

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل ساختما



دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
معاونت مسکن و ساختمان

ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای

معاونت مسکن و ساختمان

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

بهار ۱۴۰۵

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

سرشناسه: معاونت مسکن و ساختمان - دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان.
عنوان و نام پدیدآور: ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای/ تهیه کننده: دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان.
مشخصات نشر: تهران: سازمان نظام‌مهندسی ساختمان، شورای مرکزی، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری: ۴۰۶ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۸۷۵۲۴-۸-۸
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
موضوع: ساختمان‌های ضد زلزله - ایران
موضوع: Earthquake Resistant Design—Iran
موضوع: امواج زلزله - میرایی
موضوع: Seismic waves-- Damping
موضوع: ساختمان‌ها -- ایران - اثر زلزله
موضوع: Buildings -- Earthquake effects -- Iran
شناسه افزوده: ایران. وزارت مسکن و شهرسازی. دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان
شناسه افزوده: سازمان نظام‌مهندسی ساختمان. شورای مرکزی
رده‌بندی کنگره: TA658/44
رده‌بندی دیویی: 693/852
شماره کتابشناسی ملی: 10352546
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا

ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای
تهیه‌کننده: معاونت مسکن و ساختمان - دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان
ناشر: سازمان نظام‌مهندسی ساختمان (شورای مرکزی)
نوبت چاپ: اول
سال چاپ: ۱۴۰۵
شمارگان:
قیمت: ریال
قطع: وزیری
محل نشر: تهران
نشانی انتشارات: تهران- خیابان شهید خدای- خیابان تک شمالی- پلاک یک-سازمان نظام‌مهندسی ساختمان (شورای مرکزی)
کد پستی: ۱۹۹۴۶۴۳۱۱۳
وب سایت: www.irceo.ir
حق هرگونه چاپ، تکثیر، نشر مکتوب و الکترونیکی برای وزارت راه و شهرسازی محفوظ است.



سازمان نظام‌مهندسی ساختمان
(شورای مرکزی)

با توجه به اینکه ارتقای تاب آوری لرزه‌ای در ساخت و ساز شهری امری اجتناب ناپذیر می‌باشد، لذا نیاز به بازنگری در فلسفه طراحی لرزه‌ای در سازه‌های کشور نیز امری ضروری به نظر می‌رسد. در فلسفه طراحی لرزه‌ای کنونی عمدتاً دستیابی به سطح عملکرد ایمنی جانی مدنظر است حال آنکه با توجه به افزایش ارزش ساختمان در کشور و هزینه‌های ناشی از ایجاد اختلال در سرویس دهی ساختمان پس از زلزله، دستیابی به سطح عملکرد ایمنی جانی به تنهایی کافی نبوده و لازم است علاوه بر حفظ ایمنی جانی، حفظ سرویس دهی ساختمان نیز مدنظر قرار گیرد. برای این منظور استفاده از فناوری‌های نوین و دانش بنیانی همچون میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای می‌تواند به ارتقای تاب‌آوری لرزه‌ای سازه‌های موجود و سازه‌های جدید کمک کند. با توجه به عدم وجود دستورالعملی جامع، کامل و به روز برای طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرها در داخل کشور، دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان تصمیم به تدوین ضوابطی جامع به منظور طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای نمود. در تدوین این ضوابط سعی شده است به صورت همزمان از تجربیات و دانش موجود در داخل و خارج از کشور استفاده شود. امید است با آشنایی هرچه بیشتر مهندسين با فناوری میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای و استفاده از آن در صنعت ساخت و ساز کشور، شاهد کاهش خسارات ناشی از زلزله و بهبود تاب آوری لرزه‌ای در کشور باشیم.

در پایان از ادارات کل راه و شهرسازی و سازمان نظام مهندسی ساختمان استان‌های چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، کرمان، یزد و مرحوم آقای محمد حسین شرکاء رئیس اسبق سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خراسان رضوی که با معرفی اساتید ما را در تهیه این ضابطه یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از آقای دکتر حبیب اله طاهرخانی معاون محترم مسکن و ساختمان وزارت متبوع نیز بابت حمایت از تدوین و انتشار این ضابطه به طور ویژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

محمد علی ریاحی نظری

مدیرکل دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

بهار ۱۴۰۵

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

تاریخ: ۱۴۰۵/۰۳/۱۹
شماره: ۳۳۰۶۳/۴۰۰ صادره
پیوست: ندارد

(II)
جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

معاونت مسکن و ساختمان

بسمه تعالی
جهش تولید مشارکت مردم

جناب آقای مهندس مقومی

رئیس محترم سازمان نظام مهندسی ساختمان (شورای مرکزی)

موضوع: ابلاغ ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای

باسلام و احترام

در راستای اجرای مواد ۶ و ۷ سیاست‌های کلی نظام درخصوص پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان و با هدف ارتقای ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌ها، بدین وسیله "ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای" که مراحل تهیه و تدوین آن در این معاونت طی شده است، برای اجرا از ۳ ماه پس از تاریخ این نامه ابلاغ می‌گردد. ضروری است دستور فرمایید در راستای اعمال ماده ۱۱۴ آیین نامه اجرایی قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، موضوع به نحو شایسته به کلیه اعضای آن سازمان، اطلاع رسانی و نظارت لازم در فرآیند بررسی، تأیید نقشه‌ها و کنترل اجرا اعمال گردد.

حسین‌الله طاهرخانی
معاون مسکن و ساختمان

رونوشت:

جناب آقای دکتر نصرتی - معاون محترم عمران وزارت کشور و رئیس سازمان شهرداریها و دهیاری‌های کشور - جهت استحضار و ابلاغ به شهرداری‌ها
جناب آقای خنجری - بازرس کل محترم امور راه و شهرسازی سازمان بازرسی کل کشور - جهت استحضار
جناب آقای مهندس خواجه دلویی - رئیس محترم بنیاد مسکن انقلاب اسلامی - جهت استحضار
سرکار خانم دکتر راهب - رئیس محترم مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - جهت آگاهی
جناب آقای دکتر ریاحی - مدیر کل محترم دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان - جهت آگاهی
جناب آقای دکتر محمود آبادی - رئیس محترم مرکز تدوین مقررات، ایمنی حمل و نقل، پدافند غیر عامل و مدیریت بحران - جهت آگاهی
ادارات کل راه و شهرسازی استان‌ها - جهت آگاهی و دستور اقدام لازم



دقتر مقررات ملی و کنتترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کنترل ساختما

لیست اعضای کارگروه، گروه و کمیته

مجری طرح

دکتر سید امین موسوی

مهندسان مشاور

اعضای کارگروه تدوین (به ترتیب الفبا)

مهندس رضا اسفندیاری	مهندسان مشاور
مهندس مسعود افراز	معاون ترویج و کنترل ساختمان-دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان
دکتر علی خان سفید	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
مهندس صمد دهقانی	مهندسان مشاور
دکتر میثم صمدی	عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد مشهد
مهندس جواد قدرتی ینگجه	مهندسان مشاور
دکتر ساسان محاسب	مهندسان مشاور
دکتر احسان نوروزی نژاد	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

اعضای گروه مدیریت و راهبری

دکتر حبیب اله طاهرخانی	معاون مسکن و ساختمان وزارت راه و شهرسازی
دکتر محمد علی ریاحی نظری	مدیرکل دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان وزارت راه و شهرسازی

اعضای کمیته دآوری (به ترتیب الفبا)

مهندس رحیم انصاری	مهندسان مشاور
مهندس کیاوش پورصدر	مهندسان مشاور
دکتر پاشا جوادی	عضو هیات علمی گروه سازه و زلزله دانشگاه علوم و تحقیقات
دکتر رضا دزواره رسانی	عضو هیات علمی دانشگاه نوشیروانی بابل
مهندس سید مصطفی رضوی	عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد
دکتر حمید زعفرانی	عضو هیات علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
دکتر سید مهدی زهرایی	عضو هیات علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران
دکتر حداد شرق	مهندسان مشاور
دکتر مهدی کفایی کیوی	عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد ساوه
دکتر احمد مدحج	مهندسان مشاور
دکتر مهدی هادی	مهندسان مشاور



دقتر مقررات ملی و کنتترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کنترل ساختما



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

- ۱-۱ فلسفه پیدایش ۳
- ۲-۱ دامنه کاربرد ۴
- ۳-۱ فلوچارت طراحی ۵
- ۴-۱ ساختار ضابطه ۵

فصل ۲: میراگرها ۹

- ۱-۲ مقدمه ۱۱
- ۱-۱-۲ میراگرهای وابسته به تغییر شکل ۱۱
- ۲-۱-۲ میراگرهای وابسته به سرعت ۱۲
- ۳-۱-۲ میراگرهای وابسته به شتاب ۱۲
- ۴-۱-۲ میراگرهای مدنظر ضابطه ۱۳
- ۲-۲ میراگرهای تسلیمی ۱۴
- ۱-۲-۲ میراگرهای پره مثلثی ۱۵
- ۲-۲-۲ میراگرهای پانل برشی ۱۹
- ۳-۲-۲ مهاربندهای کمانش تاب ۲۲
- ۴-۲-۲ شبیه سازی میراگرهای تسلیم شونده ۲۷
- ۱-۴-۲-۲ مدل پلاستیک ون ۲۸
- ۲-۴-۲-۲ مدل پلاستیک چندخطی ۲۹
- ۳-۴-۲-۲ تاثیر لقی اتصال ۳۰
- ۵-۲-۲ وابستگی در میراگرهای تسلیمی ۳۲

۳۲	تعداد چرخه‌های پلاستیک..... ۱-۵-۲-۲
۳۳	دمای محیط..... ۲-۵-۲-۲
۳۳	سرعت بارگذاری..... ۳-۵-۲-۲
۳۴	عملکرد دراز مدت..... ۴-۵-۲-۲
۳۴	۶-۲-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای تسلیمی.....
۳۵	۳-۲ میراگرهای اصطکاکی.....
۳۶	۱-۳-۲ میراگرهای اصطکاکی انتقالی.....
۴۱	۲-۳-۲ میراگرهای اصطکاکی دورانی.....
۴۵	۳-۳-۲ شبیه سازی میراگرهای اصطکاکی.....
۴۶	۱-۳-۳-۲ مدل پلاستیک ون.....
۴۶	۲-۳-۳-۲ مدل پلاستیک چندخطی.....
۴۷	۳-۳-۳-۲ تأثیر لقی اتصال.....
۴۹	۴-۳-۲ وابستگی در میراگرهای اصطکاکی.....
۴۹	۱-۴-۳-۲ تعداد چرخه رفت و برگشتی.....
۵۰	۲-۴-۳-۲ دمای محیط.....
۵۰	۳-۴-۳-۲ سرعت بارگذاری.....
۵۰	۴-۴-۳-۲ عملکرد دراز مدت.....
۵۰	۵-۳-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای اصطکاکی.....
۵۲	۴-۲ میراگرهای سیال ویسکوز.....
۵۳	۱-۴-۲ میراگرهای ویسکوز.....
۵۸	۲-۴-۲ میراگرهای پانل ویسکوز.....
۶۲	۳-۴-۲ شبیه سازی میراگرهای سیال ویسکوز.....
۶۲	۱-۳-۴-۲ مدل ماکسول نمایی.....
۶۵	۲-۳-۴-۲ مدل ماکسول دوخطی.....
۶۶	۳-۳-۴-۲ تأثیر لقی اتصال.....
۶۸	۴-۴-۲ وابستگی در میراگرهای سیال ویسکوز.....
۶۸	۱-۴-۴-۲ تعداد چرخه رفت و برگشتی.....
۷۰	۲-۴-۴-۲ دمای محیط.....
۷۱	۳-۴-۴-۲ عملکرد دراز مدت.....
۷۱	۵-۴-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای سیال ویسکوز.....

ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای ■ ض

۷۳	۵-۲ میراگرهای ویسکوالاستیک.....
۷۳	۱-۵-۲ معرفی میراگرهای ویسکوالاستیک.....
۷۹	۲-۵-۲ شبیه سازی میراگرهای ویسکوالاستیک.....
۷۹	۱-۲-۵-۲ مدل کلوین.....
۷۹	۲-۲-۵-۲ تاثیرات دما و فرکانس.....
۸۰	۳-۲-۵-۲ تاثیر لقی اتصال.....
۸۰	۳-۵-۲ وابستگی در میراگرهای ویسکوالاستیک.....
۸۰	۱-۳-۵-۲ تعداد چرخه رفت و برگشتی.....
۸۱	۲-۳-۵-۲ دمای محیط.....
۸۱	۳-۳-۵-۲ فرکانس تحریک.....
۸۱	۴-۳-۵-۲ عملکرد دراز مدت.....
۸۳	۴-۵-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای ویسکوالاستیک.....
۸۴	۶-۲ چیدمان میراگرها در سازه.....
۸۵	۱-۶-۲ چیدمان قطری.....
۸۷	۲-۶-۲ چیدمان شورن.....
۸۸	۳-۶-۲ چیدمان پانلی.....
۹۰	۴-۶-۲ چیدمان جناغی.....
۹۴	۵-۶-۲ چیدمان هم‌بند.....
۹۶	۶-۶-۲ چیدمان میان طبقه‌ای.....
۹۸	۷-۶-۲ چیدمان بازویی.....
۱۰۰	۸-۶-۲ چیدمان گهواره‌ای.....
۱۰۲	۹-۶-۲ جمع بندی چیدمان میراگرها.....

فصل ۳: جداگرها ۱۰۵

۱۰۷	۱-۳ مقدمه.....
۱۰۸	۱-۱-۳ الزامات سیستم‌های جداساز لرزه‌ای.....
۱۱۰	۲-۱-۳ اجزای تشکیل دهنده سیستم جداساز لرزه‌ای.....
۱۱۰	۱-۲-۱-۳ نشیمنگاه‌ها (جداگرها).....
۱۱۰	۲-۲-۱-۳ میراگرها.....

۱۱۰.....	۳-۱-۳ سیستم‌های جداساز لرزه‌ای مدنظر ضابطه.....
۱۱۲.....	۲-۳ جداگرهای الاستومری.....
۱۱۲.....	۱-۲-۳ ساختار کلی.....
۱۱۴.....	۲-۲-۳ جداگرهای لاستیکی با میرایی کم.....
۱۱۷.....	۳-۲-۳ جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا.....
۱۲۰.....	۴-۲-۳ جداگرهای لاستیکی با هسته سربی.....
۱۲۳.....	۵-۲-۳ شبیه سازی جداگرهای لاستیکی.....
۱۲۷.....	۶-۲-۳ وابستگی در جداگرهای لاستیکی.....
۱۲۷.....	۱-۶-۲-۳ تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی.....
۱۲۸.....	۲-۶-۲-۳ دمای محیط.....
۱۲۸.....	۳-۶-۲-۳ فرکانس تحریک.....
۱۲۹.....	۴-۶-۲-۳ عملکرد دراز مدت.....
۱۲۹.....	۷-۲-۳ مزایا و محدودیت‌های نشیمنگاه‌های لاستیکی.....
۱۳۱.....	۳-۳ جداگرهای لغزشی.....
۱۳۴.....	۱-۳-۳ جداگرهای لغزشی مسطح.....
۱۳۸.....	۲-۳-۳ جداگرهای لغزشی تک پاندولی.....
۱۴۱.....	۳-۳-۳ جداگرهای لغزشی دو پاندولی.....
۱۴۶.....	۴-۳-۳ جداگرهای لغزشی سه پاندولی.....
۱۵۱.....	۵-۳-۳ شبیه‌سازی جداگرهای لغزشی.....
۱۵۵.....	۶-۳-۳ وابستگی در جداگرهای لغزشی.....
۱۵۵.....	۱-۶-۳-۳ تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی.....
۱۵۵.....	۲-۶-۳-۳ دمای محیط.....
۱۵۵.....	۳-۶-۳-۳ فرکانس تحریک.....
۱۵۶.....	۴-۶-۳-۳ عملکرد دراز مدت.....
۱۵۶.....	۷-۳-۳ مزایا و محدودیت‌های جداگرهای لغزشی.....
۱۵۹.....	۴-۳ مرکزگرایی در سیستم جداساز لرزه‌ای.....
۱۶۱.....	۵-۳ میراگرهای سیستم جداساز لرزه‌ای.....
۱۶۴.....	۶-۳ چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای.....
۱۶۴.....	۱-۶-۳ جانمایی در ارتفاع.....

۱۶۵ ۲-۶-۳ جانمایی در پلان

فصل ۴: طیف طرح و شتاب نگاشت ۱۶۷

۱-۴ کلیات ۱۶۹

۲-۴ طیف طرح ۱۷۰

۱-۲-۴ طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ۱۷۱

۲-۲-۴ طیف طرح ویژه ساختگاه ۱۷۱

۱-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل پاسخ زمین ۱۷۲

۲-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی ۱۷۵

۳-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی ۱۷۷

۳-۲-۴ تنظیم دوره بازگشت طیف طرح ۱۷۹

۴-۲-۴ تنظیم درصد میرایی طیف طرح ۱۸۱

۵-۲-۴ طیف طرح مولفه قائم زلزله ۱۸۲

۳-۴ شتاب نگاشت ۱۸۴

۱-۳-۴ انتخاب شتاب نگاشت ۱۸۵

۲-۳-۴ تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت ۱۸۷

۱-۲-۳-۴ روش مقیاس طیفی ۱۸۸

۲-۲-۳-۴ روش انطباق طیفی ۱۹۱

فصل ۵: طراحی سازه ۱۹۵

۱-۵ مقدمه ۱۹۷

۲-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر ۱۹۹

۱-۲-۵ روند کلی طراحی ۱۹۹

۲-۲-۵ مرحله اول-تعیین اهداف عملکردی ۲۰۱

۳-۲-۵ مرحله دوم-طراحی سازه اصلی ۲۰۳

۴-۲-۵ مرحله سوم-طراحی میراگرها ۲۱۰

۵-۲-۵ مرحله چهارم-کنترل نهایی عملکرد سازه ۲۳۵

۳-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای ۲۳۷

۲۳۷	۱-۳-۵ روند کلی طراحی
۲۳۸	۲-۳-۵ مرحله اول-تعیین اهداف عملکردی
۲۴۲	۳-۳-۵ مرحله دوم- تعیین مشخصات کلی سیستم جداگر
۲۵۰	۴-۳-۵ مرحله سوم- طراحی مقاومتی سازه
۲۵۱	۱-۴-۳-۵ طراحی روسازه
۲۵۵	۲-۴-۳-۵ طراحی زیرسازه
۲۵۶	۵-۳-۵ مرحله چهارم- طراحی جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز
۲۶۲	۶-۳-۵ مرحله پنجم- کنترل نهایی عملکرد سازه
۲۶۵	۴-۵ تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی
۲۶۶	۱-۴-۵ الزامات عمومی
۲۶۶	۱-۱-۴-۵ مدل سه بعدی
۲۶۶	۲-۱-۴-۵ جرم لرزه‌ای
۲۶۶	۳-۱-۴-۵ بار ثقلی
۲۶۷	۴-۱-۴-۵ پیچش
۲۶۷	۵-۱-۴-۵ دیافراگم کف
۲۶۹	۶-۱-۴-۵ اثر پی دلتا
۲۶۹	۷-۱-۴-۵ نسبت میرایی ذاتی
۲۷۱	۸-۱-۴-۵ تراز پایه و اعمال شتاب نگاشت‌ها
۲۷۲	۹-۱-۴-۵ سیستم راه پله
۲۷۲	۱۰-۱-۴-۵ میانقاب‌ها
۲۷۳	۱۱-۱-۴-۵ نوع تحلیل
۲۷۳	۱۲-۱-۴-۵ مشخصات مورد انتظار مصالح
۲۷۴	۱۳-۱-۴-۵ سختی موثر اعضای بتنی
۲۷۸	۲-۴-۵ مدل‌سازی سازه اصلی
۲۸۰	۱-۲-۴-۵ قاب خمشی فولادی
۲۸۵	۲-۲-۴-۵ قاب دارای مهاربند همگرا
۲۸۸	۳-۲-۴-۵ قاب خمشی بتنی
۲۹۱	۴-۲-۴-۵ دیوار برشی بتنی
۲۹۵	۳-۴-۵ مدل‌سازی میراگرها
۲۹۶	۴-۴-۵ مدل‌سازی جداگرها
۲۹۷	۵-۴-۵ پاسخ‌های لرزه‌ای

دریفت طبقات.....	۱-۵-۴-۵	۲۹۹
برش طبقات.....	۲-۵-۴-۵	۳۰۰
شتاب طبقات.....	۳-۵-۴-۵	۳۰۱
جابجایی طبقات.....	۴-۵-۴-۵	۳۰۳
تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل.....	۵-۵-۴-۵	۳۰۴
تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو.....	۶-۵-۴-۵	۳۰۵
تقاضای تغییر شکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها.....	۷-۵-۴-۵	۳۰۶
کنترل معیارهای پذیرش.....	۶-۴-۵	۳۰۸
معیار پذیرش ترکیبات بار غیرلرزه‌ای.....	۱-۶-۴-۵	۳۰۸
معیار پذیرش دریفت حداکثر طبقه.....	۲-۶-۴-۵	۳۰۸
معیار پذیرش دریفت ماندگار طبقه.....	۳-۶-۴-۵	۳۱۰
معیار پذیرش شتاب طبقه.....	۴-۶-۴-۵	۳۱۰
معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل.....	۵-۶-۴-۵	۳۱۱
معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو.....	۶-۶-۴-۵	۳۱۲
معیار پذیرش تقاضای تغییر شکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها.....	۷-۶-۴-۵	۳۱۵

فصل ۶: آزمایش میراگرها و جداگرها ۳۱۷

مقدمه.....	۱-۶	۳۱۹
آزمایش میراگرها.....	۲-۶	۳۲۲
آزمایش‌های پروتوتایپ.....	۱-۲-۶	۳۲۲
آزمایش مربوط به بارهای لرزه‌ای.....	۱-۱-۲-۶	۳۲۳
آزمایش مربوط به بارهای ناشی از باد.....	۲-۱-۲-۶	۳۲۶
معیارهای پذیرش آزمایش‌های پروتوتایپ.....	۲-۲-۶	۳۲۷
معیارهای پذیرش کیفی.....	۱-۲-۲-۶	۳۲۷
معیارهای پذیرش کمی.....	۲-۲-۲-۶	۳۲۷
تعیین مشخصات اسمی میراگر.....	۳-۲-۶	۳۳۰
تعیین حد بالا و حد پایین مشخصات میراگر.....	۴-۲-۶	۳۳۲
آزمایش‌های کنترل محصول.....	۵-۲-۶	۳۳۷
معیار پذیرش آزمایش‌های کنترل محصول.....	۶-۲-۶	۳۳۸
آزمایش جداگرها.....	۳-۶	۳۳۹

۳۳۹.....	۱-۳-۶ آزمایش‌های پرتوتایپ.....
۳۴۰.....	۱-۱-۳-۶ آزمایش مربوط به بارهای لرزه‌ای.....
۳۴۳.....	۲-۱-۳-۶ آزمایش مربوط به بارهای ناشی از باد.....
۳۴۳.....	۲-۳-۶ معیارهای پذیرش آزمایش‌های پرتوتایپ.....
۳۴۳.....	۱-۲-۳-۶ معیارهای پذیرش کیفی.....
۳۴۴.....	۲-۲-۳-۶ معیارهای پذیرش کمی.....
۳۴۶.....	۳-۳-۶ تعیین مشخصات اسمی جداگر.....
۳۴۷.....	۴-۳-۶ تعیین حد بالا و حد پایین مشخصات جداگر.....
۳۴۹.....	۵-۳-۶ آزمایش‌های کنترل محصول.....
۳۵۰.....	۶-۳-۶ معیار پذیرش آزمایش‌های کنترل محصول.....

فصل ۷: سایر الزامات ۳۵۱

۳۵۳.....	۱-۷ اتصالات میراگرها و جداگرها.....
۳۵۴.....	۱-۱-۷ اتصال در میراگرهای با عملکرد محوری.....
۳۶۱.....	۲-۱-۷ اتصال در میراگرهای با عملکرد برشی.....
۳۶۲.....	۳-۱-۷ اتصال در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای.....
۳۶۳.....	۲-۷ دیافراگم کف.....
۳۶۶.....	۳-۷ شالوده.....
۳۶۹.....	۴-۷ اجزای غیرسازه‌ای.....
۳۷۳.....	۵-۷ الزامات حریق.....
۳۷۳.....	۶-۷ الزامات نصب.....
۳۷۵.....	۷-۷ نگهداری و بازدید.....
۳۷۹.....	۸-۷ چک لیست کنترل طراحی.....
۳۸۰.....	۹-۷ ارزیابی نیاز به تعویض میراگرها و جداگرها پس از زلزله.....
۳۸۱.....	۱۰-۷ کنترل طراحی.....

فصل ۱

مقدمه

دقتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

دقتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۱-۱ فلسفه پیدایش

به طور سنتی طراحی لرزه‌ای سازه‌ها با این فرض انجام می‌شود که اجزای باربر جانبی سازه (تیرها، ستون‌ها، دیوارهای برشی و مهاربندها) تحت زلزله طرح وارد محدوده غیرارتجاعی خود شده و بدین ترتیب بخش اعظمی از انرژی ورودی به سازه را مستهلک نمایند. اگرچه با رعایت الزامات لرزه‌ای، سیستم‌های باربر جانبی موجود دارای ظرفیت استهلاک انرژی بالایی خواهند بود، لیکن استهلاک انرژی در این اجزا به معنی بروز آسیب و خسارت در آن‌ها می‌باشد. از آنجایی که بسیاری از اجزای باربر جانبی وظیفه باربری ثقلی سازه را نیز برعهده دارند، بروز آسیب در آن‌ها نه تنها ظرفیت جانبی سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه می‌تواند پایداری ثقلی سازه را نیز با مشکل مواجه کند. بنابراین لزوم تعمیر، بهسازی و یا بازسازی سازه‌هایی که با فلسفه فوق طراحی می‌شوند، امری بدیهی و پذیرفته شده است. در صورتی که در مقیاس یک شهر این فلسفه طراحی مدنظر قرار گیرد، مشخص می‌شود در صورت بروز زلزله طرح، انتظار می‌رود بخش اعظمی از ساختمان‌های شهر نیازمند بهسازی یا بازسازی کامل باشند که می‌تواند هزینه‌های اقتصادی کلانی به کشور تحمیل کند. این هزینه‌ها صرفاً محدود به بهسازی

و بازسازی ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها نبوده بلکه لازم است خسارات ناشی از توقف کسب و کار و چرخه حیات شهر زلزله زده نیز در برآورد خسارات مدنظر قرار داده شود.

به منظور دستیابی به تاب آوری لرزه‌ای و برای به حداقل رساندن خسارات وارده بر اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای ساختمان و بروز کمترین وقفه در سرویس‌دهی ساختمان، استفاده از روش‌های کنترل ارتعاشات در قالب استفاده از میراگرها و جداگرها در طی دهه‌های اخیر مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. در کنترل ارتعاشات هدف کاهش ارتعاشات ناشی از بارهای دینامیکی است که این کار با استفاده از تغییر در مشخصات دینامیکی سازه از جمله تغییر در سختی و میرایی صورت می‌پذیرد. این فناوری در بسیاری از کشورهای لرزه‌خیز از جمله ایران مورد استفاده قرار گرفته و عملکرد مناسب آن، نه تنها در مطالعات عددی و آزمایشگاهی، بلکه در زلزله‌های گذشته نیز مشاهده شده است. انتظار می‌رود در مقایسه با ساختمان‌های متعارف، ساختمان‌های مجهز به میراگرها و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای عملکرد لرزه‌ای مناسب‌تری از خود نشان دهند.

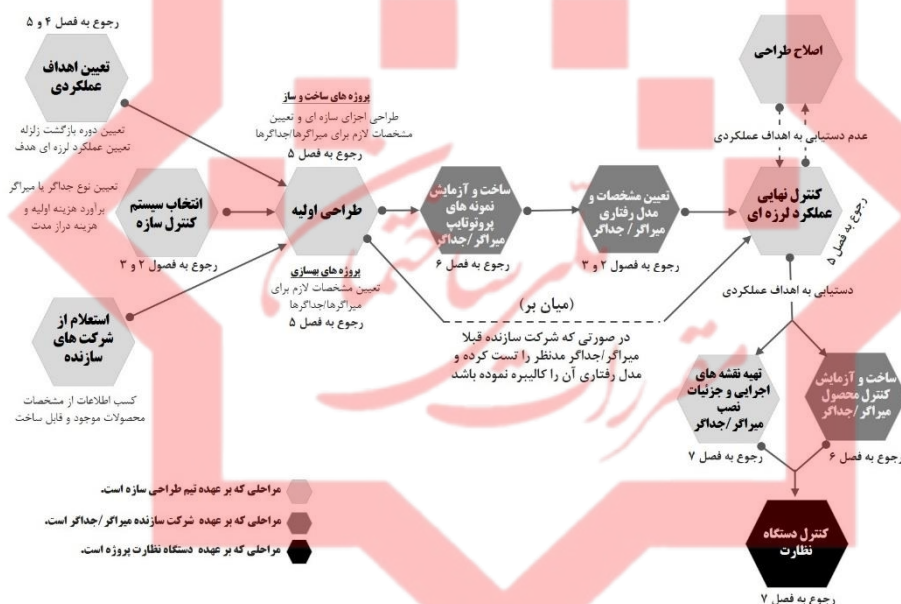
۱-۲ دامنه کاربرد

این ضابطه به منظور طراحی ساختمان‌های جدید مجهز به میراگرها و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای و همچنین بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود با استفاده از میراگرها و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای تدوین شده است. تمرکز این ضابطه بر تجهیزات کنترل ارتعاشات غیرفعال بوده و سایر روش‌های کنترل ارتعاشات از جمله روش‌های کنترل نیمه فعال و فعال خارج از دامنه کاربرد متن حاضر می‌باشند. مطالب ارائه شده می‌تواند به منظور طراحی سایر سازه‌های ویژه مورد استفاده قرار گیرد، لیکن باید توجه داشت مطالب با تمرکز بر سازه‌های ساختمانی تدوین شده و برای سایر سازه‌های ویژه (پل‌ها، اسکله‌ها، سکوه‌های دریایی، مخازن و ...) ممکن است نیاز به لحاظ الزاماتی تکمیلی وجود داشته باشد. بارهای دینامیکی مدنظر در متن حاضر بارهای جانبی لرزه‌ای بوده و بررسی رفتار سازه تحت سایر بارهای دینامیکی از جمله باد، ضربه، انفجار و ... خارج از اهداف این ضابطه می‌باشد.

۳-۱ فلوچارت طراحی

ضابطه حاضر با این فرض تهیه شده است که روند طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای مطابق فلوچارت شکل (۱-۱) انجام شود.

لازم به ذکر است تیم طراحی سازه می‌تواند از طریق سایر مسیرها نیز اقدام به طراحی سازه نماید. صرف‌نظر از روش طراحی، لازم است نشان داده شود که اولاً عملکرد لرزه‌ای سازه معیارهای پذیرش مدنظر را برآورده نموده است (مطابق فصل ۵)، ثانیاً آزمایش‌های پرتوتایپ و کنترل محصول بر روی میراگرها / جداگرهای استفاده شده در سازه انجام شده و معیارهای پذیرش مربوط به آزمایش‌ها برآورده شده باشند (مطابق فصل ۶).



شکل (۱-۱). فلوچارت طراحی و بهسازی ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های میراگر یا جداگر

۴-۱ ساختار ضابطه

در فصل اول مقدمه‌ای در خصوص فلسفه استفاده از میراگرها و جداگرها ذکر شده و دامنه کاربرد ضابطه مشخص شده است.

در فصل دوم میراگرهای مدنظر این ضابطه معرفی شده و عملکرد هریک و نحوه استفاده از آن‌ها در ساختمان تشریح شده است. طراحی و تولید میراگرها مستلزم انجام محاسبات دقیق و بعضاً استفاده از چندین دانش در حوزه‌های مختلف مهندسی می‌باشد. در بسیاری از میراگرها جزئیات دقیق ساخت اساساً در ادبیات فنی وجود نداشته و هر تولید کننده از روش خاص خود استفاده می‌کند. بنابراین انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت محصول نهایی امری ضروری است. با این توضیح مشخص می‌گردد هدف از ارائه این فصل بیان گام به گام روش‌های طراحی و تولید میراگرها نبوده بلکه هدف صرفاً آشنایی مهندسین و فعالین حوزه ساخت و ساز با ساختار و مکانیزم عملکردی میراگرهای متداول، نحوه شبیه سازی رفتار آن‌ها و عوامل موثر در مشخصات آن‌ها می‌باشد.

در فصل سوم جداگرهای مدنظر این ضابطه معرفی شده و عملکرد هریک و نحوه استفاده آن‌ها در ساختمان تشریح شده است. مشابه آنچه که در خصوص میراگرها بیان شد، طراحی و تولید جداگرهای لرزه‌ای نیز مستلزم انجام محاسبات دقیق و بعضاً استفاده از چندین دانش در حوزه‌های مختلف مهندسی می‌باشد. در بسیاری از جداگرها جزئیات دقیق ساخت اساساً در ادبیات فنی وجود نداشته و هر تولید کننده از روش خاص خود استفاده می‌کند. بنابراین انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت محصول نهایی امری ضروری است. با این توضیح مشخص می‌گردد هدف از ارائه این فصل بیان گام به گام روش‌های طراحی و تولید جداگرها نبوده بلکه هدف صرفاً آشنایی مهندسین و فعالین حوزه ساخت و ساز با ساختار و مکانیزم عملکردی جداگرهای متداول، نحوه شبیه سازی رفتار آن‌ها و عوامل موثر در مشخصات آن‌ها می‌باشد.

در فصل چهارم نحوه تعیین طیف شتاب طرح ارائه شده و چگونگی تنظیم آن برای سطوح خطر (دوره‌های بازگشت) مختلف و نیز درصدهای میرایی مختلف ارائه شده است. همچنین در این فصل روش‌های مختلف انجام تحلیل خطر لرزه‌ای برای تعیین طیف ویژه ساختگاه، معرفی شده‌اند. با توجه به اینکه بر اساس این ضابطه، کنترل نهایی کلیه ساختمان‌های مجهز به میراگر و سیستم جداساز لرزه‌ای باید از طریق تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شود، نحوه انتخاب شتاب نگاشت‌های مورد نیاز در این نوع تحلیل‌ها و چگونگی تنظیم دوره بازگشت متناظر با شتاب نگاشت (از طریق روش مقیاس یا انطباق طیفی)، در این فصل ارائه شده است.

در فصل پنجم نحوه طراحی سازه‌های مجهز به میراگر و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای ارائه شده است. روند طراحی شامل طراحی اولیه و کنترل نهایی عملکرد سازه می‌باشد. در این فصل برای طراحی اولیه سازه‌های مجهز به میراگر، روشی موسوم به "طراحی بر مبنای دریافت" و برای طراحی اولیه سازه‌های مجهز به سیستم‌های جداساز لرزه‌ای، روشی موسوم به "تعادل انرژی" ارائه شده است. هدف از ارائه این دو روش، کاهش روند سعی و خطا در طراحی و چیدمان بهینه میراگرها و جداگرها می‌باشد. با این وجود، طراح می‌تواند از هر روش دیگری نیز به منظور طراحی اولیه سازه استفاده نماید. بر اساس این ضابطه، کنترل نهایی عملکرد سازه‌های مجهز به میراگر و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای صرفاً از طریق تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی میسر است. بنابراین در این فصل، روند انجام این نوع تحلیل‌ها و جزئیات مربوط به کنترل معیارهای پذیرش، ارائه شده است. روش مورد استفاده در کنترل نهایی سازه، منطبق با روش طراحی عملکردی می‌باشد که در آن لازم است عملکرد لرزه‌ای سازه حداقل در دو سطح خطر لرزه‌ای متناظر با زلزله سطح سرویس و زلزله سطح ۲ بررسی شود.

در فصل ششم الزامات مربوط به آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای ارائه شده است. انجام این آزمایش‌ها دارای اهمیت بالایی بوده و بر روی کلیه میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای مورد استفاده در سازه، باید مطابق این فصل آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول انجام شود.

در فصل هفتم سایر الزامات تکمیلی در خصوص طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرها بیان می‌شود این الزامات عبارتند از جزئیات اتصال میراگرها و جداگرها به سازه، طراحی دیافراگم کف، طراحی شالوده، الزامات مربوط به اجزای غیرسازه‌ای، الزامات حریق، الزامات نصب میراگرها و جداگرها، الزامات مربوط به بازدید و نگهداری از میراگرها و جداگرها، نحوه ارزیابی نیاز به تعویض میراگر و جداگر پس از وقوع زلزله و در نهایت نحوه انجام کنترل طراحی توسط دستگاه نظارتی.

در فصل هشتم مراجع استفاده شده به منظور تدوین ضابطه فهرست شده‌اند.



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

فصل ۲

میرا گڑھا

دقتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۲-۱ مقدمه

میراگرها ادواتی به منظور افزایش نسبت میرایی و افزایش قابلیت استهلاک انرژی در سازه هستند. به طور کلی میراگرها را می‌توان به سه دسته میراگرهای وابسته به تغییرشکل، میراگرهای وابسته به سرعت و میراگرهای وابسته به شتاب طبقه بندی نمود که تنها دو مورد اول در این ضابطه مورد توجه قرار گرفته‌اند چراکه این دو دسته از میراگرها بیشترین کاربرد را به منظور کنترل ارتعاشات ناشی از بارهای لرزه‌ای دارند. لازم به ذکر است، برخی از میراگرها نه تنها بخشی از انرژی ورودی به سازه را مستهلک می‌کنند، بلکه اساساً مقدار انرژی ورودی به سازه را نیز کاهش می‌دهند.

۲-۱-۱ میراگرهای وابسته به تغییرشکل

میراگرهای وابسته به تغییرشکل به ادواتی اطلاق می‌شود که در آن‌ها نیروی ایجاد شده در میراگر عمدتاً به تغییرشکل ایجاد شده در میراگر بستگی دارد. این تغییرشکل می‌تواند به صورت محوری، برشی، خمشی، پیچشی، لغزشی و یا ترکیبی از این موارد باشد. نیروی این نوع

از میراگرها وابستگی اندکی به سرعت و فرکانس تغییر شکل رخ داده در میراگر داشته و مکانیزم استهلاک انرژی عمدتاً بر پایه تغییر شکل‌های غیرارتجاعی و یا ایجاد اصطکاک استوار است. میراگرهای تسلیمی و میراگرهای اصطکاکی در این دسته بندی قرار می‌گیرند.

تذکر: عدم وابستگی تئوری رفتار میراگر به سرعت، لزوماً به معنی یکسان بودن رفتار میراگر در بارهای دینامیکی و استاتیکی نیست. عواملی از جمله خود گرمایی^۱ (افزایش حرارت به علت استهلاک انرژی)، وابستگی اصطکاک به سرعت و حرارت و یا وابستگی مقاومت تسلیم به سرعت و حرارت می‌تواند منجر به تغییر رفتار میراگرهای وابسته به تغییر شکل تحت بارهای دینامیکی و استاتیکی شود.

۲-۱-۲ میراگرهای وابسته به سرعت

میراگرهای وابسته به سرعت ادواتی هستند که در آن‌ها نیروی ایجاد شده در میراگر عمدتاً به سرعت نسبی وارده بر میراگر بستگی دارد. در این نوع از میراگرها ممکن است نیروی میراگر علاوه بر سرعت، به تغییر شکل و فرکانس تغییر شکل رخ داده در میراگر نیز بستگی داشته باشد. میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک در دسته میراگرهای وابسته به سرعت قرار می‌گیرند. مکانیزم استهلاک انرژی در میراگرهای ویسکوز عمدتاً بر پایه ایجاد افت انرژی هیدرولیکی در سیال داخل میراگر بوده در حالی که مکانیزم استهلاک انرژی در میراگرهای ویسکوالاستیک ناشی از اصطکاک بین مولکولی و خاصیت ویسکوز پلیمر ویسکوالاستیک به کار رفته در میراگر می‌باشد.

۲-۱-۳ میراگرهای وابسته به شتاب

میراگرهای وابسته به شتاب ادواتی هستند که در آن‌ها نیروی میراگر عمدتاً به شتاب وارده بر میراگر بستگی دارد. خانواده میراگرهای جرمی (جرم تنظیم شده، مایع تنظیم شده، ستون مایع تنظیم شده و ...) در این دسته بندی قرار می‌گیرند. این نوع از میراگرها نسبت به سایر میراگرها کاربرد محدودتری داشته و در دامنه کاربرد ضابطه حاضر نمی‌باشند.

^۱ Self-heating

تذکر: میراگرهای وابسته به شتاب عمدتاً برای بارهای شبه هارمونیک با دامنه فرکانسی محدود همانند بار ناشی از باد، بار ناشی از امواج دریا، بار ناشی از قدم زدن افراد و ... مناسب هستند.

۲-۱-۴ میراگرهای مدنظر ضابطه

مطابق جدول (۲-۱) میراگرهایی که مستقیماً در این ضابطه معرفی شده و الزامات لازم برای آن‌ها ارائه شده است، شامل میراگرهای وابسته به تغییر شکل و میراگرهای وابسته به سرعت می‌باشند. لازم به ذکر است بر اساس این ضابطه، هر دو شرط زیر باید هنگام استفاده از میراگرها در سازه برآورده شود.

- الف) آزمایش‌های مقرر شده در فصل ششم انجام شده و معیارهای پذیرش برآورده شده باشند.
- ب) مدل عددی میراگر بر اساس نتایج آزمایشگاهی ساخته شده و کنترل نهایی سازه مجهز به میراگر مطابق فصل پنجم این ضابطه انجام شده باشد.

جدول (۲-۱). میراگرهایی که به طور مستقیم مدنظر ضابطه هستند

میراگر	تغییر شکل	سرعت	میزان حساسیت به				استهلاک انرژی در زلزله سطح سرویس	استهلاک انرژی در زلزله سطح ۲	ایجاد تغییر شکل ماندگار در میراگر پس از زلزله سطح ۲	نیاز به تعویض پس از زلزله سطح ۲	هزینه اولیه نسبی
			خستگی کم پاره	دمای محیط	فرکانس بارگذاری	گذر زمان					
پره مثلثی	✓		*	ناچیز	ناچیز	ناچیز	معمولاً ندارد	دارد	بله	*	کم
پانل برشی	✓		*	ناچیز	ناچیز	ناچیز	معمولاً ندارد	دارد	بله	*	کم
کمانش تاب	✓		*	ناچیز	ناچیز	ناچیز	معمولاً ندارد	دارد	بله	*	کم
اصطکاکی انتقالی	✓			ناچیز	ناچیز	*	معمولاً ندارد	دارد	بله	معمولاً خیر	متوسط
اصطکاکی دورانی	✓			ناچیز	ناچیز	*	معمولاً ندارد	دارد	بله	معمولاً خیر	متوسط
ویسکوز		✓		ناچیز	ناچیز	ناچیز	دارد	دارد	خیر	معمولاً خیر	زیاد
روغنی		✓		ناچیز	ناچیز	ناچیز	دارد	دارد	خیر	معمولاً خیر	زیاد
پانل ویسکوز		✓		ناچیز	*	ناچیز	دارد	دارد	خیر	معمولاً خیر	زیاد
ویسکوالاستیک	✓	✓		ناچیز	*	*	دارد	دارد	خیر	معمولاً خیر	زیاد

* قسمت‌های دارای ستاره به معنی آن است که این مشخصه نیاز به بررسی داشته و به جزئیات بکار رفته در تولید میراگر بستگی دارد.

تذکر: میراگرهای مدنظر ضابطه که در جدول (۱-۲) معرفی شده‌اند، از جمله پرکاربردترین و شناخته شده ترین میراگرهای مورد استفاده در صنعت ساخت و ساز هستند و طیف وسیعی از ساختمان‌های مجهز به میراگر در داخل و خارج از کشور از یک یا ترکیبی از میراگرهای ارائه شده در جدول (۱-۲) استفاده نموده‌اند. با این وجود، این ضابطه منعی در خصوص استفاده از سایر میراگرها نداشته و هر نوع میراگری که شرایط (الف) و (ب) ارائه شده در بند ۲-۱-۴ را برآورده نماید، می‌تواند در سازه استفاده شود.

در ادامه این فصل، میراگرهای معرفی شده در جدول (۱-۲) هر یک به صورت جداگانه تشریح شده‌اند.

۲-۲ میراگرهای تسلیمی

میراگرهای تسلیمی دسته‌ای از ادوات استهلاک انرژی هستند که از طریق رفتار غیرارتجاعی در بخش‌هایی از خود، انرژی ورودی را مستهلک کرده و به حرارت تبدیل می‌کنند. این دسته از میراگرها اصطلاحاً تحت عنوان میراگرهای وابسته به تغییرمکان طبقه‌بندی می‌شوند چراکه نیروی ایجاد شده در میراگر عمدتاً به تغییرمکان نسبی وارده بر میراگر بستگی دارد. بسته به نوع میراگر، رفتار غیرارتجاعی میراگر می‌تواند به صورت خمشی، برشی، محوری، پیچشی و یا به صورت ترکیبی از مولفه‌های مذکور باشد. همچنین قسمت تسلیم شونده میراگر می‌تواند از فلزاتی از جمله انواع فولادهای ساختمانی، فولاد با نقطه تسلیم پایین، سرب و ... ساخته شود. میراگرهای تسلیمی ساده ترین نوع از میراگرهای لرزه‌ای هستند که در ادامه سه دسته از متداول ترین میراگرهای تسلیمی در صنعت ساخت و ساز معرفی شده‌اند.

تذکر: میراگرهای تسلیمی طیف بسیار وسیعی داشته و با جزئیات گوناگون توسط شرکت‌های مختلف تولید می‌شوند. جزئیات نشان داده شده در این ضابطه بدین معنی نیست که تنها استفاده از این جزئیات مجاز است. میراگرهایی با جزئیات متفاوت در صورتی که عملکرد مناسب آن‌ها از طریق انجام آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول (مطابق فصل ۶) نشان داده شود، مجاز به استفاده هستند.

۱-۲-۲ میراگرهای پره مثلثی

میراگرهای پره مثلثی که تحت نام تاداس^۱ نیز شناخته می‌شوند، مطابق شکل (۱-۲) شامل ورق‌های فلزی مثلثی شکلی هستند که به صورت موازی در کنار هم چیده شده و به ورق‌های اتصال فوقانی و تحتانی متصل هستند. در این میراگر قسمت تسلیم شونده پره‌های مثلثی هستند و سایر اجزای میراگر به نحوی طراحی می‌شوند که الاستیک باقی بمانند.

معمولاً اتصال ورق‌های مثلثی به ورق اتصال فوقانی به صورت جوشی است به نحوی که قاعده ورق‌های مثلثی در داخل شیارهای ورق اتصال فوقانی قرار گرفته و جوش انجام می‌شود. به منظور جلوگیری از ایجاد نیروی محوری کششی یا فشاری در ورق‌های مثلثی معمولاً اتصال ورق‌های مثلثی به ورق اتصال تحتانی به صورت جوشی انجام نشده بلکه مطابق جزئیات نشان داده شده در شکل (۱-۲) به نحوی صورت می‌پذیرد که راس ورق مثلثی امکان جابجایی در جهت قائم و ایجاد دوران را داشته باشد. بدین ترتیب ورق مثلثی در قسمت قاعده به صورت گیردار بوده و در قسمت راس خود به صورت غلطکی است. این شرایط مرزی به کمک هندسه مثلثی ورق منجر به توزیع تقریباً یکنواخت تنش‌های خمشی در ارتفاع ورق مثلثی شده و انتظار می‌رود بخش زیادی از ورق وارد محدوده غیرارتجاعی خود شده و در استهلاک انرژی مشارکت داشته باشد.

تذکر ۱: طراحی و ساخت صحیح میراگر پره مثلثی بنا به مشخصات درخواستی طراح سازه، بر عهده شرکت سازنده میراگر بوده و از ذکر جزئیات بیشتر در این ضابطه خودداری شده است.

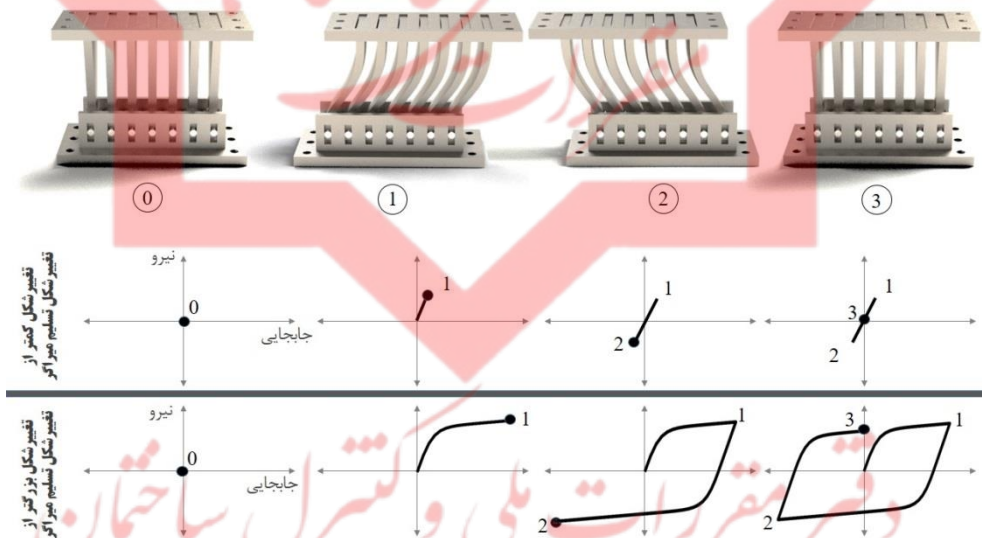
نحوه تغییرشکل و رفتار میراگر پره مثلثی در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. مطابق شکل در صورتی که میراگر پره مثلثی تحت تغییرشکلی کمتر از تغییرشکل تسلیم میراگر قرار گیرد، رفتاری خطی و الاستیک از خود نشان داده و منجر به استهلاک انرژی نخواهد شد. در این شرایط استفاده از میراگر تسلیمی صرفاً منجر به افزایش سختی سازه خواهد شد. لیکن در صورتی که تغییرشکل وارده از تغییرشکل تسلیم میراگر بیشتر باشد، ورق‌های مثلثی وارد

^۱ TADAS- Triangular Added Damping and Added Stiffness

محدوده غیرارتجاعی خود شده و میراگر قادر خواهد بود قابلیت استهلاک انرژی خود را بروز دهد.



شکل (۱-۲). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای تسلیمی پره مثلثی



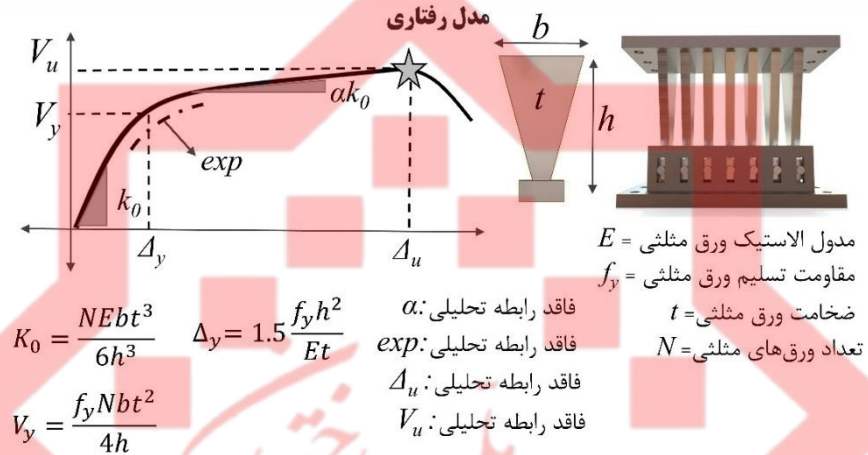
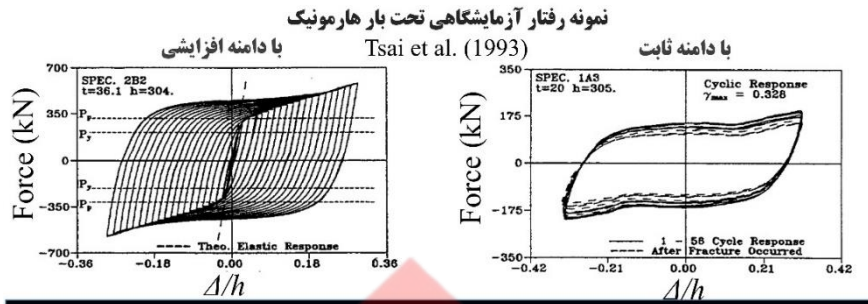
شکل (۲-۲). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر پره مثلثی تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پره مثلثی به همراه منحنی پوش رفتار این میراگرها در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. به طور کلی رفتار میراگرهای تسلیم شونده با استفاده از مدل‌های الاستوپلاستیک گوناگون قابل شبیه سازی است که جزئیات مربوطه در بند ۲-۴ ارائه شده است. عمده مشخصات رفتاری قابل تعریف برای میراگرهای پره مثلثی عبارتند از: سختی اولیه (K_0)، مقاومت تسلیم (V_y)، تغییرشکل تسلیم (Δ_y)، ظرفیت مقاومت نهایی (V_u)، ظرفیت تغییرشکل نهایی (Δ_u)، نسبت سختی پس از تسلیم (α) و کمیت exp برای تعریف ناحیه انتقالی از رفتار الاستیک به رفتار غیرالاستیک. نسبت سختی پس از تسلیم کمیت مستقلی نبوده و به مقاومت نهایی و ظرفیت تغییرشکل نهایی میراگر وابسته است. همچنین کمیت exp مشخص کننده نحوه انتقال رفتار میراگر از حالت خطی به حالت غیرخطی است (در برخی مدل‌های عددی نیازی به تعریف این کمیت نیست). به منظور کنترل نهایی عملکرد سازه مجهز به میراگر، کلیه کمیت‌های فوق لازم است تنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی میراگر بدست آورده شوند و استفاده از نتایج حاصل از روابط تحلیلی و یا نتایج تحلیل‌های اجزاء محدود، در کنترل نهایی عملکرد سازه، مجاز نمی‌باشد.

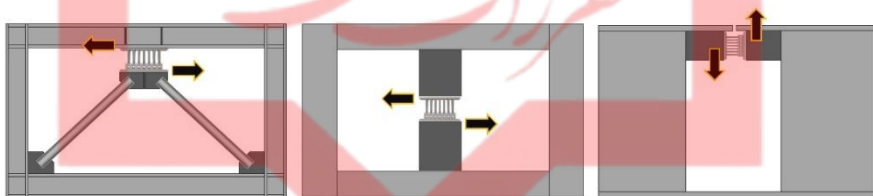
تذکر ۲: صرفاً به منظور داشتن یک تخمین اولیه از رفتار میراگر می‌توان سختی اولیه و مقاومت تسلیم میراگر پره مثلثی را مطابق روابط ارائه شده در شکل (۳-۲) تخمین زد. در این رابطه منظور از مقاومت تسلیم، مقاومت متناظر با پلاستیک شدن کل سطح مقطع پره‌های مثلثی است (و نه تسلیم اولین تار کششی یا فشاری).

برخی از چیدمان‌های ممکن برای میراگرهای پره مثلثی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. بدیهی است انتخاب چیدمان مناسب به الزامات معماری ساختمان وابسته می‌باشد. لیکن در غیاب محدودیت‌های معماری، بهترین چیدمان، چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین تغییرشکل در میراگر شود. بدیهی است ظرفیت تغییرشکل میراگر باید پاسخگوی تقاضای تغییرشکلی وارده باشد.

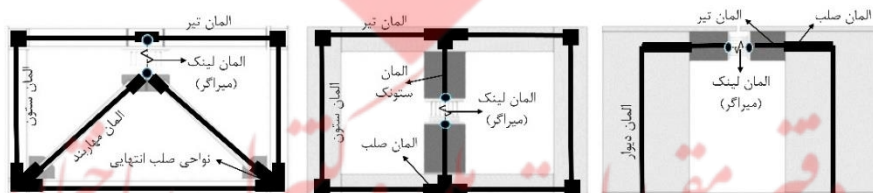
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۳-۲). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پره مثلی و منحنی پوش رفتار آنها



نواحی صلب را می‌توان به صورت الاستیک نیز در مدل عددی در نظر گرفت و با در برخی موارد از مدل‌سازی صریح آن‌ها صرف‌نظر نمود.

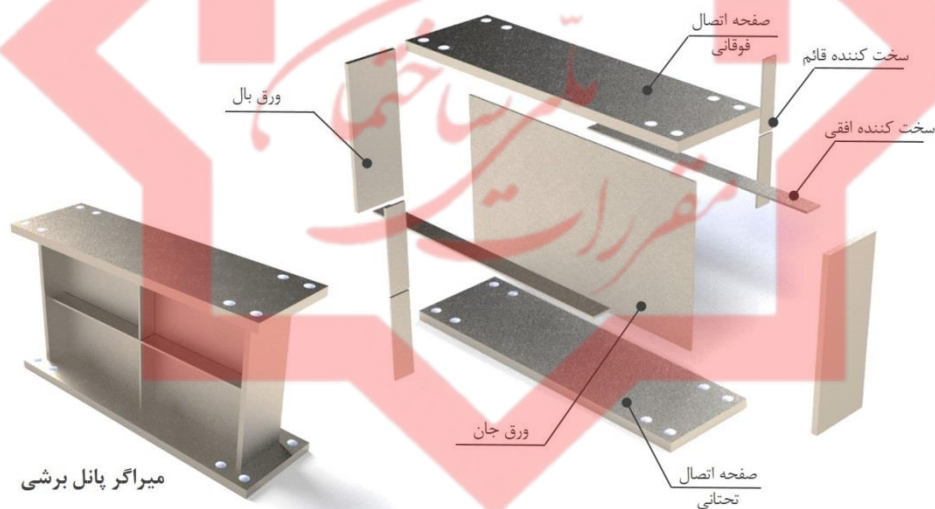


شکل (۴-۲). چیدمان‌های متداول برای میراگرهای تسلیمی پره مثلی و نحوه مدل‌سازی آنها

۲-۲-۲ میراگرهای پانل برشی

میراگرهای پانل برشی^۱ دسته‌ای از میراگرهای تسلیم شونده هستند که مکانیزم استهلاک انرژی در آن‌ها به صورت تسلیم برشی جان پانل و تسلیم خمشی بال پانل است. شکل (۲-۵) برخی از جزئیات متداول در میراگرهای پانل برشی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است تعداد و چیدمان سخت کننده‌های جان، بسته به ضخامت و ابعاد ورق جان، می‌تواند متفاوت از شکل (۲-۵) باشد. قسمت‌های تسلیم شونده میراگر عمده‌تاً ورق جان و بال پانل و تا حدی ورق‌های سخت کننده بوده و ورق‌های اتصال فوقانی و تحتانی الاستیک باقی می‌مانند. وجود سخت کننده‌ها باعث تاخیر در کمانش برشی ورق جان شده و منجر به بهبود رفتار چرخه‌ای میراگر می‌شوند.

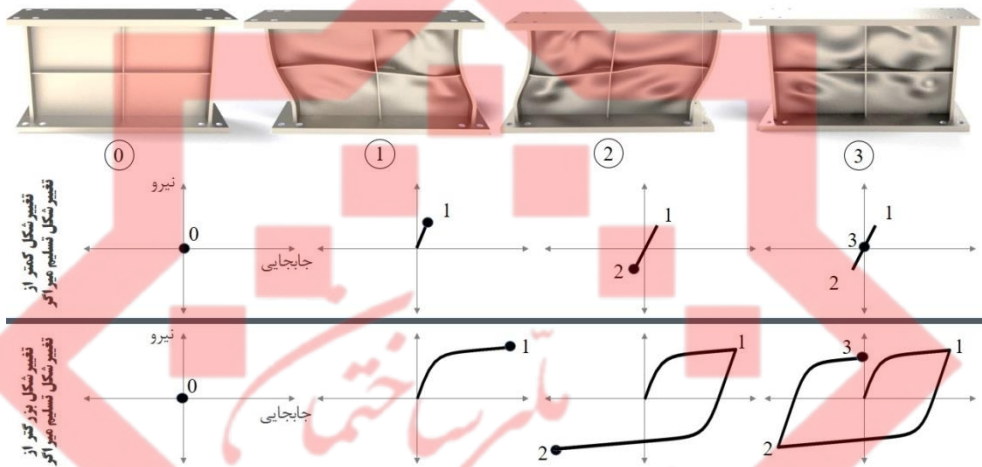
تذکره ۱: طراحی و ساخت صحیح میراگر پانل برشی بنا به مشخصات درخواستی طراح سازه، بر عهده شرکت سازنده میراگر بوده و از ذکر جزئیات بیشتر در این ضابطه خودداری شده است.



شکل (۲-۵). جزئیات نمونه‌ای از میراگر پانل برشی

^۱ Shear Panel Damper

نحوه تغییرشکل و رفتار میراگر پانل برشی در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. همانند سایر میراگرهای تسلیمی، در صورتی که میراگر پانل برشی تحت تغییرشکلی کمتر از تغییرشکل تسلیم میراگر قرار گیرد، رفتار میراگر به صورت الاستیک و فاقد استهلاك انرژی خواهد بود. در این شرایط استفاده از میراگر پانل برشی صرفاً منجر به افزایش سختی سازه خواهد شد. لیکن در صورتی که تغییرشکل وارده از تغییرشکل تسلیم میراگر بیشتر باشد، ورق‌های بال و جان وارد محدوده غیرخطی خود شده و میراگر شروع به استهلاك انرژی خواهد نمود.



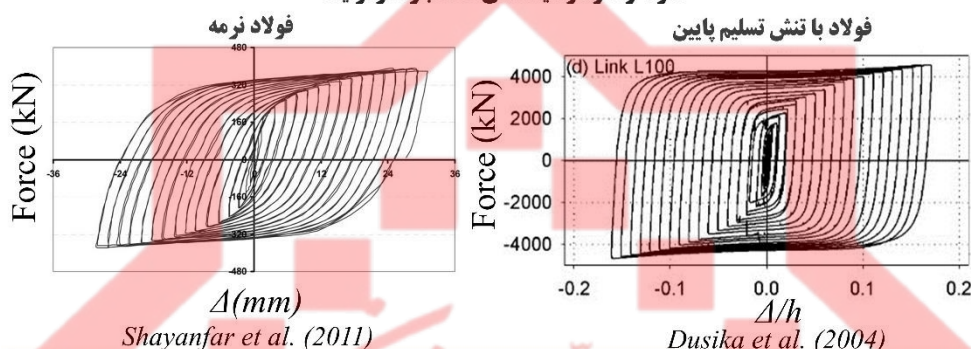
شکل (۶-۲). نحوه تغییرشکل و رفتار میراگر پانل برشی تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پانل برشی به همراه منحنی پوش میراگر در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. کمیت‌های شکل (۷-۲) مشابه کمیت‌هایی هستند که پیش‌تر در بند ۲-۲-۱ معرفی شدند. به منظور کنترل نهایی عملکرد سازه مجهز به میراگر، کلیه کمیت‌های تعیین کننده رفتار میراگر لازم است تنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی میراگر بدست آورده شوند و استفاده از نتایج حاصل از روابط تحلیلی و یا نتایج تحلیل‌های اجزاء محدود، در کنترل نهایی عملکرد سازه، مجاز نمی‌باشد.

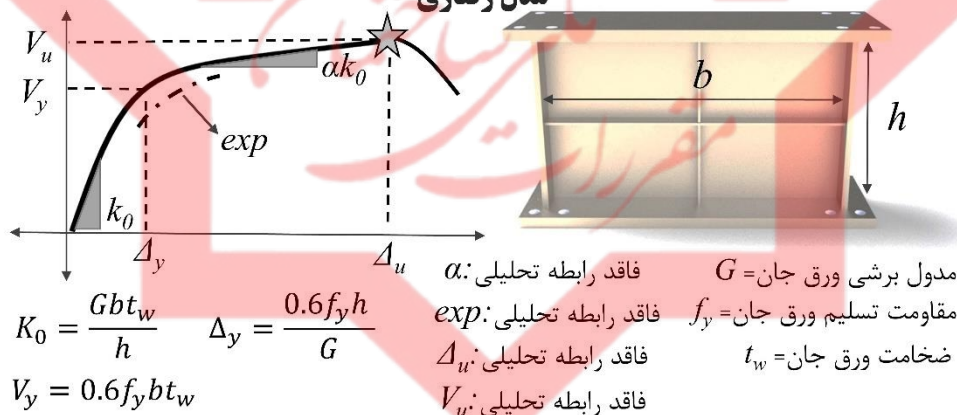
تذکر ۲: صرفاً به منظور داشتن یک تخمین اولیه از رفتار میراگر می‌توان سختی اولیه و مقاومت تسلیم میراگر پانل برشی را مطابق روابط ارائه شده در شکل (۷-۲) تخمین زد. در این رابطه

منظور از مقاومت تسلیم، مقاومت متناظر با تسلیم برشی پانل جان بوده و اثرات کمایش برشی و نیز تاثیر ورق‌های بال و سخت شدگی کرنشی در این رابطه لحاظ نشده است. بنابراین ظرفیت نهایی میراگرهای پانل برشی می‌تواند بسیار بیشتر از مقدار تخمینی شکل (۷-۲) باشد. این موضوع به ویژه در خصوص میراگرهای ساخته شده با فولادهای با تنش تسلیم پایین مشهودتر است.

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت بار هارمونیک



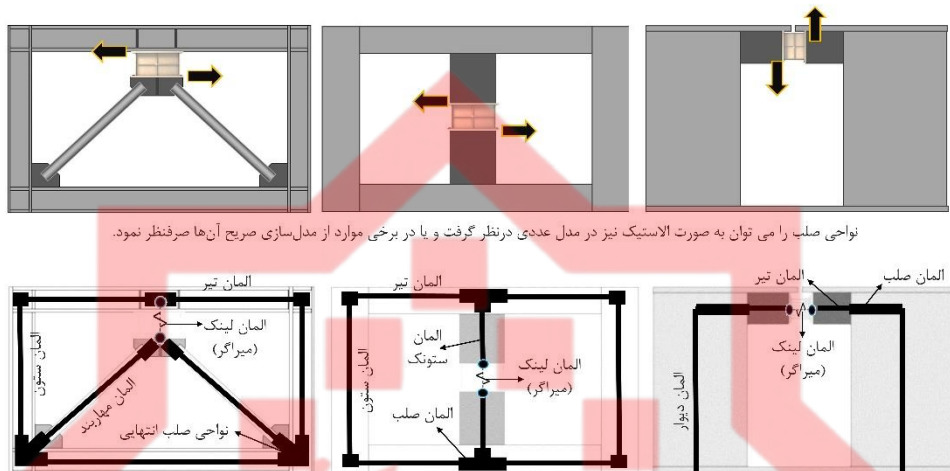
مدل رفتاری



شکل (۷-۲). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پانل برشی و منحنی پوش رفتار آن‌ها

برخی از چیدمان‌های ممکن برای میراگرهای پانل برشی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۸-۲) نشان داده شده است. بسته به الزامات معماری از سایر چیدمان‌ها

نیز می‌توان استفاده نمود، لیکن باید توجه داشت در میراگرهای تسلیم شونده بهترین چیدمان، چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین تغییرشکل در میراگر گردد. بدیهی است این تغییرشکل نباید از ظرفیت تغییرشکلی میراگر فراتر رود.



شکل (۲-۸). چیدمان‌های متداول برای میراگرهای تسلیمی پانل برشی و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

۲-۲-۳ مهاربندهای کمانش تاب

مهاربندهای کمانش تاب^۱ به دلیل قابلیت تعویض پذیری پس از زلزله و رفتار چرخه‌ای مناسبی که دارند، می‌توانند در دسته میراگرهای تسلیمی قرار داده شوند. اگرچه در برخی از آیین نامه‌ها از جمله استاندارد ۲۸۰۰ مهاربندهای کمانش تاب به عنوان یک سیستم باربر جانبی مستقل شناخته شده‌اند، در ضابطه حاضر مهاربندهای کمانش تاب به عنوان میراگرهای تسلیم شونده نیز پذیرفته شده‌اند. یکی از جزئیات متداول برای مهاربندهای کمانش تاب در شکل (۲-۹) نشان داده شده است. مکانیزم استهلاک انرژی در مهاربندهای کمانش تاب، تسلیم محوری هسته مهاربند است. مطابق شکل، هسته مهاربند در داخل غلاف پر شده از گروت (یا بتن) محصور شده و بدین ترتیب امکان کمانش آن محدود می‌شود. به بیان دقیق تر، هسته مهاربند تنها می‌تواند تحت مدهای کمانشی بسیار بالا دچار کمانش موضعی شود که در این شرایط نیروی

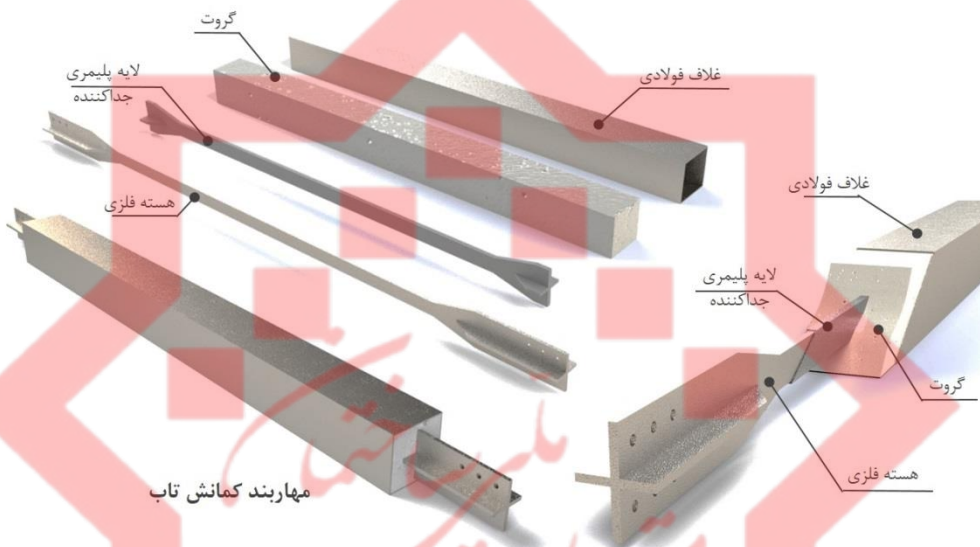
^۱ Buckling Restrained Brace (BRB)

کمانش بزرگتر از نیروی تسلیم محوری فشاری خواهد بود. بنابراین مقاومت فشاری هسته مهاربند از ظرفیت کششی آن کمتر نبوده و به دلیل تاثیر ضریب پواسون در افزایش سطح مقطع هسته و نیز اصطکاک مابین هسته و گروت در اثر کمانش موضعی هسته، ظرفیت فشاری مهاربندهای کمانش تاب مقداری بزرگتر از ظرفیت کششی خواهد بود. بنابراین در مهاربندهای کمانش تاب رفتار چرخه‌ای به صورت کامل متقارن نخواهد بود. در اطراف هسته مهاربند از یک پوشش جداکننده (در اکثر موارد نوعی لاستیک یا ماده پلیمری) استفاده شده است به نحوی که نیروی محوری صرفاً به هسته مهاربند اعمال شده و مشارکت گروت و غلاف در باربری محوری مهاربند محدود شود. بدین ترتیب وظیفه اصلی گروت و غلاف فولادی جلوگیری از کمانش هسته مهاربند می‌باشد. لازم به ذکر است در دو قسمت انتهایی، سطح مقطع هسته افزایش یافته و در این نواحی تقویت شده از هسته، که بخش‌هایی از آن خارج از غلاف است، هسته عمدتاً به صورت الاستیک باقی خواهد ماند. بنابراین در مهاربندهای کمانش تاب صرفاً بخش میانی هسته که کاملاً در داخل غلاف قرار داشته و سطح مقطع یکنواختی دارد، وارد محدوده غیرارتجاعی خود می‌شود.

رفتار چرخه‌ای پایدار مهاربندهای کمانش تاب تنها زمانی میسر می‌شود که شرکت سازنده مهاربند طراحی و ساخت محصول را به درستی انجام داده باشد که لازم است این امر از طریق آزمایش‌های پروتوتایپ مطابق فصل ۶ به اثبات برسد. در صورتی که غلاف مهاربند از ظرفیت خمشی کافی برخوردار نباشد قادر به جلوگیری از کمانش هسته نبوده و رفتار مهاربند ناپایدار خواهد شد. همچنین در صورتی که ضخامت لایه جداکننده هسته بیش از حد باشد، انحنای زیادی در مدهای کمانشی هسته ایجاد شده و این امر منجر به انتقال بخشی از نیروی فشاری به گروت و غلاف می‌شود (در اثر اصطکاک مابین هسته و گروت). در این حالت ظرفیت فشاری مهاربند می‌تواند بسیار بیشتر از ظرفیت کششی آن شده و رفتاری نامتقارن ایجاد کند. همچنین هر چه ضخامت لایه جداکننده هسته بیشتر باشد، کمانش موضعی شدیدتری در هسته رخ داده و تمرکز کرنش در هسته بیشتر می‌شود. بنابراین، معمولاً با افزایش ضخامت لایه جداکننده ظرفیت مهاربند تحت خستگی کم چرخه کاهش می‌یابد. عدم قرارگیری هسته فولادی به شکل مستقیم در داخل گروت و وجود انحنای اولیه در هسته نیز می‌تواند منجر به بروز ناپایداری در

رفتار مهاربند کمانش‌تاب شود. سایر مدهای خرابی در مهاربندهای کمانش‌تاب توسط Takeuchi and Wada (2017) تشریح شده است.

تذکره ۱: طراحی و ساخت صحیح مهاربند کمانش‌تاب بنا به مشخصات درخواستی طراح سازه، بر عهده شرکت سازنده بوده و از ذکر جزئیات بیشتر در این خصوص در این ضابطه خودداری شده است.

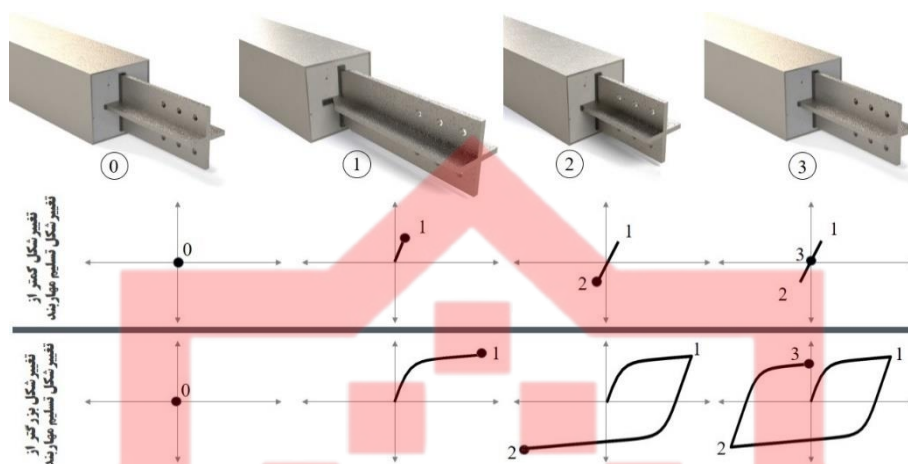


شکل (۲-۹). جزئیات نمونه‌ای از مهاربند کمانش‌تاب

نحوه تغییرشکل و رفتار مهاربند کمانش‌تاب در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است. همانند سایر میراگرهای تسلیمی، مهاربند کمانش‌تاب نیز تنها در صورتی قابلیت استهلاک انرژی از خود نشان می‌دهد که تحت تغییرشکلی فراتر از تغییرشکل تسلیم قرار گیرد.

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی مهاربندهای کمانش‌تاب به همراه منحنی پوش مهاربند در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است. مطابق شکل (۲-۱۱)، برخلاف سایر میراگرهای تسلیم شونده، رفتار مهاربندهای کمانش‌تاب به صورت کاملاً متقارن نبوده و ظرفیت نهایی فشاری مقداری از ظرفیت نهایی کششی بزرگتر است. به منظور کنترل نهایی عملکرد سازه مجهز به مهاربندهای کمانش‌تاب، کلیه کمیت‌های تعیین کننده رفتار مهاربند لازم است تنها بر اساس

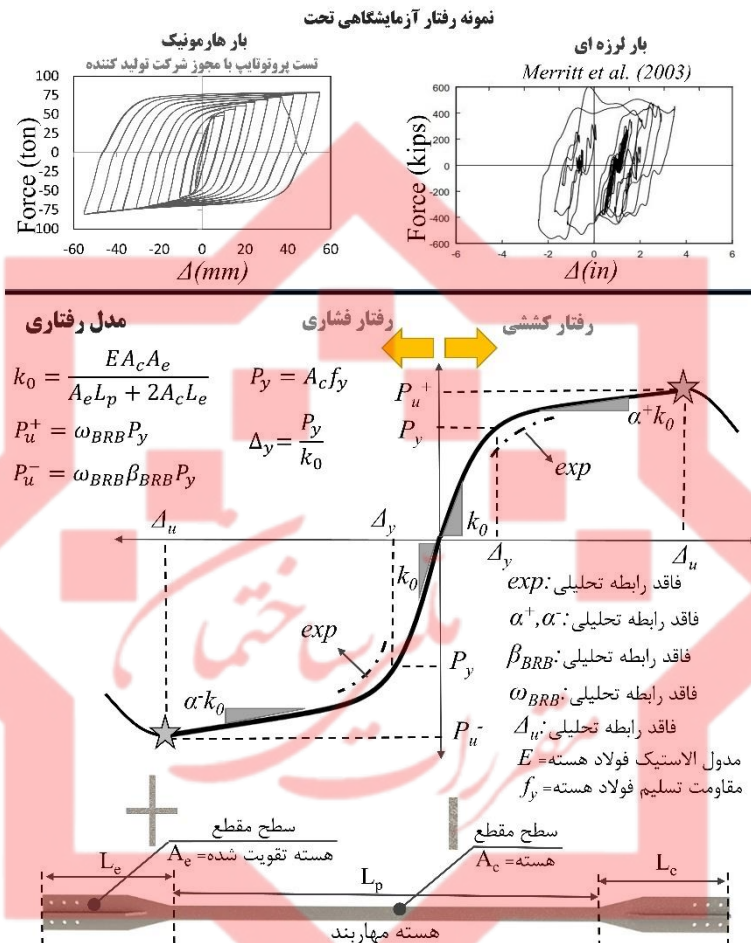
نتایج آزمایشگاهی بدست آورده شوند و استفاده از نتایج حاصل از روابط تحلیلی و یا نتایج تحلیل‌های اجزاء محدود، در کنترل نهایی عملکرد سازه، مجاز نمی‌باشد.



شکل (۲-۱۰). نحوه تغییر شکل و رفتار مهاربند کمانش‌تاب تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

تذکر ۲: صرفاً به منظور داشتن یک تخمین اولیه از رفتار مهاربند کمانش‌تاب می‌توان سختی اولیه، مقاومت تسلیم و تغییر شکل تسلیم را مطابق روابط ارائه شده در شکل (۲-۱۱) تخمین زد. ظرفیت نهایی کششی و فشاری نیز مطابق روابط شکل (۲-۱۱) قابل تخمین هستند لیکن این دو کمیت نیاز به داشتن ضریب اصلاح مقاومت فشاری (β_{BRB}) و ضریب اصلاح سخت شوندگی کرنشی (ω_{BRB}) هستند، که این دو ضریب از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آیند. کمیت β_{BRB} یک ضریب بزرگتر از ۱ است که معمولاً حد بالای آن ۱/۵ بوده اما در مهاربندهای با کیفیت ساخت بالاتر این ضریب بین ۱ تا ۱/۲ می‌باشد (Takeuchi and Wada, 2017). هرچقدر ضریب β_{BRB} به سمت ۱ میل کند، رفتار مهاربند متقارن‌تر خواهد بود. کمیت ω_{BRB} نیز یک ضریب بزرگتر از ۱ است که حد بالای آن به فولاد مصرفی در ساخت هسته بستگی داشته و حد بالای آن می‌تواند به ۲ نیز برسد. در صورت نیاز به منظور تخمین اولیه می‌توان β_{BRB} را برابر ۱/۲ و ω_{BRB} را برابر ۱/۵ در نظر گرفت. لازم به توضیح است این دو کمیت کمیت‌هایی مستقل برای مهاربند نبوده و به نوع پروتکل بارگذاری اعمال شده و حداکثر تغییر شکل اعمال

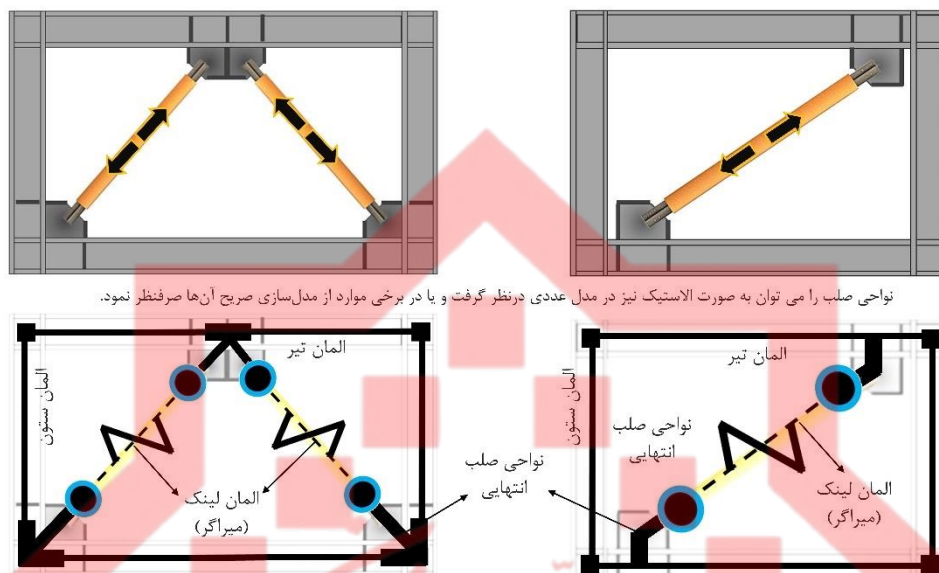
شده بر روی مهاربند بستگی دارند که مقدار دقیق آن‌ها بر اساس آزمایش‌های مشخص شده در فصل ۶ این ضابطه بدست می‌آیند.



شکل (۲-۱۱). رفتار آزمایشگاهی مهاربندهای کماتش‌تاب و منحنی پوش رفتار آن‌ها

برخی از چیدمان‌های متداول برای مهاربندهای کماتش‌تاب به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است. بسته به الزامات معماری از سایر چیدمان‌ها نیز می‌توان استفاده نمود، لیکن باید توجه داشت در میراگرهای تسلیم شونده

بهترین چیدمان، چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین تغییرشکل در میراگر گردد. بدیهی است این تغییرشکل نباید از ظرفیت تغییرشکلی میراگر فراتر رود.



شکل (۲-۱۲). چیدمان‌های متداول برای استفاده از مهاربندهای کمناش تاب و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

۲-۲-۴ شبیه‌سازی میراگرهای تسلیم‌شونده

به منظور شبیه‌سازی رفتار میراگرهای تسلیم‌شونده معمولاً از فنرهای غیرخطی با رفتاری الاستوپلاستیک استفاده می‌شود. بسته به نوع میراگر، رفتار می‌تواند دارای سخت‌شوندگی کینماتیک^۱ یا سخت‌شوندگی ایزوتروپیک^۲ باشد. در ادامه دو مدل رفتاری مناسب برای شبیه‌سازی رفتار میراگرهای تسلیم‌شونده معرفی می‌گردد. منظور از مدل رفتاری مناسب، مدلی است که به سادگی توسط مهندسين قابل استفاده باشد^۳.

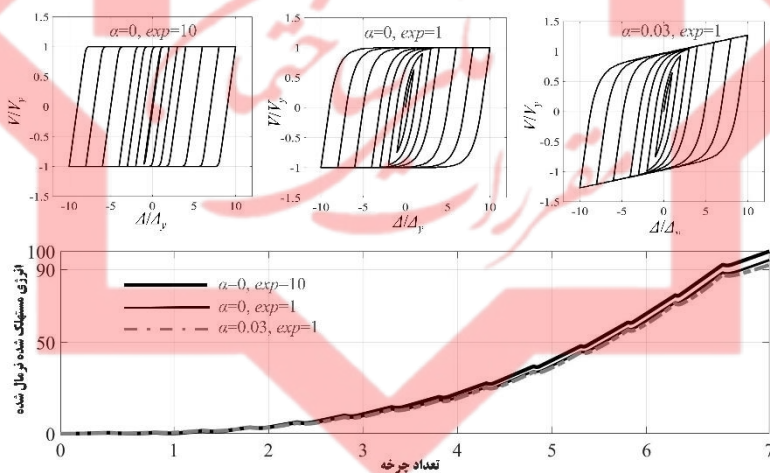
^۱ Kinematic hardening

^۲ Isotropic hardening

^۳ با توجه به اینکه در کشور اکثر مهندسين طراح از نرم افزارهای ETABS و SAP در طراحی سازه استفاده می‌کنند، بنابراین در این ضابطه به مدل‌هایی اشاره شده است که در این دو نرم افزار نیز موجود هستند.

۲-۲-۴-۱ مدل پلاستیک ون^۱

مدل پلاستیک ون یک مدل دو خطی با سخت شوندگی کینماتیک است که به کمک چهار کمیت سختی اولیه (K_0)، مقاومت تسلیم (P_y یا V_y)، نسبت سختی پس از تسلیم (α) و کمیت مربوط به شکل انتقال از رفتار خطی به غیرخطی (exp)، رفتار میراگر را شبیه سازی می‌کند. نمونه‌ای از رفتارهای شبیه سازی شده توسط این مدل در شکل (۲-۱۳) نشان داده شده است. واضح است کمیت‌های α و exp با اینکه تاثیر قابل توجهی در شکل منحنی چرخه‌ای دارند، اما تاثیر اندکی بر روی میزان انرژی مستهلک شده خواهند داشت. با این وجود مطالعات گذشته نشان داده است برای یک رفتار دوخطی با سختی اولیه و مقاومت تسلیم مشخص، با افزایش کمیت α (رفتارهای دارای سخت شوندگی) و نیز کاهش کمیت exp (رفتارهای با انتقال آهسته و غیرناگهانی از محدوده الاستیک به پلاستیک)، دررفت حداکثر و دررفت ملندگار طبقات کاهش خواهند یافت (Ruiz-Garcia and Miranda 2005, Mousavi and Zahrai 2016). بنابراین لازم است کمیت‌های مدل براساس نتایج آزمایشگاهی میراگر کالیبره شده و از کمیت‌هایی استفاده شود که بهترین انطباق را با رفتار آزمایشگاهی داشته باشند.



شکل (۲-۱۳). نمونه‌هایی از رفتار مدل پلاستیک ون و انرژی مستهلک شده در هر حالت

^۱ Plastic Wen

اگرچه مدل پلاستیک ون مدلی ساده با کمیت‌هایی اندک می‌باشد، لیکن این مدل با محدودیت‌هایی نیز مواجه است. محدودیت‌های اصلی مدل پلاستیک ون عبارتند از: عدم درنظر گرفتن سخت شدگی ایزوتروپیک، عدم درنظر گرفتن زوال مقاومت در اثر رسیدن میراگر به ظرفیت تغییر شکل نهایی و عدم درنظر گرفتن رفتارهای نامتقارن.

۲-۲-۴-۲ مدل پلاستیک چندخطی^۱

مدل پلاستیک چندخطی مزیت‌های زیادی نسبت به مدل پلاستیک ون دارد لیکن یکی از محدودیت‌های آن، عدم در نظر گرفتن چگونگی انتقال از محدوده خطی به غیرخطی (کمیت exp) است. به بیان دیگر در مدل پلاستیک چند خطی همواره انتقال از محدوده خطی به غیرخطی به شکل ناگهانی رخ می‌دهد و کاربر کنترلی در این خصوص ندارد. از جمله مزیت‌های اصلی مدل پلاستیک چند خطی عبارتند از: توانایی درنظر گرفتن سخت شوندگی کینماتیک و ایزوتروپیک، توانایی درنظر گرفتن سخت شوندگی BRB، توانایی شبیه سازی رفتارهای نامتقارن، توانایی شبیه سازی زوال مقاومت در صورتی که تغییر شکل میراگر از حد مشخصی فراتر رود و توانایی درنظر گرفتن رفتارهای چندسطحی. در این مدل کمیت‌های ورودی در قالب پوش رفتار در هر دو جهت معرفی می‌شوند. نمونه‌ای از شبیه سازی‌های انجام شده توسط مدل پلاستیک چندخطی در شکل (۲-۱۴) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، نوع سخت شوندگی می‌تواند تاثیر قابل توجهی در انرژی مستهلک شده داشته باشد. بنابراین لازم است از سخت شوندگی مناسبی که بهترین انطباق را با نتایج آزمایشگاهی میراگر دارد، استفاده شود.

تذکر: در مقایسه با مدل پلاستیک ون، مدل پلاستیک چندخطی معمولاً قادر است رفتار میراگرهای تسلیم شونده را به شکل مناسب‌تری شبیه سازی نماید.

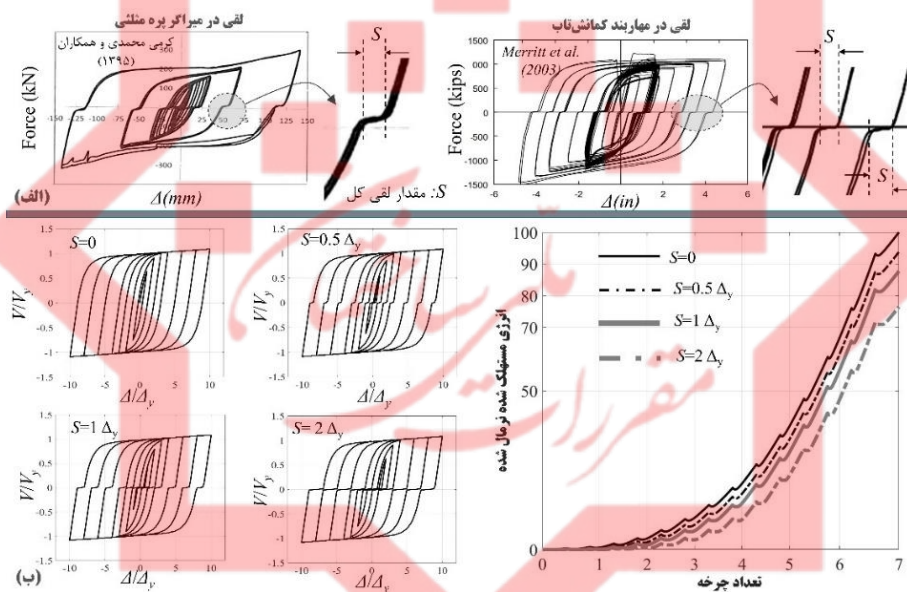
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

¹ Multilinear Plastic

نیز پذیرفته شده است. در روش غیرصریح، مطابق شکل (۲-۱۶)، سختی اولیه میراگر به نحوی اصلاح می‌شود (کاهش می‌یابد) که تاثیر لقی به شکل غیرمستقیم در مدل لحاظ شود.

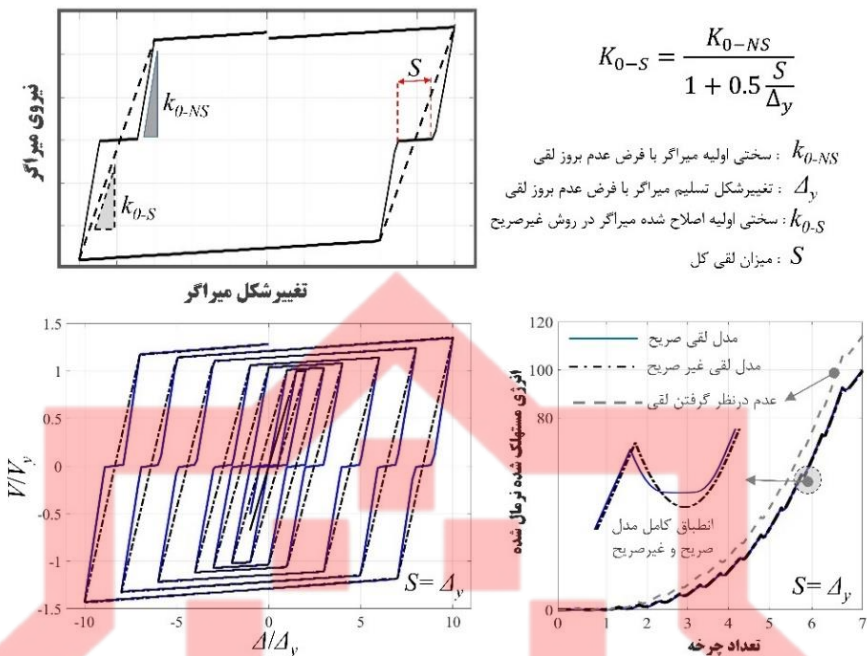
تذکر ۱: در صورتی که میزان لقی کوچکتر از نصف تغییر مکان تسلیم میراگر باشد ($S < 0.5 \Delta_y$)، لقی تاثیر اندکی در کاهش انرژی مستهلک شده توسط میراگر داشته و می‌توان از تاثیر لقی صرف‌نظر نمود. در غیر این صورت لازم است به شکل صریح و یا به شکل غیرصریح (کاهش سختی اولیه)، تاثیر لقی در مدل میراگر دیده شود.

تذکر ۲: منظور از S ، کل لقی موجود در رفتار میراگر است که منشأ آن می‌تواند خود میراگر، اتصالات میراگر و یا هر دو مورد باشد.



شکل (۲-۱۵). (الف) لقی مشاهده شده در میراگرهای تسلیمی مختلف در آزمایشات گذشته. (ب) تاثیر لقی در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر (میزان دقیق افت انرژی مستهلک شده در اثر لقی، علاوه بر مقدار لقی به مقدار تغییر شکل وارده بر میراگر نیز بستگی دارد).

دقت مقررات ملی و نشر ساختمان



شکل (۲-۱۶). نحوه محاسبه سختی اولیه کاهش یافته میراگر تسلیمی به منظور در نظر گرفتن تاثیر لقی به صورت غیر صریح و مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی صریح و غیر صریح لقی

تذکر ۳: در روش غیر صریح، تاثیر لقی با کاهش سختی اولیه میراگر از مقدار K_{0-NS} به مقدار K_{0-S} مطابق شکل (۲-۱۶) در نظر گرفته می‌شود.

تذکر ۴: در صورتی که سختی اولیه میراگر مستقیماً از نتایج آزمایشگاهی استخراج گردد و اتصالات میراگر در چیدمان آزمایش مشابه اتصالات میراگر در سازه باشند، می‌توان فرض نمود تاثیر لقی به صورت غیر صریح در سختی اولیه لحاظ شده و نیاز به اصلاح دیگری نمی‌باشد.

۲-۲-۵ وابستگی در میراگرهای تسلیمی

۲-۲-۵-۱ تعداد چرخه‌های پلاستیک

میراگرهای تسلیمی مستعد گسیختگی در اثر خستگی کم چرخه به دلیل تجمع کرنش‌های پلاستیک در بخش تسلیم شونده خود هستند. بنابراین حداکثر تعداد چرخه‌های پلاستیک قابل

اعمال در این نوع از میراگرها، بسته به ظرفیت خستگی کم چرخه و دامنه تغییر شکل اعمالی در هر چرخه، باید محدود شود. پس از وقوع زلزله شدید (زلزله سطح ۱ به بالا)، لازم است مطابق بند ۷-۹ از فصل ۷ میراگرهای تسلیم شونده بررسی شده و در صورت نیاز، میراگرهای آسیب دیده تعویض شوند.

۲-۵-۲-۲ دمای محیط

در محدوده دمای متعارف محیط، میراگرهای تسلیمی حساسیتی به دمای محیط ندارند.

۲-۵-۲-۳ سرعت بارگذاری

به طور معمول میراگرهای تسلیمی ساخته شده از فولادهای متداول ساختمانی، به سرعت بارگذاری وابستگی ناچیزی دارند بنابراین رفتار آنها را می توان مستقل از سرعت بارگذاری در نظر گرفت.

تذکر ۱: آزمایشات گذشته (Nakata et al. 2004، Akcellyan and Lignos 2021) نشان داده اند میراگرهای تسلیمی ساخته شده از فولاد با تنش تسلیم پایین در برابر سرعت بارگذاری حساس بوده و با افزایش سرعت بارگذاری تنش تسلیم و تنش نهایی آنها افزایش می یابد. بنابراین در خصوص میراگرهای تسلیمی ساخته شده از فولادهای متناظر با LYP100 و LYP225 لازم است رفتار میراگر بر اساس آزمایش های دینامیکی موجود در فصل ۶ تعیین شود.

تذکر ۲: آزمایشات گذشته (Cousins and Porritt 1993) نشان داده اند میراگرهای تسلیمی متکی بر رفتار غیرارتجاعی سرب، در برابر سرعت بارگذاری حساس بوده، بنابراین لازم است رفتار این نوع از میراگرها بر اساس آزمایش های دینامیکی موجود در فصل ۶ تعیین شود.

تذکر ۳: در کلیه میراگرها، انرژی ورودی به حرارت تبدیل شده بنابراین دمای میراگر افزایش می یابد. با افزایش سرعت بارگذاری، میراگر فرصت کمتری برای خنک کردن خود داشته و افزایش دما می تواند برخی از اجزای میراگر را تحت تاثیر قرار دهد. به عنوان نمونه در خصوص مهاربندهای کمانش تابی که دارای لایه جداکننده پلیمری هستند، افزایش دما می تواند در مشخصات لایه پلیمری (و نه خود هسته) اثر گذار باشد و یا در خصوص میراگرهای متکی بر

رفتار غیرارتجاعی سرب، افزایش حرارت سرب در ظرفیت تسلیم آن تاثیر دارد. به عبارت دیگر، در برخی از میراگرها، افزایش دمای رخ داده به وابسته افزایش سرعت بارگذاری، می‌تواند رفتار میراگر را تحت تاثیر قرار دهد. این اثر تنها در آزمایش‌های دینامیکی قابل بررسی بوده بنابراین به منظور ارزیابی رفتار میراگرهای تسلیم شونده، همواره انجام آزمایش‌های دینامیکی بر آزمایش‌های شبه استاتیکی ارجحیت دارند.

۲-۵-۴ عملکرد دراز مدت

مشخصات میراگرهای تسلیمی در اثر گذشت زمان تغییر محسوسی نداشته و نیز خوردگی در شرایط متعارف محیطی تنها اندکی از مقطع موثر میراگر را کاهش خواهد که از اثر آن می‌توان صرف‌نظر نمود. در شرایط خورنده شدید، لازم است تمهیدات لازم به منظور حفاظت از میراگرهای تسلیمی در نظر گرفته شود.

۲-۶-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای تسلیمی

از جمله مزیت‌های میراگرهای تسلیمی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- دارای ساختاری ساده بوده و در بین میراگرهای مختلف معمولاً دارای ارزان‌ترین قیمت هستند.
- میراگرهای تسلیمی رفتار چرخه‌ای پایداری داشته و قابلیت استهلاک انرژی بالایی دارند.
- میراگرهای تسلیمی دارای سختی جانبی هستند که این امر می‌تواند در کاهش تغییر شکل‌های سازه و دریافت طبقات موثر باشد. اگرچه در برخی موارد و برای برخی پاسخ‌های لرزه‌ای، افزایش سختی می‌تواند یک نقطه ضعف محسوب شود.
- رفتار دراز مدت قابل اطمینان بوده و گذر زمان تاثیر محسوسی در تغییر مشخصات ندارد.
- تغییرات دمای محیط تاثیری در رفتار میراگرهای تسلیمی ندارد.

از جمله محدودیت‌های اصلی در میراگرهای تسلیمی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- یکی از مدهای گسیختگی در میراگرهای تسلیمی، خستگی کم چرخه است. در نتیجه ممکن است پس از وقوع زلزله، میراگر غیرقابل استفاده شده و نیاز به تعویض داشته باشد. در بند ۷-۹ از فصل ۷ الزامات مربوط به بررسی نیاز یا عدم نیاز به تعویض میراگرهای تسلیمی ذکر شده است.
- میراگرهای تسلیمی سختی جانبی سازه را افزایش داده و ممکن است در مواردی منجر به افزایش شتاب طبقات و نیروهای وارده بر اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای شوند. لازم به ذکر است وجود سختی در میراگرهای تسلیم شونده در برخی موارد می‌تواند مزیت محسوب شود.
- میراگرهای تسلیمی تنها زمانی منجر به استهلاک انرژی خواهند شد که تغییرشکلی بزرگتر از تغییرشکل تسلیم خود را تجربه کنند. بنابراین انتظار می‌رود در زلزله‌های شدید تنها در چرخه‌های با شدت بالا (که تغییرشکلی بیش از تغییرشکل تسلیم به میراگر وارد می‌کنند)، استهلاک انرژی توسط میراگر تسلیمی انجام شده و در سایر چرخه‌های خفیف‌تر ارتعاش، میراگرهای تسلیمی نقشی در استهلاک انرژی نداشته باشند. به عبارت دیگر میراگرهای تسلیمی در تمام مدت زمان ارتعاش سازه فعال نبوده و در ثانیه‌های خاصی از ارتعاش سازه فعال هستند. همچنین در زلزله سطح سرویس، ممکن است میراگرهای تسلیمی صرفاً سختی سازه را افزایش داده و نقشی در استهلاک انرژی نداشته باشند.
- به طور کلی میراگرهای تسلیمی مستعد تجربه تغییرشکل ملنگار پس از زلزله هستند. با این وجود آن دسته از میراگرهای تسلیمی که دارای سختی پس از تسلیم بیشتر و انتقال ناحیه خطی به غیرخطی نرم تر هستند، تغییرشکل ماندگار کمتری را تجربه خواهند نمود.

۲-۳ میراگرهای اصطکاکی

میراگرهای اصطکاکی دسته‌ای از ادوات استهلاک انرژی هستند که از طریق ایجاد اصطکاک مابین صفحاتی پیش فشرده، انرژی ورودی را مستهلک کرده و به حرارت تبدیل می‌کنند. این دسته از میراگرها تحت عنوان میراگرهای وابسته به تغییرمکان طبقه‌بندی می‌شوند چراکه

نیروی ایجاد شده در میراگر فاقد وابستگی به سرعت بوده و عمدتاً به تغییر مکان نسبی وارده بر میراگر بستگی دارد. اصطکاک می‌تواند از طریق لغزش انتقالی یا لغزش دورانی در میراگر ایجاد شود که در ادامه جزئیاتی از هر دو میراگر اصطکاک‌ای ارائه شده است.

تذکر: علاوه بر میراگرهای اصطکاک‌ای معرفی شده در این ضابطه، میراگرهای اصطکاک‌ای دیگری نیز توسط شرکت‌های مختلف تولید می‌شوند و عدم تشریح آن‌ها در این ضابطه به معنی غیرمجاز بودن آن‌ها نیست. میراگرهای با جزئیات متفاوت در صورتی که عملکرد مناسب آن‌ها از طریق انجام آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول (مطابق فصل ۶) نشان داده شود، مجاز به استفاده هستند.

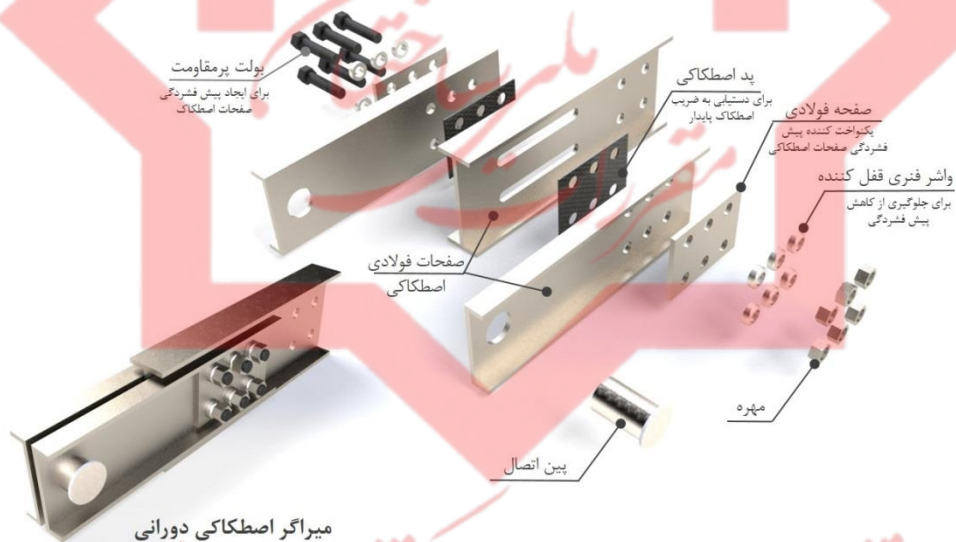
۲-۳-۱ میراگرهای اصطکاک‌ای انتقالی

میراگرهای اصطکاک‌ای با لغزش انتقالی شامل صفحات فولادی هستند که از طریق بولت‌های پرمقاومت بر روی یکدیگر پیش فشرده شده و در صورتی که نیروی وارده از نیروی آستانه لغزش میراگر فراتر رود، این صفحات نسبت به یکدیگر در یک مسیر مستقیم به شکل انتقالی می‌لغزند و از طریق ایجاد اصطکاک مابین صفحات، انرژی ورودی مستهلک می‌شود. نمونه‌ای از جزئیات متداول برای میراگرهای اصطکاک‌ای با لغزش انتقالی در شکل (۲-۱۷) نشان داده شده است. با توجه به اینکه نیروی آستانه لغزش میراگر به نیروی پیش‌فشاردهی بولت‌ها و نیز ضریب اصطکاک مابین صفحات لغزنده وابسته است، به منظور دستیابی به یک رفتار چرخه‌ای پایدار، دو کمیت مذکور باید تقریباً ثابت بمانند. به منظور به حداقل رساندن تغییر نیروی پیش‌فشاردهی بولت‌ها، از واشرهای فنری قفل‌کننده استفاده می‌شود. این واشرها جزئیات گوناگونی داشته اما وظیفه اصلی آن‌ها به حداقل رساندن افت نیروی پیش‌فشاردهی در بولت‌ها در اثر عواملی از جمله ارتعاش، خزش، انبساط و انقباض حرارتی و ... است. همچنین به منظور به حداقل رساندن تغییرات ضریب اصطکاک، مابین صفحات از پدهای اصطکاک‌ای استفاده می‌شود. پدهای اصطکاک‌ای باید از جنسی انتخاب شوند که در سطوح لغزش در اثر ساکن ماندن دراز مدت تحت فشار بالا (ناشی از پیش‌تنیدگی بولت‌ها)، جوش سرد^۱ ایجاد نشود. برای این منظور سطوح

^۱ Cold weld

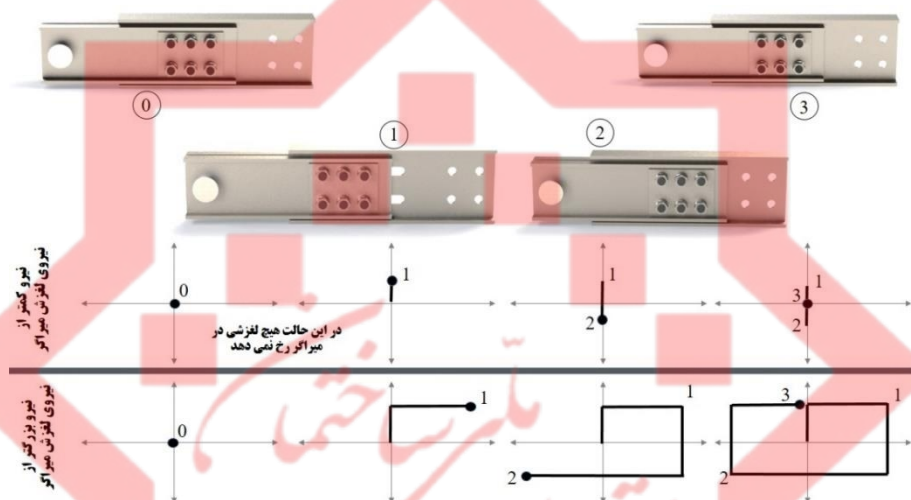
لغزش نباید هر دو از فلز یکسان باشند. بسیاری از فلزات غیریکسان درجه انطباق بالایی داشته و مستعد ایجاد جوش سرد (در اثر فشار و سکون) هستند. بنابراین در صورت عدم استفاده از پدهای اصطکاکی مناسب، به مرور زمان چسبندگی بین سطوح لغزش ایجاد شده که می‌تواند منجر به تغییر شدید در رفتار میراگر شود. همچنین لازم است سطوح لغزش در برابر سایش و بروز خط و خش مقاومت کافی را داشته باشند. در غیر این صورت با چند چرخه رفت و برگشت لغزشی، ضریب اصطکاک و متعاقباً نیروی لغزش میراگر تغییر کرده و پایداری رفتار میراگر از دست می‌رود. بنابراین در میراگرهای اصطکاکی انتظار بر این است که پدهای اصطکاکی از مقاومت سایش مناسب برخوردار باشند و پس از زلزله نیاز به تعویض پدها نباشد. بر این اساس، پدهای اصطکاکی و نحوه ثابت نگه داشتن نیروی پیش‌فشاردهی در میراگرهای اصطکاکی، از جمله کلیدی ترین نکات به منظور دستیابی به رفتاری پایدار در این نوع از میراگرها می‌باشد.

تذکره ۱: طراحی و ساخت میراگر اصطکاکی و تضمین عملکرد صحیح آن بر عهده شرکت سازنده میراگر است.



شکل (۲-۱۷). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای اصطکاکی با لغزش انتقالی

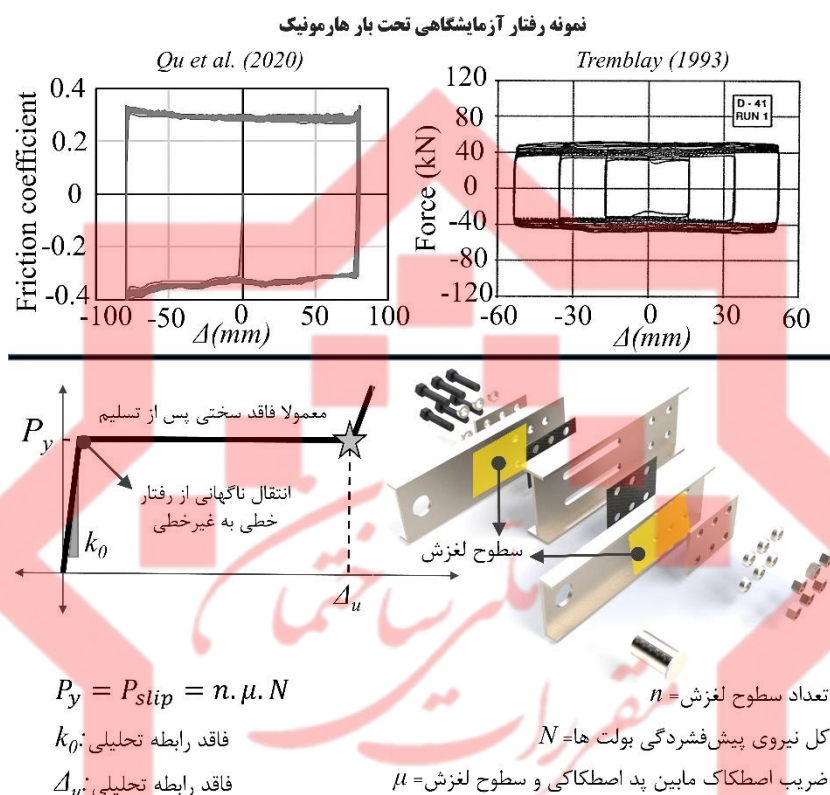
نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر اصطکاکی با لغزش انتقالی در شکل (۲-۱۸) نشان داده شده است. لازم به ذکر است میراگرهای اصطکاکی تنها در صورتی قابلیت استهلاک انرژی خود را بروز می‌دهند که نیروی وارده بر میراگر به نیروی آستانه لغزش میراگر برسد. در صورتی که نیروی وارده برای آغاز لغزش میراگر کافی باشد، صفحات میراگر نسبت به یکدیگر لغزش داشته و نیرو در میراگر ثابت می‌ماند. بدین ترتیب میراگر اصطکاکی رفتاری مستطیلی از خود نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۸). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر اصطکاکی انتقالی تحت یک چرخه رفت و برگشتی با دو سطح نیروی متفاوت

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای اصطکاکی انتقالی به همراه منحنی پوش میراگر در شکل (۲-۱۹) نشان داده شده است. نکته حائز اهمیت آن است که میراگرهای اصطکاکی معمولاً دارای سختی اولیه بسیار بالایی بوده و پس از رسیدن نیروی وارده به نیروی آستانه لغزش، میراگر شروع به تغییر شکل کرده و صفحات میراگر نسبت به یکدیگر می‌لغزند. این ویژگی منجر به یک انتقال ناگهانی از رفتار خطی به رفتار غیرخطی شده و معمولاً رفتار میراگر فاقد سختی پس از تسلیم (پس از لغزش) است. در این میراگر هیچ بخشی وارد رفتار غیرارتجاعی نشده و مکانیزم استهلاک انرژی بر مبنای اصطکاک است. رفتار میراگر معمولاً

مبتقارن بوده و ظرفیت تغییرشکل نهایی میراگر به هندسه میراگر، طول پدهای اصطکاکي و طول سوراخ‌های لوبیایی آن بستگی دارد.

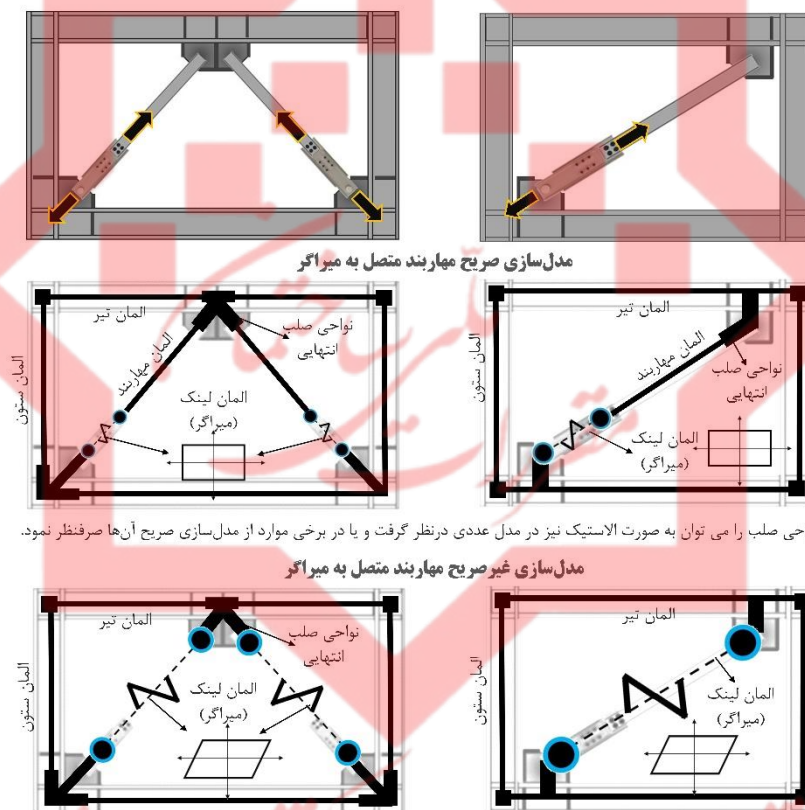


شکل (۲-۱۹). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای اصطکاکي انتقالی و منحنی پوش رفتار آن‌ها

در صورتی که تغییرشکلی فراتر از ظرفیت تغییرشکل به میراگر اعمال شود، بولت‌ها به انتهای سوراخ لوبیایی رسیده و یک ضربه در میراگر رخ می‌دهد که این اثر با افزایش ناگهانی سختی در انتهای رفتار میراگر نشان داده شده است. بدیهی است میراگر باید به نحوی طراحی شود که حداکثر تغییرشکل وارده، از ظرفیت تغییرشکلی میراگر فراتر نرود. نیروی آستانه لغزش میراگر به نیروی پیش‌فشاردهی صفحات لغزش، تعداد صفحات لغزش و ضریب اصطکاک مابین آن‌ها بستگی دارد که به جز تعداد صفحات، دو کمیت دیگر را به شکل تحلیلی نمی‌توان محاسبه

نمود و لازم است نیروی آستانه لغزش میراگر و نیز سختی اولیه آن حتماً بر اساس نتایج آزمایشگاهی بدست آیند.

برخی از چیدمان‌های متداول میراگرهای اصطکاکی انتقالی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۲۰) نشان داده شده است. بسته به الزامات معماری از سایر چیدمان‌ها نیز می‌توان استفاده نمود، لیکن باید توجه داشت در میراگرهای اصطکاکی بهترین چیدمان، چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین تغییرشکل در میراگر گردد. بدیهی است این تغییرشکل نباید از ظرفیت تغییرشکلی میراگر فراتر رود.



شکل (۲-۲۰). چیدمان‌های متداول برای استفاده از میراگرهای اصطکاکی انتقالی و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

تذکر ۲: در صورتی که در مدل سازه صرفاً میراگر مدل‌سازی شده و از مدل‌سازی صریح مهاربند متصل به آن صرف‌نظر شود، لازم است سختی اولیه مدل میراگر برابر با سختی معادل ترکیب سری سختی محوری مهاربند و سختی اولیه میراگر در نظر گرفته شود. در اغلب موارد سختی اولیه میراگر اصطکاکی بسیار بزرگتر از سختی محوری مهاربند بوده و می‌توان سختی معادل را برابر سختی محوری مهاربند در نظر گرفت. در مدل‌سازی غیرصریح، با توجه به اینکه المان مهاربند در مدل وجود ندارد، بنابراین لازم است ظرفیت مهاربند به صورت دستی کنترل شود به نحوی که در معرض حداکثر نیروهای وارده از طرف میراگر، مهاربند در محدوده الاستیک خود باقی مانده و دچار کمانش نشود.

تذکر ۳: صرف‌نظر از مدل‌سازی صریح و یا غیرصریح مهاربندها، لازم است اثر لقی اتصالات میراگر (در صورت وجود) در سختی اولیه مدل میراگر مطابق بند ۲-۳-۳-۳ لحاظ شود.

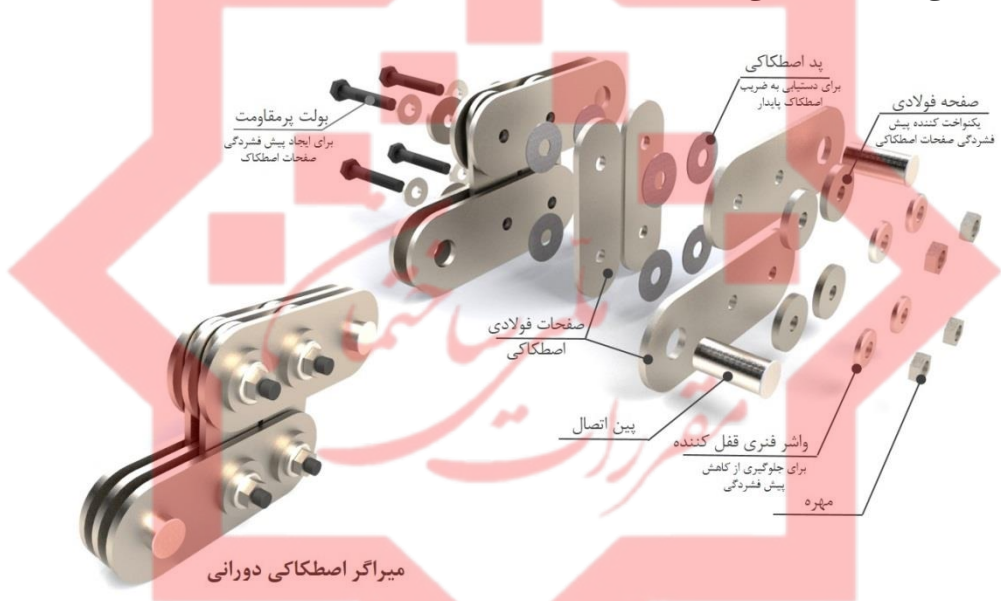
تذکر ۴: در صورتی که صفحات لغزش به صورت غیرمسطح باشند، میراگر اصطکاکی می‌تواند دارای رفتارهای متفاوتی از جمله رفتار دارای سختی پس از تسلیم (پس از لغزش) و یا رفتار پرچمی با قابلیت مرکزگرایی نیز باشد. لیکن میراگرهای اصطکاکی متداول دارای رفتاری مستطیل شکل و فاقد سختی پس از تسلیم (پس از لغزش) هستند.

۲-۳-۲ میراگرهای اصطکاکی دورانی

میراگرهای اصطکاکی دورانی دسته‌ای دیگر از میراگرهای اصطکاکی هستند که در آن‌ها لغزش صفحات پیش‌فشرده به صورت دورانی رخ می‌دهد. سایر جزئیات، الزامات و مکانیزم عملکردی مشابه میراگرهای اصطکاکی انتقالی است. جزئیات اصلی میراگرهای اصطکاکی دورانی در شکل (۲-۲۱) نشان داده شده است. همانند میراگرهای اصطکاکی انتقالی، در میراگرهای اصطکاکی دورانی نیز پدهای اصطکاکی و واشرهای فنری قفل‌کننده نقشی کلیدی در پایداری رفتار چرخه‌ای میراگر دارند. لازم به ذکر است در این نوع از میراگرها نیز سطوح لغزش نباید هر دو فلزی باشند. در غیر این صورت به مرور زمان چسبندگی بین سطوح لغزش ایجاد شده که می‌تواند منجر به جوش سرد و تغییر در رفتار میراگر شود.

تذکر ۱: طراحی، ساخت، تضمین کیفیت و رفتار صحیح میراگرهای اصطکاکی دورانی بر عهده شرکت سازنده میراگر است.

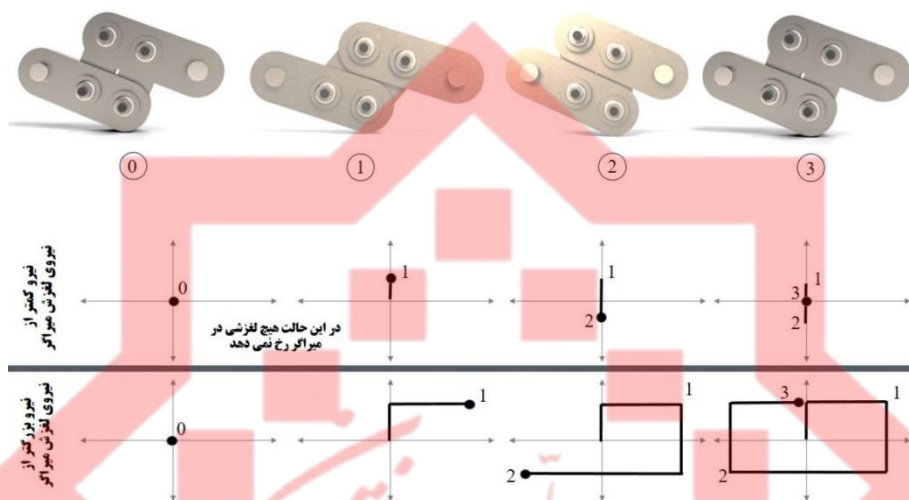
نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر اصطکاکی دورانی در شکل (۲-۲۲) نشان داده شده است. لازم به ذکر است میراگرهای اصطکاکی دورانی نیز تنها در صورتی قابلیت استهلاک انرژی خود را بروز می‌دهند که نیروی وارده بر میراگر به نیروی آستانه لغزش میراگر برسد. در صورتی که نیروی وارده برای آغاز لغزش دورانی میراگر کافی باشد، صفحات میراگر نسبت به یکدیگر لغزش دورانی داشته و نیرو در میراگر ثابت می‌ماند. بدین ترتیب میراگر اصطکاکی دورانی رفتاری مستطیلی از خود نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲۱). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای اصطکاکی دورانی

تذکر ۲: آنچه موجب لغزش در میراگرهای اصطکاکی دورانی می‌شود، لنگر ناشی از نیروی وارده بر دو انتهای میراگر است. این لنگر علاوه بر نیرو به بازوی لنگر نیروی وارده نیز بستگی دارد. در صورتی که دوران میراگر از حدی فراتر رود، بازوی لنگر نیز به طور قابل توجهی تغییر کرده و متعاقباً نیروی لغزش میراگر تغییر خواهد کرد. در این صورت رفتار چرخه‌ای میراگر از حالت

مستطیلی به حالت دوزنقه تبدیل می‌شود به طوری که نیروی لغزش در یک امتداد کمتر از نیروی لغزش در جهت دیگر خواهد بود (Mualla et al. 2012). لیکن این پدیده در تغییرشکل‌های بسیار زیاد رخ داده و معمولاً هندسه میراگرهای اصطکاکی دورانی به نحوی طراحی می‌شود که این پدیده قابل صرف‌نظر باشد.

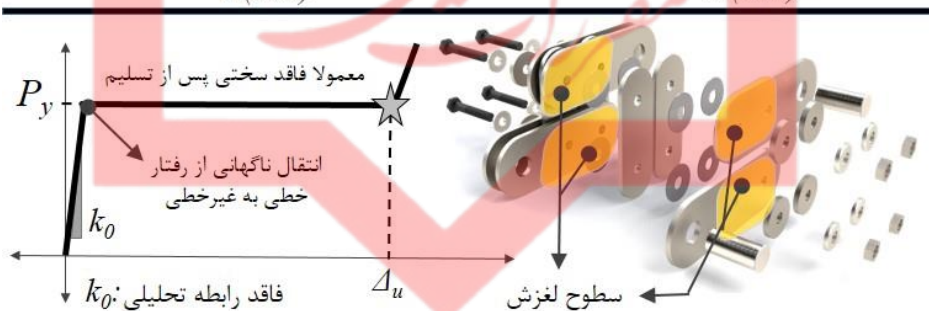
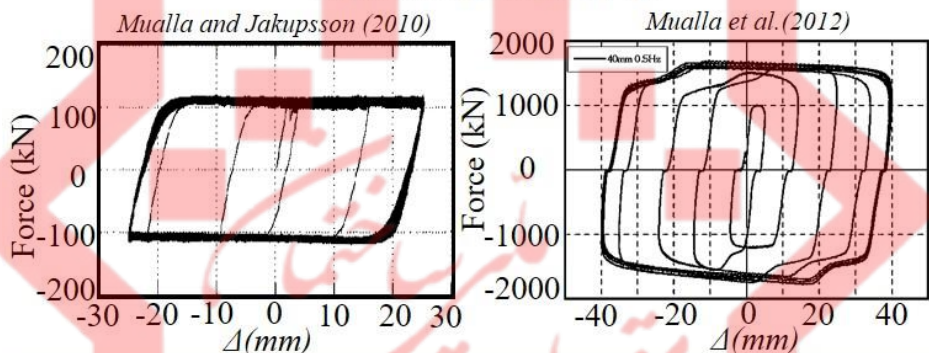


شکل (۲-۲۲). نحوه تغییرشکل و رفتار میراگر اصطکاکی دورانی تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای اصطکاکی دورانی به همراه منحنی پوش میراگر در شکل (۲-۲۳) نشان داده شده است. میراگرهای اصطکاکی دورانی نسبت به میراگرهای اصطکاکی انتقالی معمولاً سختی اولیه کمتری دارند و همانند میراگرهای اصطکاکی انتقالی معمولاً فاقد سخت شدگی پس از تسلیم (پس از لغزش) بوده و مرحله انتقال رفتار خطی به غیرخطی به صورت ناگهانی رخ می‌دهد. در این میراگر نیز هیچ بخشی وارد رفتار غیر ارتجاعی نشده و مکانیزم استهلاک انرژی بر مبنای اصطکاک است. در صورتی که دوران از حد مشخصی فراتر نرود، رفتار میراگر معمولاً متقارن بوده و ظرفیت تغییرشکل نهایی میراگر به هندسه میراگر و بازوی لنگر نیروی میراگر بستگی دارد. در صورتی که تغییرشکلی فراتر از ظرفیت تغییرشکل به میراگر اعمال شود، صفحات دوران کننده به یکدیگر اصابت کرده و یک ضربه در

میراگر رخ می‌دهد که این اثر با افزایش ناگهانی سختی در انتهای رفتار میراگر نشان داده شده است. در برخی از مدل‌ها با افزایش تغییرشکل میراگر برخوردی رخ نداده و صرفاً با تغییر بازوی لنگر، نیروی لغزش میراگر کاهش یا افزایش می‌یابد و رفتار از حالت مستطیلی به حالت دوزنقه‌ای تبدیل می‌شود. بدیهی است میراگر باید به نحوی طراحی شود که حداکثر تغییرشکل وارده، از ظرفیت تغییرشکلی میراگر فراتر نرود. نیروی آستانه لغزش میراگر به نیروی پیش‌فشاردهی صفحات لغزش، تعداد صفحات لغزش، ضریب اصطکاک مابین صفحات لغزش و هندسه میراگر بستگی دارد. لازم است نیروی آستانه لغزش میراگر و نیز سختی اولیه آن حتماً بر اساس نتایج آزمایشگاهی بدست آیند.

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت بار هارمونیک



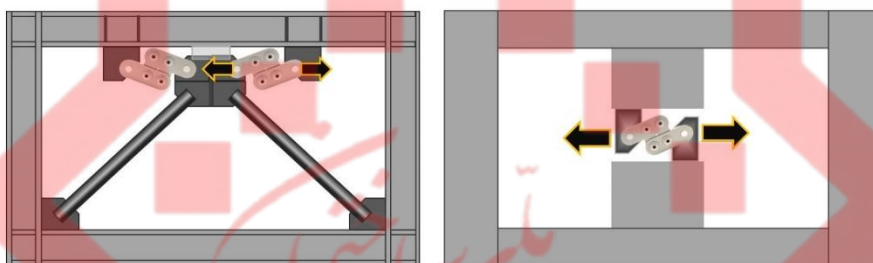
فاقد رابطه تحلیلی: Δ_u

تابعی از هندسه میراگر، نیروی پیش‌فشاردهی، ضریب اصطکاک و تعداد سطوح لغزش

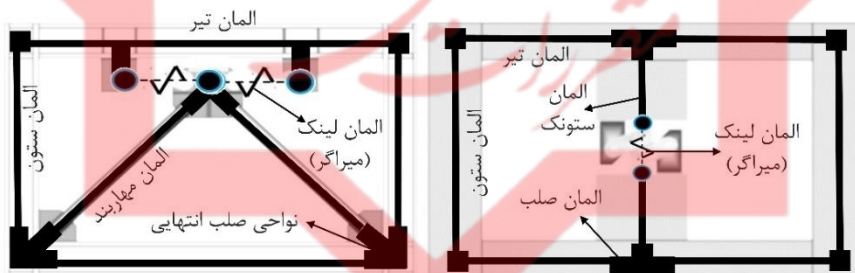
شکل (۲-۲۳). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای اصطکاکی دورانی و منحنی پوش رفتار آن‌ها

برخی از چیدمان‌های متداول میراگرهای اصطکاکی دورانی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۲۴) نشان داده شده است. بسته به الزامات معماری از سایر چیدمان‌ها نیز می‌توان استفاده نمود، لیکن باید توجه داشت در میراگرهای اصطکاکی بهترین چیدمان، چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین تغییرشکل در میراگر گردد. بدیهی است این تغییرشکل نباید از ظرفیت تغییرشکلی میراگر فراتر رود.

تذکره ۳: اگرچه میراگرهای اصطکاکی دورانی دارای لغزش دورانی هستند، لیکن نتیجه این لغزش دورانی، ایجاد یک تغییرشکل انتقالی برای میراگر است و معمولاً رفتار میراگر نیز به صورت نیرو-تغییرشکل بیان می‌شود و نه لنگر-دوران. بنابراین به منظور مدل‌سازی میراگرهای اصطکاکی دورانی نیز می‌توان از فنرهای غیرخطی انتقالی به صورت محوری یا برشی استفاده نمود.



نواحی صلب را می‌توان به صورت الاستیک نیز در مدل عددی در نظر گرفت و یا در برخی موارد از مدل‌سازی صریح آن‌ها صرف‌نظر نمود.



شکل (۲-۲۴). چیدمان‌های متداول میراگرهای اصطکاکی دورانی و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

۳-۲-۳ شبیه‌سازی میراگرهای اصطکاکی

به منظور شبیه‌سازی رفتار میراگرهای اصطکاکی معمولاً از فنرهای غیرخطی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه میراگرهای اصطکاکی متداول فاقد سخت شوندگی هستند، بنابراین مدل‌های

رفتاری با سخت‌شوندگی کینماتیک برای شبیه سازی رفتار میراگرهای اصطکاکی مناسب می‌باشند. در ادامه دو مدل رفتاری مناسب به منظور شبیه سازی رفتار میراگرهای اصطکاکی ارائه شده است. هر دو مدل قابل استفاده برای میراگر اصطکاکی انتقالی و دورانی هستند.

تذکر: سختی اولیه در برخی از میراگرهای اصطکاکی ممکن است مقداری بسیار بالا باشد به طوری که حل عددی با عدم همگرایی یا کندی مواجه شود. در چنین مواردی توصیه می‌شود مقدار سختی اولیه میراگر حدوداً ۱۰ برابر سختی مهاربند یا ستونک متصل به میراگر در نظر گرفته شود.

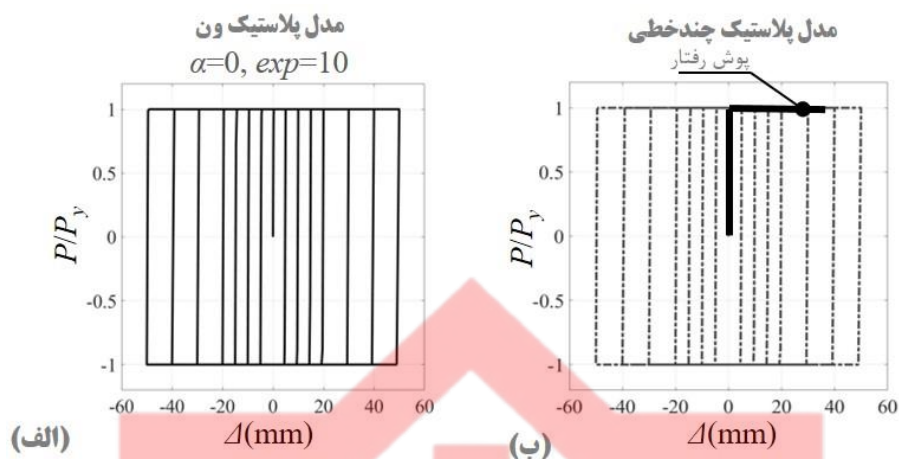
۲-۳-۳-۱ مدل پلاستیک ون

مدل پلاستیک ون یک مدل دو خطی با سخت شوندگی کینماتیک است که به کمک چهار کمیت سختی اولیه (K_0)، مقاومت تسلیم (V_y یا P_y)، نسبت سختی پس از تسلیم (α) و کمیت مربوط به شکل انتقال از رفتار خطی به غیرخطی (exp)، رفتار میراگر را شبیه سازی می‌کند. در میراگرهای اصطکاکی نیروی لغزش میراگر برابر مقاومت تسلیم در این مدل تعریف می‌شود. هر چهار کمیت فوق لازم است براساس نتایج آزمایشگاهی کالیبره شوند. از آنجا که معمولاً میراگرهای اصطکاکی فاقد سخت شوندگی هستند $\alpha=0$ بوده و به دلیل تغییر ناگهانی رفتار خطی به غیرخطی که در بسیاری از میراگرهای اصطکاکی متداول است، استفاده از $exp>5$ قابل توصیه است. نمونه‌ای از رفتار شبیه سازی شده با استفاده از این مدل در شکل (۲-۲۵-الف) نشان داده شده است.

۲-۳-۳-۲ مدل پلاستیک چندخطی

رفتار میراگرهای اصطکاکی را با استفاده از مدل پلاستیک چندخطی نیز می‌توان شبیه سازی نمود. در این مدل لازم است از سخت شوندگی از نوع کینماتیک استفاده شده و پوش رفتار به صورت رفتار الاستوپلاستیک مطابق نتایج آزمایشگاهی تعریف شود. نمونه‌ای از رفتار شبیه سازی شده با استفاده از این مدل در شکل (۲-۲۵-ب) نشان داده شده است.

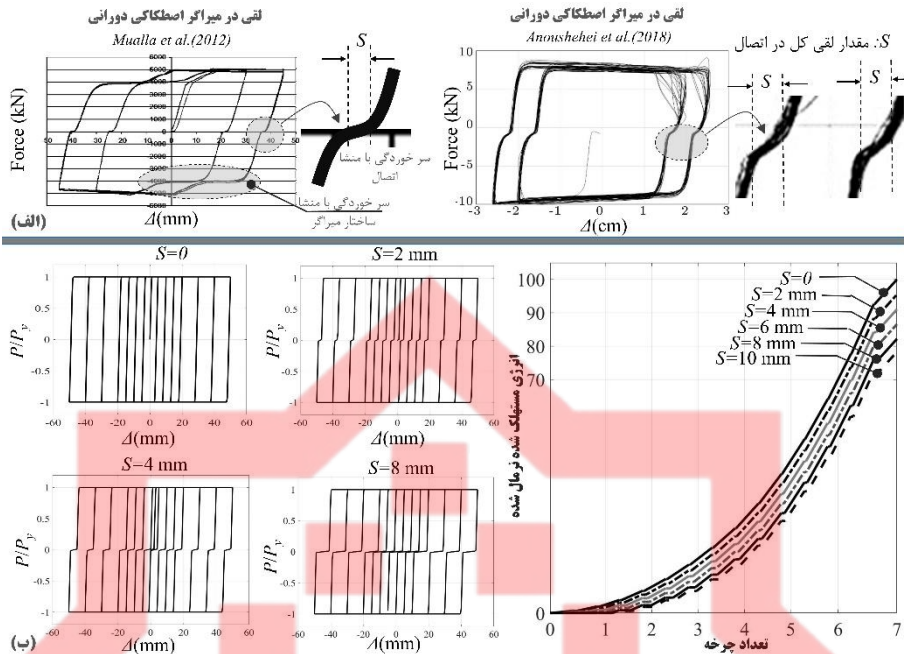
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۲-۲۵). نمونه‌ای از شبیه سازی میراگر اصطکاکی با استفاده از (الف) مدل پلاستیک ون و (ب) مدل پلاستیک چندخطی

۲-۳-۳-۳-۲ تاثیر لقی اتصال

در برخی از میراگرهای اصطکاکی به علت ساختار میراگر و یا وجود پین‌های اتصال، نوعی لقی و سرخوردگی در رفتار میراگر پدیدار می‌شود. شکل (۲-۲۶-الف) نمونه‌ای از رفتارهای آزمایشگاهی دارای لقی را نشان می‌دهد. منشأ لقی می‌تواند ساختار میراگر و یا نوع اتصال بکار رفته در میراگر باشد. به عنوان مثال معمولاً در میراگرهایی که توسط پین به سازه متصل می‌شوند، مقداری لقی در رفتار میراگر ایجاد خواهد شد. نتیجه بروز لقی در رفتار میراگر کاهش انرژی مستهلک شده توسط میراگر می‌باشد که این کاهش بسته به میزان لقی و تغییرشکل‌های وارده بر میراگر ممکن است قابل صرفنظر یا غیرقابل صرفنظر باشد. شکل (۲-۲۶-ب) تاثیر لقی در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر را نشان می‌دهد. بر این اساس لازم است برای لقی‌های بیش از ۴ میلیمتر، اثر لقی در مدل میراگر لحاظ شود. یکی از روش‌های ساده به منظور در نظر گرفتن تاثیر لقی، روش غیرصریح می‌باشد که در آن سختی اولیه میراگر بسته به میزان لقی کاهش داده می‌شود. میزان این کاهش و نمونه‌ای از نتایج حاصل از مدل سازی غیرصریح لقی، در شکل (۲-۲۷) ارائه شده است.

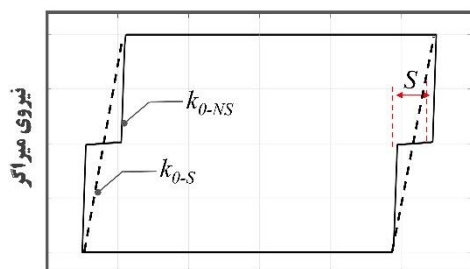


شکل (۲-۲۶). (الف) لقی مشاهده شده در میراگرهای اصطکاکی در آزمایش‌های گذشته، (ب) تاثیر لقی در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر (میزان دقیق افت انرژی مستهلک شده در اثر لقی، علاوه بر مقدار لقی به مقدار تغییر شکل وارده بر میراگر نیز بستگی دارد).

تذکره ۱: در خصوص لقی‌های ناشی از ساختار میراگر، ممکن است لازم باشد علاوه بر سختی اولیه، نیروی لغزش میراگر نیز بر اساس نتایج آزمایشگاهی به نحوی کالیبره شود که بهترین انطباق با نتایج آزمایشگاهی حاصل شود.

تذکره ۲: در صورتی که لقی اتصالات در چیدمان آزمایش‌های میراگر لحاظ شده و مشخصات میراگر مطابق نتایج آزمایشگاهی بدست آمده باشد، اثر لقی به صورت خودکار در سختی اولیه لحاظ شده و نیاز به اصلاح دیگری نمی‌باشد.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



$$K_{0-S} = \frac{K_{0-NS}}{1 + 0.5 \frac{S}{\Delta_y}} = \frac{F_y}{\Delta_y + 0.5S}$$

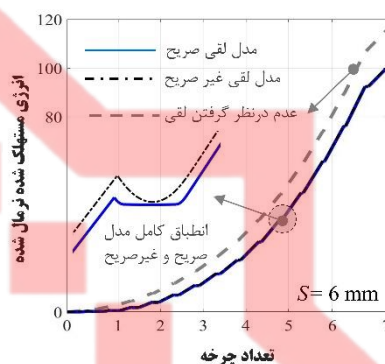
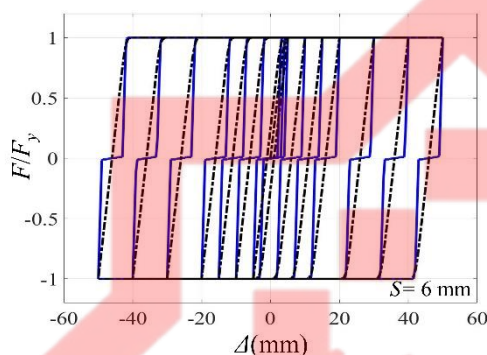
F_y : نیروی لغزش میراگر

k_{0-NS} : سختی اولیه میراگر با فرض عدم بروز لقی

Δ_y : تغییر شکل تسلیم میراگر با فرض عدم بروز لقی

k_{0-S} : سختی اولیه اصلاح شده میراگر در روش غیر صریح

S : میزان لقی کل



شکل (۲-۲۷). نحوه محاسبه سختی اولیه کاهش یافته میراگر اصطکاکی به منظور در نظر گرفتن تاثیر لقی به صورت غیر صریح و مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی صریح و غیر صریح لقی

۲-۳-۴ وابستگی در میراگرهای اصطکاکی

۲-۳-۴-۱ تعداد چرخه رفت و برگشتی

پایداری رفتار میراگرهای اصطکاکی به نوع پدهای اصطکاکی و مکانیزم ثابت نگه داشتن نیروی پیش فشردگی در میراگر وابستگی کامل دارد. با این که در آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های کوچک مقیاس، پایداری رفتار میراگرهای اصطکاکی تا حدود ۴۰۰ چرخه نیز مشاهده شده است (Mualla 2000)، لیکن آزمایش‌های انجام شده بر روی میراگرهای با مقیاس کامل عمدتاً محدود به چند ده چرخه بوده است (Tremblay 1993). بنابراین در محدوده تعداد چرخه‌های مورد انتظار در بارهای لرزه‌ای، میراگرهای اصطکاکی به تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی حساس نبوده و در صورتی که آسیب مشهودی در آن‌ها رخ نداده باشد، پس از زلزله نیاز به تعویض ندارند.

تذکر: پایداری رفتار میراگرهای اصطکاکی تحت بارهای دینامیکی با تداوم و تعداد چرخه بسیار بالا (همانند بارهای ناشی از باد) چندان تحت مطالعه قرار گرفته نشده است. بنابراین برای بارهای با تداوم و تعداد چرخه بسیار بالا، همانند بارهای ناشی از باد، لازم است میراگر دچار لغزش نشود.

۲-۳-۴-۲ دمای محیط

در محدوده دمای متعارف محیط، میراگرهای اصطکاکی حساسیتی به دمای محیط ندارند.

۲-۳-۴-۳ سرعت بارگذاری

به طور معمول میراگرهای اصطکاکی حساسیت اندکی به سرعت بارگذاری داشته و از نظر تئوری و در مدل‌های تحلیلی، رفتار آن‌ها را می‌توان مستقل از سرعت بارگذاری در نظر گرفت.

تذکر: بسته به نوع پد اصطکاکی به کار رفته در میراگر، ضریب میرایی میراگر می‌تواند مقداری وابسته به سرعت باشد. علاوه بر آن، افزایش حرارت میراگر ناشی از خود گرمایی نیز می‌تواند منجر به تغییر ضریب میرایی گردد. بنابراین اگرچه رفتار میراگرهای اصطکاکی از نظر تئوری مستقل از سرعت است، لیکن لازم است به منظور در نظر گرفتن موارد فوق، آزمایش میراگرهای اصطکاکی به صورت دینامیکی انجام شود.

۲-۳-۴-۴ عملکرد دراز مدت

در صورتی که جزئیات میراگر اصطکاکی به نحوی باشد که نیروی پیش تنیدگی و نیز ضریب اصطکاک سطوح لغزش در اثر گذر زمان تغییر نکرده و سطوح لغزش در اثر گذشت زمان و ساکن ماندن دچار چسبندگی و جوش سرد نشوند، عملکرد دراز مدت میراگرهای اصطکاکی مناسب خواهد بود.

۲-۳-۵ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای اصطکاکی

از جمله مزیت‌های میراگرهای اصطکاکی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- میراگرهای اصطکاکی دارای رفتار پایداری بوده و قابلیت استهلاک انرژی بالایی فراهم می‌آورند.
 - میراگرهای اصطکاکی منجر به افزایش سختی جانبی سازه شده که این امر می‌تواند در کاهش تغییرشکل‌ها و دریافت طبقات موثر باشد. اگرچه در برخی موارد و برای برخی پاسخ‌های لرزه‌ای، افزایش سختی می‌تواند یک نقطه ضعف محسوب شود.
 - رفتار میراگر در اثر تعداد چرخه‌های بارگذاری بالا دچار تغییر نشده و پس از زلزله، در صورت طراحی صحیح، نیاز به تعویض میراگر اصطکاکی نخواهد بود. به عبارتی بحث خستگی کم چرخه در میراگرهای اصطکاکی وجود ندارد.
 - عوامل محیطی از جمله تغییرات دمای محیط تاثیر ناچیزی بر رفتار میراگرهای اصطکاکی دارد.
 - در صورت استفاده از سطوح لغزش مناسب و ثابت نگه داشتن نیروی پیش تنیدگی، رفتار دراز مدت میراگر قابلیت اطمینان بالایی داشته و گذر زمان تاثیر قابل توجهی بر رفتار میراگر نخواهد داشت.
- از جمله محدودیت‌های میراگرهای اصطکاکی می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:
- رفتار میراگرهای اصطکاکی بسیار حساس به نوع پد اصطکاکی بکار رفته در میراگر است و بسیاری از مزیت‌های ذکر شده تنها زمانی محقق می‌شود که از پدهای اصطکاکی و واشرهای فنری قفل کننده مناسب در میراگر استفاده شده باشد. در صورت استفاده از پد اصطکاکی نامناسب رفتار میراگر ناپایدار بوده و پس از زلزله نیز لازم است میراگر یا پدهای اصطکاکی میراگر تعویض شوند. این موضوع به ویژه برای سطوح لغزشی که دارای ضریب اصطکاک بالا می‌باشند، از اهمیت بیشتری برخوردار است.
 - میراگرهای اصطکاکی تنها زمانی منجر به استهلاک انرژی خواهند شد که نیرویی بزرگتر از نیروی لغزش به میراگر وارد شود. بنابراین انتظار می‌رود در زلزله‌های شدید تنها در چرخه‌های با شدت بالا (که نیرویی بیش از نیرویی لغزش به میراگر وارد می‌کنند)، استهلاک انرژی توسط میراگر رخ داده و در سایر چرخه‌های خفیف‌تر

ارتعاش، میراگرهای اصطکاکی نقشی در استهلاک انرژی نداشته باشند. به عبارت دیگر میراگرهای اصطکاکی در تمام مدت زمان ارتعاش سازه فعال نبوده و در ثانیه‌های خاصی از ارتعاش سازه فعال هستند. همچنین در زلزله سطح سرویس نیز، ممکن است میراگرهای اصطکاکی صرفاً سختی سازه را افزایش داده و نقشی در استهلاک انرژی نداشته باشند.

- میراگرهای اصطکاکی سختی جانبی سازه را افزایش داده و ممکن است در مواردی منجر به افزایش شتاب طبقات و نیروی وارده بر اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای شوند.
- در مقایسه با سایر میراگرها، میراگرهای اصطکاکی معرفی شده در این ضابطه مستعد تجربه بیشترین میزان تغییرشکل ماندگار هستند. علت این امر عدم وجود سختی پس از لغزش و تغییر ناگهانی رفتار خطی به غیرخطی در میراگر است. لازم به ذکر است میراگرهای اصطکاکی که دارای سطوح لغزش غیرمسطح هستند، دارای سختی پس از لغزش بوده و در این نوع از میراگرهای اصطکاکی، تغییرشکل ماندگار بسیار کوچکتر از میراگرهای اصطکاکی مرسوم خواهد بود.

۲-۴ میراگرهای سیال ویسکوز

میراگرهای سیال ویسکوز دسته‌ای از ادوات استهلاک انرژی وابسته به سرعت هستند که مکانیزم عملکردی در آن‌ها بر مبنای افت انرژی هیدرولیکی^۱ سیال ویسکوز داخل میراگر استوار است. انرژی جنبشی وارده بر میراگر منجر به ایجاد جریان در سیال داخل میراگر شده و به علت قرار داشتن مکانیزم‌های تشدید کننده افت انرژی هیدرولیکی در مسیر جریان، حرکت سیال و متعاقباً انرژی ورودی به میراگر مستهلک شده و به حرارت تبدیل می‌شود. از آنجایی که میزان افت انرژی سیال و نیروی ایجاد شده در میراگر به سرعت جریان ایجاد شده در سیال بستگی دارند، بنابراین میراگرهای سیال ویسکوز در دسته ادوات استهلاک انرژی وابسته به سرعت قرار می‌گیرند. در ادامه دو نوع از میراگرهای سیال ویسکوز معرفی شده‌اند.

^۱ Hydraulic energy loss

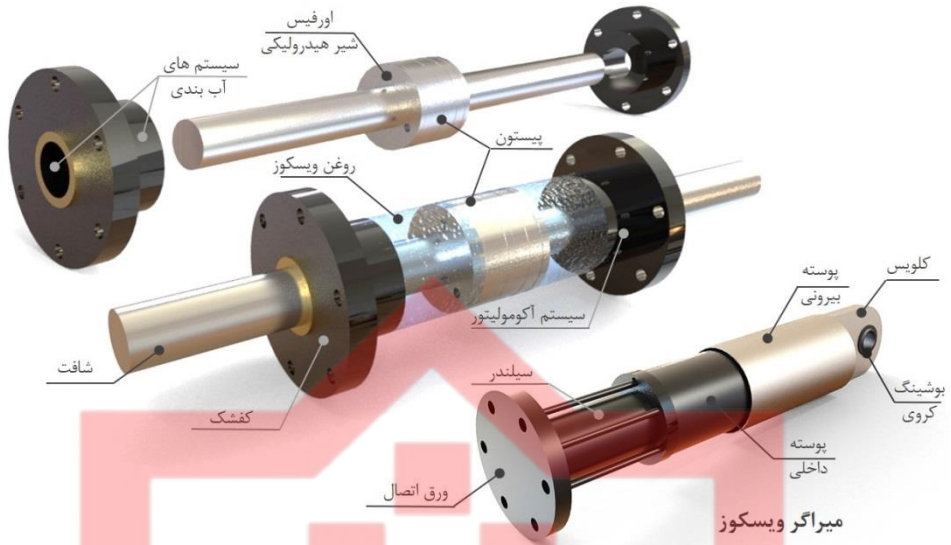
۲-۴-۱ میراگرهای ویسکوز

میراگرهای ویسکوز یکی از متداول‌ترین ادوات مستهلک کننده انرژی در صنایع گوناگون از جمله صنعت ساخت و ساز هستند. مطابق شکل (۲-۲۸) اجزای اصلی در این نوع از میراگرها شامل سیلندر، پیستون، شافت، سیال ویسکوز و سیستم‌های آب‌بندی است. پیستون و شافت داخل سیلندر بر از سیال ویسکوز قرار داشته و ارتعاشات وارده بر میراگر منجر به حرکت پیستون در داخل سیلندر می‌شود. حرکت پیستون منجر به افزایش فشار سیال در یک سمت پیستون شده و بدین ترتیب سیال موجود در سمت پر فشار پیستون از طریق اورفیس‌های تعبیه شده در پیستون، به سمت دیگر پیستون (سمت کم فشار) منتقل می‌شود. انرژی ورودی به میراگر عمدتاً از طریق افت انرژی هیدرولیکی رخ داده در جریان سیال داخل اورفیس مستهلک می‌شود. لازم به ذکر است به دلیل سطح مقطع بسیار کوچک اورفیس‌ها در مقایسه با سطح مقطع سیلندر، سرعت سیال در داخل اورفیس بسیار بیشتر از سرعت سیال داخل سیلندر (سرعت نسبی وارده بر میراگر) بوده و سرعت سیال در داخل اورفیس می‌تواند به چند صد متر بر ثانیه برسد. همچنین فشار ایجاد شده در سیال می‌تواند تا چند صد بار (ده‌ها مگاپاسکال) افزایش یابد، بنابراین ضروری است سیستم‌های آب‌بندی و ضخامت جداره سیلندر میراگر به نحوی طراحی شوند که با ضریب اطمینان مناسبی این فشار را بتوانند تحمل کنند.

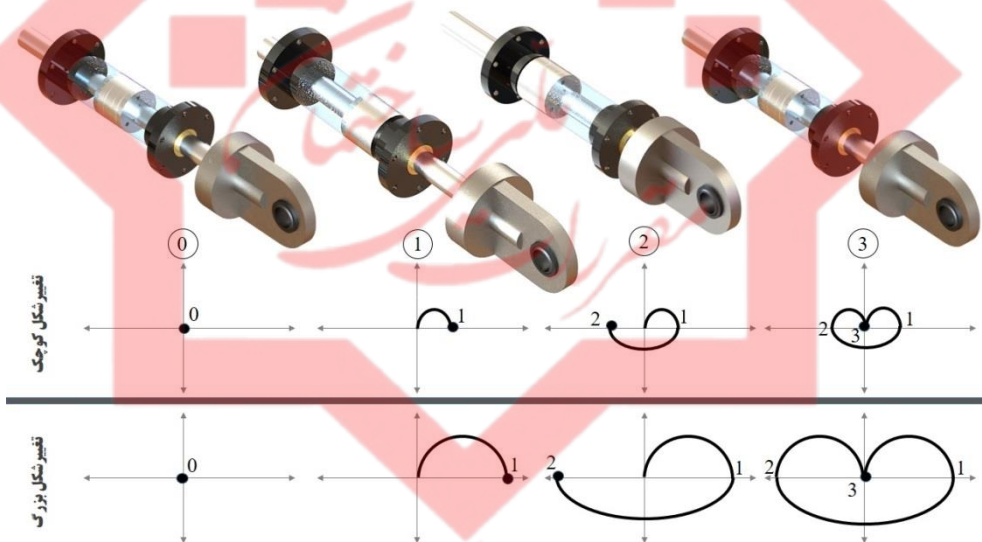
تذکر ۱: میراگرهای ویسکوز قطعاً با مهندسی پیچیده هستند که طراحی کامل آن‌ها نیازمند استفاده از چندین دانش مهندسی به طور همزمان است. طراحی، ساخت و تضمین کیفیت و رفتار صحیح میراگرهای ویسکوز بر عهده شرکت سازنده میراگر است.

تذکر ۲: بسیاری از جزئیات به کار رفته در میراگرهای ویسکوز تجاری صرفاً در انحصار شرکت‌های سازنده بوده و در ادبیات فنی منتشر نمی‌شوند. سیستم آکومولیتور^۱ و سیستم خنثی کننده اثرات تغییر دما از جمله این جزئیات هستند. سیستم آکومولیتور به منظور خنثی سازی اثر انبساط سیال داخل میراگر استفاده شده و سیستم خنثی کننده اثرات تغییر دما به منظور ثابت نگه داشتن مشخصات میراگر در دماهای مختلف استفاده می‌شود.

^۱ Accumulator



شکل (۲-۲۸). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای ویسکوز



شکل (۲-۲۹). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر ویسکوز تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت (در نقطه ۳ میراگر به جای اول خود بازگشته و متوقف شده بنابراین سرعت و نیروی میراگر برابر صفر است).

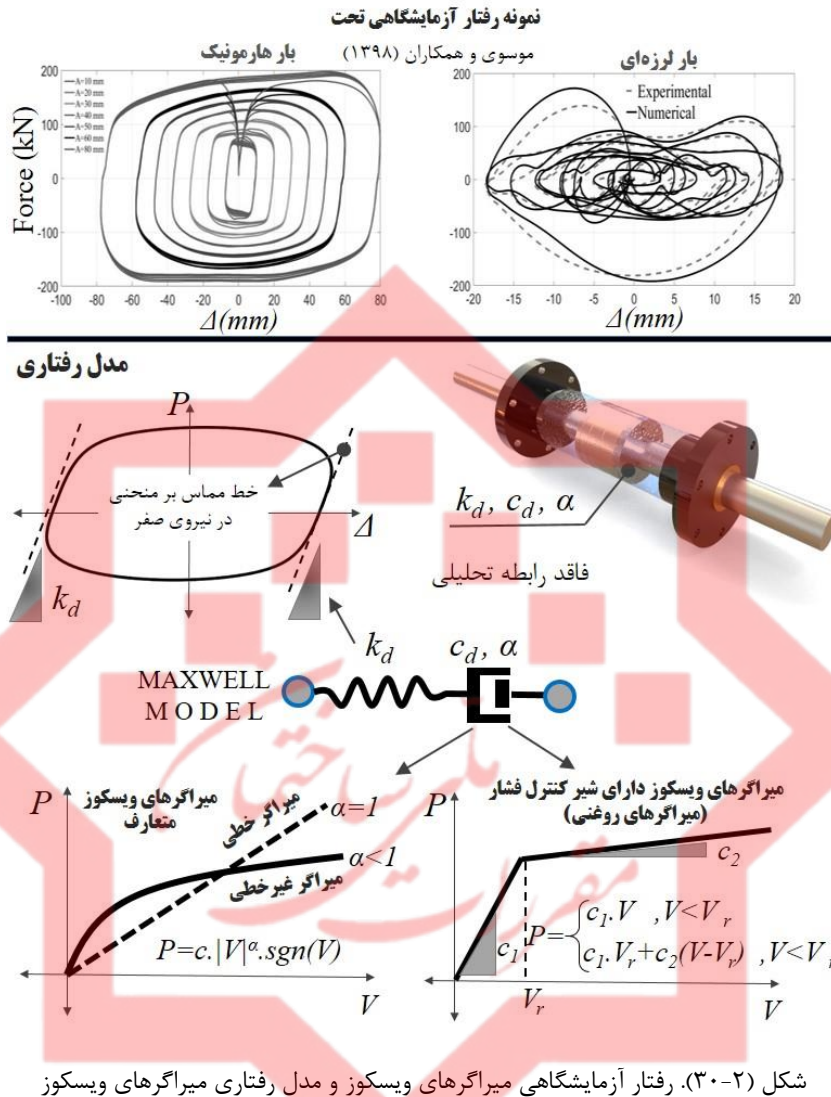
رفتار میراگر ویسکوز تحت یک چرخه رفت و برگشتی در شکل (۲-۲۹) نشان داده شده است. نکته حائز اهمیت در خصوص میراگرهای ویسکوز، اختلاف فاز موجود بین نیروی میراگر و جابجایی وارده بر میراگر است. به عبارت دیگر، در صورت اعمال یک تحریک هارمونیک، زمانی که جابجایی میراگر به مقدار حداکثر خود رسیده و جهت حرکت تغییر می‌کند، سرعت حرکت صفر بوده و متعاقباً نیروی میراگر ویسکوز نیز برابر صفر می‌شود. در مقابل زمانی که جابجایی میراگر از نقطه صفر عبور می‌کند، سرعت حداکثر بوده و نیروی میراگر نیز حداکثر مقدار خود را دارد. مطابق شکل (۲-۲۹) میراگرهای وابسته به سرعت در تغییر شکل‌های کوچک نیز قادر به استهلاک انرژی هستند.

تذکر ۳: در سازه‌های الاستیک، نیروی داخلی ایجاد شده در سازه با تغییر شکل سازه هم فاز است. در صورتی که در یک سازه الاستیک از میراگر ویسکوز استفاده شود، نیروی میراگر و نیروی داخلی سازه با یکدیگر اختلاف فاز داشته و هرگز به شکل همزمان به مقدار حداکثر خود نمی‌رسند.

نمونه‌ای از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای ویسکوز در شکل (۲-۳۰) نشان داده شده است. به دلیل وابستگی نیرو به سرعت، میراگرهای ویسکوز می‌توانند در تغییر شکل‌های بسیار کوچک نیز ویژگی استهلاک انرژی خود را نشان دهند. در شکل (۲-۳۰) مدل رفتاری ماکسول^۱ که یکی از مدل‌های ساده و متداول به منظور شبیه سازی رفتار میراگرهای ویسکوز است ارائه شده است. در این مدل یک فنر خطی با یک دشپات^۲ که می‌تواند خطی، غیرخطی یا دوخطی باشد به صورت سری ترکیب شده است. سختی فنر که با k_d نشان داده شده است معرف میزان تراکم پذیری سیال داخل میراگر و انعطاف پذیری قطعات فولادی میراگر است. هرچقدر تراکم پذیری سیال کمتر و صلبیت قطعات فولادی میراگر بیشتر باشد، مقدار k_d بیشتر شده و ترکیب سری رفتار به یک دشپات خالص نزدیک‌تر می‌شود. معمولاً در فرکانس‌های مهم در ارتعاشات لرزه‌ای (فرکانس‌های کوچکتر از ۱ هرتز)، تراکم پذیری سیال میراگر اندک بوده و رفتار میراگر بسیار مشابه یک دشپات ویسکوز خالص خواهد بود. سایر مشخصات میراگر شامل ضریب میرایی و توان سرعت میراگر نیز مطابق شکل (۲-۳۰) بر اساس منحنی نیرو-سرعت میراگر بدست می‌آیند.

^۱ Maxwell

^۲ Dashpot



اگرچه برای میراگرهایی با ساختار ساده روابطی تحلیلی برای مشخصات میراگر وجود دارد، لیکن با توجه به جزئیات پیچیده میراگرهای ویسکوز تجاری، عملاً استفاده از روابط تحلیلی به منظور تخمین مشخصات میراگرهای ویسکوز کاربرد نداشته و این مشخصات با استفاده از روش‌هایی از جمله دینامیک سیالات محاسباتی^۱ توسط شرکت‌های سازنده تعیین شده و

^۱ Computational Fluid Dynamic (CFD)

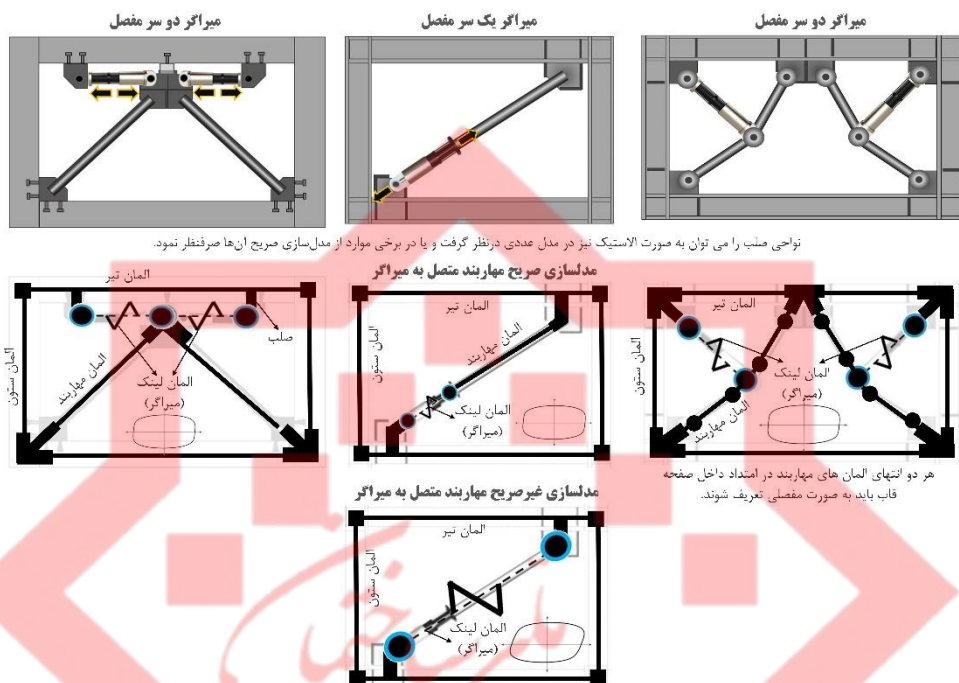
مشخصات نهایی صرفاً با استفاده از نتایج آزمایشگاهی تعیین می‌شوند. به عبارت دیگر هر سه کمیت مذکور لازم است براساس آزمایش‌های دینامیکی انجام شده بر روی میراگر بدست آیند.

تذکره ۴: دسته‌ای از میراگرهای ویسکوز موسوم به میراگرهای روغنی دارای رفتار نیرو-سرعت دوخطی هستند. در اورفیس‌های این نوع از میراگرها شیرهای کنترل فشار قرار دارد که پس از عبور سرعت میراگر از حد مشخصی، شیرهای کنترل فشار باز شده و ضریب میرایی میراگر تغییر می‌کند. بنابراین مطابق شکل (۲-۳۰) این نوع از میراگرها شامل دو ضریب میرایی هستند.

برخی از چیدمان‌های میراگرهای ویسکوز به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۳۱) نشان داده شده‌است. بسته به الزامات معماری از سایر چیدمان‌ها نیز می‌توان استفاده نمود، لیکن باید توجه داشت در میراگرهای ویسکوز بهترین چیدمان، چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین سرعت و تغییرمکان در میراگر گردد. بدیهی است نیروی متناظر با سرعت حداکثر نباید از ظرفیت نیرویی میراگر فراتر رود. توضیح آنکه ظرفیت نیرویی میراگرهای ویسکوز عمدتاً به قطر سیلندر، قطر شافت، ظرفیت بوشینگ کروی، ظرفیت کلویس، ضخامت پوسته سیلندر، آلیاژ فولاد بکار رفته در سیلندر و حداکثر فشار مجاز سیستم آب‌بند میراگر بستگی دارد.

تذکره ۵: در صورتی که مطابق شکل (۲-۳۱) در مدل سازه صرفاً میراگر مدل‌سازی شده و از مدل‌سازی صریح مهاربند متصل به آن صرف‌نظر شود، لازم است مقدار سختی مدل ماکسول میراگر برابر با سختی معادل ترکیب سری سختی محوری مهاربند و سختی تراکم پذیری میراگر در نظر گرفته شود. در مدل‌سازی غیرصریح، با توجه به اینکه المان مهاربند در مدل وجود ندارد، بنابراین لازم است ظرفیت مهاربند به صورت دستی کنترل شود به نحوی که تحت حداکثر نیروهای وارده از طرف میراگر، مهاربند در محدوده الاستیک خود باقی‌مانده و دچار کمایش نشود.

تذکره: صرف‌نظر از مدل‌سازی صریح و یا غیرصریح مهاربندها، لازم است اثر لقی اتصالات میراگر (در صورت وجود) در سختی اولیه مدل میراگر مطابق بند ۲-۴-۳ لحاظ شود.



شکل (۲-۳۱). چیدمان‌های متداول برای استفاده از میراگرهای ویسکوز و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

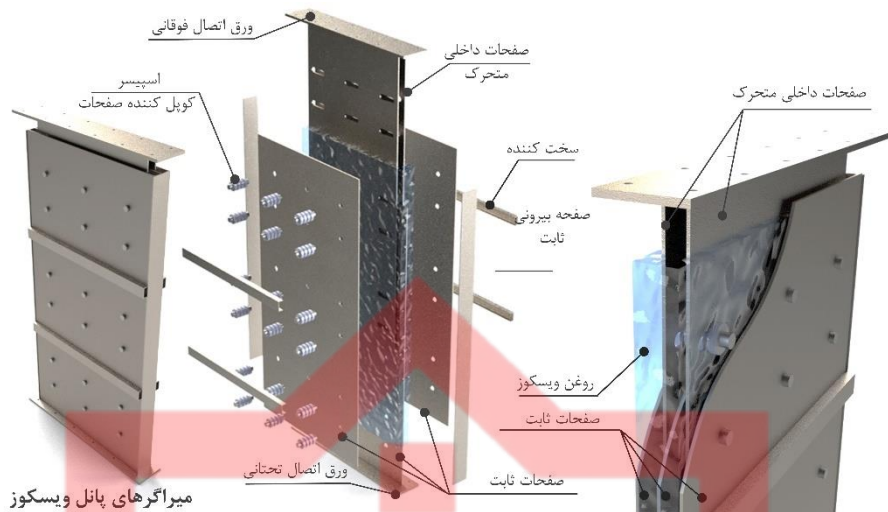
۲-۴-۲ میراگرهای پانل ویسکوز

دسته‌ای دیگر از میراگرهای سیال ویسکوز، میراگرهای پانل ویسکوز (یا دیوار ویسکوز) هستند. مطابق شکل (۲-۳۲) میراگرهای پانل ویسکوز از یک محفظه پر شده از سیال ویسکوز تشکیل شده‌اند که در داخل این محفظه صفحاتی قرار داده شده است. در حین ارتعاشات صفحات در داخل محفظه حرکت کرده و منجر به ایجاد یک تنش برشی در سیال موجود در محفظه می‌شود. متعاقباً یک برش در امتداد داخل صفحه از طرف سیال به صفحات متحرک وارد می‌شود که این نیروی برشی به سرعت حرکت صفحات در داخل محفظه، مشخصات سیال ویسکوز داخل محفظه و نیز مشخصات هندسی محفظه و صفحات متحرک بستگی دارد.

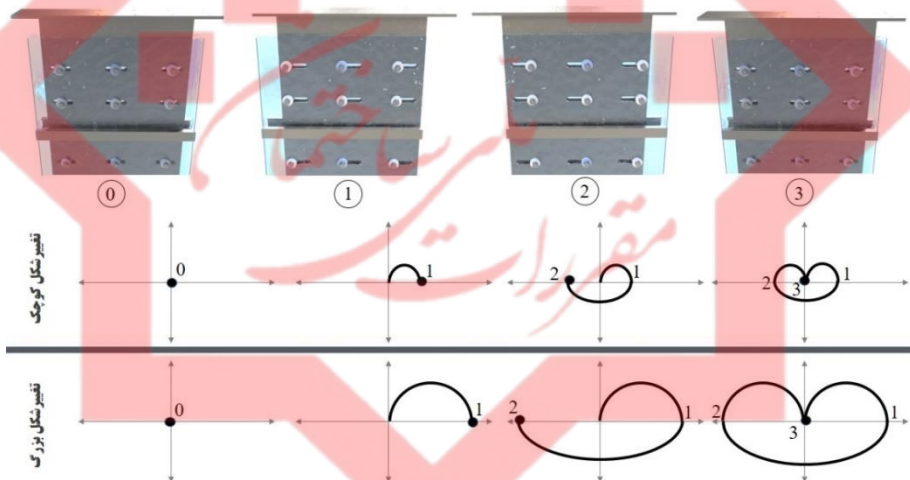
بنابراین میراگرهای پانل ویسکوز نیز در دسته میراگرهای وابسته به سرعت قرار می‌گیرند. در چنین مکانیزمی، لازم است ضخامت سیالی که تحت تنش برشی قرار می‌گیرد (فاصله مابین صفحات متحرک و صفحات ثابت محفظه) تقریباً بدون تغییر باقی بماند، بنابراین مطابق شکل (۲-۳۲) مابین صفحات فولادی متحرک و ثابت از اسپیسر استفاده می‌شود تا اولاً فاصله بین صفحات حفظ شده و ثانیاً از کمانش خارج از صفحه صفحات متحرک ممانعت شود. بسته به ابعاد میراگر پانل ویسکوز، ممکن است لازم باشد در صفحات ثابت محفظه میراگر نیز از سخت کننده‌هایی به منظور جلوگیری از ایجاد کمانش استفاده شود. لازم به ذکر است هیچ بخشی از این میراگر وارد محدوده غیرارتجاعی خود نشده و مکانیزم عملکردی بر اساس افت انرژی هیدرولیکی رخ داده در اثر اصطکاک هیدرولیکی مابین سیال و صفحات متحرک می‌باشد. در میراگرهای پانل ویسکوز، سیال ویسکوز تحت فشار نبوده و این میراگرها فاقد سیستم آب بندی فشار بالا هستند. همچنین به منظور تامین نیروی قابل توجه در میراگر لازم است اولاً ابعاد میراگر نسبتاً بزرگ باشد (ارتفاع میراگر معمولاً نزدیک به ارتفاع طبقه است) و ثانیاً ویسکوزیته سیال داخل محفظه بسیار بالا باشد. میراگرهای پانل ویسکوز، در مقایسه با میراگرهای ویسکوز، از سطح فناوری و پیچیدگی ساختاری پایین‌تری برخوردار هستند و بسیاری از مکانیزم‌ها به ویژه مکانیزم خنثی سازی اثرات تغییر دما در آن‌ها وجود ندارند. بنابراین رفتار این نوع از میراگرها می‌تواند به دمای محیط وابسته بوده و به طور کلی با افزایش دما (ناشی از تغییرات دمای محیط و یا ناشی از خود گرمایی میراگر)، ضریب میرایی و نیروی ایجاد شده در میراگر می‌تواند افت کند.

تذکره ۱: طراحی، ساخت و تضمین کیفیت و رفتار صحیح میراگرهای پانل ویسکوز بر عهده شرکت سازنده میراگر است.

رفتار میراگر پانل ویسکوز تحت یک چرخه رفت و برگشتی در شکل (۲-۳۳) نشان داده شده است. اختلاف فاز مابین نیروی میراگر و تغییر شکل میراگر در شکل (۲-۳۳) مشهود است به طوری که تحت یک بار هارمونیک در لحظه تغییر مکان حداکثر، سرعت و نیروی میراگر صفر بوده و در لحظه تغییر مکان صفر، سرعت و نیروی میراگر حداکثر می‌باشد. به علاوه میراگرهای پانل ویسکوز در تغییر شکل‌های بسیار کوچک نیز می‌توانند انرژی ورودی را مستهلک کنند.



شکل (۲-۳۲). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای پانل ویسکوز

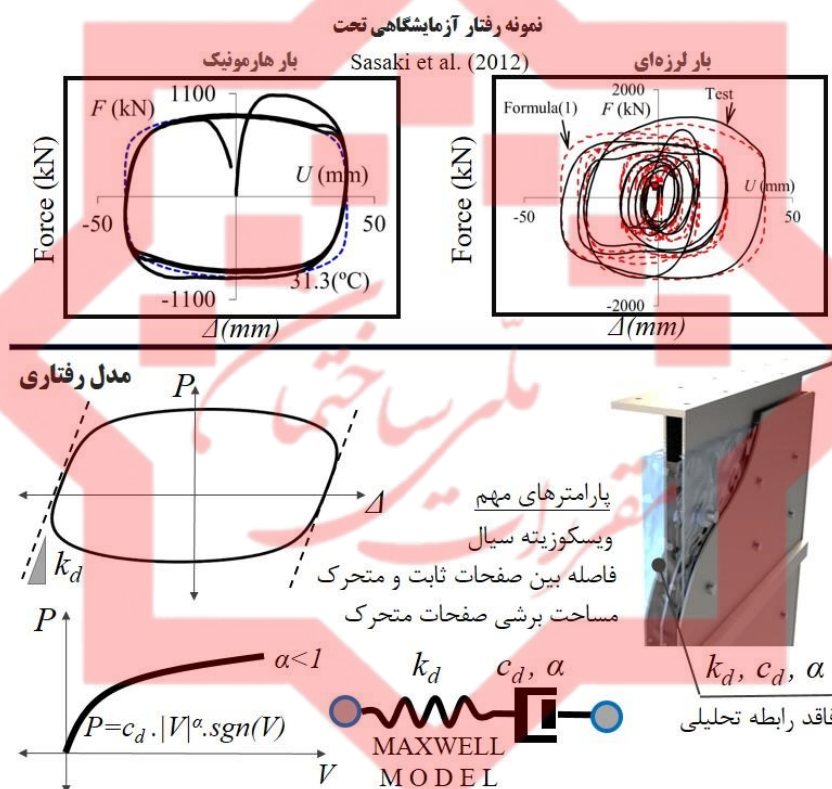


شکل (۲-۳۳). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر پانل ویسکوز تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت (در نقطه ۳ میراگر به جای اول خود بازگشته و متوقف شده است بنابراین سرعت و نیروی میراگر صفر است).

نمونه‌ای از رفتارهای آزمایشگاهی میراگرهای پانل ویسکوز در شکل (۲-۳۴) نشان داده شده است. مدل رفتاری میراگرهای پانل ویسکوز مشابه میراگرهای ویسکوز می‌تواند به صورت مدل

ماکسول (ترکیب سری فنر و دشپات) تعریف شود. برخلاف میراگرهای ویسکوز، در میراگرهای پانل ویسکوز امکان ایجاد رفتار نیرو-سرعت به صورت دوطولی وجود نداشته و در اغلب موارد، در این میراگرها رفتار نیرو-سرعت به صورت غیرخطی است.

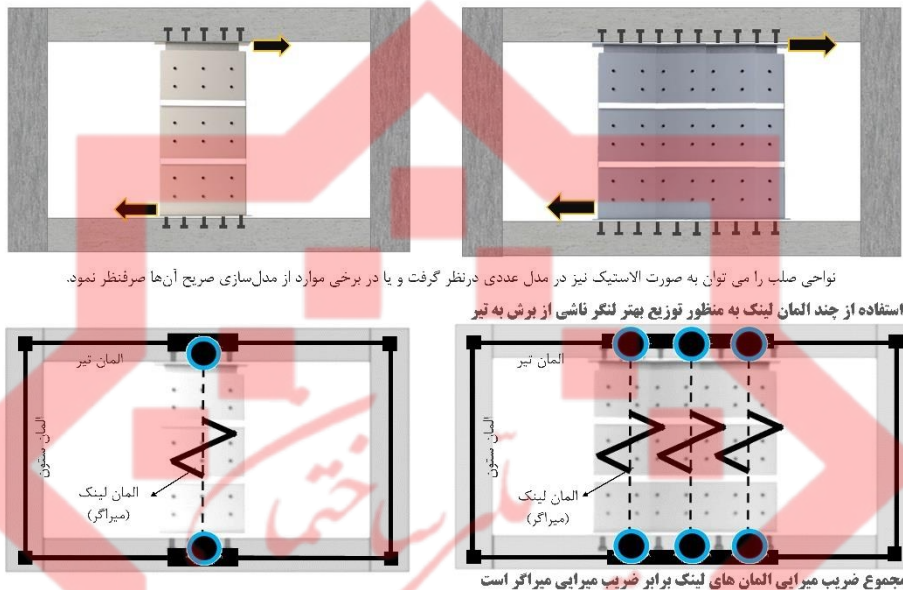
تذکر ۲: سیال مورد استفاده در میراگرهای پانل ویسکوز دارای لزجت بسیار بالاتری نسبت به سیال بکار رفته در میراگرهای ویسکوز است. به طوری که سیال در میراگرهای پانل ویسکوز اساساً حالت مایع نداشته و به صورت ژل می‌باشد.



شکل (۲-۳۴). رفتار آزمایشگاهی و مدل رفتاری میراگرهای پانل ویسکوز

میراگرهای پانل ویسکوز عمدتاً به صورت دیوارهای پانلی با ارتفاعی نزدیک به ارتفاع طبقه در سازه قرار داده می‌شوند. نمونه‌ای از نحوه استفاده از میراگرهای پانل ویسکوز و نحوه مدل‌سازی

آنها در شکل (۲-۳۵) نشان داده شده است. در خصوص مدل‌سازی پانل‌های ویسکوز با طول زیاد، به منظور جلوگیری از تمرکز لنگر وارده از طرف میراگر به تیر، لازم است از چند المان لینک استفاده شود به طوری که ضریب میرایی مجموع آنها برابر ضریب میرایی میراگر اصلی شود.



شکل (۲-۳۵). چیدمان‌های متداول میراگرهای پانل ویسکوز و نحوه مدل‌سازی آنها

۲-۴-۳ شبیه‌سازی میراگرهای سیال ویسکوز

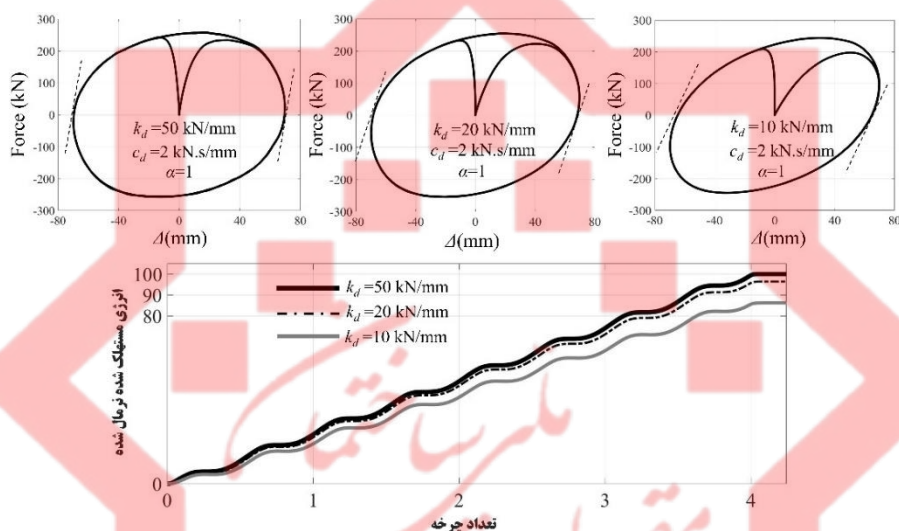
به منظور شبیه‌سازی رفتار میراگرهای سیال ویسکوز معمولاً از مدل ماکسول استفاده می‌شود. در نرم افزارهای متداول دو نوع المان برای این کار وجود دارد.

۲-۴-۳-۱ مدل ماکسول نمایی^۱

این مدل به منظور شبیه‌سازی رفتار طیف وسیعی از میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز مناسب می‌باشد. کمیت‌های اصلی در این مدل شامل ضریب میرایی (C_d)، توان سرعت

^۱ Exponential Maxwell

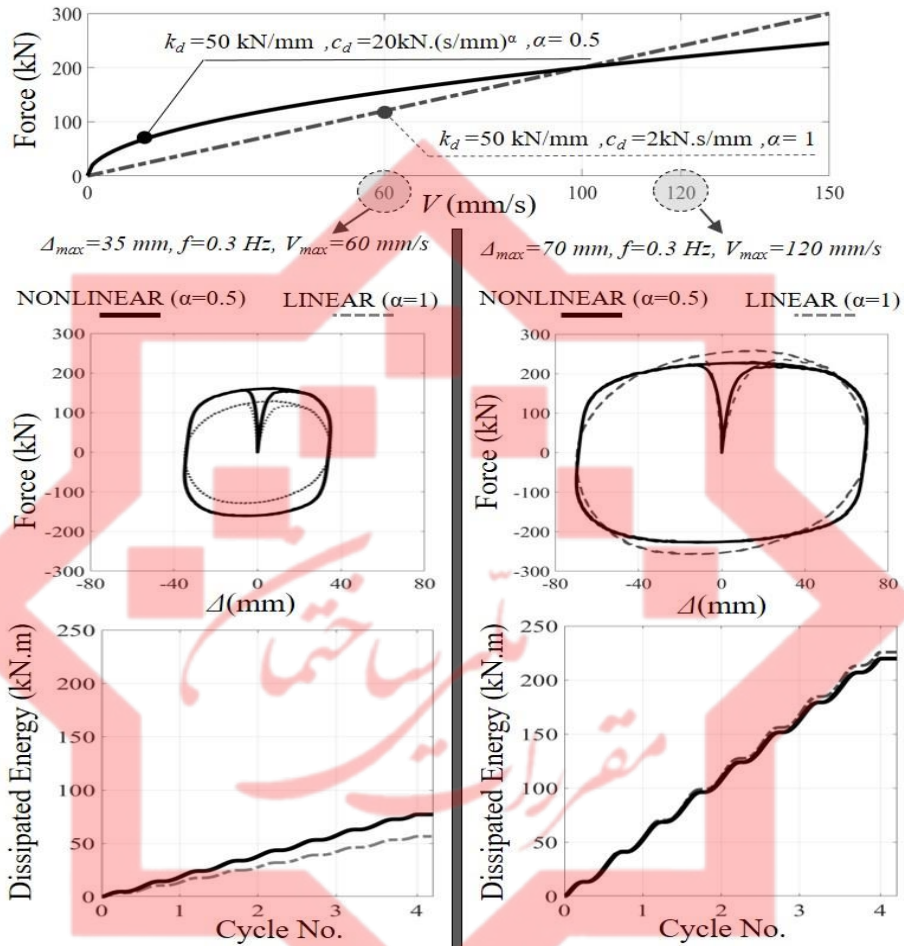
(α) و ضریب تراکم ناپذیری میراگر (k_d) می‌باشد که هر سه کمیت بر اساس نتایج آزمایشگاهی میراگر قابل محاسبه بوده و شرکتهای سازنده نیز این مشخصات را برای محصولات خود گزارش می‌کنند. شکل (۳۶-۲) نمونه‌ای از نتایج حاصل از مدل ماکسول نمایی و تاثیر کمیت ضریب تراکم ناپذیری بر شکل منحنی چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده میراگر را نشان می‌دهد. با کاهش ضریب تراکم ناپذیری، شکل منحنی میراگرهای سیال ویسکوز از بیضی افقی به بیضی مایل تبدیل شده و تا حدی انرژی مستهلک شده در میراگر کاهش می‌یابد.



شکل (۳۶-۲). تاثیر ضریب تراکم ناپذیری میراگر در رفتار و انرژی مستهلک شده میراگر

تاثیر توان سرعت بر رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر نیز در شکل (۳۷-۲) نشان داده شده است. مطابق شکل (۳۷-۲) میراگرهای ویسکوز غیرخطی ($\alpha < 1$) در مقایسه با میراگرهای ویسکوز خطی ($\alpha = 1$) در سرعت‌های کمتر منجر به ایجاد نیروی بیشتری در میراگر شده و انرژی بیشتری نیز توسط میراگر غیرخطی مستهلک می‌شود. در سرعت‌های بالا نیروی ایجاد شده در میراگر خطی از میراگر غیرخطی بیشتر شده، لیکن به دلیل شکل شبه مستطیلی در رفتار میراگرهای ویسکوز غیرخطی، انرژی مستهلک شده در هر دو میراگر خطی و غیرخطی تقریباً یکسان می‌باشد. به طور کلی بیشترین اختلاف فاز بین نیروی میراگر و تغییر شکل

میراگر، در میراگرهای ویسکوز خطی وجود داشته و با کاهش توان سرعت میراگر، این اختلاف فاز کاهش می‌یابد.



شکل (۲-۳۷). تاثیر توان سرعت میراگر در رفتار چرخه‌ای و میزان انرژی مستهلک شده در دو سرعت مختلف

تذکر: اگرچه رفتار میراگرهای ویسکوز به دما حساسیت قابل توجهی ندارد، اما رفتار میراگرهای پانل ویسکوز (میراگرهای ویسکوز غیرسیلندری) تابعی از دمای محیط بوده و با افزایش چند ده درجه‌ای در دمای محیط، ضریب میرایی می‌تواند کاهش قابل توجهی داشته باشد (توان سرعت معمولاً ثابت مانده و ضریب تراکم ناپذیری تقریباً با روندی مشابه ضریب میرایی تغییر می‌کند).

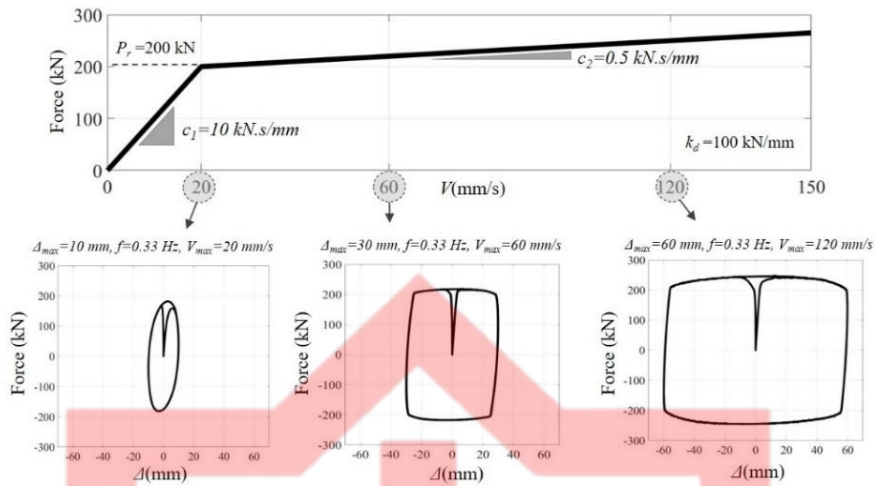
بنابراین توصیه می‌شود از میراگرهای پانل ویسکوز در محیط داخل ساختمان که دارای دمای پایداری می‌باشد استفاده شود. همچنین در خصوص بارهای با تداوم زیاد (همانند بار باد) به علت پدیده خودگرمایی، نیروی میراگر پانل ویسکوز دچار افت می‌شود. این افت به دلیل آسیب دیدن میراگر نبوده بلکه به دلیل عدم وجود مکانیزم خنثی سازی تغییرات دما در میراگر پانل ویسکوز و متعاقباً افت ویسکوزیته سیال می‌باشد. بعد از اتمام بارگذاری و متعادل شدن دمای میراگر با دمای محیط، مشخصات میراگر پانل ویسکوز به حالت اولیه باز می‌گردد.

۲-۳-۴-۲ مدل ماکسول دوخطی^۱

این مدل مناسب برای شبیه سازی میراگرهای با منحنی نیرو-سرعت دوخطی می‌باشد. میراگرهای روغنی عمده‌تاً در این گروه از میراگرها قرار گرفته و شامل دو ضریب میرایی هستند. ضریب میرایی c_1 مقدار نسبتاً بالایی داشته و مربوط به زمانی است که میراگر تحت سرعت‌های پایین قرار داشته و شیر کنترل فشار باز نشده است. ضریب میرایی c_2 در مقایسه با c_1 مقدار بسیار کمتری داشته و مربوط به زمانی است که میراگر در معرض سرعت‌های بالا قرار گرفته و شیر کنترل فشار میراگر باز شده است. کمیت‌های ورودی این مدل شامل ضرایب میرایی c_1 و c_2 و ضریب تراکم ناپذیری k_d است. نمونه‌ای از نتایج حاصل از این مدل در شکل (۲-۳۸) نشان داده شده است.

مطابق شکل (۲-۳۸) رفتار میراگرهای دوخطی تا پیش از آنکه شیر کنترل فشار باز شود، مشابه میراگرهای ویسکوز خطی حالت بیضوی دارد لیکن در سرعت‌های بالا و پس از باز شدن شیر کنترل فشار رفتار تا حدی مشابه میراگرهای ویسکوز غیرخطی شده و حالتی شبه مستطیلی به خود می‌گیرد.

^۱ Bilinear Maxwell



شکل (۲-۳۸). نمونه‌ای از شبیه‌سازی میراگر روغنی با استفاده از مدل ماکسول دوخطی

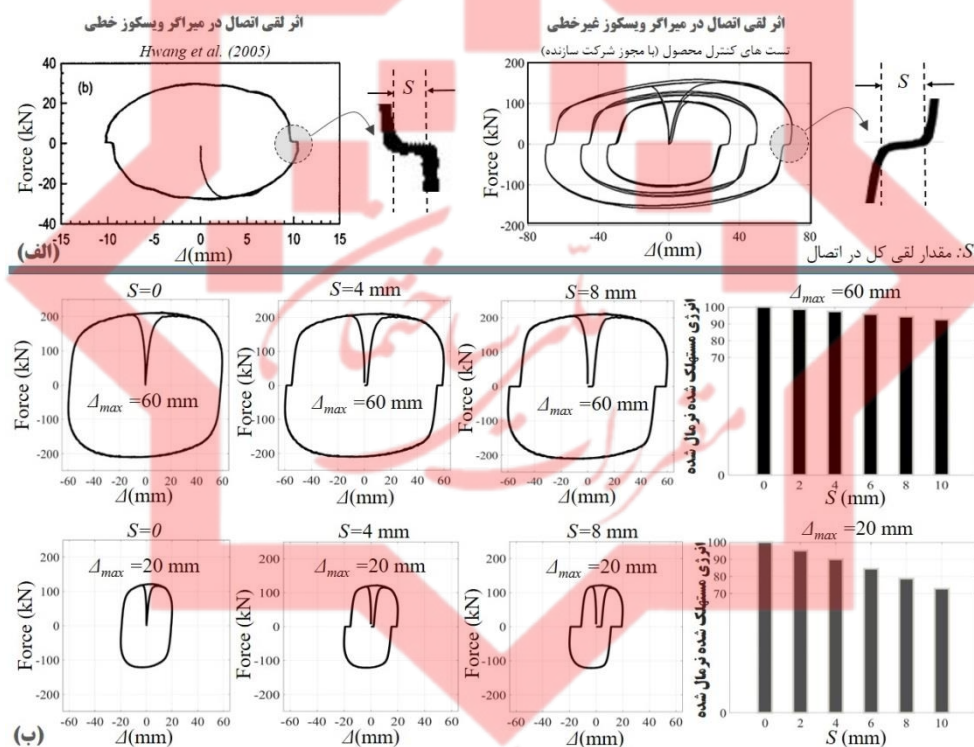
۲-۳-۴-۳ تأثیر لقی اتصال

میراگرهای ویسکوز عموماً فاقد لقی ساختاری هستند لیکن اثر لقی در اتصالات و پین‌های آن‌ها ممکن است در عملکرد میراگر موثر باشد. نمونه‌ای از لقی مشاهده شده در رفتار آزمایشگاهی میراگرهای ویسکوز در شکل (۲-۳۹-الف) نشان داده شده است. از آنجایی که میراگرهای ویسکوز معمولاً حداقل در یک انتها دارای اتصالات مفصلی با پین هستند، لقی اتصال عمده‌تأ ناشی از اختلاف جزئی مابین قطر پین و قطر سوارخی که پین داخل آن قرار دارد، می‌باشد. در اغلب موارد مقدار لقی بین ۱ میلی‌متر الی ۴ میلی‌متر است.

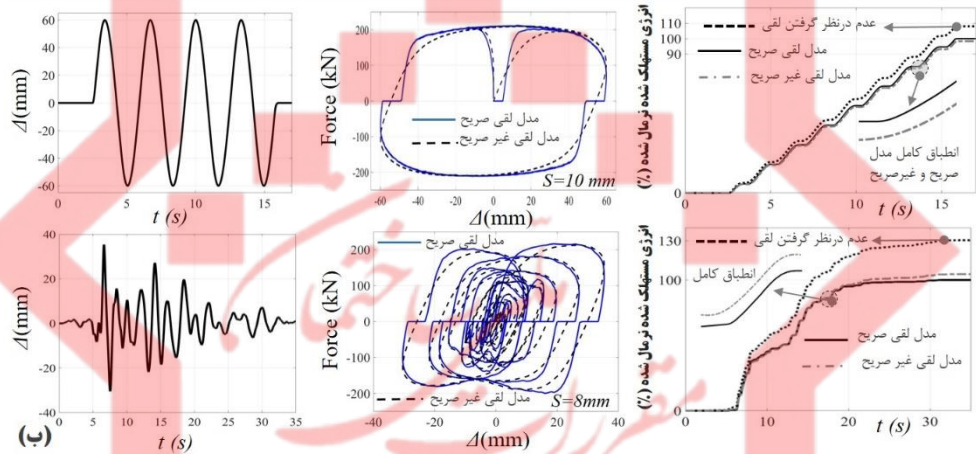
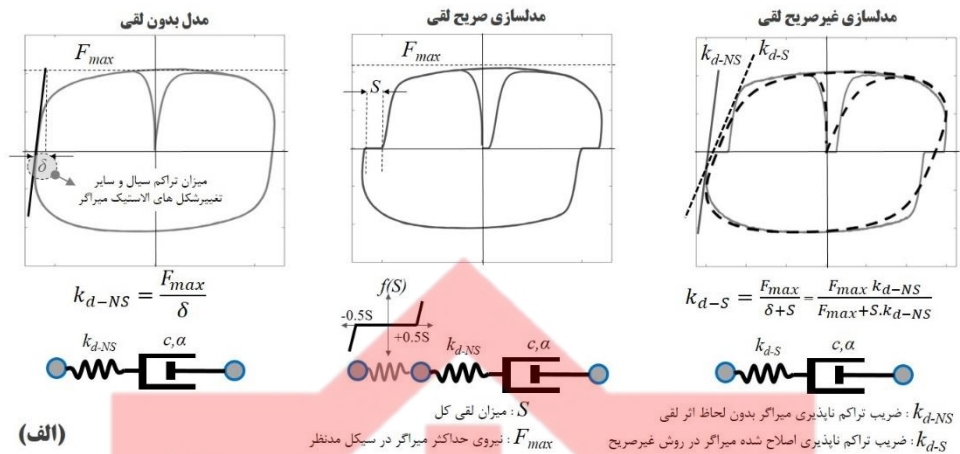
شکل (۲-۳۹-ب) تأثیر مقدار لقی در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر را نشان می‌دهد. مطابق شکل، هر چه دامنه حرکت میراگر کوچکتر باشد تأثیر لقی مشهودتر بوده و در مقابل در دامنه‌های بزرگ، تأثیر لقی ناچیز است. این اصل برای سایر میراگرها نیز صادق می‌باشد. برای لقی‌های بیش از ۴ میلی‌متر لازم است اثر لقی در مدل میراگر لحاظ شود. اگرچه در نظر گرفتن لقی به شکل صریح امکان‌پذیر است، لیکن مدل‌سازی صریح آن می‌تواند منجر به افزایش مدت زمان تحلیل شود. بنابراین در این ضابطه روشی ساده به عنوان مدل‌سازی غیرصریح لقی پیشنهاد شده است که در آن ضریب تراکم ناپذیری میراگر مطابق شکل (۲-۴۰)

بر اساس مقدار لقی کاهش می‌شود. مطابق شکل (۲-۴۰-ب) مشخص است در صورتی که لقی اتصالات در نظر گرفته نشود بسته به نوع بارگذاری، استهلاک انرژی در میراگر (به خصوص در میراگرهایی با دامنه تغییرشکلی پایین) می‌تواند با خطای زیادی تخمین زده شود. بنابراین لازم است اثر لقی اتصالات به شکل صریح یا غیرصریح در مدل میراگر در نظر گرفته شود.

تذکر: در صورتی که لقی اتصالات در چیدمان آزمایش‌های میراگر لحاظ شده و مشخصات میراگر مطابق نتایج آزمایشگاهی بدست آمده باشد، اثر لقی به صورت خودکار در ضریب تراکم ناپذیری لحاظ شده و نیاز به اصلاح دیگری نمی‌باشد.



شکل (۲-۳۹). (الف) لقی مشاهده شده در رفتار آزمایشگاهی میراگرهای ویسکوز، (ب) تاثیر لقی اتصالات در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگرهای ویسکوز



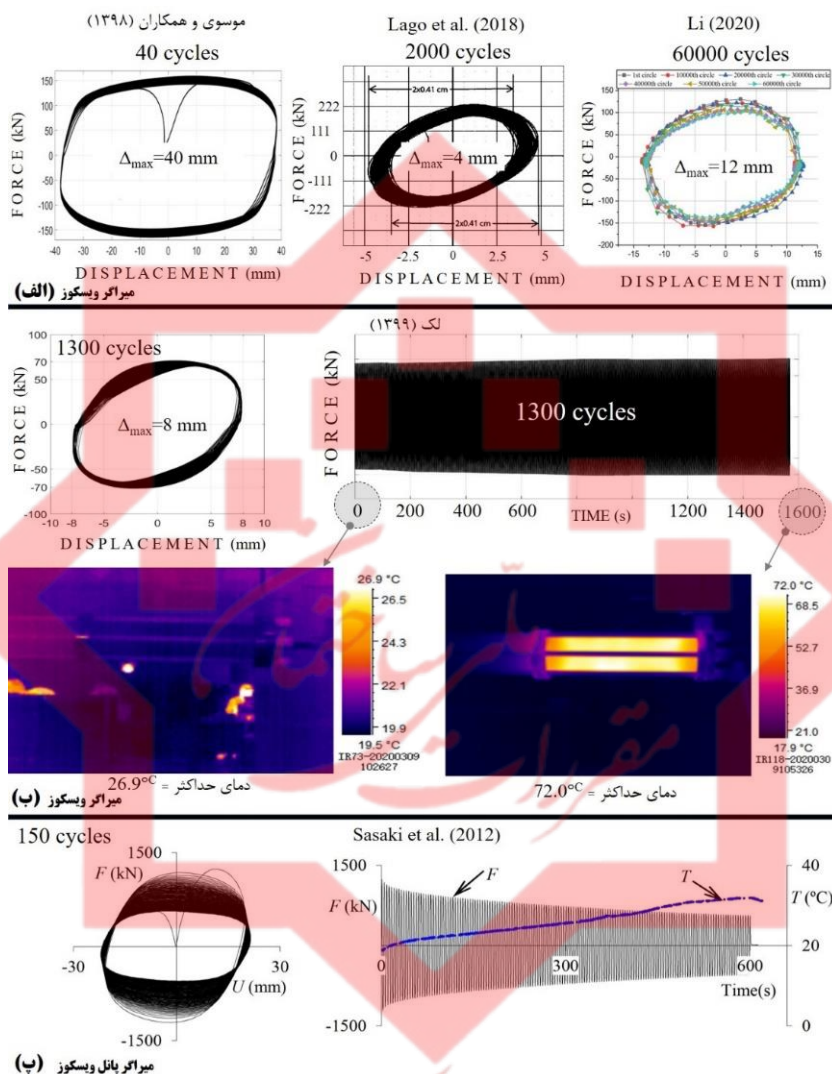
شکل (۲-۴۰). (الف) نحوه محاسبه ضریب تراکم ناپذیری کاهش یافته میراگر ویسکوز به منظور در نظر گرفتن تاثیر لقی به صورت غیر صریح. (ب) مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی صریح و غیر صریح لقی

۲-۴-۴ وابستگی در میراگرهای سیال ویسکوز

۲-۴-۴-۱ تعداد چرخه رفت و برگشتی

در خصوص حساسیت به تعداد چرخه رفت و برگشتی باید بین میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز تفاوت قائل شد. میراگرهای ویسکوز به دلیل مکانیزم هیدرولیکی خود، فاقد

حساسیت به تعداد چرخه رفت و برگشتی بوده و در اثر تعداد چرخه‌های بسیار بالا نیز دچار خستگی، زوال و یا افت ظرفیت نمی‌شوند.



شکل (۲-۴۱). (الف) رفتار میراگرهای ویسکوز تحت پروتکل‌های با تعداد چرخه بالا (ب) عدم حساسیت رفتار میراگر ویسکوز به دما، (پ) حساسیت نسبی رفتار میراگر پانل ویسکوز به دما

آزمایش‌های انجام شده در داخل و خارج از کشور نشان دهنده آن است که میراگرهای ویسکوز قادرند تحت چند صد تا چندین هزار چرخه نیز قرار گرفته و بدون افت مقاومت به عملکرد خود ادامه دهند. نمونه‌هایی از عملکرد میراگرهای ویسکوز تحت پروتکل‌های با تعداد چرخه بالا در شکل (۲-۴۱-الف) نشان داده شده است. مطابق شکل (۲-۴۱-ب) تحت تعداد چرخه بالا انرژی بسیار زیادی مستهلک شده و به علت پدیده خوگرمایی، دمای میراگر بالا می‌رود. در میراگرهای ویسکوز به دلیل مکانیزم خنثی کننده اثرات حرارت، افزایش دما منجر به تغییر رفتار میراگر نمی‌شود، لیکن در میراگرهای پانل ویسکوز به دلیل عدم وجود چنین مکانیزمی، تحت تعداد چرخه‌های بالا، افزایش دما منجر به افت ویسکوزیته سیال شده و این امر منجر به افت ضریب میرایی میراگر پانل ویسکوز می‌شود. تفاوت رفتار میراگرهای ویسکوز با میراگرهای پانل ویسکوز تحت بارهای با تعداد چرخه زیاد در شکل‌های (۲-۴۱-ب) و (۲-۴۱-پ) نشان داده شده است. لازم به ذکر است، افت ضریب میرایی در میراگر پانل ویسکوز پدیده‌ای موقتی بوده و به معنی آسیب به میراگر نیست. به طوری که پس از اتمام بارگذاری و خنک شدن میراگر، مشخصات میراگر پانل ویسکوز مجدداً به حالت اولیه باز می‌گردد. به طور کلی میراگرهای ویسکوز، میراگرهای روغنی و میراگرهای پانل ویسکوز، در صورت طراحی صحیح، پس از زلزله نیاز به تعویض ندارند.

۲-۴-۴-۲- دمای محیط

در خصوص حساسیت به دما باید بین میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز تفاوت قائل شد. میراگرهای ویسکوز به تغییرات دمای محیط حساس نبوده و مطابق شکل (۲-۴۱-ب) در طیف دمایی وسیعی رفتاری پایدار دارند. این موضوع در میراگرهای پانل ویسکوز معمولاً صحت نداشته و در این میراگرها، مطابق شکل (۲-۴۱-پ)، با افزایش دما، ضریب میرایی می‌تواند کاهش قابل توجهی داشته باشد. البته این کاهش موقتی بوده و پس از اتمام بارگذاری و بازگشت دمای میراگر پانل ویسکوز به دمای محیط، مجدد مشخصات میراگر به حالت اولیه باز می‌گردد.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۲-۴-۴-۳ عملکرد دراز مدت

مشخصات میراگرهای سیال ویسکوز در گذر زمان دچار تغییر نمی‌شود. در میراگرهای ویسکوز قطعات اصلی یا از آلیاژهای ضد زنگ بوده و یا دارای پوشش کروم سخت و سایر انواع آب‌کاری هستند. همچنین این قطعات در داخل محفظه سیلندر آب‌بندی شده قرار دارند که حتی هوا نیز به داخل آن نفوذ نمی‌کند. بنابراین بحث خوردگی در قطعات اصلی میراگرهای ویسکوز وجود ندارد. در خصوص میراگرهای پانل ویسکوز نیز قطعات فلزی دارای پوشش ضد زنگ بوده و عملکرد این نوع از میراگرها حساسیتی به بحث خوردگی ندارد.

۲-۴-۵ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای سیال ویسکوز

از جمله مزیت‌های اصلی میراگرهای سیال ویسکوز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- میراگرهای سیال ویسکوز دارای رفتار پایداری بوده و قابلیت استهلاک انرژی بالایی فراهم می‌آورند.
- میراگرهای سیال ویسکوز فاقد سختی استاتیکی بوده و میرایی ویسکوز را به صورت خالص به سازه تزریق می‌کنند.
- میراگرهای سیال ویسکوز حتی در تغییرشکل‌های کوچک نیز قابلیت استهلاک انرژی داشته و در تمام چرخه‌های ارتعاش ناشی از زلزله‌های شدید و زلزله‌های سطح سرویس و یا ارتعاشات ناشی از باد، استهلاک انرژی داشته و منجر به افزایش میرایی سازه خواهند شد. به عبارت دیگر، برخلاف میراگرهای وابسته به تغییرشکل، میراگرهای وابسته به سرعت در تمام بازه زمانی ارتعاش سازه فعال هستند.
- به طور کلی میراگرهای سیال ویسکوز سبب کاهش انرژی ورودی زلزله به سازه می‌شوند (به علت کاهش همزمان شتاب و تغییرشکل طبقات). به عبارت دیگر نه تنها بخشی از انرژی ورودی از طریق میراگرهای ویسکوز مستهلک می‌شود، بلکه کل انرژی لرزه ای وارد بر سازه نیز کاهش می‌یابد. اگرچه این امر در سایر میراگرها نیز در برخی موارد رخ می‌دهد، لیکن وقوع آن در سازه های دارای میراگرهای ویسکوز فاقد سختی استاتیکی (به ویژه میراگرهای ویسکوز با توان سرعت نزدیک به ۱) قطعی است.

- رفتار دراز مدت میراگرهای سیال ویسکوز قابلیت اطمینان بالایی داشته و گذشت زمان تغییری در مشخصات میراگر ایجاد نمی‌کند.
- بحث خستگی در میراگرهای سیال ویسکوز مطرح نبوده و این میراگرها پس از زلزله، در صورت طراحی صحیح، نیاز به تعویض ندارند.
- میراگرهای ویسکوز و میراگرهای روغنی رفتار پایداری تحت تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی بسیار بالا دارند (این خاصیت در میراگرهای پانل ویسکوز وجود ندارد). بنابراین این دسته از میراگرها نه تنها برای کنترل ارتعاشات ناشی از زلزله بلکه برای کنترل ارتعاشات ناشی از باد و یا سایر بارهای دینامیکی با تداوم بالا نیز مناسب هستند.
- تغییرات دمای محیط بر رفتار میراگرهای ویسکوز و میراگرهای روغنی تاثیری ندارد (این موضوع در خصوص میراگرهای پانل ویسکوز صدق نمی‌کند).
- به دلیل عدم سختی استاتیکی، میراگرهای سیال ویسکوز مستعد تجربه تغییرشکل ماندگار نیستند.

از جمله محدودیت‌های میراگرهای سیال ویسکوز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- به دلیل سطح فناوری بالا و جزئیات نسبتاً پیچیده، میراگرهای سیال ویسکوز نسبت به سایر میراگرها معمولاً از قیمت بالاتری برخوردار هستند.
- کلیه مزیت‌های ذکر شده برای میراگرهای سیال ویسکوز تنها در شرایطی حاصل می‌شوند که تمام اجزای میراگر به درستی طراحی و تولید شده باشند.
- در خصوص میراگرهای پانل ویسکوز، ضریب میرایی و عملکرد میراگر به تغییرات دما حساسیت زیادی دارد (این محدودیت در خصوص میراگرهای ویسکوز وجود ندارد).

تذکر: لازم به یادآوری است که میراگرهای سیال ویسکوز در این ضابطه به دو دسته میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز دسته بندی شده‌اند که اگرچه در نام به یکدیگر شباهت دارند، اما در رفتار می‌توانند کاملاً متفاوت باشند. مشخصاً برخی از مزیت‌های میراگرهای

ویسکوز (میراگرهای ویسکوز سیلندری) همانند عدم حساسیت به دما، در میراگرهای پانل ویسکوز (میراگرهای ویسکوز غیرسیلندری) وجود ندارد.

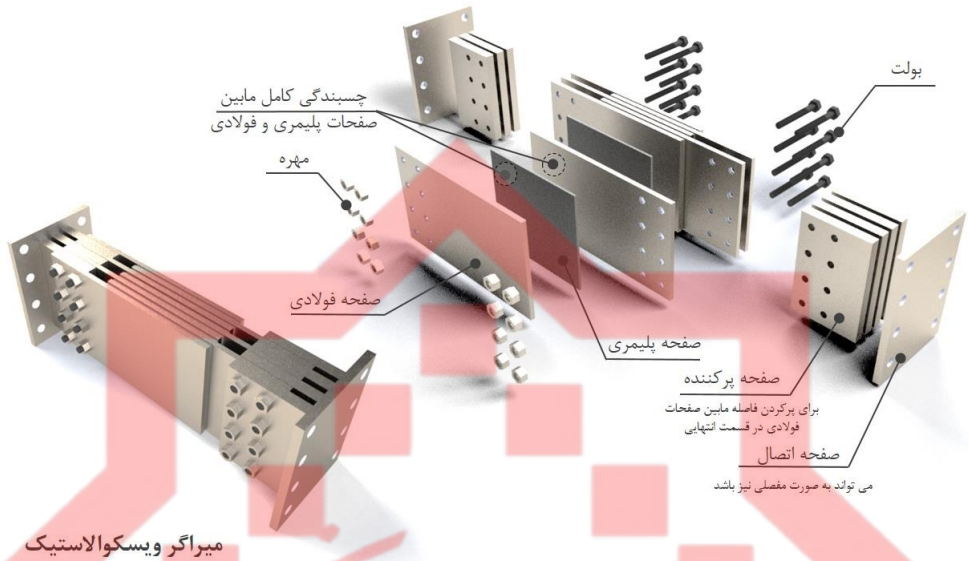
۲-۵ میراگرهای ویسکوالاستیک

۲-۵-۱ معرفی میراگرهای ویسکوالاستیک

میراگرهای ویسکوالاستیک دسته‌ای از میراگرها هستند که مکانیزم استهلاک انرژی در آن‌ها معمولاً از طریق ایجاد کرنش برشی در لایه‌های ویسکوالاستیک میراگر فراهم می‌شود. در متداول‌ترین حالت، یک میراگر ویسکوالاستیک از تعدادی صفحه فولادی و پلیمری که به طور کامل به یکدیگر چسبانده شده‌اند، تشکیل شده است. نمونه‌ای از جزئیات میراگرهای ویسکوالاستیک و اجزای اصلی آن در شکل (۲-۴۲) نشان داده شده است. صفحات پلیمری می‌توانند دارای ترکیبات مختلفی بوده و ویژگی‌های متفاوتی از منظر سختی، میرایی، دوام و پایداری حرارتی داشته باشند. به عبارت دیگر، مشخصات صفحات پلیمری از طریق عملیات پخت یا ولکانیزیشن و استفاده از پرکننده‌ها و افزودنی‌های مختلف قابل تنظیم می‌باشد. صفحات پلیمری طی فرآیند خاصی که معمولاً شامل ایجاد فشار و استفاده از پرایمر یا مواد چسباننده اپوکسی و اعمال حرارت است، به صفحات فولادی چسبانده می‌شوند. پیش از انجام اتصال معمولاً لازم است سطح صفحات فولادی نیز آماده سازی شوند به طوری که سطح آن‌ها خشک و عاری از هر نوع ماده روغنی یا آلودگی باشد. پس از اتمام مراحل چسباندن انتظار می‌رود هیچگونه لغزشی مابین صفحات فولادی و پلیمری رخ ندهد. ارتعاشات وارده بر میراگر ویسکوالاستیک منجر به ایجاد برش داخل صفحه در صفحات پلیمری شده و به دلیل رفتار ویسکوالاستیک پلیمر مصرفی، انرژی ورودی عمدتاً از طریق رفتار ویسکوز پلیمر و ایجاد اصطکاک بین مولکولی^۱ مستهلک شده و به حرارت تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه پلیمر دارای مدول برشی غیرصفر است، بنابراین میراگرهای ویسکوالاستیک دارای سختی غیرصفر بوده و علاوه بر افزایش میرایی، منجر به افزایش سختی سازه نیز می‌شوند. بنابراین رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک هم وابسته به تغییر شکل و هم وابسته به سرعت می‌باشد. با این

^۱ Molecular-level friction

وجود معمولاً این دسته از میراگرها تحت دسته بندی میراگرهای وابسته به سرعت طبقه بندی می‌شوند.



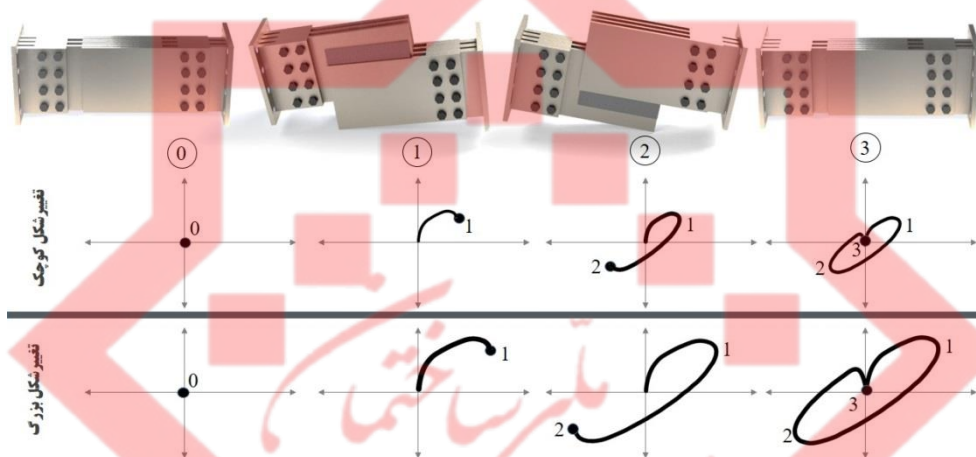
شکل (۲-۴۲). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای ویسکوالاستیک

تذکره ۱: رفتار صحیح میراگرهای ویسکوالاستیک به انتخاب پلیمر ویسکوالاستیک مناسب و نحوه صحیح چسباندن صفحات فولادی و پلیمری بستگی کامل دارد. بنابراین طراحی، ساخت و تضمین کیفیت و رفتار صحیح میراگرهای ویسکوالاستیک بر عهده شرکت سازنده میراگر است.

تذکره ۲: در برخی موارد در ترکیب با مکانیزم ویسکوالاستیک، از مکانیزم‌های تسلیمی نیز در میراگرهای ویسکوالاستیک استفاده می‌شود که در این صورت اصطلاحاً به میراگر حاصله میراگر ویسکوپلاستیک اطلاق می‌شود. در میراگرهای ویسکوپلاستیک تحت تغییرشکل‌های کوچک تنها عملکرد ویسکوالاستیک فعال بوده اما در تغییرشکل‌های بزرگ هر دو عملکرد ویسکوالاستیک و تسلیمی فعال می‌شوند.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

تغییر شکل و رفتار میراگر ویسکوالاستیک تحت یک چرخه رفت و برگشتی در شکل (۲-۴۳) نشان داده شده است. پلیمر مصرفی در میراگرهای ویسکوالاستیک معمولاً دارای خواص ایزوتروپیک بوده و در امتدادهای مختلف مشخصات یکسانی دارند، بنابراین تغییر شکل در میراگرهای ویسکوالاستیک بسته به هندسه میراگر و نحوه چیدمان آن در سازه می‌تواند در امتداد محور میراگر و یا عمود بر محور میراگر رخ دهد. مطابق شکل (۲-۴۳) میراگرهای ویسکوالاستیک در تغییر شکل‌های کوچک نیز قادر به استهلاک انرژی هستند.



شکل (۲-۴۳). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر ویسکوالاستیک تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت (در نقطه ۳ میراگر به جای اول خود بازگشته و متوقف شده است بنابراین سرعت و نیروی میراگر برابر صفر است).

نمونه‌ای از رفتارهای آزمایشگاهی میراگرهای ویسکوالاستیک به همراه مدل رفتاری آن‌ها در شکل (۲-۴۴) نشان داده شده است. مدل کلوین^۱ یکی از ساده‌ترین مدل‌ها رفتاری به منظور شبیه سازی رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک است. در این مدل مشخصات الاستیک میراگر در قالب یک فنر الاستیک خطی و مشخصات ویسکوز میراگر در قالب یک دشپات ویسکوز خطی در نظر گرفته شده و این دو المان به صورت موازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در نتیجه مطابق

^۱ Kelvin (Kelvin-Voigt)

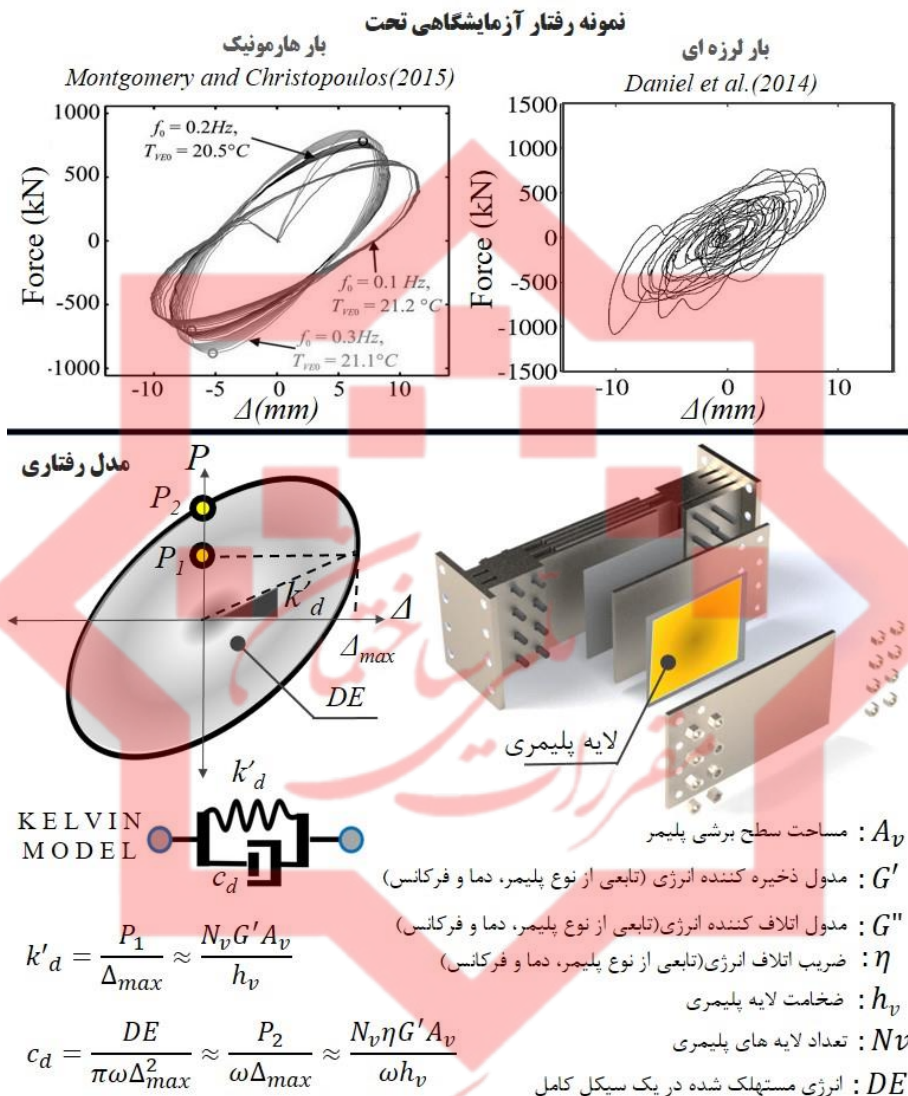
شکل (۲-۴۴) می‌توان یک ضریب سختی ($k'd$) و یک ضریب میرایی (c_d) برای میراگر ویسکوالاستیک تعریف نمود که این دو ضریب به مشخصات هندسی صفحات پلیمری و مشخصات مکانیکی پلیمر مصرفی از جمله مدول ذخیره کننده انرژی (G') و مدول اتلاف کننده انرژی (G'') بستگی دارد. مدول اتلاف کننده انرژی معمولاً به صورت ضریب اتلاف (η) بیان می‌شود که عبارت است از نسبت مدول اتلاف کننده انرژی به مدول ذخیره کننده انرژی. مقادیر G' و η نه تنها به ترکیبات به کار رفته در ساخت و عمل آوری پلیمر، بلکه علاوه بر آن به دما و فرکانس بارگذاری نیز می‌توانند بستگی داشته باشند. مقدار دقیق ضریب سختی و ضریب میرایی میراگر ویسکوالاستیک لازم است بر اساس انجام آزمایش‌های هارمونیک با فرکانس‌های مختلف و در دماهای مختلف بدست آورده شود.

تذکره ۳: به طور کلی در محدوده فرکانس‌های متعارف بارگذاری لرزه‌ای، با افزایش فرکانس، مقدار مدول ذخیره کننده انرژی (G') و مقدار مدول اتلاف کننده انرژی (G'') افزایش یافته و با افزایش دما، هر دو کمیت مذکور معمولاً کاهش می‌یابند. بنابراین مقدار ضریب سختی ($k'd$) با افزایش فرکانس معمولاً افزایش می‌یابد (رجوع به رابطه موجود در شکل (۲-۴۴)). لیکن ضریب میرایی میراگر ($c'd$) با افزایش فرکانس معمولاً کاهش می‌یابد چراکه مقدار افزایش مدول اتلاف کننده انرژی (G'') به صورت خطی با افزایش فرکانس افزایش نیافته و در مجموع، افزایش فرکانس معمولاً منجر به کاهش ضریب میرایی میراگر ویسکوالاستیک می‌شود (رجوع به رابطه موجود در شکل (۲-۴۴)). به علاوه، هر دو ضریب سختی و ضریب میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک با افزایش دما معمولاً کاهش می‌یابند.

تذکره ۴: در برخی از پلیمرها مشخصات پلیمر (G' و η) علاوه بر فرکانس و دما، به مقدار کرنش برشی وارده نیز بستگی دارد (Ishikawa et al. 2004).

تذکره ۵: مقدار کرنش مجاز برشی پلیمر وابستگی کامل به ترکیبات به کار رفته در پلیمر دارد. پلیمرها معمولاً تحت نام‌های تجاری خود شناخته شده و از ذکر نام آن‌ها در این ضابطه خودداری شده است. لیکن برخی از پلیمرهای ویسکوالاستیک قادرند کرنش‌های برشی تا ۶۰۰٪ را نیز تحمل کنند (Montgomery and Christopoulos 2015). با این وجود عمر خستگی پلیمرها به مقدار کرنش برشی وارده بستگی داشته (Ishikawa et al. 2004) و

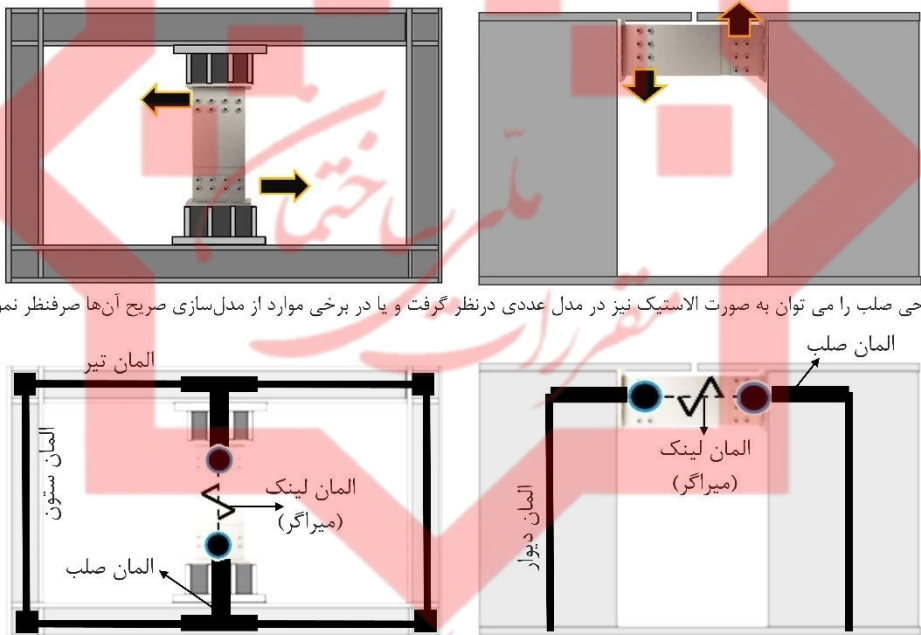
میراگرهای ویسکوالاستیک به نحوی ساخته می‌شوند که کرنش برشی ایجاد شده در میراگر به مقادیر بسیار کمتری از کرنش نهایی (به عنوان نمونه کمتر از ۰.۲٪) محدود شود.



شکل (۲-۴۴). رفتار آزمایشگاهی و مدل رفتاری میراگرهای ویسکوالاستیک

تذکره ۶: ظرفیت تغییرشکلی میراگرهای ویسکوالاستیک بستگی به ضخامت لایه‌های پلیمری و کرنش برشی گسیختگی لایه‌های پلیمری دارد. با توجه به ضخامت اندک لایه‌های پلیمری (معمولاً کمتر از ۲۰ میلیمتر)، ممکن است ظرفیت تغییرشکلی میراگرهای ویسکوالاستیک در برخی از موارد به مقادیر کوچکی محدود شود.

برخی از چیدمان‌های ممکن برای میراگرهای ویسکوالاستیک در شکل (۲-۴۵) نشان داده شده است. با توجه به وابستگی رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک به سرعت و جابجایی، بهترین چیدمان برای میراگرهای ویسکوالاستیک چیدمانی است که منجر به اعمال بیشترین سرعت نسبی و تغییرمکان نسبی به میراگر گردد. بدیهی است ملاحظات معماری و حداکثر ظرفیت تغییرشکل میراگر نیز باید در انتخاب چیدمان مدنظر قرار گرفته شود.



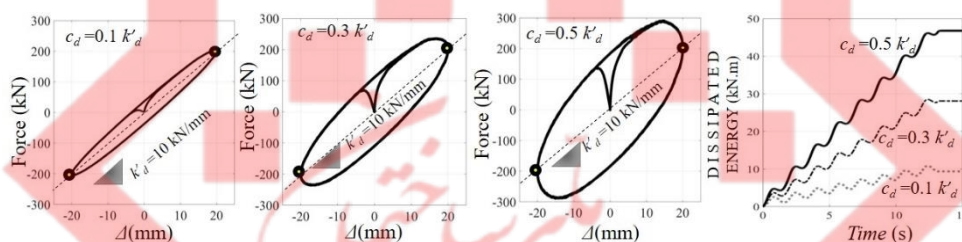
نواحی صلب را می‌توان به صورت الاستیک نیز در مدل عددی درنظر گرفت و یا در برخی موارد از مدل‌سازی صریح آن‌ها صرف‌نظر نمود.

شکل (۲-۴۵). برخی از چیدمان‌های ممکن برای استفاده از میراگرهای ویسکوالاستیک و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

۲-۵-۲ شبیه سازی میراگرهای ویسکوالاستیک

۲-۵-۲-۱ مدل کلین

به منظور شبیه سازی رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک معمولاً از مدل کلین استفاده می شود. این مدل رفتاری ساده که شامل یک فنر با رفتار الاستیک خطی و یک دشپات با رفتار ویسکوز خطی است که در اکثر نرم افزارهای محاسباتی وجود داشته و به سادگی در دسترس مهندسين می باشد. شکل (۲-۴۶) برخی از نتایج حاصل از این مدل را نشان می دهد. با افزایش نسبت ضریب میرایی به ضریب سختی، رفتار میراگر هرچه بیشتر شبیه به میراگرهای ویسکوز شده و انرژی بیشتری توسط میراگر مستهلک می شود. این نسبت بستگی به نسبت ضریب افت به فرکانس دارد. ضریب افت نیز خود تابعی از نوع پلیمر ویسکوالاستیک، دما و فرکانس است.



شکل (۲-۴۶). تاثیر نسبت ضریب میرایی به ضریب سختی در رفتار و انرژی مستهلک شده توسط میراگر ویسکوالاستیک

۲-۵-۲-۲ تاثیرات دما و فرکانس

با توجه به وابستگی ضریب سختی و ضریب میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک به دو عامل فرکانس و دما لازم است تاثیر این دو عامل به شکل صریح یا غیرصریح در شبیه سازی رفتار میراگر لحاظ شود. اگرچه مدلهایی وجود دارند که تاثیر افزایش دما و فرکانس را به طور صریح در رفتار میراگر ویسکوالاستیک در نظر می گیرند (Xu et al. 2010)، لیکن این مدل ها هنوز وارد نرم افزارهای متعارف محاسباتی نشده و در دسترس عموم مهندسين قرار ندارند. بنابراین معمولاً تاثیر فرکانس و دما به شکل غیرصریح در رفتار میراگر لحاظ می شود بدین ترتیب که در خصوص فرکانس، فرض می شود فرکانس ارتعاشات وارد بر میراگر متناسب با فرکانس مد اصلی

سازه باشد. بنابراین مشخصات میراگر در فرکانسی متناسب با فرکانس مد اصلی سازه مدنظر قرار گرفته می‌شود. در خصوص دما، بازه‌ای از کرانه بالا و پایین دمای محتمل محیط درنظر گرفته شده و مشخصات میراگر یک مرتبه مطابق با مشخصات متناظر با دمای کرانه بالا و بار دیگر متناظر با دمای کرانه پایین درنظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، در برخی موارد لازم است عملکرد سازه حداقل در دو مرحله با فرض کرانه دمای بالا و پایین کنترل شود. بنابراین لازم است آزمایش میراگرهای ویسکوالاستیک در فرکانس‌ها و دماهای مختلفی انجام شود. کرانه بالا و پایین دما مطابق با محل پروژه و قرارگیری میراگرها در محیط داخل یا خارج از ساختمان تعیین می‌شود. جزئیات بیشتر در خصوص تعیین مشخصات حد بالا و حد پایین میراگرها با درنظر گرفتن حساسیت به دما، در فصل ۶ ارائه شده است.

۲-۵-۳-۲ تأثیر لقی اتصال

میراگرهای ویسکوالاستیک فاقد لقی ساختار هستند و نحوه اتصالات آن‌ها نیز معمولاً فاقد پین بوده و در اغلب نتایج آزمایشگاهی موجود لقی مشاهده نشده است. با این وجود در صورتی که در آزمایش میراگرها لقی اتصال مشاهده شود، لازم است ضریب سختی میراگر و یا سختی اتصالات میراگر به نحوی اصلاح شوند که بهترین انطباق با نتایج آزمایشگاهی حاصل شود.

۲-۵-۳-۲ وابستگی در میراگرهای ویسکوالاستیک

۲-۵-۳-۱ تعداد چرخه رفت و برگشتی

معمولاً پلیمر به کار رفته در میراگرهای ویسکوالاستیک با کیفیت، عمر خستگی بسیار بالایی داشته و تحت تأثیر بارهای ناشی از زلزله و یا باد، میراگر دچار خستگی نشده و پس از زلزله نیازی به تعویض میراگر نخواهد بود. نمونه‌ای از رفتار چرخه‌ای میراگرهای ویسکوالاستیک تحت تعداد چرخه بالا و نمونه‌ای از منحنی خستگی S-N در شکل (۲-۴۷-الف) نشان داده شده است.

تذکر: با وجود اینکه میراگرهای ویسکوالاستیک پس از زلزله معمولاً نیاز به تعویض ندارند، لیکن نیاز به بازبینی داشته و در صورتی که شواهدی از گسیختگی یا زوال در اجزای فلزی و اتصالات و یا گسیختگی در صفحات پلیمری و یا از دست رفتن چسبندگی بین صفحات پلیمری و

صفحات فولادی مشاهده شود، لازم است میراگر یا اتصالات آن تعویض یا تعمیر شوند. جزئیات بیشتر در این خصوص، در فصل ۷ ارائه شده است.

۲-۳-۵-۲ دمای محیط

میراگرهای ویسکوالاستیک به دمای محیط حساسیت داشته و معمولاً ضریب سختی و ضریب میرایی آن‌ها با افزایش دما، کاهش می‌یابند. مطابق شکل (۲-۴۷-ب) شدت تغییرات مشخصات میراگر نسبت به دما به ترکیبات ماده پلیمری میراگر بستگی داشته و در برخی از مواد پلیمری حساسیت به دما کمتر و در برخی بیشتر است.

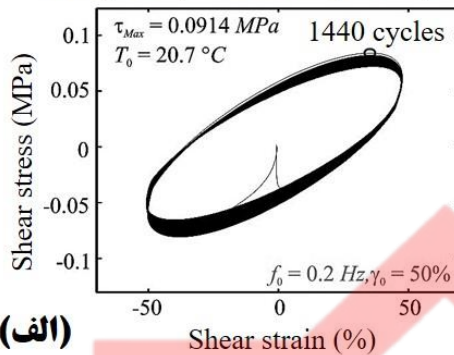
۲-۳-۵-۳ فرکانس تحریک

مدول ذخیره کننده انرژی و ضریب اتلاف در مواد پلیمری میراگرهای ویسکوالاستیک به فرکانس ارتعاشات وارده بر میراگر بستگی دارند. مطابق شکل (۲-۴۷-پ) به طور کلی با افزایش فرکانس، مدول ذخیره کننده انرژی و ضریب اتلاف هر دو افزایش می‌یابند. در نتیجه با افزایش فرکانس ضریب سختی میراگر افزایش یافته لیکن ضریب میرایی معمولاً کاهش می‌یابد. دلیل کاهش ضریب میرایی، نسبت معکوس آن با فرکانس تحریک می‌باشد (رجوع به شکل (۲-۴۴)). تذکر: در اکثر موارد (نه در تمام موارد)، تغییر شکل‌های ایجاد شده در میراگرها همگام با ارتعاش مد اصلی سازه است. بنابراین مهمترین فرکانس برای تعیین مشخصات میراگرهای ویسکوالاستیک، فرکانس متناظر با مد اصلی سازه است.

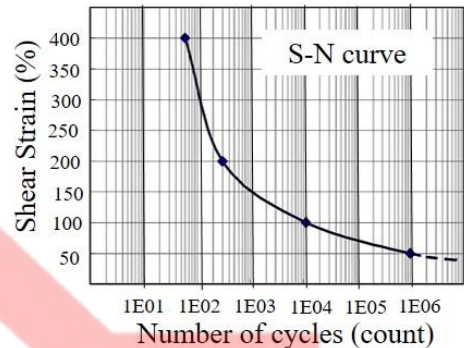
۲-۳-۵-۴ عملکرد دراز مدت

ساختار و مشخصات مواد پلیمری ویسکوالاستیک می‌توانند در معرض اکسیژن، ازون و اشعه ماورای بنفش دچار تغییر شوند، اما با توجه به اینکه سطح بسیار اندکی از مواد پلیمری در معرض هوا قرار دارند، بنابراین زوال مواد پلیمری میراگر در اثر این عوامل ناچیز است. در نتیجه میراگرهای ویسکوالاستیک عملکرد دراز مدت مناسبی داشته و به مرور زمان دچار زوال یا تغییرات قابل توجه در مشخصات نمی‌شوند (Ishikawa et al. 2004).

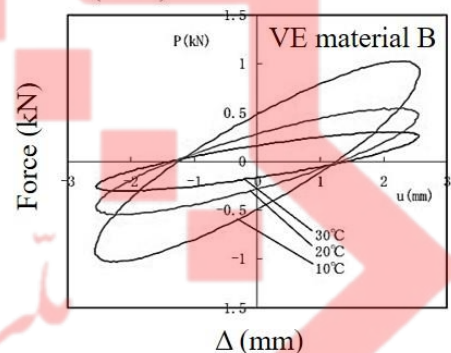
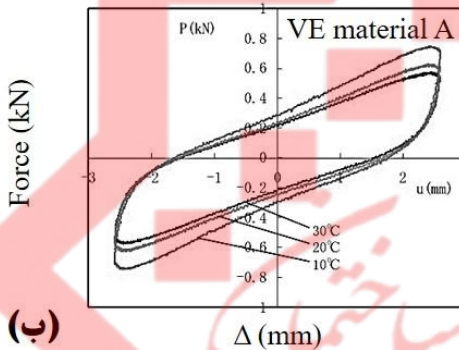
Montgomery and Christopoulos (2015)



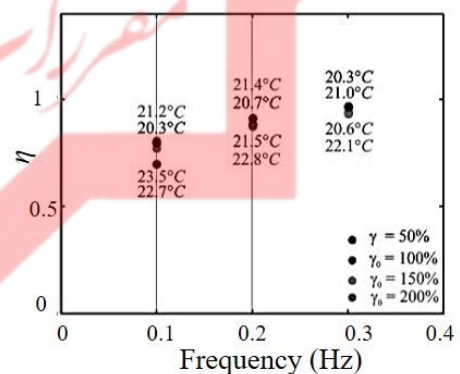
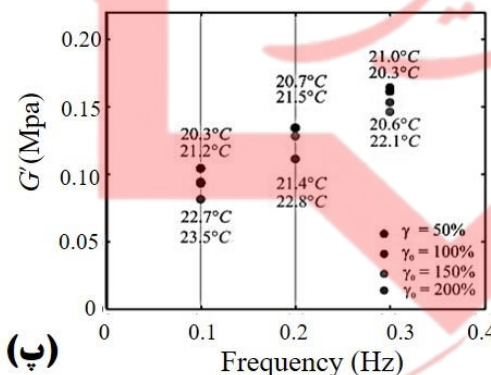
Ishikawa et al. (2004)



Ishikawa et al. (2004)



Montgomery and Christopoulos (2015)



شکل (۲-۴۷). (الف) رفتار چرخه‌ای و منحنی S-N نمونه‌هایی از میراگرهای ویسکوالاستیک تحت تعداد چرخه‌های بالا. (ب) حساسیت رفتار چرخه‌ای دو نمونه میراگر ویسکوالاستیک به تغییر حرارت. (پ) حساسیت مدول ذخیره کننده انرژی و ضریب اتلاف نمونه‌ای از میراگرهای ویسکوالاستیک به فرکانس

۲-۵-۴ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای ویسکوالاستیک

از جمله مزیت‌های اصلی میراگرهای ویسکوالاستیک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- میراگرهای ویسکوالاستیک در تغییر شکل‌های بسیار کوچک نیز قابلیت استهلاک انرژی داشته و در تمام چرخه‌های ارتعاش ناشی از زلزله‌های شدید و زلزله‌های سطح سرویس و یا ارتعاشات ناشی از باد، استهلاک انرژی داشته و منجر به افزایش میرایی سازه خواهند شد. به عبارت دیگر، برخلاف میرگرهای وابسته به تغییر شکل، میراگرهای وابسته به سرعت در تمام بازه زمانی ارتعاش سازه فعال هستند.
- گرچه میراگرهای ویسکوالاستیک دارای سختی استاتیکی غیر صفر هستند، اما مقدار این سختی معمولاً اندک بوده و بخش ویسکوز رفتار میراگر معمولاً تأثیر مخرب افزایش سختی را جبران می‌کند. بنابراین حتی در زلزله‌های خفیف نیز انتظار می‌رود میراگرهای ویسکوالاستیک منجر به کاهش شتاب و نیروی وارده بر طبقات شوند.
- میراگرهای ویسکوالاستیک دارای عمر خستگی بالایی بوده و پس از وقوع زلزله، در صورت طراحی صحیح، نیاز به تعویض ندارند.
- عملکرد دراز مدت میراگرهای ویسکوالاستیک مناسب بوده و این میراگرها از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار هستند.
- به علت رفتار از جنس ویسکوز و الاستیک، میراگرهای ویسکوالاستیک مستعد تجربه تغییر شکل‌های ماندگار در خود نیستند.

از جمله محدودیت‌های اصلی میراگرهای ویسکوالاستیک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- مشخصات میراگر وابسته به دما و حرارت بوده و در برخی از مواد پلیمری، وابستگی به دما بسیار شدید است.
- کلیه مزیت‌های ذکر شده تنها در صورتی است که میراگر به صورت صحیح طراحی و تولید شده و هیچ لغزش یا جداسدگی‌ای بین پلیمر و صفحات فولادی میراگر رخ ندهد.

- در بارهای با تعداد چرخه رفت و برگشتی بالا به دلیل استهلاک انرژی رخ داده در میراگر، دمای ماده ویسکوالاستیک افزایش یافته (خودگرمایی میراگر) و این امر می‌تواند منجر به کاهش سطح نیروها، سختی و میرایی میراگر شود. شدت این امر به تعداد چرخه‌ها، نوع پلیمر ویسکوالاستیک و حداکثر کرنش برشی وارده بستگی دارد.
- با توجه به ضخامت مواد پلیمری و کرنش برشی مجاز آن‌ها، معمولاً ظرفیت تغییرشکلی میراگرهای ویسکوالاستیک به مقادیر نسبتاً کوچکی محدود است.

۲-۶ چیدمان میراگرها در سازه

در انتخاب چیدمان و نحوه قرارگیری میراگرها در ساختمان لازم است به عواملی از جمله الزامات معماری، چگونگی ایجاد و توزیع تغییرشکل‌های رخ داده در سازه، نوع میراگر استفاده شده و الزامات مرتبط با اجرای هر چیدمان توجه شود. محل قرارگیری میراگر نباید خللی در شرایط معماری و سرویس‌دهی سازه ایجاد نماید. همچنین به منظور استفاده حداکثری از قابلیت استهلاک انرژی میراگر، لازم است چیدمان میراگر (صرفنظر از وابستگی نیروی میراگر به تغییرشکل و یا سرعت) به نحوی باشد که حتی الامکان بیشترین تغییرشکل در میراگر ایجاد شود. علاوه بر آن لازم است تا حد امکان میراگرها به نحوی در پلان طبقات جانمایی شوند که منجر به کاهش پیچش طبقات گردند. این موضوع لزوماً به معنای توزیع متقارن میراگرها در پلان نبوده و در برخی موارد (به ویژه در پلان‌هایی که به خودی خود دارای نامنظمی پیچشی هستند) ممکن است به منظور کاهش پیچش طبقات لازم باشد میراگرها به شکل نامتقارن در طبقات توزیع شوند تا بدین ترتیب پیچش ذاتی طبقه خنثی شود (رجوع به شکل (۵-۷) از فصل ۵). به بیان دیگر لازم است تحت عملکرد ترکیبی سیستم باربرجانبی و سیستم میراگرها، پیچش در طبقات به حداقل برسد. برخلاف مهاربندها و دیوارهای برشی، در بسیاری از موارد میراگرها به شکل نمایان اجرا شده و در معرض دید قرار دارند به طوری که حتی ممکن است بخشی از نمای ساختمان باشند. بنابراین شایسته است در انتخاب چیدمان میراگرها به مسائل مربوط به زیبایی‌شناسی ساختمان نیز توجه شود. در این بند به برخی از چیدمان‌های ممکن برای میراگرهای مختلف اشاره شده است. استفاده از سایر چیدمان‌ها که به شکلی پایدار قادر به انتقال ارتعاشات سازه به میراگر باشند نیز بلامانع است. تشخیص چیدمان بهینه برای میراگرها

برعهده مهندسين طراح سازه بوده که لازم است این کار با مشارکت مهندسين معمار ساختمان صورت پذیرد.

تذکر: برخلاف سیستم‌های باربرجانبی متعارفی همچون مهاربندها و دیوارهای برشی، لزومی به جانمایی میراگرها در تمام طبقات نبوده و نیازی نیست میراگرها تا تراز پلایه امتداد یابند. در خصوص میراگرهای دارای سختی استاتیکی این کار تنها در شرایطی خاص مجاز است که الزامات مربوط به آن در فصل ۵ ارائه شده است.

۲-۶-۱ چیدمان قطری

چیدمان قطری مطابق شکل (۲-۴۸) به چیدمانی اطلاق می‌شود که در آن میراگر به شکل مایل در طبقه قرار گرفته و بدین ترتیب بخشی از تغییرشکل نسبی (دریفت) طبقه به میراگر انتقال می‌یابد. مطابق شکل (۲-۴۸) نسبت تغییرشکل رخ داده در میراگر به تغییرشکل نسبی طبقه با ضریبی تحت عنوان ضریب تشدید تغییرشکل میراگر (f) نشان داده شده است که برای چیدمان‌های قطری این ضریب همواره کوچک‌تر از ۱ می‌باشد. بنابراین چیدمان قطری تنها بخشی از دریفت طبقه را به میراگر منتقل می‌کند. همچنین رابطه ارائه شده برای f یک رابطه تقریبی بوده و در آن از دوران طره‌ای طبقه و نیز تغییرشکل مهاربند متصل به میراگر صرف‌نظر شده است.

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

▪ مزیت چیدمان قطری

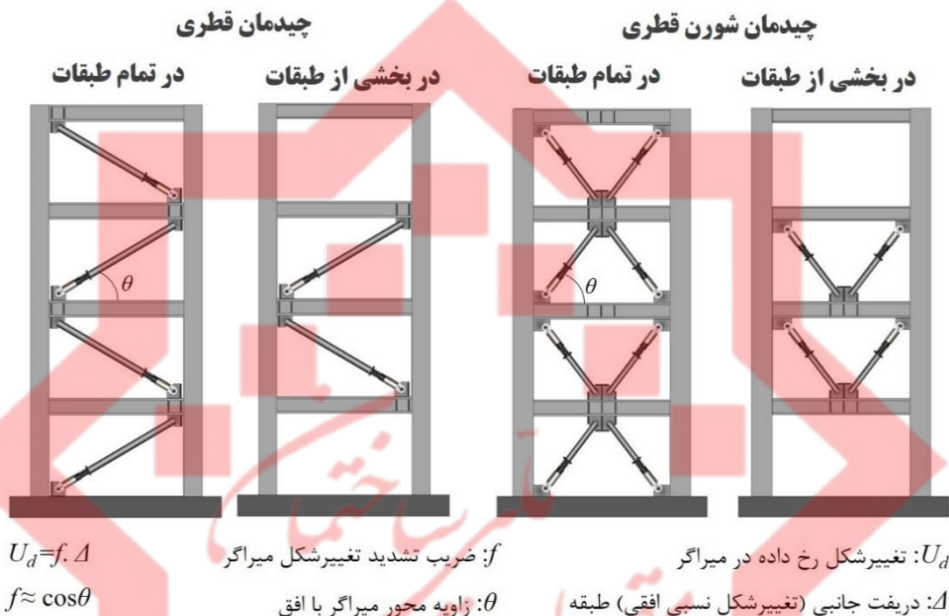
(۱) چیدمان قطری ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش نصب میراگر در سازه می‌باشد.

▪ معایب چیدمان قطری

(۱) در چیدمان قطری تنها بخشی از تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر منتقل شده و متعاقباً تنها بخشی از نیروی میراگر نیز در راستای جانبی در کاهش ارتعاشات جانبی سازه مشارکت می‌کند.

(۲) چیدمان قطری برای سازه‌های عمدتاً با رفتار برشی مناسب بوده و در سازه‌های با رفتار عمدتاً طره‌ای (سازه‌های لاغر مهاربندی شده و یا دارای دیوارهای برشی) که

بخش قابل توجهی از دررفت طبقه ناشی از تغییرشکل‌های مرتبط با دوران صلب طبقه است، ضریب تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان قطری می‌تواند کوچکتر از مقدار ارائه شده در شکل (۲-۴۸) باشد.



شکل (۲-۴۸). چیدمان قطری میراگرها در ساختمان

تذکر ۱: در چیدمان قطری به منظور حفظ پایداری چیدمان لازم است اتصال میراگر به مهاربند به صورت گیردار باشد. اتصال میراگر به گره تیر-ستون در دوران داخل صفحه قاب بسته به نوع میراگر می‌تواند به شکل مفصلی و یا گیردار بوده اما در دوران خارج از صفحه قاب لازم است به شکل مفصلی یا نیمه گیردار باشد.

تذکر ۲: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربر جانبی سازه بوده و مهاربندهای قطری و اتصالات آن‌ها باید به صورت الاستیک باقی بمانند.

۲-۶-۲ چیدمان شورن

چیدمان شورن مطابق شکل (۲-۴۹) به صورت ترکیبی از میراگرهای افقی با مهاربندهای شورن می‌باشد. در این چیدمان، در صورتی که مهاربندها دارای صلبیت کافی بوده و دوران طره‌ای طبقه ناچیز باشد، تقریباً تمام تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر منتقل می‌شود.

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

▪ مزیت چیدمان شورن

۱) در چیدمان شورن تقریباً تمام تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر منتقل شده و متعاقباً تمام نیروی میراگر نیز در راستای جانبی در کاهش ارتعاشات جانبی سازه مشارکت می‌کند.

▪ معایب چیدمان شورن

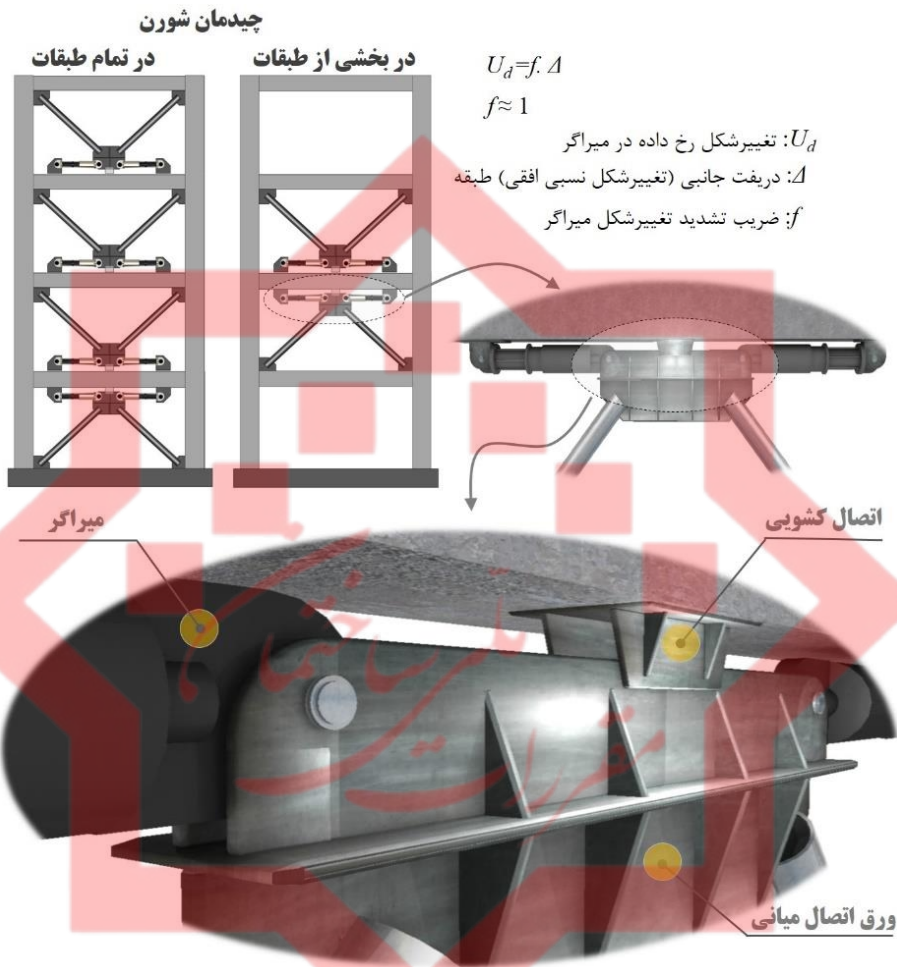
۱) چیدمان شورن از منظر اجرا دشوار بوده و تعداد گره‌های اتصال چیدمان به سازه نسبتاً زیاد است.

۲) چیدمان شورن برای سازه‌های عمدتاً با رفتار برشی مناسب بوده و در سازه‌های با رفتار عمدتاً طره‌ای (سازه‌های لاغر مهاربندی شده و یا دارای دیوارهای برشی) که بخش قابل توجهی از دررفت طبقه ناشی از تغییرشکل‌های مرتبط با دوران صلب طبقه است، ضریب تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان شورن می‌تواند کوچکتر از ۱ باشد.

تذکره ۱: به منظور حفظ پایداری چیدمان، لازم است محل اتصال دو مهاربند در امتداد خارج از صفحه قاب مقید شود. مطابق شکل (۲-۴۹)، این کار معمولاً با استفاده از اتصالات کشویی صورت می‌پذیرد.

تذکره ۲: میراگرهایی که برای جذب انرژی نیاز به تغییرشکل برشی دارند (همانند میراگرهای پره مثلثی و پانل برشی و برخی میراگرهای ویسکوالاستیک) لازم است به شکل دو سر گیردار در راس چیدمان شورن قرار داده شوند در حالیکه میراگرهایی که برای جذب انرژی نیاز به تغییرشکل محوری دارند (همانند میراگرهای اصطکاکی، ویسکوز و روغنی) معمولاً به صورت افقی و دو سر مفصل در راس این چیدمان قرار می‌گیرند.

تذکره ۳: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربر جانبی سازه بوده و مهاربندهای شورن و اتصالات آن‌ها باید به صورت الاستیک بمانند.

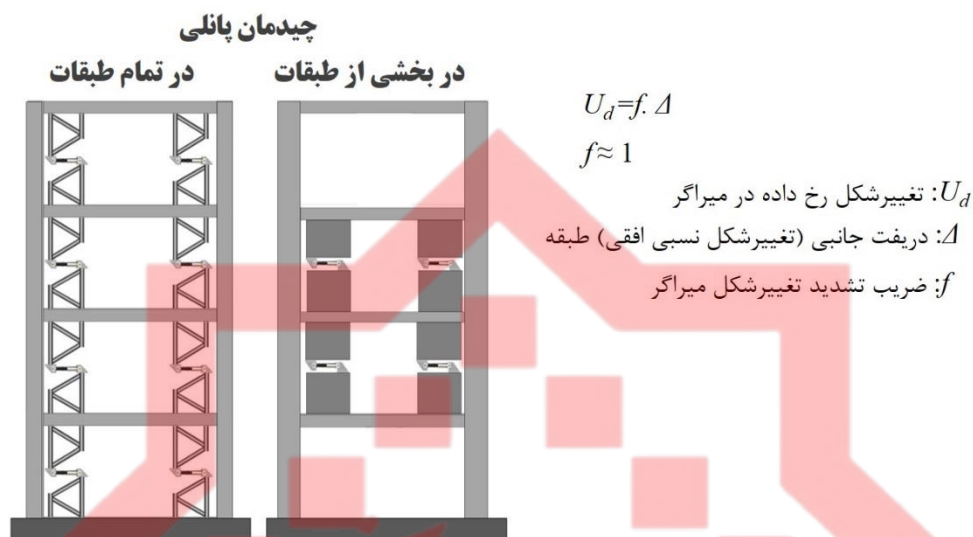


شکل (۲-۴۹). چیدمان شورن میراگرها در ساختمان

۳-۶-۲ چیدمان پانلی

چیدمان پانلی تا حد زیادی مشابه چیدمان شورن می‌باشد با این تفاوت که انتقال تغییر شکل نسبی طبقه به میراگر از طریق پانل‌های فولادی یا بتنی مطابق شکل (۲-۵۰) صورت می‌پذیرد.

در این چیدمان نیز (در صورت صلبیت مناسب پانل‌ها و تیرهای فوقانی و تحتانی و ناچیز بودن دوران طره‌ای طبقه) تقریباً تمام تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر منتقل می‌شود.



شکل (۲-۵۰). چیدمان پانلی میراگرها در ساختمان

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

- مزایای چیدمان پانلی
 - (۱) چیدمان پانلی از منظر معماری تغییرات اندکی در دهانه مدنظر ایجاد می‌کند.
 - (۲) در چیدمان پانلی به شرطی که پانل‌ها و تیرهای تکیه گاهی پانل از صلبیت کافی برخوردار بوده و دوران طره‌ای طبقه ناچیز باشد، تقریباً تمام تغییرمکان نسبی طبقه می‌تواند به میراگر منتقل شود. بدین ترتیب تمام نیروی میراگر نیز در راستای جانبی در کاهش ارتعاشات جانبی سازه مشارکت خواهد داشت.
- معایب چیدمان پانلی
 - (۱) چیدمان پانلی از منظر اجرا دشوار بوده و نقاط اتصال زیادی با دهانه مدنظر دارد.
 - (۲) در چیدمان پانلی لنگر خمشی شدیدی به تیرهای تکیه گاهی فوقانی و تحتانی پانل‌ها وارد می‌شود که تیرها نه تنها باید جوابگوی لنگر وارده باشند، بلکه باید از

صلبیت کافی نیز برخوردار باشند، در غیر این صورت تغییرشکل وارده بر میراگر شدیداً کاهش خواهد یافت.

۳) چیدمان پانلی برای سازه‌های عمدتاً با رفتار برشی مناسب بوده و در سازه‌های با رفتار عمدتاً طره‌ای (سازه‌های لاغر مهاربندی شده و یا دارای دیوارهای برشی) که بخش قابل توجهی از دریافت طبقه ناشی از تغییرشکل‌های مرتبط با دوران صلب (دوران طره‌ای) طبقه است، ضریب تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان پانلی می‌تواند کوچکتر از ۱ باشد.

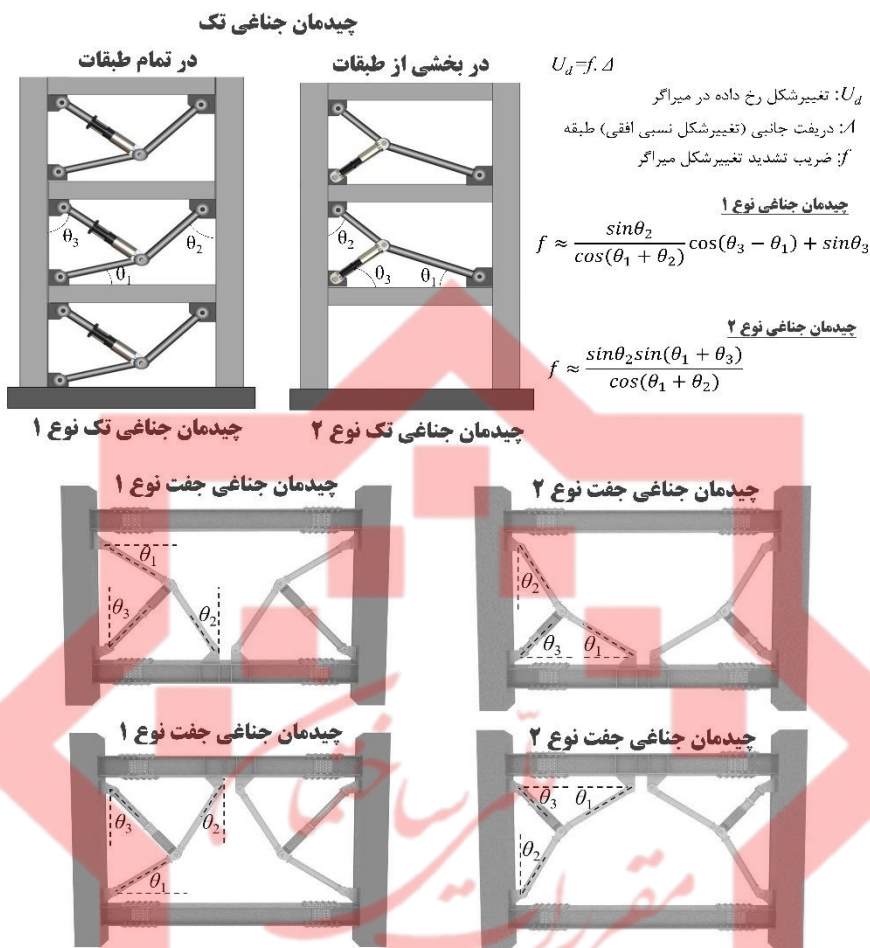
۴) در صورتی که پانل‌ها در دو انتهای تیر باشند، چیدمان پانلی می‌تواند منجر به تغییر محل مفاصل پلاستیک تیر و تشکیل آن در بخش میانی تیر شود.

تذکر ۱: میراگرهای تسلیمی که برای جذب انرژی نیاز به تغییرشکل برشی دارند (همانند میراگرهای پره مثلثی و پانل برشی و برخی میراگرهای ویسکوالاستیک) لازم است به شکل دو سر گیردار مابین پانل‌ها قرار داده شوند در حالیکه میراگرهایی که برای جذب انرژی نیاز به تغییرشکل محوری دارند (همانند میراگرهای اصطکاکی، ویسکوز و روغنی) معمولاً به صورت افقی و دو سر مفصل مابین پانل‌ها قرار می‌گیرند.

تذکر ۲: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربرجانبی سازه بوده و پانل‌ها، اتصالات پانل‌ها و تیرهای تکیه گاهی پانل‌ها باید به صورت الاستیک باقی بمانند. توضیح آنکه لازم است احتمال تشکیل مفصل پلاستیک در میانه تیر در این نوع چیدمان مدنظر قرار گرفته شود.

۲-۶-۴ چیدمان جناغی

چیدمان جناغی مطابق شکل (۲-۵۱) دارای مکانیزمی است که طی آن تغییرشکل وارده بر میراگر تشدید شده به طوری که تغییرشکل میراگر می‌تواند تا چندین برابر تغییر مکان نسبی طبقه برسد. مطابق روابط شکل (۲-۵۱) مقدار ضریب تشدید به مشخصات هندسی چیدمان بستگی داشته و مقدار متداول برای ضریب تشدید در این چیدمان مقادیری بین ۲ تا ۴ می‌باشد.



شکل (۲-۵۱). چیدمان جناغی میراگرها در ساختمان

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

▪ مزایای چیدمان جناغی

(۱) در چیدمان جناغی، تغییر شکل وارده بر میراگر تشدید شده و متعاقباً نیروی وارده از طرف میراگر که در امتداد جانبی در کاهش ارتعاشات سازه مشارکت دارد نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، این چیدمان نه تنها تغییر شکل میراگر را تشدید

می‌کند، بلکه سبب تشدید نیروی موثر جانبی میراگر (نیروی کنترل کننده‌ای که در امتداد جانبی از طرف چیدمان میراگر به قاب وارد می‌شود) نیز می‌شود.

(۲) با توجه به مزیت تشدید تغییرشکل در چیدمان جناغی، امکان کاهش تعداد میراگرها و یا کاهش ظرفیت آن‌ها در مقایسه با سایر چینش‌ها وجود خواهد داشت.

(۳) استفاده از این چیدمان برای سازه‌های صلب و یا سازه‌های با شکل پذیری پایین مناسب می‌باشد چرا که در این چیدمان انرژی قابل توجهی حتی در تغییرشکل‌های بسیار کوچک مستهلک می‌شود. علاوه بر آن، هرچقدر تغییرشکل نسبی طبقات کوچکتر باشد، امکان دستیابی به ضریب تشدید بالاتر وجود دارد.

(۴) استفاده از این چیدمان هم برای سازه‌های با رفتار غالب برشی و هم برای سازه‌های با رفتار غالب خمشی (طره‌ای) مناسب است.

■ معایب چیدمان جناغی

(۱) چیدمان جناغی از منظر اجرا پرهزینه بوده و نیازمند دقت بسیار می‌باشد. چراکه لازم است کلیه اتصالات میراگر و اعضای قطری چیدمان در امتداد داخل صفحه به صورت مفصلی واقعی (استفاده از پین در اتصال) باشند.

(۲) ضریب تشدید در این چیدمان وابستگی زیادی به زوایای اعضای قطری دارد. در صورت عدم دقت در طراحی و اجرای زوایا در چیدمان جناغی، ضریب تشدید می‌تواند حتی کوچکتر از ۱ شده و عملکرد چیدمان حتی از چیدمان قطری نیز پایین‌تر بیاید (Hwang et al. 2005).

(۳) تنها میراگرهایی با ظرفیت تغییرشکلی بالا می‌توانند در چیدمان جناغی مورد استفاده قرار گیرند. چراکه در این چیدمان، تغییرشکل میراگر تشدید می‌شود و لازم است میراگر از ظرفیت تغییرشکلی بالایی برخوردار باشد. عمدتاً این چیدمان برای میراگرهای ویسکوز و روغنی توسعه داده شده است.

(۴) استفاده از این چیدمان برای میراگرهایی که مستعد تغییرشکل ماندگار هستند مناسب نمی‌باشد. چراکه در این چیدمان تغییرشکل میراگر تشدید شده و متعاقباً تغییرشکل ماندگار میراگر نیز تشدید خواهد شد. این شرایط سبب ایجاد تغییری ماندگار در زوایای المان‌های قطری چیدمان و تغییر در ضریب تشدید آن می‌شود.

علاوه بر آن، بروز تغییر شکل ماندگار ممکن است سبب هم راستا شدن دو عضو قطری در چیدمان شود، پدیده‌ای که هرگز نباید رخ دهد (تذکر ۱ ملاحظه شود).

تذکر ۱: انتخاب زوایا در چیدمان جناغی باید به نحوی باشد که پس از اعمال دریافت حداکثر طبقه (مربوط به بیشترین سطح خطر لرزه‌ای)، دو عضو قطری چیدمان در یک امتداد قرار نگرفته و تحت هیچ شرایطی یک خط مستقیم را تشکیل ندهند. این معیار منجر به ایجاد محدودیت در انتخاب زوایا و متعاقباً محدودیت در ضریب تشدید خواهد شد. بنابراین در اکثر موارد حداکثر ضریب تشدید قابل دستیابی در این چیدمان به مقداری در حدود ۲ الی ۴ محدود خواهد بود. هر چقدر حداکثر دریافت طبقه کوچکتر باشد، امکان دستیابی به ضرایب تشدید بیشتر فراهم است.

تذکر ۲: به طور کلی عملکرد چیدمان جناغی نوع ۱ نسبت به چیدمان جناغی نوع ۲ بهتر بوده و ضریب تشدید در آن بزرگتر می‌باشد.

تذکر ۳: در چیدمان جناغی اتصالات میراگر به سازه، میراگر به مهاربند، مهاربند به مهاربند و مهاربند به سازه لازم است در امتداد داخل صفحه قاب به صورت مفصلی باشند. اتصالات باید به نحوی باشند که سبب ایجاد ناپایداری در امتداد خارج از صفحه قاب نگردند. برای این منظور لازم است اتصال به کار رفته در دو انتهای مهاربندهای جناغی در امتداد خارج از صفحه قاب به صورت غیرمفصلی باشد. استفاده از اتصالات پینی این الزام را برآورده می‌کنند.

تذکر ۴: همانطور که در شکل (۲-۵۱) نشان داده شده است، چیدمان جناغی می‌تواند به صورت تک و یا جفت اجرا شود. در حالت تک در هر دهانه یک میراگر و در حالت جفت، در هر دهانه دو میراگر قرار خواهد داشت.

تذکر ۵: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربرجانبی سازه بوده و مهاربندهای چیدمان جناغی و اتصالات آن‌ها باید به صورت الاستیک باقی بمانند.

تذکر ۶: در چیدمان‌های جناغی جفت، به علت تغییر در زوایای بازوها در حین زلزله، نیروی نامتعادل جزئی در راستای قائم در تیر می‌تواند ایجاد شود که لازم است در طراحی تیر مدنظر قرار گرفته شود. برای تخمین این نیروی نامتعادل لازم است اثرات تغییر شکل‌های بزرگ در

تحلیل لحاظ شود. لازم به ذکر است در تحلیل و طراحی سایر اجزای سازه نیازی به در نظر گرفتن تغییرشکل‌های بزرگ نبوده و صرفاً در مرحله کنترل تیر دهانه دارای چیدمان جناغی جفت، به منظور تخمین نیروی نامتعادل وارده بر تیر، لازم است اثرات تغییرشکل‌های بزرگ در نظر گرفته شود.

تذکر ۷: در چیدمان جناغی، بسته به هندسه چیدمان و زاویه بازوها، نیروی محوری ایجاد شده در بازوها معمولاً چندین برابر بزرگتر از نیروی ایجاد شده در میراگر می‌باشد.

۲-۶-۵ چیدمان هم‌بند

مطابق شکل (۲-۵۲) در چیدمان هم‌بند، میراگرها مابین دو طره قائم نزدیک به یکدیگر نصب میشوند. این دو طره می‌توانند دو دیوار برشی بتنی و یا دو قاب فولادی مهاربندی شده باشند که رفتاری طره‌ای از خود بروز می‌دهند. در این چیدمان، تغییرشکل وارده بر میراگر به صورت یک تغییرشکل قائم می‌باشد که در خصوص میراگرهایی که رفتار برشی دارند (همانند میراگرهای پره مثلی، پانل برشی و برخی میراگرهای ویسکوالاستیک) تغییرشکل به صورت یک برش قائم بر میراگر اعمال شده و در خصوص میراگرهایی که تغییرشکل محوری دارند، تغییرشکل به صورت یک تغییرشکل محوری قائم خواهد بود.



شکل (۲-۵۲). چیدمان همبند میراگرها در ساختمان

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

▪ مزایای چیدمان همبند

(۱) چیدمان همبند بسیار مناسب برای سازه‌های لاغر با رفتار طره‌ای (خمشی) بوده و کمترین محدودیت معماری را ایجاد می‌کند.

(۲) در صورتی که رفتار سازه طره‌ای باشد، تغییر شکل رخ داده در میراگر به ویژه در طبقات فوقانی قابل توجه بوده و منجر به استهلاک انرژی بالایی در میراگرها می‌شود.

به علاوه در این شرایط تغییرشکل رخ داده در میراگر معمولاً بزرگتر از تغییرشکل نسبی جانبی طبقه می‌باشد.

■ معایب چیدمان هم‌بند

- (۱) این چیدمان برای سازه‌های با رفتار برشی مناسب نمی‌باشد.
- (۲) در این چیدمان تغییرشکل قابل توجهی در محل تیر هم‌بند ایجاد شده و می‌تواند سبب بروز آسیب در تاسیسات و اجزای غیرسازه‌ای در اطراف تیر هم‌بند شود.

تذکره ۱: با توجه به اندرکنش قاب و دیوار و نیز رفتار خمشی-برشی دیوار، رابطه تقریبی ارائه شده در شکل (۲-۵۲) برای تخمین تغییرشکل میراگر، ممکن است در برخی موارد خطای قابل توجهی داشته باشد.

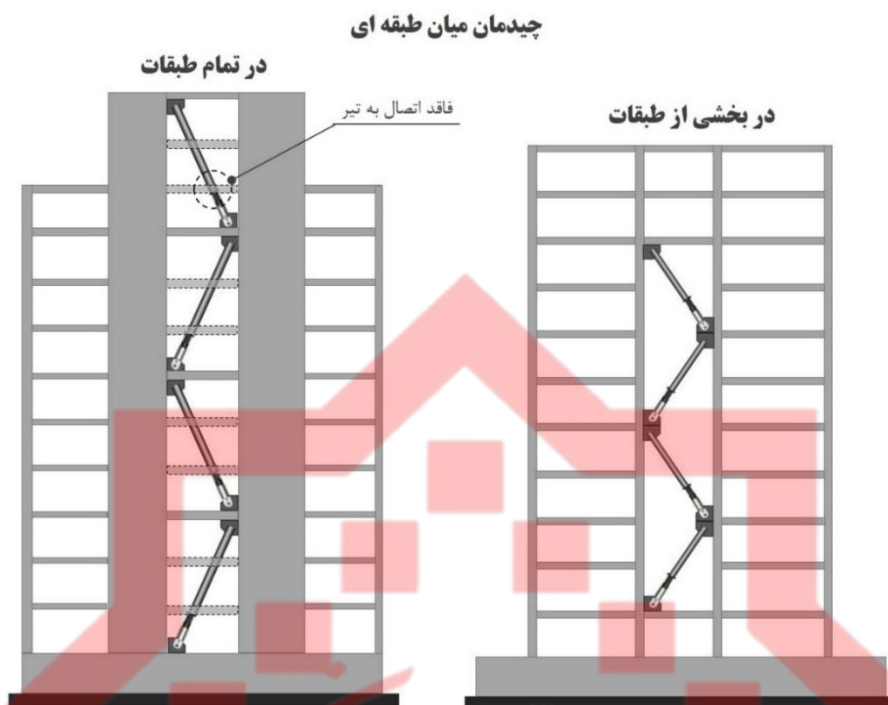
تذکره ۲: در اغلب موارد رفتار سازه‌های لاغر به شکل کاملاً طره‌ای نبوده و رفتار معمولاً ترکیبی از رفتار خمشی و برشی است. بنابراین ممکن است در برخی از طبقات که در آن تغییرشکل عمدتاً به شکل برشی است، قرار دادن میراگر به صورت هم‌بند چندان بهینه نباشد.

تذکره ۳: استفاده از دال پیوسته در فاصله مابین دو دیوار صرفاً منجر به بروز آسیب موضعی بر دال شده و نقش مخربی در عملکرد میراگر ندارد.

۲-۶-۶ چیدمان میان طبقه‌ای

در چیدمان میان طبقه‌ای که معمولاً به شکل قطری اجرا می‌شود، مطابق شکل (۲-۵۳)، میراگر به طور مستقیم دو طبقه غیرهم‌جوار را به یکدیگر متصل می‌کند. بدین ترتیب تغییرشکل زیادی می‌تواند به میراگر اعمال شده و متعاقباً استهلاک انرژی بالایی توسط میراگر فراهم می‌شود.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۲-۵۳). چیدمان میان طبقه ای میراگرها در ساختمان

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می توان به موارد زیر اشاره داشت:

▪ مزایای چیدمان میان طبقه ای

۱) در چیدمان میان طبقه ای تغییرشکل بسیار بالایی به میراگر وارد می شود. بنابراین هر یک از میراگرها قادر خواهند بود انرژی بالایی را مستهلک نموده و این ویژگی می تواند منجر به کاهش تعداد میراگرهای مورد نیاز شود.

۲) در چیدمان میان طبقه ای هم تغییرشکل های خمشی سازه و هم تغییرشکل های برشی سازه می تواند به میراگر اعمال شود. بنابراین این چیدمان هم برای ساختمان های با رفتار طره ای و هم برای ساختمان های با رفتار برشی قابل استفاده است.

▪ عیب چیدمان میان طبقه ای

۱) در صورتی که دهانه چیدمان میان طبقه ای دارای تیر باشد، از منظر اجرایی عدم برقراری اتصال مابین میراگر (یا مهاربند متصل به آن) با تیرهای موجود در

طبقات نیازمند اتخاذ تمهیداتی همانند ایجاد حفره در تیر، انحراف مسیر تیر، اجرای تیر به شکل کنسولی و ... خواهد بود.

۲) در این چیدمان معمولاً زاویه میراگر نسبت به افق زیاد بوده و تنها بخش کوچکی از نیروی میراگر در امتداد افقی به طبقه وارد می‌شود.

تذکره ۱: یکی از دهانه‌های مناسب برای جانمایی چیدمان میان طبقه‌ای، دهانه‌های چشمه نورگیر یا بازشو در ساختمان می‌باشد چراکه در این موارد معمولاً امکان حذف تیرهای دهانه در تراز طبقات وجود داشته و اجرای چیدمان میان طبقه‌ای تسهیل می‌شود.

تذکره ۲: در برخی از موارد این چیدمان بخشی از نمای سازه را تشکیل داده بنابراین لازم است در انتخاب آن به مسائل معماری و زیبایی شناختی نیز توجه شود.

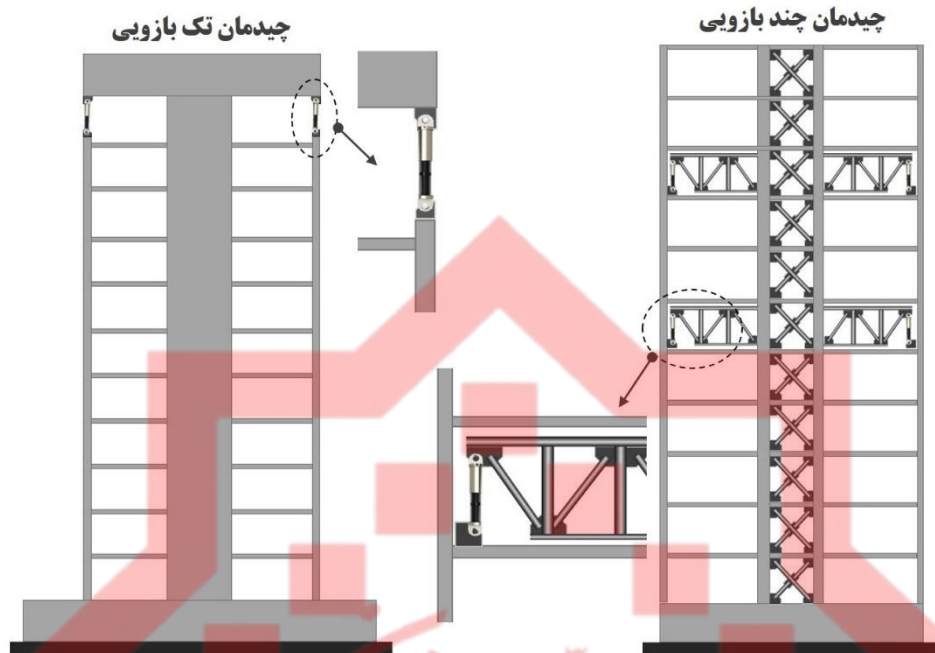
تذکره ۳: در چیدمان میان طبقه‌ای وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربر جانبی سازه بوده و مهاربندهای متصل به میراگرها و اتصالات آن‌ها لازم است به صورت الاستیک باقی بمانند.

۲-۶-۷ چیدمان بازویی^۱

چیدمان بازویی معمولاً مناسب برای استفاده در سازه‌های بلند مرتبه با رفتار طره‌ای است و مطابق شکل (۲-۵۴) می‌تواند به صورت تک بازویی (در تراز فوقانی سازه) و یا چند بازویی (در ترازهای مختلف سازه) اجرا شود. در این چیدمان رفتار طره‌ای دیوار برشی و یا دهانه مهاربندی شده (که معمولاً به صورت یک هسته مرکزی هستند)، از طریق بازوهایی با صلبیت بالا به پیرامون سازه منتقل شده و منجر به ایجاد تغییرشکل قائم در میراگرها می‌شود. در این چیدمان به منظور ایجاد حداکثر تغییرشکل در میراگر، معمولاً میراگرها در دورترین فاصله ممکن از هسته مرکزی قرار داده می‌شوند. این محل معمولاً در وجوه پیرامونی سازه بوده بنابراین در این چیدمان یک انتهای میراگرهای قائم به ستون‌های پیرامونی و انتهای دیگر به بازوی صلب سازه متصل می‌باشد.

^۱ Outtrigger

چیدمان بازویی



شکل (۲-۵۴). چیدمان بازویی میراگرها در ساختمان

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

- مزایای چیدمان بازویی
 - (۱) این چیدمان مناسب برای سازه‌های بلند مرتبه با رفتار عمدتاً طره‌ای و دارای هسته مرکزی است.
 - (۲) در چیدمان بازویی تغییر شکل بسیار بالایی به میراگر وارد می‌شود بنابراین هر یک از میراگرها قادر خواهند بود انرژی بالایی را مستهلک نموده و این ویژگی می‌تواند منجر به کاهش تعداد میراگرهای مورد نیاز شود.
 - (۳) این چیدمان منجر به تغییر الزامات معماری تنها در چند طبقه محدود می‌شود.
- معایب چیدمان بازویی
 - (۱) چیدمان بازویی در خصوص سازه‌های با رفتار برشی چندان موثر نخواهد بود.

۲) در این چیدمان کمربندها عمدتاً به صورت خرپاها و یا شاهتیرهای بتنی با صلبیت بسیار بالا هستند که معمولاً ارتفاعی معادل ارتفاع یک یا چند طبقه را دارند. بنابراین اجرای کمربندها در این چیدمان پر هزینه بوده و می‌تواند شرایط معماری سازه را در طبقاتی که کمربند در آن واقع شده است به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

تذکر ۱: چیدمان بازویی در سازه‌های بلند مرتبه با لاغری زیاد، که دارای هسته مرکزی بتنی یا فولادی هستند، کاربرد دارد.

تذکر ۲: در چیدمان بازویی وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربرجانبی سازه بوده و اجزای کمربند و اتصالات آن‌ها لازم است به صورت الاستیک باقی بمانند.

۲-۶-۸ چیدمان گهواره‌ای

چیدمان گهواره‌ای شامل یک طره با صلبیت بالا می‌باشد که در تمام ارتفاع سازه امتداد یافته است. مطابق شکل (۲-۵۵) این طره می‌تواند یک دیوار برشی و یا یک دهانه مهاربندی شده باشد. چیدمان گهواره‌ای به دو صورت مفصلی و بلندشونده قابل اجرا می‌باشد که نوع بلندشونده آن مرکزگرایی بهتری داشته و در شکل (۲-۵۵) صرفاً این دسته از چیدمان‌های گهواره‌ای نشان داده شده است. در چیدمان گهواره‌ای بلندشونده پای طره صرفاً بر روی شالوده قرار داشته و امکان بلندشدگی پاشنه طره وجود خواهد داشت. به منظور کنترل میزان بلندشدگی گهواره‌ای (تامین سختی جانبی پس از بلندشدگی) و نیز بهبود مرکز گرایی، در برخی موارد ممکن است از کابل‌های پیش تنیده نیز برای طره استفاده شود. علاوه بر آن، دیافراگم کف و تیرهای متصل به طره در تراز طبقات نیز می‌توانند نیرویی روبه پایین و در جهت مرکزگرایی به طره وارد کنند. محل قرارگیری میراگرها در چیدمان گهواره‌ای می‌تواند بسیار متنوع باشد که برخی از آن‌ها در شکل (۲-۵۵) نشان داده شده است.

از جمله مزایا و معایب این چیدمان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

▪ مزایای چیدمان گهواره‌ای

(۱) به واسطه عملکرد گهواره‌ای، نیروی لرزه‌ای وارده بر سازه نسبت به سیستم‌های مشابه با پای ثابت کوچکتر است.

(۲) چیدمان گهواره‌ای به دلیل صلبیت بالای طره، منجر به توزیع یکنواخت دریافت در طبقات می‌شود (صرفاً در صورتی که اثر مدهای بالاتر ناچیز باشد).

(۳) چیدمان گهواره‌ای اساساً یک سیستم مرکزگرا بوده و تغییرشکل‌های ماندگار در این سیستم بسیار کوچک خواهند بود.

■ معایب چیدمان گهواره‌ای

(۱) به واسطه حرکت گهواره‌ای طره، دورانی زیادی به تیرهای متصل به طره وارد می‌شود. بنابراین لازم است این تیرها دارای اتصالات مفصلی باشند تا بدون بروز آسیب قادر به تحمل دوران وارده باشند. این دوران می‌تواند به دال اطراف طره نیز آسیب رساند.

(۲) به واسطه مفصلی بودن تیرهای متصل به طره، تعداد قاب‌های ساختمان که می‌توانند سختی و مقاومت جانبی برای سازه فراهم کنند، نسبتاً اندک خواهد بود.

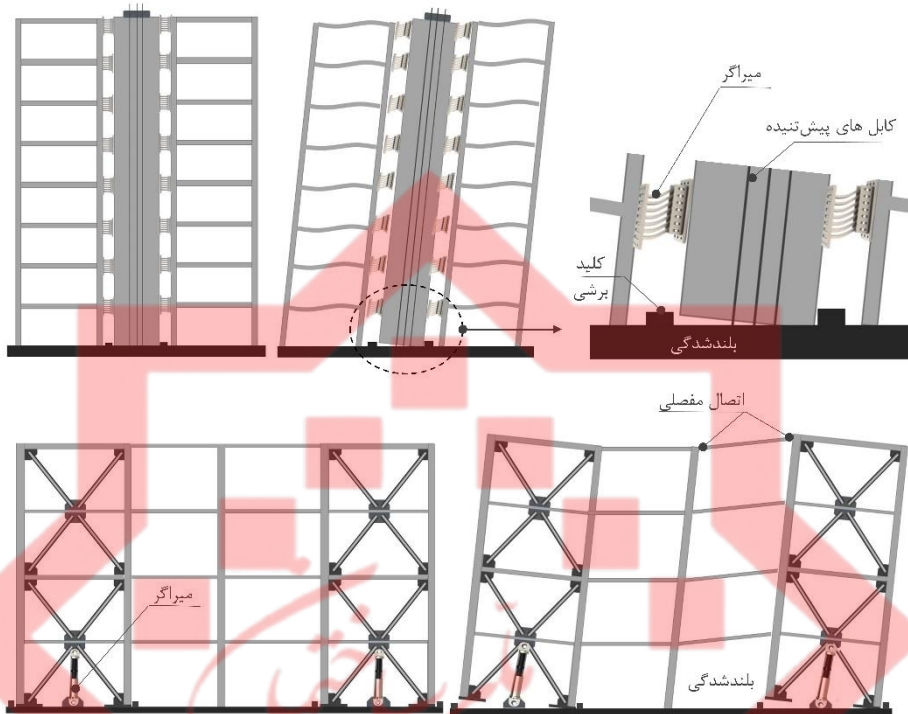
(۳) به دلیل حرکت گهواره‌ای، لازم است تمهیدات خاصی برای اجزای غیرسازه‌ای، نما و تاسیسات در اطراف طره اتخاذ شود.

(۴) عملکرد گهواره‌ای بیشترین تاثیر خود را در مد اصلی سازه نشان می‌دهد و مدهای بالاتر می‌توانند میزان بلندشدگی طره را کاهش داده و در عملکرد گهواره‌ای، اختلال ایجاد کنند. بنابراین می‌توان انتظار داشت چیدمان گهواره‌ای عمدتاً برای سازه‌های منظم کوتاه مرتبه و میان مرتبه مناسب باشد.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

چیدمان گهواره‌ای

با و یا بدون کابل‌های پیش‌تنیده



شکل (۲-۵۵). چیدمان گهواره‌ای میراگرها در ساختمان

تذکر ۱: به منظور به حداقل رساندن آسیب‌های موضعی در محل برخورد پای طره با شالوده، لازم است هم پای طره و هم شالوده در محل برخورد تقویت شوند.

تذکر ۲: در چیدمان گهواره‌ای نقش استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربر جانبی سازه بوده و طره و اتصالات آن لازم است به صورت الاستیک باقی بماند.

۹-۶-۲ جمع بندی چیدمان میراگرها

در این بخش به برخی از چیدمان‌های ممکن به منظور استفاده از میراگرها در ساختمان اشاره گردید. جدول (۲-۲) ویژگی هر یک از چیدمان‌های معرفی شده را به صورت خلاصه فهرست

نموده است. چیدمان میراگرها با توجه به شرایط سازه، نوع میراگرهای مورد استفاده، شرایط معماری و محدودیت‌های اجرایی انتخاب می‌شود. برخی از میراگرها با برخی از چیدمان‌ها انطباق بهتری داشته، بنابراین در انتخاب چیدمان لازم است به نوع میراگرهای مصرفی نیز توجه داشت. در نهایت انتخاب چیدمان میراگرها برعهده تیم طراح سازه می‌باشد. استفاده از سایر چیدمان‌ها به جز مواردی که در این ضابطه معرفی شده‌اند نیز مجاز می‌باشد.

جدول (۲-۲). ویژگی اصلی در چیدمان‌های مختلف میراگر

چیدمان	مناسب برای سازه‌های			قابل توصیه برای سازه‌های با رفتار	
	کوتاه مرتبه	میان مرتبه	بلند مرتبه	برشی	خمشی (طره‌ای)
قطری	✓	✓	✓	✓	×
شورن	✓	✓	✓	✓	×
پانلی	✓	✓	✓	✓	×
جناغی	✓	✓	✓	✓	✓
هم‌بند	×	✓	✓	×	✓
میان طبقه‌ای	✓	✓	✓	✓	✓
بازویی	×	×	✓	×	✓
گهواره‌ای	✓	✓	×	✓	×



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

فصل ۳

جداگراها

دقت مقررآت

دقت مقررآت ملی و کنترل ساختمان



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۳-۱ مقدمه

سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای با هدف دستیابی به جداسازی نسبی ساختمان در برابر حرکات زمین در حین زلزله توسعه یافته‌اند. به طور معمول یک سیستم جداساز لرزه‌ای شامل نشیمنگاه‌هایی است که در زیر اجزای باربرقائم سازه (ستون‌ها و دیوارها) نصب شده و به دلیل مشخصات رفتاری خود مانع از انتقال بخش عمده‌ای از ارتعاشات لرزه‌ای از تراز تحتانی به تراز فوقانی خود می‌شود. علاوه بر نشیمنگاه (جداگر)، سیستم جداساز ممکن است متشکل از چیدمانی از میراگرها در تراز جداسازی شده نیز باشد. همچنین در سیستم جداساز ممکن است از چندین نوع نشیمنگاه مختلف استفاده گردد. در حال حاضر اغلب سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای که در صنعت ساخت و ساز متداول هستند، جداسازی را صرفاً در جهت جانبی انجام داده و در خصوص جداسازی ارتعاشات قائم تاثیری در کاهش شتاب‌های قائم وارده بر سازه ندارند.

تذکر: در حال حاضر جداسازهای سه بعدی که علاوه بر ارتعاشات جانبی، قادر به کاهش ارتعاشات قائم نیز هستند، عمدتاً به منظور جداسازی تجهیزات صنعتی و یا بخش کوچکی از

سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین سیستم‌های جداسازی سه بعدی خارج از دامنه کاربرد ضابطه حاضر هستند.

۳-۱-۱ الزامات سیستم‌های جداساز لرزه‌ای

به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب، سیستم جداساز لرزه‌ای ساختمان لازم است پنج خصوصیت زیر را داشته باشد.

تذکر: منظور از سیستم جداساز، ترکیب کلیه جداگرها و میراگرهای قرار گرفته در سیستم جداساز است. بنابراین لازم نیست کلیه جداگرهای استفاده شده در سیستم جداساز، هر پنج خصوصیت زیر را برآورده کنند. لیکن لازم است مجموعه جداگرها و میراگرهای استفاده شده در سیستم جداساز در ترکیب با یکدیگر، قادر به برآورده کردن پنج خصوصیت زیر باشند.

- سختی جانبی (برشی) موثر کوچک: خاصیت جداسازی جداگرها مستقیماً به میزان سختی موثر جانبی آن‌ها وابسته بوده و به طور کلی با کاهش سختی جانبی، خاصیت جداسازی جداگرها افزایش می‌یابد. با این وجود، به منظور جلوگیری از بروز تغییرشکل‌های برشی قابل توجه تحت نیروهای جانبی بسیار خفیف، معمولاً سیستم‌های جداساز لرزه‌ای دارای سختی جانبی اولیه بزرگتری نسبت به سختی جانبی موثر خود هستند.

- ظرفیت تغییرشکل جانبی (برشی) بالا: به منظور دستیابی به خاصیت جداسازی، لازم است جداگرها از سختی موثر جانبی کوچکی برخوردار باشند. این امر منجر به ایجاد تغییرشکل‌های جانبی قابل توجهی در جداگر شده و لازم است جداگر به صورت پایدار قادر به تحمل تقاضای تغییرشکلی وارد بر خود باشد. این تغییرشکل جانبی زیاد هم به جداگرها و هم به میراگرهای موجود در سیستم جداساز وارد خواهند شد.

- سختی و ظرفیت قائم (محوری) بالا: با توجه به اینکه جداگرها معمولاً در قالب نشیمنگاه‌هایی در زیر عناصر باربر قائم سازه قرار داده می‌شوند، نیروی محوری ناشی از بارهای ثقیل و لرزه‌ای در این عناصر به جداگرها منتقل شده بنابراین لازم است

جداگر قادر به تحمل نیروی محوری وارده باشد. الزام به تامین ظرفیت نیرویی محوری بالا در جداگر منجر به سختی محوری بالا در جداگر نیز خواهد شد.

- ظرفیت استهلاک انرژی بالا: به منظور کنترل ارتعاشات وارده بر خود ادوات جداگر و جلوگیری از ایجاد پدیده تشدید و یا تغییر شکل های جانبی بسیار بزرگ و کنترل نشده در جداگرها، لازم است سیستم جداسازی ساختمان دارای ظرفیت استهلاک انرژی و میرایی قابل توجهی باشد. در بسیاری از موارد جداگرها به خودی خود دارای ظرفیت استهلاک انرژی قابل توجهی بوده و ممکن است نیازی به میراگرهای کمکی به منظور تامین استهلاک انرژی نداشته باشند. با این وجود در صورت نیاز به میرایی بالاتر در تراز جداسازی شده، می توان از میراگرهای کمکی استفاده نمود. برخی از جداگرها فاقد ظرفیت استهلاک انرژی کافی بوده، بنابراین در این موارد لازم است استهلاک انرژی از طریق قراردادن میراگرهای مناسب در تراز جداسازی شده تامین شود. منظور از میراگرهای مناسب، میراگرهایی هستند که اولاً کمترین تغییر را در سختی جانبی تراز جداسازی شده ایجاد کرده و ثانیاً ظرفیت تغییرشکلی بالایی داشته باشند.
- قابلیت مرکز گرای: قابلیت مرکز گرای یکی از الزامات دستیابی به عملکرد لرزه ای مناسب و جلوگیری از ایجاد وقفه در استفاده از ساختمان است. بنابراین لازم است سیستم جداساز لرزه ای، دارای قابلیت مرکز گرای بوده و تغییر شکل های ماندگار در آن تا حد امکان کوچک باشد.

خصوصیات فوق می تواند به طور کامل صرفاً توسط نشیمنگاه های سیستم جداساز تامین گردد. در صورتی که نشیمنگاه ها فاقد هر یک از مشخصات فوق باشند، لازم است با قرار دادن نشیمنگاه هایی دیگر و یا اضافه کردن میراگرها در تراز جداسازی شده، پنج الزام فوق فراهم شود. به عنوان نمونه برخی از نشیمنگاه ها، همانند نشیمنگاه های لغزشی مسطح، فاقد قابلیت مرکز گرای بوده و در این شرایط لازم است از نشیمنگاه های دیگری که قابلیت مرکز گرای دارند (همانند نشیمنگاه های لاستیک طبیعی) نیز در تراز جداسازی استفاده شود تا بدین ترتیب قابلیت مرکز گرای سیستم جداساز بهبود یابد. همچنین ممکن است نشیمنگاه های سیستم جداساز فاقد قابلیت استهلاک انرژی کافی باشند، در این صورت لازم است در سیستم جداسازی

از میراگر نیز استفاده شود. بدیهی است میراگرهای مصرفی باید کمترین تاثیر را در سختی سیستم جداسازی داشته و نیز ظرفیت تغییرشکلی بالایی داشته باشند.

۳-۱-۲ اجزای تشکیل دهنده سیستم جداساز لرزه‌ای

۳-۱-۲-۱ نشیمنگاه‌ها (جداگرها)

نشیمنگاه‌ها در سیستم جداساز لرزه‌ای نقشی کلیدی ایفا می‌کنند به طوری که سیستم جداساز لرزه‌ای ممکن است تنها متشکل از نشیمنگاه باشد. به طور کلی نشیمنگاه‌ها در سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای شامل نشیمنگاه‌های الاستومری، نشیمنگاه‌های لغزشی و نشیمنگاه‌های غلطکی می‌باشند که دو نوع اول متداول‌تر بوده و در این ضابطه تمرکز بر روی دو نوع اول می‌باشد.

۳-۱-۲-۲ میراگرها

در صورتی که نشیمنگاه‌های سیستم جداسازی به منظور تامین میرایی و استهلاک انرژی لازم کافی نباشند، از میراگرها به منظور ارتقای قابلیت استهلاک انرژی سیستم جداساز استفاده می‌شود. در صورتی که از میراگرهای دارای سختی (همانند میراگرهای تسلیمی و اصطکاکی) در سیستم جداساز استفاده شود، سختی سیستم جداساز افزایش یافته و قابلیت جداسازی آن کاهش می‌یابد. با این وجود مادامی که این اثر در طراحی لحاظ شود، استفاده از میراگرهای دارای سختی در سیستم جداساز بلامانع است. میراگرهای متداول در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای شامل میراگرهای ویسکوز، روغنی و تسلیمی می‌باشند. با این وجود استفاده از سایر ادوات استهلاک انرژی از جمله میراگرهای اصطکاکی و میراگرهای ویسکوالاستیک نیز، به شرط داشتن ظرفیت تغییرشکلی کافی، در سیستم جداساز لرزه‌ای بلامانع است.

۳-۱-۳ سیستم‌های جداساز لرزه‌ای مدنظر ضابطه

جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز لرزه‌ای که مستقیماً مدنظر این ضابطه هستند، به ترتیب در جداول (۳-۱) و (۳-۲) فهرست شده‌اند.

جدول (۳-۱). نشیمنگاه‌های سیستم جداساز معرفی شده در این ضابطه

نشیمنگاه سیستم جداساز	سختی موثر برشی	تشدید تغییر شکل برشی	استهلاک انرژی ظرفیت	قابلیت مرکز گراپی	قابلیت جداسازی در زلزله سرویس
الاستومری	با میرایی کم	کم	زیاد	ندارد	بله
	با میرایی زیاد	کم	زیاد	متوسط	خوب
	هسته سربی	کم	زیاد	متوسط	خوب
لغزشی	مسطح	بسیار کم	بسیار زیاد	ضعیف*	معمولاً بله**
	تک پاندولی	کم	بسیار زیاد	خوب	معمولاً بله**
	دو پاندولی	کم	بسیار زیاد	خوب	معمولاً بله**
	سه پاندولی	کم	بسیار زیاد	خوب	معمولاً بله**

* نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح به دلیل عدم قابلیت مرکزگرایی لازم است در ترکیب با سایر نشیمنگاه‌های الاستومری استفاده شوند. برای جزئیات بیشتر در خصوص مرکزگرایی جداگرهای مختلف به بند ۳-۴ مراجعه شود.

** در زلزله‌های خفیف در صورتی که برش ایجاد شده در جداگر لغزشی کوچکتر از برش آستانه لغزش جداگر باشد، عمل جداسازی انجام نشده و سازه مشابه یک ساختمان پای ثابت رفتار می‌کند.

جدول (۳-۲). میراگرهای سیستم جداساز معرفی شده در این ضابطه

میراگر سیستم جداساز	افزایش سختی سیستم جداساز	نیاز به تعویض پس از زلزله سطح ۲	جابجایی ماندگار	استهلاک انرژی در زلزله سرویس
میراگر تسلیمی	بله	نیاز به بررسی دارد	دارد	معمولاً خیر
میراگر ویسکوز و روغنی	خیر	معمولاً خیر	ندارد	بله

تذکر: با پیشرفت فناوری طراحی و ساخت جداگرهای لرزه‌ای، در حال حاضر نشیمنگاه‌ها و میراگرهای مختلفی در مرحله تحقیقاتی قرار دارند. با توجه به رویکرد ضابطه پیشرو، صرفاً جداگرها و میراگرهایی که در صنعت ساخت و ساز شناخته شده بوده و تاکنون بیشترین کاربرد را در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای داشته‌اند در این فصل معرفی شده‌اند. عدم معرفی سایر نشیمنگاه‌ها و میراگرها، به معنی عدم امکان استفاده از آن‌ها نیست.

۲-۳ جداگرهای الاستومری

۱-۲-۳ ساختار کلی

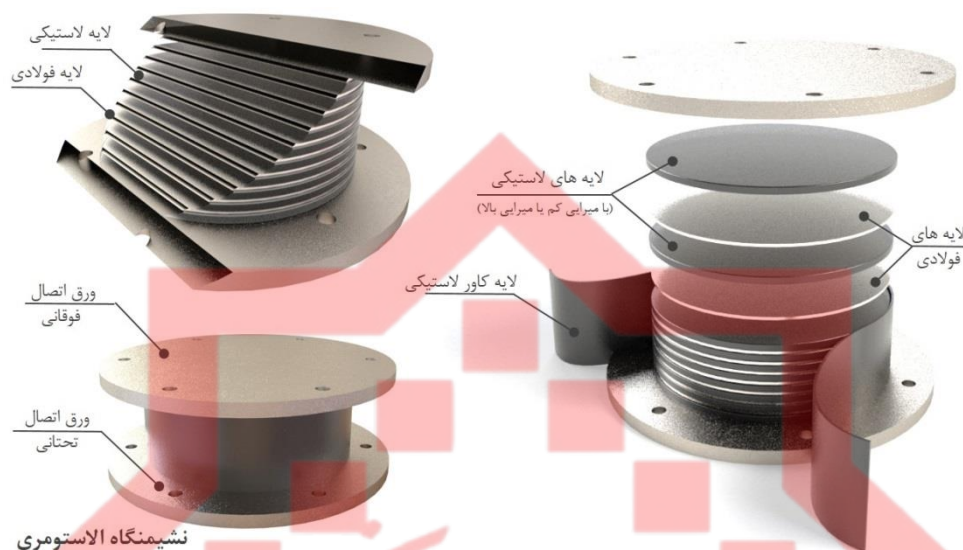
جداگرهای (نشیمنگاه‌های) الاستومری متداول‌ترین نوع از جداگرها هستند که متشکل از ترکیبی از صفحات لاستیکی و فولادی می‌باشند. مطابق شکل (۱-۳) این صفحات به صورت یکی در میان روی یکدیگر قرار گرفته و طی فرآیندی، عمدتاً با استفاده از اعمال فشار و حرارت به یکدیگر متصل (ولکانایز)^۱ می‌شوند به طوری که هیچگونه لغزشی مابین صفحات لاستیک و فولاد رخ ندهد. هدف از قرار دادن صفحات فولادی در جداگرهای الاستومری تامین ظرفیت و سختی محوری بالا برای نشیمنگاه می‌باشد. به منظور حفاظت از لایه‌های لاستیکی و فولادی از عوامل محیطی، از یک لایه کاور لاستیکی در دور نشیمنگاه استفاده می‌شود. این لایه صرفاً پوششی حفاظتی بوده و نقشی در سختی و یا سایر مشخصات رفتاری نشیمنگاه ندارد.

تذکر ۱: نشیمنگاه‌ها معمولاً با مقطع دایره ساخته می‌شوند تا بدین ترتیب در تمام جهات افقی دارای رفتار یکسانی باشند.

تذکر ۲: صفحات فولادی در نشیمنگاه‌های الاستومری محصورکنندگی شدیدی برای لاستیک ایجاد کرده و بدین ترتیب سختی و ظرفیت محوری نشیمنگاه بسیار بزرگتر از مقدار متناظر در نشیمنگاه فاقد صفحات فولادی خواهد بود. در عین حال، این صفحات سختی برشی نشیمنگاه

^۱ Vulcanize

را تحت تاثیر قرار نخواهند داد. بدین ترتیب کلیه نشیمنگاه‌های لاستیکی مسلح به صفحات فولادی شروط "سختی جانبی کم" و "ظرفیت محوری بالا" را تامین می‌کنند.



شکل (۳-۱). جزئیات نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم و میرایی بالا

تذکر ۳: سختی محوری کششی و سختی محوری فشاری در نشیمنگاه‌های الاستومری متفاوت بوده و مقدار سختی محوری کششی می‌تواند بین ۵ تا ۱۰۰ برابر کوچکتر از سختی محوری فشاری نشیمنگاه باشد (AIJ 2016).

تذکر ۴: ظرفیت تغییرشکل برشی نشیمنگاه‌های الاستومری علاوه بر مشخصات مربوط به خود نشیمنگاه، به نیروی محوری وارده بر نشیمنگاه (که معمولاً نیروی فشاری است) بستگی دارد و با افزایش نیروی محوری، ظرفیت تغییرشکل برشی نشیمنگاه کاهش می‌یابد. آزمایش‌های گذشته حاکی از آن بوده است که نشیمنگاه‌های الاستومری در شرایط معمول قادر به تحمل کرنش برشی در محدوده ۳۰٪ تا ۴۰٪ هستند. به طور کلی، در مقایسه با نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم یا با میرایی زیاد، کرنش برشی قابل تحمل در نشیمنگاه‌های هسته سربی اندکی کوچکتر است. لیکن معمولاً برای زلزله سطح طرح کرنش برشی نشیمنگاه‌های لاستیکی در محدوده ۱۵٪ یا کمتر قرار می‌گیرد (Skinner et al. 2011). یکی از دلایل محدود

کردن کرنش برشی در جداگرهای لاستیکی به مقادیری بسیار کمتر از ظرفیت نهایی، آن است که در کرنش‌های برشی بالا، معمولاً نوعی سخت شوندگی در رفتار جداگر مشاهده می‌شود که اغلب مدل‌های عددی فعلی، قادر به شبیه‌سازی این سخت شوندگی نیستند. به علاوه، این سخت شوندگی ویژگی جداسازی در سیستم جداساز را کاهش می‌دهد.

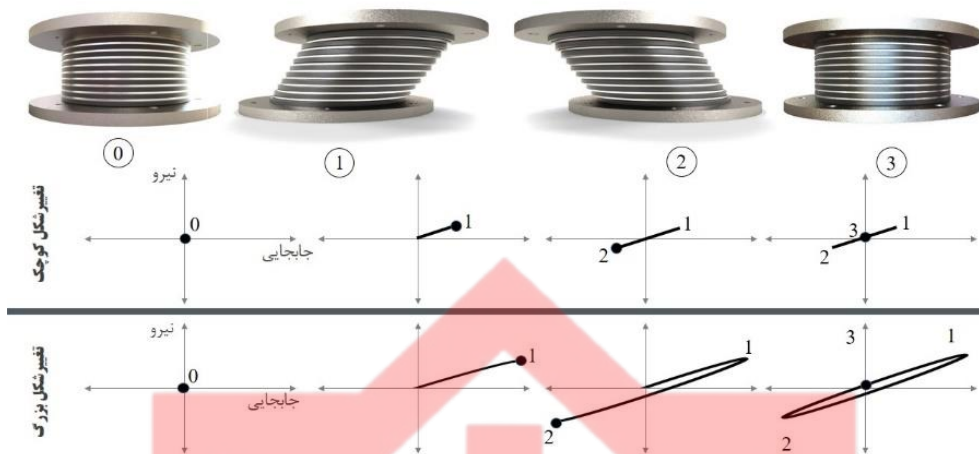
تذکره ۵: نشیمنگاه‌های الاستومریک تحت بارهای ثقلی علاوه بر تغییرشکل قائم آنی، یک تغییرشکل قائم دراز مدت (خزش^۱) نیز تجربه می‌کنند. در مقایسه با لاستیک‌های مصنوعی (با میرایی بالا)، مقدار خزش در لاستیک‌های طبیعی (با میرایی کم) کوچکتر بوده و مقدار تغییرشکل دراز مدت معمولاً کمتر از ۵۰٪ مقدار تغییرشکل آنی نشیمنگاه می‌باشد. تغییرشکل آنی نشیمنگاه‌های الاستومری نیز در اغلب موارد در محدوده ۱ تا ۳ میلی‌متر می‌باشد (Skinner et al. 2011).

۲-۲-۳ جداگرهای لاستیکی با میرایی کم

جداگرهای لاستیکی با میرایی کم شامل نشیمنگاه‌هایی است که نوع لاستیک به کار رفته در آن‌ها دارای رفتاری تقریباً الاستیک بوده و انرژی بسیار ناچیزی را مستهلک می‌کنند. جداگرهای ساخته شده از لاستیک طبیعی را می‌توان در این دسته طبقه‌بندی نمود. نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لاستیکی با میرایی کم در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم به همراه مدل رفتاری آن‌ها در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. اگرچه در خصوص مشخصات نشیمنگاه‌های لاستیکی می‌توان روابط تحلیلی ارائه نمود، لیکن این روابط تقریبی بوده و همواره لازم است مشخصات نشیمنگاه از جمله سختی و ظرفیت محوری، سختی برشی و ظرفیت تغییرشکل برشی نشیمنگاه بر اساس نتایج آزمایشگاهی مطابق فصل ششم بدست آورده شود. روابط ارائه شده در شکل (۳-۳) که منطبق بر روابط پیشنهادی در (AIJ 2016) هستند، صرفاً به منظور آشنایی با حدود مقادیر قابل انتظار برای نشیمنگاه بوده و نباید ملاک طراحی نهایی سازه قرار گرفته شوند.

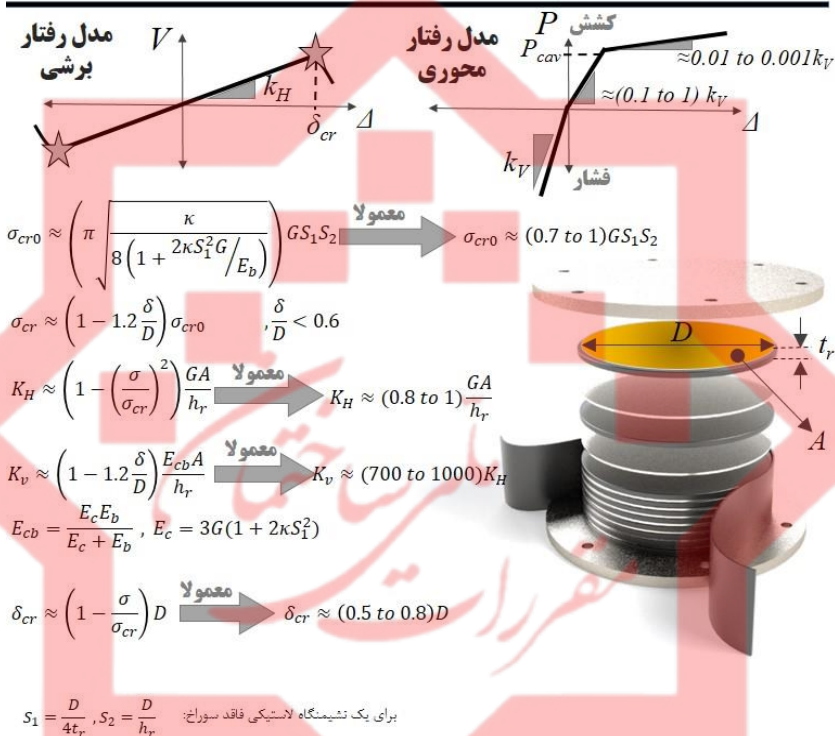
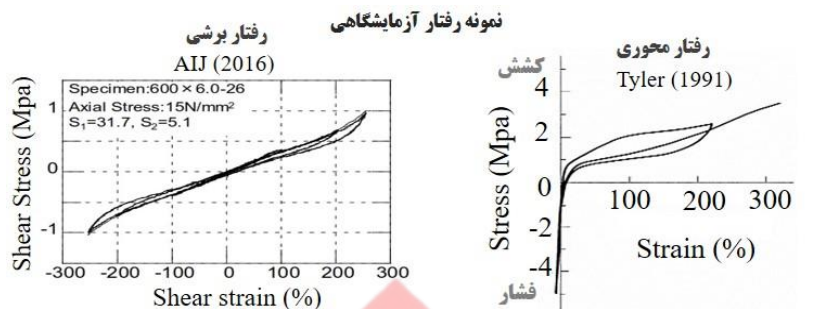
^۱ Creep



شکل (۳-۲). نحوه تغییر شکل و رفتار نشیمنگاه لاستیکی با میرایی کم تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

تذکر ۱: رفتار لاستیک در کرنش‌های برشی بسیار بالا (معمولاً بیش از ۲۰۰٪) می‌تواند دارای سخت شوندگی باشد. بنابراین رفتار نشیمنگاه ممکن است از حالت الاستیک خطی به حالت الاستیک غیرخطی تبدیل شود. این رفتار به ویژه در نشیمنگاه‌های با تنش فشاری ناچیز مشهودتر می‌باشد (Hirata et al. 2002). با این وجود در ساختمان‌های جداسازی شده معمولاً تنش فشاری قابل توجهی به نشیمنگاه وارد شده و علاوه بر آن، مقدار حداکثر کرنش برشی معمولاً به مقداری کوچکتر از آستانه سخت‌شوندگی محدود می‌شود. بنابراین، انتظار می‌رود رفتار با تقریب خوبی به صورت الاستیک خطی باقی بماند.

تذکر ۲: عملکرد مطلوب نشیمنگاه وابستگی شدیدی به مقدار ضرایب شکل (S_1 و S_2) دارد به طوری که با افزایش این دو ضریب پایداری نشیمنگاه بهبود می‌یابد. افزایش قطر نشیمنگاه، کاهش ضخامت لایه‌های لاستیکی و کاهش ضخامت مجموع لایه‌های لاستیکی منجر به افزایش ضرایب شکل خواهد شد. در این میان، افزایش قطر نشیمنگاه یکی از موثرترین روش‌های بهبود پایداری و افزایش ظرفیت تغییرشکلی نشیمنگاه می‌باشد.



1. δ : ضریب شکل اول- عبارت است از نسبت سطح مقطعی از لایه لاستیک که تحت بار است به سطح مقطع جانبی لایه لاستیک (معمولاً بزرگتر از ۱۵)
2. δ : ضریب شکل دوم- عبارت است از نسبت قطر لایه لاستیک به مجموع ضخامت لایه های لاستیکی (معمولاً بزرگتر از ۴)
3. h_r : مجموع ضخامت تمام لایه های لاستیکی (ضخامت یک لایه لاستیکی ضرب در تعداد لایه های لاستیکی)
4. t_r : ضخامت لایه لاستیکی (معمولاً بین ۳ تا ۱۰ میلیمتر)
5. G : مدول برشی لاستیک (معمولاً بین 0.3 MPa تا 1.2 MPa)
6. E_b : مدول بالک لاستیک (معمولاً بین 1000 MPa تا 2000 MPa)
7. κ : ضریب اصلاح لاستیک (معمولاً بین 0.6 تا 1)
8. A : سطح مقطع نشیمنگاه
9. K_H : سختی جانبی نشیمنگاه
10. σ : تنش فشاری وارده بر نشیمنگاه (معمولاً کوچکتر از 15 MPa)
11. K_V : سختی قائم فشاری نشیمنگاه
12. σ_{cr} : تنش فشاری آستانه ناپایداری نشیمنگاه (معمولاً بزرگتر از 40 MPa)
13. δ_{cr} : تغییر شکل برشی آستانه ناپایداری نشیمنگاه
14. P_{cav} : نیروی کششی آستانه حفزه سازی (تنش کششی متناظر با آن حدود 3G است)
15. δ : تغییر شکل برشی نشیمنگاه

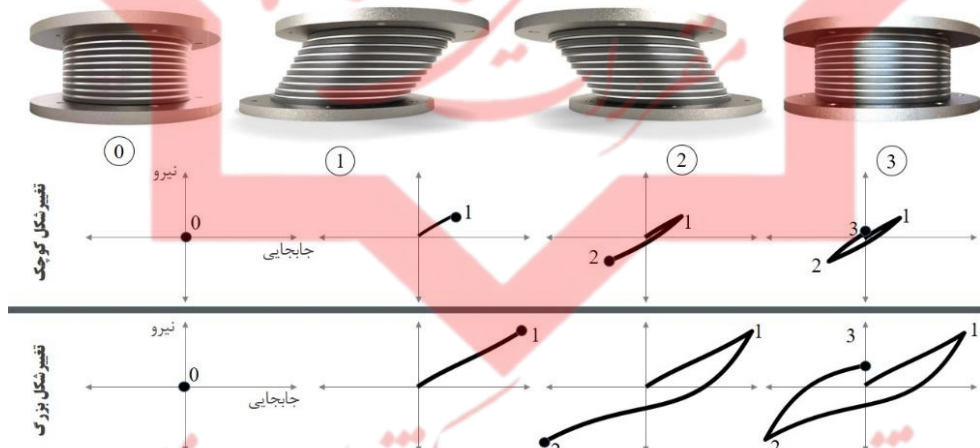
شکل (۳-۲). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم و مدل رفتاری آن‌ها

تذکره ۳: جداگرهای لاستیکی با میرایی کم در تغییرشکلی متناظر با کرنش برشی ۱۰۰٪ عمدتاً قادر به تامین میرایی کوچکتر از ۶٪ هستند (BS EN15129, 2018).

تذکره ۴: طراحی و ساخت صحیح نشیمنگاه بر اساس مشخصات درخواستی و تضمین کیفیت آن بر عهده شرکت سازنده نشیمنگاه می‌باشد.

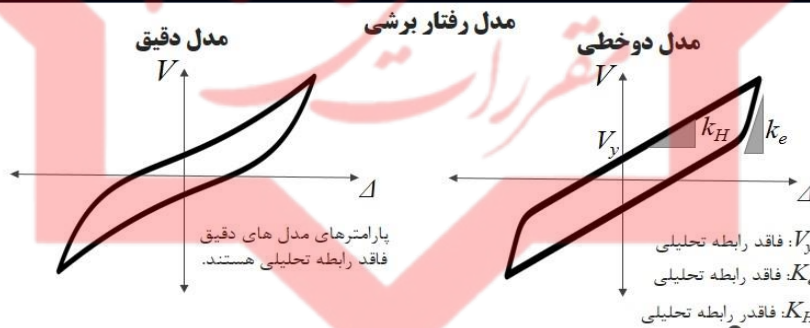
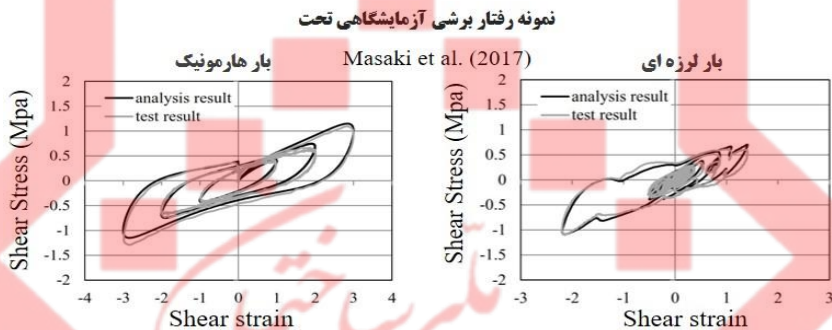
۳-۲-۳ جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا

مطابق شکل (۳-۱)، ساختار و هندسه جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا مشابه جداگرهای لاستیکی با میرایی پایین است با این تفاوت که در آن‌ها به جای استفاده از لاستیک با میرایی کم، از لاستیک با میرایی بالا استفاده شده است. لاستیک‌های با میرایی بالا عمدتاً از نوع لاستیک‌های مصنوعی بوده و یا با اعمال تغییراتی در ترکیبات لاستیک طبیعی بدست می‌آیند و مشخصات آن‌ها کاملاً بستگی به نوع ترکیبات به کار رفته در لاستیک و نحوه عمل‌آوری آن دارد. شرکت‌های سازنده لاستیک‌های با میرایی بالا روش‌های مخصوص به خود را در ساخت لاستیک دارند که جزئیات کامل آن در ادبیات فنی موجود نیست. نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴). نحوه تغییرشکل و رفتار نشیمنگاه لاستیکی با میرایی زیاد تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

شکل (۳-۵) نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی به همراه مدل رفتاری نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا را نشان می‌دهد. مطابق شکل دو مدل رفتاری برای نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا متصور است. مدل رفتاری دقیق با دقت بهتری رفتار نشیمنگاه را شبیه سازی کرده و معمولاً دارای کمیت‌های بیشتری نسبت به مدل‌های ساده می‌باشد که مقادیر این کمیت‌ها براساس هر نشیمنگاه بر اساس نتایج آزمایشگاهی کالیبره می‌شود. مدل رفتاری متداول‌تری که معمولاً در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل دوطبقی است که دارای سه کمیت اصلی می‌باشد که هر سه آن‌ها لازم است بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نشیمنگاه بدست آورده شوند.



(صرفاً برای تخمین می‌توان از رابطه ارائه شده برای نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم استفاده نمود با در نظر گرفتن اینکه مقدار مدول برشی تابعی از تغییر شکل است)

مدل رفتار محوری ● ← مشابه نشیمنگاه لاستیکی با میرایی کم با در نظر گرفتن اینکه مقدار مدول برشی تابعی از تغییر شکل است

شکل (۳-۵). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا و مدل رفتاری آن‌ها

تذکر ۱: برخلاف لاستیک‌های طبیعی با میرایی کم، لاستیک‌های مصنوعی با میرایی بالا دارای مدول برشی ثابتی نبوده و مقدار مدول برشی تابعی از کرنش برشی وارده می‌باشد. بدین ترتیب که در مقادیر کرنش برشی کم مقدار مدول برشی بالا بوده و با افزایش کرنش برشی به تدریج مدول برشی کاهش می‌یابد. در مقدار مشخصی از کرنش برشی، با افزایش کرنش برشی مجدداً مدول برشی افزایش می‌یابد. میزان تغییرات به مشخصات لاستیک وابسته بوده لیکن این تغییرات در مدول برشی معمولاً قابل ملاحظه هستند.

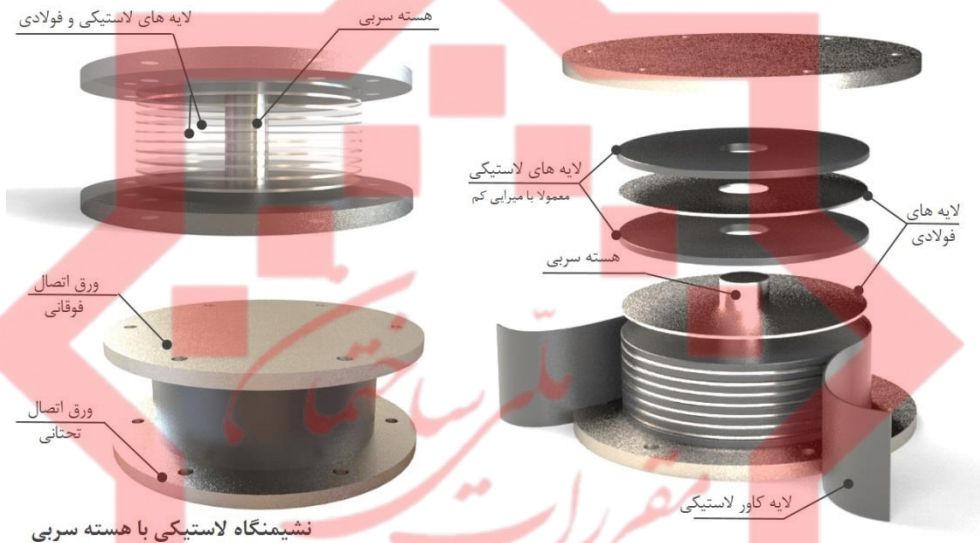
تذکر ۲: مکانیزم استهلاک انرژی در لاستیک‌های با میرایی بالا عمدتاً بر مبنای استهلاک انرژی هیستریزیس ناشی از اصطکاک مابین زنجیره متراکم مولکولی این نوع لاستیک می‌باشد که مکانیزمی وابسته به تغییر شکل محسوب می‌شود. با این حال بخشی از مکانیزم استهلاک انرژی در لاستیک‌های با میرایی بالا به صورت میرایی ویسکوالاستیک است که مکانیزمی وابسته به سرعت و فرکانس محسوب می‌شود. آزمایش‌های گذشته نشان داده‌اند که در محدوده فرکانسی متداول در سازه‌های جداسازی شده، مکانیزم غالب استهلاک انرژی در لاستیک‌های با میرایی بالا ناشی از اصطکاک میان مولکولی لاستیک بوده بنابراین می‌توان رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا را مستقل از سرعت و فرکانس در نظر گرفت (Skineer et al. 2011, AIJ 2016).

تذکر ۳: جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا در تغییر شکلی متناظر با کرنش برشی ۱۰۰٪ عمدتاً قادر به تامین میرایی بیش از ۶٪ هستند (BS EN15129, 2018).

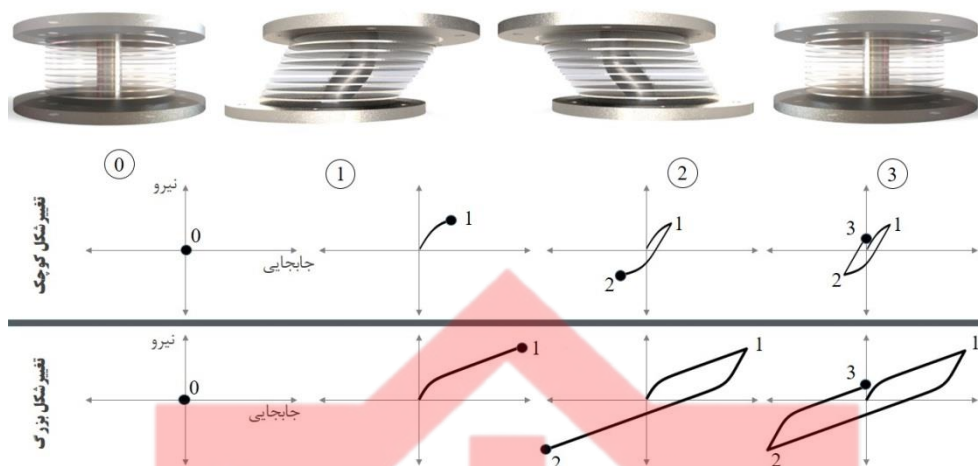
تذکر ۴: مدل دوخطی برای شبیه سازی رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا در محدوده کرنش‌های برشی کوچک تا متوسط مناسب است (تا کرنش برشی زیر ۲۰۰٪). در کرنش‌های برشی بالاتر، رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا از حالت دو خطی خارج شده و دچار سخت‌شوندگی می‌شوند. در این موارد استفاده از مدل‌های دقیق توصیه می‌شود که این مدل‌ها در نرم افزارهای محاسباتی متداول نیز موجود می‌باشند.

۳-۲-۴ جداگرهای لاستیکی با هسته سربی

مطابق شکل (۳-۶)، جداگرهای لاستیکی هسته سربی مشابه نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم هستند با این تفاوت که در داخل نشیمنگاه از یک هسته سربی استفاده شده است. معمولاً در این نشیمنگاه، لاستیک مصرفی از نوع لاستیک طبیعی با میرایی پایین بوده و وظیفه تامین استهلاک انرژی عمدتاً بر عهده هسته یا هسته‌های سربی داخل جداگر است. جداگرهای لاستیکی هسته سربی در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.



شکل (۳-۶). جزئیات نشیمنگاه‌های لاستیکی با هسته سربی



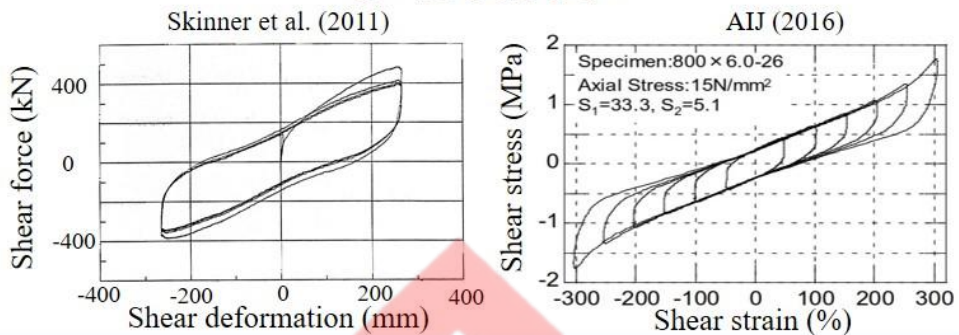
شکل (۷-۳). نحوه تغییر شکل و رفتار نشیمنگاه لاستیکی هسته سربی تحت یک چرخه رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی به همراه مدل رفتاری آن‌ها در شکل (۸-۳) نشان داده شده است. مطابق شکل (۸-۳) رفتار نشیمنگاه هسته سربی را می‌توان به صورت یک رفتار دوخطی در نظر گرفت که در آن سختی اولیه ترکیب سختی فراهم شده توسط هسته سربی و لاستیک بوده (فاقد رابطه تحلیلی است) و سختی پس از تسلیم ناشی از سختی بخش لاستیکی نشیمنگاه می‌باشد (هسته سربی دارای رفتاری الاستوپلاستیک و سخت شوندگی اندک است). برش تسلیم نیز متناظر با برش تسلیم هسته سربی خواهد بود. کلیه روابط ارائه شده در شکل (۸-۳) تقریبی بوده و مقادیر دقیق بر اساس نتایج آزمایش نشیمنگاه بدست می‌آیند.

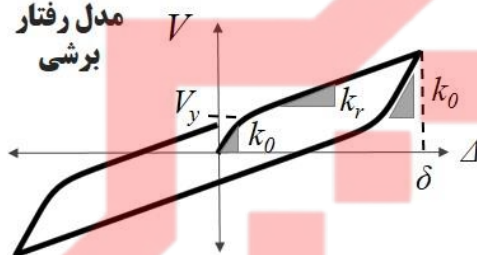
تذکره ۱: مکانیزم استهلاک انرژی در نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی بر اساس تسلیم هسته سربی بوده بنابراین رفتاری وابسته به تغییر شکل دارد. در محدوده سرعت‌های مدنظر در بارهای لرزه‌ای وارد بر ساختمان، رفتار سرب فاقد وابستگی به سرعت است.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی



مدل رفتار
برشی



K_r

مطابق رابطه ارائه شده برای سختی جانبی نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم (K_H) با این تفاوت که اثر حفره میانی نشیمنگاه در مساحت بخش لاستیکی و ضرایب شکل باید لحاظ شود.

$$S_1 = \frac{(D - D_c)}{4t_r}, S_2 = \frac{D}{h_r}$$

$$K_0 \approx 10K_r \text{ to } 20K_r$$

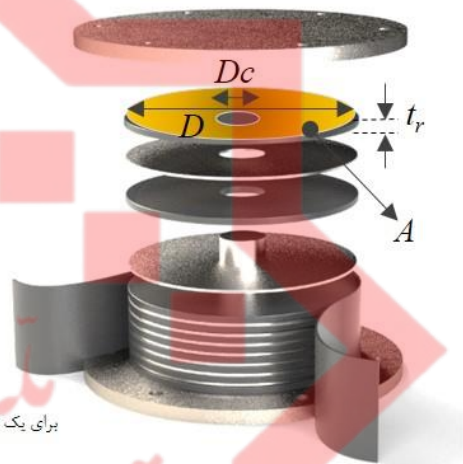
$$V_y \approx \sigma_y \frac{\pi}{4} D_c^2$$

h_r : مجموع ضخامت تمام لایه‌های لاستیکی (ضخامت یک لایه لاستیکی ضرب در تعداد لایه‌های لاستیکی)

S_1 : ضریب شکل اول- عبارت است از نسبت سطح مقطعی از لایه لاستیک که تحت بار است به سطح مقطع جانبی لایه لاستیک (معمولاً بزرگتر از ۲۰)

S_2 : ضریب شکل دوم- عبارت است از نسبت قطر لایه لاستیک به مجموع ضخامت لایه‌های لاستیکی (معمولاً بزرگتر از ۴)

σ_y : مقاومت تسلیم برشی سرب که در محدوده ۷ MPa تا ۹ MPa قرار دارد.



D : قطر نشیمنگاه

D_c : قطر هسته سربی

t_r : ضخامت لایه لاستیکی (معمولاً بین ۲ تا ۱۰ میلی‌متر)

مدل رفتار محوری • ← مشابه نشیمنگاه لاستیکی با میرایی کم با در نظر گرفتن وجود حفره در نشیمنگاه و اصلاح ضرایب شکل.

شکل (۸-۳). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی و مدل رفتاری آن‌ها

تذکر ۲: علت ترجیح سرب نسبت به فولاد در هسته داخلی نشیمنگاه این است که اولاً سرب دارای مقاومت تسلیم و مدول الاستیک بسیار کمتری نسبت به فولاد است (حدود ۱۵ برابر کوچکتر) و ثانیاً

برخلاف فولاد، سرب بر اثر تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی زیاد دچار خستگی کم چرخه نمی‌شود چراکه کریستال‌های سرب در دمای محیط قابلیت بازیابی و تبلور مجدد^۱ داشته و اثرات ناشی از کرنش‌های پلاستیک در دمای محیط در سرب باقی نمی‌ماند (Skinner et al. 2011). بنابراین تغییرشکل‌های برشی شدید رخ داده در نشیمنگاه، در صورت طراحی و تولید صحیح جداگر، منجر به بروز آسیب و گسیختگی در هسته سربی نمی‌شود. لازم به ذکر است تبلور مجدد کریستال‌های سرب و آزادسازی کرنش پسماند روندی زمان بر می‌باشد که با کاهش دما این روند کندتر می‌شود. به طور معمول در دمای محیط، این روند بین چندین روز تا چندین هفته ممکن است طول بکشد. بنابراین تحت تغییرشکل‌های بسیار زیاد و یا تعداد چرخه‌های بسیار بالا به صورت بدون وقفه، کریستال‌های سرب فرصت تبلور مجدد نداشته و احتمال بروز خستگی کم چرخه و گسیختگی در هسته سربی وجود خواهد داشت. به عبارت دیگر، اگرچه سرب در مقایسه با فولاد دارای ظرفیت خستگی بسیار بالاتری است، لیکن به صورت کامل در برابر این پدیده مصون نمی‌باشد.

تذکر ۳: مقاومت تسلیم سرب به دما وابستگی داشته و با افزایش دما، مقاومت تسلیم آن کاهش و با کاهش دما، مقاومت تسلیم سرب افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه بر اثر پدیده خود گرمایی، انرژی مستهلک شده در سرب به حرارت تبدیل می‌شود، بنابراین در صورت اعمال تعداد چرخه رفت و برگشتی بالا به نشیمنگاه، نیروی تسلیم و متعاقباً انرژی مستهلک شده در هر چرخه به تدریج کاهش می‌یابد. این کاهش ناشی از زوال نبوده به طوری که پس از متعادل شدن دمای هسته، مجدداً مشخصات نشیمنگاه به حالت اولیه خود باز می‌گردد (Kalpakidis and Constantinou 2009, AIJ 2016).

تذکر ۴: در امتداد قائم، عمدتاً ظرفیت نشیمنگاه توسط بخش لاستیکی تامین شده و هسته سربی نقشی ناچیز در تامین سختی و مقاومت محوری نشیمنگاه دارد.

۳-۲-۵ شبیه سازی جداگرهای لاستیکی

مطابق شکل (۳-۹)، به طور کلی جداگرهای لرزه‌ای (شامل نشیمنگاه‌های الاستومری و نشیمنگاه‌های لغزشی) دارای یک رفتار محوری و دو رفتار برشی در دو جهت متعامد هستند. مادامی که نشیمنگاه تحت بار محوری فشاری باشد، رفتار محوری نشیمنگاه الاستیک خطی با

¹ Recrystallization

سختی محوری بسیار بالا می‌باشد. رفتار برشی نشیمنگاه دارای سختی برشی کوچکی بوده و به جز در نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی پایین، رفتار برشی در سایر نشیمنگاه‌های لرزه‌ای به شکل غیرخطی می‌باشد به طوری که رفتار دو امتداد بر یکدیگر تاثیر گذاشته و به صورت کوپل با یکدیگر هستند. به عبارت دیگر، رفتار نشیمنگاه تحت بارگذاری در یک امتداد برشی مقداری با رفتار نشیمنگاه تحت بارگذاری هم زمان در هر دو امتداد برشی متفاوت است^۱.

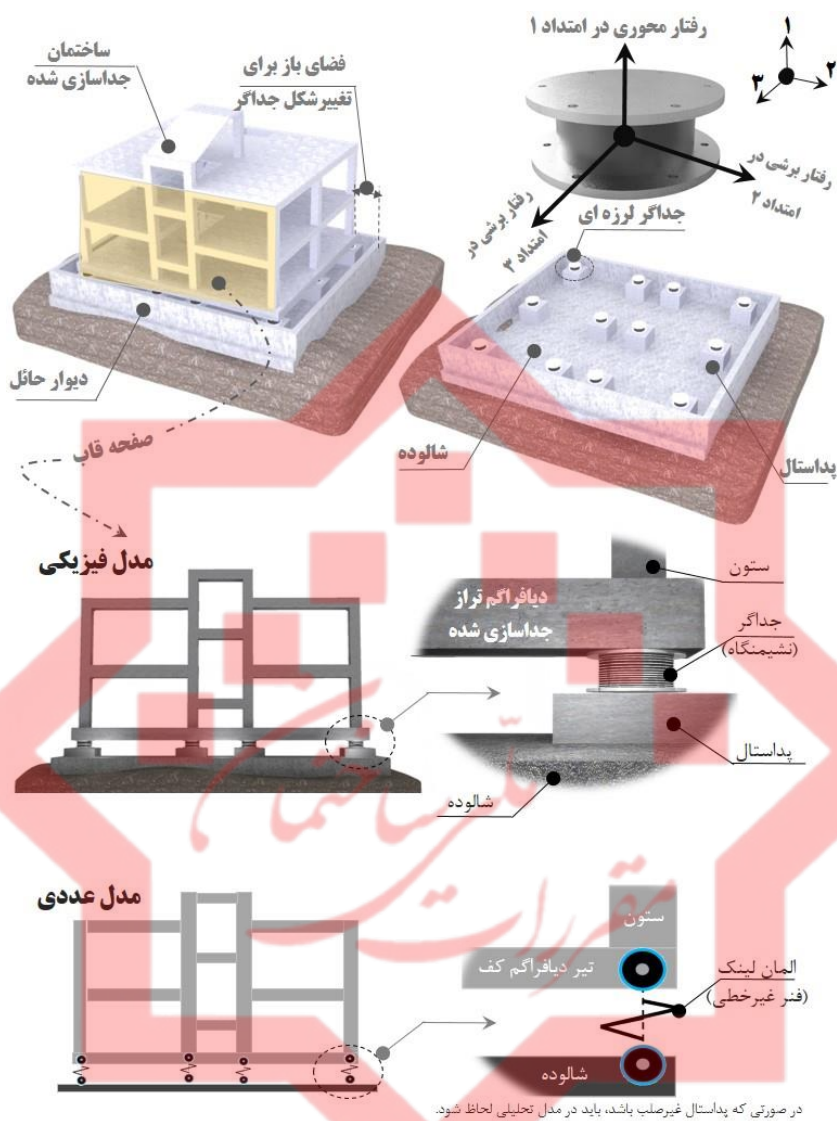
به منظور شبیه سازی رفتار برشی نشیمنگاه‌های الاستومری (لاستیکی) می‌توان به صورت زیر عمل نمود:

- در کلیه جداگرهای لاستیکی می‌توان از رفتار الاستیک خطی به منظور شبیه سازی رفتار محوری جداگر استفاده نمود.
- برای شبیه‌سازی رفتار برشی در جداگرهای لاستیکی با میرایی کم می‌توان از مدل خطی استفاده نمود. برای شبیه‌سازی رفتار برشی در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا می‌توان از مدل دوخطی و یا مدل‌های دقیق‌تری که به طور اختصاصی برای نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا توسعه داده شده‌اند، استفاده نمود. برای شبیه سازی رفتار برشی در جداگرهای لاستیکی هسته سربی، می‌توان از مدل دو خطی استفاده نمود. لازم به ذکر است در تمام موارد، لازم است رفتار برشی در دو امتداد افقی به صورت کوپل با یکدیگر در نظر گرفته شوند.

شکل (۳-۱۰) نمونه‌هایی از شبیه سازی‌های انجام شده برای جداگرهای مختلف را تحت بارگذاری‌های گوناگون نشان می‌دهد. لازم است کمیت‌های نشیمنگاه بر اساس نتایج آزمایش نشیمنگاه در نظر گرفته شوند.

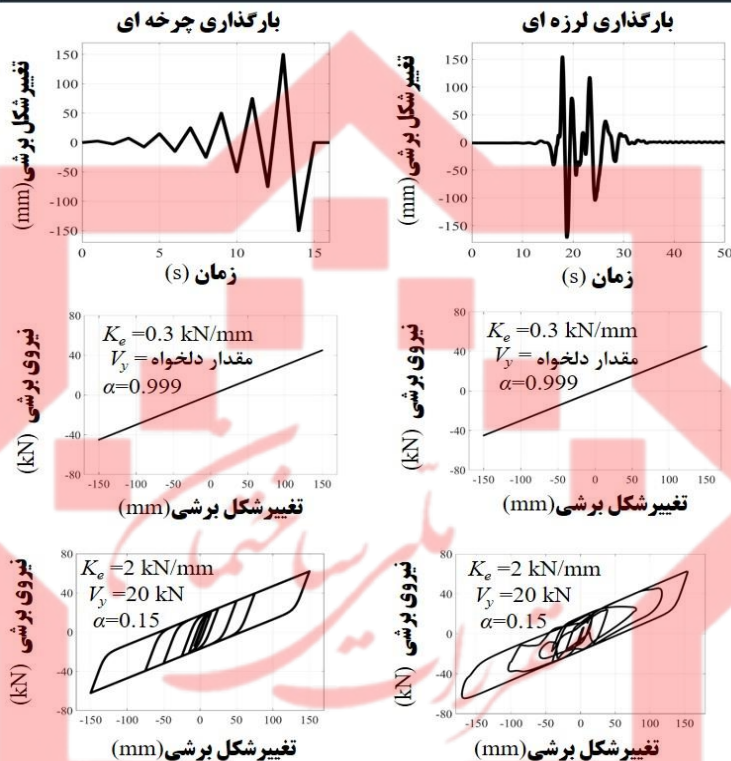
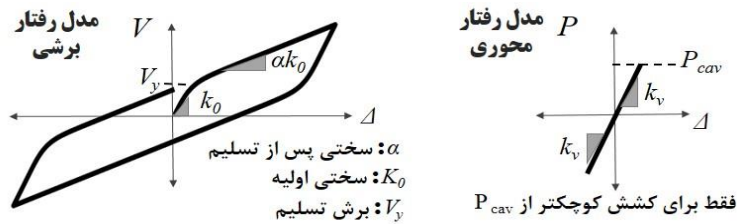
دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

^۱ بسیاری از نرم افزارهای متداول همانند ETABS و SAP قابلیت در نظرگیری رفتار برشی کوپل نشیمنگاه‌ها را دارند.



شکل (۳-۹). نحوه مدل سازی جداگر در سیستم های جداساز لرزه ای

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۳-۱۰). نمونه‌ای از نتایج شبیه سازی رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با استفاده از رفتار برشی دوخطی (مقادیر استفاده شده برای کمیت‌های مدل صرفاً به منظور نمایش رفتار مدل عددی هستند).

تذکره ۱: رفتار محوری کششی واقعی در جداگرهای لاستیکی، به صورت یک رفتار دوخطی الاستیک است. لیکن در صورتی که کشش ایجاد شده در نشیمنگاه از کشش متناظر با کشش حفره سازی (P_{cav}) کوچکتر باشد و یا اساساً کششی در جداگر ایجاد نشود، می‌توان رفتار محوری جداگر را به صورت الاستیک خطی با سختی برابر با سختی محوری فشاری جداگر (K_v) در نظر گرفت.

تذکر ۲: تاثیر لقی در جداگرهای لرزه‌ای معمولاً بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است. چراکه تغییر شکل‌های وارده بر سیستم جداگر بسیار بزرگتر از مقدار لقی اندکی است که در اتصالات جداگر ممکن است وجود داشته باشد.

۳-۲-۶ وابستگی در جداگرهای لاستیکی

۳-۲-۶-۱ تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی

به طور کلی نشیمنگاه‌های لاستیکی، در صورت طراحی و ساخت صحیح، در اثر چرخه‌های وارده ناشی از زلزله طرح دچار آسیب نشده و نیاز به تعویض نخواهند داشت. با این وجود در نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی به دلیل استهلاک انرژی رخ داده در هسته سربی و وابستگی مشخصات سرب به دما، با افزایش تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی میزان انرژی مستهلک شده در جداگرهای لاستیکی هسته سربی کاهش می‌یابد. این پدیده در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا قابل چشم‌پوشی است (AIJ 2016). علاوه بر آن، در خصوص جداگرهای لاستیکی هسته سربی، در اثر تعداد چرخه‌های بسیار زیاد، احتمال وقوع خستگی کم چرخه و گسیختگی در هسته سربی وجود دارد. به ویژه در شرایطی که چرخه‌های بارگذاری به صورت بدون وقفه وارد شوند به طوری که کریستال‌های سرب فرصت تبلور مجدد را پیدا نکرده و نتوانند کرنش‌های پس‌ماند به جا مانده از چرخه‌های قبل را آزاد کنند.

تذکر: در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا، سختی و مقاومت متناظر با تسلیم جداگر در چرخه اول بارگذاری معمولاً مقدار بزرگتری نسبت به مقادیر متناظر در چرخه‌های بعدی است. این پدیده که در این ضابطه پیش کرنشی^۱ نامیده شده است، ناشی از کاهش مدول بالک لاستیک تحت کرنش‌های برشی متوسط تا بالا می‌باشد. پیش کرنشی به مرور زمان بازگشته و در صورتی که جداگر پس از چند سال مجدد تحت کرنش برشی قرار گیرد مجدداً در چرخه اول مدول برشی به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مدول برشی در سایر چرخه‌ها خواهد بود (Thompson et al. 2000). این پدیده عمدتاً در لاستیک‌های با میرایی بالا وجود داشته و در نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم و یا نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی که با لاستیک با میرایی کم ساخته شده باشند، معمولاً با شدت کمتری رخ خواهد داد (Thompson et al. 2000).

^۱ Scragging

(AASHTO 1999). با این وجود این پدیده معمولاً در کلیه جداگرهای الاستومری تاثیرگذار بوده و قابل چشم پوشی نیست. برای این منظور لازم است برای مشخصات جداگرها یک حد بالا و یک حد پایین تعیین شده و طراحی سازه هم بر اساس مشخصات حد بالا و هم بر اساس مشخصات حد پایین جداگر انجام شود. جزئیات بیشتر در خصوص طراحی سازه بر این اساس و نیز نحوه تعیین مشخصات حد بالا و پایین جداگرها، به ترتیب، در فصول ۵ و ۶ ارائه شده است.

۳-۲-۶-۲ دمای محیط

در دمای محیط قابل انتظار برای جداگرها (بین ۲۰- درجه سانتیگراد تا ۶۰ درجه سانتیگراد)، مشخصات لاستیک تغییرات ناچیزی داشته و می‌توان از اثر دمای محیط در مشخصات لاستیک صرف‌نظر نمود (Skinner et al. 2011, AIJ 2016). با این وجود مقاومت تسلیم سرب در نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی به دما وابسته است (Kalpakidis and Constantinou 2009) به طوری که با افزایش دما، مقاومت تسلیم و در نتیجه انرژی مستهلک شده توسط آن کاهش می‌یابد. به طور متوسط به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یا کاهش در میزان دما، مقاومت تسلیم و انرژی مستهلک شده در سرب حدود ۳٪ الی ۴٪ کاهش یا افزایش می‌یابد (AIJ 2016). لازم به ذکر است تغییرات دمای سرب نه تنها به دلیل تغییرات دمای محیط، بلکه به دلیل تبدیل انرژی مستهلک شده به حرارت (پدیده خود گرمایی) نیز می‌تواند رخ دهد.

۳-۲-۶-۳ فرکانس تحریک

به طور کلی نشیمنگاه‌های لاستیکی وابستگی اندکی به سرعت و فرکانس بارگذاری داشته و می‌توان رفتار آن‌ها را مستقل از سرعت و فرکانس در نظر گرفت.

تذکر ۱: در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا بخش کوچکی از استهلاک انرژی، ناشی از عملکرد ویسکوالاستیک لاستیک است که وابسته به سرعت می‌باشد. بنابراین به طور کلی در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا با افزایش فرکانس و سرعت بارگذاری، میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد (Skinner et al. 2011). لیکن معمولاً افزایش مذکور اندک بوده و در کاربردهای متداول قابل صرف‌نظر می‌باشد.

تذکر ۲: عدم وابستگی رفتار جداگرهای لاستیکی به سرعت و فرکانس تحریک یک مفهوم تئوریک بوده و در عمل رفتار جداگر تا حدی وابسته به سرعت و فرکانس می‌باشد. دلیل این امر، وقوع پدیده‌هایی مثل خودگرمایی در جداگر است که صرفاً در بارگذاری‌های دینامیکی خود را نشان می‌دهد. در اثر خودگرمایی، دمای جداگر (به ویژه بخش داخلی آن که تبادل حرارتی کمتری با محیط دارد) افزایش یافته و به واسطه این افزایش دما، مشخصات جداگر می‌تواند تغییر کند. بنابراین، به استثنای برخی موارد، معمولاً لازم است آزمایش‌های جداگرها به صورت دینامیکی انجام شود. جزئیات بیشتر در این خصوص در فصل ۶ ارائه شده است.

۳-۲-۶-۴ عملکرد دراز مدت

آزمایش‌های انجام شده نشان داده است با گذشت زمان مدول برشی جداگرهای لاستیکی مقداری افزایش می‌یابد (AIJ 2016). به طور معمول این افزایش در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا مشهودتر می‌باشد (AASHTO 1999) به طوری که در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا به مرور زمان مدول برشی جداگر افزایش و درصد میرایی موثر جداگر کاهش می‌یابد (Engelen and Kelly 2015).

۳-۲-۷ مزایا و محدودیت‌های نشیمنگاه‌های لاستیکی

مزایا و محدودیت‌های هر یک از نشیمنگاه‌های لاستیکی معرفی شده در این ضابطه به شرح زیر می‌باشد.

مزایای جداگرهای لاستیکی با میرایی کم:

- در مقایسه با سایر جداگرهای لاستیکی، دارای حساسیت کمتری به عواملی از جمله دما، فرکانس، تعداد چرخه رفت و برگشتی و گذشت زمان هستند.
- دارای بهترین مرکزگرایی در میان تمام جداگرهای لرزه‌ای هستند.

محدودیت جداگرهای لاستیکی با میرایی کم:

- فاقد قابلیت استهلاک انرژی بوده و حتماً لازم است در ترکیب با میراگرها و یا سایر جداگرها با قابلیت استهلاک انرژی در سیستم جداساز لرزه‌ای استفاده شوند.

مزیت جداگرهای لاستیکی با میرایی زیاد:

- دارای قابلیت استهلاک انرژی هستند (اگرچه این مقدار نسبتاً محدود است).

محدودیت‌های جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا:

- مشخصات آن‌ها از جمله مدول برشی و درصد میرایی در گذر زمان دستخوش تغییرات قابل توجه می‌شود.
- در اولین چرخه در این نوع از جداگرها پدیده پیش کرنشی رخ می‌دهد که می‌تواند عملکرد جداسازی سیستم جداساز لرزه‌ای را به صورت مقطعی کاهش دهد.
- درصد میرایی موثر در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا با افزایش تغییرشکل برشی نشیمنگاه کاهش می‌یابد در محدوده تغییرشکل‌های متداول در حین زلزله طرح، معمولاً درصد میرایی موثر تامین شده توسط نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا بین ۱۰٪ تا ۱۵٪ خواهد بود. بنابراین در صورت نیاز به درصد میرایی بیشتر در سیستم جداسازی لازم است از میراگرهای کمکی به منظور ارتقای درصد میرایی موثر در سیستم جداساز لرزه‌ای استفاده شود.

مزایای جداگرهای لاستیکی هسته سربی:

- دارای قابلیت استهلاک انرژی بوده و ممکن است به تنهایی و بدون نیاز به میراگرهای کمکی در سیستم جداسازی استفاده شوند.

محدودیت‌های جداگرهای لاستیکی هسته سربی:

- مشخصات سرب داخل جداگر به دما حساس بوده و با افزایش دما مقاومت تسلیم و قابلیت استهلاک انرژی هسته سربی کاهش می‌یابد.
- در تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی در اثر انرژی مستهلک شده، دما در هسته سربی افزایش یافته و بنابراین رفتار جداگر تا حدی تحت تاثیر تعداد چرخه‌ها و میزان انرژی مستهلک شده قرار دارد.

- درصد میرایی تامین شده توسط جداگرهای لاستیکی هسته سربی معمولاً کوچکتر از ۲۵٪ بوده و در صورت نیاز به درصد میرایی بیشتر، لازم است از میراگر نیز در سیستم جداساز استفاده شود.
- هسته سربی در صورتی که در معرض چرخه‌های رفت و برگشتی بدون وقفه با دامنه قابل توجه قرار گرفته شود، مستعد خستگی کم چرخه و گسیختگی خواهد بود.

۳-۳ جداگرهای لغزشی

جداگرهای لغزشی دسته‌ای از نشیمنگاه‌ها هستند که متشکل از دو یا چند سطح با قابلیت لغزش نسبت به یکدیگر می‌باشند. رفتار جداگرهای لغزشی به عواملی از جمله هندسه سطوح لغزش، تعداد سطوح لغزش، مقدار ضرایب اصطکاک مابین سطوح لغزش و میزان نیروی محوری وارده بر نشیمنگاه بستگی دارد. شروط پنج‌گانه لازم در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای، به صورت زیر در جداگرهای لغزشی تامین می‌شود.

- ظرفیت محوری بالا: جداگرهای لغزشی عمدتاً از صفحات فولادی که از طریق لغزنده‌های فولادی، با یکدیگر در تماس هستند، تشکیل شده و دارای سختی و ظرفیت محوری بسیار بالایی می‌باشند.
- سختی برشی کم: در صورتی که نیروی برشی وارده بر نشیمنگاه از نیروی آستانه لغزش فراتر رود، در نشیمنگاه لغزش رخ داده و سختی برشی موثر نشیمنگاه به مقادیر کوچکی کاهش می‌یابد.
- قابلیت تغییر شکل برشی بالا: در جداگرهای لغزشی در صورت پیش‌بینی فضای کافی برای لغزش بین سطوح، امکان دستیابی به ظرفیت تغییر شکل برشی بسیار بالا فراهم می‌باشد.
- قابلیت استهلاک انرژی: در جداگرهای لغزشی، به دلیل اصطکاک در سطوح لغزش، انرژی ورودی مستهلک شده و به حرارت تبدیل می‌شود. به بیان دیگر جداگرهای لغزشی تا حدی مشابه میراگرهای اصطکاکی عمل می‌کنند با این تفاوت که نیروی عمود بر سطوح لغزش دارای مقدار ثابتی نبوده و در اثر عواملی از جمله لنگر واژگونی

سازه و یا مولفه قائم زلزله می‌تواند متغییر باشد. همچنین، به طور معمول، ضریب اصطکاک سطوح لغزش در جداگرهای لغزشی در مقایسه با سطوح لغزش در میراگرهای اصطکاکی، مقدار کوچک‌تری است.

- قابلیت مرکزگرایی: در جداگرهای لغزشی در صورتی که سطوح لغزش به صورت مقعر باشند، امکان تامین مرکزگرایی تا حد مناسبی فراهم خواهد بود. در صورتی که سطوح لغزش به صورت مسطح باشند، نشیمنگاه فاقد مرکزگرایی بوده و در این صورت لازم است با سایر نشیمنگاه‌های الاستومری که قابلیت مرکزگرایی دارند، ترکیب شود. لازم به ذکر است جداگرهای لغزشی با سطح لغزش مسطح نباید با جداگرهای لغزشی با سطح لغزش غیرمسطح ترکیب شوند.

در ادامه چهار نمونه از متداول‌ترین جداگرهای لغزشی که در صنعت ساخت و ساز بیشترین استفاده را دارند، معرفی شده‌اند. این جداگرها عبارتند از: جداگرهای لغزشی مسطح، جداگرهای لغزشی تک سطحی (پاندولی)، جداگرهای لغزشی دو سطحی و جداگرهای لغزشی سه سطحی. تذکر ۱: جداگرهای لغزشی تنها در صورتی نقش جداسازی خود را ایفا می‌کنند که برش ایجاد شده در جداگر منجر به بروز لغزش در جداگر شود. بنابراین در زلزله‌های خفیف یا زلزله سطح سرویس، ممکن است لغزشی در جداگر رخ نداده و سازه رفتاری مشابه با رفتار یک سازه فاقد جداگر از خود بروز دهد.

تذکر ۲: به طور معمول جداگرهای لغزشی فاقد قید در برابر بلندشدگی بوده و به عبارتی فاقد ظرفیت کششی محوری هستند. اگرچه برخی از جداگرهای لغزشی همانند جداگرهای دو ریلی (Roussis and Constantinou 2005) XY-FP دارای ظرفیت کششی هستند، لیکن کاربرد این نوع از جداگرها در صنعت ساخت و ساز بسیار محدود بوده بنابراین در این ضابطه از معرفی آن‌ها خودداری شده است. با این وجود آزمایش‌های انجام شده گذشته حاکی از آن بوده است که بلندشدگی محدود در جداگرهای لغزشی، تاثیر مخربی در عملکرد جداگر نخواهد داشت (Calvi and Calvi 2018).

تذکر ۳: علاوه بر جداگرهای لغزشی معرفی شده در این ضابطه، جداگرهای لغزشی دیگری نیز وجود دارند که استفاده از آن‌ها در صورتی که رفتارشان مطابق فصل ششم به صورت آزمایشگاهی مشخص شده و معیارهای پذیرش را برآورده کنند، بلامانع است.

تذکر ۴: ضریب اصطکاک در نشیمنگاه‌های لغزشی علاوه بر نوع مصالح لغزشی به کار رفته در سطوح لغزش، به عواملی از جمله میزان تنش فشاری مابین سطح لغزش، سرعت لغزش و دما وابسته می‌باشد. به طور کلی با افزایش میزان تنش فشاری مابین سطوح و افزایش دما ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان انتظار داشت در تعداد چرخه‌های بالا به دلیل انرژی مستهلک شده در اثر اصطکاک مابین سطوح، دما افزایش یافته و متعاقباً ضریب اصطکاک در چرخه‌های بعدی کاهش یابد. همچنین در سطوح لغزش متشکل از فولاد ضدزنگ و پوشش‌هایی از خانواده $PTFE^1$ با افزایش سرعت لغزش، میزان ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد اما در سطوح لغزش متشکل از فولاد ضدزنگ و پوشش‌هایی از خانواده پلی آمید^۲، با افزایش سرعت لغزش، ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد (AIJ 2016). در هر صورت در سرعت‌های بالاتر، میزان تغییرات ضریب اصطکاک ناچیز بوده و از سرعت مشخصی به بعد، می‌توان مقدار ضریب اصطکاک را ثابت فرض نمود. ضرایب اصطکاک متداول در جداگرهای لغزشی از مقادیری کوچک در حد ۰.۱٪ تا مقادیری بزرگ در حد ۲۰٪ متغیر می‌باشد لیکن ضرایب اصطکاک در جداگرها و شرایط متعارف بین ۳٪ تا ۱۰٪ می‌باشد. مجدداً لازم به ذکر است در یک جداگر، ضریب اصطکاک مقدار ثابتی نبوده و تابعی از تنش فشاری بین سطوح لغزش، سرعت لغزش و دما می‌باشد.

تذکر ۵: در جداگرهای لغزشی ضریب اصطکاک استاتیکی (در آستانه شروع لغزش) بالاتر از ضریب اصطکاک دینامیکی (در حین لغزش) است. بنابراین پیش از شروع لغزش و نیز هنگام تغییر جهت لغزش، نیروی برشی جداگر می‌تواند مقداری بیشتر از نیروی لغزش جداگر باشد که به این اثر اصطلاحاً اثر شکست اصطکاک^۳ و یا شکست چسبندگی^۴ اطلاق می‌شود. میزان

¹ Polytetrafluorethylene

² Polyamid

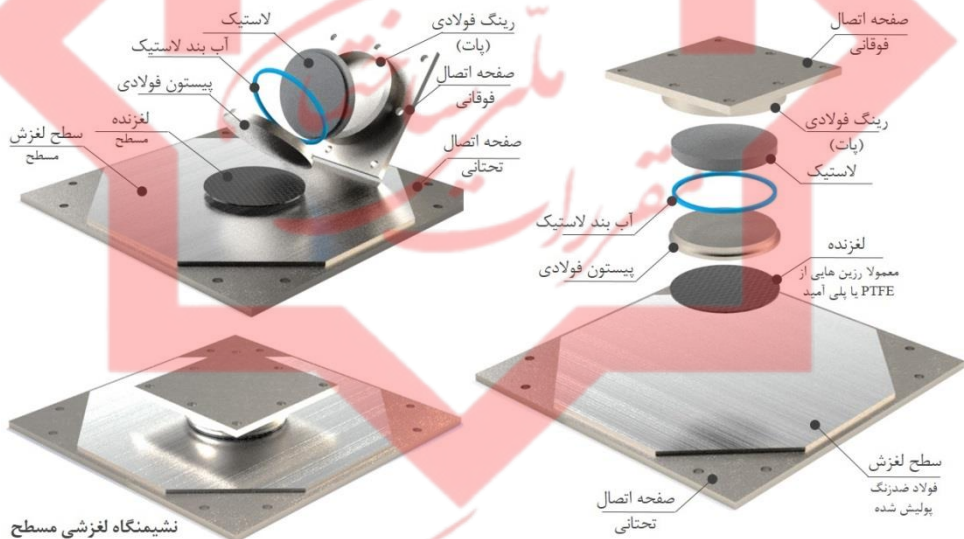
³ Breakaway friction

⁴ Stick-slip

شدت این اثر به مصالح به کار رفته در سطوح لغزش وابسته است و باید توجه داشت این اثر می‌تواند تاثیر مخربی در قابلیت جداسازی جداگرهای لغزشی داشته باشد.

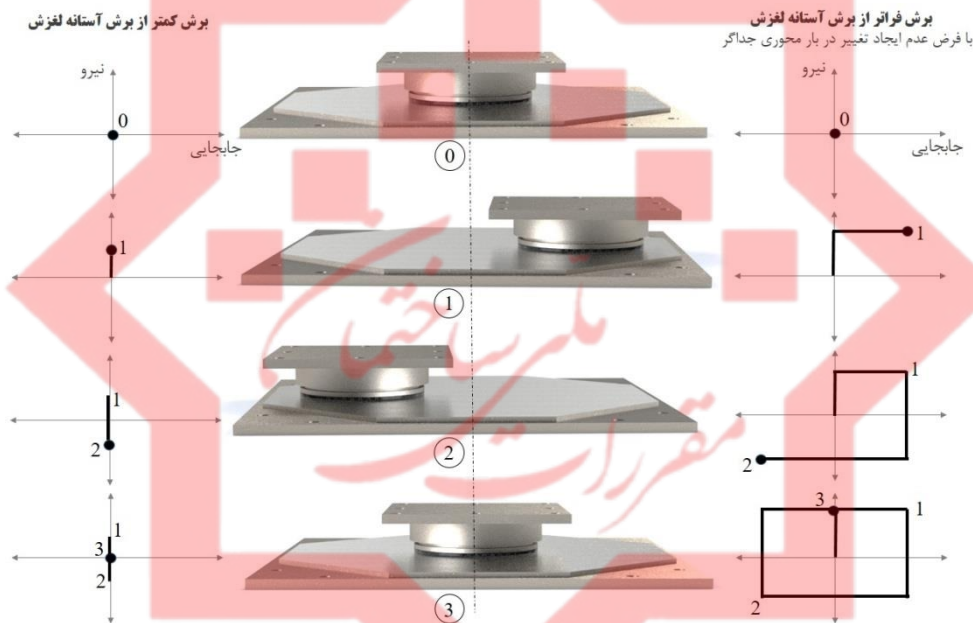
۳-۱-۳ جداگرهای لغزشی مسطح

جداگرهای لغزشی مسطح ساده‌ترین نوع از جداگرهای لغزشی هستند که در آن دو سطح مسطح نسبت به یکدیگر قابلیت لغزش دارند. نمونه‌ای از جزئیات نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح در شکل (۱۱-۳) نشان داده شده است. در جداگرهای لغزشی همواره جزئیاتی به کار برده می‌شود که نیروی محوری فشاری به طور نسبتاً یکنواخت بر روی دو سطح لغزش وارد شده و حتی در صورت بروز دوران اندک در جداگر، دو سطح لغزش همواره موازی یکدیگر باقی بمانند. این قابلیت در شکل (۱۱-۳) از طریق لایه لاستیکی تامین شده است. در صورتی که لایه لاستیکی مطابق شکل داخل رینگ فولادی قرار داشته باشد، امکان توزیع نسبتاً یکنواخت تنش فشاری مابین دو سطح فراهم می‌شود.



شکل (۱۱-۳). جزئیات نمونه‌ای از نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح

تذکره ۱: در صورتی که در شکل (۳-۱۱) لایه لاستیکی مستقیماً صفحه اتصال فوقانی را به لغزنده متصل کند، لازم است برای تامین ظرفیت محوری کافی برای لایه لاستیکی، از ورق‌های فولادی در داخل لاستیک استفاده شده و بدین ترتیب لاستیک محصور شود (مشابه نشیمنگاه‌های لاستیکی). این نوع از جداگرهای لغزشی مسطح اصطلاحاً جداگرهای لغزشی مسطح الاستیک یا غیرصلب نامیده می‌شوند و مزیت آن‌ها این است که در زلزله‌های خفیف که جداگر دچار لغزش نمی‌شود، همچنان انعطاف‌پذیری برشی محدودی از طریق لایه لاستیکی برای تراز جداسازی شده فراهم می‌شود.



شکل (۳-۱۲). نمونه‌ای از رفتار نشیمن‌گاه لغزشی مسطح تحت یک چرخه رفت و برگشتی با دو نیروی برشی مختلف

تذکره ۲: دسته دیگری از جداگرهای لغزشی مسطح نیز وجود دارند که در آن‌ها از هیچ لایه لاستیکی استفاده نشده و تنش فشاری یکنواخت مابین سطوح لغزش با استفاده از یک لغزنده

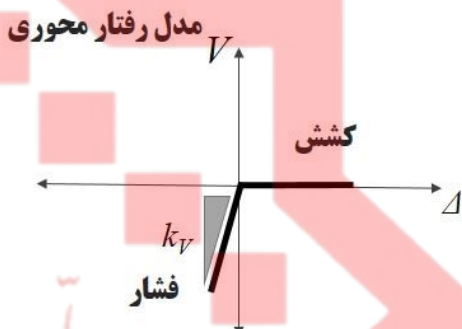
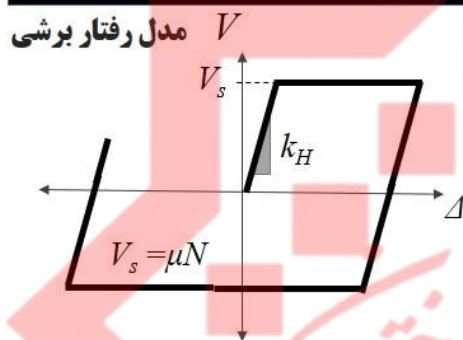
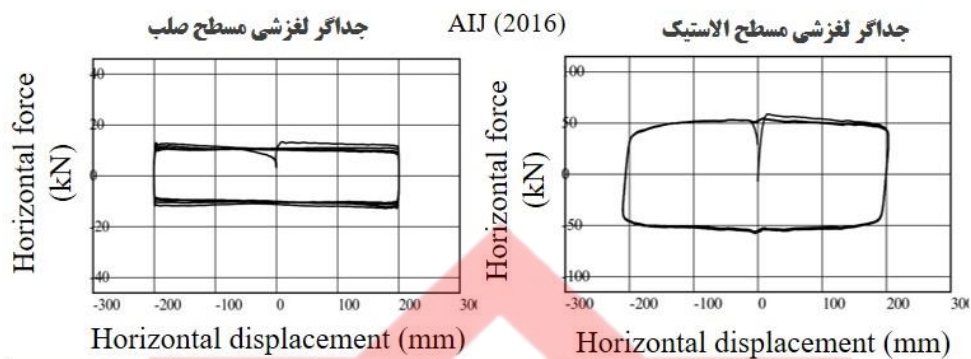
دو تکه^۱ فراهم می‌شود. مزیت لغزنده‌های دو تکه آن است که سطوح لغزش را همواره به صورت موازی با یکدیگر نگه می‌دارند و از ایجاد تمرکز تنش فشاری در بخشی از سطح لغزش جلوگیری می‌کنند. جزئیات بیشتر در خصوص لغزنده‌های دو تکه در بخش بعد ارائه شده است.

تذکره ۳: در مواردی ممکن است در لبه‌های انتهایی سطح لغزش لبه‌هایی تعبیه گردد تا بدین ترتیب اطمینان حاصل شود لغزنده هرگز از محدوده سطح لغزش خارج نشود.

نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لغزشی مسطح در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است. لازم به توضیح است در خصوص جداگرهای لغزشی مسطح الاستیک (مطابق تذکره ۱)، رفتار پیش از لغزش جداگر برخلاف شکل (۳-۱۲) به صورت صلب نبوده و دارای رفتاری الاستیک با سختی محدود می‌باشد. مشخصه اصلی در جداگرهای لغزشی مسطح عدم سختی پس از تسلیم (پس از لغزش) و عدم قابلیت مرکزگرایی در رفتار جداگر می‌باشد. نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی مسطح به همراه مدل‌های رفتاری در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است. مشخصات اصلی جداگر شامل ضریب اصطکاک، سختی جانبی پیش از لغزش و سختی محوری می‌باشد که لازم است بر اساس نتایج آزمایشگاهی تعیین شوند.

^۱ Articulated slider

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی مسطح تحت بار هارمونیک



K_V : فاقد رابطه تحلیلی (معمولاً مقدار بسیار بالایی است در حدود چندین برابر سختی ستون یا دیوار بالای جداگر)

K_H : فاقد رابطه تحلیلی (برای جداگرهای لغزشی صلب مقدار بسیار بالایی است)

N : نیروی محوری فشاری وارده بر جداگر که در حین زلزله به دلیل لنگر واژگونی سازه و مولفه قائم زلزله مقدارش متغیر است.

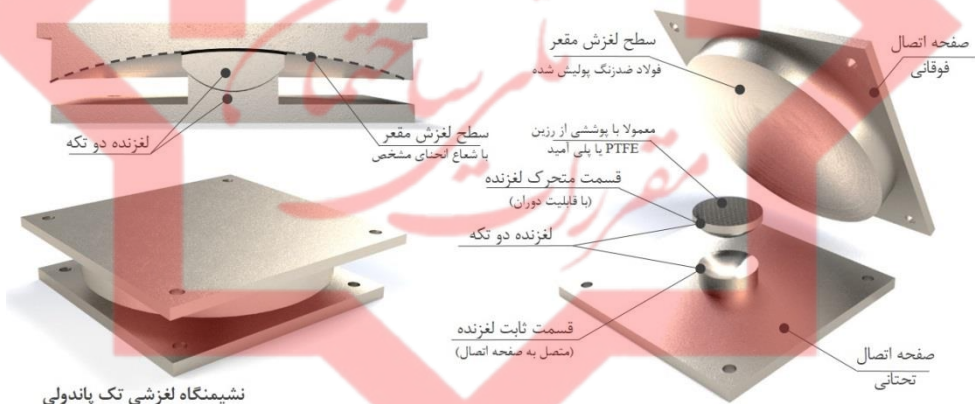
μ : فاقد رابطه تحلیلی (ضریب اصطکاک علاوه بر مشخصات مصالح به کار رفته در سطوح لغزش، تابعی از نیروی محوری، سرعت حرکت و دما نیز است).

شکل (۳-۱۳). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح و مدل رفتاری آن‌ها

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

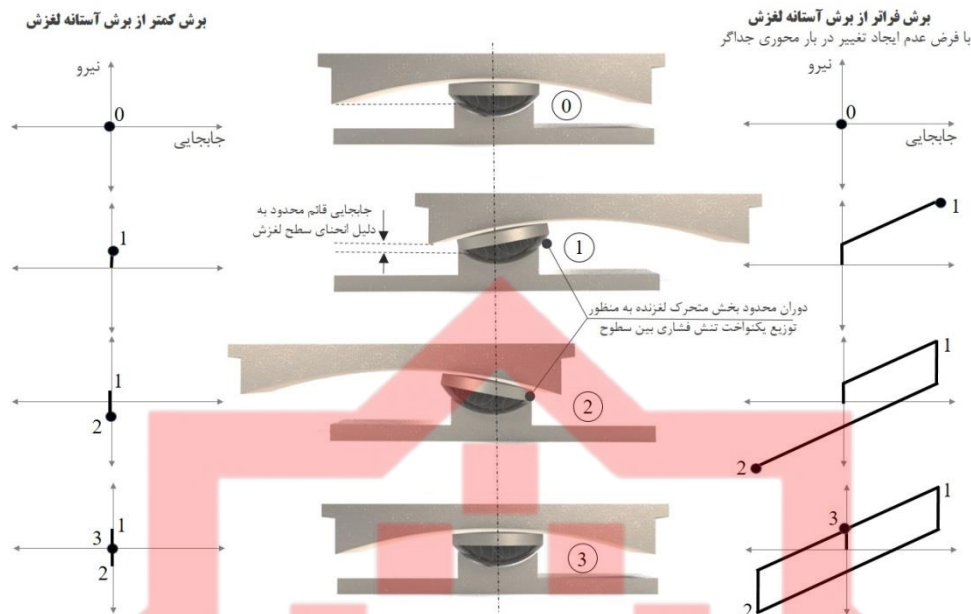
۳-۲-۳ جداگرهای لغزشی تک پاندولی

جداگرهای لغزشی تک پاندولی دارای یک سطح لغزش مقعر می‌باشند که لغزش جداگر، همانند یک پاندول، در یک مسیر منحنی بر روی سطح مقعر صورت می‌پذیرد. نمونه‌ای از جداگرهای لغزشی تک پاندولی در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر است جزئیات نشان داده شده در این شکل تنها یک نمونه از انواع این نوع جداگر را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، ممکن است سطح لغزش مقعر برخلاف جزئیات نشان داده شده در شکل (۳-۱۴)، در قسمت تحتانی جداگر قرار داشته باشد. نمونه‌هایی از رفتار جداگرهای لغزشی در شکل (۳-۱۵) نشان داده شده است. در صورت بروز لغزش در جداگر، به دلیل انحنای سطح لغزش، مقداری جابجایی قائم نیز در سطح لغزش رخ خواهد داد که مقدار آن به شعاع انحنای سطح لغزش و میزان لغزش رخ داده بستگی دارد.



شکل (۳-۱۴). جزئیات نمونه‌ای از نشیمنگاه‌های لغزشی تک پاندولی

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۳-۱۵). نمونه‌ای از رفتار نشیمنگاه لغزشی تک پاندولی تحت یک چرخه رفت و برگشتی با دو نیروی برشی مختلف

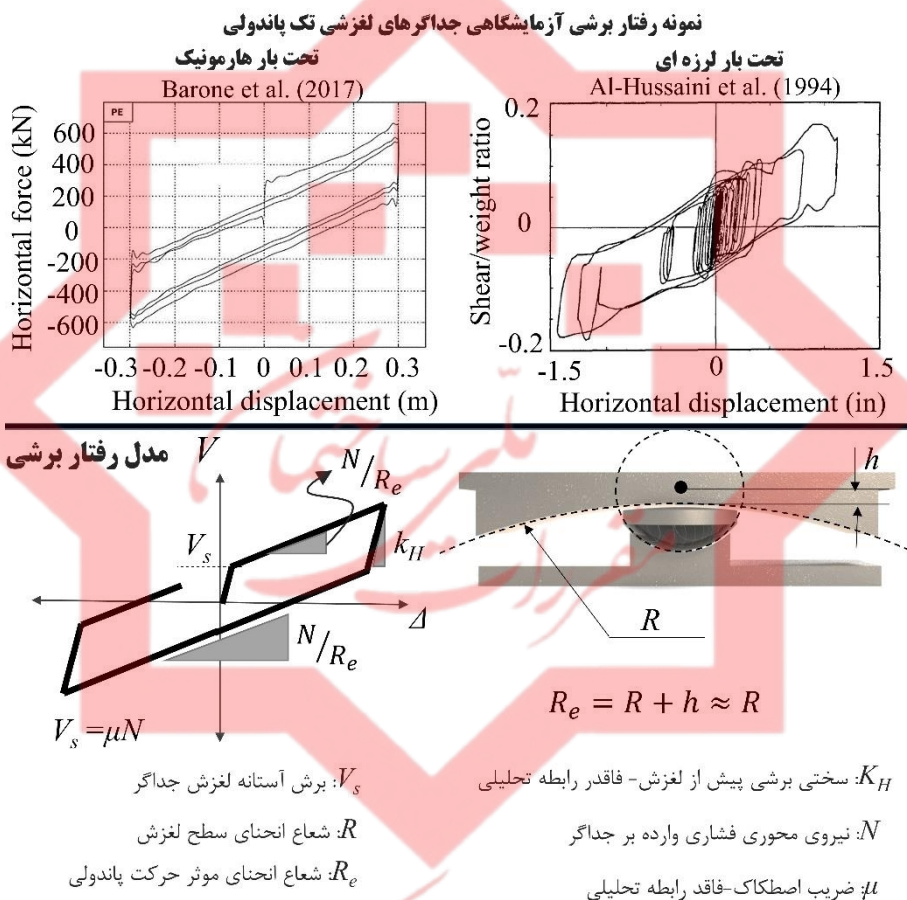
تذکر ۱: علت استفاده از سطح لغزش مقعر، بهبود قابلیت مرکزگرایی در جداگر می‌باشد.

تذکر ۲: سطح لغزش مقعر باعث می‌شود رفتار پس از لغزش جداگر دارای سخت شوندگی باشد که میزان آن به شعاع انحنای سطح لغزش و نیروی محوری فشاری وارده بر جداگر بستگی دارد. با کاهش شعاع انحنا، سختی پس از لغزش افزایش یافته و با افزایش شعاع انحنا سختی پس از لغزش کاهش می‌یابد به طوری که در صورتی که سطح لغزش دارای شعاع انحنای بی‌نهایت باشد (سطح لغزش مسطح)، سختی پس از لغزش صفر شده و رفتار جداگر مشابه رفتار جداگرهای لغزشی مسطح می‌شود.

تذکر ۳: دلیل استفاده از لغزنده به صورت دوتکه در جداگرهای لغزشی آن است که تنش فشاری به طور نسبتاً یکنواخت مابین سطوح لغزش توزیع شود. به بیان دیگر، مطابق شکل (۳-۱۵) دوتکه بودن لغزنده این امکان را برای آن فراهم می‌کند که سطح لغزش خود را متناسب با سطح لغزش اصلی (سطح مقعر) منطبق کرده و از ایجاد تمرکز تنش فشاری مابین سطوح

لغزش جلوگیری شود. تمرکز تنش علاوه بر اینکه می‌توان منجر به بروز آسیب به سطح لغزش شود، به دلیل وابستگی ضریب اصطکاک به فشار، می‌تواند منجر به تغییر ضریب اصطکاک و ایجاد ناپایداری در رفتار جداگر گردد.

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی تک پاندولی به همراه مدل رفتاری آن‌ها در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است.



مدل رفتار محوری ← مشابه نشیمنگاه لغزشی مسطح

شکل (۳-۱۶). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاههای لغزشی تک پاندولی و مدل رفتاری آن‌ها

۳-۳-۳ جداگرهای لغزشی دو پاندولی

جداگرهای لغزشی دو پاندولی مشابه نشیمنگاه‌های لغزشی تک پاندولی هستند با این تفاوت که در آن‌ها از دو سطح لغزش مقعر استفاده شده است. شعاع انحنا و نیز ضریب اصطکاک در دو سطح لغزش می‌تواند با یکدیگر برابر یا متفاوت باشد. جزئیات نمونه‌ای از جداگرهای لغزشی پاندولی دوسطحی در شکل (۳-۱۷) نشان داده شده است. همچنین رفتار چرخه‌ای این نوع از جداگرها در شکل‌های (۳-۱۸) و (۳-۱۹) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۷). جزئیات نمونه‌ای از نشیمنگاه‌های لغزشی دو پاندولی

تذکر ۱: رفتار جداگرهای لغزشی دو پاندولی مشابه رفتار دو جداگر لغزشی تک پاندولی است که به صورت سری با یکدیگر ترکیب شده باشند.

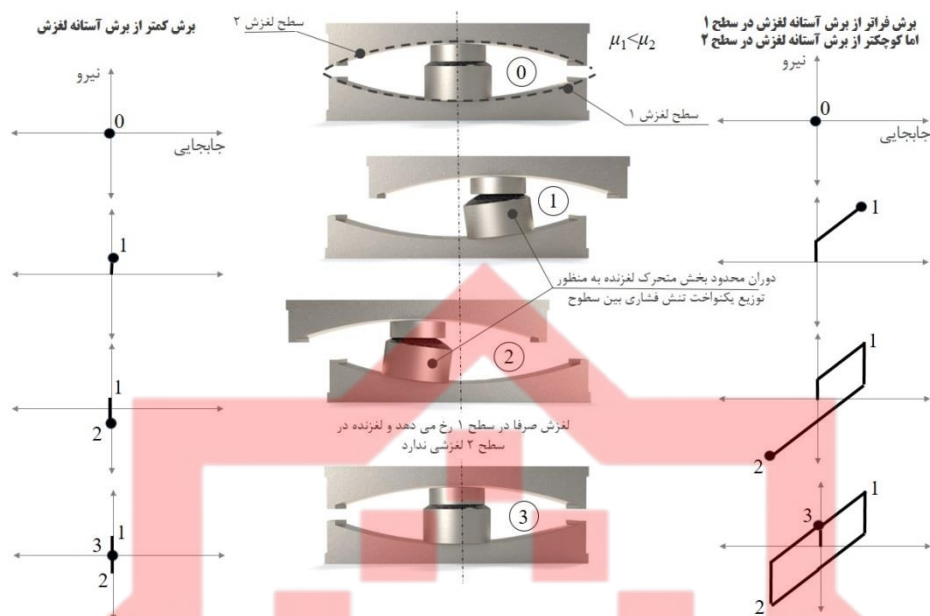
تذکر ۲: یکی از مزیت‌های اصلی که منجر به توسعه جداگرهای لغزشی دو پاندولی شده است، ظرفیت تغییرشکل بالای آن‌ها است. به طوری که در ابعاد یکسان، ظرفیت تغییرشکل در جداگرهای لغزشی دو پاندولی حدود دو برابر مقدار مشابه در جداگرهای لغزشی تک پاندولی است.

تذکر ۳: مزیت دیگر جداگرهای لغزشی دو پاندولی در مقایسه با نوع تک پاندولی، امکان ایجاد دو سختی پس از لغزش می‌باشد (مراجعه به شکل (۳-۱۹)). در این شرایط طراح اختیار بیشتری در خصوص تنظیم رفتار جداگر تحت زلزله‌های با شدت‌های متفاوت خواهد داشت.

تذکر ۴: در صورتی که هر دو سطح لغزش دارای ضریب اصطکاک یکسان باشند، صرف‌نظر از شعاع انحنای دو سطح، رفتار جداگر کاملاً مشابه جداگرهای لغزشی تک پاندولی خواهد بود (Fenz and Constantinou 2006) با این تفاوت که در ابعاد یکسان، ظرفیت تغییرشکل در جداگر دوپاندولی بیشتر از ظرفیت تغییرشکل در جداگر تک پاندولی می‌باشد (حدود دو برابر). در این شرایط انتظار می‌رود لغزش در هر دو سطح فوقانی و تحتانی به شکل تقریباً همزمان رخ دهد. البته میزان لغزش در سطحی که شعاع انحنای بزرگتری دارد (مسطح تر است)، نسبت به سطح دیگر بیشتر خواهد بود.

تذکر ۵: صرفاً در صورتی که شعاع انحنای سطوح لغزش و ضریب اصطکاک آن‌ها یکسان باشد، برخی از سازندگان از لغزنده‌های یک تکه نیز استفاده می‌کنند چراکه در این صورت از نظر تئوری می‌توان نشان داد که دورانی در لغزنده رخ نخواهد داد (Fenz and Constantinou 2006). با این وجود با توجه به عدم قطعیت موجود در ضرایب اصطکاک و نیز احتمال بروز دوران محدود در نشیمنگاه، حتی در چنین شرایطی استفاده از لغزنده دو تکه نسبت به لغزنده یک تکه ارجحیت داشته و از بروز تمرکز تنش فشاری و ایجاد سایش در سطوح لغزش جلوگیری می‌کند.

تذکر ۶: در صورتی که تغییرشکل ماندگار در جداگرهای لغزشی دو پاندولی صفر باشد (صفحه اتصال فوقانی و تحتانی در یک راستا باشند)، مطابق شکل (۳-۱۹) این امکان وجود دارد که لغزنده دو تکه دارای تغییرشکل ماندگار غیر صفر بوده و لغزش ماندگاری در سطوح لغزش باقی بماند (با مقدار یکسان و علامت مخالف در هر سطح لغزش). تنها در صورتی که شعاع انحنا و ضریب اصطکاک هر دو سطح لغزش با هم برابر باشند، لغزش لغزنده با تغییرشکل جداگر هم فاز شده و در صورتی که تغییرشکل ماندگار جداگر صفر باشد، تغییرشکل ماندگار لغزنده نیز صفر خواهد بود.



شکل (۳-۱۸). نمونه‌ای از رفتار نشیمنگاه لغزشی دو پاندولی تحت یک چرخه رفت و برگشتی با دو نیروی برشی مختلف که از برش آستانه لغزش در یکی از سطوح کوچکتر باشد (لغزش تنها در یکی از سطوح رخ می‌دهد)

تغییر شکل غیر صفر در سطوح لغزش

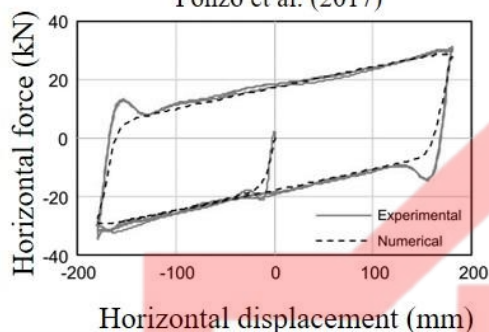
۵ ۴ ۳

۱۹۳۱) زمین‌لرزه در شمال شرقی ایران

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی دو پاندولی تحت بار هارمونیک

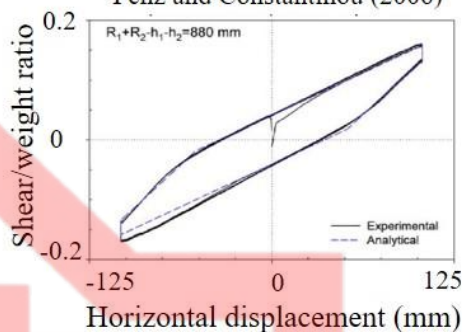
شعاع انحنا و ضریب اصطکاک یکسان در هر دو سطح لغزش

Ponzo et al. (2017)

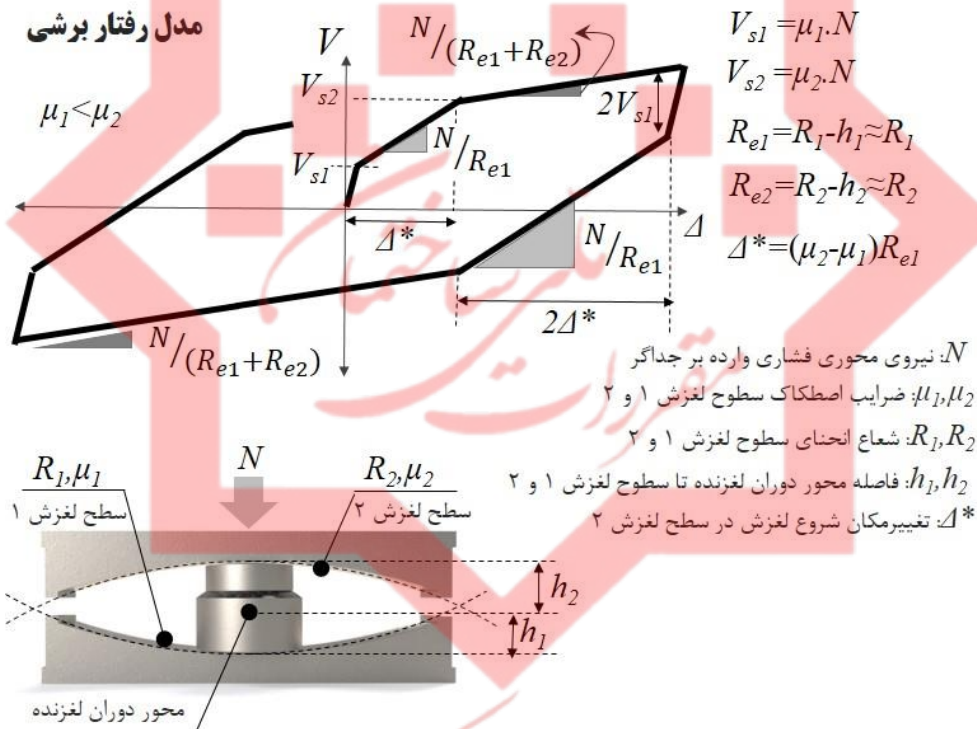


شعاع انحنا یکسان و ضریب اصطکاک غیر یکسان در سطوح لغزش

Fenz and Constantinou (2006)



مدل رفتار برشی



N : نیروی محوری فشاری وارده بر جداگر
 μ_1, μ_2 : ضرایب اصطکاک سطوح لغزش ۱ و ۲
 R_1, R_2 : شعاع انحناهای سطوح لغزش ۱ و ۲
 h_1, h_2 : فاصله محور دوران لغزنده تا سطوح لغزش ۱ و ۲
 Δ^* : تغییر مکان شروع لغزش در سطح لغزش ۲

مدل رفتار محوری • ← مشابه نشیمنگاه لغزشی مسطح

شکل (۳-۲۰). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاههای لغزشی دو پاندولی و مدل رفتاری آنها

نمونه‌ای از رفتار آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی دو پاندولی به همراه مدل رفتاری آن‌ها در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است. روابط ارائه شده در شکل (۳-۲۰) مطابق روابط ارائه شده توسط Fenz and Constantinou (2006) می‌باشند. همانطور که اشاره شد، رفتار این نوع از جداگرها بسته به ضریب اصطکاک سطوح لغزش و نیز میزان لغزش رخ داده در جداگر می‌تواند دارای یک یا دو سختی پس از لغزش باشد. لازم به ذکر است که روابط ارائه شده در شکل (۳-۲۰) تقریبی بوده و در طراحی نهایی سازه، همواره باید مشخصات جداگر براساس نتایج آزمایشگاهی تعیین شوند.

۳-۳-۴ جداگرهای لغزشی سه پاندولی

جداگرهای لغزشی سه پاندولی شامل سه مکانیزم پاندولی هستند که مطابق شکل (۳-۲۱) متشکل از دو سطح لغزش بیرونی (فوقانی و تحتانی)، دو سطح لغزش داخلی (فوقانی و تحتانی) و یک لغزنده یک تکه می‌باشند که در مجموع چهار سطح لغزش مقعر را تشکیل می‌دهند. رفتار جداگرهای لغزشی سه پاندولی به شکل چندسطحی بوده و بسته به جزئیات جداگر و مقدار لغزش رخ داده در آن، رفتار چرخه‌ای می‌تواند اشکال مختلفی داشته باشد. شکل‌های (۳-۲۲) و (۳-۲۳) رفتار چرخه‌ای در جداگرهای لغزشی سه پاندولی متداول را نشان می‌دهند. جزئیات رفتار جداگرهای لغزشی سه پاندولی توسط Fenz and Constantinou (2008 a) ارائه شده است.

تذکره ۱: جداگرهای لغزشی سه پاندولی برای رسیدن به رفتاری انطباق پذیر توسعه یافته‌اند. بدین معنی که مشخصات جداگر می‌تواند به نحوی طراحی و تنظیم شود که در زلزله‌های با شدت‌های متفاوت رفتار متفاوتی از خود نشان دهند.

تذکره ۲: معمولاً جداگرهای لغزشی سه پاندولی به نحوی طراحی و ساخته می‌شوند که تحت بارهای جانبی خفیف (زلزله سطح سرویس و باد) سختی برشی نسبتاً زیادی داشته باشند. در تحریکات شدیدتر (زلزله سطح ۱ یا ۲) رفتاری نرم شوند با سختی کمتر و استهلاک انرژی بیشتر فراهم کنند. در نهایت تحت تحریکات بسیار شدید (زلزله‌های شدیدتر از سطح ۲) مجدداً

رفتاری سخت شونده با سختی نسبتاً بالا از خود نشان دهند تا بدین ترتیب احتمال وقوع تغییرشکل‌هایی فراتر از ظرفیت تغییرشکلی جداگر کاهش یابد.

تذکر ۳: به طور معمول شعاع انحنا و ضریب اصطکاک در هر دو سطح لغزش داخلی یکسان بوده بنابراین استفاده از لغزنده یک تکه سبب تمرکز تنش فشاری و ایجاد سایش در سطوح لغزش داخلی نمی‌شود. ضرایب اصطکاک و شعاع انحنا در سطوح لغزش بیرونی می‌تواند متفاوت باشد.

تذکر ۴: شکل‌های (۲۲-۳) و (۲۳-۳) رفتار جداگری را نشان می‌دهند که دارای رفتار ۵ مرحله‌ای است به طوری که ۳ مرحله اول در شکل (۲۲-۳) و ۲ مرحله نهایی در شکل (۲۳-۳) نشان داده شده است. این امکان وجود دارد که جداگرهای لغزشی سه پاندولی دارای رفتاری متفاوت با آنچه در شکل‌های (۲۲-۳) و (۲۳-۳) نشان داده شده است، نیز باشند.



شکل (۲۱-۳). جزئیات نمونه‌ای از نشیمنگاه‌های لغزشی سه پاندولی

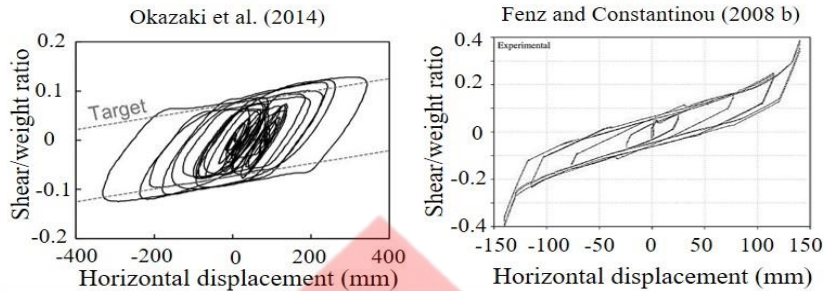
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

با سه شدت مختلف-عدم برخورد لغزنده به لبه سطوح لغزش

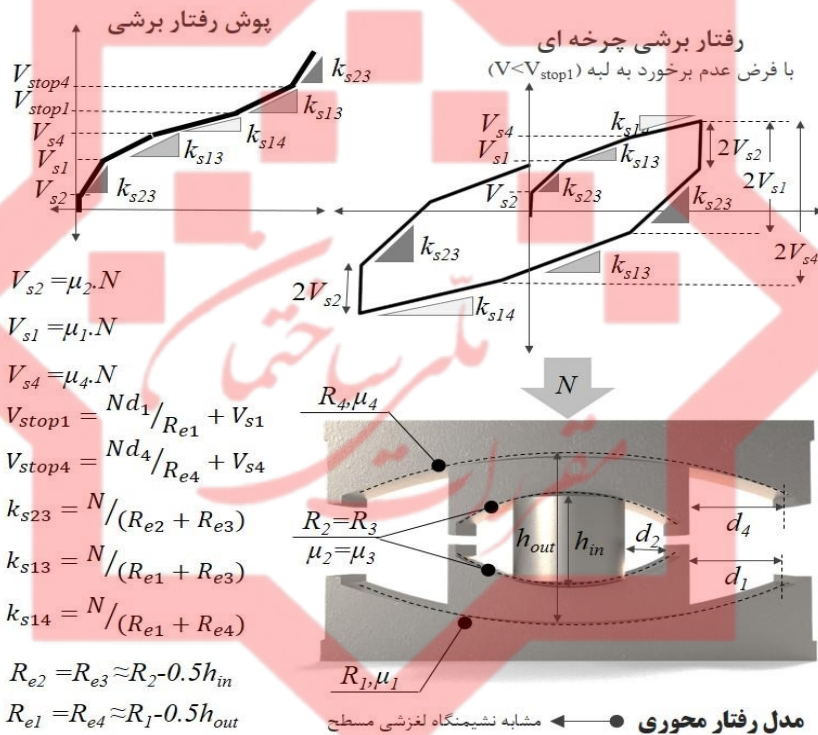


شکل (۳-۲۳). نمونه‌ای از رفتار نشیمنگاه لغزشی سه پاندولی تحت یک چرخه رفت و برگشتی با دو شدت مختلف-برخورد لغزنده‌ها به لبه سطوح لغزش

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی سه پاندولی تحت بار هارمونیک



فرضیات: $d_3 > (\mu_4 - \mu_3)R_{e3}$, $d_2 > (\mu_1 - \mu_2)R_{e2}$, $\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 < \mu_4$, $R_{e2} = R_{e3} < R_{e1} = R_{e4}$



شکل (۳-۲۴). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لغزشی سه پاندولی و مدل رفتاری آن‌ها

در شکل (۳-۲۴) نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی سه پاندولی به همراه مدل رفتاری آن‌ها نشان داده شده است. مدل رفتاری شکل (۳-۲۴) مطابق با مدل ارائه شده توسط

(Fenz and Constantinou 2008) می‌باشد. لازم به ذکر است به دلیل قابلیت تنظیم‌شوندگی جداگرهای لغزشی سه پاندولی، دستیابی به رفتارهای دیگری به جز آنچه در شکل (۳-۲۴) ارائه شده است نیز امکان پذیر است.

۳-۵- شبیه‌سازی جداگرهای لغزشی

مطابق جداگرهای لاستیکی، جداگرهای لغزشی نیز دارای یک رفتار محوری و دو رفتار برشی در دو امتداد متعامد هستند که این دو رفتار برشی بر یکدیگر تاثیر دارند. همچنین همانند جداگرهای لاستیکی، جداگرهای لغزشی نیز معمولاً با فنرهایی با رفتار غیرخطی شبیه سازی می‌شوند (مطابق آنچه در شکل (۳-۹) نشان داده شده است). تفاوت اصلی در شبیه سازی جداگرهای لغزشی و جداگرهای لاستیکی در آن است که در جداگرهای لغزشی به دلیل وابستگی شدید رفتار برشی به مقدار نیروی فشاری وارد به سطوح لغزش، لازم است اثر نیروی محوری به صورت صریح در رفتار برشی جداگر لحاظ شود. همچنین معمولاً جداگرهای لغزشی فاقد مکانیزم مقید کننده در برابر بلندشدگی هستند، بنابراین در صورتی که جداگر تحت نیروی محوری کششی قرار گیرد نه تنها مقاومت و سختی محوری، بلکه مقاومت و سختی برشی آن نیز در هر دو امتداد صفر خواهد شد. این شرایط معمولاً در کسری از ثانیه رخ داده و هنگامی که مجدداً سطوح لغزش به یکدیگر فشرده شوند، جداگر مجدداً به شکل عادی رفتار خواهد داشت. بنابراین بروز بلندشدگی محدود در جداگر لغزشی لزوماً اثر مخربی در عملکرد جداگر نخواهد داشت.

برای شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی المان‌های مختلفی در نرم افزارهای محاسباتی در نظر گرفته شده است که قادرند رفتار کلیه جداگرهای لغزشی معرفی شده در این ضابطه را شبیه سازی کنند. برای این منظور می‌توان به صورت زیر عمل نمود:

- در خصوص شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی مسطح معمولاً المان مجزایی در نرم افزارها وجود نداشته و از المان مخصوص جداگرهای لغزشی تک پاندولی استفاده می‌شود. کمیت‌های این المان شامل ضریب اصطکاک (μ)، سختی محوری (K_v)، سختی برشی قبل از شروع لغزش (K_H) و شعاع انحنای موثر (R_e) می‌باشد که در

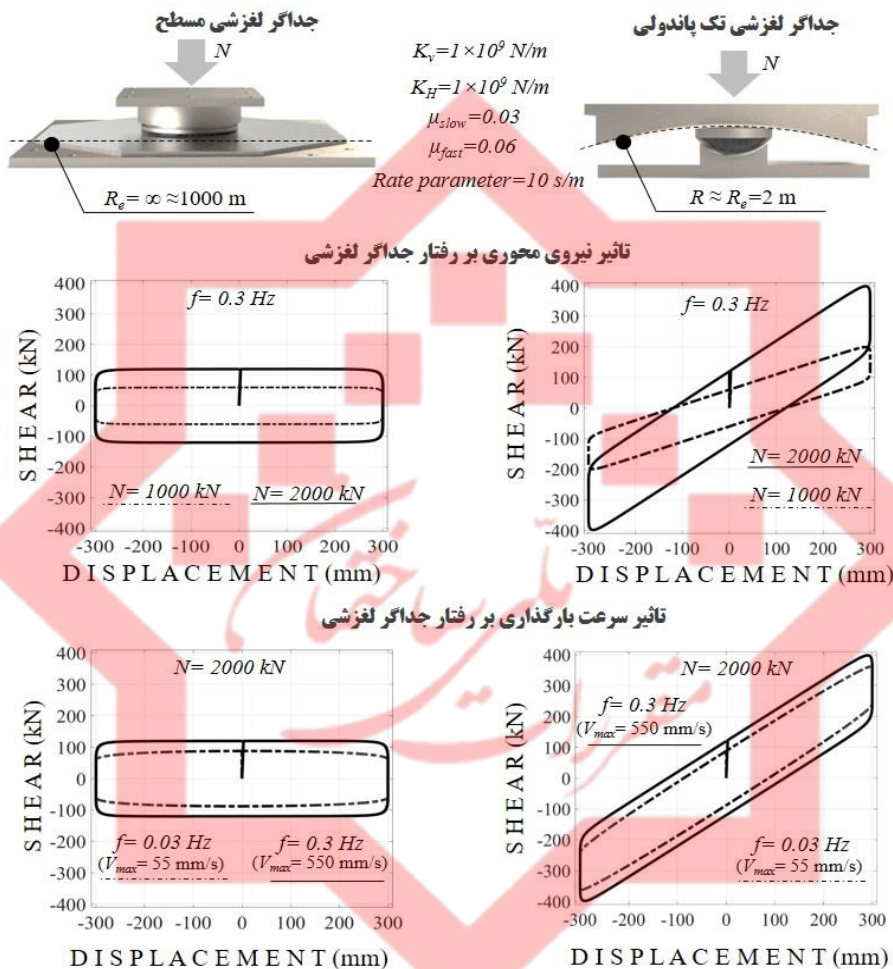
صورت استفاده جداگرهای لغزشی مسطح، مقدار شعاع انحنای موثر برابر مقداری بسیار بزرگ تعریف می‌شود. نمونه‌ای از شبیه سازی جداگرهای لغزشی مسطح در شکل (۳-۲۵) نشان داده شده است.

■ در خصوص شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی تک پاندولی المانی مخصوصی در نرم افزارها وجود دارد که کمیت‌های آن شامل ضریب اصطکاک (μ)، سختی محوری (K_v)، سختی برشی قبل از شروع لغزش (K_H) و شعاع انحنای موثر (R_e) می‌باشد. نمونه‌ای از شبیه سازی جداگرهای لغزشی تک پاندولی در شکل (۳-۲۵) نشان داده شده است.

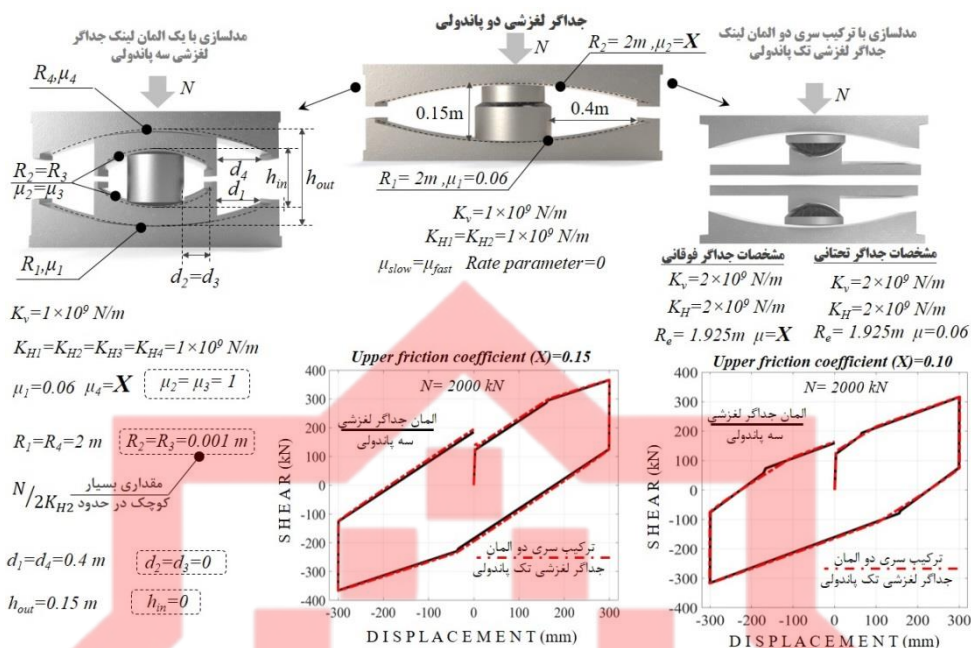
■ در خصوص شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی دو پاندولی در برخی از نرم افزارها المان مجزایی وجود نداشته و در این شرایط معمولاً از المان مخصوص جداگرهای لغزشی سه پاندولی استفاده می‌شود. کمیت‌های ورودی در این مدل برای هر یک از سطوح لغزش شامل سختی برشی پیش از لغزش (K_{Hi})، ضریب اصطکاک (μ_i)، شعاع انحنا سطح لغزش (R_i)، ارتفاع سطح لغزش داخلی و بیرونی (h_{in} , h_{out}) (برای محاسبه شعاع انحنای موثر) و فاصله لغزنده نسبت به لبه سطح لغزش (d_i) می‌باشد. علاوه بر آن سختی محوری جداگر نیز لازم است تعریف شود. برای جداگرهای لغزشی دو پاندولی می‌توان مشخصات سطوح لغزش داخلی را به نحوی تعریف نمود که لغزشی در آن رخ نداده (شعاع انحنای بسیار کوچک و ضریب اصطکاک بسیار بالا) و لغزش صرفاً در دو سطح بیرونی رخ دهد. روش دیگری که می‌توان به منظور شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی دو پاندولی استفاده نمود، مدل سازی جداگر با ترکیب سری دو جداگر لغزشی تک پاندولی می‌باشد. نمونه‌ای از نتایج بدست آمده از هر دو روش مذکور، در شکل (۳-۲۶) نشان داده شده است.

■ در خصوص شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی سه پاندولی، المان مخصوصی معمولاً در نرم افزارها وجود دارد. کمیت‌های ورودی در این مدل برای هر یک از سطوح لغزش شامل سختی برشی پیش از لغزش (K_{Hi})، ضریب اصطکاک (μ_i)، شعاع انحنا سطح لغزش (R_i)، ارتفاع سطح لغزش داخلی و بیرونی (h_{in} , h_{out}) (برای محاسبه شعاع انحنای موثر) و فاصله لغزنده نسبت به لبه سطح لغزش (d_i) می‌باشد. علاوه بر آن سختی

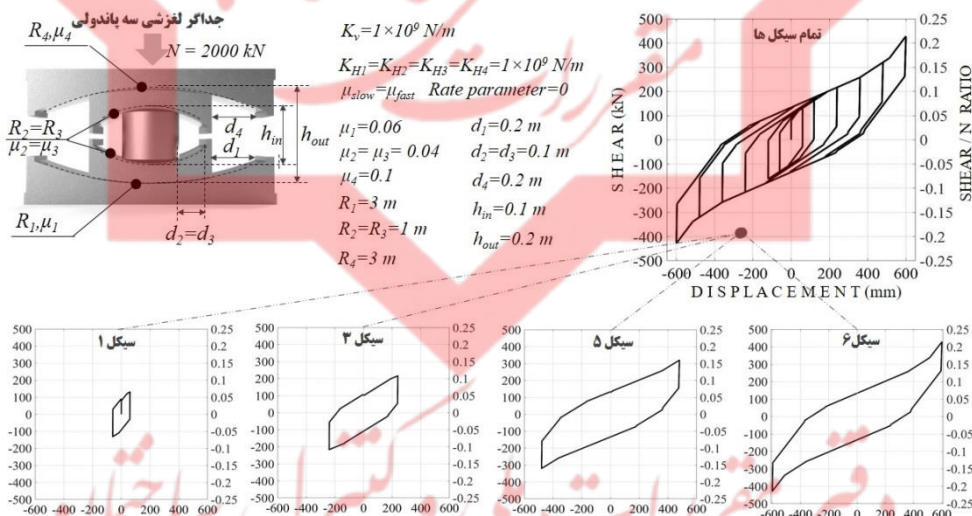
محوری جداگر نیز لازم است تعریف شود. نمونه‌ای از نتایج بدست آمده برای این نوع جداگر در شکل (۳-۲۷) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۵). شبیه‌سازی رفتار جداگرهای لغزشی مسطح و تک پاندولی با استفاده از المان لینک مخصوص جداگرهای تک پاندولی (مقادیر استفاده شده برای کمیت‌های مدل صرفاً به منظور نمایش رفتار مدل هستند)



شکل (۳-۲۶). نمونه‌ای از شبیه‌سازی رفتار جداگرهای لغزشی دو پاندولی با استفاده از دو روش مختلف



شکل (۳-۲۷). نمونه‌ای از شبیه‌سازی رفتار جداگرهای لغزشی سه پاندولی

تذکر: در بسیاری از نرم افزارها تغییرات ضریب اصطکاک با سرعت لغزش به شکل صریح در مدل در نظر گرفته شده و لازم است دو مقدار ضریب اصطکاک متناظر با سرعت لغزش پایین و بالا به نرم افزار تعریف شود. علاوه بر آن، یک کمیت سرعت نیز (بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی) لازم است تعریف شود تا به کمک آن ضریب اصطکاک بین دو حد تعریف شده فوق تغییر کند.

۳-۳-۲ وابستگی در جداگرهای لغزشی

۳-۳-۲-۱ تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی

جداگرهای لغزشی حساسیت شدیدی به تعداد چرخه رفت و برگشتی نداشته و پس از زلزله با سطح خطر ۱ یا ۲، در صورت طراحی صحیح، معمولاً نیازی به تعویض جداگر نخواهد بود. با این وجود، ضریب اصطکاک سطوح لغزش به دما حساس بوده و با افزایش دما معمولاً ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. از آنجایی که انرژی مستهلک شده توسط عملکرد اصطکاکی جداگر لغزشی به حرارت تبدیل می‌شود (پدیده خودگرمایی)، بنابراین انتظار می‌رود در تعداد چرخه‌های بالا نیروی متناظر با لغزش جداگر کاهش یابد. این اثر ماندگار نبوده و با خنک شدن، جداگر مجدداً به مشخصات اولیه خود باز می‌گردد.

۳-۳-۲-۲ دمای محیط

ضریب اصطکاک سطوح لغزش معمولاً نسبت به دمای محیط مقداری حساسیت داشته به طوری که مقدار ضریب اصطکاک معمولاً با افزایش دما، کاهش می‌یابد.

۳-۳-۲-۳ فرکانس تحریک

مقدار ضریب اصطکاک سطوح لغزش تابعی از سرعت لغزش بوده بنابراین به فرکانس تحریک نیز وابسته می‌باشد. بسته به نوع مواد مصرفی در لغزنده، مقدار ضریب اصطکاک می‌تواند در اثر افزایش سرعت، افزایش یا کاهش یابد. معمولاً در لغزنده‌های با پوشش PTFE با افزایش سرعت، ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد و از سرعت مشخصی به بعد، ضریب اصطکاک تقریباً ثابت

خواهد ماند. بنابراین در بسیاری از مدل‌های عددی جداگرهای لغزشی، لازم است دو ضریب اصطکاک متناظر با سرعت پایین و سرعت بالا تعریف شود.

۳-۶-۴ عملکرد دراز مدت

در شرایطی که از سطوح لغزش محافظت شود، گذشت زمان تاثیر چندانی در عملکرد جداگرهای لغزشی ندارد.

۳-۷-۳ مزایا و محدودیت‌های جداگرهای لغزشی

کلیه جداگرهای لغزشی دارای یک مزیت مشترک و چند محدودیت مشترک هستند.

مزیت مشترک تمام جداگرهای لغزشی:

کلیه جداگرهای لغزشی دارای قابلیت ضد پیچشی هستند. بدین معنی که در صورت وقوع لغزش در جداگر، سختی موثر جانبی در آن‌ها تابعی از نیروی محوری وارده بوده و با توجه به اینکه بخش اعظم نیروی محوری وارده بر جداگر ناشی از بار ثقلی ساختمان است، بنابراین مرکز سختی در سیستم جداسازی انطباق بسیار خوبی با مرکز جرم ساختمان پیدا کرده و این امر تا حد بسیاری پیچش ساختمان را کاهش می‌دهد.

محدودیت‌های مشترک تمام جداگرهای لغزشی:

از جمله محدودیت‌های مشترک تمام جداگرهای لغزشی (به جز جداگرهای لغزشی سطح الاستیک) آن است که اثر جداسازی صرفاً پس از وقوع لغزش در جداگر خود را نشان می‌دهد. بنابراین در صورتی که زلزله شدت کمی داشته و یا به دلیل محتوای فرکانسی، عمدتاً مدهای بالاتر سازه تحریک شوند، ممکن است برش پای سازه برای ایجاد لغزش در جداگرهای سیستم جداساز کافی نبوده و ساختمان همانند یک ساختمان با پایه ثابت عمل نماید. محدودیت مشترک دیگری که در جداگرهای لغزشی وجود دارد، وابستگی شدید رفتار جداگر به مقدار بار محوری وارده بر آن می‌باشد. در حین زلزله به دلیل لنگر واژگونی سازه و نیز مولفه قائم زلزله، نیروی محوری وارده بر جداگر تغییر می‌کند، بنابراین سختی جانبی موثر جداگر مقدار ثابتی نداشته و در حین زلزله می‌تواند متغیر باشد. به بیان دیگر، قابلیت جداسازی ساختمان می‌تواند

به مولفه قائم زلزله بستگی داشته و پاسخ‌های جانبی سازه (دریفت طبقات، شتاب طبقات) علاوه بر مولفه‌های افقی، با مولفه قائم زلزله نیز وابسته باشند. دیگر محدودیت مشترک در جداگرهای لغزشی، عدم قطعیت در مقدار ضریب اصطکاک می‌باشد که به عواملی از جمله سرعت بارگذاری، مقدار تنش فشاری بین سطوح لغزش و دمای محیط حساسیت دارد. لازم به ذکر است که پدیده شکست اصطکاک که در ابتدای شروع لغزش جداگر و نیز در هنگام تغییر جهت حرکت جداگر می‌تواند ایجاد شود از جمله دیگر محدودیت‌های مشترک در جداگرهای لغزشی است که می‌تواند تاثیر جداسازی جداگر را کاهش دهد.

سایر مزایا و محدودیت‌های هر یک از جداگرهای لغزشی معرفی شده در این ضابطه به شرح زیر می‌باشد.

مزیت جداگرهای لغزشی مسطح:

- علاوه بر مزیت مشترک ذکر شده برای تمام جداگرهای لغزشی، به دلیل عدم وجود سختی جانبی پس از لغزش، این نوع جداگر نسبت به سایر جداگرهای لغزشی کمترین سختی جانبی موثر را داشته و بهترین جداسازی را می‌توانند فراهم کنند.

محدودیت جداگرهای لغزشی مسطح:

- علاوه بر محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی، این نوع جداگر به علت سطح لغزش مسطح، فاقد قابلیت مرکزگرایی بوده و لازم است حتماً در ترکیب با یکی از انواع جداگرهای الاستومری در سیستم جداساز استفاده شود.

مزیت جداگرهای لغزشی تک پاندولی:

- علاوه بر مزیت مشترک ذکر شده برای تمام جداگرهای لغزشی، به علت سطح لغزش مقعر، این نوع جداگر قابلیت مرکزگرایی مناسبی داشته و می‌تواند به تنهایی در سیستم جداسازی سازه استفاده شود.

محدودیت جداگرهای لغزشی تک پاندولی:

- علاوه بر محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی، امکان ترکیب جداگرهای لغزشی تک پاندولی با سایر جداگرها وجود ندارد. علت این مسئله، تغییرشکل‌های قائم رخ داده در جداگر لغزشی تک پاندولی و عدم انطباق آن با سایر جداگرها می‌باشد.

مزایای جداگرهای لغزشی دو پاندولی:

- علاوه بر مزیت مشترک ذکر شده برای تمام جداگرهای لغزشی، به علت تقعر سطوح لغزش، این نوع جداگر قابلیت مرکزگرایی مناسبی داشته و می‌تواند به تنهایی در سیستم جداسازی سازه استفاده شود.
- با توجه به وقوع لغزش در دو سطح، در مقایسه با جداگرهای تک پاندولی با ابعاد یکسان، دارای ظرفیت تغییرشکل بسیار بیشتری هستند.

محدودیت جداگرهای لغزشی دو پاندولی:

- علاوه بر محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی، امکان ترکیب جداگرهای لغزشی دو پاندولی با سایر جداگرها وجود ندارد. علت این مسئله، تغییرشکل‌های قائم رخ داده در جداگر لغزشی دو پاندولی و عدم انطباق آن با سایر جداگرها می‌باشد.

مزایای جداگرهای لغزشی سه پاندولی:

- علاوه بر مزیت مشترک ذکر شده برای تمام جداگرهای لغزشی، به علت تقعر سطوح لغزش، این نوع جداگر قابلیت مرکزگرایی مناسبی داشته و می‌تواند به تنهایی در سیستم جداسازی سازه استفاده شود.
- با توجه به وقوع لغزش در چهار سطح، در مقایسه با جداگرهای تک پاندولی با ابعاد یکسان، دارای ظرفیت تغییرشکل بسیار بیشتری هستند. در مقایسه با جداگرهای دو پاندولی با ابعاد یکسان نیز مقداری ظرفیت تغییرشکل بزرگتری دارند.

- این نوع جداگر دارای رفتاری تنظیم شونده و چند سطحی می‌باشد به طوری که می‌تواند در زلزله‌های با شدت‌های متفاوت، رفتارهای متفاوتی از خود نشان دهد.

محدودیت جداگرهای لغزشی سه پاندولی:

- علاوه بر محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی، امکان ترکیب جداگرهای لغزشی سه پاندولی با سایر جداگرها وجود ندارد. علت این مسئله، تغییرشکل‌های قائم رخ داده در جداگر لغزشی دو پاندولی و عدم انطباق آن با سایر جداگرها می‌باشد.

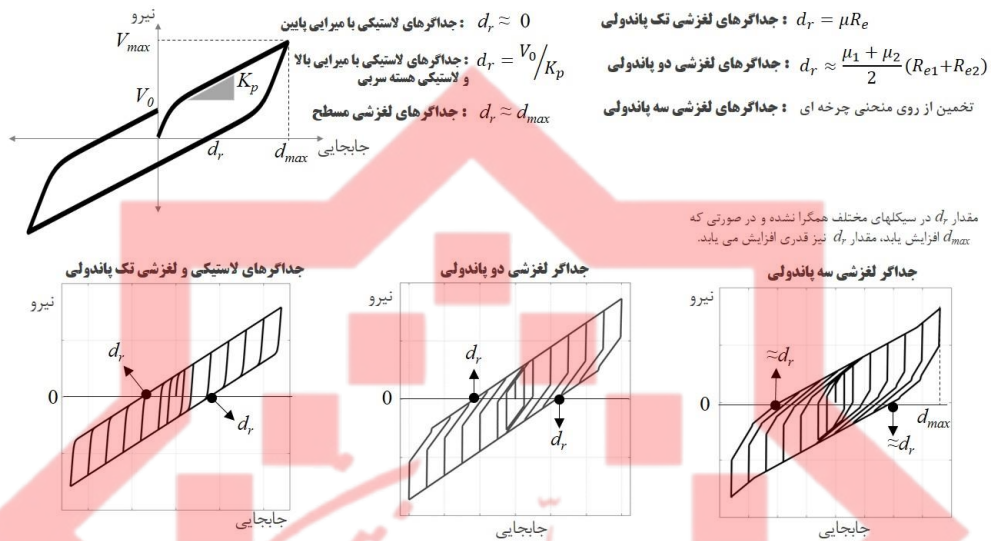
۳-۴ مرکزگرایی در سیستم جداساز لرزه‌ای

قابلیت مرکزگرایی یکی از الزامات اصلی در سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای می‌باشد. تغییرشکل ماندگار در جداگرهای لرزه‌ای نه تنها به مشخصات رفتاری جداگر، بلکه به مشخصات زلزله نیز بستگی داشته و اساساً تخمین دقیق آن صرفاً با انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی میسر است. با این وجود براساس مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی صورت گرفته (Katsaras et al. 2008 و Ponzo et al. 2017)، نشان داده شده است در صورتی که نسبت تغییرشکل حداکثر جداگر (d_{max}) به حداکثر تغییرشکل ماندگار استاتیکی (d_r) بزرگتر از ۰/۵ باشد، تغییرشکل ماندگار (d_{res}) کوچکی در جداگر پس از زلزله باقی خواهد ماند که مقدار آن در ۸۰٪ مواقع کمتر از ۱۰٪ تغییرشکل حداکثر جداگر خواهد بود (Katsaras et al. 2008). کمیت d_r (حداکثر تغییرشکل ماندگار استاتیکی جداگر) در شکل (۳-۲۸) معرفی شده است.

تذکره ۱: مقدار تغییرشکل حداکثر جداگر (d_{max}) به مشخصات جداگر و مشخصات زلزله وارده بستگی دارد و برای تخمین آن می‌توان از روش‌های ارائه شده در فصل ۵ استفاده نمود.

تذکره ۲: مقدار حداکثر تغییرشکل ماندگار استاتیکی (d_r) مطابق شکل (۳-۲۸) برابر حداکثر تغییرشکل جداگر در لحظه‌ای است که برش ایجاد شده در جداگر در مرحله باربرداری به صفر رسیده و تغییر جهت می‌دهد. لازم به ذکر است در چرخه‌های شدیدتر با دامنه بزرگتر نیز تغییری در مقدار d_r رخ نداده و این کمیت به مقدار مشخصی همگرا می‌شود (به جز در

جداگرهای لغزشی (سطح). مقدار تغییرشکل ماندگار جداگر در حین یک زلزله تحت هیچ شرایطی نمی‌تواند از مقدار d_r بیشتر شود و در اغلب موارد به طور قابل توجهی کوچکتر از d_r خواهد بود.



شکل (۳-۲۸). نحوه تخمین مقدار حداکثر جایجایی ماندگار استاتیکی در جداگرهای مختلف

تذکره ۳: در جداگرهای لغزشی سه پاندولی به علت رفتار چند سطحی، سرعت همگرایی کمیت d_r در چرخه‌های مختلف پایین بوده و معمولاً پس از برخورد لغزنده‌ها به لبه‌های سطوح لغزش همگرا می‌شود. با توجه به اینکه در زلزله طرح جداگر به نحوی طراحی می‌شود که برخوردی بین لغزنده و لبه سطوح لغزش رخ ندهد، بنابراین بهتر است تخمین کمیت d_r بر اساس رفتار چرخه‌ای جداگر انجام شود که در این صورت مقدار آن وابسته به مقدار تغییرشکل حداکثر جداگر بوده و با افزایش تغییرشکل حداکثر جداگر، مقدار d_r نیز افزایش می‌یابد. این شرایط می‌تواند منجر به کاهش قابلیت مرکزگرایی و افزایش تغییرشکل ماندگار در جداگرهای لغزشی سه پاندولی گردد.

تذکره ۴: به طور کلی با افزایش سختی پس از تسلیم (پس از لغزش) در سیستم جداساز، مقدار d_r و متعاقباً مقدار تغییرشکل ماندگار در سیستم جداساز کاهش می‌یابد. با این وجود افزایش

سختی پس از تسلیم از قابلیت جداسازی جداگرها می‌کاهد. بنابراین لازم است بین قابلیت مرکزگرایی و قابلیت جداسازی در سیستم جداساز لرزه‌ای تعادل برقرار شود.

تذکره ۵: قابلیت مرکزگرایی سیستم جداساز، از قابلیت مرکزگرایی هر یک از جداگرها (نشیمنگاه‌ها) به صورت انفرادی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. بنابراین در یک سیستم جداساز می‌توان از جداگرهای با قابلیت مرکزگرایی پایین استفاده نمود به شرطی که این جداگرها با جداگرهایی با قابلیت مرکزگرایی بالا ترکیب شوند به طوری که رفتار کلی سیستم جداساز (ترکیب موازی کلیه اجزای سیستم جداساز) شرایط بند ۳-۴ را تامین نماید. به عبارت دیگر رفتار نشان داده شده در شکل (۳-۲۸) علاوه بر آنکه ممکن است مربوط به یکی از جداگرها به صورت انفرادی باشد، می‌تواند مربوط به ترکیب موازی کلیه اجزای سیستم جداساز لرزه‌ای (تمام نشیمنگاه‌ها و میراگرهای استفاده شده در سیستم جداساز) باشد.

۳-۵ میراگرهای سیستم جداساز لرزه‌ای

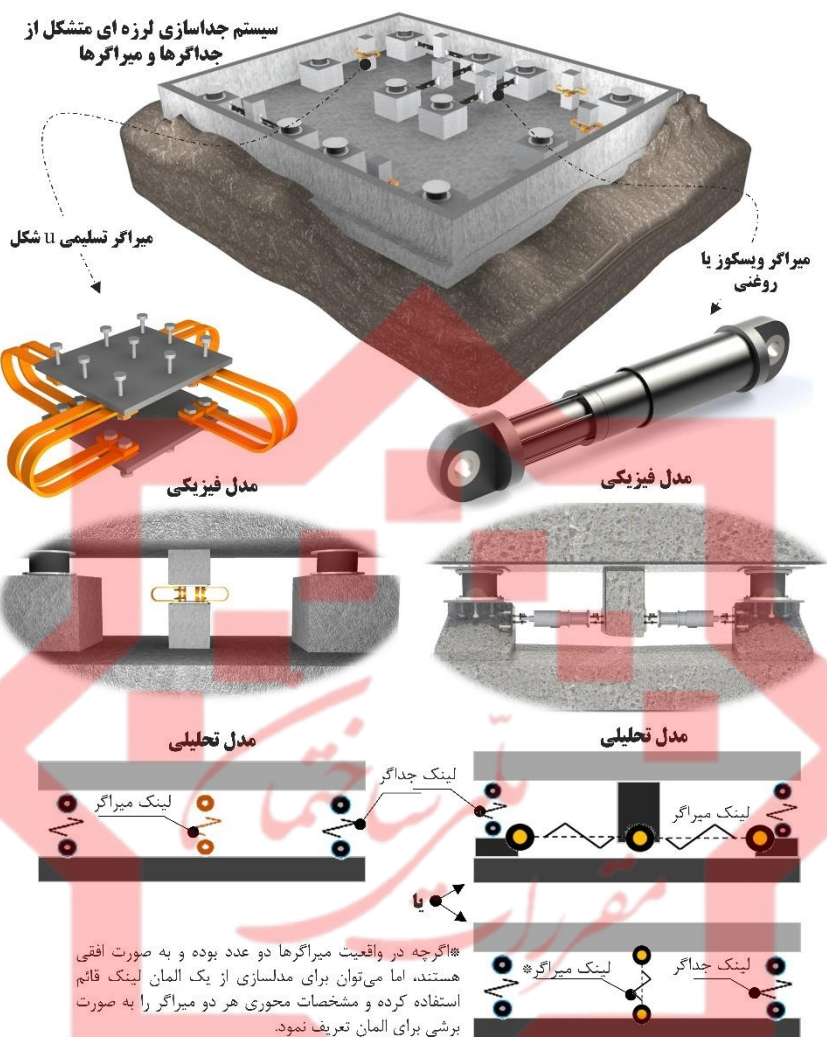
در سیستم جداساز لرزه‌ای ممکن است علاوه بر جداگرهای لرزه‌ای (نشیمنگاه‌های لرزه‌ای) از میراگرها نیز به منظور بهبود قابلیت استهلاک انرژی سیستم جداساز استفاده شود. میراگرهای مورد استفاده در سیستم جداساز لازم است اولاً حتی الامکان دارای سختی کوچکی باشند و ثانیاً ظرفیت تغییرشکل بالایی داشته باشند. متداول‌ترین میراگرها در سیستم‌های جداساز، میراگرهای ویسکوز، میراگرهای روغنی و میراگرهای تسلیمی (فولادی و سربی) هستند. دو میراگر اول هر دو قابلیت مذکور برای میراگرها را در سیستم جداسازی برآورده می‌کنند. لیکن میراگرهای تسلیمی مقداری سختی جانبی سیستم جداساز را افزایش داده و علاوه بر آن اندکی تغییرشکل ماندگار به سیستم جداساز تحمیل می‌کنند که لازم است مطابق بند ۳-۴ این اثر توسط جداگرهای با قابلیت مرکزگرایی خنثی شود. همچنین به منظور کاهش سختی و تامین ظرفیت تغییرشکل بالا، میراگرهای تسلیمی سیستم‌های جداساز هندسه متفاوتی نسبت به میراگرهای تسلیمی که در طبقات ساختمان استفاده می‌شوند (فصل ۲) دارند. نمونه‌هایی از میراگرهای متداول در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در شکل (۳-۲۹) نشان داده شده‌اند.

تذکر ۱: روش شبیه سازی میراگرها در سیستم جداساز لرزه‌ای مطابق روش ارائه شده در فصل ۲ می‌باشد.

تذکر ۲: در صورتی که جداگرهای سیستم جداساز لرزه‌ای فاقد قابلیت استهلاک انرژی کافی باشند، می‌توان از میراگرهای اضافی در سیستم جداساز لرزه‌ای استفاده نمود.

تذکر ۳: در صورتی که جابجایی جداگرها مقدار بسیار زیادی باشد، یکی از راه‌های کاهش آن بدون افزایش سختی جداگرها، استفاده از میراگر در سیستم جداسازی می‌باشد. بنابراین در صورتی که سیستم جداساز لرزه‌ای مجهز به میراگر باشد، این امکان فراهم می‌شود که از جداگرهایی با سختی برشی کوچکتر استفاده شود بدون اینکه تغییرشکل آن‌ها بیش از حد افزایش یابد.

تذکر ۴: در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای به صورت هم زمان در هر دو امتداد افقی تغییرشکل‌های قابل توجهی رخ داده و علاوه بر آن، در امتداد قائم نیز مقدار کوچکی تغییرشکل رخ خواهد داد. بنابراین نحوه اتصال میراگرها در سیستم جداساز باید به نحوی باشد که میراگر در حضور تغییرشکل‌های فوق قادر باشد وظیفه خود را به درستی انجام دهد. برای جزئیات بیشتر در این خصوص به بخش ۷-۱-۳ فصل ۷ مراجعه شود.



شکل (۳-۲۹). سیستم جداسازی لرزه‌ای دارای میراگر در تراز جداسازی شده

دقتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

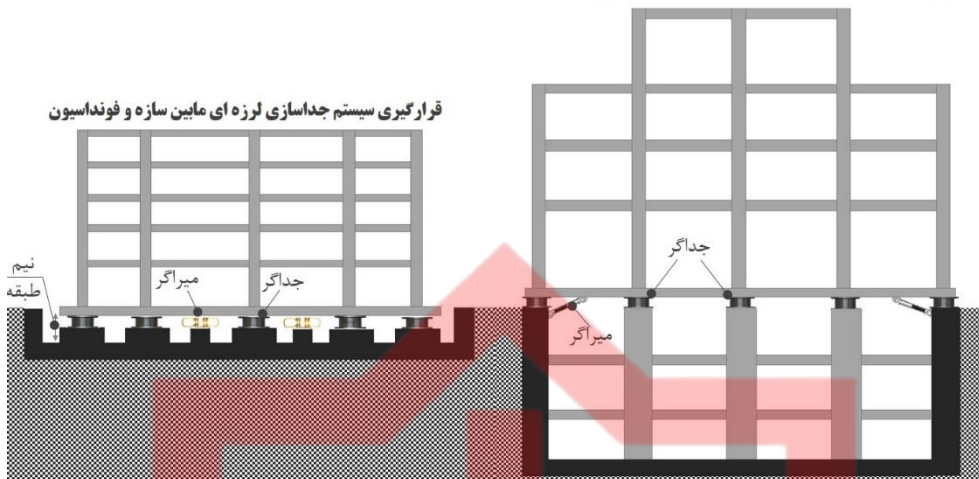
۶-۳ چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای

۶-۳-۱ جانمایی در ارتفاع

به طور معمول، سیستم جداساز لرزه‌ای در ترازى از ساختمان قرار داده می‌شود که زیرسازه (بخشی از سازه که زیر تراز جداسازی شده قرار دارد) از صلبیت و ظرفیت جانبی بالایی برخوردار باشد. بنابراین معمولاً در ساختمان‌های فاقد دیوار حائل بتنی، سیستم جداساز لرزه‌ای بر روی شالوده ساختمان قرار می‌گیرد بدین ترتیب تمام طبقات ساختمان روسازه محسوب شده و بر روی تراز جداسازی شده قرار خواهند داشت. این روش یکی از متداول‌ترین انواع چیدمان سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان می‌باشد که نمونه‌ای از آن در شکل (۳-۳۰) نشان داده شده است. در این چیدمان به منظور حفظ انسجام حرکت پای ستون‌های سازه و توزیع یکنواخت تغییرشکل در کلیه نشیمنگاه‌ها (صرفنظر از پیچش)، لازم است وجه فوقانی جداگرها با استفاده از یک دیافراگم صلب به یکدیگر متصل شوند. از آنجایی که به منظور بازدید و نگهداری از اجزای سیستم جداساز (جداگرها و میراگرها) نیاز به فضای کافی می‌باشد، در این چیدمان در عمل یک نیم طبقه بر روی شالوده و زیر اولین طبقه از ساختمان لازم است ساخته شود. نوع دیگری از چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای، قرار دادن تراز جداسازی در تراز طبقات است. این روش معمولاً در ساختمان‌های دارای زیر زمین و دیوار حائل انجام می‌شود به طوری که سیستم جداسازی در تراز فوقانی دیوارهای حائل قرار می‌گیرد. مزیت این روش آن است که برای بازدید و نگهداری از سیستم جداساز، نیاز به ساخت نیم طبقه اضافه نخواهد بود. نمونه‌ای از این چیدمان نیز در شکل (۳-۳۰) نشان داده شده است. بدیهی است صرفنظر از نوع چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای، لازم است فضای کافی برای تغییرشکلهای برشی جداگرها فراهم شود. تغییر شکل‌های برشی در هر دو امتداد به صورت هم زمان رخ داده و علاوه بر آن، مقداری تغییرشکل قائم نیز برای سیستم جداساز لرزه‌ای باید متصور بود.

تذکر: لزومی ندارد تمام بخش‌های تراز جداسازی شده دارای یک کد ارتفاعی یکسان باشند. به عبارت دیگر، بسته به الزامات معماری و کاربری ساختمان، تراز جداسازی شده می‌تواند به صورت پله‌کانی باشد.

قرارگیری سیستم جداسازی لرزه ای در بالاترین تراز دیوار حائل



شکل (۳-۳۰). نمونه‌هایی از چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای در ارتفاع ساختمان

۳-۶-۲ جانمایی در پلان

پس از انتخاب تراز جداسازی، جانمایی اجزای سیستم جداساز لرزه‌ای (نشیمگاه‌ها و میراگرها) انجام می‌شود. به طور معمول در زیر هر یک از اجزای باربر قائم ساختمان (ستون‌ها و دیوارهای سازه‌ای) لازم است جداگرهای لرزه‌ای قرار داده شوند. در صورتی که مقدار بار محوری در ستونی کوچک باشد، ممکن است مستقیماً زیر آن ستون نشیمگاهی قرار داده نشود. در این شرایط لازم است دیافراگم تراز جداسازی شده قادر به تحمل و انتقال نیروی ستون به نشیمگاه‌های اطراف باشد. لازم است جانمایی جداگرها (نشیمگاه‌ها) در پلان سیستم جداساز به نحوی صورت پذیرد که حتی الامکان مرکز سختی برشی موثر جداگرها بر مرکز جرم ساختمان منطبق بوده و بدین ترتیب کمترین پیچش در سیستم جداساز رخ دهد. در این خصوص جداگرهای لغزشی این مزیت را دارند که در صورت بروز لغزش در آن‌ها، مرکز سختی سیستم جداساز و مرکز ثقل ساختمان بر یکدیگر انطباق خوبی خواهند داشت (البته این موضوع تنها وقتی صحیح است که نیروی محوری ناشی از لنگر واژگونی سازه که بر جداگرها وارد می‌شود ناچیز باشد). در صورتی که از چندین نوع نشیمگاه در سیستم جداساز استفاده شود، بهتر است از جداگرهای با سختی برشی موثر بیشتر در وجوه پیرامونی استفاده شود تا بدین ترتیب سختی پیچشی تراز جداسازی شده

افزایش یافته و تا حدی از تمرکز تغییرشکل‌های بزرگ در جداگرهای پیرامونی جلوگیری شود. به عنوان مثال در صورتی که از جداگرهای لغزشی مسطح و جداگرهای لاستیکی به عنوان نشیمنگاه استفاده می‌شود، بهتر است جداگرهای لغزشی مسطح که سختی موثر برشی کوچکی دارند در زیر ستون‌ها/دیوارهای داخلی قرار گرفته و جداگرهای لاستیکی که سختی موثر بزرگتری دارند در زیر ستون‌ها/دیوارهای پیرامونی قرار گیرند. همچنین بهتر است در صورت استفاده از میراگر در سیستم جداسازی، میراگرها در نزدیکی وجوه پیرامونی تراز جداسازی شده نصب شوند تا بدین ترتیب، در صورت بروز پیچش در تراز جداسازی شده، تغییرشکل بیشتری در میراگرها ایجاد شده و انرژی بیشتری توسط آن‌ها مستهلک شود. لازم به ذکر است در یک سیستم جداساز لرزه‌ای، جداگرهای لغزشی پاندولی نباید با جداگرهای لاستیکی ترکیب شوند. همچنین جداگرهای لغزشی پاندولی همگی باید دارای یک شعاع انحنای یکسان باشند. دلیل این موضوع، تغییرشکل‌های قائم در جداگرهای لغزشی پاندولی است که مقدار آن نه تنها به تغییرشکل‌های برشی، بلکه به شعاع انحنای سطح لغزش نیز بستگی دارد. ترکیب جداگرهای لاستیکی مختلف با یکدیگر و نیز ترکیب جداگرهای لاستیکی با جداگرهای لغزشی مسطح بلامانع است.

فصل ۴

طیف طرح و شتاب نگاشت

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۴-۱ کلیات

به طور کلی به منظور بارگذاری لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگر و جداگر نیاز به داشتن طیف شتاب طرح در سطوح خطر مختلف (دوره بازگشت‌های مختلف) و شتاب نگاشت‌هایی متناظر با سطوح خطر مختلف می‌باشد. عمده کاربرد طیف طرح انجام طراحی اولیه سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر مطابق فصل ۵ و نیز تنظیم میزان شدت و سطح خطر شتاب نگاشت‌ها است. کاربرد اصلی شتاب نگاشت‌ها نیز، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در طراحی نهایی مطابق فصل ۵ خواهد بود. در این فصل در بند ۴-۲ روش‌های مختلف تخمین طیف شتاب طرح و تنظیم دوره بازگشت و درصد میرایی آن بیان شده است. در بند ۴-۳ نیز معیارهای انتخاب شتاب نگاشت‌های مناسب و نحوه تنظیم میزان شدت شتاب نگاشت‌ها متناظر با سطوح خطر مختلف ارائه شده است.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۴-۲ طیف طرح

در ضابطه حاضر طیف طرح عمدتاً به طیف شتاب مولفه افقی زلزله هدف اشاره دارد که به منظور طراحی و کنترل عملکرد لرزه‌ای سازه مورد نیاز می‌باشد. لیکن بنا به روند طراحی، طیف طرح می‌تواند شامل طیف شتاب مولفه قائم و نیز طیف سرعت مولفه افقی زلزله هدف نیز باشد. با توجه به رویکرد طراحی عملکردی که در این ضابطه وجود دارد، ارزیابی عملکرد سازه تحت زلزله‌هایی با دوره‌های بازگشت متفاوت انجام می‌شود، بنابراین طیف طرح نیز می‌تواند دارای دوره‌های بازگشت مختلف باشد. همچنین با توجه به اینکه سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر دارای درصد میرایی بزرگتری در مقایسه با سایر سازه‌ها هستند، بنابراین طیف طرح می‌تواند برای درصدهای میرایی متفاوتی تهیه شود. در ضابطه حاضر طیف طرح به دو صورت قابل تهیه است. این دو روش عبارتند از: طیف طرح ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ و طیف ویژه ساختگاه. در صورتی که مطابق با آخرین نگارش استاندارد ۲۸۰۰ تهیه طیف ویژه ساختگاه الزامی باشد، استفاده از طیف طرح پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ مجاز نبوده و لازم است طیف طرح ویژه ساختگاه مطابق با الزامات این ضابطه و یا الزامات آخرین نگارش استاندارد ۲۸۰۰ تهیه شود.

تذکر ۱: استفاده از طیف ویژه ساختگاه همواره مجاز می‌باشد. در این صورت مقدار طیف ویژه ساختگاه متناظر با زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال، در بازه زمان تناوبی $1.5T_l$ تا $T_{90\%}$ نباید از ۸۰٪ طیف استاندارد ۲۸۰۰ متناظر با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال کمتر باشد. T_l و $T_{90\%}$ به ترتیب زمان تناوب اصلی سازه مجهز به میراگر یا جداگر و زمان تناوبی که در آن حداقل ۹۰٪ مشارکت جرمی ایجاد شده است، می‌باشند. در تعیین مشارکت جرمی ۹۰٪ لازم نیست جرم طبقات زیرزمین که نسبت به سایر طبقات دارای صلبیت بسیار بیشتری هستند در نظر گرفته شود. همچنین مقدار $T_{90\%}$ لازم نیست کوچکتر از $0.1T_l$ در نظر گرفته شود.

تذکر ۲: مشابه طیف طرح مدنظر در استاندارد ۲۸۰۰، طیف طرح مدنظر این ضابطه نیز لازم است معرف طیف راستای بیشینه^۱ باشد. طیف راستای بیشینه در یک زمان تناوب مشخص تحت یک زلزله عبارت است از حداکثر پاسخ یک نوسانگر الاستیک دو درجه آزادی (نوسانگر با

^۱ Maximum-direction

قابلیت نوسان در هر دو راستای افقی) تحت اثر هم‌زمان هر دو مولفه افقی زلزله. این پاسخ حداکثر لزوماً هم‌راستا با مولفه‌های افقی زلزله نبوده و راستای بیشینه پاسخ پارامتری وابسته به شتاب نگاشت و مشخصات دینامیکی نوسانگر (زمان تناوب و درصد میرایی) است. با اعمال دو مولفه افقی زلزله به نوسانگرهایی با زمان‌های تناوب متفاوت و تعیین مقدار پاسخ حداکثر در هر زمان تناوب، طیف راستای بیشینه بدست خواهد آمد. روشی دیگر برای تعیین طیف راستای بیشینه اعمال برآیند شتاب نگاشت دو مولفه افقی به یک نوسانگر الاستیک یک درجه آزادی می‌باشد. در این صورت لازم است شتاب نگاشت برآیند در امتداد زوایای مختلفی از ۰ درجه تا ۱۸۰ درجه (نسبت به امتداد یکی از مولفه‌های افقی زلزله) بدست آمده و حداکثر پاسخ رخ داده از بین تمام زوایا، به عنوان مقدار طیف راستای بیشینه در آن زمان تناوب در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است طیف راستای بیشینه مستقل از امتداد اعمال دو مولفه افقی زلزله بوده و در صورتی که زاویه اعمال دو مولفه افقی نسبت به نوسانگر تغییر کند (هم‌چنان هر دو مولفه نسبت به یکدیگر عمود هستند)، مقدار طیف راستای بیشینه تغییری نخواهد نمود.

۴-۲-۱ طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰

تعیین طیف طرح مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ مجاز می‌باشد. بدین ترتیب طیف طرح حاصله، طیف راستای بیشینه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال خواهد بود.

۴-۲-۲ طیف طرح ویژه ساختگاه

طیف طرح ویژه ساختگاه در کاربردهای مهندسی حداقل به سه طریق قابل تخمین است. روش اول تحلیل پاسخ زمین^۱ بوده و روش‌های دوم و سوم به ترتیب تهیه طیف بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی^۲ و تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی^۳ می‌باشد. در مواردی ممکن است این روش‌ها به صورت ترکیبی نیز استفاده شوند تا بدین ترتیب محدودیت‌های یکدیگر را پوشش دهند.

^۱ Ground Response Analysis

^۲ Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)

^۳ Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

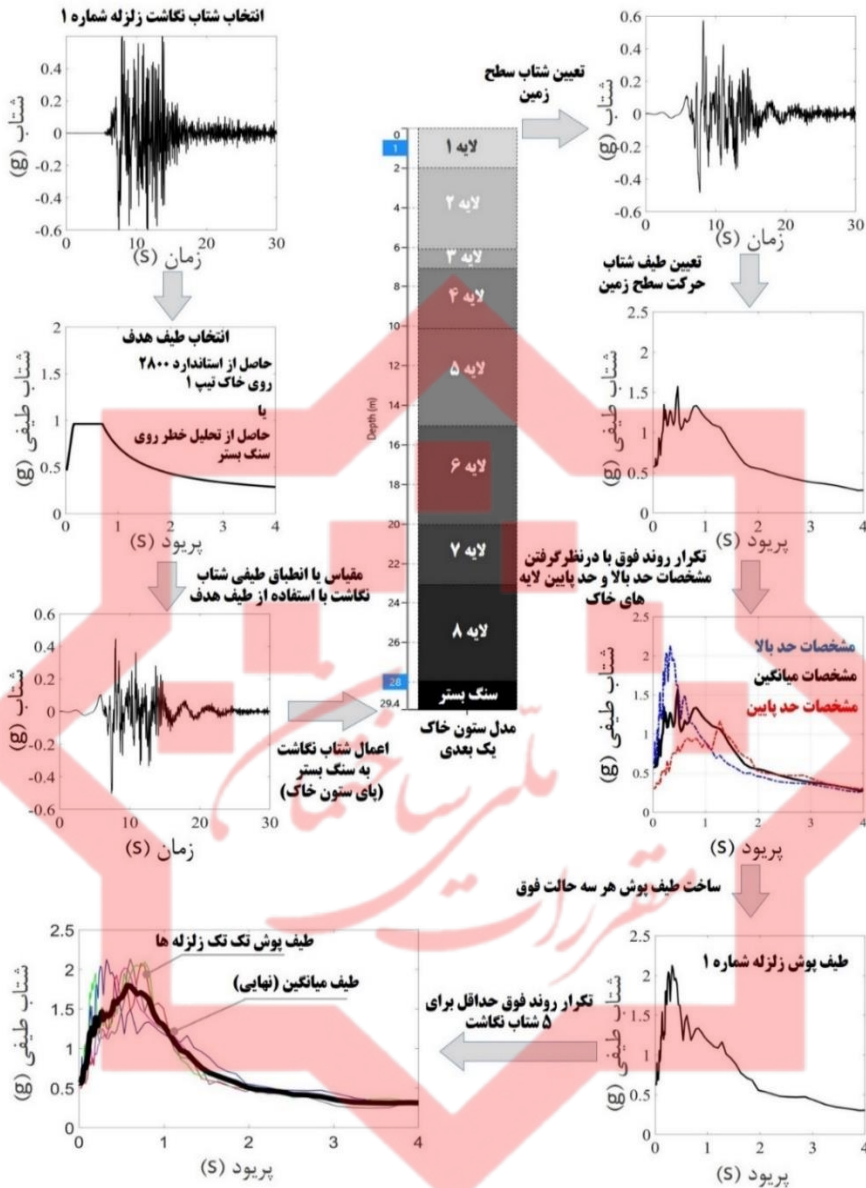
تذکر: به جای استفاده از ضوابط این بخش، طراح می‌تواند طیف طرح ویژه ساختگاه را بر اساس آخرین نگارش استاندارد ۲۸۰۰ بدست آورد. لازم به ذکر است طیف بدست آمده باید معرف طیف راستای بیشینه باشد.

۴-۲-۲-۱ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل پاسخ زمین

در این روش لازم است لایه‌های خاک ساختگاه به صورت یک ستون خاک با رفتار غیرخطی یا خطی معادل با در نظر گرفتن عدم قطعیت مشخصات لایه‌های خاک مدل‌سازی شده و حداقل ۵ شتاب نگاشت سازگار با طیف شتاب سنگ بستر با رعایت الزامات بند ۴-۳-۱ (به جز محدودیت مدت تداوم جنبش زمین) به پای ستون خاک اعمال شود. سپس رفتار لرزه‌ای ستون خاک تحت هر یک از شتاب نگاشت‌ها تحلیل شده و طیف شتاب حاصل در سطح زمین (بالاترین لایه خاک) استخراج می‌شود. پس از بدست آوردن طیف شتاب سطح زمین برای تمام شتاب نگاشت‌ها، طیف شتاب میانگین بدست آورده شده و مبنای طراحی لرزه‌ای سازه قرار خواهد گرفت. روند تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل پاسخ زمین در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این روش، طیف شتاب سنگ بستر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ یا نتایج مطالعات تحلیل احتمالاتی یا تعینی تعیین شده و باید معرف طیف شتاب راستای بیشینه در سنگ بستر باشد.

تذکر ۱: پیش از انجام تحلیل پاسخ زمین، شتاب نگاشت‌های اعمالی به پای ستون خاک لازم است مطابق طیف طرح روی سنگ بستر با دوره بازگشتی مشخص مطابق بند ۴-۳-۲ مقیاس یا منطبق شده باشند. به صورت پیشفرض، طیف هدف روی سنگ بستر برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال را می‌توان معادل طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ روی زمین نوع ۱ در نظر گرفت. در صورتی که انجام تحلیل خطر لرزه‌ای در محل ساختگاه الزام آور باشد، طیف هدف عبارت است از طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای روی سنگ بستر. در این صورت لازم است در مرحله تحلیل خطر، اثرات ساختگاهی در روابط کاهندگی لحاظ نشده باشد.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۴-۱). روند انجام تحلیل پاسخ زمین به منظور استخراج طیف شتاب سطح زمین- مقادیر عددی نشان داده شده در شکل صرفاً مربوط به زلزله و ستون خاک نمونه بوده و نباید برای سایر موارد ملاک باشند.

تذکر ۲: برای زمین‌هایی با متوسط سرعت موج برشی بیش از ۱۷۵ متر بر ثانیه (زمین‌های نوع ۱ تا ۳ بر اساس دسته بندی استاندارد ۲۸۰۰) در صورتی که در تحلیل خطر، از روابط کاهندگی که اثرات ساختگاهی را به شکل مناسبی در نظر می‌گیرند استفاده شده باشد، نیازی به انجام تحلیل پاسخ زمین نخواهد بود. در صورتی که متوسط سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متر، کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه باشد، انجام تحلیل پاسخ زمین در روند ساخت طیف ویژه ساختگاه الزامی است.

تذکر ۳: به منظور تهیه طیف شتاب روی سطح زمین برای یک دوره بازگشت مشخص، لازم است طیف هدف روی سنگ بستر با همان دوره بازگشت در نظر گرفته شود. به عنوان راهکاری ساده سازی شده، می‌توان تحلیل پاسخ زمین را صرفاً برای زلزله سطح ۲ انجام داده و طیف شتاب سطح زمین در زلزله سطح ۲ را بدست آورده، سپس برای سایر سطوح خطر، از ضرایب اصلاح دوره بازگشت مطابق بند ۴-۲-۳ استفاده نمود.

تذکر ۴: به طور پیش فرض کلیه طیف‌های شتاب حاصل از تحلیل‌های پاسخ زمین، برای درصد میرایی ۵٪ رسم می‌شوند. در صورت لزوم، طیف شتاب سطح زمین مطابق بند ۴-۲-۴ برای سایر درصدهای میرایی قابل تنظیم می‌باشد.

تذکر ۵: در تهیه مدل ستون خاک لازم است لایه‌های خاک حداقل تا عمق ۳۰ متری و یا تا سنگ بستر (هر کدام که کوچکتر باشد) در نظر گرفته شود. همچنین لازم است عدم قطعیت موجود در مشخصات خاک لحاظ شود. در غیاب محاسبات دقیق‌تر، برای این منظور می‌توان از یکی از دو روش زیر استفاده نمود.

- روش ۱: تحلیل پاسخ زمین را برای هر یک از رکوردهای زلزله سه مرتبه با فرض مشخصات میانگین، حد بالا و حد پایین لایه‌های خاک تکرار کرده و پوش سه طیف را معادل طیف شتاب سطح زمین در نظر گرفت. در غیاب داده‌های دقیق‌تر، حد بالای مدول برشی خاک را می‌توان ۲ برابر و حد پایین آن را ۰/۵ برابر مقدار میانگین (مقدار اندازه گیری شده) در نظر گرفت. در صورتی که در تعریف مشخصات لایه‌های خاک، از سرعت موج برشی استفاده شده باشد، می‌توان در هر لایه از خاک حد بالای سرعت

موج برشی را $1/4$ برابر و حد پایین آن را $0/7$ برابر سرعت موج برشی میانگین (مقدار اندازه گیری شده) در آن لایه خاک در نظر گرفت.

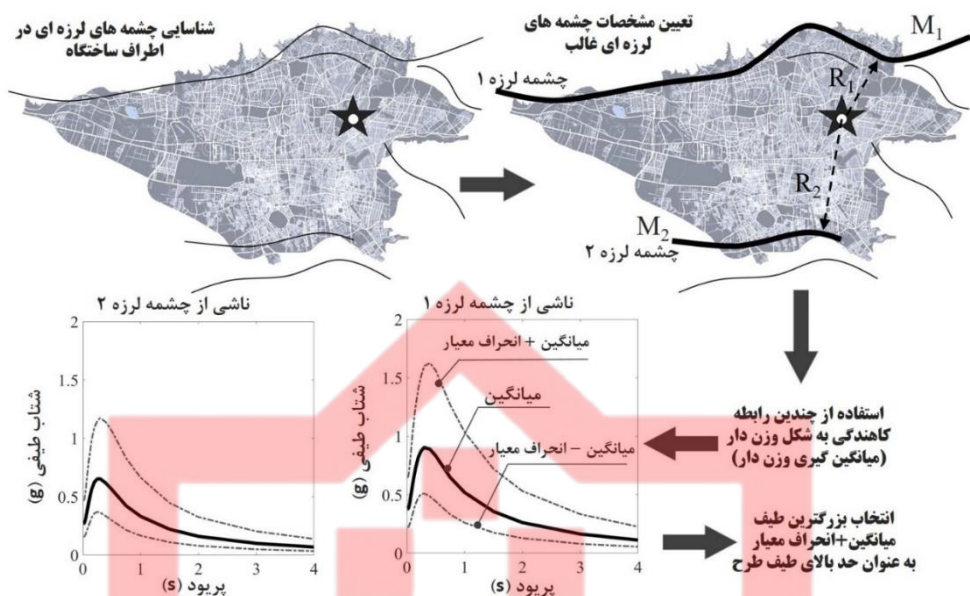
- روش ۲: می توان تحلیل های پاسخ زمین را بر اساس مشخصات اندازه گیری شده (مورد انتظار) لایه های خاک انجام داد لیکن برای تعیین طیف روی سطح زمین برای زمان تناوب های کمتر از ۱ ثانیه از مقدار میانگین طیف های بدست آمده و برای زمان تناوب های بزرگتر از ۱ ثانیه از مقدار میانگین به علاوه یک انحراف معیار طیف های بدست آمده استفاده نمود.

۴-۲-۲-۲-۲ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل خطر لرزه ای تعیینی

در تحلیل خطر تعیینی، چشمه های لرزه ها (گسل ها) در اطراف ساختگاه مشخص شده و برای هر یک از آن ها، حداکثر بزرگای احتمالی که چشمه لرزه ها می تواند ایجاد کند، در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب طیف حاصل از این روش معرف بزرگترین طیف شتابی است که برای ساختگاه می توان متصور بود. با استفاده از روابط کاهندگی مناسب، کمیت های جنبش زمین از جمله شتاب حداکثر زمین و طیف شتاب مربوط به هر یک از چشمه های لرزه ها تخمین زده می شود. در نهایت طیف شتابی که منجر به بیشترین شتاب طیفی در محدوده زمان تناوب اصلی سازه شود، به عنوان حد بالای طیف طرح (با هر سطح خطری) در نظر گرفته می شود. روند تحلیل خطر لرزه ای تعیینی برای یک ساختگاه فرضی در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.

تذکر ۱: در تحلیل خطر لرزه ای تعیینی لازم است از روابط کاهندگی متفاوت و متناسب که به صورت مناسب معرف پراکندگی خصوصیات جنبش زمین در منطقه باشد، به صورت وزن دار استفاده شود. مقادیر خروجی در سطح میانگین بعلاوه یک انحراف معیار و میانگین گزارش شده و لازم است طیف میانگین بعلاوه یک انحراف معیار به عنوان حد بالای طیف طرح (با هر سطح خطری) در نظر گرفته شود.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۴-۲). روند انجام تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی برای یک ساختمان مشخص - مقادیر نشان داده شده در شکل صرفاً به عنوان نمونه هستند.

تذکر ۲: در مواردی که اثرات ساختمانی با استفاده از تحلیل پاسخ زمین در نظر گرفته نمی‌شوند، لازم است از روابط کاهندگی‌ای استفاده شود که اثرات ساختمانی بویژه اثرات غیرخطی رفتار خاک را به شکل تجربی در نظر می‌گیرند.

تذکر ۳: طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی به شکلی که در این بند ارائه گردید معرف بزرگترین سناریوی لرزه‌ای محتمل در ساختمان بوده و طیف شتاب حاصله را می‌توان به عنوان حد بالا برای طیف شتاب حاصل از سایر روش‌ها با هر دوره بازگشتی در نظر گرفت.

تذکر ۴: در نواحی با لرزه‌خیزی بسیار بالا و نزدیک گسل‌های فعال ممکن است طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی کمتر از طیف حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی باشد که در این صورت، لازم نیست که از مقادیر بیشتر از تحلیل خطر تعیینی استفاده شود.

تذکره ۵: به طور پیش فرض کلیه طیف‌های شتاب حاصل از تحلیل لرزه‌ای تعیینی، برای درصد میرایی ۵٪ تهیه می‌شوند که در صورت نیاز می‌تواند مطابق بند ۴-۲-۴ برای سایر درصدهای میرایی نیز تنظیم شوند.

تذکره ۶: در صورتی که روابط کاهندگی استفاده شده در تحلیل لرزه‌ای تعیینی اثرات ساختگاهی را لحاظ نکنند، طیف بدست آمده معرف طیف شتاب بر روی سنگ بستر بوده و لازم است مطابق بند ۴-۲-۲-۱ با استفاده از تحلیل پاسخ زمین و یا با سایر روش‌های تجربی، طیف شتاب بر روی سطح زمین تخمین زده شود.

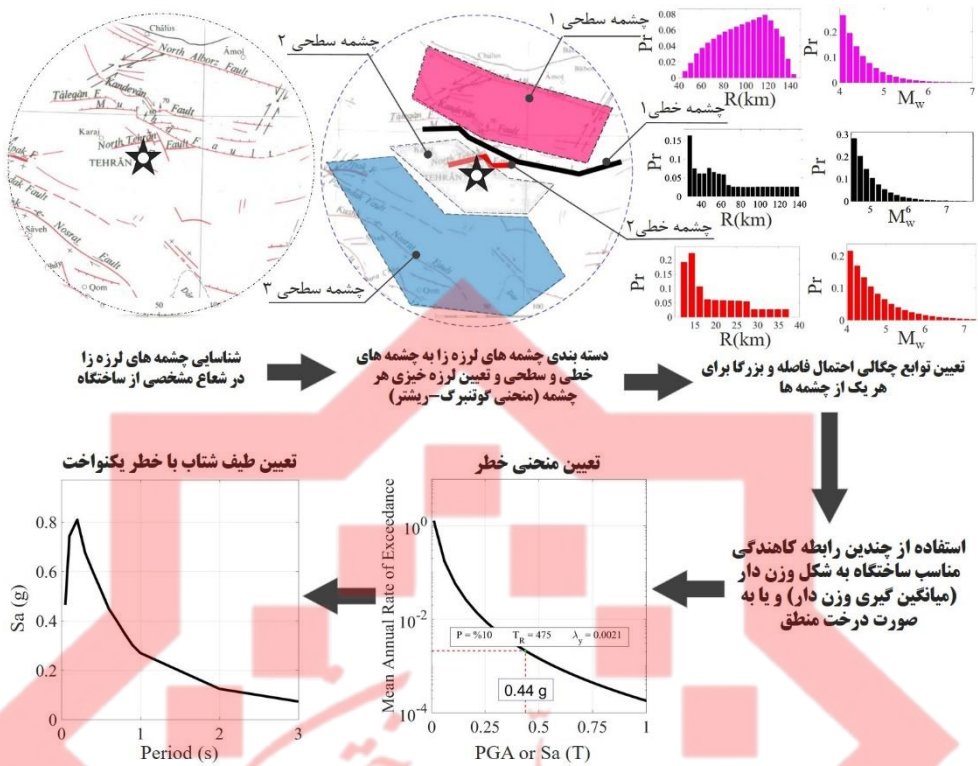
تذکره ۷: لازم است طیف نهایی حاصل از تحلیل خطر تعیینی، معرف طیف راستای بیشینه باشد. در صورتی که طیف تحلیل خطر تعیینی بر اساس طیف میانگین هندسی^۱ تهیه شده باشد، لازم است مقدار آن بر اساس طیف راستای بیشینه اصلاح شود. برای این منظور در غیاب محاسبات دقیق، می‌توان مقدار طیف میانگین هندسی را برای زمان‌های تناوب بیش از ۱ ثانیه در ۱/۳ و برای زمان‌های تناوب کمتر از ۰/۲ ثانیه در ۱/۲۵ ضرب نمود. برای زمان‌های تناوب بین ۰/۲ تا ۱ ثانیه ضریب مربوطه را می‌توان بین ۱/۲۵ تا ۱/۳ بر اساس درونیابی محاسبه نمود. به عنوان راهکاری ساده‌تر، می‌توان کل طیف میانگین هندسی را در ضریب ثابت ۱/۳ ضرب نموده و بدین ترتیب طیف میانگین هندسی را به طیف راستای بیشینه تبدیل نمود.

۴-۲-۲-۳ تهیه طیف طرح براساس تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی

با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه نرم افزارها و ابزارهای تحلیلی و نیز زلزله‌های ثبت شده در ده‌های اخیر، امروزه تحلیل خطر لرزه‌ای معمولاً به صورت احتمالاتی انجام می‌شود و کاربرد اصلی تحلیل خطر تعیینی، تعیین حد بالا برای نتایج حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی است. روند کلی تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی در شکل (۴-۳) برای یک ساختگاه فرضی نشان داده شده است. خلاصه‌ای از جزئیات تهیه طیف طرح بر اساس این روش در نشریه ۶۲۶ سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۳۹۲) ارائه شده است.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

^۱ Geometric Mean (Geomean)



شکل (۳-۴). روند انجام تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی برای یک ساختگاه مشخص - مقادیر نشان داده شده در شکل صرفاً به عنوان نمونه هستند.

تذکر ۱: برخی از مدل‌های کاهندگی صرفاً حداکثر شتاب (PGA) را تخمین زده و به طور مستقیم شتاب طیفی را تخمین نمی‌زنند. در این ضابطه فرض شده است که در روند انجام تحلیل خطر، صرفاً از روابط کاهندگی‌ای که قادر به تخمین مقادیر شتاب طیفی در زمان تناوب‌های مختلف هستند استفاده می‌شود.

تذکر ۲: در صورتی که در طیف شتاب بدست آمده از تحلیل خطر احتمالاتی، اثرات ساختگاهی خاک دیده نشده باشد، لازم است این اثرات مطابق نشریه ۶۲۶ توسط ضرایب اصلاحی و یا انجام تحلیل پاسخ زمین مطابق بند ۴-۲-۲-۱ در طیف شتاب اعمال شود.

تذکره ۳: مقدار شتاب طیفی حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال یا بیشتر، در هر یک از زمان تناوب‌ها (پس از اعمال اثرات ساختگاهی خاک)، لازم نیست بیشتر از مقدار متناظر طیف حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی در نظر گرفته شود. در این شرایط طیف حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی لازم است بر اساس طیف حاصل از میانگین بعلاوه یک انحراف معیار بدست آمده و اثرات ساختگاهی نیز در آن لحاظ شده باشد.

تذکره ۴: در صورتی که برای ساختگاه مدنظر، نقشه‌های ریزپهنه بندی معتبر خطر لرزه‌ای موجود باشد، نیازی به انجام تحلیل خطر به صورت مستقل نبوده و مطابق نشریه ۶۲۶ می‌توان با استفاده از نقشه‌های ریزپهنه بندی، اقدام به ساخت طیف طرح نمود.

تذکره ۵: طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی معمولاً برای درصد میرایی ۵٪ بدست می‌آید. در صورت نیاز، برای سایر میرایی‌ها می‌توان مطابق بند ۴-۲-۴ طیف بدست آمده را اصلاح نمود.

تذکره ۶: لازم است طیف نهایی حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی، معرف طیف امتداد حداکثر باشد. در صورتی که طیف ویژه ساختگاه بر اساس طیف میانگین هندسی تهیه شده باشد، لازم است مقدار آن بر اساس طیف امتداد حداکثر اصلاح شود. برای این منظور در غیاب محاسبات دقیق، می‌توان مقدار طیف میانگین هندسی را برای زمان‌های تناوب بیش از ۱ ثانیه در $1/3$ و برای زمان‌های تناوب کمتر از $0/2$ ثانیه در $1/25$ ضرب نمود. برای زمان‌های تناوب بین $0/2$ ثانیه تا ۱ ثانیه ضریب مربوطه را می‌توان بین $1/25$ تا $1/3$ بر اساس درون‌یابی محاسبه نمود. به عنوان راهکاری ساده‌تر، می‌توان کل طیف میانگین هندسی را در ضریب ثابت $1/3$ ضرب نموده و بدین ترتیب طیف میانگین هندسی را به طیف راستای بیشینه تبدیل نمود.

۴-۲-۳ تنظیم دوره بازگشت طیف طرح

در صورتی که طیف طرح تنها برای یک دوره بازگشت مشخص بدست آمده باشد، برای تعیین طیف طرح با یک دوره بازگشت دلخواه (S_{a-i}) می‌توان در غیاب محاسبات دقیق تر به صورت زیر عمل نمود.

در صورتی که دوره بازگشت مدنظر کوچکتر از ۴۷۵ سال باشد:

$$S_{a-i} = S_{a-475} \left(\frac{i}{475} \right)^{0.44} \quad (۱-۴)$$

در صورتی که دوره بازگشت مدنظر بین ۴۷۵ سال و ۲۴۷۵ سال باشد:

$$S_{a-i} = e^{\ln(S_{a-475}) + 0.245 \ln(i) - 1.5} \quad (۲-۴)$$

در روابط فوق S_{a-475} طیف شتاب متناظر با دوره بازگشت ۴۷۵ سال و S_{a-i} طیف شتاب متناظر با دوره بازگشت i سال است. در صورتی که طیف طرح از ابتدا برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال بدست آمده باشد، طیف طرح با دوره بازگشت دلخواه مستقیماً از روابط (۱-۴) یا (۲-۴) بدست می‌آیند. در صورتی که طیف طرح از ابتدا برای دوره بازگشتی به جز ۴۷۵ سال بدست آمده باشد، ابتدا لازم است با استفاده از روابط (۱-۴) یا (۲-۴)، طیف طرح ۴۷۵ ساله بدست آمده سپس بر اساس طیف طرح ۴۷۵ ساله، طیف مربوط به سایر دوره‌های بازگشت بدست آید. ضرایب اصلاح تبدیل دوره بازگشت از ۴۷۵ سال به چندین دوره بازگشت در جدول (۱-۴) ارائه شده است.

تذکره ۱: در صورتی که طیف طرح بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی بدست آمده باشد، به شکل خودکار امکان تهیه طیف شتاب برای هر دوره بازگشت دلخواهی امکان پذیر بوده و در این شرایط توصیه می‌شود از روابط تخمینی (۱-۴) یا (۲-۴) استفاده نشود.

تذکره ۲: زلزله سطح سرویس لازم است بر اساس دوره‌های بازگشت و یا ضرایب تبدیل ارائه شده در این بخش بدست آید. اگرچه در استاندارد ۲۸۰۰ نیز زلزله سطح سرویس معرفی شده است لیکن زلزله سطح سرویس مدنظر استاندارد ۲۸۰۰ دارای دوره بازگشتی حدود ۱۰ سال می‌باشد که بسیار کمتر از عمر مفید ساختمان است. بنابراین زلزله سطح سرویس ارائه شده در این ضابطه دارای شدت بیشتری در مقایسه با زلزله سطح سرویس استاندارد ۲۸۰۰ است.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

جدول (۴-۱). ضرایب اصلاح دوره بازگشت از ۴۷۵ سال به سایر دوره‌های بازگشت

توضیحات	احتمال فراگذشت در بازه ۵۰ سال	دوره بازگشت (سال)	ضریب اصلاح دوره بازگشت $\frac{S_{a-i}}{S_{a-475}}$
زلزله سطح سرویس برای سازه‌های موجود	90%	20	0.26
زلزله سطح سرویس برای سازه‌های جدید	70%	40	0.34
زلزله سطح ۱ برای سازه‌های موجود	20%	225	0.72
زلزله سطح ۱ برای سازه‌های جدید	10%	475	1.00
زلزله سطح ۲ برای سازه‌های موجود	5%	975	1.20
زلزله سطح ۲ برای سازه‌های جدید	2%	2475	1.50

۴-۲-۴ تنظیم درصد میرایی طیف طرح

طیف‌های بدست آمده از روش‌های مختلف عمدتاً متناظر با نسبت میرایی ۰/۰۵ بدست می‌آیند. بسته به روش طراحی در برخی موارد ممکن است نیاز به مقدار طیف طرح متناظر با درصد میرایی‌های مختلفی باشد. برای این منظور می‌توان با استفاده از ضریب اصلاح میرایی ارائه شده در رابطه (۳-۴) و ضرب آن در طیف با میرایی ۰/۰۵، مقدار طیف با میرایی ξ^* را بدست آورد. لازم به ذکر است در رابطه (۳-۴) نسبت میرایی باید وارد شود و نه درصد میرایی. به عبارت دیگر مقدار ξ^* همواره کوچکتر از ۱ است.

$$DSF = \sqrt{\frac{2.25}{1+25\xi^*}} \quad (3-4)$$

تذکر: تهیه طیف طرح با درصد میرایی به غیر از ۵٪ صرفاً ممکن است در طراحی اولیه سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر کاربرد داشته باشد و در کنترل نهایی عملکرد سازه که بر اساس

تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی انجام می‌شود، دوره بازگشت شتاب نگاشت‌ها همواره باید بر اساس طیف طرح با میرایی ۵٪ تنظیم شوند (مقیاس و یا منطبق شوند). علت این امر آن است که در روند مقیاس سازی و یا انطباق طیفی، طیف شتاب نگاشت‌ها نیز با میرایی ۵٪ معمولاً تولید شده بنابراین طیف حاصل باید با طیف هدف با میرایی ۵٪ مقایسه شود (صرفنظر از مقدار میرایی سازه مجهز به میراگر و جداگر). به عبارت دیگر درصد میرایی طیف هدف که بر اساس آن مقیاس و یا انطباق طیفی شتاب نگاشت‌ها انجام می‌شود باید دارای درصد میرایی مشابه طیف شتاب نگاشت‌ها باشد.

۴-۲-۵ طیف طرح مولفه قائم زلزله

در صورتی که در روند طراحی به طیف شتاب مولفه قائم زلزله نیاز باشد، در غیاب محاسبات دقیق‌تر (تهمیه طیف شتاب قائم ویژه ساختگاه)، می‌توان طیف طرح مولفه قائم زلزله را مطابق رابطه (۴-۴) محاسبه نمود. بر اساس رابطه (۴-۴) طیف هدف مولفه قائم بر اساس طیف هدف مولفه افقی به دست می‌آید و در این روند دوره بازگشت طیف هدف مولفه قائم برابر با دوره بازگشت مولفه افقی خواهد بود. به طور کلی پس از تعیین طیف طرح مولفه قائم برای یک دوره بازگشت مشخص، برای سایر دوره‌های بازگشت می‌توان از ضرایب اصلاحی جدول (۴-۱) استفاده نمود.

$$S_{av} = \begin{cases} 0.9C_V S_a & T_V \leq 0.10s \\ 0.9C_V S_a \left(\frac{0.1}{T_V}\right)^{0.5} & T_V > 0.10s \end{cases} \quad (4-4)$$

S_{av} : شتاب طیفی مولفه قائم زلزله هدف برای یک دوره بازگشت مشخص (دوره بازگشت طیف قائم برابر با دوره بازگشت طیف افقی است)

T_V : زمان تناوب ارتعاش قائم

S_a : مقدار طیف شتاب هدف افقی با میرایی ۵٪ در زمان تناوبی برابر با T_V و دوره بازگشتی مشخص

C_V : ضریب تبدیل طیف افقی به طیف قائم مطابق جدول (۴-۲)

جدول (۴-۲). مقدار ضریب C_V

نوع خاک ساختگاه مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰			حداکثر شتاب طیف هدف
سایر خاکها	خاک نوع II	خاک نوع I	افقی راستای بیشینه برای زلزله سطح ۲ بر حسب g
1.4	1.3	1.1	بیش از 2.0
1.2	1.1	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	کوچکتر از 0.6

تذکر ۱: بر اساس این ضابطه، در مواردی که اعمال شتاب نگاشت مولفه قائم در تحلیل‌های تاریخچه زمانی الزامی است، این مولفه تنها در سطح خطر ۲ به سازه اعمال می‌شود.

تذکر ۲: زمان تناوب ارتعاش قائم (T_V) ارتباطی با زمان تناوب مدهای ارتعاش جانبی نداشته و مقدار آن بسیار کوچک تر از مقدار زمان تناوب در مدهای جانبی غالب است. همچنین مد غالب ارتعاش قائم لزوماً اولین مد ارتعاش قائم نمی‌باشد. در بسیاری از موارد اولین مدهای ارتعاش قائم مربوط به ارتعاشات موضعی در بخشی از دال، کنسول‌ها یا تیرهای سازه هستند که مشارکت جرمی اندکی دارند. به طور معمول برای ساختمان‌های متداول زمان تناوب ارتعاش قائم در مدهای غالب کوچکتر از 0.3 ثانیه است. بنابراین، در اکثر موارد کفایت طیف مولفه قائم تنها در بازه کوچکی از زمان‌های تناوب (به عنوان مثال زمان تناوب بین صفر تا یک ثانیه) تهیه شود.

تذکر ۳: برای محاسبه زمان تناوب ارتعاش قائم در مدل سازه حتماً باید جرم طبقات علاوه بر امتدادهای جانبی، در امتداد قائم نیز تعریف شده باشند. بسیاری از نرم افزارها به صورت پیش فرض، جرم را تنها در امتداد جانبی اعمال می‌کنند که این موضوع باید در مدل عددی سازه اصلاح شود.

تذکر ۴: طیف طرح مولفه قائم صرفاً برای میرایی ۵٪ تهیه شده و نیازی به اصلاح میرایی ندارد. دلیل این امر آن است که میراگرها و جداگرهای متداول تأثیری بر افزایش میرایی ارتعاشات قائم سازه ندارند.

تذکره ۵: به جای استفاده از روابط این بخش، می‌توان طیف مولفه قائم را با استفاده از تحلیل خطر احتمالاتی و استفاده مستقیم از روابط کاهندگی مولفه قائم بدست آورد. در این صورت طیف مولفه قائم نباید کمتر از ۰.۸٪ طیف مولفه قائم معرفی شده در این بخش در نظر گرفته شود.

تذکره ۶: به جای استفاده از روابط این بخش، می‌توان طیف مولفه قائم را بر اساس آخرین نگارش استاندارد ۲۸۰۰ تعیین نمود.

۴-۳ شتاب نگاشت

مطابق این ضابطه، در روند طراحی نهایی سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر لازم است از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شود که در آن بارهای لرزه‌ای در قالب شتاب نگاشت به پای سازه اعمال می‌شوند. با توجه به اینکه نتایج این نوع تحلیل به طور قابل توجهی به مشخصات شتاب نگاشت‌های در نظر گرفته شده بستگی دارد، بنابراین به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود، لازم است حداقل ۱۰ جفت شتاب نگاشت مطابق بند ۴-۳-۱ به منظور انجام تحلیل در نظر گرفته شود. همچنین به منظور انطباق سطح خطر و دوره بازگشت شتاب نگاشت‌ها با دوره بازگشت مدنظر، لازم است مطابق بند ۴-۳-۲ اصلاحاتی بر روی شتاب نگاشت‌ها انجام شود.

تذکره ۱: لازم است هر شتاب نگاشت حداقل حاوی دو مولفه افقی باشد که به صورت هم‌زمان به سازه اعمال شوند.

تذکره ۲: در موارد زیر لازم است هر شتاب نگاشت علاوه بر دو مولفه افقی، شامل مولفه قائم نیز باشد. هر سه مولفه به صورت هم‌زمان به سازه اعمال می‌شوند.

- سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای
- سازه‌های دارای اعضای باربر قائم ناپیوسته
- سازه‌های دارای ستون‌های مایل متعدد با زاویه انحراف بیش از ۱۰ درجه نسبت به امتداد قائم

تذکر ۳: به منظور کنترل عملکرد سازه تحت زلزله سطح سرویس، اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت الزامی نمی‌باشد.

۴-۳-۱ انتخاب شتاب نگاشت

به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی، لازم است حداقل از ۱۰ زلزله استفاده شود که هر زلزله شامل سه مولفه (دو مولفه افقی و یک مولفه قائم) است. به جز در سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، سازه‌های دارای اعضای باربر قائم ناپیوسته و سازه‌های با ستون‌های مایل با زاویه انحراف بیش از ۱۰ درجه نسبت به امتداد قائم، در سایر سازه‌ها اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت الزامی نبوده و می‌توان تنها دو مولفه افقی هر شتاب نگاشت را به سازه اعمال نمود. همچنین اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت در تحلیل‌های تاریخچه زمانی مربوط به زلزله سطح سرویس الزامی نیست. در هنگام انتخاب شتاب نگاشت‌ها توصیه می‌شود موارد زیر مدنظر قرار گیرند.

- شکل طیف: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که در آن‌ها شکل (نه مقدار عددی) طیف مولفه‌های افقی به شکل تقریبی مشابه شکل طیف طرح باشند.
- مکانیزم چشمه لرزه‌زا: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که دارای مکانیزمی مشابه مکانیزم چشمه‌های لرزه‌زا در اطراف ساختگاه باشند.
- بزرگای: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که مربوط به زلزله‌هایی با بزرگای بیش از ۶ هستند. انتخاب چشمه‌های لرزه‌زای غالب و بزرگای آن، می‌تواند بر اساس نتایج تفکیک لرزه‌ای باشد.
- شرایط ساختگاهی: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که در محل ثبت دارای شرایط ساختگاهی مشابهی با ساختگاه مدنظر بوده‌اند. نوع خاک و توپوگرافی منطقه از جمله شرایط ساختگاهی مهم می‌باشند.
- فاصله از گسل: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که دارای فاصله از گسلی در حدود فاصله ساختگاه از گسل‌های غالب اطراف خود می‌باشد. انتخاب چشمه‌های لرزه‌زای غالب می‌تواند بر اساس نتایج تفکیک لرزه‌ای باشد.
- ضریب مقیاس: در صورتی که از روش مقیاس کردن برای تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت استفاده شود، توصیه می‌شود زلزله‌هایی مدنظر قرار گیرند که به منظور مقیاس

آن‌ها برای زلزله متناظر با سطح خطر ۲، ضرایب مقیاسی بزرگتر از ۵ یا کوچکتر از ۰/۵ مورد نیاز نباشد.

موارد شش گانه فوق الزامی نبوده و صرفاً توصیه هستند لیکن رعایت موارد زیر الزامی می‌باشند.

مورد الزامی ۱: در صورتی که فاصله ساختگاه از تصویر افقی گسل فعال با قابلیت تولید بزرگای گشتاوری بزرگتر از ۷ کوچکتر از ۱۰ کیلومتر باشد و یا در صورتی که فاصله ساختگاه از تصویر افقی گسل فعال با قابلیت تولید بزرگای گشتاوری بزرگتر از ۶ کوچکتر از ۵ کیلومتر باشد، ساختگاه نزدیک به گسل شناخته شده و لازم است حداقل ۴۰٪ از شتاب نگاشت‌ها مربوط به شتاب نگاشت‌های حوزه نزدیک و دارای پالس پرپود بلند باشند. در صورت موجود بودن نتایج تفکیک لرزه‌ای، می‌توان تعداد رکوردهای دارای پالس را بر اساس روابط تجربی موجود بدست آورد. برای تخمین تصویر افقی گسل نیازی به درنظر گرفتن بخش‌هایی از گسل که در اعماق بیش از ۱۰ کیلومتر از سطح زمین هستند نیست. در این بند تنها گسل‌هایی با نرخ لغزش بیش از ۱ میلی‌متر در سال مدنظر قرار می‌گیرند.

مورد الزامی ۲: در صورتی که ساختگاه نزدیک گسل شناخته شده و فاصله ساختگاه از گسل فعال حاکم بر طرح کمتر از ۵ کیلومتر باشد، لازم است برای اعمال شتاب نگاشت‌های حوزه نزدیک دارای پالس پرپود بلند، مولفه افقی قوی‌تر شتاب نگاشت در امتداد تقریبی عمود بر گسل و مولفه ضعیف‌تر آن در امتداد تقریبی موازی با گسل به سازه اعمال شوند. در سایر موارد مولفه‌های افقی به صورت تصادفی در دو جهت اصلی سازه اعمال می‌شوند.

مورد الزامی ۳: مدت زمان تداوم موثر^۱ در حداقل یکی از مولفه‌های افقی شتاب نگاشت باید بزرگتر از ۱۰ ثانیه و نیز بزرگتر از ۳ برابر زمان تناوب مد اصلی سازه باشد. منظور از مدت زمان تداوم موثر محدوده زمانی بین ۵٪ و ۹۵٪ شدت آریاس شتاب نگاشت است. در صورت تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت‌ها با روش انطباق طیفی، این کنترل لازم است در شتاب نگاشت منطبق شده انجام شود (روش انطباق طیفی می‌تواند منجر به تغییر در مدت زمان تداوم موثر شتاب نگاشت شود).

^۱ Significant duration

تذکر: در صورتی که یافتن شتاب نگاشت مناسب از زلزله‌های ثبت شده به تعداد کافی امکان پذیر نباشد، استفاده از شتاب نگاشت‌های مصنوعی یا شبیه سازی شده بلامانع است. در این صورت، حداکثر نیمی از شتاب نگاشت‌ها می‌توانند به صورت مصنوعی تولید شوند.

۴-۳-۲ تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت

پس از انتخاب شتاب نگاشت‌های مناسب، لازم است شدت و سطح خطر لرزه‌ای شتاب نگاشت‌ها متناظر با طیف طرح با دوره بازگشت مشخص اصلاح گردد. برای این منظور از دو روش مقیاس طیفی^۱ و انطباق طیفی^۲ می‌توان استفاده نمود که جزئیات آن‌ها به ترتیب در بندهای ۴-۳-۲-۱ و ۴-۳-۳-۲ ارائه شده است.

تذکر ۱: در این ضابطه لازم است طیف طرح (طیف هدف) معرف طیف امتداد حداکثر باشد. در صورتی که طیف ویژه ساختگاه بر اساس طیف میانگین هندسی تهیه شده باشد، لازم است مقدار آن بر اساس طیف امتداد حداکثر اصلاح شود. برای این منظور در غیاب محاسبات دقیق، می‌توان مقدار طیف میانگین هندسی را برای زمان تناوب‌های بیش از ۱ ثانیه در $1/3$ و برای زمان تناوب‌های کمتر از 0.2 ثانیه در $1/25$ ضرب نمود. برای زمان تناوب‌های بین 0.2 ثانیه تا ۱ ثانیه ضریب مربوطه را می‌توان بین $1/25$ تا $1/3$ بر اساس درون‌یابی محاسبه نمود. به عنوان راهکاری ساده‌تر، می‌توان کل طیف میانگین هندسی را در ضریب ثابت $1/3$ ضرب نموده و بدین ترتیب طیف میانگین هندسی را به طیف راستای بیشینه تبدیل نمود.

تذکر ۲: استفاده از روش انطباق طیفی برای شتاب نگاشت‌های حوزه نزدیک دارای پالس تنها در صورتی مجاز است که، اعمال این روش منجر به از بین رفتن پالس زلزله نشود. برای این منظور می‌توان تاریخچه زمانی سرعت زمین مربوط به شتاب نگاشت را قبل و پس از انطباق طیفی با یکدیگر مقایسه نمود. در صورتی که در روش انطباق طیفی پالس به شکل قابل توجهی از بین رفته باشد، لازم است یا کمیت‌های مورد استفاده در روش انطباق طیفی تغییر یابد و یا از روش مقیاس طیفی برای این شتاب نگاشت استفاده شود.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

¹ Spectral Scaling

² Spectral Matching

تذکر ۳: مزیت اصلی روش انطباق طیفی آن است که شکل طیف شتاب نگاشت می‌تواند در محدوده زمان تناوبی وسیعی مطابق طیف طرح شده و بر آن منطبق گردد. لیکن ایراد روش انطباق طیفی آن است که منجر به تغییر در محتوای فرکانسی شتاب نگاشت اصلی می‌شود. با این وجود هر دو روش مقیاس طیفی و انطباق طیفی در این ضابطه به صورت مجزا و یا ترکیبی قابل استفاده هستند.

تذکر ۴: هم روش مقیاس طیفی و هم روش انطباق طیفی در یک محدوده زمان تناوبی مشخصی انجام می‌شوند. در تمام موارد منظور از زمان تناوب، زمان تناوب تحلیلی سازه بوده و نباید از زمان تناوب تجربی برای تعیین محدوده مقیاس یا انطباق طیفی استفاده شود.

۴-۳-۲-۱ روش مقیاس طیفی

روش مقیاس طیفی ساده‌ترین روش تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت می‌باشد که در آن، هر یک از شتاب نگاشت‌ها در یک ضریب ثابت به نام ضریب مقیاس ضرب می‌شوند. بنابراین در این روش شکل طیف هر یک از شتاب نگاشت‌ها ثابت مانده و تنها مقدار عددی شتاب طیفی بسته به مقدار ضریب مقیاس تغییر می‌کند. جزئیات این روش در گام‌های زیر ارائه شده و به صورت شماتیک در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.

گام ۱: تهیه طیف طرح متناظر با زلزله سطح ۲ و درصد میرایی ۵٪

گام ۲: محاسبه زمان تناوب مد اصلی سازه (T_1) با در نظر گرفتن سختی موثر مورد انتظار میراگر/جداگر متناظر با زلزله سطح ۲ (برای اعضای بتنی سازه لازم است بسته به سطح عملکرد مورد انتظار، از ضرایب ترک خوردگی ارائه شده در بخش ۵-۴-۱-۱۳ استفاده شود)

گام ۳: تهیه طیف شتاب راستای بیشینه با درصد میرایی ۵٪ از هر دو مولفه افقی زلزله نام (دو مولفه افقی زلزله منجر به ایجاد یک طیف شتاب راستای بیشینه می‌شوند)

گام ۴: تکرار گام ۳ برای تمام زلزله‌ها

گام ۵: تهیه طیف شتاب راستای بیشینه میانگین از طیف راستای بیشینه حاصل از تک تک زلزله‌ها (اگر N زلزله در نظر گرفته شده باشد، N جفت شتاب نگاشت موجود بوده که با استفاده

از آن‌ها N طیف راستای بیشینه بدست خواهد آمد که با میانگین‌گیری آن‌ها در هر زمان تناوب، در نهایت یک طیف راستای بیشینه میانگین حاصل خواهد شد).

گام ۶: تنظیم ضریب مقیاس λ برای هر یک از شتاب نگاشت‌ها به طوری که در محدوده زمان تناوب $T_{90\%}$ تا $1.5T_1$ مقدار طیف راستای بیشینه میانگین از 90% طیف طرح سطح خطر ۲ تعیین شده در گام ۱ کوچکتر نباشد. $T_{90\%}$ زمان تناوبی است که در آن حداقل 90% مشارکت جرمی در هر دو امتداد افقی ایجاد می‌شود و نباید بزرگتر از $0.2T_1$ در نظر گرفته شود. در تعیین مشارکت جرمی 90% لازم نیست جرم طبقات زیرزمین که نسبت به سایر طبقات دارای صلیبت بسیار بیشتری هستند در نظر گرفته شود. همچنین مقدار $T_{90\%}$ لازم نیست کوچکتر از $0.1T_1$ در نظر گرفته شود. بعلاوه، در سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، مقدار $T_{90\%}$ نباید بیش‌تر از زمان تناوب مد اصلی روسازه در شرایط پای ثابت، در نظر گرفته شود. T_1 زمان تناوب مد اصلی سازه با در نظر گرفتن مشخصات مورد انتظار میراگرها و جداگرها متناظر با تغییرشکل‌های سطح خطر ۲ می‌باشد.

تذکره ۱: زمان تناوب مد اصلی سازه علاوه بر مشخصات سازه اصلی، به سختی موثر میراگر/جداگر نیز بستگی دارد که این کمیت خود به حداکثر تغییرشکل رخ داده در میراگر/جداگر وابسته است. علاوه بر آن، مطابق بخش ۵-۴-۱-۱۳ در سازه‌های بتنی مقدار ضرایب ترک خوردگی به عملکرد مورد انتظار عضو بستگی داشته و در عملکردهای لرزه‌ای بالا، عضو دچار ترک خوردگی و کاهش سختی کمتری می‌شود. بنابراین زمان تناوب مد اصلی سازه در این بخش باید با توجه به عملکرد مورد انتظار اعضای بتنی و تغییرشکل‌های مورد انتظار میراگرها و جداگرها در زلزله سطح ۲ تعیین شود. سختی موثر میراگر/جداگر بر اساس مشخصات مورد انتظار (میانگین) میراگر/جداگر بدست می‌آید، بدون در نظر گرفتن ضرایب مربوط به حد بالا/پایین مشخصات میراگر/جداگر. به عنوان روشی جایگزین، برای سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، در گام ۷ می‌توان محدوده زمان تناوبی را در محدوده $T_{90\%}$ تا $1.25T_1$ در نظر گرفت به شرطی که T_1 زمان تناوب مد اصلی سازه متناظر با زلزله سطح ۲ و با استفاده از مشخصات حد پایین جداگرها محاسبه شده باشد.

تذکر ۲: بسته به نوع شتاب نگاشت‌های انتخاب شده، ممکن است کلیه شتاب نگاشت‌ها دارای یک ضریب مقیاس یکسان و یا دارای ضرایب مقیاس مختلف باشند. توصیه می‌شود برای اینکه کلیه زلزله‌ها در روند میانگین‌گیری دارای تاثیر نسبتاً یکسانی باشند، از ضرایب مقیاس متفاوت برای هر زلزله استفاده شود. در هر صورت برای یک زلزله، همواره شتاب نگاشت مربوط به هر دو مولفه افقی دارای یک ضریب مقیاس یکسان خواهند بود.

تذکر ۳: اگرچه در گام ۶ ضرایب مقیاس را به صورت سعی و خطا می‌توان بدست آورد، لیکن توصیه می‌شود از الگوریتم‌ها، پایگاه‌های داده و نرم افزارهایی که قابلیت مقیاس شتاب نگاشت‌ها را دارا می‌باشند استفاده نمود چراکه در این صورت پراکندگی در طیف‌های راستای بیشینه مقیاس شده به حداقل خواهد رسید.

تذکر ۴: ضرایب مقیاس هر یک از شتاب نگاشت‌ها به دوره بازگشت طیف طرح بستگی دارند. در روند ارائه شده در این بخش، ضرایب مقیاس متناظر با زلزله سطح ۲ محاسبه می‌شود. برای محاسبه ضریب مقیاس متناظر با سایر سطوح خطر لرزه‌ای، ضریب مقیاس متناظر با سطح خطر ۲ در میانگین نسبت طیف طرح در سطح خطر مدنظر به طیف طرح در سطح خطر ۲ (در بازه زمان تناوبی $T_{90\%}$ تا $1.5T_1$) ضرب شده و بدین ترتیب ضریب مقیاس برای سطح خطر مدنظر بدست می‌آید. در صورت عدم وجود طیف طرح در سطوح خطر مختلف، می‌توان از ضرایب جدول (۴-۱) به منظور تبدیل ضریب مقیاس از سطح خطر ۲ به سطح خطری دیگر استفاده نمود (به عنوان نمونه برای تعیین ضریب مقیاس متناظر با زلزله سطح سرویس (دوره بازگشت ۴۰ ساله) بر اساس جدول (۴-۱) لازم است ضرایب مقیاس متناظر با زلزله سطح ۲ (دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال) در ضریب اصلاح ۰/۲۲۷ ضرب شوند).

تذکر ۵: در صورتی که نیاز به اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت‌ها باشد، لازم است مولفه‌های قائم شتاب نگاشت به نحوی مقیاس شوند که در محدوده زمان تناوب ۰/۱ ثانیه تا T_{VI} میانگین طیف شتاب مولفه قائم شتاب نگاشت‌ها از ۹۰٪ مقدار طیف طرح مولفه قائم با دوره بازگشت مدنظر کمتر نباشد. T_{VI} زمان تناوب اولین مد ارتعاش قائم سازه است که در آن بیش از ۱۰٪ جرم موثر قائم سازه به صورت تجمعی فعال شده باشد. به جای محاسبه مستقل ضریب مقیاس مولفه قائم مطابق جزئیات فوق، می‌توان برای مولفه قائم نیز از ضریب مقیاسی مشابه ضریب

مقیاس مولفه‌های افقی زلزله استفاده نمود. در این صورت هر سه مولفه زلزله در یک ضریب مقیاس یکسان ضرب می‌شوند. لازم به ذکر است در مواردی که اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت الزامی باشد، این مولفه تنها در سطح خطر ۲ اعمال شده و در سایر سطوح خطر، اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت ضرورتی ندارد. همچنین در صورت نیاز می‌توان مولفه قائم زلزله را با استفاده از روش انطباق طیفی اصلاح نمود.



شکل (۴-۴). روند انجام مقیاس طیفی برای مولفه‌های افقی دسته شتاب نگاشت‌های انتخاب شده- مقادیر موجود در شکل صرفاً به منظور نشان دادن روند کار است.

۴-۳-۲ روش انطباق طیفی

در روش انطباق طیفی، برخلاف روش مقیاس طیفی، برای هر یک از شتاب نگاشت‌ها از یک ضریب مقیاس استفاده نشده و ضرایب مقیاس در فرکانس‌های مختلف دارای مقادیر متفاوتی

هستند. بنابراین در این روش شکل طیف شتاب نگاشت و محتوای فرکانسی آن تغییر کرده و به شکل کامل‌تری با طیف طرح منطبق می‌شود. جزئیات این روش در گام‌های زیر ارائه شده و به صورت شماتیک در شکل (۴-۵) برای یک نمونه شتاب نگاشت نشان داده شده است.

گام ۱: تهیه طیف طرح متناظر با زلزله سطح ۲ و درصد میرایی ۵٪

گام ۲: محاسبه زمان تناوب مد اصلی سازه (T_1) با در نظر گرفتن سختی موثر مورد انتظار میراگر/جداگر متناظر با زلزله سطح ۲ (برای اعضای بتنی سازه لازم است بسته سطح عملکرد مورد انتظار، از ضرایب ترک خوردگی ارائه شده در بخش ۵-۴-۱۳ استفاده شود)

گام ۳: تهیه طیف شتاب با میرایی ۵٪ از مولفه‌های افقی شتاب‌نگاشت انتخابی (در این روش نیاز به تهیه طیف راستای بیشینه نمی‌باشد).

گام ۴: انجام انطباق طیفی برای هر یک از مولفه‌های افقی به صورت جداگانه به نحوی که مقدار طیف شتاب انطباق یافته در محدوده زمان تناوبی $T_{90\%}$ تا $1.5T_1$ از مقدار 0.85 طیف طرح تعیین شده در گام ۱ کوچکتر نباشد. $T_{90\%}$ زمان تناوبی از سازه است که در آن حداقل ۹۰٪ مشارکت جرمی در هر دو امتداد افقی ایجاد می‌شود و نباید بزرگتر از $0.2T_1$ در نظر گرفته شود. در تعیین مشارکت جرمی ۹۰٪ لازم نیست جرم طبقات زیرزمین که نسبت به سایر طبقات دارای صلیبت بسیار بیشتری هستند در نظر گرفته شود. همچنین مقدار $T_{90\%}$ لازم نیست کوچکتر از $0.1T_1$ در نظر گرفته شود. بعلاوه، در سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، مقدار $T_{90\%}$ نباید بیش‌تر از زمان تناوب مد اصلی روسازه در شرایط پای ثابت، در نظر گرفته شود. T_1 زمان تناوب مد اصلی سازه با در نظر گرفتن مشخصات مورد انتظار میراگرها و جداگرها متناظر با تغییر شکل‌های سطح خطر ۲ می‌باشد.

گام ۵: تکرار گام‌های ۳ و ۴ برای سایر شتاب نگاشت‌ها

تذکر ۱: زمان تناوب مد اصلی سازه علاوه بر مشخصات سازه اصلی، به سختی موثر میراگر/جداگر نیز بستگی دارد که این کمیت خود به حداکثر تغییر شکل رخ داده در میراگر/جداگر وابسته است. علاوه بر آن، مطابق بخش ۵-۴-۱۳ در سازه‌های بتنی مقدار ضرایب ترک خوردگی به عملکرد مورد انتظار عضو بستگی داشته و در عملکردهای لرزه‌ای بالا، عضو دچار ترک خوردگی

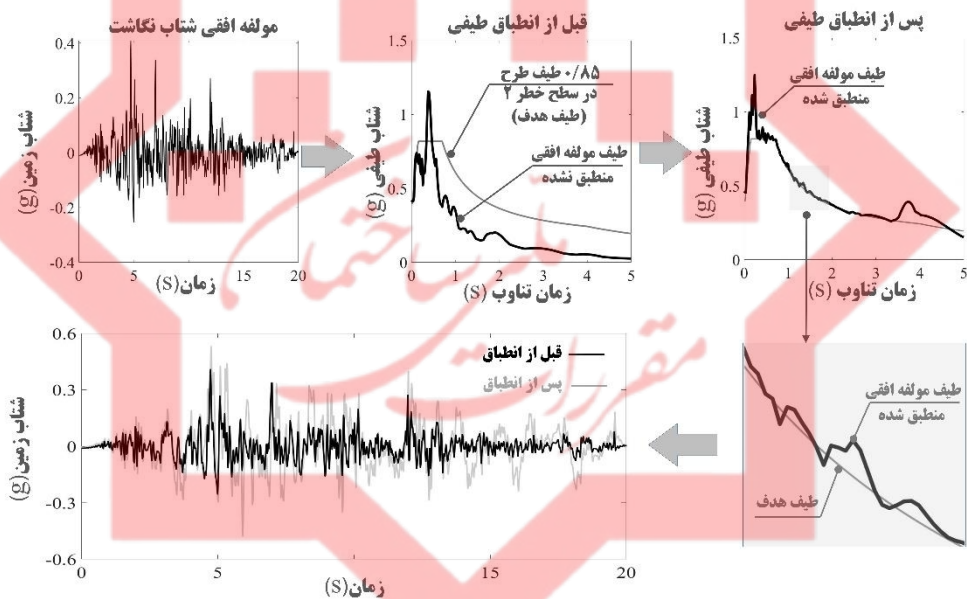
و کاهش سختی کمتری می‌شود. بنابراین زمان تناوب مد اصلی سازه در این بخش باید با توجه به عملکرد مورد انتظار اعضای بتنی و تغییرشکل‌های مورد انتظار میراگرها و جداگرها در زلزله سطح ۲ تعیین شود. سختی موثر میراگر/جداگر بر اساس مشخصات مورد انتظار (میانگین) میراگر/جداگر بدست می‌آید، بدون درنظر گرفتن ضرایب مربوط به حد بالا/پایین مشخصات میراگر/جداگر. به عنوان روشی جایگزین، برای سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، در گام ۴ می‌توان محدوده زمان تناوبی را در محدوده $T_{90\%}$ تا $1.25T_1$ در نظر گرفت به شرطی که T_1 زمان تناوب مد اصلی سازه متناظر با زلزله سطح ۲ و با استفاده از مشخصات حد پایین جداگرها محاسبه شده باشد.

تذکر ۲: روش انطباق طیفی با استفاده از نرم افزارهای مربوط به این کار انجام می‌شود. در خصوص زلزله‌های پالس دار لازم است با کنترل تاریخچه زمانی سرعت زمین در شتاب نگاشت قبل و بعد از انطباق طیفی، اطمینان حاصل نمود که پالس در شتاب نگاشت انطباق یافته حذف نشده باشد. کنترل حذف یا عدم حذف پالس در تاریخچه زمانی سرعت زمین به صورت چشمی و بر اساس قضاوت مهندسی انجام می‌شود.

تذکر ۳: در صورتی که طیف طرح در دوره‌های بازگشت مختلف بر اساس ضرایب اصلاحی جدول (۱-۴) بدست آمده باشد، به منظور ساده سازی، می‌توان انطباق طیفی را تنها در سطح خطر ۲ انجام داده و برای سایر سطوح خطر، شتاب نگاشت منطبق شده بر سطح خطر ۲ در یک ضریب مقیاس متناظر با ضرایب اصلاحی جدول (۱-۴) ضرب نمود.

تذکر ۴: در صورتی که نیاز به اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت‌ها باشد، لازم است مولفه‌های قائم هر یک از شتاب نگاشت‌ها به طور جداگانه با طیف طرح مولفه قائم در سطح خطر ۲ منطبق شوند. این انطباق در محدوده زمان تناوبی 0.1 ثانیه تا T_{VI} انجام می‌گیرد (T_{VI} زمان تناوب اولین مد ارتعاش قائم سازه است که در آن بیش از 10% جرم موثر قائم سازه به صورت تجمعی فعال شده باشد). لازم به ذکر است در مواردی که اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت الزامی باشد، این مولفه تنها در سطح خطر ۲ اعمال شده و در سایر سطوح خطر، اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت ضرورتی ندارد.

تذکره ۵: در روش انطباق طیفی ارائه شده در این بخش، نیازی به تهیه طیف راستای بیشینه برای زلزله‌ها نمی‌باشد. روند ارائه شده برای انطباق طیف هر یک از مولفه‌های افقی بر روی ۸۵٪ طیف هدف سبب می‌شود طیف راستای بیشینه میانگین زلزله‌های انطباق یافته تقریباً ۱۰٪ بیشتر از طیف هدف باشد. لازم به ذکر است اگرچه طیف هر یک از مولفه‌های افقی زلزله انطباق یافته دارای شکلی مشابه طیف هدف می‌باشند، اما طیف راستای بیشینه حاصل از زلزله انطباق یافته لزوماً دارای شکلی مشابه با طیف هدف نخواهد بود. بنابراین در این ضابطه به منظور استفاده از مزیت روش انطباق طیفی (یکسان بودن شکل طیف حاصل از زلزله با طیف هدف)، روند انطباق طیفی بر اساس تک تک مولفه‌های افقی و مستقل از طیف راستای بیشینه تنظیم شده است.



شکل (۴-۵). روند انجام انطباق طیفی برای یکی از مولفه‌های افقی دسته شتاب نگاشت‌های انتخاب شده (این روند به طور مشابه برای تمام مولفه‌های افقی تمام شتاب نگاشت‌ها به طور جداگانه انجام می‌شود) - مقادیر موجود در شکل صرفاً به منظور نشان دادن روند کار است.

فصل ۵

طراحی سازه

دکتر مقررآت ملی و کنترل ساختمان

دکتر مقررآت ملی و کنترل ساختمان



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۵-۱ مقدمه

در این فصل روند طراحی لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر و سازه‌های مجهز به سیستم‌های جداساز لرزه‌ای به تفصیل بیان شده است. به طور کلی طراحی سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر در چهار مرحله به شرح زیر قابل انجام است.

- گام ۱: تعیین اهداف عملکردی
- گام ۲: طراحی اولیه سازه اصلی (با استفاده از تحلیل خطی استاتیکی و یا طیفی)
- گام ۳: طراحی و توزیع بهینه میراگرها/جداگرها در ارتفاع و پلان
- گام ۴: کنترل نهایی عملکرد سازه (با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی)

در بخش ۵-۲ روند طراحی لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر و در بخش ۵-۳ روند طراحی لرزه‌ای سازه‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای ارائه شده است. با توجه به آنکه کنترل عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر در این ضابطه مستلزم انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی می‌باشد، در بخش ۵-۴ الزامات انجام این نوع تحلیل و کنترل معیارهای پذیرش ارائه شده است.

تذکره ۱: با توجه به رویکرد طراحی عملکردی در این ضابطه، در ساختمان‌های جدید مجهز به میراگر و یا سیستم جداساز لرزه‌ای، استفاده از کلیه سیستم‌های باربر جانبی ویژه و سیستم‌های باربر جانبی دوگانه ویژه که در استاندارد ۲۸۰۰ معرفی شده‌اند، بدون اعمال محدودیت در ارتفاع، مجاز می‌باشند. در خصوص سیستم‌های باربر جانبی متوسط و معمولی، ارتفاع مجاز می‌تواند به ترتیب ۲ برابر و ۱/۵ برابر ارتفاع مجاز ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است در خصوص سیستم‌های باربر جانبی، رعایت الزامات تجویزی موجود در مباحث مقررات ملی و محدودیت‌های ارتفاعی موجود در استاندارد ۲۸۰۰، لزوماً تضمین کننده عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار نبوده و لازم است پاسخ‌های کلی (دریافت و شتاب طبقات) و پاسخ‌های موضعی (تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو و تغییر شکل) سازه مطابق بند ۴-۵-۶ با معیارهای پذیرش مربوطه، کنترل شوند.

تذکره ۲: در مواردی که هدف بهسازی لرزه‌ای یک ساختمان موجود می‌باشد، مقاطع اعضای سازه‌ای از قبل مشخص بوده بنابراین گام ۲ از گام‌های چهار گانه فوق منتفی خواهد بود.

تذکره ۳: پیش از انجام گام چهارم (کنترل نهایی عملکرد سازه)، توصیه می‌شود از عملکرد مناسب سازه قبل از انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی اطمینان نسبی حاصل شود. تحلیل‌های استاتیکی خطی و غیرخطی و نیز تحلیل‌های طیفی برای این منظور قابل استفاده هستند. همچنین کنترل اولیه عملکرد سازه با استفاده از روش زمان-دوام نیز امکان پذیر است که جزئیات این روش توسط وفایی و استکانچی (۱۳۹۰) ارائه شده است. به علاوه، استفاده از روش‌های طراحی ظرفیتی برای کنترل ظرفیت تلاش‌های نیروکنترل و نیز اتصالات میراگرها و جداگرها، قابل توصیه است. همچنین در این مرحله می‌توان با استفاده از تحلیل‌های طیفی یا تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی مودال، دید مناسبی از مقدار حداکثر دریافت‌ها یا سایر پاسخ‌های احتمالی سازه بدست آورد و در صورت نیاز اقدام به اصلاح طرح، پیش از کنترل نهایی، نمود.

تذکره ۴: طراحی مشخصات میراگرها و توزیع آن‌ها در طبقات و نیز طراحی مشخصات جداگرها در سیستم جداساز لرزه‌ای تا کنون عمدتاً به صورت سعی و خطا و با اتکا بر تجربه طراح انجام می‌گرفته است. این روش طراحی اگرچه قابل قبول است، اما می‌تواند مستلزم روندی طولانی مبتنی بر سعی و خطا شده و بعضاً منجر به طرح‌های غیر بهینه شود. در بخش‌های ۵-۲ و ۵-۳

از این ضابطه روش‌هایی مشخص برای طراحی بهینه میراگرها و جداگرها ارائه شده است که انتظار می‌رود روند سعی و خطا را حذف و یا تقلیل دهد. با این وجود طراح می‌تواند طراحی اولیه سازه‌های مجهز به میراگر یا جداگر را بر اساس روش‌هایی به جز روش‌های ارائه شده در بخش‌های ۲-۵ و ۳-۵ انجام دهد. لیکن عملکرد لرزه‌ای سازه همواره باید بر اساس الزامات بخش ۴-۵ کنترل شده و کلیه معیارهای پذیرش کلی و موضعی ارائه شده در بند ۴-۵-۶ برآورده شوند.

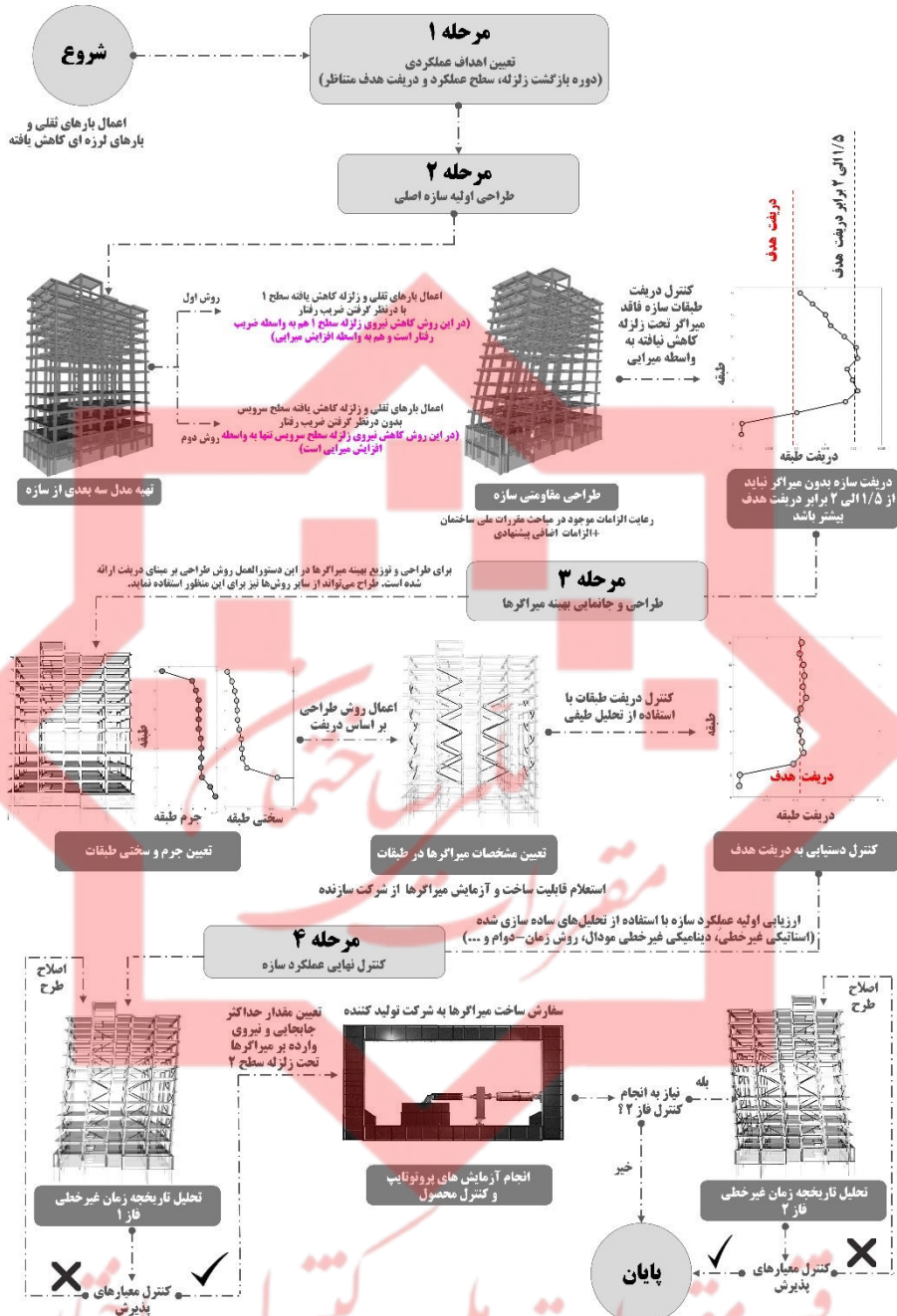
۲-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر

۲-۵-۱ روند کلی طراحی

روند کلی طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. مطابق شکل (۱-۵) روند طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر در قالب ۴ مرحله اصلی قابل دسته‌بندی است که هر یک از این مراحل در این بخش تشریح شده‌اند.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۲۰۰ ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای



شکل (۵-۱). فلوچارت طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر

۵-۲-۲ مرحله اول - تعیین اهداف عملکردی

در اولین قدم لازم است اهداف عملکردی ساختمان مجهز به میراگر مشخص شود. منظور از تعیین اهداف عملکردی، تعیین سطح عملکرد لرزه‌ای مدنظر در هر سطح خطر لرزه‌ای می‌باشد. سطوح خطر لرزه‌ای در این ضابطه مطابق جدول (۴-۱) در فصل ۴ تعریف می‌شوند. همچنین سطوح عملکردی مدنظر این ضابطه در جدول (۵-۱) معرفی شده‌اند. حداقل اهداف عملکردی برای ساختمان‌های جدید در جدول (۵-۲) و اهداف عملکردی پیشنهادی برای بهسازی ساختمان‌های موجود در جدول (۵-۳) ارائه شده است.

تذکر ۱: از مقادیر دریافت متناظر با سطوح عملکرد مختلف که در جدول (۵-۱) ارائه شده‌اند می‌توان مقدار دریافت هدف ساختمان را برای دستیابی به یک سطح عملکرد مشخص تخمین زد. لازم به ذکر است این مقادیر تقریبی هستند. به طور کلی برای سیستم‌های باربرجانبی با سختی کمتر و شکل‌پذیری بیشتر (همانند قاب‌های خمشی فولادی ویژه) می‌توان از مقادیر نزدیک به حد بالای تعیین شده برای محدوده دریافت هدف استفاده نمود و برای سیستم‌های باربرجانبی با سختی بیشتر و شکل‌پذیری کمتر (همانند دیوارهای برشی غیر ویژه و یا مهاربندهای همگرای غیر ویژه) توصیه می‌شود از مقادیر نزدیک به حد پایین تعیین شده برای محدوده دریافت هدف استفاده گردد. صرفنظر از نوع سیستم باربرجانبی، همواره استفاده از دریافت هدف کوچکتر منجر به بهبود عملکرد و تاب‌آوری لرزه‌ای سازه خواهد شد.

تذکر ۲: مقدار دقیق دریافت متناظر با هر سطح عملکرد (دریافت هدف) برای هر نوع سیستم سازه‌ای از طریق انجام تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی (پوش اور)، تحلیل به روش زمان-دوام و یا تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قابل تخمین است. دریافت هدف تابعی از عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار سازه بوده، بنابراین در سطوح خطر مختلف مقادیر متفاوتی خواهد داشت.

تذکر ۳: مقدار حداکثر دریافت تنها در شرایطی می‌تواند به عنوان تخمینی از عملکرد سازه مورد استفاده قرار گیرد که تلاش‌های نیرو کنترل دارای ظرفیت کافی بوده و تلاش‌های تغییرشکل کنترل تعیین‌کننده عملکرد لرزه‌ای سازه باشند.

تذکره ۴: برای سازه‌های جدید، کارفرما می‌تواند اهداف عملکردی بالاتر از اهداف ارائه شده در جدول (۲-۵) را تعریف نماید. برای سازه‌های جدید، اهداف عملکردی نباید پایین‌تر از اهداف عملکردی ارائه شده در آخرین نگارش استاندارد ۲۸۰۰ انتخاب شود. همچنین، برای بهسازی سازه‌های موجود، کارفرما می‌تواند اهداف عملکردی متفاوت (بالاتر یا پایین‌تر) با آنچه در جدول (۳-۵) پیشنهاد شده است را تعریف نماید.

تذکره ۵: در مواردی که در جداول (۲-۵) و (۳-۵)، اهداف عملکردی بین دو هدف عملکردی مختلف تعریف شده است، پاسخ‌های سازه بر اساس میانگین معیار پذیرش در دو هدف عملکردی مذکور بدست می‌آیند. به عنوان مثال برای دستیابی به عملکرد بین LS و CP، لازم است تلاش‌های تغییرشکل کنترل بر اساس میانگین معیار پذیرش در سطح عملکرد LS و CP کنترل شوند.

تذکره ۶: در سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه (O) سازه به طور کلی در محدوده الاستیک خود قرار داشته و حتی تلاش‌های تغییرشکل کنترل نیز نباید وارد محدوده غیرالاستیک شوند.

جدول (۱-۵). سطوح عملکردی سازه‌های مجهز به میراگر

سطح عملکرد	خدمت رسانی بی وقفه (O)	استفاده بی وقفه (IO)	ایمنی جانی (LS)	آستانه فروریزش (CP)
حداکثر دریافت طبقه (دریافت هدف)	0 ~ 0.5%	0.50%	1.0% ~ 2.0%	2.0% ~ 3.0%
حداکثر دریافت ماندگار طبقه	*0.1%	0.2%	0.5%	1.0%
حداکثر شتاب طبقه	**0.25g	**0.35g	-	-

* اگرچه در عملکرد خدمت رسانی بی وقفه (O) سازه اصلی به صورت الاستیک باقی می‌ماند، اما در صورتی که میراگرهای سازه از نوع میراگرهای وابسته به تغییرشکل باشند، ممکن است مقداری تغییرشکل ماندگار در سازه باقی بماند.

** مقادیر حداکثر شتاب متناظر با آستانه واژگونی تجهیزات مهارنشده داخل طبقات (قفسه‌ها، کمد ها و ...) با نسبت ارتفاع به عرض ۴ (برای سطح عملکرد O) و ۳ (برای سطح عملکرد IO) هستند.

فصل ۵: طراحی سازه — ۲۰۳

جدول (۵-۲). حداقل اهداف عملکردی ساختمان‌های جدید مجهز به میراگر

سطح خطر لرزه‌ای			درجه اهمیت ساختمان جدید
سطح ۲ (دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال)	سطح ۱* (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)	سطح سرویس (دوره بازگشت ۴۰ سال)	
LS	IO	O	خیلی زیاد
نقطه میانی LS و CP	نقطه میانی IO و LS	نقطه میانی O و IO	زیاد
CP	LS	IO	متوسط

* کنترل عملکرد سازه تنها در زلزله سطح سرویس و سطح ۲ الزامی بوده و در سطح ۱ می‌تواند انجام نشود.

جدول (۵-۳). اهداف عملکردی پیشنهادی برای بهسازی ساختمان‌های موجود با استفاده از میراگر

سطح خطر لرزه‌ای			درجه اهمیت ساختمان موجود
سطح ۲* (دوره بازگشت ۹۷۵ سال)	سطح ۱* (دوره بازگشت ۲۲۵ سال)	سطح سرویس (دوره بازگشت ۲۰ سال)	
LS	IO	O	خیلی زیاد
نقطه میانی LS و CP	نقطه میانی IO و LS	نقطه میانی O و IO	زیاد
CP	LS	IO	متوسط

* کنترل عملکرد سازه تنها در زلزله سطح سرویس و سطح ۲ الزامی است که در این دو سطح، دوره بازگشت زلزله می‌تواند بسته به نظر کارفرما متفاوت از مقادیر جدول باشد.

۵-۲-۳ مرحله دوم-طراحی سازه اصلی

در مرحله دوم لازم است سیستم باربر ثقلی و سیستم باربر جانبی ساختمان بدون حضور میراگرها طراحی شوند. برای این منظور ابتدا مدلی سه بعدی از سازه ساخته شده، سپس کلیه بارهای ثقلی، بار ناشی از باد و برف، فشار خاک و در نهایت نیروی زلزله به سازه اعمال می‌شود. در خصوص ترکیبات بارگذاری فاقد نیروی زلزله، سازه مشابه یک ساختمان متداول بر اساس مباحث مقررات ملی ساختمان طراحی می‌شود.

تذکر ۱: صرفاً در صورت استفاده از میراگرهای وابسته به سرعت و نیز انجام تحلیل دینامیکی برای بار باد، می‌توان تاثیر افزایش میرایی را در کاهش پاسخ‌های ناشی از بار باد، مطابق با روش‌های شناخته شده، در نظر گرفت. جزئیات این نوع تحلیل خارج از دامنه کاربرد این ضابطه است، لیکن در صورتی که تاثیر میراگرها در کاهش ارتعاشات ناشی از باد در نظر گرفته شود، لازم است پروتوکل ناشی از بار باد نیز در آزمایش میراگرها مطابق فصل ۶ در نظر گرفته شود.

در خصوص طراحی اولیه سازه تحت ترکیبات بارگذاری شامل زلزله، دو روش در این ضابطه تعیین شده است. **روش اول** تنها در مورد سیستم‌های باربرجانبی معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ (با رعایت حداکثر ارتفاع مجاز) قابل استفاده بوده، لیکن **روش دوم** در خصوص هر نوع سیستم باربرجانبی شناخته شده‌ای قابل استفاده است (صرفنظر از این که در استاندارد ۲۸۰۰ معرفی شده باشد و یا خیر). با توجه به اینکه در کنترل نهایی سازه، از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده خواهد شد، حداکثر ارتفاع مجاز سیستم‌های باربرجانبی تعریف شده در استاندارد ۲۸۰۰ می‌تواند مطابق موارد ارائه شده در تذکر ۱ بخش ۵-۱ افزایش داده شوند که در این صورت لازم است طراحی اولیه سازه بر اساس روش دوم معرفی شده در ضابطه انجام شود. در خصوص سیستم‌های باربرجانبی که در استاندارد ۲۸۰۰ معرفی نشده و برای آن‌ها ضریب رفتار مشخصی تعریف نشده است (همانند سیستم‌های متشکل از هسته مرکزی و بازویی، سیستم‌های متشکل از دیوار یا طره‌های گهواره‌ای، سیستم‌های متشکل از دیاگراید یا ستون‌های مایل متعدد، سیستم‌های نوین صنعتی و ...) لازم است از روش دوم برای طراحی اولیه سازه استفاده شود. در این نوع سیستم‌ها لازم است مکانیزم انتقال بار، مکانیزم استهلاک انرژی، تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل و نیرو به طور کامل مشخص باشند.

تذکر ۲: روش اول تنها در خصوص سیستم‌های باربرجانبی معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ (با رعایت حداکثر ارتفاع مجاز تعریف شده در استاندارد ۲۸۰۰) قابل استفاده است.

تذکر ۳: روش دوم در مقایسه با روش اول انطباق بهتری با روند طراحی عملکردی داشته و در خصوص کلیه سیستم‌های باربرجانبی شناخته شده قابل استفاده است. در خصوص سیستم‌های باربرجانبی معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ که با استفاده از روش دوم طراحی می‌شوند، ارتفاع مجاز می‌تواند مطابق تذکر ۱ بخش ۵-۱ افزایش یابد.

روش اول:

در این روش، با توجه به سیستم باربرجانبی سازه و ضریب رفتار معرفی شده برای آن، نیروی زلزله در سطح ۱ (با اعمال ضریب اهمیت و ضریب رفتار سازه اما بدون اعمال ضریب نامعینی و ضریب اضافه مقاومت) محاسبه شده و این نیرو در یک ضریب کاهش ناشی از میرایی (مطابق تذکر ۴ همین بخش) ضرب می‌شود. سپس نیروی زلزله کاهش یافته به صورت طیفی (تحلیل دینامیکی خطی) به سازه اعمال می‌شود. لازم به ذکر است در این روش، نیروی زلزله در سطح ۱ بوده و هم به واسطه ضریب رفتار و هم به واسطه میرایی کاهش می‌یابد. در این مرحله از طراحی، نیازی به تعریف المان‌های میراگر به شکل صریح در مدل سازه نمی‌باشد. بعلاوه، ضرایب ترک خوردگی اعضای بتنی باید متناسب با زلزله سطح ۱ تعریف شوند. برای این منظور می‌توان از ضرایب ترک خوردگی ارائه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و یا ضرایب ترک خوردگی ارائه شده در بخش ۵-۴-۱-۱۳ این ضابطه استفاده نمود. در صورتی که عملکرد مدنظر در زلزله سطح ۱ استفاده بی وقفه (IO) یا بهتر از آن باشد، اعضای بتنی سازه ترک خوردگی کمتری را تجربه کرده و در این صورت لازم است ضرایب ترک خوردگی بر اساس بخش ۵-۴-۱-۱۳ این ضابطه (و نه مبحث نهم مقررات ملی ساختمان) تعیین شوند. در این روش طراحی لازم است کلیه الزامات مربوط به سیستم باربرجانبی مطابق با مباحث مقررات ملی ساختمان رعایت شود. در این روش از مشخصات اسمی مصالح استفاده شده و ضرایب کاهش مقاومت مطابق با مباحث مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت با استفاده از ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، سازه به نحوی طراحی می‌شود که حداکثر نسبت تقاضا به ظرفیت در کلیه تلاش‌ها کوچکتر از ۱ باشد. این طراحی صرفاً به شکل مقاومتی بوده و در این مرحله نیازی به کنترل دریافت طبقات نمی‌باشد. لیکن توصیه می‌شود سازه به نحوی طراحی شود که در غیاب حضور میراگرها و تحت زلزله سطح ۱ کاهش نیافته (بدون در نظر گرفتن اثر افزایش میرایی اضافی)، دریافت طبقه از محدوده ۱/۵ الی ۲ برابر دریافت هدف در سطح خطر ۱ فراتر نرود. توصیه می‌شود در کلیه قاب‌های خمشی متوسط و معمولی، معیار تیر ضعیف-ستون قوی مشابه قاب‌های خمشی ویژه در نظر گرفته شود. همچنین در کلیه سیستم‌های باربرجانبی متوسط و معمولی، توصیه می‌شود تلاش‌های کنترل

شونده توسط نیرو به صورت ظرفیتی و بر اساس نیروهای متناظر با مکانیزم تسلیم عضو (مشابه طراحی ظرفیتی متداول در سیستم‌های ویژه) طراحی شوند. به عنوان راهکاری جایگزین، در صورتی که تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو نیز، مشابه تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل، از طریق نتایج تحلیل الاستیک سازه (و نه طراحی ظرفیتی) بدست می‌آیند، توصیه می‌شود نسبت تقاضا به ظرفیت در تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو از مقدار 0.5 فراتر نرفته و همچنین نسبت تقاضا به ظرفیت در تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل در محدوده 0.8 الی 1 باشند (به طور کلی تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل نباید بیش از اندازه به صورت محافظه کارانه طراحی شوند چراکه این کار منجر به افزایش تقاضا بر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو خواهد شد). رعایت توصیه‌های ارائه شده در این روش الزامی نبوده، لیکن در صورت عدم رعایت آن‌ها ممکن است در کنترل نهایی عملکرد سازه که با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی انجام خواهد شد، معیارهای پذیرش مربوط به تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو یا تغییرشکل برآورده نشوند.

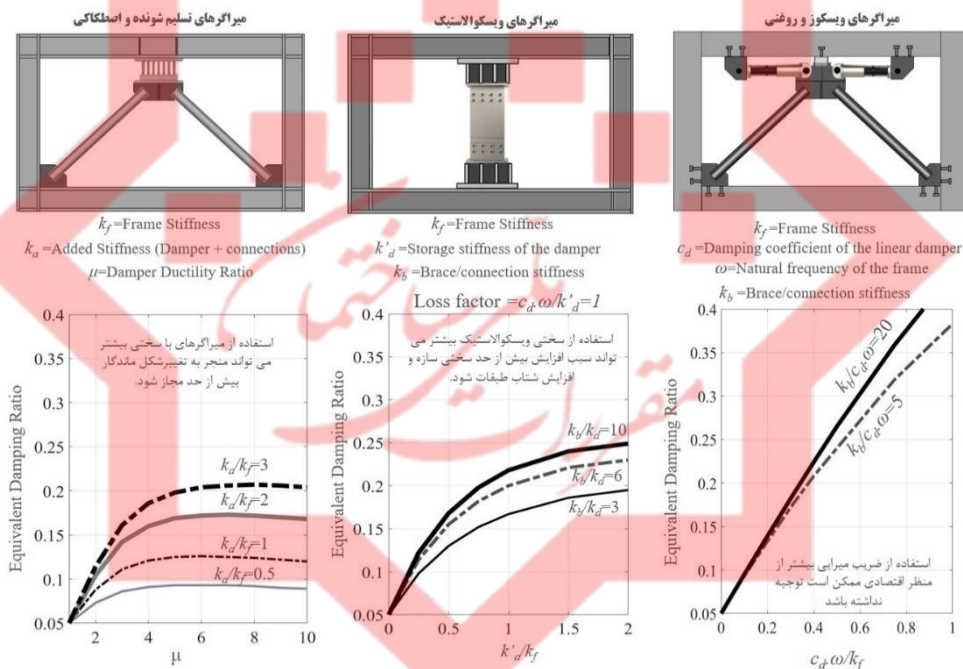
روش دوم:

در این روش، نیروی زلزله در سطح سرویس (با اعمال ضریب اهمیت سازه اما بدون اعمال ضریب رفتار و ضریب نامعینی و ضریب اضافه مقاومت) محاسبه شده و این نیرو در یک ضریب کاهش ناشی از میرایی (مطابق تذکر ۴ همین بخش) ضرب می‌شود. سپس نیروی زلزله کاهش یافته به صورت طیفی (تحلیل دینامیکی خطی) به سازه اعمال می‌شود. لازم به ذکر است در این روش، نیروی زلزله در سطح سرویس بوده و تنها به واسطه میرایی کاهش می‌یابد (ضریب رفتار 1 در نظر گرفته می‌شود). مطابق جدول (۴-۱)، در این ضابطه، زلزله سطح سرویس برای سازه‌های جدید دارای دوره بازگشت 40 ساله بوده و در این روش نباید از زلزله سطح سرویس تعریف شده در استاندارد 2800 که دارای دوره بازگشت حدود 10 سال است استفاده شود. در این مرحله از طراحی، نیازی به تعریف المان‌های میراگر به شکل صریح در مدل سازه نمی‌باشد. بعلاوه، ضرایب ترک خوردگی اعضای بتنی باید متناسب با زلزله سطح سرویس تعریف شوند. در این سطح خطر، همواره عملکرد مورد انتظار سازه استفاده بدون وقفه (IO) یا بهتر از آن بوده، بنابراین لازم است ضرایب ترک خوردگی بر اساس بخش ۵-۴-۱۳ این ضابطه (و نه مبحث نهم مقررات ملی)

تعریف شوند. در این روش از مشخصات مورد انتظار (و نه اسمی) مصالح استفاده شده و کلیه ضرایب کاهش مقاومت برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت با استفاده از ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، اعضای سازه به نحوی طراحی می‌شوند که حداکثر نسبت تقاضا به ظرفیت در تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل کوچکتر از $1/5$ و در تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو کوچکتر از $0/7$ باشد. این طراحی صرفاً به شکل مقاومتی بوده و در این مرحله نیازی به کنترل دریافت طبقات نمی‌باشد. لیکن توصیه می‌شود سازه به نحوی طراحی شود که در غیاب حضور میراگرها و تحت زلزله سطح سرویس کاهش نیافته به واسطه میرایی اضافی، دریافت طبقه از محدوده $1/5$ الی ۲ برابر دریافت هدف در سطح سرویس فراتر نرود (دریافت هدف در سطح سرویس نباید بزرگتر از $0/5$ ٪ در نظر گرفته شود). توصیه می‌شود اعضای سازه به نحوی طراحی شوند که نسبت تقاضا به ظرفیت تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل در محدوده $1/2$ الی $1/5$ باشند. همچنین توصیه می‌شود در کلیه قاب‌های خمشی متوسط و معمولی، معیار تیر ضعیف-ستون قوی مشابه قاب‌های خمشی ویژه در نظر گرفته شود. رعایت توصیه‌های ارائه شده در این روش الزامی نبوده، لیکن در صورت عدم رعایت آن‌ها ممکن است در کنترل نهایی عملکرد سازه که با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی انجام خواهد شد، معیارهای پذیرش مربوط به تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو یا تغییر شکل برآورده نشوند.

تذکره ۴: در هر دو روش ارائه شده برای طراحی اولیه سازه، لازم است نیروی زلزله به واسطه افزایش میرایی کاهش داده شود. برای این منظور از ضریب کاهش ناشی از میرایی مطابق بند ۴-۲-۴ استفاده می‌شود. برای میراگرهای تسلیم شونده و اصطکاک، ضریب کاهش ناشی از میرایی در زلزله سطح ۱ (استفاده از روش اول) نباید کوچکتر از $0/8$ و ضریب کاهش ناشی از میرایی در زلزله سطح سرویس (استفاده از روش دوم) باید برابر با ۱ در نظر گرفته شود. برای میراگرهای ویسکو الاستیک، ضریب کاهش ناشی از میرایی متناظر با زلزله سطح ۱ و سرویس نباید کوچکتر از $0/75$ در نظر گرفته شود. برای میراگرهای ویسکوز و روغنی، ضریب کاهش ناشی از میرایی متناظر با زلزله سطح ۱ و سرویس نباید کوچکتر از $0/7$ در نظر گرفته شود. مقدار دقیق این ضریب کاهشی به درصد میرایی ویسکوز معادل و سختی موثر میراگرها بستگی دارد. محدودیت اعمال شده بر ضریب کاهشی، با توجه به قابلیت میراگرهای مختلف در تامین

میرایی ویسکوز معادل در شرایط متداول و نیز تاثیر سختی موثر میراگر در خنثی سازی اثر میرایی، مطابق شکل (۵-۲) برآورد شده است. لازم به ذکر است در طراحی اولیه سازه اصلی ساختمان، خود میراگرها هنوز طراحی و جانمایی نشده و المان‌های میراگر در مدل سازه در نظر گرفته نمی‌شوند. بنابراین در خصوص میراگرهایی که منجر به افزایش سختی سازه می‌شوند، لازم است این تاثیر در میزان کاهش سطح نیروی زلزله لحاظ شود. محدودیت‌های فوق با توجه به این موارد، تعیین شده‌اند و در غیاب محاسبات دقیق‌تر، به صورت پیش فرض می‌توانند در طراحی اولیه سازه مورد استفاده قرار گیرند. در این صورت، میراگرهای طراحی شده مطابق با بند ۵-۲-۴، به نحوی خواهند بود که درصد میرایی ویسکوز معادل لازم را تامین خواهند نمود.



شکل (۵-۲). تخمین میرایی معادل در قاب یک درجه آزادی دارای میراگرهای مختلف (برای سازه‌های چند طبقه، سختی طبقه و مشخصات میراگر به طور تقریبی معادل با مجموع سختی طبقات موثر در ارتعاش سازه و مجموع مشخصات میراگرها در هر جهت می‌باشد).

تذکره ۵: با توجه به اینکه در طراحی نهایی، عملکرد لرزه‌ای سازه به دقیق‌ترین شکل ممکن و حداقل در دو سطح خطر سرویس و سطح ۲ کنترل خواهد شد، در طراحی اولیه سازه نیازی به در نظر گرفتن ضریب نامعینی و ضریب اضافه مقاومت نبوده و همچنین لازم نیست برش پایه ناشی از تحلیل طیفی بر اساس برش پایه زلزله استاتیکی مطابق با الزامات استاندارد ۲۸۰۰ همپایه شود. لیکن صرفاً در روش اول، لازم است برش پایه ایجاد شده در سازه ناشی از طیف شتاب در زلزله سطح ۱ و در غیاب حضور میراگرها (قبل از اعمال ضریب کاهش ناشی از میرایی اضافی)، از مقدار حداقل برش پایه براساس استاندارد ۲۸۰۰، کوچکتر نباشد. پس از اعمال ضریب کاهش ناشی از میرایی اضافی، برش پایه می‌تواند مقداری کوچکتر از برش پایه حداقل در استاندارد ۲۸۰۰ شود.

تذکره ۶: در خصوص سازه‌های دارای دیوار برشی بتنی و یا دهانه مهاربندی، لازم است توجه ویژه‌ای به جمع‌کننده‌های دیافراگم‌ها شود. این موضوع در دیافراگم‌هایی که در اطراف دهانه مهاربندی یا دیوار برشی دارای بازشو هستند و یا در مواردی که دیافراگم باید بار جانبی را بین سیستم‌های بار جانبی مختلف توزیع کند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. در صورتی که تشخیص داده شود دیافراگم متصل شده به دیوار برشی و یا دهانه مهاربندی، قادر به انتقال نیروهای داخل صفحه دیافراگم نخواهد بود، لازم است محل دیوار برشی یا دهانه مهاربندی در مرحله طراحی اولیه سازه تغییر داده شود.

تذکره ۷: منظور از تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل، تلاش‌هایی هستند که با رفتار غیرالاستیک خود در تامین استهلاک انرژی سازه ایفای نقش می‌کنند (همانند خمش در تیر و ستون و دیوارهای برشی لاغر). منظور از تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو، تلاش‌هایی است که برای حفظ پایداری و عملکرد صحیح مکانیزم‌های استهلاک انرژی سازه لازم است در محدوده الاستیک خود باقی بمانند (همانند برش در تیر و ستون و دیوارهای برشی لاغر).

تذکره ۸: در طراحی اولیه سازه، پیش‌پیش تصادفی لازم است همواره در نظر گرفته شود. این موضوع از این جهت دارای اهمیت است که، بر اساس این ضابطه، در طراحی نهایی سازه با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، تنها پیش‌پیش ذاتی سازه در نظر گرفته شده و پیش‌پیش تصادفی در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی لحاظ نمی‌شود.

تذکره ۹: در طراحی اولیه سازه، اثر همزمانی دو مولفه افقی زلزله همواره باید در نظر گرفته شود. برای این منظور می‌توان از روش ۱۰۰-۳۰ استفاده نمود.

تذکره ۱۰: طراح مجاز است طراحی اولیه سازه را با استفاده از روش دیگری، به جز روش‌های ارائه شده در این بخش، انجام دهد. لیکن در هر صورت لازم است سازه با استفاده از تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی طبق بند ۵-۴ کنترل شده و قادر باشد معیارهای پذیرش بند ۵-۴-۶ را برآورده کند.

تذکره ۱۱: در موارد بهسازی سازه‌های موجود، مشخصات سازه اصلی موجود بوده و نیاز به انجام این مرحله نخواهد بود.

۵-۲-۴ مرحله سوم - طراحی میراگرها

در مرحله سوم میراگرهای سازه به نحوی طراحی می‌شوند که دریافت طبقات از دریافت هدف فراتر نرفته و بدین ترتیب به شکل غیرصریح عملکرد لرزه‌ای مدنظر برای سازه تامین شود. برای این منظور، در این ضابطه روشی موسوم به روش طراحی بر مبنای دریافت^۱ پیشنهاد شده است. در این روش طراحی، میراگرهای سازه به نحوی طراحی و در طبقات جانمایی می‌شوند، که اولاً حداکثر دریافت در تمام طبقات تقریباً به صورت یکنواخت توزیع گردد و ثانیاً حداکثر دریافت طبقات از مقدار مشخصی فراتر نرود. به عبارت دیگر، دریافت هدف در این روش همانند حداکثر دریافت مجاز خواهد بود با این تفاوت که مقدار آن بسته به نوع سیستم باربرجانبی و عملکرد مورد انتظار سازه تعیین می‌شود. توصیه می‌شود موارد زیر در انتخاب دریافت هدف مدنظر قرار گیرند (رعایت این موارد الزامی نیست، لیکن در صورت عدم رعایت آن‌ها، ممکن است در کنترل نهایی سازه، معیارهای پذیرش کلی و معیارهای پذیرش مربوط به تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل برآورده نشوند).

- در کلیه سیستم‌های باربرجانبی، دریافت هدف در زلزله سطح سرویس نباید بزرگتر از ۵/۰٪ در نظر گرفته شود.

^۱ Drift-Based Design

- در کلیه سیستم‌های باربر جانبی، دریافت هدف در زلزله سطح ۱ و ۲ می‌تواند بر اساس تحلیل‌های ساده شده‌ای از جمله تحلیل استاتیکی غیرخطی و یا روش زمان-دوام بدست آورده شود. بدین ترتیب که سازه فاقد میراگر تحت بار جانبی فزاینده استاتیکی (در تحلیل پوش اور) یا فزاینده دینامیکی (در روش زمان-دوام) قرار گرفته و در لحظه‌ای که سازه به عملکردهای IO، LS و CP می‌رسد، دریافت حداکثر سازه قرائت شده و بدین ترتیب، دریافت هدف متناظر با عملکردهای IO، LS و CP تخمین زده می‌شوند.

- در غیاب انجام محاسبات دقیق‌تر، در کلیه سیستم‌های باربر جانبی به جز سیستم‌های متشکل از دیوارهای برشی و یا دهانه‌های مهاربندی همگرا، توصیه می‌شود مقدار دریافت هدف تحت زلزله سطح ۱ از دریافت مجاز ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر در نظر گرفته نشود. در سیستم‌های باربر جانبی متشکل از دیوارهای برشی و یا دهانه‌های مهاربندی همگرا، توصیه می‌شود مقدار دریافت هدف تحت زلزله سطح ۱ معادل ۷۵٪ دریافت مجاز ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شود. در تمام موارد دریافت هدف در زلزله سطح ۲ می‌تواند ۱/۵ برابر دریافت هدف تحت زلزله سطح ۱ در نظر گرفته شود.

- در سازه‌هایی که متشکل از میانقاب‌هایی هستند که در امتداد داخل صفحه از سازه اصلی جدا نشده‌اند، لازم است در انتخاب دریافت هدف، معیارهای پذیرش میانقاب‌ها نیز مدنظر قرار گرفته شود. انتظار می‌رود در سازه‌های جدید، میانقاب‌های غیرسازه‌ای مطابق ضوابط فصل ۷ از سازه اصلی جدا شوند. لیکن در خصوص سازه‌های موجود، در بسیاری از موارد، میانقاب‌ها می‌توانند کنترل کننده دریافت هدف باشند. مگر آنکه در روند بهسازی، اقدام به جداسازی میانقاب‌ها از سازه شود.

روش طراحی بر مبنای دریافت دارای چهار گام اصلی است. در گام اول سختی و جرم لرزه‌ای طبقات ساختمان فاقد میراگر محاسبه می‌شود. در گام دوم سختی مورد نیاز در هر طبقه به نحوی محاسبه می‌شود که اولاً بردار مد اصلی سازه به صورت یک خط با شیب ثابت بوده (دریافت یکنواخت در مد اول) و ثانیاً مقدار دریافت حداکثر تقریباً برابر با دریافت هدف باشد. از تفاوت بین سختی مورد نیاز در طبقه و سختی موجود در طبقه، سختی مورد نیاز برای میراگر

که باید در طبقه اضافه شود بدست می‌آید. در خصوص میراگرهای فاقد سختی، بر اساس سختی مورد نیاز طبقه، ضریب میرایی مورد نیاز در طبقه محاسبه می‌شود. در گام سوم تأثیر مدهای بالاتر اعمال شده و سختی مورد نیاز در طبقات که در گام دوم بدست آمده بود، مقداری اصلاح می‌شود. در گام چهارم بر اساس سختی (و یا ضریب میرایی) بدست آمده برای میراگرها در هر طبقه، مشخصات لازم برای میراگرها بدست می‌آیند (جزئیات هریک از این گام‌ها در ادامه ارائه شده است).

تذکر ۱: در روش طراحی بر مبنای دریافت، تنها یک سطح خطر لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود که توصیه می‌شود زلزله سطح ۱ یا ۲ مورد استفاده قرار گیرد. بدیهی است دریافت هدف متناظر با سطح خطر انتخابی، باید ملاک عمل قرار گیرد. طیف شتاب مربوط به سطح خطر انتخابی تحت عنوان طیف طرح در این بخش مورد استفاده قرار گرفته است.

تذکر ۲: توزیع یکنواخت دریافت و محدود کردن حداکثر دریافت به مقدار دریافت هدف، دو وظیفه اصلی روش طراحی بر اساس دریافت است. این روش در بسیاری از سازه‌ها از دقت مناسبی برخوردار است لیکن باید توجه داشت که این روش همچنان یک روش تقریبی مبتنی بر فرضیات ساده سازی شده است. بنابراین توصیه می‌شود، در این روش مقدار دریافت هدف به صورت محافظه کارانه انتخاب شود.

تذکر ۳: اگرچه روش پیشنهادی برای طراحی و جانمایی بهینه میراگرها در این ضابطه روش طراحی بر مبنای دریافت است، لیکن طراح می‌تواند از سایر روش‌ها و الگوریتم‌ها نیز به منظور طراحی و جانمایی بهینه میراگرها استفاده کند. به طور کلی، در اکثر موارد، طبقاتی برای جانمایی میراگرها مناسب هستند که دریافت قابل توجهی را تجربه کنند.

گام ۱ در طراحی بر اساس دریافت: در اولین گام از روش طراحی بر اساس دریافت لازم است جرم لرزه‌ای موثر طبقات (ناشی از بار مرده و درصدی از بار زنده مطابق بند ۴-۵-۱-۲)، سختی جانبی طبقات، ارتفاع طبقات و دریافت طبقات ساختمان فاقد میراگر تعیین شود. دریافت طبقات بر اساس تحلیل طیفی با استفاده از طیف طرح بدون اعمال ضریب کاهش ناشی از میرایی، بدون هم پایه سازی با برش استاتیکی زلزله، بدون اعمال ضریب رفتار، بدون اعمال

ضریب نامعینی و بدون اعمال ضریب تشدید تغییرمکان می‌تواند تخمین زده شود (استفاده از قانون تساوی حداکثر تغییرشکل در سیستم‌های الاستیک و غیرالاستیک متناظر). طیف طرح اعمال شده در این مرحله لازم است دارای میرایی ۵٪ باشد. در خصوص اعضای بتنی، لازم است از سختی موثر ارائه شده در بخش ۴-۱-۱۳ استفاده شود. نمونه این محاسبات مربوط به گام ۱ طراحی بر اساس دریافت برای یکی از امتدادهای یک ساختمان بتنی ۱۳ طبقه در جدول (۵-۴) ارائه شده است.

گام ۲ در طراحی بر اساس دریافت: تعیین سختی مورد نیاز در طبقات به طوری که بردار مد اصلی سازه به صورت یک خط با شیب ثابت شده (دریافت طبقات یکسان در مد اصلی) و نیز مقدار دریافت طبقات برابر دریافت هدف گردد. سختی مورد نیاز در هر طبقه $(k_{req,i})$ مطابق رابطه (۵-۱) بدست می‌آید.

$$k_{req,i} = \omega_{req,1}^2 k'_i \quad (۵-۱)$$

در رابطه فوق $\omega_{req,1}$ و k'_i به ترتیب فرکانس مد اصلی مورد نیاز و الگوی توزیع سختی جانبی مورد نیاز در طبقه i ام می‌باشند که به ترتیب مطابق روابط (۵-۲) و (۵-۳) بدست می‌آیند.

$$\omega_{req,1} = \sqrt{\frac{C_0 S_a(\omega_{req,1}, 5\%) }{H \Delta^*}} \quad (۵-۲)$$

$$k'_i = \frac{\sum_{q=i}^n m_q \phi_q^*}{\phi_i^* - \phi_{i-1}^*} = \sum_{q=i}^n m_q q \quad (۵-۳)$$

در روابط فوق دریافت هدف طبقات با Δ^* و ارتفاع کل ساختمان (جمع ارتفاع کلیه طبقات) با H نشان داده شده است. مقدار Δ^* برابر جابجایی نسبی هدف طبقه تقسیم بر ارتفاع طبقه بوده و نباید به صورت درصد در رابطه قرار داده شود (به عنوان مثال برای دریافت هدف ۱٪، مقدار $\Delta^*=0.01$ است). بردار مد اصلی سازه با Φ نشان داده شده و جرم موثر لرزه‌ای طبقه q ام با m_q معرفی شده است. کمیت n تعداد طبقات سازه بوده و شتاب طیف طرح با میرایی ۵٪ در فرکانس مورد نیاز مد اصلی با $S_a(\omega_{req,1}, 5\%)$ نشان داده شده است که لازم است بر حسب متر بر مجذور ثانیه (بدون تقسیم بر شتاب ثقل) بیان شود. ضریب مشارکت مد اصلی سازه با C_0 نشان داده شده است که مقدار آن از رابطه (۵-۴) قابل تخمین است.

$$C_0 = \frac{n \sum_{q=1}^n q m_q}{\sum_{q=1}^n q^2 m_q} \quad (۴-۵)$$

تذکره ۴: در غیاب محاسبات دقیق تر می‌توان برای ساختمان‌های ۱ طبقه مقدار C_0 را برابر ۱، برای ساختمان‌های ۵ طبقه مقدار آن را برابر ۱/۴ و برای ساختمان‌های بیش از ۱۰ طبقه مقدار C_0 را برابر ۱/۵ در نظر گرفت. برای سایر حالات می‌توان از درون یابی استفاده نمود.

از آنجا که در رابطه (۵-۲)، مقدار شتاب طیفی خود به فرکانس مورد نیاز بستگی دارد، بنابراین لازم است ابتدا رابطه (۵-۲) به صورت رابطه (۵-۵) بازنویسی شده سپس منحنی حاصل از رابطه (۵-۵) با منحنی طیف طرح (که بر حسب متر بر مجذور ثانیه رسم شده است) قطع داده شود. محل تلاقی دو منحنی فوق زمان تناوب و فرکانس مورد نیاز سازه را برای دستیابی به دریافت هدف مشخص می‌کند.

$$S_a = \frac{4H\pi^2 \Delta^*}{C_0 T^2} \quad (۵-۵)$$

در رابطه فوق T زمان تناوب مورد نیاز در مد اصلی سازه است که لازم است برای تخمین آن، منحنی رابطه (۵-۵) با منحنی طیف طرح قطع داده شود. در انتهای این مرحله پس از تعیین سختی مورد نیاز در هر طبقه مطابق رابطه (۵-۱) و کم کردن سختی طبقه موجود (ناشی از خود سیستم باربرجانبی موجود در طبقه) از آن، مقدار سختی مورد نیاز در هر طبقه که لازم است از طریق میراگرها تامین شود بدست می‌آید که مقدار آن در آخرین ستون جدول (۴-۵) ارائه شده است. در طبقاتی که سختی مورد نیاز میراگرها مقداری منفی یا مقدار بسیار کوچکی دارند به معنای آن است که در آن طبقات نیازی به قرارگیری میراگر نمی‌باشد. بر اساس روش ارائه شده، عمدتاً در طبقات زیرزمین که دارای دیوارهای حائل بتنی هستند و یا برخی طبقات که به صورت ذاتی دریافت کوچکی دارند، نیاز به قرار دادن میراگر نخواهد بود.

تذکره ۵: در خصوص میراگرهایی که دارای سختی هستند (کلیه میراگرهای وابسته به تغییر شکل و میراگرهای وابسته به سرعت از نوع ویسکوالاستیک)، تنها به شرطی می‌توان در طبقات تحتانی میراگرها را حذف نمود که ایجاد ناپیوستگی در توزیع میراگرها منجر به ایجاد طبقه نرم یا ضعیف نگردد. بنابراین در صورتی که در طبقات i ام تا i تا j ($j > i$) میراگرهایی که دارای سختی جانبی

هستند حذف شده باشند، لازم است حداکثر دررفت در طبقات i ام تا i ام کوچکتر از 0.7 برابر حداکثر دررفت در طبقه $i+1$ ام باشد. این کنترل نه تنها در طراحی اولیه سازه (با استفاده از تحلیل‌های الاستیک)، بلکه باید در طراحی نهایی سازه بر اساس تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی نیز انجام شود. این کنترل به منظور جلوگیری از تمرکز دررفت و ایجاد طبقه نرم در طبقات فاقد میراگر انجام می‌شود. انجام این کنترل برای میراگرهای فاقد سختی (میراگرهای ویسکوز و روغنی) ضرورتی ندارد.

جدول (۴-۵). گام‌های ۱ و ۲ از روند طراحی بر اساس دررفت

گام ۱ طراحی بر اساس دريافت					گام ۲ طراحی بر اساس دريافت			
	C1	C2	C3	C4	n=13 صرفنظر از خريشته C0=1.47 Δ*=0.01 H=48.55m Treq=1.54 s ωreq=4.08 rad/s	C5	C6	C7=C6-C1
Story	k_{fi} (kN/mm)	m_i (ton)	$h_{si}(m)$	Δ_i		k'_i (kN.s ² /m)	$k_{req,i}$ (kN /mm)	k_{ai} (kN/mm)
12	29.1	83.8	4.00	0.011		1173	19.5	-9.5
11	130.8	583.4	3.40	0.013		8757	145.6	14.8
10	193.9	645.8	3.40	0.015		16507	274.5	80.6
9	235.0	691.2	3.40	0.016		24110	400.9	166.0
8	246.9	691.1	3.40	0.018		31021	515.9	269.0
7	258.1	691.1	3.40	0.020		37240	619.3	361.2
6	293.0	691.1	3.40	0.021		42769	711.2	418.2
5	339.8	725.6	3.40	0.019		47848	795.7	455.9
4	350.0	735.1	3.40	0.020		52259	869.0	519.0
3	365.9	735.1	3.40	0.021		55934	930.1	564.2
2	460.1	728.7	3.40	0.019		58849	978.6	518.6
1	1134.9	746.0	3.40	0.010		61087	1015.8	-119.1
GF	25110.7	882.3	3.40	0.000	62851	1045.2	-24065.5	
-1	50176.3	968.3	3.75	0.000	63820	1061.3	-49115.0	

گام ۳ در طراحی بر اساس دررفت: سختی بدست آمده در مرحله قبل، سبب می‌شود شکل مد اصلی سازه به صورت یک خط با شیب ثابت تبدیل شود و این به معنای آن است که دررفت طبقات ناشی از مد اول، در تمام طبقات یکسان خواهد بود. لیکن به دلیل تاثیر مدهای بالاتر، لازم است به منظور دستیابی به دررفت یکنواخت در طبقات، اصلاحاتی در سختی طبقات صورت گیرد. برای این منظور کفایست بر اساس سختی‌های بدست آمده در ستون C7 جدول (۴-۵) در سازه فشره‌ای خطی تعریف شوند (مجموع مولفه افقی سختی فشره‌ای هر طبقه باید برابر سختی

بدست آمده در ستون C7 شوند). سپس با استفاده تحلیل طیفی دريغت طبقات محاسبه می‌شود (بدون لحاظ هیچ نوع ضریب اصلاحی). در تحلیل طیفی لازم است تعداد مدهای ارتعاش به مقدار کافی در نظر گرفته شده باشند به نحوی که مشارکت جرمی در هر دو امتداد بیش از ۹۰٪ باشد. پس از تعیین دريغت طبقات از تحلیل طیفی و با تقسیم دريغت هر طبقه بر دريغت هدف، ضریب اصلاح سختی مورد نیاز در طبقه بدست آمده و لازم است این ضریب در سختی مورد نیاز که در ستون C6 جدول (۴-۵) بدست آمده بود، ضرب شده تا سختی مورد نیاز جدید در طبقات بدست آید. سپس با کم کردن سختی سیستم باربر جانبی سازه از سختی مورد نیاز جدید، سختی مورد نیاز اصلاح شده برای میراگرها تعیین می‌شود. با یک یا دو مرتبه تکرار روند فوق، مقدار دريغت طبقات به دريغت هدف همگرا می‌شوند. نتایج این مرحله برای ساختمان ۱۳ طبقه مدنظر در جدول (۵-۵) ارائه شده است.

جدول (۵-۵). گام ۳ از روند طراحی بر اساس دريغت

گام ۳ طراحی بر اساس دريغت								
	C8	C9	C10=C8/C9	C11=C10×C6	C12=C11-C1	C13	C14	C15
Story	Δ_i	Δ_i^*	Modification factor	Modified $k_{req,i}$ (kN/mm)	Modified $K_{a,i}$ (kN/mm)	Δ_i		Finalized $K_{a,i}$ (kN/mm)
12	0.012	0.01	1.197	23.3	-5.7	0.011	ok	0
11	0.013	0.01	1.301	189.5	58.7	0.011	ok	58.7
10	0.014	0.01	1.377	378.0	184.1	0.011	ok	184.1
9	0.012	0.01	1.227	491.8	256.8	0.012	ok	256.8
8	0.013	0.01	1.327	684.6	437.7	0.011	ok	437.7
7	0.013	0.01	1.336	827.6	569.5	0.012	ok	569.5
6	0.012	0.01	1.225	870.9	577.9	0.011	ok	577.9
5	0.012	0.01	1.150	915.3	575.5	0.010	ok	575.5
4	0.012	0.01	1.222	1061.9	711.9	0.011	ok	711.9
3	0.013	0.01	1.287	1197.1	831.2	0.011	ok	831.2
2	0.013	0.01	1.291	1262.9	802.8	0.011	ok	802.8
1	0.010	0.01	0.967	982.0	-152.9	0.010	ok	0
GF	0.000	0.01	0.024	25.1	-25085.6	0.000	ok	0
-1	0.000	0.01	0.016	16.7	-50159.6	0.000	ok	0

دست‌مقررات ملی و کنترل ساختمان

گام ۴ در طراحی بر اساس دریافت: در آخرین گام از روند طراحی بر اساس دریافت لازم است بر اساس سختی‌های مورد نیاز بدست آمده برای میراگرها، مشخصات میراگرها تعیین گردد. این کار برای میراگرهای تسلیمی، میراگرهای اصطکاکی، میراگرهای ویسکوز، میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای ترکیبی (ترکیب دو نوع میراگر مختلف) به شرح زیر انجام شود.

▪ **تعیین مشخصات میراگرهای تسلیمی:** در مورد میراگرهای تسلیمی لازم است سختی مورد نیاز بدست آمده برای میراگرها در هر طبقه (k_{ai}) برابر سختی جانبی مورد نیاز میراگرهای آن طبقه در نظر گرفته شود. سپس با در نظر گرفتن نسبت شکل پذیری بین ۴ الی ۷ (در صورتی که طیف طرح مورد استفاده متناظر با سطح خطر ۱ یا ۲ باشد) و با در نظر گرفتن تغییر شکل متناظر با دریافت هدف در میراگر، تغییر شکل تسلیم میراگر بدست آمده و با ضرب تغییر شکل تسلیم در سختی میراگر، نیروی تسلیم مورد نیاز میراگر در هر طبقه بدست آید. این روند برای امتداد X ساختمان ۱۳ طبقه مدنظر در جدول (۵-۶) نشان داده شده است. همچنین نتایج طراحی ساختمان به همراه میانگین حداکثر دریافت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۳) نشان داده شده است.

تذکره ۶: در صورتی که میراگر توسط اعضای مهاربندی به سازه متصل گردد، لازم است این اعضا به صورت الاستیک قادر به تحمل حد بالای ظرفیت نیرویی میراگر باشند. در غیاب نتایج آماری، حد بالای ظرفیت نیرویی میراگر را می‌توان $1/2$ برابر حداکثر ظرفیت اسمی میراگر (با در نظر گرفتن سخت شدگی کرنشی) در نظر گرفت.

تذکره ۷: به منظور محدود کردن تغییر شکل‌های ماندگار، لازم است مجموع سختی جانبی میراگرهای تسلیم شونده در هر طبقه از ۳ برابر سختی جانبی سیستم باربر جانبی طبقه فراتر نرود ($k_{ai} < 3 k_{fi}$). همچنین توصیه می‌شود نسبت شکل پذیری متناظر با سطح خطر ۲ بزرگتر از ۷ در نظر گرفته نشود.

تذکره ۸: نیروی تسلیم میراگرهای تسلیمی باید به نحوی باشد که میراگر تحت نیروهای ناشی از باد در محدوده الاستیک خود باقی بمانند. به بیان دیگر نیروی باد ایجاد شده در میراگرهای تسلیمی نباید از حد پایین نیروی تسلیم میراگر فراتر رود. در غیاب نتایج

آماری ناشی از آزمایش، حد پایین نیروی تسلیم میراگر را می‌توان $0/8$ برابر نیروی تسلیم مورد انتظار آن در نظر گرفت (توجه شود نیروی تسلیم مقدار کوچکتري در مقایسه با ظرفیت اسمی میراگر دارد چراکه اثرات سخت‌شوندگی در آن لحاظ نمی‌شود). تذکر ۹: در خصوص چیدمان پانلی میراگرها به دلیل عدم صلبیت خمشی تیرها، در اکثر موارد، تنها بخشی از دریفت طبقه به میراگر منتقل می‌شود. بنابراین در مرحله طراحی میراگرهای تسلیمی با چیدمان پانلی، می‌توان نسبت شکل پذیری را بین ۴ الی ۱۰ در نظر گرفت. در نهایت به دلیل دوران تیرهای فوقانی و تحتانی، تقاضای شکل‌پذیری کوچکتري به میراگرها وارد خواهد شد.

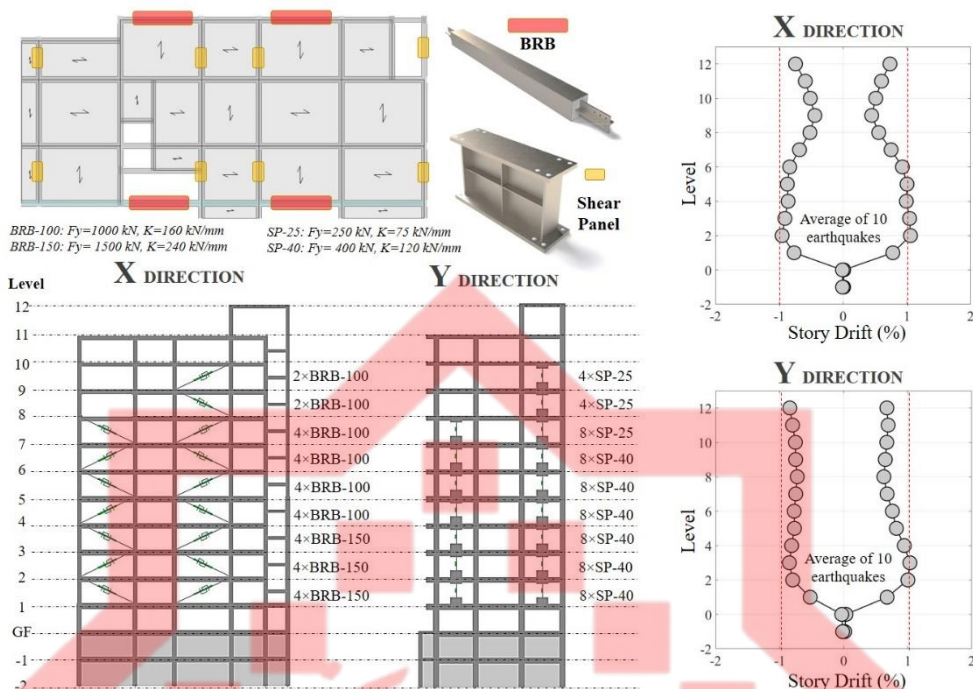
تذکر ۱۰: ظرفیت تغییرشکل میراگر لازم است از تغییرمکان مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد. بنابراین باید به محدودیت ظرفیت تغییرشکل میراگرهای تسلیم شونده به ویژه در طبقات با ارتفاع و دریفت زیاد توجه نمود.

تذکر ۱۱: لازم است در خصوص امکان ساخت و آزمایش میراگرهای بدست آمده، از شرکت سازنده استعلام شود. به بیان دیگر مشخصات میراگرهای طراحی شده باید به نحوی باشند که امکان آزمایش آن‌ها، ترجیحاً در داخل کشور، مطابق فصل ۶ وجود داشته باشد.

جدول (۵-۶). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریافت با فرض استفاده از میراگرهای تسلیمی از نوع مهاربند

کمانش تاب با چیدمان قطری

[illegible]



شکل (۵-۳). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای تسلیمی با هدف دستیابی به دررفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱- بر اساس نتایج، دررفت طبقه ۱ (که فاقد میراگر است) در امتداد X معیار ارائه شده در تذکر ۵ این بخش را برآورده نکرده بنابراین در طرح نهایی لازم است میراگرهای تسلیم شونده در امتداد X در طبقه ۱ نیز قرار داده شوند.

تعیین مشخصات میراگرهای اصطکاکی: در مورد میراگرهای اصطکاکی لازم است سختی میراگرهای مورد نیاز بدست آمده در هر طبقه (k_{ai}) برابر سختی جانبی مهاربندهای متصل به میراگرهای اصطکاکی در نظر گرفته شوند. سپس مقاطع مورد نیاز برای مهاربندها بدست آمده و ظرفیت نیروی جانبی مهاربندها تخمین زده شود. حد بالای نیروی لغزش میراگرهای اصطکاکی نباید بیشتر از ظرفیت نیرویی مهاربندها در نظر گرفته شود. در غیاب نتایج آماری ناشی از آزمایش، حد بالای نیروی لغزش میراگر را می‌توان $1/2$ برابر نیروی لغزش اسمی مورد انتظار (مقدار میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفت. همچنین حد پایین نیروی لغزش میراگرها باید به نحوی باشد که نسبت

شکل پذیری ترکیب مهاربند-میراگر از مقدار ۷ فراتر نرود. در غیاب نتایج آماری ناشی از آزمایش، حد پایین نیروی لغزش میراگر را می‌توان 0.8 برابر نیروی لغزش اسمی مورد انتظار (مقدار میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفت. بنابراین نیروی لغزش مورد انتظار میراگرهای اصطکاکی لازم است در بازه زیر قرار گیرد.

$$\frac{1}{0.8} \times \frac{k_{b,i} \Delta_{max,i}}{7} < F_{slip,i} < \frac{1}{1.2} \times F_{c,brace,i} \quad (۵-۶)$$

در رابطه فوق $k_{b,i}$ سختی جانبی مهاربندهای متصل به میراگر و $\Delta_{max,i}$ حداکثر تغییرشکل وارده بر میراگر می‌باشد که مقدار آن را می‌توان براساس تغییرشکل نسبی طبقه متناظر با دریافت هدف تعیین نمود. نیروی افقی مورد انتظار آستانه لغزش میراگر (یا میراگرهای) متصل به مهاربند برابر $F_{slip,i}$ و ظرفیت مقاومتی مهاربند در امتداد افقی برابر $F_{c,brace,i}$ است. روند طراحی و جانمایی میراگرهای اصطکاکی برای امتداد X ساختمان ۱۳ طبقه مدنظر در جدول (۵-۷) نشان داده شده است. همچنین نتایج طراحی ساختمان به همراه دریافت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۴) نشان داده شده است.

تذکر ۱۲: رابطه (۵-۶) در امتداد افقی تعریف شده است. در صورتی که میراگرهای اصطکاکی دارای چیدمان قطری باشند، این رابطه را در امتداد محوری میراگر نیز می‌توان استفاده نمود با این تفاوت که کلیه نیروها، سختی‌ها و تغییرشکل‌ها لازم است در امتداد محوری میراگر باشند.

تذکر ۱۳: اعمال محدودیت در مقدار حداکثر نسبت شکل پذیری سیستم مهاربند-میراگر اصطکاکی به منظور جلوگیری از تمرکز دریافت در چند طبقه محدود و نیز به منظور کاهش تغییرشکل‌های ماندگار است.

تذکر ۱۴: به منظور محدود کردن تغییرشکل‌های ماندگار، لازم است مجموع سختی جانبی سیستم مهاربند-میراگر در هر طبقه از $2/5$ برابر سختی جانبی طبقه فراتر نرود $(k_{ai} < 2.5 k_{fi})$.

تذکر ۱۵: حد پایین نیروی لغزش میراگرهای اصطکاکی باید به نحوی باشد که میراگر تحت نیروهای ناشی از باد دچار لغزش نشود. در غیاب نتایج آماری ناشی از آزمایش،

تذکره ۱۷: لازم است در خصوص امکان ساخت و آزمایش میراگرهای بدست آمده، از شرکت سازنده استعلام شود. به بیان دیگر مشخصات میراگرهای طراحی شده باید به نحوی باشند که امکان آزمایش آن‌ها، ترجیحاً در داخل کشور، مطابق فصل ۶ وجود داشته باشد.

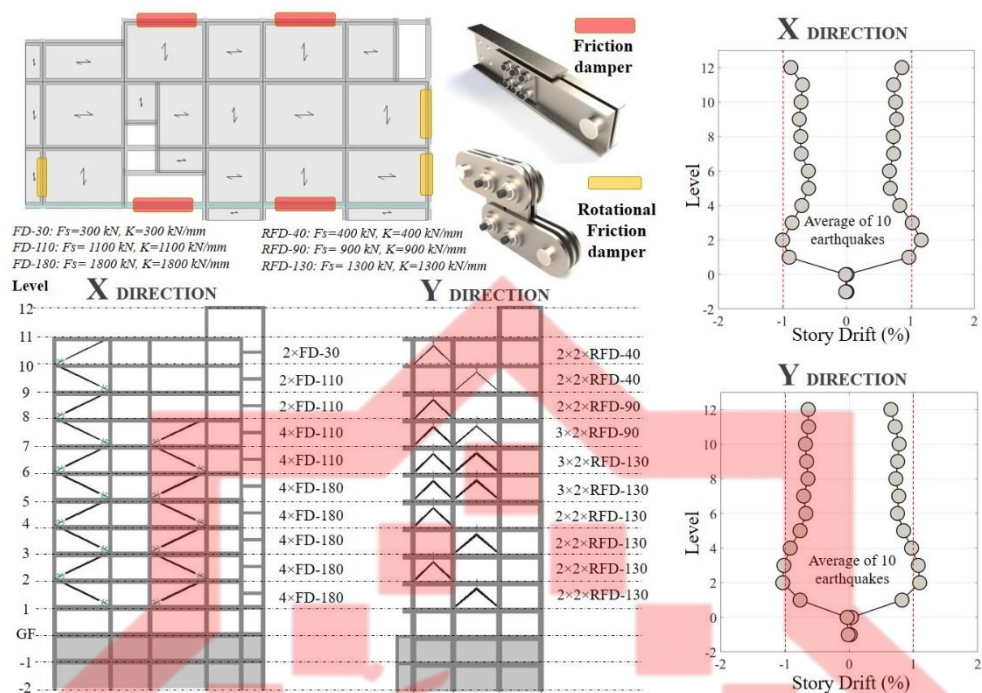
جدول (۵-۷). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریافت با فرض استفاده از میراگرهای اصطکاکی با چیدمان قطری

	C15	C16=C15	C17	C18= C16/cos ² (θ)	C21		C22	C23	C24
Story	Finalized $K_{a,i}$ (kN/mm)	$K_{b,i}$ (kN/mm)	θ	$K_{b,i-Axial}$ (kN/mm)	Brace selection	$\Delta_{max}=34$ mm $\Delta_{max-damper}=31$ mm Pipe100 (St52) $K_{axial}=42$ kN/mm $P_{c,axial}=380$ kN	Min $F_{slip,i}$ -each damper (kN)	Max $F_{slip,i}$ -each damper (kN)	Damper selection
12	0	0	-	-	-		-	-	-
11	58.7	58.7	25°	71.7	2×pipe100		217	342	FD30
10	184.1	184.1	25°	224.9	2×pipe200		878	1350	FD110
9	256.8	256.8	25°	313.7	2×pipe200	$K_{axial}=170$ kN/mm	878	1350	FD110
8	437.7	437.7	25°	534.7	4×pipe200	$P_{c,axial}=1500$ kN	878	1350	FD110
7	569.5	569.5	25°	695.7	4×pipe200		878	1350	FD110
6	577.9	577.9	25°	706.0	4×pipe250	Pipe250 (St52)	1343	2115	FD180
5	575.5	575.5	25°	703.1	4×pipe250	$K_{axial}=260$ kN/mm	1343	2115	FD180
4	711.9	711.9	25°	869.7	4×pipe250	$P_{c,axial}=2350$ kN	1343	2115	FD180
3	831.2	831.2	25°	1015.4	4×pipe250		1343	2115	FD180
2	802.8	802.8	25°	980.7	4×pipe250		1343	2115	FD180
1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
GF	0	0	-	-	-	-	-	-	-
-1	0	0	-	-	-	-	-	-	-

Damper type 1: FD30, Damper slip force=300 kN, Damper pre- slip deformation=1mm, Damper stiffness=300 kN/mm

Damper type 2: FD110, Damper slip force=1100 kN, Damper pre- slip deformation=1mm, Damper stiffness=1100 kN/mm

Damper type 3: FD180, Damper slip force=1800 kN, Damper pre- slip deformation=1mm, Damper stiffness=1800 kN/mm



شکل (۵-۴). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای اصطکاکی با هدف دستیابی به دررفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱- بر اساس نتایج، دررفت طبقه ۱ (که فاقد میراگر است) در هر دو امتداد معیار ارائه شده در تذکر ۵ این بخش را برآورده نکرده بنابراین در طرح نهایی لازم است میراگرهای اصطکاکی در هر دو امتداد در طبقه ۱ نیز قرار داده شوند.

▪ **تعیین مشخصات میراگرهای ویسکوز:** میراگرهای ویسکوز و روغنی فاقد سختی استاتیکی هستند. بنابراین از سختی میراگرهای مورد نیاز که در گام قبل بدست آمده است، به منظور توزیع بهینه ضرایب میرایی در طبقات استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ضرایب وزنی بر اساس سختی میراگرهای مورد نیاز بدست آمده در هر طبقه (k_{ai}) برای طبقات تعیین شده و ضریب میرایی کل مطابق این ضرایب در طبقات توزیع می‌شود. ضریب میرایی کل میراگرهای ویسکوز خطی مورد نیاز ساختمان از رابطه (۵-۷) قابل تخمین است.

$$C_{total} = \frac{(\xi^* - \xi)}{\pi} T_1 K_{total} \quad (5-7)$$

در رابطه فوق C_{total} برابر مولفه افقی مقدار کل ضرایب میرایی میراگرهای ویسکوز خطی در امتداد مدنظر بوده و مقادیر ξ^* و ξ به ترتیب نسبت میرایی هدف و نسبت میرایی ذاتی سازه در امتداد مدنظر هستند (هر دو نسبت به صورت مقادیری کوچکتر از ۱ بوده و نباید به صورت درصد در رابطه قرار داده شوند). نسبت میرایی ذاتی را صرفاً در این مرحله می‌توان برابر 0.05 در نظر گرفت. زمان تناوب مد اصلی سازه در امتداد مدنظر برابر T_1 و مجموع سختی جانبی طبقات موثر در ارتعاش (طبقاتی با دریافت قابل توجه) با K_{total} نشان داده شده است. درصد میرایی هدف برابر است با درصد میرایی لازم برای کاهش حداکثر دریافت طبقه به دریافت هدف. ضریب اصلاح پاسخ به واسطه حضور میرایی ویسکوز (DSF) مطابق رابطه (۵-۸) قابل تخمین است. لازم به ذکر است در صورتی که میرایی ذاتی برابر 0.05 در نظر گرفته شود، رابطه (۵-۸) تبدیل به رابطه (۴-۳) می‌شود که برای تعیین ضریب کاهش طیف طرح ناشی از میرایی کاربرد دارد.

$$DSF = \sqrt{\frac{1+25\xi_0}{1+25\xi^*}} \quad (۵-۸)$$

کفایت نسبت میرایی هدف (ξ^*) به نحوی تعیین شود که مقدار DSF برابر نسبت دریافت هدف به حداکثر دریافت طبقه در حالت بدون میراگر ویسکوز گردد. روند فوق برای طراحی میراگرهای ویسکوز ساختمان ۱۳ طبقه مدنظر در جدول (۵-۸) نشان داده شده است. همچنین نتایج طراحی ساختمان به همراه دریافت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.

تذکره ۱۸: رابطه (۵-۷) تنها برای میراگرهای ویسکوز خطی برقرار است.

تذکره ۱۹: در محاسبه K_{total} تنها طبقاتی در نظر گرفته می‌شوند که به شکل موثری در ارتعاش سازه مشارکت داشته و در صورتی که سازه فاقد میراگر باشد، دریافت آنها بیش از دریافت هدف خواهد بود. در محاسبه K_{total} نیازی به در نظر گرفتن طبقات زیر زمین که دارای صلبیت بسیار بالاتری نسبت به سایر طبقات هستند، نمی‌باشد.

تذکره ۲۰: ظرفیت نیرویی مورد نیاز برای میراگرهای ویسکوز را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد. مقدار نهایی ظرفیت نیرویی مورد نیاز برای میراگرهای ویسکوز براساس نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی محاسبه می‌شود.

$$F_{dmax} = C_d v_{dmax}^\alpha = C_d \left(\frac{2\pi \Delta_{dmax}}{1.5T_1} \right)^\alpha \quad (۹-۵)$$

در رابطه فوق حداکثر سرعت و جابجایی وارده بر میراگر در زلزله سطح ۲ به ترتیب با v_{dmax} و Δ_{dmax} نشان داده شده‌اند. همچنین C_d ضریب میرایی میراگر، α توان سرعت میراگر و T_1 زمان تناوب مد اصلی ساختمان می باشد. اگرچه ظرفیت نیرویی میراگرهای ویسکوز معمولاً در مدل عددی تعریف نمی‌شود، لیکن کمیتی بسیار تعیین کننده در تعیین مشخصات، تعداد میراگرها و امکان انجام آزمایش میراگرها هستند. بنابراین لازم است حتماً ظرفیت‌های تخمینی میراگرهای ویسکوز محاسبه شده و از شرکت سازنده در خصوص امکان تولید و آزمایش آن استعلام شود. به بیان دیگر مشخصات میراگرهای طراحی شده باید به نحوی باشند که امکان آزمایش آن‌ها، ترجیحاً در داخل کشور، مطابق فصل ۶ وجود داشته باشد.

تذکر ۲۱: ظرفیت تغییرشکل میراگر (استروک میراگر) لازم است از تغییرشکل مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد. لازم به ذکر است در صورتی که میراگر ویسکوز در چیدمانی با قابلیت تشدید تغییرشکل (همانند چیدمان جناغی) در سازه استفاده شده باشد، مقدار Δ_{dmax} می‌تواند چندین برابر تغییرشکل نسبی طبقه‌ای باشد که میراگر در آن نصب است.

تذکر ۲۲: مهاربندهای متصل به میراگرهای ویسکوز لازم است قادر به تحمل حد بالای ظرفیت نیرویی میراگر باشند. در غیاب داده‌های آماری حاصل از آزمایش، حد بالای ظرفیت میراگر را می‌توان ۱/۲ برابر ظرفیت اسمی میراگر (که توسط شرکت سازنده اعلام می‌شود) در نظر گرفت.

تذکر ۲۳: در صورت استفاده از میراگرهای ویسکوز غیرخطی، لازم است ابتدا با فرض خطی بودن رفتار میراگر، میراگرها طراحی و توزیع شده سپس برای هر یک از میراگرهای ویسکوز خطی، میراگر ویسکوز غیرخطی معادل جایگزین شود. ضریب میرایی میراگر ویسکوز غیرخطی معادل یک میراگر ویسکوز خطی مطابق رابطه (۵-۱۰) قابل تخمین است.

$$C_{NL} = \frac{(\omega \Delta_{dmax})^{1-\alpha}}{\beta} C_L \quad (۱۰-۵)$$

در رابطه فوق C_L ضریب میرایی میراگر ویسکوز خطی و C_{NL} ضریب میرایی میراگر ویسکوز غیرخطی معادل آن می‌باشد. توان سرعت میراگر ویسکوز غیرخطی α بوده و ω فرکانس مد اصلی

ساختمان (rad/s) است. کمیت β تابعی از توان سرعت میراگر غیرخطی می‌باشد که مقدار آن بر اساس جدول (۵-۹) بدست می‌آید. تغییرشکل حداکثر میراگر با Δ_{dmax} نشان داده شده است که مقدار آن بر اساس دریافت هدف و نوع چیدمان میراگر قابل تخمین است. لازم به ذکر است در صورتی که میراگر ویسکوز در چیدمانی با قابلیت تشدید تغییرشکل (همانند چیدمان جناغی) در سازه استفاده شده باشد، مقدار Δ_{dmax} می‌تواند چندین برابر تغییرشکل نسبی طبقه‌ای باشد که میراگر در آن نصب است.

جدول (۵-۸). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریافت با فرض استفاده از میراگرهای ویسکوز خطی قطری

تیمپ بندی میراگرها	تعیین مجموع ضریب میرایی میراگرهای قطری طبقه	توزیع ضریب میرایی در طبقات			تخمین ضریب میرایی کل		تخمین درصد میرایی مورد نیاز		
		C15	C16= C15/SUM(C15)	C17=C16×C _{total}	C1		C4	C9	
Story		Finalized $K_{a,i}$ (kN/mm)	Damping weighted ratio	Required C_i (kN.s/mm)	Required $C_{i-Axial}$ (kN.s/mm)	Damper selection	Δ_i	Δ^*_i	
12	0.011	0	-	-	-	-	0.01	0.01	
11	0.013	58.7	0.01	5.4	6.6	-	0.01	0.01	
10	0.015	184.1	0.04	17.0	20.8	2×VD15	0.01	0.01	
9	0.016	256.8	0.05	23.7	29.0	2×VD15	0.01	0.01	
8	0.018	437.7	0.09	40.4	49.4	4×VD15	0.01	0.01	
7	0.020	569.5	0.11	52.6	64.2	4×VD15	0.01	0.01	
6	0.021	577.9	0.12	53.3	65.2	4×VD15	0.01	0.01	
5	0.019	575.5	0.11	53.1	64.9	4×VD15	0.01	0.01	
4	0.020	711.9	0.14	65.7	80.3	4×VD20	0.01	0.01	
3	0.021	831.2	0.17	76.7	93.7	4×VD20	0.01	0.01	
2	0.019	802.8	0.16	74.1	90.5	4×VD20	0.01	0.01	
1	0.010	0	-	-	-	-	0.01	0.01	
GF	0.000	0	-	-	-	-	0.01	0.01	
-1	0.000	0	-	-	-	-	0.01	0.01	
Damper type 1: VD15, $c_d=15$ kN.s/mm, $\alpha=1$, $k_d=300$ kN/mm									
Damper type 2: VD20, $c_d=20$ kN.s/mm, $\alpha=1$, $k_d=400$ kN/mm									

جدول (۵-۹). مقدار کمیت β برای تبدیل ضریب میرایی میراگر ویسکوز خطی به میراگر ویسکوز غیر خطی

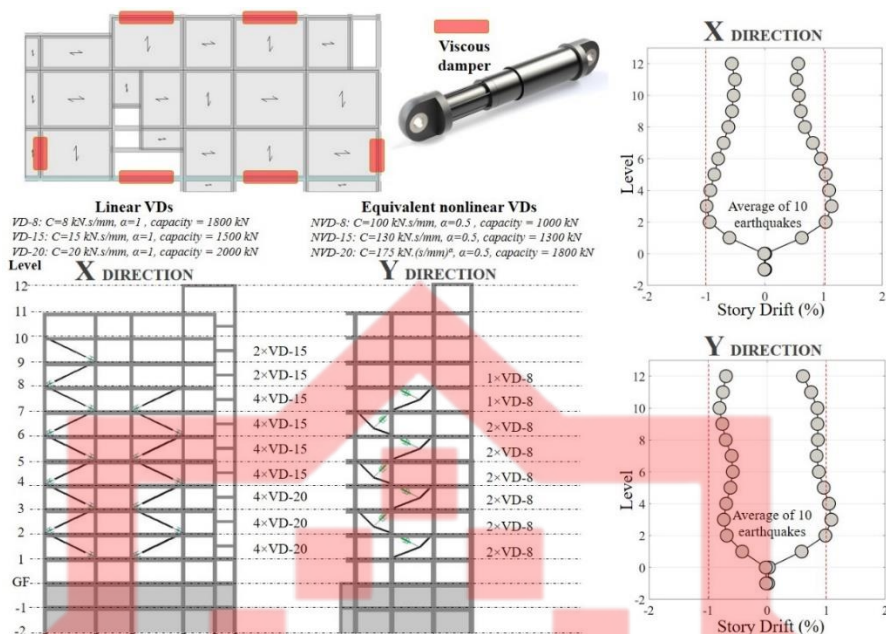
$\alpha=0$	$\alpha=0.15$	$\alpha=0.35$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.75$	$\alpha=1$
$\beta=1.273$	$\beta=1.218$	$\beta=1.155$	$\beta=1.113$	$\beta=1.052$	$\beta=1.000$

در شکل (۵-۵) مشخصات میراگرهای ویسکوز غیرخطی معادل میراگرهای ویسکوز خطی ساختمان ۱۳ طبقه ارائه شده‌اند.

تذکر ۲۴: رفتار نیرو-سرعت در میراگرهای روغنی معمولاً به صورت دوخطی است که تا حد زیادی مشابه رفتار میراگرهای غیرخطی با توان سرعت کوچک (معمولاً کوچکتر از ۰/۳) می‌باشد. بنابراین برای طراحی اولیه میراگرهای روغنی نیز می‌توان از روش معادل سازی ارائه شده برای میراگرهای ویسکوز غیرخطی استفاده نمود.

تذکر ۲۵: در صورت استفاده از میراگرهای ویسکوز خطی با چیدمان جناغی، ضریب میرایی مورد نیاز در هر طبقه بر مربع ضریب تشدید چیدمان جناغی تقسیم می‌شود. به عبارت دیگر ستون C17 در جدول (۵-۸) بر مقدار f^2 (مربع ضریب تشدید چیدمان جناغی) تقسیم شده و بر اساس مقدار بدست آمده، تعداد و ضریب میرایی میراگرهای مورد نیاز در هر طبقه بدست می‌آیند. در صورت استفاده از میراگرهای ویسکوز غیرخطی در چیدمان جناغی، لازم است ابتدا با فرض استفاده از میراگرهای ویسکوز خطی، مشخصات میراگرها بدست آمده سپس مشخصات میراگرهای ویسکوز غیرخطی معادل مطابق رابطه (۵-۱۰)، بدست آیند. باید توجه داشت چیدمان جناغی منجر به تشدید تغییرشکل و سرعت وارد بر میراگر می‌شود که لازم است میراگر قادر به تحمل آن باشد. میراگرهای امتداد Y در ساختمان ۱۳ طبقه شکل (۵-۵) دارای چیدمان جناغی هستند که در مقایسه با امتداد X دارای تعدادی کمتر و مشخصاتی کاملاً متفاوت هستند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۵). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی با هدف دستیابی به دررفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱- اگرچه تذکر ۵ این بخش مربوط به میراگرهای ویسکوز فاقد سختی نمی باشد، با این حال بر اساس نتایج، دررفت طبقه ۱ (که فاقد میراگر است) در هر دو امتداد معیار ارائه شده در تذکر ۵ این بخش را برآورده نموده است.

تعیین مشخصات میراگرهای ویسکوالاستیک: میراگرهای ویسکوالاستیک نه تنها میرایی بلکه مقداری سختی نیز به سازه تزریق می کنند. لیکن معمولاً مقدار سختی آنها نسبت به میراگرهای وابسته به تغییرشکل کوچکتر است. بنابراین با کمی تغییرات، می توان مشابه میراگرهای ویسکوز، میراگرهای ویسکوالاستیک را نیز به شکل بهینه در سازه جانمایی نمود. ابتدا با صرف نظر کردن از تغییرسختی سازه، ضریب میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک مشابه روش ارائه شده برای میراگرهای ویسکوز خطی تعیین می گردد. بدین ترتیب ضریب میرایی لازم برای میراگرهای هر طبقه تعیین خواهد شد. سپس مطابق رابطه (۵-۱۱)، سختی مربوط به میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه محاسبه می گردد.

$$k_{di} = \frac{\omega c_i}{\eta} \quad (۵-۱۱)$$

در رابطه فوق k_{di} مجموع سختی جانبی میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقه i ام بوده و ω و η به ترتیب فرکانس مد اصلی سازه (در امتداد مدنظر) و ضریب اتلاف انرژی میراگر ویسکوالاستیک است (که تابعی از نوع ماده پلیمر ویسکوالاستیک به کار رفته در میراگر بوده و می‌تواند به دما و فرکانس نیز وابسته باشد). بدین ترتیب مشخصات اولیه میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقات مختلف مشخص می‌شود.

در صورت تمایل به دستیابی به چیدمانی دقیق تر، می‌توان اثر سختی میراگرها را نیز به ترتیب زیر در طراحی میراگرهای ویسکوالاستیک لحاظ نمود. برای این منظور می‌توان نسبت میرایی مورد نیاز را مطابق رابطه (۵-۱۲) محاسبه نمود که در آن λ_k برابر نسبت مجموع سختی جانبی طبقات موثر در ارتعاش قبل از اضافه شدن میراگرها (K_{total}) به مجموع سختی جانبی طبقات موثر در ارتعاش پس از اضافه شدن میراگرهای ویسکوالاستیک ($K_{total} + \sum k_{di}$) است. مقدار سختی میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه در مرحله قبل بر اساس رابطه (۵-۱۱) محاسبه شده‌اند. مقدار DSF نیز برابر حاصل تقسیم مقدار دریافت هدف بر دریافت سازه بدون میراگر می‌باشد.

$$DSF = \sqrt{\frac{1+25\xi_0}{1+25\xi^*}} \times \sqrt{\lambda_k} \rightarrow \xi^* = \frac{1}{25} \left(\frac{1+25\xi_0}{DSF^2} \lambda_k - 1 \right) \quad (۵-۱۲)$$

مطابق رابطه (۵-۱۳) مجموع ضریب میرایی لازم برای تمام میراگرهای ویسکوالاستیک در امتداد مدنظر محاسبه شده و مشابه میراگرهای ویسکوز با استفاده از ضرایب وزنی در طبقات توزیع می‌شوند. در رابطه (۵-۱۳) کمیت T'_1 زمان تناوب مد اصلی سازه پس از قرارگیری میراگرهای ویسکوالاستیک است.

$$C_{total} = \frac{(\xi^* - \xi)}{\pi} T'_1 (K_{total} + \sum k_{di}) \quad , \quad T'_1 = T_1 \sqrt{\lambda_k} \quad (۵-۱۳)$$

پس از تعیین ضرایب میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه با استفاده از رابطه (۵-۱۴) مقدار سختی میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه محاسبه می‌شود.

$$k_{di} = \frac{\omega' c_i}{\eta} \quad , \quad \omega' = \frac{\omega}{\sqrt{\lambda_k}} \quad (۵-۱۴)$$

با یک یا دو مرتبه تکرار روند فوق، مشخصات میراگرها در طبقات همگرا شده و ضریب میرایی و سختی میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه مشخص می‌شوند. این روند برای طراحی

میراگرهای ویسکوالاستیک در جدول (۵-۱۰) برای ساختمان ۱۳ طبقه مدنظر نشان داده شده است. همچنین نتایج مربوط به دررفت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۶) نشان داده شده است.

تذکره ۲۶: ظرفیت نیرویی میراگرهای ویسکوالاستیک لازم است بسته به حداکثر تغییرشکل و حداکثر سرعت محتمل میراگر تخمین زده شود. برای این منظور می‌توان ابتدا با ضرب سختی میراگر در حداکثر تغییرشکل محتمل میراگر تحت زلزله سطح ۲، نیروی الاستیک حداکثر میراگر را بدست آورده سپس با ضرب ضریب میرایی میراگر در حداکثر سرعت محتمل میراگر تحت زلزله سطح ۲، نیروی میرایی حداکثر میراگر را بدست آورد. برای تخمین نیروی میرایی حداکثر میتوان از رابطه (۵-۹) استفاده نمود با این توضیح که توان سرعت برابر ۱ درنظر گرفته شود. در نهایت با استفاده از جذر مجموع مربعات نیروی الاستیک حداکثر و نیروی ویسکوز حداکثر، ظرفیت نیرویی مورد نیاز برای میراگر ویسکوالاستیک تخمین زده می‌شود.

تذکره ۲۷: ظرفیت تغییرشکل میراگر لازم است از تغییرمکان مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد.

تذکره ۲۸: لازم است امکان ساخت و آزمایش میراگرهای مدنظر از شرکت سازنده استعلام شود. به بیان دیگر مشخصات میراگرهای طراحی شده باید به نحوی باشند که امکان آزمایش آنها، ترجیحا در داخل کشور، مطابق فصل ۶ وجود داشته باشد.

تذکره ۲۹: مهاربندهای متصل به میراگرهای ویسکوالاستیک لازم است قادر به تحمل حد بالای ظرفیت نیرویی میراگر باشند. حد بالای ظرفیت میراگرهای ویسکوالاستیک به عواملی از جمله فرکانس و دما بستگی داشته و لازم است مقدار آن بر اساس نتایج آزمایشگاهی در حداقل و حداکثر دمای محتمل محیط مشخص شود. در غیاب داده‌های آماری حاصل از آزمایش، حد بالای ظرفیت میراگر ویسکوالاستیک را می‌توان ۲ برابر ظرفیت اسمی مورد انتظار آن درنظر گرفت.

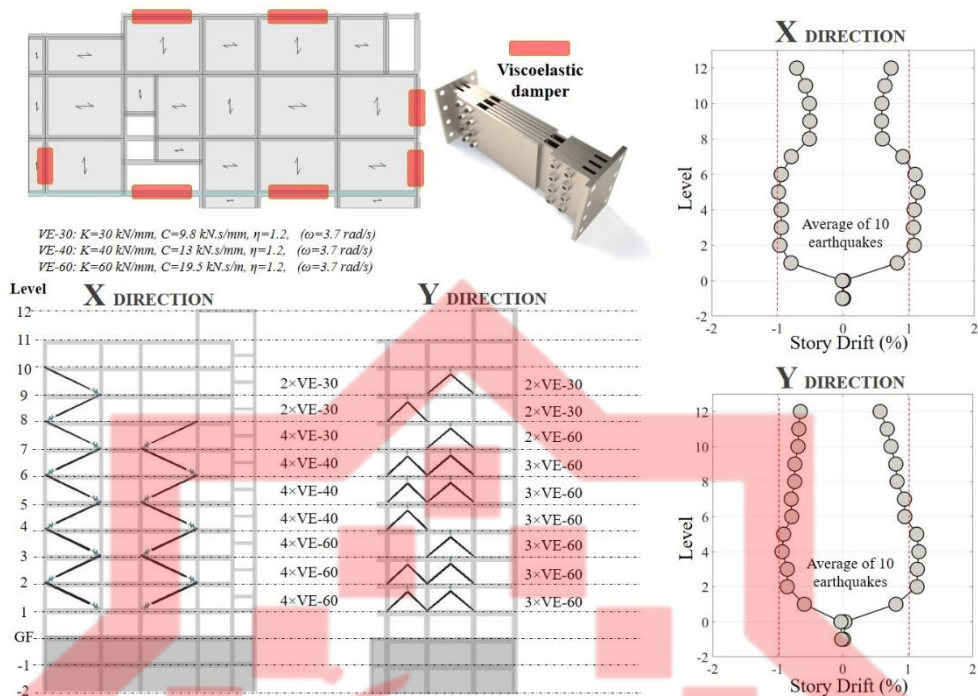
دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

جدول (۵-۱۰). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریافت با فرض استفاده از میراگرهای ویسکوز الاستیک با

چیدمان قطری

تخمین ضریب میرایی مشابه میراگرهای ویسکوز			تعیین سختی میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقات		اصلاح مشخصات با در نظر گرفتن اثر سختی میراگرهای ویسکوالاستیک-سعی اول			اصلاح مشخصات با در نظر گرفتن اثر سختی میراگرهای ویسکوالاستیک-سعی دوم			تبدیل به مشخصات محوری و تیپ بندی میراگرها
Story	Damping weighted ratio	Required C_{di} (kN.s/mm)		Required k_{di} (kN/mm)		Required C_{di} (kN.s/mm)	Required k_{di} (kN/mm)		Required C_{di} (kN.s/mm)	Required k_{di} (kN/mm)	Damper selection
12	-	-	با فرض $\eta=1.2$ $T_1=2$ s $\omega=3.14$ rad/s	0.0	$\sum k_{di}=1209$ kN/mm $\lambda_k=0.706$ DSF= 0.5 $\xi_0=0.05$ $\xi^*=0.21$ $T'_1=1.68$ s $\eta=1.2$ $C_{total}=352$ kN.s/mm	0.0	0.0	$\sum k_{di}=1097$ kN/mm $\lambda_k=0.726$ DSF= 0.5 $\xi_0=0.05$ $\xi^*=0.22$ $T'_1=1.70$ s $\eta=1.2$ $C_{total}=369$ kN.s/mm	0.0	0.0	-
11	0.01	5.4		14.2		4.1	12.9		4.3	13.3	-
10	0.04	17.0		44.4		12.9	40.3		13.6	41.8	2×VE30
9	0.05	23.7		62.0		18.1	56.2		18.9	58.3	2×VE30
8	0.09	40.4		105.7		30.8	95.9		32.3	99.3	4×VE30
7	0.11	52.6		137.5		40.0	124.7		42.0	129.2	4×VE40
6	0.12	53.3		139.6		40.6	126.6		42.6	131.1	4×VE40
5	0.11	53.1		139.0		40.5	126.0		42.4	130.6	4×VE40
4	0.14	65.7		171.9		50.1	155.9		52.5	161.5	4×VE60
3	0.17	76.7		200.7		58.4	182.1		61.3	188.6	4×VE60
2	0.16	74.1		193.9		56.5	175.9		59.2	182.2	4×VE60
1	-	-		0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	-
GF	-	-		0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	-
-1	-	-		0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	-
Damper type 1: VE30, $k_d=30$ kN/mm, $c_d=9.75$ kN.s/mm											
Damper type 2: VE40, $k_d=40$ kN/mm, $c_d=13$ kN.s/mm											
Damper type 3: VE60, $k_d=60$ kN/mm, $c_d=19.5$ kN.s/mm											

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۶). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای ویسکوالاستیک با هدف دستیابی به دررفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱- بر اساس نتایج، دررفت طبقه ۱ (که فاقد میراگر است) در هر دو امتداد معیار ارائه شده در تذکر ۵ این بخش را برآورده نکرده بنابراین در طرح نهایی لازم است میراگرهای ویسکوالاستیک در هر دو امتداد در طبقه ۱ نیز قرار داده شوند.

تعیین مشخصات میراگرهای ترکیبی: در مواردی ممکن است طراح تصمیم به استفاده از میراگرهای وابسته به جابجایی و میراگرهای وابسته به سرعت به شکل همزمان به صورت ترکیبی داشته باشد. در این صورت می‌توان ابتدا با استفاده از میراگرهای وابسته به تغییرشکل بخشی از پاسخ‌های سازه را کاهش داد و مقداری به دررفت هدف نزدیک شد. سپس در مرحله دوم با استفاده از مشخصات سازه جدید (با لحاظ سختی میراگرهای وابسته به تغییرشکل)، میراگرهای وابسته به سرعت را به نحوی طراحی نمود که دررفت طبقات از دررفت هدف فراتر نرود.

تذکر ۳۰: در چیدمان ترکیبی معمولاً میراگرها از دو دسته مختلف (وابسته به تغییر شکل و وابسته به سرعت) با یکدیگر ترکیب می‌شوند. به عنوان مثال ترکیب میراگرهای تسلیم شونده با میراگرهای ویسکوز و یا ترکیب میراگرهای اصطکاکی با میراگرهای ویسکوالاستیک.

تذکر ۳۱: هدف از ترکیب میراگرها استفاده همزمان از قابلیت‌های هر دو دسته میراگر است و به ویژه برای ساختمان‌های بلند مرتبه می‌تواند دارای مزایای فنی و اقتصادی باشد.

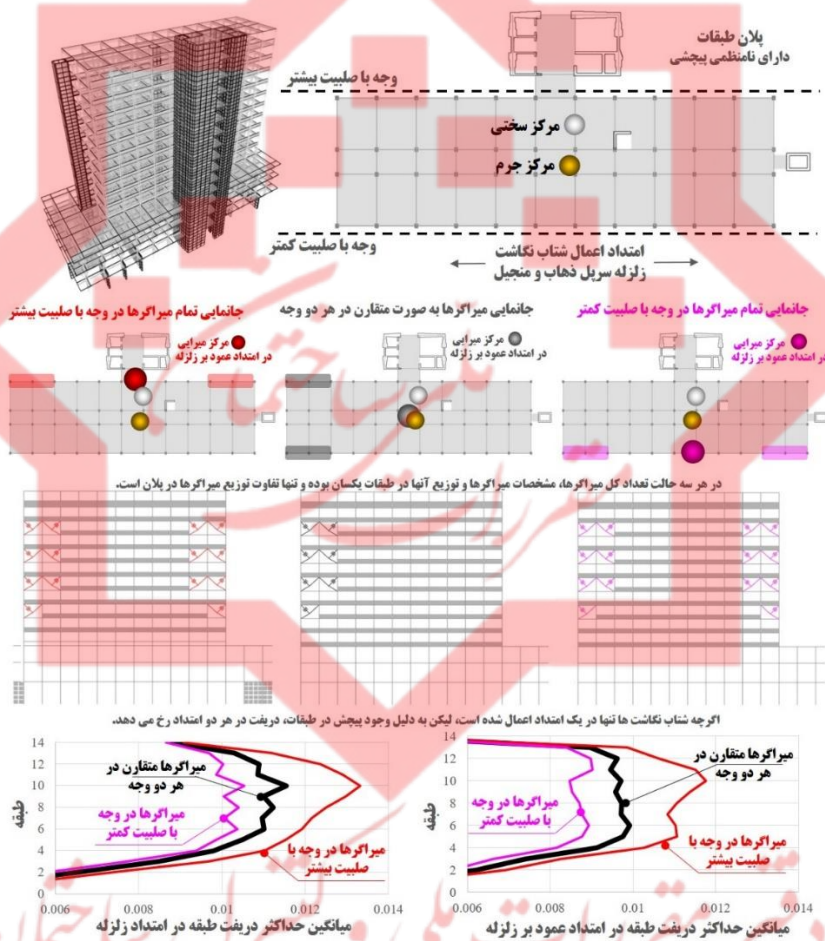
تذکر ۳۲: با توجه به اینکه میراگرهای وابسته به تغییر شکل در تغییر شکل‌های کوچک قابلیت استهلاک انرژی خود را کمتر نشان می‌دهند، بنابراین توصیه می‌شود میراگرهای وابسته به تغییر شکل تا جای ممکن در طبقاتی از سازه قرار گیرند که تغییر شکل‌های قابل توجهی را تجربه کنند.

تذکر ۳۳: به طور کلی محدودیتی در جانمایی میراگرهای وابسته به سرعت وجود ندارد چراکه این میراگرها در تغییر شکل‌های کوچک نیز قابلیت استهلاک انرژی دارند. بنابراین میراگرهای وابسته به سرعت هم در طبقاتی با دررفت بزرگ و هم در طبقات با دررفت کوچک قابل استفاده هستند. با این وجود در صورت استفاده از میراگرهای وابسته به سرعت در طبقاتی از سازه که دررفت کوچکی تجربه می‌کنند، توصیه می‌شود از میراگر در چیدمان‌هایی با قابلیت تشدید تغییر شکل (همانند چیدمان جناغی) استفاده شود.

تذکر ۳۴: معمولاً به منظور کنترل شتاب طبقات و کاهش آثار مدهای بالاتر، توصیه می‌شود در طبقات میانی و فوقانی از میراگرهای وابسته به سرعت استفاده شود.

توزیع بهینه میراگرها در پلان: به طور معمول در سازه‌های دارای پلان منظم و فاقد نامنظمی پیچشی، توصیه می‌شود میراگرها (به خصوص میراگرهای دارای سختی) به صورت متقارن در پلان جانمایی شوند. لیکن در خصوص سازه‌هایی که به خودی خود دارای نامنظمی پیچشی هستند، توزیع متقارن میراگرها لزوماً بهینه‌ترین توزیع نبوده و مطابق شکل (۵-۷) توصیه می‌شود در این شرایط اکثر میراگرها در وجه دارای صلبیت کمتر از پلان قرار داده شوند.

این وجه نسبت به مرکز سختی طبقه، دورترین فاصله را دارد. بدین ترتیب در طبقه مدنظر، مرکز میرایی (تعریفی مشابه مرکز سختی اما برای میراگرها دارد) در یک سمت مرکز جرم و مرکز سختی در سمت دیگر مرکز جرم قرار خواهد گرفت. به عبارت دیگر بهینه‌ترین توزیع میراگرها در پلان زمانی رخ می‌دهد که اولاً مرکز جرم طبقه مابین مرکز سختی و مرکز میرایی قرار گرفته شود و ثانیاً فاصله مرکز میرایی تا مرکز جرم، تقریباً برابر با فاصله مرکز سختی تا مرکز جرم باشد. با توجه به موارد فوق، توزیع نامتقارن میراگرها در پلان مجاز بوده و در برخی موارد در مقایسه با توزیع متقارن، گزینه بهینه‌تری است.



شکل (۵-۷). نمونه‌ای از توزیع بهینه میراگرها در پلان یک ساختمان دارای نامنظمی پیچشی.

۵-۲-۵ مرحله چهارم - کنترل نهایی عملکرد سازه

در سه مرحله قبل اهداف عملکردی مشخص شده و سازه اصلی به همراه میراگرهای آن طراحی اولیه شدند. در این مرحله لازم است عملکرد لرزه‌ای سازه مجهز به میراگر ارزیابی و کنترل نهایی گردد. این مرحله خود شامل ۳ گام به ترتیب زیر می‌باشد.

■ گام ۱: کنترل فاز ۱

در این مرحله عملکرد سازه طراحی شده با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با فرض مشخصات اسمی میراگرها کنترل می‌شود. لازم است عملکرد اجزای سازه کنترل شده و در صورت نیاز اصلاحاتی در ابعاد مقاطع و یا مشخصات میراگرها اعمال شود. از جمله خروجی‌های اصلی در این مرحله عبارتند از تقاضای وارد بر تلاش‌های نیرو کنترل، تقاضای وارد بر تلاش‌های تغییرشکل کنترل، حداکثر دریافت طبقات، حداکثر شتاب طبقات، حداکثر برش طبقات، حداکثر جابجایی طبقات، دریافت ماندگار طبقات (در برخی موارد) و در نهایت حداکثر نیرو و تغییرشکل ایجاد شده در میراگرها. لازم است کنترل معیارهای پذیرش مطابق بند ۵-۴-۶ حداقل در دو خطر لرزه‌ای سطح سرویس و سطح ۲ انجام شوند.

تذکر ۱: سازه طراحی شده در برابر ترکیبات بارگذاری فاقد نیروی زلزله، باید مشابه یک ساختمان معمولی و مطابق با الزامات موجود در مباحث مقررات ملی ساختمان طراحی شده باشد.

تذکر ۲: انجام کنترل فاز ۱ مستلزم استفاده از مدل‌های غیرخطی و انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی می‌باشد که جزئیات آن در بخش ۵-۴ ارائه شده است.

تذکر ۳: قبل از انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، توصیه می‌شود با استفاده از تحلیل‌های ساده تر همانند تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل‌های مبتنی بر روش زمان-دوام و یا تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی مودال، برآورد اولیه‌ای از عملکرد سازه بدست آورده و در صورت لزوم تغییراتی در سازه اعمال نمود.

■ گام ۲: انجام آزمایش‌های پرتوتایپ و کنترل محصول

در این مرحله با توجه به مشخصات اسمی میراگرها، به شرکت سازنده سفارش ساخت داده شده و ابتدا نمونه‌های اولیه از میراگر ساخته شده و به صورت پروتوتایپ آزمایش می‌شوند و در صورتی که مشخصات مورد نیاز برآورده شده باشد، به تعداد مورد نیاز میراگرها ساخته شده و آزمایش‌های کنترل محصول بر روی آن‌ها انجام می‌شود. جزئیات آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در فصل ۶ ارائه شده است.

تذکر ۴: تغییر شکل‌های مورد نیاز در پروتوکل‌های بارگذاری مربوط به میراگرها بر اساس میانگین تغییر شکل‌های حاصل از نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی فاز ۱ تحت زلزله سطح ۲ بدست می‌آیند.

■ گام ۳: کنترل فاز ۲

در کنترل فاز ۲ لازم است یک بار دیگر کنترل فاز ۱ تکرار شود با این تفاوت که مشخصات میراگرها بر اساس نتایج آزمایش‌های پروتوتایپ در مدل عددی سازه تعریف شوند.

تذکر ۵: در صورتی که آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول نشان دهند که حد بالا و حد پایین مشخصات میراگرها بیش از ۲۰٪ با مشخصات اسمی میراگر (مشخصات متوسط حاصل از آزمایش‌ها) تفاوت دارد، لازم است در کنترل فاز ۲ یک بار مشخصات حد بالا و یک بار مشخصات حد پایین برای میراگرها در نظر گرفته شده و کنترل معیارهای پذیرش بر اساس بحرانی‌ترین حالت، انجام شود.

تذکر ۶: در صورتی که آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول نشان دهند که اولاً حد بالا و حد پایین مشخصات میراگرها کمتر از ۲۰٪ با مشخصات اسمی میراگرها (بر اساس نتایج آزمایش‌ها) اختلاف داشته و ثانیاً مشخصات اسمی میراگرها (بر اساس نتایج آزمایش‌ها) کمتر از ۱۵٪ با مشخصات اسمی در نظر گرفته شده در فاز ۱ تفاوت داشته باشد، نیازی به کنترل فاز ۲ نبوده و نتایج حاصل از کنترل فاز ۱ را می‌توان به عنوان نتایج نهایی در نظر گرفت.

تذکر ۷: برای سازه‌های با سیستم باربر جانبی بتنی، در تذکرهای ۵ و ۶، می‌توان به جای معیار ۲۰٪ از معیار ۳۰٪ استفاده نمود. علت این امر آن است که مشخصات

سازه‌های بتنی (مقاومت فشاری بتن، مدول الاستیک بتن و ضرایب ترک خوردگی بتن) در مقایسه با مشخصات سازه‌های فولادی از عدم قطعیت بسیار بیشتری برخوردار است. بنابراین بازه مابین مشخصات حد بالا و حد پایین میراگرها در سازه‌های بتنی می‌تواند اندکی بیشتر باشد چراکه اجزای سازه نیز دارای بازه حد بالا و حد پایین وسیع‌تری هستند.

۳-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای

۱-۳-۵ روند کلی طراحی

روند کلی طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای در شکل (۵-۸) نشان داده شده است. مطابق این شکل، روند طراحی را طی ۵ مرحله اصلی می‌توان انجام داد که هر یک از مراحل در این بخش تشریح شده‌اند.

تذکره ۱: به طوری کلی در مقایسه با ساختمان‌های دارای میراگر، ساختمان‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای از حساسیت بالاتری برخوردار هستند. چراکه سیستم جداساز لرزه‌ای نه تنها در مسیر انتقال بارهای لرزه‌ای بلکه در مسیر انتقال بارهای ثقلی سازه نیز قرار دارد. بنابراین تامین پایداری لرزه‌ای و پایداری ثقلی ساختمان به عملکرد سیستم جداساز وابسته است. علاوه بر آن، در ساختمان‌های دارای میراگر، ترکیب سیستم باربرجانبی اصلی و مجموعه میراگرها یک ترکیب موازی است. در مقابل، در ساختمان‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، ترکیب سیستم باربرجانبی اصلی و سیستم جداساز یک ترکیب سری است. بنابراین، عملکرد لرزه‌ای ساختمان در مقابل بروز تغییر در مشخصات سیستم جداساز، حساسیت بیشتری دارد که این موضوع لازم است در روند طراحی در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: در ساختمان‌های دارای میراگر، سیستم باربرجانبی اصلی هم می‌تواند به نحوی طراحی شود که در محدوده الاستیک خود باقی مانده و هم می‌تواند به گونه‌ای طراحی شود که به مقدار قابل توجهی وارد ناحیه غیرالاستیک شده و در استهلاک انرژی مشارکت کند. به عبارت دیگر، الاستیک ماندن یا نماندن سیستم باربرجانبی اصلی

خللی در عملکرد میراگرها ایجاد نمی‌کند. لیکن در ساختمان‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، سیستم باربر جانبی اصلی باید تقریباً به صورت الاستیک باقی بماند. در غیراین صورت، عملکرد سیستم جداساز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت (به دلیل تغییر سختی و متعاقباً زمان تناوب سیستم باربر جانبی اصلی در اثر ورود به ناحیه غیرالاستیک). بنابراین سیستم‌های باربر جانبی که دارای سیستم جداساز لرزه‌ای هستند، تنها مجاز هستند به شکل بسیار محدودی وارد ناحیه غیرالاستیک شوند. بدیهی است محدود شدن تقاضای غیرالاستیک در سیستم باربر جانبی اصلی، سبب کاهش آسیب‌های وارده بر اجزای سازه‌ای نیز خواهد شد.

۵-۳-۲- تعیین اهداف عملکردی

در این مرحله لازم است سطح عملکرد لرزه‌ای ساختمان تحت زلزله‌های با دوره‌های بازگشت مختلف تعیین گردد. حداقل اهداف عملکردی برای ساختمان‌های جدید دارای سیستم جداساز لرزه‌ای در جدول (۵-۱۱) و اهداف عملکردی پیشنهادی برای بهسازی ساختمان‌های موجود با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای در جدول (۵-۱۲) ارائه شده است. در صورتی که سیستم باربر جانبی روسازه (بخشی از سازه که در بالای تراز جداسازی شده قرار دارد) تنها متشکل از قاب خمشی فولادی یا بتنی متوسط یا ویژه باشد، حداکثر دررفت طبقات روسازه در زلزله سطح ۲ نباید از ۱/۵٪ فراتر رود. برای روسازه‌های متشکل از سایر سیستم‌های باربر جانبی، حداکثر دررفت طبقات روسازه در زلزله سطح ۲ نباید از ۱٪ فراتر رود. حداکثر دررفت طبقات زیرسازه (بخشی از سازه که در زیر تراز جداسازی شده قرار دارد) تحت زلزله سطح ۲ نباید از ۵/۰٪ فراتر رود.

تذکر ۱: با توجه به توضیحات ارائه شده در بند ۵-۳-۱، تحت زلزله سطح ۲، روسازه در سیستم جداساز لرزه‌ای نباید به طور قابل توجهی وارد ناحیه غیرالاستیک شده و زیر سازه باید به طور کامل در محدوده الاستیک باقی بماند. عدم رعایت این موارد منجر به ایجاد اختلال در عملکرد سیستم جداساز لرزه‌ای خواهد شد. بنابراین بر اساس این ضابطه پایین‌ترین سطح عملکرد لرزه‌ای قابل تعریف برای سازه‌های دارای سیستم

جداساز لرزه‌ای، عملکرد ایمنی جانی LS بوده و نباید سطوح عملکرد پایین‌تری از جمله آستانه فروریزش CP برای سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: برای سازه‌های جدید، کارفرما می‌تواند اهداف عملکردی بالاتر از اهداف ارائه شده در جدول (۵-۱۱) را تعریف نماید. همچنین، برای بهسازی سازه‌های موجود با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای، کارفرما می‌تواند اهداف عملکردی متفاوت (بالاتر یا پایین‌تر) با آنچه در جدول (۵-۱۲) پیشنهاد شده است را تعریف نماید.

تذکره ۳: در مواردی که در جداول (۵-۱۱) و (۵-۱۲)، اهداف عملکردی بین دو هدف عملکردی مختلف تعریف شده است، پاسخ‌های سازه بر اساس میانگین معیار پذیرش در دو هدف عملکردی مذکور بدست می‌آیند. به عنوان مثال برای دستیابی به عملکرد بین IO و LS، لازم است تلاش‌های تغییر شکل کنترل بر اساس میانگین معیار پذیرش در سطح عملکرد IO و LS کنترل شوند.

تذکره ۴: در سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه (O) سازه به طور کامل در محدوده الاستیک خود قرار داشته و حتی تلاش‌های تغییر شکل کنترل نیز نباید وارد محدوده غیرالاستیک شوند.

جدول (۵-۱۱). حداقل اهداف عملکردی ساختمان‌های جدید مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای

سطح خطر لرزه‌ای			درجه اهمیت ساختمان جدید
سطح ۲ (دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال)	سطح ۱* (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)	سطح سرویس (دوره بازگشت ۴۰ سال)	
IO	نقطه میانی O و IO	O	خیلی زیاد
نقطه میانی IO و LS	IO	نقطه میانی O و IO	زیاد
LS	نقطه میانی IO و LS	IO	متوسط

* کنترل عملکرد سازه تنها در زلزله‌های سطح سرویس و سطح ۲ الزامی بوده و در سطح ۱ می‌تواند انجام نشود.

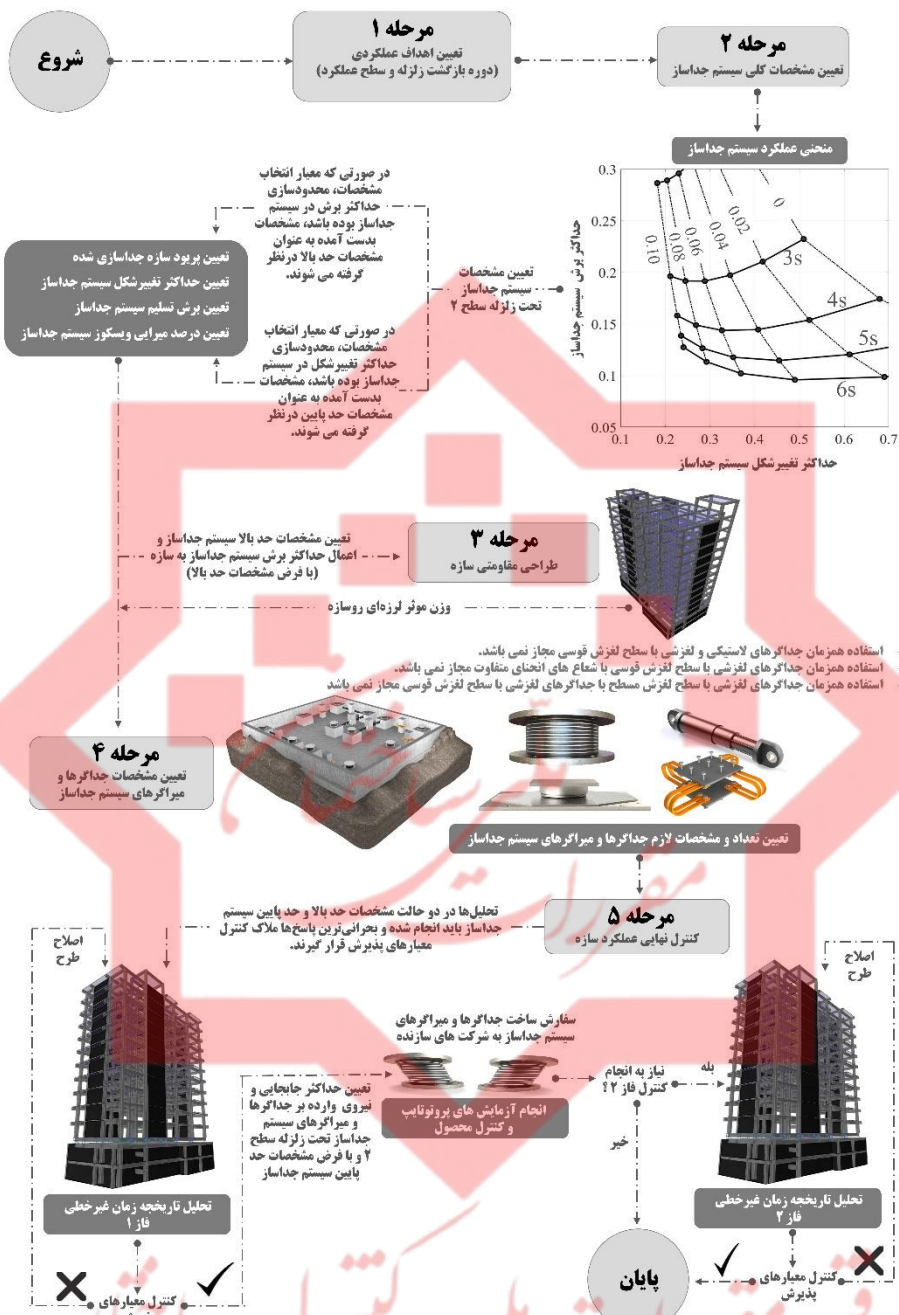
۲۴۰ ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای

جدول (۵-۱۲). اهداف عملکردی پیشنهادی برای بهسازی ساختمان‌های موجود با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای

سطح خطر لرزه‌ای			درجه اهمیت ساختمان موجود
سطح ۲ سازه موجود* (دوره بازگشت ۹۷۵ سال)	سطح ۱ سازه موجود* (دوره بازگشت ۲۲۵ سال)	سطح سرویس سازه موجود (دوره بازگشت ۲۰ سال)	
IO	نقطه میانی O و IO	O	خیلی زیاد
نقطه میانی IO و LS	IO	نقطه میانی O و IO	زیاد
LS	نقطه میانی IO و LS	IO	متوسط

* کنترل عملکرد سازه تنها در زلزله سطح سرویس و سطح ۲ الزامی است که در این دو سطح، دوره بازگشت زلزله می‌تواند بسته به نظر کارفرما متفاوت از مقادیر جدول باشد.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۸). فلوجارت طراحی ساختمان های مجهز به سیستم جداساز لرزه ای

۵-۳-۳- تعیین مشخصات کلی سیستم جداگر

در این مرحله مشخصات سیستم جداساز لرزه‌ای تعیین می‌گردد. در این ضابطه از روش تعادل انرژی^۱ استفاده شده است که بر اساس روندی اصلاح شده از روش توصیه شده در دستورالعمل جداگرهای لرزه‌ای ژاپن (AIJ, 2016) می‌باشد. در مقایسه با نسخه ژاپنی، در این ضابطه جزئیات بیشتری از این روش ارائه شده و نمودارهای مربوطه به شکل کامل‌تری ارائه شده است. در این روش، نسبت حداکثر برش سیستم جداساز به وزن موثر لرزه‌ای روسازه در راستای بیشینه ($\alpha_{max-RotD100}$) و حداکثر تغییر شکل برشی سیستم جداساز در راستای بیشینه ($\Delta_{max-RotD100}$) به ترتیب با استفاده از روابط (۵-۱۵) و (۵-۱۶) تخمین زده می‌شوند. این مقادیر متناظر با مقدار پاسخ در راستای بیشینه پاسخ هستند.

$$\alpha_{max-RotD100} = \frac{\sqrt{1+\xi_{viscous}^2}}{1+4\pi n\xi_{viscous}} \left\{ -4n\alpha_{y-RotD100} + \sqrt{(4n\alpha_{y-RotD100})^2 + (1+4\pi n\xi_{viscous}) \left(\frac{2\pi V_E}{T_{iso}g} \right)^2} \right\} + \alpha_{y-RotD100} \quad (5-15)$$

$$\Delta_{max-RotD100} = \frac{1}{1+4\pi n\xi_{viscous}} \left\{ -n\alpha_{y-RotD100} \left(\frac{T_{iso}}{\pi} \right)^2 g + \sqrt{(n\alpha_{y-RotD100})^2 \left(\frac{T_{iso}}{\pi} \right)^4 g^2 + (1+4\pi n\xi_{viscous}) \left(\frac{T_{iso}V_E}{2\pi} \right)^2} \right\} \quad (5-16)$$

در روابط فوق $\xi_{viscous}$ نسبت میرایی ویسکوز سیستم جداساز بوده و $\alpha_{y-RotD100}$ نسبت برش تسلیم سیستم جداساز در راستای بیشینه به وزن موثر لرزه‌ای روسازه می‌باشد (هر دو کمیت دارای مقادیری بین صفر تا یک هستند). زمان تناوب مد اصلی سیستم جداساز با T_{iso} نشان داده شده و کمیت n تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی معادل (دارای دامنه‌ای برابر با تغییر شکل حداکثر سیستم جداساز) برای استهلاک انرژی ورودی در سیستم جداسازی شده است. مقدار کمیت n را می‌توان برابر ۲ در نظر گرفت. کمیت V_E سرعت معادل سیستم جداساز بر اساس انرژی ورودی می‌باشد. مطابق رابطه (۵-۱۷) می‌توان مقدار V_E را بر حسب مقدار طیف طرح

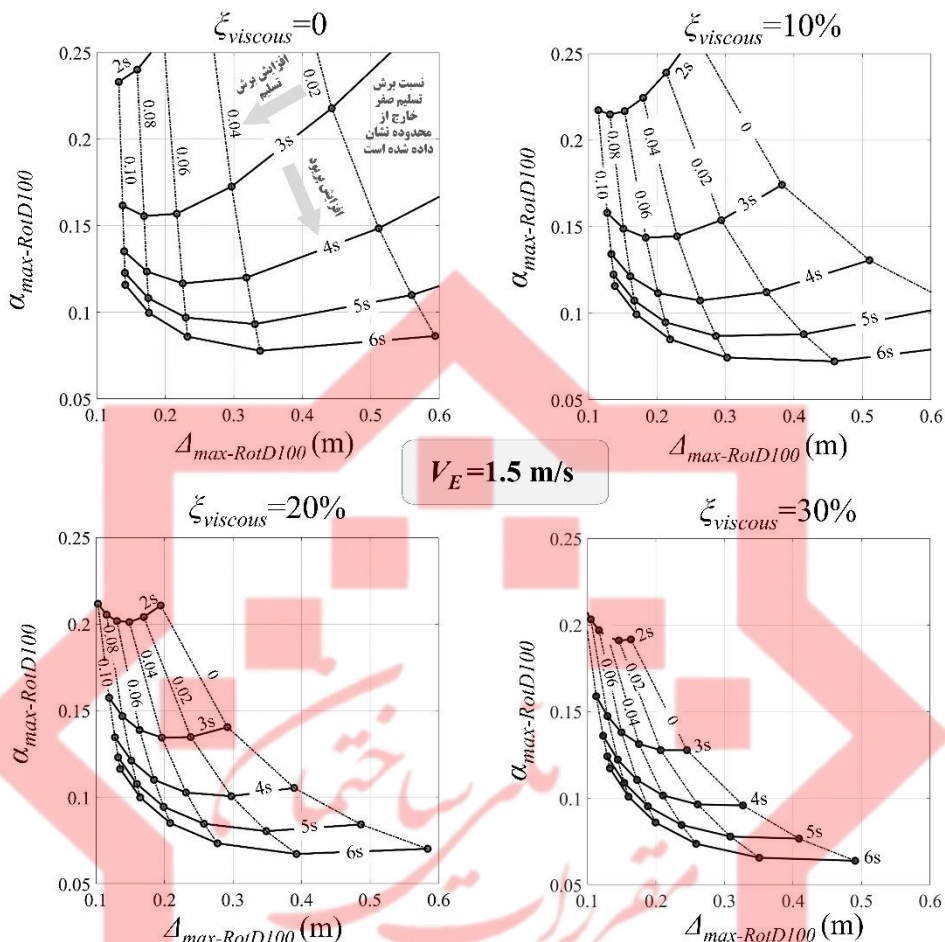
¹ Energy Balance

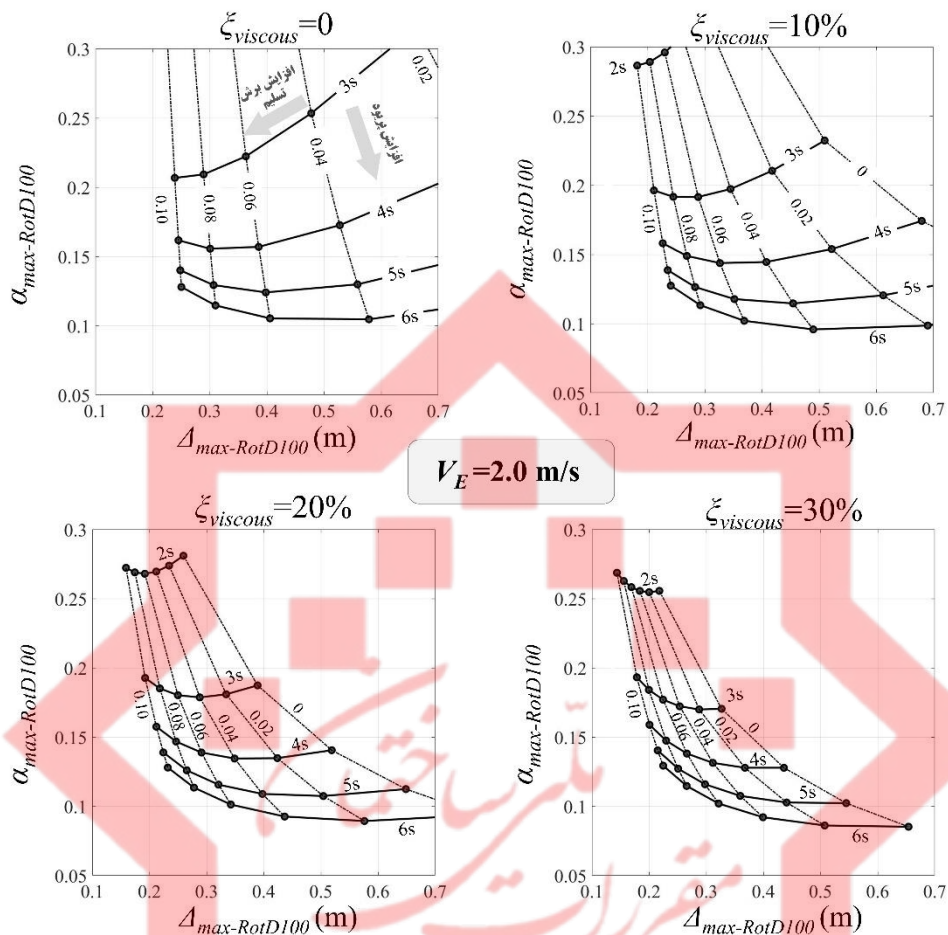
راستای بیشینه شتاب و طیف طرح راستای بیشینه سرعت در زمان تناوب مد اصلی سیستم جداساز برآورد نمود. به طور معمول، سیستم جداساز برای زلزله سطح ۲ طراحی شده بنابراین در محاسبه V_E لازم است از طیف شتاب یا سرعت متناظر با زلزله سطح ۲ استفاده شود. این طیف می‌تواند دارای میرایی ۵٪ باشد.

$$V_E = 1.4S_V(T_{iso}, 5\%) = 1.4 \frac{gT_{iso}}{2\pi} S_a(T_{iso}, 5\%) \quad (۱۷-۵)$$

در رابطه فوق S_a و S_V مقدار طیف شتاب و طیف سرعت با میرایی ۵٪ در زمان تناوب سیستم جداساز هستند که هر دو باید معرف طیف راستای بیشینه باشند. در رابطه فوق لازم است مقدار S_V بر حسب m/s و مقدار S_a به صورت بی بعد و نرمال شده با شتاب ثقل بیان شود. بدین ترتیب V_E دارای واحد m/s خواهد بود. با توجه به اینکه سازه‌های جداسازی شده معمولاً در قسمت سرعت ثابت طیف قرار خواهند گرفت، بنابراین برآورد مقدار V_E بر اساس طیف سرعت ساده‌تر بوده و در اغلب موارد برای یک سطح خطر و منطقه مشخص تقریباً مستقل از زمان تناوب خواهد بود. با استفاده از روابط (۵-۱۵) و (۵-۱۶) می‌توان منحنی‌های عملکردی برای سیستم جداساز لرزه‌ای بدست آورد. این منحنی‌ها برای مقادیر مختلف سرعت معادل انرژی ورودی (V_E) در شکل‌های (۵-۹) تا (۵-۱۳) ارائه شده‌اند که طراح می‌تواند به جای استفاده از روابط (۵-۱۵) و (۵-۱۶) از منحنی‌های عملکردی به منظور تعیین مشخصات سیستم جداساز لرزه‌ای استفاده کند. در صورتی که مقدار V_E در محدوده بین شکل‌های (۵-۹) تا (۵-۱۳) قرار داشته باشد، امکان طراحی سیستم جداساز بر اساس دورنمایی نتایج حاصل از منحنی‌های عملکردی، وجود دارد. استفاده از منحنی‌های عملکردی باعث می‌شود طراح دید بهتری نسبت به تاثیر کمیت‌های مختلف بر حداکثر برش و تغییر شکل سیستم جداساز بدست آورد.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

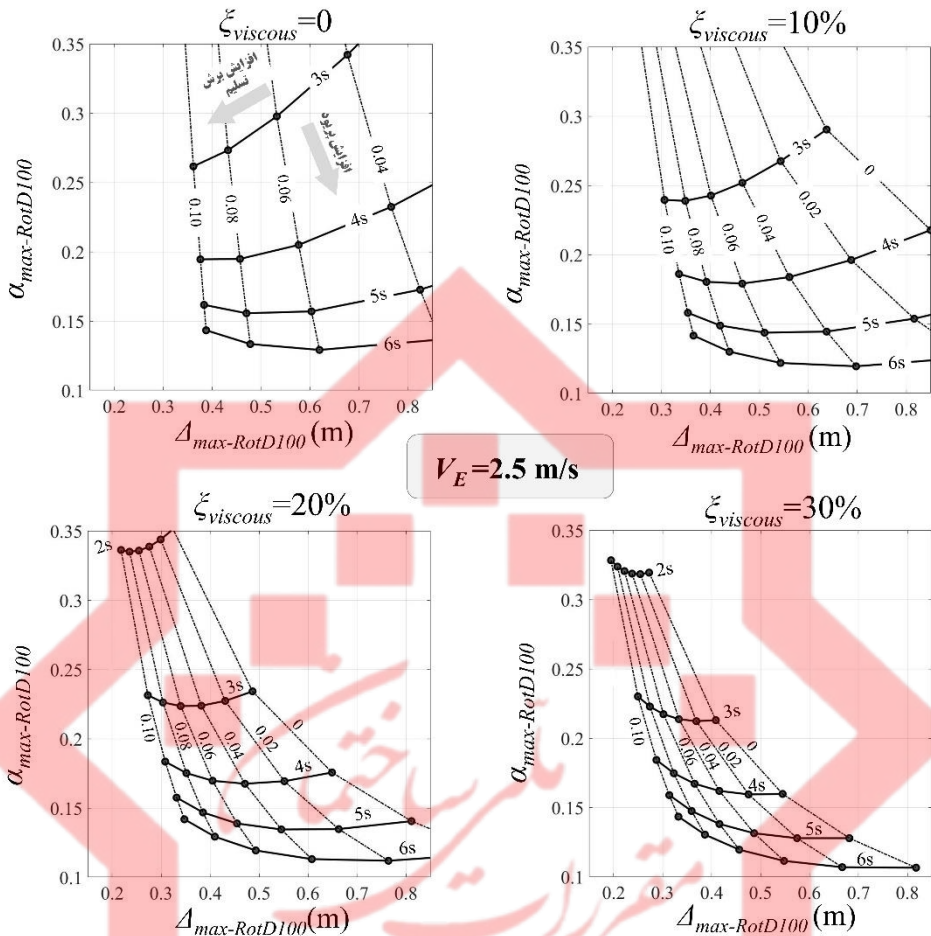




خطوط مورب قائم نسبت برش تسلیم ییشینه سیستم جداسازی شده به وزن روسازه ($\alpha_{y-RotD100}$) هستند که از سمت راست به چپ دارای مقادیر ۰، ۲٪، ۴٪، ۶٪، ۸٪ و ۱۰٪ هستند. خطوط مورب افقی پریود سازه جداسازی شده هستند که از سمت بالا به پایین دارای مقدار ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ثانیه هستند.

شکل (۵-۱۰). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 2.0 \text{ m/s}$

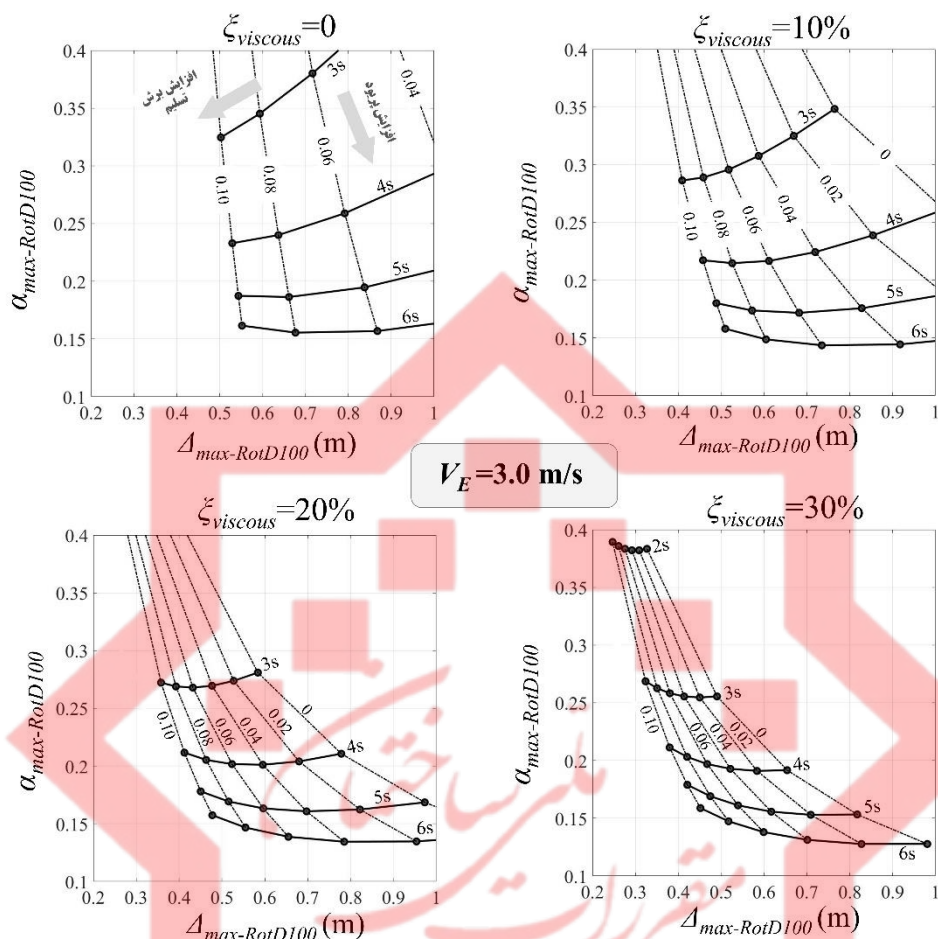
دقتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



خطوط مورب قائم نسبت برش تسلیم یبشینه سیستم جداسازی شده به وزن روسازه ($\alpha_{y-RotD100}$) هستند که از سمت راست به چپ دارای مقادیر ۰، ۲٪، ۴٪، ۶٪، ۸٪ و ۱۰٪ هستند. خطوط مورب افقی پررود سازه جداسازی شده هستند که از سمت بالا به پایین دارای مقدار ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ثانیه هستند.

شکل (۵-۱۱). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 2.5 \text{ m/s}$

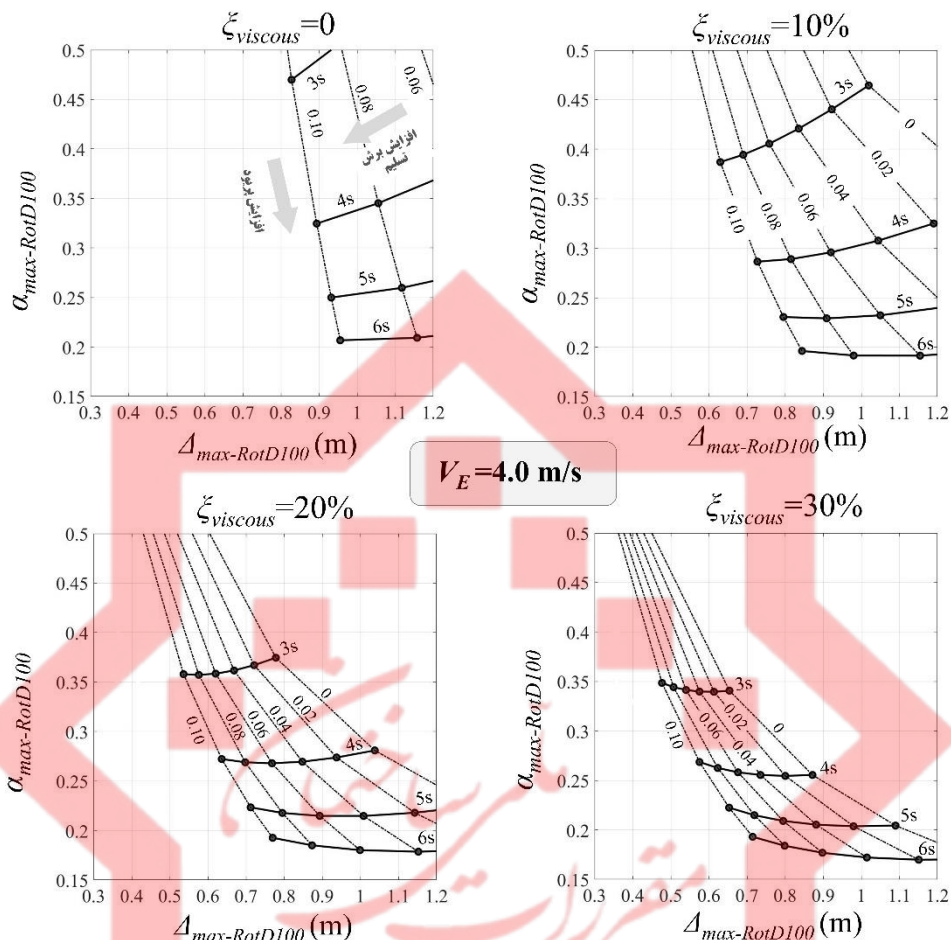
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



خطوط مورب قائم نسبت برش تسلیم راستای پیشینه سیستم جداسازی شده به وزن روسازه ($\alpha_{E-RotD100}$) هستند که از سمت راست به چپ دارای مقادیر ۰، ۲٪، ۴٪، ۶٪، ۸٪، ۱۰٪ و ۱۲٪ هستند. خطوط مورب افقی برپود سازه جداسازی شده هستند که از سمت بالا به پایین دارای مقدار ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ثانیه هستند.

شکل (۵-۱۲). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 3.0 \text{ m/s}$

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



خطوط مورب قائم نسبت برش تسلیم راستای پیشینه سیستم جداسازی شده به وزن روسازه ($\alpha_{y-RotD100}$) هستند که از سمت راست به چپ دارای مقادیر ۰، ۲٪، ۴٪، ۶٪، ۸٪ و ۱۰٪ هستند. خطوط مورب افقی پریود سازه جداسازی شده هستند که از سمت بالا به پایین دارای مقدار ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ثانیه هستند.

شکل (۵-۱۳). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 4.0 \text{ m/s}$

تذکره ۱: فرض روش تعادل انرژی ارائه شده در این ضابطه بر آن است که سیستم جداساز (و نه خود سازه اصلی) در هر دو امتداد افقی مشخصات یکسانی داشته باشد. با توجه به تقارن جداگرها و میراگرهای به کار رفته در سیستم‌های جداساز امروزی، این فرض تقریباً همواره برقرار است.

تذکر ۲: نسبت میرایی ویسکوز در سیستم جداساز صرفاً از طریق میراگرهای ویسکوز و روغنی که فاقد سختی استاتیکی هستند قابل تامین است. در صورت عدم وجود این نوع میراگرها در تراز جداسازی شده، $\xi_{viscous}=0$ خواهد بود. میراگرهای سیستم جداساز لازم است ظرفیت تغییرشکلی حداقل برابر با حداکثر تغییرشکل برشی سیستم جداساز را داشته باشند. تاثیر میراگرهای تسلیمی یا اصطکاکی در تراز جداسازی شده در کمیت $\alpha_{y-RotD100}$ اعمال شده و در روش تعادل انرژی، این نوع میراگرها نباید به صورت ویسکوز معادلسازی شوند.

تذکر ۳: نسبت برش تسلیم ($\alpha_{y-RotD100}$) در سیستم جداساز از طریق نشیمنگاه‌های سیستم جداگر، میراگرهای تسلیمی، میراگرهای اصطکاکی و میراگرهای روغنی دارای شیر تنظیم فشار قابل تامین است. این نسبت برش باید به نحوی باشد که تحت بار باد، سیستم جداساز دچار تسلیم یا سرخوردگی نشود.

تذکر ۴: با استفاده از منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز، این امکان وجود دارد که سیستم جداساز به نحوی طراحی شود که جابجایی حداکثر آن در یک سطح خطر مشخص از مقدار مشخصی فراتر نرود. این قابلیت در مواردی که در تامین درز انقطاع در اطراف ساختمان و تراز جداسازی شده و یا در حداکثر ظرفیت تغییرشکلی جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز محدودیت وجود دارد، می‌تواند ملاک طراحی سیستم جداساز باشد. در این صورت مشخصات بدست آمده برای جداگرهای سیستم جداساز باید معادل مشخصات حد پایین جداگرها در نظر گرفته شوند.

تذکر ۵: با استفاده از منحنی‌های عملکردی سیستم جداسازی، این امکان وجود دارد که سیستم جداساز به نحوی طراحی شود که برش حداکثر سیستم جداساز و متعاقباً نیروی وارده بر روسازه و زیرسازه از مقدار مشخصی فراتر نرود. این قابلیت برای طراحی سازه‌های جدید فاقد محدودیت در تامین درز انقطاع و یا برای بهسازی سازه‌های موجود که در آن روسازه و یا زیرسازه دارای ظرفیت جانبی مشخص و محدودی می‌باشد، می‌تواند ملاک طراحی سیستم جداساز باشد. در این صورت مشخصات بدست آمده برای جداگرهای سیستم جداساز باید معادل مشخصات حد بالای جداگرها در نظر گرفته شوند.

تذکر ۶: نسبت برش تسلیم در سیستم جداساز نباید کوچکتر از مقدار نسبت برش ناشی از بار باد باشد. بنابراین اگرچه در منحنی‌های عملکردی نسبت برش تسلیم صفر نیز نشان داده شده

است، لیکن استفاده از آن مجاز نمی‌باشد. توصیه می‌شود نسبت برش تسلیم در سیستم جداساز از ۰/۰۴ کوچکتر در نظر گرفته نشود. با استفاده از منحنی‌های عملکردی ارائه شده، این امکان وجود دارد نسبت برش تسلیم به نحوی انتخاب شود که نسبت برش حداکثر سیستم جداساز حداقل گردد.

تذکر ۷: حداکثر تغییرشکل، حداکثر برش و برش تسلیم سیستم جداساز بدست آمده در این مرحله مربوط به راستای بیشینه می‌باشد. بنابراین برای تخمین مقادیر در هر امتداد افقی عمود بر یکدیگر به طور مجزا (به عنوان مثال در دو امتداد X و Y)، می‌توان برش حداکثر، برش تسلیم و تغییرشکل حداکثر بدست آمده از منحنی‌های عملکردی را بر عدد $1/3$ تقسیم نمود. در رابطه (۵-۱۸) نسبت برش حداکثر در هر یک از امتدادهای افقی با α_{max} ، نسبت برش تسلیم در هر یک از امتدادهای افقی با α_y و تغییرشکل برشی حداکثر سیستم جداساز در هر یک از امتدادهای افقی با Δ_{max} نشان داده شده است.

$$\alpha_{max} \approx \frac{\alpha_{max-RotD100}}{1.3}, \alpha_y \approx \frac{\alpha_y-RotD100}{1.3}, \Delta_{max} \approx \frac{\Delta_{max-RotD100}}{1.3} \quad (5-18)$$

۵-۳-۴ مرحله سوم - طراحی مقاومتی سازه

در این مرحله لازم است سازه روی سیستم جداساز (روسازه) و سازه زیر سیستم جداساز (زیرسازه) طراحی گردند. به منظور حفظ عملکرد صحیح سیستم جداساز لرزه‌ای، لازم است زیرسازه در کلیه سطوح خطر لرزه‌ای به شکل کامل در محدوده الاستیک باقی بماند. لیکن روسازه می‌تواند در سطوح خطر شدیدتر (سطح خطر ۲) مقدار اندکی وارد محدوده غیرارتجاعی خود شود. روند طراحی روسازه و زیرسازه به ترتیب مطابق بندهای ۵-۳-۴-۱ و ۵-۳-۴-۲ صورت می‌پذیرد. این روند به صورت شماتیک در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است.

تذکر ۱: در این مرحله در مدل سه بعدی سازه لازم نیست سیستم جداساز به شکل صریح مدل‌سازی شود. در صورتی که سیستم جداساز در مدل سازه وجود دارد می‌توان مشخصات جداگرها را موقتاً به شکل صلب با سختی بسیار زیاد تعریف نمود.

تذکره ۲: در طراحی اولیه روسازه و زیرسازه کلیه ترکیبات بارگذاری بر اساس ترکیبات بارگذاری موجود در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته می‌شوند. با این تفاوت که نیروی زلزله به شکل متفاوتی بدست آمده که برای تخمین آن لازم است از الزامات این بخش استفاده شود. در طراحی اولیه روسازه و زیر سازه، نیروی زلزله بر اساس حداکثر برش ایجاد شده در سیستم جداساز لرزه‌ای در زلزله سطح ۲ بدست می‌آید که جزئیات آن در بندهای ۵-۳-۴-۱ و ۵-۳-۴-۲ ارائه شده است. به جز نیروی ناشی از زلزله، سایر نیروها مشابه یک ساختمان معمولی فاقد سیستم جداساز محاسبه می‌شوند.

تذکره ۳: در طراحی اولیه روسازه و زیرسازه، کلیه مشخصات مصالح بر اساس مشخصات اسمی (و نه مورد انتظار) بوده و در روند طراحی ضرایب کاهش مقاومت مطابق مباحث مقررات ملی ساختمان اعمال می‌شوند.

تذکره ۴: ضرایب ترک خوردگی در طراحی اولیه سازه‌های بتنی دارای سیستم جداساز لرزه‌ای که بر اساس این ضابطه طراحی می‌شوند، باید متناسب با سطح عملکرد مورد انتظار آن‌ها در زلزله سطح ۲ باشد. در طراحی اولیه، ضرایب ترک خوردگی اعضای بتنی روسازه و زیرسازه لازم است بر اساس بند ۵-۴-۱-۱۳ در نظر گرفته شوند.

تذکره ۵: در طراحی اولیه روسازه و زیر سازه، ضریب نامعینی و اضافه مقاومت برابر ۱ در نظر گرفته می‌شوند.

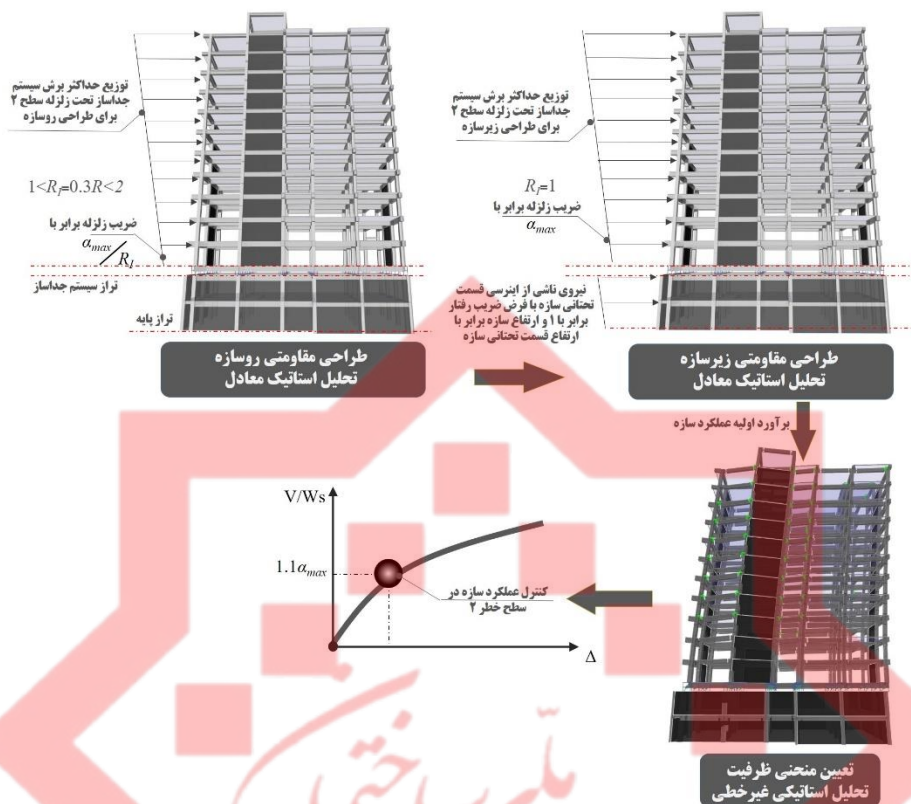
تذکره ۶: در طراحی اولیه روسازه و زیرسازه، پیچش تصادفی لازم است همواره در نظر گرفته شود. تذکره ۷: در طراحی اولیه روسازه و زیر سازه، اثر همزمانی دو مولفه افقی زلزله همواره باید در نظر گرفته شود. برای این منظور می‌توان از روش ۱۰۰-۳۰ استفاده نمود.

۵-۳-۴-۱ طراحی روسازه

برای طراحی روسازه (بخشی از سازه که در بالای تراز جداسازی شده واقع شده است) لازم است حداکثر برش سیستم جداساز در هر امتداد که در مرحله قبل تخمین زده شده بود (به تذکره ۷ بند ۵-۳-۳ توجه شود) به سازه اصلی اعمال شود. برای طراحی اولیه روسازه لازم است حداکثر برش سیستم جداساز متناظر با زلزله سطح ۲ باشد. همچنین لازم است از مشخصات حد بالای

جداگرها استفاده گردد. به منظور توزیع برش پایه مذکور در طبقات روسازه می‌توان از روش‌های مشابه سازه‌های فاقد جداگر (همانند روش توزیع مثلثی در روش استاتیک معادل و یا تحلیل طیفی با هم‌پایه‌سازی برش طیفی در تراز جداسازی شده با برش حداکثر سیستم جداساز) استفاده نمود به شرطی که برش پایه از تراز جداسازی شده به سازه اعمال شود و مقدار برش پایه برابر با برش حداکثر سیستم جداساز با فرض مشخصات حد بالای جداگرها باشد. همچنین با توجه به اینکه روسازه می‌تواند در زلزله سطح ۲ مقداری وارد محدوده غیرارتجاعی شود، می‌توان نیروی جانبی فوق را بر R_I تقسیم نمود. مقدار R_I یک سوم ضریب رفتار سیستم باربر جانبی روسازه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ است که مقدار آن نباید بیشتر از ۲ و لازم نیست کمتر از ۱ در نظر گرفته شود. در صورتی که سیستم باربر جانبی استفاده شده در روسازه، در دسته سیستم‌های معرفی شده توسط استاندارد ۲۸۰۰ نبوده و ضریب رفتاری برای آن تعریف نشده باشد، لازم است مقدار R_I برابر با ۱ در نظر گرفته شود. همچنین در صورتی که سیستم باربر جانبی روسازه در استاندارد ۲۸۰۰ معرفی شده لیکن محدودیت ارتفاعی موجود در استاندارد ۲۸۰۰ را برآورده نمی‌کند (ضمن رعایت الزامات تذکر ۱ بخش ۵-۱)، لازم است مقدار R_I برابر با ۱ در نظر گرفته شود. علاوه بر بار لرزه‌ای، لازم است سایر بارهای جانبی از جمله باد و نیز کلیه بارهای ثقلی در طراحی روسازه در نظر گرفته شوند. به جز نیروی ناشی از زلزله، سایر بارها و ترکیبات بارگذاری مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان به روسازه وارد شده و روسازه به نحوی طراحی می‌شود که نسبت تقاضا به ظرفیت در کلیه تلاش‌های اعضای روسازه کوچکتر از ۱ باشد. در صورتی که سیستم باربر جانبی روسازه تنها متشکل از قاب‌های خمشی فولادی و بتنی متوسط یا ویژه باشد، حداکثر دررفت روسازه نباید از ۱/۵٪ بیشتر باشد. در سایر سیستم‌های باربر جانبی، حداکثر دررفت روسازه باید از ۱٪ کوچکتر باشد. دررفت‌های ارائه شده مربوط به زلزله سطح ۲ هستند. در تعیین دررفت طبقات، ضریب بزرگنمایی تغییرشکل را می‌توان برابر با مقدار R_I در نظر گرفت. روند طراحی روسازه به صورت شماتیک در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است.

مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۱۴). روند طراحی مقاومتی روسازه و زیرسازه

تذکر ۱: در خصوص محدودیت ارتفاع سیستم‌های باربرجانبی دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، به

تذکر ۱ بخش ۵-۱ مراجعه شود.

تذکر ۲: در کلیه قاب‌های خمشی روسازه، توصیه می‌شود معیار تیر ضعیف-ستون قوی مشابه

قاب‌های خمشی ویژه رعایت شود. همچنین توصیه می‌شود در طراحی اعضای روسازه،

تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو یا بر اساس ظرفیت مورد انتظار تلاش‌های کنترل شونده

توسط تغییرشکل و در حضور بارهای ثقیلی طراحی شوند و یا سازه به نحوی طراحی شود که

نسبت تقاضا به ظرفیت در تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو کوچکتر از $\frac{1}{R_f}$ باشد. رعایت

موارد ارائه شده در این تذکر الزامی نیست، اما در صورت عدم رعایت، ممکن است در کنترل

نهایی عملکرد سازه، معیارهای پذیرش مربوط به تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشکل برآورده نشوند.

تذکر ۳: به طور کلی برای بهره‌مندی حداکثری از سیستم جداساز لرزه‌ای، لازم است زمان تناوب اصلی روسازه در شرایط پای ثابت نسبت به زمان تناوب سیستم جداساز (که تقریباً برابر زمان تناوب سازه جداسازی شده است) تفاوت قابل توجهی داشته باشد.

تذکر ۴: به طور کلی برای بهره‌مندی حداکثری از سیستم جداساز لرزه‌ای، لازم است روسازه از صلبیت و مقاومت جانبی بالایی برخوردار بوده و تقریباً در محدوده الاستیک خود باقی بماند. بدین منظور در طراحی روسازه، ضریب رفتار نزدیک به ۱ بوده و نیز محدودیت‌های سخت گیرانه‌ای برای دریافت طبقات اعمال شده است. روسازه نباید متشکل از دیوارها یا طره‌های با عملکرد گهواره‌ای باشد.

تذکر ۵: با توجه به اینکه در اکثر موارد سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در هر دو امتداد مشخصات یکسانی دارند، بنابراین توصیه می‌شود حتی المقدور، روسازه نیز به نحوی طراحی و تناسب بندی شود که در هر دو امتداد دارای سختی و ظرفیت جانبی تقریباً یکسانی باشد.

تذکر ۶: پس از طراحی اولیه روسازه و پیش از کنترل نهایی سازه با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، می‌توان با استفاده از تحلیل‌های ساده‌تری، تخمینی از عملکرد سازه بدست آورده و در صورت لزوم اقدام به اصلاح مشخصات سازه و یا مشخصات سیستم جداساز نمود. یکی از این روش‌ها استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش اور) است. بدین منظور می‌توان با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی، منحنی عملکرد (برش پایه نسبت به تغییرمکان بام) سازه را بدست آورده و در گامی از تحلیل که برش در تراز جداسازی شده حداقل ۱۰٪ بزرگتر از مقدار برش حداکثر سیستم جداساز (با فرض مشخصات حد بالای جداگرها) است، عملکرد سازه (دریافت طبقات، تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل و تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو) کنترل شود. این کنترل به صورت شماتیک در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است.

توصیه می‌شود این کنترل پس از طراحی زیرسازه انجام شود تا بدین ترتیب عملکرد روسازه و زیرسازه به صورت همزمان کنترل شوند. در هنگام انجام این کنترل لازم است سیستم جداساز به صورت غیرخطی در مدل ساختمان در نظر گرفته شده باشد (با

در نظر گرفتن مشخصات حد بالا). این کنترل نمی‌تواند جایگزین کنترل نهایی با استفاده از تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی باشد.

تذکره ۷: در صورتی که هدف از جداسازی، بهسازی یک ساختمان موجود باشد، بحث طراحی اجزای سازه منتفی بوده و لازم است سیستم جداساز لرزه‌ای به نحوی طراحی شود که تقاضای وارده بر سازه، کوچکتر از ظرفیت موجود سازه باشد. برای این منظور توصیه می‌شود ابتدا منحنی ظرفیت سازه با پای ثابت با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی بدست آورده شود. سپس حداکثر برشی که در آن عملکرد مدنظر برای سازه تامین می‌شود و یا حداکثر برشی که در آن دریافت طبقات از ۱٪ یا ۱/۵٪ (بسته به سیستم باربرجانبی روسازه) فراتر می‌رود (هر کدام که کمتر باشد) بدست آمده و در مرحله بعد، مطابق بند ۵-۳-۳، سیستم جداساز لرزه‌ای به نحوی طراحی گردد که برش حداکثر سیستم جداساز حداقل ۱۰٪ کوچکتر از مقدار بدست آمده فوق باشد. در این صورت مشخصات بدست آمده برای جداگرها باید به عنوان مشخصات حد بالای جداگرها در نظر گرفته شود.

تذکره ۸: در خصوص جانمایی جداگرها در زیر دیوارهای برشی، به طور معمول لازم است حداقل در هر یک از گوشه‌های دیوار یک جداگر قرار داده شود. در جداگرهای واقع در زیر دیوارهای برشی لاغر امکان بروز کشش یا بلندشدگی در جداگر وجود دارد. برای محدود سازی میزان کشش یا بلند شدگی در جداگرها یکی از روش‌های موثر، افزایش طول دیوار (کاهش نسبت ارتفاع بر طول دیوار) به ویژه در طبقه بالای تراز جداسازی شده است.

۵-۳-۴-۲ طراحی زیرسازه

زیرسازه (قسمتی از سازه که در زیر سیستم جداساز لرزه‌ای قرار دارد) لازم است در زلزله سطح ۲ کاملاً در محدوده الاستیک خود باقی بماند. برای طراحی این قسمت می‌توان مطابق روند ارائه شده در بند ۵-۳-۴-۱ عمل نمود با این تفاوت که اولاً در اعمال نیروی جانبی وارد بر روسازه، ضریب R_I برابر ۱ در نظر گرفته شده و ثانیاً نیروی لرزه‌ای ناشی از اینرسی بخش‌های تحتانی سیستم جداساز به طور جداگانه به بخش تحتانی سازه اعمال گردند. نیروی جانبی وارد بر زیرسازه مشابه یک ساختمان معمولی فاقد جداساز با وزن، ارتفاع و سیستم باربرجانبی مشابه بخش تحتانی سیستم جداساز بدست می‌آید با این تفاوت که ضریب رفتار برابر با ۱ بوده و

نیروی زلزله باید در سطح خطر ۲ باشد. روند فوق در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است. پس از اعمال بارهای جانبی مذکور به بخش فوقانی و تحتانی تراز جداساز، سازه تحلیل شده و بخش تحتانی سیستم جداساز به صورت مقاومتی طراحی می‌گردد به طوری که حداکثر نسبت تقاضا به ظرفیت در کلیه تلاش‌ها کوچکتر از ۱ باشد. به جز نیروی ناشی از زلزله، سایر بارها، ترکیبات بارگذاری و الزامات طراحی مشابه ساختمان‌های فاقد سیستم جداساز می‌باشد. لازم است مقدار دریافت در طبقات زیر تراز جداسازی شده تحت زلزله سطح ۲ کمتر از ۰/۵٪ باشد. تذکر: انتظار می‌رود عملکرد لرزه‌ای زیر سازه همواره بهتر از استفاده بدون وقفه (IO) باشد. بنابراین ضریب ترک خوردگی در اعضای بتنی زیرسازه لازم است بر اساس بخش ۵-۴-۱-۱۳ تعریف شوند.

۵-۳-۵ مرحله چهارم - طراحی جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز

پس از طراحی اولیه روسازه و زیرسازه، مشخصات لازم برای اجزای سیستم جداساز تعیین می‌شود. این مشخصات عبارتند از سختی جانبی، برش تسلیم و نسبت میرایی ویسکوز در سیستم جداساز که بر اساس این سه مشخصه، مشخصات لازم برای نشیمنگاه‌ها (جداگرها) و میراگرهای سیستم جداساز تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است در صورتی که طراحی سیستم جداساز بر اساس محدود سازی حداکثر تغییرشکل سیستم جداساز بوده باشد، مشخصات بدست آمده از بند ۵-۳-۳ باید به عنوان مشخصات حد پایین سیستم جداساز در نظر گرفته شوند و در صورتی که طراحی سیستم جداساز بر اساس محدود سازی حداکثر برش سیستم جداساز بوده باشد، مشخصات بدست آمده از بند ۵-۳-۳ باید به عنوان مشخصات حد بالای سیستم جداساز در نظر گرفته شوند. با توجه به منحنی‌های عملکردی در بند ۵-۳-۳، زمان تناوب سیستم جداساز (T_{iso})، نسبت برش تسلیم سیستم جداساز (α_y) و نسبت میرایی ویسکوز سیستم جداساز ($\zeta_{viscous}$) مشخص می‌شوند. با داشتن جرم لرزه‌ای موثر روسازه، کل سختی جانبی (K_{iso})، برش تسلیم (V_{y-iso}) و ضریب میرایی ویسکوز خطی (C_{L-iso}) سیستم جداساز (ناشی از تمام نشیمنگاه‌ها و میراگرها) در هر یک از دو امتداد افقی عمود بر یکدیگر به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$K_{iso} = \frac{4M_s\pi^2}{T_{iso}^2} \quad (۱۹-۵)$$

$$V_{y-iso} = \alpha_y M_s g \quad (۲۰-۵)$$

$$C_{L-iso} = \frac{4\pi M_s \xi_{viscous}}{T_{iso}} \quad (۲۱-۵)$$

در روابط فوق M_s جرم موثر لرزه‌ای روسازه (قسمتی از ساختمان که بر روی سیستم جداسازی شده قرار دارد) بوده و لازم است بر حسب کیلوگرم در رابطه وارد شود. همچنین شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه با g نشان داده شده است. لازم است تعداد جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز به نحوی تعیین شود که مجموع سختی جانبی، برش تسلیم و ضریب میرایی در تراز جداسازی شده تا حد ممکن نزدیک به مقادیر بدست آمده از روابط (۱۹-۵) تا (۲۱-۵) باشند. در شکل‌های (۱۵-۵) و (۱۶-۵) نمونه محاسبات برای یک ساختمان ۱۳ طبقه بتنی جداسازی شده ارائه شده است.

تذکر ۱: در روش ارائه شده در این ضابطه، فرض بر آن است که مشخصات سیستم جداساز لرزه‌ای در هر دو امتداد افقی یکسان باشد. بنابراین مشخصات سیستم جداساز در هر امتداد افقی از طریق روابط (۱۹-۵) تا (۲۱-۵) بدست می‌آید.

تذکر ۲: به طور کلی در زیر هر یک از ستون‌ها و لبه دیوارهای باربر روسازه لازم است یک نشیمنگاه (جداگر) قرار داده شود. این چیدمان منجر به جلوگیری از ایجاد تقاضای خارج از صفحه اضافی در دیافراگم بالای تراز جداسازی شده می‌شود. استفاده از سایر چیدمان‌ها برای جداگرها مجاز است به شرطی که بر اساس محاسبات بتوان نشان داد دیافراگم بالای تراز جداسازی شده در محدوده الاستیک خود قادر به تحمل و انتقال نیروهای وارده می‌باشد.

تذکر ۳: استفاده ترکیبی از جداگرهای لاستیکی با جداگرهای لغزشی دارای سطح لغزش قوسی (جداگرهای پاندولی) در یک سیستم جداساز مجاز نمی‌باشد. چراکه این نوع از جداگرهای لغزشی به دلیل انحنای سطح لغزش، در هنگام تغییر شکل برشی، در امتداد قائم نیز تغییر شکل‌های قابل توجهی دارند در حالی که جداگرهای لاستیکی در هنگام تغییر شکل برشی، در امتداد قائم تغییر شکل‌های بسیار کوچکی خواهند داشت. بنابراین جداگرهای لغزشی با

سطوح لغزش قوسی و جداگرهای لاستیکی می‌توانند در عملکرد یکدیگر خلل ایجاد کنند. استفاده از ترکیب جداگرهای لاستیکی و جداگرهای لغزشی با سطح لغزش مسطح بلامانع است.

تذکر ۴: استفاده از جداگرهای لغزشی پاندولی با شعاع انحنای متفاوت (در جداگرهای مختلف) در یک سیستم جداساز مجاز نمی‌باشد. در صورت استفاده از جداگرهای لغزشی در یک سیستم جداساز تنها می‌توان از یک نوع جداگر لغزشی استفاده نمود. به عنوان نمونه استفاده همزمان از جداگرهای لغزشی با سطح لغزش مسطح و جداگرهای لغزشی تک پاندولی مجاز نیست. همچنین استفاده از جداگرهای لغزشی تک پاندولی و دو یا سه پاندولی به شکل همزمان در یک سیستم جداساز مجاز نمی‌باشد. ترکیب جداگرهای لغزشی پاندولی از یک نوع اما با شعاع انحنای متفاوت نیز در سیستم جداساز لرزه‌ای مجاز نمی‌باشد. دلیل محدودیت‌های ذکر شده در این تذکر، وابستگی تغییرشکل قائم جداگرهای پاندولی به شعاع انحنای سطح لغزش است.

تذکر ۵: به منظور کاهش پیچش در سیستم جداساز، توصیه می‌شود جداگرها به نحوی انتخاب و جانمایی شوند که مرکز سختی برشی در سیستم جداساز حتی المقدور بر مرکز جرم ساختمان (مرکز جرم تجمعی تمام طبقات روسازه) منطبق باشد.

تذکر ۶: به منظور ایجاد سختی پیشگی کافی در سیستم جداساز، توصیه می‌شود حتی المقدور جداگرهای با سختی جانبی بیشتر (همانند جداگرهای لاستیکی هسته سربی) در بخش‌های پیرامونی و جداگرهای با سختی جانبی کمتر (همانند جداگرهای لغزشی مسطح) در بخش‌های داخلی در پلان سیستم جداساز قرار داده شوند.

تذکر ۷: میراگرهای تسلیمی و اصطکاکی در سیستم جداسازی تأثیری بر کمیت *viscous* نداشته و اثر این نوع میراگرها در سختی برشی و برش تسلیم سیستم جداساز لحاظ می‌شود. بنابراین نسبت میرایی ویسکوز در سیستم جداساز (*viscous*) صرفاً از طریق میراگرهای ویسکوز یا روغنی که دارای سختی استاتیکی ناچیز و نیروی وابسته به سرعت هستند، قابل تأمین است.

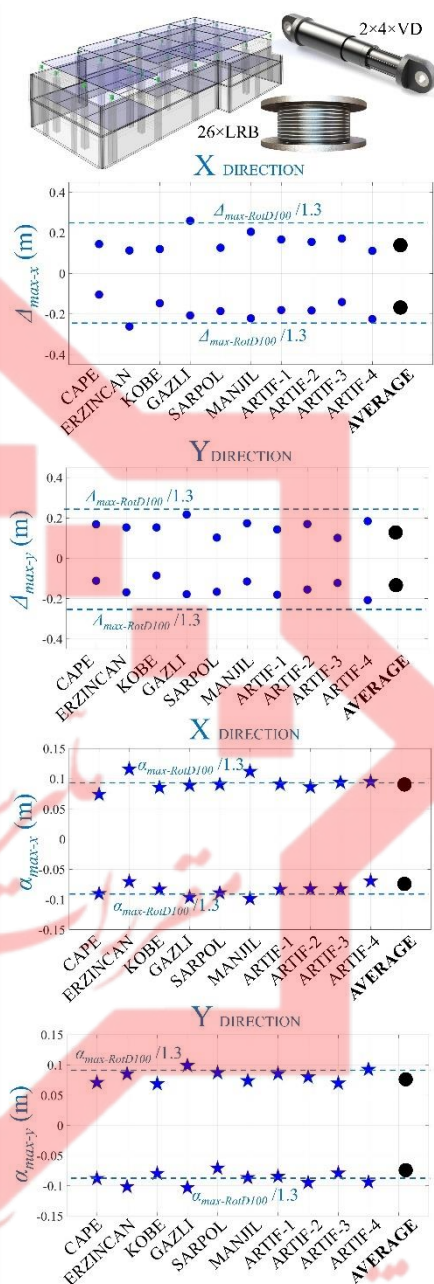
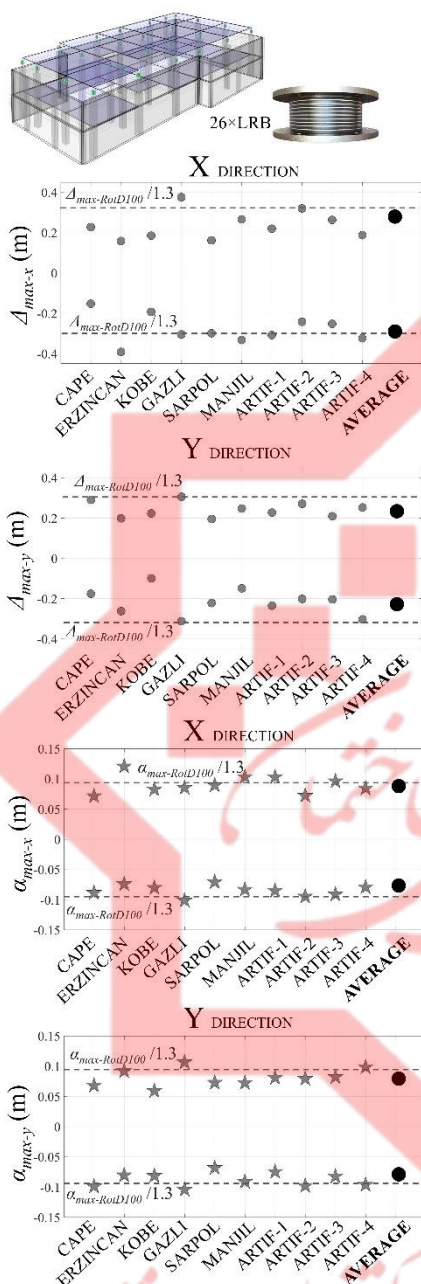
تذکر ۸: در بهسازی سازه‌های موجود، به منظور انتخاب نسبت حداکثر برش راستای بیشینه سیستم جداساز به وزن موثر لرزه‌ای روسازه ($\alpha_{max-RotD100}$) توصیه می‌شود حداکثر برش مجاز در امتداد بحرانی سازه (امتداد دارای ظرفیت کوچکتر) ملاک عمل قرار گرفته شود و مقدار

$\alpha_{max-RotD100}$ معادل با $1/3$ برابر ظرفیت برشی امتداد بحرانی سازه در نظر گرفته شود (مطابق نمونه محاسبات ارائه شده در شکل (۵-۱۵)).

تذکر ۹: در روش ارائه شده در این بخش بسته به معیار طراحی سیستم جداساز (محدود کردن حداکثر تغییرشکل برشی و یا حداکثر برش در سیستم جداساز)، مشخصات حد پایین یا حد بالای سیستم جداساز تعیین می‌شوند. در صورتی که طراحی سیستم جداساز در بند ۳-۳-۵ بر اساس دستیابی به یک حداکثر تغییرشکل برشی مشخص در سیستم جداساز باشد (محدودسازی حداکثر تغییرشکل سیستم جداساز)، مشخصات بدست آمده در بند ۳-۳-۵ باید به عنوان مشخصات حد پایین سیستم جداساز در نظر گرفته شده و مشخصات اسمی بزرگتر از مشخصات بدست آمده خواهند بود. در مقابل، در صورتی که طراحی سیستم جداساز در بند ۳-۳-۵ بر اساس دستیابی به یک حداکثر برش مشخص در سیستم جداساز بوده باشد (محدودسازی حداکثر برش سیستم جداساز)، مشخصات بدست آمده از بند ۳-۳-۵ باید به عنوان مشخصات حد بالای سیستم جداساز در نظر گرفته شده و مشخصات اسمی کوچکتر از مشخصات بدست آمده خواهند بود. به عنوان مثال، در نمونه طراحی انجام شده در شکل (۵-۱۵)، ملاک طراحی سیستم جداساز محدودسازی حداکثر برش بوده است، بنابراین مشخصات بدست آمده در این شکل متناظر با مشخصات حد بالای سیستم جداساز می‌باشند. به عبارت دیگر، در سیستم جداساز طراحی شده در شکل (۵-۱۵) باید از جداگرها و میراگرهایی استفاده شود که مشخصات حد بالای آن‌ها منطبق بر مشخصات بدست آمده در این شکل باشند.

تذکر ۱۰: روش ارائه شده در این بخش به صورت مستقیم قابل استفاده برای انواع جداگرهای لاستیکی، جداگرهای لغزشی با سطح لغزش مسطح و جداگرهای لغزشی تک پاندولی می‌باشد. در خصوص جداگرهای لغزشی دو پاندولی و سه پاندولی که دارای سختی پس از لغزش متغیر هستند، طراح می‌تواند از طریق معادل سازی سختی پس از لغزش، همچنان از روش ارائه شده در این بخش استفاده کند. به هر ترتیب در این روش فرض بر آن است که جداگرها دارای رفتار الاستوپلاستیک با یک سختی پس از تسلیم (پس از لغزش) ثابت هستند.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۱۶). دقت روش تعادل انرژی در تخمین جابجایی و برش حداکثر سیستم جداساز مقایسه با نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

۵-۳-۶ مرحله پنجم - کنترل نهایی عملکرد سازه

در چهار مرحله قبل اهداف عملکردی مشخص شده و سازه اصلی به همراه سیستم جداساز لرزه‌ای آن طراحی اولیه شدند. در این مرحله لازم است عملکرد سازه جداسازی شده ارزیابی و کنترل نهایی شود. این مرحله خود شامل ۳ گام به ترتیب زیر می‌باشد.

■ گام ۱: کنترل فاز ۱

در این مرحله عملکرد سازه طراحی شده با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی یک مرتبه با فرض حد پایین مشخصات سیستم جداساز و یک مرتبه با فرض حد بالای مشخصات سیستم جداساز کنترل می‌شود. در کنترل فاز ۱ لازم است با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، عملکرد اجزای سازه حداقل در دو سطح خطر زلزله سرویس و زلزله سطح ۲ کنترل شده و در صورت نیاز اصلاحاتی در ابعاد مقاطع و یا مشخصات جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز اعمال شود. از جمله خروجی‌های اصلی در این مرحله عبارتند از تلاش‌های نیروکنترل، تلاش‌های تغییرشکل کنترل، حداکثر دررفت طبقات، حداکثر شتاب طبقات، حداکثر برش طبقات، حداکثر جابجایی طبقات، تغییرشکل ماندگار در طبقات روسازه و سیستم جداساز (در برخی موارد) و در نهایت حداکثر نیرو و تغییرشکل ایجاد شده در جداگرها و میراگرهای موجود در سیستم جداساز.

تذکر ۱: انجام کنترل فاز ۱ مستلزم استفاده از مدل‌های غیرخطی می‌باشد که جزئیات آن در بخش ۵-۴ ارائه شده است.

تذکر ۲: در مقایسه با میراگرها، در جداگرها مشخصات حد بالا و حد پایین معمولاً تفاوت قابل توجهی با مشخصات اسمی جداگر دارند. بنابراین حتی در کنترل فاز ۱ نیز نمی‌توان تنها از مشخصات اسمی جداگرها استفاده نمود. لازم به یادآوری است که مشخصات سیستم جداساز بدست آمده از روش ارائه شده در بند ۵-۳-۳، بسته به معیار طراحی (محدودسازی حداکثر تغییرشکل یا حداکثر برش سیستم جداساز)، منجر به تعیین مشخصات حد پایین یا حد بالای سیستم جداساز لرزه‌ای می‌شود.

تذکر ۳: برای تخمین مشخصات حد بالا یا حد پایین سیستم جداساز، صرفاً در کنترل فاز ۱ می‌توان از ضرایب حد بالا و حد پایین ارائه شده توسط شرکت سازنده جداگرها و میراگرها و یا ضرایب ارائه شده در سایر منابع معتبر استفاده نمود. در صورت عدم وجود ضرایب حد بالا و پایین تایید شده، می‌توان مشخصات حد بالای جداگر را $1/8$ برابر مشخصات اسمی جداگر و مشخصات حد پایین جداگر را $0/6$ برابر مشخصات اسمی جداگر در نظر گرفت. در خصوص میراگرهای سیستم جداساز، می‌توان مشخصات حد بالای میراگر را $1/2$ برابر مشخصات اسمی میراگر و مشخصات حد پایین میراگر را $0/8$ برابر مشخصات اسمی میراگر در نظر گرفت. بدین ترتیب با داشتن مشخصات در یکی از دو حد بالا یا پایین، مشخصات در حد دیگر نیز قابل تخمین هستند. بنابراین در صورتی که در بند ۵-۳-۳ مشخصات حد بالای سیستم جداساز بدست آمده باشند، با ضرب مشخصات جداگرها (سختی پس از تسلیم و برش تسلیم در جداگرهای لاستیکی یا ضریب اصطکاک در جداگرهای لغزشی) و مشخصات میراگرها (نیروی تسلیم یا ضریب میرایی)، به ترتیب در ضرایب $0/33$ و $0/66$ ، مشخصات حد پایین جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز تخمین زده می‌شود. در صورتی که در بند ۵-۳-۳ مشخصات حد پایین سیستم جداساز بدست آمده باشند، با ضرب مشخصات جداگرها (سختی پس از تسلیم و برش تسلیم در جداگرهای لاستیکی یا ضریب اصطکاک در جداگرهای لغزشی) و مشخصات میراگرها (نیروی تسلیم یا ضریب میرایی)، به ترتیب در ضرایب 3 و $1/5$ ، مشخصات حد بالای جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز تخمین زده می‌شود. در کنترل فاز ۲ ضرایب حد بالا و حد پایین بر اساس آزمایش‌های انجام شده بدست خواهند آمد.

تذکر ۴: قبل از انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، توصیه می‌شود با استفاده از تحلیل‌های ساده‌تری از جمله تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، روش زمان-دوام و یا تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی مودال، برآورده اولیه‌ای از عملکرد سازه و سیستم جداساز بدست آورده و در صورت لزوم اصلاحاتی در روسازه، زیرسازه و یا سیستم جداساز اعمال نمود.

تذکره ۵: بروز بلندشدگی محدود در جداگرهای لغزشی تنها در زلزله سطح ۲ مجاز است. با این وجود، توصیه می‌شود طراحی به نحوی انجام شود که بلند شدگی حتی در زلزله سطح ۲ نیز رخ ندهد. همچنین در جداگرهای لغزشی دارای مکانیزم مقید کننده بلندشدگی و نیز در جداگرهای لاستیکی بروز نیروی کششی محوری تنها در زلزله سطح ۲ مجاز می‌باشد. در این صورت لازم است یکی از پروتوکل‌های بارگذاری در آزمایش‌های پروتوتایپ مطابق تذکر بند ۶-۳-۱-۱ شامل نیروی محوری کششی باشد. در صورتی که متوسط تنش کششی ایجاد شده در جداگر لاستیکی کوچکتر از 2G باشد (G مدول برشی مورد انتظار در لاستیک جداگر است)، انجام آزمایش بر روی جداگر با نیروی محوری کششی الزامی نیست. به طور کلی توصیه می‌شود طراحی به نحوی انجام شود که جداگرها در معرض کشش قرار نگیرند.

■ گام ۲: انجام آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول

در این مرحله با توجه به مشخصات بدست آمده برای جداگرها و میراگرها، به شرکت‌های سازنده سفارش ساخت داده شده و ابتدا نمونه‌های اولیه از جداگر و میراگر ساخته شده و به صورت پروتوتایپ آزمایش می‌شوند و در صورتی که مشخصات مورد نیاز برآورده شده باشد، به تعداد مورد نیاز جداگرها و میراگرها ساخته شده و آزمایش‌های کنترل محصول بر روی آنها انجام می‌شود. در صورت تایید طراح، آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول می‌تواند به صورت هم زمان نیز انجام شوند. جزئیات آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در فصل ۶ ارائه شده است.

تذکره ۶: تغییرشکل‌ها و نیروهای مورد نیاز در پروتوکل‌های بارگذاری مربوط به جداگرها و میراگرهای موجود در سیستم جداساز لرزه‌ای، بر اساس میانگین نتایج حاصل از تحلیل فاز ۱ با فرض استفاده از مشخصات حد پایین سیستم جداساز بدست می‌آیند.

■ گام ۳: کنترل فاز ۲

در کنترل فاز ۲ لازم است یک بار دیگر کنترل فاز ۱ تکرار شود با این تفاوت که مشخصات حد بالا و حد پایین جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز، بر اساس نتایج آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در نرم افزار تحلیلی تعریف شوند.

تذکره ۷: در صورتی که حد بالای مشخصات جداگرها و میراگرها که در کنترل فاز ۱ در نظر گرفته شده است بزرگتر از حد بالای مشخصات جداگرها و میراگرها بر اساس آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول باشد، طراح می‌تواند در کنترل فاز ۲، تحلیل‌های مربوط به مشخصات حد بالای سیستم جداساز را تکرار نکرده و از نتایج متناظر با مشخصات حد بالا که در کنترل فاز ۱ بدست آمده است، برای کنترل نهایی معیارهای پذیرش استفاده نماید.

تذکره ۸: در صورتی که حد پایین مشخصات جداگرها و میراگرها که در کنترل فاز ۱ در نظر گرفته شده است کوچکتر از حد پایین مشخصات جداگرها و میراگرها بر اساس آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول باشد، طراح می‌تواند در کنترل فاز ۲، تحلیل‌های مربوط به مشخصات حد پایین سیستم جداساز را تکرار نکرده و از نتایج متناظر با مشخصات حد پایین که در کنترل فاز ۱ بدست آمده است، برای کنترل نهایی معیارهای پذیرش استفاده نماید.

۵-۴ تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی

بر اساس این ضابطه، به منظور کنترل نهایی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر و یا سیستم جداساز لرزه‌ای، لازم است از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شود. در این بخش الزامات لازم برای این نوع تحلیل بیان شده است. هدف از انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، شبیه‌سازی رفتار سازه به دقیق‌ترین شکل ممکن می‌باشد. بنابراین مدل‌سازی مناسب برای چنین تحلیلی باید مشخصات و شرایط سازه را به شکل واقع‌بینانه و مورد انتظار و نه لزوماً به شکل محافظه کارانه بیان کند.

تذکره: همواره قبل از انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، توصیه می‌شود با استفاده از تحلیل‌های ساده‌تری همانند تحلیل خطی طیفی، تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی (پوش اور)، تحلیل‌های مبتنی بر روش زمان-دوام و یا تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی مودال، برآوردی از عملکرد سازه بدست آورده شود. همچنین توصیه می‌شود در حین انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی نیز عملکرد سازه زیر نظر گرفته شود و در صورتی که ضعف عملکردی آشکاری در بخشی از سازه مشاهده گردید، طرح اصلاح شده و مجدداً تحلیل‌ها تکرار شوند.

۵-۴-۱ الزامات عمومی

۵-۴-۱-۱ مدل سه بعدی

لازم است مدل ساختمان به صورت سه بعدی ساخته شود. اگرچه استفاده از مدل‌های دو بعدی به منظور ارزیابی اولیه عملکرد سازه بلامانع است، لیکن کنترل نهایی عملکرد سازه باید بر اساس مدل سه بعدی از سازه انجام شود.

۵-۴-۱-۲ جرم لرزه‌ای

جرم لرزه‌ای موثر سازه لازم است منطبق بر محتمل‌ترین وزن موثر لرزه‌ای ساختمان در حین زلزله باشد. به عنوان معیاری حداقلی، جرم لرزه‌ای موثر سازه می‌تواند بر اساس کل بار مرده سازه به علاوه ۲۰٪ بار زنده در نظر گرفته شود.

تذکر ۱: در طبقات با کاربری انبار، کتابخانه یا کاربری‌هایی مشابه که در آن بارهای زنده احتمال ماندگاری بالاتری دارند، لازم است درصد بار زنده حداقل به ۴۰٪ افزایش یابد.

تذکر ۲: در صورتی که شتاب نگاشت وارده بر سازه شامل مولفه قائم زلزله نیز باشد، لازم است جرم لرزه‌ای علاوه بر دو امتداد افقی، در امتداد قائم نیز تعریف گردد. توجه شود برخی از نرم افزارهای تحلیلی به صورت پیش فرض جرم لرزه‌ای را تنها در امتداد افقی لحاظ می‌کنند که این مورد باید اصلاح گردد.

۵-۴-۱-۳ بار ثقیلی

لازم است قبل از اعمال شتاب نگاشت‌های زلزله، بار ثقیلی مورد انتظار به سازه اعمال شده باشد. برای این منظور می‌توان تنها از یک ترکیب بار ثقیلی شامل کل بار مرده به علاوه ۲۰ درصد بار زنده کاهش نیافته استفاده نمود.

تذکر ۱: در صورتی که در طبقه‌ای بار زنده بیش از ۵ کیلونیوتن بر مترمربع باشد، لازم است حداقل ۴۰٪ بار زنده در ترکیب بار ثقیلی در نظر گرفته شود.

تذکر ۲: بار ثقلی معرفی شده در این بند تنها در تحلیل‌های غیرخطی کاربرد داشته و در طراحی اولیه سازه که بر اساس تحلیل‌های خطی انجام می‌شود، لازم است کلیه ترکیبات بار ثقلی مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان اعمال شود.

۵-۴-۱-۴ پیچش

با توجه به اینکه مدل سازه به صورت سه بعدی می‌باشد، پیچش ذاتی به صورت خودکار در تحلیل‌ها در نظر گرفته خواهد شد. بر اساس این ضابطه، صرفاً در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، نیازی به در نظر گرفتن پیچش تصادفی نمی‌باشد.

تذکر ۱: عدم در نظر گیری پیچش تصادفی تنها مربوط به تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی بوده و در طراحی اولیه سازه که بر اساس تحلیل‌های الاستیک انجام می‌شود، لازم است پیچش تصادفی همواره در نظر گرفته شود.

تذکر ۲: اعمال پیچش تصادفی در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی منجر به افزایش بسیار قابل توجه در حجم محاسبات خواهد شد. علاوه بر آن، در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی کلیه مشخصات سازه (مدول الاستیک، ظرفیت مقاومتی، ابعاد اعضا، محل مرکز سختی و ...) بر مبنای مشخصات مورد انتظار تعریف می‌شوند. بنابراین محل مرکز جرم طبقات نیز لازم است در محل مورد انتظار خود قرار داده شود.

۵-۴-۱-۵ دیافراگم کف

در تمام موارد می‌توان دیافراگم کف را به صورت نیمه صلب در مدل تحلیلی سازه در نظر گرفت. با این وجود، در صورتی که تمام موارد زیر برقرار باشد، می‌توان دیافراگم کف را به صورت صلب در نظر گرفت.

- دیافراگم کف فاقد بازشوی بزرگ باشد به نحوی که صلب یا نیمه صلب در نظر گرفتن دیافراگم منجر به تغییر قابل توجه در مدهای ارتعاشی سازه نشود.
- سیستم باربر جانبی سازه اصلی در دیافراگم مورد نظر دارای ناپیوستگی داخل یا خارج از صفحه نباشد.

- حداقل در یک سمت دهانه‌های مهاربندی شده یا دهانه‌های حاوی دیوار برشی، دیافراگم فاقد بازشو باشد.
- هیچ ستون مایلی به دیافراگم متصل نباشد.
- برای شبیه سازی رفتار غیرالاستیک هیچ یک از تیرهای موجود در دیافراگم از مفاصل پلاستیک فایبر استفاده نشده باشد.
- مطابق استاندارد ۲۸۰۰ بر اساس تحلیل‌های خطی، دیافراگم صلب تشخیص داده شود.

تذکره ۱: در صورتی که دیافراگم به شکل نیمه صلب در نظر گرفته شود لازم است دیافراگم با المان‌هایی حداقل به ابعاد تقریبی ۱ متر مش بندی شود. تعداد مش‌ها در هر دهانه نباید از ۴ مش کمتر باشد. در قسمت‌هایی از دیافراگم که گرادیان تغییرات نیرو شدیدتر است، توصیه می‌شود از مش بندی ریزتری استفاده شود. در خصوص دیافراگم‌های بتنی، لازم است ضرایب ترک خوردگی در هر دو امتداد داخل و خارج از صفحه به دیافراگم بر اساس بند ۵-۴-۱-۱۳ تعریف شوند. در شرایطی که نحوه انتقال نیرو به ضرایب ترک خوردگی دیافراگم حساسیت بالایی داشته باشد (مثل دیافراگم در تراز سکو یا پودیم در سازه‌های بلند)، توصیه می‌شود با استفاده از دو حد بالا و پایین برای ضرایب ترک خوردگی دیافراگم، حساسیت پاسخ‌های سازه به میزان ترک خوردگی دیافراگم ارزیابی شده و بحرانی‌ترین حالت ملاک کنترل معیارهای پذیرش در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: استفاده از دیافراگم صلب منجر به افزایش سرعت تحلیل‌های غیرخطی خواهد شد بنابراین در طبقاتی که استفاده از دیافراگم نیمه صلب ضروری نیست، می‌توان از دیافراگم صلب استفاده نمود.

تذکره ۳: در تراز سکو (پودیم) ساختمان یا هر تراز دیگری از ساختمان که مساحت و سختی طبقات فوقانی و تحتانی به شکل قابل توجهی متفاوت است، لازم است در طبقه پودیم و حداقل دو طبقه تحتانی آن از دیافراگم نیمه صلب استفاده شود.

تذکره ۴: در صورتی که سازه دارای دیوارهای برشی با تیرپیوند بوده به نحوی که تیر پیوند با المان های پوسته ای یا مفاصل فایبر مدل شده باشد، دیافراگم متصل به تیر پیوند باید از نوع نیمه صلب باشد. استفاده از دیافراگم صلب در این شرایط منجر به تخمین غیردقیق خمش و سختی در تیر پیوند می شود.

تذکره ۵: موارد ارائه شده در این بخش مربوط به تعریف دیافراگم در تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی به منظور کنترل عملکرد لرزه ای سازه می باشد. به منظور طراحی دیافراگم، می توان از تحلیل های استاتیکی خطی (بر اساس نیروهای حاصل از تحلیل های دینامیکی غیرخطی) استفاده نمود. در این صورت با توجه به اینکه تلاش های ایجاد شده در دیافراگم مورد نیاز خواهد بود، لازم است همواره دیافراگم به صورت نیمه صلب در نظر گرفته شود. روند طراحی دیافراگم کف در فصل ۷ ارائه شده است.

۵-۴-۱-۶ اثر پی دلتا

صرفنظر از مقدار شاخص پایداری طبقه، لازم است در تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی در زلزله سطح ۲، اثر پی دلتا در نظر گرفته شود.

تذکره ۱: در نظر گرفتن اثر پی دلتا در زلزله سطح سرویس ضروری نیست.

تذکره ۲: در صورتی که حداکثر دریفت طبقات در سطح خطر مدنظر کوچکتر از ۱/۵٪ باشد، می توان از اثر پی دلتا صرفنظر نمود.

تذکره ۳: در صورتی که در تحلیل طیفی حداقل ۷۵٪ برش طبقات در هر دو امتداد افقی ناشی از مود اصلی ارتعاش سازه باشد و بر اساس تحلیل های استاتیکی غیرخطی نشان داده شود که تاثیر پی دلتا در هر دو امتداد افقی در سطح خطر مدنظر کمتر از ۱۰٪ است (از منظر افت منحنی ظرفیت و افزایش خمش یا تقاضای دوران مفاصل پلاستیک ستون ها)، می توان از اثر پی دلتا در تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی صرفنظر نمود.

۵-۴-۱-۷ نسبت میرایی ذاتی

نسبت میرایی ذاتی سازه را می توان به صورت رابطه (۵-۲۲) در نظر گرفت.

$$\xi = \frac{0.2}{\sqrt{H}} \leq 0.05 \quad (۲۲-۵)$$

در رابطه فوق H ارتفاع ساختمان از سطح زمین بر حسب متر است. مقدار نسبت میرایی ذاتی نباید بیش از $۰/۰۵$ در نظر گرفته شده و مقدار آن لازم نیست کوچکتر از $۰/۰۲$ در نظر گرفته شود.

تذکره ۱: در صورتی که از میرایی مودال برای تعریف میرایی ذاتی سازه استفاده شود، می‌توان مقدار بدست آمده از رابطه (۲۲-۵) را به عنوان میرایی ذاتی در تمام مدها در نظر گرفت. تنها در خصوص مدهای ارتعاشی که دارای زمان تناوبی کوچکتر از $T_{90\%}$ هستند، می‌توان میرایی مودال را برابر $۰/۱۰$ در نظر گرفت. در صورتی که از میرایی راییلی برای تعریف میرایی ذاتی استفاده شود، نسبت میرایی حاصل از رابطه (۲۲-۵) برای دو زمان تناوب مختلف از سازه تنظیم می‌شود. برای این منظور لازم است از $۱/۵$ برابر زمان تناوب مد اصلی سازه ($1.5T_1$) و زمان تناوبی که در آن حداقل ۹۰% مشارکت جرمی در هر دو امتداد جانبی شکل می‌گیرد ($T_{90\%}$) استفاده شود. در تعیین مشارکت جرمی ۹۰% لازم نیست جرم طبقات زیرزمین که نسبت به سایر طبقات دارای صلبیت بسیار بیشتری هستند در نظر گرفته شود. همچنین مقدار $T_{90\%}$ لازم نیست کوچکتر از $0.1T_1$ در نظر گرفته شود. ضریب $۱/۵$ اعمال شده در زمان تناوب مد اصلی سازه، به منظور لحاظ نرم شدگی ناشی از رفتار غیرخطی در سازه است (بسیاری از نرم افزارهای متداول به صورت پیش فرض از سختی اولیه به منظور محاسبه میرایی راییلی استفاده می‌کنند). باید توجه داشت در برخی از سازه‌ها $T_{90\%}$ بسیار کوچکتر از زمان تناوب مد اصلی سازه می‌باشد و نباید از زمان تناوب مد سوم یا چهارم یا هر مد دیگری بدون توجه به مشارکت جرمی به عنوان دومین زمان تناوب در تعریف میرایی راییلی استفاده نمود. عدم توجه به این نکته می‌تواند منجر به تعریف میرایی ذاتی بسیار زیاد و غیر واقعی برای مدهای بالاتر گردد. همچنین در تعیین زمان تناوب مد اصلی سازه (T_1) باید اثرات ترک خوردگی اعضای بتنی متناظر با سطح خطر مدنظر بر اساس بخش ۵-۴-۱-۱۳ لحاظ شده باشد. باید توجه داشت در خصوص جداگرها و میراگرهای وابسته به تغییر شکل، باید زمان تناوب سازه با فرض سختی موثر جداگر و میراگر (سختی سکانتی متناظر با تغییر شکل حداکثر در سطح خطر مدنظر) بدست آید. به عبارت دیگر، زمان تناوب سازه نباید بر اساس سختی اولیه جداگرها و میراگرها بدست آید.

تذکره ۲: در سازه‌های بتنی در صورتی که کلیه مفاصل پلاستیک تخصیص یافته به تیرها و ستون‌ها و دیوارهای برشی از نوع فایبر باشند، لازم است مقدار میرایی ذاتی بدست آمده از رابطه (۵-۲۲) در ضریب کاهشی $0/5$ ضرب شود. در صورتی که مفاصل پلاستیک فایبر تنها برای ستون‌ها و دیوارهای برشی تعریف شده و برای تیرها از مفاصل پلاستیک غیرفایبر استفاده شده باشد، مقدار میرایی ذاتی بدست آمده از رابطه (۵-۲۲) باید در ضریب کاهشی $0/75$ ضرب شود. در هر صورت نیازی نیست میرایی ذاتی کوچک تر از $0/02$ در نظر گرفته شود.

تذکره ۳: رابطه (۵-۲۲) صرفاً به منظور تعریف میرایی ذاتی در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی بوده و برای طراحی اولیه سازه بر اساس تحلیل‌های خطی، میرایی ذاتی سازه را می‌توان برابر $0/05$ در نظر گرفت.

۵-۴-۱-۸ تراز پایه و اعمال شتاب نگاشت‌ها

در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، لازم است تراز پایه همواره بر روی شالوده در نظر گرفته شده و شتاب نگاشت‌ها در این تراز به سازه اعمال شوند. شتاب نگاشت‌ها لازم است حداقل در دو امتداد افقی به شکل همزمان به سازه اعمال شوند و در صورتی که لازم باشد مولفه قائم زلزله نیز به صورت دینامیکی در نظر گرفته شود، لازم است همزمان با شتاب نگاشت‌های دو مولفه افقی، شتاب نگاشت مولفه قائم نیز در تراز پایه به سازه اعمال شود. به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی لازم است حداقل از ۱۰ زلزله استفاده شود. روند انتخاب زلزله‌ها و شتاب نگاشت‌های مربوطه و تنظیم سطح خطر آن‌ها لازم است مطابق فصل ۴ انجام شود.

تذکره ۱: در صورتی که سازه دارای طبقات زیر زمین باشد و بنا باشد اندرکنش خاک و سازه در مدل لحاظ شود، لازم است حرکت زمین به فنرهای معرف خاک که در زیر شالوده و در مجاورت دیوارهای حائل زیرزمین توزیع شده‌اند اعمال شود. در این صورت بر اساس الزامات برخی از نرم افزارهای موجود، لازم است شتاب زمین به جابجایی زمین تبدیل شده و به انتهای آزاد فنرهای معرف خاک اعمال شوند.

تذکر ۲: به جز در سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای (جداگرهای لاستیکی یا لغزشی)، سازه‌های دارای سیستم ثقیلی ناپیوسته و سازه‌های دارای ستون‌های مایل با زاویه انحراف بیش از ۱۰ درجه نسبت به امتداد قائم، در سایر موارد نیازی به اعمال شتاب نگاشت مولفه قائم زلزله نمی‌باشد. با این حال اعمال شتاب نگاشت مولفه قائم زلزله در کلیه ساختمان‌ها بلامانع بوده و در خصوص ساختمان‌های نزدیک به گسل قابل توصیه است. همچنین در کلیه سازه‌ها، برای کنترل عملکرد لرزه‌ای سازه تحت زلزله سطح سرویس، نیاز به اعمال شتاب نگاشت مولفه قائم نمی‌باشد.

۵-۴-۱-۹ سیستم راه پله

در صورتی که رمپ‌های راه پله مطابق الزامات استاندارد ۲۸۰۰ و یا سایر جزئیات مناسب، از سازه اصلی جدا نشده باشند، لازم است به صورت صریح در مدل عددی تعریف شوند. در این صورت رمپ‌های راه پله می‌توانند توسط المان‌های پوسته یا تیرستون معادل مدل سازی شوند. در صورتی که راه پله به صورت الاستیک مدل سازی شود، لازم است کلیه تلاش‌های آن به صورت کنترل شونده توسط نیرو در نظر گرفته شود. در صورتی که راه پله به صورت غیرالاستیک مدل سازی شود، لازم است از المان‌های پوسته‌ای با قابلیت شبیه سازی رفتار غیرالاستیک در دو امتداد داخل و خارج از صفحه و یا المان تیرستون معادل با مفاصل فایبر در مدل سازی رمپ راه پله استفاده شده و کرنش‌های ایجاد شده در آن‌ها ملاک کنترل معیارهای پذیرش قرار گیرند. در این صورت لازم است، تلاش‌های محوری و خمشی به عنوان تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل و تلاش‌های برشی داخل و خارج از صفحه به عنوان تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو در نظر گرفته شوند.

تذکر: راه پله‌های متشکل از شمشیری‌های فولادی با اتصالات مفصلی، معمولاً دارای انعطاف‌پذیری قابل توجهی بوده و مشابه مهاربند عمل نخواهند نمود. بنابراین مدل سازی صریح این نوع از راه‌پله‌ها در مدل سازه ضرورتی ندارد.

۵-۴-۱-۱۰ میانقاب‌ها

در صورتی که میانقاب‌های سازه در امتداد داخل صفحه خود مطابق الزامات ضابطه ۷۲۹ یا راهنمای طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای و یا استاندارد ۲۸۰۰ از سازه اصلی جدا نشده

باشند، لازم است اثر میانقاب‌ها به صورت صریح در مدل سازه در نظر گرفته شود. برای این منظور می‌توان از دستک‌های فشاری و یا سایر روش‌های معتبر به منظور شبیه سازی رفتار غیرخطی میانقاب‌ها استفاده نمود.

تذکره ۱: در صورتی که دیوارهای غیرسازه‌ای از نوع دیوارهای بنایی بوده و در امتداد داخل صفحه از سازه اصلی جدا نشده باشند، در اغلب موارد معیارهای پذیرش میانقاب‌ها کنترل کننده حداکثر دریافت مجاز طبقات خواهد بود. بنابراین در طراحی سازه‌های جدید، الزامی است که میانقاب‌ها و کلیه دیوارهای غیرسازه‌ای در امتداد داخل صفحه از سازه اصلی جدا شوند. همچنین در ارزیابی و بهسازی سازه‌های موجود، اثر میانقاب‌هایی که در امتداد داخل صفحه از سازه جدا نشده‌اند باید به صورت صریح در مدل لحاظ شود.

تذکره ۲: در خصوص نحوه شبیه سازی رفتار داخل صفحه میانقاب‌های بنایی، روش‌های مختلفی وجود دارد لیکن مطالعات در این زمینه هنوز به اندازه‌ای نیست که مراجع مختلف به یک روش واحد دست یافته باشند. بنابراین بر اساس این ضابطه، استفاده از نشریه ۳۶۰، سه نسخه اخیر استاندارد ASCE 41 (ASCE 41-13، ASCE 41-17 و ASCE 41-23) و یا سایر روش‌های معتبر مبتنی بر نتایج آزمایشگاهی برای شبیه سازی و کنترل معیارهای پذیرش میانقاب‌های بنایی قابل استفاده است.

۵-۴-۱-۱ نوع تحلیل

در کنترل نهایی سازه، تحلیل‌های لرزه‌ای باید از نوع تاریخچه زمانی غیرخطی باشند. در کنترل عملکرد سازه تحت زلزله سطح سرویس، به شرطی که اجزای سازه وارد محدوده غیرالاستیک خود نشوند، تحلیل می‌تواند از نوع تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مودال یا تاریخچه زمانی غیرخطی با روش انتگرال گیری مستقیم باشد. در کنترل عملکرد سازه تحت زلزله سطح ۲، همواره باید تحلیل از نوع تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با روش انتگرال گیری مستقیم باشد.

۵-۴-۱-۲ مشخصات مورد انتظار مصالح

در کنترل نهایی عملکرد لرزه‌ای سازه تحت زلزله سطح سرویس و سطح ۲، لازم است از مشخصات مورد انتظار مصالح استفاده شود. در غیاب نتایج آزمایشگاهی، مشخصات مورد انتظار مصالح به صورت زیر تخمین زده می‌شوند:

- مدول الاستیک مورد انتظار فولاد و آرماتور برابر با مدول الاستیک مشخصه فولاد و آرماتور
- مقاومت تسلیم فولاد $1/2$ برابر مقاومت تسلیم مشخصه فولاد
- مقاومت نهایی فولاد $1/1$ برابر مقاومت نهایی مشخصه فولاد
- مقاومت تسلیم و نهایی آرماتور $1/2$ برابر مقاومت تسلیم و نهایی مشخصه آرماتور
- مدول الاستیک مورد انتظار بتن ۱ برابر مدول الاستیک مشخصه بتن
- مقاومت فشاری مورد انتظار بتن ۱ برابر مقاومت فشاری مشخصه بتن

تذکر: به جای استفاده از ضرایب فوق، استفاده از ضرایب ارائه شده در سایر مراجع معتبر داخلی از جمله نشریه ۳۶۰ و استاندارد ۲۸۰۰ نیز مجاز می‌باشد.

۵-۴-۱-۱۳ سختی موثر اعضای بتنی

در خصوص اعضای بتنی، لازم است ترک خوردگی بتن در سختی موثر اعضا در نظر گرفته شود. برای این منظور می‌توان از ضرایب کاهش سختی ارائه شده در جدول (۵-۱۳) استفاده نمود. لازم به ذکر است میزان و شدت ترک خوردگی در اعضای بتنی به سطح عملکرد آن‌ها بستگی داشته و در سطوح عملکرد بالاتر (بهتر) عضو بتنی دچار ترک خوردگی کمتری شده و متعاقباً دارای سختی موثر بالاتری خواهد بود. بنابراین ضرایب ترک خوردگی ارائه شده در این بخش به سطح عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار وابسته هستند.

تذکر ۱: به جای استفاده از ضرایب کاهش سختی ارائه شده در این بخش، استفاده از ضرایب کاهش سختی ارائه شده در ASCE 41-23 و LATBSDC 2023 به ترتیب برای بهسازی سازه‌های موجود و طراحی سازه‌های جدید مجاز می‌باشد.

تذکر ۲: در صورتی که برای شبیه سازی رفتار غیرخطی در اعضای بتنی از مفاصل پلاستیک فایبر استفاده شده باشد، در طولی از عضو که مفصل فایبر تعریف شده است، اکثر نرم افزارهای تحلیلی ضرایب کاهش سختی موثر را اعمال نکرده و در روند تحلیل بسته به میزان تقاضای وارده بر عضو، سختی موثر خمشی به صورت خودکار توسط نرم افزار در نظر گرفته می‌شود. این روند بر اساس این ضابطه قابل قبول است.

جدول (۵-۱۳). ضرایب کاهش سختی برای تخمین سختی موثر اجزای بتنی در تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی

در صورتی که عملکرد مورد انتظار استفاده بدون وقفه (IO) یا بهتر از آن باشد.			
ضریب کاهش سختی خمشی	ضریب کاهش سختی برشی	ضریب کاهش سختی محوری	
0.50	1.00	1.00	تیر
0.70	1.00	1.00	ستون
0.75	1.00	1.00	دیوار برشی در امتداد داخل صفحه
1.00	1.00	1.00	دیوار حائل زیرزمین در امتداد داخل صفحه
0.25	1.00	1.00	هر نوع دیوار بتنی در امتداد خارج از صفحه
$0.07 \left(\frac{l}{h} \right) \leq 0.3$	1.00	1.00	تیرهای کوپله
0.50	1.00	0.50	دیافراگم (داخل صفحه)
بسته به نوع مدل سازی دال بر اساس تذکره ۶ در این بخش			دیافراگم (خارج از صفحه)
0.80	1.00	0.80	شالوده (داخل و خارج از صفحه)
در صورتی که عملکرد مورد انتظار پایین تر از استفاده بدون وقفه باشد (همانند عملکرد های LS و CP)			
ضریب کاهش سختی خمشی	ضریب کاهش سختی برشی	ضریب کاهش سختی محوری	
0.30	1.00	1.00	تیر
0.70	1.00	1.00	ستون
0.35	0.50	1.00	دیوار برشی در امتداد داخل صفحه
0.80	0.50	1.00	دیوار حائل زیرزمین در امتداد داخل صفحه
0.25	1.00	1.00	هر نوع دیوار بتنی در امتداد خارج از صفحه
$0.07 \left(\frac{l}{h} \right) \leq 0.3$	1.00	1.00	تیرهای کوپله
0.25	0.25	0.25	دیافراگم در امتداد داخل صفحه
بسته به نوع مدل سازی دال بر اساس تذکره ۶ در این بخش			دیافراگم در امتداد خارج از صفحه
0.50	1.00	0.50	شالوده (داخل و خارج از صفحه)

تذکره ۳: در صورتی که دیوار با استفاده از المان های پوسته ای مدل سازی شده باشد، امکان تعریف ضریب کاهش سختی خمشی و ضریب کاهش سختی محوری به صورت مستقل از یکدیگر معمولاً وجود ندارد. در این شرایط لازم است سختی موثر محوری دیوار مشابه سختی موثر خمشی آن کاهش داده شود. این روش بر اساس این ضابطه قابل قبول است. با این وجود

در صورت مدل سازی دیوار با استفاده از روش ستون معادل، امکان تعریف سختی موثر خمشی و محوری به صورت مستقل از یکدیگر وجود خواهد داشت.

تذکر ۴: در خصوص دیوارهای دارای اجزای لبه‌ای که جان دیوار به صورت پوسته و عضو لبه‌ای به صورت ستون مدل سازی شده باشد، لازم است ضریب کاهش سختی محوری عضو لبه‌ای نیز برابر با ضریب کاهش سختی موثر خمشی دیوار در نظر گرفته شود. این روش بر اساس این ضابطه قابل قبول است. با این وجود در صورت مدل سازی دیوار با استفاده از روش ستون معادل، امکان تعریف سختی موثر خمشی و محوری به صورت مستقل از یکدیگر وجود خواهد داشت.

تذکر ۵: در صورتی که دیوارهای بتنی و یا دال‌های بتنی با استفاده از المان‌های پوسته‌ای غیرالاستیک مدل سازی شده باشند، معمولاً نرم افزارهای تحلیلی از ضرایب ترک خوردگی استفاده نکرده و سختی موثر المان بر اساس مقدار تنش‌های وارده بر المان و بر اساس منحنی تنش-کرنش تعریف شده برای مصالح تشکیل دهنده مقطع محاسبه می‌شود. این روند بر اساس این ضابطه قابل قبول است.

تذکر ۶: به منظور شبیه سازی تاثیر دال‌های بتنی در مدل سازه، در این ضابطه هر یک از روش‌های زیر قابل قبول می‌باشد:

- روش ۱- تعریف صریح عرض موثر دال در تیر: در این روش عرض موثر دال به صورت صریح در مقطع تیر تعریف شده (تیر T شکل یا L معکوس) سپس ضریب ترک خوردگی مربوط به تیر اعمال می‌شود. لازم است آرماتورهایی که موازی با محور تیر در عرض موثر دال در مجاورت مفصل پلاستیک تیر قرار داشته و دارای طول مهارتی کافی هستند نیز به آرماتورهای طولی موجود در وجه فوقانی تیر (در صورتی که دال در وجه فوقانی تیر قرار داشته باشد) اضافه شوند. دال تنها منجر به افزایش ظرفیت خمشی تیر شده و نباید در تعیین ظرفیت برشی، اثر بال‌های اضافی ناشی از دال لحاظ شود. در این روش سختی خارج از صفحه المان‌های پوسته دال که در مدل وجود دارند، مقداری بسیار کوچک در نظر گرفته می‌شوند.
- روش ۲- تعریف غیر صریح عرض موثر دال در تیر: در این روش مقطع تیر بدون در نظر گرفتن عرض موثر دال تعریف شده (تیر مستطیلی) و در مقابل، سختی خمشی تیر در

ضریب ۲ ضرب می‌شود (در صورتی که دال تنها در یک سمت تیر باشد از ضریب ۱/۵ استفاده می‌شود). سپس ضریب ترک خوردگی مربوط به تیر اعمال می‌شود. لازم است آرماتورهایی که موازی با محور تیر در عرض موثر دال در مجاورت مفصل پلاستیک تیر قرار داشته و دارای طول مهاری کافی هستند نیز به آرماتورهای طولی موجود در وجه فوقانی تیر (در صورتی که دال در وجه فوقانی تیر قرار داشته باشد) اضافه شوند. در این روش نیز سختی خارج از صفحه المان‌های پوسته دال که در مدل وجود دارند، مقداری بسیار کوچک در نظر گرفته می‌شوند.

- روش ۳- تعریف دال با سختی سکانتی: در این روش تیر به صورت مستقل از دال و با مقطع مستطیلی تعریف شده و ضریب ترک خوردگی مربوط به تیر اعمال می‌شود. دال نیز با استفاده از المان‌های پوسته الاستیک و با سختی سکانتی تعریف می‌شود. سختی سکانتی باید متناظر با لحظه وقوع بیشترین دوران در محل اتصال دال به ستون یا دال به دیوار باشد. در غیاب محاسبات دقیق‌تر، برای تخمین سختی سکانتی دال می‌توان ضریب ترک خوردگی خارج از صفحه دال را برابر با $0.002/\Delta$ در نظر گرفت. ضریب ترک خوردگی برای محاسبه سختی سکانتی دال نباید بزرگتر از 0.25 در نظر گرفته شود (Δ حداکثر نسبت دریافت طبقه در سطح خطر مدنظر است - به عنوان مثال در صورتی که حداکثر دریافت طبقه ۲٪ باشد، مقدار Δ برابر 0.02 خواهد بود). این ضریب مربوط به دال توپر بوده و در صورتی که دال مجوف باشد، لازم است اثر فضاهای خالی دال نیز در المان‌های پوسته دال لحاظ شود. ضریب ترک خوردگی ارائه شده با این فرض است که ضریب ترک خوردگی متناظر با تسلیم خمشی دال برابر با 0.25 بوده و دوران آستانه تسلیم خمشی دال (در محل اتصال دال به ستون یا دال به دیوار) برابر با 0.008 رادیان باشد.

- روش ۴- تعریف دال به صورت المان‌های پوسته غیرخطی: در این روش تیر به صورت مستقل از دال و با مقطع مستطیلی تعریف شده و ضریب ترک خوردگی مربوط به تیر اعمال می‌شود. دال نیز با المان‌های پوسته غیرخطی مدل‌سازی می‌شود. در این صورت نیازی به تعریف ضریب ترک خوردگی برای دال نخواهد بود چراکه سختی موثر دال بر اساس میزان تنش‌های وارده بر اساس منحنی تنش-کرنش مصالح محاسبه می‌شود. در این روش لازم است دیافراگم کف به صورت نیمه صلب در نظر گرفته شود. در

مقایسه با سه روش دیگر این روش دقیق‌ترین روش بوده لیکن سرعت تحلیل در این روش در مقایسه با سایر روش‌ها بسیار پایین‌تر بوده و در برخی موارد ممکن است مشکلات همگرایی در روند محاسبات رخ دهد.

۵-۴-۲ مدل‌سازی سازه اصلی

در این بخش توصیه‌هایی به منظور مدل‌سازی غیرخطی سازه اصلی ارائه شده است. توصیه‌های مطرح شده در این بخش به منظور مدل‌سازی غیرخطی سازه‌ها با در نظر گرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌های نرم افزارهای متداول در کشور ارائه شده است. استفاده از سایر روش‌های معتبر به منظور مدل‌سازی غیرخطی سازه قابل استفاده می‌باشد. روش‌های مدل‌سازی غیرخطی میراگرها و جداگرها به ترتیب در فصول ۲ و ۳ به تفصیل بیان شده است.

تذکره ۱: به طور کلی در اعضایی از سازه که از محدوده الاستیک خود خارج نمی‌شوند نیازی به تخصیص مفاصل پلاستیک نبوده و این اعضا می‌توانند به صورت الاستیک مدل شوند. دیوارهای حائل بتنی در طبقات زیرزمین، دیافراگم کف طبقات، تیرهای کنسولی بالکن‌ها و تیرهای فرعی دال که در دو انتهای خود اتصال مفصلی دارند، مهاربندهای متصل به میراگرها در چیدمان‌های قطری، شورن و جناغی از جمله اعضای مستعد الاستیک مانند هستند. همچنین در سازه‌های جداسازی شده کلیه اعضای زیرسازه باید الاستیک بمانند بنابراین می‌توانند به صورت الاستیک مدل شوند. علاوه بر آن، در صورت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، اعضای شالوده نیز در مدل اصلی وجود خواهند داشت که این اعضا نیز لازم است در محدوده الاستیک باقی مانده و می‌توانند به صورت الاستیک نیز مدل شوند.

تذکره ۲: در صورتی که میانقاب‌های غیرسازه‌ای، در امتداد داخل صفحه خود از سازه جدا نشده باشند (مطابق ضابطه ۷۲۹ یا راهنمای طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای و یا استاندارد ۲۸۰۰) لازم است اثر آن‌ها در مدل ساختمان در آن طبقه لحاظ شود. برای این منظور کاهش مصنوعی زمان تناوب سازه کافی نبوده و باید رفتار میانقابی به صورت غیرخطی مطابق بند ۵-۴-۱-۱۰ در مدل سازه در نظر گرفته شود.

تذکر ۳: در صورتی که سیستم راه پله ساختمان به شکل مناسبی از سازه جداسازی نشده باشد به طوری که سیستم راه پله دارای سختی محوری قابل توجهی بوده و تغییر شکل نسبی طبقه به رمپ‌های راه پله اعمال شود، لازم است رمپ‌های راه پله به صورت صریح مطابق بند ۵-۴-۱-۹ در مدل سازه در نظر گرفته شوند.

تذکر ۴: در صورتی که دال کف متصل به تیر اصلی سازه دارای ضخامت بیش از ۱۰۰ میلی‌متر باشد و در فاصله ۵۰۰ میلی‌متری از برستون مکانیزم انتقال برش طولی بین دال و تیر وجود داشته باشد، لازم است در مدل سازه اثر دال‌ها در سختی و ظرفیت خمشی تیرها در نظر گرفته شود. در این صورت تنها اثر عرض موثر دال باید در سختی و ظرفیت خمشی تیر لحاظ شود. دال تأثیری در ظرفیت برشی تیر ندارد. عرض موثر دال در هر سمت جان تیر را می‌توان ۸ برابر ضخامت دال (یا ضخامت معادل برای دال‌های مجوف) در نظر گرفت. لازم است کنترل شود عرض موثر دال در هر سمت تیر از ۲۰٪ طول تیر بیشتر در نظر گرفته نشود، همچنین عرض موثر نباید از نصف فاصله جان تیر تا تیر مجاور بیشتر در نظر گرفته شده و نباید از عرض دالی که در واقعیت اجرا شده نیز بیشتر در نظر گرفته شود. به منظور در نظر گرفتن تأثیر دال در رفتار لرزه‌ای سازه، به جای تعریف عرض موثر دال در مقطع تیر، می‌توان از سه روش دیگری که در تذکر ۶ بند ۵-۴-۱-۱۳ ارائه گردید، استفاده نمود.

تذکر ۵: در مدل‌سازی غیرخطی سازه، همواره مشخصات مورد انتظار (میانگین) مصالح مدنظر بوده و از مشخصات مشخصه یا حد پایین نباید استفاده شود. این موضوع هم شامل مقاومت و هم شامل مدول الاستیک مصالح می‌شود.

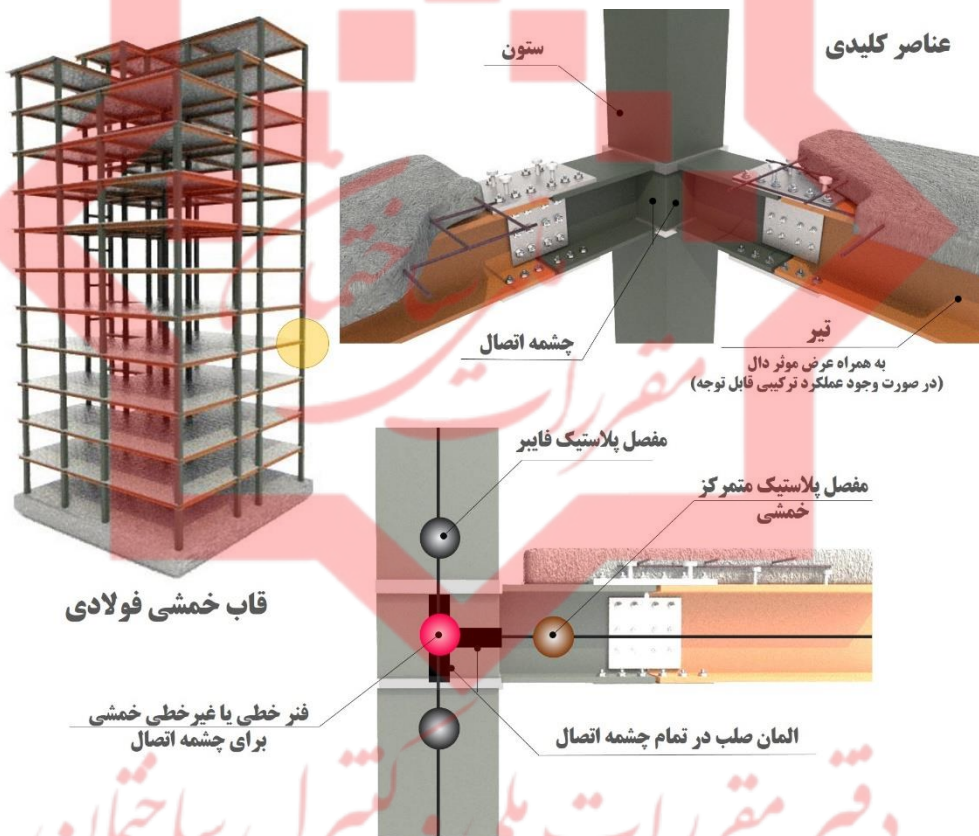
تذکر ۶: در مدل‌سازی غیرخطی میراگرهایی که در طبقات (و نه در سیستم جداساز) نصب می‌شوند عمدتاً مشخصات بر اساس مشخصات اسمی (میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفته می‌شود مگر آنکه بر اساس بند ۵-۲-۵ لازم باشد مشخصات حد بالا و حد پایین نیز در نظر گرفته شوند.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

تذکره ۷: در مدل‌سازی غیرخطی جداگرها و میراگرهای به کار رفته در سیستم جداساز لرزه‌ای، عمدتاً لازم است مشخصات حد بالا و حد پایین جداگرها و میراگرها در تحلیل‌هایی جداگانه بر اساس بند ۵-۳-۶ در نظر گرفته شوند.

۵-۲-۱ قاب خمشی فولادی

مطابق شکل (۵-۱۷) عناصر کلیدی در رفتار قاب‌های خمشی فولادی عبارتند از تیر، ستون، اتصال تیر به ستون و در نهایت چشمه اتصال که لازم است اثر آن‌ها در سختی و ظرفیت جانبی قاب در مدل در نظر گرفته شود. نمونه‌ای از نحوه ساخت مدل غیرخطی در قاب‌های خمشی فولادی در شکل (۵-۱۷) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۷). مدل‌سازی غیرخطی سازه اصلی - قاب خمشی فولادی

مدل سازی تیر: در تیرهای منشوری (با مقطع ثابت) قاب خمشی با دهانه متعارف و در غیاب بارهای ثقلی سنگین، عمدتاً دو انتهای تیر مستعد تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی هستند. بنابراین تیر می‌تواند با یک المان الاستیک و دو مفصل پلاستیک خمشی متمرکز در دو انتهای تیر مدل شود. در صورتی که در طول تیر نیز احتمال وقوع رفتار غیرخطی باشد، لازم است در طول تیر نیز مفاصل پلاستیک متمرکز تعریف شوند. به منظور شبیه سازی بهتر رفتار چرخه‌ای توصیه می‌شود رفتار چرخه‌ای مفصل پلاستیک تیر از نوع کینماتیک^۱ در نظر گرفته شود.

مدل سازی ستون: در ستونهای قابهای خمشی عمدتاً در دو انتهای ستون امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته و در این دو ناحیه لازم است مفصل پلاستیک از نوع فایبر تعریف شود. طول مفصل پلاستیک را می‌توان در محدوده نصف تا یک برابر عمق مقطع ستون در نظر گرفت. در صورت وجود تیرهای میان طبقه با اتصال گیردار به ستون و همچنین میانقاب‌هایی که در امتداد داخل صفحه از ستون جدا نشده‌اند، لازم است احتمال تشکیل مفصل پلاستیک در نقاطی به جز در دو انتهای ستون نیز بررسی شود.

مدل سازی اتصال تیر به ستون: اتصال تیر به ستون معمولاً به صورت صریح مدل سازی نمی‌شود لیکن در تعریف مشخصات مفصل پلاستیک و معیارهای پذیرش تیر موثر است. به عبارت دیگر در صورتی که ظرفیت خمشی مورد انتظار اتصال تیر به ستون از ظرفیت خمشی مورد انتظار تیر کمتر باشد، لازم است لنگر پلاستیک تعریف شده در مفصل پلاستیک انتهای تیر بر اساس مشخصات اتصال تعریف گردد. همچنین در صورتی که ظرفیت دوران پلاستیک اتصال تیر به ستون از ظرفیت دوران پلاستیک تیر کمتر باشد، معیارهای پذیرش مفصل پلاستیک انتهای تیر باید بر اساس معیارهای پذیرش مربوط به اتصال تیر به ستون کنترل شوند.

مدل سازی چشمه اتصال: چشمه اتصال یکی از اجزای کلیدی در قابهای خمشی است که می‌تواند به صورت مفصل پلاستیک خمشی (خمش معادل برش) در نظر گرفته شود. در ساده ترین حالت چشمه اتصال باید به صورت الاستیک در مدل در نظر گرفته شود. برای این منظور

¹ kinematic

انعطاف پذیری چشمه اتصال می‌تواند به صورت صریح در مدل دیده شود. در این صورت تمام بخشی از تیر و ستون که در داخل چشمه اتصال قرار دارند، مطابق شکل (۵-۱۷) باید به صورت صلب تعریف شوند و در محل اتصال تیر به ستون المان چشمه اتصال (یک فنر پیچشی) تعریف شود. مشخصات این فنر می‌تواند به صورت الاستیک و یا غیرالاستیک در نظر گرفته شود. به عنوان راهکاری جایگزین می‌توان انعطاف پذیری چشمه اتصال را به شکل صریح در مدل لحاظ نکرد و به جای آن تنها نیمی از قسمتی از تیر و ستون که در داخل چشمه اتصال قرار دارد را به صورت صلب در نظر گرفت. لازم به ذکر است عدم در نظر گرفتن رفتار غیرالاستیک چشمه اتصال (استفاده از مدل صریح الاستیک و یا استفاده از مدل غیرصریح)، معمولاً منجر به افزایش تقاضا در مفصل پلاستیک تیر می‌شود. بر اساس این ضابطه هر سه روش مدل‌سازی ارائه شده برای چشمه اتصال (مدل صریح الاستیک، مدل صریح غیرالاستیک و مدل غیرصریح) مجاز می‌باشد.

تذکره ۱: در صورت عدم وجود سخت کننده یا ماهیچه در اتصال تیر به ستون، محل مفصل پلاستیک انتهای تیر را می‌توان در فاصله‌ای بین بر ستون تا یک برابر عمق تیر از بر ستون در نظر گرفت. در صورت وجود سخت کننده (یا ماهیچه) در اتصال تیر به ستون، محل تشکیل مفصل پلاستیک تیر را می‌توان در بر سخت کننده (یا ماهیچه) در نظر گرفت. در تیرهای با مقطع کاهش یافته، محل مفصل پلاستیک را می‌توان در مرکز مقطع کاهش یافته در نظر گرفت. در تیرهای غیرمنشوری، احتمال تشکیل مفصل پلاستیک در قسمتی که مقطع تیر تغییر می‌کند باید بررسی شود و در صورت نیاز در این قسمت نیز مفصل پلاستیک تعریف گردد. همچنین در صورتی که بار متمرکز قائم قابل توجهی در بخشی از تیر وارد می‌شود (در محل اتصال مهاربندهای شورن یا در محل ناپیوستگی در اعضای قائمی که در طول تیر قطع می‌شوند)، لازم است احتمال تشکیل مفصل پلاستیک در طول تیر بررسی گردد و در صورت نیاز در این محل نیز مفصل پلاستیک برای تیر تعریف شود.

تذکره ۲: در سازه‌های جدید یا سازه‌های موجود، مشخصات مفاصل پلاستیک می‌تواند بر اساس نشریه ۳۶۰ و یا هر یک از سه نسخه اخیر استاندارد ASCE 41 تعریف شود.

تذکره ۳: در صورت استفاده از نشریه ۳۶۰ برای تعریف مشخصات مفاصل پلاستیک، لازم است مشخصات ارائه شده برای اعضای غیراصلی ملاک عمل قرار گیرد.

تذکره ۴: برای مفاصل پلاستیک دو انتهای تیر، لازم است مشخصات مفصل پلاستیک مطابق مشخصات غیرخطی تیر یا اتصال تیر به ستون (هر کدام ظرفیت دوران پلاستیک کمتری دارد) معرفی شوند. لنگر پلاستیک مفصل نیز بر اساس ظرفیت خمشی مورد انتظار تیر یا اتصال (هر کدام ظرفیت کمتری دارد) تعریف می‌شود.

تذکره ۵: در خصوص اتصالات تیر به ستونی که مشخصات آن در نشریه ۳۶۰ یا استاندارد ASCE 41 وجود ندارد، لازم است مشخصات غیرخطی اتصال بر اساس نتایج آزمایشگاهی و یا تحلیل‌های اجزاء محدود تعریف شود. در صورت استفاده از تحلیل‌های اجزاء محدود، مدل اجزاء محدود باید قادر به شبیه سازی کمانش موضعی، خستگی کم چرخه، بروز ترک و گسیختگی در فولاد باشد. در این نوع تحلیل‌ها لازم است بارگذاری به صورت چرخه‌ای با دامنه‌های افزایشی بوده و هر چرخه حداقل در مرتبه تکرار شود.

تذکره ۶: در تعریف مفصل پلاستیک خمشی انتهای تیر، سختی پس از تسلیم باید به نحوی باشد که حداکثر لنگر خمشی در پوش رفتاری مفصل پلاستیک، حداقل ۱۰٪ و حداکثر ۲۵٪ بزرگتر از لنگر خمشی تسلیم باشد (مقدار ۱۵٪ قابل توصیه است). لنگر خمشی تسلیم در مفصل پلاستیک برابر با ظرفیت خمشی مورد انتظار تیر یا اتصال تیر به ستون (هر کدام که کوچکتر باشد) است.

تذکره ۷: در صورتی که دال بتنی بر روی بال فوقانی تیر دارای ضخامتی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بوده و مکانیزم انتقال برش مابین دال و تیر در محدوده مفاصل پلاستیک تیر وجود داشته باشد، لازم است در سختی و ظرفیت خمشی مفصل پلاستیک تیر، اثر دال لحاظ گردد. برای این منظور می‌توان از روش پیشنهادی NIST GCR 17-917-45 یا سایر روش‌های شناخته شده استفاده نمود. راهکار دیگر در نظر گرفتن اثر دال بر اساس روش سوم یا چهارم ارائه شده در تذکره ۶ بند ۵-۴-۱۳ است. در صورتی که مابین دال بتنی و ستون حداقل ۵۰ میلی‌متر

فاصله باشد و در فاصله ۵۰۰ میلی‌متری از بر ستون برشگیر بر روی هیچ یک از تیرهای متصل به ستون نباشد، می‌توان از اثر دال بر روی رفتار مفصل پلاستیک تیر صرف‌نظر نمود. دو شرط فوق در تیر نشان داده شده در شکل (۵-۱۷) برقرار بوده، بنابراین برای چنین تیری می‌توان از اثر دال صرف‌نظر نمود.

تذکره ۸: طراح می‌تواند اتصالات ساده تیر به ستون (اتصالاتی که برای تحمل ظرفیت کامل خمشی تیر طراحی نشده‌اند) را به صورت مفصلی در مدل عددی تعریف نماید. با این حال در نظر گرفتن سختی و ظرفیت محدود این نوع اتصالات در مدل عددی بلامانع است. برای این منظور می‌توان از روش پیشنهادی نشریه ۳۶۰ یا استاندارد ASCE 41 برای اتصالات نیمه صلب استفاده نمود. در این شرایط در مدل عددی اتصال تیر به ستون به صورت گیردار فرض می‌شود و در مقابل اولاً سختی خمشی تیر لازم است اصلاح شود (کوچک شود) و ثانیاً در انتهای تیر یک مفصل پلاستیک خمشی تعریف می‌شود که مشخصات آن (ظرفیت خمشی و ظرفیت دورانی) بر اساس جزئیات اتصال ساده تیر به ستون بدست می‌آید. توجه شود در این حالت ظرفیت خمشی مفصل پلاستیک کوچکتر از ظرفیت خمشی تیر خواهد بود. در صورتی که جزئیات اتصال ساده متفاوت با اتصالات نیمه صلب ارائه شده در نشریه ۳۶۰ و استاندارد ASCE 41 باشد، لازم است مشخصات اتصال بر اساس نتایج آزمایشگاهی و یا تحلیل‌های اجزاء محدود بدست آید.

تذکره ۹: مفاصل پلاستیک متمرکز PMM (غیر فایبر) برای ستون‌ها اگرچه در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی قابل استفاده است، لیکن این نوع مفاصل عمدتاً دارای رفتار ایزوتروپیک^۱ بوده که شباهتی با نتایج آزمایشگاهی ندارند. بنابراین در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی نباید از این نوع مفاصل استفاده شود.

تذکره ۱۰: در مفاصل پلاستیک فایبر که به شکل پیش‌فرض در نرم افزارهای تحلیلی وجود دارند، اثراتی از قبیل کمانش موضعی یا گسیختگی معمولاً در نظر گرفته نمی‌شوند. لیکن با توجه به آنکه کنترل معیارهای پذیرش بر اساس ظرفیت‌های ارائه شده در نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد

^۱ Isotropic

ASCE 41 انجام می‌شود، اصلاح منحنی تنش-کرنش فایبرها به منظور در نظر گرفتن کمانش موضعی یا گسیختگی ناشی از خستگی کم چرخه ضرورتی ندارد. در مفاصل فایبر، در صورتی که معیارهای پذیرش برحسب دوران در نشریه ۳۶۰ یا استاندارد ASCE 41 ارائه شده باشد، نباید از کرنش‌های ایجاد شده در فایبرها به منظور کنترل معیارهای پذیرش استفاده شود. بلکه باید معیار پذیرش بر اساس دوران‌های پلاستیک مقطع ارزیابی شوند. لازم به ذکر است در خروجی مفاصل فایبر معمولاً دوران کل مفصل می‌باشد که برای تخمین دوران پلاستیک لازم است بخش الاستیک دوران از آن کسر شود.

تذکر ۱۱: در صورتی که هر عضوی از سازه (شامل تیرها، ستون‌ها و اتصالات) دارای مقطع و یا جزئیاتی باشد که مشخصات رفتار غیرخطی آن در دستورالعمل‌های داخلی یا بین‌المللی وجود نداشته باشد، طراح می‌تواند با استفاده از انجام آزمایش‌های چرخه‌ای و یا انجام تحلیل‌های اجزاء محدود دقیق، رفتار چرخه‌ای آن را شبیه‌سازی نموده و بر اساس آن مشخصات لازم برای مفصل پلاستیک را در مدل اصلی سازه تعریف نماید. در آزمایش‌های چرخه‌ای و تحلیل اجزاء محدود لازم است بارگذاری رفت و برگشتی به صورت تغییرشکل کنترل با تعداد چرخه کافی و دامنه افزایشی باشد. در هر دامنه حداقل دو چرخه باید اعمال شود. در صورت استفاده از تحلیل‌های اجزاء محدود دقیق، نه تنها کلیه مصالح باید به صورت غیرالاستیک مدل‌سازی شوند، بلکه مدل اجزاء محدود باید قادر به شبیه‌سازی پدیده‌هایی از جمله کمانش موضعی، خستگی کم چرخ و گسیختگی، لغزش و هر پدیده دیگری که احتمال بروز آن وجود دارد نیز باشد. این نوع تحلیل‌ها عمدتاً لازم است در نرم افزارهایی مانند آباکوس و یا سایر نرم افزارهایی با قابلیت مشابه، انجام شوند.

۵-۴-۲- قاب دارای مهاربند همگرا

مطابق شکل (۵-۱۸) عناصر کلیدی در رفتار قاب‌های دارای مهاربندهای همگرا عبارتند از اعضای مهاربندی، ورق‌های اتصال مهاربندها، ستون‌ها و تیرهای دهانه مهاربندی. نمونه‌ای از ساخت مدل غیرخطی در دهانه مهاربندی شده در شکل (۵-۱۸) نشان داده شده است.

مدل سازی مهاربند: به منظور مدل سازی مهاربندهای همگرا می‌توان از یک المان الاستیک و یک مفصل پلاستیک محوری استفاده نمود. مفصل پلاستیک محوری در هر نقطه از طول مهاربند می‌تواند قرار داده شود. لازم به ذکر است در واقعیت کمانش مهاربند منجر به تشکیل مفصل پلاستیک خمشی در مهاربند خواهد شد، لیکن به منظور ساده سازی در روند مدل سازی و عدم استفاده از المان‌های پیچیده‌تر، استفاده از یک المان الاستیک دارای مفصل پلاستیک محوری با رفتار دارای باریک شدگی^۱ می‌تواند رفتار واقعی مهاربند را تا حد قابل قبولی شبیه سازی کند. لازم است مفصل پلاستیک محوری مهاربند دارای رفتار دارای باریک شدگی باشد. برای این منظور می‌توان از مدل چرخه‌ای پیوت^۲ استفاده نمود. مشخصات مفصل پلاستیک مهاربند و معیارهای پذیرش آن می‌تواند بر اساس نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 تعریف شود.

مدل سازی ستون دهانه مهاربندی شده: به منظور مدل سازی ستون‌های دهانه مهاربندی شده می‌توان از روندی مشابه با ستون‌های قاب خمشی فولادی مطابق بند ۵-۴-۲-۱ استفاده نمود.

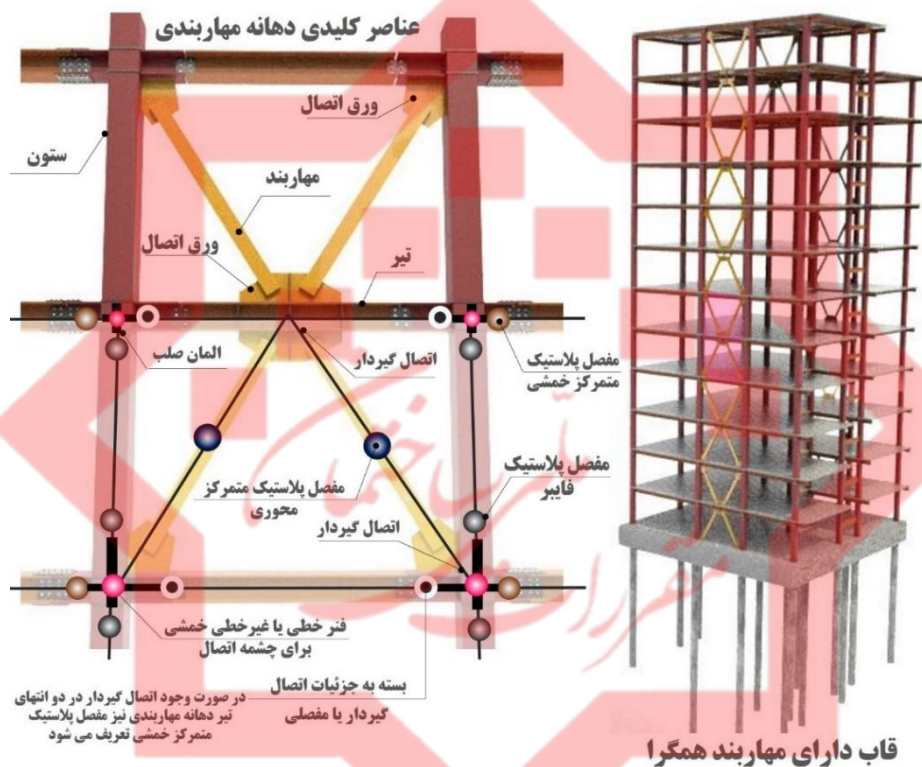
مدل سازی تیر دهانه مهاربندی شده: بسته به جزئیات سازه، اتصال تیر دهانه مهاربندی به ستون می‌تواند به صورت صلب یا مفصلی باشد. در صورتی که اتصال به صورت صلب باشد لازم است مفاصل پلاستیک خمشی در دو انتهای تیر دهانه مهاربندی تعریف شوند. نحوه تعریف مفاصل پلاستیک تیرهای دهانه مهاربندی می‌تواند همانند تیرهای قاب خمشی مطابق بند ۵-۴-۲-۱ در نظر گرفته شود. در صورتی که تیر دهانه مهاربندی در طول خود فاقد وصله بوده و ظرفیت خمشی مورد انتظار اتصال تیر به ستون با در نظر گرفتن اثر ورق اتصال مهاربند، از ظرفیت خمشی مورد انتظار تیر بیشتر باشد، محل مفصل پلاستیک خمشی تیر در بر ورق اتصال مهاربند قرار داشته و مشخصات آن بر اساس مشخصات تیر تعریف می‌شود.

مدل سازی ورق‌های اتصال مهاربند: در صورتی که ورق‌های اتصال مهاربند بر اساس ظرفیت مهاربندها طراحی شده باشند، نیازی به در نظر گرفتن رفتار غیرخطی آنها نبوده و کفایت دو

^۱ Pinching

^۲ Pivot

انتهای مهاربند به صورت صلب مدل شوند. لازم به توضیح است که فرض مفصلی بودن دو انتهای مهاربند اگرچه فرضی متداول در طراحی الاستیک می‌باشد، لیکن می‌تواند منجر به تخمین غیردقیق سختی گردد. بنابراین در غیاب استفاده از فنرهای غیرخطی برای شبیه سازی دقیق رفتار صفحه ورق اتصال، لازم است اتصال مهاربند به سازه به صورت صلب در نظر گرفته شود. در این صورت توصیه می‌شود المان صلب انتهایی برای مهاربند تعریف نگردد.



شکل (۵-۱۸). مدل سازی غیرخطی سازه اصلی - مهاربند همگرا

تذکره ۱: در صورتی که ستون‌های دهانه مهاربندی بخشی از ستون‌های قاب خمشی نیز باشند لازم است اثر چشمه اتصال نیز در محل اتصال تیر به ستون در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: در مهاربندهای شورن (هفت و هشت) در صورتی که به دلیل نیروی نامتعادل ناشی از مهاربندها، امکان تشکیل مفصل پلاستیک در میانه تیر دهانه مهاربندی شده وجود داشته باشد،

باید در وسط دهانه تیر نیز مفصل پلاستیک خمشی تعریف شود. در صورتی که مطابق شکل (۵-۱۸) مهاربندهای شورن به صورت یک طبقه هفت و یک طبقه هشت جانمایی شده باشند (مهاربند X شکل دوطبقه) و در صورتی که مقاطع و طول مهاربندهای طبقات فوقانی و تحتانی نزدیک به یکدیگر باشند، نیروی نامتعادل تا حد زیادی خنثی شده و نیازی به تعریف مفصل پلاستیک در وسط تیر نمی‌باشد.

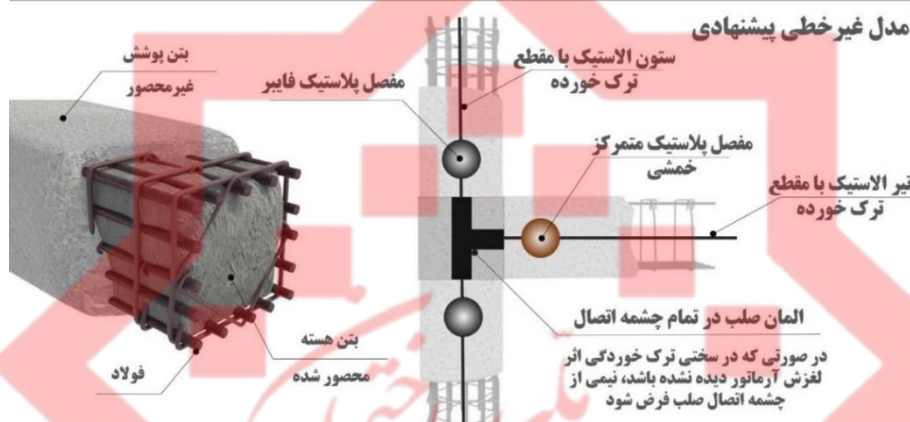
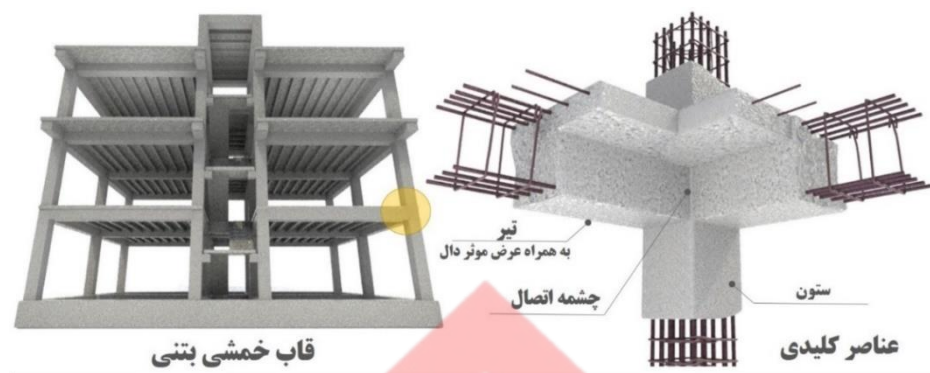
تذکره ۳: در صورتی که برای مهاربندها مفصل پلاستیک محوری متمرکز تعریف شود، قسمت کششی مفصل باید دارای سختی پس از تسلیم برابر با صفر باشد. قسمت فشاری مفصل نیز به دلیل بروز کمانش، دارای سختی پس از تسلیم (پس از کمانش) منفی خواهد بود.

۵-۴-۲-۳ قاب خمشی بتنی

مطابق شکل (۵-۱۹) عناصر اصلی در رفتار قاب‌های خمشی بتنی عبارتند از تیرها، ستون‌ها و چشمه اتصال. نمونه‌ای از ساخت مدل غیرخطی برای یک قاب خمشی بتنی در شکل (۵-۱۹) نشان داده شده است.

مدل‌سازی تیر: در تیرهای منشوری قاب خمشی با دهانه متعارف و در غیاب بارهای قائم سنگین، عمدتاً دو انتهای تیر مستعد تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی هستند. بنابراین تیر می‌تواند با یک المان الاستیک و دو مفصل پلاستیک خمشی متمرکز در دو انتهای خود مدل شود. در این صورت لازم است ضرایب ترک خوردگی برای قسمت الاستیک المان تیر در نظر گرفته شود. ضرایب ترک خوردگی بسته به سطح عملکرد مورد انتظار، در بخش ۵-۴-۱-۱۳ ارائه شده است. مشخصات مفصل پلاستیک می‌تواند بر اساس نشریه ۳۶۰ یا استاندارد ASCE 41 در نظر گرفته شوند. در صورتی که در طول تیر نیز احتمال وقوع رفتار غیرخطی باشد، لازم است در طول تیر نیز مفاصل پلاستیک متمرکز تعریف شوند. به منظور شبیه سازی رفتار چرخه‌ای لازم است اثرات زوال سختی و مقاومت دیده شود. برای این منظور توصیه می‌شود رفتار چرخه‌ای مفصل پلاستیک تیر از نوع تاکدا^۱ در نظر گرفته شود.

^۱ Takeda



شکل (۵-۱۹). مدل سازی غیرخطی سازه اصلی-قاب خمشی بتنی

مدل سازی ستون: در ستونهای قابهای خمشی عمدتاً در دو انتهای ستون امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته و در این دو ناحیه لازم است مفصل پلاستیک از نوع فایبر تعریف شود. در این صورت ضرایب ترک خوردگی تنها برای قسمت الاستیک المان ستون در نظر گرفته می شود. ضرایب ترک خوردگی بسته به سطح عملکرد مورد انتظار، در بخش ۵-۴-۱-۱۳ ارائه شده است. در غیاب محاسبات دقیق، طول مفصل پلاستیک فایبر برای ستون بتنی را می توان بین نصف تا یک برابر عمق مقطع ستون در نظر گرفت. در خصوص ستونهای متصل به دیوار برشی، نحوه تعریف مفاصل پلاستیک متفاوت بوده و در این صورت لازم است از جزئیات ارائه شده در تذکر ۲ بخش ۵-۴-۲-۴ استفاده شود.

مدل‌سازی چشمه اتصال: در صورتی که چشمه اتصال دارای ظرفیت برشی کافی باشد، می‌توان آن را به صورت المان صلب در نظر گرفت. در صورتی که در ضرایب کاهش سختی موثر تیرها و ستون‌ها اثر سرخوردگی آرماتور لحاظ شده باشد (در صورت استفاده از ضرایب ترک خوردگی استاندارد ASCE 41-23 اثر سرخوردگی آرماتور در ضرایب ترک خوردگی لحاظ شده است)، تیر و ستون در کل چشمه اتصال به صورت صلب در نظر گرفته می‌شوند. در غیر این صورت لازم است تیر و ستون حداکثر در نیمی از طول چشمه اتصال به صورت صلب در نظر گرفته شوند. لازم به ذکر است در ضرایب کاهش سختی موثر ارائه شده در بخش ۵-۴-۱-۱۳، اثر سرخوردگی آرماتور لحاظ نشده و در صورت استفاده از این ضرایب، لازم است تنها نیمی از چشمه اتصال به صورت صلب در نظر گرفته شود.

تذکر ۱: در صورتی که ضخامت دال متصل به تیر بیش از ۱۰۰ میلی‌متر باشد، لازم است تاثیر رفتار خارج از صفحه دال نیز در مدل لحاظ شود. برای این منظور می‌توان از یکی از روش‌های ارائه شده در تذکر ۶ بند ۵-۴-۱-۱۳ استفاده نمود.

تذکر ۲: در صورتی که عمق تیر برابر با عمق دال باشد (تیرهای مخفی بدون آویز)، عضو به صورت تیر-دال بوده و در این صورت لازم است مشخصات مفصل پلاستیک و ضرایب ترک خوردگی بر اساس مشخصات مربوط به تیر-دال‌ها تعریف گردد. در این صورت روند مدل سازی و تعریف مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش مربوط به دال و اتصال دال به ستون را می‌توان مطابق نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 در نظر گرفت. به عنوان روشی جایگزین، در این موارد می‌توان از روش سوم و یا چهارم ارائه شده در تذکر ۶ بند ۵-۴-۱-۱۳ استفاده نمود.

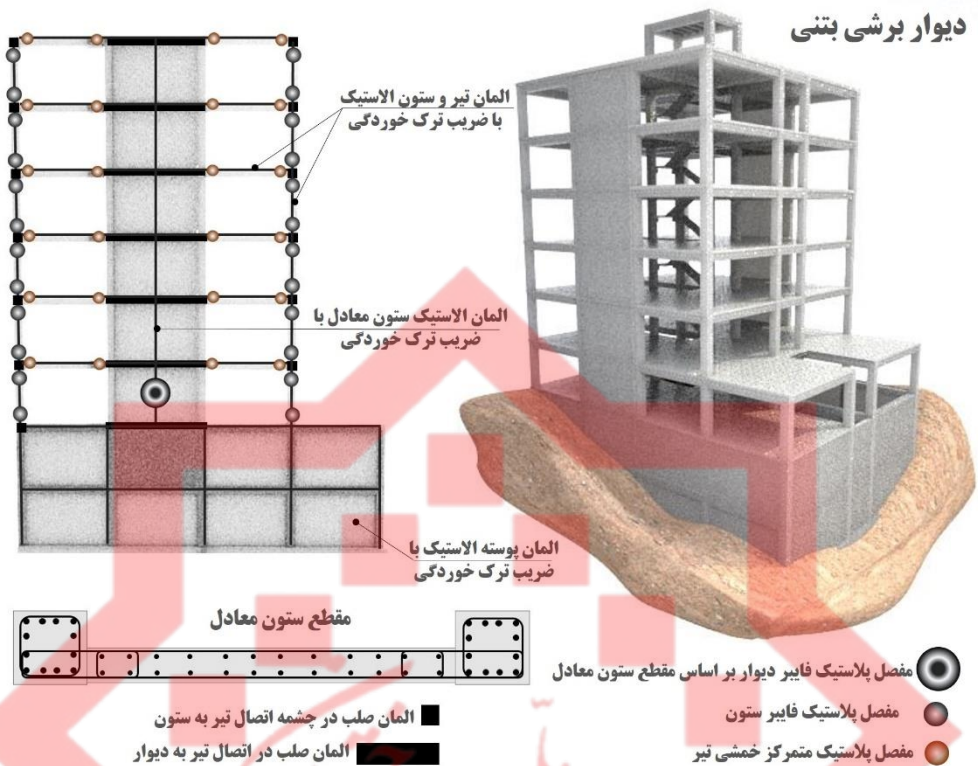
تذکر ۳: در تعریف مفصل پلاستیک خمشی متمرکز در تیرهای بتنی، سختی پس از تسلیم باید به نحوی باشد که حداکثر لنگر خمشی در پوش رفتاری مفصل پلاستیک، حداقل ۱۰٪ و حداکثر ۲۵٪ بزرگتر لنگر خمشی تسلیم باشد (مقدار ۱۵٪ قابل توصیه است). لنگر خمشی تسلیم در مفصل پلاستیک برابر با ظرفیت خمشی مورد انتظار تیر بتنی است.

تذکر ۴: در صورتی که در مدل سازی تیرها و ستون‌های بتنی، از المان‌هایی با قابلیت شبیه سازی گسترش رفتار غیرخطی در طول المان (تعریف چندین مفصل فایبر در طول المان) استفاده شود، صرفاً در تحلیل‌های غیرخطی، نیازی به تعریف ضریب ترک خوردگی مربوط به سختی خمشی برای این اعضا نبوده و این اعضا به صورت خودکار بر اساس میزان خمش وارده، سختی خمشی خود را کاهش می‌دهند. لازم به ذکر است در تحلیل‌های الاستیک (از جمله تحلیل مودال برای تخمین زمان تناوب) لازم است حتماً ضرایب ترک خوردگی برای این اعضا نیز تعریف شوند چراکه این اعضا تنها در تحلیل‌های غیرخطی قادر به شبیه سازی ترک خوردگی هستند. در این صورت صرفاً برای انجام تحلیل‌های الاستیک، ممکن است لازم باشد مفاصل فایبر گسترده در طول المان حذف شوند چراکه برخی از نرم افزارهای متداول، ضرایب ترک خوردگی را تنها در بخشی از طول المان که دارای مفصل فایبر نیستند اعمال می‌کنند.

۵-۴-۲- دیوار برشی بتنی

در دیوارهای برشی بتنی عضو کلیدی، خود دیوار است. اگرچه دیوارهای برشی عمدتاً برای نیروهای داخل صفحه طراحی می‌شوند، اما در واقعیت به صورت هم‌زمان تحت نیروهای داخل صفحه و خارج از صفحه قرار گرفته و لازم است رفتار دیوار در هر دو امتداد فوق مدنظر قرار گیرد. نمونه‌ای از نحوه ساخت مدل غیرخطی برای دیوارهای برشی بتنی در شکل (۵-۲۰) نشان داده شده است.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۲۰). مدل سازی غیرخطی سازه اصلی-دیوار برشی بتنی

مدل سازی دیوار برشی: دیوار برشی را می توان به صورت یک المان ستون معادل در نظر گرفت. این ستون معادل دارای مقطعی مشابه مقطع دیوار بوده و محل آن در مرکز ثقل مقطع دیوار قرار دارد. محل تشکیل مفصل پلاستیک در دیوارهای برشی کوتاه مرتبه عمدتاً در پای دیوار بوده و در صورتی که در طبقات فوقانی مقطع دیوار تغییر کند، این نواحی نیز مستعد تجربه رفتارهای غیرالاستیک خواهند بود. همچنین در سازه های میان مرتبه و بلندمرتبه، حتی در صورت ثابت ماندن مقطع دیوار، به دلیل تاثیر مدهای بالاتر ارتعاش، کاملاً محتمل است مفصل پلاستیک علاوه در پای دیوار، در ترازهایی بالاتر از پای دیوار نیز تشکیل شوند. بنابراین در محلهایی که احتمال تشکیل مفاصل پلاستیک وجود دارد، لازم است مفاصل پلاستیک متمرکز از نوع فایبر تعریف شده و برای سایر بخش های دیوار که با المان ستون معادل تعریف شده اند، ضرایب ترک

خوردگی در امتداد داخل صفحه و خارج از صفحه تعریف شوند. در صورتی که محل تشکیل مفصل پلاستیک در دیوار قابل تشخیص نباشد، مفاصل پلاستیک می‌توانند در ارتفاع دیوار توزیع شوند به طوری که در هر طبقه یک مفصل پلاستیک برای دیوار تعریف شود. چه در طبقاتی از دیوار که مفصل پلاستیک فایبر تعریف شده است و چه طبقاتی که فاقد مفصل فایبر هستند، لازم است ضرایب ترک خوردگی دیوار اعمال شوند. در تحلیل‌های الاستیک و در تحلیل مودال جهت محاسبه زمان تناوب سازه، ممکن است لازم باشد مفاصل پلاستیک فایبر از المان دیوار حذف شده و تنها ضرایب ترک خوردگی در المان دیوار اعمال شوند. علت این امر آن است که برخی از نرم افزارهای تحلیلی، ضریب ترک خوردگی را تنها در طولی از دیوار که فاقد مفصل فایبر است اعمال می‌کنند. در صورتی که برای دیوار مدنظر معیارهای پذیرش بر اساس دوران مفاصل پلاستیک در نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 تعریف شده باشند، باید معیار پذیرش بر اساس میزان دوران پلاستیک کنترل شده و نباید کرنش‌های ایجاد شده در فایبرها ملاک کنترل معیارهای پذیرش قرار گیرند. در غیر این صورت، معیار پذیرش بر اساس کرنش‌های محوری ایجاد شده در مفاصل فایبر دیوار کنترل خواهد شد. در این صورت توصیه می‌شود از معیارهای پذیرش منطبق بر کرنش ارائه شده در LATBSDC 2023 استفاده شود.

تذکره ۱: دیوار مدنظر این بخش دیواری لاغر با رفتاری کنترل شونده توسط خمش یا کنترل شونده توسط خمش-برش می‌باشد. دیوارهای با رفتار کنترل شونده توسط برش یا باید به شکل الاستیک طراحی و مدل‌سازی شوند و یا لازم است رفتار غیرخطی آن‌ها مطابق نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 در نظر گرفته شود. اکیدا توصیه می‌شود سازه به نحوی طراحی شود که دیوارهای کنترل شونده توسط برش (همانند دیوارهای حائل طبقات زیرزمین)، به صورت الاستیک باقی بمانند.

تذکره ۲: طول مفصل پلاستیک دیوار را می‌توان برابر با نصف طول دیوار یا برابر ارتفاع طبقه‌ای که در آن مفصل پلاستیک در دیوار تشکیل می‌شود (هر کدام کوچکتر باشد) در نظر گرفت. علاوه بر آن، در صورتی که ستونی به دیوار برشی متصل باشد به نحوی که ستون با المان تیر-ستون (المان فریم) و دیوار با المان پوسته مدل شده باشد، ستون متصل به دیوار در واقع بخشی از دیوار بوده و لازم است برای این نوع از ستون‌ها اولاً مفصل پلاستیک فایبر در میانه

ارتفاع ستون تعریف شده و دوماً طول مفصل پلاستیک فایبر تخصیص یافته به ستون تقریباً برابر با طول مفصل پلاستیک دیوار در نظر گرفته شود (نباید از مفصل پلاستیک با طول کوتاه در دو انتهای ستون متصل به دیوار برشی استفاده نمود). لازم به ذکر است ستون‌های متصل به دیوار در واقع اجزای لبه ای دیوار بوده و عمدتاً تحت نیروی محوری (فشاری یا کششی) قرار خواهند گرفت.

تذکر ۳: محل مفصل پلاستیک دیوار را می‌توان در میانه طبقه‌ای که مفصل پلاستیک در آن طبقه تشکیل می‌شود در نظر گرفت.

تذکر ۴: مطابق شکل (۵-۲۰) المان ستون معادل توسط المان‌های صلبی که تا لبه دیوار امتداد دارند به تیرهای اطراف متصل می‌شوند.

تذکر ۵: به جای استفاده از ستون معادل برای مدل‌سازی دیوارهای برشی بتنی، می‌توان از المان‌های پوسته‌ای نیز استفاده نمود که در این صورت لازم است المان‌های پوسته‌ای با استفاده از روش فایبر قادر به شبیه سازی رفتار غیرخطی دیوار باشند. در این صورت کنترل معیار پذیرش تلاش‌های تغییر شکل کنترل دیوار می‌تواند بر اساس دوران و یا کرنش‌های ایجاد شده در فایبرها انجام شود. در بخش‌هایی از دیوار که در آن المان‌های پوسته‌ای قابلیت شبیه سازی رفتار غیرالاستیک دیوار را به صورت روش فایبر دارند، نیازی نیست ضرایب ترک خوردگی خمشی تعریف شوند. تنها در صورتی می‌توان از کرنش‌ها به عنوان کنترل معیارهای پذیرش استفاده نمود که اولاً مدل پوسته‌ای دیوار حساسیت کمی به ابعاد مش‌های دیوار داشته باشد و ثانیاً بخش‌هایی از دیوار که دارای بتن محصور شده است (لبه‌های مرزی) و نواحی فاقد بتن محصور شده (جان دیوار) با مقاطع پوسته‌ای مختلف تعریف شده باشند.

تذکر ۶: به طور کلی برای هر عضو بتنی که هم مفصل فایبر داشته باشد و هم ضریب ترک خوردگی در آن اعمال شده باشد، برخی از نرم‌های متداول در کشور (همانند ETABS)، ضریب ترک خوردگی را تنها در بخشی از عضو اعمال می‌کنند که خارج از طول مفصل پلاستیک فایبر است. بنابراین در صورتی که عضو دارای مفصل فایبر گسترده باشد (چندین مفصل فایبر در یک ستون یا تیر) و یا دارای یک مفصل فایبر اما با طول زیاد باشد (همانند یک مفصل فایبر که

بخش زیادی از ارتفاع دیوار در هر طبقه را پوشش می‌دهد)، عملاً ضریب ترک خوردگی نقشی در تغییرسختی عضو چه در تحلیل‌های خطی و چه در تحلیل‌های غیرخطی نخواهد داشت. در تحلیل‌های غیرخطی این فرض نرم افزاری مشکلی ایجاد نمی‌کند چراکه میزان ترک خوردگی توسط مفصل فایبر لحاظ خواهد شد. اما در تحلیل‌های خطی (همانند تحلیل مورد نیاز برای تعیین زمان تناوب سازه)، ترک خوردگی در طولی از عضو که شامل مفصل فایبر است، اعمال نمی‌شود. به همین دلیل در تحلیل‌های خطی ممکن است لازم باشد مفاصل پلاستیک فایبر گسترده و یا مفاصل پلاستیک فایبر با طول زیاد (مثل مفاصل دیوارهای برشی) از مدل موقتاً حذف شوند تا بدین ترتیب ضریب ترک خوردگی به شکلی صحیح در کل طول عضو اعمال شود. این موضوع به نوع و ورژن نرم افزار تحلیلی مورد استفاده بستگی داشته و لازم است این موضوع توسط طراح کنترل شود.

۵-۴-۳ مدل سازی میراگرها

نحوه مدل سازی میراگرهای مختلف در چیدمان‌های متفاوت در فصل ۲ بیان شده است. معمولاً میراگرها با استفاده از المان‌های لینک (فترهای غیرخطی) مدل سازی می‌شوند. به طور کلی عدم قطعیت در مشخصات میراگرها (پراکندگی مشخصات حد بالا و حد پایین) کوچکتر و یا برابر عدم قطعیت در مشخصات سازه اصلی (مقاومت فولاد و بتن و سختی موثر بتن) است. بنابراین در اکثر موارد مدل سازی میراگرها تنها با استفاده از مشخصات اسمی مورد انتظار (میانگین نتایج آزمایش‌ها) کفایت می‌کند. لیکن در صورتی که تفاوت بین حد بالا و حد پایین مشخصات میراگرها قابل توجه باشد، مطابق بند ۵-۲-۵، به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در مشخصات میراگرها لازم است تحلیل‌ها یک مرتبه با فرض مشخصات حد بالا و یک مرتبه با فرض مشخصات حد پایین میراگرها انجام شود. ضرایب حد بالا و حد پایین که در مشخصات میراگر (نیروی تسلیم، سختی پس از تسلیم، نیروی آستانه لغزش و ضریب میرایی) اعمال می‌شوند در برگیرنده عواملی از جمله اثر گذر زمان^۱، عوامل خورنده محیطی، سرعت بارگذاری، اثرات خود گرمایی^۲ و نیز تولرانس تغییرات اندک غیر قابل اجتناب در مشخصات مصالح و ابعاد

^۱ Aging

^۲ Self-heating

قطعات میراگرهای تولیدی می‌باشند. مشخصات اسمی، حد بالا و حد پایین میراگرها بر اساس آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول مطابق فصل ۶ بدست می‌آیند.

۵-۴-۴- مدل سازی جداگرها

نحوه مدل‌سازی اجزای سیستم جداساز لرزه‌ای (جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز) در فصل ۳ به تفصیل بیان شده است. معمولاً جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز با استفاده از المان‌های لینک (فنرهای غیرخطی) مدل‌سازی می‌شوند. به طور کلی عدم قطعیت در مشخصات جداگرها (پراکندگی مشخصات حد بالا و حد پایین در مقایسه با مشخصات اسمی مورد انتظار) بیشتر از عدم قطعیت در مشخصات سازه اصلی (مقاومت فولاد و بتن و سختی موثر بتن) است. بنابراین مطابق بند ۵-۳-۶، به منظور درنظر گرفتن عدم قطعیت در مشخصات سیستم جداساز، معمولاً لازم است تحلیل‌ها یک مرتبه با فرض مشخصات حد بالا و یک مرتبه با فرض مشخصات حد پایین جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز انجام شوند. ضرایب حد بالا و حد پایین که در مشخصات جداگرها (سختی پس از تسلیم، برش تسلیم و ضریب اصطکاک) اعمال می‌شوند، در برگیرنده عواملی از جمله اثر گذر زمان و عوامل محیطی، سرعت بارگذاری، اثرات خودگرمایی و پیش کرنشی^۱ و نیز تغییرات ذاتی غیرقابل اجتناب در مشخصات مصالح و ابعاد در جداگرها و میراگرهای تولید شده برای پروژه می‌باشند. در غیاب نتایج آزمایشگاهی تایید شده، مشخصات حد بالای جداگرهای (نشیمنگاه‌های) سیستم جداساز نباید کمتر از ۱/۸ برابر و مشخصات حد پایین آن نباید بیشتر از ۰/۶ برابر مشخصات میانگین (مشخصات اسمی) جداگر درنظر گرفته شوند. همچنین در غیاب نتایج آزمایشگاهی تایید شده، مشخصات حد بالای میراگرهای سیستم جداساز نباید کمتر از ۱/۲ برابر و مشخصات حد پایین آن نباید بیشتر از ۰/۸ برابر مشخصات میانگین (مشخصات اسمی) میراگر درنظر گرفته شوند. از این مقادیر می‌توان جهت انجام کنترل فاز ۱ مطابق بند ۵-۳-۶ استفاده نمود. در کنترل فاز ۲ باید مطابق بند ۵-۳-۶ از مشخصات حد بالا و حد پایین حاصل از آزمایش‌ها استفاده شود.

تذکر: ترکیب سیستم جداساز لرزه‌ای و سازه اصلی یک ترکیب سری است. بنابراین بروز تغییر در مشخصات سیستم جداگر، به صورت مستقیم سبب تغییر در پاسخ سازه خواهد شد. این

^۱ Scragging

موضوع باعث می‌شود در مقایسه با سازه‌های مجهز به میراگر، سازه‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای نسبت به بروز تغییرات در مشخصات ادوات موجود در سیستم جداساز حساسیت بسیار بالاتری داشته و تغییرات در مشخصات سیستم جداساز لازم است در مدل‌های عددی به شکل صریح لحاظ شود.

۵-۴-۵ پاسخ‌های لرزه‌ای

به طور کلی پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان را می‌توان به دو دسته پاسخ‌های کلی و پاسخ‌های موضعی طبقه بندی نمود. پاسخ‌های کلی عمدتاً عبارتند از دررفت طبقات، دررفت ملندگار طبقات، برش طبقات، شتاب طبقات و جابجایی طبقات. پاسخ‌های موضعی نیز عمدتاً عبارتند از تقاضای تغییرشکلی وارده بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل، تقاضای نیرویی وارده بر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو و همچنین تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارده بر میراگرها و جداگرها.

اگرچه پاسخ‌های فوق در کلیه سطوح خطر لرزه‌ای قابل استخراج هستند، لیکن بر اساس این ضابطه استخراج تمام این پاسخ‌ها در تمام سطوح خطر لرزه‌ای الزامی نبوده و طراح می‌تواند تنها پاسخ‌های مطابق جدول (۵-۱۳) را استخراج نماید.

جدول (۵-۱۳). پاسخ‌های کلی و موضعی مورد نیاز در سطوح خطر لرزه‌ای مختلف

پاسخ‌های موضعی				پاسخ‌های کلی				
نیروی میراگر/جداگر	تغییرشکل میراگر/جداگر	تلاش‌های نیرو کنترل	تلاش‌های تغییرشکل کنترل	جابجایی طبقه	شتاب طبقه	برش طبقه	دررفت طبقه	سطح خطر
			✓		✓		✓	سرویس
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	سطح ۲

تذکره ۱: بر اساس این ضابطه، کنترل عملکرد سازه تنها در دو سطح خطر لرزه‌ای سرویس و سطح ۲ الزامی است. لیکن بسته به اهداف عملکردی تعریف شده، در صورتی که عملکرد خاصی

برای زلزله سطح ۱ نیز تعریف شده باشد، لازم است پاسخ‌های مربوط به این سطح خطر نیز استخراج شوند.

تذکر ۲: زلزله سطح سرویس محتمل‌ترین زلزله در طول عمر سازه بوده و کنترل دررفت و شتاب طبقات تضمین کننده عملکرد مناسب اجزای سازه‌ای، اجزای غیرسازه‌ای و پایداری تجهیزات داخل ساختمان تحت این زلزله محتمل خواهد بود.

تذکر ۳: کنترل دررفت ماندگار برای ساختمان‌های فاقد سیستم‌های باربرجانبی دوگانه در هر دو امتداد و با ارتفاع بیش از ۵۰ متر الزامی است. در صورتی که سیستم باربرجانبی ساختمان در هر دو امتداد به صورت یکی از سیستم‌های دوگانه معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ بوده و ارتفاع ساختمان نیز کمتر از ۷۵ متر از سطح زمین باشد، کنترل دررفت ماندگار الزامی نیست. همچنین کنترل دررفت ماندگار تنها در زلزله سطح ۲ انجام شده و در سایر سطوح خطر کنترل آن الزامی نیست. در این صورت کلیه تحلیل‌ها باید به قدر کافی (بسته به نسبت میرایی ویسکوز سازه حداقل به اندازه ۵ الی ۱۰ برابر زمان تناوب مد اصلی سازه) پس از اتمام پالس‌های شدید شتاب نگاشت ادامه یابند تا ارتعاش آزاد سازه پس از زلزله تا حد زیادی به اتمام رسیده و دررفت ماندگار قابل استخراج باشد. در این صورت، با رسم نمودار تاریخچه زمانی دررفت طبقه، دررفت ماندگار برابر با میانگین دو مقدار حداکثر و حداقل دررفت در آخرین چرخه پاسخ در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که ارتعاشات آزاد سازه به اتمام رسیده و سازه تقریباً در وضعیت بدون ارتعاش قرار داشته باشد، مقدار دررفت طبقه در آخرین گام زمانی را می‌توان به عنوان دررفت ماندگار در نظر گرفت.

تذکر ۴: در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی هیچ یک از ضرایب اصلاح پاسخ مربوط به روش‌های تجویزی طراحی (ضریب رفتار، ضریب تشدید تغییر مکان، ضریب اضافه مقاومت و ضریب نامعینی) کاربرد نداشته و تمام این ضرایب برابر با ۱ هستند.

تذکر ۵: بر اساس این ضابطه در تمام موارد، به منظور کنترل معیارهای پذیرش لازم است ابتدا میانگین حداکثر پاسخ‌ها استخراج شوند.

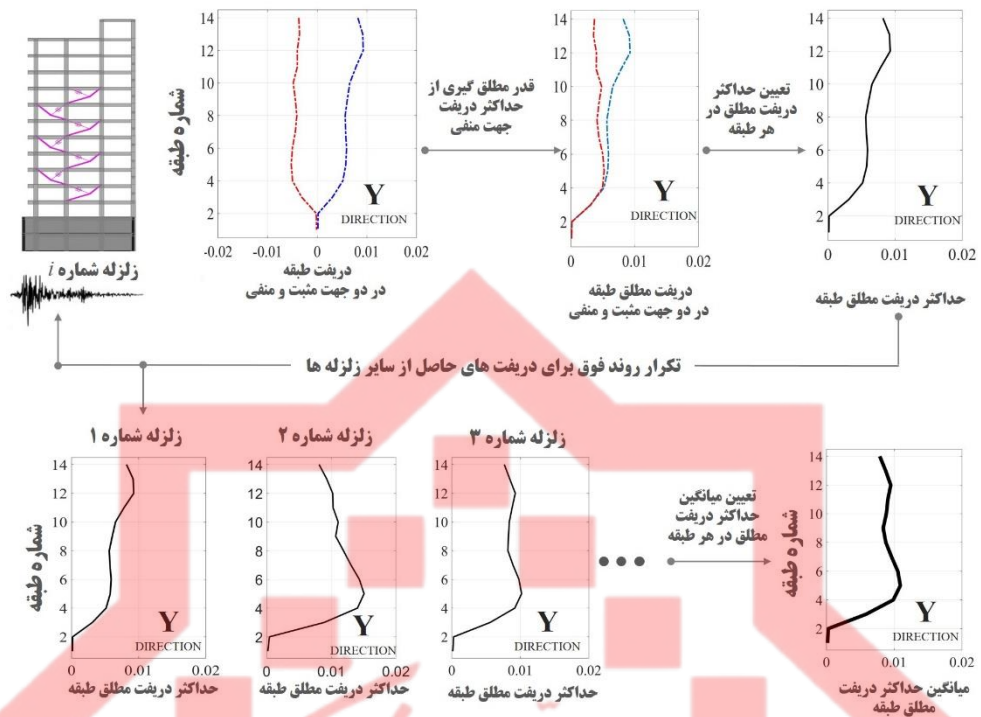
تذکره ۶: در روند میانگین‌گیری، برای پاسخ‌هایی که در آن‌ها کنترل معیار پذیرش مستقل از جهت (امتداد مثبت یا منفی پاسخ) باشد، لازم است میانگین‌گیری روی حداکثر قدرمطلق پاسخ‌های امتداد مثبت و منفی اعمال شود. به بیان دیگر برای هر زلزله باید حداکثر پاسخ در امتداد مثبت و قدرمطلق حداقل پاسخ در امتداد منفی استخراج شده و بین این دو مقدار، حداکثر آن‌ها به عنوان پاسخ حداکثر در زلزله مدنظر در نظر گرفته شود. این روند برای سایر زلزله‌ها نیز انجام شده و در نهایت میانگین‌گیری روی پاسخ حداکثر حاصل از تمام زلزله‌ها انجام می‌شود. از جمله پاسخ‌هایی که مستقل از جهت مثبت و منفی هستند می‌توان به دریافت طبقات، شتاب طبقات، برش طبقات، دوران مفاصل پلاستیک در مقاطع متقارن (یا تقریباً متقارن)، برش در تیرها، ستونها و دیوارها و نیز تقاضای تغییرشکلی در میراگرها و جداگرها اشاره نمود.

تذکره ۷: در روند میانگین‌گیری، برای پاسخ‌هایی که در آن‌ها کنترل معیار پذیرش وابسته به جهت (امتداد مثبت یا منفی پاسخ) باشد، لازم است میانگین‌گیری به صورت جداگانه روی حداکثر پاسخ‌های امتداد مثبت و حداقل پاسخ‌های امتداد منفی اعمال شود. از جمله پاسخ‌هایی که معمولاً وابسته به جهت مثبت و منفی هستند می‌توان به نیروی محوری وارده بر جداگرها و ستون‌ها، دوران مفاصل پلاستیک در مقاطع شدیداً نامتقارن اشاره نمود.

۵-۴-۵-۱ دریافت طبقات

دریافت طبقات مهمترین پاسخ کلی سازه می‌باشد که می‌تواند تا حد زیادی بیانگر عملکرد سازه و تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل باشد. دریافت حداکثر طبقات لازم است در هر دو امتداد ساختمان برای کلیه شتاب نگاشت‌ها بدست آمده، سپس میانگین حداکثر دریافت‌ها با دریافت هدف یا دریافت مجاز مقایسه شود. لازم به ذکر است دریافت طبقات در دسته پاسخ‌های مستقل از جهت مثبت و منفی بوده و باید مطابق تذکره ۶ بند ۴-۵-۵ میانگین‌گیری شود. نمونه‌ای از این محاسبه در شکل (۵-۲۱) نشان داده شده است.

تذکره: حداکثر دریافت طبقات هم در زلزله سطح سرویس و هم در زلزله سطح ۲ مورد نیاز است.



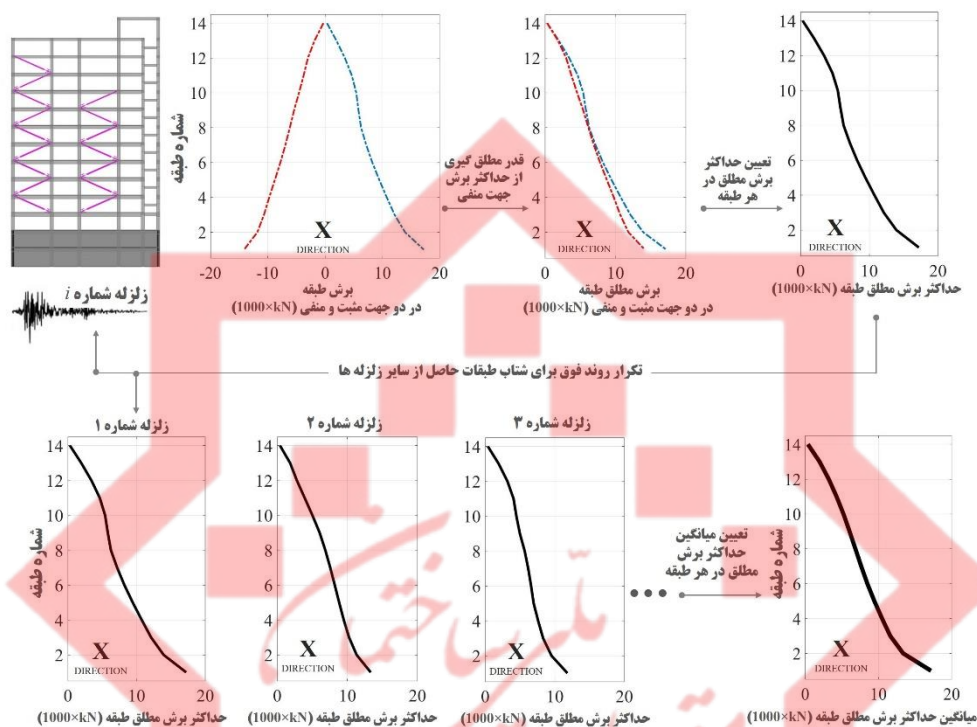
شکل (۵-۲۱). نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر درift حاصل از تمام زلزله‌ها

۵-۴-۵-۲ برش طبقات

از دیگر پاسخ‌های کلی مهم، برش طبقات است که در دسته پاسخ‌های مستقل از امتداد مثبت و منفی بوده و روند میانگین‌گیری آن مطابق تذکر ۶ بند ۴-۵ می‌باشد. شکل (۵-۲۲) نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر برش طبقات را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است، بر اساس برش طبقات امکان تخمین نیروی معادل وارده بر هر طبقه وجود خواهد داشت که از این نیرو در طراحی شالوده و دیافراگم کف طبقات می‌توان استفاده نمود. جزئیات بیشتر در این خصوص در فصل ۷ ارائه شده است.

تذکر: لازم است علاوه بر برش طبقات، لنگر واژگونی پای سازه نیز در هر دو امتداد اصلی ساختمان از نتایج تاریخچه زمانی غیرخطی استخراج شوند. کاربرد لنگر واژگونی در اصلاح برش طبقات به منظور طراحی شالوده است که جزئیات آن در فصل ۷ ارائه شده است. لازم به ذکر

است لنگر واژگونی باید محول محور مرکز صلبیت پای سازه محاسبه شود که این محور با محورهای مختصات کلی استفاده شده در مدل عددی سازه ممکن است یکسان نباشد.

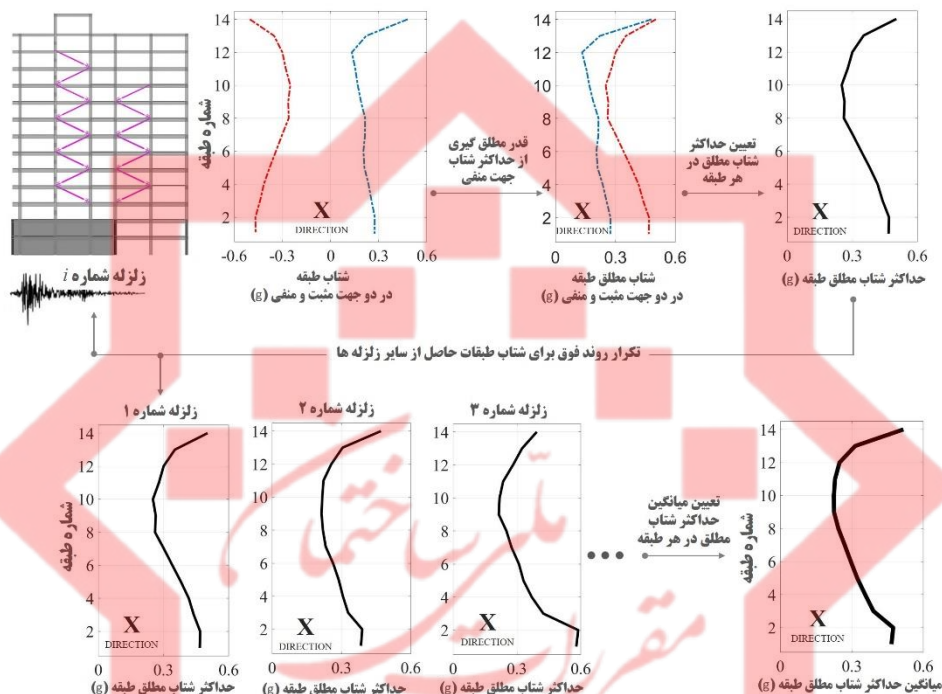


شکل (۵-۲۲). نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر برش طبقات حاصل از تمام زلزله‌ها

۵-۴-۵-۳ شتاب طبقات

شتاب طبقات یکی دیگر از پاسخ‌های کلی مهم می‌باشد که در دسته پاسخ‌های مستقل از امتدادهای مثبت و منفی بوده بنابراین باید مطابق تذکر ۶ بند ۵-۴-۵ میانگین‌گیری شود. شکل (۵-۲۳) نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر شتاب طبقات را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است منظور از شتاب طبقه، شتاب مطلق طبقه بوده و نباید شتاب زمین از آن کسر شده باشد. کاربرد اصلی شتاب طبقات، تخمین نیروی وارده بر اجزای غیرسازه‌ای (دیوارهای غیرسازه‌ای، نما و ...)، تجهیزات داخلی حساس به شتاب (قفسه‌ها، کمد‌ها و ...) و سازه‌های

غیرساختمانی متصل به سازه اصلی (تابلو، آنتن و ...) است. علاوه بر آن، از شتاب طبقات به منظور تعیین نیروی وارده بر دیافراگم کف طبقات نیز استفاده می‌شود. جزئیات بیشتر در خصوص نحوه استفاده از شتاب طبقه در طراحی اجزای غیرسازه‌ای و دیافراگم کف، در فصل ۷ ارائه شده است.



شکل (۵-۲۳). نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر شتاب طبقات حاصل از تمام زلزله‌ها

تذکره ۱: در روش‌های تجویزی طراحی ساختمان‌های فاقد میراگر و جداگر معمولاً فرض بر این است که اولاً حداکثر شتاب طبقات از حداکثر شتاب زمین بیشتر بوده و ثانیاً شتاب طبقه به صورت خطی در ارتفاع افزایش پیدا میکند. هیچ یک از دو مورد مذکور در خصوص سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر لزوماً صادق نبوده و در بسیاری از موارد، شتاب طبقات این نوع سازه‌ها از حداکثر شتاب زمین کوچکتر هستند. این موضوع به زمان تناوب سازه و درصد میرایی اضافه شده به سازه نیز بستگی دارد. همچنین شتاب طبقات در ارتفاع ساختمان لزوماً به صورت خطی

تغییر نمی‌کند.

تذکر ۲: حداکثر شتاب طبقات هم در زلزله سطح سرویس و هم در زلزله سطح ۲ مورد نیاز هستند.

۵-۴-۵-۴ جابجایی طبقات

کاربرد اصلی جابجایی حداکثر طبقات، در اکثر موارد، تعیین مقدار درز انقطاع مورد نیاز است. این پاسخ در دسته پاسخ‌های مستقل از امتداد مثبت و منفی بوده و باید مطابق تذکر ۶ بند ۵-۴ میانگین‌گیری شود. برای سازه‌های دارای میراگر مقدار درز انقطاع در هر تراز نباید کمتر از ۵۰٪ میانگین حداکثر جابجایی طبقه در آن تراز (نسبت به شالوده) تحت زلزله سطح ۲ در نظر گرفته شود. برای سازه‌های دارای سیستم جداساز، مقدار درز انقطاع در تراز سیستم جداساز باید حداقل برابر با میانگین حداکثر جابجایی تراز سیستم جداساز (نسبت به شالوده) به علاوه ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود. برای طبقات بالای تراز جداسازی شده (روسازه)، حداقل مقدار درز انقطاع در هر تراز برابر ۵۰٪ میانگین حداکثر جابجایی طبقه (جابجایی نسبت به شالوده) تحت زلزله سطح ۲ و یا درز انقطاع مربوط به تراز سیستم جداساز (هر کدام که بیشتر باشد) است. برای طبقات تحتانی تراز جداسازی شده (زیرسازه)، حداقل مقدار درز انقطاع در هر تراز برابر ۵۰٪ میانگین حداکثر جابجایی طبقه (جابجایی نسبت به شالوده) تحت زلزله سطح ۲ است. در تمام موارد، مقدار درز انقطاع بر مبنای حداکثر جابجایی رخ داده در گوشه‌های پلان طبقات محاسبه شده و جابجایی مرکز جرم طبقه نباید ملاک قرار گیرد.

تذکر ۱: در سازه‌های جداسازی شده مقدار درز انقطاع در تراز جداسازی شده باید حداقل ۵۰ میلی‌متر بیش از میانگین حداکثر جابجایی تراز جداسازی شده در زلزله سطح ۲ باشد. در این کنترل، معمولاً نتایج حاصل از تحلیل با مشخصات حد پایین جداگرها تعیین‌کننده خواهند بود. لازم به ذکر است که حداکثر جابجایی در گوشه‌های سیستم جداساز ملاک تعیین مقدار درز انقطاع می‌باشد و نه جابجایی در مرکز سختی یا مرکز جرم سیستم جداساز. همچنین درز انقطاع کلیه طبقات قرار گرفته بر روی سیستم جداساز لرزه‌ای، نباید از درز انقطاع محاسبه شده در تراز سیستم جداساز لرزه‌ای، کمتر باشد.

تذکر ۲: سیستم جداساز علاوه بر درز انقطاع افقی، لازم است دارای یک درز انقطاع قائم نیز باشد به طوری که امکان ایجاد تغییرشکل‌های قائم حداقل به میزان ۵۰ میلی‌متر (رو به بالا و رو به پایین) در سیستم جداساز بدون هیچ مانعی فراهم باشد. در جداگرهای لغزشی پاندولی، به مقدار ۵۰ میلی‌متر فوق باید تغییرشکل قائم جداگر تحت زلزله سطح ۲ نیز اضافه شود.

تذکر ۳: تعیین جابجایی طبقات تنها برای زلزله سطح ۲ مورد نیاز بوده و در زلزله سطح سرویس نیازی به استخراج آن نیست.

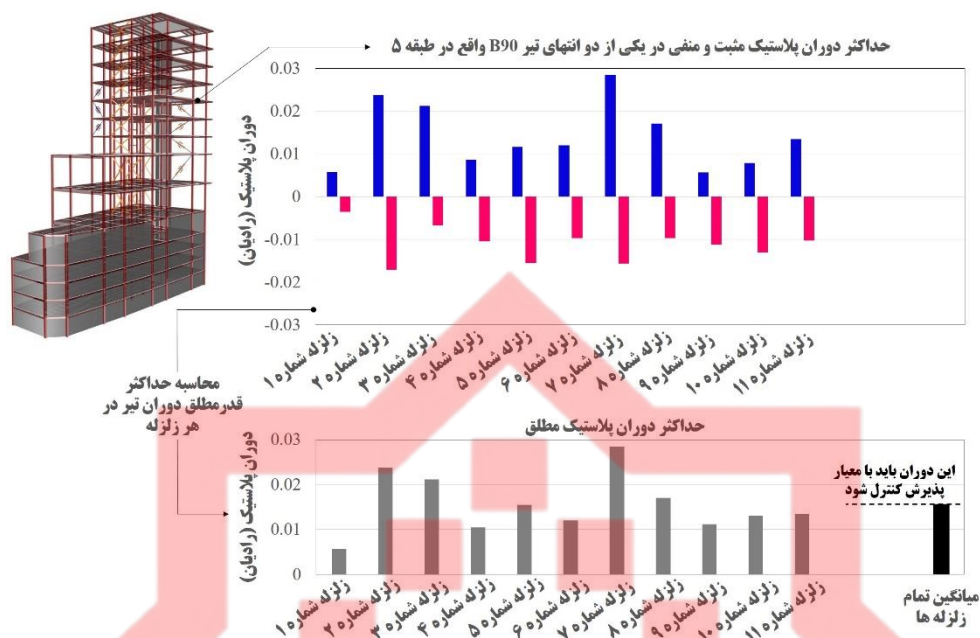
تذکر ۴: به جز در سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، در سایر موارد در صورتی که حداکثر تغییرمکان طبقات تحت زلزله سطح ۱ موجود باشد، ملاک تعیین درز انقطاع در هر تراز می‌تواند معادل ۷۰٪ تغییرمکان حداکثر طبقه در آن تراز تحت زلزله سطح ۱ باشد.

۵-۴-۵- تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل

حداکثر تقاضای تغییرشکلی وارده بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل که عمدتاً به صورت مفاصل پلاستیک یا فنرهای غیرخطی در مدل ساختمان در نظر گرفته شده‌اند، لازم است برای هر زلزله استخراج شده و در نهایت بر روی تمام زلزله‌ها میانگین‌گیری شوند. بسته به اینکه معیار پذیرش تلاش مدنظر وابسته به امتدادهای مثبت و منفی باشد یا خیر، لازم است میانگین‌گیری مطابق تذکرات ۶ و ۷ بند ۴-۵ انجام شود. نمونه‌ای از این میانگین‌گیری برای دوران مفصل پلاستیک در انتهای یک تیر فولادی در سیستم قاب خمشی در شکل (۵-۲۴) نشان داده شده است.

تذکر: حداکثر تقاضای تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل هم در زلزله سطح سرویس و هم در زلزله سطح ۲ مورد نیاز هستند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

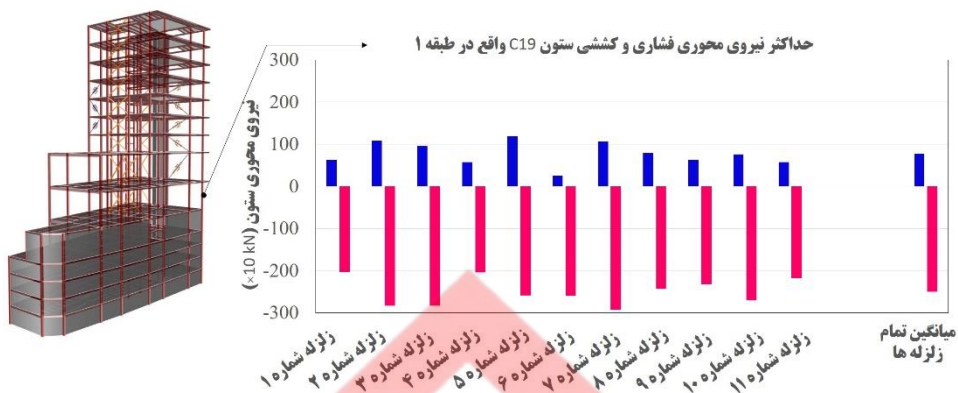


شکل (۵-۲۴). نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر دوران پلاستیک تیر فولادی حاصل از تمام زلزله‌ها

۵-۴-۵-۶ تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو

تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو که عمدتاً مربوط به تلاش‌هایی هستند که مفصل پلاستیکی برای آن تعریف نشده است، لازم است برای هر زلزله استخراج شده و در نهایت بر روی تمام زلزله‌ها میانگین‌گیری شود. بسته به اینکه معیار پذیرش تلاش مدنظر وابسته به امتدادهای مثبت و منفی باشد یا خیر، لازم است میانگین‌گیری مطابق تذکرات ۶ و ۷ بند ۵-۴-۵ انجام شود. نمونه‌ای از این میانگین‌گیری برای نیروی محوری یکی از ستون‌های یک ساختمان، در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده است.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۲۵). نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر نیروی محوری در ستون فولادی حاصل از تمام زمزه‌ها

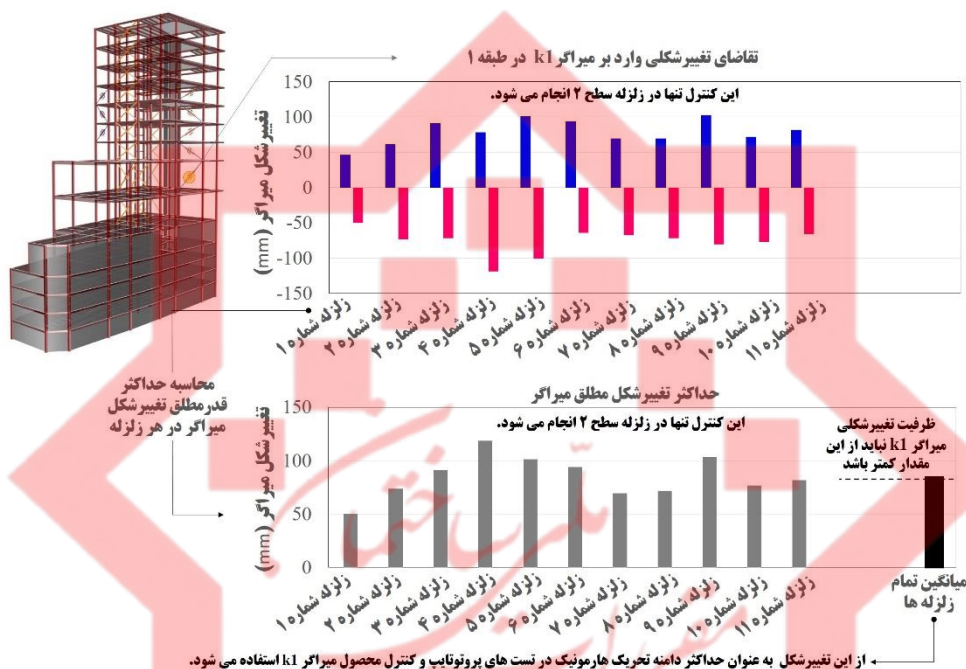
تذکره ۱: تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو در اعضای که دارای مکانیزم تسلیم مشخصی هستند، می‌توانند بر اساس مکانیزم تسلیم عضو (طراحی ظرفیتی) تعیین شوند. این کار باید در حضور بارهای ثقیلی مورد انتظار (بار ثقیلی استفاده شده در تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی) انجام شود. این روش در خصوص تلاش‌هایی از جمله برش تیرهای فولادی و بتنی و نیز کلیه تلاش‌های اتصالات و وصله‌ها قابل استفاده است. در صورت استفاده از این روش برای کنترل برش ستون، لازم است مکانیزم تسلیم بر مبنای تسلیم خمشی ستون در نظر گرفته شود (و نه تیرهای متصل به ستون). همچنین از این روش برای کنترل برش دیوارهای برشی نباید استفاده شود چراکه محل برآیند نیروی وارد بر دیوار برشی با دقت مناسب قابل تشخیص نمی‌باشد. به طور کلی برای کنترل برش ایجاد شده در ستون‌ها و دیوارهای برشی، استفاده از نتایج تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی مناسب‌تر است.

تذکره ۲: تعیین تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو تنها برای زمزه سطح ۲ مورد نیاز بوده و در سایر سطوح خطر نیازی به استخراج آن‌ها نیست.

۵-۴-۵-۷ تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها

به منظور دستیابی به عملکردی صحیح در میراگرها و جداگرها لازم است تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارده بر میراگرها و جداگرها در محدوده ظرفیت آن‌ها باشد. بنابراین لازم است حداکثر

تغییر شکل و حداکثر نیروی ایجاد شده در میراگرها و جداگرها در تمام زلزله‌ها بدست آمده سپس میانگین‌گیری شوند. در اکثر موارد (به جز نیروی محوری وارد بر جداگرها) رفتار میراگرها و جداگرها مستقل از امتدادهای مثبت و منفی بوده بنابراین نحوه میانگین‌گیری باید مطابق تذکر بند ۴-۵-۵ انجام شود. نمونه‌ای از این میانگین‌گیری در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده است.



شکل (۵-۲۶). نمونه‌ای از نحوه محاسبه میانگین حداکثر تغییر شکل یکی از میراگرها حاصل از تمام زلزله‌ها

تذکر ۱: تعیین تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها تنها برای زلزله سطح ۲ مورد نیاز بوده و در سایر سطوح خطر نیازی به استخراج آن‌ها نیست.

تذکر ۲: از تقاضای تغییرشکلی بدست آمده در این مرحله به منظور تنظیم پروتوکول‌های بارگذاری آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها و جداگرها استفاده می‌شود. نحوه انجام این آزمایش‌ها در فصل ۶ ارائه شده است.

۵-۴-۶ کنترل معیارهای پذیرش

همانطور که در بند ۵-۴-۵ پاسخ‌های سازه به دو دسته کلی و موضعی طبقه بندی شدند، در این بخش، معیارهای پذیرش نیز به دو دسته معیارهای کلی و معیارهای موضعی طبقه بندی می‌شوند. معیارهای پذیرش کلی شامل حداکثر دریفت طبقات و در مواردی حداکثر شتاب طبقات که نباید از مقدار مشخص شده در این بخش فراتر روند. معیارهای پذیرش موضعی نیز عمدتاً شامل معیارهای مربوط به تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشکل در سازه اصلی و معیارهای مربوط به تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارده بر میراگرها و جداگرها هستند.

۵-۴-۶-۱ معیار پذیرش ترکیبات بار غیرلرزه‌ای

کلیه سازه‌های دارای میراگر و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای لازم است تحت ترکیبات بارگذاری غیرلرزه‌ای، مشابه یک ساختمان متداول بر اساس الزامات مباحث مقررات ملی ساختمان کنترل شوند. لیکن در خصوص ترکیبات بارگذاری شامل زلزله، نحوه کنترل معیارهای پذیرش باید بر اساس این بخش انجام شود.

۵-۴-۶-۲ معیار پذیرش دریفت حداکثر طبقه

در سازه‌های جدید مجهز به میراگر و سازه‌های بهسازی شده توسط میراگر، صرفنظر از سطح عملکرد در نظر گرفته شده، تحت هیچ شرایطی میانگین حداکثر دریفت در کلیه طبقات تحت زلزله سطح سرویس و سطح ۲ به ترتیب نباید از ۰/۵ درصد و ۳ درصد فراتر رود. همچنین در هیچ کدام از تک زلزله‌های در نظر گرفته شده در سطح خطر ۲ دریفت حداکثر نباید از ۴/۵ درصد فراتر رود.

در سازه‌های جدید دارای سیستم جداساز لرزه‌ای و بهسازی شده توسط سیستم جداساز لرزه‌ای، صرفنظر از سطح عملکرد در نظر گرفته شده، تحت هیچ شرایطی میانگین حداکثر دریفت در کلیه طبقات تحت زلزله سطح سرویس و سطح ۲ به ترتیب نباید از ۰/۵ درصد و ۱ درصد فراتر رود. در صورتی که روسازه صرفاً متشکل از قاب‌های خمشی متوسط یا ویژه باشد، میانگین حداکثر دریفت طبقات تحت زلزله سطح ۲ تا مقدار ۱/۵ درصد نیز قابل قبول است.

صرفنظر از سیستم باربرجانبی روسازه، دریافت حداکثر در هیچ کدام از تک زلزله‌های درنظر گرفته شده در سطح خطر ۲ نباید از ۲ درصد فراتر رود. در ساختمان‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای، میانگین حداکثر دریافت طبقات در زیرسازه تحت زلزله سطح ۲، نباید از ۰/۵ درصد فراتر رود. لازم به ذکر است، مطابق جدول (۴-۱)، دوره بازگشت زلزله‌های سطح سرویس و سطح ۲ برای ارزیابی سازه‌های جدید با ارزیابی سازه‌های موجود متفاوت است.

تذکر ۱: به طور کلی برآورده شدن معیار پذیرش دریافت (که در دسته معیارهای پذیرش کلی است) لزوماً تضمین کننده برآورده شدن سایر معیارها (از جمله معیار شتاب طبقه و سایر معیارهای پذیرش موضعی) نمی‌باشد. بنابراین، لازم است علاوه بر دریافت، سایر معیارهای پذیرش نیز کنترل شوند.

تذکر ۲: در صورتی که تحت زلزله‌ای نتایج عددی همگرا نشوند به طوری که دلیل آن بروز ناپایداری در سازه باشد، معمولاً نیاز به اعمال اصلاحاتی در طراحی (مشخصات سازه یا مشخصات میراگرها یا جداگرهای لرزه‌ای) می‌باشد. با این وجود، در چنین شرایطی، جایگزین کردن زلزله همگرا نشده با زلزله‌ای دیگر نیز بر اساس این ضابطه بلامانع است.

تذکر ۳: در صورتی که سازه‌های دارای میراگر بر اساس روش مبتنی بر دریافت طراحی شده باشند لازم است در تعیین دریافت هدف معیارهای دریافت طبقه به صورت محافظه کارانه در نظر گرفته شود. به هر حال، نیازی نیست مقدار دریافت هدف به عنوان معیار پذیرش حداکثر دریافت درنظر گرفته شود. به بیان دیگر، میانگین حداکثر دریافت طبقات می‌تواند از مقدار دریافت هدف بزرگتر باشد، اما نباید از مقادیر دریافت مجاز ارائه شده در این بند فراتر رود.

تذکر ۴: در صورتی که ساختمان در طبقاتی دارای دیوارهای غیرسازه‌ای باشد که در امتداد داخل صفحه از سازه اصلی جدا نشده باشند (مطابق الزامات ضابطه ۷۲۹ یا راهنمای طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای و یا پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰)، معیار حداکثر دریافت مجاز در آن طبقات ممکن است بر اساس معیارهای پذیرش میانقاب‌ها بدست آیند. در این صورت دریافت مجازی که پاسخگوی معیارهای پذیرش میانقاب‌ها باشد، کوچکتر از مقادیر ارائه شده در این بند خواهد بود.

تذکره ۵: در خصوص ساختمان‌های دارای میراگرهای وابسته به تغییر شکل و میراگرهای ویسکوالاستیک که دارای سختی استاتیکی هستند، در صورتی که چیدمان میراگرها در طبقات تحتانی به صورت ناپیوسته باشد، لازم است حداکثر دررفت در طبقات تحتانی فاقد میراگر محدود شود. بدین منظور، در صورتی که در طبقات i ام تا $i+1$ ام $(i > j)$ میراگرها حذف شده باشند، لازم است حداکثر دررفت در هر یک از طبقات i ام تا $i+1$ ام کوچکتر از 0.7 برابر حداکثر دررفت در طبقه $i+1$ ام باشد. انجام این کنترل در طراحی نهایی سازه، تنها در زلزله سطح ۲ الزامی است و ملاک مقایسه میانگین حداکثر دررفت حاصل از کلیه زلزله‌ها می‌باشد.

۵-۶-۴-۳ معیار پذیرش دررفت ماندگار طبقه

میانگین دررفت ماندگار در کلیه طبقات تحت زلزله سطح ۲ نباید از 1% بیشتر باشد. به علاوه، برای ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای، میانگین جابجایی ماندگار در سیستم جداساز نباید از یک دهم میانگین حداکثر جابجایی سیستم جداساز بیشتر باشد. انجام این کنترل تنها در زلزله سطح ۲ الزامی است.

تذکره: برای ساختمان‌های با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از سطح زمین و برای ساختمان‌های دارای سیستم باربرجانبی دوگانه در هر دو امتداد و با ارتفاع کمتر از ۷۵ متر از سطح زمین، کنترل دررفت ماندگار طبقات الزامی نیست. در ساختمان‌های بلند تر، در صورتی که میانگین دررفت حداکثر تحت زلزله سطح ۲ کوچکتر از $1/5\%$ باشد، کنترل دررفت ماندگار طبقات الزامی نیست.

۵-۶-۴-۴ معیار پذیرش شتاب طبقه

در صورتی که عملکرد مدنظر سازه خدمت رسانی بدون وقفه (O) و یا استفاده بدون وقفه (IO) باشد، لازم است حداکثر شتاب طبقات به ترتیب کوچکتر از $0.25g$ و $0.35g$ باشد.

تذکره ۱: هدف اصلی از این بند، جلوگیری از واژگون شدن اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات مهار نشده با توزیع وزنی یکنواخت و با نسبت ارتفاع به عرض حداکثر برابر ۴ می‌باشد. قفسه، کمد، یخچال، مجسمه‌های بزرگ، تجهیزات گرمایشی و سرمایشی ایستاده و سایر وسایل و تجهیزات موجود در طبقات ساختمان از جمله این تجهیزات هستند که معمولاً به صورت مهارنشده بر روی کف طبقات قرار گرفته‌اند. با توجه به توضیحات فوق، برای هر طبقه، کنترل شتاب تنها در تراز

کف طبقه انجام می‌شود. در صورتی که کلیه تجهیزات با وزن بیش از ۵۰۰ نیوتن و با نسبت ارتفاع به عرض بیش از ۲ به کف، سقف و یا دیوارهای طبقه مهارشده باشند، نیازی به برآورده نمودن معیار شتاب حداکثر طبقه نمی‌باشد.

تذکره ۲: در صورتی که معیار خدمت رسانی بدون وقفه (O) یا استفاده بدون وقفه (IO) صرفاً در طبقات خاصی از ساختمان مورد نیاز باشد، کنترل شتاب صرفاً در همان طبقات انجام شده و نیازی نیست سایر طبقات معیار شتاب ارائه شده در این بخش را برآورده کنند.

تذکره ۳: در سطوح عملکردی ایمنی جانی یا آستانه فروریزش نیازی به کنترل مقدار شتاب طبقات نمی‌باشد. لیکن استخراج شتاب طبقات برای محاسبه نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای و دیافراگم کف همچنان مورد نیاز است. نحوه استفاده از شتاب طبقات در محاسبه نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای و دیافراگم کف، در فصل ۷ ارائه شده است.

تذکره ۴: برای تخمین دقیق شتاب طبقات، لازم است گام زمانی در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی حدوداً از $0.1T_{90\%}$ بیشتر در نظر گرفته نشود ($T_{90\%}$ زمان تناوبی از سازه است که در آن حداقل ۹۰٪ مشارکت جرمی در هر دو امتداد جانبی سازه ایجاد شده باشد). توصیه می‌شود گام زمانی تحلیل تحت هیچ شرایطی بیش از 0.02 ثانیه در نظر گرفته نشود.

۵-۶-۴-۵ معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل

به منظور کنترل معیارهای پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل لازم است مقادیر میانگین حداکثر تلاش‌ها که بر اساس بند ۵-۴-۵ بدست آمده‌اند را با مقادیر مجاز ارائه شده در نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 مقایسه نمود.

تذکره ۱: در صورت استفاده از نشریه ۳۶۰ لازم است معیارهای پذیرش اجزای غیراصلی ملاک قرار گرفته شوند.

تذکره ۲: در صورتی که برای تلاش‌های تغییر شکل کنترل در عضوی از سازه معیارهای پذیرش در قالب دوران و تغییر شکل در نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 موجود نباشد، می‌توان از یکی از روش‌های زیر معیارهای پذیرش را برآورد نمود:

- بر اساس معیارهای پذیرش موجود در سایر منابع معتبر داخلی یا بین‌المللی.

- بر اساس معیارهای پذیرش مبتنی بر کرنش ارائه شده در LATBSDC 2023. معیارهای کرنش ارائه شده در LATBSDC 2023 با فرض ضریب اهمیت $I_e=1$ متناظر با آستانه فروریزش بوده و برای تخمین کرنش‌های متناظر با عملکرد ایمنی جانی و استفاده بدون وقفه می‌توان مقادیر کرنش ارائه شده در LATBSDC 2023 را به ترتیب در ضرایب 0.75 و 0.50 ضرب نمود (با فرض ضریب اهمیت $I_e=1$). طول گیج مورد استفاده در محاسبه کرنش نباید بزرگتر از طول مفصل پلاستیک در نظر گرفته شود.
- بر اساس نتایج آزمایشگاهی و یا نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های دقیق اجزاء محدود (با قابلیت شبیه‌سازی پدیده‌هایی از جمله کمانش موضعی، ترک خوردگی و گسیختگی فولاد و بتن، خستگی کم چرخه و سایر پدیده‌های موثر در رفتار).

۵-۴-۶- معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو

به منظور کنترل معیارهای پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو لازم است رابطه (۵-۲۳) کنترل گردد.

$$\gamma\chi(Q_{UF} - Q_G) + Q_G \leq Q_{CL} \quad (۵-۲۳)$$

در رابطه فوق γ ضریبی است که به اهمیت تلاش مورد نظر بستگی دارد که مقدار آن برای تلاش‌های بحرانی $1/3$ و برای تلاش‌های غیربحرانی ۱ است. برخی از تلاش‌های بحرانی و غیربحرانی در جدول (۵-۱۴) ارائه شده‌اند. در خصوص تلاش‌هایی که در جدول (۵-۱۴) ارائه نشده‌اند، تشخیص بحرانی یا غیربحرانی بودن آن بر اساس قضاوت مهندسی انجام شده و همواره می‌توان در جهت اطمینان، تلاش مدنظر را از نوع بحرانی در نظر گرفت. این دسته بندی تنها در خصوص تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو انجام می‌شود. ضریب χ به عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار بستگی داشته و مقدار آن برای عملکرد آستانه فروریزش ۱ و برای سایر عملکردها برابر $1/3$ است. در هر صورت لازم نیست حاصل ضرب $\gamma\chi$ بیش از $1/5$ در نظر گرفته شود. میانگین حداکثر تلاش کنترل شونده توسط نیرو حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با Q_{UF} و مقدار تلاش مدنظر تحت بار ثقلی مورد انتظار (مقدار تلاش در ثانیه صفر تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی) با Q_G نشان داده شده است. کمیت Q_{CL} برابر ظرفیت مشخصه (و نه مورد انتظار)

تلاش مدنظر می‌باشد که بر اساس الزامات مبحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان به ترتیب برای اعضای بتنی و فولادی بدون احتساب ضرایب کاهش مقاومت محاسبه می‌شود.

تذکره ۱: برای کنترل تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو در اعضای که دارای مکانیزم تسلیم مشخصی هستند (همانند تیرها و ستون‌ها)، می‌توان به جای رابطه (۵-۲۳)، از رابطه (۵-۲۴) به عنوان معیار پذیرش تلاش کنترل شونده توسط نیرو استفاده نمود. در این رابطه E_M تقاضای متناظر با مکانیزم تسلیم حاکم بر عضو (با درنظر گرفتن مشخصات مورد انتظار و بدون درنظر گرفتن ضریب کاهش مقاومت) می‌باشد. رابطه (۵-۲۴) برای کنترل مواردی از جمله برش در تیرها و ستون‌ها و اتصالات میراگرها و جداگرها قابل استفاده است.

$$E_M + Q_G \leq Q_{CL} \quad (۵-۲۴)$$

تذکره ۲: در دیوارهای برشی بتنی، به علت اندرکنش دیوار با سایر اعضای سازه‌ای و نیز اثر مدهای بالاتر، محل برآیند نیروی جانبی وارده بر دیوار نامشخص بوده و تلاش برشی متناظر با تسلیم خمشی دیوار با دقت مناسبی قابل محاسبه نمی‌باشد. بنابراین در خصوص کنترل برش دیوارهای برشی بتنی استفاده از رابطه (۵-۲۴) مجاز نمی‌باشد. لازم به ذکر است استفاده از رابطه (۵-۲۳) برای کنترل کلیه تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو مجاز است.

تذکره ۳: طرف چپ رابطه (۵-۲۳) لازم نیست بزرگتر از بیش‌ترین مقدار (و نه میانگین) حداکثر تلاش کنترل شونده توسط نیرو حاصل از تمام زلزله‌ها درنظر گرفته شود. در اعضای که دارای مکانیزم تسلیم مشخصی هستند (همانند تیرها و ستون‌ها)، این معیار متناظر با رابطه (۵-۲۴) بوده و در اعضای که فاقد مکانیزم تسلیم مشخصی هستند (همانند دیوارهای برشی) این معیار متناظر با رابطه (۵-۲۳) و در برخی موارد محافظه کارانه‌تر از آن خواهد بود.

مقررات ملی و کنترل ساختمان

۳۱۴ ضوابط طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای

جدول (۵-۱۴). مقدار ضریب ۷ در تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو

درجه اهمیت تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو	عواقب احتمالی برآورده نشدن معیار پذیرش	نمونه تلاش‌ها	۷
بحرانی	فروریزش چندین طبقه یا چندین دهانه از ساختمان	- نیروی محوری فشاری در ستون‌ها - برش ستون‌ها و تیرهای قاب خمشی بتنی - برش در دیوارهای برشی کنترل شونده توسط خمش - تلاش‌های داخل صفحه در دیافراگم در محل ناپیوستگی دیوار برشی - کلیه تلاش‌های تیرهای انتقال دهنده نیروی دیوار یا ستون‌های ناپیوسته - برش پانچ در دال‌های فاقد تسلیحات برشی (مگر به شکل غیرخطی مدل‌سازی شده باشند) - برش یک طرفه و دوطرفه (پانچ) در سازه شالوده - نیروی محوری فشاری و برش در شمع‌ها - اتصالات در جداگرهای لرزه‌ای	۱/۳
غیربحرانی	عدم فروریزش یا فروریزش موضعی در حداکثر یک دهانه و یک طبقه از ساختمان	- نیروی محوری کششی در ستون‌ها - برش ستون‌ها و تیرهای قاب خمشی فولادی - برش در دیوارهای برشی که امکان بازتوزیع نیروی خود به دیوارهای مجاور را دارند - کلیه تلاش‌های مربوط به اتصال پای ستون - کلیه تلاش‌های داخل صفحه دیافراگم کف به جز جمع‌کننده‌ها - کلیه تلاش‌های سازه شالوده به جز برش یک طرفه و دوطرفه (پانچ) - فشار خاک زیر شالوده - نیروی محوری کششی و خمش در شمع‌ها - اتصالات در میراگرها	۱

۵-۴-۶-۷ معیار پذیرش تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها

به منظور کنترل معیار پذیرش تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها لازم است میانگین حداکثر تغییرشکل و نیروی وارده بر میراگرها و جداگرها حاصل از زلزله سطح ۲ کوچکتر از ظرفیت تغییرشکل و ظرفیت نیرویی میراگرها و جداگرها که از طرف شرکت سازنده مشخص شده است باشد.

تذکر: صحت ظرفیت تغییرشکل و ظرفیت نیرویی میراگرها و جداگرها که توسط شرکت سازنده اعلام شده است، باید بر اساس آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول مطابق فصل ۶ احراز شود.



دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



مقررات ملی و کنترل ساختمان

فصل ۶

آزمایشات میراگرها و جداگرها

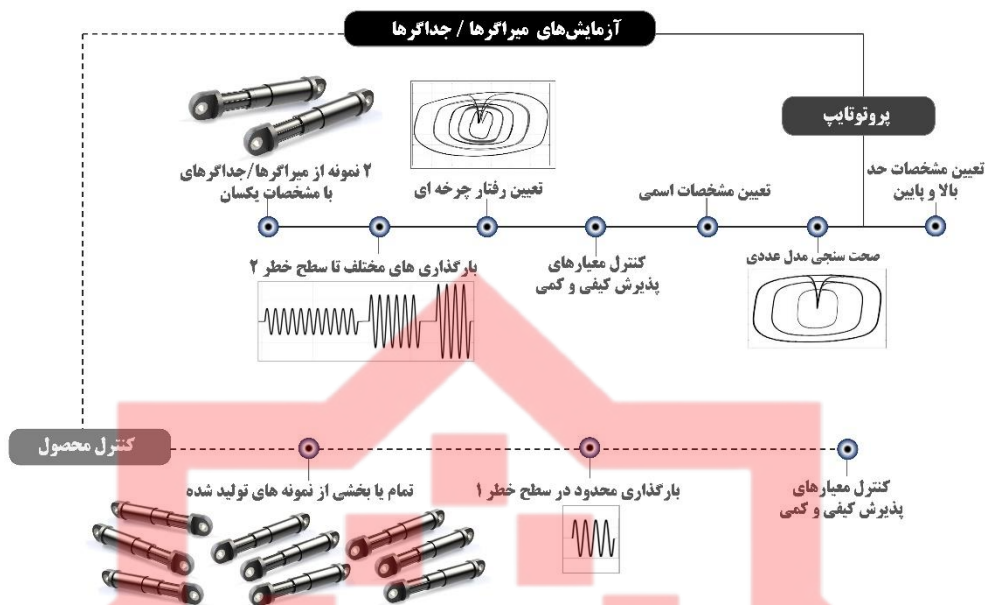
دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



مقررات ملی و کنترل ساختمان

۶-۱ مقدمه

در این فصل الزامات و روند انجام آزمایش میراگرها و جداگرها ارائه شده است. همانطور که در شکل (۶-۱) نشان داده شده است، آزمایش میراگرها و جداگرها شامل دو دسته کلی آزمایش‌های پروتوتایپ و آزمایش‌های کنترل محصول می‌باشد. هدف از آزمایش‌های پروتوتایپ بررسی عملکرد و کارایی میراگرها و جداگرها و تعیین مشخصات اسمی (میانگین) و مشخصات حد بالا و حد پایین آن‌ها است. آزمایش‌های پروتوتایپ بر اساس بارگذاری‌های گسترده و سختگیرانه‌ای انجام می‌شود و طی آن میراگر/جداگر باید معیارهای پذیرش مربوطه را برآورده نماید. همچنین بر اساس مشخصات اسمی میراگر/جداگر، مدل عددی مربوطه پیشنهاد شده و صحت و دقت آن بر اساس نتایج آزمایش‌های پروتوتایپ ارزیابی می‌شود. دسته دیگر آزمایش‌ها مربوط به آزمایش‌های کنترل محصول است که هدف اصلی از انجام آن اطمینان از کیفیت محصول تولید شده برای پروژه و انطباق مشخصات آن با مشخصات اسمی میراگر/جداگر می‌باشد. بعلاوه، آزمایش‌های کنترل محصول تضمین‌کننده آن هستند که مشخصات هر یک از میراگرها/جداگرهای تولیدی، در محدوده حد بالا و حد پایین مشخصات محصول هستند. در مقایسه با آزمایش‌های پروتوتایپ، آزمایش‌های کنترل محصول دارای پروتوکول‌های بارگذاری محدودتری می‌باشند.



شکل (۶-۱). آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها و جداگرها

تذکر ۱: لازم است محل انجام آزمایش، چیدمان و نحوه انجام آزمایش توسط شرکت تولید کننده میراگر/جداگر و با تایید مهندس طراح پروژه و کارفرمای پروژه تعیین شود.

تذکر ۲: در آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها لازم است جزئیات اتصالات میراگرها در چیدمان آزمایش تا حد امکان مشابه جزئیات اتصالات میراگرها در سازه اصلی باشد.

تذکر ۳: توصیه می‌شود تمام یا بخشی از آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در حضور کارفرما و مهندس طراح یا نمایندگان آنها انجام شود. در صورتی که آزمایش‌های پروتوتایپ قبلاً توسط شرکت سازنده میراگر/جداگر انجام شده است، لازم است نتایج آزمایش‌ها، تصاویر و سایر مستندات مربوطه توسط شرکت سازنده میراگر/جداگر به مهندس طراح ارائه شود.

تذکر ۴: لازم است گزارش آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول به صورت مکتوب توسط مهندس طراح تهیه شده و در دفترچه محاسبات مربوط به پروژه آورده شود. در صورت تایید مهندس طراح، گزارش آزمایش‌ها می‌تواند توسط شرکت تولید کننده نیز تهیه شود. علاوه بر

نتایج، لازم است از مراحل آزمایش فیلم برداری و عکس برداری انجام شده و ضمیمه گزارش آزمایش‌ها گردد.

تذکره ۵: به جز برای میراگرهای تسلیم شونده‌ای که عملکردشان مبتنی بر رفتار غیرالاستیک اعضای فولادی است، در سایر میراگرها و کلیه جداگرها لازم است آزمایش‌های پروتوتایپ به صورت دینامیکی انجام شوند. در صورتی که در آزمایش‌های پروتوتایپ نشان داده شود که رفتار میراگر یا جداگر در آزمایش دینامیکی و آزمایش شبه استاتیکی یکسان است، می‌توان در آزمایش‌های کنترل محصول، پروتوکل بارگذاری را به صورت شبه استاتیکی بر میراگر یا جداگر اعمال نمود. لازم به ذکر است، حتی در میراگرها و جداگرهایی که از نظر تئوری وابسته به سرعت نیستند، رفتار میراگرها یا جداگر می‌تواند به دلیل پدیده خود گرمایی (افزایش دما به دلیل استهلاک انرژی) تغییر کند. همچنین در میراگرها و جداگرهایی که عملکرد اصطکاکی دارند، ضریب اصطکاک بسته به جزئیات سطوح لغزش، می‌تواند تابعی از سرعت و حرارت ناشی از خود گرمایی باشد. بنابراین تنها در شرایطی آزمایش‌ها می‌توانند به صورت شبه استاتیکی باشند که اطمینان حاصل شود اعمال پروتوکل به صورت دینامیکی و شبه استاتیکی، تاثیر قابل توجهی بر رفتار میراگر یا جداگر ندارد. در خصوص میراگرهای وابسته به سرعت، تمام آزمایش‌ها باید به صورت دینامیکی انجام شوند.

تذکره ۶: در برخی از میراگرها و جداگرها، به دلایلی از جمله جوش سرد، شکست اصطکاک، پیش کرنشی، رفتار میراگر و جداگر در اولین چرخه می‌تواند متفاوت از سایر چرخه‌ها باشد. بنابراین به منظور بررسی این پدیده‌ها، پیش از انجام آزمایش بر روی میراگرها و جداگرها، نباید به آن‌ها تغییر شکل یا لغزش اولیه‌ای اعمال شود. اعمال تغییر شکل‌های محدود به میراگر و جداگر به منظور تنظیم چیدمان آزمایش بلامانع است لیکن قبل شروع آزمایش لازم است میراگر و جداگر در حالت سکون (سرعت صفر) قرار داشته و سپس پروتوکل بارگذاری اعمال شود.

تذکره ۷: به منظور انجام آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها و جداگرها، به جای استفاده از الزامات و معیارهای پذیرش این فصل، می‌توان از الزامات و معیارهای پذیرش ارائه شده در آخرین نسخه استاندارد ASCE 7 و یا استاندارد ۲۸۰۰ استفاده نمود.

تذکره ۸: به منظور انجام صحیح آزمایش لازم است توجه ویژه‌ای به نحوه طراحی و ساخت چیدمان آزمایش شود. عدم توجه به طراحی و ساخت چیدمان صحیح، می‌تواند منجر به آسیب به نمونه‌ها و یا تجهیزات آزمایشگاهی شود. همچنین لازم است تمهیدات ایمنی به منظور حفاظت از پرسنل در محل آزمایشگاه اتخاذ گردد.

۶-۲ آزمایش میراگرها

۶-۲-۱ آزمایش‌های پروتوتایپ

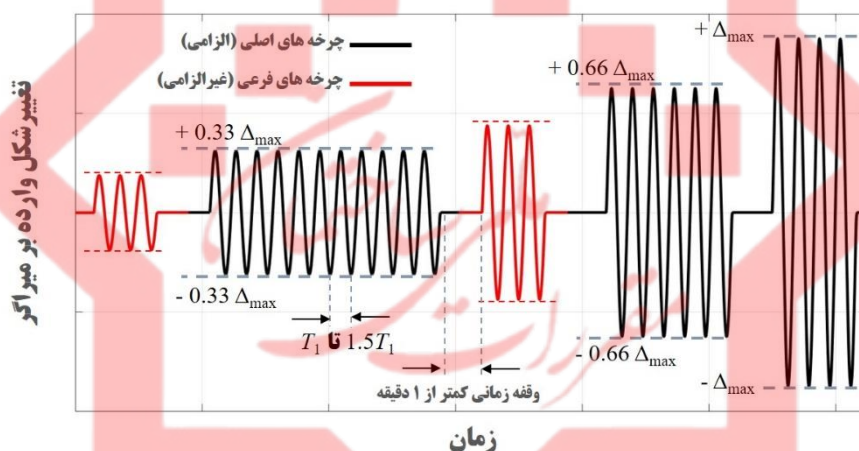
آزمایش‌های پروتوتایپ لازم است حداقل بر روی دو نمونه با مقیاس کامل از میراگرهای با مشخصات یکسان انجام شوند. در صورتی که به دلیل محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی، امکان انجام آزمایش بر روی نمونه با مقیاس کامل وجود نداشته باشد، در صورت تایید مهندس طراح، می‌توان آزمایش‌های پروتوتایپ را بر روی نمونه‌های با مقیاس کوچک انجام داد به شرطی که ظرفیت نیرویی و تغییرشکلی میراگر مقیاس شده از ۵۰٪ ظرفیت نیرویی و تغییرشکلی میراگر با مقیاس کامل کوچکتر نباشد. سایر مشخصات رفتار چرخه‌ای میراگر مقیاس شده لازم است مشابه میراگر با مقیاس کامل باشد. همچنین لازم است نوع مصالح، فشار سیال، ضریب اصطکاک، روند ساخت و کنترل کیفیت نمونه مقیاس شده مشابه نمونه با مقیاس کامل بوده و قوانین مقیاس در تعیین دامنه و سرعت بارگذاری رعایت شود.

تذکره: تنها آزمایش‌های پروتوتایپ می‌توانند به صورت مقیاس کوچک انجام شوند. آزمایش‌های کنترل محصول باید در مقیاس کامل و بر روی میراگرهای تولید شده برای پروژه انجام شوند. بنابراین ضروری است که مهندس طراح در هنگام طراحی میراگرهای سازه به محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی توجه داشته و در صورت نیاز امکان تولید و آزمایش مشخصات طراحی شده برای میراگر را از شرکت‌های تولید کننده میراگر استعلام نماید.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۶-۱-۲-۱-۱ آزمایش مربوط به بارهای لرزه‌ای

به منظور انجام آزمایش مربوط به بارهای لرزه‌ای، لازم است میراگر حداقل تحت ۲۱ چرخه هارمونیک کامل با زمان تناوبی بین T_1 تا $1.5T_1$ قرار گیرد که در آن ۱۱ چرخه اول با دامنه‌ای حداقل برابر با $0.33\Delta_{max}$ ، ۶ چرخه دوم با دامنه‌ای حداقل برابر با $0.66\Delta_{max}$ و ۴ چرخه سوم با دامنه‌ای حداقل برابر با Δ_{max} اعمال می‌شوند. مقدار T_1 برابر با زمان تناوب مد اصلی ساختمان در امتداد قرارگیری میراگرها بوده و Δ_{max} حداکثر تغییرشکل میراگر تحت زلزله سطح ۲ است که بر اساس نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با فرض مشخصات اسمی میراگر تخمین زده شده است (مطابق روند ارائه شده در بند ۵-۴-۷). این پروتکل بارگذاری در شکل (۶-۲) نشان داده شده است.



شکل (۶-۲). پروتکل‌های اصلی و فرعی در آزمایش‌های پرتونایپ

تذکره ۱: در خصوص میراگرهای وابسته به تغییرشکل (تسلیم شونده و اصطکاکی) می‌توان یکی از چرخه‌های هر دامنه را حذف نمود و بدین ترتیب جمعا ۱۸ چرخه کامل به میراگر اعمال نمود که در آن ۱۰ چرخه اول با دامنه‌ای حداقل برابر با $0.33\Delta_{max}$ ، ۵ چرخه دوم با دامنه‌ای حداقل برابر با $0.66\Delta_{max}$ و ۳ چرخه سوم با دامنه‌ای حداقل برابر با Δ_{max} اعمال می‌شوند.

تذکر ۲: در میراگرهای تسلیم شونده فولادی می‌توان آزمایش‌های پروتوتایپ را به صورت شبه استاتیکی انجام داد. لیکن در سایر میراگرها لازم است آزمایش‌های پروتوتایپ به صورت دینامیکی انجام شوند.

تذکر ۳: به جز در آزمایش‌های شبه استاتیکی (که تنها برای میراگرهای تسلیم شونده فولادی مجاز هستند)، در سایر آزمایش‌های پروتوتایپ دینامیکی لازم است کلیه چرخه‌ها به صورت پیوسته اعمال شده و در لحظه تغییر دامنه مطابق شکل (۶-۲) وقفه‌ای کوتاه در بارگذاری در نظر گرفته شود. این وقفه الزاماً باید در هنگام تغییر دامنه بارگذاری در نظر گرفته شده اما نباید بیش از ۱ دقیقه باشد. همچنین در حین آزمایش نباید از وسایل خنک کننده به منظور کاهش دمای میراگر استفاده شود.

تذکر ۴: در مورد میراگرهایی که دارای مشخصاتی وابسته به دما هستند (مثل میراگرهای ویسکوالاستیک و پانل ویسکوز)، لازم است آزمایش‌های پروتوتایپ حداقل بر روی یکی از نمونه‌ها علاوه بر دمای محیط آزمایشگاه حداقل در دو دمای θ_{min} و θ_{max} نیز تکرار شوند (θ_{max} و θ_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل دمایی هستند که انتظار می‌رود میراگر در شرایط عادی در طول سال آن‌ها را تجربه کند). این آزمایش در مورد میراگرهایی که در فضای باز نصب می‌شوند از اهمیت بیشتری برخوردار است. در صورتی که اختلاف دمای حداقل و حداکثر مورد انتظار برای محیط قرارگیری میراگر کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد (فضاهای داخلی مجهز به سیستم کنترل دما)، نیازی به انجام آزمایش در دو دمای مختلف نمی‌باشد.

تذکر ۵: سه دامنه معرفی شده در آزمایش‌های پروتوتایپ لرزه‌ای مربوطه به چرخه‌های اصلی بوده و یک الزام حداقلی می‌باشند. توصیه می‌شود، در میراگرهای وابسته به سرعت، به منظور تخمین دقیق‌تر مشخصات رفتاری میراگر، علاوه بر چرخه‌های اصلی، چندین چرخه فرعی نیز در آزمایش‌های پروتوتایپ گنجانده شوند. مطابق شکل (۶-۲) دامنه چرخه‌های فرعی مابین دامنه چرخه‌های اصلی بوده و بدین ترتیب میراگر تحت تغییر شکل‌ها و سرعت‌های بیشتری آزمایش شده و مشخصات میراگر (منحنی نیرو-سرعت) به شکل دقیق‌تری بدست می‌آید. تعداد تکرار چرخه‌های فرعی می‌تواند ۳ تکرار در نظر گرفته شود. اعمال چرخه‌های فرعی الزامی نمی‌باشد. در میراگرهای اصطکاکی و ویسکوالاستیک، اعمال چرخه‌های فرعی پیش از اعمال

اولین چرخه اصلی مجاز نمی‌باشد. بدین ترتیب در صورتی که در این نوع از میراگرها پدیده‌هایی از جمله جوش سرد یا پیش کرنشی قابل توجهی وجود داشته باشد، در آزمایش‌ها خود را نشان خواهد داد.

تذکره ۶: در خصوص میراگرهای وابسته به سرعت، در صورتی که نیروی حداکثر میراگر در آزمایش‌های پروتوتایپ لرزه‌ای از نیروی حداکثر میراگر تحت زلزله سطح ۲ (بر اساس میانگین نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با فرض مشخصات اسمی میراگر) کمتر باشد، لازم است به نحوی از ظرفیت نیرویی کافی میراگر اطمینان حاصل شود. برای این منظور می‌توان علاوه بر چرخه‌های اصلی در آزمایش‌های پروتوتایپ، تعدادی چرخه فرعی با سرعت بالا به میراگر اعمال نمود به طوری که نیروی حداکثر میراگر از نیروی حداکثر میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد. استفاده از سایر راهکارها به منظور اطمینان از ظرفیت نیرویی کافی میراگر نیز با تایید مهندس طراح پروژه مجاز است.

تذکره ۷: زمان تناوب بارگذاری دینامیکی بر اساس این ضابطه می‌تواند مقداری بین T_1 تا $1.5T_1$ در نظر گرفته شود. در سازه‌های با عملکرد استفاده بدون وقفه (IO) یا بهتر تحت زلزله سطح ۲، توصیه می‌شود زمان تناوب بارگذاری برابر T_1 و برای سایر موارد زمان تناوب بارگذاری برابر $1.5T_1$ در نظر گرفته شود. در انتخاب زمان تناوب بارگذاری لازم است به دامنه تغییرشکل و حداکثر ظرفیت سرعت جک آزمایشگاه توجه شود.

تذکره ۸: صرفاً در صورتی که به علت محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی، در هیچ یک از آزمایشگاه‌های موجود در کشور امکان اعمال پروتوکل‌های بارگذاری معرفی شده در این بخش وجود نداشته باشد، با تایید مهندس طراح، کارفرما و متخصص کنترل کننده طراحی، کاهش دامنه Δ_{max} حداکثر به میزان ۳۳٪، مجاز می‌باشد. در این شرایط، علاوه بر انجام آزمایش‌های پروتوتایپ (با دامنه کاهش یافته)، لازم است با استفاده از سایر روش‌ها (همانند نتایج حاصل از آزمایشات گذشته بر روی میراگرهای مشابه، انجام آزمایش با سرعت پایین و یا شبیه سازی عددی)، از ظرفیت تغییرشکلی و نیرویی میراگر تحت زلزله سطح ۲، اطمینان حاصل شود.

۶-۲-۱-۲ آزمایش مربوط به بارهای ناشی از باد

در صورتی که میراگر بر اثر ارتعاشات ناشی از باد فعال شده و شروع به استهلاک انرژی نماید و در طراحی سازه تحت اثر نیروی باد، تاثیر افزایش میرایی لحاظ شده باشد، لازم است حداقل بر روی یکی از نمونه‌ها علاوه بر آزمایش‌های مربوط به بارهای لرزه‌ای (بند ۶-۲-۱-۱)، یکی از دو پروتکل زیر نیز اعمال شود.

پروتکل ۱: اعمال تغییر شکلی برابر با $\Delta_{wind-mean}$ به میراگر سپس اعمال بار هارمونیک شامل حداقل ۲۰۰۰ چرخه با زمان تناوبی معادل T_1 و دامنه‌ای معادل $\Delta_{wind-dyn}$ به میراگر. کمیت‌های $\Delta_{wind-mean}$ و $\Delta_{wind-dyn}$ به ترتیب تغییرشکل متوسط (مولفه شبه استاتیکی) و تغییرشکل نوسانی (مولفه دینامیکی) ناشی از باد است که به میراگر وارد می‌شوند.

پروتکل ۲: پروتکلی متشکل از بارهای هارمونیک دینامیکی با زمان تناوب، دامنه و تعداد چرخه‌هایی متفاوت با پروتکل ۱ که سبب ایجاد نرخ استهلاک انرژی‌ای مشابه پروتکل ۱ در میراگر گردد. نرخ استهلاک انرژی عبارت است از کل انرژی مستهلک شده توسط میراگر تقسیم بر کل مدت زمان بارگذاری میراگر. در این پروتکل تعداد چرخه‌های وارده بر میراگر نباید کمتر از ۵۰۰ چرخه در نظر گرفته شود.

تذکر ۱: آزمایش پروتوتایپ باد بر روی نمونه‌هایی اعمال می‌شود که بر روی آن‌ها آزمایش پروتوتایپ لرزه‌ای اعمال شده و یا قرار است اعمال شود. مابین انجام آزمایش پروتوتایپ باد و آزمایش پروتوتایپ لرزه‌ای لازم است وقفه زمانی کافی ایجاد شود به طوری که قبل از شروع هر یک از آزمایش‌ها، دمای میراگر با دمای محیط آزمایشگاه متعادل شده باشد.

تذکر ۲: صرفنظر از آن که از چه پروتکلی برای آزمایش باد استفاده شود، لازم است پروتکل انتخاب شده به صورت دینامیکی و پیوسته و بدون وقفه به میراگر اعمال شده و دمای میراگر در حین انجام آزمایش ثبت شود. همچنین در حین آزمایش نباید از تجهیزات خنک کننده به منظور کاهش دمای میراگر استفاده شود.

تذکر ۳: در صورتی که ساختمان بدون حضور میراگرها قادر به تامین معیارهای پذیرش مربوط به بار باد باشد، می‌توان از انجام آزمایش‌های مربوط به بارهای ناشی از باد صرفنظر نمود.

۶-۲-۲ معیارهای پذیرش آزمایش‌های پروتوتایپ

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها لازم است میراگرهای آزمایش شده قادر به تامین معیارهای پذیرش آزمایش‌های پروتوتایپ باشند. معیارهای پذیرش شامل دو دسته معیارهای کیفی و معیارهای کمی می‌باشند.

۶-۲-۲-۱ معیارهای پذیرش کیفی

در کلیه آزمایش‌های پروتوتایپ لازم است میراگر بدون آسیب مانده و شواهدی از بروز گسیختگی، کمانش غیرمنتظره، تغییرشکل غیرمنتظره، ترک خوردگی و یا نشستی در میراگر یافت نشود. همچنین لازم است میراگر به صورت چشمی دارای رفتار چرخه‌ای نیرو-تغییرشکل پایداری بوده و فاقد زوال شدید در سختی یا مقاومت باشد.

تذکر: معیارهای پذیرش کمی ارائه شده در بند ۶-۲-۲-۲ تنها زمانی محقق می‌شوند که رفتار چرخه‌ای نیرو-تغییرشکل میراگر پایدار بوده و چرخه‌های با دامنه یکسان تقریباً بر روی یکدیگر قرار گرفته باشند. در صورتی که چرخه‌های با دامنه یکسان در منحنی نیرو-تغییرشکل میراگر تقریباً بر روی یکدیگر قرار داشته باشند، کلیه معیارهای پذیرش کمی بند ۶-۲-۲-۲ برآورده خواهند شد.

۶-۲-۲-۲ معیارهای پذیرش کمی

معیارهای پذیرش کمی که در این دستورالعمل تحت عنوان معیارهای ۱۵٪ نیز اطلاق شده‌اند، به منظور ارزیابی کمی پایداری رفتار چرخه‌ای میراگرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است محدودیت ۱۵٪ معرفی شده در این بند در صورت تایید مهندس طراح می‌تواند تا ۲۰٪ افزایش یابد به شرطی که اثر آن در محاسبه حد بالا و پایین مشخصات میراگر لحاظ گردد. نحوه انجام کنترل معیارهای پذیرش کمی به همراه نمونه‌ای از انجام آن در شکل (۶-۳) نشان داده شده است.

تذکر ۱: در میراگرهای وابسته به تغییر شکل، لازم است معیار ۱۵٪ برای تمام چرخه‌های اصلی (الزامی) وارده بر میراگر کنترل شود.

تذکر ۲: در میراگرهای وابسته به سرعت، در نیم چرخه ابتدایی و انتهایی نیازی به انجام کنترل معیار ۱۵٪ نمی‌باشد چرا که در بارگذاری‌های هارمونیک در نیم چرخه ابتدایی و انتهایی، بارگذاری چک آزمایشگاه از شرایط هارمونیک خارج خواهد شد. بنابراین در پروتکل‌های

بارگذاری مشخص شده در بند ۶-۲-۱-۱ میراگرهای وابسته به سرعت نسبت به میراگرهای وابسته به تغییرشکل دارای یک چرخه اضافی در هر دامنه هستند.

■ معیار ۱۵٪ برای نیروی میراگر در تغییرشکل صفر

در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است نیروی میراگر در تغییرشکل صفر، در مقایسه با مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌های آن دامنه، بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است روابط (۶-۱) و (۶-۲) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta 0}^+)_{i} - \overline{P_{\Delta 0}^+}}{P_{\Delta 0}^+} < +0.15 \quad (۶-۱)$$

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta 0}^-)_{i} - \overline{P_{\Delta 0}^-}}{P_{\Delta 0}^-} < +0.15 \quad (۶-۲)$$

در روابط فوق $(P_{\Delta 0}^+)_{i}$ و $(P_{\Delta 0}^-)_{i}$ نیروی میراگر در تغییرشکل صفر در چرخه i ام به ترتیب در جهات مثبت و منفی بوده و $\overline{P_{\Delta 0}^+}$ و $\overline{P_{\Delta 0}^-}$ میانگین نیروی میراگر در تغییرشکل صفر به ترتیب در جهات مثبت و منفی می‌باشند (میانگین‌گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). مقادیر امتداد مثبت باید با علامت مثبت و مقادیر در امتداد منفی باید با علامت منفی در روابط قرار داده شوند.

■ معیار ۱۵٪ برای نیروی میراگر در تغییرشکل حداکثر

در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است نیروی میراگر در تغییرشکل حداکثر، در مقایسه با مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها، بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است روابط (۶-۳) و (۶-۴) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta max}^+)_{i} - \overline{P_{\Delta max}^+}}{P_{\Delta max}^+} < +0.15 \quad (۶-۳)$$

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta max}^-)_{i} - \overline{P_{\Delta max}^-}}{P_{\Delta max}^-} < +0.15 \quad (۶-۴)$$

در روابط فوق $(P_{\Delta max}^+)_{i}$ و $(P_{\Delta max}^-)_{i}$ نیروی میراگر در تغییرشکل حداکثر در چرخه i ام به ترتیب در جهات مثبت و منفی بوده و $\overline{P_{\Delta max}^+}$ و $\overline{P_{\Delta max}^-}$ میانگین نیروی میراگر

در تغییرشکل حداکثر به ترتیب در جهات مثبت و منفی می‌باشند (میانگین‌گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). مقادیر امتداد مثبت باید با علامت مثبت و مقادیر در امتداد منفی باید با علامت منفی در روابط قرار داده شوند.

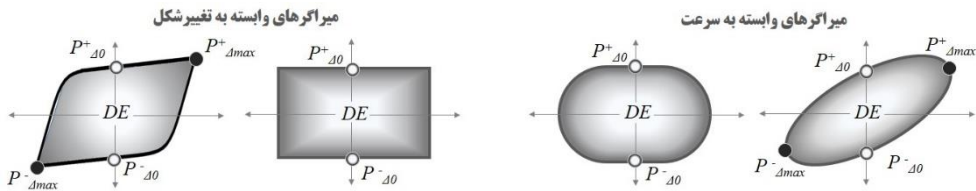
تذکره ۳: در میراگرهای وابسته به سرعت و فاقد سختی استاتیکی (همانند میراگرهای ویسکوز، میراگرهای پانل ویسکوز و میراگرهای روغنی) که نیروی میراگر در تغییرشکل حداکثر برابر یا نزدیک به صفر است، نیازی به انجام این کنترل نمی‌باشد.

▪ معیار ۱۵٪ برای انرژی مستهلک شده در هر چرخه

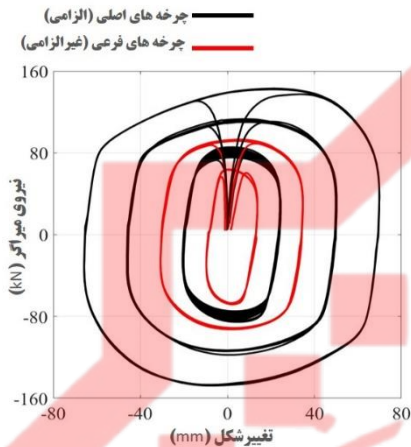
در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است انرژی مستهلک شده در هر چرخه، در مقایسه با مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها، بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است رابطه (۵-۶) برقرار باشد:

$$-0.15 < \frac{(DE)_i - \overline{DE}}{\overline{DE}} < +0.15 \quad (5-6)$$

در رابطه فوق $(DE)_i$ انرژی مستهلک شده توسط میراگر در چرخه i ام بوده و $\overline{DE}$ میانگین انرژی مستهلک شده توسط میراگر می‌باشد (میانگین‌گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). انرژی مستهلک شده توسط میراگر در هر چرخه برابر است با مساحت داخل چرخه در منحنی نیرو-تغییرشکل میراگر.



کنترل معیار ۱۵٪ تنها برای چرخه‌های اصلی الزامی است



نمونه‌ای از کنترل معیارهای پذیرش میراگرهای وابسته به سرعت

شماره سیکل	حداکثر نیروی کششی (kN)	اختلاف با مقدار میانگین (°)	حداکثر نیروی فشاری (kN)	اختلاف با مقدار میانگین (°)	انرژی ممتد (kN.m)	اختلاف با مقدار میانگین (°)
1	-85.4	7	-85.4	7	5.8	-3
2	85.3	5	-82.7	4	6.2	4
3	83.7	3	-81.6	3	6.0	2
4	82.2	2	-80.4	1	6.1	3
5	81.2	0	-79.3	0	5.9	0
6	79.8	-1	-78.1	-2	5.9	0
7	78.7	-2	-77.2	-3	5.8	-2
8	78.0	-4	-76.4	-4	5.9	0
9	76.9	-5	-75.6	-5	5.8	-2
10	76.0	-6	-74.9	-6	5.7	-4
11	75.3	-6	-74.9	-6	5.7	-4
میانگین	79.7		-79.6		5.9	
شماره سیکل	حداکثر نیروی کششی (kN)	اختلاف با مقدار میانگین (°)	حداکثر نیروی فشاری (kN)	اختلاف با مقدار میانگین (°)	انرژی ممتد (kN.m)	اختلاف با مقدار میانگین (°)
1	-112	1	-118	3	18.4	0
2	112	-1	-113	-1	18.4	0
3	109	-1	-113	-1	18.4	0
4	110	0	-113	-1	18.4	0
5	110	0	-114	0	18.4	0
6	111	1	-114	0	18.0	-2
میانگین	110.4		-114.2		18.3	
شماره سیکل	حداکثر نیروی کششی (kN)	اختلاف با مقدار میانگین (°)	حداکثر نیروی فشاری (kN)	اختلاف با مقدار میانگین (°)	انرژی ممتد (kN.m)	اختلاف با مقدار میانگین (°)
1	-145	0	-146	0	32.5	-1
2	140	0	-146	0	33.1	1
3	139	0	-146	0	33.0	1
4	139	0	-147	1	32.4	-1
میانگین	139.3		-146		32.8	

شکل (۳-۶). کمیت‌های لازم در رفتار چرخه‌ای میراگرها به منظور انجام کنترل ۱۵٪ به همراه نمونه‌ای از انجام

کنترل ۱۵٪

۶-۲-۳ تعیین مشخصات اسمی میراگر

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌های پروتوتایپ، مشخصات اسمی میراگر تعیین می‌شود. برای این منظور لازم است کلیه کمیت‌های موثر در رفتار میراگر (نیروی تسلیم، سختی اولیه، سختی پس از تسلیم، نیروی لغزش، ضریب میرایی، توان سرعت و ...) بر اساس میانگین نتایج در چرخه‌های مختلف بدست آورده شود. کمیت‌های موثر در رفتار میراگرهای مختلف در فصل ۲ ارائه شده است.

تذکره ۱: در خصوص میراگرهای وابسته به سرعت نباید نتایج حاصل از نیم چرخه ابتدایی و انتهایی آزمایش در میانگین‌گیری مشارکت داده شود. دلیل این امر آن است که در نیم چرخه

ابتدایی و انتهایی بارگذاری هارمونیک نبوده و در لحظه ابتدایی و انتهایی آزمایش سرعت و تغییرشکل هم زمان صفر هستند (در بارگذاری هارمونیک چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد).

تذکر ۲: برای میراگرهای آزمایش شده، لازم است مشخصات مدل عددی تعیین گردد به طوری که مدل عددی بتواند رفتار واقعی میراگر را در دامنه‌های مختلف با دقت مناسبی شبیه سازی کند به نحوی که خطای مدل عددی در تخمین متوسط نیروی میراگر در تغییرشکل صفر، حداقل در دو دامنه $0.67\Delta_{max}$ و Δ_{max} کوچکتر از ۱۰٪ باشد. همچنین لازم است خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط میراگر در دو دامنه $0.67\Delta_{max}$ و Δ_{max} کوچکتر از ۱۰٪ باشد. در صورتی که معیار مربوط به انرژی مستهلک شده برآورده نشود، لازم است اثر خطای مدل عددی مطابق بند ۶-۲-۴ از طریق ضریب λ_{model} در مشخصات حد پایین میراگر نظر گرفته شود. تحت هیچ شرایطی خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط میراگر در دو دامنه $0.67\Delta_{max}$ و Δ_{max} نباید فراتر از ۳۰٪ باشد.

تذکر ۳: در بررسی دقت مدل میراگرهای وابسته به سرعت لازم است حتماً تحریک وارده بر مدل عددی بر اساس تغییرشکل واقعی وارد شده بر میراگر باشد و نه تغییرشکل تعریف شده به جک آزمایشگاه. چرا که این دو تغییرشکل لزوماً دارای سرعت یکسانی نمی‌باشند (به ویژه در دامنه‌های بالا که جک آزمایشگاه به ظرفیت سرعت نهایی خود نزدیک می‌شود).

تذکر ۴: در آزمایش‌های پروتوتایپ از هر نوع از میراگرها حداقل دو نمونه مشابه آزمایش می‌شوند. بنابراین مشخصات اسمی میراگر بر اساس نتایج میانگین بدست آمده از هر دو نمونه تعیین شده و بدین ترتیب هر دو نمونه مشخصات اسمی یکسانی خواهند داشت اگرچه ممکن است نتایج آن‌ها اندکی با یکدیگر متفاوت باشد. تاثیر این تغییرات در رفتار میراگر در بند ۶-۲-۴ توسط ضرایب حد بالا و پایین مشخصات میراگر در نظر گرفته خواهد شد.

تذکر ۵: مشخصات اسمی بدست آمده بر اساس آزمایش‌های پروتوتایپ نباید بیش از ۱۵٪ نسبت به مشخصات مدنظر مهندس طراح که در کنترل فاز ۱ مطابق بند ۵-۲-۵ در نظر گرفته شده است، تفاوت داشته باشند. در غیر این صورت مطابق بند ۵-۲-۵ لازم است کلیه تحلیل‌های

سازه یک بار دیگر با اصلاح مشخصات میراگرها بر اساس نتایج آزمایشات تکرار شود (کنترل فاز ۲) و نتایج جدید ملاک کنترل معیارهای پذیرش سازه قرار گیرند.

۴-۲-۶ تعیین حد بالا و حد پایین مشخصات میراگر

وجود عدم قطعیت در مشخصات مصالح و جزئیات و ابعاد قطعات تشکیل دهنده میراگر سبب بروز اختلافی اندک در رفتار میراگرهای مختلف خواهد شد، حتی اگر تمام میراگرهای یکسان بر اساس یک جزئیات و یک روش با یک میزان از سطح کنترل کیفیت ساخته شده باشند. علاوه بر آن، عواملی از جمله تعداد چرخه‌ها، خود گرمایی میراگر (به واسطه استهلاک انرژی)، سخت شوندگی مصالح تسلیم شونده، تغییر مشخصات اصطکاکی سطوح لغزش، اختلاف اندک در نیروی پیش تنیدگی بولت‌های میراگر، تغییرات جزئی در خواصل سیال ویسکوز، اختلاف اندک در جزئیات اورفیس‌ها و ... نیز بر رفتار میراگرهای تولید شده تاثیرگذار است. همچنین عوامل محیطی از قبیل گذر زمان و تغییرات دمای محیط نیز می‌تواند بر رفتار برخی از میراگرها تاثیرگذار باشد. علاوه بر موارد فوق، مدل‌های عددی متداول برای شبیه سازی میراگرها ممکن است به شکل دقیق نتوانند رفتار میراگر را شبیه سازی کنند و در برخی موارد ممکن است انرژی مستهلک شده توسط میراگر را بیش از مقدار واقعی شبیه سازی کنند. به منظور در نظر گرفتن تغییرات فوق، لازم است علاوه بر مشخصات اسمی میراگر، مشخصات حد بالا و حد پایین میراگرها نیز تخمین زده شود. برای این منظور لازم است مشخصات اسمی میراگر در ضرایب حد بالا (λ_{max}) و حد پایین (λ_{min}) ضرب شوند که این دو کمیت به ترتیب مطابق روابط (۶-۶) و (۷-۶) تعیین می‌شوند.

$$\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{a\theta, max} - 1)]\lambda_{cyc, max}\lambda_{p, max} \quad (6-6)$$

$$\lambda_{min} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{a\theta, min})]\lambda_{cyc, min}\lambda_{p, min}\lambda_{model} \quad (7-6)$$

در روابط فوق λ ضریبی مثبت می‌باشد که در صورتی که اندیس max داشته باشد مقدارش بزرگتر از ۱ و در صورتی که اندیس min داشته باشد مقدارش کوچکتر از ۱ خواهد بود. ضرایب فوق عبارتند از:

ضریب $\lambda_{a\theta}$: این ضریب به منظور در نظر گرفتن اثر گذر زمان و تغییرات دمای محیط بر مشخصات میراگر است. به جز در میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای پانل ویسکوز، برای سایر میراگرهای معرفی شده در این ضابطه در صورتی که قطعات اصلی میراگر از خوردگی و زوال محافظت شده باشند مقدار $\lambda_{a\theta, \max}$ و $\lambda_{a\theta, \min}$ را می‌توان به ترتیب برابر با ۱/۰۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفت. در خصوص میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای پانل ویسکوز لازم است این ضریب مطابق تذکر ۴ بند ۶-۲-۱ بر اساس آزمایش میراگر در دمای حداکثر و حداقل مورد انتظار بر آورد گردد.

ضریب λ_{cyc} : به منظور در نظر گرفتن تغییرات مشخصات میراگر در چرخه‌های مختلف بارگذاری و در نظر گرفتن اثراتی همانند خود گرمایی، شکست اصطکاکی، پیش کرنشی و ... در میراگر می‌باشد. برای میراگرهای وابسته به سرعت مقدار $\lambda_{cyc, \max}$ و $\lambda_{cyc, \min}$ بر اساس نتایج حاصل از کنترل ۱۵٪ برای نیروی میراگر در تغییر شکل صفر در آزمایش پروتوتایپ مربوط به دامنه $\Delta_{\max}$ بدست می‌آید. برای این منظور لازم است نتایج حاصل از روابط (۶-۱) و (۶-۲) در هر چرخه با عدد ۱ جمع شده و بزرگترین و کوچکترین عدد حاصله به ترتیب به عنوان $\lambda_{cyc, \max}$ و $\lambda_{cyc, \min}$ در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال بر اساس نمونه نتایج ارائه شده در شکل (۶-۳) مقادیر $\lambda_{cyc, \max}$ و $\lambda_{cyc, \min}$ به ترتیب برابر با ۱/۰۱ و ۰/۹۹ می‌باشد. برای میراگرهای وابسته به تغییر شکل مقدار $\lambda_{cyc, \max}$ و $\lambda_{cyc, \min}$ بر اساس نتایج حاصل از کنترل ۱۵٪ برای نیروی میراگر در تغییر شکل حداکثر در آزمایش پروتوتایپ مربوط به دامنه $\Delta_{\max}$ بدست می‌آید. برای این منظور لازم است نتایج حاصل از روابط (۶-۳) و (۶-۴) در هر چرخه با عدد ۱ جمع شده و بزرگترین و کوچکترین عدد حاصله به ترتیب به عنوان $\lambda_{cyc, \max}$ و $\lambda_{cyc, \min}$ در نظر گرفته شوند. صرف نظر از نوع میراگر، هرچقدر رفتار میراگر پایدارتر بوده و چرخه‌های مختلف در هر دامنه به شکل دقیق تری بر روی یکدیگر قرار داشته باشند، ضریب λ_{cyc} به عدد ۱ نزدیکتر خواهد بود.

ضریب λ_p : به منظور در نظر گرفتن تغییرات مشخصات محصولات تولیدی با مشخصات اسمی در نظر گرفته می‌شود. مقدار آن بر اساس پراکندگی نتایج میانگین حاصل از آزمایش‌های پروتوتایپ در مقایسه با مشخصات اسمی تعیین می‌شود. برای میراگرهای تسلیم شونده، اصطکاکی و ویسکوالاستیک از هر نوع که حداقل دو نمونه از آنها تحت آزمایش‌های پروتوتایپ

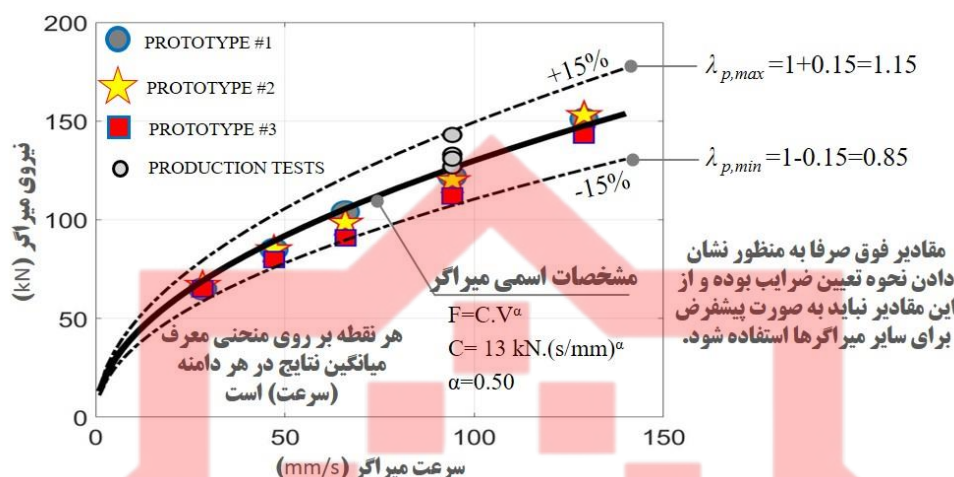
قرار گرفته‌اند، ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ به ترتیب برابر هستند با بیشترین و کمترین مقدار نسبت $\overline{P_{\Delta max}^+}$ و $\overline{P_{\Delta max}^-}$ در هر یک از نمونه‌های آزمایش شده، به میانگین $\overline{P_{\Delta max}^+}$ و $\overline{P_{\Delta max}^-}$ حاصل از تمام نمونه‌های آزمایش شده. لازم است این ضرایب حداقل در دو دامنه $0.67\Delta_{max}$ و Δ_{max} محاسبه شده و در نهایت بیشترین و کمترین ضریب به عنوان $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ در نظر گرفته شوند. برای میراگرهای ویسکوز، پانل ویسکوز و روغنی از هر نوع که حداقل دو نمونه از آن‌ها تحت آزمایش‌های پروتوتایپ قرار گرفته‌اند، ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ به ترتیب برابر هستند با بیشترین و کمترین مقدار نسبت $\overline{P_{\Delta 0}^+}$ و $\overline{P_{\Delta 0}^-}$ در هر یک از نمونه‌های آزمایش شده، به میانگین $\overline{P_{\Delta 0}^+}$ و $\overline{P_{\Delta 0}^-}$ حاصل از تمام نمونه‌های آزمایش شده. لازم است این ضرایب حداقل در دو دامنه $0.67\Delta_{max}$ و Δ_{max} محاسبه شده و در نهایت بیشترین و کمترین ضریب به عنوان $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ در نظر گرفته شوند. نمونه‌ای از تعیین ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ برای میراگرهای ویسکوز در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.

تذکره ۱: مطابق شکل (۴-۶) به منظور تعیین دقیق تر ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ می‌توان از نتایج آزمایش‌های کنترل محصول نیز استفاده نمود. در این راهنما استفاده از نتایج آزمایش‌های کنترل محصول برای تعیین ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ الزامی نیست، لیکن قابل توصیه است.

تذکره ۲: در اغلب موارد، ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ دارای بیشترین تاثیر در مشخصات حد بالا و حد پایین میراگرها هستند.

ضریب λ_{model} : این ضریب در شرایطی کاربرد دارد که مقدار انرژی مستهلک شده در مدل عددی بیش از ۱۰٪ بزرگتر از انرژی مستهلک شده اندازه‌گیری شده بر اساس نتایج آزمایش باشد و در سایر شرایط مقدار این ضریب برابر با ۱ است. در صورتی که میراگر در رفتار خود به طور محدودی دچار زوال سختی، لقی یا ... باشد، به طوری که نتوان اثر آن را به شکل صریح در مدل عددی اعمال نمود، به منظور در نظر گرفتن خطای مدل عددی لازم است ضریب λ_{model} در مشخصات حد پایین میراگر اعمال شود. مقدار ضریب λ_{model} برابر است با نسبت انرژی مستهلک شده حاصل از آزمایش در تمام چرخه‌های با دامنه $0.67\Delta_{max}$ به انرژی مستهلک شده حاصل از مدل عددی در تمام چرخه‌های این دامنه. این ضریب می‌تواند برای کلیه میراگرهای آزمایش

شده بدست آمده و میانگین ضریب حاصل از تمام نمونه‌ها به عنوان λ_{model} در نظر گرفته شود. مقدار این ضریب همواره کوچکتر از ۱ است.



شکل (۴-۶). نمونه‌ای از محاسبه ضرایب $\lambda_{p,min}$ و $\lambda_{p,max}$ بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول

برای تعیین مشخصات حد بالا و پایین، لازم است ضرایب حد بالا و پایین در مشخصات اسمی مدل عددی میراگر ضرب شوند. این کار به ترتیب زیر انجام می‌شود.

▪ برای میراگرهای تسلیم شونده، ضرایب حد بالا و پایین در مدل عددی به ترتیب بر مقاومت تسلیم و سختی پس از تسلیم میراگر اعمال می‌شوند. سایر مشخصات مدل عددی میراگر از جمله سختی اولیه می‌تواند ثابت و برابر با مقدار اسمی (میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفته شوند.

▪ برای میراگرهای اصطکاکی، ضرایب حد بالا و پایین در مدل عددی تنها بر مقاومت آستانه لغزش میراگر اعمال می‌شوند. سایر مشخصات مدل عددی میراگر از جمله سختی اولیه می‌تواند ثابت و برابر با مقدار اسمی (میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفته شود. در صورتی که میراگر اصطکاکی دارای سختی پس از لغزش باشد، لازم

است مشابه میراگرهای تسلیمی، ضرایب حد بالا و پایین هم در مقاومت آستانه لغزش و هم در سختی پس از لغزش لحاظ شوند.

- برای میراگرهای ویسکوز، میراگرهای پانل ویسکوز و میراگرهای روغنی، ضرایب حد بالا و پایین در مدل عددی تنها بر ضریب میرایی میراگر اعمال می‌شوند. سایر مشخصات مدل عددی میراگر از جمله سختی تراکم ناپذیری و توان سرعت میراگر می‌تواند ثابت و برابر با مقدار اسمی (میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفته شود.
- برای میراگرهای ویسکوالاستیک، ضرایب حد بالا و پایین در مدل عددی بر ضریب میرایی و ضریب سختی میراگر اعمال می‌شوند. به عنوان راهکاری دقیق تر می‌توان ضرایب حد بالا و پایین را به طور جداگانه بر اساس نیروی میراگر در تغییرشکل صفر و تغییرشکل حداکثر بدست آورده و در مدل عددی به ترتیب بر ضریب میرایی و ضریب سختی میراگر اعمال نمود. سایر مشخصات مدل عددی (در صورت وجود) می‌تواند ثابت و برابر با مقدار اسمی (میانگین نتایج آزمایش‌ها) در نظر گرفته شود.

تذکره ۳: معمولاً پراکندگی مشخصات حد بالا و حد پایین نسبت به مشخصات اسمی در میراگرها کوچکتر و یا برابر با پراکندگی مشخصات حد بالا و حد پایین نسبت به مشخصات مورد انتظار در مصالح فولاد و بتن است. بنابراین مطابق بند ۵-۲-۵، برای سازه‌های با سیستم باربرجانبی فولادی، در مواردی که حد بالا و پایین مشخصات میراگرها کمتر از ۲۰٪ با مشخصات اسمی میراگر تفاوت داشته باشند، می‌توان در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی تنها مشخصات اسمی میراگر را مدنظر قرار داد. لازم به ذکر است معیار ۲۰٪ تعیین شده تقریباً برابر با پراکندگی مورد انتظار برای مقاومت تسلیم فولاد است. همچنین، برای سازه‌های با سیستم باربرجانبی بتنی، در مواردی که حد بالا و پایین مشخصات میراگرها کمتر از ۳۰٪ با مشخصات اسمی میراگر تفاوت داشته باشند، می‌توان در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی تنها مشخصات اسمی میراگر را مدنظر قرار داد. لازم به ذکر است معیار ۳۰٪ تعیین شده تقریباً برابر با پراکندگی مورد انتظار برای مقاومت فشاری، مدول الاستیک و ضرایب ترک خوردگی بتن است.

۶-۲-۵ آزمایش‌های کنترل محصول

هدف از آزمایش‌های کنترل محصول، کسب اطمینان از کیفیت و عملکرد میراگرهای تولیدی برای پروژه است و به طور معمول لازم است آزمایش‌های کنترل محصول بر روی تمام میراگرهای تولید شده برای پروژه انجام شوند. پروتکل بارگذاری در آزمایش‌های کنترل محصول شامل اعمال حداقل ۴ چرخه هارمونیک با دامنه $0.67\Delta_{\max}$ و زمان تناوبی بین T_1 تا $1.5T_1$ می‌باشد.

تذکر ۱: میراگرهای تسلیم شونده پس از آزمایش آسیب دیده و نباید در ساختمان استفاده شوند. بنابراین در خصوص میراگرهای تسلیم شونده امکان انجام آزمایش کنترل محصول بر روی تمام میراگرها وجود ندارد. مطابق این ضابطه، صرفاً برای میراگرهای تسلیم شونده‌ای که عملکردشان بر اساس تسلیم فولاد است، لازم است به جای آزمایش تمام میراگرها، از هر مدل از میراگرها حداقل ۱ نمونه به صورت تصادفی انتخاب شده و آزمایش کنترل محصول بر روی آن انجام شود. در صورتی که آزمایش‌های پروتوتایپ بند ۶-۲-۱ بر روی حداقل دو نمونه از هر نوع میراگر تسلیم شونده با مقیاس واقعی که به صورت اختصاصی برای پروژه تولید شده‌اند، انجام شده باشد، نیازی به انجام آزمایش کنترل محصول بر روی آن مدل از میراگر تسلیم شونده در پروژه مدنظر نخواهد بود. لازم به تاکید است تخفیف فوق مبنی بر عدم انجام آزمایش‌های کنترل محصول تنها در صورتی برقرار است که آزمایش‌های پروتوتایپ اولاً بر روی نمونه‌های با مقیاس کامل و دوماً بر روی نمونه‌هایی که اختصاصاً برای پروژه مدنظر تولید شده‌اند، انجام شده باشد. بر اساس توضیحات فوق، در خصوص میراگرهای تسلیم شونده لازم است تعداد میراگرهای تولیدی بیش از تعداد میراگرهایی باشد که در نهایت در سازه نصب می‌شوند، چراکه برخی از آن‌ها پس از انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول دیگر قابل نصب در سازه نخواهند بود.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

تذکر ۲: صرفاً برای میراگرهای تسلیم شونده‌ای که عملکردشان مبتنی بر تسلیم فولاد است، می‌توان آزمایش‌های کنترل محصول را به صورت شبه استاتیکی انجام داد. برای سایر میراگرهای وابسته به تغییر مکان (میراگرهای تسلیم شونده غیر فولادی و میراگرهای اصطکاکی) در صورتی که بر اساس آزمایش‌های پروتوتایپ نشان داده شود که رفتار میراگر تحت بارهای دینامیکی و شبه استاتیکی یکسان است، می‌توان پروتوکل بارگذاری در آزمایش‌های کنترل محصول را به صورت شبه استاتیکی اعمال نمود. برای میراگرهای وابسته به سرعت، آزمایش‌های کنترل محصول باید به صورت دینامیکی انجام شوند.

تذکر ۳: به جز برای میراگرهای تسلیم شونده، برای سایر میراگرهایی که انجام آزمایش‌های پروتوتایپ منجر به آسیب به میراگر نمی‌شود، آزمایش‌های پروتوتایپ می‌توانند به عنوان بخشی از آزمایش‌های کنترل محصول در نظر گرفته شوند. به بیان دیگر، همان میراگری که تحت آزمایش پروتوتایپ قرار گرفته، در پروژه نیز نصب می‌شود. در این صورت لازم است میراگر به طور اختصاصی برای پروژه مدنظر طراحی و تولید شده و با مقیاس کامل مورد آزمایش قرار گرفته باشد. همچنین پس از انجام آزمایش‌های پروتوتایپ نباید هیچ نشانی از آسیب در میراگر مشاهده شده باشد.

۶-۲-۶ معیار پذیرش آزمایش‌های کنترل محصول

کنترل معیارهای پذیرش در آزمایش‌های کنترل محصول مشابه آزمایش‌های پروتوتایپ مطابق بند ۶-۲-۲ می‌باشد که در آن لازم است معیارهای کیفی و کمی برآورده شوند. مشخصات میانگین بدست آمده از آزمایش‌های کنترل محصول باید در محدوده $\lambda_{p,min}$ تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی بدست آمده از آزمایش‌های پروتوتایپ قرار بگیرند. در صورتی که از ابتدا در محاسبه ضرایب $\lambda_{p,min}$ و $\lambda_{p,max}$ ، علاوه بر نتایج آزمایش‌های پروتوتایپ، نتایج حاصل از آزمایش‌های کنترل محصول نیز لحاظ شود (مطابق روند اتخاذ شده در شکل (۶-۴))، این معیار به شکل خودکار برآورده خواهد شد. لیکن در صورتی که ضرایب $\lambda_{p,min}$ و $\lambda_{p,max}$ از ابتدا تنها بر اساس نتایج آزمایش‌های پروتوتایپ بدست آمده باشند، ممکن است نتایج حاصل از

آزمایش‌های کنترل محصول خارج از محدوده $\lambda_{p,min}$ تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی قرار گیرند. در این شرایط، لازم است بازه ضرایب $\lambda_{p,min}$ و $\lambda_{p,max}$ وسیع تر شود به طوری که کلیه نتایج حاصل از آزمایش‌های کنترل محصول در این بازه قرار گیرند. مطابق روابط (۶-۶) و (۶-۷)، تغییر در ضرایب $\lambda_{p,min}$ و $\lambda_{p,max}$ منجر به تغییر در ضرایب مشخصات حد بالا و حد پایین میراگر نیز خواهد شد.

تذکر: در صورتی که آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در بازه زمانی نزدیک به یکدیگر و یا به طور هم زمان انجام می‌شوند، توصیه می‌شود در تعیین ضرایب $\lambda_{p,min}$ و $\lambda_{p,max}$ ، از ابتدا، نتایج آزمایش‌های کنترل محصول نیز لحاظ گردد.

۳-۶ آزمایش جداگرها

۱-۳-۶ آزمایش‌های پروتوتایپ

آزمایش‌های پروتوتایپ لازم است برای هر نوع از جداگرهای پروژه، حداقل بر روی دو نمونه با مقیاس کامل انجام شوند. در صورتی که به دلیل محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی، امکان انجام آزمایش بر روی نمونه با مقیاس کامل وجود نداشته باشد، می‌توان آزمایش‌های پروتوتایپ را بر روی نمونه‌های با مقیاس کوچک انجام داد به شرطی که اولاً ضریب مقیاس از ۱:۲ کوچکتر نباشد، ثانیاً جزئیات، نوع مصالح، ضرایب اصطکاک، روند ساخت و کنترل کیفیت نمونه مقیاس شده مشابیه نمونه با مقیاس کامل بوده و قوانین مقیاس در تعیین دامنه، نیروی محوری و سرعت بارگذاری رعایت شود.

تذکر: تنها آزمایش‌های پروتوتایپ می‌توانند به صورت مقیاس کوچک انجام شوند. آزمایش‌های کنترل محصول باید در مقیاس کامل انجام شوند. بنابراین مهندس طراح در هنگام طراحی جداگرها باید به محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی واقف باشد. بدین منظور، توصیه می‌شود مهندس طراح از شرکت‌های تولید کننده، امکان تولید و آزمایش مشخصات طراحی شده برای جداگرها را استعلام کند.

۶-۳-۱-۱ آزمایش مربوط به بارهای لرزه‌ای

به منظور انجام آزمایش مربوط به بارهای لرزه‌ای، لازم است، مطابق شکل (۶-۵)، جداگر تحت آزمایش‌های شماره ۱ تا ۴ قرار داده شود. کلیه آزمایش‌های پروتوتایپ لازم است به شکل دینامیکی و در زمان تناوبی برابر با زمان تناوب مد اصلی سیستم جداساز انجام شوند. این زمان تناوب لازم است متناظر با زلزله سطح ۲ و بر اساس مشخصات حد پایین جداگرها تعیین شود.

■ آزمایش ۱: اعمال بار محوری فشاری P_G سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۱۲ چرخه به طوری که ۳ چرخه اول دارای دامنه $0.25\Delta_{\max-RotD100}$ ، ۳ چرخه دوم دارای دامنه $0.5\Delta_{\max-RotD100}$ ، ۳ چرخه سوم دارای دامنه $0.66\Delta_{\max-RotD100}$ و ۳ چرخه چهارم دارای دامنه $\Delta_{\max-RotD100}$ باشد که در آنها $\Delta_{\max-RotD100}$ برابر با میانگین حداکثر تغییرشکل برشی مرکز صلبیت سیستم جداساز در راستای بیشینه تحت زلزله سطح ۲ است. مقدار $\Delta_{\max-RotD100}$ باید از نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی فاز ۱ مربوط به مشخصات حد پایین جداگرها تعیین شده و استفاده از روابط تقریبی بخش ۵-۳ به منظور تعیین مقدار $\Delta_{\max-RotD100}$ مجاز نمی‌باشد. در صورتی که در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی فاز ۱ تغییرشکل‌های حداکثر سیستم جداساز تنها در دو امتداد عمود بر یکدیگر (به عنوان نمونه دو امتداد X و Y) بدست آمده باشند، مقدار $\Delta_{\max-RotD100}$ را می‌توان $1/3$ برابر میانگین هندسی حداکثر تغییرشکل مرکز صلبیت سیستم جداساز در دو امتداد عمود بر یکدیگر در نظر گرفت $(\Delta_{\max-RotD100} = 1.3\sqrt{\Delta_{\max,x} \cdot \Delta_{\max,y}})$.

■ آزمایش ۲: اعمال بار محوری $P_{c,max}$ سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۳ چرخه با دامنه $\Delta_{\max-RotD100}$.

■ آزمایش ۳: اعمال بار محوری $P_{c,min}$ سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۳ چرخه با دامنه $\Delta_{\max-RotD100}$.

■ آزمایش ۴: اعمال بار محوری فشاری P_G سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۱۵ چرخه با دامنه $0.75\Delta_{\max-RotD100}$. در این بارگذاری لزومی به اعمال هر ۱۵ چرخه به صورت

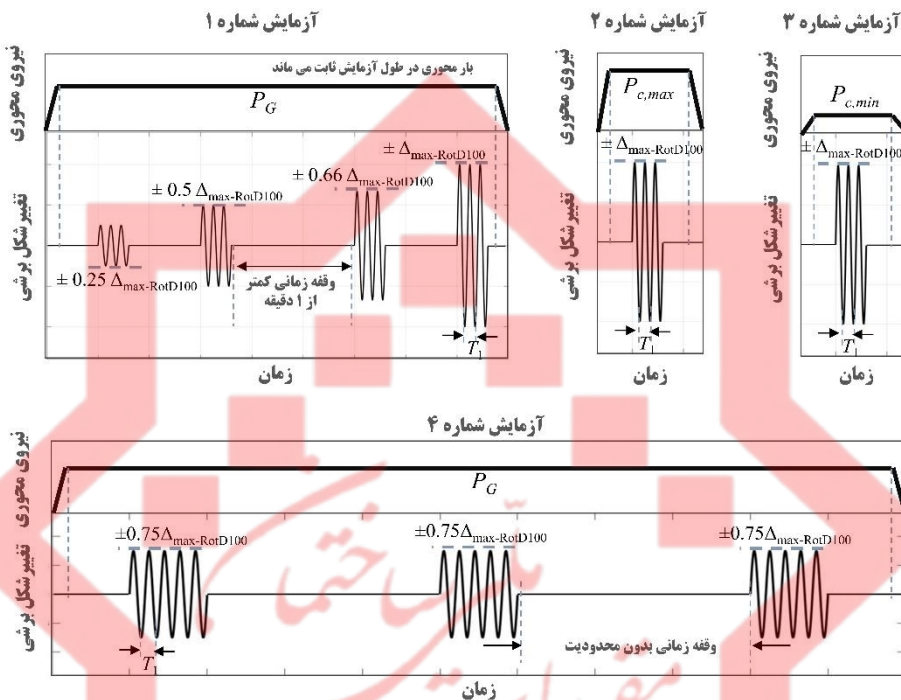
پیوسته نبوده و می‌توان آزمایش را در سه بخش مجزا که هر بخش شامل ۵ چرخه پیوسته باشد انجام داد.

در آزمایش‌های فوق بار P_G عبارت است از بار محوری ثقلی وارده بر جداگر. برای محاسبه آن می‌توان با استفاده از ترکیب بار ثقلی مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، بار محوری وارده بر تمام جداگرهای مشابه با جداگر مورد آزمایش را بدست آورده و از میانگین آن‌ها به عنوان P_G استفاده نمود. همچنین $P_{c,max}$ برابر است با میانگین حداکثر نیروی فشاری وارده بر جداگرهای مشابه با جداگر مورد آزمایش و $P_{c,min}$ برابر است با میانگین حداقل نیروی فشاری وارده بر جداگرهای مشابه با جداگر مورد آزمایش که باید هر دو در زلزله سطح ۲ تخمین زده شوند. برای تخمین نیروهای محوری $P_{c,max}$ و $P_{c,min}$ باید از نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی فاز ۱ مربوط به مشخصات حد پایین جداگرها، استفاده نمود. لازم به تاکید است که در سازه‌های دارای سیستم جداساز لرزه‌ای باید مولفه قائم شتاب نگاشت همزمان با دو مولفه افقی شتاب نگاشت زلزله در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در نظر گرفته شده باشد.

تذکر ۱: در جداگرهای لاستیکی در صورتی که نیروی $P_{c,min}$ کششی باشد لازم است نیروی محوری جداگر در آزمایش ۳ به صورت کششی اعمال شود. در غیراین صورت لازم است متوسط تنش محوری کششی ناشی از نیروی $P_{c,min}$ در جداگر از ۲G فراتر نرود (G مدول برشی لاستیک جداگر بوده و در این کنترل می‌توان فرض نمود سختی محوری کششی جداگر برابر سختی محوری فشاری آن است). در خصوص جداگرهای لغزشی، تنها در صورتی نیروی $P_{c,min}$ می‌تواند به صورت کششی باشد که جداگر دارای مکانیزم مشخصی برای جلوگیری از بلندشدگی باشد. در این صورت لازم است آزمایش ۳ به صورت کششی انجام شود و یا با استفاده از سایر روش‌ها اطمینان حاصل شود اولاً مکانیزم مقید کننده بلندشدگی قادر به تحمل نیروی کششی ایجاد شده بوده و ثانیاً در عملکرد جداگر ایجاد اختلال نمی‌کند.

تذکر ۲: در آزمایش جداگرها حداقل به دو جک نیاز است. یکی از جکها به صورت قائم نیروی محوری (معمولاً به صورت فشاری) به جداگر وارد کرده و جک دیگر به صورت افقی تغییرشکل برشی به جداگر اعمال می‌کند. جک قائم لازم است به صورت نیرو کنترل بوده و جک افقی باید

به صورت تغییرشکل کنترل عمل کند. بسته به ظرفیت جک‌ها، ممکن است از ترکیب چند جک قائم و چند جک افقی نیز استفاده شود. جک قائم می‌تواند به صورت استاتیکی بوده لیکن جک افقی باید قادر به اعمال تغییرشکل‌ها به صورت دینامیکی باشد.



شکل (۵-۶). آزمایش‌های پروتوتایپ لرزه‌ای شماره ۱ تا ۴ جداگرهای لرزه‌ای

تذکر ۳: آزمایش‌های پروتوتایپ جداگرها (از هر نوع) باید به صورت دینامیکی انجام شود. در غیر این صورت اثراتی از جمله خودگرمایی که معمولاً منجر به بروز زوال و افت ظرفیت و انرژی مستهلک شده در جداگر می‌شود، دیده نخواهد شد. افزایش حرارت معمولاً منجر به کاهش ضریب اصطکاک در جداگرهای لغزشی، کاهش نیروی تسلیم در هسته سربی جداگرهای لاستیکی هسته سربی، و کاهش سختی موثر در جداگرهای لاستیکی می‌شود. میزان شدت این اثرات تنها در آزمایش‌های دینامیکی خود را نشان می‌دهد. بنابراین بر اساس این ضابطه، انجام

آزمایش پروتوتایپ به صورت شبه استاتیکی بر روی هیچ نوع از جداگرهای معرفی شده در این ضابطه، مجاز نمی‌باشد.

۶-۱-۳-۲ آزمایش مربوط به بارهای ناشی از باد

به منظور انجام آزمایش مربوط به بارهای ناشی از باد، لازم است جداگر ابتدا تحت نیروی محوری ثابت به مقدار P_G قرار گرفته سپس ۲۰ چرخه کنترل شونده توسط نیرو به آن اعمال شود. مقدار حداکثر نیرو در هر چرخه برابر با نیروی وارده بر جداگر ناشی از بار باد می‌باشد که برای تعیین آن می‌توان میانگین نیروی باد وارده بر جداگرهای مشابه با جداگر مورد آزمایش را مدنظر قرار داد. انجام این آزمایش می‌تواند به صورت شبه استاتیکی انجام شود.

تذکره ۱: در صورتی که نیروی باد منجر به ایجاد لغزش و یا تسلیم در سیستم جداساز لرزه‌ای نشود، نیازی به انجام آزمایش ناشی از باد نمی‌باشد.

تذکره ۲: در صورتی که سیستم جداساز لرزه‌ای بر اساس این ضابطه طراحی شود، انتظار می‌رود در نیروی ناشی از باد هیچ لغزش یا تسلیمی در سیستم جداساز رخ ندهد. در این شرایط انجام آزمایش ناشی از باد بر روی جداگرها الزامی نیست.

۶-۳-۲ معیارهای پذیرش آزمایش‌های پروتوتایپ

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایشات لازم است جداگرهای آزمایش شده قادر به تامین معیارهای پذیرش آزمایش‌های پروتوتایپ باشند. معیارهای پذیرش شامل دو دسته معیارهای کیفی و معیارهای کمی می‌باشند.

۶-۳-۲-۱ معیارهای پذیرش کیفی

در کلیه آزمایش‌های پروتوتایپ لازم است جداگر بدون آسیب ملنده و شواهدی از بروز ناپایداری، کمانش، ترک خوردگی، گسیختگی، جداشدگی صفحات فولادی و لاستیکی و آسیب سطوح لغزش یافت نشود. همچنین لازم است به صورت چشمی رفتار چرخه‌ای جداگر از پایداری مناسبی برخوردار بوده و فاقد زوال شدید در سختی یا مقاومت باشد.

تذکر: معیارهای پذیرش کمی ارائه شده در بند ۶-۳-۲-۲ تنها زمانی محقق می‌شوند که رفتار چرخه‌ای نیرو-تغییرشکل جداگر پایدار بوده و چرخه‌های با دامنه یکسان تقریباً بر روی یکدیگر قرار گیرند.

۶-۳-۲-۲ معیارهای پذیرش کمی

جداگرهایی که در آزمایش‌های پروتوتایپ شرکت کرده‌اند لازم است معیارهای ۱۵٪-۵۰٪ را مطابق این بند در هر چهار آزمایش پروتوتایپ لرزه‌ای (آزمایش‌های شماره ۱ تا ۴) برآورده کنند. هدف از تعیین این الزام اطمینان از پایداری رفتار چرخه‌ای جداگرها می‌باشد.

تذکر ۱: به استثنای جداگرهای لغزشی مسطح، در سایر جداگرها علاوه بر معیارهای ۱۵٪، باید سختی مماسی (تانژانتی) پس از تسلیم (یا سختی پس از لغزش) جداگر مثبت باشد. این معیار در تمام آزمایش‌های شماره ۱ تا ۴ لازم است کنترل شود. کنترل چشمی این معیار بر اساس نتایج چرخه‌ای حاصل از آزمایش‌ها بلامانع است.

- معیار ۱۵٪-۵۰٪ برای نیروی برشی جداگر در تغییرشکل صفر در هر یک از آزمایش‌های چهارگانه، در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان، نیروی برشی جداگر در تغییرشکل صفر نباید بیشتر از ۱۵٪ از مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها کوچکتر باشد. همچنین این نیرو نباید بیشتر از ۵۰٪ از مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها بزرگتر باشد. برای این منظور لازم است روابط (۸-۶) و (۹-۶) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta 0}^+)_i - \overline{V_{\Delta 0}^+}}{\overline{V_{\Delta 0}^+}} < +0.50 \quad (8-6)$$

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta 0}^-)_i - \overline{V_{\Delta 0}^-}}{\overline{V_{\Delta 0}^-}} < +0.50 \quad (9-6)$$

در روابط فوق $(V_{\Delta 0}^+)_i$ و $(V_{\Delta 0}^-)_i$ نیروی برشی جداگر در تغییرشکل صفر در چرخه i ام به ترتیب در جهات مثبت و منفی بوده و $\overline{V_{\Delta 0}^+}$ و $\overline{V_{\Delta 0}^-}$ میانگین نیروی برشی جداگر در تغییرشکل صفر به ترتیب در جهات مثبت و منفی می‌باشند (میانگین‌گیری شده بر

روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). مقادیر امتداد مثبت باید با علامت مثبت و مقادیر در امتداد منفی باید با علامت منفی در روابط قرار داده شوند.

تذکر ۲: جداگرهای لاستیکی و لغزشی معمولاً در چرخه ابتدایی خود دارای ظرفیت بزرگتری نسبت به سایر چرخه‌ها هستند (همانطور که نمونه‌هایی از این پدیده در شکل‌های (۳-۸) و (۳-۱۶) نشان داده شده‌اند). با این وجود در صورتی که این اثر در مشخصات حد بالا اعمال شده باشد، همچنان می‌توان از این جداگرها استفاده نمود. بنابراین در کنترل ۱۵٪-۵۰٪ حد بالای معیار نسبت به حد پایین آن، دارای مقدار بزرگتری است. در جداگرهای لاستیکی با میرایی پایین نیازی به کنترل این معیار نمی‌باشد.

▪ معیار ۱۵٪-۵۰٪ برای نیروی برشی جداگر در تغییرشکل حداکثر

در هر یک از آزمایش‌های چهارگانه، در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان، نیروی برشی جداگر در تغییرشکل حداکثر نباید بیشتر از ۱۵٪ از مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها کوچکتر باشد. همچنین این نیرو نباید بیشتر از ۵۰٪ از مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها بزرگتر باشد. برای این منظور لازم است روابط (۶-۱۰) و (۶-۱۱) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta max}^+)_{i-1} - \overline{V_{\Delta max}^+}}{\overline{V_{\Delta max}^+}} < +0.50 \quad (6-10)$$

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta max}^-)_{i-1} - \overline{V_{\Delta max}^-}}{\overline{V_{\Delta max}^-}} < +0.50 \quad (6-11)$$

در روابط فوق $(V_{\Delta max}^+)_{i-1}$ و $(V_{\Delta max}^-)_{i-1}$ نیروی برشی جداگر در تغییرشکل برشی حداکثر در چرخه i ام به ترتیب در جهات مثبت و منفی بوده و $\overline{V_{\Delta max}^+}$ و $\overline{V_{\Delta max}^-}$ میانگین نیروی برشی جداگر در تغییرشکل برشی حداکثر به ترتیب در جهات مثبت و منفی می‌باشند (میانگین‌گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). مقادیر امتداد مثبت باید با علامت مثبت و مقادیر در امتداد منفی باید با علامت منفی در

روابط قرار داده شوند. در جداگرهای لغزشی سطح نیازی به کنترل این معیار نمی‌باشد.

- معیار ۱۵٪-۵۰٪ برای انرژی مستهلک شده توسط جداگر در هر چرخه در هر یک از آزمایش‌های چهارگانه، در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است انرژی مستهلک شده در هر چرخه بیش از ۱۵٪ کوچکتر و بیش از ۵۰٪ بزرگتر از مقدار متناظر میانگین‌گیری شده در تمام چرخه‌ها نباشد. برای این منظور لازم است رابطه (۶-۱۲) برقرار باشد:

$$-0.15 < \frac{(DE)_i - \overline{DE}}{\overline{DE}} < +0.50 \quad (۶-۱۲)$$

در رابطه فوق $(DE)_i$ انرژی مستهلک شده توسط جداگر در چرخه i ام بوده و $\overline{DE}$ میانگین انرژی مستهلک شده توسط جداگر می‌باشد (میانگین‌گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). انرژی مستهلک شده توسط جداگر در هر چرخه برابر با مساحت داخل چرخه در منحنی نیرو-تغییر شکل جداگر است. در جداگرهای لاستیکی با میرایی پایین نیازی به کنترل این معیار نمی‌باشد.

۶-۳-۳ تعیین مشخصات اسمی جداگر

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌های پروتوتایپ، مشخصات اسمی جداگر تعیین می‌شود. برای این منظور لازم است کلیه کمیت‌های موثر در رفتار جداگر بر اساس میانگین نتایج در چرخه‌های مختلف (با دامنه یکسان) بدست آورده شود. کمیت‌های موثر در رفتار جداگرهای مختلف در فصل ۳ ارائه شده است. مهمترین کمیت‌ها عبارتند از سختی پس از تسلیم (پس از لغزش)، نیروی تسلیم (لغزش)، سختی اولیه و سختی محوری. همچنین در صورت نیاز به انجام تحلیل‌های الاستیک می‌توان سختی معادل و نسبت میرایی معادل متناظر با تغییر شکل‌های برشی مختلف را نیز استخراج نمود.

تذکره ۱: برای جداگرهای آزمایش شده لازم است مشخصات مدل عددی تعیین گردد به طوری که مدل عددی بتواند رفتار جداگر را در دامنه‌های مختلف با دقت مناسبی شبیه سازی کند به

نحوی که خطای مدل عددی در تخمین متوسط نیروی جداگر در تغییر شکل صفر، تغییر شکل حداقل و تغییر شکل حداکثر، در دو دامنه $0.67\Delta_{\max-\text{RotD100}}$ و $\Delta_{\max-\text{RotD100}}$ کوچکتر از ۱۰٪ باشد. همچنین لازم است خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط جداگر در دو دامنه $0.67\Delta_{\max-\text{RotD100}}$ و $\Delta_{\max-\text{RotD100}}$ کوچکتر از ۱۰٪ باشد. در صورتی که معیار مربوط به انرژی مستهلک شده برآورده نشود، اثر خطای مدل عددی مطابق بند ۶-۳-۴ از طریق ضریب λ_{model} لازم است در نظر گرفته شود. خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط جداگر در دو دامنه $0.67\Delta_{\max-\text{RotD100}}$ و $\Delta_{\max-\text{RotD100}}$ نباید فراتر از ۳۰٪ باشد.

تذکر ۲: در آزمایش‌های پروتوتایپ حداقل دو نمونه مشابه آزمایش می‌شوند. بنابراین مشخصات اسمی جداگر بر اساس نتایج میانگین بدست آمده از هر دو نمونه تعیین شده و بدین ترتیب هر دو نمونه مشخصات اسمی یکسانی خواهند داشت، اگرچه ممکن است نتایج میانگین آن‌ها اندکی با یکدیگر متفاوت باشد. تاثیر این تفاوت، مطابق بند ۶-۳-۴ توسط ضرایب حد بالا و پایین مشخصات جداگر در نظر گرفته خواهد شد.

۶-۳-۴ تعیین حد بالا و حد پایین مشخصات جداگر

وجود عدم قطعیت در مشخصات مصالح و جزئیات و ابعاد قطعات تشکیل دهنده جداگر و همچنین میزان نیروی محوری وارده، سبب بروز تغییراتی در رفتار جداگرهای مختلف خواهد شد، حتی اگر تمام جداگرها بر اساس یک جزئیات و یک روش با یک میزان از سطح کنترل کیفیت ساخته شده باشند. علاوه بر آن، عواملی از جمله تعداد چرخه‌ها، خود گرمایی جداگر (به واسطه استهلاک انرژی)، تغییر در مشخصات سطوح لغزش و نیز پدیده‌هایی همانند جوش سرد، پیش کرنشی و شکست اصطکاک بر رفتار جداگرها تاثیرگذار هستند. عوامل محیطی از قبیل گذر زمان و تغییرات دمای محیط نیز می‌توانند بر رفتار جداگرها تاثیرگذار باشند. به منظور در نظر گرفتن تغییرات فوق، لازم است علاوه بر مشخصات اسمی جداگر، مشخصات حد بالا و حد پایین جداگرها نیز تخمین زده شود. برای این منظور لازم است مشخصات اسمی جداگر در ضرایب حد بالا ($\lambda_{\max}$) و حد پایین ($\lambda_{\min}$) ضرب شوند که این دو کمیت به ترتیب مطابق روابط (۶-۱۳) و (۶-۱۴) تعیین می‌شوند.

$$\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{a\theta,max} - 1)]\lambda_{cyc,max}\lambda_{p,max} \quad (۱۳-۶)$$

$$\lambda_{min} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{a\theta,min})]\lambda_{cyc,min}\lambda_{p,min}\lambda_{Model} \quad (۱۴-۶)$$

در روابط فوق λ ضریبی مثبت می‌باشد که در صورتی که اندیس max داشته باشد مقدارش بزرگتر از ۱ و در صورتی که اندیس min داشته باشد مقدارش کوچکتر از ۱ خواهد بود. ضرایب فوق عبارتند از:

ضریب $\lambda_{a\theta}$: به منظور در نظر گرفتن اثر گذر زمان و تغییرات دمای محیط بر مشخصات جداگر است. برای کلیه جداگرهای معرفی شده در این ضابطه در غیاب نتایج آزمایشگاهی تایید شده، مقدار $\lambda_{a\theta,max}$ و $\lambda_{a\theta,min}$ را می‌توان به ترتیب زیر در نظر گرفت.

- برای انواع جداگرهای لغزشی: $\lambda_{a\theta,max}$ و $\lambda_{a\theta,min}$ به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۱.
- برای انواع جداگرهای لاستیکی: $\lambda_{a\theta,max}$ و $\lambda_{a\theta,min}$ به ترتیب برابر با ۱/۳ و ۱.

ضریب λ_{cyc} : به منظور در نظر گرفتن تغییرات مشخصات جداگر در چرخه‌های مختلف بارگذاری و در نظر گرفتن اثراتی از قبیل خود گرمایی، پیش کرنشی، جوش سرد و شکست اصطکاک می‌باشد. برای کلیه جداگرها مقدار $\lambda_{cyc,max}$ و $\lambda_{cyc,min}$ بر اساس نتایج حاصل از کنترل ۱۵٪-۵۰٪ در آزمایش پروتوتایپ مربوط به دامنه $\Delta_{max-RotD100}$ بدست می‌آیند. برای این منظور لازم است نتایج حاصل از روابط (۶-۸) تا (۶-۱۱) در هر چرخه با عدد ۱ جمع شده و بزرگترین و کوچکترین عدد حاصله به ترتیب به عنوان $\lambda_{cyc,max}$ و $\lambda_{cyc,min}$ در نظر گرفته شوند. هر چقدر رفتار جداگر پایدارتر بوده و چرخه‌های مختلف در هر دامنه به شکل دقیق‌تری بر روی یکدیگر قرار داشته باشند، ضریب λ_{cyc} به عدد ۱ نزدیکتر خواهد بود.

ضریب λ_p : این ضریب به منظور تغییرات مشخصات محصولات تولیدی با مشخصات اسمی در نظر گرفته می‌شود و مقدار آن بر اساس پراکندگی نتایج میانگین حاصل از آزمایش‌های پروتوتایپ در مقایسه با مشخصات اسمی تعیین می‌شود به نحوی که مشخصات میانگین هر یک از نمونه‌ها در محدوده $\lambda_{p,min}$ تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی جداگر باشد. منظور از مشخصات سختی پس از تسلیم (لغزش) و برش تسلیم (برش لغزش) جداگر است.

ضریب λ_{model} : این ضریب در شرایطی کاربرد دارد که مقدار انرژی مستهلک شده در مدل عددی جداگر بیش از ۱۰٪ بزرگتر از انرژی مستهلک شده اندازه‌گیری شده بر اساس نتایج حاصل از آزمایش باشد و در سایر شرایط مقدار این ضریب برابر با ۱ است. در صورتی که جداگر در رفتار خود به طور محدودی دچار زوال سختی، لقی، تغییر در مشخصات اصطکاکی یا ... باشد، به طوری که نتوان اثر آن را به شکل صریح در مدل عددی اعمال نمود، به منظور در نظر گرفتن خطای مدل عددی لازم است ضریب λ_{model} در مشخصات حد پایین جداگر اعمال شود. مقدار ضریب λ_{model} برابر است با نسبت انرژی مستهلک شده حاصل از آزمایش شماره ۱ در تمام چرخه‌های با دامنه $0.66\Delta_{max-RotD100}$ به انرژی مستهلک شده حاصل از مدل عددی در تمام چرخه‌های این آزمایش و این دامنه. این ضریب می‌تولند برای کلیه جداگرهای آزمایش شده بدست آمده و میانگین ضریب حاصل از تمام نمونه‌ها، به عنوان λ_{model} در نظر گرفته شود. مقدار این ضریب همواره کوچکتر از ۱ است.

تذکر: برای تعیین مشخصات حد بالا و پایین، لازم است ضرایب حد بالا و پایین در مشخصات اسمی مدل عددی جداگر ضرب شوند. این کار به ترتیب زیر انجام می‌شود.

- در جداگرهای لغزشی ضرایب حد بالا و پایین تنها در ضرایب اصطکاک سطوح لغزش اعمال می‌شوند.
- در جداگرهای لاستیکی ضرایب حد بالا و پایین هم در سختی جداگر (سختی اولیه و سختی پس از تسلیم) و هم در مقاومت تسلیم (مشخصه) جداگر اعمال می‌شوند.

۶-۳-۵ آزمایش‌های کنترل محصول

لازم است آزمایش‌های کنترل محصول بر روی کلیه جداگرهای پروژه انجام شود. پروتوکول بارگذاری در آزمایش‌های کنترل محصول مشابه آزمایش شماره ۱ در آزمایش‌های پروتوتایپ لرزه‌ای می‌باشد با این تفاوت که تنها کافیست ۳ چرخه با دامنه $0.66\Delta_{max-RotD100}$ به صورت دینامیکی (با زمان تناوبی برابر با زمان تناوب سازه جداسازی شده با فرض حد پایین مشخصات جداگر) به جداگر اعمال شود.

تذکر ۱: در صورتی که آزمایش‌های پروتوتایپ بر روی نمونه‌هایی با مقیاس کامل که اختصاصاً برای پروژه مدنظر ساخته شده‌اند، انجام شده باشد، آزمایش‌های پروتوتایپ نیز می‌توانند به عنوان بخشی از آزمایش‌های کنترل محصول درنظر گرفته شوند به شرطی که جداگر پس از انجام آزمایش‌های پروتوتایپ آسیب ندیده باشد.

تذکر ۲: در صورتی که در آزمایش‌های پروتوتایپ نشان داده شود که جداگر تحت پروتوکول‌های دینامیکی و شبه استاتیکی رفتار یکسانی از خود نشان می‌دهد و یا اثرات بارگذاری دینامیکی پیش‌تر در ضرایب $\lambda_{cyc,max}$ و $\lambda_{cyc,min}$ درنظر گرفته شده باشد، آزمایش‌های کنترل محصول می‌توانند به صورت شبه استاتیکی انجام شوند.

۶-۳-۶ معیار پذیرش آزمایش‌های کنترل محصول

کنترل معیارهای پذیرش در آزمایش‌های کنترل محصول مشابه آزمایش‌های پروتوتایپ مطابق بند ۶-۳-۲ می‌باشد که در آن لازم است معیارهای کیفی و کمی برآورده شوند. مشخصات میانگین بدست آمده از آزمایش‌های کنترل محصول باید در محدوده $\lambda_{p,min}$ تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی بدست آمده از آزمایش‌های پروتوتایپ قرار بگیرند.

تذکر: به جز در جداگرهای لاستیکی هسته سربی، در سایر جداگرها، همان جداگر آزمایش شده می‌تواند، در صورت عدم آسیب دیدگی و با تایید مهندس طراح، در پروژه نیز مورد استفاده قرار گیرد. در خصوص جداگرهای لاستیکی هسته سربی، در صورتی که تنها آزمایش کنترل محصول (نه آزمایش‌های پروتوتایپ) بر روی جداگر انجام شده باشد، می‌توان از جداگر آزمایش شده در پروژه نیز استفاده نمود. بنابراین جداگرهای لاستیکی هسته سربی که در معرض آزمایش‌های پروتوتایپ قرار گرفته‌اند، نباید در پروژه استفاده شوند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

فصل ۲

سایر الزامات

دقتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۷-۱ اتصالات میراگرها و جداگرها

اتصالات میراگرها / جداگرها لازم است هر سه معیار زیر را برآورده کنند:

- کلیه تلاش‌ها در اتصالات میراگرها/جداگرها کنترل شونده توسط نیرو بوده و لازم است معیار پذیرش بند ۵-۴-۴ را برآورده کنند.
- جزئیات اتصال باید به نحوی باشد که منجر به ایجاد اختلال در عملکرد میراگر / جداگر نشود.
- جزئیات اتصال تا حد امکان مشابه جزئیاتی باشد که در آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول از آن استفاده شده است.

در این بخش جزئیات برخی از اتصالاتی که می‌توانند برای میراگرها و جداگرهای مختلف مورد استفاده قرار گیرند، ارائه شده است. به طور کلی در اغلب موارد، عملکرد میراگرها یا به صورت محوری است و یا به صورت برشی است. از جمله میراگرهایی که دارای عملکرد محوری هستند می‌توان به میراگرهای ویسکوز، میراگرهای روغنی و مهاربندهای کمانش‌تاب اشاره نمود. در

مقابل، میراگرهای تسلیمی پره مثلثی، پانل برشی و پانل ویسکوز معمولاً دارای عملکرد برشی هستند. میراگرهای ویسکوالاستیک بسته به جزئیات و جهت قرارگیری صفحات ویسکوالاستیک، می‌توانند دارای عملکرد محوری یا برشی باشند. همچنین میراگرهای اصطکاکی نیز بسته به جزئیات و جهت قرارگیری صفحات لغزشی، می‌توانند دارای عملکرد محوری یا برشی باشند.

در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای، عملکرد جداگرها به صورت محوری و برشی دو جهته است. میراگرهای به کار رفته در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای نیز بسته به جزئیات و امتداد قرارگیری می‌توانند عملکردی محوری یا برشی داشته باشند. نکته حائز اهمیت در سیستم‌های جداساز آن است که تغییرشکل‌های افقی شدیدی به صورت هم زمان در هر دو جهت رخ داده و علاوه بر آن، تغییرشکل‌های قائم کوچکی نیز مورد انتظار است (به ویژه در جداگرهای لغزشی با سطح لغزش غیرمسطح). بنابراین جزئیات اتصال جداگرها و میراگرها باید بر اساس این تغییرشکل‌ها طراحی شده و قادر به پذیرش آن‌ها باشند.

تذکر: کلیه اتصالات نشان داده شده در این بخش صرفاً به منظور ارائه برخی جزئیات ممکن برای اتصالات میراگرها و جداگرها هستند. استفاده از سایر جزئیات به شرطی که سه معیار فوق در آن‌ها رعایت شده باشد، بلامانع است.

۷-۱-۱ اتصال در میراگرهای با عملکرد محوری

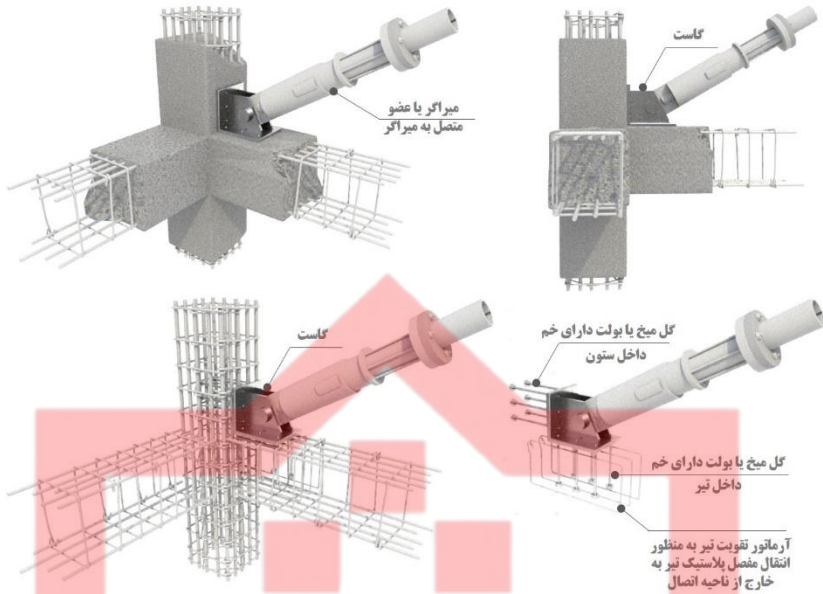
اتصال در میراگرهایی که دارای عملکرد محوری هستند باید به نحوی باشد که عمدتاً نیروهای محوری در میراگر ایجاد شده و ایجاد برش، خمش و پیچش در میراگر محدود شود. در این نوع میراگرها، اتصال میراگر به سازه عمدتاً از طریق ورق‌های گاست ایجاد می‌شود که بسته به جزئیات میراگر، ورق‌های گاست می‌توانند به صورت تک یا جفت مورد استفاده قرار گیرند. در مواردی، لازم است برای جلوگیری از ناپایداری خارج از صفحه، لبه‌های آزاد گاست با استفاده از ورق‌های سخت کننده مقید شوند. همچنین اتصال میراگر به ورق گاست می‌تواند به صورت پینی، پیچی و یا جوشی باشد. اتصال پینی منجر به بروز کمترین خمش و برش در میراگر شده و عمدتاً نیروها را به صورت محوری به میراگر منتقل می‌کند. علاوه بر آن، در اتصال پینی امکان

تعویض میراگر به سادگی میسر خواهد بود. بنابراین از نظر فنی استفاده از اتصالات پینی نسبت به دو اتصال دیگر اولویت دارد.

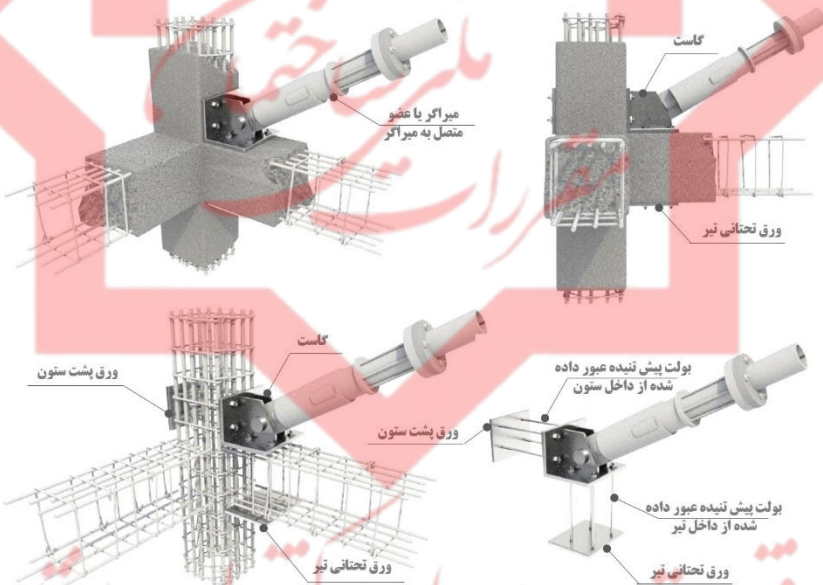
تذکر ۱: توصیه می‌شود طراحی ورق‌های گاست یا بر اساس نتایج آزمایشگاهی و یا بر اساس نتایج شبیه سازی اجزاء محدود دقیق انجام شود. مدل اجزاء محدود استفاده شده در طراحی اتصال باید رفتار غیرخطی مصالح را در نظر گرفته و قادر به شبیه سازی پدیده‌هایی از جمله کماتش کلی و موضعی ورق اتصال باشد. همچنین در سازه‌های بتنی، جزئیات بولت‌های پیش تنیده و ورق‌های اتصال باید به نحوی باشد که سبب آسیب به بتن نشوند. بنابراین در صورت استفاده از مدل اجزاء محدود برای طراحی اتصالات سازه‌های بتنی، لازم است اعضای بتنی در اطراف اتصال به همراه نیروی مورد انتظار وارد بر آن‌ها در زلزله سطح ۲ نیز در مدل دیده شوند.

شکل‌های (۱-۷) و (۲-۷) نمونه‌هایی از نحوه اتصال میراگر به سازه‌های بتنی جدید الاحداث و سازه‌های بتنی موجود را نشان می‌دهند. در خصوص سازه‌های فولادی، می‌توان از جزئیات نشان داده شده در شکل (۳-۷) استفاده نمود. لازم به ذکر است اتصالات نشان داده شده در شکل‌های (۱-۷) تا (۳-۷) اتصالات مقید کننده گره اتصال تیر به ستون هستند. به این معنی که به واسطه حضور ورق گاست در این اتصالات، مشخصات اتصال تیر به ستون تغییر کرده و موقعیت مفصل پلاستیک خمشی در تیر می‌تواند تغییر کند. در این شرایط لازم است محل جدید تشکیل مفصل پلاستیک در تیر کنترل گردد که از جزئیات مناسبی برای تامین شکل پذیری مورد نیاز برخوردار باشد.

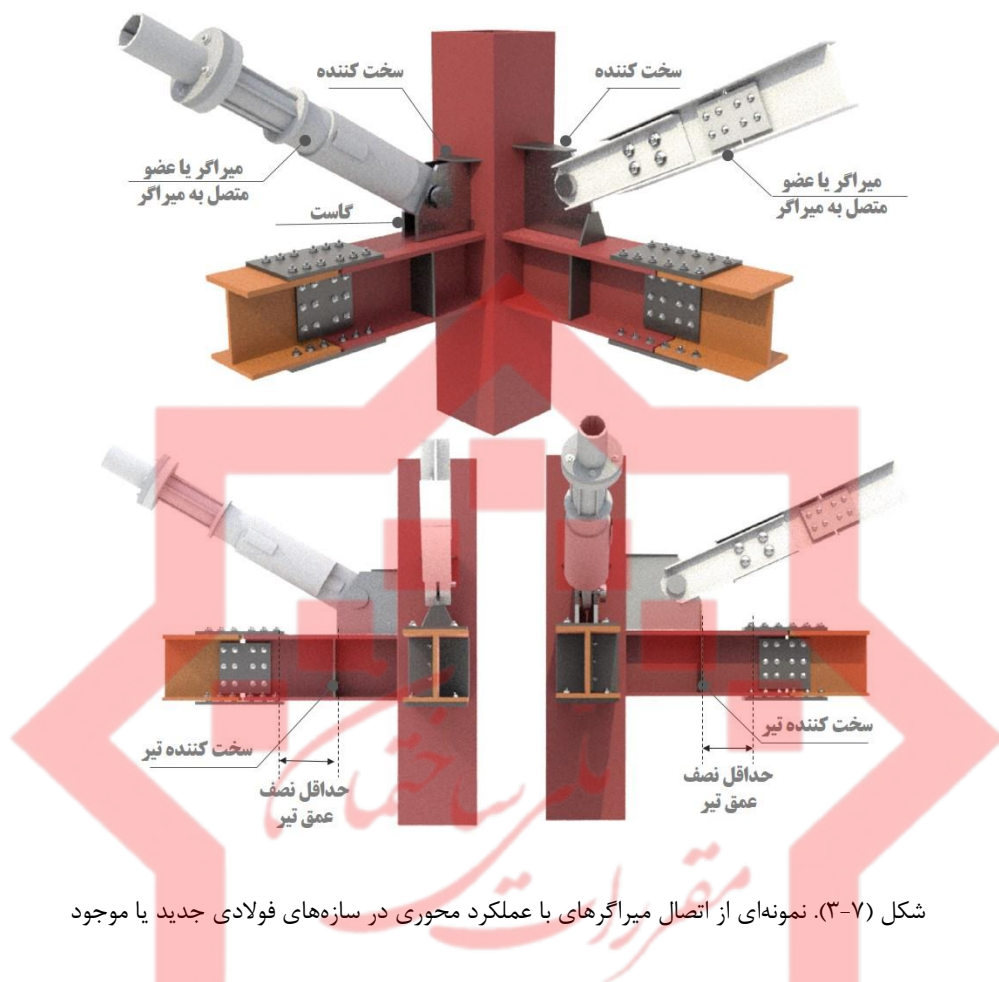
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۷-۱). نمونه‌ای از اتصال میراگرهای با عملکرد محوری در سازه‌های بتنی جدید



شکل (۷-۲). نمونه‌ای از اتصال میراگرهای با عملکرد محوری در سازه‌های بتنی موجود

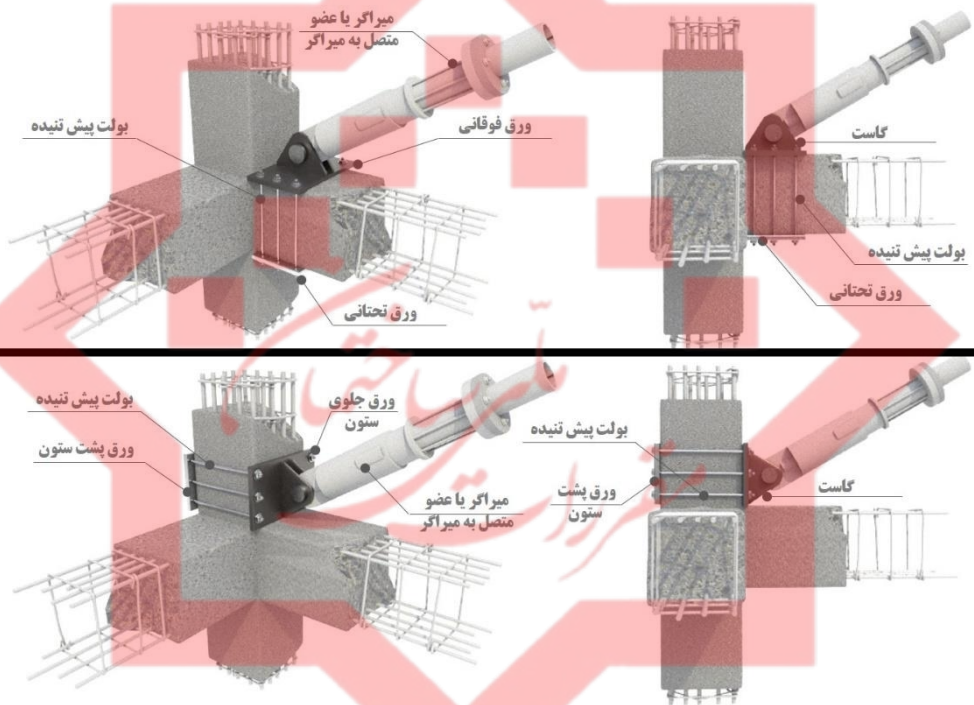


شکل (۷-۳). نمونه‌ای از اتصال میراگرهای با عملکرد محوری در سازه‌های فولادی جدید یا موجود

دسته دیگری از اتصالات وجود دارند که در آن ورق گاست یا کاملاً به تیر و یا کاملاً به ستون متصل می‌باشد. در این روش گره اتصال تیر به ستون مقید نشده و تغییری در مشخصات اتصال تیر به ستون رخ نمی‌دهد. همچنین این امکان وجود دارد که جزئیات اتصال به نحوی باشد که محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر نیز دچار تغییر نشود. جزئیات این نوع اتصالات برای سازه‌های بتنی در شکل (۷-۴) و برای سازه‌های فولادی در شکل‌های (۷-۵) و (۷-۶) ارائه شده است.

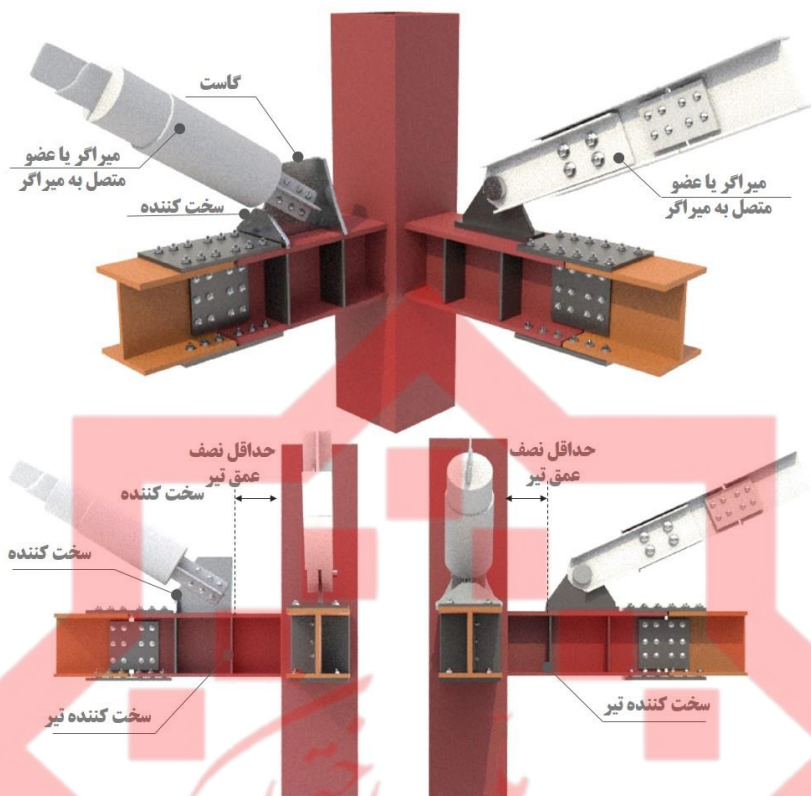
تذکره ۲: استفاده از اتصالات مقید نشده منجر به ایجاد تقاضای برشی، خمشی و محوری اضافه به تیر یا ستون می‌شود (بسته به اینکه ورق گاست به تیر اتصال دارد یا ستون). بنابراین استفاده از

این اتصال تنها در صورتی مجاز است که تیر یا ستون (بسته به اینکه ورق گاست به تیر اتصال دارد یا ستون) دارای ظرفیت کافی بوده و با احتساب این تقاضای اضافی قادر به برآورده نمودن معیارهای پذیرش باشند. در این صورت توصیه می‌شود در مدل سازه، خروج از مرکزیت محل اتصال میراگر به تیر یا ستون به شکل صریح مدل شود. در این شرایط باید کنترل شود که برش اضافه وارده بر تیر یا ستون به شکل صحیح توسط مدل عددی در نظر گرفته شود. استفاده از سایر روش‌های مناسب به منظور در نظر گرفتن تقاضای اضافی وارده بر تیر یا ستون، نیز مجاز است.

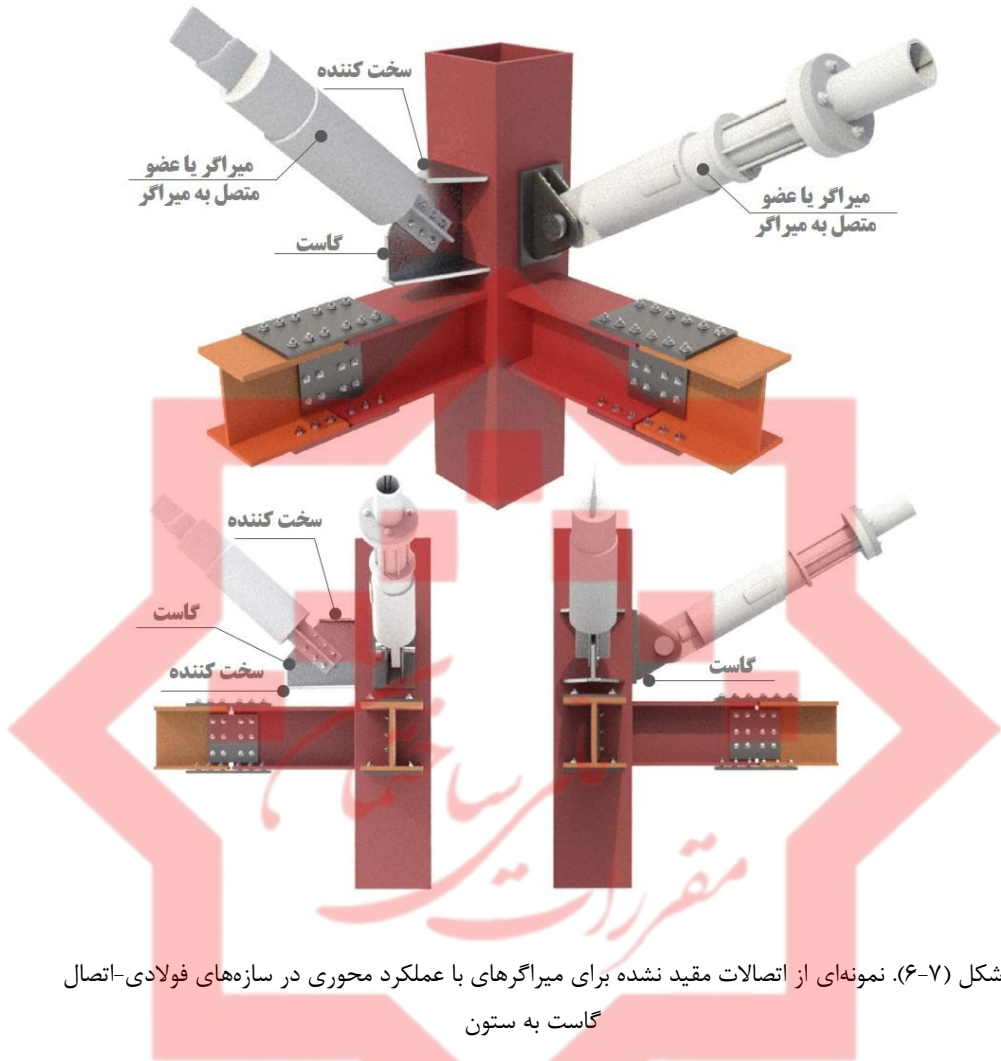


شکل (۷-۴). نمونه‌ای از اتصالات مقید نشده برای میراگرهای با عملکرد محوری در سازه‌های بتنی

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۷-۵). نمونه‌ای از اتصالات مقید نشده برای میراگرهای با عملکرد محوری در سازه‌های فولادی-اتصال گاست به تیر

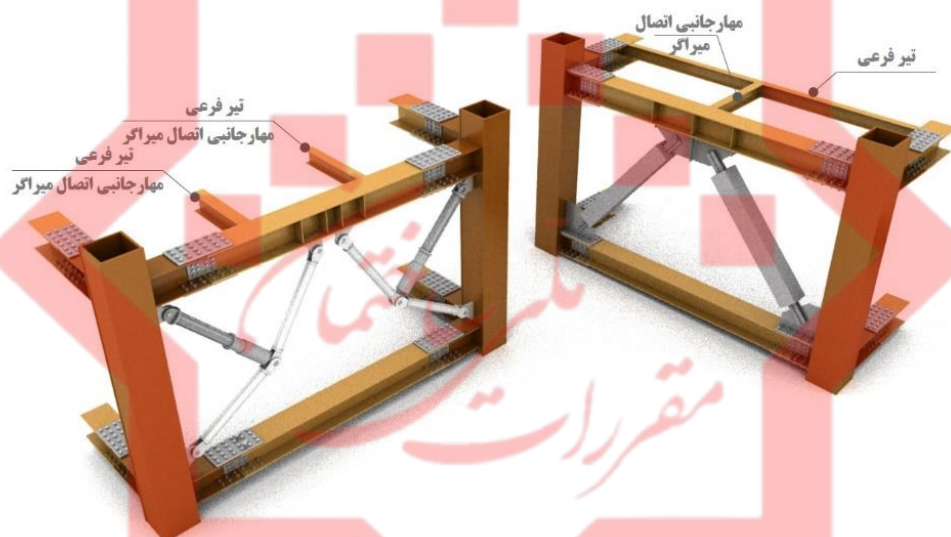


شکل (۶-۷). نمونه‌ای از اتصالات مقید نشده برای میراگرهای با عملکرد محوری در سازه‌های فولادی-اتصال گاست به ستون

در مواردی که میراگرهای با عملکرد محوری به بال تحتانی در میانه تیر فولادی متصل می‌شوند، مطابق شکل (۷-۷)، لازم است تیر در برابر ناپایداری جانبی به شکل محافظه کارانه‌ای مقید شود. در این صورت مطابق شکل (۷-۷) در صورتی که امتداد تیرهای فرعی عمود بر تیر مدنظر باشند و عمق تیرهای فرعی حداقل ۷۰٪ عمق تیر اصلی باشند، می‌توان تیر را از نظر جانبی مقید شده در نظر گرفت. در صورتی که امتداد تیرهای فرعی موازی با تیر مدنظر باشند، لازم است محل اتصال میراگر با تیر به شکل مناسبی از نظر جانبی مهار گردد. برای این منظور

می‌توان مطابق شکل (۷-۷)، از یک تیر فرعی عمود بر تیر مدنظر استفاده نمود. عمق این تیر فرعی باید حداقل ۰.۷۰ عمق تیر اصلی باشد. در صورتی که میراگر در میانه دهانه تیر فولادی و به بال فوقانی تیر متصل باشد، در صورتی که بال فوقانی تیر مستقیماً به دیافراگم کف طبقه متصل باشد، تیر از نظر جانبی مهار شده تلقی می‌شود.

تذکره ۳: در خصوص میراگرهای با عملکرد محوری که در کشش و فشار رفتار مقارنی ندارند (همانند مهاربندهای کمانش‌تاب تحت کرنش‌های پلاستیک زیاد)، در صورتی که میراگر به میانه تیر متصل گردد، نیروی نامتوازن محدودی به صورت عمود بر تیر می‌تواند ایجاد شود. این شرایط لازم است ظرفیت تیر در مقابل این نیروی نامتوازن، کنترل گردد.

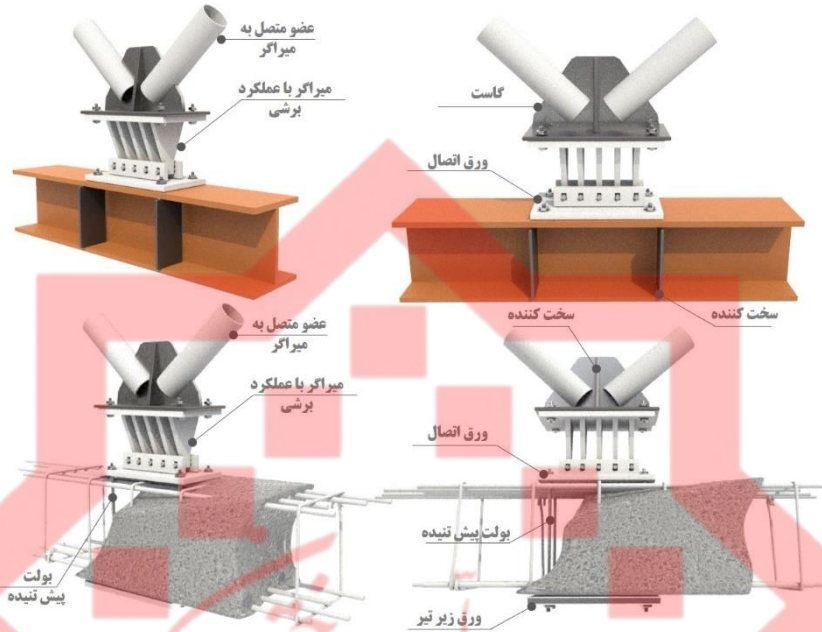


شکل (۷-۷). مهار جانبی در محل اتصال میراگر به میانه تیر

۷-۱-۲ اتصال در میراگرهای با عملکرد برشی

اتصال در میراگرهایی که به صورت برشی عمل می‌کنند باید به نحوی باشد که حتی المقدور عمدتاً نیروی برشی داخل صفحه در میراگر ایجاد شده و سایر مولفه‌های نیرویی (محوری،

خمشی، پیچشی و برش خارج از صفحه) به صورت محدود به میراگر وارد شوند. نمونه‌ای از اتصالات این نوع از میراگرها به سازه در شکل (۷-۸) نشان داده شده است.



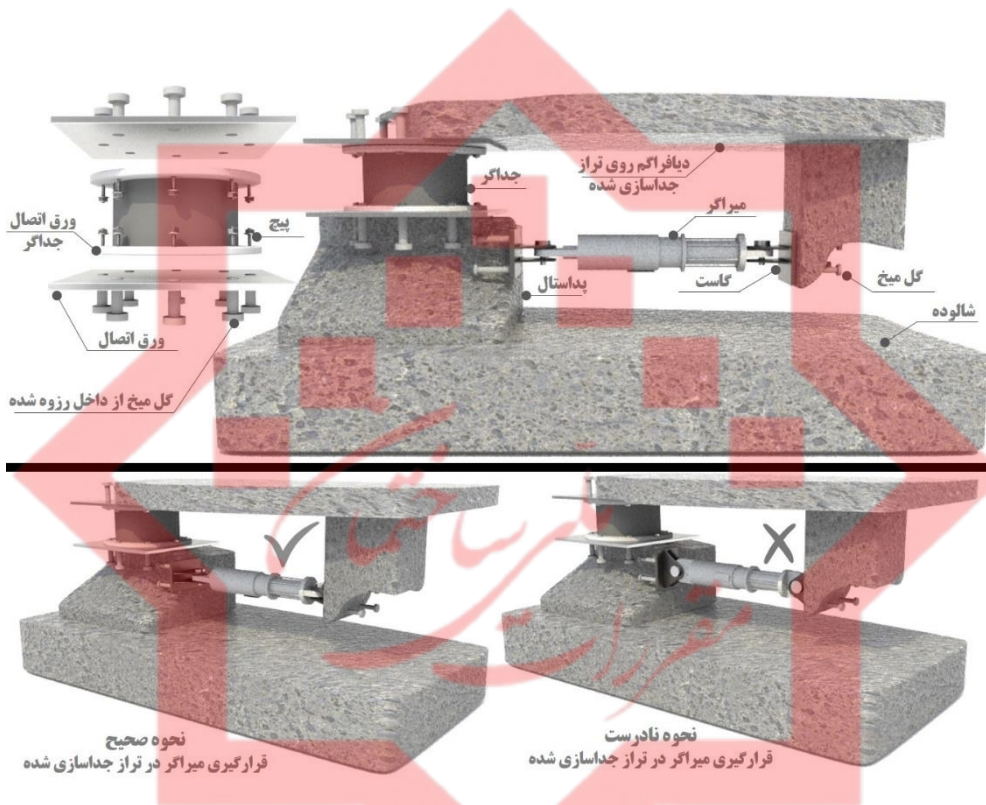
شکل (۷-۸). نمونه‌ای از اتصال میراگرهای با عملکرد برشی به میانه تیر در چیدمان شورن

۳-۱-۷ اتصال در سیستم‌های جداساز لرزه‌ای

شکل (۷-۹) نمونه‌ای از اتصالات موجود در سیستم جداساز لرزه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به آن که سیستم جداساز لرزه‌ای در هر دو امتداد افقی تغییرشکل‌های شدیدی را تجربه می‌کند، لازم است جزئیات اتصالات، به ویژه اتصالات میراگرهای با عملکرد محوری که در سیستم جداساز وجود دارند، به نحوی باشد که در هر دو امتداد افقی، قادر به پذیرش تغییرشکل‌ها باشند. به علاوه، سیستم‌های جداساز لرزه‌ای (به ویژه سیستم‌های دارای جداگرهای لغزشی با سطح لغزش قوسی) مقداری تغییرشکل در امتداد قائم نیز تجربه می‌کنند. بنابراین اتصالات میراگرها باید قادر به پذیرش مقدار محدودی تغییرشکل در امتداد قائم نیز باشند.

تذکر ۱: کلیه تلاش‌های ایجاد شده در اتصالات جداگرهای موجود در سیستم جداساز لرزه‌ای از نوع تلاش‌های نیرو-کنترل از نوع بحرانی (مطابق دسته بندی بند ۴-۵-۴-۶) هستند.

تذکر ۲: کلیه تلاش‌های ایجاد شده در اتصالات میراگرهای موجود در سیستم جداساز لرزه‌ای از نوع تلاش‌های نیرو-کنترل از نوع غیر بحرانی (مطابق دسته بندی بند ۴-۵-۴-۶) هستند.



شکل (۷-۹). نمونه‌ای از جزئیات برخی از اتصالات موجود در سیستم جداساز لرزه‌ای-آرماتورهای موجود در اعضای بتنی نشان داده نشده است.

۷-۲ دیافراگم کف

در صورتی که دیافراگم کف به صورت الاستیک در مدل سازه لحاظ شده باشد، کلیه تلاش‌ها در کلیه اعضای دیافراگم لازم است به صورت کنترل شونده توسط نیرو در نظر گرفته شوند. نیروی

دیافراگم کف طبقات مطابق بند ۵-۴-۳ بر اساس شتاب طبقات محاسبه می‌گردد. در طراحی دیافراگم کف لازم است نه تنها حداکثر نیروی اینرسی وارده بر دیافراگم، بلکه نیرویی که از طریق دیافراگم مابین سیستم‌های باربر جانبی سازه منتقل می‌شود نیز در نظر گرفته شود. برای این منظور می‌توان به طریق زیر عمل نمود.

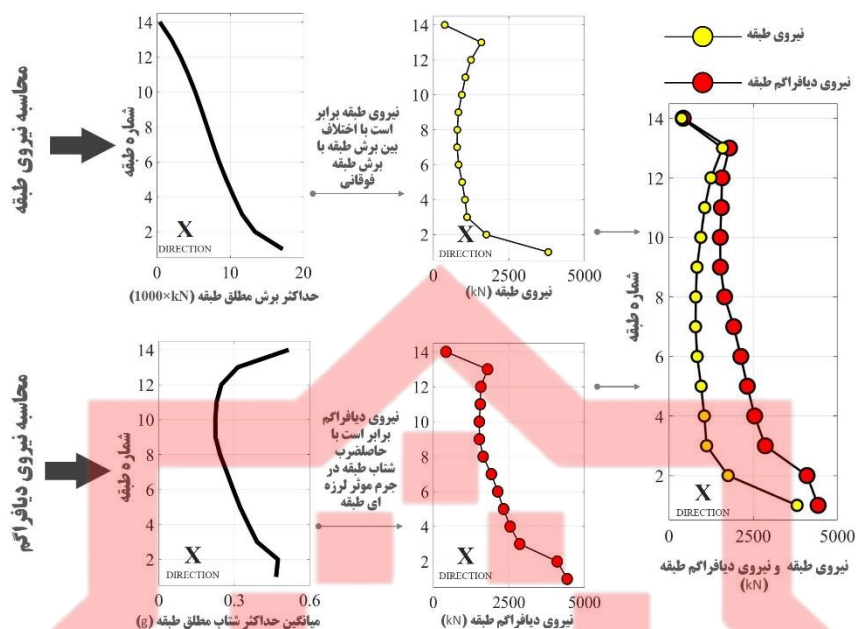
- محاسبه نیروی طبقه با استفاده از میانگین حداکثر برش طبقه حاصل از تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی در سطح خطر ۲، مطابق شکل (۷-۱۰).
- محاسبه نیروی دیافراگم طبقه مورد نظر با ضرب جرم لرزه‌ای موثر طبقه در میانگین حداکثر شتاب طبقه حاصل از تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی در سطح خطر ۲، مطابق شکل (۷-۱۰).
- اعمال نیروی طبقه بر دیافراگم تمام طبقات به جز طبقه مدنظر. در دیافراگم طبقه مدنظر لازم است نیروی دیافراگم طبقه اعمال شود، مطابق شکل (۷-۱۱).
- تحلیل دیافراگم طبقه و طراحی آن با استفاده از روش اجزاء محدود.

تذکر ۱: به منظور طراحی دیافراگم لازم است دیافراگم به صورت نیمه صلب مدل شده و ضرایب ترک خوردگی داخل و خارج از صفحه به آن اعمال شود.

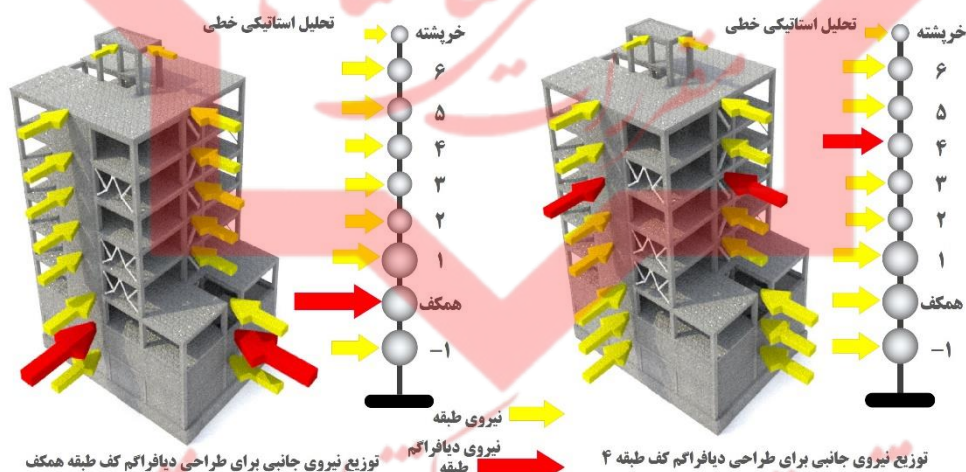
تذکر ۲: در خصوص نیروی دیافراگم طبقه‌ای که بر اساس این بند تعیین می‌شود، نیاز به اعمال حد بالا و پایین نمی‌باشد (برخلاف روش طراحی تجویزی).

تذکر ۳: نیروی محاسبه شده در این بخش معادل نیروی زلزله تشدید یافته در آیین‌نامه‌های غیرعملکردی است. بنابراین در این روش هیچ ضریبی تحت عنوان ضریب اضافه مقاومت و یا نامعینی اعمال نمی‌شود.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۷-۱۰). نمونه‌ای از محاسبه نیروی طبقات از روی برش طبقات و محاسبه نیروی دیافراگم طبقه از روی شتاب طبقات

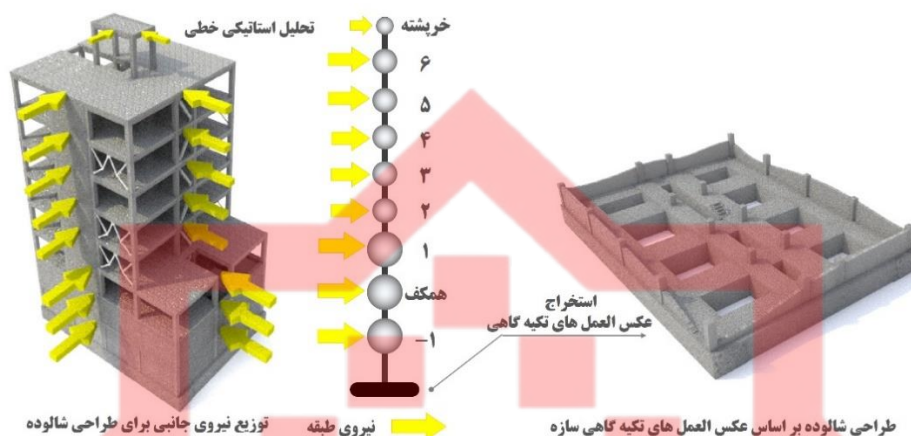


شکل (۷-۱۱). نمونه‌ای از بارگذاری سازه به منظور طراحی دیافراگم کف

۳-۷ شالوده

طراحی شالوده در ساختمان‌های مجهز به میراگر/جداگر مشابه سایر ساختمان‌ها بوده با این تفاوت که نیروهای لرزه‌ای مطابق شکل (۷-۱۰) بر اساس میانگین حداکثر برش طبقات، حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، محاسبه می‌گردد. در صورتی که اندرکنش خاک و سازه به شکل صریح در مدل اصلی ساختمان در نظر گرفته نشده باشد، تحلیل و طراحی سازه و شالوده به صورت مستقل از یکدیگر و مطابق جزئیات این بند انجام می‌شود. در این شرایط، مطابق شکل (۷-۱۲)، لازم است نیروی طبقات در مدل اصلی سازه اعمال شده و با استفاده از یک تحلیل استاتیکی خطی، عکس‌العمل‌های تکیه گاهی سازه محاسبه شوند. لازم به ذکر است لنگر واژگونی ناشی از این تحلیل استاتیکی، می‌تواند با میانگین لنگر واژگونی حداکثر استخراج شده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی تفاوت قابل توجهی داشته باشد. بنابراین، لازم است نیروهای جانبی محاسبه شده در این بند در ضریب مقیاسی (که می‌تواند کوچکتر از ۱ باشد) ضرب شوند به نحوی که لنگر واژگونی حاصل از نیروهای جانبی استاتیکی در هر امتداد برابر با میانگین لنگر واژگونی حداکثر در آن امتداد (براساس نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی) باشد. ضروری است هر دو لنگر واژگونی ناشی از تحلیل استاتیکی و تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، حول محوری یکسان (محور عبوری از مرکز صلبیت پای سازه) محاسبه شده باشند. پس از اصلاح بارهای جانبی طبقات و انجام تحلیل استاتیکی خطی، عکس‌العمل‌های پای سازه بدست آمده و از این عکس‌العمل‌ها به عنوان نیروی ناشی از زلزله در طراحی شالوده استفاده شود. در این شرایط، فشار خاک زیر شالوده و کلیه تلاش‌های وارده بر اجزای سازه‌ای شالوده کنترل شونده توسط نیرو تلقی می‌شوند. با توجه به عدم قطعیت بالا در مشخصات خاک، در طراحی شالوده تحت بارهای لرزه‌ای، لازم است مدول بستر خاک یک بار بر اساس مشخصات حد بالای خاک و یک بار بر اساس مشخصات حد پایین خاک در نظر گرفته شده و طراحی بر اساس بحرانی‌ترین حالت انجام شود. برای کنترل فشار خاک و طراحی سازه شالوده تحت ترکیبات بار فاقد نیروی زلزله، باید مطابق با مباحث مقررات ملی ساختمان عمل شود.

تذکر ۱: نیروی ناشی از زلزله محاسبه شده در این بخش معادل نیروی زلزله تشدید یافته در آیین نامه‌های غیر عملکردی است. بنابراین در این روش هیچ ضریبی تحت عنوان ضریب اضافه مقاومت و یا نامعینی اعمال نمی‌شود.



شکل (۷-۱۲). نمونه‌ای از بارگذاری سازه به منظور طراحی شالوده

تذکر ۲: در کنترل فشار خاک زیر شالوده کلیه ترکیبات بارگذاری بدون ضریب در نظر گرفته می‌شوند. در صورتی که ترکیب بار مدنظر شامل نیروی ناشی از زلزله باشد، تنش فشاری خاک باید بر اساس رابطه (۵-۲۳) کنترل شود. در این صورت مقاومت حد پایین فشار خاک تحت بارهای دینامیکی کوتاه مدت باید در رابطه (۵-۲۳) به عنوان Q_{CL} مورد استفاده قرار گیرد. می‌توان مقدار Q_{CL} را معادل ۷۵٪ مقاومت فشاری مورد انتظار خاک (q_c) در نظر گرفت. در غیاب نتایج آزمایشگاهی، مقاومت فشاری مورد انتظار خاک را می‌توان ۳ برابر مقاومت فشاری مجاز خاک در نظر گرفت ($q_c = 3q_{allow}$). همچنین در این ترکیب بار که شامل زلزله می‌باشد، می‌توان یک ضریب تشدید مقاومت برابر ۲ (به دلیل ظرفیت فشاری بیشتر خاک در برابر بارهای کوتاه مدت لرزه‌ای) نیز برای ظرفیت فشاری خاک در نظر گرفت. با توجه به توضیحات فوق، در صورتی که تنها تنش فشاری مجاز خاک برای بارهای بلند مدت (q_{allow}) در دسترس باشد، به منظور کنترل فشار خاک زیر شالوده تحت ترکیبات بار شامل زلزله، طبق رابطه (۵-۲۳) مقدار $Q_{CL} = 2 \times 0.75 \times 3 \times q_{allow} = 4.5q_{allow}$ می‌تواند در نظر گرفته شود. در صورتی که ترکیب بار مدنظر

فاقد نیروی ناشی از زلزله باشد، تنش فشاری خاک نباید از مقاومت فشاری مجاز خاک (q_{allow}) بیشتر شود. انجام کنترل فشار خاک تحت بارهای غیر لرزه‌ای به منظور کنترل نشست شالوده الزامی است.

تذکر ۳: در غیاب نتایج آزمایشگاهی، به منظور تخمین مدول بستر خاک زیر شالوده می‌توان از رابطه (۱-۷) استفاده نمود. در صورتی که مشخصات مورد نیاز در رابطه (۱-۷) در دسترس نباشد، استفاده از رابطه تقریبی (۲-۷) نیز برای تخمین مدول بستر خاک بلامانع است.

$$k_s = \frac{1.3G}{B_f(1-\nu)} \quad (1-7)$$

$$k_s = 40 q_{allow} \quad (2-7)$$

مدول برش دینامیکی خاک G بر حسب N/m^2 و ضریب پواسون خاک ν که به صورت میانگین از سطح زیر شالوده تا عمقی معادل دو برابر عرض شالوده بر اساس مطالعات ژئوتکنیک در ساختگاه و یا مطابق نشریه ۳۶۰ و یا استاندارد ASCE 41 تخمین زده می‌شود. همچنین B_f برای شالوده‌های نواری برابر متوسط عرض شالوده و برای شالوده‌های گسترده برابر متوسط فاصله بین محور ستون‌ها (یا دیوارها) است. در شالوده‌های گسترده، برای نوارهای کناری شالوده عرض موثر کمتر بوده و می‌توان در این نواحی، مدول بستر را به صورت جداگانه نسبت به سایر نواحی میانی محاسبه نمود. در این صورت مقدار مدول بستر در نوارهای کناری شالوده‌های گسترده، مقدار بزرگتری خواهد داشت. انجام این کار اگرچه قابل توصیه است، اما الزامی نیست. همچنین مقاومت فشاری مجاز خاک q_{allow} بر حسب N/m^2 بوده و هر دو رابطه فوق مدول بستر را بر حسب N/m^3 می‌دهند.

تذکر ۴: با توجه به عدم قطعیت بالا در مشخصات ارتجاعی (مدول بستر) خاک زیر شالوده، لازم است دو مقدار حد بالا و حد پایین برای مدول بستر خاک در نظر گرفته شده و محاسبات شالوده (کنترل تنش خاک و طراحی سازه شالوده) بر اساس بحرانی‌ترین حالت انجام شوند. در غیاب داده‌های آماری، حد بالا و حد پایین مدول بستر خاک را می‌توان به ترتیب ۲ برابر ۰/۵ برابر مقادیر حاصل از رابطه (۱-۷) یا (۲-۷) در نظر گرفت.

تذکره ۵: فنرهای معرف خاک زیر شالوده که دارای سختی متناظر با مدول بستر هستند، باید تنها به صورت فشاری بوده و نباید قادر به تحمل کشش باشند.

تذکره ۶: در صورتی که اندرکنش خاک و سازه در مدل اصلی ساختمان لحاظ شده باشد، المان‌های شالوده باید به صورت نیروکنترل در نظر گرفته شوند. در این صورت فشار خاک زیر شالوده تغییر شکل کنترل بوده و نیازی به کنترل فشار خاک زیر شالوده تحت بارهای لرزه‌ای نیست. در این حالت همچنان لازم است تحت بارهای غیرلرزه‌ای (ثقلی)، فشار خاک و نشست شالوده از مقادیر مجاز فراتر نروند.

۷-۴ اجزای غیرسازه‌ای

بر اساس این ضابطه، اجزای غیرسازه‌ای به دو دسته صلب (با زمان تناوب ارتعاش کمتر از ۰/۱ ثانیه) و غیرصلب (با زمان تناوب ارتعاش بیش از ۰/۱ ثانیه) دسته بندی می‌شوند. نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای صلب در طبقات از ضرب حداکثر شتاب دیافراگم طبقات (حاصل از میانگین گیری نتایج تاریخچه زمانی غیرخطی) در جرم عضو غیرسازه‌ای، مطابق رابطه (۷-۳)، محاسبه می‌شود. نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای غیرصلب در طبقات از ضرب شتاب طیفی دیافراگم طبقه (در زمان تناوب متناظر با زمان تناوب عضو غیرسازه‌ای و میرایی ۰/۵٪) در جرم عضو غیرسازه‌ای، مطابق رابطه (۷-۴)، محاسبه می‌شود. محل اثر این نیرو را می‌توان در مرکز جرم عضو غیرسازه‌ای در نظر گرفت. به منظور طراحی اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های تجهیز شده به میراگرها / جداگرها، الزامات استاندارد ۲۸۰۰، راهنمای طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان و نشریه ۳۶۰ می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، با این تفاوت که نیروی لرزه‌ای وارده بر اجزای غیرسازه‌ای مستقیماً از شتاب طبقات بدست می‌آیند و هیچ حد بالا و پایینی در این خصوص تعریف نمی‌شود.

$$F_{RNS} = \frac{a_{max} W_{NS} I_{NS}}{R_{NS}} \quad (۷-۳)$$

$$F_{NS} = \frac{S_{amax}(T_{NS}, 5\%) W_{NS} I_{NS}}{R_{NS}} \leq 2.5 F_{RNS} \quad (۷-۴)$$

W_{NS} = وزن جزء غیرسازه‌ای

a_{max} = میانگین حداکثر شتاب در مرکز جرم دیافراگم کف که عضو غیرسازه‌ای به آن متصل است (برحسب g)

I_{NS} = ضریب اهمیت جزء غیرسازه‌ای که مقدار آن برای سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه برابر با ۱/۴ و در سایر سطوح عملکردی برابر با ۱ است.

S_{amax} = میانگین شتاب طیفی با میرایی ۵٪ در زمان تناوب مد اصلی ارتعاش عضو غیرسازه‌ای (T_{NS}) در دیافراگم کفی که عضو غیرسازه‌ای مدنظر به آن متصل است (برحسب g)

R_{NS} = ضریب اصلاح پاسخ جزء غیرسازه‌ای بر اساس نشریه ۳۶۰. در هیچ شرایطی مقدار این ضریب لازم نیست کمتر از ۱/۵ در نظر گرفته شود.

F_{RNS} = نیروی لرزه‌ای وارده بر اجزای غیرسازه‌ای صلب

F_{NS} = نیروی لرزه‌ای وارده بر اجزای غیرسازه‌ای غیرصلب (مقدار این نیرو نیازی نیست بیش از ۲/۵ برابر نیروی متناظر با عضو غیرسازه‌ای صلب در نظر گرفته شود)

کلیه اجزای غیرسازه‌ای علاوه بر داشتن ظرفیت نیرویی کافی باید به نحو مناسبی به سازه متصل شوند به طوری که عملکرد اجزای سازه‌ای را تحت تاثیر قرار ندهند. همچنین تغییرشکل‌های سازه نباید منجر به بروز آسیب در اعضای غیرسازه‌ای شود. نمونه‌هایی از اتصالات مناسب اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های دارای میراگر و سیستم جداساز لرزه‌ای، در شکل (۷-۱۳) نشان داده شده است.

تذکره ۱: دیوارهای داخلی و پیرامونی، سیستم راه پله جداسازی شده از سازه، راه پله‌های فرار، پله برقی و نمای ساختمان معمولاً در دسته اعضای غیرسازه‌ای صلب بوده و نیروی وارده بر آن‌ها با استفاده از رابطه (۷-۳) بدست می‌آید. سازه‌های بلند طره‌ای نصب شده در بام، تابلوهای طره‌ای متصل به سازه، آویزها، سقف‌های کاذب با عمق زیاد و خرپشته (در صورتی که در مدل اصلی سازه وجود نداشته باشد) نمونه‌هایی از اجزای غیرسازه‌ای غیرصلب هستند. توصیه می‌شود خرپشته همواره در مدل سازه وجود داشته باشد. در برخی موارد قرار دادن میراگر در طبقه خرپشته می‌تواند سبب کاهش قابل توجهی در تاثیر مدهای بالاتر شود.

تذکر ۲: در صورتی که عملکرد مدنظر، آستانه فروریزش باشد، نیازی به کنترل مقاومتی اجزای غیرسازه‌ای نیست. لیکن همچنان جزئیات اتصال آن‌ها باید به نحوی باشد که رفتار اجزای سازه‌ای را تحت تاثیر قرار ندهند.

تذکر ۳: دیوارهای غیرسازه‌ای در دهانه‌های دارای میراگر باید به نحوی اجرا شوند که اولاً برای تغییرشکل‌های میراگر ایجاد مانع نکنند و دوماً تغییرشکل میراگر نیز منجر به بروز ناپایداری در دیوار غیرسازه‌ای نشود. برای این منظور می‌توان مطابق شکل (۷-۱۳)، دیوار غیرسازه‌ای را در جلو یا پشت صفحه‌ای که میراگر در آن قرار دارد اجرا نمود به طوری که کلیه قسمت‌های میراگر و اتصالات آن حداقل ۲۰ میلی‌متر از دیوار فاصله داشته باشند.

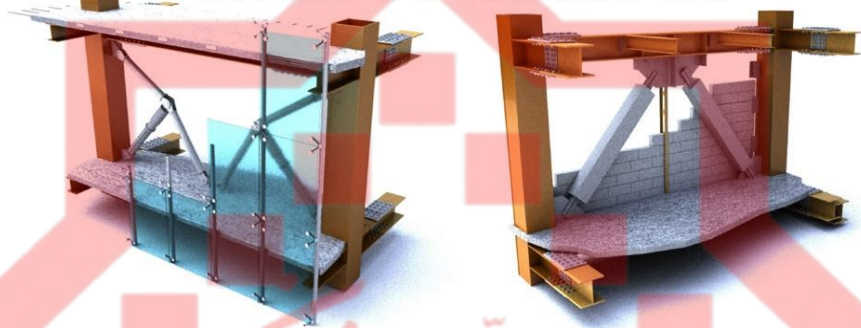
تذکر ۴: اجزای غیرسازه‌ای باید به نحوی باشند که امکان انجام بازدید حداقل از ۵۰٪ میراگرها و ۱۰۰٪ جداگرها، مطابق بند ۷-۶، فراهم باشد.

تذکر ۵: در صورتی که سیستم جداساز در تراز یکی از طبقات باشد، اجزای غیرسازه‌ای موجود در این طبقه باید به نحوی به سازه متصل شوند که تغییرشکل‌های نسبی سیستم جداساز به عضو غیرسازه‌ای منتقل نشده و یا اجزای غیرسازه‌ای به نحوی باشند که بدون ایجاد ممانعت در تغییرشکل‌های سیستم جداساز، قادر به تحمل تغییرشکل‌های وارده باشند. در این خصوص لازم است توجه شود که سیستم جداساز در هر دو امتداد افقی تغییرشکل‌های بزرگی را به صورت هم زمان تجربه کرده و علاوه بر آن، در امتداد قائم نیز مقداری تغییرشکل خواهد داشت. در این شرایط برای دیوارهای غیرسازه‌ای نمی‌توان از اتصالات کشویی متداول استفاده نمود. یکی از راهکارها، طراحی دیوار به نحوی است که لبه فوقانی دیوار آزاد بوده و به تراز جداسازی شده هیچ اتصالی نداشته باشد. راهکار دیگر استفاده از کلاف‌های افقی در تراز فوقانی دیوارهای غیرسازه‌ای است. این کلاف‌ها تنها باید به زیرسازه متصل بوده و هیچ اتصالی با روسازه نداشته باشند.

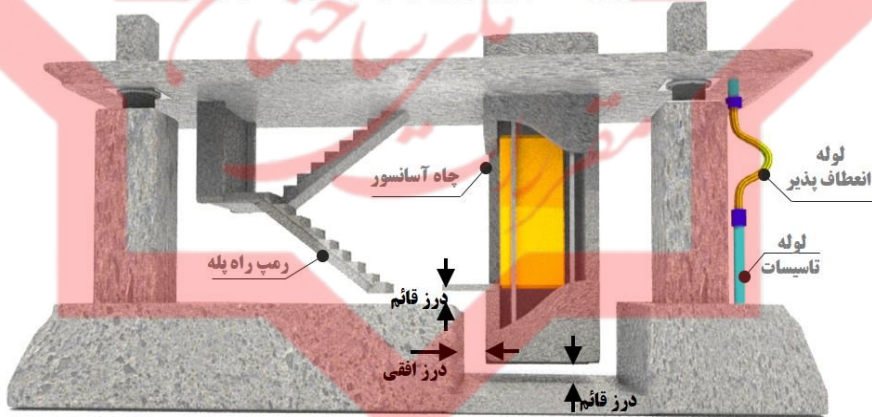
تذکر ۶: به جای استفاده از روابط (۷-۳) و (۷-۴)، نیروی لرزه‌ای وارد بر عضو غیرسازه‌ای می‌تواند بر اساس روابط موجود در استاندارد ۲۸۰۰ و یا نشریه ۳۶۰ محاسبه شود.



دیوارهای غیرسازه ای نباید منجر به ایجاد اختلال در عملکرد میراگرها شوند. برای این منظور می‌توان دیوار غیرسازه ای را در پشت و یا جلوی میراگر اجرا نمود.



استفاده از جزئیات مناسب برای اجزای غیرسازه ای در تراز جداساز لرزه‌ای



شکل (۷-۱۳). جزئیات اتصالات و نحوه جداسازی اجزای غیرسازه‌ای از سازه اصلی در ساختمان‌های دارای میراگر و یا سیستم جداساز لرزه‌ای

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۵-۷ الزامات حریق

جداگرهایی که در طبقات نصب می‌شوند، لازم است دارای پوشش ضد حریق بوده به طوری که مقاومت در برابر حریق در آن‌ها از مقاومت در برابر حریق سیستم باربر ثقلی واقع در همان طبقه، کمتر نباشد. سیستم محافظت کننده حریق نباید قیدی در برابر حرکات جانبی و قائم جداگر ایجاد کرده و سبب اختلال در عملکرد جداگر شود. استفاده از پوشش ضد حریق برای سایر جداگرها و میراگرها الزامی نبوده لیکن قابل توصیه است. در هر صورت پوشش ضد حریق نباید سبب ایجاد اختلال در عملکرد میراگر یا جداگر شود.

۶-۷ الزامات نصب

توصیه می‌شود، جزئیات و زمان بندی نصب میراگرها در سازه به گونه‌ای باشد که کمترین نیروی اولیه ناشی از بارهای ثقلی، در میراگر ایجاد شود. برای این منظور می‌توان، میراگرها را پس از اتمام ساخت سازه اصلی و اجرای کف طبقات، نصب نمود. همچنین در هنگام نصب میراگرها، باید کنترل گردد که میراگر در تغییرشکل صفر (یا تقریباً صفر) خود قرار داشته باشد و در هر دو امتداد مثبت و منفی قادر باشد ظرفیت تغییرشکلی خود را نشان دهد. بنابراین باید اطمینان حاصل شود پس از انجام آزمایشات، تغییرشکل میراگر به حالت صفر بازگشته شده و همچنین در هنگام حمل، تغییرشکل میراگر از حالت صفر (یا تقریباً صفر) خارج نشده باشد.

در خصوص سیستم‌های جداساز لرزه‌ای، لازم است در هنگام ساخت، تغییرشکل‌های برشی کلیه جداگرها موقتاً مقید گردد تا بدین ترتیب پایداری سازه تکمیل نشده و نیز تجهیزات ساخت روی سیستم جداساز (جرثقیل، داربست، قالب بندی و ...) حفظ شود. پس از اتمام ساخت و برداشته شدن کلیه تجهیزات ساخت، باید قیدهای موقت جداگرها نیز باز شوند. در هنگام نصب جداگرها باید کنترل شود که تغییرشکل جداگر در وضعیت صفر (یا تقریباً صفر) خود قرار داشته باشد به طوری که در تمام جهات، جداگر قادر باشد ظرفیت تغییرشکلی خود را نشان دهد. بنابراین لازم است کنترل شود که اولاً پس از انجام آزمایش‌ها، جداگر به تغییرشکل صفر خود بازگشته و دوماً در هنگام حمل، جداگر از تغییرشکل صفر خود خارج نشده باشد. این موضوع در خصوص جداگرهای لغزشی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

تذکر ۱: ایجاد قیدهای موقت در خصوص جداگرهای لغزشی از اهمیت بالاتری برخوردار بوده و در این نوع جداگرها حتی در هنگام حمل جداگر نیز (از محل کارخانه تا آزمایشگاه یا محل ساخت)، باید از قید برای جلوگیری از لغزش جداگر استفاده شود.

تذکر ۲: پیش از نصب جداگرها، نباید تغییرشکل برشی اولیه‌ای در جداگرها وجود داشته باشد. همچنین در هنگام نصب جداگرها و اجرای عملیات ساخت، لازم است تغییرشکل‌های جداگرها کنترل شوند. در برخی موارد، جمع شدگی بتن دیافراگم فوقانی سیستم جداساز لرزه‌ای می‌تواند منجر به ایجاد تغییرشکل برشی در جداگر شود. بنابراین توصیه می‌شود روند بتن ریزی دیافراگم فوقانی سیستم جداساز لرزه‌ای به نحوی باشد که اثرات ناشی از جمع شدگی به حداقل برسد.

تذکر ۳: در مورد جداگرهای لغزشی دو پلندولی و سه پلندولی، این احتمال وجود دارد که تغییرشکل برشی کلی جداگر صفر باشد (ورق‌های فوقانی و تحتانی جداگر منطبق بر یکدیگر باشند)، اما هر یک از لغزنده‌های داخلی تغییرشکل اولیه‌ای غیرصفر داشته باشند. بنابراین در خصوص این جداگرها باید اطمینان حاصل شود لغزنده‌های داخلی نیز فاقد تغییرشکل اولیه باشند.

تذکر ۴: فضای خالی اطراف سیستم جداساز لرزه‌ای (در ساختمان‌هایی که سیستم جداساز در پای سازه قرار دارد)، باید به نحوی پوشانده شود که امکان مسدود شدن این فضا با اشیای متفرقه و یا گیاهان وجود نداشته و همچنین فضای داخلی سیستم جداساز نیز تا حد امکان از گرد و غبار، نفوذ رطوبت و حریق محفوظ باشد. پوششی که برای پوشاندن فضای خالی اطراف ساختمان استفاده می‌شود نباید ممانعتی در تغییرشکل‌های افقی و قائم سیستم جداساز ایجاد کند. در صورتی که در اطراف این فضا مسیرهای تردد افراد وجود داشته باشد، لازم است از طریق تابلوها و علائم هشدار دهنده، احتمال تغییرشکل سیستم جداساز به اطلاع عموم رسانده شود. پوشش فضای خالی باید به نحوی باشد که به هیچ عنوان امکان ورود افراد متفرقه از خارج از ساختمان به فضای خالی اطراف سیستم جداساز فراهم نباشد.

تذکره ۵: به طور کلی میراگرها و جداگرها باید به نحوی در سازه اجرا شوند که امکان بازدید حداقل از ۵۰٪ میراگرها و ۱۰۰٪ جداگرها وجود داشته باشد. در خصوص سیستم‌های جداساز لرزه‌ای که در پای سازه قرار دارند، لازم است فضایی حداقل به ارتفاع ۱/۵ متر (از روی شالوده تا زیر دیافراگم سیستم جداساز) وجود داشته باشد. برای تامین این فضا، توصیه می‌شود جداگرها مستقیماً بر روی شالوده قرار نگرفته بلکه، مطابق شکل (۷-۹)، بر روی پداستال قرار داده شوند.

۷-۷ نگهداری و بازدید

کلیه میراگرها و جداگرها لازم است مطابق برنامه زمان بندی و چک لیست مشخصی مورد بازدید دوره‌ای قرار بگیرند. اجرای صحیح نگهداری و بازدید از میراگرها و جداگرها مستلزم همکاری مالک / مدیر ساختمان، پیمانکار ساختمان، مهندس طراح و شرکت تولید کننده میراگر/جداگر می‌باشد. در این بخش وظایف هر یک از اشخاص حقیقی و حقوقی فوق ذکر شده و مواردی که لازم است برای میراگرها و جداگرهای مختلف مورد بازدید قرار گیرند، ارائه شده است.

به طور کلی پنج دسته بازدید برای میراگرها و سیستم‌های جداساز تعریف می‌شود، که عبارتند از:

- بازدید پس از نصب: این بازدید پس از نصب میراگرها و جداگرها انجام شده و شامل مشاهده چشمی و اندازه‌گیری می‌باشد.
- بازدید (زمان پلایه) دوره‌ای: این بازدید به صورت دوره‌ای با بازه زمانی حداکثر هر ۵ سال یک بار انجام شده و شامل مشاهده چشمی می‌باشد.
- بازدید اضطراری: این بازدید پس از وقوع زلزله‌ای حداقل با شدت زلزله سطح ۱ و یا پس از وقوع هر نوع حادثه‌ای که به نوعی میراگرها و سیستم جداساز را تحت تاثیر قرار می‌دهد (نظیر آتش سوزی و سیل)، انجام شده و شامل مشاهده چشمی می‌باشد.
- بازدید دقیق: این بازدید زمانی انجام می‌شود که در حین سایر بازدیدها در یک یا تعدادی از میراگرها و جداگرها ایرادی اساسی مشاهده گردیده باشد. این بازدید شامل

ارزیابی از طریق مشاهده چشمی و اندازه‌گیری می‌شود. در این بازدید ممکن است نیاز باشد میراگر یا جداگر جهت انجام بررسی‌های بیشتر از سازه جدا شوند. در صورت نیاز به جداکردن جداگرها از سازه، لازم است جداگری مشابه با آن جایگزین شود.

▪ بازدید پس از بازسازی: این بازدید پس از انجام هر نوع عملیات تعمیر و بازسازی ساختمان که به نوعی میراگرها و سیستم جداساز ساختمان را تحت تاثیر قرار می‌دهند، انجام شده و شامل مشاهده چشمی و اندازه‌گیری می‌شود.

جزئیات بیشتر در خصوص روند انجام بازدیدها در جدول (۷-۱) ارائه شده است. همچنین در جداول (۷-۲) و (۷-۳) نحوه انجام ارزیابی روی میراگرها و سیستم‌های جداساز مختلف ارائه شده است.

جدول (۷-۱). جزئیات بازدیدهای میراگرها و جداگرها

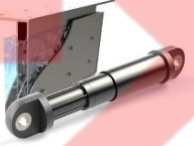
نوع بازدید	زمان انجام	مسئول انجام بازدید	نوع ارزیابی	مسئول کنترل نتایج ارزیابی
پس از نصب	پس از نصب	پیمانکار اصلی*	مشاهده چشمی و اندازه‌گیری	مهندس طراح
زمان پایه (دوره‌ای)	حداکثر ۵ سال یکبار	مالک/مدیر ساختمان*	مشاهده چشمی	مالک/مدیر ساختمان*
اضطراری	پس از وقوع حادثه		مشاهده چشمی	
دقیق	پس از تشخیص ایراد		مشاهده چشمی و اندازه‌گیری	
پس از بازسازی	پس از بازسازی		مشاهده چشمی و اندازه‌گیری	

* انجام بازدید و کنترل نتایج آن امری تخصصی بوده و لازم است مسئول انجام بازدید، این کار را بر عهده

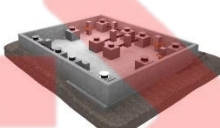
شرکت تولید کننده میراگر / جداگر و یا تیم متخصص دیگری قرار دهد.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

جدول (۷-۲). جزئیات ارزیابی در میراگرهای مختلف

نوع ارزیابی		میراگرها
اندازه گیری	مشاهده چشمی	
• کنترل ابعادی • کنترل صفر بودن تغییر شکل اولیه • اندازه گیری تغییر شکل ماندگار • کنترل تعداد و ابعاد پیچ‌ها و پین‌های اتصال و اطمینان از سفتی آن‌ها • کنترل ظرفیت خستگی کم چرخه باقی مانده	• کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی قابل توجه • اطمینان از عدم وجود ترک، گسیختگی، کمانش و یا هر نوع تغییر شکل غیرمنتظره • کنترل وضعیت پوشش رنگ قطعات • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر • سلامت اتصالات	 میراگرهای تسلیم شونده
• کنترل ابعادی • کنترل صفر بودن تغییر شکل اولیه • اندازه گیری تغییر شکل ماندگار • کنترل تعداد و ابعاد پیچ‌ها و پین‌های اتصال و اطمینان از سفتی آن‌ها • کنترل میزان پیش فشردگی مابین صفحات لغزش	• کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی قابل توجه • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزای فلزی و یا صفحات لغزش • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر • سلامت اتصالات	 میراگرهای اصطکاکی
• کنترل ابعادی • کنترل صفر بودن تغییر شکل اولیه • کنترل تعداد و ابعاد پیچ‌ها و پین‌های اتصال و اطمینان از سفتی آن‌ها	• کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی قابل توجه • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزا • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر • اطمینان از عدم وجود نشی در میراگر • اطمینان از عدم قرار گیری منبع حرارت در نزدیکی میراگر • سلامت اتصالات	 میراگرهای ویسکوز
• کنترل ابعادی • کنترل صفر بودن تغییر شکل اولیه • کنترل تعداد و ابعاد پیچ‌ها و پین‌های اتصال و اطمینان از سفتی آن‌ها	• کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی قابل توجه • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزا • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر • اطمینان از عدم جداشدگی لایه‌های ویسکوالاستیک و لایه‌های فلزی • اطمینان از عدم قرار گیری منبع حرارت در نزدیکی میراگر • سلامت اتصالات	 میراگرهای ویسکوالاستیک

جدول (۷-۳). جزئیات ارزیابی در سیستم جداساز لرزه‌ای

نوع ارزیابی		سیستم جداساز
اندازه گیری	مشاهده چشمی	
• کنترل ابعادی • کنترل صفر بودن تغییر شکل اولیه • اندازه گیری مقدار تغییر شکل افقی و قائم ایجاد شده در جداگر • اندازه گیری تغییر شکل ماندگار • کنترل تعداد و ابعاد پیچ‌های اتصال و اطمینان از سفتی آن‌ها • کنترل تراز بودن صفحات فوقانی و تحتانی جداگرها	• کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی قابل توجه • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزای فلزی و لاستیکی • سلامت اتصالات • کنترل پوشش لاستیکی محافظ • اطمینان از عدم زدگی و آلودگی روی صفحات لغزش • کنترل وضعیت پوشش حفاظتی حریق جداگرها (در صورت وجود) • اطمینان از عدم قرار گیری منبع حرارت در نزدیکی جداگر • اطمینان از عدم وجود رطوبت غیرمنتظره در اطراف جداگر	 جداگرها
• کنترل میزان درز افقی در تراز جداسازی شده (حداقل به اندازه تغییر شکل حداکثر تراز جداسازی شده تحت زلزله سطح ۲ بعلاوه ۵۰ میلی‌متر) • کنترل میزان درز قائم در تراز جداسازی شده (تراز جداسازی شده حداقل به اندازه ۵۰ میلی‌متر باید آزادی حرکت قائم داشته باشد) • کنترل تراز بودن دیافراگم روی سیستم جداساز	• اطمینان از وجود درز انقطاع افقی و درز قائم کافی در تراز جداسازی شده • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت افقی و قائم تراز جداسازی شده • کنترل اتصالات ارتجاعی به کار رفته در تاسیسات از منظر طول کافی و عدم وجود نشتی و آسیب در آن‌ها • کنترل فضای خالی در درز انقطاع • کنترل پوشش استفاده شده برای حفاظت از فضای خالی • کنترل تابلوها و علائم هشدار دهنده اطراف درز انقطاع	 تراز جداسازی شده

۸-۷ چک لیست کنترل طراحی

طرح نهایی سازه تجهیز شده به میراگر/جداگر لازم است تمام موارد ارائه شده در جدول ۷-۴ را برآورده کند.

جدول (۷-۴). چک لیست کنترل طراحی

مورد کنترلی	توضیحات
آیا میراگر/جداگر طراحی شده قابلیت ساخت دارد؟	استعلام از شرکت‌های تولید کننده
آیا میراگرها/جداگرهای طراحی شده قابل آزمایش هستند؟	استعلام از شرکت‌های تولید کننده / آزمایشگاه
آیا عملکرد سازه حداقل در دو سطح خطر سرویس و سطح ۲ بررسی شده است؟	عملکرد سازه باید حداقل در دو سطح خطر لرزهای سرویس و سطح ۲ کنترل شود.
آیا عملکرد سازه جداسازی شده با در نظر گرفتن حد بالا و حد پایین مشخصات جداگر بررسی شده است؟	در سازه‌های جداسازی شده باید یک بار حد بالا و یک بار حد پایین برای مشخصات جداگرها در نظر گرفته شده و بحرانی‌ترین حالت ملاک کنترل عملکرد سازه قرار گیرد.
آیا معیارهای پذیرش کلی برآورده شده‌اند؟	معیارهای پذیرش کلی شامل دریافت طبقات بوده و در برخی موارد شامل شتاب طبقات نیز می‌باشد.
آیا معیارهای پذیرش موضعی برآورده شده‌اند؟	معیارهای پذیرش موضعی شامل کلیه تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو و کلیه تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل هستند.
آیا پاسخ میراگر/جداگر در سطح خطر ۲ ملاک انجام آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول قرار گرفته‌اند؟	آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول باید مطابق فصل ۶ بر اساس حداکثر تغییر شکل میراگر/جداگر در زلزله سطح ۲ انجام شوند.
آیا آزمایش‌های پروتوتایپ بر روی میراگرها و جداگرها انجام شده است؟	مطابق فصل ۶، آزمایش‌های پروتوتایپ باید بر روی میراگرها و جداگرها انجام شود.
آیا آزمایش‌های کنترل محصول انجام شده است؟	مطابق فصل ۶، بر روی کلیه میراگرها و جداگرهای تولید شده برای پروژه باید آزمایش‌های کنترل محصول انجام شود. تنها میراگرهای تسلیم شونده فولادی استثنای هستند که در خصوص آن‌ها آزمایش‌های کنترل محصول تنها بر روی تعداد محدودی از میراگرها انجام شده و نباید از میراگر آزمایش شده در سازه استفاده شود.
آیا شرایط بازدید از میراگرها و جداگرها وجود دارد؟	میراگرها و جداگرها باید به نحوی اجرا شوند که امکان انجام بازدید حداقل از ۵۰٪ میراگرها و ۱۰۰٪ جداگرها مطابق بند ۷-۷ میسر باشد.
آیا طراحی سازه و شالوده در برابر بارهای غیرلرزه‌ای کنترل شده است؟	در خصوص بارهای غیرلرزه‌ای، سازه و شالوده باید مطابق یک ساختمان متداول بر اساس الزامات مباحث مقررات ملی کنترل شود. بنابراین نباید تمرکز صرفاً بر روی عملکرد لرزه ای باشد.

۹-۷ ارزیابی نیاز به تعویض میراگرها و جداگرها پس از زلزله

به استثنای میراگرهای تسلیم شونده (میراگرهای پره مثلثی، میراگرهای پلنل برشی و مهاربندهای کمانش‌تاب)، سایر میراگرها و جداگرهای معرفی شده در این ضابطه در صورت طراحی و تولید صحیح، پس از زلزله سطح ۲ نیاز به تعویض ندارند. لیکن این موضوع تنها در شرایطی محقق می‌شود که اولاً خود میراگرها / جداگرها دارای کیفیت مناسب بوده و دوماً سازه مجهز به این ادوات به شکل صحیح طراحی و اجرا شده باشد به طوری که تغییر شکل و یا نیروی پیش بینی نشده‌ای بیش از ظرفیت میراگرها / جداگرها به آن‌ها وارد نگردد. بر اساس این ضابطه، همواره لازم است پس از وقوع زلزله‌ای متناظر با زلزله سطح ۱ یا شدیدتر، میراگرها و جداگرها مورد بازدید قرار گرفته شوند. ملاک تشخیص شدت زلزله، مقدار طیف شتاب متناظر با زمان تناوب مد اصلی سازه است که در نزدیک ترین ایستگاه به ساختمان مدنظر، ثبت شده باشد. بر اساس این شتاب طیفی در صورتی که شدت زلزله معادل زلزله سطح ۱ یا بیشتر تخمین زده شود، لازم است میراگرها و جداگرها مورد بازبینی قرار گرفته شوند. مسئولیت انجام این بازبینی بر عهده مالک / مدیر ساختمان است که این کار را باید به یک تیم متخصص یا شرکت تولید کننده میراگر/جداگر واگذار کند. مواردی که لازم است مورد بازبینی قرار گرفته شوند، در جداول (۷-۲) و (۷-۳) ارائه شده است. در صورتی که موارد ارائه شده در جداول (۷-۲) و (۷-۳) نشان دهنده بروز آسیب در میراگر/جداگر نباشند، نیازی به تعویض میراگر / جداگر نخواهد بود. همچنین لازم است سلامت اتصالات میراگرها و جداگرها نیز بررسی شود و در صورتی که نشانه‌ای از بروز آسیب در اتصالات مشاهده شود، نسبت به تعویض یا تعمیر اتصالات اقدام شود.

تذکر ۱: در خصوص میراگرهای تسلیم شونده، یکی از عوامل تعیین کننده نیاز یا عدم نیاز به تعویض میراگر، ظرفیت خستگی کم چرخه باقی مانده در میراگر است و نباید صرفاً به مشاهدات چشمی کفایت شود. برای کنترل ظرفیت خستگی کم چرخه، لازم است ساختمان با استفاده از شتاب نگاشت ثبت شده در نزدیک ترین ایستگاه به صورت تاریخچه زمانی غیرخطی تحلیل شود. توجه شود در این تحلیل تنها یک زلزله (همان زلزله رخ داده بدون اعمال ضریب مقیاس) به مدل سازه اعمال می‌شود. در صورتی که شرایط خاک ایستگاه ثبت شتاب نگاشت با شرایط

خاک محل ساختمان تفاوت قابل توجهی داشته باشد، لازم است مولفه‌های افقی شتاب نگاشت به صورت مناسبی اصلاح شوند. این اصلاح نباید منجر به کاهش نگاشت‌های ثبت شده گردد. بر اساس نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، تغییرشکل (مجموع تغییرشکل الاستیک و غیرالاستیک) تجمعی ایجاد شده در میراگرهای تسلیم شونده بدست آمده و در صورتی که مقدار آن کمتر از ۲۵٪ تغییرشکل (مجموع تغییرشکل الاستیک و غیرالاستیک) تجمعی محاسبه شده در آزمایش‌های پروتوتایپ همان نوع میراگر باشد، میراگر نیاز به تعویض نخواهد داشت. این کنترل باید برای کلیه میراگرهای تسلیم شونده موجود در ساختمان انجام شود و در صورتی که برخی از میراگرها معیار فوق را برآورده نکنند، لازم است نسبت به تعویض آن‌ها با میراگرهای جدید با مشخصات مشابه اقدام شود.

تذکر ۲: در صورتی که قسمت‌های تسلیم شونده در میراگرهای تسلیمی به صورت چشمی قابل مشاهده بوده و پس از زلزله هیچ نشانی از ترک، کمانش و گسیختگی در میراگر و اتصالات آن مشاهده نشود، به شرطی که رنگ آمیزی روی قسمت تسلیم شونده میراگر بدون آسیب قابل توجه (پوسته شدن یا ترک) باشد، نیازی به تعویض میراگر یا انجام بررسی بیشتر برای تخمین ظرفیت خستگی باقی مانده در میراگر نمی‌باشد. در این شرایط می‌توان اطمینان داشت میراگر مشارکتی در استهلاک انرژی نداشته و در محدوده الاستیک خود باقی مانده است.

تذکر ۳: در صورتی که در میراگر تغییرشکل ماندگاری بزرگتر از ۲۵٪ ظرفیت تغییرشکلی میراگر ایجاد شده باشد، لازم است میراگر تعویض شود.

تذکر ۴: در تمام مواردی که نیاز به تعویض میراگر یا جداگر باشد، لازم است آزمایش‌های کنترل محصول مطابق با الزامات فصل ۶ بر روی میراگر یا جداگر جدید انجام شود.

۷-۱۰ کنترل طراحی

طراحی سازه‌های مجهز به میراگر باید حداقل توسط یک متخصص و طراحی سازه‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای باید حداقل توسط دو متخصص کنترل شوند. متخصصین کنترل کننده باید در زمینه‌های طراحی میراگرها و جداگرها، طراحی عملکردی بر اساس تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، تحلیل خطر لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای تجربه داشته باشند. متخصصین و

بازرسین ذیصلاح جهت کنترل طراحی سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر لرزه‌ای توسط دفتر مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شوند.

تذکر: کلیه مدارک مرتبط با طراحی پروژه شامل فرضیات طراحی، فایل‌های محاسباتی و نتایج آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها و جداگرها باید در اختیار تیم کنترل کننده طراحی قرار گرفته شود. لازم است از روند انجام آزمایش‌های پروتوتایپ و کنترل محصول تصویر برداری انجام شده و به عنوان مستندات، در اختیار تیم کنترل کننده طراحی قرار گرفته شود.



دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

مراجع

استاندارد ۲۸۰۰، آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله- ویرایش چهارم (۱۳۹۳)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

استاندارد ۲۸۰۰، آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله- ویرایش پنجم (۱۴۰۵)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰، طراحی لرزه‌ای و اجرای اجزای غیرسازه‌ای معماری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۵

راهنمای طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای، دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان، ۱۴۰۵

ضابطه ۷۲۹، راهنمای طراحی لرزه‌ای دیوارهای بنایی غیرسازه‌ای مسلح به میلگرد بستر، امور فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۵

کرمی محمدی رضا، نصری آرمان، قمری هادی (۱۳۹۵)، خطاهای محتمل در پیکره بندی میراگر TADAS، مجله علمی-پژوهشی مهندسی عمران مدرس، دوره شانزدهم، شماره ۵، ۱۵۳-۱۶۳

لک حسن (۱۳۹۹)، مطالعه عددی و آزمایشگاهی میراگر ویسکوز پیشنهادی با روزه‌های خودتنظیم شونده، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک

مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۸)، بارهای وارد بر ساختمان، دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان وزارت راه و شهرسازی، تهران، ایران،

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹)، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان وزارت راه و شهرسازی، تهران، ایران،

موسوی سید امین، اسفندیاری رضا، زهرایی سید مهدی (۱۳۹۸)، استفاده از میراگرهای ویسکوز تولید داخل به منظور ارتقای سطح عملکرد لرزه‌ای اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای بیمارستان‌های کشور، اولین کنفرانس بین‌المللی بهبود تاب‌آوری بیمارستان‌ها و مراکز حیاتی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

نشریه شماره ۳۶۰، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (۱۳۸۵)، معاونت امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

نشریه شماره ۶۲۶، راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله (۱۳۹۲)، امور نظام فنی، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور.

وفایی ابولحسن، استکانچی همایون (۱۳۹۰)، کاربرد روش زمان دوام سازگار با آیین‌نامه ۲۸۰۰ در تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی میان‌مرتبه، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

AASHTO (1999), Guide specifications for seismic isolation design, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C., USA.

AIJ (2016), Design recommendations for seismically isolated buildings, English Edition, Architectural Institute of Japan, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japan.

Akcelyan S, Lignos DG, (2021), "Rate-dependent model for simulating the hysteretic behavior of low-yield stress buckling-restrained braces under dynamic excitations", *Engineering Structures*, 230, 111659.

Al-Hussaini TM, Zayas VA and Constantinou MC, (1994), "Seismic isolation of multi-story frame structures using spherical sliding isolation systems", *Technical Report NCEER-94-0007*, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, Buffalo, NY, USA.

Anoushehei M, Daneshjoo F, Mahboubi S and Hashemi MH, (2018), "Empirical evaluation of cyclic behavior of rotational friction dampers with different metal pads", *Scientia Iranica*, 25(6), 3021-3029.

ASCE 7-22 (2022), Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, Virginia.

ASCE 41-13 (2013), Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, Virginia.

- ASCE 41-17 (2017), Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, Virginia.
- ASCE 41-23 (2023), Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, Virginia.
- Barone S, Calvi GM and Pavese A, (2017), "Experimental dynamic response of spherical friction-based isolation devices, *Journal of Earthquake Engineering*, 23(9), 1465-1484.
- BS EN 15129 (2018), Anti-Seismic devices, European Committee for Standardization.
- Calvi PM and Calvi GM, (2018), "Historical development of friction-based seismic isolation systems", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 106, 14-30.
- Cousins WJ, Porritt TE, (1993), "Improvements to lead-extrusion damper technology", *Bulleting of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 26(3), 342-348.
- Daniel Y, Montgomery M and Christopoulos, (2014), "Viscoelastic dampers under wind and earthquake loading", *10th US National Conference on Earthquake Engineering*, Alaska, USA.
- Dusika P, Itani AM and Buckle IG, (2004), "Evaluation of conventional and specialty steels in shear link hysteretic energy dissipators", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada.
- Engelen NCV and Kelly JM, (2015), "Retest of neoprene seismic isolation bearings after 30 years", *Structural Control and Health Monitoring*, 22, 139-151.
- Fenz DM and Constantinou MC, (2006), "Behavior of the double concave friction pendulum bearing", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35, 1403-1424.
- Fenz DM and Constantinou MC, (2008 a), "Spherical sliding bearings with adaptive behavior: Theory", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37, 163-183.
- Fenz DM and Constantinou MC, (2008 b), "Spherical sliding bearings with adaptive behavior: Experimental verification", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37, 185-205.
- Hirata K, Matsuda A and Yabana S, (2002), "Numerical simulations of rubber bearing tests and shaking table tests", Report No. IAEA-TECDOC—1288, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

- Hwang JS, Huang YN and Hung YH, (2005), "Analytical and experimental study of toggle-brace-damper systems", *Journal of Structural Engineering*, 131(7), 1035-1043.
- Ishikawa K, Okuma K, Shimada A, Nakamura H and Masaki N, (2004), "JSSI manual for building passive control technology part-5 performance and quality control of viscoelastic dampers", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada.
- Kalpakidis IV and Constantinou MC (2009), "Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. I: Theory", *Journal of Structural Engineering*, 135(12), 1440:1449.
- Katsaras CP, Panagiotakos TB and Kolas B, (2008), "Restoring capability of bilinear hysteretic seismic isolation systems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37, 557-575.
- Lago A, Trabucco D and Wood A, (2018), *Damping technologies for tall building- Theory, design guidance and case studies*, Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), published by Elsevier.
- LATBSDC (2023), *An alternative procedure for seismic analysis and design of tall buildings*, 2023 Edition, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council.
- Li A, (2020), *Vibration control for building structures- Theory and applications*, Springer Nature Switzerland AG.
- Masaki N, Mori T, Murota N and Kasai K, (2017), "Validation of hysteresis model of deformation-history integral type for high damping rubber bearings", *16th World Conference on Earthquake Engineering*, 16WCEE, Santiago, Chile.
- Merritt S, Uang CM and Benzoni G, (2003), "Subassembly testing of STAR seismic buckling-restrained braces", Report Ni. TR-2003/04, University of California, San Diego, CA.
- Montgomery M and Christopoulos C, (2015), "Experimental validation of viscoelastic coupling dampers for enhanced dynamic performance of high-rise buildings", *Journal of Structural Engineering*, 141(5), 04014145-1-11.
- Mousavi SA and Zahrai SM, (2016), "Contribution of pre-slacked cable braces to dynamic stability of non-ductile frames; an analytical study", *Engineering Structures*, 117, 305-320.
- Mualla IH, (2000), "Parameters influencing the behavior of a new friction damper device", Proc. SPIE 3988, Smart Structures and Materials.
- Mualla IH and Jakupsson ED, (2010), "A rotational friction damping system for buildings and structures", *Proceedings of the Danish Society for Structural Science and Engineering*, Vol. 98, No. 3, pp.47-98.

Mualla IH, Nielsen LO, Sugisawa M and Suzuki Y, (2012), "Large capacity dampers for buildings and structures", *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.

Nakata Y, Hirota M, Shimizu T and Iida T, (2004), "JSSI manual for building passive control technology part-6 design of steel damper", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada.

NIST GCR 17-917-45 (2017), Recommended modeling parameters and acceptance criteria for nonlinear analysis in support of seismic evaluation, retrofit, and design. National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland.

Okazaki T, Sato E, Ryan K, Sasaki T and Mahin S, (2014), "Performance of triple-pendulum bearings observed in a full-scale shake-table test program", *10th US National Conference on Earthquake Engineering*, Anchorage, Alaska.

Ponzo FC, Di Cesare A, Leccese G and Nigro D, (2017), "Shake table testing on restoring capability of double concave friction pendulum seismic isolation systems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 46(14), 2337-2353.

Qu Z, Ji X, Shi X, Wang Y and Liu H, (2020), "Cyclic loading test of steel coupling beams with mid-span friction dampers and RC slabs", *Engineering Structures*, 203, 109876.

Roussis PC and Constantinou MC, (2005), "Experimental and analytical studies of structures seismically isolated with an uplift-restraint isolation system", *Technical Report MCEER-05-0001*, University at Buffalo, State University of New York, New York, USA.

Ruiz-Garcia J and Miranda E, (2005), "Performance-based assessment of existing structures accounting for residual displacements", *Report No. 153*, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, CA.

Sasaki K, Miyazaki M and Sawada T, (2012), "Characteristics of viscous wall damper of intense oscillation test against large earthquakes", *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.

Shayanfar MA, Barkhordari MA and Rezaeian AR, (2011), "Experimental study of cyclic behavior of composite vertical shear link in eccentrically braced frames", *Steel and Composite Structures*, 12(1), 13-29.

Skinner RI, Kelly TE and Robinson BWH, (2011), *Seismic isolation for designers and structural engineers*, Wellington, NZ.

Takeuchi and Wada (2017), *Buckling-restrained braces and applications*, The Japan Society of Seismic Isolation (JSSI).

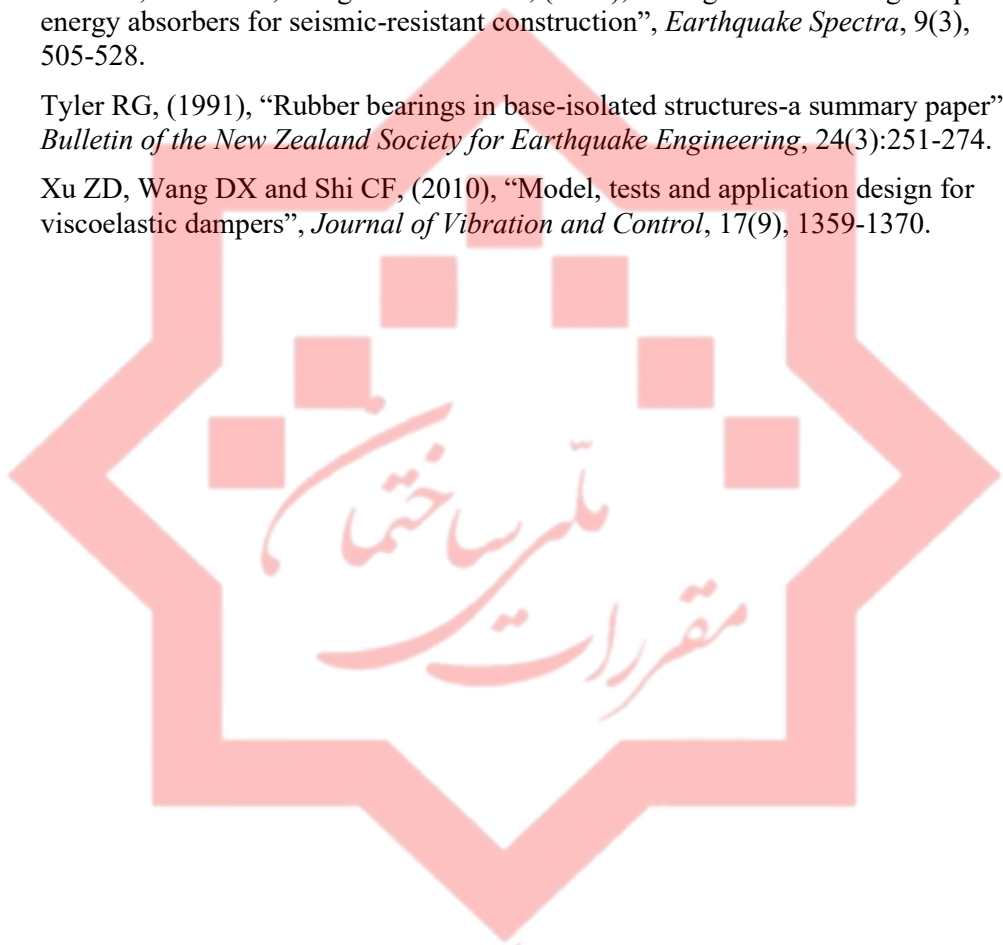
Thompson ACT, Whittaker AS, Fenves GL and Mahin SA, (2000), "Property modification factors for elastomeric seismic isolation bearings", *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.

Tremblay R, (1993), Seismic behavior and design of friction concentrically braced frames for steel buildings, *PhD Thesis*, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Tsai KC, Chen HW, Hong CP and Su YF, (1993), "Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction", *Earthquake Spectra*, 9(3), 505-528.

Tyler RG, (1991), "Rubber bearings in base-isolated structures-a summary paper", *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 24(3):251-274.

Xu ZD, Wang DX and Shi CF, (2010), "Model, tests and application design for viscoelastic dampers", *Journal of Vibration and Control*, 17(9), 1359-1370.



دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان