برای توضیحات بیشتر در مورد این گزینه ها مراجع را ملاحظه فرمائید.

از بحث های قبلی:

$$\mu^* = (\mu_{\text{Design, outer}} - \mu_{\text{Design inner}}) \times R_{\text{eff inner}} = (0.102 - 0.02) \times 11 \text{ in} \\ = 0.90 \text{ in}$$

$$\mu = \mu_{\text{Design,outer}} - \mu^* \times \left(\frac{I}{R_{\text{eff outer}}} \right) = 0.102 - 0.90in \times \frac{1}{167in} = 0.097$$

(تنظیم برای تغییر مکان صفر)

$$\mu_{\text{Fast}} = 0.097$$

$$\mu_{\text{Slow}} = \frac{\mu_{\text{Fast}}}{2} = \frac{0.097}{2} = 0.049$$

Bispec ضریب اصطکاک را اصطکاک breakaway واقعی در نظر می‌گیرد در حالی که ETABS نسبت را به صورت y-intercept در نظر می‌گیرند).

سختی غیرخطی (افقی)

سختی غیرخطی، سختی اولیه، k_i ، تکیه گاه است. این سختی با استفاده از بار میانگین تکیه گاه محاسبه می‌شود. به شکل ۱-۷ مراجعه نمایید.

$$\frac{\text{Rise}}{\text{Run}} \times \text{سختی غیرخطی} = \text{میانگین بار عمود}$$

از محاسبات قبلی:

$$u_{\text{EQ}}^* = \frac{(\mu_{\text{inner}} - \mu)u^*}{u^* \left(\frac{I}{R_{\text{eff outer}}} \right) - \mu_{\text{outer}}} = \frac{(0.02 - 0.097) \times 0.90}{0.90in \times \left(\frac{1}{167in} \right) - 0.102} = 0.72in$$

ضریب اصطکاک در u_{EQ}^* به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu@u_{\text{EQ}}^* = \mu + \mu_{\text{EQ}}^* \times \frac{I}{R_{\text{eff outer}}} = 0.097 + 0.72in \times \frac{1}{167in} = 0.101$$

$$k_i = P_{\text{Avg}} \times \frac{\mu@u^*}{u_{\text{EQ}}^*} = 370kips \times \frac{0.101}{0.71in} = \frac{52kips}{in}$$

سختی موثر (افقی)

همانطور که در راهنمای مرجع تحلیل CSI هم شرح داده شده است، سختی موثر رابط در واقع برای تحلیل خطی و تحلیل طیف پاسخ استفاده می‌شود. با این حال از آن برای ایجاد ماتریس میرایی برای حالت های تاریخچه زمانی FNA هم استفاده می‌شود. برای پرهیز از ایجاد میرایی اضافی در حالت های تحلیل FNA، توصیه می‌شود که طراح سختی موثر را به مقدار خیلی کمی تنظیم کند تا تحلیل انجام بگیرد (نوار تفسیر تحلیل را ملاحظه فرمائید). اگر قرار به اجرای یک تحلیل طیف پاسخ یا خطی باشد (در این مثال نشان داده نشده است)، سختی موثر باید به مقدار مناسب تعیین شود.

سختی عمودی

سختی عمودی المان LINK به صورت یک فنر خطی تخمین زده می‌شود. سختی فنر متناظر با یک استوانه فولادی فرضی در داخل جداساز با سطح مقطع برابر با کوچکترین قطر هر بخش از جداساز و ارتفاع مساوی با ارتفاع کل جداساز فرض می‌شود. برای این مثال این مقادیر ۱۳ اینچ مربع و ۲۰ اینچ فرض شده اند. مقادیر اختصاصی را باید از تولید کننده به دست آورد. این مثال پی صلب را در زیر جداسازها در مدل تحلیلی فرض می‌کند (بدون انعطاف پذیری پی).

ارتفاع تکیه گاه = ۲۰ اینچ (فرض شده)

مساحت سطح مقطع معادل = 13 in^2 (با فرض شعاع ۲ اینچ)

$$E = 29,000 \text{ ksi}$$

$$K_{\text{Vertical}} = \frac{E \times A}{L} = \frac{29,000 \times 13}{20} = 19,000 \text{ k/in}$$

اینرسی دورانی

اینرسی دورانی المان LINK تاثیر قابل چشم پوشی بر نتایج تحلیل دارد، اما ممکن است برای همگرایی تحلیل اهمیت داشته باشد. اینرسی دورانی جداول به صورت یک صفحه صلب با شعاعی برابر با شعاع جداول تخمین زده می شود. برای این مثال شعاع تکیه گاه ۲۴ اینچ فرض شده است:

$$I_z \approx \frac{mr^2}{2} = \frac{5 \text{ kips}}{386.4 \frac{\text{in}}{\text{sec}^2}} \times \frac{24 \text{ in}^2}{2} = 3.7 \text{ k/in. s}^2$$

$$I_x = I_y \approx \frac{mr^2}{4} = \frac{5 \text{ kips}}{386.4 \frac{\text{in}}{\text{sec}^2}} \times \frac{24 \text{ in}^2}{4} = 1.9 \text{ k/in/s}^2$$

جدول ۱-۱۶ تا ۱-۱۸ مشخصات رابط مورد استفاده در ETABS برای تحلیل حد بالا و پایین را خلاصه کرده اند.

جدول ۱-۱۶. نام ویژگی، جرم و وزن

نام ویژگی ETABS	نوع	جرم	وزن	اینرسی دورانی ۱	اینرسی دورانی ۲	اینرسی دورانی ۳
TFP	جداول ۲	۰	۵	۳٫۷	۱٫۹	۱٫۹

جدول ۱-۱۷. مشخصات جهت u1

مشخصات غیرخطی	مشخصات خطی	
سختی (k.in)	میرایی موثر	سختی موثر (k.in)
۱۹۰۰۰	۰	۱۹۰۰۰

جدول ۱-۱۸. مشخصات جهت u2 و u3

مشخصات غیرخطی					مشخصات خطی		حد
شعاع سطح لغزنده (in)	پارامتر سرعت (sec.in)	اصطکاک (سریع)	اصطکاک (کند)	سختی اولیه (k.in)	میرایی موثر	سختی موثر (k.in)	
۱۶۷	۱٫۲۷	۰٫۰۹۷	۰٫۰۴۹	۵۲	۰	۱٫۰	بالا
۱۶۷	۱٫۲۷	۰٫۰۶۹	۰٫۰۳۵	۶۴	۰	۱٫۰	پایین

یادداشت ها:

(۱) واحد ها به kip/in.

(۲) منبع جرم در مدل بارها (From Loads) هستند، پس هیچ جرمی در اینجا اختصاص داده نشده است.

- (۳) میرایی تنها متشکل از میرایی مودی و هیستریتیس هستند و بنابراین هیچ گونه میرایی افزوده در تعریف المان LINK در نظر گرفته نشده است.
- (۴) نیروهای P-delta موضعی جداساز باید در نظر گرفته شوند و تنظیمات P-deltaLink باید متناظر با آن انجام شود.
- (۵) سختی موثر خطی برای تحلیل غیرخطی برابر با یک فرض شده است تا از ایجاد صحیح ماتریس میرایی برای تحلیل در ETABS اطمینان حاصل شود. نوار تفسیر تحلیل را ملاحظه فرمائید.

تحلیل ETABS

دو مدل ETABS متفاوت در این مثال وجود دارند: یکی برای مثال LR و یکی برای مثال FP. مدل‌ها کاملاً یکسان هستند و تنها تعریف مشخصات نمایش دهنده جداسازها با هم متفاوت است. تنظیمات خاص زیادی در ETABS وجود دارد و شرح هر کدام از آن‌ها خارج از محدوده این مثال است. از مقادیر معمول استفاده شده و به طراح توصیه می‌شود که اسناد برنامه را بررسی کند.

حالات تحلیل متفاوت زیادی در مدل ETABS تعریف شده‌اند. یک تحلیل استاتیک برای تعیین بارهای زنده و مرده ای که جداساز باید تحمل کند انجام شده است. یک NLRHA برای تعیین پاسخ ساختمان تحت بارگذاری زلزله انجام شده است. تحلیل با مشخصات حد بالا و پایین و سطوح خطر DE و MCE انجام شده است.

این مثال زوج‌های حرکت زمین را تنها در یک جهت اعمال می‌کند. ممکن است برای بعضی از پروژه‌ها جهت‌های دیگری مناسب باشند. ترکیب‌های بار و سطوح محدودیت که معمولاً حاکم هستند در ادامه ارائه شده‌اند. ترکیب‌های دیگری هم در آیین‌نامه الزامی هستند و باید برای دیگر شرایطی که در نظر گرفته نشده‌اند کنترل شوند.

برای اعمال بارهای زنده به مدل از یک تابع رمپ (ramp function) با طول ۱۰ ثانیه و جست ۵ ثانیه استفاده شده است. جزئیات کامل مدل در فایل‌های مدل مربوط به این مثال وجود دارد. اطلاعات بیشتر را می‌توان در اسناد ETABS یافت.

پارامترهای کلیدی سیستم جداساز برای ترکیب‌های بار 7 ASCE بخش ۲,۳,۲ گزارش شده‌اند. برای مقادیری که شامل پاسخ زلزله هستند، میانگین حداکثرها برای هفت حرکت زمین (رکورد) بر حسب ASCE 7 بخش ۱۲,۳,۱,۲ استفاده شده است. نیروهای زلزله گزارش شده با R_1 کاهش پیدا نکرده‌اند و ضرایب ASCE 7، ρ و Ω برابر با ۱,۰ در نظر گرفته شده است. این مثال بر طراحی سیستم جداساز تمرکز می‌کند، اما نیروها و تغییرمکان‌های روسازه باید به صورت مشابه در نظر گرفته شوند. برای سادگی در این مثال بار زنده با حداکثر مجاز ۶۰ درصد بر حسب ASCE 7 بخش ۴,۷,۲ و بار زنده سقف با حداکثر کاهش مجاز ۴۰ درصد بر حسب ASCE 7 بخش ۴,۸,۲ کاهش پیدا کرده است. بارهای تیغه‌ها تنها به عنوان جرم در نظر گرفته شده‌اند. در ASCE 7 بخش ۱۲,۷,۲,۲ از بارهای نشان داده شده کم شده‌اند. برای شرح بیشتر ترکیب‌های بار مورد استفاده ضمیمه را ملاحظه فرمائید.

استفاده از NLRHA با حدود ویژگی جداساز و سطوح خطر زلزله مختلف می‌تواند منجر به تعداد زیادی داده‌های خروجی شود. تنها چند پارامتر در جداول اینجا آورده شده تا نکات کلیدی روشن گردد. از بارهای جداساز

برای تعیین ظرفیت بار محوری جداساز و طراحی پی استفاده شده است. از تغییرمکان های جداساز برای تعیین ابعاد خندق مورد نیاز و مقایسه با حداقل تغییرمکان های آیین نامه ای استفاده می شود (در بخش ۷ بحث شده است). از برش پایه برای طراحی روسازه و مقایسه با برش پایه حداقل آیین نامه استفاده می گردد (در بخش ۷ بحث شد).

مثال LR ستون های استوانه ای دارد تا امکان زیر زمین کامل در زیر صفحه جداساز وجود داشته باشد. چنین ستون هایی باید ابعادی داشته باشند که بتوانند بارهای محوری، برش جداساز و لنگر های P-delta جداساز به دلیل تغییرمکان جداساز را حمل کنند و با سختی کافی برای تاثیر حداقلی بر پاسخ سیستم جداساز و ساختمان روی آن طراحی شوند. الزامات حداقل مقاومت و تغییرمکان برای این اجزاء در ASCE 7 بخش ۱۷,۵,۴,۱ و ۱۷,۶,۴,۱ برای NLRHA آمده است. طراح باید این ستون ها را در مراحل اولیه در مدل جای دهد تا درک بهتری از تاثیر آن ها بر طراحی و تحلیل سیستم جداساز داشته باشد. برای سازگاری بین دو مدل و نتایج گزارش شده، در این مثال ستون های استوانه ای از مدل ETABS برای LR حذف شده اند.

برکنش جداساز (isolator Uplift)

برکنش در جداسازها یک مشکل جدی است که طراح باید آن ها را کنترل کند، زیرا تمامی جداسازها دارای محدودیت هایی هستند. عموماً در صورت امکان باید از ایجاد برکنش جلوگیری شود. تکیه گاه های LR می توانند مقدار کمی کشش را از طریق لاستیک تحمل کنند؛ اما این تنش کششی محدود است و افزایش آن باعث آسیب به تکیه گاه می شود. تکیه گاه های FP معمولاً اصلاً نمی توانند در برابر کشش مقاومت نمایند؛ بنابراین مقدار محدودی تغییرمکان برکنش قابل قبول بوده که نباید از ارتفاع حلقه نگهدارنده با حاشیه امنیت رضایت بخش بیشتر باشد. در هر دو حالت طراح باید پیکربندی جداسازها یا سازه روی جداسازها را برای محدود کردن یا حذف کشش / برکنش در تکیه گاه ها در نظر بگیرد.

در حال حاضر در مورد مقدار قابل قبول برکنش و نحوه محاسبه آن دستورالعملی در آیین نامه نیست و در ادبیات علمی مربوطه هم دستورالعمل های کمی وجود دارد. این محدودیت را می توان با اطلاعات ورودی از سازنده انتخاب کرد و مقادیر اعلام شده، باید در آزمایش هم تایید شوند. NLRHA معمولاً تنها با تحریک افقی زمین انجام می شود که شتاب های عمودی زلزله را در نظر نمی گیرد. هر چند در این مثال نشان داده نشده است، اما کاهش بار مرده و شتاب های عمودی ممکن است برکنش جداسازها را تحت تاثیر قرار دهد، بنابراین طراح باید روش هایی برای در نظر گرفتن این اثرات در نظر بگیرد. این مثال برای سادگی مقادیر برکنش را مستقیماً از NLRHA گزارش می کند. اگر مشکل برکنش وجود داشته باشد، روسازه یا سیستم جداساز را می توان مجدداً پیکربندی کرد تا برکنش کاهش پیدا کند یا می توان از تکیه گاهی با ظرفیت برکنش بیشتر استفاده کرد.

تکرارهای طراحی (Design Iterations)

در این مثال نتایج با استفاده از مشخصات جداسازی که توسط تولید کننده توصیه شده ارائه شده اند؛ با این حال در شرایط طراحی، برای پیدا کردن مشخصات قابل قبول جداساز نیاز به انجام تکرار شونده باشد. همچنین می توان به جای یک دسته ویژگی استفاده شده در این مثال از چند دسته ویژگی جداساز مربوط به تولید کنندگان مختلف استفاده کرد.

تحلیل سیستم سربی - لاستیکی

جدول های ۱-۱۹ تا ۱-۲۲ نتایج مدل ETABS برای LR را نشان می دهند.

جدول ۱-۱۹. بارهای جداساز انتخابی از مدل تحلیلی (مولفه های زلزله میانگین حداکثر

هفت رکورد هستند)

جداساز پیرامونی خط شبکه ۱/E	جداساز داخلی خط شبکه ۳/C	حد ویژگی جداساز و خطر	ترکیب بار	ترکیب ASCE ۷ بخش ۲،۳،۲ و ۱۷،۲،۴،۶
۳۱۶	۶۳۴	-	1.4D	۱
۳۸۶	۸۹۴	-	1.2D + 1.6L + 0.5L _r	۲
۷۹۲	موجود نیست	DE/ حد بالا	1.2D + 1.0E _{DE} + E _{vDE} + 0.5L	۵
۹۴۶	موجود نیست	MCE / حد بالا	1.2D + 1.0E _{MCE} + E _{vMCE} + 0.5L	۵
۶۶۶	موجود نیست	DE / حد پایین	1.2D + 1.0E _{DE} + E _{vDE} + 0.5L	۵
۸۳۴	موجود نیست	MCE / حد پایین	1.2D + 1.0E _{MCE} + E _{vMCE} + 0.5L	۵

جدول ۱-۲۰. تغییر مکان های جداساز مرکزی (خط شبکه ۳/C) از مدل تحلیلی (میانگین

حداکثر هفت رکورد)

خطر	حد ویژگی جداساز	حداکثر X (اینچ)	حداکثر Y (اینچ)	حداکثر SRSS (اینچ)
MCE	حد پایین	۱۳،۳	۱۱،۴	۱۶
DE	حد پایین	۷،۱	۶،۳	۹،۲
MC	حد بالا	۹،۶	۸،۹	۱۲،۶
DE	حد بالا	۵،۳	۵،۳	۷،۴
MCE	اسمی	۱۱،۷	۱۰	۱۴،۲

جدول ۱-۲۱. برش پایه و برش پایه نرمال برای مدل تحلیلی (میانگین حداکثرهای هفت

رکورد)

خطر	مشخصات جداساز	حداکثر برش پایه (V/W)، (k) X	حداکثر برش پایه (V/W)، (k) Y	حداکثر برش پایه SRSS (k)، (V/W)
DE	حد بالا	1353 (0.114W)	1350 (0.114W)	1622 (0.136W)
DE	حد پایین	1793 (0.151W)	1784 (0.150W)	2114 (0.178W)
MCE	اسمی	موجود نیست	موجود نیست	2474 (0.208W)

جدول ۱-۲۲. حداکثر برکنش هر جداساز گوشه از مدل تحلیلی (میانگین حداکثرهای هفت رکورد)

خطر	مشخصات جداساز	حداکثر برکنش هر جداساز پیرامونی (اینچ)
MCE	حد پایین	۰,۸۷
MCE	حد بالا	۱,۴۴

همانطور که در جدول های ۱-۱۹ تا ۱-۲۲ دیده می شود، از محدودیت برکنش ۳/۴ اینچی اندازه گیری شده در المان های Gap در مدل ETABS تجاوز شده است. بحث مدلسازی المان Gap در بخش ۳,۱,۴ تشریح شده است. با مطالعه بیشتر بحث برکنش، مشخص گردید که بیشتر برکنش ایجاد شده ناشی از یکی از هفت حرکت زمین (رکورد) است. حرکت زمینی که بیشترین برکنش را ایجاد می کند NGA 864 می باشد. بخش حرکت زمین ضمیمه حرکت های زمین انتخابی و مقیاس شده مربوط به آن ها را تشریح می کند. بر اساس شکل A1-4، می توان فهمید که NGA 864 بسیار بزرگتر از طیف هدف MCE در محدوده پیروید مورد نظر (۲,۲۵ تا ۲,۷۵ ثانیه) است. جدول ۱-۲۳ برکنش های حد بالای MCE حاصل از هر رکورد را در خط شبکه ۳/C نشان می دهد. اگر NGA 864 حذف شود، میانگین برکنش حدود ۰,۷۷ اینچ خواهد بود.

جدول ۱-۲۳. برکنش حداکثر در خط شبکه ۳/C از مدل تحلیلی (حداکثر هر حرکت زمین)

شماره رکورد	۱۷۵	۱۸۷	۴۵۸	۵۴۹	۷۲۸	۸۶۴	۱۱۵۸	میانگین
حداکثر تغییر مکان (اینچ)	۰,۲	۰,۹	۰,۵	۱,۷	۰,۹	۵,۵	۰,۴	۱,۴۴

در این مرحله می توان گزینه های زیر را برای تکمیل طراحی در نظر گرفت:

- اصلاح و باریک کردن حدود پیرویدی که حرکات زمین در آن مقیاس شده اند، که می تواند رکورد NGA 864 را به مقادیر طیف سایت در حدود پیروید مورد نظر نزدیک تر نماید.
- هماهنگی با مهندس ژئوتکنیک با در نظر گرفتن تناسب حرکات زمین انتخابی و اصلاح در صورت نیاز.
- در نظر گرفتن قاب یا چیدمان جداساز جایگزین برای کاهش برکنش در ستون ها و/یا کاهش برش پایه در سیستم.

تناسب خوبی بین این نتایج و نتایج اولیه ETABS در بخش ۱,۲,۴ و ۱,۳,۴ وجود دارد.

تحلیل سیستم اصطکاکی پاندولی

جدول های ۱-۲۴ تا ۱-۲۷ نتایج مدل ETABS را نشان می دهند.

جدول ۱-۲۴. بارهای جداساز انتخابی از مدل تحلیلی

(مولفه های زلزله میانگین حداکثرهای هفت رکورد هستند)

ترکیب ASCE	ترکیب بار	حد ویژگی جداساز و خطر	جداساز داخلی	جداساز پیرامونی
۷ بخش ۲,۳,۲ و ۱۷,۲,۴,۶			خط شبکه ۳/C	خط شبکه ۱/E
۱	1.4D	-	۶۳۴	۲۸۷

۳۴۷	۸۹۴	-	$1.2D + 1.6L + 0.5L_T$	۲
۷۲۴	موجود نیست	DE/ حد بالا	$1.2D + 1.0E_{DE} + E_{VDE} + 0.5L$	۵
۸۵۱	موجود نیست	MCE/ حد بالا	$1.2D + 1.0E_{MCE} + E_{VMCE} + 0.5L$	۵
۶۳۱	موجود نیست	DE/ حد پایین	$1.2D + 1.0E_{DE} + E_{VDE} + 0.5L$	۵
۷۳۰	موجود نیست	MCE/ حد پایین	$1.2D + 1.0E_{MCE} + E_{VMCE} + 0.5L$	۵

جدول ۱-۲۵. تغییرمکان‌های جداساز مرکزی (خط شبکه ۳/C) از مدل تحلیلی (میانگین حداکثرهای هفت رکورد)

خطر	حد ویژگی جداساز	حداکثر X (اینچ)	حداکثر Y (اینچ)	حداکثر SRSS (اینچ)
MCE	حد پایین	۹,۰	۱۰,۵	۱۴,۶
DE	حد پایین	۴,۲	۵,۵	۷,۹
MC	حد بالا	۶,۷	۸,۹	۱۲,۵
DE	حد بالا	۳,۶	۴,۵	۷,۳
MCE	اسمی	۸,۱	۱۰,۰	۱۳,۹

جدول ۱-۲۶. برش پایه و برش پایه نرمال از مدل تحلیلی (میانگین حداکثرهای هفت رکورد)

خطر	مشخصات جداساز	حداکثر برش پایه X (k), (V/W)	حداکثر برش پایه Y (k), (V/W)	حداکثر برش پایه SRSS (k), (V/W)
DE	حد بالا	1284 (0.108W)	1083 (0.091W)	1332 (0.112W)
DE	حد پایین	1514 (0.128W)	1361 (0.115W)	1617 (0.136W)
MCE	اسمی	1644 (0.139W)	1346 (0.114W)	1732 (0.146W)

جدول ۱-۲۷. حداکثر برکنش برای هر جداساز گوشه از مدل تحلیلی (میانگین حداکثرهای هفت رکورد)

خطر	مشخصات جداساز	حداکثر برکنش هر جداساز پیرامونی (اینچ)
MCE	حد پایین	۰,۳
MCE	حد بالا	۰,۵

ظرفیت تغییرمکان برکنش تکیه گاه مورد استفاده در این مثال مشخص نیست؛ بنابراین مقادیر به دست آمده از تحلیل در محدوده منطقی هستند. ظرفیت تغییرمکان برکنش تکیه گاه باید در برنامه آزمایش تایید شود. ممکن است تحلیلی که اثرات عمودی زلزله یا بار مرده کاهش یافته را در نظر می گیرد، باعث افزایش این

مقادیر شود. طراح باید کنترل نماید که نتایج ETABS با نتایج تحلیل اولیه Bispec سازگار هستند. این کنترل مهم، عملکرد مورد نظر مدل پیچیده ETABS را تایید می کند. برای انجام مقایسه صحیح، نتایج ETABS باید خطر MCE، حدود اسمی و ترکیب جهت دار SRSS مورد استفاده برای تحلیل Bispec را در نظر بگیرند. برش پایه و تغییرمکان های جداساز از مدل Bispec مطابقت خوبی با نتایج مدل ETABS دارند ($0.16W$ در مقابل $0.15W$ ، و 14.2 اینچ در مقابل 13.9 اینچ) و تایید می کنند که تحلیل ETABS منطقی است.

محاسبات حداقل آیین نامه ای

تغییرمکان های جداساز و برش های پایه تعیین شده در بخش ۶ باید نسبت به مقادیر حداقل الزامی در آیین نامه 7 ASCE بخش $17.6.4$ کنترل شوند. اگر برش پایه و تغییرمکان های جداساز تعیین شده با NLRHA در بخش $17.6.4$ کمتر از مقادیر حداقل آیین نامه ای باشند، نتایج NLRHA باید برای سازگاری با مقادیر 7 ASCE در بخش $17.6.4$ بزرگ شوند.

ماهیت چرخه ای معادلات آیین نامه

معادلات آیین نامه برای حداقل تغییرمکان و حداقل برش پایه ماهیتی چرخه ای دارند و برای رسیدن به جواب نیازمند تکرار هستند. بر خلاف دیگر زمینه های آیین نامه که در آن ها فرآیند محاسباتی به صورت خطی ادامه پیدا می کند.

باید توجه ویژه داشت که تغییرمکان های D_D و D_M مستقل از دیگر متغیرها هستند. معادلات سختی موثر (بخش $17.8.5.1$) و میرایی موثر (بخش $17.8.5.2$) به نتایج آزمایش بخش $17.8.2.2$ بستگی دارند؛ با این حال آزمایش های بخش $17.8.2.2$ باید برای تغییرمکان های D_D و D_M در بخش های $17.5.3.1$ و $17.5.3.3$ انجام شوند. این مقادیر به نوبه خود وابسته به معادلات میرایی و سختی موثر هستند.

یک راه حل ساده برای این مشکل این است که حلقه محاسبات (calculation loop) را با انتخاب یک تغییرمکان سعی برای D_D و D_M و انجام محاسبات وابسته مربوطه شروع کنیم. اگر مقادیر D_D و D_M به دست آمده در انتهای حلقه محاسبات با تغییرمکان های سعی مطابقت نداشته باشد، تکرار با تغییرمکان سعی جدید ادامه پیدا می کند تا به همگرایی برسیم.

تحلیل پایه گیردار

7 ASCE بخش $17.6.4.1$ کاهش حداقل تغییرمکان سیستم جداساز مورد نیاز بر اساس نسبت پرپود پایه گیردار ساختمان به پرپود سیستم جداساز را مجاز می داند. برای بهره گیری از این کاهش، پرپود پایه گیردار ساختمان باید محاسبه شود. این مثال از یک روش ساده برای محاسبه پرپود پایه گیردار استفاده می کند که در آن مجدداً از مدل ETABS که قبلاً ایجاد شده، استفاده می گردد.

قیدهای مفصلی جانبی (Lateral pin restraints) به جداسازهای مدل ETABS اضافه می شوند تا از انتقال سیستم جداساز جلوگیری کرده و تحلیل مودی انجام می شود. برای جزئیات بیشتر به مدل ETABS مربوط به این مثال مراجعه نمایید. این تحلیل مود اول پایه گیردار 0.53 ثانیه را ایجاد می کند. 7 ASCE بخش $17.5.3.1$ ملزم می نماید که این مقدار با الزامات 7 ASCE بخش 12.8 کنترل شود. 7 ASCE بخش $12.8.2$ حد بالای پرپود زیر را وضع می کند:

$$T_n < C_u \times T_a = C_u \times C_t \times h_n^x$$

با توجه به ضمیمه ۵، $h_n = 72 \text{ ft}$ ، $S_{DS} = 0.60g$ و سیستم سازه ای SCBF است. از ASCE 7 جدول ۱۲.۸-۱، $C_u = 1.4$ ، $C_t = 0.02$ و $X = 0.75$ می باشد.

$$C_u \times T_a = 1.4 \times 0.02 \times 72^{0.75} = 0.69 \text{ s}$$

$$T_n = 0.53 \text{ s} < 0.69 \text{ s} \dots OK.$$

ادامه محاسبات را می توان با استفاده از $T_n = 0.53 \text{ s}$ انجام داد.

حداقل تغییرمکان و برش پایه سیستم جداساز مورد نیاز

در ASCE 7 محاسبات حداقل برش پایه و تغییرمکان معمولاً به صورت زیر انجام می شود:

- اطلاعات اولیه قطعه شامل $T_{\text{Fixed base}}$ ، S_{D1} ، S_{M1} و حدس های اولیه برای D_D و D_M .
 - استخراج اطلاعات مربوطه از نتایج آزمایش نمونه
 - تعیین میرایی و سختی موثر هر جداساز و سپس سیستم جداساز.
 - تعیین پررود موثر سیستم جداساز.
 - تعیین تغییرمکان های سیستم جداساز.
 - تکرار تغییرمکان های سیستم جداساز تا رسیدن به همگرایی برای D_D و D_M .
 - تعیین حداکثر تغییرمکان های کل سیستم جداساز.
 - کنترل الزامات آیین نامه ای برای سیستم جداساز و اعضاء زیر سیستم جداساز.
 - کنترل الزامات آیین نامه ای برای اعضاء روی سیستم جداساز.
- اطلاعات اولیه مشترک برای هر دو مثال:

$$R_1 = 2.0 \text{ طبق محاسبات قبلی}$$

$$\text{تعداد طبقات} = 32$$

$$\text{میانگین بار روی جداساز} = 370 \text{ k}$$

$$g = 386.4 \text{ in/s}^2$$

$$T_{\text{fixed base}} = 0.53 \text{ s} \text{ (از بخش 7.1)}$$

$$S_{D1} = 0.6g$$

$$S_{M1} = 0.9g$$

استفاده همزمان از میرایی و سختی حداکثر و حداقل در معادلات آیین نامه

الزامات آیین نامه ای برای حداقل تغییرمکان و برش مورد نیاز همزمان از مشخصات حد بالا و پایین سیستم جداساز استفاده می کند.

در حالی که این روش محافظه کارانه است، بعضی از طراحان با آن مشکل دارند و با انجام دو فرآیند موازی از ناسازگاری انجام محاسبات حداقل آیین نامه ای پرهیز می کنند - یک دسته با استفاده از مشخصات حد بالا و یک دسته با مشخصات حد پایین. الزامات محدود کننده تر برای محاسبات حد بالا و حد پایین در طراحی استفاده می شوند. این فرآیند می بایستی با توجه به ASCE 7 در نظر گرفته شود و قبل از استفاده باید توسط مسئول بررسی طراحی ذیصلاح تایید شود. کنترل های حداقل آیین نامه ای با استخراج اطلاعات مربوطه از

داده‌های آزمایش نمونه اولیه طبق ASCE 7 بخش ۱۷.۸.۵، ۱ توسط مهندس شروع می‌شود. نتایج آزمایش نمونه در این مثال موجود نیستند، بنابراین از روش‌های دیگر برای روشن شدن فرآیند محاسبات استفاده شده است. برای سیستم LR، مشخصات حد بالا و پایین با درصدی افزایش و کاهش تخمین زده شده و در اینجا به عنوان تقریبی از مشخصات حداقل و حداکثر از آن‌ها استفاده می‌شود. برای سیستم FP، از حلقه‌های نظری نشان دهنده داده‌های آزمایش برای روشن شدن فرآیند استخراج اطلاعات مربوطه از داده‌های آزمایش استفاده شد.

تفسیر داده‌های آزمایش

مشخصات طراحی سیستم جداول بر اساس اندازه‌گیری‌های خاصی است که مستقیماً از داده‌های آزمایش نمونه اولیه به دست می‌آیند. بر خلاف دیگر زمینه‌های آیین‌نامه‌ها که در آن‌ها داده‌های آزمایش‌های پیشین برای الزامات طراحی آیین‌نامه استفاده می‌شوند. ASCE 7 تمام مشکلات مربوط به تفسیر داده‌های آزمایش (سرعت نمونه‌گیری داده، فیلتر کردن و گرد کردن داده‌ها و غیره) را پوشش نمی‌دهد. طراح باید از قضاوت مهندسی برای حل کردن این مشکلات استفاده کند. گزارش آزمایش‌های ارائه شده توسط سازنده می‌تواند در این فرآیند به مهندس کمک نماید.

یکی از پیامدهای ماهیت چرخه‌ای معادلات آیین‌نامه این است که آزمایش‌های نمونه بخش ۱۷.۸.۲، ۲ با تکرار مقادیر D_D و D_M تکرار شوند. در عمل این کار مورد نظر نیست و انجام نمی‌شود. یک راه حل این است که آزمایش‌های نمونه در تخمین‌های اولیه D_M ، D_D و همچنین چندین مقدار نزدیک به این تخمین‌ها انجام شود. مشخصات سیستم جداول را می‌توان با تکرار مقادیر برای مقادیر مورد نیاز D_M و D_D درونیابی کرده و معادلات آیین‌نامه را حل کرد. در این مثال تفسیر داده‌های آزمایش برای حلقه‌های آزمایشی نظری مورد استفاده ساده است، اما برای تعیین مشخصات سیستم جداول از حلقه‌های آزمایش واقعی در تغییرمکان‌های درون‌یابی شده باید با قضاوت مهندسی و احتیاط عمل کرد.

محاسبات حداقل آیین‌نامه برای سیستم سربی-لاستیکی

از محاسبات قبلی سیستم جداول در بخش ۶.۲ مشخصات حداقل و حداکثر سیستم جداول زیر برای در نظر گرفتن محدوده $\pm 5\%$ درصد استفاده میشوند. $\pm 5\%$ درصد مورد استفاده در این مثال تغییرات در نتایج آزمایش نمونه را در نظر می‌گیرد و باید توسط تولیدکننده جداول تایید شود.

حلقه‌های هیستریتیس معمولاً برای هر نوع تکیه‌گاه در طراحی از تولیدکننده جداول دریافت می‌شوند. با توجه به این که این یک مثال طراحی کلی است، حلقه‌های واقعی به دست آمده از آزمایش موجود نیستند. برای این مثال از حلقه‌های هیستریتیس محاسبه شده برای کل سیستم جداول در طراحی اولیه برای تعیین مشخصات سیستم جداول مورد نیاز استفاده شد تا کنترل‌های حداقل آیین‌نامه‌ای انجام شود.

اطلاعات اولیه: فرض می‌شود که k_{Dmax} و k_{Dmin} به ترتیب ۱،۰۵ و ۰،۹۵ برابر Q_d و K_p سیستم جداول هستند.

طبیعت چرخه‌ای معادلات آیین‌نامه‌ای نیازمند مقادیر سعی برای D_D و D_M برای ارزیابی داده‌های آزمایش است. تغییرمکان‌های SRSS تعیین شده از مدل ETABS حد اسمی نقطه شروع خوبی هستند.

$$D_{D \text{ trial}} = ۸.۶ \text{ in}$$

$$D_{M \text{ trial}} = 14.2 \text{ in}$$

میرایی و سختی موثر برای کل سیستم جداساز را تعیین نمایید. با استفاده از تغییرمکان های سعی فهرست شده در فوق و معادلات بخش ۱، ۲، ۳، ۴، مشخصات سیستم جداساز زیر برای تکرار اول محاسبه شدند:

$$k_{D \text{ min}} = 188.3 \text{ k/in}$$

$$k_{D \text{ max}} = 208.2 \text{ k/in}$$

$$k_{M \text{ min}} = 162.7 \text{ k/in}$$

$$k_{M \text{ max}} = 179.8 \text{ k/in}$$

$$E_D = 18366 \text{ k. in}$$

$$E_M = 30901 \text{ k. in}$$

ASCE 7 بخش ۱۷.۸.۵.۲ استفاده از سختی موثر حداکثر برای محاسبه β را الزامی می کند (بحث فوق را ملاحظه فرمائید).

$$\beta_D = \frac{E_D}{2\pi k_{D \text{ max}} D_V^2} = 0.19 \text{ (19\%)} \quad \text{معادله ۷-۱۷.۸}$$

$$\beta_M = \frac{E_M}{2\pi k_{M \text{ max}} D_M^2} = 0.14 \text{ (14\%)} \quad \text{معادله ۸-۱۷.۸}$$

با درون یابی β_D و β_M در جدول ۱۷.۵-۱، مقادیر B_D و B_M را تعیین نمایید.

$$B_D = 1.47$$

$$B_M = 1.31$$

پریود های موثر سیستم جداساز را تعیین نمایید. ASCE 7 بخش ۱۷.۵.۳.۲ استفاده از سختی موثر حداقل برای محاسبه T را الزامی می کند (بحث فوق را ملاحظه فرمائید).

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D \text{ min}} g}} = 2.5s \quad \text{معادله ۲-۱۷.۵}$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M \text{ min}} g}} = 2.7s \quad \text{معادله ۴-۱۷.۵}$$

تغییرمکان های سیستم جداساز را تعیین نمایید.

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_M} = 10 \text{ in} \neq 8.6 \text{ in} \quad \text{معادله ۱-۱۷.۵}$$

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} = 18.4 \text{ in} \neq 14.2 \text{ in} \quad \text{معادله ۳-۱۷.۵}$$

برای تغییرمکان های سیستم جداساز تکرار انجام دهید.

مقادیر D_D و D_M به دست آمده در انتهای محاسبات با مقادیر تلاش اولیه همخوانی ندارند، بنابراین باید مقادیر سعی جدید ارزیابی گردند. فرآیند تا زمانی که همگرایی به دست بیاید تکرار می شود. هر بار که مقادیر تغییرمکان های جدید انتخاب می شوند، مشخصات جداسازها بر اساس آنها مجدداً محاسبه می شوند. این تکرار را می توان در Excel با بهره وری بیشتری انجام داد. در این مثال مقادیر D_D و D_M به ترتیب، ۱۱،۳ و ۲۰،۸ اینچ همگرایی را نشان می دهند. این تغییرمکان ها باعث ایجاد مقادیر β_D ، β_M ، B_D ، B_M ، T_D ، T_M برابر با ۱۶ درصد، ۱۰ درصد، ۱،۳۸، ۱،۲۰، ۲،۶۰ ثانیه و ۲،۸ ثانیه می شوند. مقادیر K_{min} ، K_{max} و E به صورت زیر هستند:

$$k_{D \text{ min}} = 172.8 \text{ k/in}$$

$$k_{Dmax} = 191.0 \text{ k/in}$$

$$k_{Mmin} = 150.2 \text{ k/in}$$

$$k_{Mmax} = 166.0 \text{ k/in}$$

$$E_D = 24383 \text{ k/in}$$

$$E_M = 45671 \text{ k/in}$$

تغییر مکان حداکثر کل سیستم جداساز: بخش ۱۷,۵,۳,۵ ملزم می‌نماید که مقادیر D_D و D_M برای در نظر گرفتن پیچش در سیستم جداساز تشدید شوند. استثناء این بخش یادآور می‌گردد که لازم نیست سیستم جداساز به گونه‌ای پیکربندی شود که در برابر پیچش مقاومت کند. برای این مثال از معادلات ۵-۱۷,۵ و ۶-۱۷,۵ برای به دست آوردن D_{TD} و D_{TM} استفاده شد. بخش ۱۷,۶,۴,۱ اجازه استفاده از D'_M و D'_D در محاسبه D_{TM} و D_{TD} را می‌دهد.

$$\text{معادله ۱-۱۷,۶} \quad D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} = 11.1 \text{ in}$$

$$\text{معادله ۲-۱۷,۶} \quad D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} = 20.4 \text{ in}$$

$$\text{معادله ۵-۱۷,۵} \quad D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] = 12.8 \text{ in}$$

$$\text{معادله ۶-۱۷,۵} \quad D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{d^2 + d^2} \right] = 23.5 \text{ in}$$

از مقادیر ابعادی زیر استفاده گردید:

$$y = 900 \text{ اینچ (با فرض مرکز جرم در مرکز ساختمان و عضو مورد نظر در پیرامون ساختمان)}$$

$$e = 90 \text{ اینچ (۵ درصد ابعاد ساختمان بر اساس فرض این که مرکز جرم ساختمان در بالای جداساز با مرکز}$$

صلبیت سیستم جداساز یکی است، که در این مثال این فرض برقرار است)

$$b = 1800 \text{ اینچ}$$

$$d = 1800 \text{ اینچ}$$

الزامات آیین‌نامه‌ای برای سیستم جداساز و المان‌های زیر سیستم جداساز.

7 ASCE بخش ۱۷,۶,۴,۱ اجازه کاهش ۱۰ درصدی نیروها را می‌دهد:

$$\text{معادله} \quad V_b = k_{Dmax} \times D_D \times \text{کاهش} = 191 \text{ k. in} \times 11.3 \text{ in} \times 0.9 = 1942 \text{ k}$$

$$\xi_{17.6.4.1} \text{ و } 17.5-7$$

$$\frac{V_b}{W} = 0.17$$

7 ASCE بخش ۱۷,۶,۴,۱ اجازه کاهش ۱۰ درصدی در تغییر مکان D_D و کاهش ۲۰ درصدی در تغییر مکان

D_M را هم در صورت استفاده از تحلیل تاریخیچه پاسخ می‌دهد:

$$D_{TD} = D_{TD} \times 0.9 = 12.8 \text{ in} \times 0.9 = 11.5 \text{ in}$$

$$D_{TM} = D_{TM} \times 0.8 = 23.5 \text{ in} \times 0.9 = 18.8 \text{ in}$$

الزامات آیین نامه ای برای سیستم جداساز و اعضاء بالای سیستم جداساز: در این مثال روسازه نامنظم در نظر گرفته شده است. ASCE 7 بخش ۱۷,۶,۴,۲ استثناء ۲ مجوز کاهش ۲۰ درصدی در نیروها برای سازه های منظم تحلیل شده با تحلیل تاریخچه پاسخ را می دهد:

$$V_s = \frac{k_{Dmax} D_D}{R_I} \times 0.8 = 863k$$

$$\frac{V_s}{W} = 0.073$$

برش پایه طراحی باید برای محدودیت های ASCE 7 بخش ۱۷,۵,۴,۳ کنترل شود.

(۱) نیروی لرزه ای الزامی در ASCE 7 بخش ۱۲,۸ برای سازه پایه گیردار معادل با T_D از ASCE 7 بخش ۱۲,۸,۱:

$$C_s = \frac{\frac{S_{DS}}{R}}{I} = \frac{1.0g}{1.0} = 6.0$$

معادله ۱۲,۸-۲

اما نباید از مقدار زیر بیشتر شود:

$$T = T_D = 2.6s < T_L = 12s$$

معادله ۱۲,۸-۳

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I}} = \frac{1.0g}{2.6s \times \frac{6.0}{1.0}} = 0.064$$

C_s نباید کمتر از مقدار زیر باشد:

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e = 0.044 \times 1.0g \times 1.0 = 0.044 \geq 0.01$$

معادله ۱۲,۸-۵

با توجه به این که $S_I = 0.60g \geq 0.60g$ ، C_s نباید کمتر از این باشد:

$$C_s = \frac{0.5 S_I}{\frac{R}{I}} = \frac{0.5 \times 0.6g}{\frac{6.0}{1.0}} = 0.05$$

معادله ۱۲,۸-۵

$$C_s = 0.064W$$

(۲) برش پایه متناظر با بار باد طراحی ضریب دار: در این مثال فرض می شود که بار باد دارای ضریب حاکم نیست.

(۳) یک و نیم برابر نیروی تسلیم سیستم:

این مقدار مشابه یک و نیم برابر Q_d کل سیستم جداساز است.

$$1.5 \times Q_d = 1.5 \times 576kips = 864 kips$$

Q_d با در نظر گرفتن مشخصات اسمی جداساز تعیین شده و ارایه شده در «نتایج تحلیل اولیه» در انتهای بخش ۴,۲,۱ تعیین شده بود. برای بحث بیشتر انتهای بخش ۷,۲,۲ را ملاحظه فرمائید.

$$864kips/11840kips=0.073W... OK$$

محاسبات حداقل آیین نامه ای برای سیستم اصطکاکي پاندولی

اطلاعات اولیه: حلقه های هیستریتیس معمول آزمایش های نمونه از تولید کننده به دست می آیند. داده های آزمایش واقعی برای این مثال موجود نمی باشند، بنابراین حلقه های هیستریتیس نمونه واقعی نظری حد بالا و پایین با استفاده از تغییرات اصطکاک حد بالا و پایین فرضی تولید می شوند. اصطکاک سطح داخلی ۲

درصد ثابت در نظر گرفته می‌شود. (در شرایط طراحی حلقه‌های هیستریتیس‌ی که این مقادیر را تولید می‌کنند باید از چرخه‌های داده‌های آزمایش استخراج شوند).

ماهیت چرخه‌ای معادلات آیین نامه‌ای نیازمند مقادیر سعی برای D_M و D_D برای ارزیابی حلقه‌های هیستریتیس‌ی آزمایش نمونه اولیه است. تغییرمکان‌های SRSS با استفاده از مشخصات حد پایین تعیین شده از مدل ETABS نقطه شروع خوبی هستند:

$$D_{D \text{ trial}} = 8in$$

$$D_{M \text{ trial}} = 15in$$

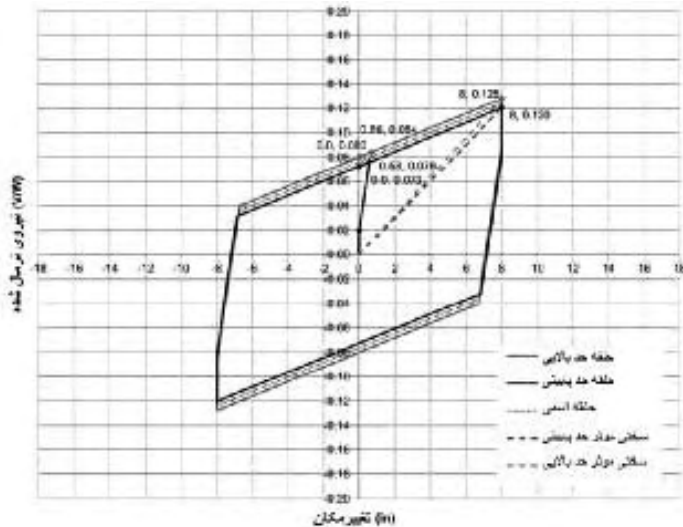
تعیین مشخصات آزمایشی جداساز منفرد: آزمایش‌های نمونه، جداساز یک تکیه‌گاه را چندین بار جلو و عقب می‌برند و معمولاً با پیشرفت آزمایش تغییراتی بین چرخه‌های هیستریتیس‌ی وجود دارد. این تغییرات به چند دلیل ایجاد می‌شوند. مهمترین دلیل این تغییرات گرم شدن سطح لغزنده است. در این مثال فرض می‌شود که حلقه‌هایی که k_{Dmax} و k_{Dmin} را تولید می‌کنند ۱,۰۵ و ۰,۹۵ برابر اصطکاک هدف ایجاد می‌شوند. نتایج واقعی آزمایش متفاوت خواهند بود.

این فرض حلقه‌هایی با اصطکاک تسلیم زیر ایجاد می‌کند:

$$\text{اصطکاک تسلیم حد بالا} = 1.05 \times 0.08 = 0.084$$

$$\text{اصطکاک تسلیم حد پایین} = 0.95 \times 0.08 = 0.076$$

مشخصات یک تکیه‌گاه منفرد از حلقه هیستریتیس‌ی تعیین می‌شود که از روش معمول نرمال کردن برش جداساز نسبت به بار تحمل شده پیروی می‌کند. مشخصات تکیه‌گاه منفرد در بار کل تحمل شده در تمام تکیه‌گاه‌ها ضرب می‌شود تا مشخصات کلی سیستم جداساز به دست بیاید. حلقه‌های هیستریتیس‌ی از داده‌های آزمایش مطابق شکل‌های ۱۲-۱ و ۱۳-۱ در این تغییرمکان‌ها ارزیابی می‌شوند.



شکل ۱۲-۱. حلقه‌های هیستریتیس‌ی فرض شده برای نمایش داده‌های آزمایش در D_D