



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
معاونت مسکن و ساختمان



دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

راهنمای طراحی ساختمان های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه ای





**طراحی لرزه‌های ساختمان‌های مجهز
به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای**

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

سرشناسه	:	طراحی لرزه ای ساختمان های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه ای
عنوان و نام پدیدآور	:	
مشخصات نشر	:	
مشخصات ظاهری	:	۳۲۳ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۰-۰۲۲۰۴۰۶
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
موضوع	:	ساختمان سازی- طراحی لرزه ای - ایران
موضوع	:	Building Construction--Earthquake Resistant Design--Iran
موضوع	:	جداسازی لرزه ای - میراگر - ادوات استهلاک انرژی
موضوع	:	Seismic Isolation—Damper—Energy Dissipating Devices
شناسه افزوده	:	ایران، وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان
شناسه افزوده	:	Ministry of Road and Urban Development, Deputy for Housing and Construction
شناسه افزوده	:	دفتر مقررات و کنترل ساختمان
رده بندی کنگره	:	
رده بندی دیویی	:	
شماره کتابشناسی ملی	:	
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	

طراحی لرزه ای ساختمان های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه ای

تهیه کننده: دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان

ناشر:

نوبت چاپ: اول

قیمت:

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

شابک:

مسئولیت صحت دیدگاه های فنی کتاب بر عهده نگارندگان محترم می باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای تهیه کننده محفوظ است.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

مجری طرح

دکتر سید امین موسوی

مهندسین مشاور

اعضای کارگروه تدوین (به ترتیب حروف الفبا)

دکتر علی خان سفید

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر میثم صمدی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد مشهد

دکتر سید امین موسوی

مهندسین مشاور

مهندس صمد دهقان

مهندسین مشاور

دکتر ساسان محاسب

مهندسین مشاور

مهندس رضا اسفندیاری

مهندسین مشاور

دکتر احسان نوروزی نژاد

عضو هیات علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته کرمان

اعضای گروه مدیریت و راهبری

دکتر محمود محمود زاده

معاون وقت مسکن و ساختمان وزارت راه و شهرسازی

مهندس حامد مانی فر

مدیرکل دفتر مقررات ملی و بررسی ساختمان وزارت راه و

شهرسازی

مهندس مسعود افراز

معاون ترویج و کنترل ساختمان - دفتر مقررات ملی و کنترل

ساختمان

اعضای کمیته داوری (به ترتیب حروف الفبا)

عضو هیات علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکتر حمید زعفرانی
عضو هیات علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران	دکتر سید مهدی زهرایی
مهندسین مشاور	دکتر حداد شرق
مهندسین مشاور	مهندس جواد قدرتی ینگجه
عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد ساوه	دکتر مهدی کفایی کیوی
عضو هیات علمی گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد	محمد محمدی ده چشمه
مهندسین مشاور	دکتر مهدی هادی

همچنین بدینوسیله از ادارات کل راه و شهرسازی و سازمان نظام مهندسی ساختمان استان‌های چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، کرمان، یزد که با معرفی اساتید ما را در تهیه این ضابطه یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد. از آقای دکتر هادی عباسی اصل معاون مسکن و ساختمان و قائم مقام وزیر در نهضت ملی مسکن وزارت راه و شهرسازی نیز بابت حمایت از چاپ و انتشار این متن به طور ویژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

حامد مانی فر

مدیرکل دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

آبان ماه ۱۴۰۱

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

پیشگفتار

مذہبِ ساختہ
مقررات

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

پیشگفتار

با توجه به آن که ارتقای تاب آوری لرزه ای در ساخت و ساز شهری امری اجتناب ناپذیر می باشد، لذا نیاز به بازنگری در فلسفه طراحی لرزه ای در سازه های کشور نیز امری ضروری به نظر می رسد. در فلسفه طراحی لرزه ای کنونی عمدتاً دستیابی به سطح عملکرد ایمنی جانی مدنظر است حال آنکه با توجه به افزایش ارزش ساختمان در کشور و هزینه های ناشی از ایجاد اخلال 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 فناوری های نوین و دانش بنیانی همچون میراگرها و جداگرهای لرزه ای میتواند به ارتقای تاب آوری لرزه ای سازه های موجود و سازه های جدید کمک کند. با توجه به عدم وجود دستورالعملی جامع، کامل و به روز برای طراحی ساختمان های مجهز به میراگرها و جداگرها در داخل کشور، دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان تصمیم به تدوین راهنمایی جامع به منظور طراحی لرزه ای ساختمان های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه ای نمود. در تدوین این دستورالعمل 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 لرزه ای و استفاده از آن در صنعت ساخت و ساز کشور، شاهد کاهش خسارات ناشی از زلزله و بهبود تاب آوری لرزه ای در کشور باشیم.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

حامد مانی فر

مدیرکل دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقرررات ملی و کتترل ساختمان

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱ فلسفه پیدایش ۳

۲-۱ دامنه کاربرد ۴

۳-۱ فلوجارت طراحی ۴

۴-۱ ساختار دستورالعمل ۶

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 دستورالعمل ۱۲

۲-۲ میراگرهای تسلیمی ۱۳

۱-۲-۲ میراگرهای پره مثلثی ۱۴

۲-۲-۲ میراگرهای پانل برشی ۱۸

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 ۳۴

۳۴	تعداد سیکل‌های پلاستیک	۱-۵-۲-۲
۳۵	دمای محیط	۲-۵-۲-۲
۳۵	سرعت بارگذاری	۳-۵-۲-۲
۳۶	عملکرد دراز مدت	۴-۵-۲-۲
۳۶	مزایا و محدودیت‌های میراگرهای تسلیمی	۶-۲-۲
۳۷	میراگرهای اصطکاکی	۳-۲
۳۸	میراگرهای اصطکاکی انتقالی	۱-۳-۲
۴۳	میراگرهای اصطکاکی دورانی	۲-۳-۲
۴۸	شبیه‌سازی میراگرهای اصطکاکی	۳-۳-۲
۴۹	مدل پلاستیک ون	۱-۳-۳-۲
۴۹	مدل پلاستیک چندخطی	۲-۳-۳-۲
۵۰	تأثیر لقی اتصال	۳-۳-۳-۲
۵۳	وابستگی در میراگرهای اصطکاکی	۴-۳-۲
۵۳	تعداد سیکل‌رفت و برگشتی	۱-۴-۳-۲
۵۳	دمای محیط	۲-۴-۳-۲
۵۳	سرعت بارگذاری	۳-۴-۳-۲
۵۳	عملکرد دراز مدت	۴-۴-۳-۲
۵۴	مزایا و محدودیت‌های میراگرهای اصطکاکی	۵-۳-۲
۵۵	میراگرهای سیال ویسکوز	۴-۲
۵۵	میراگرهای ویسکوز	۱-۴-۲
۶۱	میراگرهای پانل ویسکوز	۲-۴-۲
۶۵	شبیه‌سازی میراگرهای سیال ویسکوز	۳-۴-۲
۶۶	مدل ماکسول نمایی	۱-۳-۴-۲
۶۷	مدل ماکسول دوخطی	۲-۳-۴-۲
۷۰	تأثیر لقی اتصال	۳-۳-۴-۲
۷۳	وابستگی در میراگرهای سیال ویسکوز	۴-۴-۲
۷۳	تعداد سیکل‌رفت و برگشتی	۱-۴-۴-۲
۷۴	دمای محیط	۲-۴-۴-۲
۷۵	عملکرد دراز مدت	۳-۴-۴-۲

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای ■ ز

- ۷۵-۴-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای سیال ویسکوز..... ۷۵
- ۷۶-۵-۲ میراگرهای ویسکوالاستیک..... ۷۶
- ۷۶-۱-۵-۲ معرفی میراگرهای ویسکوالاستیک..... ۷۶
- ۸۳-۲-۵-۲ شبیه سازی میراگرهای ویسکوالاستیک..... ۸۳
- ۸۳-۱-۲-۵-۲ مدل کلونین..... ۸۳
- ۸۴-۲-۲-۵-۲ تاثیرات دما و فرکانس..... ۸۴
- ۸۵-۳-۲-۵-۲ تاثیر لقی اتصال..... ۸۵
- ۸۵-۳-۵-۲ وابستگی در میراگرهای ویسکوالاستیک..... ۸۵
- ۸۵-۱-۳-۵-۲ تعداد سیکل رفت و برگشتی..... ۸۵
- ۸۵-۲-۳-۵-۲ دمای محیط..... ۸۵
- ۸۵-۳-۳-۵-۲ فرکانس تحریک..... ۸۵
- ۸۶-۴-۳-۵-۲ عملکرد دراز مدت..... ۸۶
- ۸۸-۴-۵-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای ویسکوالاستیک..... ۸۸
- ۸۹-۶-۲ چیدمان میراگر در سازه..... ۸۹
- ۹۰-۱-۶-۲ چیدمان قطری..... ۹۰
- ۹۲-۲-۶-۲ چیدمان شورن..... ۹۲
- ۹۴-۳-۶-۲ چیدمان بانلی..... ۹۴
- ۹۶-۴-۶-۲ چیدمان جناغی..... ۹۶
- ۹۸-۵-۶-۲ چیدمان همبند..... ۹۸
- ۱۰۰-۶-۶-۲ چیدمان میان طبقه‌ای..... ۱۰۰
- ۱۰۲-۷-۶-۲ چیدمان بازویی..... ۱۰۲
- ۱۰۷-۸-۶-۲ جمع بندی چیدمان میراگرها..... ۱۰۷

فصل ۳: جداگرها..... ۱۰۹

- ۱۱۱-۱-۳ مقدمه..... ۱۱۱
- ۱۱۲-۱-۱-۳ الزامات سیستم‌های جداساز لرزه‌ای..... ۱۱۲
- ۱۱۳-۲-۱-۳ اجزای تشکیل دهنده سیستم جداساز لرزه‌ای..... ۱۱۳
- ۱۱۳-۱-۲-۳ نشیمنگاهها (جداگرها)..... ۱۱۳

۱۱۴.....	۲-۲-۱-۳	میراگرها
۱۱۴.....	۳-۱-۳	سیستم‌های جداساز لرزه‌ای مدنظر دستورالعمل
۱۱۶.....	۲-۳	جداگرهای الاستومری
۱۱۶.....	۱-۲-۳	ساختار کلی
۱۱۸.....	۲-۲-۳	جداگرهای لاستیکی با میرایی کم
۱۲۰.....	۳-۲-۳	جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا
۱۲۳.....	۴-۲-۳	جداگرهای لاستیکی با هسته سربی
۱۲۷.....	۵-۲-۳	شبیه‌سازی جداگرهای لاستیکی
۱۳۱.....	۶-۲-۳	وابستگی در جداگرهای لاستیکی
۱۳۱.....	۱-۶-۲-۳	تعداد سیکل رفت و برگشتی
۱۳۲.....	۲-۶-۲-۳	دمای محیط
۱۳۲.....	۳-۶-۲-۳	فرکانس تحریک
۱۳۲.....	۴-۶-۲-۳	عملکرد دراز مدت
۱۳۳.....	۷-۲-۳	مزایا و محدودیت‌های نشیمنگاه‌های لاستیکی
۱۳۴.....	۳-۳	جداگرهای لغزشی
۱۳۷.....	۱-۳-۳	جداگرهای لغزشی مسطح
۱۴۱.....	۲-۳-۳	جداگرهای لغزشی تک پاندولی
۱۴۴.....	۳-۳-۳	جداگرهای لغزشی دو پاندولی
۱۵۰.....	۴-۳-۳	جداگرهای لغزشی سه پاندولی
۱۵۶.....	۵-۳-۳	شبیه‌سازی جداگرهای لغزشی
۱۶۰.....	۶-۳-۳	وابستگی در جداگرهای لغزشی
۱۶۰.....	۱-۶-۳-۳	تعداد سیکل رفت و برگشتی
۱۶۰.....	۲-۶-۳-۳	دمای محیط
۱۶۰.....	۳-۶-۳-۳	فرکانس تحریک
۱۶۰.....	۴-۶-۳-۳	عملکرد دراز مدت
۱۶۰.....	۷-۳-۳	مزایا و محدودیت‌های جداگرهای لغزشی
۱۶۳.....	۴-۳	مرکزگرایی در سیستم‌جدااساز لرزه‌ای
۱۶۵.....	۵-۳	میراگرهای سیستم‌جدااساز لرزه‌ای

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای ■ ش

- ۶-۳ چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای..... ۱۶۸
- ۱-۶-۳ جانمایی در ارتفاع..... ۱۶۸
- ۲-۶-۳ جانمایی در پلان..... ۱۶۹

فصل ۴: طیف طرح و شتاب نگاشت ۱۷۱

- ۱-۴ کلیات..... ۱۷۳
- ۲-۴ طیف طرح..... ۱۷۳
- ۱-۲-۴ طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰..... ۱۷۴
- ۲-۲-۴ طیف طرح ویژه ساختگاه..... ۱۷۵
- ۱-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل پاسخ زمین..... ۱۷۵
- ۲-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی..... ۱۷۸
- ۳-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح براساس تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی..... ۱۸۰
- ۳-۲-۴ تنظیم دوره بازگشت طیف طرح..... ۱۸۲
- ۴-۲-۴ تنظیم درصد میرایی طیف طرح..... ۱۸۴
- ۵-۲-۴ طیف طرح مولفه قائم زلزله..... ۱۸۴
- ۳-۴ شتاب نگاشت..... ۱۸۶
- ۱-۳-۴ انتخاب شتاب نگاشت..... ۱۸۷
- ۲-۳-۴ تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت..... ۱۸۹
- ۱-۲-۳-۴ روش مقیاس طیفی..... ۱۹۰
- ۲-۲-۳-۴ روش انطباق طیفی..... ۱۹۲

فصل ۵: طراحی سازه ۱۹۵

- ۱-۵ مقدمه..... ۱۹۷
- ۲-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر..... ۱۹۸
- ۱-۲-۵ روند کلی طراحی..... ۱۹۸
- ۴-۲-۵ مرحله اول-تعیین اهداف عملکردی..... ۲۰۰
- ۳-۲-۵ مرحله دوم- طراحی سازه اصلی ۲۰۳

- ۲۰۴..... ۴-۲-۵ مرحله سوم- طراحی میراگرها
- ۲۲۲..... ۵-۲-۵ مرحله چهارم- کنترل نهایی عملکرد سازه
- ۲۲۳..... ۳-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه ای
- ۲۲۳..... ۱-۳-۵ روند کلی طراحی
- ۲۲۴..... ۲-۳-۵ مرحله اول- تعیین اهداف عملکردی
- ۲۲۶..... ۳-۳-۵ مرحله دوم- تعیین مشخصات سیستم جداگر
- ۲۳۴..... ۴-۳-۵ مرحله سوم- طراحی مقاومتی سازه
- ۲۳۴..... ۱-۴-۳-۵ طراحی سازه روی سیستم جداساز لرزه ای
- ۲۳۶..... ۲-۴-۳-۵ طراحی سازه زیر سیستم جداساز لرزه ای
- ۲۳۶..... ۵-۳-۵ مرحله چهارم- طراحی سیستم جداساز
- ۲۴۱..... ۶-۳-۵ مرحله پنجم- کنترل نهایی عملکرد سازه
- ۲۴۲..... ۴-۵ تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی
- ۲۴۳..... ۱-۴-۵ الزامات عمومی
- ۲۴۳..... ۱-۱-۴-۵ مدل سه بعدی
- ۲۴۳..... ۲-۱-۴-۵ جرم لرزه ای
- ۲۴۳..... ۳-۱-۴-۵ بار ثقلی
- ۲۴۴..... ۴-۱-۴-۵ پیچش
- ۲۴۴..... ۵-۱-۴-۵ دیافراگم کف
- ۲۴۵..... ۶-۱-۴-۵ اثر پی دلتا
- ۲۴۵..... ۷-۱-۴-۵ نسبت میرایی ذاتی
- ۲۴۶..... ۸-۱-۴-۵ تراز پایه و اعمال شتاب نگاشت ها
- ۲۴۷..... ۲-۴-۵ مدلسازی سازه اصلی
- ۲۴۸..... ۱-۲-۴-۵ قاب خمشی فولادی
- ۲۵۱..... ۲-۲-۴-۵ قاب دارای مهاربند همگرا
- ۲۵۴..... ۳-۲-۴-۵ قاب خمشی بتنی
- ۲۵۶..... ۴-۲-۴-۵ دیوار برشی بتنی
- ۲۵۸..... ۳-۴-۵ مدلسازی میراگرها
- ۲۵۹..... ۴-۴-۵ مدلسازی جداگرها
- ۲۵۹..... ۵-۴-۵ پاسخ‌های لرزه ای
- ۲۶۰..... ۱-۵-۴-۵ دریافت طبقات

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای ■ ض

۲۶۱	برش طبقات	۲-۵-۴-۵
۲۶۲	شتاب طبقات	۳-۵-۴-۵
۲۶۳	جابجایی طبقات	۴-۵-۴-۵
۲۶۳	تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل	۵-۵-۴-۵
۲۶۴	تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو	۶-۵-۴-۵
۲۶۴	تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها	۷-۵-۴-۵
۲۶۵	کنترل معیارهای پذیرش	۶-۴-۵
۲۶۶	معیار پذیرش دریفت طبقه	۱-۶-۴-۵
۲۶۶	معیار پذیرش شتاب طبقه	۲-۶-۴-۵
۲۶۷	معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل	۳-۶-۴-۵
۲۶۷	معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو	۴-۶-۴-۵
۲۶۸	معیار پذیرش تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها	۵-۶-۴-۵

فصل ۶: تست میراگرها و جداگرها ۲۶۹

۲۷۱	مقدمه	۱-۶
۲۷۴	تست میراگرها	۲-۶
۲۷۴	تست‌های پروتوتایپ	۱-۲-۶
۲۷۴	تست مربوط به بارهای لرزه‌ای	۱-۱-۲-۶
۲۷۶	تست مربوط به بارهای ناشی از باد	۲-۱-۲-۶
۲۷۷	معیارهای پذیرش تست‌های پروتوتایپ	۲-۲-۶
۲۷۸	معیارهای پذیرش کیفی	۱-۲-۲-۶
۲۷۸	معیارهای پذیرش کمی	۲-۲-۲-۶
۲۸۰	تعیین مشخصات اسمی میراگر	۳-۲-۶
۲۸۲	تعیین حد بالا و حد پایین مشخصات میراگر	۴-۲-۶
۲۸۵	تست‌های کنترل محصول	۵-۲-۶
۲۸۵	معیار پذیرش تست‌های کنترل محصول	۶-۲-۶
۲۸۶	تست جداگرها	۳-۶
۲۸۶	تست‌های پروتوتایپ	۱-۳-۶
۲۸۶	تست مربوط به بارهای لرزه‌ای	۱-۱-۳-۶

۲۸۸	..... تست مربوط به بارهای ناشی از باد	۲-۱-۳-۶
۲۸۹	..... معیارهای پذیرش تست‌های پروتوتایپ	۲-۳-۶
۲۸۹	..... معیارهای پذیرش کیفی	۱-۲-۳-۶
۲۸۹	..... معیارهای پذیرش کمی	۲-۲-۳-۶
۲۹۱	..... تعیین مشخصات اسمی جداگر	۳-۳-۶
۲۹۲	..... تعیین حد بالا و حد پایین مشخصات جداگر	۴-۳-۶
۲۹۴	..... تست‌های کنترل محصول	۵-۳-۶
۲۹۵	..... معیار پذیرش تست‌های کنترل محصول	۶-۳-۶

فصل ۷: سایر الزامات ۲۹۷

۲۹۹	..... اتصالات میراگرها و جداگرها	۱-۷
۲۹۹	..... دیافراگم کف	۲-۷
	..... شالوده	۳-۷
۳۰۱	..... اجزای غیرسازه ای	۴-۷
۳۰۱	..... الزامات حریق	۵-۷
۳۰۲	..... نگهداری و بازدید	۶-۷
۳۰۵	..... چک لیست کنترل طراحی	۷-۷
۳۰۵	..... کنترل طراحی توسط دستگاه نظارتی	۸-۷

فصل ۱

مقدمه

مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل 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 بوده 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. لذا 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 کارهای 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 عملکرد روزمره ساختمان، استفاده از روش‌های کنترل ارتعاشات در قالب استفاده از میراگرها و جداگرها در طی چهار دهه گذشته مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. در کنترل ارتعاشات هدف کاهش ارتعاشات ناشی از بارهای دینامیکی است که این کار با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله تغییر در سختی و میرایی سازه صورت می‌پذیرد. این تکنولوژی در بسیاری از کشورهای لرزه‌خیز از جمله ایران مورد استفاده قرار گرفته و عملکرد مناسب آن‌ها در مطالعات عددی و آزمایشگاهی، بلکه در زلزله‌های رخ داده نیز مشاهده شده است. انتظار می‌رود در مقایسه با ساختمان‌های متعارف، ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرها عملکرد لرزه‌ای بسیار بهتری از خود نشان دهند.

۱-۲ دامنه کاربرد

متن پیشرو به منظور تحلیل و طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای غیرفعال تدوین شده است. 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 الزاماتی تکمیلی به ویژه در خصوص نحوه تست میراگرها و جداگرها 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 دستورالعمل می‌باشد.

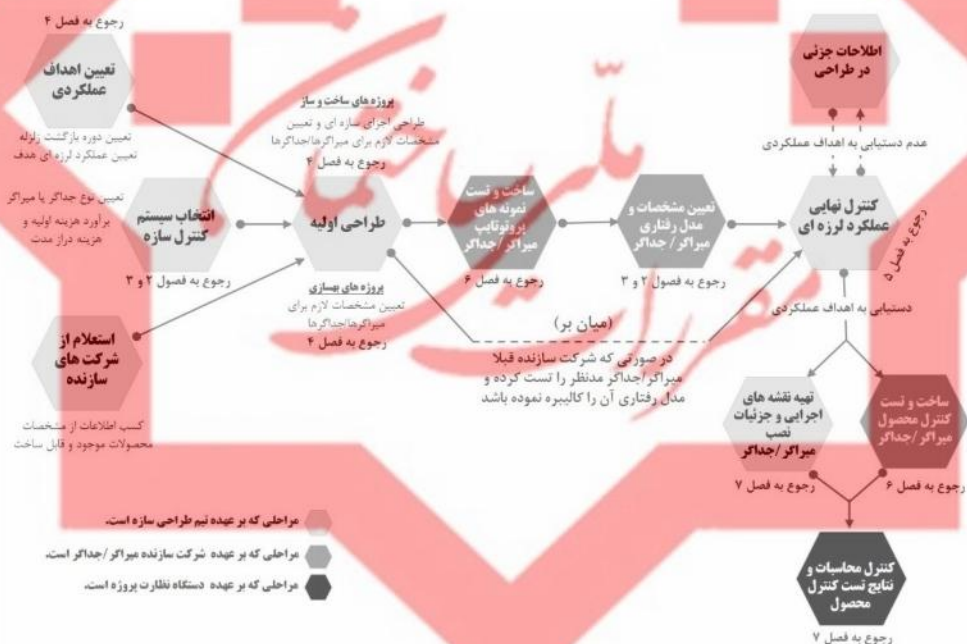
۱-۳ فلوجارت طراحی

دستورالعمل حاضر با این فرض تهیه شده است که روند طراحی ساختمان‌های مجهز به تجهیزات میراگر و یا جداگر مطابق فلوجارت شکل (۱-۱) انجام شود. مطابق فلوجارت طراحی،

طراحی لوزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لوزه‌ای — ۵

مشخص است در مرحله طراحی اولیه سازه از میراگرها یا جداگرهایی استفاده شود که قبلاً توسط شرکت سازنده ساخته و تست شده‌اند. مسیر فلوچارت طراحی کوتاه‌تر شده و روند طراحی با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد.

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 لوزه‌ای سازه معیارهای پذیرش مدنظر را برآورده نموده است، ثانیاً میراگرها / جداگرهای استفاده شده در سازه مطابق فصل ۶ این دستورالعمل تست شده و معیارهای پذیرش مربوطه را برآورده کرده‌اند و ثالثاً مشخصات میراگرها/ جداگرهای درنظر گرفته شده در مدل سازه مطابق مشخصات میراگرها/ جداگرهای تست شده و نصب شده در سازه هستند.



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

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۱-۴ ساختار دستورالعمل

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

در فصل دوم میراگرهای مدنظر این دستورالعمل 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 تولیدکننده از روش خاص خود استفاده می‌کند. فلذا انجام تست‌های 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 مکانیزم عملکردی میراگرهای متداول می‌باشد.

در فصل سوم جداگرهای مدنظر این دستورالعمل معرفی شده و عملکرد هریک و نحوه استفاده از 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 تولیدکننده از روش خاص خود استفاده می‌کند. فلذا انجام تست‌های 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 می‌باشد.

در فصل چهارم روش‌های طراحی اولیه ساختمان‌های مجهز به میراگر و جداگر ارائه شده است. منظور از طراحی اولیه، ارائه روشی ساده به منظور تخمین اولیه ابعاد اجزای سازه‌ای (تیرها، ستون‌ها) و مشخصات اولیه میراگرها و جداگرهای مورد استفاده در ساختمان می‌باشد.

دستور مقررات ملی و کنترل ساختمان

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۷

در فصل پنجم روش‌های طراحی نهایی ساختمان‌های مجهز به میراگر و جداگر ارائه شده است. منظور از طراحی نهایی، کنترل عملکرد لرزه‌ای سازه و میراگرها و جداگرهای نصب شده در سازه می‌باشد که این کار در خصوص بارهای لرزه‌ای با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی انجام می‌شود. از جمله خروجی‌های اصلی در این فصل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه و تخمین تقاضای وارده بر میراگرها / جداگرهای نصب شده در سازه است. این تقاضا به منظور انجام تست میراگرها/جداگرها مطابق فصل ششم مورد نیاز می‌باشد.

در فصل ششم الزامات مربوط به تست و ارزیابی عملکرد و کیفیت میراگرها و جداگرها بیان شده است. برخلاف سایر اجزای سازه‌ای متعارف، میراگرها و جداگرها تحت شرایط کنترل شده در کارخانه تولید شده و در مقایسه با سایر اجزای سازه‌ای از سطح تکنولوژی و قیمت بالاتری برخوردار هستند. همچنین در مرحله طراحی رفتار دینامیکی بسیار مناسبی برای این ادوات فرض شده است، لذا لازم است این رفتار با استفاده از پروتکل‌های مشخصی به صورت آزمایشگاهی به اثبات برسد. لذا انجام تست‌های پروتوتایپ و نیز تست‌های کنترل کیفیت تولید برای تمام یا بخشی از میراگرها و جداگرها اجتناب ناپذیر است.

در فصل هفتم سایر الزامات تکمیلی در خصوص طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرها بیان می‌شود. مواردی از جمله طراحی اتصالات میراگرها و جداگرها، طراحی شالوده، طراحی اجزای غیرسازه‌ای، الزامان حریق و الزامات مربوط به بازدیدهای دوره‌ای میراگرها و جداگرها در این فصل مطرح شده است.

در فصل هشتم مراجع استفاده شده به منظور تدوین دستورالعمل فهرست شده اند.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقرررات ملی و کتترل ساختمان

فصل ۲

میرا اگر ما

مقررات

دقتر مقررات ملی و کنترول ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل ساختمان

۱-۲ مقدمه

میراگرها ادواتی به منظور استهلاک انرژی هستند که بسته به نوع میراگر، انرژی ورودی را به طرق مختلف مستهلک می‌کنند. 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.

۱-۱-۲ 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 تغییرشکل رخ داده در میراگر داشته و مکانیزم استهلاک انرژی عمدتاً بر پایه تغییرشکل‌های غیرارتجاعی و یا ایجاد اصطکاک استوار است. میراگرهای تسلیمی و میراگرهای اصطکاکی در این دسته بندی قرار می‌گیرند.

دفتر مقرر است ملی و کنترل ساختمان

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 تغییرشکل و فرکانس تغییرشکل رخ داده در میراگر نیز بستگی داشته باشد. میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک در این دسته بندی قرار می‌گیرند. مکانیزم استهلاک انرژی در میراگرهای ویسکوز عمدتاً بر پایه ایجاد افت انرژی هیدرولیکی در سیال داخل میراگر بوده در حالی که

۳-۱-۲ 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 دستورالعمل حاضر نمی‌باشند.

۴-۱-۲ میراگرهای مدنظر دستورالعمل

مطابق جدول (۱-۲) میراگرهایی که مستقیماً در این دستورالعمل معرفی شده و الزامات لازم برای آن‌ها ارائه شده است، شامل بخشی از میراگرهای وابسته به تغییرشکل و میراگرهای وابسته به سرعت می‌باشند. لازم به ذکر است استفاده از سایر میراگرها تحت شرایط زیر بلامانع می‌باشد.

- الف) تست‌های مقرر شده در فصل ششم را با موفقیت پشت سر گذاشته و معیارهای پذیرش را برآورده کرده باشند.
- ب) مدل عددی میراگر بر اساس نتایج آزمایشگاهی ساخته شده و کنترل نهایی سازه مجهز به میراگر مطابق فصل پنجم انجام شده باشد.

تذکر: میراگرهای مدنظر دستورالعمل که در جدول (۱-۲) معرفی شده‌اند، از جمله پرکاربردترین و شناخته شده ترین میراگرهای مورد استفاده در صنعت ساخت و ساز هستند و

طراحی لرزهای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزهای ۱۳

طیف وسیعی از ساختمان‌های مجهز به میراگر در داخل و خارج از کشور از یکی از میراگرهای ارائه شده در جدول (۱-۲) استفاده نموده‌اند. با این وجود، این دستورالعمل منعی در خصوص استفاده از سایر میراگرها نداشته و هر نوع میراگری که شرایط (الف) و (ب) بند ۱-۲-۴ را برآورده نماید می‌تواند در سازه استفاده شود.

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

میراگر	وابستگی به		میزان حساسیت به				تعداد چرخه قابل تحمل	زلزله سطح انرژی در	ایجاد تغییر شکل ماندگار پس از زلزله طرح	نیاز به تعویض پس از زلزله طرح؛	هزینه اولیه نسبی
	تغییر شکل	سرمزه	خستگی	دام محیط	فرکانس بارگذاری	مدت زمان					
پره مثلثی	✓		زیاد	ناچیز	ناچیز	ناچیز	اندک	معمولا ندارد	بله	معمولا بله	کم
پانل برشی	✓		زیاد	ناچیز	ناچیز	ناچیز	اندک	معمولا ندارد	بله	معمولا بله	کم
کمانش تاب	✓		زیاد	ناچیز	ناچیز	ناچیز	اندک	معمولا ندارد	بله	معمولا بله	کم
اصطکاک انتقالی	✓		ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	متوسط	معمولا ندارد	بله	معمولا خیر	متوسط
اصطکاک دورانی	✓		ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	متوسط	معمولا ندارد	بله	معمولا خیر	متوسط
ویسکوز		✓	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	زیاد	دارد	خیر	معمولا خیر	زیاد
روغنی		✓	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	زیاد	دارد	خیر	معمولا خیر	زیاد
پانل ویسکوز		✓	ناچیز	زیاد	ناچیز	ناچیز	زیاد	دارد	خیر	معمولا خیر	زیاد
ویسکوالاستیک	✓	✓	ناچیز	زیاد*	زیاد*	ناچیز*	زیاد	دارد	خیر	معمولا خیر	زیاد

(قسمت‌های خاکستری را می‌توان به عنوان محدودیت هریک از میراگرها در نظر گرفت)

* عملکرد میراگرهای ویسکوالاستیک به شدت به نوع و ساختار مصالح ویسکوالاستیک بکار رفته در میراگر بستگی داشته و ممکن است در برخی از میراگرهای ویسکوالاستیک، میزان حساسیت رفتار میراگر به عوامل محیطی با موارد این جدول همخوانی کامل نداشته باشد.

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 تغییر مکان طبقه‌بندی می‌شوند چراکه

نیروی ایجاد شده در میراگر عمدتاً به تغییر مکان 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، آلومینیومساخته شود. لیکن در اغلب موارد از فولاد نرمه ساختمانی و اخیراً از فولادهای با تنش تسلیم پایین استفاده می‌شود. 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 با جزئیات گوناگون توسط شرکت‌های مختلف تولید می‌شوند و جزئیات نشان داده شده در این دستورالعمل بدین معنی نیست که تنها استفاده از این جزئیات مجاز است. میراگرهایی با جزئیات متفاوت در صورتی که عملکرد مناسب آن‌ها از طریق انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول (مطابق فصل ۶) نشان داده شود، مجاز به استفاده هستند.

۲-۲-۱ میراگرهای پره مثلثی

میراگرهای پره مثلثی که تحت نام تاداس^۱ نیز شناخته می‌شوند، مطابق شکل (۲-۱) 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.

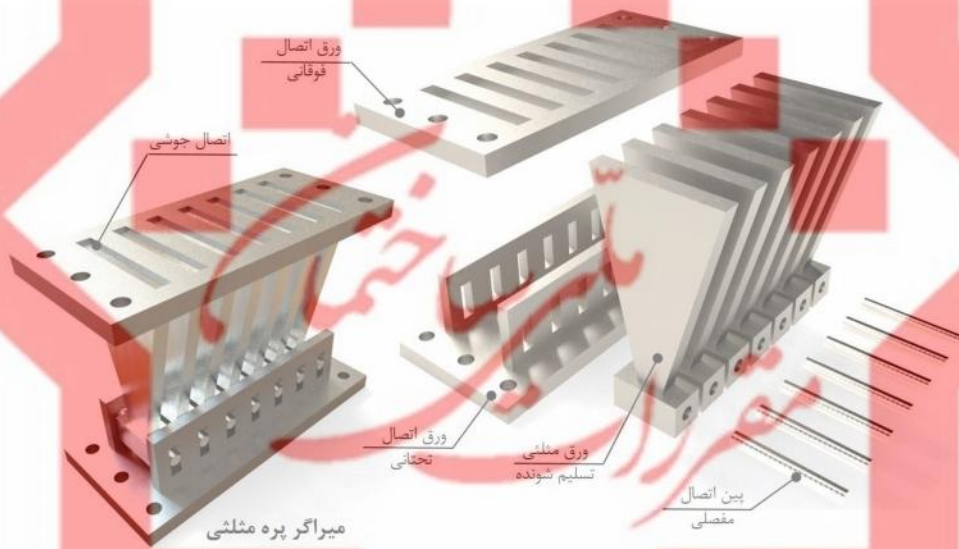
معمولاً اتصال ورق‌های مثلثی به ورق اتصال فوقانی به صورت جوشی است به نحوی که قاعده ورق‌های مثلثی در داخل شیارهای ورق اتصال فوقانی قرار گرفته و جوش انجام می‌شود. به منظور جلوگیری از ایجاد نیروی محوری کششی یا فشاری در ورق‌های مثلثی معمولاً اتصال ورق‌های مثلثی به ورق اتصال تحتانی به صورت جوشی انجام نشده بلکه مطابق جزئیات نشان داده شده در شکل (۲-۱) 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

^۱ TADAS- Triangular Added Damping and added Stiffness

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۱۵

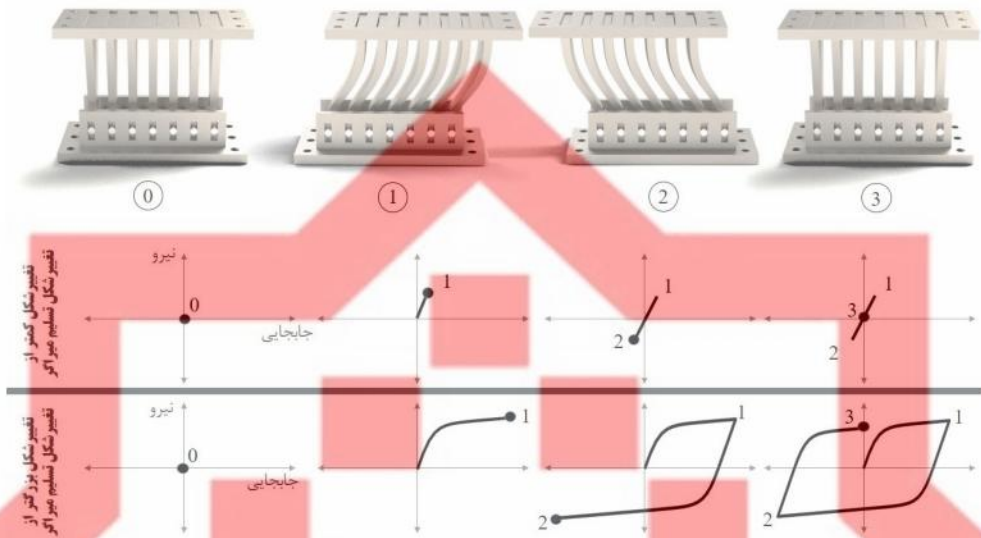
گیردار بوده و در قسمت راس خود به صورت غلطکی است. این شرایط مرزی به کمک هندسته مثلثی ورق منجر به توزیع یکنواخت تنش‌های خمشی در ارتفاع ورق مثلثی شده و انتظار می‌رود تمام ارتفاع ورق وارد محدوده غیرارتجاعی خود شده و در استهلاک انرژی مشارکت داشته باشد.

تذکره 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 دستورالعمل خودداری شده است.



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

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



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

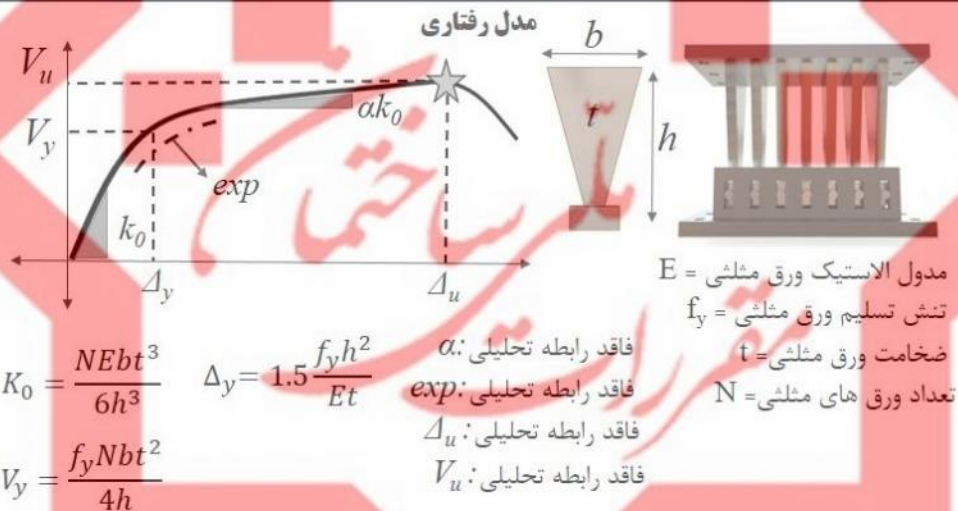
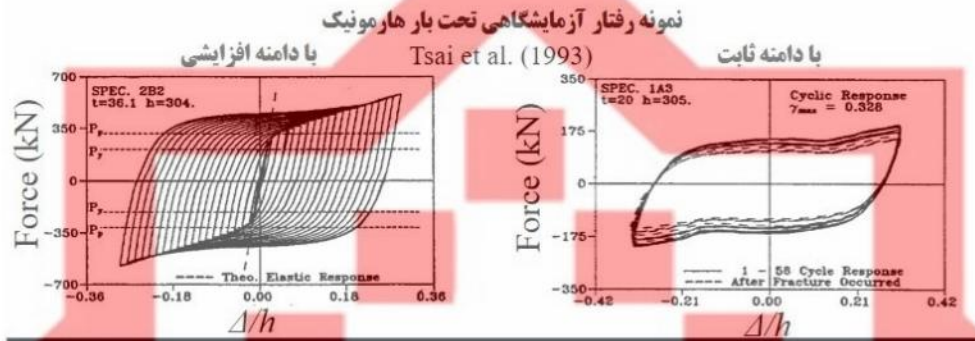
نمونه هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پره مثلثی به همراه منحنی پوش رفتار این میراگرها در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. به طور کلی رفتار میراگرهای تسلیم شونده با استفاده از مدل های الاستوپلاستیک گوناگون قابل شبیه سازی است که جزئیات مربوطه در بند ۲-۱-۴ ارائه شده است. عمده مشخصات رفتاری قابل تعریف برای میراگرهای پره مثلثی عبارتند از: سختی اولیه (K_0)، مقاومت تسلیم (V_y)، تغییر شکل تسلیم (Δ_y)، ظرفیت مقاومت نهایی (V_u)، ظرفیت تغییر شکل نهایی (Δ_u)، نسبت سختی پس از تسلیم (α) و پارامتر exp . نسبت سختی پس از تسلیم پارامتر مستقلی نبوده و به مقاومت نهایی و ظرفیت تغییر شکل نهایی میراگر وابسته است همچنین پارامتر exp مشخص کننده نحوه انتقال رفتار میراگر از حالت خطی به حالت غیرخطی است. به منظور کنترل نهایی عملکرد سازه مجهز به میراگر، کلیه پارامترهای فوق لازم است تنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی میراگر بدست آورده شوند و استفاده از نتایج حاصل از روابط تحلیلی و یا نتایج تحلیل های المان محدود مجاز نمی باشد.

تذکر ۲: صرفا به منظور داشتن یک تخمین اولیه از رفتار میراگر می توان سختی اولیه و مقاومت تسلیم میراگر پره مثلثی را مطابق روابط ارائه شده در شکل (۳-۲) تخمین زد. در این رابطه

دسترسی به مقالات علمی و کنفرانس ها

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۱۷

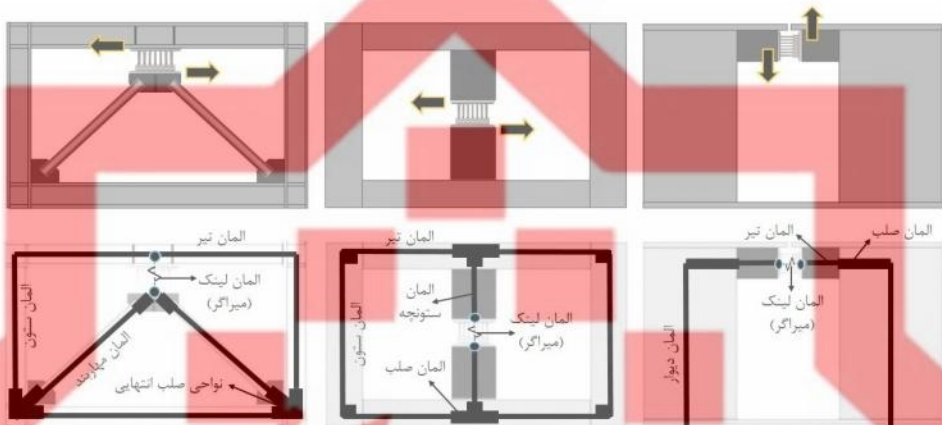
منظور از مقاومت تسلیم، مقاومت متناظر با پلاستیک شدن کل سطح مقطع پره‌های مثلثی است (و نه تسلیم اولین تار).



شکل (۲-۳). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پره مثلثی (Tsai et al. 1993) و منحنی پوش رفتار آن‌ها

برخی از چیدمان‌های ممکن برای میراگرهای پره مثلثی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۴) نشان داده شده‌است. 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 چراکه میراگرهای تسلیمی میراگرهایی وابسته به تغییرشکل بوده و هرچقدر تغییرشکل بیشتری به

میراگر وارد شود، وظیفه استهلاک انرژی میراگر مشهودتر خواهد بود. البته بدیهی است ظرفیت تغییرشکل میراگر باید پاسخگوی تقاضای تغییرشکلی وارده باشد.

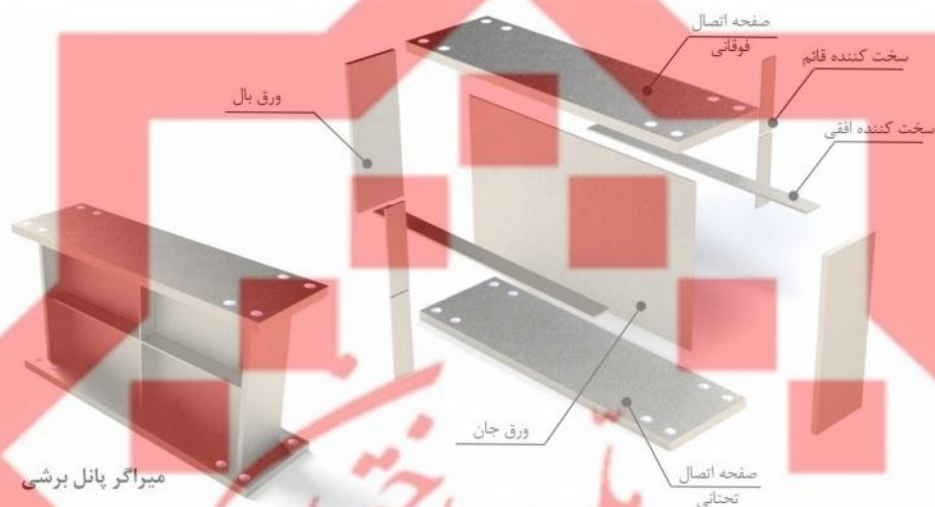


شکل (۲-۴). چیدمان‌های متداول برای استفاده از میراگرهای تسلیمی پره مثلثی و نحوه مدلسازی آن‌ها

۲-۲-۲ میراگرهای پانل برشی

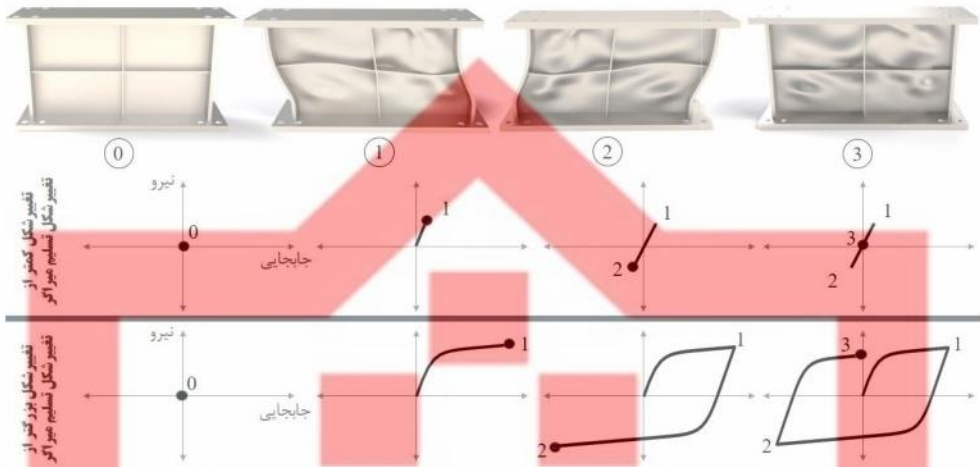
میراگرهای پانل برشی^۱ دسته‌ای از میراگرهای تسلیم شونده هستند که مکانیزم استهلاک انرژی در آن‌ها به صورت تسلیم برشی جان پانل و تسلیم خمشی بال پانل است. شکل (۲-۵) برخی از جزئیات متداول در میراگرهای پانل برشی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است تعداد و چیدمان سخت کننده‌های جان بسته به ضخامت و ابعاد ورق جان می‌تواند متفاوت از شکل (۲-۵) باشد. قسمت‌های تسلیم شونده میراگر عمدتاً 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 کماتش 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 دستورالعمل خودداری شده است.



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

نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر پانل برشی در شکل (۲-۶) 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 استهلاک انرژی خواهد بود. در این شرایط استفاده از میراگر پانل برشی صرفاً منجر به افزایش سختی سازه خواهد شد. لیکن در صورتی که تغییر شکل وارده از تغییر شکل تسلیم میراگر بیشتر باشد، ورق‌های بال و جان وارد محدوده غیرخطی خود شده و میراگر شروع به استهلاک انرژی خواهد نمود.



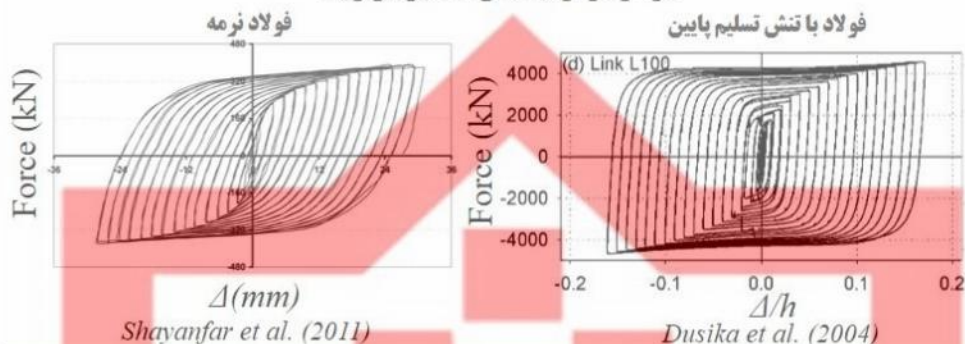
شکل (۲-۶). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر پانل برشی تحت یک سیکل رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پانل برشی به همراه منحنی پوش میراگر در شکل (۲-۷) نشان داده شده است. پارامترهای شکل (۲-۷) مشابه پارامترهای معرفی شده در بند ۲-۱-۱ است. به منظور کنترل نهایی عملکرد سازه مجهز به میراگر، کلیه پارامترهای 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 المان محدود مجاز نمی‌باشد.

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

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت بار هارمونیک



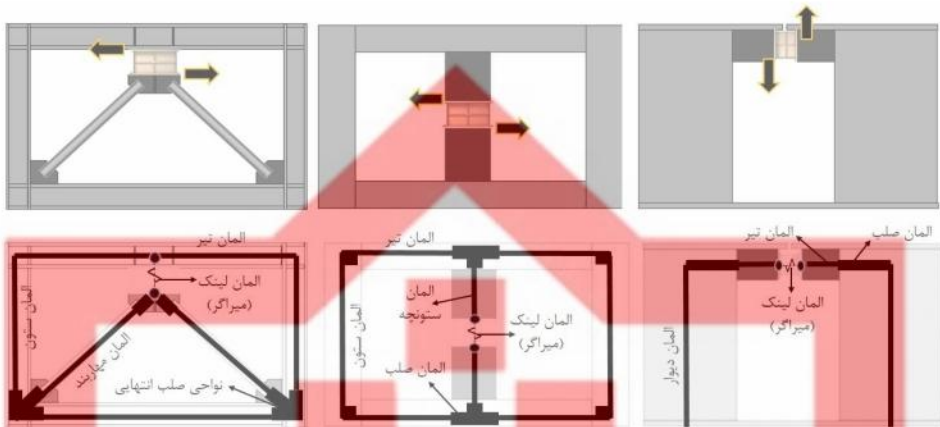
مدل رفتاری



شکل (۲-۷). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پانل برشی (Shayanfar et al. 2011, Dusika et al. 2004)

و منحنی پوش رفتار آنها

برخی از چیدمان‌های ممکن برای میراگرهای پانل برشی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۸) نشان داده شده‌است. 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 تجاوز کند.



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

۳-۲-۲ 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 آیین‌نامه‌ها از جمله استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۳) مه‌اربندهای کمانش تاب به عنوان یک سیستم باربر جانبی مستقل شناخته شده‌اند، در دستورالعمل 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 قلاف پر شده از گروت محصور شده و بدین ترتیب امکان کمانش آن محدود شده است. به بیان دقیق تر، هسته مه‌اربند تنها می‌تواند تحت موده‌های کمانشی بسیار بالا دچار کمانش موضعی شود که در این شرایط نیروی کمانش بزرگتر از نیروی تسلیم محوری فشاری خواهد بود. لذا 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

^۱ Buckling Restrained Brace (BRB)

فشاری مهاربندهای کمانش تاب مقداری بزرگتر از ظرفیت کششی بوده و رفتار به طور کامل متقارن نیست. 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 قلاف در باربری محوری مهاربند محدود شود. بدین ترتیب وظیفه اصلی گروت و قلاف 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 قلاف نیز است، هسته عمدتاً به صورت الاستیک باقی خواهد ماند. لذا در مهاربندهای کمانش تاب صرفاً بخش میانی هسته که کاملاً در داخل قلاف قرار داشته و سطح مقطع یکنواختی دارد، وارد محدوده غیرارتجاعی خود می‌شود.

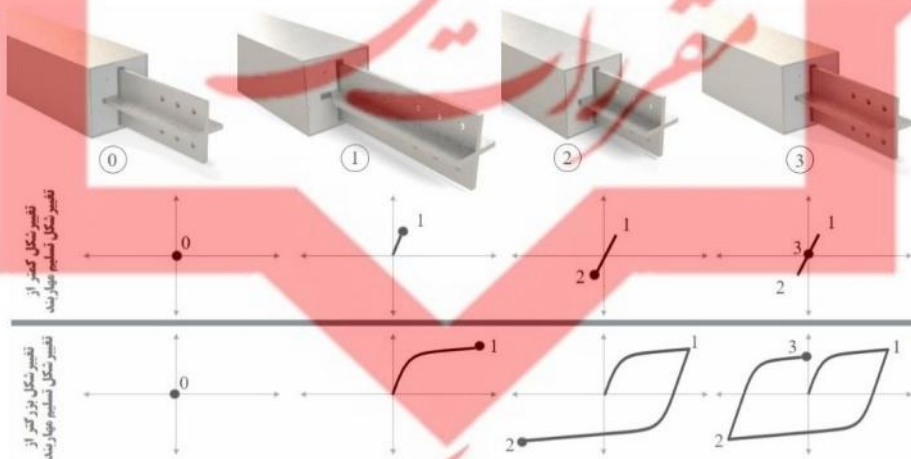
رفتار چرخه‌ای پایدار مهاربندهای کمانش تاب تنها زمانی میسر می‌شود که شرکت سازنده مهاربند طراحی و ساخت محصول را به درستی انجام داده باشد که لازم است این امر از طریق تست‌های پروتوتایپ مطابق فصل ۶ به اثبات برسد. در صورتی که قلاف مهاربند از ظرفیت خمشی کافی برخوردار نباشد قادر به جلوگیری از کمانش هسته نبوده و رفتار مهاربند ناپایدار خواهد شد. همچنین در صورتی که ضخامت لایه جداکننده هسته بیش از حد باشد، انحنای زیادی در مودهای کمانشی هسته ایجاد شده و این امر منجر به انتقال بخشی از نیروی فشاری به گروت و قلاف 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. لذا با افزایش ضخامت لایه جداکننده ظرفیت مهاربند تحت خستگی کم چرخه کاهش می‌یابد. سایر مودهای خرابی در مهاربندهای کمانش تاب توسط (Takeuchi and Wada (2017) تشریح شده است.

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



شکل (۲-۹). جزئیات نمونه‌ای از مهاربند کمانش تاب

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



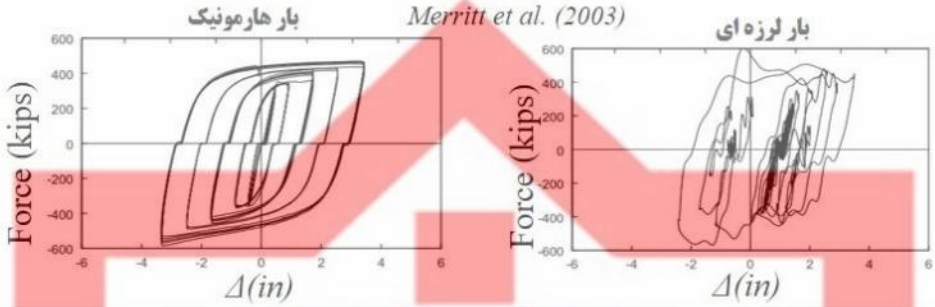
شکل (۲-۱۰). نحوه تغییرشکل و رفتار مهاربند کمانش تاب تحت

یک سیکل رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی مهاربندهای کمانش تاب به همراه منحنی پوش مهاربند در شکل (۱۱-۲) نشان داده شده است. مطابق شکل (۱۱-۲)، برخلاف سایر میراگرهای تسلیم شونده، رفتار مهاربندهای کمانش تاب 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 کمانش تاب، کلیه پارامترهای 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 المان محدود مجاز نمی‌باشد.

تذکر ۲: صرفاً به منظور داشتن یک تخمین اولیه از رفتار مهاربند می‌توان سختی اولیه، مقاومت تسلیم و تغییرشکل تسلیم را مطابق روابط ارائه شده در شکل (۱۱-۲) تخمین زد. ظرفیت نهایی کششی و فشاری نیز مطابق روابط شکل (۱۱-۲) قابل تخمین هستند لیکن این دو پارامتر نیاز به داشتن ضریب اصلاح مقاومت فشاری (β_{BRB}) و ضریب اصلاح سخت شونده‌گی کرنشی (ω_{BRB}) است که این دو ضریب از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آیند. پارامتر β_{BRB} یک ضریب بزرگتر از ۱ است که معمولاً حد بالای آن $1/5$ بوده اما در مهاربندهای با کیفیت ساخت بالاتر این ضریب بین ۱ تا $1/2$ می‌باشد (Takeuchi and Wada, 2017). هرچقدر ضریب β_{BRB} به سمت ۱ میل کند، رفتار مهاربند متقارن تر خواهد بود. پارامتر 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 $1/2$ و ω_{BRB} را برابر $1/5$ در نظر گرفت. لازم به توضیح است این دو پارامتر کمیت‌هایی مستقل برای مهاربند نبوده و به نوع پروتکل بارگذاری اعمال شده بر روی مهاربند بستگی دارند که مقدار دقیق آنها بر اساس تست‌های مشخص شده در فصل ۶ این دستورالعمل بدست می‌آیند.

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت



مدل رفتاری

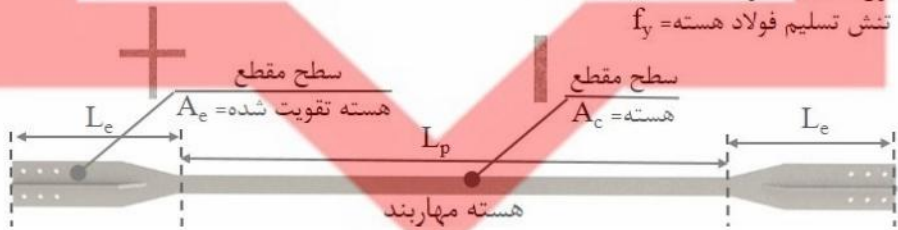
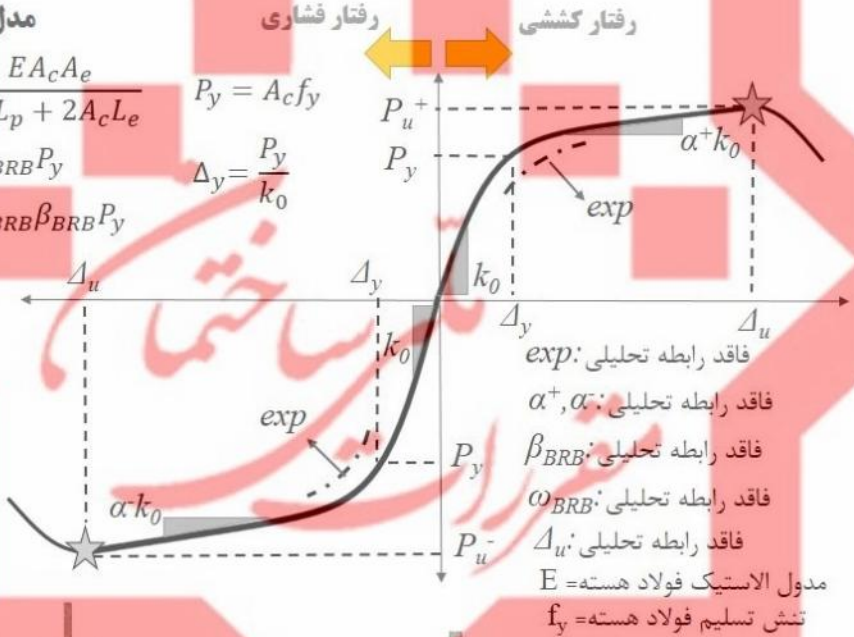
$$k_0 = \frac{EA_c A_e}{A_e L_p + 2A_c L_e}$$

$$P_y = A_c f_y$$

$$P_u^+ = \omega_{BRB} P_y$$

$$\Delta_y = \frac{P_y}{k_0}$$

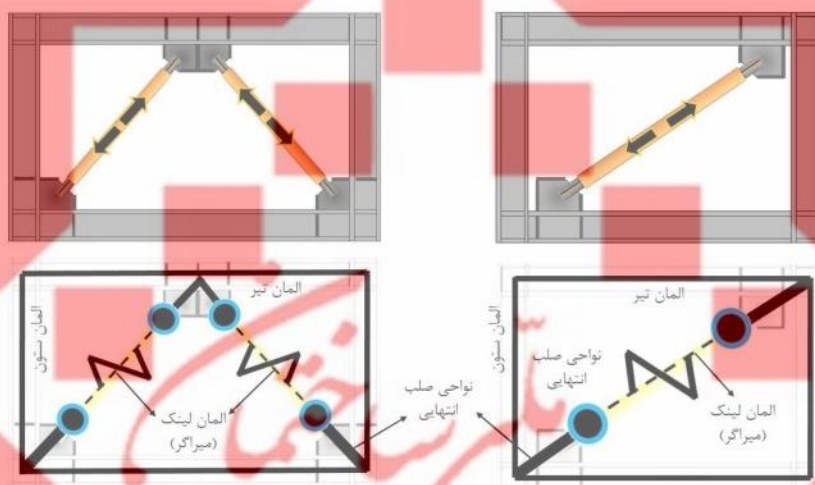
$$P_u^- = \omega_{BRB} \beta_{BRB} P_y$$



شکل (۲-۱۱). رفتار آزمایشگاهی مهاربندهای کمانش تاب (Merritt et al. 2003)

و منحنی پوش رفتار آنها

برخی از چیدمان‌های متداول از نحوه استفاده از مهاربندهای کمانش تاب به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده‌است. 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 تجاوز کند.



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

۴-۲-۲ شبیه‌سازی میراگرهای تسلیم شونده

به منظور شبیه‌سازی رفتار میراگرهای تسلیم شونده معمولاً از فنرهای غیرخطی با رفتاری الاستوپلاستیک استفاده می‌شود. بسته به نوع میراگر، رفتار می‌تواند دارای سخت شوندهگی کینماتیک^۱ یا سخت شوندهگی ایزوتروپیک^۲ باشد. در ادامه دو مدل رفتاری مناسب برای شبیه

^۱ Kinematic hardening

^۲ Isotropic hardening

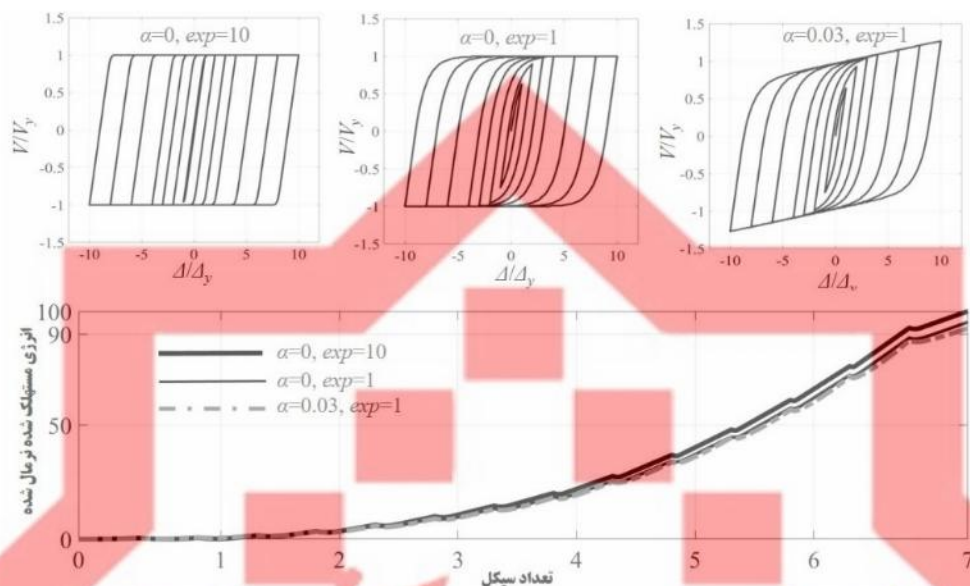
سازی رفتار میراگرهای تسلیم شونده ارائه شده است. منظور از مدل رفتاری مناسب، مدلی است که به سادگی توسط مهندسیین محاسب قابل استفاده باشد.^۱

۲-۲-۴-۱ مدل پلاستیک ون^۲

مدل پلاستیک ون یک مدل دو خطی با سخت شوندگی کینماتیک است که به کمک چهار پارامتر سختی اولیه (K_0)، مقاومت تسلیم (V_y یا P_y)، نسبت سختی پس از تسلیم (α) و پارامتر 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 پارامترهای α و exp با اینکه تاثیر قابل توجهی در شکل منحنی چرخه‌ای دارند، اما تاثیر اندکی بر روی میزان انرژی مستهلک شده دارند. با این وجود مطالعات گذشته نشان داده است برای یک رفتار دوخطی با سختی اولیه و مقاومت تسلیم مشخص، با افزایش پارامتر α (رفتارهای دارای سخت شوندگی) و نیز کاهش پارامتر exp (رفتارهای با انتقال آهسته و نرم از محدوده الاستیک به پلاستیک)، دریفت حداکثر و دریفت ماندگار طبقات کاهش خواهند یافت (Ruiz-Garcia and Miranda 2005, Mousavi and Zahrai 2016). لذا لازم است پارامترهای مدل براساس نتایج آزمایشگاهی میراگر کالیبره شده و از پارامترهایی استفاده شود که بهترین انطباق را بر رفتار آزمایشگاهی داشته باشند.

^۱ با توجه به اینکه در کشور اکثر مهندسیین محاسب از نرم افزارهای ETABS و SAP در طراحی سازه استفاده می‌کنند، لذا در این دستورالعمل به مدل‌هایی اشاره شده است که در این دو نرم افزار نیز موجود هستند.

^۲ Plastic Wen



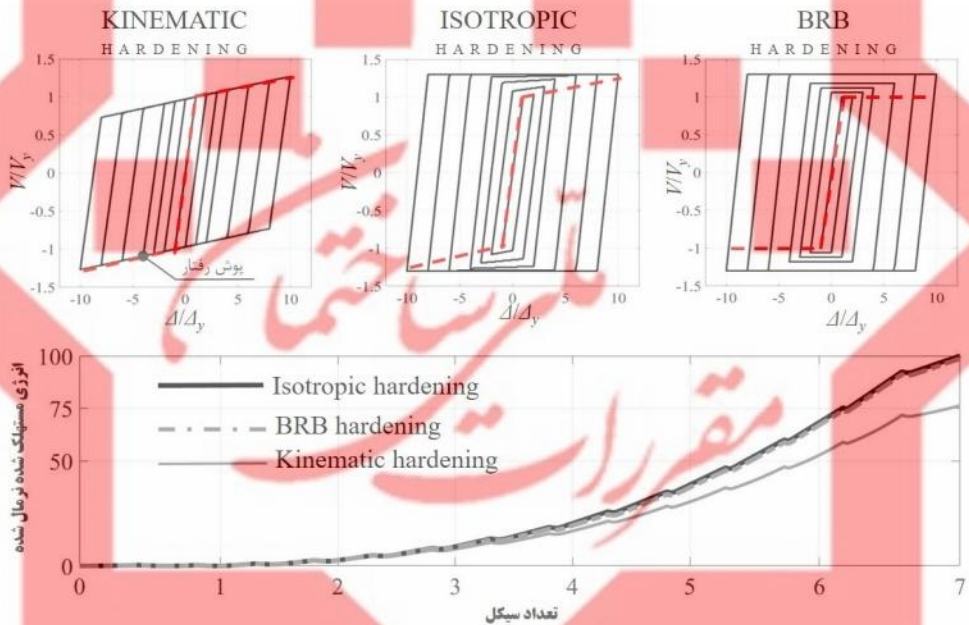
شکل (۲-۱۳). نمونه‌ای از رفتارهای شبیه سازی شده توسط مدل پلاستیک ون و انرژی مستهلک شده در هر حالت

اگرچه مدل پلاستیک ون مدلی ساده با پارامترهایی اندک می‌باشد، لیکن این مدل با محدودیت‌هایی نیز مواجه است. محدودیت‌های اصلی مدل پلاستیک ون عبارتند از: عدم در نظر گرفتن سخت شدگی ایزوتروپیک، عدم در نظر گرفتن زوال مقاومت در اثر رسیدن میراگر به ظرفیت تغییرشکلی خود، عدم در نظر گرفتن رفتارهای نامتقارن.

۲-۲-۲-۲ 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 (پارامتر exp) است. به بیان دیگر در مدل پلاستیک چند خطی همراه انتقال از محدوده خطی به غیرخطی به شکل ناگهانی رخ می‌دهد و کاربرد کنترلی در این خصوص ندارد. از جمله مزیت‌های اصلی مدل پلاستیک چند خطی عبارتند از: توانایی در نظر گرفتن سخت شوندگی کینماتیک و ایزوتروپیک، توانایی در نظر گرفتن سخت شوندگی BRB، توانایی شبیه سازی

رفتارهای نامتقارن، توانایی شبیه سازی زوال مقاومت در صورتی تغییر شکل میراگر از حد مشخصی فراتر رود و توانایی در نظر گرفتن رفتارهای چندسطحی. در این مدل پارامترهای 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 شونده‌گی می‌تواند تاثیر قابل توجهی در انرژی مستهلک شده داشته باشد. لذا لازم است از سخت شونده‌گی‌ای استفاده شود که منجر به بهترین انطباق با نتایج آزمایشگاهی شود.



شکل (۲-۱۴). نمونه‌ای از رفتارهای شبیه سازی شده توسط مدل چندخطی پلاستیک و انرژی مستهلک شده در هر حالت

۲-۴-۳-۲ تاثیر لقی اتصال

در بسیاری از میراگرها به علت جزئیات بکار رفته در ساخت میراگر و یا نوع اتصال میراگر به سازه، یک لقی یا سر خوردگی در رفتار میراگر وجود خواهد داشت. به عنوان مثال در

دست‌مقررات ملی و کنترل ساختمان

میراگرهای پره مثلثی به دلیل ساختار میراگر (فاصله اندک مابین پین‌ها و شیارهای ورق اتصال) همواره مقداری لقی در رفتار میراگر وجود دارد. همچنین در صورتی که در اتصال هر نوع میراگری به سازه از پین استفاده شود و یا از اتصالات پیچ و مهره‌ای به صورت اتکایی استفاده شود، بروز لقی در رفتار میراگر اجتناب ناپذیر خواهد بود. به طور معمول میزان لقی در صورت وجود بین ۲ الی ۸ میلیمتر می‌باشد. شکل (۲-۱۵-الف) نمونه‌هایی از رفتار آزمایشگاهی میراگرهای تسلیم شونده را نشان می‌دهد که دارای لقی هستند. شکل (۲-۱۵-ب) تاثیر مقادیر مختلف لقی در رفتار چرخه‌ای میراگر و نیز انرژی مستهلک شده توسط میراگر را نشان می‌دهد. مشخص است که با افزایش مقدار لقی، یک سرخوردگی در رفتار چرخه‌ای میراگر پدیدار خواهد شد که این امر منجر به کاهش انرژی مستهلک شده توسط میراگر می‌گردد. شبیه‌سازی صریح تاثیر لقی اگرچه امکان پذیر است، اما می‌تواند منجر به افزایش شدید در مدت مدلسازی و مدت زمان تحلیل شود. لذا در این دستورالعمل در غیاب استفاده از روش‌های صریح، استفاده از روش غیرصریح 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 تغییرمکان 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 یا 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 منشا آن می‌تواند خود میراگر، اتصالات میراگر و یا هر دو مورد باشد.

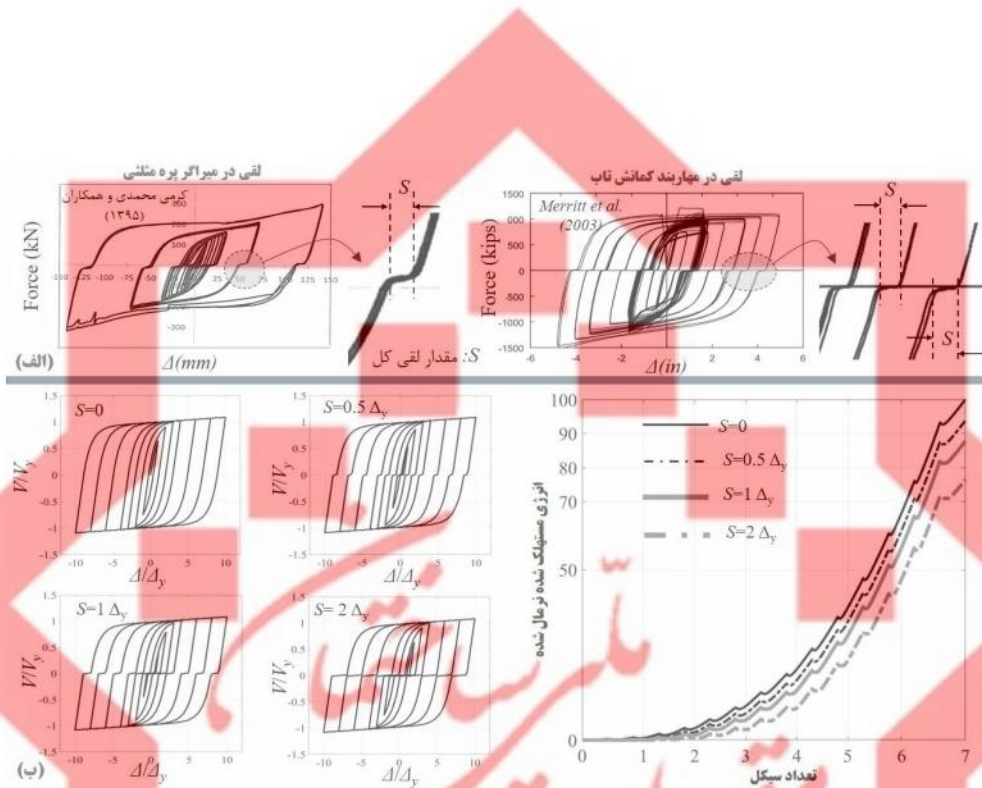
تذکر ۳: در روش غیرصریح، تاثیر لقی با کاهش سختی اولیه میراگر از مقدار $K_{a,NS}$ به مقدار $K_{a,S}$ مطابق شکل (۲-۱۶) در نظر گرفته می‌شود.

تذکره 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 تأثیر لقی به صورت غیرصریح در سختی اولیه لحاظ شده و نیاز به اصلاح دیگری نمی‌باشد.

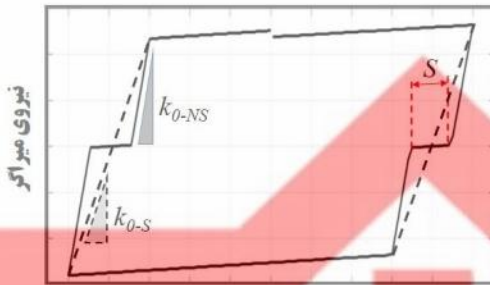


مأمور ساختمان
مقررات

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



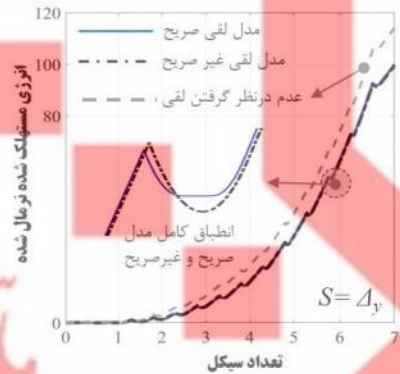
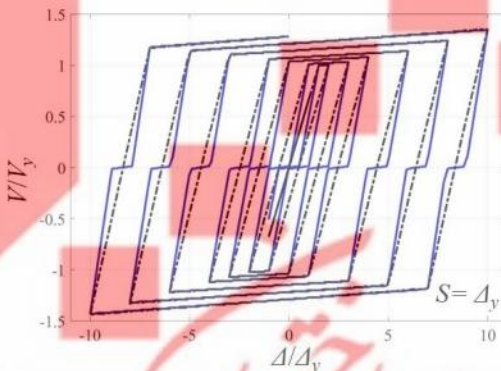
شکل ۲-۱۵. (الف) لقی مشاهده شده در میراگرهای تسلیمی مختلف در آزمایشات گذشته. (ب) تاثیر لقی در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر (میزان دقیق افت انرژی مستهلک شده در اثر لقی، علاوه بر مقدار لقی به مقدار تغییر شکل وارده بر میراگر نیز بستگی دارد).



تغییر شکل میراگر

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

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

۲-۲-۵ وابستگی در میراگرهای تسلیمی

۲-۲-۵-۱ تعداد سیکل‌های پلاستیک

میراگرهای تسلیمی مستعد گسیختگی در اثر خستگی کم چرخه به دلیل تجمع کرنش‌های پلاستیک در بخش تسلیم شونده خود هستند. پس از وقوع زلزله سطح طرح یا شدیدتر، لازم است میراگرهای تسلیمی تعویض شوند.

تبصره: هرگاه یکی از شرایط زیر برقرار باشد، نیاز به تعویض میراگر تسلیمی پس از زلزله نخواهد بود:

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

- در صورتی که بتوان نشان داد میراگر در حین زلزله الاستیک باقی مانده است. عدم ایجاد اعوجاج و تغییرشکل ماندگار و نیز عدم ریختگی در پوشش رنگ میراگر می‌تواند نشان دهنده الاستیک ماندن میراگر تلقی شود.
- در صورتی که با استفاده از تست‌های خستگی کم چرخه^۱ و منحنی S-N حاصل از تست‌های انجام شده توسط شرکت سازنده بر روی میراگرهای مشابه، بتوان نشان داد که میراگر همچنان ظرفیت کرنش پلاستیک جمعی کافی را دارد. این کار مستلزم داشتن تخمینی از مقدار تغییرشکل‌های تجربه شده توسط میراگر نیز می‌باشد که با نصب قلم خط انداز در میراگر این کار میسر خواهد بود.
- در صورتی که نمونه میراگر تحت پروتکل‌هایی با تعداد چرخه دو برابر آنچه فصل ۶ مقرر می‌دارد، تست شده و رفتار پایداری را از خود نشان داده باشد.

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 به سرعت بارگذاری وابستگی ناچیزی دارند لذا رفتار آن‌ها را می‌توان مستقل از سرعت بارگذاری در نظر گرفت.

تبصره: آزمایشات گذشته (Nakata et al. 2004) نشان داده‌اند میراگرهای تسلیمی ساخته شده از فولاد با تنش تسلیم پایین از نوع LY100 تا حدی در برابر سرعت بارگذاری حساس بوده و با افزایش سرعت بارگذاری تنش تسلیم و تنش نهایی آن‌ها افزایش می‌یابد. لذا در خصوص میراگرهای تسلیمی ساخته شده از فولاد LY100 لازم است رفتار میراگر بر اساس تست‌های دینامیکی موجود در فصل ۶ تعیین شود.

۲-۲-۵-۴ 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.

۲-۲-۶ 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 دارای ارزان‌ترین قیمت هستند.
- میراگرهای تسلیمی رفتار چرخه‌ای پایداری داشته و قابلیت استهلاک انرژی بالایی دارند.
- 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 مودهای گسیختگی در میراگرهای تسلیمی، خستگی کم چرخه است. در نتیجه ممکن است پس از زلزله سطح طرح میراگر غیرقابل استفاده شده و نیاز به تعویض داشته باشد. این موضوع به ویژه در خصوص مهاربندهای کمانش تاب ضرورت بیشتری دارد چراکه بررسی گسیختگی یا عدم گسیختگی هسته مهاربند به صورت چشمی قابل انجام نیست.
- 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. این موضوع به ویژه در زلزله‌های سطح سرویس (زلزله‌های خفیف با دوره بازگشت کم) و بارهای جانبی ناشی از باد مشهودتر خواهد بود.

- میراگرهای تسلیمی تنها زمانی منجر به استهلاک انرژی خواهند شد که تغییرشکلی بزرگتر از تغییرشکل تسلیم خود را تجربه کنند. لذا انتظار می‌رود در زلزله‌های سطح سرویس و یا بارهای جانبی ناشی از باد، میراگرهای تسلیمی صرفاً سختی سازه را افزایش داده و نقشی در استهلاک انرژی و افزایش میرایی سازه نداشته باشند. همچنین با توجه به اینکه در زلزله طرح نیز در تمام چرخه‌ها، تغییرشکل وارده بر میراگر بزرگتر از تغییرشکل تسلیم میراگر نیستند، لذا انتظار می‌رود میراگرهای تسلیمی در چرخه‌های کوچک زلزله طرح نیز نقشی در استهلاک انرژی ایفا نکنند.
- به طور کلی میراگرهای تسلیمی مستعد تجربه تغییرشکل ماندگار 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 کرد.

۳-۲ میراگرهای اصطکاکی

میراگرهای اصطکاکی دسته‌ای از ادوات استهلاک انرژی هستند که از طریق ایجاد اصطکاک مابین صفحات فولادی پیش فشرده 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، ایجاد اصطکاک می‌تواند از طریق لغزش انتقالی یا لغزش دورانی در میراگر ایجاد شود که در ادامه جزئیاتی از هر دو میراگر اصطکاکی ارائه شده است.

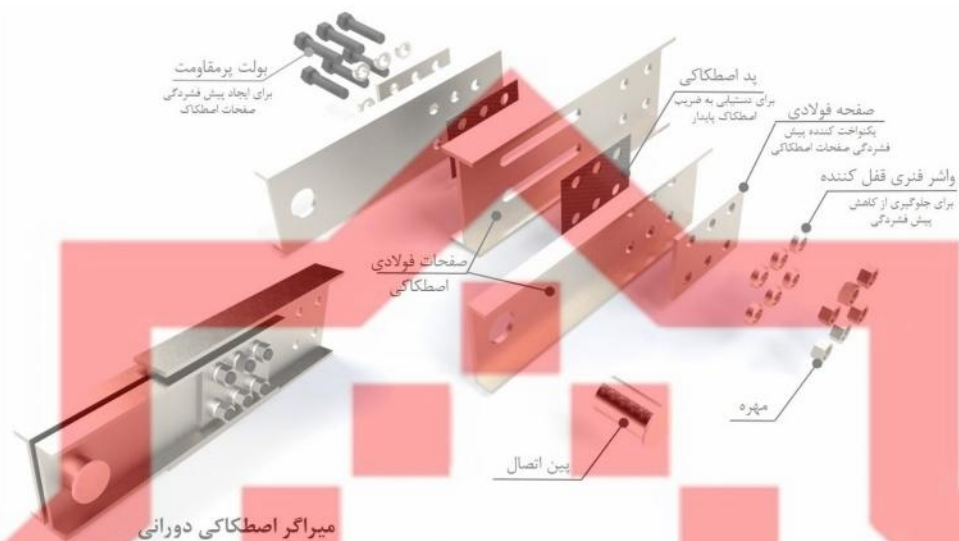
تذکر: علاوه بر میراگرهای اصطکاکی معرفی شده در این دستورالعمل، میراگرهای اصطکاکی دیگری نیز توسط شرکت‌های مختلف تولید می‌شوند و عدم تشریح آن‌ها در این دستورالعمل به معنی غیرمجاز بودن آن‌ها نیست. میراگرهای با جزئیات متفاوت در صورتی که عملکرد

مناسب آن‌ها از طریق انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول (مطابق فصل ۶) نشان داده شود، مجاز به استفاده هستند.

۲-۳-۱ میراگرهای اصطکاکی انتقالی

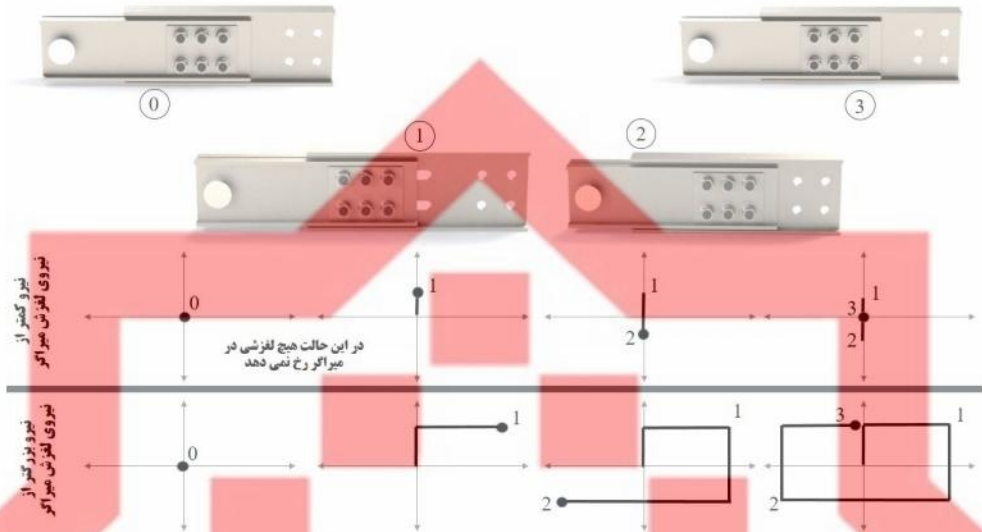
میراگرهای اصطکاکی با لغزش انتقالی شامل صفحاتی فولادی هستند که از طریق بولت‌های پرمقاومت بر روی یکدیگر پیشفشرده شده و در صورتی که نیروی وارده از نیروی آستانه لغزش میراگر فراتر رود، این صفحات نسبت به یکدیگر در یک مسیر مستقیم به شکل انتقالی می‌لغزند و از طریق ایجاد اصطکاک مابین صفحات، انرژی ورودی مستهلک می‌شود. نمونه‌ای از جزئیات متداول برای میراگرهای اصطکاکی با لغزش انتقالی در شکل (۲-۱۷) نشان داده شده است. با توجه به اینکه نیروی آستانه لغزش میراگر به نیروی پیشفشردگی بولت‌ها و نیز ضریب اصطکاک مابین صفحات لغزنده وابسته است، بسیار اهمیت دارد که به منظور دستیابی به یک رفتار چرخه‌ای پایدار، دو کمیت مذکور ثابت باقی بمانند. به منظور به حداقل رساندن تغییر نیروی پیشفشردگی بولت‌ها، از واشرهای فنری قفل کننده استفاده می‌شود. این واشرها جزئیات گوناگونی داشته اما وظیفه اصلی آنها به حداقل رساندن افت نیروی پیشفشردگی در بولت‌ها در اثر عواملی از جمله ارتعاش، خزش، انبساط و انقباض حرارتی و ... است. همچنین به منظور ثابت نگه داشتن ضریب اصطکاک، مابین صفحات از پدهای اصطکاکی استفاده می‌شود. پدهای اصطکاکی می‌توانند از نوع فلزی، نیمه فلزی و یا غیرفلزی بوده و لازم است در برابر سایش و بروز خط و خش مقاومت کافی را داشته باشند. در غیر این صورت با چند سیکل لغزشی، ضریب اصطکاک و متعاقباً نیروی لغزش میراگر تغییر کرده و پایداری رفتار میراگر از دست می‌رود. لذا در میراگرهای اصطکاکی تجاری انتظار بر این است که پدهای اصطکاکی از مقاومت سایش مناسب برخوردار باشند و بدین ترتیب پس از زلزله نیاز به تعویض پدها نباشد. بر این اساس یکی از بخش‌های حساس در میراگرهای اصطکاکی، پدهای اصطکاکی آن‌ها است. تذکره ۱: طراحی و ساخت میراگر اصطکاکی و تضمین عملکرد صحیح آن بر عهده شرکت سازنده میراگر است.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



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

نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر اصطکاک با لغزش انتقالی در شکل (۲-۱۸) نشان داده شده است. لازم به ذکر است میراگرهای اصطکاک 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 اصطکاک رفتاری مستطیلی از خود نشان می‌دهد.



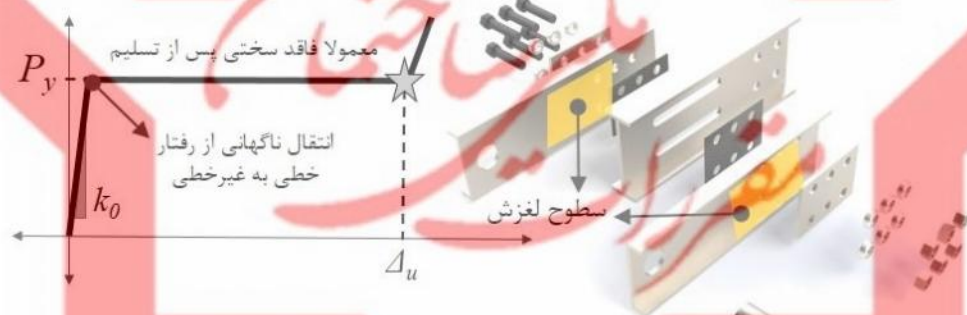
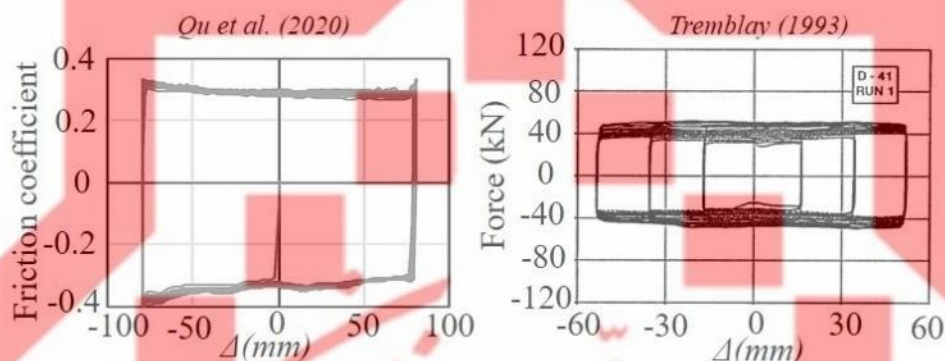
شکل (۲-۱۸). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر اصطکاکی انتقالی تحت یک سیکل رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت

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 بالا 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 (سرخوردگی) است. در این میراگر هیچ بخشی وارد رفتار پلاستیک نشده و مکانیزم استهلاک انرژی بر مبنای اصطکاک است. رفتار میراگر معمولاً متقارن بوده و ظرفیت تغییر شکل نهایی میراگر به هندسه میراگر و طول سوراخ‌های لوبیایی آن بستگی دارد. در صورتی که تغییر شکلی فراتر از ظرفیت تغییر شکل 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 تغییر شکل وارده، از ظرفیت تغییر شکلی میراگر فراتر نرود. نیروی آستانه لغزش میراگر به نیروی پیشفشاردهی صفحات لغزش، تعداد صفحات لغزش و ضریب اصطکاک مابین آن‌ها

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۴۱

بستگی دارد که به جز تعداد صفحات، دو پارامتر دیگر را به شکل تحلیلی نمی‌توان محاسبه نمود و لازم است نیروی آستانه لغزش میراگر و نیز سختی اولیه آن حتما بر اساس نتایج آزمایشگاهی بدست آیند.

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت بار هارمونیک



$$P_y = P_{stip} = n \cdot \mu \cdot N$$

k_0 : فاقد رابطه تحلیلی

Δ_u : فاقد رابطه تحلیلی

n = تعداد سطوح لغزش

N = کل نیروی پیشفشرده‌گی بولت‌ها

μ = ضریب اصطکاک مابین پد اصطکاکی و سطوح لغزش

شکل (۲-۱۹). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای اصطکاکی انتقالی (Qu et al. 2020, Tremblay 1993)

و منحنی پوش رفتار آن‌ها

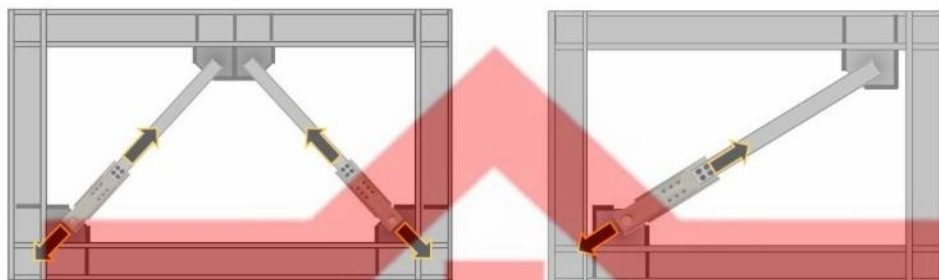
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

برخی از چیدمان‌های متداول از نحوه استفاده از میراگرهای اصطکاکی انتقالی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۲۰) نشان داده شده‌است. 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 سر خوردگی و تغییرشکل در میراگر گردد. بدیهی است این تغییرشکل نباید از ظرفیت تغییرشکلی میراگر تجاوز کند.

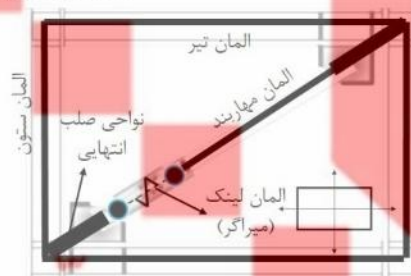
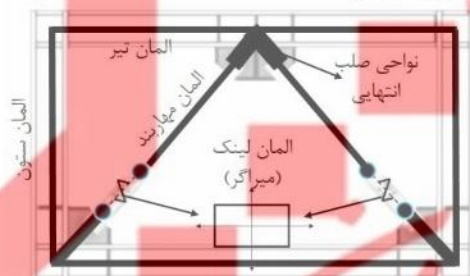
تذکره ۲: در صورتی که در مدل سازه صرفاً میراگر مدلسازی شده و از مدل سازی صریح مهاربند متصل به آن صرف‌نظر شود، لازم است سختی اولیه مدل میراگر برابر با سختی معادل ترکیب سری سختی محوری مهاربند و سختی اولیه میراگر در نظر گرفته شود. در اغلب موارد سختی اولیه میراگر اصطکاکی بسیار بزرگتر از سختی محوری مهاربند 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، لذا 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.

تذکره 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 ۲-۲-۳ لحاظ شود.

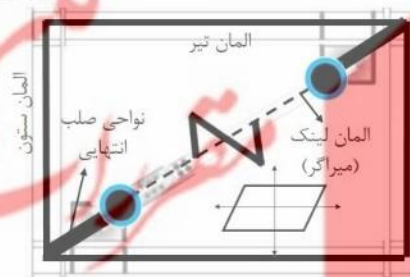
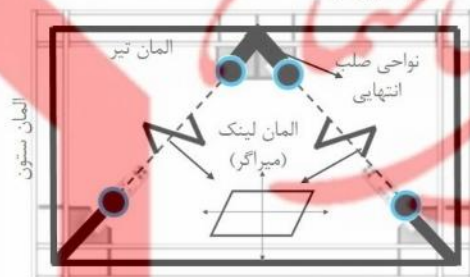
دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



مدلسازی صریح مهاربند متصل به میراگر



مدلسازی غیر صریح مهاربند متصل به میراگر



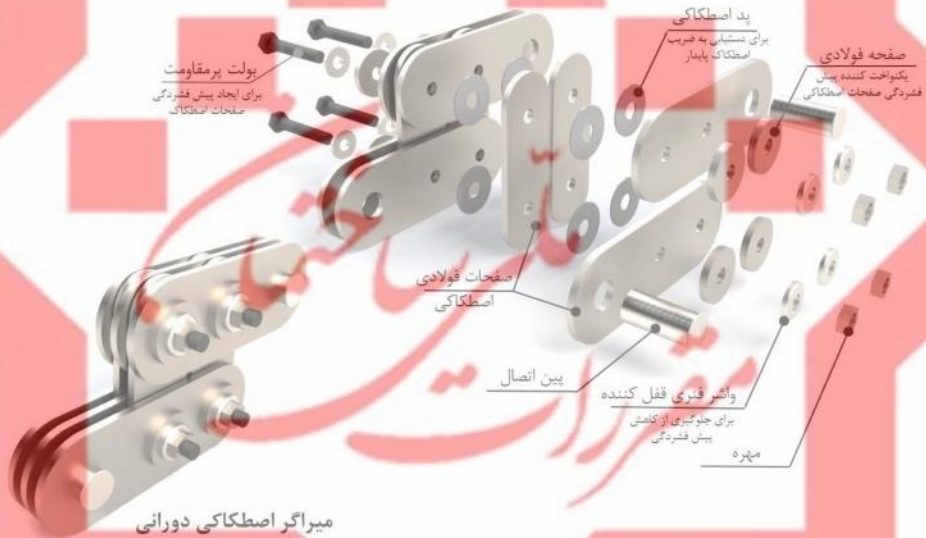
شکل (۲-۲۰). چیدمان‌های متداول برای استفاده از میراگرهای اصطکاکی انتقالی و نحوه مدلسازی آن‌ها

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 و مکانیزم عملکردی مشابه میراگرهای اصطکاکی انتقالی است. جزئیات اصلی میراگرهای اصطکاکی دورانی در شکل (۲-۲۱)

(۲۱) نشان داده شده است. همانند میراگرهای اصطکاکی انتقالی، در میراگرهای اصطکاکی دورانی نیز پدهای اصطکاکی و واشرهای فنری قفل کننده نقشی کلیدی در پایداری رفتار چرخه‌ای میراگر دارند.

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



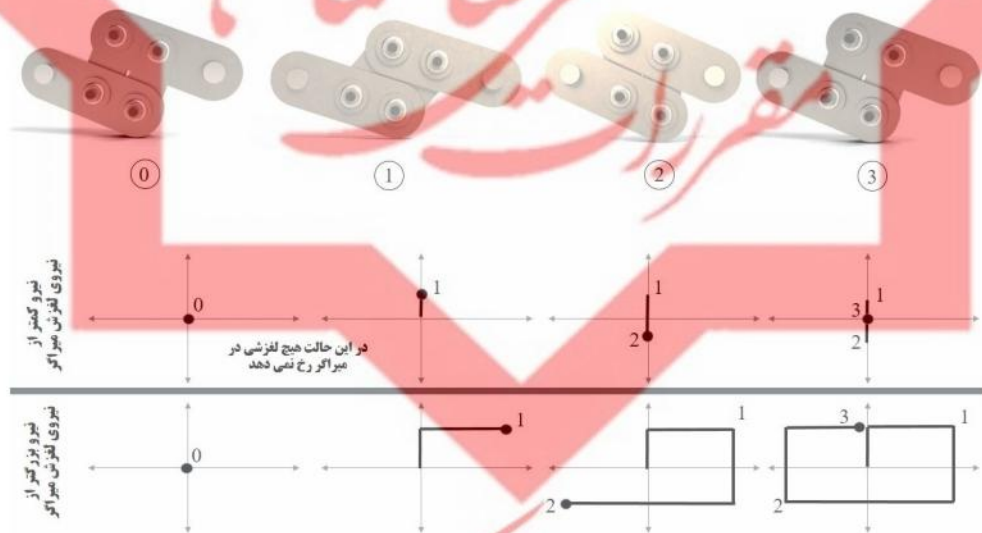
شکل (۲-۲۱). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای اصطکاکی دورانی

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

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۴۵

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.

تذکره ۲: آنچه موجب لغزش در میراگرهای اصطکاکی دورانی می‌شود، لنگر ناشی از نیروی وارد بر دو انتهای میراگر است. این لنگر علاوه بر نیرو به بازوی لنگر نیروی وارده نیز بستگی دارد. 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 به طور قابل توجهی 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 رخ ندهد.



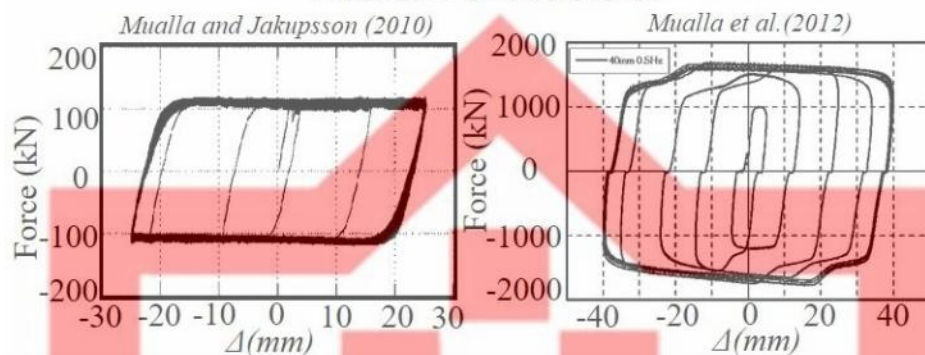
شکل (۲-۲۲). نحوه تغییرشکل و رفتار میراگر اصطکاکی دورانی تحت یک سیکل رفت

و برگشت با دو دامنه متفاوت

نمونه هایی 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 بوده و مرحله انتقال رفتار خطی به غیرخطی به صورت ناگهانی رخ می‌دهد. در این میراگر نیز هیچ بخشی وارد رفتار پلاستیک 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 بازوی لنگر نیروی میراگر بستگی دارد. لازم است نیروی آستانه لغزش میراگر و نیز سختی اولیه آن حتماً بر اساس نتایج آزمایشگاهی بدست آیند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت بار هارمونیک

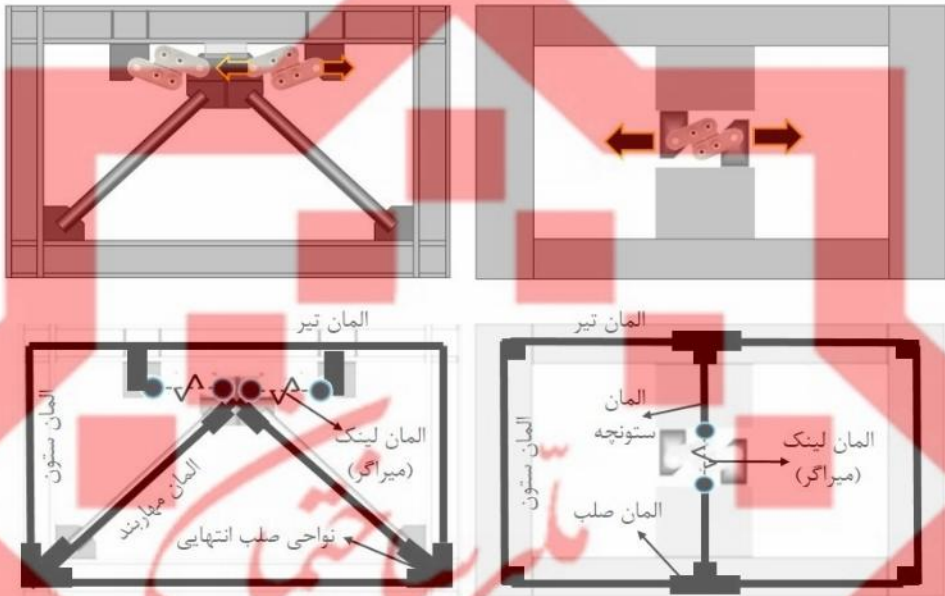


شکل (۲-۲۳). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای اصطکاکی دورانی و منحنی پوش رفتار آن‌ها (Mualla and Jakupsson 2010, Mualla et al. 2012)

برخی از چیدمان‌های متداول از نحوه استفاده از میراگرهای اصطکاکی دورانی به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۲۴) نشان داده شده‌است. 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 سر خوردگی و تغییرشکل در میراگر گردد. بدیهی است این تغییرشکل نباید از ظرفیت تغییرشکلی میراگر تجاوز کند.

تذکره ۳: اگرچه میراگرهای اصطکاکی دورانی دارای لغزش دورانی هستند، لیکن نتیجه این لغزش دورانی، ایجاد یک تغییرشکل انتقالی برای میراگر است و معمولا رفتار میراگر نیز به صورت نیرو-

تغییر شکل بیان می‌شود و نه لنگر-دوران. لذا به منظور مدلسازی میراگرهای اصطکاکی دورانی نیز می‌توان از فنرهای غیرخطی انتقالی به صورت محوری یا برشی استفاده نمود.



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

۲-۳-۳ شبیه سازی میراگرهای اصطکاکی

به منظور شبیه سازی رفتار میراگرهای اصطکاکی معمولاً از فنرهای غیرخطی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه میراگرهای اصطکاکی متداول فاقد سخت شوندگی هستند، لذا مدل‌های رفتاری با سخت‌شوندگی کینماتیک برای شبیه سازی رفتار میراگرهای اصطکاکی مناسب می‌باشد. 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.

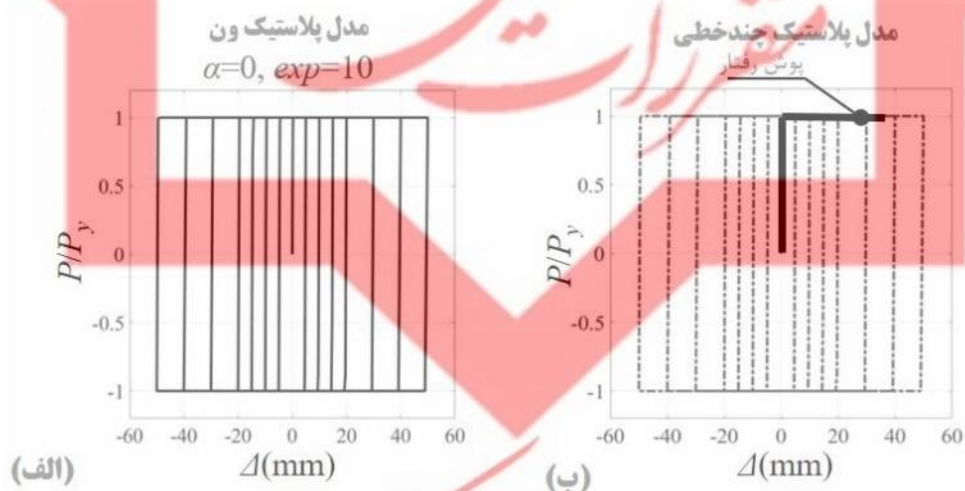
تذکر: سختی اولیه در برخی از میراگرهای اصطکاکی ممکن است مقدار بسیار بالا باشد به طوری که حل عددی با عدم همگرایی یا کندی مواجه شود. در چنین مواردی توصیه می‌شود مقدار سختی معادل ۱۰ برابر سختی مهاربند یا ستونچه متصل به میراگر در نظر گرفته شود.

۱-۳-۳-۲ مدل پلاستیک ون

مدل پلاستیک ون یک مدل دو خطی با سخت شوندهگی کینماتیک است که به کمک چهار پارامتر سختی اولیه (K_0)، مقاومت تسلیم (V_y یا P_y)، نسبت سختی پس از تسلیم (α) و پارامتر 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 پارامتر فوق لازم است براساس نتایج آزمایشگاهی کالیبره شوند. از آنجا که معمولاً میراگرهای اصطکاکی فاقد سخت شوندهگی هستند $\alpha \approx 0$ 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 بهتر است از سخت شوندهگی 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.

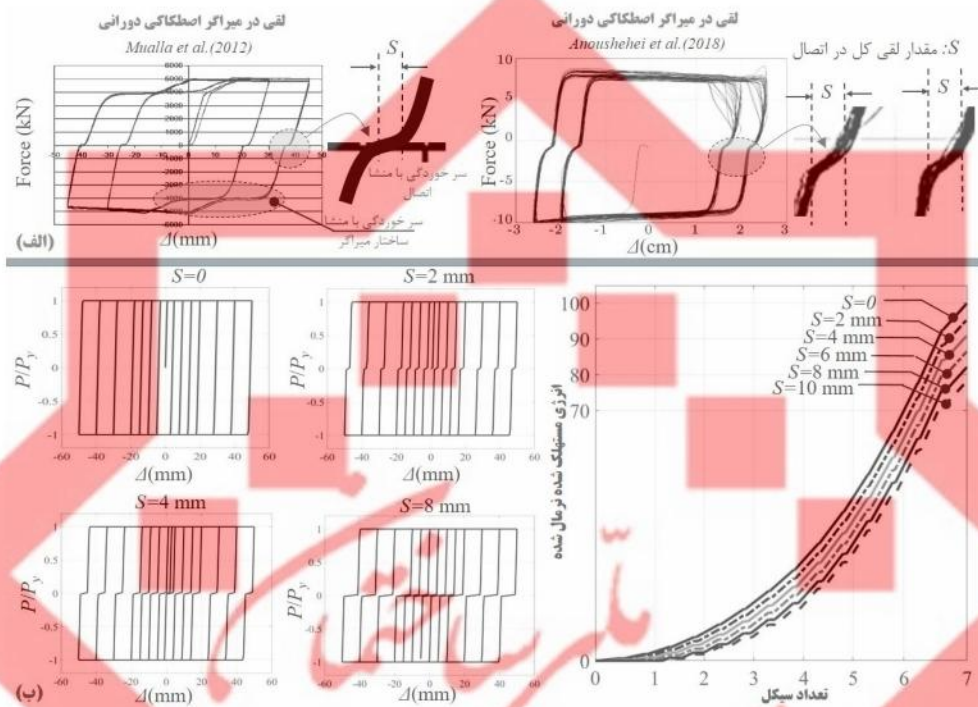


شکل (۲-۲۵). نمونه‌ای از شبیه سازی میراگر اصطکاکی با استفاده از مدل پلاستیک ون و

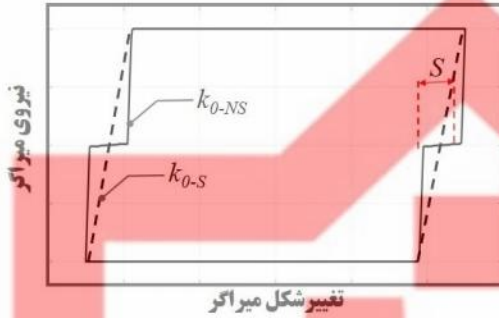
(ب) مدل پلاستیک چندخطی

۲-۳-۳-۳ 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. منشا لقی می‌تواند ساختار میراگر و یا نوع اتصال بکار رفته در میراگر باشد. به عنوان مثال معمولاً میراگرهایی که توسط پین به سازه متصل می‌شوند، مقداری لقی در رفتار میراگر بروز خواهد داشت. نتیجه بروز لقی در رفتار میراگر کاهش انرژی مستهلک شده توسط میراگر می‌باشد که این کاهش بسته به میزان لقی و تغییر شکل‌های 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 ۲ 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 کاهش 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 آزمایشات گذشته (Mualla et al. 2012, Anoushehei et al. 2018). (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).



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

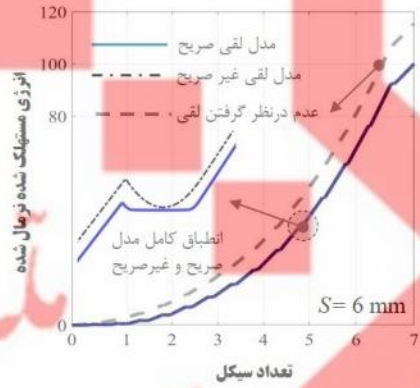
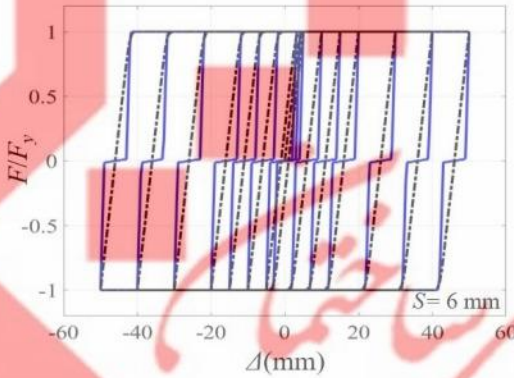
F_y : نیروی لغزش میراگر

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

Δy : تغییر شکل تسلیم میراگر با فرض عدم بروز لقی

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

S : میزان لقی کل



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

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 لقی اتصالات در چیدمان آزمایشات 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.

۴-۳-۲ وابستگی در میراگرهای اصطکاکی

۱-۴-۳-۲ تعداد سیکل رفت و برگشتی

پایداری رفتار میراگرهای اصطکاکی به نوع میراگر و پد اصطکاکی به کار رفته در میراگر وابستگی کامل دارد. با این که در تست‌های انجام شده بر روی نمونه‌های کوچک مقیاس پایداری رفتار میراگرهای اصطکاکی حتی تا ۴۰۰ سیکل نیز مشاهده شده است (Mualla 2000)، لیکن تست‌های انجام شده بر روی میراگرهای با مقیاس کامل عمدتاً محدود به چند ده سیکل بوده است (Tremblay 1993). لذا در محدوده تعداد سیکل‌های مورد انتظار در بارهای لرزه‌ای، میراگرهای اصطکاکی به تعداد سیکل‌های رفت و برگشتی حساس نبوده و در صورتی که آسیب مشهودی در آنها رخ نداده باشد، پس از زلزله نیاز به تعویض ندارند.

تبصره: پایداری رفتار میراگرهای اصطکاکی تحت بارهای دینامیکی با تدام و تعداد سیکل بسیار بالا (همانند بارهای ناشی از باد) چندان تحت مطالعه قرار گرفته نشده است. لذا در غیاب انجام تست‌های باد، لازم است میراگرهای اصطکاکی تحت بار باد دچار لغزش نشوند.

۲-۴-۳-۲ دمای محیط

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

۳-۴-۳-۲ سرعت بارگذاری

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

۴-۴-۳-۲ عملکرد دراز مدت

در صورتی که از واشرهای فنری قفل کننده مناسب استفاده شده و نیز صفحات لغزش در برابر خوردگی محافظت شوند، مشخصات میراگرهای اصطکاکی در اثر گذشت زمان تغییر محسوسی نخواهد داشت.

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.
- رفتار میراگر در اثر تعداد سیکل‌های بالا دچار تغییر نشده و پس از زلزله نیاز به تعویض پدهای اصطکاکی نخواهد بود. به عبارتی بحث خستگی در میراگرهای اصطکاکی وجود ندارد.
- عوامل محیطی از جمله تغییرات دما تاثیر ناچیزی بر رفتار میراگرهای اصطکاکی دارد.
- رفتار دراز مدت میراگر قابلیت اطمینان بالایی داشته و گذر زمان تاثیری 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 پدهای اصطکاکی تعویض شوند.
- میراگرهای اصطکاکی تنها زمانی قابلیت استهلاک انرژی خود را نشان می‌دهند که در معرض نیرویی برابر با نیروی لغزش میراگر قرار بگیرند. لذا در زلزله‌های سطح سرویس و یا سایر بادهای جانبی همانند باد تاثیری در افزایش قابلیت استهلاک انرژی سازه ندارند.
- 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. این موضوع به ویژه در زلزله‌های سطح سرویس و بارهای ناشی از باد مشهودتر خواهد بود.

- میراگرهای اصطکاکی شدیداً مستعد تجربه تغییرشکل ماندگار هستند. این موضوع در میراگرهای اصطکاکی فاقد سخت شوندگی (طیف قالب میراگرهای اصطکاکی) مشهودتر است.

۲-۴ میراگرهای سیال ویسکوز

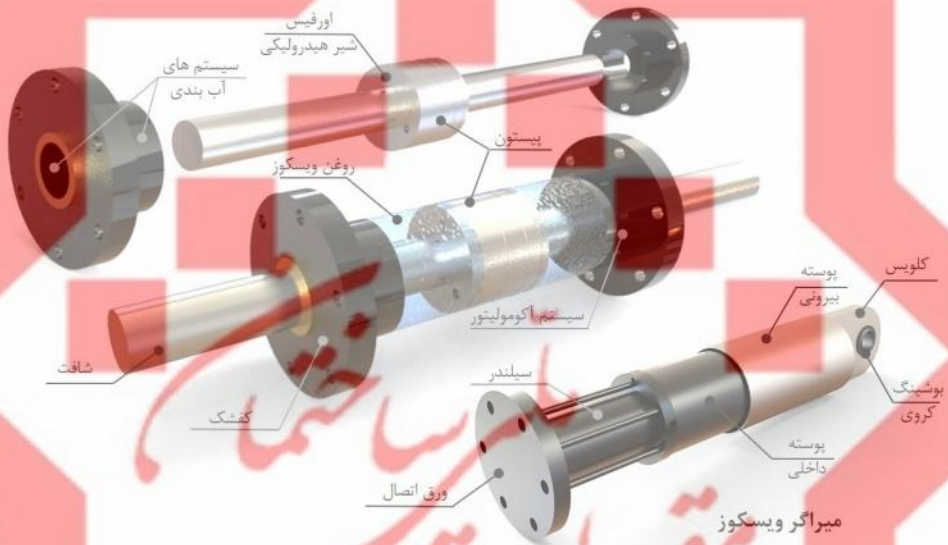
میراگرهای سیال ویسکوز دسته‌ای از ادوات استهلاک انرژی وابسته به سرعت هستند که مکانیزم عملکردی در آن‌ها بر مبنای افت انرژی هیدرولیکی^۱ سیال ویسکوز داخل میراگر استوار است. بر این اساس که ارتعاشات وارده بر میراگر منجر به ایجاد جریان در سیال داخل میراگر شده و به علت قرار داشتن مکانیزم‌های تشدید کننده افت 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 دارد، لذا میراگرهای سیال ویسکوز در دسته ادوات استهلاک انرژی وابسته به سرعت قرار می‌گیرند. در ادامه دو نوع از میراگرهای سیال ویسکوز معرفی شده‌اند.

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 این سمت بر 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

^۱ Hydraulic head loss

سیلندر (سرعت نسبی وارده بر میراگر) بوده و سرعت سیال در داخل اورفیس به سادگی می‌تواند به چند صد متر بر ثانیه برسد. همچنین فشار ایجاد شده در سیال می‌تواند تا چند صد بار (ده‌ها مگاپاسگال) افزایش یابد، لذا سیستم‌های آب‌بندی میراگر باید به نحوی طراحی می‌شوند که با ضریب اطمینان مناسبی این فشار را بتوانند تحمل کنند.



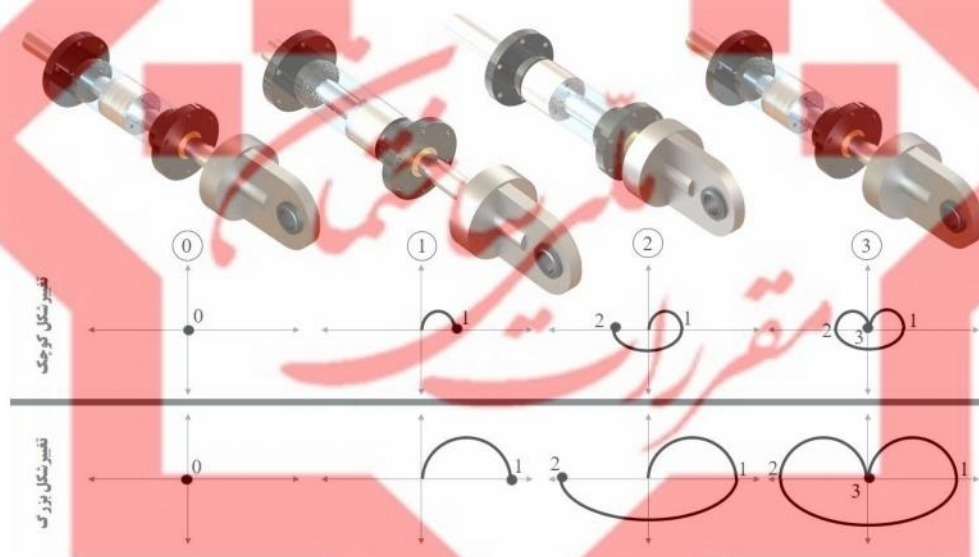
شکل (۲-۲۸). جزئیات نمونه‌ای از میراگرهای ویسکوز

تذکره ۱: میراگرهای ویسکوز قطعاتی با مهندسی پیچیده هستند که طراحی کامل آن‌ها نیاز به 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.

تذکره ۲: بسیاری از جزئیات به‌کار رفته در میراگرهای ویسکوز تجاری صرفاً در انحصار شرکت‌های سازنده بوده و در دسترس عموم قرار ندارند. سیستم آکومولیتور^۱ و سیستم خنثی‌کننده اثرات تغییر دما از جمله این جزئیات هستند. سیستم آکومولیتور به منظور خنثی‌سازی

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 شده است.

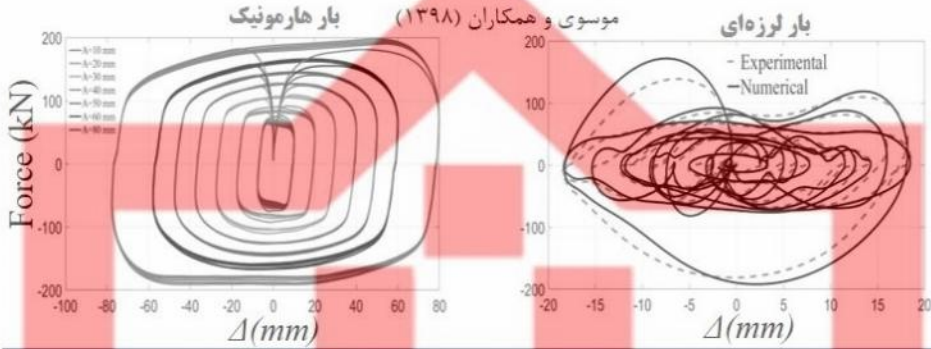
رفتار میراگر ویسکوز تحت یک چرخه رفت و برگشتی در شکل (۲-۲۹) نشان داده شده است. نکته حائز اهمیت در خصوص میراگرهای ویسکوز، اختلاف فاز موجود بین نیروی میراگر و جابجایی وارده بر میراگر است. بدین ترتیب زمانی که جابجایی میراگر به مقدار حداکثر خود رسیده و جهت حرکت تغییر می‌کند، سرعت حرکت صفر بوده و متعاقباً نیروی میراگر ویسکوز نیز برابر صفر است. 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.



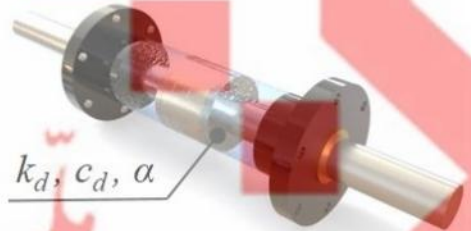
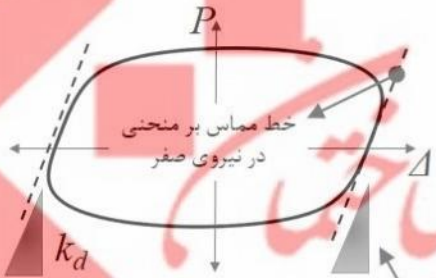
شکل (۲-۲۹). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر ویسکوز تحت یک سیکل رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت (در نقطه ۳ میراگر به جای اول خود بازگشته و متوقف شده است لذا سرعت و نیروی میراگر برابر صفر است).

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.

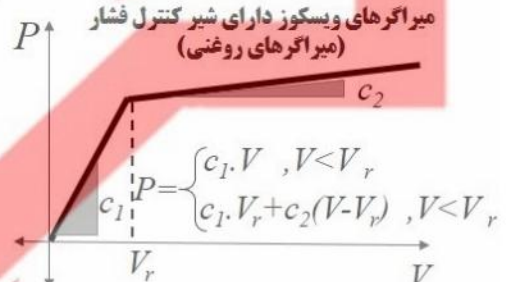
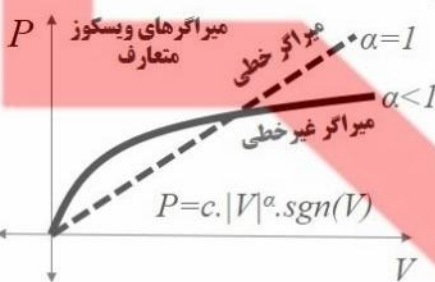
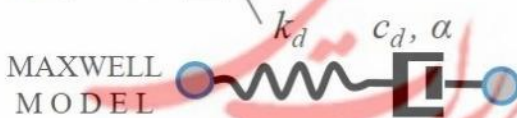
نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت



مدل رفتاری



k_d, c_d, α
فاقد رابطه تحلیلی



شکل (۲-۳۰). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای ویسکوز (موسوی و همکاران ۱۳۹۸)

و مدل رفتاری میراگرهای ویسکوز

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 شبیه‌سازی رفتار میراگرهای ویسکوز است ارائه شده است. در این مدل یک فنر خطی با یک داشپات^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 است و هرچه قدر تراکم پذیری سیال کمتر باشد، مقدار k_d بیشتر شده و ترکیب سری رفتار به یک داشپات خالص نزدیک‌تر می‌شود. معمولاً در فرکانس‌های مهم در صنعت ساخت و ساز (فرکانس‌های کوچکتر از ۱ Hz)، تراکم پذیری سیال میراگر اندک بوده و رفتار میراگر بسیار مشابه یک داشپات 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. 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 روش‌هایی از جمله دینامیک سیالات محاسباتی^۳ توسط شرکت‌های سازنده تعیین شده و مشخصات نهایی صرفاً با استفاده از نتایج آزمایشگاهی تعیین می‌شوند. به عبارت دیگر هر سه پارامتر مذکور لازم است براساس تست‌های 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 اورتوفیس‌های این نوع از میراگرهای شیرهای کنترل فشار قرار دارد که پس از عبور سرعت میراگر از حد مشخصی، شیر باز شده و ضریب میرایی میراگر تغییر می‌کند. لذا مطابق شکل (۲-۳۰) این نوع از میراگرها شامل دو ضریب میرایی هستند.

^۱ Maxwell

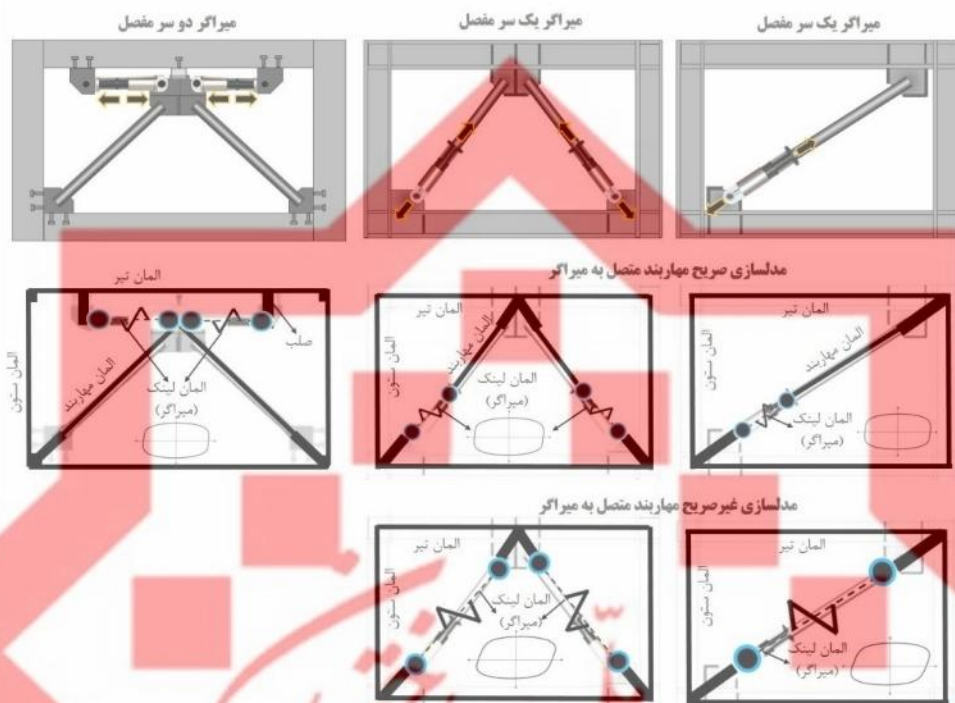
^۲ Dashpot

^۳ Computational Fluid Dynamic (CFD)

برخی از چیدمان‌های متداول از نحوه استفاده از میراگرهای ویسکوز به همراه نحوه ساخت مدل عددی در هر چیدمان در شکل (۲-۳۱) نشان داده شده است. 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 در میراگر گردد. بدیهی است نیروی متناظر با سرعت حداکثر نباید از ظرفیت نیرویی میراگر تجاوز کند. توضیح آنکه ظرفیت نیرویی میراگر معمولاً به قطر سیلندر، قطر شافت 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 مدل سازی 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، لذا 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 کمناش نشود.

تذکره ۶: 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 لحاظ شود.



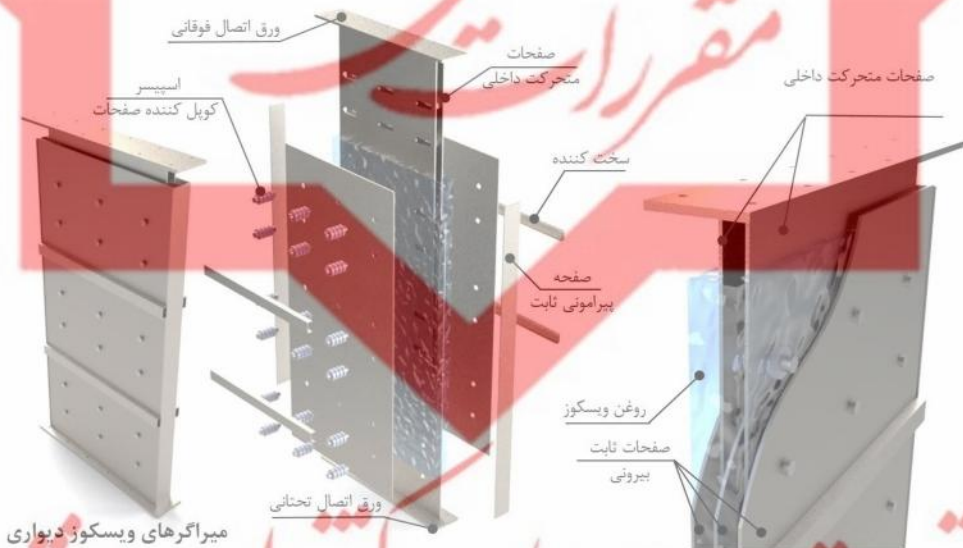
شکل (۲-۳۱). چیدمان‌های متداول برای استفاده از میراگرهای ویسکوز و نحوه مدلسازی آن‌ها

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 برشی داخل صفحه در از طرف سیال به صفحات متحرک وارد می‌شود که این نیروی برشی به سرعت حرکت صفحات در داخل محفظه بستگی دارد. لذا میراگرهای پانل ویسکوز نیز در دسته میراگرهای وابسته به سرعت قرار می‌گیرند. در چنین مکانیزمی مهم است که ضخامت سیالی که تحت تنش برشی قرار می‌گیرد ثابت بماند، لذا مطابق شکل (۲-۳۲) مابین صفحات فولادی متحرک و ثابت از اسپیسر استفاده می‌شود تا اولاً فاصله بین صفحات

حفظ شده و ثانياً از کمانش برشی 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 برشی 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 میراگرهای فاقد سیستم آب بندی هستند. همچنین به منظور تامین نیروی قابل توجه در میراگر لازم است ابعاد میراگر بزرگ باشد (ارتفاع میراگر معمولاً برابر ارتفاع طبقه است) و ثانياً ویسکوزیته سیال داخل محفظه بسیار بالا باشد. میراگرهای پانل ویسکوز در مقایسه با میراگرهای ویسکوز از تکنولوژی پایین تری برخوردار بوده و بسیاری از مکانیزم‌ها به ویژه مکانیزم خنثی سازی اثرات تغییر دما در آنها وجود ندارند. لذا رفتار این نوع از میراگرها شدیداً به دمای محیط وابسته بوده و به طور کلی با افزایش دما، ضریب میرایی و نیروی ایجاد شده در میراگر افت می‌کند.

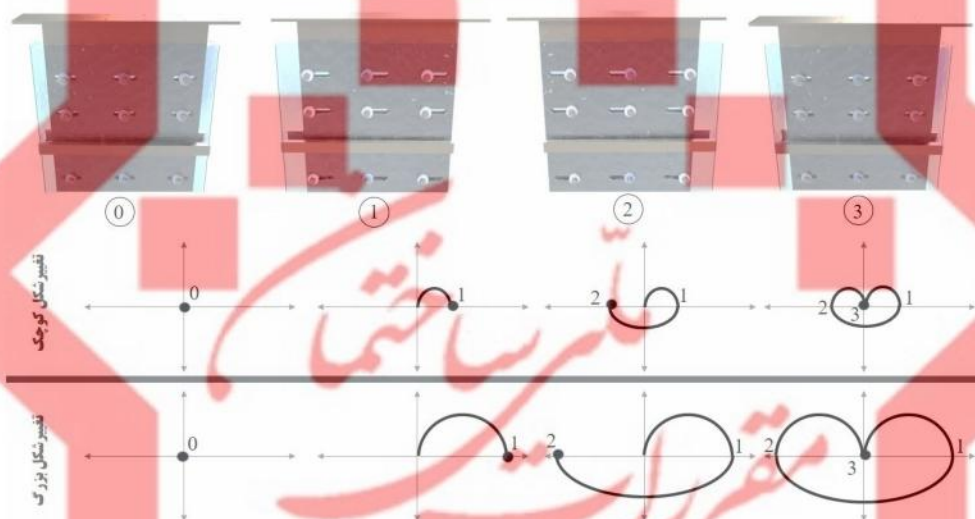
تذکره ۱: طراحی، ساخت و تضمین کیفیت و رفتار صحیح میراگرهای پانل ویسکوز بر عهده شرکت سازنده میراگر است.



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

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۶۳

رفتار میراگر پانل ویسکوز تحت یک چرخه رفت و برگشتی در شکل (۲-۳۳) نشان داده شده است. اختلاف فار مابین نیروی میراگر و جابجایی 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 خود را مستهلک کنند.



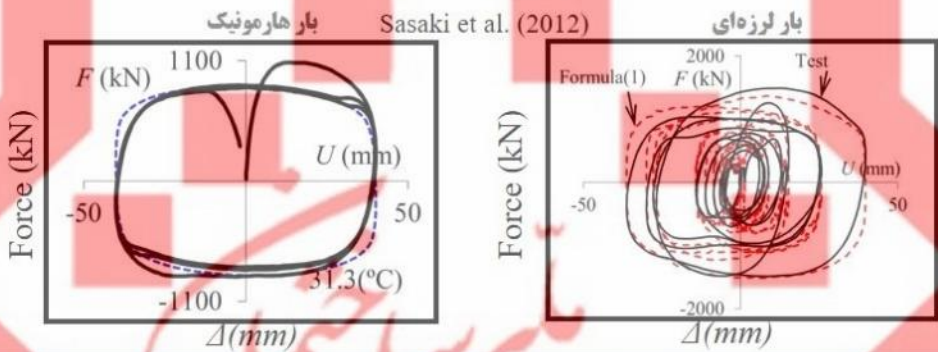
شکل (۲-۳۳). نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر پانل ویسکوز تحت یک سیکل رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت (در نقطه ۳ میراگر به جای اول خود بازگشته و متوقف شده است لذا سرعت و نیروی میراگر برابر صفر است).

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 دشیپات) تعریف شود. برخلاف میراگرهای ویسکوز، در میراگرهای پانل ویسکوز امکان ایجاد رفتار نیرو-سرعت به صورت دوخطی وجود نداشته و همواره در این میراگرها رفتار به صورت غیرخطی است.

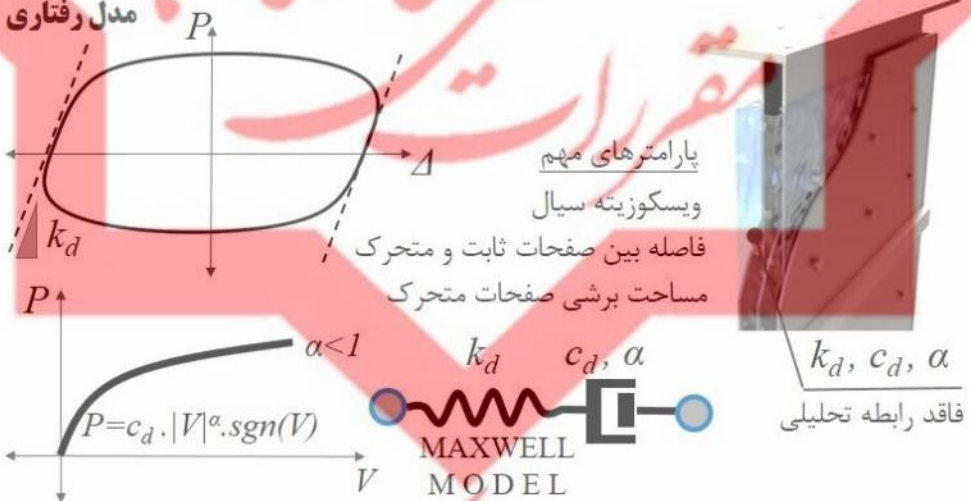
تذکر ۲: سیال مورد استفاده در میراگرهای پانل ویسکوز بسیار دارای لزجت بالاتری نسبت به سیال بکار رفته در میراگرهای ویسکوز است. به طوری که سیال در میراگرهای پانل ویسکوز اساساً حالت مایع نداشت و تا حد زیادی شبیه به نوعی ژل می‌باشد.

تذکر ۳: به دلایل مشخصات سیالاتی متداول در میراگرهای پانل ویسکوز، در اغلب موارد توان سرعت این میراگرها در محدوده $\alpha \approx 0.5$ قرار خواهد داشت.

نمونه رفتار آزمایشگاهی تحت



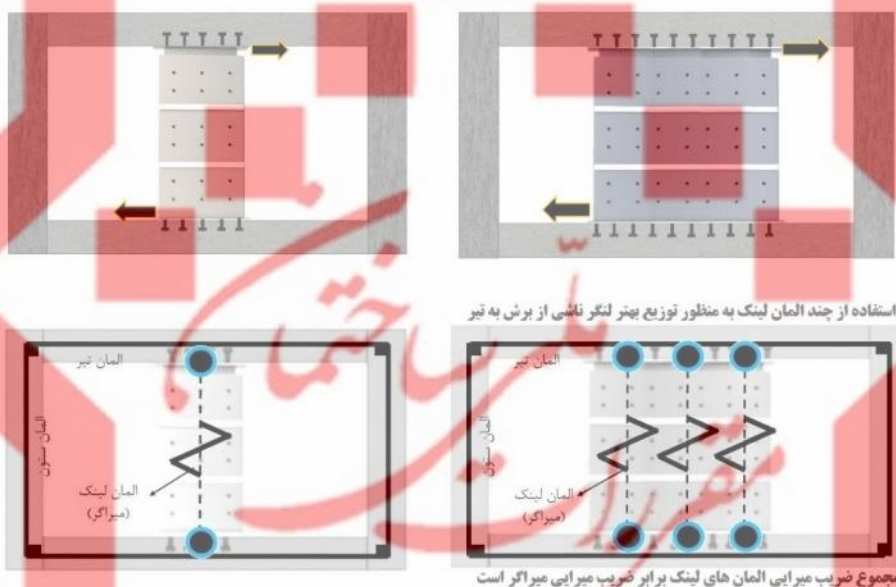
مدل رفتاری



شکل (۲-۳۴). رفتار آزمایشگاهی میراگرهای پانل ویسکوز (Sasaki et al. 2012)

و مدل رفتاری میراگرهای پانل ویسکوز

میراگرهای پانل ویسکوز عمدتاً به صورت دیوارهای پانلی به ارتفاع کل طبقه در سازه قرار داده می‌شوند. نمونه‌ای از نحوه استفاده از میراگرهای پانل ویسکوز و نحوه مدلسازی آن‌ها در شکل (۳۵-۲) نشان داده شده است. در خصوص 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 و سختی مجموع آن‌ها برابر ضریب میرایی و سختی میراگر اصلی شود.



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

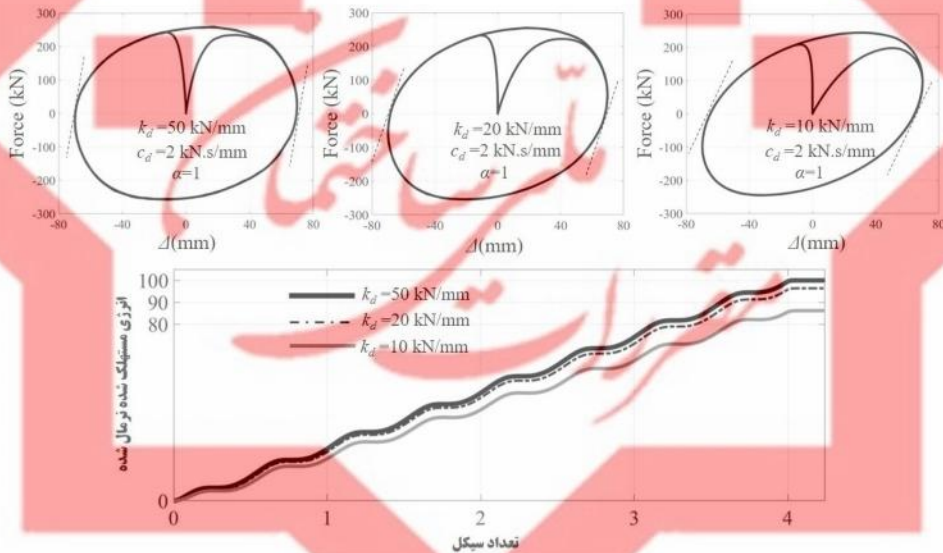
۳-۴-۲ شبیه‌سازی میراگرهای سیال ویسکوز

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.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۱-۳-۴-۲ مدل ماکسول نمایی^۱

این مدل به منظور شبیه‌سازی رفتار طیف وسیعی از میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز مناسب می‌باشد. پارامترهای اصلی در این مدل شامل ضریب میرایی (c_d)، توان سرعت (α) و ضریب تراکم ناپذیری میراگر (k_d) می‌باشد که هر سه پارامتر بر اساس نتایج آزمایشگاهی میراگر قابل محاسبه بوده و شرکت‌های سازنده نیز این مشخصات را برای محصولات خود گزارش می‌کنند. شکل (۲-۳۶) نمونه‌ای از نتایج حاصل از مدل ماکسول نمایی و تاثیر پارامتر 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 (۲-۳۶). 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 (۲-۳۷) نشان داده شده است. مطابق شکل (۲-۳۷) 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 همین دلیل در بسیاری از موارد، استفاده از میراگرهای ویسکوز غیرخطی نسبت به میراگرهای ویسکوز خطی ارجحیت دارد.

تذکر: اگرچه رفتار میراگرهای ویسکوز به دما حساسیت قابل توجهی ندارد، اما رفتار میراگرهای پانل ویسکوز به شدت تابعی از دمای محیط بوده و با افزایش چند ده درجه‌ای در دمای محیط، ضریب میرایی می‌تواند تا ۲ الی ۳ برابر کاهش یابد (توان سرعت معمولاً ثابت مانده و ضریب تراکم ناپذیری تقریباً با روندی مشابه ضریب میرایی تغییر می‌کند). لذا در خصوص میراگرهای پانل ویسکوز لازم است در مدل سازی ضریب میرایی متناظر با حد بالا و حد پایین دمای محیط در نظر گرفته شده و عملکرد سازه بر اساس هر دو ضریب میرایی کنترل شود.

۲-۳-۴-۲ مدل ماکسول دوخطی^۱

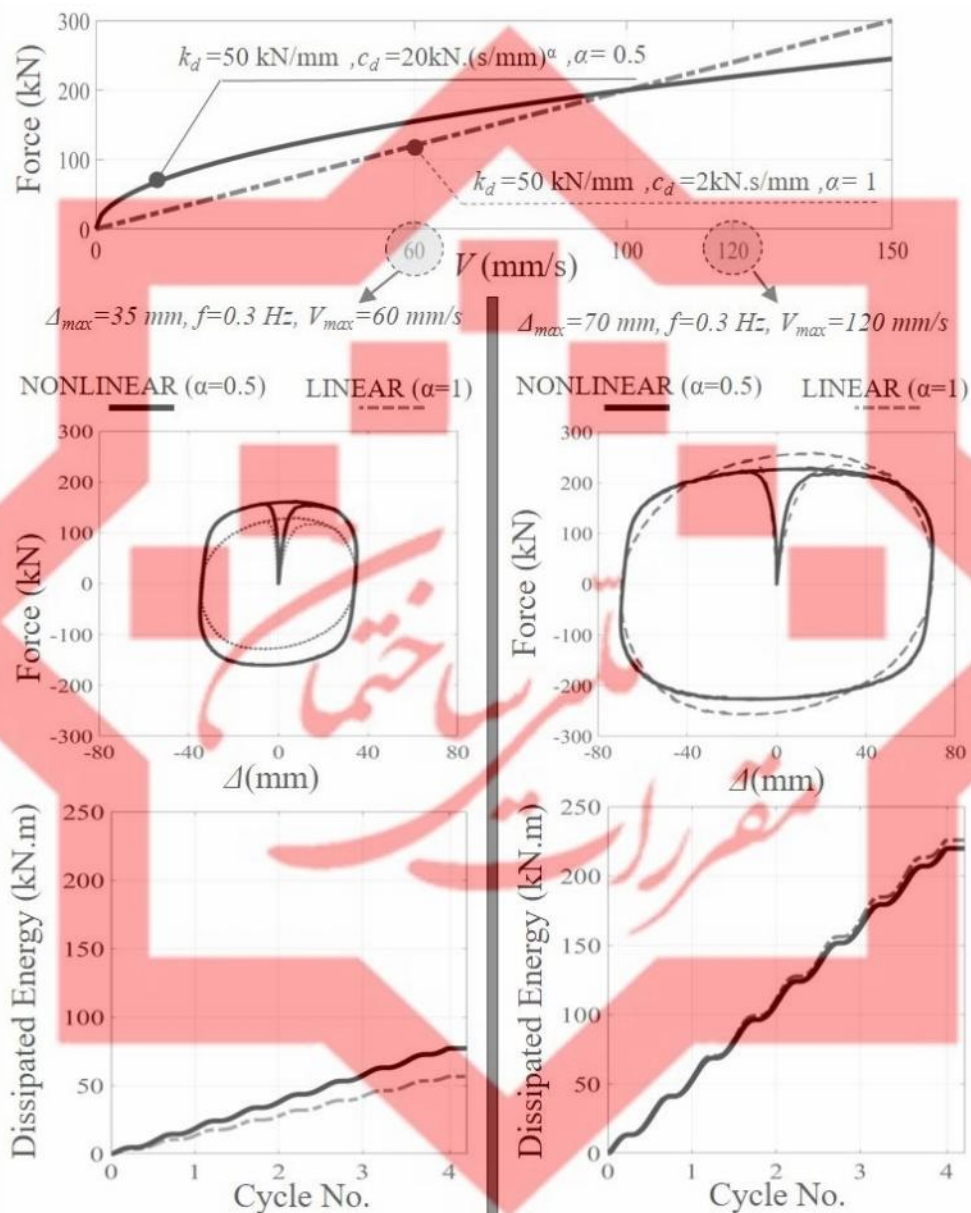
این مدل مناسب برای شبیه سازی میراگرهای با منحنی نیرو-سرعت دوخطی می‌باشد. میراگرهای روغنی عمدتاً در این گروه از میراگرهای قرار گرفته و شامل دو ضریب میرایی هستند. ضریب میرایی c_1 مقدار نسبتاً بالایی داشته و مربوط به زمانی است که میراگر تحت سرعت‌های پایین قرار داشته و شیر کنترل فشار باز نشده است. ضریب میرایی c_2 در مقایسه با c_1 مقدار کمتری داشته و مربوط به زمانی است که میراگر در معرض سرعت‌های بالا قرار گرفته و شیر کنترل فشار میراگر باز شده است. پارامترهای 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 خطی حالت بیضوی دارد لیکن در سرعت‌های بالا و

پس از باز شدن شیر کنترل فشار رفتار تا حدی مشابه میراگرهای غیرخطی شده و حالتی شبه مستطیلی به خود می‌گیرد.



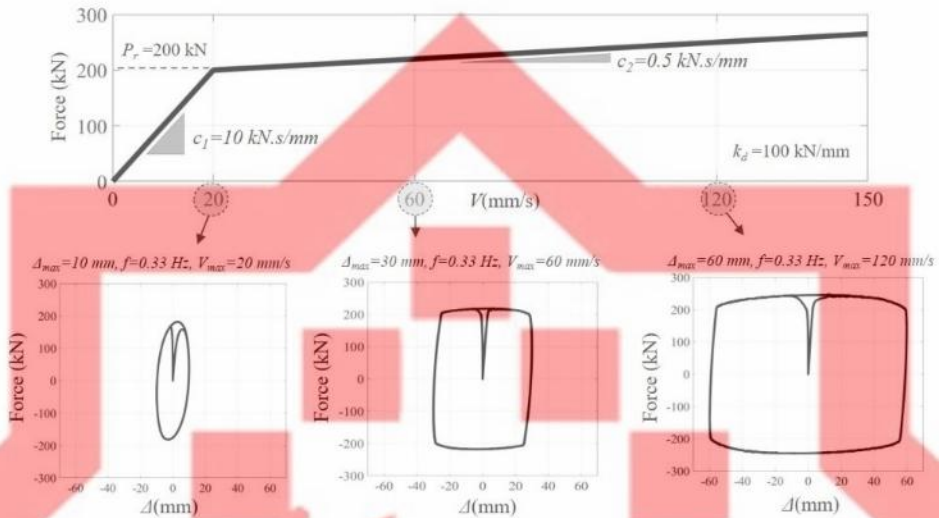
مأمور ساختن
مقررات

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



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

مستهلك شده در دو سرعت مختلف



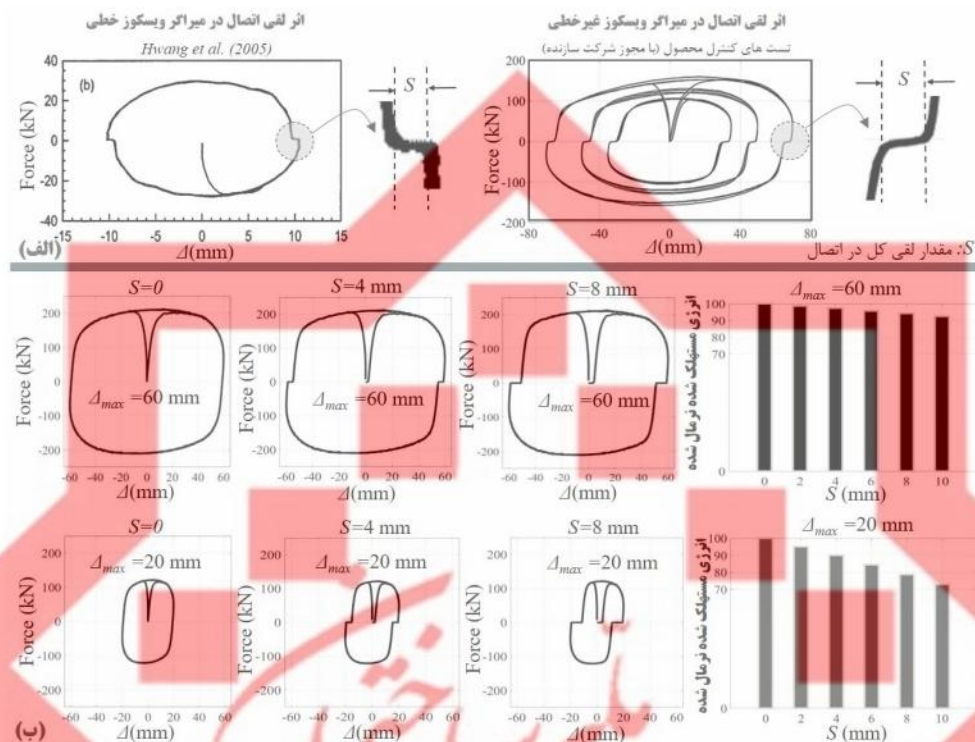
شکل (۲-۳۸). نمونه‌ای از شبیه‌سازی میراگر روغنی با استفاده از مدل ماکسول دوخطی

۲-۳-۴-۳ تأثیر لقی اتصال

میراگرهای ویسکوز عموماً فاقد لقی ساختاری هستند لیکن اثر لقی در اتصالات 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 عمدتاً 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 تا ۴ میلی‌متر است.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای



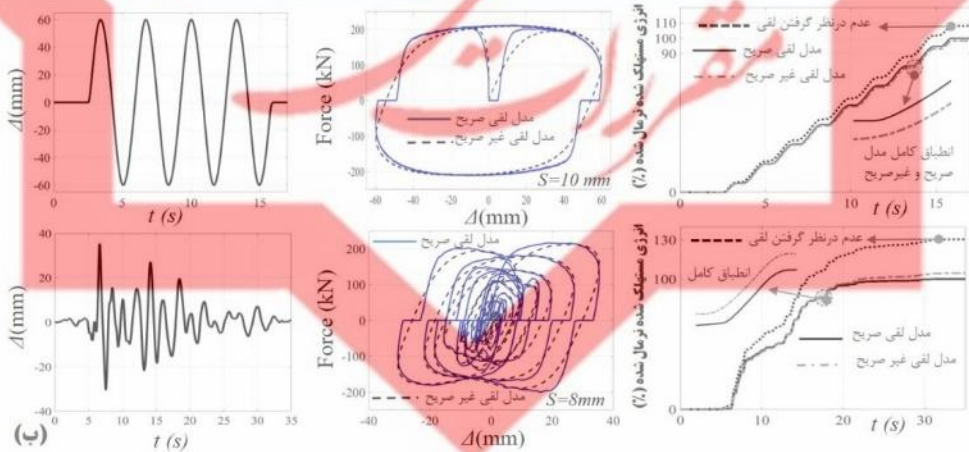
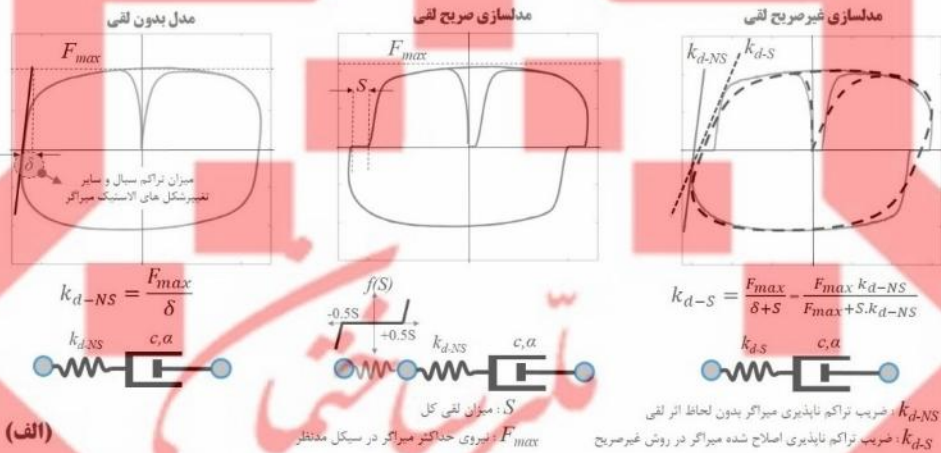
شکل (۲-۳۹). (الف) لقی مشاهده شده در رفتار آزمایشگاهی میراگرهای ویسکوز (Hwang et al. 2005)،

تست‌های کنترل محصول میراگرهای ویسکوز تجاری-با کسب مجوز از شرکت سازنده،

(ب) تاثیر لقی اتصالات در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگرهای ویسکوز

شکل (۲-۳۹-ب) تاثیر مقدار لقی در رفتار چرخه‌ای و انرژی مستهلک شده توسط میراگر را نشان می‌دهد. مطابق شکل، هر چه دامنه حرکت میراگر کوچکتر باشد تاثیر لقی مشهودتر بوده و در مقابل در دامنه‌های بزرگ، تاثیر لقی ناچیز است. این اصل برای سایر میراگرها نیز صادق است. برای لقی‌های بیش از ۲ میلیمتر لازم است اثر لقی در مدل میراگر لحاظ شود. اگرچه در نظر گرفتن لقی به شکل صریح امکان پذیر است، لیکن مدلسازی صریح می‌تواند منجر به افزایش مدت زمان تحلیل شود. لذا در این دستورالعمل 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 داده 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 می‌تواند با خطای زیادی تخمین زده شود. لذا لازم است اثر لقی اتصالات به شکل صریح یا غیرصریح در مدل میراگر در نظر گرفته شود.



شکل (۲-۴۰). (الف) نحوه محاسبه ضریب تراکم ناپذیری کاهش یافته میراگر ویسکوز

به منظور در نظر گرفتن تاثیر لقی به صورت غیرصریح. (ب) مقایسه نتایج حاصل

از مدلسازی صریح و غیرصریح لقی و خطای عدم در نظر گرفتن لقی

تذکر: در صورتی که لقی اتصالات در چیدمان آزمایشات 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.

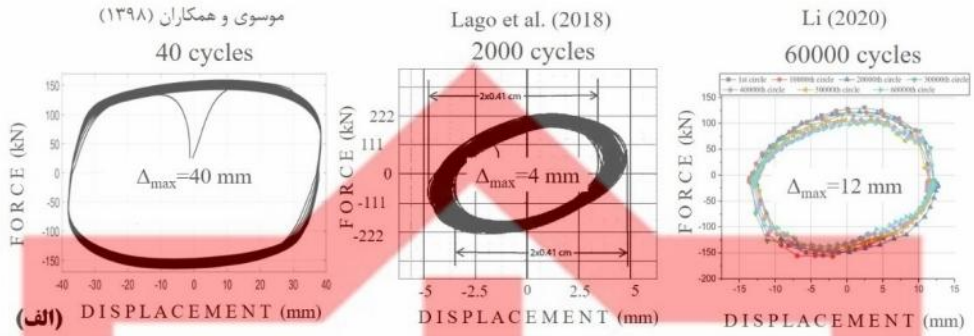
۴-۴-۲ وابستگی در میراگرهای سیال ویسکوز

۴-۴-۲-۱ تعداد سیکل رفت و برگشتی

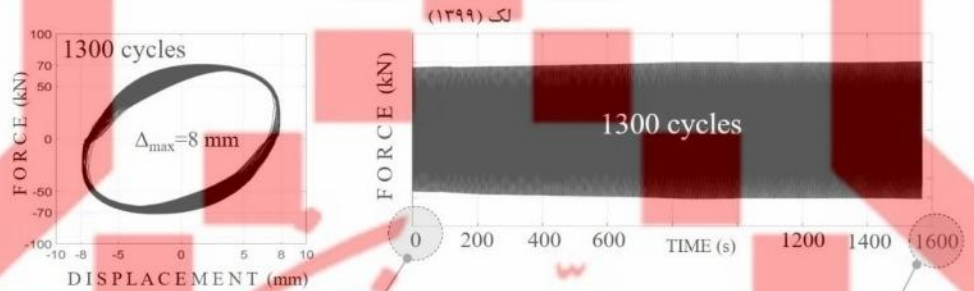
در خصوص حساسیت به تعداد سیکل باید بین میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز تفاوت قائل شد. میراگرهای ویسکوز به دلیل مکانیزم هیدرولیکی خود، فاقد حساسیت به تعداد سیکل بوده و در اثر تعداد سیکل‌های بسیار بالا نیز دچار خستگی یا زوال نمی‌شوند. تست‌های گذشته نشان دهنده آن است که میراگرهای ویسکوز قادرند تحت چند صد تا چندین هزار سیکل نیز قرار گرفته و بدون افت مقاومت به عملکرد خود ادامه دهند. نمونه‌هایی از عملکرد میراگرهای ویسکوز تحت پروتکل‌های با تعداد سیکل بالا در شکل (۲-۴۱-الف) نشان داده شده است. مطابق شکل (۲-۴۱-ب) تحت تعداد سیکل بالا انرژی بسیار زیادی مستهلک شده و دمای سیال 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، با تحت تعداد سیکل‌های بالا افزایش دما منجر به افت ویسکوزیته سیال شده و این امر منجر به افت ضریب میرایی میراگر پانل ویسکوز می‌شود. با این وجود هم میراگر ویسکوز و هم میراگر پانل ویسکوز پس از زلزله نیاز به تعویض ندارند.

تذکر: با وجود اینکه میراگرهای ویسکوز پس از زلزله معمولاً نیاز به تعویض ندارند، لیکن نیاز به بازبینی داشته و در صورتی که به هر دلیل شواهدی از نشتی در میراگر یا هر نوع گسیختگی و زوال اجزا و یا اتصالات میراگر مشاهده شود، لازم است میراگر یا اتصالات آن تعویض یا تعمیر شوند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان



(الف)



(ب)

دمای حداکثر = 26.9°C

دمای حداکثر = 72.0°C

شکل (۲-۴۱). (الف) رفتار میراگرهای ویسکوز تحت پروتکل‌های با تعداد سیکل بالا (ب) عدم حساسیت رفتار میراگر ویسکوز به دما (موسوی و همکاران ۱۳۹۸، (Li 2020)، (Lago et al. 2018)، لک ۱۳۹۹)

۲-۴-۴-۲ دمای محیط

در خصوص حساسیت به دمای 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 صحت نداشته و در این میراگرها با افزایش دما، ضریب میرایی می‌تواند شدیداً تغییر کند. لذا در

خصوص میراگرهای پانل ویسکوز لازم است در دماهای مختلف انجام شده و در مدل سازی مشخصات میراگر در دو گستره دمایی حد بالا و حد پایین مدنظر قرار گیرند.

۲-۴-۳ 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 نوع خاصی از آب‌کاری هستند. همچنین این قطعات در داخل محفظه سیلندر آب‌بندی شده قرار دارند که حتی هوا نیز به داخل آن نفوذ نمی‌کند. لذا 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 به 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 تغییر شکل‌های کوچک نیز قابلیت استهلاک انرژی داشته و علاوه بر زلزله‌های شدید، تحت زلزله‌های سطح سرویس و یا ارتعاشات ناشی از باد نیز منجر به افزایش میرایی سازه خواهند شد.
- 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 نیاز به تعویض ندارند.
- میراگرهای ویسکوز رفتار پایداری تحت تعداد سیکل‌های بسیار بالا دارند (این خاصیت در میراگرهای پانل ویسکوز وجود ندارد).

- عوامل محیطی از جمله تغییرات دمای محیط بر رفتار میراگرهای ویسکوز تاثیر می‌گذارد (این موضوع در خصوص میراگرهای پانل ویسکوز صدق نمی‌کند).
- به دلیل عدم سختی، میراگرهای سیال ویسکوز مستعد تجربه تغییر شکل ماندگار نیستند.

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

- به دلیل تکنولوژی بالا و جزئیات نسبتاً پیچیده، میراگرهای سیال ویسکوز نسبت به سایر میراگرها معمولاً از قیمت بالاتری برخوردار هستند.
- 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 است یادآوری گردد میراگرهای سیال ویسکوز در این دست‌ورالعمل به دو دسته میراگرهای ویسکوز و میراگرهای پانل ویسکوز دسته‌بندی شده‌اند که اگرچه در نام به یکدیگر شباهت دارند، اما در رفتار می‌توانند کاملاً متفاوت باشند. مشخصاً برخی از مزیت‌های میراگرهای ویسکوز همانند عدم حساسیت به دما، در میراگرهای پانل ویسکوز وجود ندارد.

۲-۵ میراگرهای ویسکوالاستیک

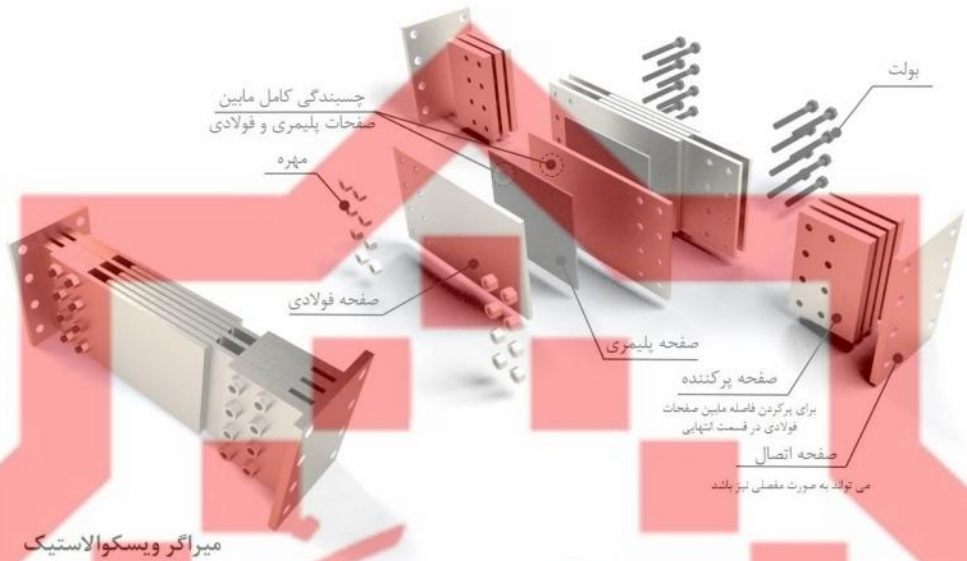
۲-۵-۱ معرفی میراگرهای ویسکوالاستیک

میراگرهای ویسکوالاستیک دسته‌ای از میراگرها هستند که مکانیزم استهلاک انرژی در آن‌ها از طریق ایجاد کرنش برشی در لایه‌های ویسکوالاستیک میراگر فراهم می‌شود. در متداول‌ترین حالت، یک میراگر ویسکوالاستیک از تعدادی صفحه فولادی و پلیمری (لاستیکی) که به طور کامل به یکدیگر چسبانده شده‌اند، تشکیل شده‌است. نمونه‌ای از جزئیات میراگرهای ویسکوز و اجزای اصلی آن در شکل (۲-۴۲) نشان داده شده‌است. 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 آماده‌سازی شود 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 استاتیکی غیر صفر است، لذا میراگرهای ویسکوالاستیک دارای سختی استاتیکی غیر صفر بوده و علاوه بر افزایش میرایی، منجر به افزایش سختی سازه نیز می‌شوند. فلذا رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک هم وابسته به تغییر شکل و وابسته به سرعت می‌باشد. با این وجود معمولاً این دسته از میراگرها تحت دسته بندی میراگرهای وابسته به سرعت طبقه بندی می‌شوند.

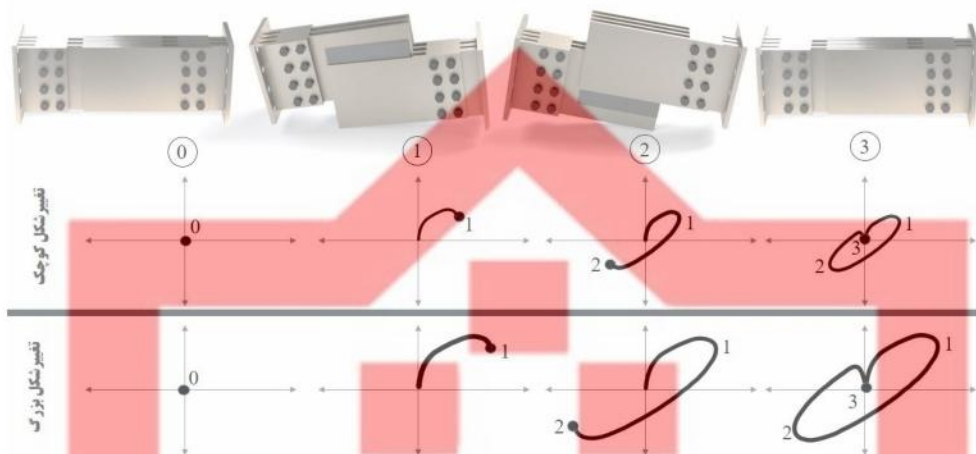
تذکره ۱: رفتار صحیح میراگرهای ویسکوالاستیک به انتخاب پلیمر ویسکوالاستیک مناسب و نحوه صحیح چسباندن صفحات فولادی و پلیمری بستگی کامل دارد. لذا طراحی، ساخت و تضمین کیفیت و رفتار صحیح میراگرهای ویسکوالاستیک بر عهده شرکت سازنده میراگر است.

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 ویسکوالاستیک-پلاستیک یا ویسکوپلاستیک اطلاق می‌شود. در میراگرهای ویسکوپلاستیک تحت تغییر شکل‌های کوچک تنها عملکرد ویسکوالاستیک فعال بوده اما در تغییر شکل‌های بزرگ هر دو عملکرد ویسکوالاستیک و تسلیمی فعال می‌شوند.



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

نحوه تغییر شکل و رفتار میراگر ویسکوالاستیک تحت یک سیکل 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، لذا 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 سیکل رفت و برگشت با دو دامنه متفاوت (در نقطه ۳ میراگر به جای اول خود بازگشته و متوقف شده است لذا 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 کلونین^۱ یکی از ساده‌ترین مدل‌ها رفتاری به منظور شبیه‌سازی رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک است. در این مدل مشخصات الاستیک میراگر در قالب یک فنر الاستیک خطی و مشخصات ویسکوز میراگر در قالب یک دشیپات ویسکوز خطی در نظر گرفته شده و این دو المان به صورت موازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در نتیجه مطابق شکل (۲-۴۴) می‌توان یک ضریب سختی ($k'd$) و یک ضریب میرایی (cd) برای میراگر ویسکوالاستیک تعریف نمود که این دو ضریب به مشخصات هندسی صفحات پلیمری و مشخصات مکانیکی پلیمر مصرفی از جمله مدول ذخیره‌کننده انرژی (G') و مدول اتلاف‌کننده انرژی (G'') بستگی دارد. مدول اتلاف‌کننده انرژی معمولاً به صورت ضریب اتلاف (η) بیان می‌شود که عبارت است از نسبت مدول اتلاف‌کننده انرژی به مدول ذخیره‌کننده 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 بستگی دارند. مقدار دقیق ضریب سختی و ضریب میرایی میراگر

^۱ Kelvin (Kelvin-Voigt)

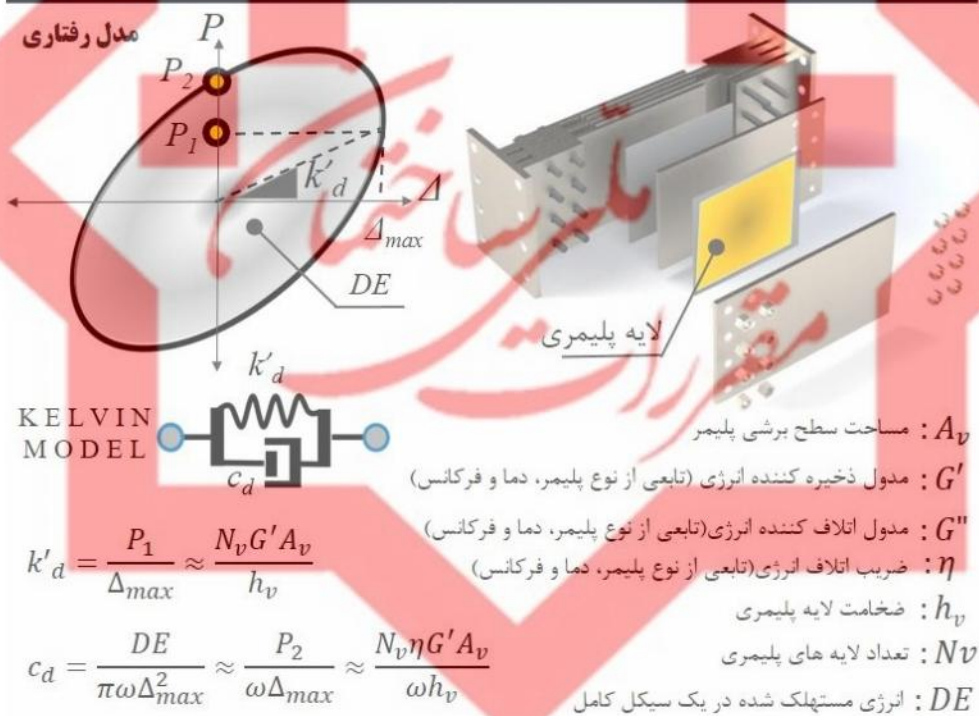
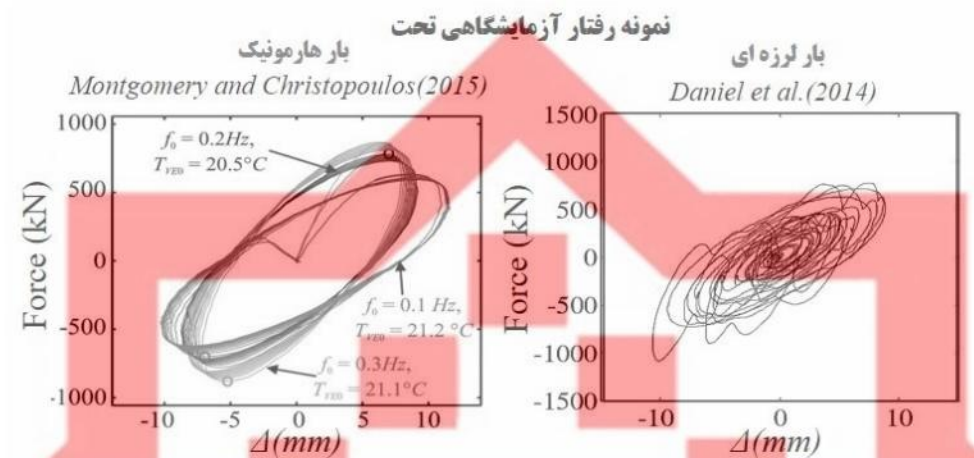
ویسکوالاستیک لازم است بر اساس انجام تست‌های هارمونیک با فرکانس‌های مختلف و در دماهای مختلف بدست آورده شود.

تذکر ۳: به طور کلی با افزایش فرکانس، مقدار مدول ذخیره کننده انرژی (G') و ضریب اتلاف (η) افزایش یافته و با افزایش دما، هر دو پارامتر مذکور کاهش می‌یابند. لذا مقدار ضریب سختی ($k'd$) در میراگرهای ویسکوالاستیک با افزایش فرکانس بارگذاری افزایش یافته اما مقدار ضریب میرایی (cd) با افزایش فرکانس معمولاً کاهش می‌یابد (رجوع به رابطه موجود در شکل ۲-۴۴). به علاوه، دو ضریب سخت و میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک با افزایش دما کاهش می‌یابند.

تذکر 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).

متمرکز
مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



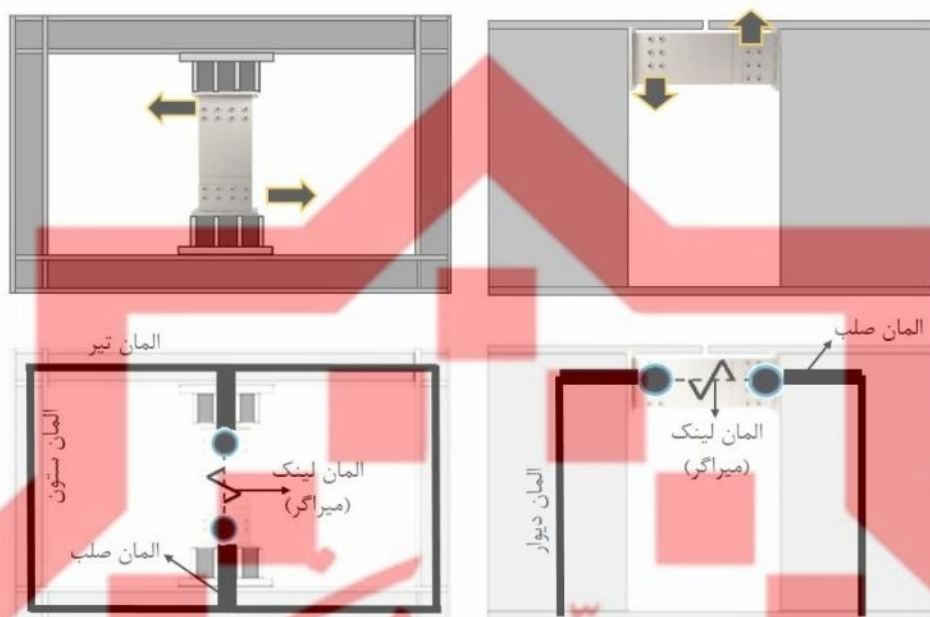
شکل (۲-۴۴). رفتار آزمایشگاهی (Montgomery and Christopoulos 2015, Daniel et al. 2014) و

مدل رفتاری میراگرهای ویسکوالاستیک

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 دستورالعمل 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 (به عنوان نمونه کمتر از ۲۰٪) محدود شود.

تذکره ۶: ظرفیت تغییرشکلی میراگرهای ویسکوالاستیک بستگی به ضخامت لایه‌های پلیمری و کرنش برشی گسیختگی لایه‌های پلیمری بستگی 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 تغییر مکان نسبی به میراگر گردد. بدیهی است ملاحظات معماری و حداکثر ظرفیت تغییرشکل میراگر نیز باید در انتخاب چیدمان مدنظر قرار گرفته شود.

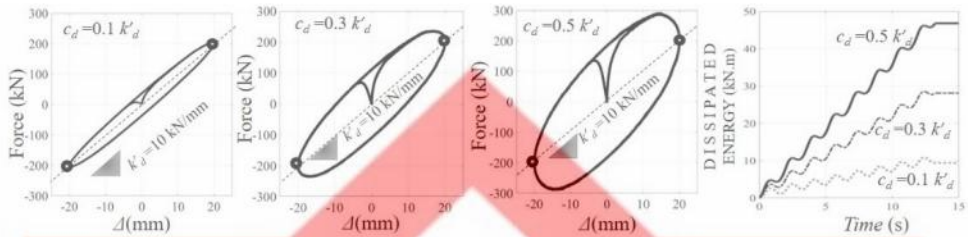


شکل (۲-۴۵). برخی از چیدمان‌های ممکن برای استفاده از میراگرهای ویسکوالاستیک و نحوه مدل‌سازی آن‌ها

۲-۵-۲ شبیه‌سازی میراگرهای ویسکوالاستیک

۲-۵-۲-۱ مدل کلوین

به منظور شبیه‌سازی رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک معمولاً از مدل کلوین استفاده می‌شود. این مدل رفتاری ساده که شامل یک فنر با رفتار الاستیک خطی و یک دشیپات با رفتار ویسکوز خطی (توان سرعت ۱) است در اکثر نرم افزارهای محاسباتی وجود داشته و به سادگی در دسترس مهندسين است. شکل (۲-۴۶) برخی از نتایج حاصل از این مدل را نشان می‌دهد. با افزایش نسبت ضریب میرایی به ضریب سختی، رفتار میراگر هرچه بیشتر شبیه به میراگرهای ویسکوز شده و انرژی بیشتری توسط میراگر مستهلک می‌شود. 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

۲-۲-۵-۲ 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. لذا 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 مود اصلی سازه باشد. لذا مشخصات میراگر در فرکانسی متناسب با فرکانس مود اصلی سازه مدنظر قرار گرفته می شود. در خصوص دما، بازه ای از کرانه بالا و پایین دمای محیط در نظر گرفته شده و مشخصات میراگر یک مرتبه مطابق با مشخصات متناظر با کرانه بالا و بار دیگر متناظر با دمای کرانه پایین در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب لازم است عملکرد سازه حداقل در دو مرحله با فرض کرانه دمای بالا و پایین کنترل شود. لذا لازم است تست میراگرهای ویسکوالاستیک در فرکانس ها و دماهای مختلفی انجام شود. کرانه بالا و پایین دما مطابق با محل پروژه و قرارگیری میراگرها (در محیط داخل یا خارج از ساختمان) و کرانه بالا و پایین فرکانس مطابق با فرکانس مود اصلی سازه اتخاذ می شوند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۳-۲-۵-۲ تاثیر 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 تست 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.

۳-۵-۲ وابستگی در میراگرهای ویسکوالاستیک

۱-۳-۵-۲ تعداد سیکل رفت و برگشتی

پلیمر به کار رفته در میراگرهای ویسکوالاستیک، عمر خستگی بسیار بالایی داشته و تحت تاثیر 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 سیکل بالا به همراه منحنی خستگی S-N نمونه‌ای دیگر 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.

۲-۳-۵-۲ دمای محیط

میراگرهای ویسکوالاستیک به دمای محیط حساسیت داشته و 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.

۳-۳-۵-۲ 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).

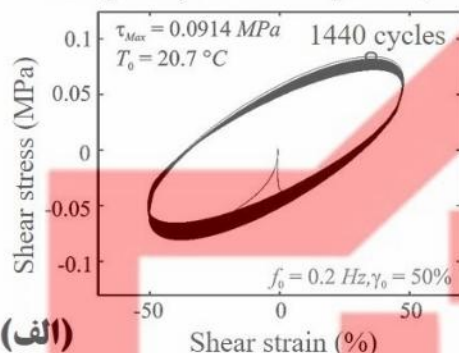
۲-۵-۳-۴ عملکرد دراز مدت

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، لذا زوال مواد پلیمری میراگر در اثر این عوامل ناچیز بوده است. لذا میراگرهای ویسکوالاستیک عملکرد دراز مدت مناسبی داشته و به مرور زمان دچار زوال یا تغییرات قابل توجه در مشخصات نمی‌شوند (Ishikawa et al. 2004).

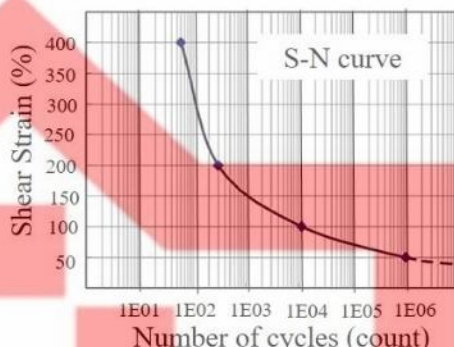
مدرساختما
مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

Montgomery and Christopoulos (2015)

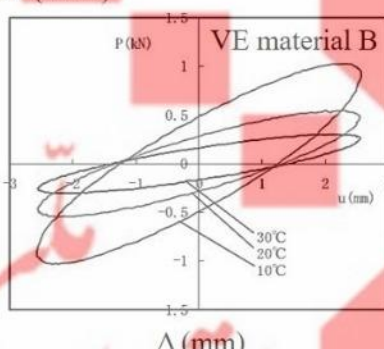
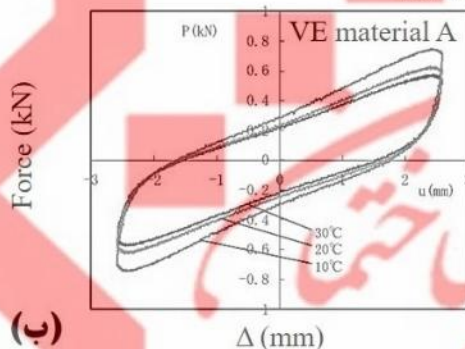


Ishikawa et al. (2004)



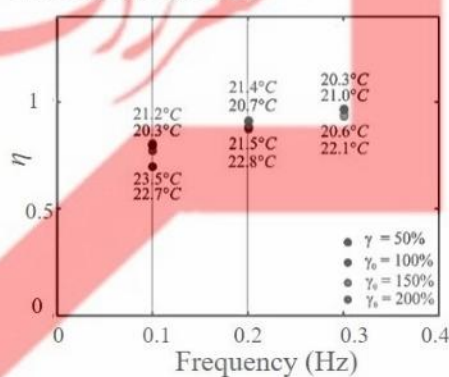
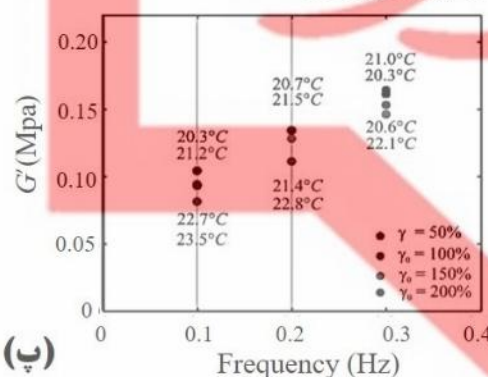
(الف)

Ishikawa et al. (2004)



(ج)

Montgomery and Christopoulos (2015)



(ه)

شکل (۲-۴۷). (الف) رفتار چرخه‌ای و منحنی S-N نمونه‌هایی از میراگرهای ویسکوالاستیک تحت تعداد سیکل‌های 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 برحسب فرکانس (Ishikawa et al. 2004, Montgomery and Christopoulos 2015).

۴-۵-۲ مزایا و محدودیت‌های میراگرهای ویسکوالاستیک

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

- میراگرهای ویسکوالاستیک دارای در تغییرشکل‌های بسیار کوچک نیز قابلیت استهلاک انرژی داشته لذا در برابر بارهای ناشی از باد و زلزله سطح سرویس نیز قادرند میرایی سازه را افزایش دهند.
- گرچه میراگرهای ویسکوالاستیک دارای سختی استاتیکی غیرصفر هستند، اما مقدار این سختی معمولاً اندک بوده و بخش ویسکوز رفتار میراگر معمولاً تأثیر مخرب افزایش سختی را جبران می‌کند. لذا 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 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 تغییرشکل‌های 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.
- در بارهای با تعداد سیکل بالا به دلیل استهلاک انرژی رخ داده در میراگر، دمای ماده ویسکوالاستیک افزایش یافته و این امر می‌تواند منجر به کاهش سطح نیروها، سختی و میرایی میراگر شود. شدت این امر به تعداد سیکلها و کرنش برشی وارده بستگی دارد.
- با توجه به ضخامت مواد پلیمری و کرنش برشی مجاز آنها، معمولاً ظرفیت تغییرشکلی میراگرهای ویسکوالاستیک به مقادیر کوچکی محدود است.

۲-۶ چیدمان میراگر در سازه

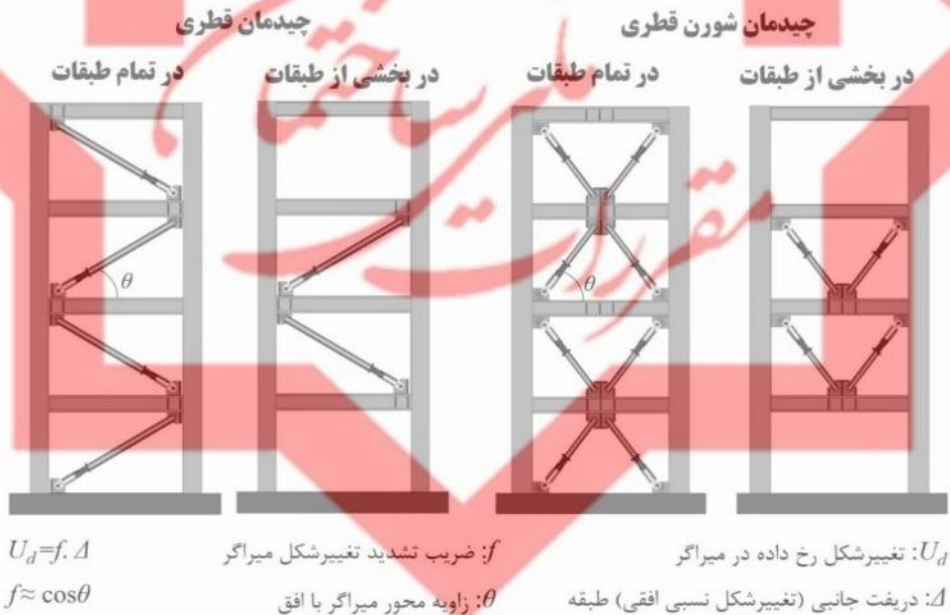
به طوری کلی در انتخاب چیدمان قرارگیری میراگرها در ساختمان لازم است به عواملی از جمله الزامات معماری، چگونگی ایجاد و توزیع تغییرشکل‌های رخ داده در سازه، مسائل مرتبط با زیبایی شناختی سازه و الزامات مرتبط با اجرای هر چیدمان توجه شود. محل قرارگیری میراگر نباید خللی در شرایط معماری و سرویس‌دهی سازه ایجاد 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 تقلیل یابد. 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. لذا شایسته است در انتخاب چیدمان میراگرها به مسائل مربوط به زیبایی شناسی 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 مهندسین طراح سازه بوده که لازم است این کار با مشارکت مهندسین 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 پایه امتداد یابند.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۱-۶-۲ 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. لذا 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 تغییرشکل خمشی (طره ای) طبقه و نیز تغییرشکل مهاربند متصل به میراگر صرف‌نظر شده است.



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

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 درصدی 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.

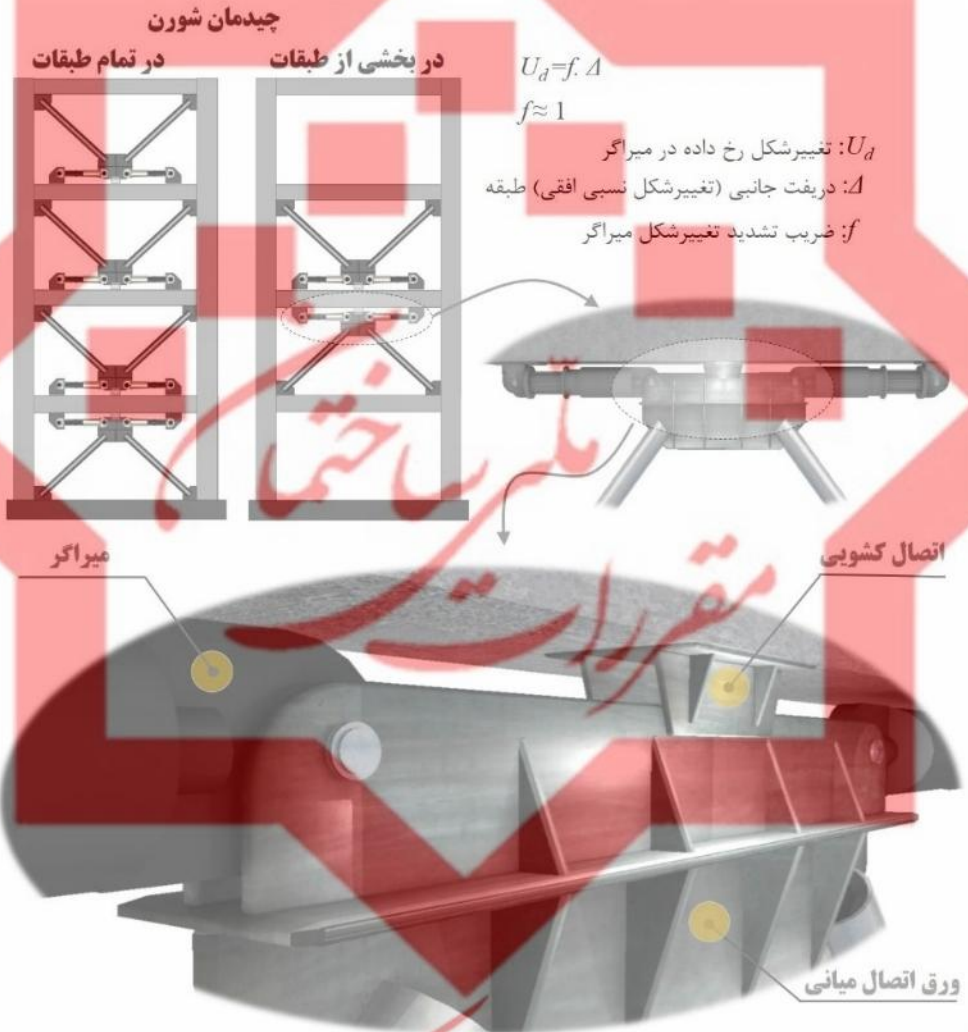
(۲) چیدمان قطری برای سازه‌های عمدتاً با رفتار برشی مناسب بوده و در سازه‌های با رفتار عمدتاً طره‌ای (سازه‌های لاغر مهاربندی شده و یا دارای دیوارهای برشی) که بخش قابل توجهی از دریفت طبقه ناشی از تغییرشکل‌های طره‌ای است، ضریب تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان قطری می‌تواند بسیار کوچکتر از مقدار ارائه شده در شکل (۲-۴۸) باشد.

تذکره 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 باشد. به عنوان مثال در صورتی که میراگر مورد استفاده از نوع میراگر ویسکوز یا روغنی باشد، اتصال میراگر به گره تیر-ستون به دلیل استفاده از بوشینگ‌های کروی، قابلیت دوران در داخل صفحه و خارج از صفحه قاب را خواهد داشت. در صورتی که میراگر مدنظر، مهاربند کمانش تاب باشد، اتصال میراگر به گره تیر-ستون در دوران داخل صفحه قاب ممکن است گیردار بوده و تنها در دوران خارج از صفحه قاب به شکل نیمه گیردار عمل کند.

تذکره ۲: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربرجانبی 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 تقریباً تمام تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر منتقل می‌شود.



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

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

▪ مزیت چیدمان شورن

(۱) در چیدمان شورن تمام تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر منتقل شده و متعاقبا 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 نسبتا زیاد است.

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

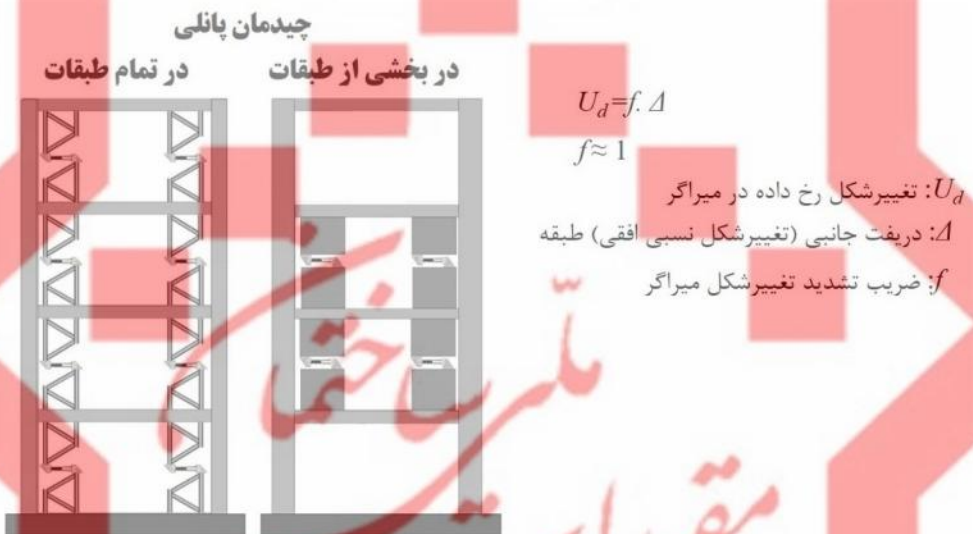
تذکره ۱: به منظور حفظ پایداری چیدمان در امتداد خارج از صفحه قاب، لازم است محل اتصال دو مهاربند در امتداد خارج از صفحه قاب مقید شود. مطابق شکل (۲-۴۹)، این کار معمولا با استفاده از اتصالات کشویی صورت می‌پذیرد.

تذکره ۲: میراگرهای تسلیمی که برای جذب انرژی نیاز به تغییرشکل برشی دارند (همانند میراگرهای پره مثلثی و پانل برشی و 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) معمولا به صورت دو سر مفصل در راس این چیدمان قرار می‌گیرند.

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

۲-۶-۳ چیدمان پانلی

چیدمان پانلی تا حد زیادی مشابه چیدمان شورن می‌باشد با این تفاوت که انتقال تغییرشکل نسبی طبقه به میراگر از طریق پانل‌های فولادی یا بتنی مطابق شکل (۲-۵۰) صورت می‌پذیرد. در این چیدمان نیز میراگرها به شکل افقی قرار داشته و تقریباً تمام تغییرشکل نسبی طبقه می‌تواند 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 باشند، 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.

دفتر مقررات ملی و کسرل ساختمان

▪ 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

شدیدا کاهش خواهد یافت.

۳) چیدمان پانلی برای سازه‌های عمدتا با رفتار برشی مناسب بوده و در سازه‌های با

رفتار عمدتا طره‌ای (سازه‌های لاغر مهاربندی شده و یا دارای دیوارهای برشی) که

بخش قابل توجهی از دریفت طبقه ناشی از تغییرشکل‌های طره‌ای است، ضریب

تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان پانلی می‌تواند بسیار کوچکتر از ۱ باشد.

۴) چیدمان پانلی می‌تواند منجر به تغییر محل مفاصل پلاستیک تیر و تشکیل آن در

بخش میانی تیر شود.

تذکره ۱: میراگرهای تسلیمی که برای جذب انرژی نیاز به تغییرشکل برشی دارند (همانند

میراگرهای پره مثلثی و پانل برشی و 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) معمولا به صورت دو سر مفصل مابین

پانل‌ها قرار می‌گیرند.

تذکره ۲: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربر جانبی سازه

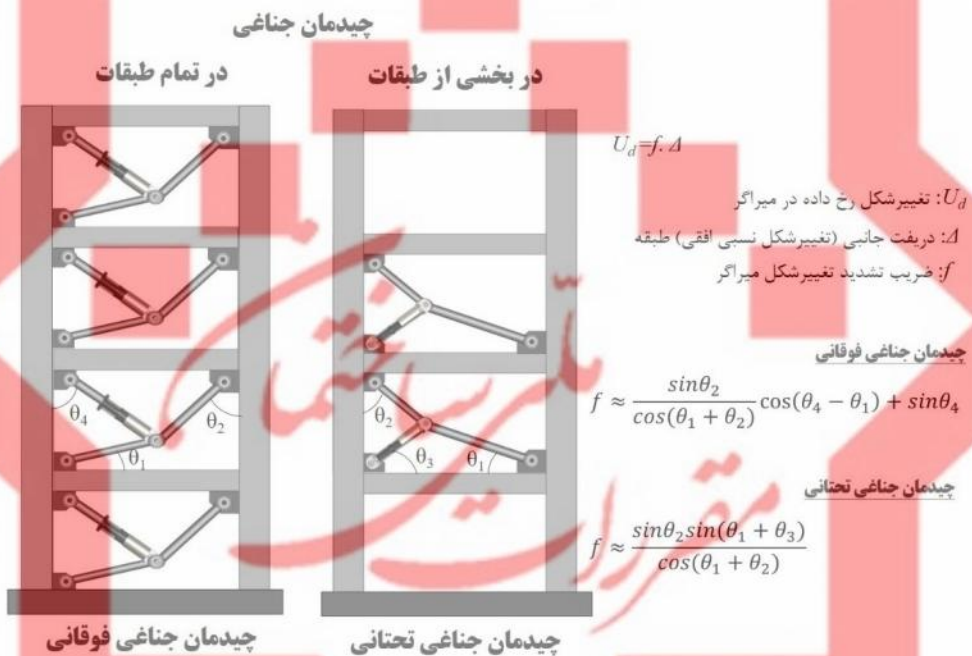
بوده و پانل‌ها، اتصالات پانل‌ها و تیرهای تکیه گاهی پانل‌ها باید به صورت الاستیک باقی بمانند.

توضیح آنکه تشکیل مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیرهای تکیه گاهی پانل بلامانع بوده لیکن

در میانه تیر نباید مفصل پلاستیک تشکیل شود.

۲-۶-۴ چیدمان جناغی

چیدمان جناغی مطابق شکل (۲-۵۱) دارای مکانیزمی است که طی آن تغییرشکل وارده بر میراگر تشدید شده و مقدار آن می‌تواند تا چندین برابر جابجایی نسبی طبقه باشد. مطابق روابط شکل (۲-۵۱) مقدار ضریب تشدید به مشخصات هندسی چیدمان بستگی داشته و مقدار متداول برای ضریب تشدید در چیدمان جناغی مقادیری بین ۱ تا ۳ می‌باشد (Hwang et al. 2005).



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

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

▪ **مزیت چیدمان جناغی**

- ۱) در چیدمان جناغی تغییرشکل 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.

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 که این امر می‌تواند تاثیر قابل توجهی در هزینه‌های تامین میراگرها داشته باشد.

■ معایب چیدمان جناغی

- ۱) چیدمان جناغی از منظر اجرا دشوار و پرهزینه می‌باشد.
- ۲) حساسیت ضریب تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان جناغی (به ویژه جناغی تحتانی) به زوایای المان‌های چیدمان بسیار زیاد بوده به طوری که با اندکی تغییر در زوایا، ضریب تشدید می‌تواند به طور قابل توجهی تغییر کند.
- ۳) در صورت عدم دقت در اجرای زوایا در چیدمان جناغی تحتانی، ضریب تشدید می‌تواند کوچکتر از ۱ شده و عملکرد چیدمان حتی از چیدمان قطری نیز پایین تر بیاید (Hwang et al. 2005).

۴) چیدمان جناغی 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 دريقت طبقه ناشی از تغییرشکل‌های طره‌ای است، ضریب تشدید تغییرشکل میراگر در چیدمان جناغی می‌تواند بسیار کوچکتر از مقادیر ارائه شده در شکل (۲-۵۱) باشد.

تذکر ۱: به طور کلی عملکرد چیدمان جناغی فوقانی نسبت به چیدمان جناغی تحتانی بهتر بوده و ضریب تشدید در آن بزرگتر می‌باشد. لذا مناسب است حتی الامکان از استفاده از چیدمان جناغی تحتانی اجتناب شود.

تذکر ۲: 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 حداقل اتصال مهاربند به مهاربند در امتداد خارج از صفحه قاب به شکل گیردار باشد.

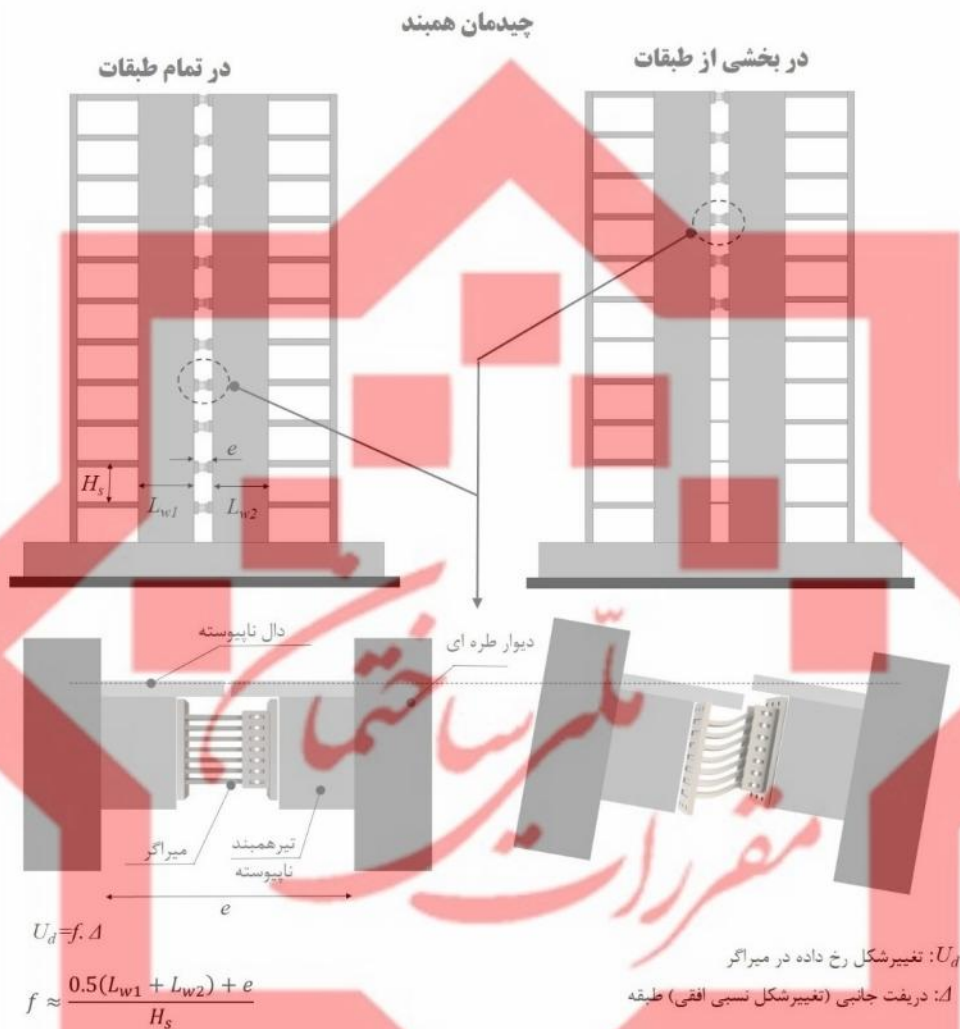
تذکره ۳: در این چیدمان وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربرجانبی سازه بوده و مهاربندهای چیدمان جناقی و اتصالات آن‌ها باید به صورت الاستیک باقی بمانند.

۲-۶-۵ چیدمان همبند

مطابق شکل (۲-۵۲) در چیدمان همبند، میراگرها مابین دو طره قائم نزدیک به یکدیگر قرار گرفته می‌شوند. این دو طره می‌توانند دو دیوار برشی بتنی و یا دو قاب فولادی مهاربندی شده باشند که رفتاری طره‌ای از خود بروز دهند. در این چیدمان تغییرشکل وارده بر میراگر به صورت یک تغییرشکل قائم می‌باشد که در خصوص میراگرهایی که رفتار برشی دارند (همانند میراگرهای پره مثلثی، پانل برشی و 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.

مقررات
معماری

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



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

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

▪ **مزیت 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، تغییرشکل 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.

■ عیب 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.

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

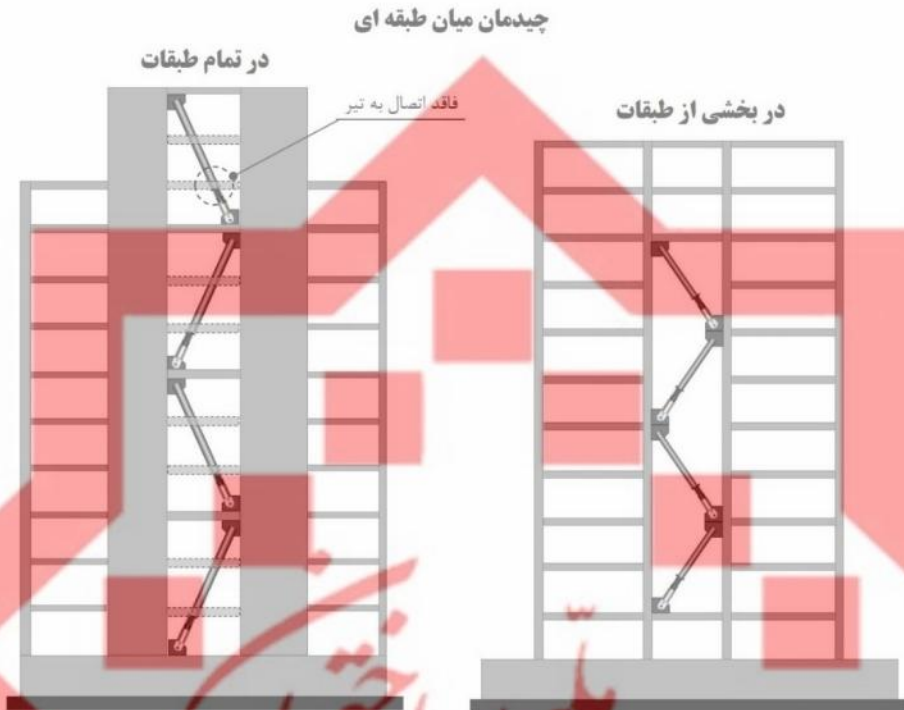
تذکر ۲: در اغلب موارد رفتار سازه‌های لاغر به شکل کاملاً طره‌ای نبوده و رفتار معمولاً ترکیبی از رفتار خمشی و برشی است. لذا ممکن است در برخی از طبقات که در آن تغییرشکل عمدتاً به شکل برشی است، قرار دادن میراگر به صورت همبند چندان بهینه نباشد.

تذکر 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 شود.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



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

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

▪ مزیت چیدمان میان طبقه‌ای

(۱) در چیدمان میان طبقه‌ای تغییرشکل بسیار بالایی به میراگر وارد می‌شود لذا هر یک از میراگرها قادر خواهند بود انرژی بالایی را مستهلک نموده و این ویژگی می‌تواند منجر به کاهش تعداد میراگرهای مورد نیاز شود.

(۲) در چیدمان میان طبقه‌ای هم تغییرشکل‌های خمشی سازه و هم تغییرشکل‌های برشی سازه می‌تواند به میراگر اعمال شود لذا این چیدمان هم برای ساختمان‌های با رفتار طره‌ای و هم برای ساختمان‌های با رفتار برشی قابل استفاده است.

▪ عیب چیدمان میان طبقه‌ای

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

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

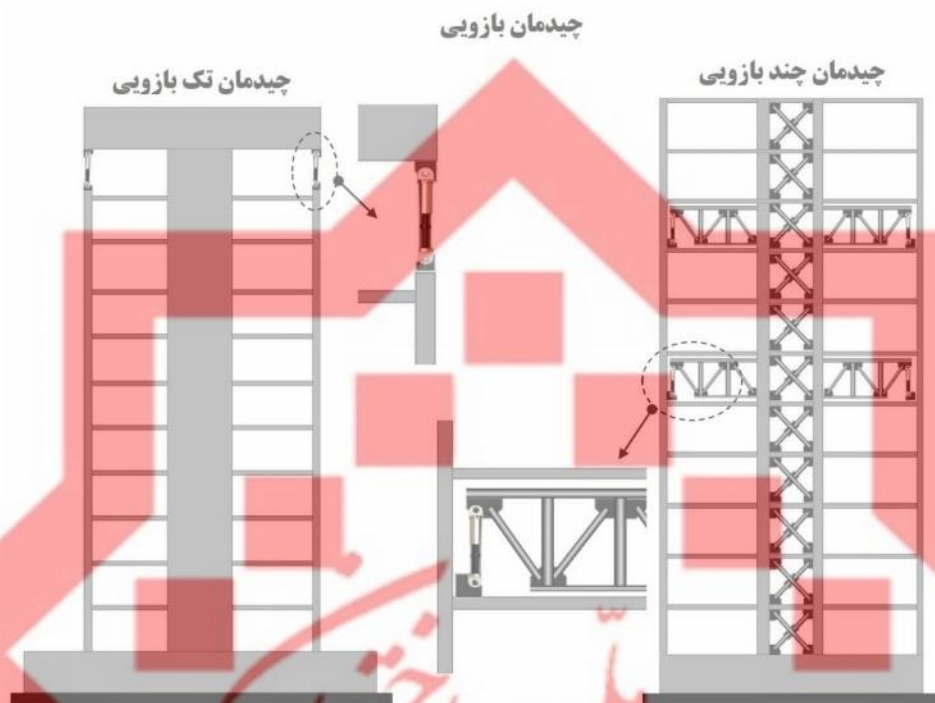
تذکره ۱: یکی از دهانه‌های مناسب برای جانمایی چیدمان میان طبقه‌ای، دهانه‌های چشمه نورگیر یا بازشو در ساختمان می‌باشد چراکه در این موارد معمولاً امکان حذف تیرهای دهانه وجود داشته و اجرای چیدمان میان طبقه‌ای تسهیل می‌شود.

تذکره ۲: در برخی از موارد این چیدمان بخشی از نمای سازه را تشکیل داده لذا 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 و یا چند بازویی اجرا شود. در این چیدمان رفتار طره‌ای دیوار برشی و یا دهانه مهاربندی شده از طریق کمربندهایی با صلبیت بالا منجر به ایجاد تغییرشکل قائم در میراگرها می‌شوند. در این چیدمان به منظور ایجاد حداکثر تغییرشکل در میراگر، معمولاً میراگرها در دورترین فاصله ممکن از طره قرار داده می‌شوند. این محل معمولاً در وجوه پیرامونی سازه بوده فلذا در این چیدمان یک انتهای میراگرهای قائم به ستون‌های پیرامونی و انتهای دیگر به کمر بند سازه متصل می‌باشد.



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

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

▪ مزیت 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 لذا هر یک از میراگرها قادر خواهند بود انرژی بالایی را مستهلک نموده و این ویژگی می‌تواند منجر به کاهش تعداد میراگرهای مورد نیاز شود.

▪ 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. لذا اجرای کمربندها در این چیدمان پر هزینه بوده و می‌تواند شرایط معماری سازه را در طبقاتی که کمر بند در آن واقع شده است به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

تذکره ۱: چیدمان بازویی در سازه‌های بلند مرتبه با لاغری زیاد کاربرد دارد.

تذکره ۲: در چیدمان بازویی وظیفه استهلاک انرژی بر عهده میراگرها و سیستم باربر جانبی سازه بوده و اجزای کمر بند و اتصالات آن‌ها لازم است به صورت الاستیک باقی بمانند. چیدمان گهواره‌ای

چیدمان گهواره‌ای شامل یک تیرک با صلیبیت بالا می‌باشد که در تمام ارتفاع سازه امتداد یافته است. مطابق شکل (۲-۵۵) این تیرک میتواند یک دیوار برشی بتنی 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 نوع نشان داده شده است. در چیدمان گهواره‌ای بلندشونده پای تیرک صرفاً بر روی شالوده قرار داشته و امکان بلندشدگی پای تیرک وجود خواهد داشت. به منظور کنترل میزان بلندشدگی گهواره در برخی موارد ممکن است از کابل‌های پیش تنیده استفاده می‌شود که بدین ترتیب مرکز گرایی سیستم سازه نیز بهبود خواهد یافت. 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:

▪ مزیت 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 صلیبیت بالای تیرک، منجر به توزیع یکنواخت دریافت در طبقات می‌شود.

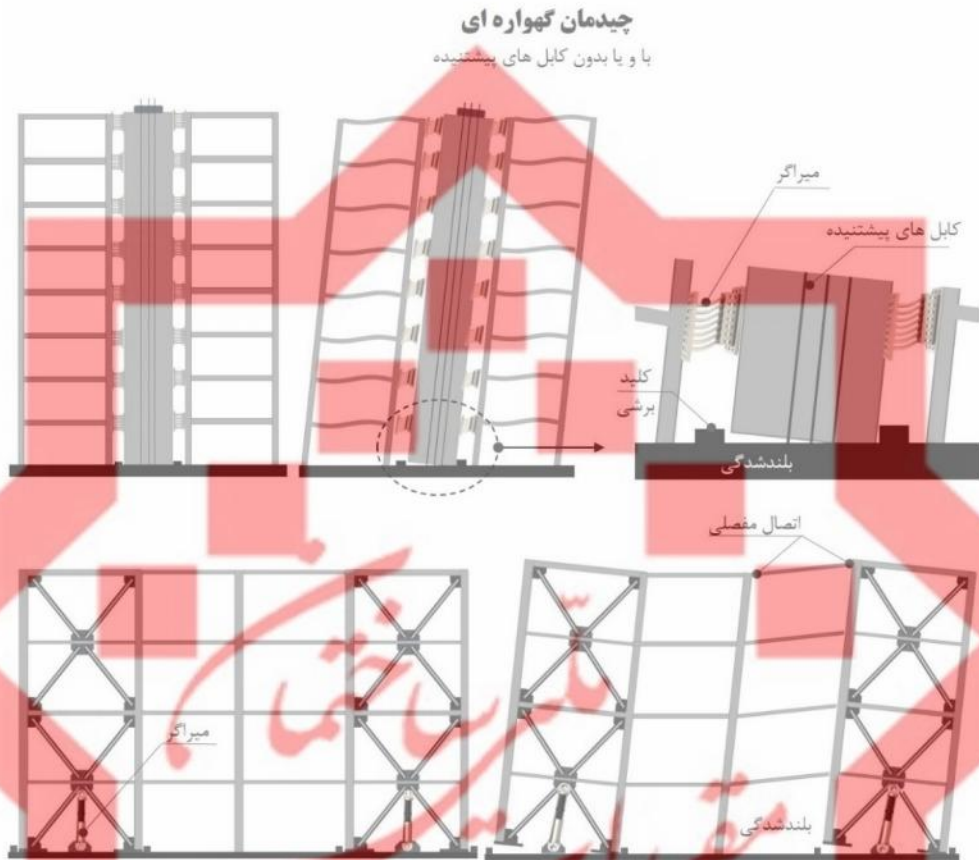
۳) چیدمان گهواره‌ای اساساً یک سیستم مرکزگرا بوده و تغییرشکل‌های ماندگار در این سیستم بسیار کوچک خواهند بود.

▪ معایب چیدمان گهواره‌ای

- ۱) به واسطه حرکت گهواره‌ای تیرک، دورانی زیادی به تیرهای متصل به تیرک وارد می‌شود. لذا لازم است تیرهای متصل به تیرک دارای اتصالات مفصلی خاصی باشند تا بدون بروز آسیب قادر به تحمیل دوران وارده باشند. این دوران می‌تواند به دال اطراف تیرک نیز آسیب رساند.
- ۲) به واسطه مفصلی بودن تیرهای متصل به تیرک، 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 تیرک اتخاذ شود.
- ۴) عملکرد گهواره‌ای بیشترین تاثیر خود را در مود اصلی سازه نشان می‌دهد و مدهای بالاتر میتوانند میزان بلندشدگی تیرک را کاهش داده و در عملکرد گهواره‌ای، اختلال ایجاد کنند. لذا می‌توان انتظار داشت چیدمان گهواره‌ای عمدتاً برای سازه‌های منظم کوتاه مرتبه و میان مرتبه مناسب باشد چراکه در سازه‌های بلند مرتبه یا نامنظم تاثیر مدهای بالاتر بیشتر بوده و می‌تواند عملکرد گهواره‌ای تیرک را تحت تاثیر قرار دهد.

مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



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

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

تذکره ۲: در چیدمان گهواره‌ای نقش استهلاک انرژی بر عهده میراگرهای و سیستم باربرجانبی سازه بوده و تیرک و اتصالات آن لازم است به صورت الاستیک باقی بماند.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۲-۶-۸ جمع بندی چیدمان میراگرها

در این بخش به برخی از چیدمان‌های ممکن به منظور استفاده از میراگرها در ساختمان اشاره گردید. جدول (۲-۲) ویژگی‌های هر یک از چیدمان‌ها 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 لذا در انتخاب چیدمان لازم است به نوع میراگرهای مصرفی نیز توجه داشت. در نهایت انتخاب چیدمان میراگرها برعهده تیم طراح سازه می‌باشد.

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

هزینه اجرا	تأثیر در معماری	قابل توصیه برای سازه‌های با رفتار		مناسب برای سازه‌های			چیدمان
		خمشی (طره ای)	برشی	بلند مرتبه	میان مرتبه	کوتاه مرتبه	
کم	زیاد	x	✓	✓	✓	✓	قطری
زیاد	زیاد	x	✓	✓	✓	✓	شورن
زیاد	کم	x	✓	✓	✓	✓	پانلی
زیاد	زیاد	x	✓	✓	✓	✓	جناغی
کم	کم	✓	x	✓	✓	x	همبند
کم	زیاد	✓	✓	✓	✓	✓	میان طبقه ای
زیاد	کم	✓	x	✓	x	x	بازویی
زیاد	زیاد	x	✓	x	✓	✓	گهواره ای



دقتر مقرررات ملی و کتترل ساختمان

فصل ۳

جداگراها

مقررات

دقر مقررات ملی و کتترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل ساختمان

۳-۱ مقدمه

سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای به منظور جداسازی ساختمان در برابر حرکات زمین در حین زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور معمول یک سیستم جداساز لرزه‌ای شامل نشیمنگاه‌هایی است که در زیر اجزای باربر قائم 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 می‌شوند. 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. لذا سیستم‌های جداسازی سه بعدی خارج از دامنه کاربرد دستورالعمل 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 باشند.

- سختی موثر جانبی (برشی) 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.
- 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.
- 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 ثقلی و لرزه‌ای در این عناصر به جداگرها منتقل شده لذا 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 تغییرشکل‌های جانبی بسیار بزرگ 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، می‌توان از میراگرهای کمکی استفاده نمود. برخی از جداگرها فاقد ظرفیت استهلاک انرژی کافی بوده، لذا در این موارد لازم است استهلاک انرژی از

طریق قراردادادن 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 گرایی: قابلیت مرکز گرایی یکی از الزامات دستیابی به عملکرد لرزه‌ای مناسب و جلوگیری از ایجاد وقفه در استفاده از ساختمان است. لذا لازم است سیستم جداسازی ساختمان دارای قابلیت مرکز گرایی باشد.

خصوصیات فوق می‌تواند به طور کامل صرفاً توسط نشیمنگاه‌های سیستم جداساز تامین گردد. در صورتی که نشیمنگاه‌ها فاقد هر یک از مشخصات فوق باشد لازم است با قرار دادن نشیمنگاه‌هایی دیگر و یا اضافه کردن میراگرها در تراز جداسازی شده، پنج الزام فوق را فراهم نمود. به عنوان نمونه برخی از نشیمنگاه‌ها همانند نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح فاقد قابلیت مرکز گرایی هستند لذا در این شرایط لازم است از نشیمنگاه‌های دیگری که قابلیت مرکز گرایی دارند (همانند نشیمنگاه‌های لغزشی مقعر یا نشیمنگاه‌های لاستیک طبیعی) نیز در تراز جداسازی استفاده شود تا بدین ترتیب قابلیت مرکز گرایی سیستم جداساز بهبود یابد. همچنین ممکن است نشیمنگاه‌های سیستم جداسازی فاقد قابلیت استهلاک انرژی کافی باشند (همانند نشیمنگاه‌های لاستیک طبیعی یا نشیمنگاه‌های غلطکی)، 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 متداول تر هستند.

۳-۱-۲-۲-۲ 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، اصطکاکی و ویسکوالاستیک) 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 جداسازی بلامانع است. میراگرهای متداول در سیستم‌های جداسازی شامل میراگرهای ویسکوز، روغنی و تسلیمی می‌باشند. با این وجود استفاده از سایر ادوات استهلاک انرژی از جمله میراگرهای اصطکاکی و میراگرهای ویسکوالاستیک نیز در سیستم جداساز لرزه‌ای بلامانع است.

۳-۱-۳ سیستم‌های جداساز لرزه‌ای مدنظر دستورالعمل

جداگرها و میراگرهای سیستم جداسازی که مستقیماً مدنظر این دستورالعمل هستند، به ترتیب در جداول (۳-۱) و (۳-۲) فهرست شده‌اند. با پیشرفت تکنولوژی طراحی و ساخت جداگرهای لرزه‌ای، در حال حاضر نشیمنگاه‌ها و میراگرهای مختلفی در مرحله تحقیقاتی قرار دارند. با توجه به رویکرد دستورالعمل 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.

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

نشیمنگاه سیستم جداساز	سختی موثر برشی	شکل برشی ظرفیت تغییر	سختی و ظرفیت محوری	استهلاک انرژی ظرفیت	قابلیت مرکزگرایی	در زلزله خفیف قابلیت جداسازی
الاستومری	کم	زیاد	زیاد	ندارد	عالی	بله
	کم	زیاد	زیاد	دارد	متوسط	بله
	کم	زیاد	زیاد	دارد	متوسط	بله
لغزشی	کم	زیاد	زیاد	دارد	ضعیف*	معمولا بله**
	کم	زیاد	زیاد	دارد	متوسط	معمولا بله**
	کم	زیاد	زیاد	دارد	متوسط	معمولا بله**
	کم	زیاد	زیاد	دارد	متوسط	معمولا بله**

* نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح به دلیل عدم قابلیت مرکزگرایی لازم است در ترکیب با سایر نشیمنگاه‌ها 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 (۲-۳). میراگرهای سیستم جداساز معرفی شده در این دستورالعمل

میراگر سیستم جداساز	افزایش سختی سیستم جداساز	نیاز به تعویض پس از زلزله طرح؟	جابجایی ماندگار	استهلاک انرژی در زلزله خفیف
میراگر تسلیمی	بله	معمولا بله	دارد	معمولا خیر
میراگر ویسکوز و روغنی	خیر	معمولا خیر	ندارد	بله

۳-۲ جداگرهای الاستومری

۳-۲-۱ ساختار کلی

جداگرهای (نشیمنگاه‌های) الاستومری متداول‌ترین نوع از جداگرها هستند که متشکل از ترکیبی از صفحات لاستیکی و فولادی می‌باشند. مطابق شکل (۳-۱) 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 (ولکانیز^۱) می‌شوند به طوری که هیچگونه لغزشی مابین صفحات لاستیک و فولادی رخ ندهد. هدف از قرار دادن صفحات فولادی در جداگرهای الاستومری تامین ظرفیت و سختی محوری بسیار 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.



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

تذکر ۱: نشیمنگاه‌ها معمولاً با مقطع دایره ساخته می‌شوند تا بدین ترتیب در تمام جهات 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 می‌تواند بسیار بزرگتر از مقدار متناظر در نشیمنگاه فاقد صفحات فولادی باشد. در عین حال، این صفحات سختی برشی نشیمنگاه 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.

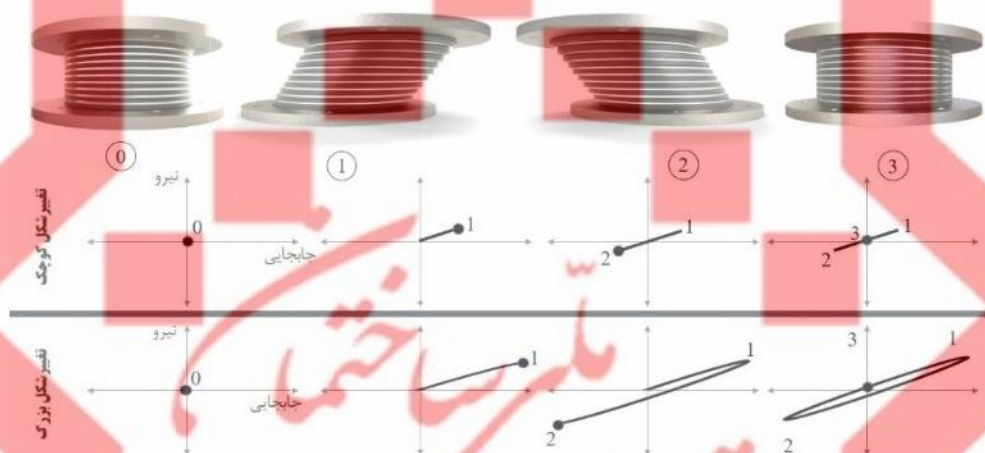
تذکر ۳: سختی محوری کششی و سختی محوری فشاری در نشیمنگاه‌های الاستومری متفاوت بوده و مقدار سختی محوری کششی می‌تواند بین ۵ تا ۱۰۰ برابر کوچکتر از سختی محوری فشاری نشیمنگاه باشد (AIJ 2016).

تذکر ۴: ظرفیت تغییرشکلی 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 نشیمنگاه کاهش می‌یابد. به طور معمول تست‌های گذشته حاکی از آن بوده است که نشیمنگاه‌های الاستومری در شرایط معمول کرنش برشی در حدود ۳۰٪ تا ۴۰٪ را قادر به تحمل هستند به طوری که 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).

تذکر ۵: نشیمنگاه‌های الاستومریک تحت بارهای ثقلی علاوه بر تغییرشکل قائم آنی، یک تغییرشکل قائم دراز مدت (خزش) 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 ۵٪ مقدار تغییرشکل آنی نشیمنگاه می‌باشد. تغییرشکل آنی نشیمنگاه‌های الاستومری نیز در اغلب موارد در محدوده ۱ تا ۳ میلی‌متر می‌باشد (Skinner et al. 2011).

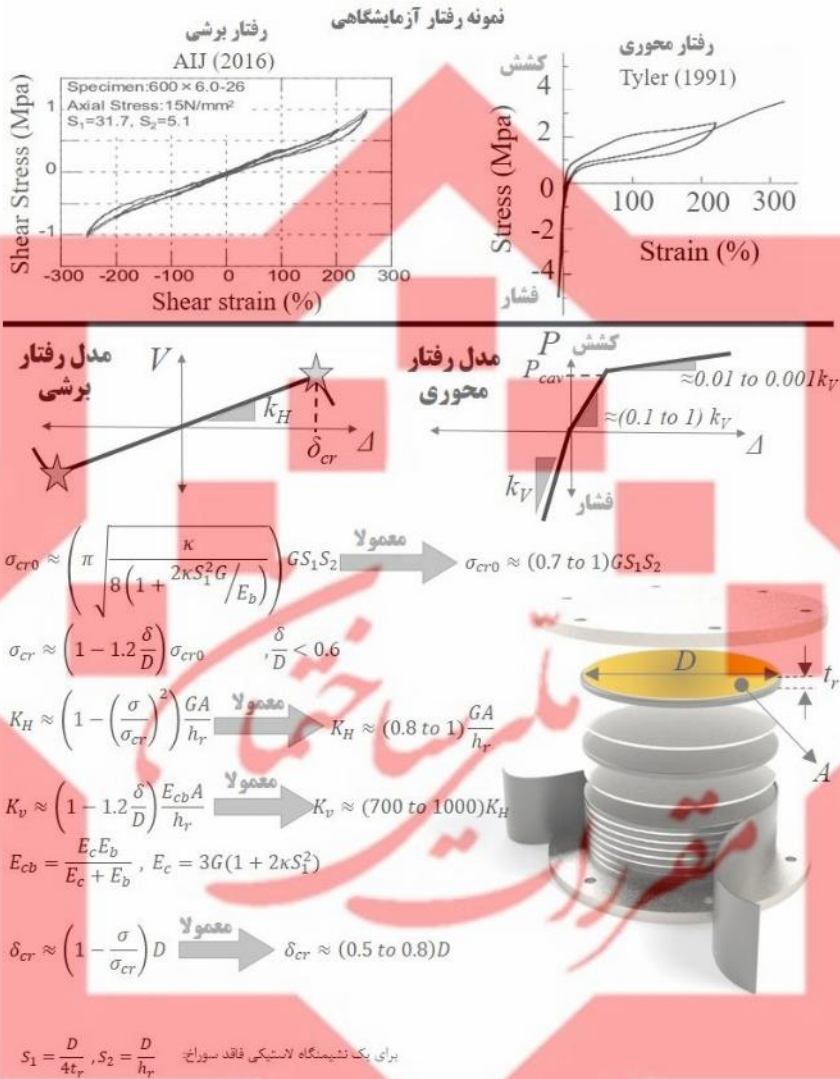
۲-۲-۳ جداگرهای لاستیکی با میرایی کم

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 طبقه بندی نمود. نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لاستیکی با میرایی کم در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



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

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 تغییرشکلی نشیمنگاه بر اساس نتایج آزمایشگاهی مطابق فصل ششم بدست آورده شود. روابط ارائه شده در شکل (۳-۳) که منطبق بر روابط پیشنهادی در (2016) AIJ تنظیم شده‌اند، صرفاً به منظور آشنایی با حدود مقادیر قابل انتظار برای نشیمنگاه بوده و نباید ملاک طراحی نهایی سازه قرار گرفته شوند.



- S₁: 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)
- S₂: ضریب شکل دوم- عبارت است از نسبت قطر لایه لاستیک به مجموع ضخامت لایه های لاستیکی (معمولاً بزرگتر از ۴)
- h_r: مجموع ضخامت تمام لایه های لاستیکی (ضخامت یک لایه لاستیکی ضرب در تعداد لایه های لاستیکی)
- t_r: ضخامت لایه لاستیکی (معمولاً بین ۳ تا ۱۰ میلیمتر)
- G: مدول برشی لاستیک (معمولاً بین 0.3 MPa تا 1.2 MPa)
- E_b: مدول بلک لاستیک (معمولاً بین 1000 MPa تا 2000 MPa)
- A: سطح مقطع نشیمنگاه
- κ: ضریب اصلاح لاستیک (معمولاً بین 0.6 تا 1)
- K_H: سختی جانبی نشیمنگاه
- K_V: سختی قائم فشاری نشیمنگاه
- σ: تنش فشاری وارده بر نشیمنگاه (معمولاً کوچکتر از 15 MPa)
- σ_{cr}: تنش فشاری آستانه ناپایداری نشیمنگاه (معمولاً بزرگتر از 40 MPa)
- P_{com}: نیروی کششی آستانه حفره سازی (تنش کششی متناظر با آن حدود 3G است)
- δ_{cr}: تغییرشکل برشی آستانه ناپایداری نشیمنگاه
- δ: تغییرشکل برشی نشیمنگاه

شکل (۳-۳). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم (AIJ 2016 و Tyler 1991) و مدل رفتاری آن‌ها

تذکر ۱: رفتار لاستیک در کرنش‌های برشی بسیار بالا می‌تواند دارای سخت شونده‌گی باشد. لذا 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 ساختمان‌ها معمولاً تنش فشاری قابل توجهی به نشیمنگاه وارد شده فلذا انتظار می‌رود رفتار با تقریب خوبی به صورت الاستیک خطی باقی بماند.

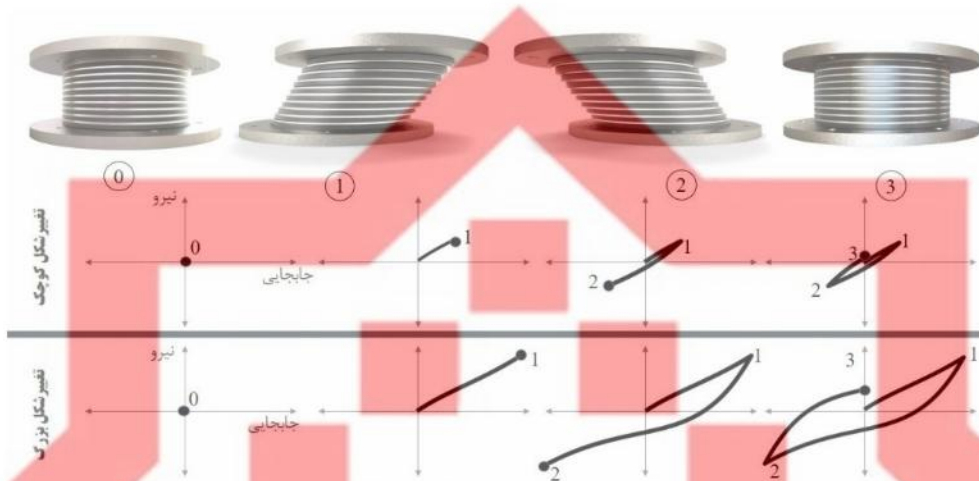
تذکر ۲: عملکرد مطلوب نشیمنگاه وابستگی شدیدی به مقدار ضرایب شکل (S_1 و S_2) دارد به طوری که با افزایش این دو ضریب پایداری نشیمنگاه بهبود می‌یابد. افزایش قطر نشیمنگاه، کاهش ضخامت لایه‌های لاستیکی و کاهش ضخامت مجموع لایه‌های لاستیکی منجر به افزایش ضرایب شکل خواهد شد. در این میان، افزایش قطر نشیمنگاه یکی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

تذکر 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).

تذکر 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

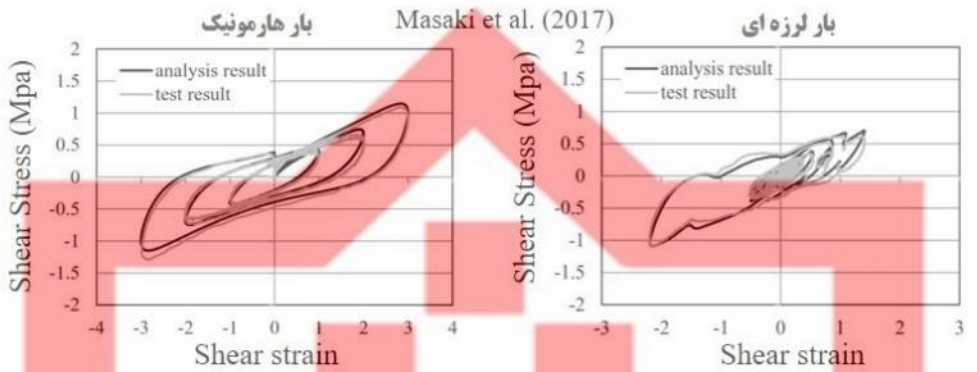
مطابق شکل (۳-۱)، ساختار و هندسه جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا مشابه جداگرهای لاستیکی با میرایی پایین است با این تفاوت که در آن‌ها به جای استفاده از لاستیک با میرایی کم، از لاستیک با میرایی بالا استفاده شده است. لاستیک‌های با میرایی بالا عمدتاً از نوع لاستیک‌های مصنوعی بوده و یا با اعمال تغییراتی در 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 دسترس عموم قرار ندارد. نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴). نحوه تغییر شکل و رفتار نشیمنگاه لاستیکی با میرایی زیاد تحت یک سیکل 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 معمولا دارای پارامترهای بیشتری نسبت به مدل‌های ساده می‌باشد که مقادیر این پارامترها بر اساس هر نشیمنگاه بر اساس نتایج آزمایشگاهی کالیبره می‌شود. مدل رفتاری متداول تری که معمولا در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل دوخطی است که دارای سه پارامتر اصلی می‌باشد که هر سه آنها لازم است بر اساس نتایج تست‌های انجام شده بر روی نشیمنگاه بدست آورده شوند.

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی تحت



شکل (۳-۵). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه های لاستیکی با میرایی بالا (Masaki et al. 2017)

و مدل رفتاری آنها

تذکره ۱: برخلاف لاستیک های طبیعی با میرایی کم، لاستیک های مصنوعی با میرایی بالا دارای مدول برشی ثابتی نبوده و مقدار مدول برشی تابعی از کرنش برشی وارده می باشد. 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.

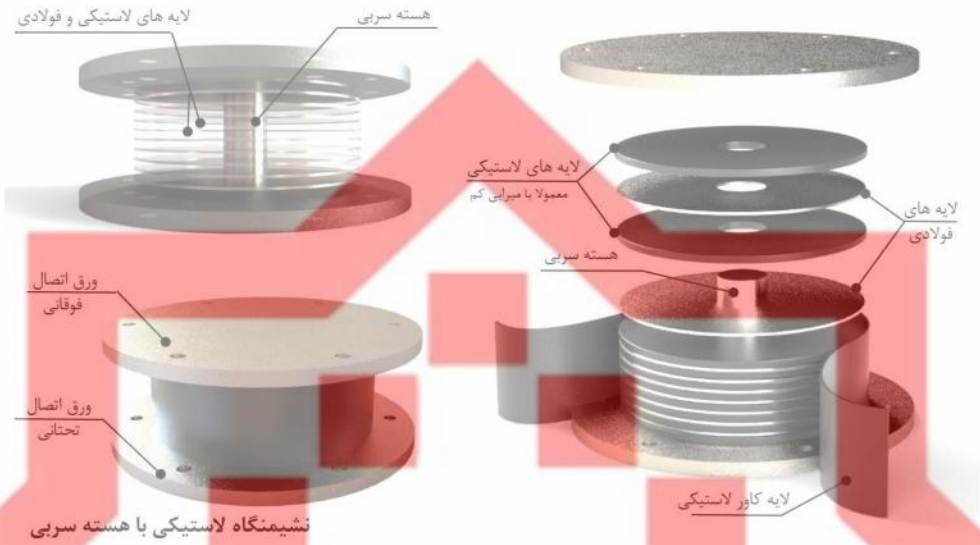
تذکر ۲: مکانیزم استهلاک انرژی در لاستیک‌های با میرایی بالا عمدتاً بر مبنای استهلاک انرژی هیستریزس ناشی از اصطکاک مابین زنجیره متراکم مولکولی این نوع لاستیک می‌باشد که مکانیزمی وابسته به تغییر شکل محسوب می‌شود. با این حال بخشی از مکانیزم استهلاک انرژی در لاستیک‌های با میرایی بالا به صورت میرایی ویسکوالاستیک است که مکانیزمی وابسته به سرعت و فرکانس محسوب می‌شود. تست‌های گذشته نشان داده اند 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 فلذا 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 تغییرشکلی متناظر با کرنش برشی ۱۰۰٪ عمدتاً قادر به تامین میرایی بیش از ۶٪ هستند (BS EN15129, 2018).

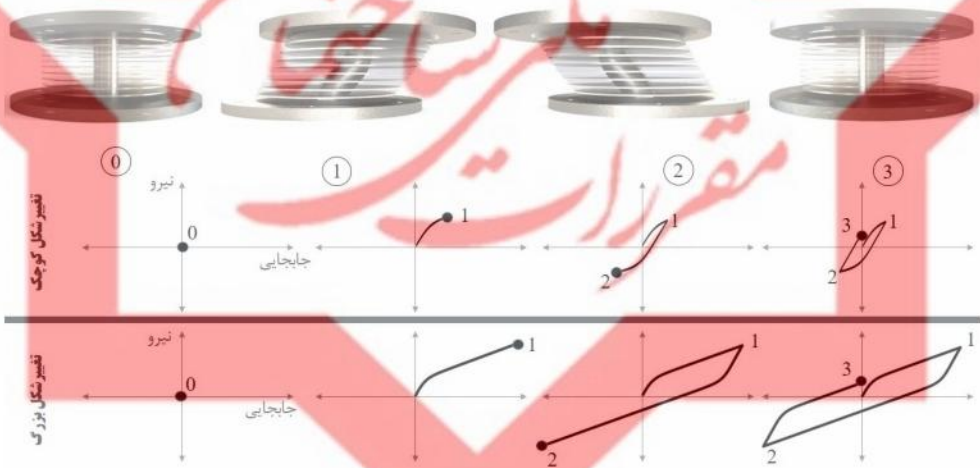
تذکر ۴: مدل دوخطی برای شبیه سازی رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا در محدوده کرنش‌های برشی کوچک تا متوسط مناسب است (تا کرنش برشی زیر ۲۰۰٪). در کرنش‌های برشی بالاتر، رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا از حالت دو خطی خارج شده و دچار سخت‌شوندگی می‌شوند. در این موارد استفاده از مدل‌های دقیق 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 پایین 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 سربی داخل جداگر است. نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لاستیکی هسته سربی در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.



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



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

نمونه هایی از رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی به همراه مدل رفتاری آن‌ها در شکل (۳-۸) نشان داده شده است. مطابق شکل (۳-۸) رفتار نشیمنگاه هسته سربی را

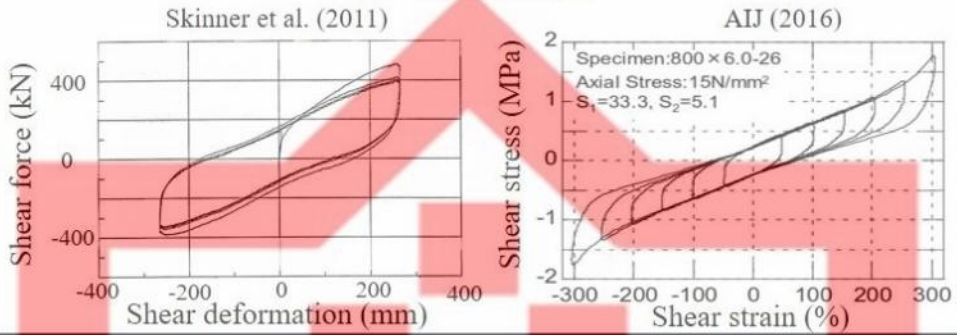
می‌توان به صورت یک رفتار دوخطی در نظر گرفت که در آن سختی اولیه ترکیبی سختی فراهم شده توسط هسته سربی و لاستیک بوده (فاقد رابطه تحلیلی است) و سختی پس از تسلیم ناشی از سختی بخش لاستیکی نشیمنگاه می‌باشد (هسته سربی دارای رفتاری الاستوپلاستیک و فاقد سخت شوندگی است). برش تسلیم نیز متناظر با برش تسلیم هسته سربی خواهد بود. کلیه روابط ارائه شده در شکل (۳-۸) تقریبی بوده و مقادیر دقیق بر اساس نتایج تست نشیمنگاه بدست آورده می‌شود.



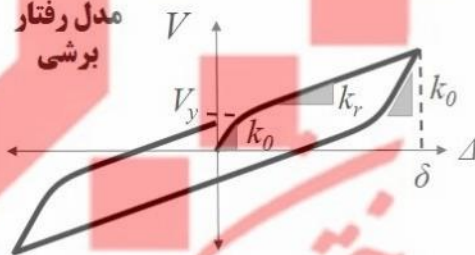
مقررات ملی ساختمان

مقررات ملی و کنترل ساختمان

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی



مدل رفتار
برشی



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

برای یک نشیمنگاه لاستیکی دارای سوراخ میانی: $S_1 = \frac{(D - D_c)}{4t_r}$, $S_2 = \frac{D}{h_r}$

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

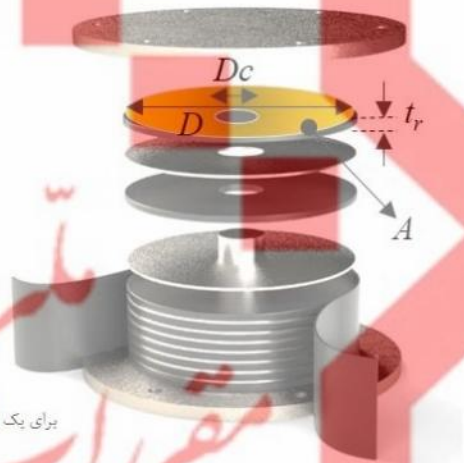
$V_y \approx \sigma_y \frac{\pi}{4} D_c^2$

h_r : مجموع ضخامت تمام لایه های لاستیکی (ضخامت یک لایه لاستیکی ضرب در تعداد لایه های 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 لایه های لاستیکی (معمولاً بزرگتر از ۴)

σ_y : مقاومت تسلیم برشی سرب که در محدوده 7 MPa تا 9 MPa قرار دارد.



D : قطر نشیمنگاه

D_c : قطر هسته سربی

t_r : ضخامت لایه لاستیکی (معمولاً بین ۳ 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 (۳-۸). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه های لاستیکی هسته سربی (Skinner et al. 2011 و AIJ 2016)

و مدل رفتاری آنها

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

تذکر ۲: علت ترجیح سرب نسبت به فولاد در هسته داخلی نشیمنگاه این است که اولاً سرب دارای مقاومت تسلیم و مدول الاستیک بسیاری کمتری نسبت به فولاد است (حدود ۱۵ برابر کوچکتر) و ثانیاً برخلاف فولاد، سرب در اثر تعداد سیکل‌های زیاد دچار خستگی کم چرخه نمی‌شود چراکه دانه‌های 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). لذا تغییر شکل‌های برشی شدید رخ داده در نشیمنگاه، منجر به بروز آسیب و گسیختگی در هسته سربی نمی‌شود.

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 انرژی مستهلک شده در سرب به حرارت تبدیل می‌شود، لذا در صورت اعمال تعداد سیکل 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).

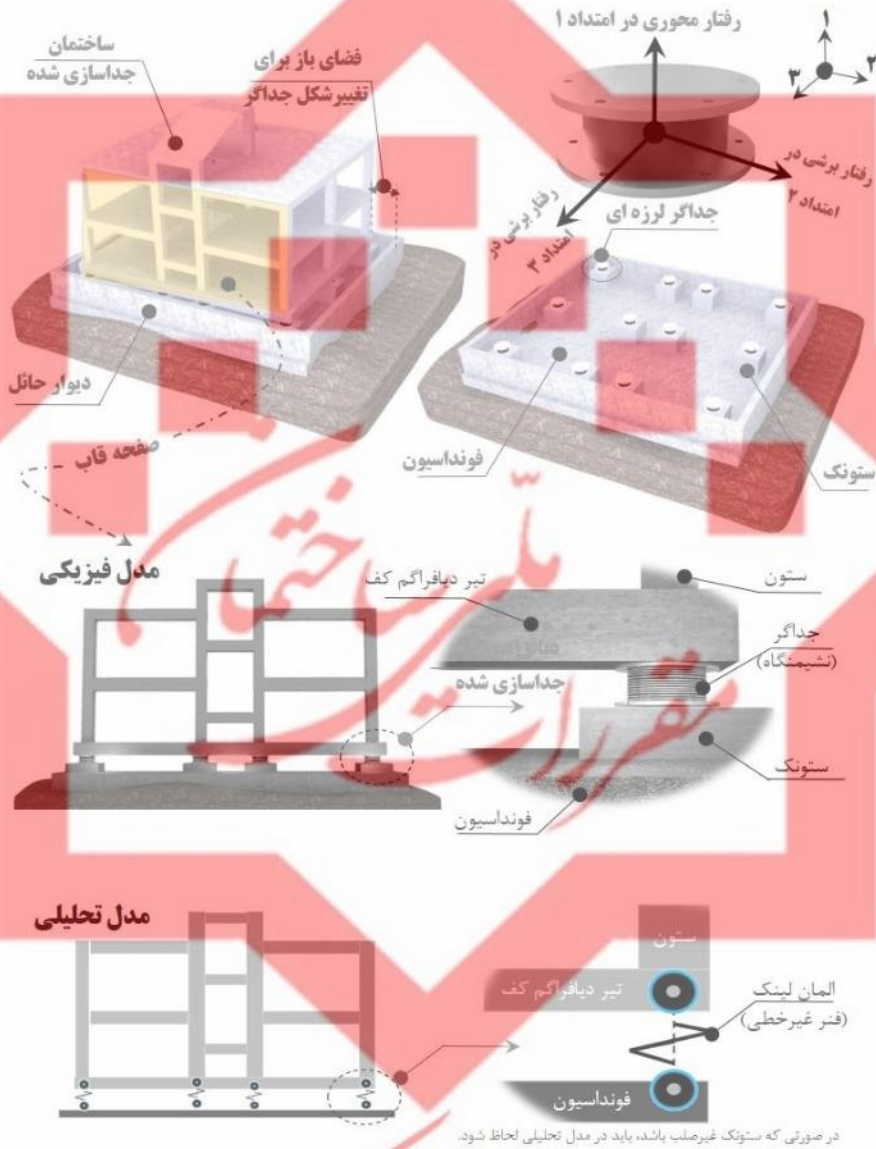
تذکر ۴: در امتداد قائم، عمدتاً ظرفیت نشیمنگاه توسط بخش لاستیکی تامین شده و هسته سربی نقشی ناچیز در تامین سختی و مقاومت محوری نشیمنگاه دارد.

۳-۲-۵ شبیه سازی جداگرهای لاستیکی

مطابق شکل (۳-۹) به طور کلی جداگرهای لرزه‌ای (شامل نشیمنگاه‌های لاستیکی 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 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

^۱ Recrystallization

با یکدیگر هستند. به عبارت دیگر رفتار نشیمنگاه تحت بارگذاری در یک امتداد برشی مقداری با رفتار نشیمنگاه تحت بارگذاری در هر دو امتداد برشی متفاوت است^۱.



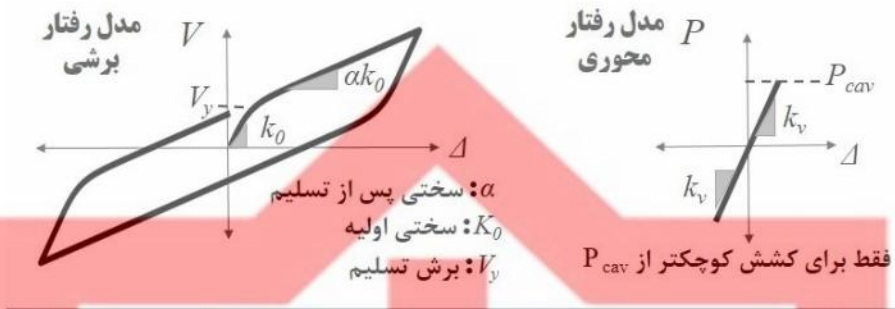
شکل (۳-۹). امتداد محوری و دو امتداد برشی متعامد در جداگرهای لرزه ای

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

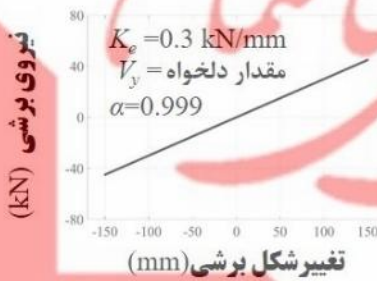
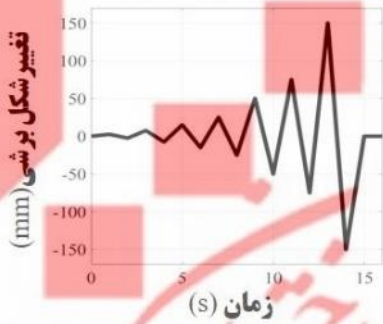
به منظور شبیه سازی رفتار برشی نشیمنگاه‌های لاستیکی می‌توان به صورت زیر عمل نمود:

- در خصوص شبیه سازی رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی کم هم در راستای محوری و هم در راستای برشی می‌توان از مدل الاستیک خطی استفاده نمود.
- در خصوص شبیه سازی رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا در راستای محوری می‌توان از رفتار الاستیک خطی و در راستای برشی می‌توان از مدل دوخطی یا مدل‌های دقیق‌تری که اختصاصی برای نشیمنگاه‌های لاستیکی با میرایی بالا هستند استفاده نمود. لازم است رفتار برشی در دو امتداد عمود بر یکدیگر به صورت کوپل باشند. به این معنی که رفتار در یک امتداد برشی بر رفتار در امتداد برشی دیگر تاثیر گذار بوده و لازم است مدل عددی قادر به در نظر گرفتن این امر باشد.
- در خصوص شبیه سازی رفتار نشیمنگاه‌های لاستیکی هسته سربی در راستای محوری می‌توان از رفتار الاستیک خطی و در راستای برشی می‌توان از مدل دوخطی استفاده نمود. لازم است رفتار برشی در دو امتداد عمود بر یکدیگر به صورت کوپل باشند.

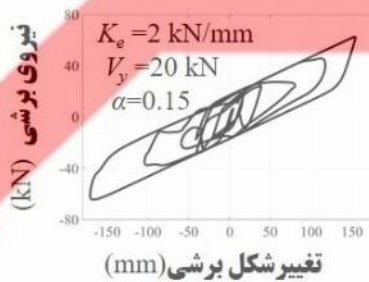
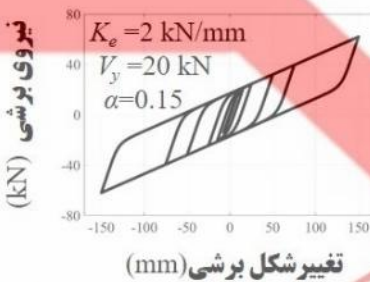
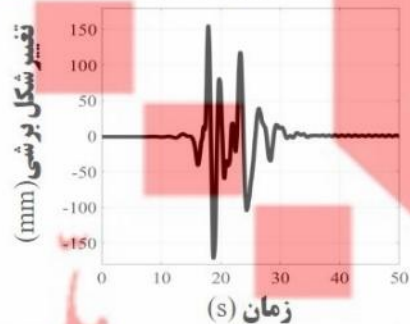
شکل (۳-۱۰) نمونه‌هایی از شبیه سازی‌های انجام شده برای جداگرهای مختلف را تحت بارگذاری‌های گوناگون نشان می‌دهد. لازم است پارامترهای نشیمنگاه بر اساس نتایج تست نشیمنگاه در نظر گرفته شوند.



بارگذاری چرخه ای



بارگذاری لرزه ای



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

تذکره ۱: رفتار محوری کششی در جداگرهای لاستیکی به صورت 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 اساسا 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.

تذکره ۲: تاثیر لقی در جداگرهای لرزه‌ای معمولا بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن است. چراکه تغییرشکل‌های 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 سیکل 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 سیکل‌های 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 (AII 2016).

تذکره: در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا در سیکل اول سختی و مقاومت متناظر با تسلیم جداگر مقدار بزرگتری نسبت به سختی و مقاومت متناظر در سیکل‌های بعدی است. این پدیده که در این دستورالعمل 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 مجددا در سیکل اول مدول برشی به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مدول برشی در سایر سیکل‌ها خواهد بود (Thompson et al. 2000). این پدیده صرفا 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، کمتر رخ خواهد داد (Thompson et al. 2000, AASHTO 1999).

^۱ Scragging

۳-۲-۶-۲ دمای محیط

در دمای محیط متداول (بین ۲۰- درجه سانتیگراد تا ۶۰ درجه سانتیگراد)، مشخصات لاستیک تغییرات ناچیزی داشته و می‌توان از اثر دمای محیط در مشخصات لاستیک صرف‌نظر نمود (AIJ 2016, Skinner et al. 2019). 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 در حدود ۳/۵٪ 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 در هسته سربی 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 فرکانس در نظر گرفت.

تذکر: در جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا بخش کوچکی از استهلاک انرژی ناشی از عملکرد ویسکوالاستیک لاستیک است که وابسته به سرعت می‌باشد. لذا 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.

۳-۲-۶-۴ عملکرد دراز مدت

آزمایشات 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 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 دستورالعمل به شرح زیر می‌باشد.

مزایای جداگرهای لاستیکی با میرایی کم:

- دارای حساسیت کمی به عواملی از جمله دما، فرکانس، تعداد سیکل رفت و برگشتی و گذشت زمان هستند.
- قابلیت جداسازی بسیار بالا به دلیل سختی برشی کوچک
- 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 جداسازی سازه استفاده شوند.

مزیت جداگرهای لاستیکی با میرایی زیاد:

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

محدودیت‌های جداگرهای لاستیکی با میرایی بالا:

- مشخصات آن‌ها از جمله مدول برشی و درصد میرایی در گذر زمان دستخوش تغییرات می‌شود.
- در اولین چرخه در این نوع از جداگرها پدیده پیش کرنشی رخ می‌دهد که می‌تواند عملکرد جداسازی را نشیمنگاه را کاهش دهد.
- درصد میرایی موثر در جداگرهای لاستیکی با میرایی 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. لذا در صورت نیاز به درصد میرایی بیشتر در سیستم جداسازی لازم است از میراگرهای کمکی به منظور ارتقای درصد میرایی موثر در سیستم جداسازی 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.
- نسبت به عواملی از جمله فرکانس و سرعت بارگذاری و گذر زمان حساسیت کمی دارند.

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 مستهلاک شده، دما در هسته سربی افزایش یافته و لذا رفتار جداگر تا حدی تحت تاثیر تعداد چرخه‌ها و میزان انرژی مستهلاک 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 در سیستم جداسازی لازم است با میراگرها ترکیب شوند.

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 سیستم‌های جداساز به صورت زیر در جداگرهای لغزشی تامین می‌شود.

دست‌انقرات ملی و لسترل ساختمان

- ظرفیت محوری بالا: جداگرهای لغزشی عمدتاً از صفحات فولادی که با یکدیگر در تماس مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق صفحات لاستیکی محصور شده) 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 بسیار کوچکی کاهش می‌یابد.
- قابلیت تغییرشکل برشی بالا: در جداگرهای لغزشی در صورت پیش‌بینی فضای کافی برای لغزش بین سطوح، امکان دستیابی به ظرفیت تغییرشکل برشی بسیار بالا فراهم می‌باشد.
- قابلیت استهلاک انرژی: در جداگرهای لغزشی، به دلیل اصطکاک مابین صفحات 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 متغیر می‌باشد.
- 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 نشیمنگاه‌هایی که قابلیت مرکزگرایی دارند، ترکیب شود.

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.

تذکره ۱: جداگرهای لغزشی تنها در صورتی نقش جداسازی خود را ایفا می‌کنند که برش ایجاد شده در جداگر منجر به بروز لغزش مابین صفحات جداگر شود. لذا در زلزله‌های بسیار خفیف

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 (XY-FP (Roussis and Constantinou 2005 دارای ظرفیت کششی هستند، لیکن کاربرد این نوع از جداگرها در صنعت ساخت و ساز بسیار محدود بوده فلذا در این دستوالعمل از معرفی آن‌ها خودداری شده است. با این وجود تست‌های 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 دستوالعمل، 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 دوسطح و افزایش دما ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. لذا می‌توان انتظار داشت در تعداد سیکل‌های 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 رزین‌های از خانواده^۱ PTFE با افزایش سرعت لغزش، میزان ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد اما در سطوح لغزش متشکل از فولاد ضدزنگ و رزین‌های خانواده پل 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

^۱ Polytetrafluorethylene

^۲ Polyamid

کوچک در حد 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 دمای می‌باشد.

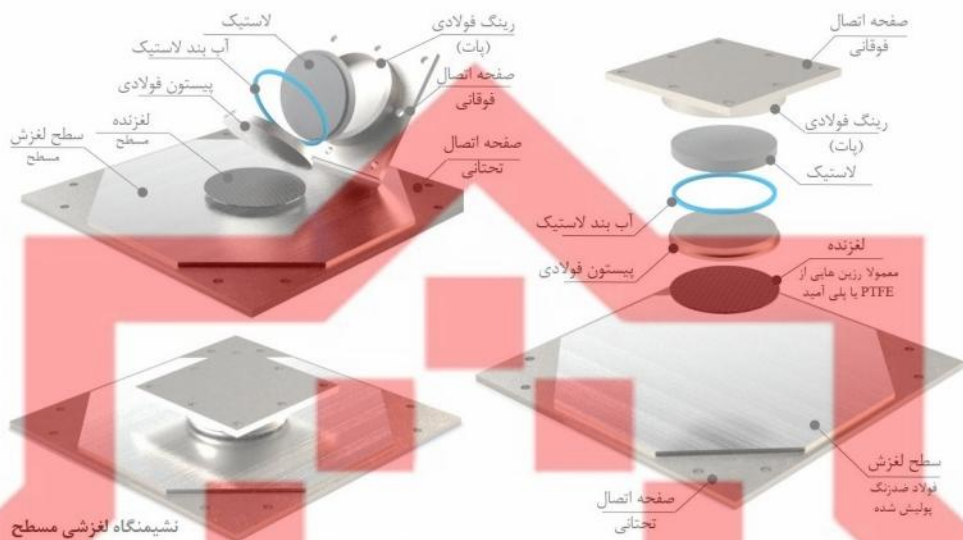
تذکره ۵: در جداگرهای لغزشی ضریب اصطکاک استاتیکی (در آستانه شروع لغزش) بالاتر از ضریب اصطکاک دینامیکی (در حین لغزش) است. لذا پیش از شروع لغزش و نیز هنگام تغییر جهت لغزش، نیروی برشی جداگر مقداری بیشتر از نیروی لغزش جداگر می‌شود که به این اثر اصطلاحاً اثر شکست اصطکاک^۱ و یا شکست چسبندگی^۲ اطلاق می‌شود. این اثر می‌تواند تاثیر مخربی در قابلیت جداسازی جداگرهای لغزشی داشته باشد.

۳-۳-۱ 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 (۳-۱۱) نشان داده شده است. در جداگرهای لغزشی همواره جزئیاتی به کار برده می‌شود که نیروی محوری فشاری به طور یکنواخت بر روی دو سطح لغزش وارد شده و دو سطح همواره موازی یکدیگر باقی بمانند حتی در صورت بروز دوران اندک در جداگر. این قابلیت در شکل (۳-۱۱) از طریق لایه لاستیکی تامین شده است. در صورتی که لایه لاستیکی مطابق شکل داخل رینگ فولادی قرار داشته باشد، امکان توزیع یکنواخت تنش فشاری مابین دو سطح فراهم می‌شود.

^۱ Breakaway friction

^۲ Stick-slip



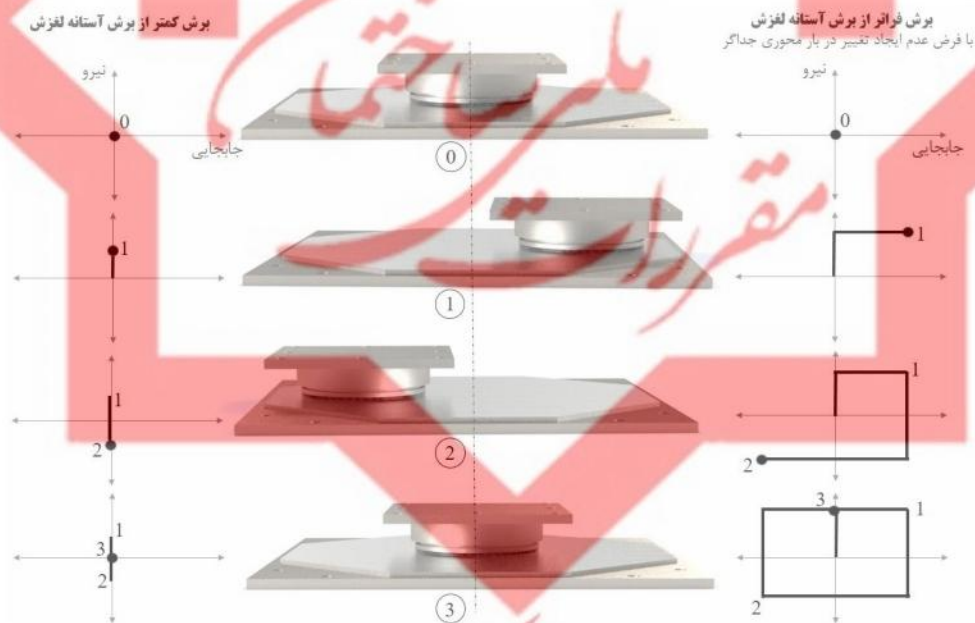
شکل (۳-۱۱). جزئیات نمونه‌ای از نشیمنگاه‌های لغزشی مسطح

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 اما با ضخامت کمتر). این نوع از جداگرهای لغزشی مسطح اصطلاحاً جداگرهای لغزشی مسطح لاستیک یا غیرصلب نامیده می‌شوند و مزیت آن‌ها این است که حتی در زلزله‌های خفیف که جداگر دچار لغزش نمی‌شود، همچنان انعطاف‌پذیری برشی محدودی از طریق لایه لاستیکی برای تراز جداسازی شده فراهم می‌شود.

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 به منظور ایجاد قید در لغزش‌های بیش از ظرفیت، در لبه‌های انتهایی سطح لغزش لبه‌ای تعبیه گردد.

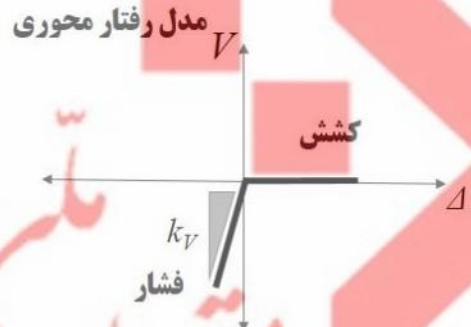
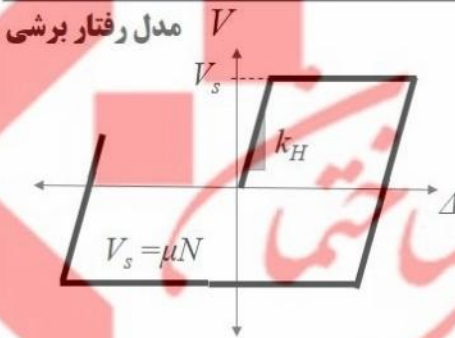
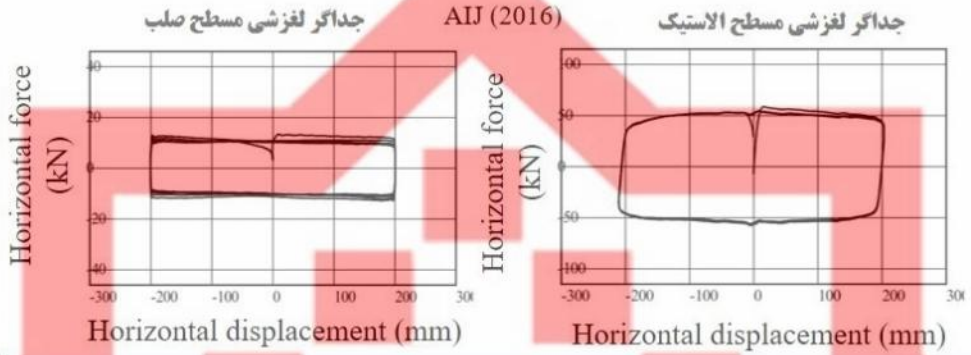
نمونه‌ای از رفتار جداگرهای لغزشی مسطح در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است. لازم به توضیح است در خصوص جداگرهای لغزشی مسطح الاستیک (مطابق تذکره ۱)، رفتار پیش از لغزش جداگر برخلاف شکل (۳-۱۲) به صورت صلب نبوده و دارای رفتاری الاستیک با سختی محدود می‌باشد. مشخصه اصلی در جداگرهای لغزشی مسطح عدم سختی پس از تسلیم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



شکل (۳-۱۲). نمونه‌ای از رفتار نشیمنگاه لغزشی مسطح تحت یک چرخه رفت

و برگشتی با دو نیروی برشی مختلف

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی مسطح تحت بار هارمونیک



K_V : فاقد رابطه تحلیلی (معمولا 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 (AJI 2016) و مدل رفتاری آن‌ها

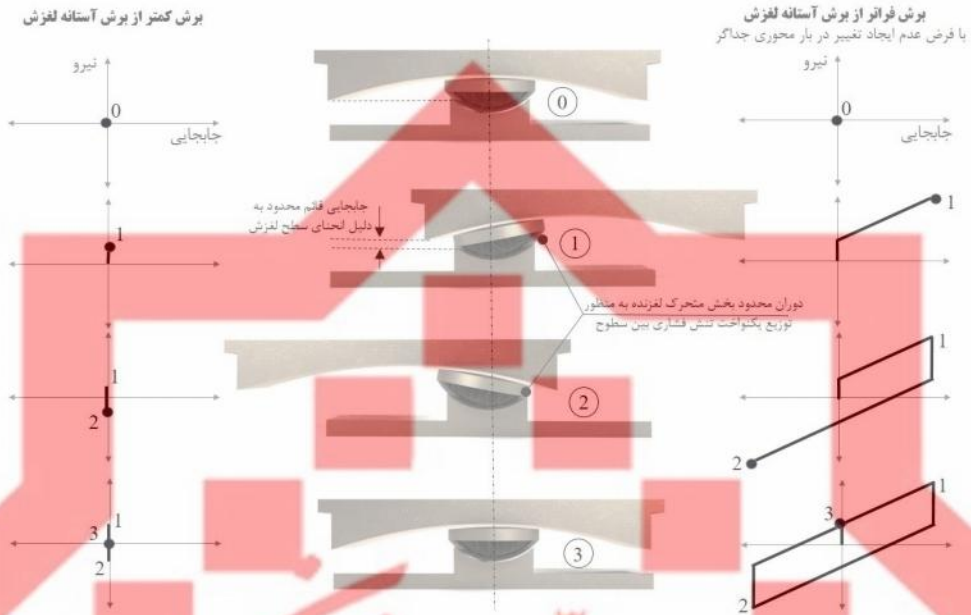
دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۳-۲- جداگرهای لغزشی تک پاندولی

جداگرهای لغزشی تک پاندولی دارای یک سطح لغزش به صورت 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



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

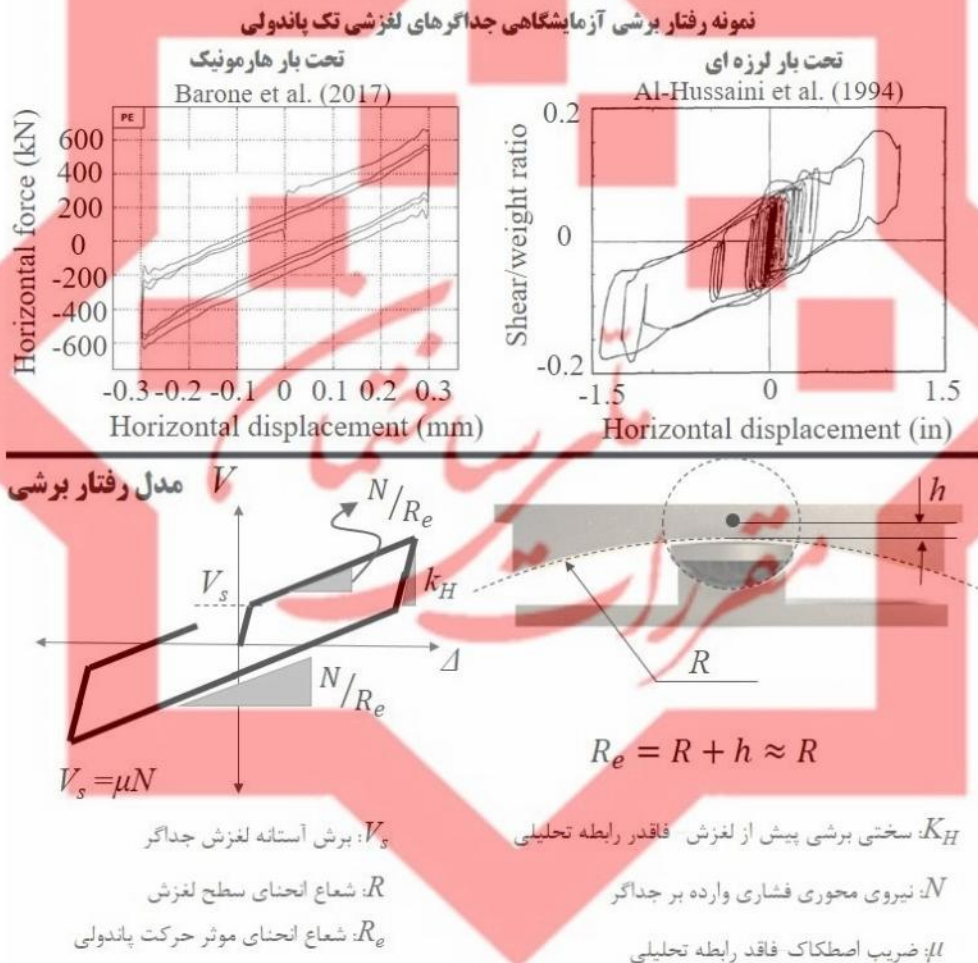
تذکر ۱: علت استفاده از سطح لغزش مقعر، بهبود قابلیت مرکزگرایی در جداگر می‌باشد.

تذکر ۲: سطح لغزش مقعر باعث می‌شود رفتار پس از لغزش جداگر دارای سخت شوندگی باشد که میزان آن به شعاع انحنای سطح لغزش بستگی دارد. با کاهش شعاع انحنای سختی پس از لغزش افزایش یافته و با افزایش شعاع انحنای 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 لغزنده آن است که تنش فشاری به طور 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 میرایی به فشار، می‌تواند منجر به تغییر ضریب میرایی و ایجاد اختلال در رفتار جداگر شود.

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

(Al-Hussaini et al. 1994 و Barone et al. 2017)

۳-۳-۳ جداگرهای لغزشی دو پاندولی

جداگرهای لغزشی پاندولی دوسطحی 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

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

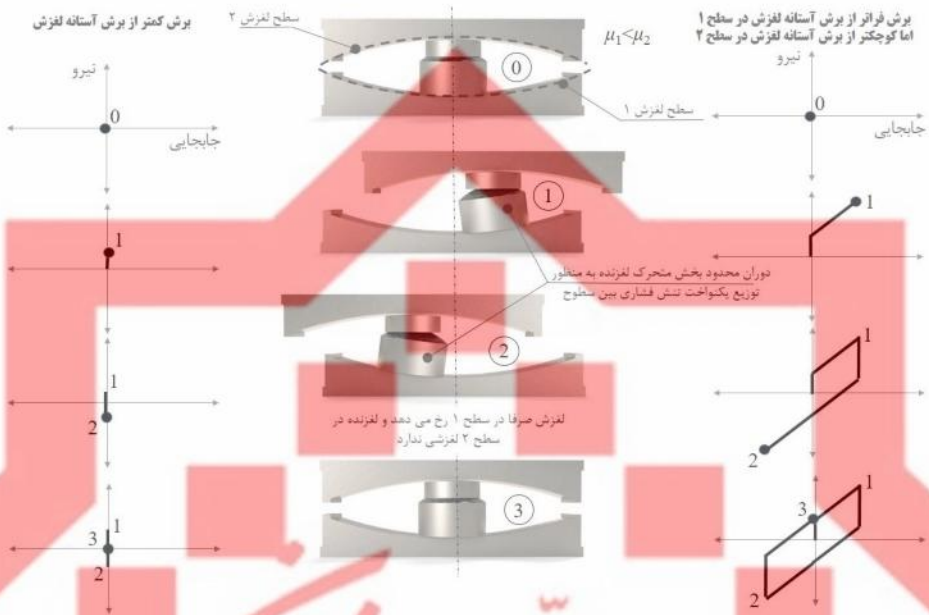
تذکره ۲: یکی از مزیت‌های اصلی که منجر به توسعه جداگرهای لغزشی پاندولی دوسطحی شده است، ظرفیت تغییرشکل بالای آن‌ها است. به طوری که در ابعاد یکسان، ظرفیت تغییرشکل در جداگرهای لغزشی پاندولی دوسطحی حدود ۲ برابر مقدار مشابه در جداگرهای لغزشی تک پاندولی است.

تذکر ۳: مزیت دیگر جداگرهای لغزشی دو پاندولی در مقایسه با نوع تک سطحی، 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.

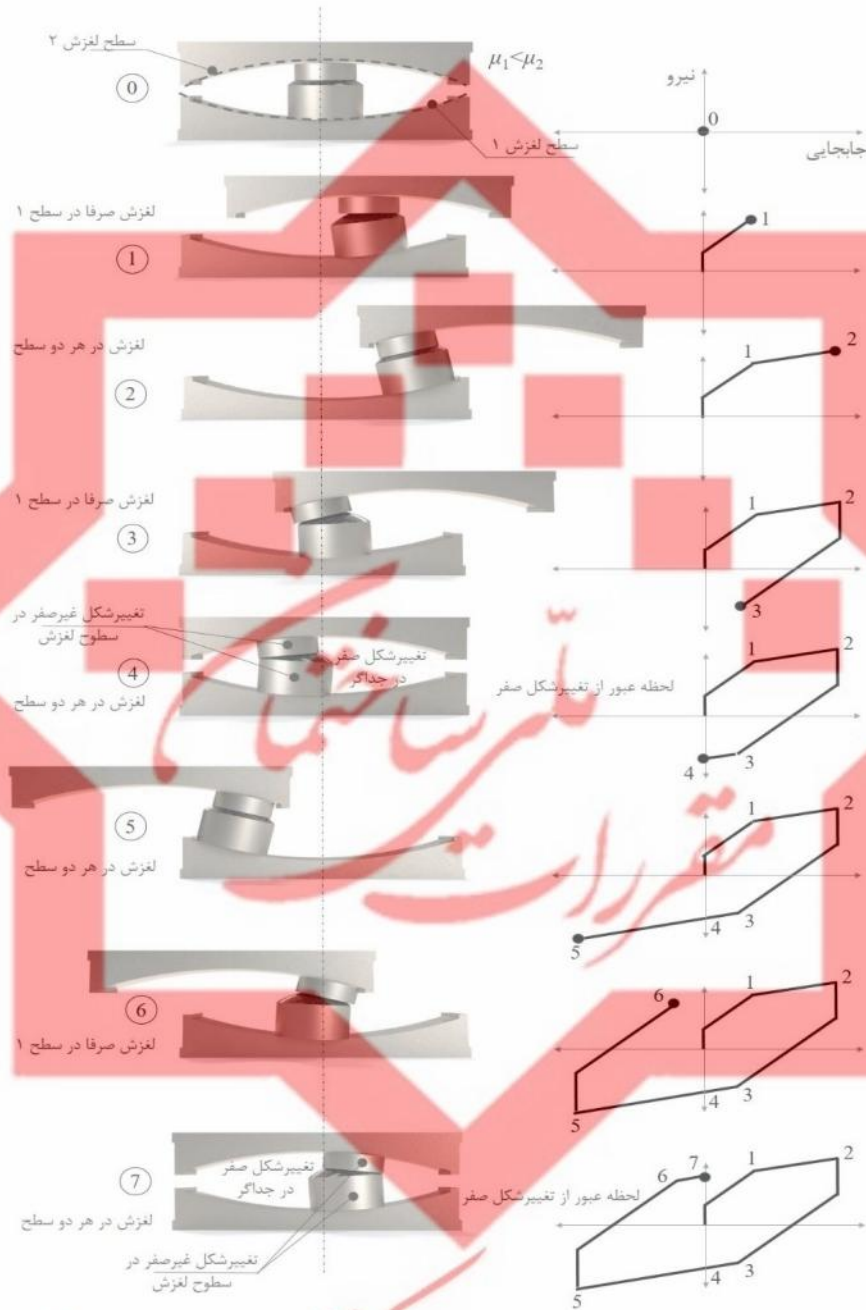
تذکر ۴: در صورتی که هر دو سطح لغزش دارای ضریب اصطکاک یکسان باشند، صرفنظر از شعاع انحنای دو سطح، رفتار جداگر کاملاً مشابه جداگرهای لغزشی تک پاندولی خواهد بود (Fenz and Constantinou 2006) با این تفاوت که در ابعاد یکسان، ظرفیت تغییرشکل در جداگر دوسطحی بسیار بیشتر از ظرفیت تغییرشکل در جداگر تک سطحی می‌باشد (حدود ۲ برابر). در این شرایط انتظار می‌رود لغزش در هر دو سطح فوقانی و تحتانی به شکل 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 تنوری 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)



شکل (۳-۱۹). نمونه‌ای از رفتار نشیمنگاه لغزشی دو پاندولی تحت یک چرخه رفت و برگشتی یا نیرویی که منجر به ایجاد لغزش در هر دو سطح لغزش می‌گردد.

نمونه‌ای از رفتار آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی پاندولی دوسطحی 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 هم می‌تواند دارای یک سختی پس از لغزش باشد (مشابه جداگرهای پاندولی لغزشی تک سطحی) و هم می‌تواند دارای دو سختی پس از لغزش باشد. لازم به ذکر است که روابط ارائه شده در شکل (۳-۲۰) تقریبی بوده و مشخصات جداگر همواره باید براساس نتایج آزمایشگاهی در طراحی نهایی سازه در نظر گرفته شود.

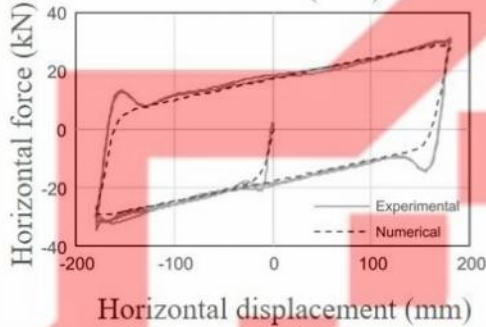
متمرکز
مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی دو پاندولی تحت بار هارمونیک

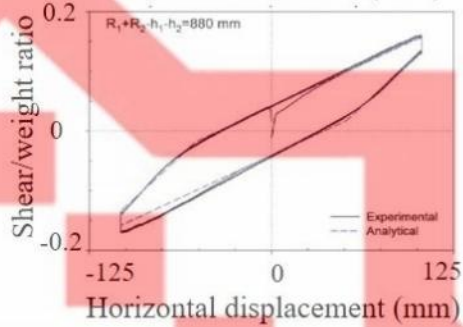
شعاع انحنا و ضریب اصطکاک یکسان در هر دو سطح لغزش

Ponzo et al. (2017)

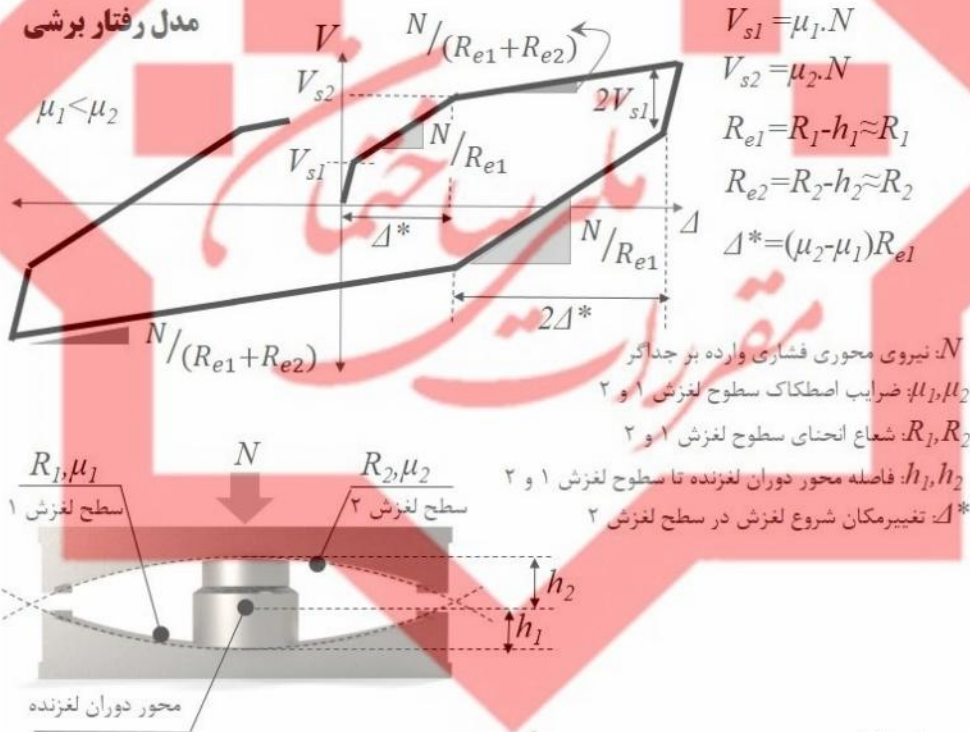


شعاع انحنا یکسان و ضریب اصطکاک غیر یکسان در سطوح لغزش

Fenz and Constantinou (2006)



مدل رفتار برشی



مدل رفتار محوری • ← مشابه نشیمنگاه لغزشی مسطح

شکل (۳-۲۰). رفتار آزمایشگاهی نشیمنگاه‌های لغزشی دو پاندولی

(Panzo et al. 2017 و Fenz and Constantinou 2006) و مدل رفتاری آن‌ها

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.



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

تذکره ۱: جداگرهای لغزشی سه پاندولی برای رسیدن به رفتاری انطباق پذیر توسعه یافته اند. 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 طرح یا شدیدتر) رفتاری نرم شونده با سختی کمتر و استهلاک انرژی بیشتر فراهم کنند. در نهایت تحت تحریکات بسیار شدید (زلزله‌های پیش‌بینی نشده) مجدداً رفتاری سخت شونده با سختی نسبتاً بالا از خود نشان دهند تا بدین ترتیب احتمال تجاوز تغییرشکل جداگر از حد مجاز خود کاهش یابد.

تذکره ۳: به طور معمول شعاع انحنا و ضریب اصطکاک در هر دو سطح لغزش داخلی یکسان بوده لذا 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.



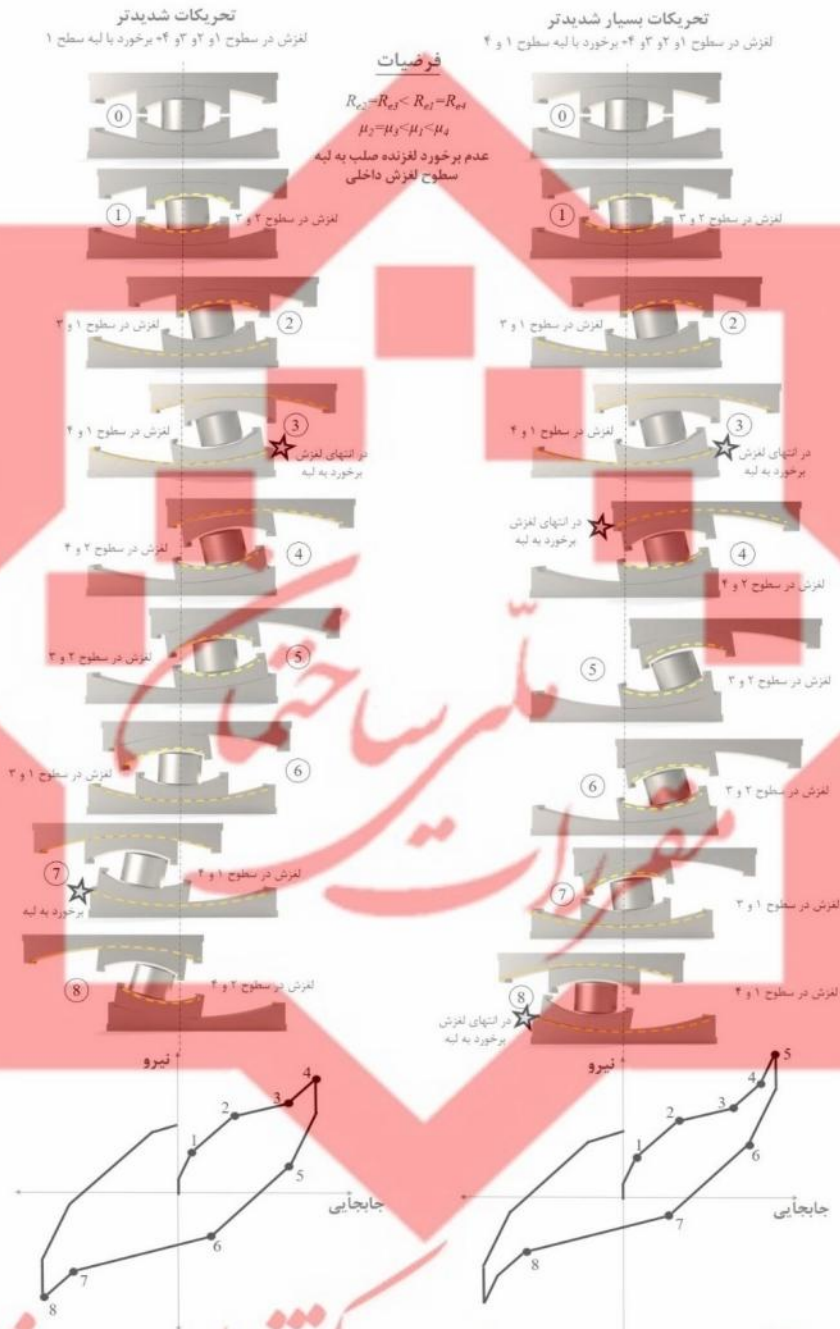
مقررات ملی ساختمان

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۳-۲۲). نمونه‌ای از رفتار نشیمنگاه لغزشی سه پاندولی تحت یک چرخه رفت و برگشتی با سه شدت مختلف-عدم برخورد لغزنده به لبه سطوح لغزش

دقت مقرر است



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

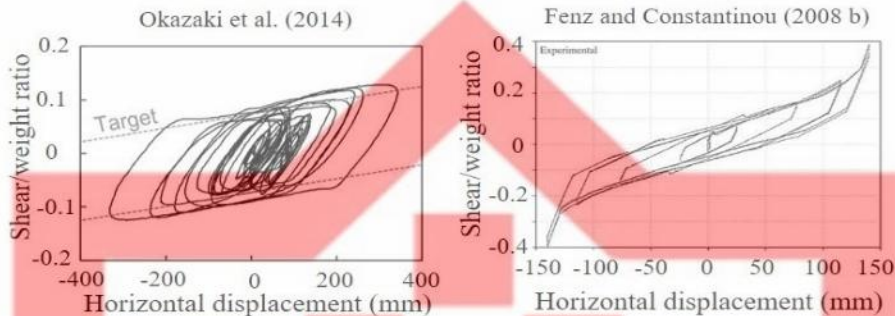
تذکره ۴: شکل‌های (۳-۲۲) و (۳-۲۳) رفتار جداگری را نشان می‌دهند که دارای رفتار ۵ مرحله‌ای است به طوری که ۳ مرحله اول در شکل (۳-۲۲) و ۲ مرحله نهایی در شکل (۳-۲۳) نشان داده شده است. این امکان وجود دارد که جداگرهای لغزشی سه پاندولی دارای رفتارهای متفاوتی نیز باشند.

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 a) 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.

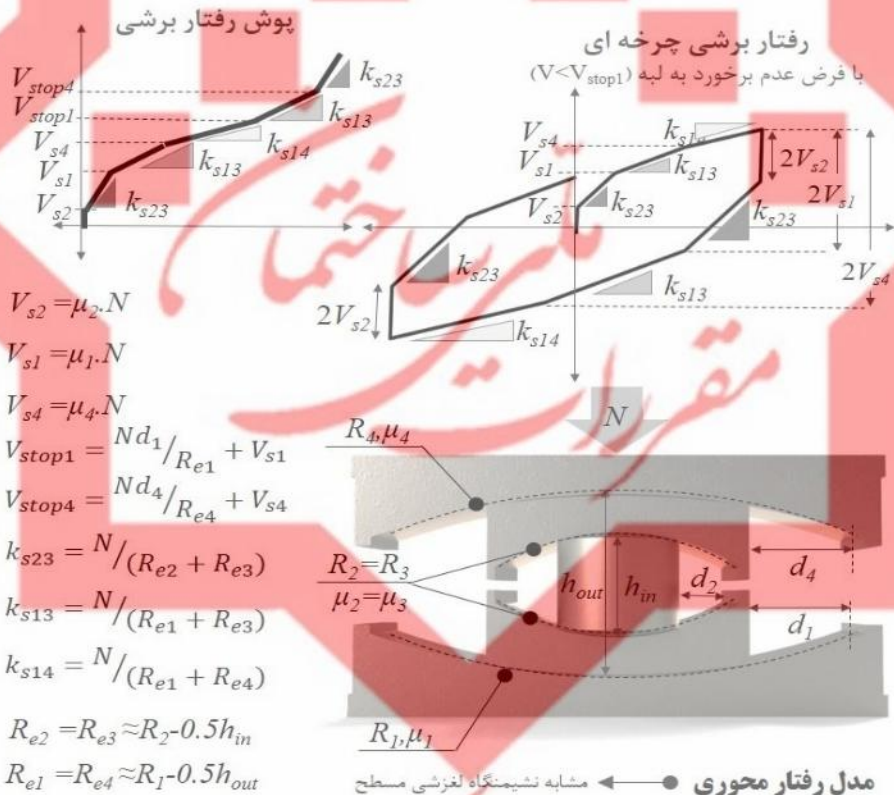
مقررات
متمرکز

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

نمونه رفتار برشی آزمایشگاهی جداگرهای لغزشی سه پاندولی تحت بار لرزه‌ای



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

(Fenz and Constantinou 2008 b و Okazaki et al. 2014)

۳-۳-۵ 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 داشته و به صورت کوپل می‌باشند. همچنین همانند جداگرهای لاستیکی، جداگرهای لغزشی نیز 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 با 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 معمولا جداگرهای لغزشی فاقد مکانیزم مقید کننده در برابر بلندشدگی هستند، لذا 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 معمولا در کسری از ثانیه رخ داده و هنگامی که مجددا سطوح لغزش به یکدیگر فشرده شوند، جداگر مجددا به شکل عادی رفتار خواهد 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 دستورات را شبیه سازی کنند. برای این منظور می‌توان به صورت زیر عمل نمود:

- در خصوص شبیه سازی رفتار جداگرهای لغزشی مسطح معمولا المان مجزایی در نرم افزارها وجود نداشته و از المان مخصوص جداگرهای لغزشی تک پاندولی استفاده می‌شود. پارامترهای 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 شود. 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 پارامترهای آن شامل ضریب اصطکاک (μ)، سختی محوری

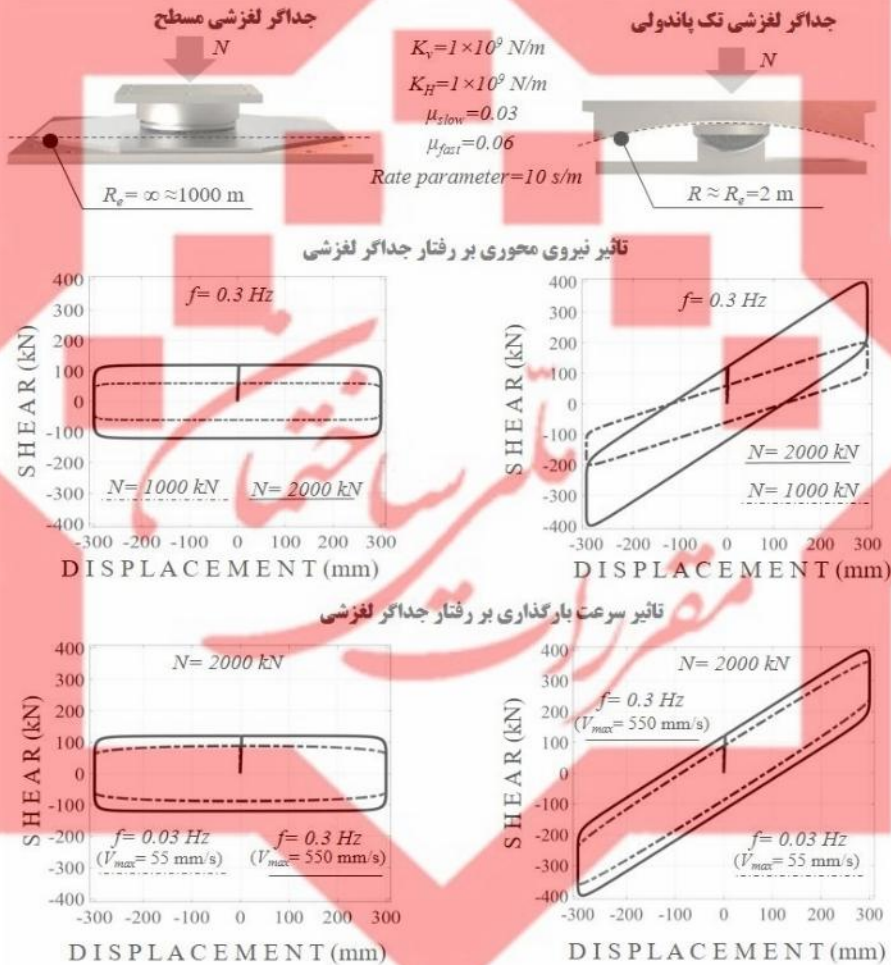
(K_V) ، سختی برشی قبل از شروع لغزش (K_H) و شعاع انحنای موثر (R_e) می‌باشد. نمونه‌ای از شبیه سازی جداگرهای لغزشی تک پاندولی در شکل (۳-۲۵) نشان داده شده است.

▪ 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. پارامترهای 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. که برای جداگرهای لغزشی دو پاندولی می‌توان مشخصات سطوح لغزش داخلی را به نحوی تعریف کرد که لغزشی در آن رخ نداده (شعاع انحنای بسیار کوچک و ضریب اصطکاک 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، مدلسازی 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. پارامترهای 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.

تذکر: در بسیاری از نرم افزارها تغییرات ضریب اصطکاک با سرعت لغزش به شکل صریح در مدل در نظر گرفته شده لذا لازم است دو مقدار ضریب اصطکاک متناظر با سرعت لغزش پایین

و بالا به نرم افزار تعریف شود. علاوه بر آن یک پارامتر 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.

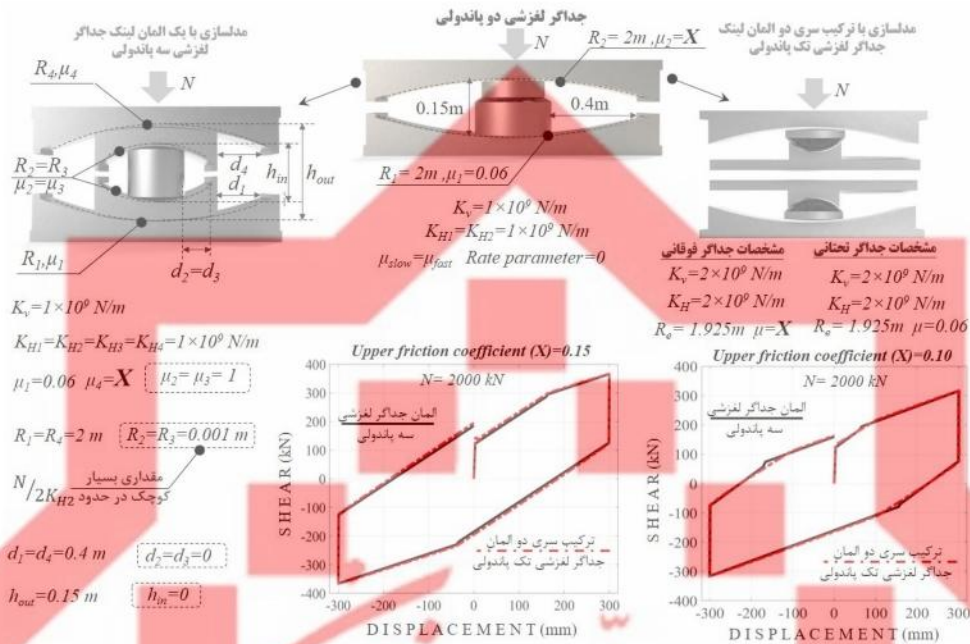


شکل (۳-۲۵). شبیه‌سازی رفتار جداگرهای لغزشی مسطح و تک پاندولی با استفاده از المان

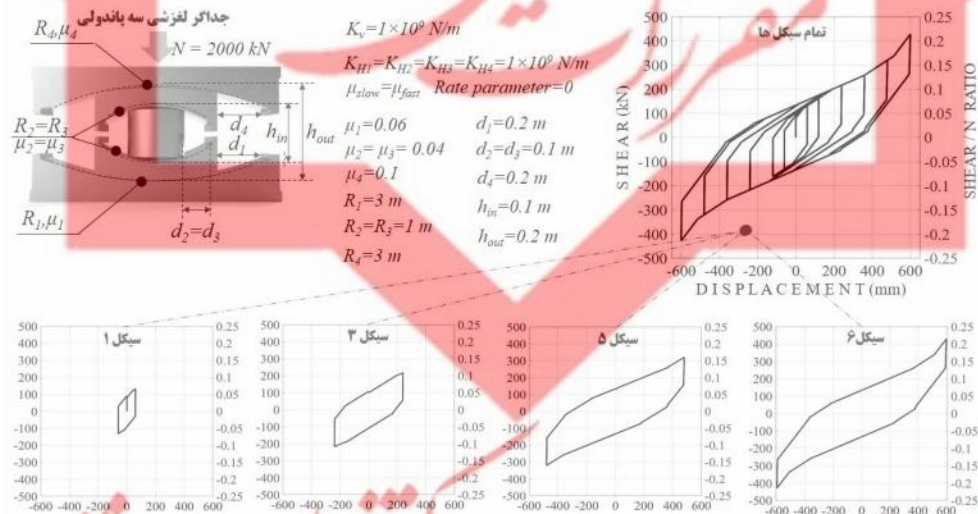
لینک مخصوص جداگرهای تک پاندولی (مقادیر استفاده شده برای پارامترهای

مدل صرفاً به منظور نمایش رفتار مدل هستند)

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۱۵۹



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

۳-۳-۶ وابستگی در جداگرهای لغزشی

۳-۳-۶-۱ تعداد سیکل رفت و برگشتی

جداگرهای لغزشی حساسیت شدیدی به تعداد سیکل رفت و برگشتی نداشته و پس از زلزله طرح 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، لذا انتظار می‌رود در تعداد سیکل‌های بالا نیروی متناظر با لغزش جداگر کاهش یابد. این اثر ماندگار نبوده و با خنک شدن، جداگر مجدداً به مشخصات اولیه خود باز می‌گردد.

۳-۳-۶-۲ دمای محیط

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

۳-۳-۶-۳ فرکانس تحریک

مقدار ضریب اصطکاک سطوح لغزش تابعی از سرعت لغزش بوده لذا 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.

۳-۳-۶-۴ عملکرد دراز مدت

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

۳-۳-۷ 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، لذا 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 حتی در صورتی که ساختمان دارای نامنظمی پیچشی شدید باشد.

محدودیت‌های مشترک تمام جداگرهای لغزشی:

از جمله محدودیت‌های مشترک تمام جداگرهای لغزشی (به جز جداگرهای لغزشی مسطح الاستیک) آن است که اثر جداسازی صرفاً پس از وقوع لغزش در جداگر خود را نشان می‌دهد. لذا در صورتی که زلزله شدت کمی داشته و یا به دلیل محتوای فرکانسی، عمدتاً موده‌های بالاتر سازه تحریک شود، ممکن است برش پای سازه برای ایجاد لغزش در جداگرها 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. با توجه به اینکه در حین زلزله به دلیل لنگر واژگونی سازه و نیز مولفه قائم زلزله، نیروی محوری وارده بر جداگر تغییرات شدیدی می‌کند، لذا سختی جانبی موثر جداگر مقدار ثابتی نداشته و در حین زلزله می‌تواند به شدت متغیر باشد. به بیان دیگر، قابلیت جداسازی ساختمان می‌تواند به مولفه قائم زلزله بستگی داشته و پاسخ‌های جانبی سازه (دریافت 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.

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

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

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 حتما در ترکیب با سایر جداگرها در سیستم جداسازی استفاده شوند.

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:

- محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی

مزیت 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:

- محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی

مزیت جداگرهای لغزشی سه پاندولی:

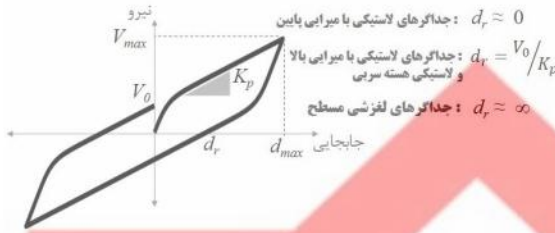
- علاوه بر مزیت مشترک ذکر شده برای تمام جداگرهای لغزشی، به علت تقعر سطوح لغزش، این نوع جداگر قابلیت مرکزگرایی مناسبی داشته و می‌تواند به تنهایی در سیستم جداسازی سازه استفاده شود.
- با توجه به وقوع لغزش در چهار سطح، در مقایسه با جداگرهای تک پاندولی با ابعاد یکسان، دارای ظرفیت تغییرشکل بسیار بیشتری هستند.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

- محدودیت‌های مشترک ذکر شده در تمام جداگرهای لغزشی

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 پارامتریک 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) جداگر بزرگتر از ۰/۵ باشد، تغییرشکل ماندگار (d_{res}) کوچکی در جداگر پس از زلزله باقی خواهد ماند که مقدار آن در ۸۰٪ مواقع کوچک تر از ۱۰٪ مقدار تغییرشکل حداکثر جداگر خواهد بود (Katsaras et al. 2008). پارامتر dr (حداکثر تغییرشکل ماندگار استاتیکی جداگر) در شکل (۳-۲۸) معرفی شده است.

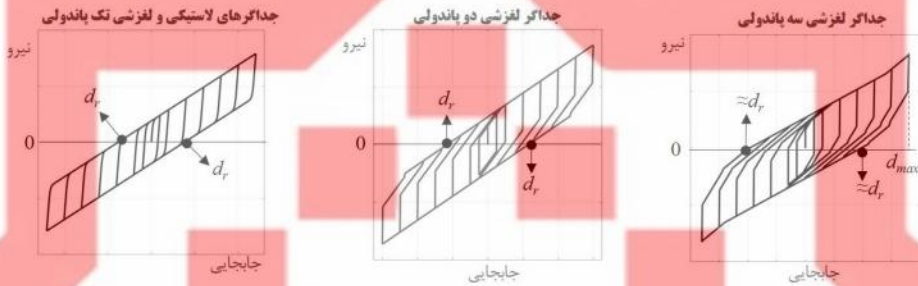


جداگرهای لغزشی تک پاندولی: $d_r = \mu R_e$

جداگرهای لغزشی دو پاندولی: $d_r \approx \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} (R_{e1} + R_{e2})$

تخمین از روی منحنی چرخه ای: جداگرهای لغزشی سه پاندولی

مقدار d_r در سیکلهای مختلف همگرا نشده و در صورتی که d_{max} افزایش یابد، مقدار d_r نیز قدری افزایش می یابد.



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

تذکره ۱: مقدار تغییرشکل حداکثر جداگر (d_{max}) به مشخصات جداگر و مشخصات زلزله وارده بستگی دارد و برای تخمین آن می توان از روش های تقریبی همانند روش طیفی مطابق فصل ۴ استفاده نمود.

تذکره ۲: مقدار حداکثر تغییرشکل ماندگار استاتیکی (d_r) مطابق شکل (۳-۲۸) برابر حداکثر تغییرشکل جداگر در لحظه ای است که برش ایجاد شده در جداگر در مرحله باربرداری به صفر رسیده و تغییر جهت می دهد. لازم به ذکر است در چرخه های شدیدتر با دامنه بزرگتر نیز تغییری در مقدار d_r رخ نداده و این پارامتر به مقدار مشخصی همگرا شده است. مقدار تغییرشکل ماندگار جداگر در حین یک زلزله تحت هیچ شرایطی نمی تواند از مقدار d_r تجاوز کند و در اغلب موارد به طور قابل توجهی کوچکتر از d_r خواهد بود.

تذکره ۳: در جداگرهای لغزشی سه پاندولی به علت رفتار چند سطحی، سرعت همگرایی پارامتر d_r در چرخه های مختلف پایین بوده و معمولاً پس از برخورد لغزنده ها به لبه های سطوح لغزش همگرا می شود. با توجه به اینکه در زلزله های سطح طرح جداگر به نحوی طراحی می شود که برخوردی بین لغزنده و لبه سطوح لغزش رخ ندهد، لذا بهتر است تخمین پارامتر 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 جداسازی، مقدار d_r و متعاقباً مقدار تغییرشکل ماندگار در سیستم جداسازی کاهش می‌یابد. با این وجود افزایش سختی پس از تسلیم از قابلیت جداسازی جداگرها می‌کاهد. لذا 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. لذا در یک سیستم جداساز می‌توان از جداگرهای با قابلیت مرکزگرایی پایین استفاده نمود به شرطی که این جداگرها در ترکیب 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 (نشیمنگاه‌ها و میراگرهای سیستم جداسازی) باشد.

۳-۵ میراگرهای سیستم جداساز لرزه‌ای

در سیستم جداسازی لرزه‌ای ممکن است علاوه بر جداگرهای لرزه‌ای (نشیمنگاه‌های لرزه‌ای) از میراگرها نیز به منظور بهبود قابلیت استهلاک انرژی سیستم جداساز استفاده نمود. میراگرهای مورد استفاده در سیستم جداسازی لازم است اولاً حتی الامکان دارای سختی کوچکی باشند و ثانياً 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

تغییر شکل 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 تغییر شکل 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.

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

تذکره ۲: در صورتی که جداگرهای سیستم جداساز لرزه‌ای فاقد قابلیت جذب انرژی کافی باشند (همانند جداگرهای لاستیکی با میرایی کم)، برای تامین استهلاک انرژی، از میراگرها در سیستم جداسازی شده استفاده می‌شود.

تذکره 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. لذا 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 تغییر شکل آن‌ها بیش از حد افزایش یابد.



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

۳-۶ چیدمان سیستم جداساز لرزه‌ای

۳-۶-۱ جانمایی در ارتفاع

به طور معمول سیستم جداسازی در ترازى از ساختمان قرار داده می‌شود که زیرسازه (سازه زیر تراز جداسازی شده) از صلبیت و مقاومت زیادى برخوردار باشد. لذا معمولاً در ساختمان‌های فاقد دیوار حائل بتنی، سیستم جداسازی 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 و سنتی‌ترین نوع 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 بسته 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 جداسازی، 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 جداگر لرزه‌ای، لازم است فضای کافی برای تغییرشکل‌های برشی جداگرها فراهم شود.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

قرارگیری سیستم جداسازی لرزه‌ای 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 جداسازی (نشیمگاه‌ها و میراگرها) تعیین 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 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 نشیمگاه‌ها در پلان تراز جداسازی به نحوی صورت پذیرد که حتی الامکان مرکز سختی برشی موثر جداگرها بر مرکز جرم ساختمان منطبق بوده و بدین ترتیب کمترین پیچش در تراز جداسازی 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 همواره بر روی یکدیگر منطبق هستند به شرطی که اولاً نیروی ناشی از لنگر واژگونی سازه ناچیز بوده و ثانياً شعاع انحنای سطوح لغزش در تمام جداگرها یکسان باشد. در صورتی که از چندین نوع نشیمگاه در سیستم جداسازی استفاده شود، بهتر است از جداگرهای با سختی برشی 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 در زیر ستون‌ها/دیوارهای پیرامونی قرار گیرند. همچنین بهتر است در صورت استفاده از میراگر در سیستم جداسازی، میراگرها در جوه پیرامونی تراز جداسازی شده نصب شوند تا بدین ترتیب، در صورت بروز پیچش محدود در تراز جداسازی شده، تغییرشکل بیشتری در میراگرها ایجاد شده و انرژی بیشتری توسط آن‌ها مستهلک شود.

متمرکز
مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

فصل ۴

طیف طرح و

مقررات نگاشت

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقررآت ملی و کتترل سآختما

۴-۱ کلیات

به طور کلی به منظور بارگذاری لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگر و جداگر نیاز به داشتن طیف طرح و شتاب نگاشت‌های متناظر با طیف طرح 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 می‌باشد. 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 طرح و تنظیم دوره بازگشت و درصد میرایی آنها بیان شده است. در بند ۴-۳ نیز معیارهای انتخاب شتاب نگاشت‌های مناسب و نحوه تنظیم میزان شدت شتاب نگاشت‌ها متناظر با دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است.

۴-۲ طیف طرح

در دستورالعمل حاضر طیف طرح عمدتاً به طیف شتاب مولفه افقی زلزله اشاره دارد لیکن بنا به روند طراحی، طیف طرح می‌تواند شامل طیف شتاب مولفه قائم و نیز طیف سرعت ساختمان

افقی زلزله نیز باشد. با توجه به رویکرد طراحی عملکردی که در دستورالعمل وجود دارد، ارزیابی عملکرد سازه تحت زلزله‌هایی با دوره‌های بازگشت متفاوت انجام می‌شود، لذا طیف طرح نیز می‌تواند دارای دوره‌های بازگشت متفاوت باشد. همچنین با توجه به اینکه سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر دارای درصد میرایی بزرگتری در مقایسه با سایر سازه‌ها هستند، لذا طیف طرح می‌تواند برای درصدهای میرایی متفاوتی تهیه شود. در دستورالعمل حاضر طیف طرح به دو صورت قابل تهیه است. بند ۴-۲-۱ جزئیات مربوط به تهیه طیف طرح مطابق طیف طرح پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ را ارائه کرده است. در صورتی که مطابق 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 بند ۴-۲-۲ تهیه گردد.

تذکره ۱: استفاده از طیف ویژه ساختگاه همواره مجاز می‌باشد. در این صورت مقدار طیف ویژه ساختگاه نباید از ۸۰٪ طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ کمتر باشد.

تذکره ۲: مقدار طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ در پیوندهای بالا برای اغلب نقاط کشور متناظر با دوره بازگشتی بزرگتر از ۴۷۵ سال است. لیکن اکیدا توصیه می‌شود برای طراحی سازه‌های با پیوند بالا، طیف طرح ویژه ساختگاه تهیه گردد.

۴-۲-۱ طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰

مطابق تعریف طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ عبارت است از:

$$S_a = A \cdot B \quad (۴-۱)$$

که در آن S_a شتاب طیفی، پارامتر A شتاب مبنای سنگ بستر مطابق پهنه‌بندی موجود در استاندارد ۲۸۰۰ و پارامتر B ضریب بازتاب ساختمان مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰ است که تابعی از نوع خاک و پیوند سازه می‌باشد. طیف حاصل از رابطه (۴-۱) طیف شتاب طرح متناظر با میرایی ۵٪ و دوره بازگشت ۴۷۵ سال می‌باشد.

۲-۲-۴ 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.

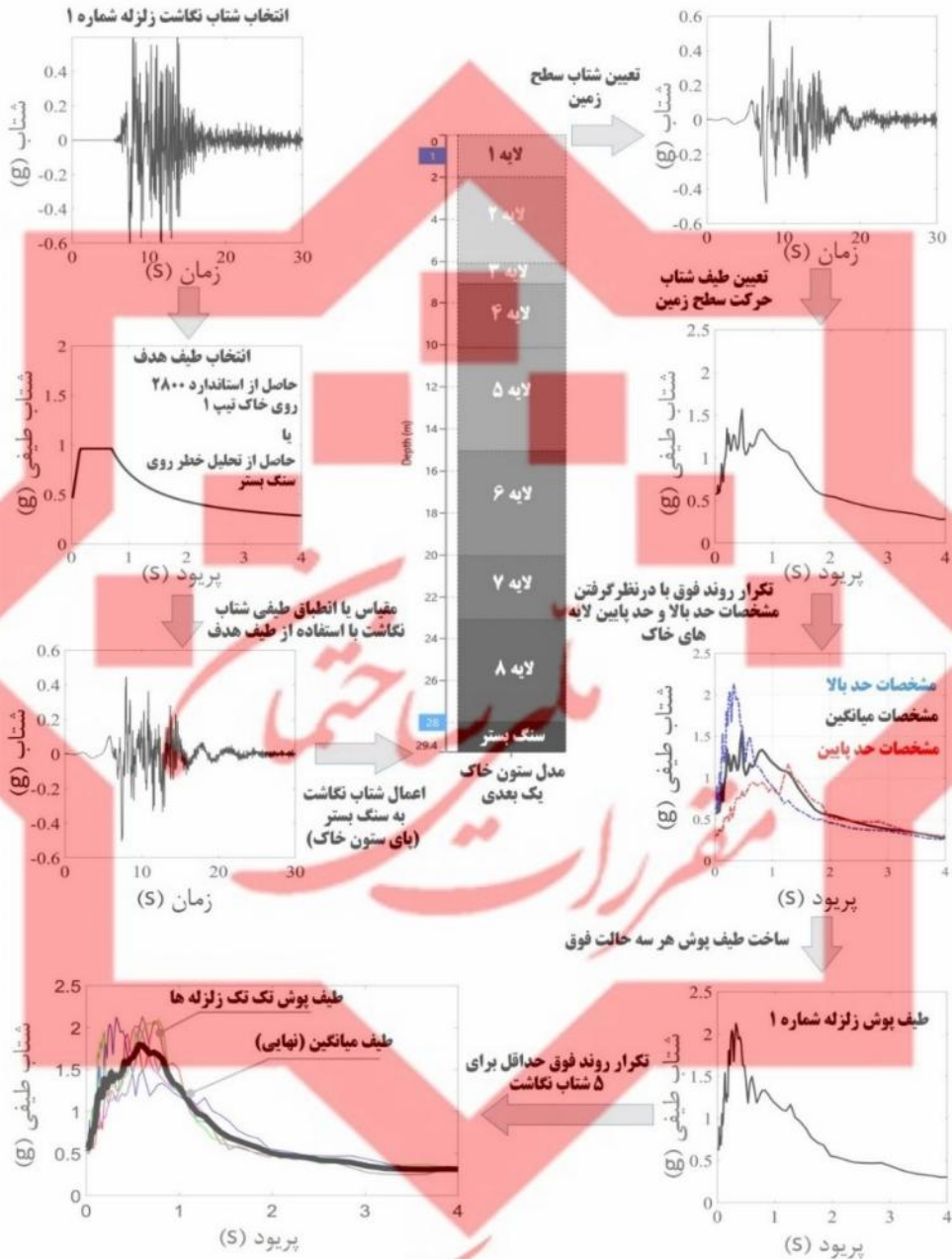
۱-۲-۲-۴ تهیه طیف طرح بر اساس تحلیل پاسخ زمین

در این روش لازم است لایه‌های خاک ساختگاه به صورت یک ستون خاک یک بعدی با رفتار غیرخطی یا خطی معادل با در نظر گرفتن عدم قطعیت مشخصات لایه‌های خاک مدلسازی شده و حداقل ۵ شتاب نگاشت با رعایت الزامات بند ۴-۳-۱ 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.

^۱ Ground Response Analysis

^۲ Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)

^۳ Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)



شکل (۴-۱). روند انجام تحلیل پاسخ زمین به منظور استخراج طیف شتاب سطح زمین - مقادیر

نشان داده شده در شکل صرفاً مربوط به زلزله و ستون خاک در نظر گرفته شده بوده

و نباید برای سایر موارد استفاده شوند

تذکره 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 خاک تیپ 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.

تذکره ۲: 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.

تذکره 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 زلزله‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله انجام داده و طیف سطح زمین متناظر با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله را مستقیماً از تحلیل پاسخ زمین بدست آورد و برای سایر دوره‌های بازگشت، از ضرایب اصلاح دوره بازگشت مطابق بند ۴-۲-۳ استفاده نمود.

تذکره 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.

تذکره ۵: در تهیه مدل ستون خاک 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.

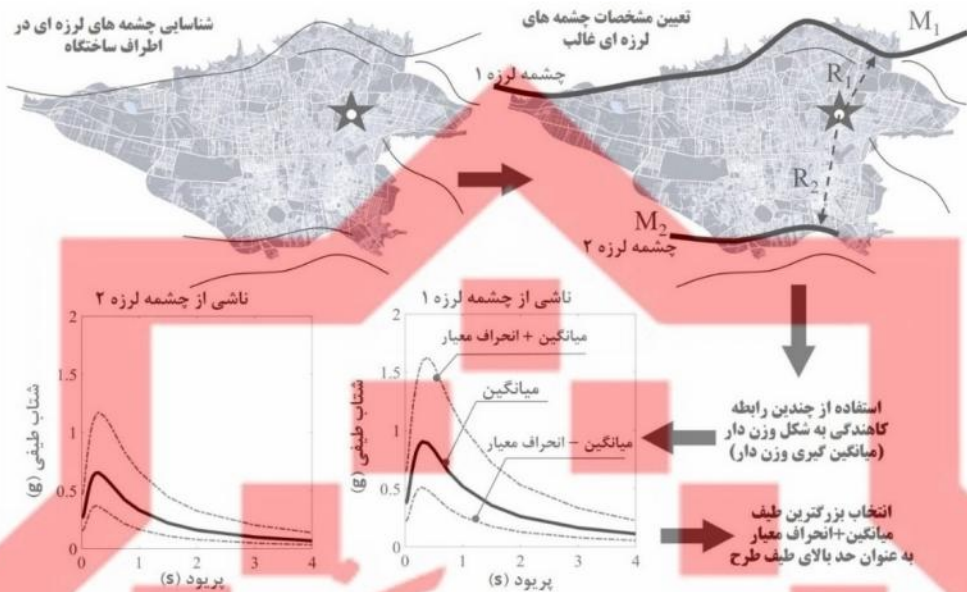
- روش ۱: تحلیل پاسخ زمین را برای هر یک از رکوردهای زلزله سه مرتبه با فرض مشخصات میانگین، حد بالا و حد پایین لایه‌های خاک تکرار کرده و پوش سه طیف را معادل طیف شتاب سطح زمین در نظر گرفت. در غیاب داده‌های دقیق‌تر، حد بالای مدول برشی خاک را می‌توان ۲ برابر و حد پایین آن را ۰/۵ برابر مقدار میانگین (مقدار

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: می‌توان تحلیل‌های پاسخ زمین را بر اساس مشخصات میانگین (مورد انتظار) لایه‌های خاک انجام داد لیکن برای تعیین طیف روی سطح زمین برای پروده‌های کمتر از ۱ ثانیه از مقدار میانگین طیف‌های بدست آمده و برای پروده‌های بزرگتر از ۱ ثانیه از مقدار میانگین به علاوه یک انحراف معیار طیف‌های بدست آمده استفاده نمود.

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

در تحلیل خطر تعیینی، چشمه‌های لرزه‌زا (گسل‌ها) در اطراف ساختگاه مشخص شده و برای هر یک از آن‌ها، حداکثر بزرگای محتمل با دوره بازگشت مناسب در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از روابط کاهندگی مناسب، پارامترهای جنبش زمین از جمله شتاب حداکثر زمین و طیف شتاب مربوط به هر یک از چشمه‌های لرزه‌زا تخمین زده می‌شود. در نهایت طیف شتابی که منجر به بیشترین شتاب طیفی در محدوده پریود اصلی سازه شود، به عنوان حد بالای طیف طرح در نظر گرفته می‌شود. روند تحلیل خطر لرزه‌ای برای یک ساختگاه فرضی در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.



استفاده از چندین رابطه کاهندگی به شکل وزن دار (میانگین گیری وزن دار)

انتخاب بزرگترین طیف به عنوان حد بالای طیف طرح

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

تذکره ۱: در تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی لازم است از روابط کاهندگی متفاوت و متناسب که به صورت مناسب معرفی 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 در نظر گرفته شود.

تذکره 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 را به شکل تجربی در نظر می‌گیرند.

تذکره ۳: طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی به شکلی که در این بند ارائه گردید معرفی بزرگترین سناریوی لرزه‌ای محتمل در ساختمانگاه 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.

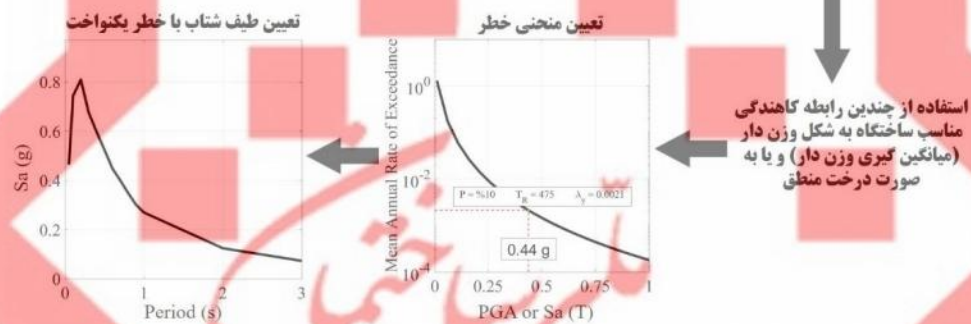
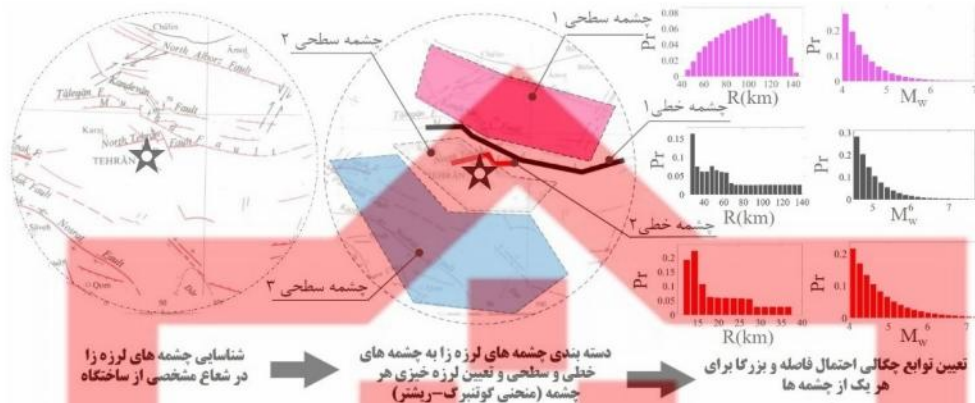
تذکره ۴: در نواحی با لرزه‌خیزی بسیار بالا و نزدیک گسل‌های فعال ممکن است طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی کمتر از طیف حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی باشد که در این صورت، باید از مقادیر حاصل از تحلیل خطر تعیینی استفاده شود.

تذکره ۵: به طور پیش فرض کلیه طیف‌های شتاب حاصل از تحلیل لرزه‌ای تعیینی، برای درصد میرایی ۵٪ تهیه می‌شوند و در انتها طیف شتاب نهایی، مطابق بند ۴-۲-۴ برای سایر درصد‌های میرایی قابل تنظیم می‌باشد.

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.

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 سالیان اخیر، امروزه تحلیل خطر لرزه‌ای معمولاً به صورت احتمالاتی انجام می‌شود. 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) موجود است.



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

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

تذکره 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.

تذکر ۳: مقدار شتاب طیفی حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال در هر یک از پیوندها (پس از اعمال اثرات ساختگاهی خاک)، تحت هیچ شرایطی نباید کمتر از ۰.۸٪ مقدار متناظر طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ باشد.

تذکر ۴: مقدار شتاب طیفی حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی با دوره بازگشت ۲۵۰۰ سال در هر یک از پیوندها (پس از اعمال اثرات ساختگاهی خاک)، لازم نیست بیشتر از مقدار متناظر طیف حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی اتخاذ شود. در این شرایط طیف حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی لازم است بر اساس طیف حاصل از میانگین بعلاوه یک انحراف معیار بدست آمده و اثرات ساختگاهی نیز در آن لحاظ شده باشد.

تذکر ۵: 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.

تذکر ۶: طیف شتاب حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی معمولاً برای درصد میرایی ۰.۵٪ بدست می‌آید. برای سایر میرایی‌ها لازم است طیف مطابق بند ۴-۲-۴ اصلاح شود.

تذکر ۷: به جای طیف شتاب با خطر یکنواخت، می‌توان از طیف میانگین مشروط^۱ نیز استفاده نمود. به طور معمول این روش مستلزم داشتن طیف شتاب با خطر یکنواخت و نیز داشتن نتایج تحلیل تفکیک^۲ لرزه‌ای برای تشخیص سناریوهای لرزه‌ای حاکم بر طرح می‌باشد. جزئیات این روش در (ASCE 7 (2016) ارائه شده است.

۴-۲-۳ تنظیم دوره بازگشت طیف طرح

با توجه به اینکه استاندارد ۲۸۰۰ طیف طرح را تنها برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (S_a-475) تعیین نموده است، در صورتی که طیف طرح مطابق استاندارد ۲۸۰۰ تهیه شده باشد، برای

^۱ Conditional Mean Spectrum (CMS)

^۲ Deaggregation

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۱۸۳

تعیین طیف طرح با یک دوره بازگشت دلخواه میتوان در غیاب محاسبات دقیق تر به صورت زیر عمل نمود.

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

$$S_{a-i} = S_{a-475} \left(\frac{i}{475} \right)^{0.44} \quad (۲-۴)$$

در صورتی که دوره بازگشت مدنظر بین ۴۷۵ سال و ۲۵۰۰ سال باشد:

$$S_{a-i} = e^{\ln(S_{a-475}) + 0.245 \ln(i) - 1.5} \quad (۳-۴)$$

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. با استفاده از روابط (۲-۴) و (۳-۴)، ضرایب اصلاح دوره بازگشت طیف برای چندین دوره بازگشت مختلف در جدول (۱-۴) ارائه شده است.

جدول (۱-۴). ضرایب اصلاح دوره بازگشت

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

تذکر: 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 نباید از روابط تخمینی (۲-۴) یا (۳-۴) استفاده نمود.

۴-۲-۴ تنظیم درصد میرایی طیف طرح

طیف طرح بدست آمده از روش‌های مختلف عمدتاً متناظر با درصد میرایی ۰/۰۵ بدست می‌آید. بسته به روش طراحی در برخی موارد ممکن است نیاز به مقدار طیف طرح در درصد میرایی‌های مختلفی باشد. برای این منظور می‌توان با استفاده از ضریب اصلاح میرایی ارائه شده در رابطه (۴-۴) و ضرب آن در طیف با میرایی ۰/۰۵، مقدار طیف با میرایی* را بدست آورد.

$$DSF = \sqrt{\frac{2.25}{1+25\xi^*}} \quad (۴-۴)$$

۵-۲-۴ طیف طرح مولفه قائم زلزله

در صورتی که در روند طراحی به طیف شتاب مولفه قائم زلزله نیاز باشد، در غیاب محاسبات دقیق‌تر، می‌توان آن را مطابق رابطه (۵-۴) و شکل (۵-۴) محاسبه نمود.

$$S_{aV} = \begin{cases} 0.8C_V S_{a,max}, T_V < 0.15s \\ 0.8C_V S_{a,max} \left(\frac{0.15}{T_V}\right)^{0.75}, T_V > 0.15s \end{cases} \quad (۵-۴)$$

S_{aV} : شتاب طیفی مولفه قائم زلزله

T_V : پریود ارتعاش قائم سازه

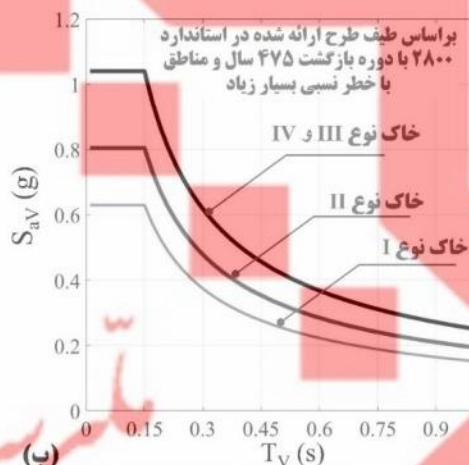
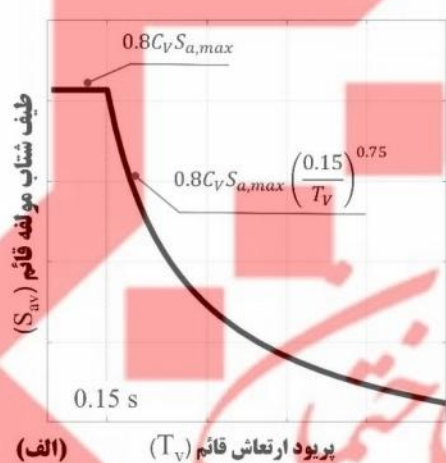
$S_{a,max}$: مقدار حداکثر طیف شتاب مولفه افقی با میرایی ۰/۵ و دوره بازگشتی مشخص

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

جدول (۲-۴). مقدار ضریب C_V

مقدار پارامتر A مطابق	نوع خاک ساختمانی مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰
-------------------------	---

تعریف استاندارد ۲۸۰۰	خاک نوع I	خاک نوع II	خاک نوع III یا IV
0.20	0.90	1.00	1.20
0.25	0.90	1.10	1.30
0.30	0.90	1.10	1.30
0.35	0.90	1.15	1.35



شکل (۴-۵). (الف) نحوه تخمین طیف طرح مولفه قائم. (ب) نمونه طیف‌های مولفه قائم بر اساس طیف طرح ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ با دوره بازگشت ۴۷۵ سال و در مناطق با خطر نسبی بسیار زیاد ($A=0.35$).

تذکره ۱: پریود ارتعاش قائم (T_V) ارتباطی با پریود مودهای ارتعاشی جانبی نداشته و مقدار آن بسیار کوچک تر از مقدار پریود در مودهای جانبی غالب است. همچنین مود غالب ارتعاش قائم معمولاً اولین مود ارتعاش قائم نمی‌باشد. در بسیاری از موارد اولین مودهای 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 پریود ارتعاش قائم در مودهای غالب کوچکتر از $0.3/3$ ثانیه می‌باشد.

تذکره ۲: طیف طرح مولفه قائم برای هر دوره بازگشتی بر اساس مقدار $S_{a,max}$ مربوط به آن دوره بازگشت محاسبه می‌شود.

۴-۳-۱ انتخاب شتاب نگاشت

به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی لازم است حداقل از ۱۰ شتاب نگاشت استفاده شود که هر شتاب نگاشت شامل سه مولفه (دو مولفه افقی و یک مولفه قائم) است. به جز در سازه‌های دارای جداگرهای لغزشی و سازه‌های دارای اعضای باربر قائم ناپیوسته، در سایر سازه‌ها نیاز به اعمال مولفه قائم شتاب نگاشت نبوده فلذا تنها به دو مولفه افقی هر شتاب نگاشت نیاز خواهد بود. 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. بدین معنی که تفاوت فاحشی بین شکل کلی طیف طرح و شکل کلی طیف شتاب نگاشت وجود نداشته باشد.
- مکانیزم چشمه لرزه‌زا: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که دارای مکانیزمی مشابه مکانیزم چشمه‌های لرزه‌زای در اطراف ساختگاه باشند. انتخاب چشمه‌های لرزه زای غالب می‌تواند بر اساس نتایج تفکیک لرزه‌ای باشد.
- بزرگای: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که مربوط به زلزله‌هایی با بزرگای بیش از ۶ هستند.
- شرایط ساختگاهی: حتی المقدور از شتاب نگاشت‌هایی استفاده شود که در محل ثبت خود 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 لرزه زای 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 دوره بازگشت ۴۷۵ سال ضرایب مقیاسی بزرگتر از ۴ یا کوچکتر از ۰/۲۵ مورد نیاز نباشد.

موارد شش گانه فوق الزامی نبوده و صرفا توصیه هستند لیکن رعایت موارد زیر الزامی می باشد.

مورد الزامی ۱: در صورتی که فاصله ساختگاه از تصویر افقی گسل فعال با قابلیت تولید بزرگای گشتاوری بزرگتر از ۷ (متناسب با دوره بازگشت مدنظر) کوچکتر از ۱۵ کیلومتر باشد و یا در صورتی که فاصله ساختگاه از تصویر افقی گسل فعال با قابلیت تولید بزرگای گشتاوری بزرگتر از ۶ (متناسب با دوره بازگشت مدنظر) کوچکتر از ۱۰ کیلومتر باشد، ساختگاه نزدیک به گسل شناخته شده و لازم است حداقل نیمی از شتاب نگاشت‌ها مربوط به شتاب نگاشت‌های حوزه نزدیک و دارای پالس باشند. در صورت موجود بودن نتایج تفکیک لرزه ای، می توان تعداد رکوردهای دارای پالس را بر اساس روابط تجربی موجود بدست آورد. برای تخمین تصویر افقی گسل نیازی به در نظر گرفتن بخش هایی از گسل که در اعماق بیش از ۱۰ کیلومتر از سطح زمین هستند نیست. در این بند صرفا گسل هایی با نرخ لغزش بیش از ۱ میلیمتر در سال لازم است مدنظر قرار گیرند.

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 مولفه افقی قوی تر در امتداد تقریبی عمود بر گسل و مولفه ضعیف تر در امتداد تقریبی موازی با گسل اعمال شود. در سایر موارد مولفه های افقی به صورت تصادفی در دو جهت اصلی سازه اعمال می شوند.

مورد الزامی ۳: تداوم شتاب نگاشت‌های انتخابی نباید کوچکتر از ۲۰ ثانیه باشد. در غیر این صورت لازم است کنترل شود که مدت زمان تداوم موثر^۱ مولفه های افقی شتاب نگاشت از ۳ برابر پرئود مود اصلی سازه کوچکتر نباشد. مدت زمان تداوم موثر عبارت است از محدوده زمانی بین ۰.۵٪ و ۹۵٪ شدت آریاس شتاب نگاشت.

تذکره: در صورتی که یافتن شتاب نگاشت مناسب از زلزله های ثبت شده به تعداد کافی امکان پذیر نباشد، استفاده از شتاب نگاشت های مصنوعی یا شبیه سازی شده بلامانع است.

^۱ Significant duration

۴-۳-۲ تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت

پس از انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب، لازم است شدت و سطح خطر لرزه‌های شتاب‌نگاشت‌ها 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 ۴-۳-۲-۲ ارائه شده است.

تذکره ۱: در این دستورالعمل فرض شده است که طیف طرح بدست آمده معرف طیف امتداد حداکثر^۳ می‌باشد که این فرض با نحوه تهیه طیف استاندارد ۲۸۰۰ نیز منطبق است. در صورتی که طیف ویژه ساختگاه بر اساس طیف میانگین هندسی^۴ تهیه شده باشد لازم است مقدار آن بر اساس طیف امتداد حداکثر اصلاح شود. برای این منظور در غیاب محاسبات دقیق، می‌توان مقدار طیف را در تمام پریودها در $1/3$ ضرب نمود.

تذکره ۲: استفاده از روش انطباق طیفی برای شتاب نگاشت‌های حوزه نزدیک دارای پالس تنها در صورتی مجاز است که منجر به از بین رفتن پالس 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 از بین رفته باشد، لازم است یا روش انطباق طیفی تغییر یابد و یا از روش مقیاس طیفی برای این شتاب نگاشت استفاده شود.

تذکره ۳: مزیت اصلی روش انطباق طیفی آن است که شکل طیف شتاب نگاشت می‌تواند در محدوده پریودی وسیعی مطابق طیف طرح شده و بر آن منطبق گردد. لیکن ایراد روش انطباق طیفی آن است که کلیه شتاب نگاشت‌هایی که به این طریق تنظیم شده‌اند، منجر به صورت تقریباً یکسانی منجر به تحریک سازه شده فلذا پراکندگی نتایج تحلیل لرزه‌ای به شکل صحیحی تعیین نخواهد شد. با این وجود هر دو روش مقیاس طیفی و انطباق طیفی در این دستورالعمل به صورت تک و یا ترکیبی قابل استفاده هستند.

^۱ Spectral Scaling

^۲ Spectral Matching

^۳ Maximum direction spectrum

^۴ Geometric Mean (Geomean)

۴-۳-۲-۱ روش مقیاس طیفی

روش مقیاس طیفی ساده ترین روش تنظیم دوره بازگشت شتاب نگاشت می باشد که در آن هر یک از شتاب نگاشت ها در یک ضریب ثابت به نام ضریب مقیاس ضرب می شوند. لذا در این روش شکل طیف هر یک از شتاب نگاشت ها ثابت مانده و تنها مقدار عددی شتاب طیفی بسته به مقدار ضریب مقیاس تغییر می کند. جزئیات این روش در گام های زیر ارائه شده و به صورت شماتیک در شکل (۴-۶) نیز نشان داده شده است.

گام ۱: تهیه طیف طرح با دوره بازگشت مدنظر و با درصد میرایی ۵٪

گام ۲: محاسبه پریود مود اصلی سازه (T_1) با در نظر گرفتن سختی موثر مورد انتظار میراگر/جداگر تحت زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال.

گام ۳: تهیه طیف شتاب با درصد میرایی ۵٪ از مولفه های افقی شتاب نگاشت نام

گام ۴: تهیه طیف شتاب SRSS (مجذور حاصل جمع مربعات طیف های شتاب دو مولفه افقی) برای شتاب نگاشت نام به طوری که دو طیف مولفه های افقی آن تبدیل به یک طیف SRSS شود.

گام ۵: تکرار گام های ۳ تا ۵ برای تمام شتاب نگاشت ها

گام ۶: تهیه طیف شتاب SRSS میانگین از تمام شتاب نگاشت ها (اگر N شتاب نگاشت در نظر گرفته شده باشد، N طیف SRSS بدست خواهد آمد که با میانگین گیری آن در هر پریود، یک طیف SRSS میانگین حاصل خواهد شد).

گام ۷: تنظیم ضریب مقیاس λ برای هر یک از شتاب نگاشت ها به طوری که در محدوده پریودی $0.15T_1$ تا $1.75T_1$ مقدار طیف SRSS میانگین از $1/15$ برابر طیف طرح تعیین شده در گام ۱ کوچکتر نباشد.

تذکره ۱: پریود مود اصلی سازه علاوه بر مشخصات سازه اصلی، به سختی موثر میراگر/جداگر نیز بستگی دارد که این پارامتر خود به حداکثر تغییر شکل رخ داده در میراگر/جداگر وابسته است.

لذا پیرو مود اصلی سازه در زلزله‌های با دوره بازگشت متفاوت مقادیر متفاوتی خواهد داشت. لیکن به منظور ساده سازی روند مقیاس شتاب نگاشت‌ها، در دستورالعمل حاضر صرفاً پیرو مود اصلی متناظر با زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ملاک تعیین محدوده پیرودی قرار گرفته است و در مقابل محدوده پیرودی قدری بزرگتر از مقدار لازم تعیین شده است. سختی موثر میراگر/جداگر بر اساس مشخصات مورد انتظار (میانگین) میراگر/جداگر می‌آید بدون در نظر گرفتن ضرایب مربوط به حد بالا/پایین مشخصات میراگر/جداگر. به عنوان روشی جایگزین، در گام ۷ میتوان محدوده پیرودی را در محدوده $0.2T_1$ تا $1.25T_1$ در نظر گرفت به شرطی که T_1 مود اصلی سازه تحت زلزله با دوره بازگشت مدنظر باشد. در این صورت برای دوره‌های بازگشت مختلف لازم است، بازه‌های پیرودی متفاوتی در نظر گرفته شود.

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. در هر صورت برای یک شتاب نگاشت، هر دو مولفه افقی دارای یک ضریب مقیاس یکسان خواهند بود.

تذکر ۳: اگرچه در گام ۷ 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 طیف SRSS شتاب نگاشت‌های مختلف به حداقل خواهد رسید.

تذکر ۴: ضرایب مقیاس هر یک از شتاب نگاشت‌ها به دوره بازگشت طیف طرح بستگی دارند. لیکن در صورتی که طیف طرح از روی طیف طرح با دوره بازگشت ۴۷۵ سال مطابق جدول (۱-۴) بدست آمده باشد، می‌توان ضرایب مقیاس را تنها برای طیف طرح ۴۷۵ ساله محاسبه کرده و برای سایر دوره‌های بازگشت از ضرایب جدول (۱-۴) برای اصلاح ضرایب مقیاس استفاده نمود.

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 پیرودی 0.1 ثانیه تا T_{VI} میانگین طیف شتاب مولفه‌های قائم شتاب نگاشت‌ها بیش از 10% از مقدار طیف طرح مولفه قائم با دوره

بازگشت مدنظر کمتر نباشد (T_{VI} پریود اولین مود ارتعاش قائم سازه است که در آن بیش از ۱۰٪ جرم موثر قائم سازه به صورت تجمعی فعال شده باشد).



شکل (۴-۶). 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. لذا در این روش شکل طیف شتاب نگاشت و محتوای فرکانسی آن تغییر کرده و به

شکل کامل تری با طیف طرح منطبق می‌شود. جزئیات این روش در گام‌های زیر ارائه شده و به صورت شماتیک در شکل (۴-۷) برای یک نمونه شتاب نگاشت نشان داده شده است.

گام ۱: تهیه طیف طرح با دوره بازگشت مدنظر و با درصد میرایی ۰.۵٪

گام ۲: محاسبه پریود مود اصلی سازه (T_1) با در نظر گرفتن سختی موثر مورد انتظار میراگر/جداگر تحت زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال.

گام ۳: تهیه طیف شتاب با میرایی ۰.۵٪ از مولفه‌های افقی شتاب‌نگاشت انتخابی

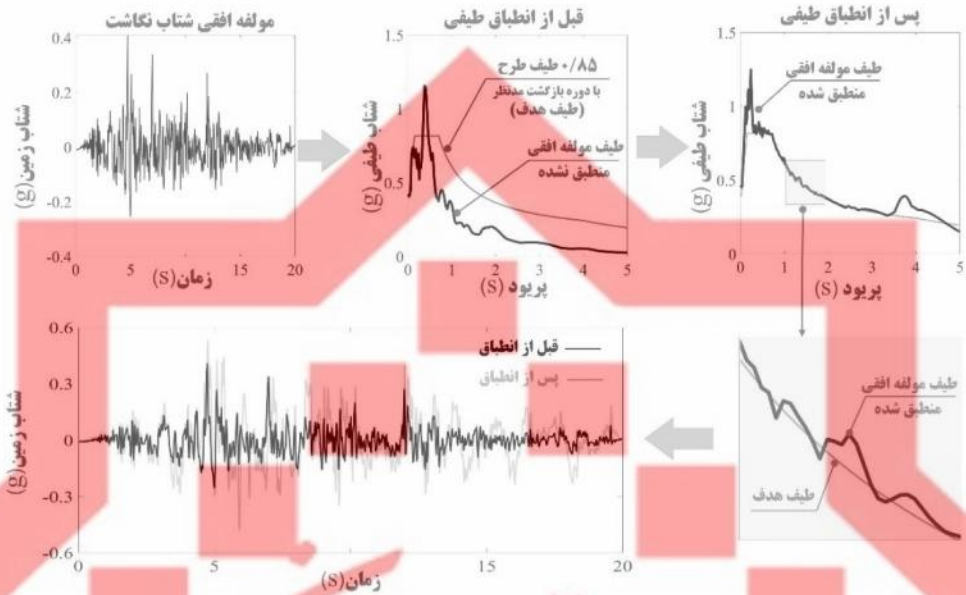
گام ۴: انجام انطباق طیفی برای هر یک از مولفه‌های افقی به صورت جداگانه به نحوی که مقدار طیف شتاب انطباق یافته در محدوده پریودی $0.15T_1$ تا $1.75T_1$ از مقدار 0.85 طیف طرح تعیین شده در گام ۱ کوچکتر نباشد.

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

تذکره ۱: در گام ۴ میتوان محدوده پریودی را در محدوده $0.2T_1$ تا $1.25T_1$ در نظر گرفت به شرطی که T_1 مود اصلی سازه تحت زلزله با دوره بازگشت مدنظر باشد. در این صورت برای دوره‌های بازگشت مختلف لازم است، بازه‌های پریودی متفاوتی در نظر گرفته شود.

تذکره 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.

تذکره ۳: 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 با دوره بازگشت مدنظر منطبق شود. این انطباق در محدوده پریودی 0.1 ثانیه تا T_{VI} انجام می‌گیرد (T_{VI} پریود اولین مود ارتعاش قائم سازه است که در آن بیش از 10% جرم موثر قائم سازه به صورت تجمعی فعال شده باشد).



شکل (۴-۷). روند انجام انطباق طیفی برای یکی از مولفه‌های افقی دسته شتاب نکاشت‌های انتخاب شده (این روند به طور مشابه برای تمام مولفه‌های افقی تمام شتاب نکاشت‌ها به طور جداگانه انجام می‌شود) - مقادیر موجود در شکل صرفاً به منظور نشان دادن روند کار است.

فصل ۵

طراحی سازه

مقررات

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل ساختمان

۵-۱ مقدمه

در این فصل روند طراحی سازه‌های مجهز به سیستم‌های اتلاف انرژی (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
- گام ۳: طراحی و توزیع بهینه میراگرها/جداگرها
- گام ۴: کنترل عملکرد لرزه ای

تذکره ۱: با توجه به رویکرد طراحی عملکردی استفاده شده در متن حاضر، ساختمان‌های مجهز به میراگر و جداگر می‌توانند دارای سیستم‌های باربر جانبی معمولی، متوسط یا ویژه بدون اعمال محدودیت در ارتفاع باشند. در قاب‌های خمشی فولادی و بتنی معمولی یا متوسط در صورتی که ارتفاع سازه فراتر از محدودیت‌های استاندارد ۲۸۰۰ باشد، لازم است کنترل ستون

قوی-تیر ضعیف بر اساس الزامات قاب‌های خمشی ویژه انجام شود. در این کنترل لازم است اثر دال روی تیر در نظر گرفته شود. همچنین در این شرایط دریافت طبقات تحت زلزله سطح ۱ (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) نباید از ۱/۵ درصد برای سیستم‌های متوسط و ۱ درصد برای سیستم‌های معمولی تجاوز کند.

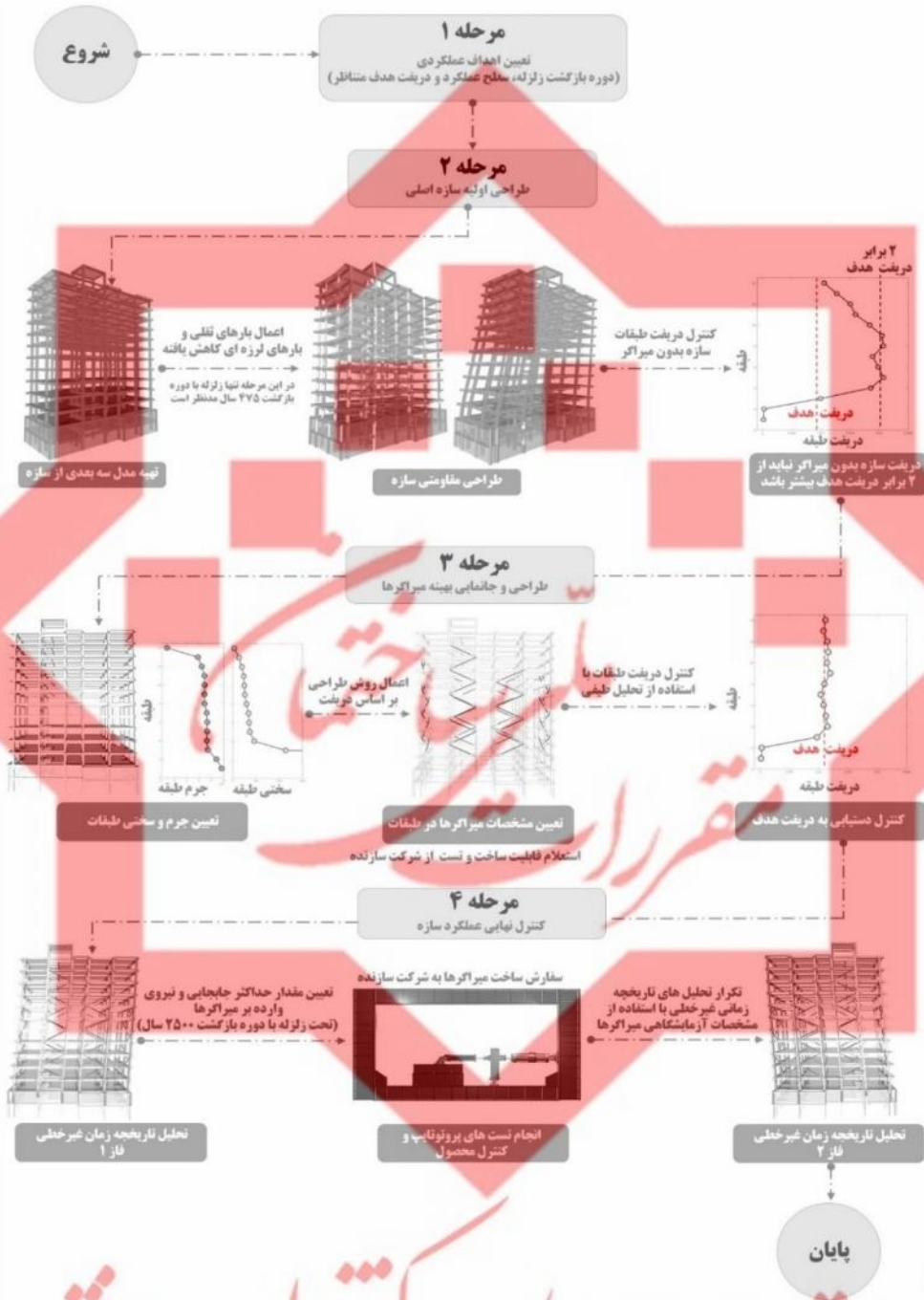
تذکره ۲: در مواردی که هدف بهسازی لرزه‌ای یک ساختمان موجود می‌باشد، مقاطع اعضای سازه‌ای از قبل مشخص بوده لذا گام ۲ از گام‌های چهارگانه فوق منتفی خواهد بود مگر آنکه نیاز به ایجاد تغییر در مقاطع اعضای سازه نیز باشد.

در بخش ۲-۵ روند طراحی سازه‌های مجهز به میراگر و در بخش ۳-۵ روند طراحی سازه‌های مجهز به جداگر مطرح شده است. با توجه به آنکه کنترل عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر مستلزم انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی می‌باشد، در بخش ۴-۵ الزامات انجام این نوع تحلیل ارائه شده است.

۲-۵ طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر

۱-۲-۵ روند کلی طراحی

روند کلی طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های اتلاف انرژی (میراگرها) در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. مطابق شکل (۱-۵) روند طراحی ساختمان‌های مجهز به میراگر در قالب ۴ گام اصلی قابل دسته بندی است که هر یک از گام‌های فوق در این بخش تشریح شده اند.



دقت مقرر است (۱-۵). فلوجارت 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 دستورالعمل مطابق جدول (۴-۱) در فصل ۴ تعریف می‌شوند. همچنین سطوح عملکردی مدنظر این دستورالعمل در جدول (۵-۱) معرفی شده‌اند. حداقل اهداف عملکردی برای ساختمان‌های جدید و بهسازی ساختمان‌های موجود به ترتیب مطابق جداول (۵-۲) و (۵-۳) در نظر گرفته می‌شوند.

تذکره ۱: از مقادیر دریفت متناظر با سطوح عملکرد مختلف که در جدول (۵-۱) ارائه شده‌اند می‌توان مقدار دریفت هدف ساختمان را برای دستیابی به یک سطح عملکرد مشخص تخمین زد.

تذکره ۲: مقادیر دریفت حداکثر متناظر سطوح عملکردی ارائه شده در جدول (۵-۱) مقادیری تقریبی بوده و صرفاً برای قاب‌های خمشی قابل استفاده هستند. برای سایر سیستم‌های باربر جانبی مقادیر دریفت متناظر با سطوح عملکردی معمولاً کوچکتر از مقادیر ارائه شده هستند.

تذکره ۳: مقدار دقیق دریفت متناظر با هر سطح عملکرد (دریفت هدف) برای هر نوع سیستم سازه‌ای از طریق انجام تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی (پوش اور) یا دینامیکی غیرخطی قابل تخمین است.

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

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

طراحی لوزه‌های ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لوزه‌ای — ۲۰۱

سطح عملکرد	خدمت رسانی بی وقفه (O)	استفاده بی وقفه (IO)	ایمنی جانی (LS)	آستانه فروریزش (CP)
حداکثر دریافت طبقه (دریافت هدف) مقادیر صرفاً برای قاب‌های خمشی است	0.3% ~ 0.7%	0.7% ~ 1.5%	1.5% ~ 2.5%	2.5% ~ 4.0%
حداکثر دریافت طبقه ماندگار	0.1%	0.2%	0.5%	-
حداکثر شتاب طبقه	0.25g	0.35g	-	-

مجلس ساختمان
مقررات

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

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

سطح خطر لرزه ای			درجه اهمیت ساختمان جدید
سطح ۲ (دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال)	سطح ۱ (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)	سطح سرویس (دوره بازگشت ۴۰ سال)	
LS یا IO*	IO	O	با اهمیت خیلی زیاد
LS	IO	O	با اهمیت زیاد
CP یا LS*	LS یا IO*	O	با اهمیت متوسط
در ساختمان‌های با اهمیت کم نیازی به استفاده از میراگر نیست			با اهمیت کم

* سطح عملکرد با در نظر ملاحظات فنی، اقتصادی و تاب آوری بر اساس نظر کارفرما مشخص می‌گردد.

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

سطح خطر لرزه ای			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)	
LS یا IO*	IO	O	با اهمیت خیلی زیاد
LS	IO	O	با اهمیت زیاد
CP یا LS*	LS یا IO*	O	با اهمیت متوسط
در بهسازی ساختمان‌های با اهمیت کم نیازی به استفاده از میراگر نیست			با اهمیت کم

* سطح عملکرد با در نظر ملاحظات فنی، اقتصادی و تاب آوری بر اساس نظر کارفرما مشخص می‌گردد.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۵-۲-۳ مرحله دوم - طراحی سازه اصلی

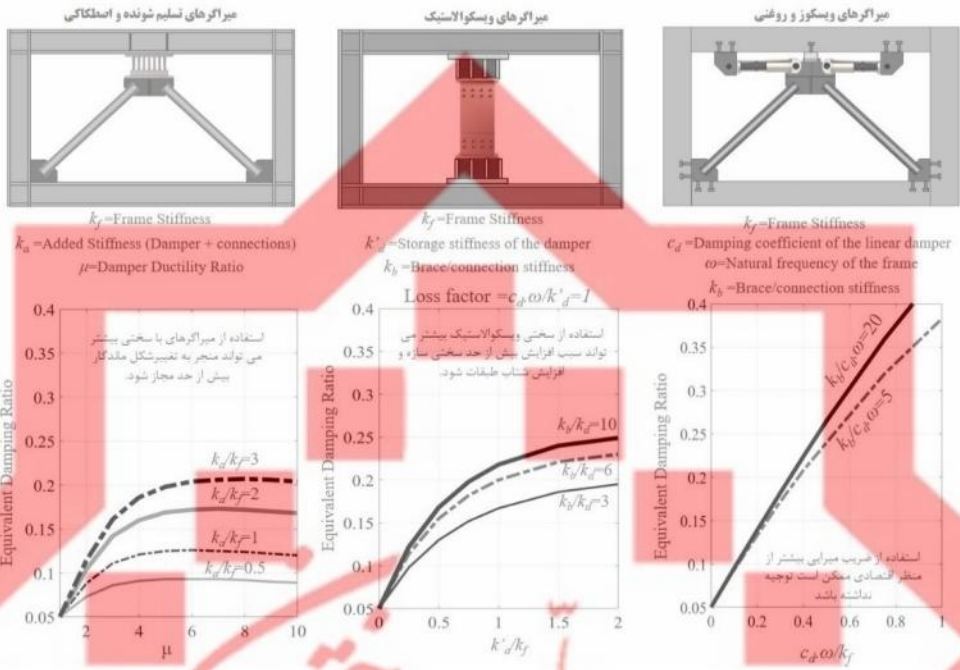
در مرحله دوم لازم است سیستم باربر ثقلی و سیستم باربر جانبی ساختمان بدون حضور میراگر طراحی شود. برای این منظور ابتدا مدلی سه بعدی از سازه ساخته شده، سپس کلیه بارهای ثقلی و نیروی زلزله کاهش یافته به سازه اعمال می‌شود. در این مرحله نیروی زلزله سطح ۱ برای سازه مطابق یک ساختمان فاقد میراگر محاسبه می‌شود سپس در یک ضریب کاهش ضرب شده و با استفاده از روش استاتیکی معادل به سازه اعمال می‌شود. در نهایت سازه برای نیروهای فوق طراحی مقاومتی شده و مقاطع اجزای سازه مشخص می‌گردند. این طراحی صرفاً به شکل مقاومتی بوده و نیازی به کنترل دررفت طبقات نمی‌باشد. مقدار ضریب کاهش زلزله برابر ضریب کاهش طیف طرح به واسطه میرایی می‌باشد که مطابق فصل ۴ قابل محاسبه است. مقدار میرایی معادل سازه را می‌توان از طریق شکل (۵-۲) محاسبه نمود. تحت هیچ حالتی، ضریب کاهش نیروی زلزله نباید کوچکتر از 0.7 انتخاب شود.

تذکر ۱: به جای محاسبه میرایی معادل، طراح می‌تواند ضریب کاهش نیروی زلزله را برابر 0.7 در نظر بگیرد. در این شرایط انتظار می‌رود بر اساس روند طراحی پیشنهادی دستورالعمل، میراگرهای سازه به نحوی بدست آیند که درصد میرایی سازه حداقل متناظر با ضریب کاهش 0.7 باشد. ضریب 0.7 متناظر میرایی 15% است که انتظار می‌رود حتی در صورت استفاده از میراگرهای وابسته به تغییر شکل نیز تحقق یابد.

تذکر ۲: به منظور صرفه جویی در تعداد و ظرفیت میراگرها در انتهای این گام لازم است دررفت طبقات سازه بدون میراگر کنترل شود به نحوی که دررفت طبقات از ۲ برابر مقدار دررفت هدف تجاوز نکنند. برای این منظور از تحلیل طیفی با استفاده از طیف با سطح خطر ۱ (بدون هم پایه سازی و اعمال ضرایب رفتار و تشدید تغییر مکان) استفاده می‌شود.

تذکر ۳: در مرحله طراحی اولیه، به جز بارهای لرزه‌ای، سایر بارها شامل بارهای ناشی از فشار خاک، برف و باد به صورت کامل به سازه اعمال میشوند و لازم است به صورت مقاومتی سازه بدون حضور میراگر قادر به تحمل این بارها نیز باشد.

تذکر ۴: در موارد بهسازی، مشخصات سازه اصلی موجود بوده و نیاز به انجام این گام نخواهد بود.



شکل (۵-۲). تخمین میرایی معادل در قباب یک درجه آزادی دارای میراگرهای مختلف (برای سازه‌های چند طبقه، سختی طبقه و مشخصات میراگر برابر مجموع سختی طبقات و مجموع مشخصات میراگرها در هر جهت می‌باشد).

۵-۲-۴ مرحله سوم - طراحی میراگرها

در مرحله سوم میراگرهای سازه به نحوی طراحی می‌شوند که دررفت طبقات از دررفت هدف تجاوز نکرده و بدین ترتیب به شکل غیرصریح عملکرد لرزه‌ای مدنظر برای سازه تامین شود. برای این منظور از روشی موسوم به روش طراحی بر مبنای دررفت^۱ استفاده می‌شود که جزئیات آن در ۴ گام به ترتیب زیر است. لازم است روش طراحی بر اساس دررفت برای هر دو امتداد ساختمان به طور جداگانه انجام شده و میراگرهای دو امتداد سازه به طور جداگانه طراحی شوند.

تذکره ۱: اگرچه روش پیشنهادی در این دستورالعمل روش طراحی بر مبنای دریفت است، لیکن طراح می‌تواند از سایر روش‌ها و الگوریتم‌ها نیز به منظور طراحی و جانمایی بهینه میراگرها استفاده کند.

گام ۱: تعیین جرم لرزه‌ای طبقات (ناشی از بار مرده و درصدی از بار زنده)، سختی جانبی طبقات، ارتفاع طبقات و دریفت طبقات ساختمان فاقد میراگر. دریفت طبقات بر اساس تحلیل طیفی با استفاده از طیف طرح بدون اعمال هم پایه سازی، ضریب رفتار و ضریب تشدید تغییرمکان تخمین زده می‌شود. نمونه این محاسبات برای یکی از امتدادهای یک ساختمان بتنی ۱۳ طبقه در جدول (۴-۵) نشان داده شده است.

گام ۲: تعیین سختی مورد نیاز در طبقات به نحوی که بردار مود اصلی سازه خطی شده (دریفت یکسان طبقات) و نیز مقدار دریفت طبقات برابر دریفت هدف گردد. سختی مورد نیاز در هر طبقه $(k_{req,i})$ مطابق رابطه (۱-۵) بدست می‌آید.

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

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

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

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

در روابط فوق دریفت 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 دریفت هدف ۱٪، مقدار $\Delta^* = 0.01$ است). بردار مود اصلی سازه با ϕ نشان داده شده و جرم طبقه q ام با m_q معرفی شده است. پارامتر n تعداد طبقات سازه بوده و شتاب طیفی با میرایی ۵٪ در فرکانس مورد نیاز یا ۵٪، $S_a(\omega_{req,1}, 5\%)$ نشان داده شده است که لازم است بر حسب متر بر مجذور ثانیه

(بدون تقسیم بر شتاب ثقل) بیان شود. ضریب مشارکت مود اصلی سازه با C_0 نشان داده شده است که مقدار آن از رابطه (۴-۵) 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 ۱: در قیاب محاسبات دقیق تر می توان برای ساختمان های ۱ طبقه مقدار C_0 را برابر ۱، برای ساختمان های ۵ طبقه مقدار آن را برابر ۱/۴ و برای ساختمان های بیش از ۱۰ طبقه مقدار C_0 را برابر ۱/۵ در نظر گرفت. برای سایر حالات می توان از درون یابی استفاده نمود.

از آنجا که در رابطه (۲-۵) مقدار شتاب طیفی خود به فرکانس مورد نیاز بستگی دارد، لذا لازم است ابتدا رابطه (۲-۵) 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 پررود و فرکانس مورد نیاز سازه را برای دستیابی به دریافت هدف مشخص می کند.

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

در انتهای این مرحله پس از تعیین سختی مورد نیاز در هر طبقه مطابق رابطه (۱-۵) و کم کردن سختی طبقه موجود (سختی قاب)، مقدار سختی مورد نیاز که لازم است از طریق میراگرها تامین شود بدست می آید 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 نمی باشد.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۲۰۷

جدول (۴-۵). مراحل ۱ و ۲ از روند طراحی بر اساس دریفت

گام ۱ طراحی بر اساس دریفت					گام ۲ طراحی بر اساس دریفت			
	C1	C2	C3	C4		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	n=13 صرفنظر از خربشته $C_0=1.47$ $\Delta^*=0.01$ $H=48.55m$ $T_{req}=1.54 s$ $\omega_{req}=4.08 rad/s$	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: سختی بدست آمده در مرحله قبل منجر به ایجاد شکل مودی خطی در مود اول سازه می‌گردد. لیکن به دلیل تاثیر مودهای بالاتر، لازم است به منظور دستیابی به دریفت یکنواخت در طبقات، اصلاحاتی در سختی طبقات صورت گیرد. برای این منظور کفیسست بر اساس سختی‌های بدست آمده در ستون C7 جدول (۴-۵) در سازه فنر‌هایی خطی تعریف شوند (مجموع مولفه افقی سختی فنرهای هر طبقه باید برابر سختی بدست آمده در ستون C7 شوند). سپس با استفاده تحلیل طیفی دریفت طبقات محاسبه می‌شود (بدون لحاظ هیچ نوع ضریب اصلاحی). در تحلیل طیفی لازم است تعداد مودهای 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 دریفت طبقات از تحلیل طیفی و با تقسیم دریفت هر طبقه بر دریفت هدف، ضریب اصلاح سختی مورد نیاز در طبقه بدست آمده و لازم است این ضریب در سختی مورد نیاز ستون C6 جدول (۴-۵) ضرب شده تا سختی مورد نیاز جدید در طبقات بدست آید. سپس با کم کردن سختی قاب از سختی مورد نیاز جدید، سختی مورد نیاز اصلاح شده میراگرها تعیین می‌شود. با

یک یا دو مرتبه تکرار روند فوق، مقدار دریفت طبقات به دریفت هدف همگرا می‌شود. نتایج این مرحله برای ساختمان ۱۳ طبقه مدنظر در جدول (۵-۵) ارائه شده است.

جدول (۵-۵). مرحله ۳ از روند طراحی بر اساس دریفت

گام ۳ طراحی بر اساس دریفت								
	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

گام ۴: در آخرین گام از روند طراحی بر اساس دریفت لازم است بر اساس سختی‌های مورد نیاز بدست آمده، 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 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 و با در نظر گرفتن تغییرشکل متناسط با دریفت هدف در میراگر، تغییرشکل تسلیم میراگر بدست آمده و با ضرب تغییرشکل 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 دریافت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۳) نشان داده شده است.

تذکره ۱: در صورتی که میراگر توسط اعضای مهاربندی به سازه متصل گردد، لازم است این اعضا به صورت الاستیک قادر به تحمل حداکثر ظرفیت نیرویی میراگر باشند.

تذکره ۲: به منظور محدود کردن تغییرشکل‌های ماندگار، لازم است مجموع سختی جانبی میراگرها در هر طبقه از ۳ برابر سختی جانبی طبقه تجاوز نکند. ($k_{ai} < 3 k_{ji}$). همچنین لازم است نسبت شکل پذیری از ۷ تجاوز نکند.

تذکره ۳: نیروی تسلیم میراگرها باید به نحوی باشد که میراگر تحت نیروهای ناشی از باد در محدوده الاستیک خود باقی بماند. به بیان دیگر نیروی باد ایجاد شده در میراگرهای تسلیمی نباید از حد پایین نیروی تسلیم میراگر تجاوز کند. در غیاب نتایج آماري ناشی از تست، حد پایین نیروی تسلیم میراگر را می‌توان $0/8$ برابر نیروی تسلیم مورد انتظار در نظر گرفت.

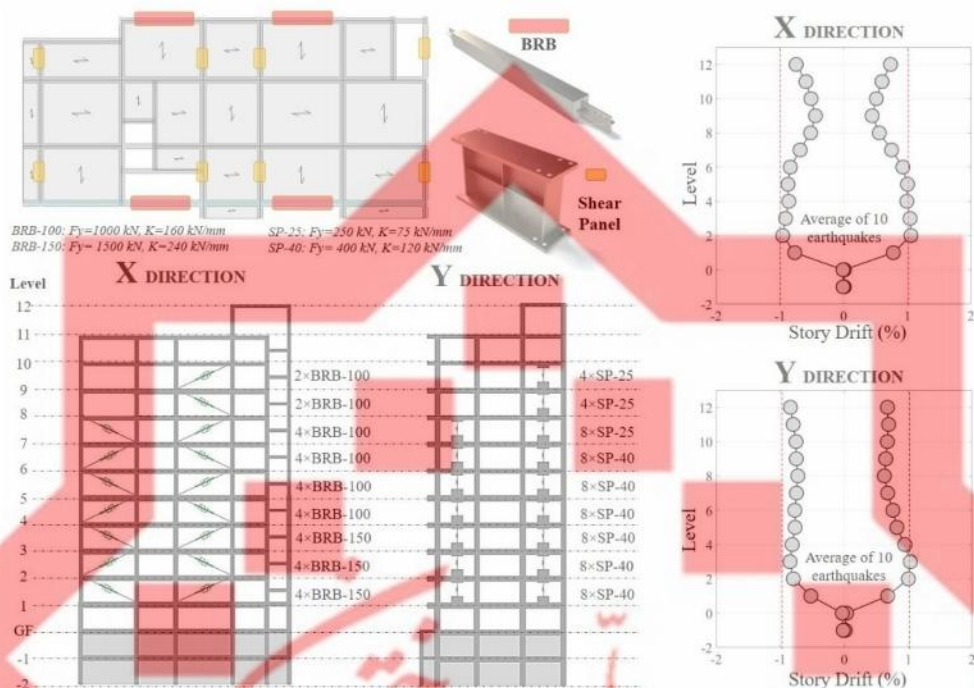
تذکره ۴: در خصوص چیدمان پانلی میراگرها به دلیل عدم صلبیت کافی تیرها، تنها بخشی از دریافت طبقه به میراگر منتقل می‌شود. لذا در مرحله طراحی میراگرهای تسلیمی با چیدمان پانلی، می‌توان نسبت شکل پذیری را بین ۴ الی ۱۰ در نظر گرفت.

تذکره ۵: ظرفیت تغییرشکل میراگر لازم است از تغییرمکان مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد.

تذکره ۶: لازم است در خصوص امکان ساخت و تست میراگرهای بدست آمده، از شرکت سازنده استعلام شود.

جدول (۶-۵). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریفت با فرض استفاده از میراگرهای تسلیمی از نوع مهاربند کماتش تاب با چیدمان قطری

	C15	C16=C15	C17	C18= C16/cos ² (θ)	C19= C3×C9	C20= C19cos(θ)	C21=C20/μ (μ=5)	C22= C18×C21	C23
Story	Finalized $K_{a,i}$ (kN/mm)	$K_{d,i}$ (kN/mm)	θ	$K_{d,i-Axial}$ (kN/mm)	Δ_{max} (mm)	$\Delta_{max-damper}$ (mm)	$\Delta_{y-damper}$ (mm)	$F_{y-damper}$ (kN)	Damper selection
12	0	0	-	-	-	-	-	-	-
11	58.7	58.7	25°	71.7	34	30.8	6.2	441	-
10	184.1	184.1	25°	224.9	34	30.8	6.2	1383	2×BRB-100
9	256.8	256.8	25°	313.7	34	30.8	6.2	1930	2×BRB-100
8	437.7	437.7	25°	534.7	34	30.8	6.2	3290	4×BRB-100
7	569.5	569.5	25°	695.7	34	30.8	6.2	4280	4×BRB-100
6	577.9	577.9	25°	706.0	34	30.8	6.2	4344	4×BRB-100
5	575.5	575.5	25°	703.1	34	30.8	6.2	4325	4×BRB-100
4	711.9	711.9	25°	869.7	34	30.8	6.2	5350	4×BRB-150
3	831.2	831.2	25°	1015.4	34	30.8	6.2	6247	4×BRB-150
2	802.8	802.8	25°	980.7	34	30.8	6.2	6034	4×BRB-150
1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
GF	0	0	-	-	-	-	-	-	-
-1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Damper type 1: BRB100: BRB with F_y of 1000 kN, Δ_y of 6.2 mm and $K=160$ kN/mm									
Damper type 2: BRB150: BRB with F_y of 1500 kN, Δ_y of 6.2 mm and $K=240$ kN/mm									



شکل (۳-۵). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای تسلیمی با هدف

دستیابی به دریفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱

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 جانبی مهاربندها بدست می‌آید. حد بالای نیروی لغزش میراگرها نباید بیشتر از ظرفیت مهاربندها در نظر گرفته شود. در غیاب نتایج آماری ناشی از تست، حد بالای نیروی لغزش میراگر را می‌توان $1/2$ برابر نیروی لغزش مورد انتظار (مقدار میانگین نتایج آزمایشات) 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 تست، حد پایین نیروی

لغزش میراگر را می‌توان $0/8$ برابر نیروی لغزش مورد انتظار (مقدار میانگین نتایج آزمایشات) در نظر گرفت. بنابراین نیروی لغزش مورد انتظار میراگرهای اصطکاکی لازم است در بازه زیر قرار بگیرد.

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

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 برابر تغییرشکل نسبی طبقه متناظر با دریافت هدف در نظر گرفت. نیروی 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 (۴-۵) نشان داده شده است.

تذکره ۱: 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.

تذکره ۲: اعمال محدودیت در مقدار حداکثر نسبت شکل پذیری سیستم مهاربند-میراگر اصطکاکی به منظور جلوگیری از تمرکز تغییرشکل در چند طبقه محدود و نیز به منظور کاهش تغییرشکل‌های ماندگار است.

تذکره ۳: به منظور محدود کردن تغییرشکل‌های ماندگار، لازم است مجموع سختی جانبی سیستم مهاربند-میراگر در هر طبقه از $2/5$ برابر سختی جانبی طبقه تجاوز نکند. $(k_{ai} < 2.5 k_{fi})$.

تذکره ۴: حد پایین نیروی لغزش میراگرهای اصطکاکی باید به نحوی باشد که میراگر تحت نیروهای ناشی از باد دچار لغزش نشود.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۲۱۳

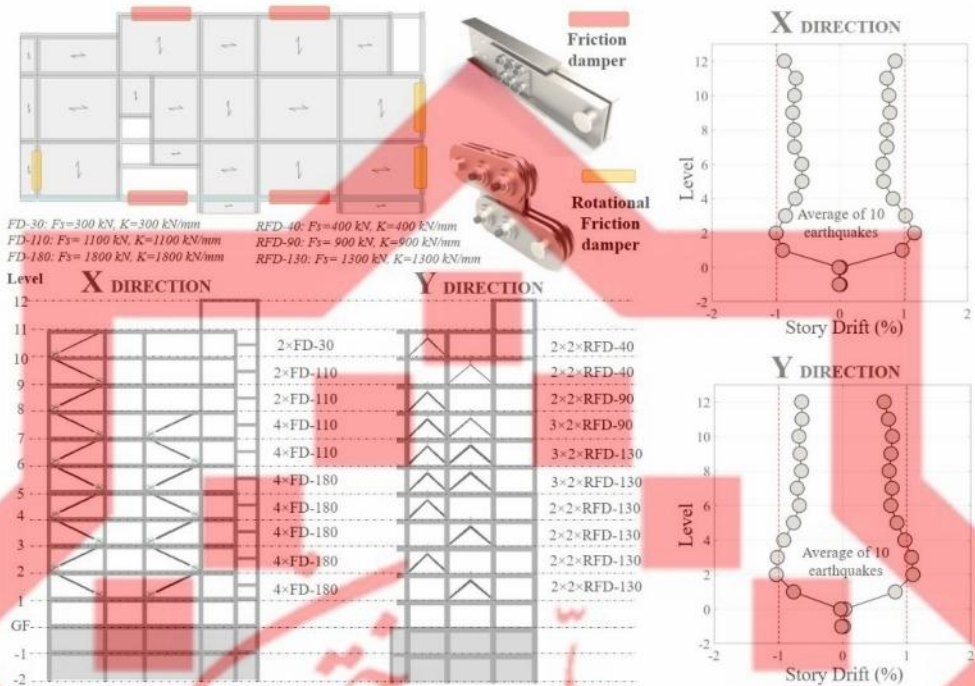
تذکره ۵: ظرفیت تغییرشکل میراگر لازم است از تغییرمکان مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد.

تذکره ۶: لازم است در خصوص امکان ساخت و تست میراگرهای بدست آمده، از شرکت سازنده استعلام شود.

جدول (۵-۷). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریفت 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)	$F_{slip,i}$ upper bound (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	Pipe200 (St52)	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									

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۴-۵). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای اصطکاکی با هدف دستیابی به دریفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱

تعیین مشخصات میراگرهای ویسکوز: میراگرهای ویسکوز و روغنی فاقد سختی استاتیکی هستند. لذا از سختی میراگرهای مورد نیاز بدست آمده صرفاً 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 می‌شوند. ضریب میرایی کل میراگرهای ویسکوز خطی مورد نیاز ساختمان از رابطه (۷-۵) قابل تخمین است.

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

(۷-۵)

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

در رابطه فوق C_{total} برابر مولفه افقی مقدار کل ضرایب میرایی میراگرهای ویسکوز خطی بوده و مقادیر ξ_0^* و ξ^* به ترتیب نسبت میرایی هدف و نسبت میرایی ذاتی سازه پیش از نصب میراگرهای ویسکوز 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. پیوند مود اصلی سازه در امتداد مدنظر برابر T_1 و مجموع سختی جانبی طبقات موثر در ارتعاش با K_{total} نشان داده شده است. درصد میرایی هدف برابر است با درصد میرایی لازم برای کاهش حداکثر دررفت طبقه به دررفت هدف. ضریب اصلاح پاسخ به واسطه حضور میرایی ویسکوز (DSF) مطابق رابطه (۵-۸) قابل تخمین است.

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

لذا کفایت نسبت میرایی هدف به نحوی تعیین شود که مقدار DSF برابر نسبت دررفت هدف به حداکثر دررفت 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 دررفت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.

تذکر ۱: رابطه (۵-۷) تنها برای میراگرهای ویسکوز خطی برقرار است.

تذکر ۲: 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، دررفت آنها بیش از دررفت 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.

تذکر ۳: ظرفیت نیرویی مورد نیاز برای میراگرهای ویسکوز را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد. مقدار نهایی ظرفیت مورد نیاز برای میراگرهای ویسکوز براساس نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی محاسبه می‌شود.

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

در رابطه فوق حداکثر سرعت و جابجایی وارده بر میراگر به ترتیب با v_{dmax} و Δ_{dmax} نشان داده شده اند. لازم به ذکر است این مقادیر لازم است برای زلزله سطح ۲ تخمین زده شده و ظرفیت مورد نیاز میراگرهای ویسکوز از این طریق تخمین زده شود. اگرچه ظرفیت نیرویی میراگرهای ویسکوز در مدل عددی تعریف نمی‌شوند، لیکن پارامتری بسیار تعیین کننده در تعیین مشخصات و تعداد میراگرها هستند. لذا لازم است حتما ظرفیت‌های تخمینی میراگرهای ویسکوز محاسبه شده و از شرکت سازنده در خصوص امکان ساخت و تست آن استعلام شود. تذکر ۴: ظرفیت تغییرشکل میراگر (استروک میراگر) لازم است از تغییرمکان مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد.

تذکر ۵: مهاربندهای متصل به میراگرهای ویسکوز لازم است قادر به تحمل حد بالای ظرفیت نیرویی میراگر باشند. در غیاب داده‌های آماری حاصل از تست، حد بالای ظرفیت میراگر را می‌توان ۱/۲ برابر ظرفیت مورد انتظار آن در نظر گرفت.

جدول (۵-۸). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دريقت با فرض استفاده از میراگرهای ویسکوز خطی با چیدمان قطری

	تخمین درصد میرایی مورد نیاز		تخمین ضریب میرایی کل		توزیع ضریب میرایی در طبقات			تعیین مجموع ضریب میرایی میراگرهای قطری طبقه	تیب بندی میراگرها
	C4	C9	C1		C15	C16= C15/SUM(C15)	C17=C16×C _{total}	C18	C19
Story	Δ_i	Δ_i^*	k_{fi} (kN/mm)	دریقت سه طبقه تحتانی بدون حضور میراگر نیز کوچکتر از دریفت هدف بوده، لذا در محاسبه مجموع سختی طبقات نادرده گرفته شده اند.	Finalized $K_{a,i}$ (kN/mm)	Damping weighted ratio	Required C_i (kN.s/mm)	Required C_i -Axial (kN.s/mm)	Damper selection
12	0.011	0.01	29.1		0	-	-	-	-
11	0.013	0.01	130.8		58.7	0.01	5.4	6.6	-
10	0.015	0.01	193.9		184.1	0.04	17.0	20.8	2×VD15
9	0.016	0.01	235.0		256.8	0.05	23.7	29.0	2×VD15
8	0.018	0.01	246.9		437.7	0.09	40.4	49.4	4×VD15
7	0.020	0.01	258.1		569.5	0.11	52.6	64.2	4×VD15
6	0.021	0.01	293.0		577.9	0.12	53.3	65.2	4×VD15
5	0.019	0.01	339.8		575.5	0.11	53.1	64.9	4×VD15
4	0.020	0.01	350.0		711.9	0.14	65.7	80.3	4×VD20
3	0.021	0.01	365.9		831.2	0.17	76.7	93.7	4×VD20
2	0.019	0.01	460.1		802.8	0.16	74.1	90.5	4×VD20
1	0.010	0.01	1134.9	$K_{total} = 2902$ kN/mm	0	-	-	-	-
GF	0.000	0.01	25110.7	$T1 = 2$ s $C_{total} = 462$ $kN.s/mm$	0	-	-	-	-
-1	0.000	0.01	50176.3		0	-	-	-	-

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

تذکره ۶: در صورت استفاده از میراگرهای ویسکوز غیرخطی، لازم است ابتدا با فرض خطی بودن، 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 (۹-۵) قابل تخمین است.

$$C_{NL} = \frac{(\omega \Delta_{dmax})^{1-\alpha}}{\beta} C_L \quad (9-5)$$

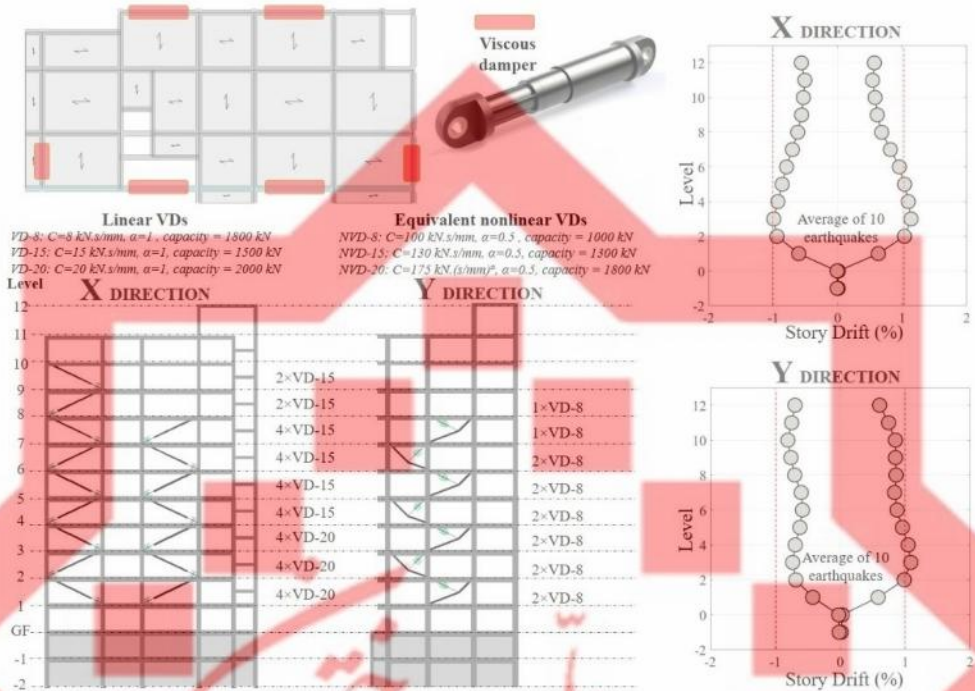
در رابطه فوق C_L ضریب میرایی میراگر ویسکوز خطی و C_{NL} ضریب میرایی میراگر ویسکوز غیرخطی معادل آن می‌باشد. توان سرعت میراگر ویسکوز غیرخطی α بوده و ω فرکانس مود اصلی ساختمان است. پارامتر β تابعی از توان سرعت میراگر غیرخطی می‌باشد که مقدار آن بر اساس جدول (۹-۵) بدست می‌آید. تغییرشکل حداکثر میراگر با Δ_{dmax} نشان داده شده است که مقدار آن بر اساس دریافت هدف طبقه قابل تخمین است.

جدول (۹-۵). مقدار پارامتر β برای تبدیل ضریب میرایی میراگر ویسکوز خطی به میراگر ویسکوز غیرخطی

$\alpha=0$	$\alpha=0.15$	$\alpha=0.35$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.75$	$\alpha=1$
$\beta=1.273$	$\beta=1.218$	$\beta=1.155$	$\beta=1.113$	$\beta=1.052$	$\beta=1.000$

در شکل (۵-۵) میراگرهای ویسکوز غیرخطی معادل میراگرهای ویسکوز خطی ساختمان ۱ طبقه ارائه شده اند.

تذکره ۷: رفتار نیرو-سرعت در میراگرهای روغنی معمولا به صورت دوخطی است که تا حد زیادی مشابه رفتار میراگرهای غیرخطی با توان سرعت کوچک (معمولا کوچکتر از ۰.۳) می‌باشد. لذا برای طراحی اولیه میراگرهای روغنی نیز می‌توان از روش معادل سازی ارائه شده برای میراگرهای ویسکوز غیرخطی استفاده نمود.



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

تعیین مشخصات میراگرهای ویسکوالاستیک: میراگرهای ویسکوالاستیک نه تنها میرایی بلکه مقداری سختی نیز به سازه تزریق می‌کنند. لذا با کمی تغییرات، می‌توان مشابه میراگرهای ویسکوز، میراگرهای ویسکوالاستیک را نیز به شکل بهینه در سازه جانمایی نمود. ابتدا با صرفنظر کردن از تغییرسختی سازه، ضریب میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک مشابه روش ارائه شده برای میراگرهای ویسکوز تعیین می‌گردد. بدین ترتیب ضریب میرایی لازم در هر طبقه تعیین خواهد شد. سپس مطابق رابطه (۵-۱۰)، سختی مربوط به میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه محاسبه می‌گردد.

$$k_{di} = \frac{\omega C_i}{\eta} \quad (۵-۱۰)$$

در رابطه فوق k_{di} مجموع سختی جانبی میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقه i ام بوده و ω و η به ترتیب فرکانس مود اصلی سازه (در امتداد مدنظر) و ضریب اتلاف انرژی میراگر ویسکوالاستیک

است (که تابعی از دما، فرکانس و نوع ماده پلیمر ویسکوالاستیک به کار رفته در میراگر می‌باشد). 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 (۵-۱۱) 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 محاسبه شده اند. مقدار DSF نیز برابر مقدار دررفت هدف به دررفت سازه بدون میراگر می‌باشد.

$$DSF = \sqrt{\frac{1+25\xi_0}{1+25\xi^*}} \times \sqrt{\lambda_k} \rightarrow \xi^* = \frac{1}{25} \left(\frac{1+25\xi_0}{DSF^2} \lambda_k - 1 \right) \quad (11-5)$$

مطابق رابطه (۵-۱۲) 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 (۵-۱۲) پارامتر T'_1 پریود مود اصلی سازه پس از قرارگیری میراگرهای ویسکوالاستیک است.

$$C_{total} = \frac{(\xi^* - \xi)}{\pi} T'_1 (K_{total} + \sum k_{di}) T'_1 = T'_1 \sqrt{\lambda_k} \quad (12-5)$$

پس از تعیین ضرایب میرایی میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه با استفاده از رابطه (۵-۱۳) مقدار سختی میراگرهای ویسکوالاستیک در هر طبقه محاسبه می‌شود.

$$k_{di} = \frac{\omega' c_i}{\eta} \omega' = \frac{\omega}{\sqrt{\lambda_k}} \quad (13-5)$$

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 طراحی ساختمان به همراه دررفت‌های حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در شکل (۵-۶) نشان داده شده است.

تذکره ۱: ظرفیت نیرویی میراگرهای ویسکوالاستیک لازم است بسته به تغییر شکل محتمل میراگر تخمین زده شود. برای این منظور می‌توان با صرفنظر از نیروی ویسکوز (به دلیل اختلاف فاز با

نیروی الاستیک)، با ضرب سختی میراگر در تغییرشکل محتمل میراگر تحت زلزله سطح ۲، ظرفیت نیرویی مورد نیاز برای میراگر ویسکوالاستیک را تخمین زد.

تذکر ۲: ظرفیت تغییرشکل میراگر لازم است از تغییرمکان مورد انتظار میراگر تحت زلزله سطح ۲ کمتر نباشد.

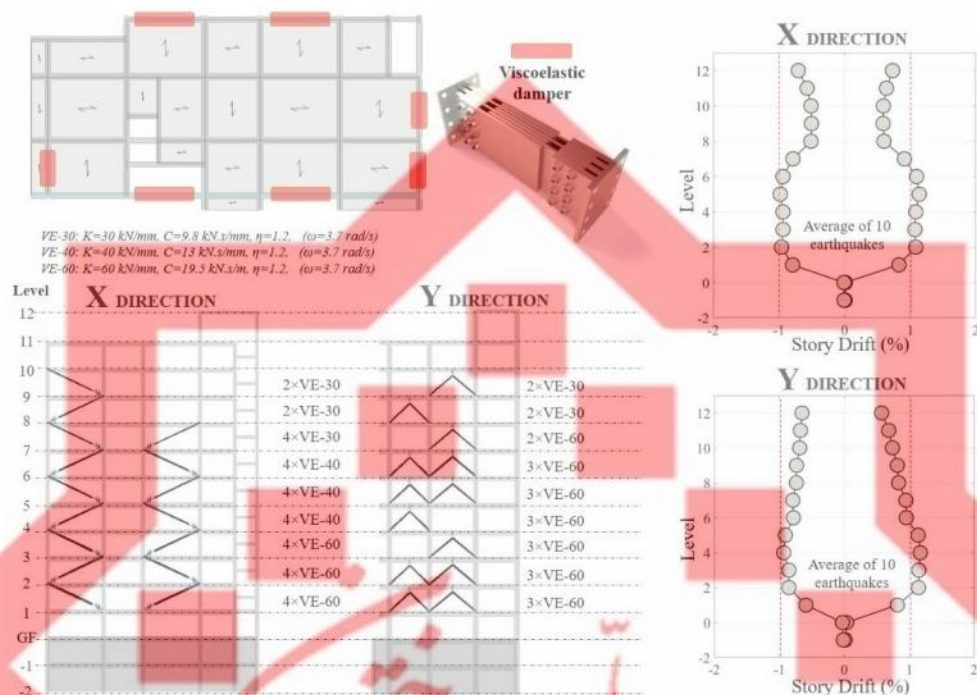
تذکر ۳: لازم است امکان ساخت و تست میراگرهای مدنظر از شرکت سازنده استعلام شود.

تذکر ۴: 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.

جدول (۵-۱۰). گام ۴ از روند طراحی بر اساس دریافت با فرض استفاده از میراگرهای ویسکوز الاستیک با چیدمان قطری

Story	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		
	Damping weighted ratio	Required C_{di} (kN.s/mm)	Required k_{di} (kN/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	-	-	0.0		0.0	0.0		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	$\sum k_{di}=1209$ 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	12.9	40.3	$\sum k_{di}=1097$ 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	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	0.0	-
GF	-	-	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	-
-1	-	-	0.0		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



شکل (۵-۶). نمونه طراحی ساختمان ۱۳ طبقه مجهز به میراگرهای ویسکوالاستیک

با هدف دستیابی به دریفت ۱٪ تحت زلزله سطح ۱

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 دریفت 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 دریفت طبقات از دریفت هدف تجاوز نکنند.

تذکره ۱: در چیدمان ترکیبی معمولاً میراگرها از دو دسته مختلف (وابسته به تغییرشکل 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 ۲: 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 ۳: با توجه به اینکه میراگرهای وابسته به تغییرشکل در تغییرشکل‌های کوچک قابلیت استهلاک انرژی خود را نشان نمی‌دهند، لذا توصیه می‌شود میراگرهای وابسته به تغییرشکل تا جای ممکن در طبقات تحتانی و میراگرهای وابسته به سرعت در طبقات فوقانی جانمایی شوند.

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 سازه مجهز شده به میراگر ارزیابی و کنترل 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 دینامیکی غیرخطی یک مرتبه با فرض حد پایین مشخصات میراگرها و یک مرتبه با فرض حد بالای مشخصات 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 عملکرد اجزای نیرو-کنترل، عملکرد اجزای تغییرشکل-کنترل، حداکثر دررفت طبقات، حداکثر شتاب طبقات، حداکثر برش طبقات، دررفت ماندگار طبقات و در نهایت حداکثر نیرو و تغییرشکل ایجاد شده در میراگرها.

تذکر ۱: انجام کنترل فاز ۱ مستلزم استفاده از مدل‌های غیرخطی می‌باشد که جزئیات آن در بخش ۵-۴ ارائه شده است.

تذکر ۲: قبل از انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، می‌توان با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی برآورده اولیه‌ای از عملکرد سازه بدست آورده و در صورت لزوم تغییراتی در سازه اعمال نمود. لیکن در نهایت لازم است تحلیل‌های دینامیکی

غیرخطی نیز انجام شود و ملاک عملکرد سازه نمی‌تواند تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی باشد.

■ گام ۲: انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول
در این مرحله با توجه به مشخصات میراگرها، به شرکت سازنده سفارش ساخت داده شده و ابتدا نمونه‌های اولیه از میراگر ساخته شده و به صورت پروتوتایپ تست می‌شوند و در صورتی که مشخصات مورد نیاز برآورده شده باشد، به تعداد مورد نیاز میراگرها ساخته شده و تست‌های کنترل محصول بر روی آنها انجام می‌شود. جزئیات تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در فصل ۶ ارائه شده است.

■ گام ۳: کنترل فاز ۲
در کنترل فاز ۲ لازم است یک بار دیگر کنترل فاز ۱ تکرار شود با این تفاوت که مشخصات مدل میراگرها بر اساس نتایج تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول ساخته شده و در نرم افزار تحلیلی تعریف شده اند.

تذکره ۳: در صورتی که مشخصات میراگرهای در نظر گرفته شده در کنترل فاز ۱ با مشخصات بدست آمده از تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول بیش از ۱۰٪ اختلاف نداشته باشد، نیازی به انجام کنترل فاز ۲ نبوده و نتایج حاصل از کنترل فاز ۱ را می‌توان به عنوان نتایج نهایی در نظر گرفت.

۵-۳ طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای

۵-۳-۱ روند کلی طراحی

روند کلی طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای در شکل (۵-۷) نشان داده شده است. مطابق شکل (۵-۷) روند طراحی ساختمانی‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای شامل ۵ مرحله اصلی است که هر یک از آنها در این بخش تشریح شده اند.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۵-۳-۲ مرحله اول - 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 دارای سیستم جداساز لرزه‌ای در جداول (۵-۱۱) و (۵-۱۲) به ترتیب برای سازه‌های جدید و بهسازی سازه‌های موجود ارائه شده است. لازم است حداقل دریافت طبقات در قسمت بالا و پایین تراز جداسازی شده تحت زلزله سطح ۲ به ترتیب به مقادیر ۱٪ و ۳٪/۰ محدود شود.

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)	
LS یا IO*	IO	O	با اهمیت خیلی زیاد
LS	IO	O	با اهمیت زیاد
LS	LS یا IO*	O	با اهمیت متوسط

* سطح عملکرد با در نظر ملاحظات فنی، اقتصادی و تاب آوری بر اساس نظر کارفرما مشخص می‌گردد.

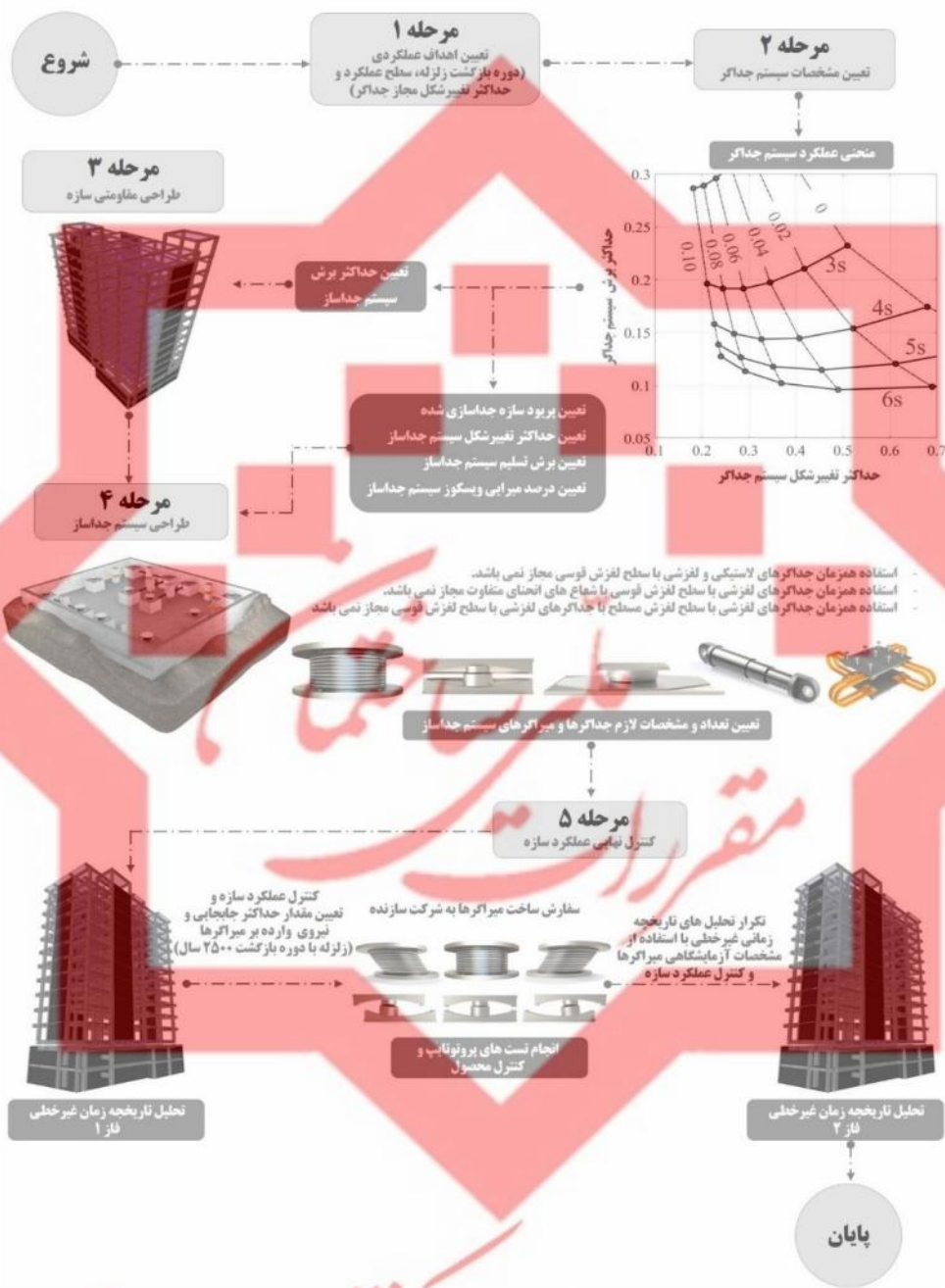
جدول (۵-۱۲). حداقل اهداف عملکردی بهسازی ساختمان‌های

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)	
LS یا IO*	IO	O	با اهمیت خیلی زیاد
LS	IO	O	با اهمیت زیاد
LS	LS یا IO*	O	با اهمیت متوسط

* سطح عملکرد با در نظر ملاحظات فنی، اقتصادی و تاب آوری بر اساس نظر کارفرما مشخص می‌گردد.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۷). فلوجارت طراحی ساختمان‌های مجهز به سیستم جداگر لرزه‌ای

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

تذکر: در سازه‌های مجهز به سیستم جداساز لرزه ای، برای اینکه سیستم جداساز بتواند نقش خود را به درستی ایفا کند، لازم است رفتار غیرارتجاعی سازه اصلی در بالای تراز جداسازی شده محدوده شده و رفتار سازه در قسمت پایین تراز جداسازی شده کاملاً در محدوده الاستیک خود باقی بماند. به بیان دیگر برخلاف سیستم‌های دارای میراگر که در آن سازه اصلی نیز می‌تواند وارد محدوده غیرارتجاعی خود شود، در ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز، لازم است رفتار غیرارتجاعی سازه اصلی محدود شود در غیر این صورت عملکرد سیستم جداگر مختل خواهد شد.

۵-۳-۳ - تعیین مشخصات سیستم جداگر

در این مرحله مشخصات سیستم جداساز لرزه‌ای مشخص می‌گردد. در این دستورالعمل از روش تعادل انرژی^۱ استفاده شده است که جزئیات کامل آن در دستورالعمل جداگرهای لرزه‌ای ژاپن (AIJ, 2016) ارائه شده است. در این روش نسبت حداکثر برش سیستم جداگر به وزن روسازه ($\alpha_{max-SRSS}$) و حداکثر تغییرشکل برشی سیستم جداساز ($\Delta_{max-SRSS}$) به صورت زیر تخمین زده می‌شود. این مقادیر برابر با مقدار SRSS برش و جابجایی سیستم جداگر در هر دو امتداد افقی می‌باشند.

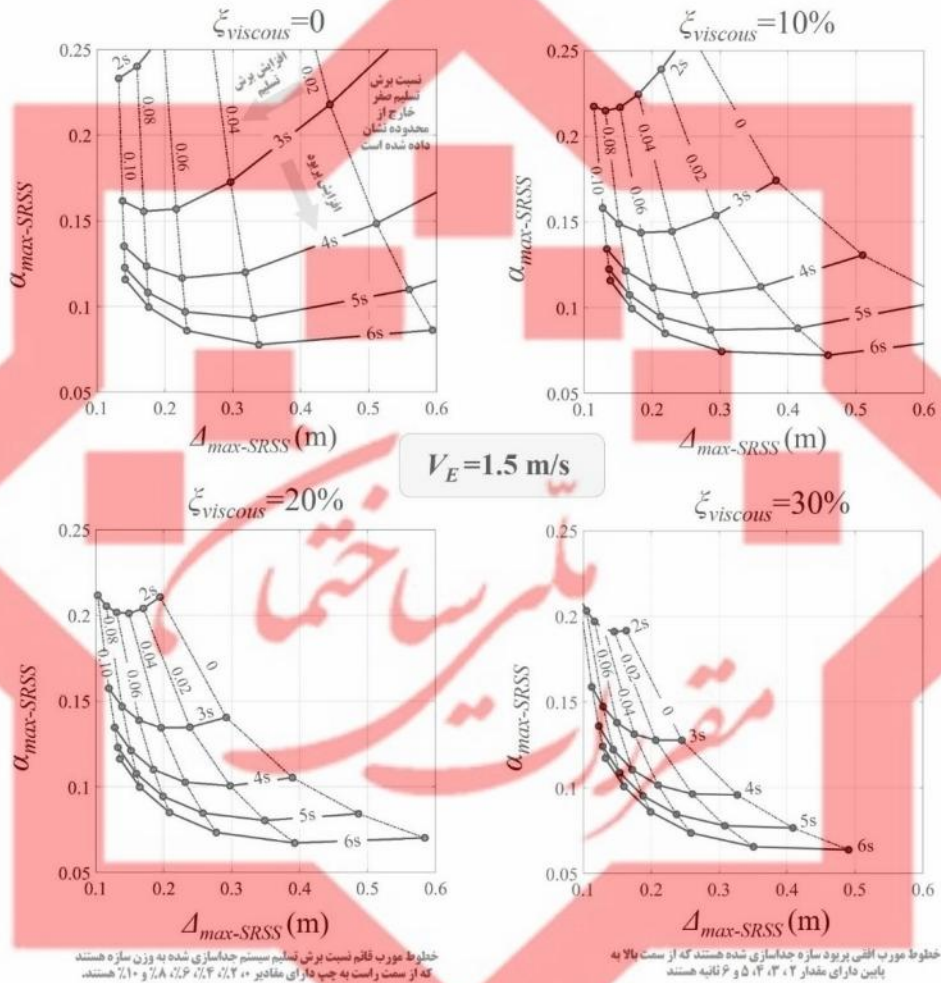
$$\alpha_{max-SRSS} = \frac{\sqrt{1+\xi_{viscous}^2}}{1+4\pi n\xi_{viscous}} \left\{ -4n\alpha_y + \sqrt{(4n\alpha_y)^2 + (1+4\pi n\xi_{viscous}) \left(\frac{2\pi V_E}{T_{iso}g} \right)^2} \right\} + \alpha_y \quad (14-5)$$

$$\Delta_{max-SRSS} = \frac{1}{1+4\pi n\xi_{viscous}} \left\{ -n\alpha_y \left(\frac{T_{iso}}{\pi} \right)^2 g + \sqrt{(n\alpha_y)^2 \left(\frac{T_{iso}}{\pi} \right)^4 g^2 + (1+4\pi n\xi_{viscous}) \left(\frac{T_{iso}V_E}{2\pi} \right)^2} \right\} \quad (15-5)$$

در روابط فوق $\xi_{viscous}$ نسبت میرایی ویسکوز سیستم جداساز بوده و α_{γ} نسبت برش تسلیم سیستم جداساز به وزن سازه روی تراز جداسازی شده می‌باشد (هر دو پارامتر دارای مقادیری بین صفر تا یک هستند). پیوند مود اصلی سازه جداسازی شده با T_{iso} نشان داده شده و پارامتر n تعداد سیکل‌های معادل برای استهلاک انرژی ورودی در سیستم جداسازی شده است. مقدار پارامتر n را می‌توان برابر ۲ در نظر گرفت. پارامتر V_E برابر سرعت معادل سیستم جداساز بر اساس انرژی ورودی می‌باشد. مطابق رابطه (۵-۱۶) می‌توان مقدار V_E را بر حسب مقدار طیف طرح شتاب و طیف طرح سرعت در پیوند مود اصلی سازه جداسازی شده برآورد نمود.

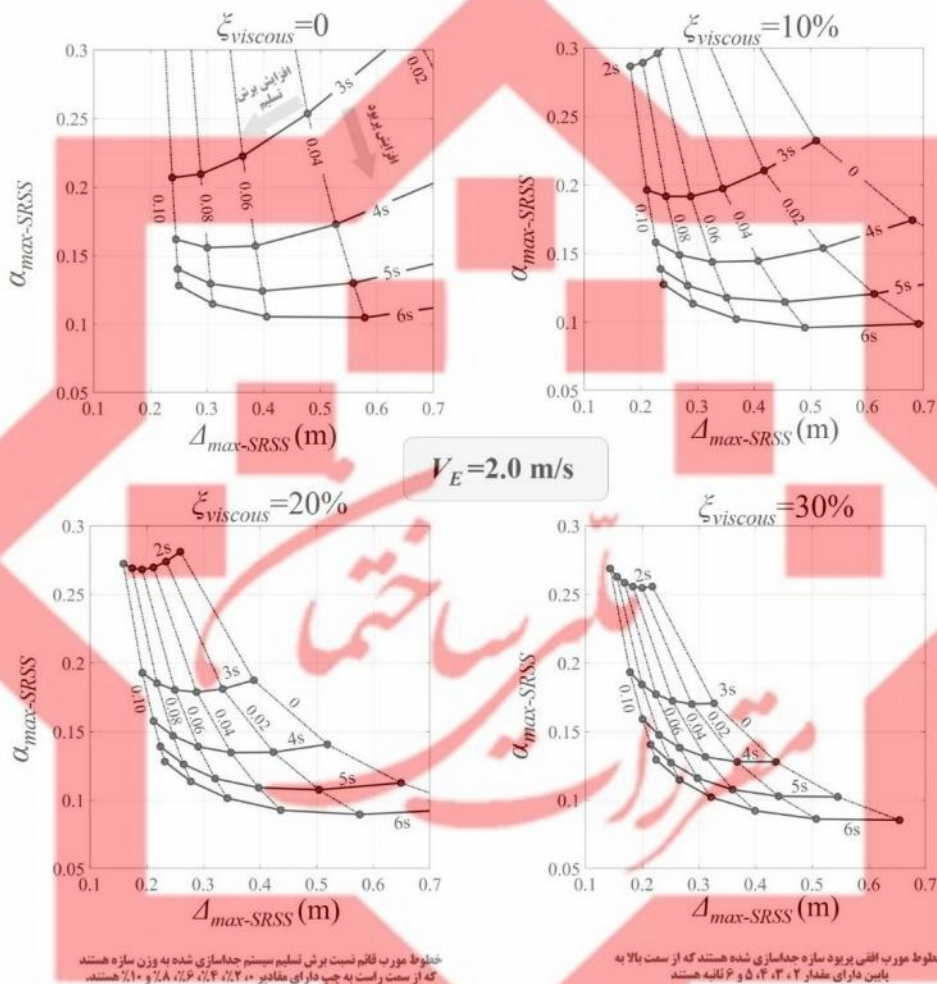
$$V_E = 1.4S_V(T_{iso}, 5\%) = 1.4 \frac{gT_{iso}}{2\pi} S_a(T_{iso}, 5\%) \quad (۵-۱۶)$$

در رابطه فوق S_a و S_V مقدار طیف شتاب و طیف سرعت با میرایی ۵٪ در پیوند جداسازی شده هستند. در رابطه فوق لازم است مقدار S_V بر حسب m/s بوده 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، لذا برآورد مقدار V_E بر اساس طیف سرعت ساده تر بوده و در اغلب موارد برای یک سطح خطر و منطقه مشخص مستقل از پیوند خواهد بود. این پارامتر معرف سطح خطر لرزه‌ای می‌باشد. با استفاده از روابط (۵-۱۴) و (۵-۱۵) می‌توان منحنی‌های عملکردی برای سیستم جداسازی بدست آورد. این منحنی‌ها برای مقادیر مختلف سرعت معادل انرژی (V_E) در شکل‌های (۵-۸) تا (۵-۱۲) ارائه شده اند که طراح می‌تواند به جای استفاده از روابط (۵-۱۴) و (۵-۱۵) از منحنی‌های عملکردی به منظور تعیین مشخصات سیستم جداگر استفاده کند.



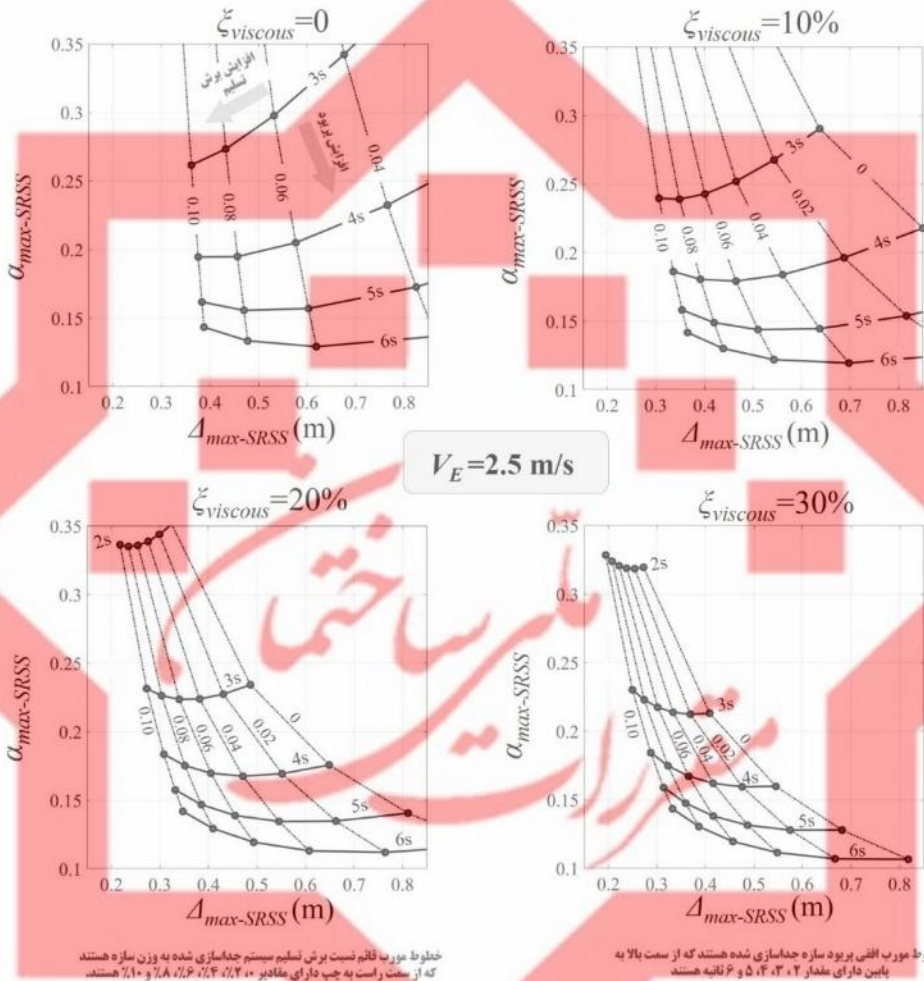
شکل (۵-۸). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 1.5 \text{ m/s}$

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

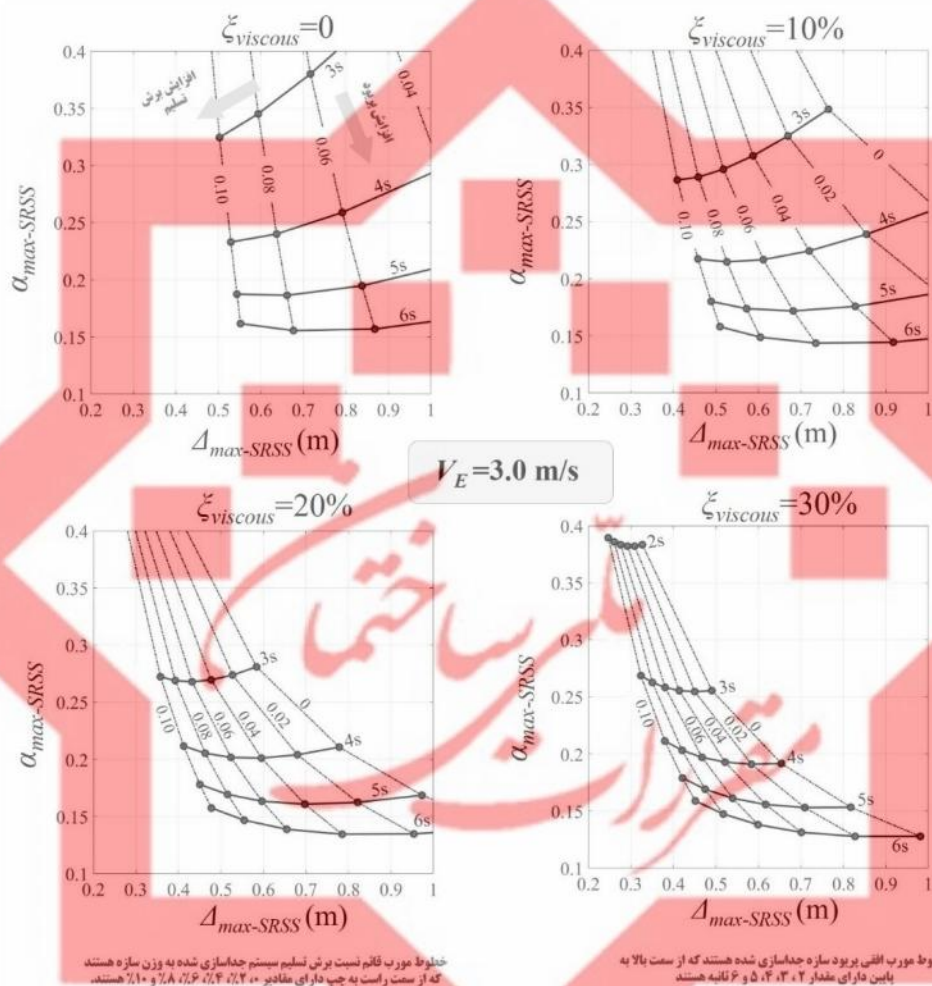


شکل (۵-۹). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای

سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 2.0 \text{ m/s}$

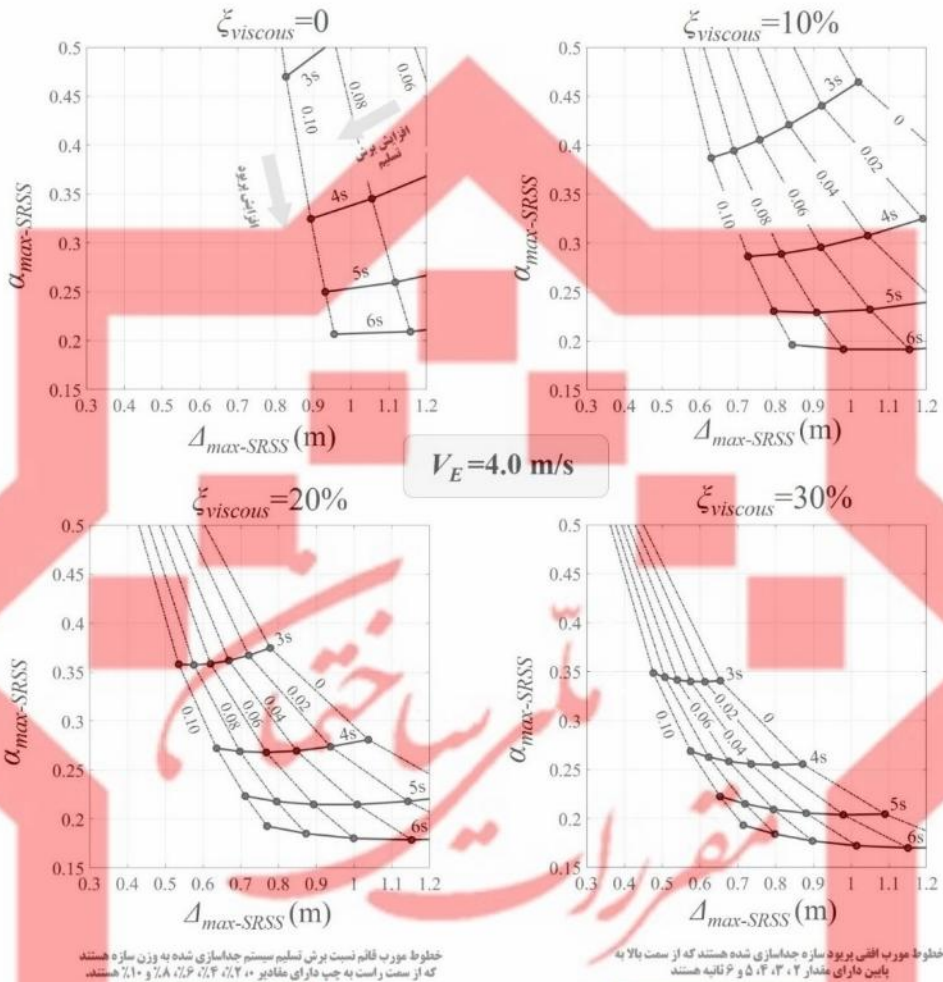


شکل (۵-۱۰). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 2.5 \text{ m/s}$



شکل (۵-۱۱). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای

سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 3.0 \text{ m/s}$



شکل (۵-۱۲). منحنی‌های عملکردی سیستم جداساز لرزه‌ای برای

سرعت معادل انرژی ورودی $V_E = 4.0 \text{ m/s}$

تذکره ۱: فرض روش فوق بر این است که سیستم جداساز 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.

تذکره 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 داشته باشند. تذکر ۳: نسبت برش تسلیم در سیستم جداساز از طریق نشیمنگاه‌های سیستم جداگر، میراگرهای تسلیمی، میراگرهای اصطکاکی و میراگرهای روغنی دارای شیر تنظیم فشار قابل تامین است.

تذکر ۴: با استفاده از منحنی‌های عملکردی سیستم جداسازی 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 محدودیت وجود دارد می‌تواند ملاک طراحی سیستم جداساز باشد.

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 متعاقبا نیروی وارده بر سازه روی تراز جداساز از مقدار مشخصی فراتر نرود. این قابلیت برای بهسازی سازه‌های موجود که ظرفیت جانبی مشخصی دارند می‌تواند ملاک طراحی سیستم جداساز باشد.

تذکر ۶: نسبت برش تسلیم در سیستم جداساز نباید کوچکتر از مقدار نسبت برش ناشی از بار باد باشد. لذا 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.

تذکر ۷: حداکثر تغییرشکل و حداکثر برش سیستم جداساز بدست آمده در این مرحله مربوط به هر دو امتداد افقی به شکل همزمان هستند. به عبارت دیگر به طور تقریبی مقدار SRSS تغییرشکل حداکثر و برش حداکثر جداساز در هر دو امتداد سازه برابر با مقادیر تخمین زده شده از منحنی‌های عملکردی خواهد بود. لذا برای تخمین مقادیر در هر امتداد به طور مجزا لازم است برش حداکثر و تغییرشکل حداکثر بدست آمده از منحنی‌های عملکردی بر عدد $1/3$ تقسیم گردد.

$$\alpha_{max} \approx \frac{\alpha_{max-SRSS}}{1.3}, \Delta_{max} \approx \frac{\Delta_{max-SRSS}}{1.3} \quad (17-5)$$

۵-۳-۴ مرحله سوم - طراحی مقاومتی سازه

در این مرحله لازم است سازه روی سیستم جداساز و زیر سیستم جداساز طراحی گردد. در خصوص بخشی از سازه که در زیر سیستم جداساز لرزه‌ای قرار می‌گیرد لازم است این بخش در کلیه سطوح خطر لرزه‌ای به شکل کامل در محدوده الاستیک قرار گیرد. لیکن قسمتی از سازه که در بالای سیستم جداساز لرزه‌ای واقع شده است می‌تواند در سطوح خطر شدیدتر مقدار اندکی وارد محدوده غیرارتجاعی خود شود. روند طراحی بخش‌های فوقانی و تحتانی سازه مطابق بندهای ۵-۳-۴-۱ و ۵-۳-۴-۲ صورت می‌پذیرد. این روند به صورت شماتیک در شکل (۵-۱۳) نشان داده شده است.

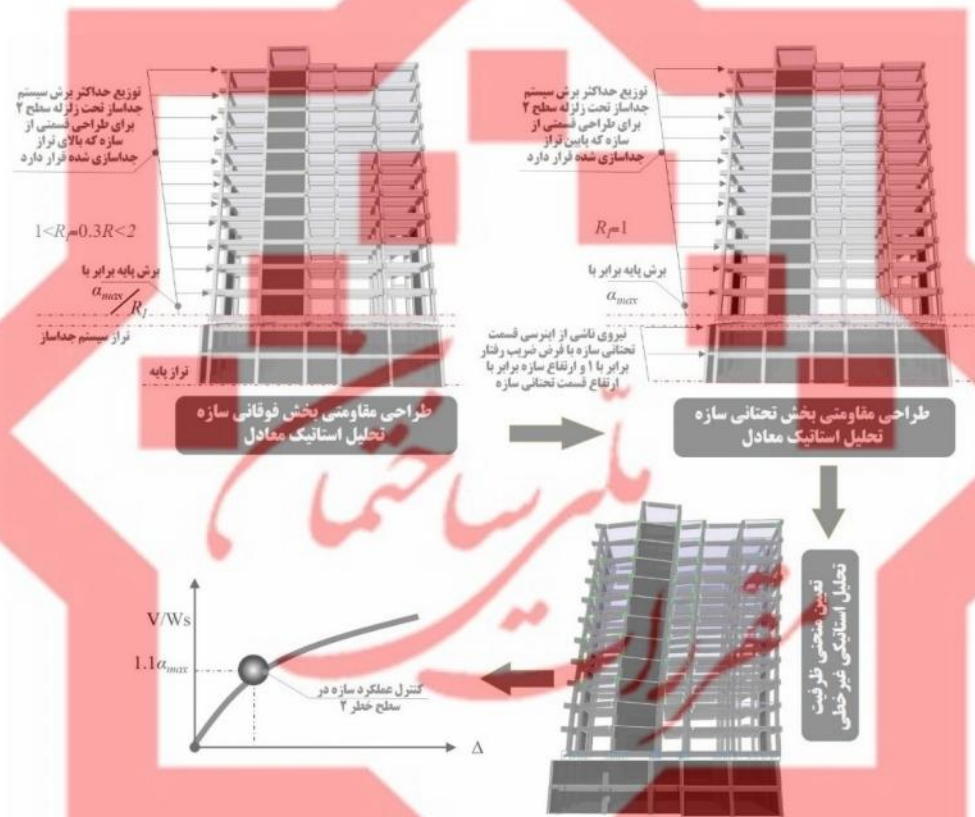
تذکره: در این مرحله در مدل سه بعدی سازه لازم نیست سیستم جداساز به شکل صریح مدلسازی شود. در صورتی که سیستم جداساز در مدل سازه وجود دارد لازم است مشخصات جداگرها موقتا به شکل صلب تعریف گردد.

۵-۳-۴-۱ طراحی سازه روی سیستم جداساز لرزه‌ای

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 ۶ بند ۵-۳-۳ توجه شود) به سازی اصلی اعمال شود. برای طراحی سازه لازم است مقدار سرعت معادل انرژی ورودی V_E برای سطح خطر ۲ (دوره بازگشت ۲۵۰۰ ساله) در نظر گرفته شده باشد. به منظور توزیع برش پایه مذکور در طبقات می‌توان از روش‌های مشابه سازه‌های فاقد جداگر استفاده نمود به شرطی که برش پایه از تراز جداسازی شده به سازه اعمال شود (این تراز لزوماً تراز پایه نمی‌باشد). همچنین با توجه به اینکه سازه بالای سیستم جداساز 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 سازه اصلی است که مقدار آن نباید بیشتر از ۲ و کمتر از ۱ در نظر گرفته شود. علاوه بر بار لرزه‌ای، لازم است سایر بارهای جانبی از جمله باد و نیز کلیه بارهای ثقیلی در طراحی سازه در نظر گرفته شوند. به جز مقدار نیروی ناشی از زلزله، سایر بارها و الزامات طراحی مشابه ساختمان‌های فاقد جداگر می‌باشد. پس از تعیین مشخصات مقاطع اجزای سازه‌ای، لازم است با استفاده از تحلیل استاتیکی

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۲۳۵

غیرخطی (پوش اور) منحنی عملکرد سازه بدست آورده شده و در لحظه‌ای که برش در تراز جداسازی شده حداقل ۱۰٪ بزرگتر از مقدار برش حداکثر سیستم جداگر (بدست آمده در مرحله دوم) است، عملکرد سازه کنترل شود. در این لحظه دریافت طبقات نیز نباید بزرگتر از ۱٪ باشد.



شکل (۵-۱۳). روند طراحی مقاومتی سازه در قسمت بالا و پایین تراز جداسازی شده

تذکره ۱: در ساختمان‌های مجهز به سیستم جداساز با توجه به اینکه لازم است سازه عمدتاً در محدوده الاستیک خود باقی مانده و از ظرفیت شکل‌پذیری سازه نباید استفاده شود، لذا استفاده از سیستم‌های سازه‌ای با شکل‌پذیری پایین (سیستم‌های باربر جانبی معمولی و متوسط) در کلیه مناطق بلامانع است.

دقت مفرات ملی و کنترل ساختمان

تذکر ۲: به طور کلی سازه‌های مجهز به جداگر لازم است از صلبیت و مقاومت جانبی بالایی برخوردار باشند.

تذکر ۳: در صورتی که هدف از جداسازی، بهسازی یک ساختمان موجود باشد، بحث طراحی اجزای سازه منتفی بوده و لازم است برای سازه موجود منحنی ظرفیت سازه با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی بدست آورده شود. سپس حداکثر برشی که در آن عملکرد مدنظر برای سازه تامین می‌شود بدست آمده و در مرحله دوم (بند ۵-۳-۳) سیستم جداگر به نحوی طراحی می‌شود که برش حداکثر سیستم جداگر حداقل ۱۰٪ کوچکتر از مقدار بدست آمده فوق باشد.

تذکر ۴: کنترل عملکرد سازه با استفاده از تحلیل استاتیک غیرخطی را می‌توان پس از طراحی قسمت تحتانی سازه نیز انجام داد.

۵-۳-۴-۲ طراحی سازه زیر سیستم جداساز لرزه ای

قسمتی از سازه که در زیر سیستم جداساز لرزه‌ای قرار دارد لازم است کاملاً در محدوده الاستیک خود باقی بماند. برای طراحی این قسمت می‌توان مطابق روند ارائه شده در بند ۵-۳-۴ عمل نمود با این تفاوت که اولاً ضریب R_I برابر ۱ در نظر گرفته شده و ثانیاً نیروی لرزه‌ای ناشی از اینرسی بخش‌های زیر سیستم جداساز به طور جداگانه به بخش تحتانی سازه اعمال گردند (با فرض ضریب رفتار برابر با ۱ و وزن و ارتفاع سازه برابر با قسمت تحتانی ساختمان). سپس بخش زیرین سازه به صورت مقاومتی طراحی می‌گردد. لازم است مقدار دریافت در طبقات زیر تراز جداسازی شده کمتر از ۰/۳٪ باشد.

۵-۳-۵ مرحله چهارم - طراحی سیستم جداساز

پس از طراحی سازه در ترازهای بالا و پایین سیستم جداساز، 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 و میراگرهای سیستم جداساز تعیین می‌گردد. با توجه به منحنی‌های عملکردی در مرحله دوم، پریود سیستم جداساز (T_{iso})، نسبت برش تسلیم سیستم جداساز (d_{ij}) و نسبت

میرایی ویسکوز سیستم جداساز ($\xi_{viscous}$) مشخص هستند. در نتیجه کل سختی جانبی (K_{iso})، برش تسلیم (V_{y-iso}) و ضریب میرایی ویسکوز خطی (C_{L-iso}) در سیستم جداساز (ناشی از تمام نشیمنگاه‌ها و میراگرها) به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$K_{iso} = \frac{4M_s\pi^2}{T_{iso}^2} \quad (۱۸-۵)$$

$$V_{y-iso} = \alpha_y M_s g \quad (۱۹-۵)$$

$$C_{L-iso} = \frac{4\pi M_s \xi_{viscous}}{T_{iso}} \quad (۲۰-۵)$$

در روابط فوق M_s جرم لرزه‌ای قسمتی از ساختمان که بر روی سیستم جداسازی شده قرار دارد بوده و لازم است بر حسب کیلوگرم در رابطه قرار داده شود. همچنین شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه با g نشان داده شده است. لازم است تعداد جداگرها و میراگرهای سیستم جداگر به نحوی تعیین شود که مجموع سختی، برش تسلیم و ضریب میرایی ویسکوز در تراز جداسازی شده برابر با مقادیر بدست آمده از روابط (۱۸-۵) تا (۲۰-۵) باشند.

تذکره ۱: به طور کلی در زیر هر یک از ستون‌های ساختمان لازم است حداقل یک نشیمنگاه (جداگر) قرار داده شود. به منظور پرهیز از ایجاد تقاضای زیاد در دیافراگم بالای تراز جداسازی شده، لازم است در دیوارهای برشی در هر لبه دیوار یک نشیمنگاه قرار گیرد. استفاده از سایر چیدمان‌ها برای جداگرها نیز مجاز است به شرطی که بر اساس محاسبات بتوان نشان داد دیافراگم بالای تراز جداسازی شده در محدوده الاستیک خود قادر به تحمل نیروهای وارده می‌باشد.

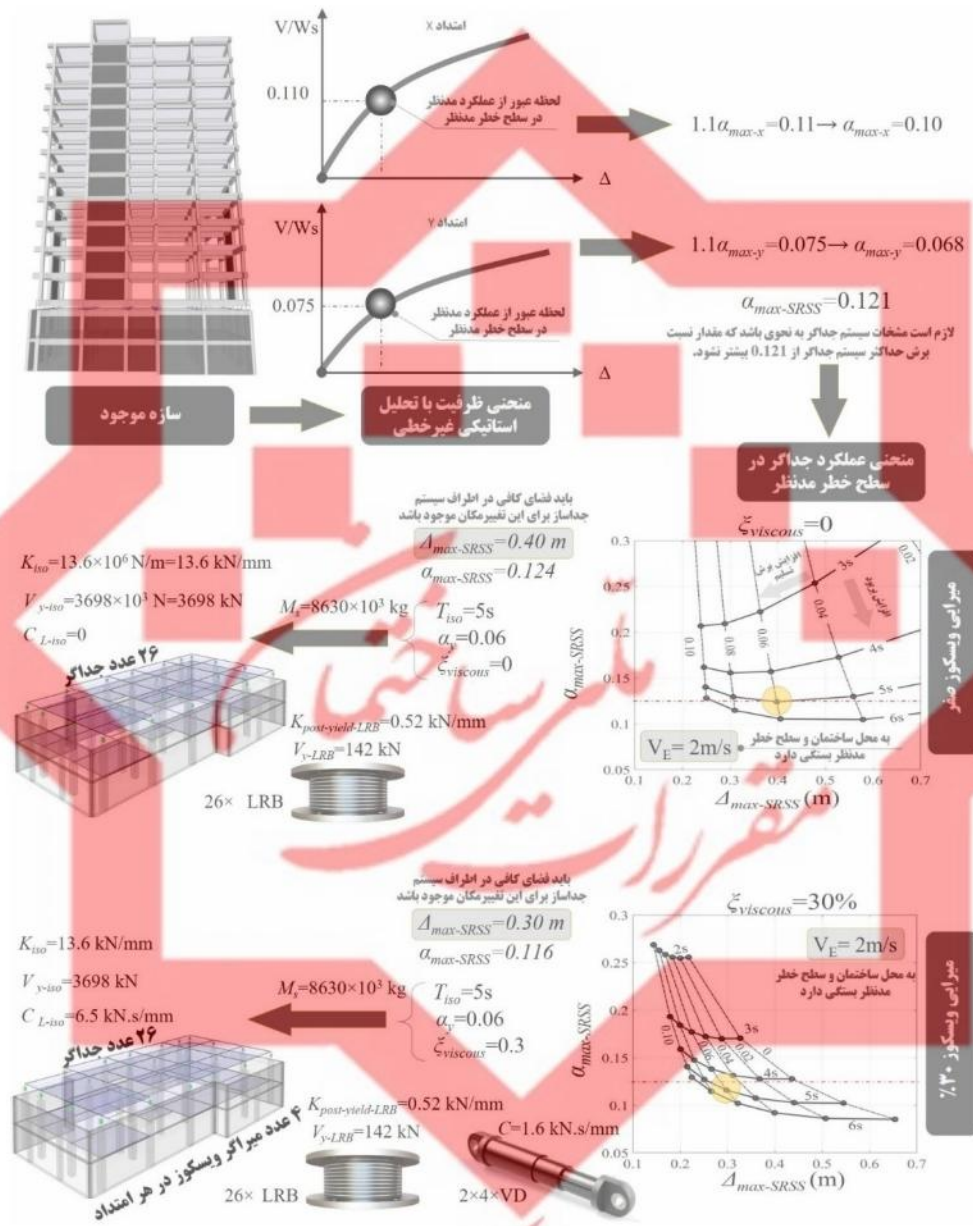
تذکره ۲: استفاده از ترکیب جداگرهای لاستیکی مختلف با یکدیگر مجاز است. لیکن استفاده ترکیبی از جداگرهای لاستیکی با جداگرهای لغزشی دارای سطح لغزش قوسی مجاز نمی‌باشد. چراکه این نوع جداگرهای لغزشی به دلیل انحنای سطح لغزش، نشیمنگاه در جهت قائم تغییر طول داده و جداگرهای لاستیکی نمی‌توانند به این میزان تغییر شکل قائم را تجربه کنند لذا 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.

تذکره ۳: استفاده از جداگرهای لغزشی 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 مثال 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. دلیل این امر تغییر شکل قائم متفاوت در جداگرهای مختلف است.

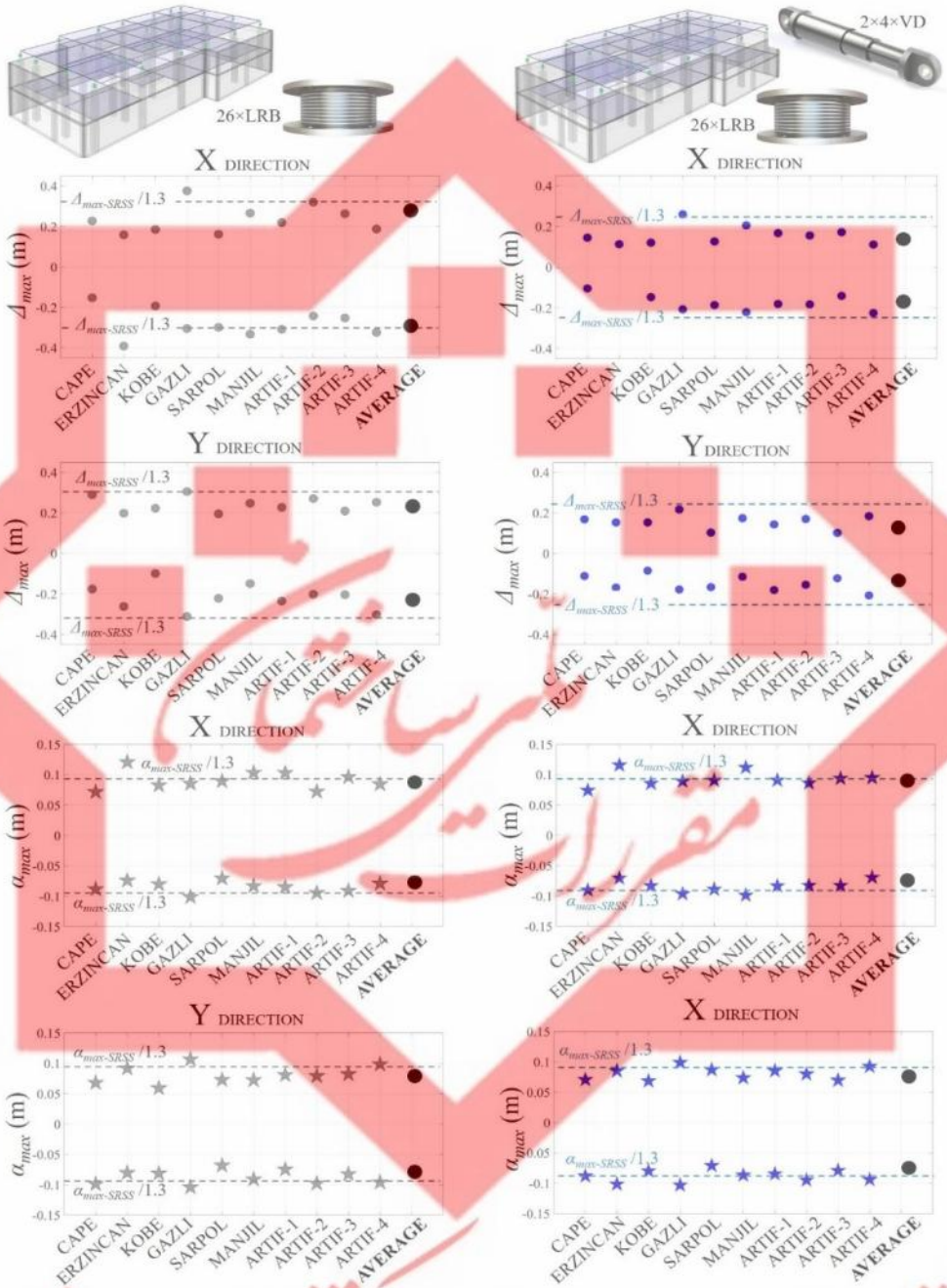
تذکره ۴: به منظور کاهش پیچش در سیستم جداگر، لازم است جداگرها به نحوی انتخاب شوند که مرکز سختی برشی در سیستم جداساز حتی المقدور بر مرکز جرم ساختمان منطبق باشد. تذکره ۵: به منظور ایجاد سختی پیچشی کافی در سیستم جداساز توصیه می‌شود حتی المقدور جداگرهای با سختی جانبی بیشتر در بخش‌های پیرامونی و جداگرهای با سختی جانبی کمتر در بخش‌های میانی سیستم جداگر قرار داده شوند.

تذکره ۶: میراگرهای تسلیمی و اصطکاکی در سیستم جداسازی تأثیری بر پارامتر $\zeta_{viscous}$ نداشته و این نوع میراگرها تنها در سختی برشی و برش تسلیم سیستم جداگر تأثیر دارند. لذا نسبت میرایی ویسکوز در سیستم جداساز ($\zeta_{viscous}$) صرفاً از طریق میراگرهای ویسکوز یا روغنی با سختی استاتیکی صفر قابل تأمین است. در شکل‌های (۵-۱۴) و (۵-۱۵) نمونه محاسبات برای یک ساختمان ۱۳ طبقه بتنی جداسازی شده ارائه شده است.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



شکل (۵-۱۴). معرفی نمونه روند طراحی سیستم جداگر برای بهسازی یک ساختمان ۱۳ طبقه بتنی



شکل (۵-۱۵). 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 جداسازی آن طراحی اولیه شدند. در این مرحله لازم است عملکرد سازه جداسازی شده ارزیابی و کنترل 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 دینامیکی غیرخطی یک مرتبه با فرض حد پایین مشخصات جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز و یک مرتبه با فرض حد بالای مشخصات جداگرها و میراگرهای سیستم جداساز کنترل می‌شود. لازم است عملکرد اجزای سازه 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 عملکرد اجزای نیرو-کنترل، عملکرد اجزای تغییرشکل-کنترل، حداکثر دررفت طبقات، حداکثر شتاب طبقات، حداکثر برش طبقات، دررفت ماندگار طبقات، حداکثر نیرو و تغییرشکل ایجاد شده در سیستم جداساز و در نهایت نیروی محوری وارد بر هر یک از جداگرها.

تذکر ۱: انجام کنترل فاز ۱ مستلزم استفاده از مدل‌های غیرخطی می‌باشد که جزئیات آن در بخش ۵-۴ ارائه شده است.

تذکر ۲: قبل از انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، می‌توان با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی برآورده اولیه‌ای از عملکرد سازه بدست آورده و در صورت لزوم تغییراتی در سازه اعمال نمود. لیکن در نهایت لازم است تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی نیز انجام شود و ملاک عملکرد سازه نمی‌تواند تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی باشد.

تذکر ۳: بروز بلندشدگی در جداگرهای لغزشی و کشش در جداگرهای لاستیکی تنها تحت زلزله سطح ۲ مجاز می‌باشد. در صورتی که ظرفیت کششی جداگر لاستیکی بر اساس نتایج آزمایشگاهی مشخص نشده باشد، لازم است متوسط تنش محوری کششی

در جداگر از ۱ مگاپاسگال تجاوز نکند (با این فرض که سختی محوری کششی جداگر برابر سختی محوری فشاری آن است).

▪ گام ۲: انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول
در این مرحله با توجه به مشخصات جداگرها و میراگرها، به شرکت‌های سازنده سفارش ساخت داده شده و ابتدا نمونه‌های اولیه از جداگر و میراگر ساخته شده و به صورت پروتوتایپ تست می‌شوند و در صورتی که مشخصات مورد نیاز برآورده شده باشد، به تعداد مورد نیاز جداگرها و میراگرها ساخته شده و تست‌های کنترل محصول بر روی آنها انجام می‌شود. جزئیات تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در فصل ۶ ارائه شده است.

▪ گام ۳: کنترل فاز ۲
در کنترل فاز ۲ لازم است یک بار دیگر کنترل فاز ۱ تکرار شود با این تفاوت که مشخصات مدل میراگرها بر اساس نتایج تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول ساخته شده و در نرم افزار تحلیلی تعریف شده اند.
تذکره ۴: در صورتی که مشخصات جداگرها و میراگرهای در نظر گرفته شده در کنترل فاز ۱ با مشخصات بدست آمده از تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول بیش از ۲۰٪ اختلاف نداشته باشد، نیازی به انجام کنترل فاز ۲ نبوده و نتایج حاصل از کنترل فاز ۱ را می‌توان به عنوان نتایج نهایی در نظر گرفت.

۴-۵ تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی

به منظور کنترل نهایی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر و جداگر، 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، شبیه سازی رفتار سازه به دقیق ترین شکل ممکن می‌باشد. لذا مدلسازی مناسب برای چنین تحلیلی باید مشخصات و شرایط سازه را به شکل دقیق و نه لزوماً به شکل محافظه کارانه بیان کند.

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان

تذکر: همواره قبل از انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، توصیه می‌شود با استفاده از تحلیل‌های ساده تری همانند تحلیل خطی طیفی و تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی (پوش اور) برآوردی از عملکرد سازه بدست آورده شود. با توجه به زمان بر بودن انجام تحلیل‌های غیرخطی، اکیدا توصیه می‌شود تنها زمانی اقدام به انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی صورت گیرد که بر اساس تحلیل‌های ساده تر (طیفی و استاتیکی غیرخطی)، سازه عملکرد مدنظر را تامین کرده باشد. همچنین توصیه می‌شود در حین انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی نیز عملکرد سازه زیرنظر گرفته شود و در صورتی که ضعف عملکردی آشکاری در بخشی از سازه مشاهده شود، طرح اصلاح شده و مجددا تحلیل‌ها تکرار شوند.

۱-۴-۵ الزامات عمومی

۱-۴-۵-۱ مدل سه بعدی

لازم است مدل ساختمان به صورت سه بعدی ساخته شود. اگرچه استفاده از مدل‌های دو بعدی به منظور طراحی اولیه و یا ارزیابی اولیه عملکرد سازه بلامانع است، لیکن کنترل نهایی عملکرد سازه باید بر اساس مدل سه بعدی از سازه انجام شود.

۱-۴-۵-۲ جرم لرزه‌ای

جرم لرزه‌ای سازه لازم است حداقل بر اساس کل بار مرده سازه به علاوه ۲۰٪ بار زنده در نظر گرفته شود.

تذکر ۱: در طبقات با کاربری انبار یا کتابخانه، لازم است درصد بار زنده 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.

۱-۴-۵-۳ بار ثقیلی

لازم است قبل از اعمال بار زلزله، بار ثقیلی مورد انتظار به سازه اعمال شده باشد. برای این منظور تنها از یک ترکیب بار ثقیلی شامل کل بار مرده به علاوه ۲۰ درصد بار زنده کاهش نیافته استفاده می‌شود.

تذکره ۱: در صورتی که در طبقه‌ای بار زنده بیش از ۵ کیلونیوتن بر مترمربع باشد، لازم است ۴۰٪ بار زنده در ترکیب بار ثقلی در نظر گرفته شود.

تذکره 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 آیین نامه طراحی 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. در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، نیازی به در نظر گرفتن پیچش تصادفی نمی‌باشد.

تذکره: 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 مطابق آیین نامه طراحی در نظر گرفته شود.

۵-۴-۱-۵ دیافراگم کف

به طور معمول برای ساختمان‌های متداول می‌توان دیافراگم کف را به صورت صلب در مدل تحلیلی سازه در نظر گرفت. با این وجود در موارد زیر لازم است دیافراگم کف به صورت نیمه صلب در نظر گرفته شود.

- در صورت وجود نامنظمی در دیافراگم (بازشوی بیش از ۵۰٪ مساحت دیافراگم طبقه)
- در صورت وجود نامنظمی خارج از صفحه در اعضای سیستم باربرجانی
- در صورتی که مطابق استاندارد ۲۸۰۰ بر اساس تحلیل‌های خطی دیافراگم نیمه صلب تشخیص داده شود.

تذکره ۱: در صورتی که دیافراگم به شکل نیمه صلب در نظر گرفته شود لازم است دیافراگم با المان‌هایی حداکثر به سایز ۱ متر مش بندی شود.

تذکر ۲: استفاده از دیافراگم نیمه صلب منجر به کندی تحلیل‌های غیرخطی خواهد شد لذا توصیه می‌شود صرفاً در طبقاتی که لازم است، دیافراگم به صورت نیمه صلب در نظر گرفته شود.

۵-۴-۱-۶ اثر پی دلتا

صرفنظر از مقدار شاخص پایداری طبقه، لازم است در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی اثر پی دلتا در نظر گرفته شود.

تذکر ۱: در نظر گرفتن اثر پی دلتا در زلزله سطح سرویس ضروری نیست.

تذکر ۲: در ساختمان‌های دارای جداگرهای لرزه‌ای، اثر پی دلتا ناچیز بوده و قابل صرفنظر است.

تذکر ۳: در صورتی که بر اساس تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی نشان داده شود که تأثیر پی دلتا در سطح خطر مدنظر کمتر از ۱۰٪ است (از منظر افت منحنی ظرفیت و افزایش خمش یا تقاضای دوران مفاصل پلاستیک ستون‌ها)، میتوان از اثر پی دلتا در تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی صرفنظر نمود.

۵-۴-۱-۷ نسبت میرایی ذاتی

نسبت میرایی ذاتی سازه را می‌توان به صورت رابطه (۵-۲۱) در نظر گرفت.

$$\xi = \frac{0.2}{\sqrt{H}} \leq 0.05 \quad (۵-۲۱)$$

در رابطه فوق H ارتفاع ساختمان از تراز پایه 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.

تذکر ۱: در صورتی که از میرایی مودال برای تعریف میرایی ذاتی سازه استفاده شود، میتوان مقدار بدست آمده از رابطه (۵-۲۱) را به عنوان میرایی ذاتی در تمام مودها در نظر گرفت. در صورتی که از میرایی رایلی برای تعریف میرایی ذاتی استفاده شود، لازم است میرایی حاصل از رابطه (۵-۲۱) برای دو فرکانس (یا پریود) مختلف از سازه تنظیم شود. برای این منظور می‌توان از پریود مود اصلی سازه (T_1) و پریودی معادل $T_{1.0.1}$ استفاده نمود.

تذکر ۲: در سازه‌های بتنی در صورتی که مفاصل پلاستیک تخصیص یافته به تیرها یا ستون‌ها یا دیوارهای برشی از نوع فایبر باشند، لازم است مقدار میرایی بدست آمده از رابطه (۵-۲۱) نصف شود. در هر صورت نیازی نیست میرایی ذاتی کوچک تر از $0/02$ در نظر گرفته شود.

تذکر ۳: رابطه (۵-۲۱) 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، می‌توان تراز پایه را همواره بر روی شالوده در نظر گرفته و شتاب نگاشت‌ها را در این تراز به سازه اعمال نمود. 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 دو مولفه افقی، مولفه قائم شتاب نگاشت نیز در تراز پایه به سازه اعمال شود.

تذکر 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 علاوه بر تراز شالوده به فنرهای معرف خاک که در دیوارهای حائل زیرزمین توزیع شده اند نیز اعمال شود.

تذکر ۲: در مورد زلزله‌های حوزه نزدیک و دارای پالس، لازم است مولفه افقی قوی تر در امتدادی از سازه که به شکل تقریبی عمود بر گسل است اعمال شود.

تذکر ۳: به جز در سازه‌های دارای جداگر (لاستیکی یا لغزشی) و سازه‌های دارای سیستم ثقلی ناپیوسته، در سایر موارد نیازی به اعمال مولفه شتاب قائم زلزله نمی‌باشد. با این حال اعمال مولفه شتاب قائم زلزله در کلیه ساختمان‌ها بلامانع است.

تعداد شتاب نگاشت‌ها

به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی لازم است حداقل از ۷ جفت شتاب نگاشت استفاده شود. روند انتخاب شتاب نگاشت‌ها و تنظیم سطح خطر آنها لازم است مطابق فصل ۴ انجام شود.

۵-۴-۲ مدل‌سازی سازه اصلی

در این بخش توصیه‌هایی به منظور مدل‌سازی غیرخطی سازه اصلی (المان‌های ساختمان به جز میراگرها و جداگرها) ارائه شده است. توصیه‌های مطرح شده در این بخش به منظور مدل‌سازی غیرخطی سازه‌های متداول 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 که برخی از این روش‌ها در (NIST GCR 17-917-45 (2017 و ASCE 41- (2017 ارائه شده است.

تذکره ۱: به طور کلی در اعضای 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، دیوارهای برشی در طبقات فوقانی سازه از جمله اعضای مستعد الاستیک ماندن هستند. همچنین در سازه‌های جداسازی شده یا سازه‌های با درصد میرایی بالا احتمال الاستیک ماندن بخشی‌های زیادی از سازه وجود دارد.

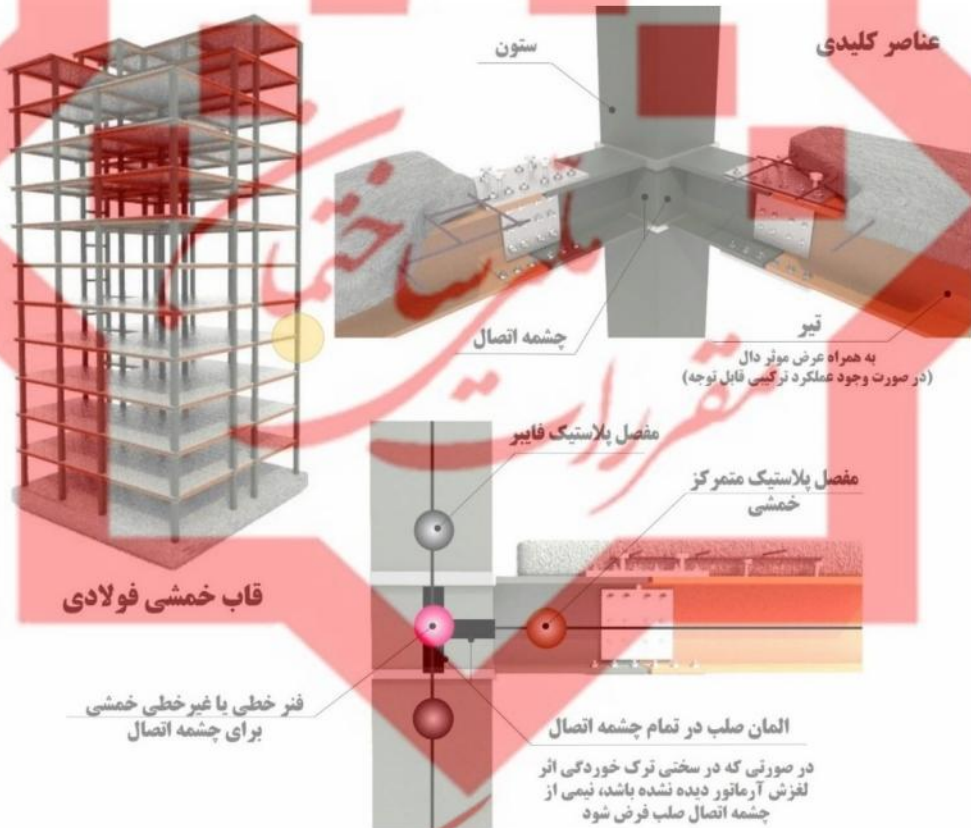
تذکره ۲: در صورتی که در مدل سازه عضوی به صورت الاستیک مدل‌سازی شود و پس از تحلیل مشخص گردد که نیروی ایجاد شده در آن بیش از $1/5$ برابر ظرفیت آن عضو بوده است، لازم است عضو به شکل غیرخطی مدل شده و تحلیل مجدداً تکرار شود. راهکار دیگر تقویت عضو و افزایش ظرفیت آن می‌باشد. در صورتی که تقویت عضو منجر به تغییر در سختی آن شود لازم است تحلیل مجدداً تکرار شود.

تذکره ۳: در صورتی که میانقاب‌های غیرسازه‌ای در امتداد داخل صفحه خود از سازه جدا نشده باشند (مطابق ضابطه ۷۲۹ یا پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰) و سختی آن‌ها در طبقه بیش از 25% سختی طبقه تخمین زده شود، لازم است اثر آنها در مدل ساختمان در آن طبقه لحاظ شود. برای این منظور کاهش مصنوعی پریرود سازه کافی نبوده بلکه باید رفتار میانقابی دیوارها به صورت غیرخطی در مدل سازه در نظر گرفته شود. برای این منظور می‌توان از روش ارائه شده در ASCE 41-17 استفاده نمود.

تذکره ۴: در مدلسازی غیرخطی سازه‌ها همواره مشخصات مورد انتظار (میانگین) مصالح مدنظر بوده و از مشخصات حد پایین یا اسمی استفاده نمی‌شود.

۵-۴-۱ قاب خمشی فولادی

مطابق شکل (۵-۱۶) عناصر کلیدی در رفتار قاب‌های خمشی فولادی عبارتند از تیر، ستون و چشمه اتصال که لازم است اثر هر سه در سختی و ظرفیت جانبی قاب در مدل در نظر گرفته شود. نمونه‌ای از نحوه ساخت مدل غیرخطی در قاب‌های خمشی فولادی در شکل (۵-۱۶) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۶). مدلسازی غیرخطی سازه اصلی- قاب خمشی فولادی

مدلسازی تیر: در تیرهای قاب خمشی 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 شبیه‌سازی بهتر رفتار چرخه‌ای توصیه می‌شود رفتار چرخه مفصل پلاستیک از نوع کینماتیک^۱ در نظر گرفته شود.

مدلسازی ستون: در ستونهای قاب‌های خمشی عمدتاً در دو انتهای ستون امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته و در این دو ناحیه توصیه می‌شود مفصل پلاستیک از نوع فایبر تعریف شود. طول مفصل پلاستیک را می‌توان در محدوده نصف تا یک و نیم برابر عمق مقطع ستون در نظر گرفت.

مدلسازی چشمه اتصال: چشمه اتصال یکی از اجزای کلیدی در قاب‌های خمشی است که لازم است به صورت مفاصل پلاستیک خمشی (خمش معادل برش) در نظر گرفته شود. در ساده‌ترین حالت چشمه اتصال باید به صورت الاستیک در مدل در نظر گرفته شده و صرف‌نظر کردن یا صلب و نیمه صلب در نظر گرفتن آن در مدل‌های غیرخطی توصیه نمی‌شود. به منظور مدل‌سازی رفتار مفصل پلاستیک چشمه اتصال می‌توان از روش ارائه شده در NIST GCR 17-917-45 استفاده نمود.

تذکره ۱: در صورت عدم وجود سخت‌کننده 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 سخت‌کننده (یا ماهیچه) در اتصال محل تشکیل مفصل پلاستیک را می‌توان در بر سخت‌کننده (یا ماهیچه) در نظر گرفت. در تیرهای با مقطع کاهش یافته، محل مفصل پلاستیک را می‌توان در مرکز مقطع کاهش یافته در نظر گرفت.

تذکره ۲: در سازه‌های جدید یا سازه‌های موجودی که الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه یا متوسط در آن رعایت شده است، مشخصات مفاصل پلاستیک تیر می‌تواند بر اساس NIST GCR 17-917-45 یا ASCE 41-17 و یا نشریه ۳۶۰ تعریف گردد.

تذکره ۳: در صورتی که الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه یا متوسط در سازه رعایت نشده باشد و یا مشخصات تیر خارج از محدوده تعریف شده در NIST GCR 17-917-45 باشد، لازم است مفاصل پلاستیک تیر بر اساس ASCE 41-17 و یا نشریه ۳۶۰ تعریف شوند.

تذکره ۴: در صورت استفاده از نشریه ۳۶۰ لازم است از مشخصات ارائه شده برای اعضای غیراصلی ملاک عمل قرار گیرد.

تذکره ۵: در صورتی که مفاصل پلاستیک دو انتهای تیر بر اساس ASCE 41-17 و یا نشریه ۳۶۰ تعریف شوند، لازم است مشخصات مفصل پلاستیک مطابق مشخصات معین شده برای تیر یا اتصال تیر به ستون (هر کدام ظرفیت دوران پلاستیک کمتری دارد) معرفی شوند. خمش پلاستیک مفصل نیز بر اساس ظرفیت خمشی تیر یا اتصال (هر کدام ظرفیت کمتری دارد) تعریف می‌شود.

تذکره ۶: در صورتی که دال بتنی در روی بال فوقانی تیر دارای ضخامتی بیش از ۵۰ 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. 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 (۵-۱۶) برقرار بوده لذا برای چنین تیری می‌توان از اثر دال صرف‌نظر نمود.

تذکره ۷: طراح می‌تواند اتصالات تیر به ستون غیربرابر لرزه‌ای را به صورت مفصلی در مدلسازی 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 NIST GCR 17-917-45 یا ASCE 41-17 استفاده نمود.

تذکره ۸: مفاصل پلاستیک متمرکز PMM 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. لذا استفاده از آنها در تحلیل‌های تاریخچه زمانی توصیه نمی‌شود.

تذکره ۹: در مفاصل پلاستیک فایبر که به شکل پیشفرض در نرم افزارهای تحلیلی وجود دارند، اثراتی از قبیل کمانش موضعی یا گسیختگی در نظر گرفته نمی‌شود. لیکن با توجه به آنکه کنترل معیارهای پذیرش بر اساس معیارهای موجود در ASCE 41-17 انجام می‌شود، لذا اصلاح منحنی تنش-کرنش فایبرها به منظور در نظر گرفتن کمانش موضعی یا گسیختگی ناشی از خستگی کم چرخه ضرورتی ندارد.

۵-۴-۲ قاب دارای مهاربند همگرا

مطابق شکل (۵-۱۷) عناصر کلیدی در رفتار 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 (۵-۱۷) نشان داده شده است.

مدلسازی مهاربند: به منظور مدلسازی مهاربندهای همگرا می‌توان از یک المان الاستیک و یک مفصل پلاستیک محوری استفاده نمود. محل تشکیل مفصل پلاستیک محوری در هر نقطه از طول مهاربند می‌تواند قرار گیرد. 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 مدلسازی

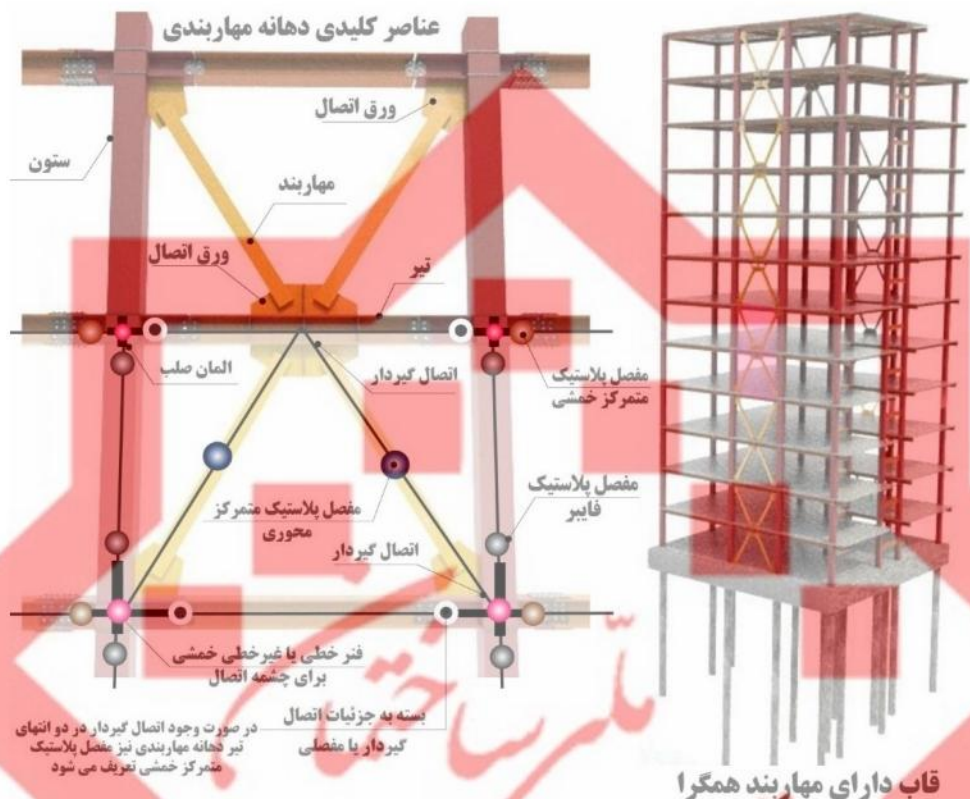
و عدم استفاده از المان‌های پیچیده تر، استفاده از یک المان الاستیک دارای مفصل پلاستیک محوری با رفتار دارای باریک شدگی^۱ می‌تواند رفتار واقعی مهاربند را تا حد قابل قبولی شبیه سازی کند. لازم است مفصل پلاستیک محوری مهاربند دارای رفتار دارای باریک شدگی باشد. برای این منظور می‌توان از مدل چرخه‌ای پیوت^۲ استفاده نمود.

مدل سازی ستون دهانه مهاربندی شده: به منظور مدلسازی 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 شود. نحوه تعریف مفاصل پلاستیک تیرهای دهانه مهاربندی می‌تواند همانند تیرهای قاب خمشی مطابق بند ۵-۴-۲-۱ در نظر گرفته شود.

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 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. لذا در غیاب استفاده از فنرهای غیرخطی برای شبیه سازی رفتار خارج از 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.

^۱
^۲ Pivot



شکل (۵-۱۷). مدلسازی غیرخطی سازه اصلی - مهاربند همگرا

تذکره ۱: در صورتی که ستون‌های دهانه مهاربندی بخشی ستون‌های قاب خمشی نیز باشند لازم است اثر چشمه اتصال نیز در ستون‌ها در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: در مهاربندهای 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 شکل (۵-۱۷) 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.

۵-۴-۲-۳ قاب خمشی بتنی

مطابق شکل (۵-۱۸) عناصر اصلی در رفتار قاب‌های خمشی بتنی عبارتند از تیرها، ستون‌ها و چشمه اتصال. نمونه‌ای از ساخت مدل غیرخطی قاب خمشی بتنی در شکل (۵-۱۸) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۸). مدلسازی غیرخطی سازه اصلی-قاب خمشی بتنی

مدلسازی تیر: در تیرهای قاب خمشی 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 این صورت لازم است

ضرایب ترک خوردگی برای قسمت الاستیک المان تیر در نظر گرفته شود. ضرایب ترک خوردگی می‌تواند بر اساس ASCE 41-17 یا NIST GCR 17-917-45 و یا نشریه ۳۶۰ در نظر گرفته 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 چرخه مفصل پلاستیک از نوع کینماتیک^۱ در نظر گرفته شود.

مدلسازی ستون: در ستونهای قاب‌های خمشی عمدتاً در دو انتهای ستون امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته و در این دو ناحیه توصیه می‌شود مفصل پلاستیک از نوع فایبر تعریف شود. در این صورت لازم است ضرایب ترک خوردگی برای قسمت الاستیک المان ستون در نظر گرفته شود. ضرایب ترک خوردگی می‌تواند بر اساس ASCE 41-17 یا NIST GCR 17-917-45 و یا نشریه ۳۶۰ در نظر گرفته شود. در غیاب محاسبات دقیق، طول مفصل پلاستیک ستون بتنی را می‌توان حدوداً برابر با نصف عمق مقطع ستون در نظر گرفت.

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 ترک خوردگی تیرها و ستون‌ها اثر سرخوردگی لحاظ شده باشد (مطابق روش پیشنهاد شده در NIST GCR 17-917-45) تیر و ستون در کل چشمه اتصال به صورت صلب در نظر گرفته می‌شوند. در غیر این صورت پیشنهاد می‌شود تیر و ستون تنها در نیمی از طول چشمه اتصال به صورت صلب در نظر گرفته شوند یا در صورتی که معیار ستون قوی-تیر ضعیف مطابق الزامات قاب‌های خمشی ویژه برآورده شده باشد می‌توان ستون را در کل چشمه اتصال به صورت صلب و تیر را در کل چشمه اتصال به صورت غیرصلب در نظر گرفت.

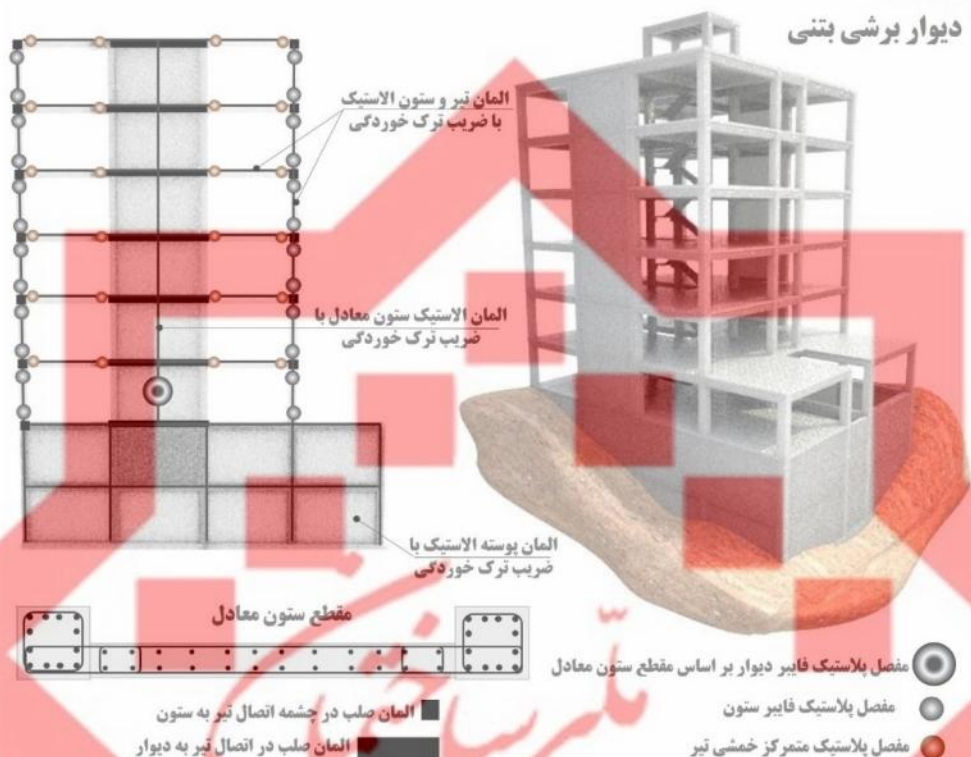
تذکره ۱: تعریف مفاصل پلاستیک در تیرهای قاب خمشی بتنی می‌تواند بر اساس NIST GCR 17-917-45 یا ASCE 41-17 و یا نشریه ۳۶۰ انجام شود.

تذکره ۲: در صورتی که ضخامت دال متصل به تیر بیش از ۵۰ میلیمتر باشد، لازم است تاثیر دال نیز در سختی و ظرفیت خمشی مفاصل پلاستیک تیر لحاظ شود. در این شرایط عرض موثر دال را می‌توان بر اساس ASCE 41-17 مشخص کرد. به عنوان راهکاری ساده شده می‌توان تیرها را بدون حضور دال در مدل تعریف نموده به شرطی که سختی آن را ۲ برابر سختی مقطع فاقد دال در نظر گرفت (اعمال ضریب افزایش سختی ۲ در حضور ضریب کاهش سختی ناشی از ترک خوردگی)

تذکره ۳: 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 علاوه بر مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیر-دال به یک مفصل پلاستیک در چشمه اتصال به منظور شبیه سازی رفتار برش پانچ نیز نیاز خواهد بود. جزئیات تعریف هر دو مفصل فوق در NIST GCR 17-917-45 یا ASCE 41-17 ارائه شده است.

۵-۴-۲-۴ دیوار برشی بتنی

در دیوارهای برشی بتنی عضو کلیدی خود دیوار است که می‌تواند تحت نیروهای داخل صفحه و خارج از صفحه قرار گیرد و لازم است رفتار دیوار در هر دو امتداد فوق مدنظر قرار گیرد.



شکل (۵-۱۹). مدلسازی غیرخطی سازه اصلی-دیوار برشی بتنی

مدلسازی دیوار برشی: دیوار برشی را می‌توان 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 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. لذا در محل تشکیل مفاصل پلاستیک دیوار لازم است مفاصل پلاستیک متمرکز از نوع فایبر تعریف شده و برای سایر بخش‌های دیوار که با المان ستون معادل تعریف شده اند، ضرایب ترک خوردگی در امتداد داخل صفحه و خارج از صفحه مطابق ASCE 41-17 اعمال شود. در امتداد خارج از صفحه رفتار دیوار همانند یک ستون با نسبت بار محوری کوچک بوده لذا می‌توان در امتداد خارج از صفحه دیوار از ضریب ترک خوردگی تعریف شده برای تیرها استفاده نمود.

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 NIST GCR 17-917-45 یا ASCE 41- در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: طول مفصل پلاستیک دیوار را می‌توان برابر با نصف طول دیوار یا ارتفاع طبقه اول (هر کدام کوچکتر باشند) در نظر گرفت.

تذکره ۳: محل مفصل پلاستیک دیوار را می‌توان در وسط طول مفصل پلاستیک و یا در میانه طبقه‌ای که مفصل پلاستیک در آن طبقه تشکیل می‌شود در نظر گرفت.

تذکره ۴: مطابق شکل (۵-۱۹) المان ستون معادل توسط المان‌های صلبی که تا لبه دیوار امتداد دارند به تیرهای اطراف متصل می‌شوند.

۵-۴-۳ مدلسازی میراگرها

نحوه مدلسازی میراگرهای مختلف در چیدمانهای متفاوت در فصل ۲ به تفصیل بیان شده است. 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 (سختی، نیروی تسلیم، نیروی آستانه لغزش و ضریب میرایی) اعمال می‌شود در برگزیده عواملی از جمله اثر گذر زمان^۱ و عوامل خورنده محیطی، سرعت بارگذاری، اثرات خود گرمایی^۲ و نیز تولرانس تغییرات اندک غیرقابل اجتناب در مشخصات مصالح و ابعاد قطعات میراگر می‌باشد. در غیاب نتایج آزمایشگاهی تایید شده، مشخصات حد بالای میراگر نباید کمتر از ۱/۲ برابر و مشخصات حد پایین آن نباید بیشتر از ۰/۸ برابر مشخصات اسمی میراگر در نظر گرفته شود. مشخصات اسمی میراگر بر اساس تست‌های پروتوتایپ مطابق فصل ۶ بدست می‌آید.

^۱ Aging

^۲ Self-heating

تذکر: در صورتی که مشخصات حد بالا و پایین بر اساس روش ارائه شده در فصل ۶ و بر اساس نتایج آزمایشگاهی تعیین شده باشند، لازم است از مقادیر محاسبه شده استفاده شود.

۴-۴-۵ مدل‌سازی جداگرها

نحوه مدل‌سازی جداگرهای مختلف در فصل ۳ به تفصیل بیان شده است. به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در مشخصات جداگرها لازم است تحلیلها یک مرتبه با فرض مشخصات حد بالا و یک مرتبه با فرض مشخصات حد پایین جداگرها انجام شود. ضرایب حد بالا و حد پایین که در مشخصات جداگر (سختی اولیه، سختی پس از تسلیم، برش تسلیم، ضریب اصطکاک، شعاع انحنا، سطح لغزش) اعمال می‌شود در برگیرنده عواملی از جمله اثر گذر زمان و عوامل خوردنده محیطی، سرعت بارگذاری، اثرات خود گرمایی و پیش کرنشی^۱ و نیز تغییرات اندک غیرقابل اجتناب در مشخصات مصالح و ابعاد قطعات جداگر می‌باشد. در غیاب نتایج آزمایشگاهی تایید شده، مشخصات حد بالای جداگر نباید کمتر از $1/8$ برابر و مشخصات حد پایین آن نباید بیشتر از $0/6$ برابر مشخصات میانگین جداگر در نظر گرفته شود.

تذکر: در صورتی که مشخصات حد بالا و پایین بر اساس روش ارائه شده در ASCE 7-16 و بر اساس نتایج آزمایشگاهی تعیین شده باشند، لازم است از مقادیر محاسبه شده استفاده 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، برش طبقات، شتاب طبقات و جابجایی طبقات. پاسخ‌های موضعی نیز عمدتاً عبارتند از تقاضای وارده بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل و نیز تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارده بر میراگرها و جداگرها.

اگرچه پاسخ‌های فوق در کلیه سطوح خطر قابل استخراج هستند، لیکن مطابق جدول (۵-۱۳) استخراج آنها تنها در برخی از سطوح خطر ضرورت دارد.

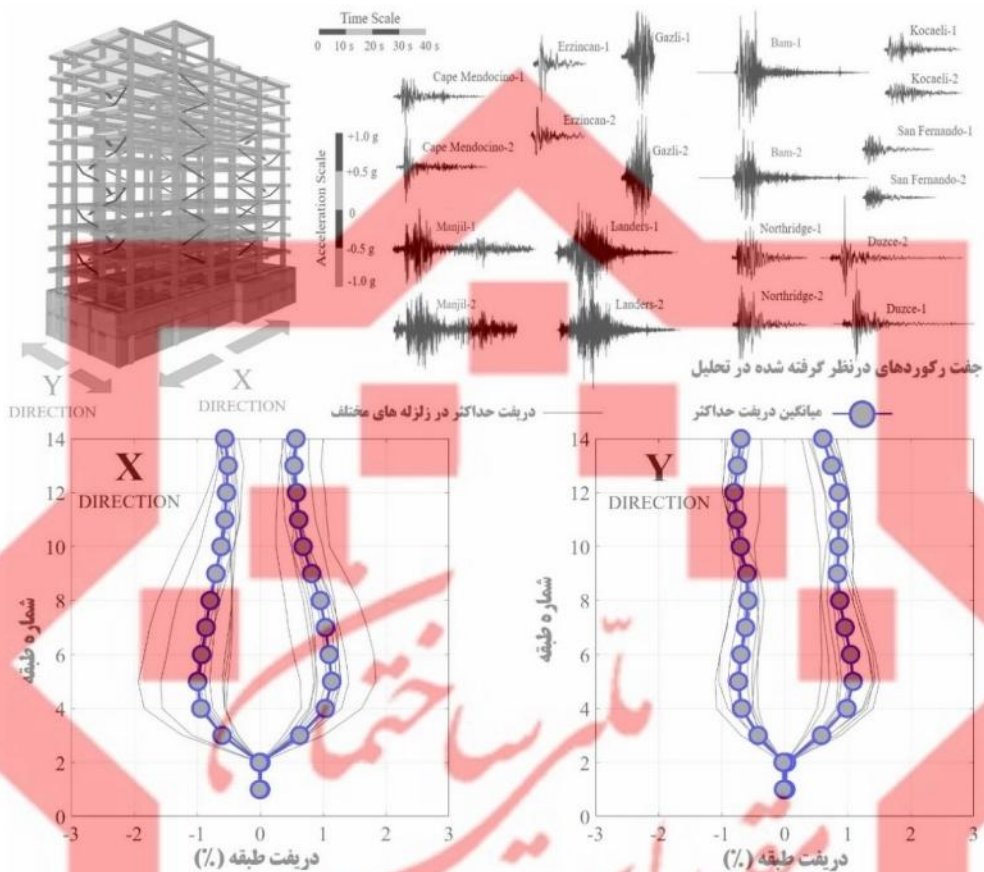
جدول (۵-۱۳). پاسخ‌های کلی و موضعی مورد نیاز در سطوح خطر لرزه‌ای مختلف

پاسخ‌های موضعی			پاسخ‌های کلی				سطح خطر	
نیروی میراگر/جد اگر	تغییرشکل میراگر/جد اگر	تلاش‌های تغییرشکل - کنترل	تلاش‌های تغییر شکل - کنترل	جابجایی	شتاب	برش		دریفت
				طبیقه*	طبیقه*	طبیقه*	طبیقه	
			✓				✓	سطح سرویس
			✓	✓	✓	✓	✓	سطح ۱
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	سطح ۲

* در سازه‌هایی که عملکرد لرزه‌ای هدف در زلزله سطح ۲ ایمنی جانی یا استفاده بی وقفه است، برش، شتاب و جابجایی طبقه کفایت تنها در خطر لرزه‌ای سطح ۲ تعیین شود. در سایر موارد تعیین پاسخ‌های فوق در خطر لرزه‌ای سطح ۱ کفایت می‌کند.

۵-۴-۵-۱ دریفت طبقات

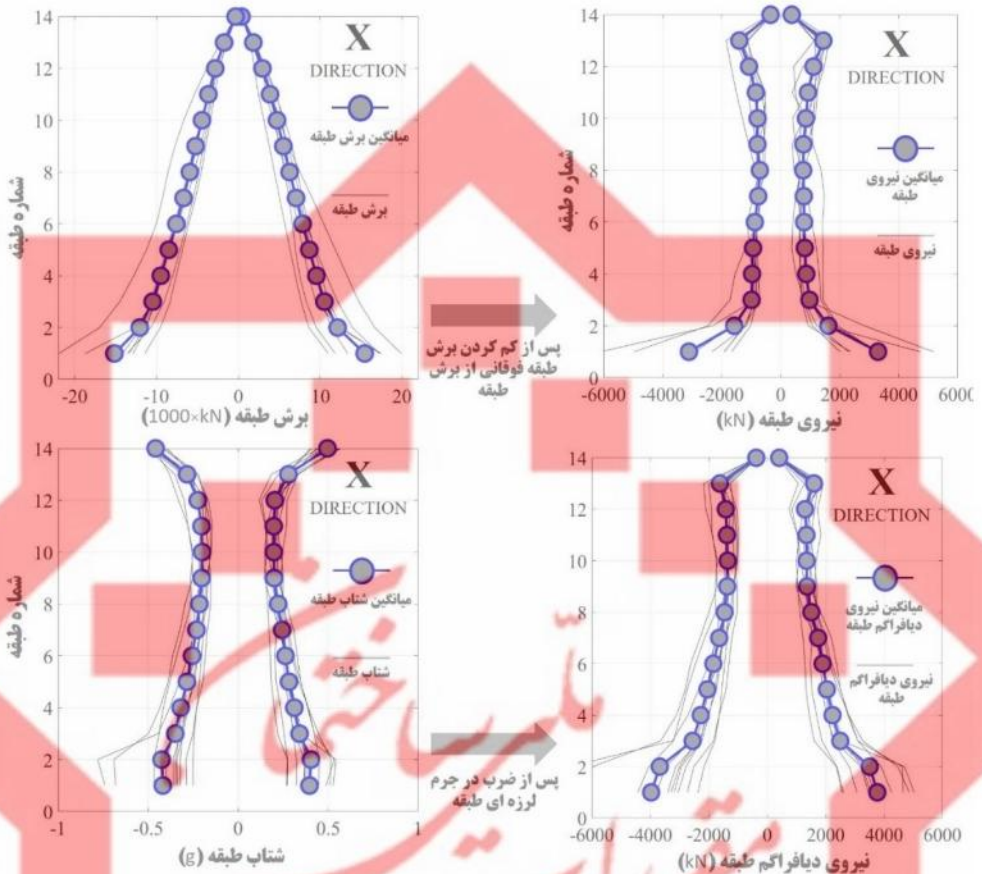
دریفت طبقات مهمترین پاسخ کلی سازه می‌باشد که می‌تواند تا حد زیادی بیانگر عملکرد سازه نیز باشد. دریفت حداکثر طبقات لازم است در هر دو امتداد ساختمان برای کلیه شتاب نگاشت‌ها بدست آمده سپس دریفت حداکثر میانگین (میانگین گیری شده بر اساس نتایج حاصل از تمام شتاب نگاشت‌ها) و با مقدار دریفت هدف یا دریفت مجاز مقایسه شود. نمونه‌ای از این محاسبه در شکل (۵-۲۰) نشان داده شده است.



شکل (۲۰-۵). نمونه‌ای از نحوه تعیین دررفت حداکثر طبقات میانگین گیری شده از نتایج دررفت حداکثر حاصل از تمام زلزله‌ها

۵-۴-۲ برش طبقات

از دیگر پاسخ‌های کلی مهم، برش طبقات است که کاربرد اصلی آن در طراحی شالوده است. بدین ترتیب که برش حداکثر طبقات در هر یک از زلزله‌ها در هر دو امتداد تعیین شده سپس با میانگین گیری بر روی نتایج کلیه زلزله‌ها، برش حداکثر میانگین هر طبقه در هر امتداد محاسبه می‌شود. بر اساس برش طبقات امکان تخمین نیروی معادل طبقات وجود خواهد داشت که از این نیرو در طراحی شالوده ساختمان می‌توان استفاده نمود. شکل (۲۱-۵) نمونه‌ای از نحوه محاسبه برش طبقات و نیروی طبقات را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۲۱). نمونه‌ای از نحوه تعیین برش طبقات، نیروی طبقات، شتاب طبقات و نیروی دیافراگم طبقات میانگین گیری شده از نتایج حاصل از تمام زلزله‌ها

۵-۴-۳ شتاب طبقات

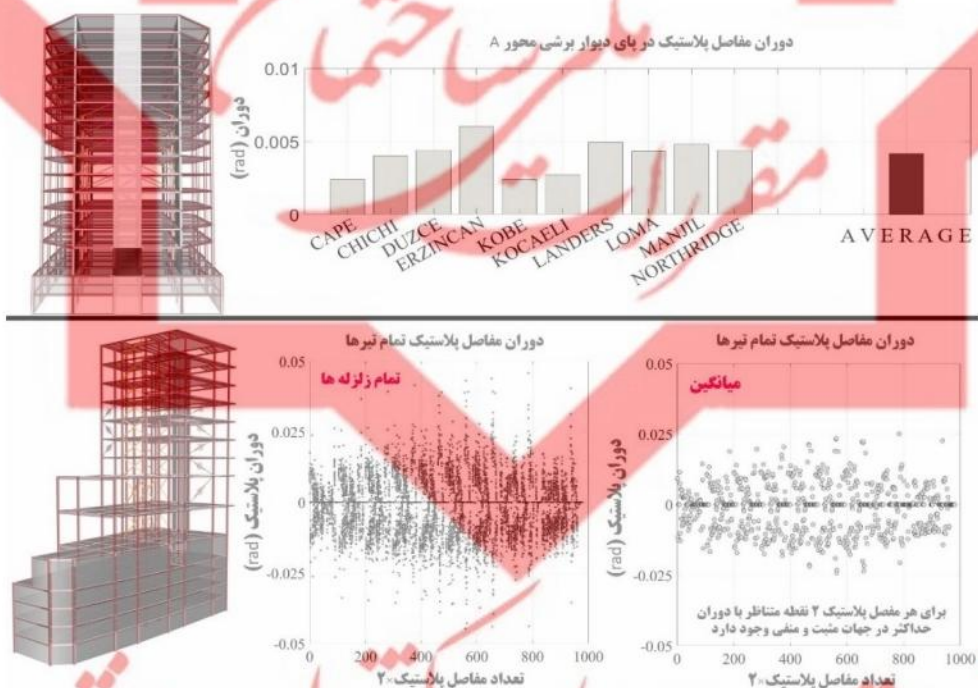
کاربرد اصلی شتاب طبقات، تخمین نیروی وارده بر اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات داخلی حساس به شتاب است. علاوه بر طراحی اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات، از شتاب طبقات به منظور تعیین نیروی وارده بر دیافراگم کف طبقات نیز می‌توان استفاده نمود. برای این منظور کافیسیت شتاب طبقه در جرم لوزه‌ای طبقه ضرب شود. نمونه‌ای از تعیین شتاب طبقات و نیروی دیافراگم طبقات در شکل (۵-۲۱) نشان داده شده است.

۴-۵-۴-۵ جابجایی طبقات

مقدار درز انقطاع لازم برای ساختمان را می‌توان بر اساس جابجایی حداکثر طبقات (میانگین گیری شده برای تمام زلزله‌ها) تعیین نمود. تعیین درز انقطاع برای سازه‌های جداسازی شده بر اساس نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی الزامی بوده و نمی‌توان از روابط ارائه شده برای ساختمان‌های متداول استفاده نمود.

۵-۵-۴-۵ تقاضای وارد بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل

تقاضای تغییرشکلی وارده بر تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل که عمدتاً به صورت مفاصل پلاستیک یا فنرهای خطی/ غیرخطی در مدل ساختمان در نظر گرفته شده‌اند، لازم است برای هر زلزله استخراج شده و در نهایت بر روی تمام زلزله‌ها میانگین گیری شود. نمونه‌هایی از این میانگین گیری برای دوران مفصل پلاستیک پای دیوار برشی و مفاصل پلاستیک تیرها در شکل (۵-۲۲) نشان داده شده است.



شکل (۵-۲۲). نمونه‌ای از نحوه میانگین گیری تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل

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. نمونه‌هایی از این میانگین‌گیری برای تعیین تقاضای وارد بر تلاش کنترل شونده توسط نیرو در شکل (۵-۲۳) نشان داده شده است.

تذکره ۱: تعیین تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو تنها برای زلزله سطح ۲ مورد نیاز بوده و در سایر سطوح خطر نیازی به استخراج آن‌ها نیست.

تذکره ۲: به جز برای برش دیوارهای برشی و ستون‌ها، در سایر تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو، میتوان مقادیر تلاش را از نتایج تحلیل استخراج نکرد به شرطی که کنترل معیارهای پذیرش آنها بر اساس طراحی ظرفیتی مطابق بند ۵-۴-۴-۴ انجام شود.

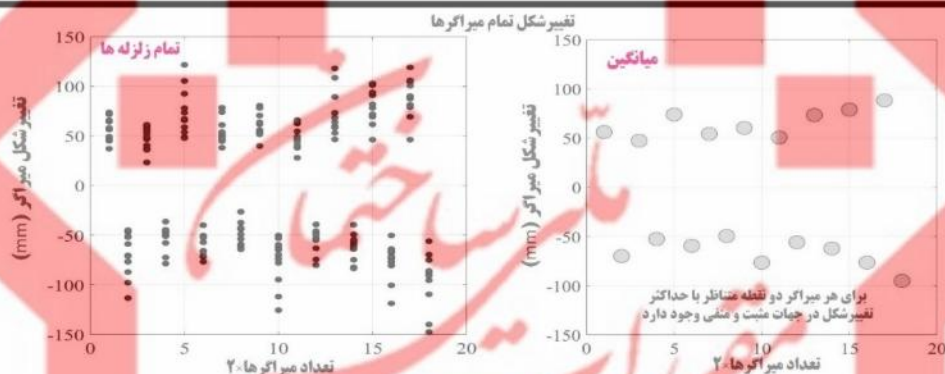
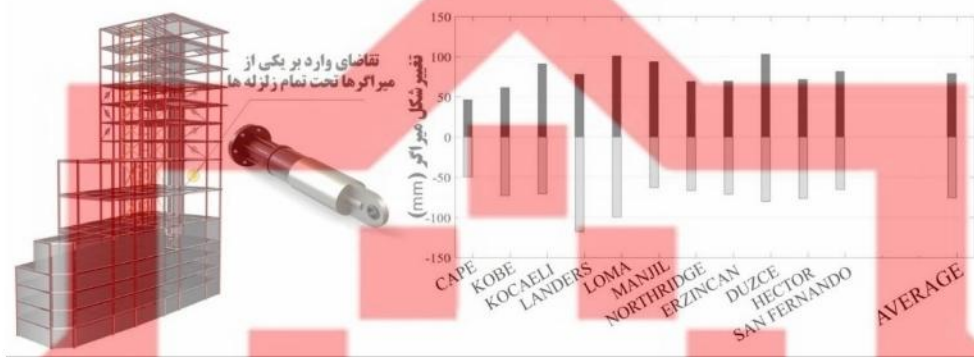


شکل (۵-۲۳). نمونه‌ای از نحوه میانگین‌گیری تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو

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 وارده بر میراگرها و جداگرها در محدودیت ظرفیت آن‌ها باشد. لذا لازم است حداکثر تغییرشکل و حداکثر نیروی ایجاد شده در میراگرها و جداگرها در تمام زلزله‌ها بدست آمده سپس میانگین‌گیری شوند. نمونه‌ای از این میانگین‌گیری در شکل (۵-۲۴) نشان داده شده است.

تذکر: 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.



شکل (۵-۲۴). نمونه‌ای از نحوه میانگین‌گیری تقاضای تغییرشکلی وارده بر میراگرها

۵-۴-۶ کنترل معیارهای پذیرش

معیارهای پذیرش نیز در دو سطح معیارهای کلی و معیارهای موضعی طبقه بندی می‌شوند. معیار پذیرش کلی اصلی شامل حداکثر دررفت طبقات است. علاوه بر آن در مواردی شتاب طبقات نیز می‌تواند به عنوان معیار پذیرش کلی مطرح باشد. معیارهای پذیرش موضعی نیز عمدتاً شامل معیارهای مربوط به تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشک در سازه اصلی و معیارهای مربوط به تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارده بر میراگرها و جداگرها هستند.

۵-۴-۶-۱ معیار پذیرش دریفت طبقه

در طراحی سازه‌های جدید، دریفت طبقات تحت زلزله سطح سرویس، سطح ۱ و سطح ۲ به ترتیب نباید از ۰/۵ درصد، ۲ درصد و ۳ درصد تجاوز کند. در بهسازی سازه‌های موجود معیار دریفت طبقه طبقه در زلزله سطح ۱ و ۲ به ترتیب ۲/۵ درصد و ۴ درصد است.

تذکره ۱: در صورتی که سازه‌های دارای میراگر بر اساس روش مبتنی بر دریفت طراحی شوند لازم است در تعیین دریفت هدف معیارهای دریفت طبقه به صورت محافظه کارانه در نظر گرفته شود.

تذکره ۲: معیارهای معرفی شده برای دریفت به عنوان معیارهایی حداقلی بوده و لازم است علاوه بر معیار دریفت، سایر معیارهای پذیرش به ویژه معیارهای پذیرش مربوط به تلاش‌های تغییرشکل-کنترل و نیرو-کنترل نیز برآورده کند.

۵-۴-۶-۲ معیار پذیرش شتاب طبقه

در صورتی که در سطح خطر خاصی عملکرد مدنظر سازه خدمت رسانی بدون وقفه (O) و یا استفاده بدون وقفه (IO) باشد، لازم است حداکثر شتاب طبقات در آن سطح خطر به ترتیب کوچکتر از 0.25g و 0.35g باشد.

تذکره ۱: در صورتی که معیار خدمت رسانی بدون وقفه یا استفاده بدون وقفه صرفاً در طبقات خاصی از ساختمان مورد نیاز است، کنترل شتاب صرفاً در همان طبقات انجام گرفته و نیازی نیست سایر طبقات معیار شتاب را برآورده کنند.

تذکره ۲: در صورتی که شتاب طبقه کمتر از ۵۰٪ از مقادیر فوق تجاوز کند، همچنان شتاب طبقات قابل قبول بوده به شرطی که تجهیزات سنگین و حساس داخل ساختمان که نسبت ارتفاع به عرضی بیش از ۳ دارند مهار شوند.

تذکره ۳: در سطوح عملکردی ایمنی جانی یا آستانه فروریزش نیازی به کنترل دریفت طبقات نمی‌باشد.

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

۳-۴-۵- معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل

به منظور کنترل معیارهای پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط تغییرشکل لازم است مقادیر میانگین حداکثر تلاش‌ها که بر اساس بند ۵-۴-۵-۵ بدست آمده اند را با مقادیر مجاز ارائه شده در ASCE 41-17 مقایسه نمود.

۴-۴-۵- معیار پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو

به منظور کنترل معیارهای پذیرش تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو لازم است رابطه (۵-۲۲) کنترل گردد.

$$\gamma I(Q_u - Q_{ns}) + Q_{ns} \leq Q_e \quad (۵-۲۲)$$

در رابطه فوق γ ضریبی وابسته به درجه اهمیت تلاش مدنظر بوده مطابق با جدول (۵-۱۴) است. I ضریب اهمیت ساختمان بوده و Q_u برابر با تلاش میانگین گیری شده مطابق بند ۴-۵-۶-۵ می‌باشد. پارامتر Q_{ns} برابر تلاش‌های مربوط به بارهای غیرلرزه‌ای (ثقلی، پیشتنیدگی، فشار خاک و ...) می‌باشد. پارامتر Q_e ظرفیت مورد انتظار تلاش مدنظر می‌باشد که لازم است بر آیین نامه طراحی مدنظر (مبحث نهم یا دهم) بدون اعمال ضرایب کاهش مقاومت و با احتساب مقاومت مورد انتظار برای مصالح (فولاد و بتن) محاسبه شود.

تذکر: به جز برای کنترل تلاش‌های برشی در دیوارهای برشی و ستون‌ها، در سایر موارد (تلاش‌های اتصالات، وصله‌ها و ...) می‌توان به جای کنترل رابطه (۵-۲۲)، از طراحی ظرفیتی به منظور کنترل تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو استفاده نمود.

جدول (۵-۱۴). مقدار ضریب γ در تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو

۷	نمونه تلاش‌ها	عواقب احتمالی برآورده نشدن معیار پذیرش	درجه اهمیت تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو
۲	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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) 	<p>فروریزش چندین طبقه یا چندین دهانه از ساختمان</p>	بحرانی
۱/۵	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 	<p>فروریزش موضعی در حداکثر یک دهانه و یک طبقه از ساختمان</p>	معمولی
۱		<p>عدم فروریزش موضعی یا افت ظرفیت جانبی در ساختمان</p>	غیربحرانی

۵-۴-۶-۵ معیار پذیرش تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگره

به منظور کنترل معیار پذیرش تقاضای تغییرشکلی و نیرویی وارد بر میراگرها و جداگرها لازم است تقاضای میانگین حاصل از زلزله سطح ۲ از ظرفیت تغییرشکلی و ظرفیت نیرویی میراگرها و جداگرها که از طرف شرکت سازنده مشخص شده است، کوچکتر باشد.

تذکر: ظرفیت تغییرشکل و نیرویی میراگرها و جداگرهای اعلام شده از طرف شرکت سازنده لازم است بر اساس تست‌های پروتوتایپ یا کنترل محصول به اثبات برسید.

فصل ۶

تست‌های میراگرها و

مقررهای جداگرها

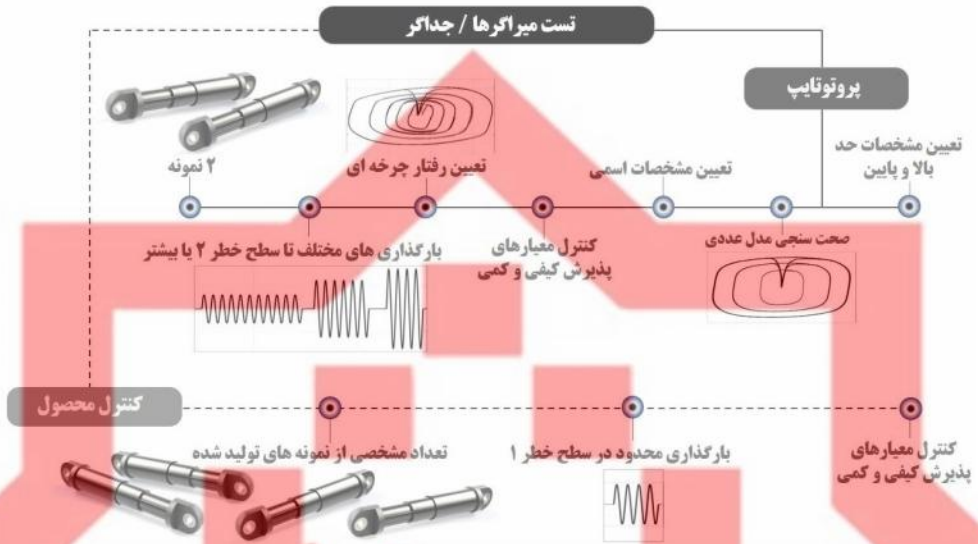
دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل ساختمان

۱-۶ مقدمه

در این فصل الزامات و روند انجام تست میراگرها و جداگرها ارائه شده است. مطابق شکل (۱-۶)، تست میراگرها و جداگرها شامل دو دسته کلی تست‌های پروتوتایپ و تست‌های کنترل محصول می‌باشد. هدف از تست‌های پروتوتایپ بررسی عملکرد و کارایی میراگرها و جداگرها و تعیین مشخصات اسمی (میانگین) و مشخصات حد بالا و حد پایین آنها است. تست‌های 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 تست‌های پروتوتایپ ارزیابی می‌شود. دسته دیگر تست‌ها مربوط به تست‌های 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. تست‌های کنترل محصول معمولاً بر روی تمام یا بخشی از محصولات تولید شده برای پروژه انجام شده لیکن برخلاف تست‌های پروتوتایپ دارای بارگذاری محدودتری می‌باشند. مطابق شکل (۲-۶) چیدمان‌های متفاوتی می‌تواند به منظور انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول مورد استفاده قرار بگیرد که طراحی چیدمان تست بر عهده مهندس طراح پروژه خواهد بود.



شکل (۶-۱). تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها و جداگرها



شکل (۶-۲). چیدمان‌های مختلف به منظور انجام تست میراگرها و جداگرها

تذکره ۱: اگرچه تست‌های پروتوتایپ می‌توانند بر روی میراگرها/جداگرهای طراحی شده برای یک پروژه خاص تعریف شوند، لیکن در برخی موارد شرکت‌های تولید کننده بر روی محصولات خود، تست‌های پروتوتایپ مختلفی انجام می‌دهند بدون آنکه این محصولات اختصاصاً برای پروژه خاصی تولید شده باشند. بدین ترتیب شرکت سازنده قادر خواهد بود مشخصات اسمی، مشخصات حد بالا و مشخصات حد پایین محصولات خود به همراه مدل‌های رفتاری مناسب را به طراح پروژه ارائه دهد. در صورتی که میراگرها/جداگرهای طراحی شده برای پروژه دارای مشخصاتی مشابه با محصولاتی باشند که از قبل توسط شرکت سازنده تست شده اند، در صورت تایید مهندس طراح، نیازی به تکرار تست‌های پروتوتایپ نبوده و صرفاً لازم است بر روی محصولات تولیدی برای پروژه، تست‌های کنترل محصول انجام شود.

تذکره ۲: لازم است محل انجام تست، چیدمان و نحوه انجام تست و کنترل معیارهای پذیرش مربوط به نتایج تست‌ها توسط مهندس طراح پروژه تعیین شود. بدین منظور توصیه می‌شود از تجربیات شرکت‌های سازنده و نیز متخصصین آزمایشگاه مربوطه استفاده شود. این امر به خصوص در تست‌های دینامیکی بسیار حائز اهمیت است چرا که در صورت بروز مشکل در چیدمان تست، فرصتی برای اصلاح وجود نداشته و می‌تواند منجر به بروز خسارات به نمونه‌ها و یا تجهیزات آزمایشگاه شود.

تذکره ۳: در تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول میراگرها توصیه می‌شود حتی المقدور از تست میراگر در داخل قاب (استفاده از چیدمان داخل قاب) اجتناب شود. در غیر این صورت لازم است با اتخاذ تدابیری رفتار چرخه‌ای میراگر به تنهایی و بدون مشارکت قاب بدست آید.

تذکره ۴: لازم است تمام یا بخشی از تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در حضور مهندس طراح پروژه یا نماینده وی انجام شود. در صورتی که تست‌های پروتوتایپ قبلاً توسط شرکت سازنده میراگر/جداگر انجام شده است، لازم است نتایج تست‌ها، تصاویر و سایر مستندات مربوطه توسط شرکت سازنده میراگر/جداگر به مهندس طراح ارائه شود.

تذکره ۵: لازم است گزارش تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول به صورت مکتوب توسط مهندس طراح تهیه شود. علاوه بر نتایج، لازم است از مراحل تست فیلم برداری یا عکس برداری انجام شده و ضمیمه گزارش آزمایشات گردد.

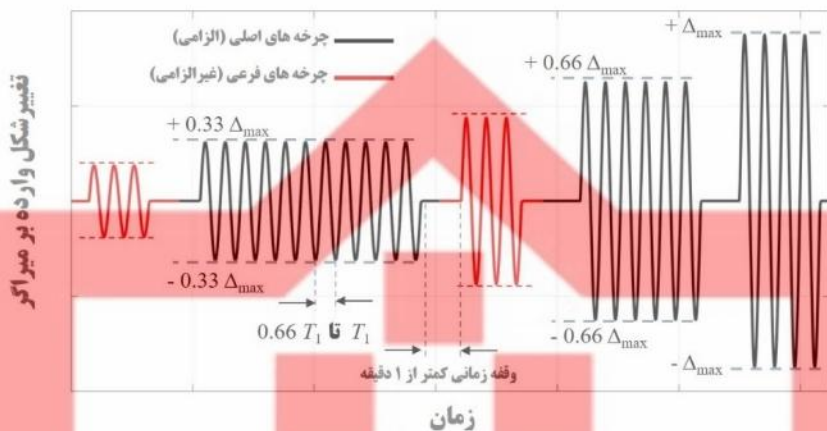
۶-۲ تست میراگرها

۶-۲-۱ تست‌های پروتوتایپ

تست‌های پروتوتایپ لازم است حداقل بر روی دو نمونه با مقیاس کامل انجام شوند. در صورتی که به دلیل محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی، امکان انجام تست بر روی نمونه با مقیاس کامل وجود نداشته باشد، می‌توان تست‌های پروتوتایپ را بر روی نمونه‌های با مقیاس کوچک انجام داد به شرطی که اولاً ضریب مقیاس از ۱:۴ کوچکتر نباشد، ثانیاً جزئیات، 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.

۶-۲-۱-۱ تست مربوط به بارهای لرزه ای

به منظور انجام تست مربوط به بارهای لرزه ای، لازم است میراگر حداقل تحت ۲۱ چرخه هارمونیک با پریودی بین $0.67T_1$ تا T_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 پریود مود اصلی ساختمان در جهت قرارگیری میراگرها بوده و Δ_{max} حداکثر تغییرشکل میراگر تحت زلزله سطح ۲ است که بر اساس نتایج تحلیل تاریخچه زمانی با فرض مشخصات اسمی میراگر تخمین زده شده است (حاصل از میانگین ۱۰ زلزله در سطح ۲). این پروتکل بارگذاری در شکل (۶-۳) نشان داده شده است.



شکل (۳-۶). پروتوکل‌های اصلی و فرعی در تست‌های پروتوتایپ

تذکر 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 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 تست‌های پروتوتایپ را به صورت شبه استاتیکی انجام داد. این استثنا برای میراگرهای اصطکاکی تنها در صورتی قابل اعمال است که بر اساس نتایج آزمایشگاهی بر روی میراگرهایی با جزئیاتی مشابه نشان داده شود نیروی لغزش میراگر در چرخه‌های مختلف مستقل از سرعت بارگذاری و حرارت ایجاد شده در میراگر است.

تذکر ۳: به جز در تست‌های شبه استاتیکی، در سایر تست‌های پروتوتایپ دینامیکی لازم است کلیه چرخه‌ها به صورت پیوسته اعمال شده و در لحظه تغییر دامنه چرخه مطابق شکل (۳-۶) نباید بیش از ۱ دقیقه وقفه ایجاد شود. همچنین در حین تست نباید از وسایل خنک کننده به منظور کاهش دمای میراگر استفاده شود.

تذکر ۴: در مورد میراگرهایی که دارای مشخصاتی وابسته به دما هستند، لازم است تست‌های پروتوتایپ حداقل بر روی یکی از نمونه‌ها علاوه بر دمای محیط آزمایشگاه حداقل در دو دمای

θ_{max} و θ_{min} نیز تکرار شوند (θ_{max} و θ_{min} به ترتیب میانگین حداکثر و حداقل دمایی هستند که انتظار می‌رود میراگر در شرایط عادی در طول سال آن‌ها را تجربه کند). این تست در مورد میراگرهایی که در فضای باز نصب می‌شوند از اهمیت بیشتری برخوردار است.

تذکره ۵: سه دامنه معرفی شده در تست‌های پروتوتایپ لرزه‌ای مربوطه به چرخه‌های اصلی بوده و یک الزام حداقلی می‌باشند. به ویژه برای میراگرهای وابسته به سرعت توصیه می‌شود به منظور تخمین دقیقتر ضریب میرایی میراگر، علاوه بر چرخه‌های اصلی، چندین چرخه فرعی نیز در تست‌های پروتوتایپ گنجانده شوند. مطابق شکل (۳-۶) دامنه چرخه‌های فرعی مابین دامنه چرخه‌های اصلی بوده و بدین ترتیب میراگر تحت سرعت‌های بیشتری تست شده و ضریب میرایی میراگر به شکل دقیقتری بدست می‌آید. تعداد تکرار چرخه‌های فرعی می‌تواند حداقل ۳ تکرار باشد. اعمال چرخه‌های فرعی الزامی نمی‌باشد.

تذکره ۶: در خصوص میراگرهای وابسته به سرعت، در صورتی که نیروی حداکثر میراگر در تست‌های 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 تست‌های 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 نیز با تایید مهندس طراح پروژه مجاز است.

۶-۱-۲-۲ تست مربوط به بارهای ناشی از باد

در صورتی که میراگر بر اثر ارتعاشات ناشی از باد فعال شده و شروع به استهلاک انرژی نماید لازم است حداقل بر روی یکی از نمونه‌ها علاوه بر تست‌های 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 پریودی معادل T_1 و دامنه‌ای معادل $\Delta_{wind-dyn}$ به میراگر. پارامترهای

$\Delta_{wind-dyn}$ و $\Delta_{wind-mean}$ به ترتیب تغییرشکل متوسط (مولفه شبه استاتیکی) و تغییرشکل نوسانی (مولفه دینامیکی) ناشی از باد هسته که به میراگر وارد می‌شوند.

پروتکل ۲: پروتکلی متشکل از بارهای هارمونیک دینامیکی 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: تست پروتوتایپ باد بر روی نمونه‌هایی اعمال می‌شود که بر روی آنها تست پروتوتایپ لرزه‌ای اعمال شده و یا قرار است اعمال شود. مابین انجام تست پروتوتایپ باد و تست پروتوتایپ لرزه‌ای لازم است وقفه زمانی کافی ایجاد شود به طوری که قبل از شروع هر یک از تست‌ها، دمای میراگر با دمای محیط آزمایشگاه متعادل شده باشد.

تذکر ۲: صرفنظر از آنکه از چه پروتکلی برای تست باد استفاده شود، لازم است پروتکل انتخاب شده به صورت پیوسته و بدون وقفه به میراگر اعمال شده و دمای میراگر در حین انجام تست ثبت شود. همچنین در حین تست نباید از وسایل خنک‌کننده 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 بوده و سیستم باربرجانبی ساختمان در محدوده الاستیک خود دارای ظرفیت کافی در برابر بار باد باشد و همچنین دریافت حداکثر طبقات در اثر بار باد کوچکتر از ۰/۵ درصد باشد، می‌توان از انجام تست‌های مربوط به بارهای ناشی از باد صرفنظر نمود.

۲-۲-۶ معیارهای پذیرش تست‌های پروتوتایپ

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایشات لازم است میراگرهای تست شده قادر به تامین معیارهای پذیرش تست‌های پروتوتایپ باشند. معیارهای پذیرش شامل دو دسته معیارهای کیفی و معیارهای کمی می‌باشند.

۶-۲-۲-۱ معیارهای پذیرش کیفی

در کلیه تست‌های پروتوتایپ لازم است میراگر بدون آسیب مانده و شواهدی از بروز گسیختگی، کمانش غیرمنتظره، ترک خوردگی و یا نشتی در میراگر یافت نشود. همچنین لازم است میراگر به صورت چشمی دارای رفتار چرخه‌ای پایداری بوده و فاقد زوال شدید در سختی یا مقاومت باشد.

۶-۲-۲-۲ معیارهای پذیرش کمی

معیارهای پذیرش کمی که در این دستوالعمل تحت عنوان معیارهای ۱۵٪ نیز اطلاق شده اند، 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 (۶-۴) نشان داده شده است.

تذکره ۱: در میراگرهای وابسته به تغییر شکل، لازم است معیار ۱۵٪ برای تمام چرخه‌های اصلی (الزامی) وارده بر میراگر کنترل شود.

تذکره 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 جک آزمایشگاه از شرایط هارمونیک خارج خواهد شد. لذا 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 میانگین گیری شده در تمام چرخه‌ها بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است روابط (۶-۱) و (۶-۲) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta 0}^+)_{i-1} - \bar{P}_{\Delta 0}^+}{P_{\Delta 0}^+} < +0.15 \quad (۶-۱)$$

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta 0}^-)_{i-1} - \bar{P}_{\Delta 0}^-}{P_{\Delta 0}^-} < +0.15 \quad (۶-۲)$$

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

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 (میانگین گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان).

▪ 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 میانگین گیری شده در تمام چرخه‌ها بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است روابط (۳-۶) و (۴-۶) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta max}^+)_i - \overline{P_{\Delta max}^+}}{\overline{P_{\Delta max}^+}} < +0.15 \quad (۳-۶)$$

$$-0.15 < \frac{(P_{\Delta max}^-)_i - \overline{P_{\Delta max}^-}}{\overline{P_{\Delta max}^-}} < +0.15 \quad (۴-۶)$$

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 (میانگین گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان).

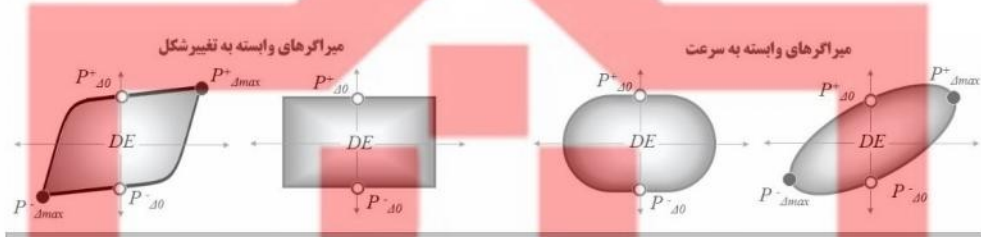
تذکر ۳: در میراگرهای وابسته به سرعت و فاقد سختی استاتیکی (همانند میراگرهای ویسکوز، میراگرهای ویسکوز دیواری و میراگرهای روغنی) که نیروی میراگر در تغییرشکل حداکثر برابر یا نزدیک به صفر است، نیازی به انجام این کنترل نمی‌باشد.

▪ معیار ۱۵٪ برای انرژی مستهلک شده در هر چرخه

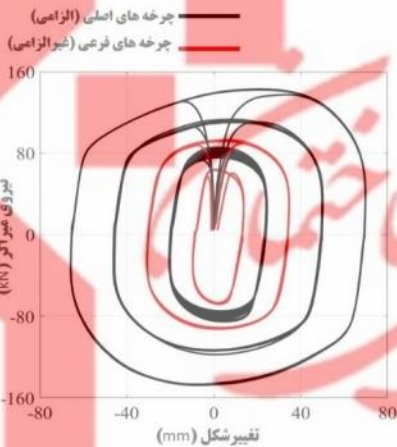
در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است انرژی مستهلک شده در هر چرخه در مقایسه با مقدار متناظر میانگین گیری شده در تمام چرخه‌ها بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است رابطه (۵-۶) برقرار باشد:

$$-0.15 < \frac{(DE)_i - \overline{DE}}{\overline{DE}} < +0.15 \quad (۵-۶)$$

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 (میانگین گیری 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 سازه	میانگین (°)	انحراف با مقدار		میانگین سوری		انحراف با مقدار		میانگین سوری	
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
1	5.8	7	-85.4	7	-85.4	7	-85.4	7	-85.4
2	6.2	6	-84.1	6	-84.1	6	-84.1	6	-84.1
3	6.0	4	-82.7	4	-82.7	4	-82.7	4	-82.7
4	6.0	2	-81.6	3	-81.6	3	-81.6	3	-81.6
5	6.1	1	-80.4	1	-80.4	1	-80.4	1	-80.4
6	5.9	0	-79.3	0	-79.3	0	-79.3	0	-79.3
7	5.9	-2	-78.1	-2	-78.1	-2	-78.1	-2	-78.1
8	5.8	-3	-77.2	-3	-77.2	-3	-77.2	-3	-77.2
9	5.9	0	-76.4	-4	-76.4	-4	-76.4	-4	-76.4
10	5.8	-2	-75.6	-5	-75.6	-5	-75.6	-5	-75.6
11	5.7	-4	-74.9	-6	-74.9	-6	-74.9	-6	-74.9
میانگین	5.9		-79.6		-79.6		-79.6		-79.6

شماره سازه	میانگین (°)	انحراف با مقدار		میانگین سوری		انحراف با مقدار		میانگین سوری	
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
1	18.4	3	-118	3	-118	3	-118	3	-118
2	18.4	0	-113	1	-113	1	-113	1	-113
3	18.4	0	-113	-1	-113	-1	-113	-1	-113
4	18.4	0	-113	-1	-113	-1	-113	-1	-113
5	18.4	0	-114	0	-114	0	-114	0	-114
6	18.0	-2	-114	0	-114	0	-114	0	-114
میانگین	18.3		-114.2		-114.2		-114.2		-114.2

شماره سازه	میانگین (°)	انحراف با مقدار		میانگین سوری		انحراف با مقدار		میانگین سوری	
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
1	32.5	-1	-145	-1	-145	-1	-145	-1	-145
2	33.1	1	-146	0	-146	0	-146	0	-146
3	33.0	1	-146	0	-146	0	-146	0	-146
4	32.4	-1	-147	1	-147	1	-147	1	-147
میانگین	32.8		-146		-146		-146		-146

شکل (۶-۴). پارامترهای لازم در چرخه‌های 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 تست‌های پروتوتایپ مشخصات اسمی میراگر تعیین می‌شود. برای این منظور لازم است کلیه پارامترهای 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. پارامترهای موثر در رفتار میراگرهای مختلف در فصل ۲ ارائه شده است.

تذکر ۱: در خصوص میراگرهای وابسته به سرعت نباید نتایج حاصل از نیم چرخه ابتدایی و انتهایی تست 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 تست سرعت و تغییرشکل هم زمان صفر نمی‌باشند (در بارگذاری هارمونیک چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد).

تذکر ۲: برای میراگرهای تست شده لازم است مشخصات مدل عددی تعیین گردد به طوری که مدل عددی بتواند رفتار واقعی میراگر را در دامنه‌های مختلف با دقت مناسبی شبیه‌سازی کند به طوری 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 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 حتما 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 لزوما دارای سرعت یکسانی نمی‌باشند (به ویژه در دامنه‌های بالا که جک آزمایشگاه به ظرفیت سرعت نهایی خود نزدیک می‌شود).

تذکر ۴: در تست‌های پروتوتایپ حداقل دو نمونه مشابه تست می‌شوند. لذا مشخصات اسمی میراگر بر اساس نتایج میانگین بدست آمده از هر دو نمونه تعیین شده و بدن 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.

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 آن‌ها 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، خودگرمایی میراگر (به واسطه استهلاک انرژی)، سخت‌شوندگی مصالح تسلیم‌شونده، لغزش سطوح لغزش و ... نیز بر رفتار میراگر تاثیرگذار باشد. همچنین عوامل محیطی از قبیل گذر زمان و تغییرات دمای محیط نیز می‌تواند بر رفتار برخی از میراگرها تاثیرگذار باشد. به منظور در نظر گرفتن تغییرات فوق، لازم است علاوه بر مشخصات اسمی میراگر، مشخصات حدبالا 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.

$$\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{a\theta, max} - 1)]\lambda_{cyc, max}\lambda_{p, max} \quad (6-6)$$

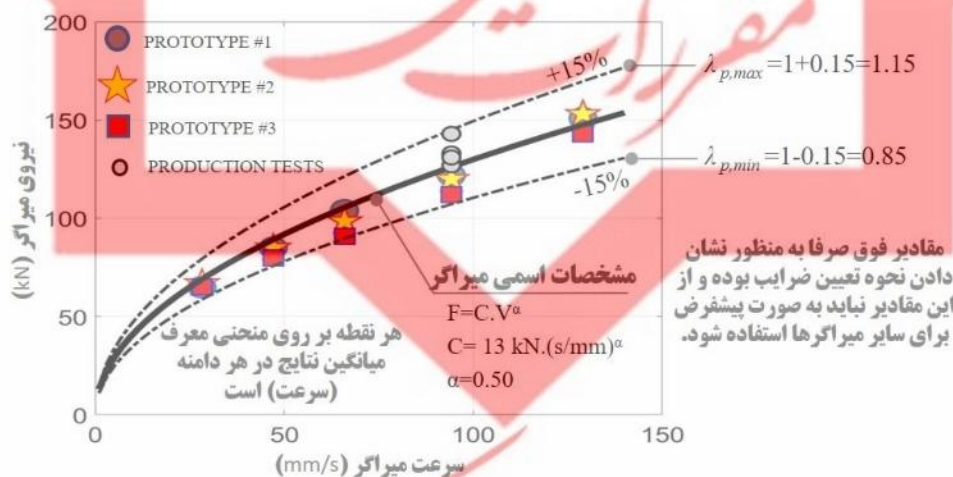
$$\lambda_{min} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{a\theta, min})]\lambda_{cyc, min}\lambda_{p, min}\lambda_{model} \quad (7-6)$$

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 $\lambda_{a\theta}$: به منظور در نظر گرفتن اثر گذر زمان و تغییرات دمای محیط بر مشخصات میراگر است. به جز در میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای ویسکوز دیواری، برای سایر میراگرهای معرفی شده در این دستورالعمل در صورتی که قطعات میراگر از خوردگی و زوال محافظت شده باشند مقدار $\lambda_{a\theta, min}$ و $\lambda_{a\theta, max}$ را می‌توان به ترتیب برابر با ۱/۰۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفت. در خصوص میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای ویسکوز دیواری لازم است این ضریب بر اساس مطابق تذکره ۴ بند ۶-۲-۱-۱ بر اساس تست میراگر در دمای حداکثر و حداقل مورد انتظار بر آورد گردد.

ضریب λ_{cyc} : به منظور در نظر تغییرات مشخصات میراگر در چرخه‌های مختلف بارگذاری و در نظر گرفتن اثر خودگرمایی در میراگر می‌باشد. برای کلیه میراگرها می‌توان مقدار $\lambda_{cyc,max}$ و $\lambda_{cyc,min}$ را بر اساس نتایج حاصل از کنترل ۱۵٪ برای نیروی میراگر در تغییر شکل صفر در تست پروتوتایپ مربوط به دامنه Δ_{max} بدست آورد. برای این منظور لازم است نتایج حاصل از روابط (۱-۶) و (۲-۶) 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 (۴-۶) مقادیر $\lambda_{cyc,max}$ و $\lambda_{cyc,min}$ به ترتیب برابر با ۱/۰۱ و ۰/۹۹ می‌باشد. هرچقدر رفتار میراگر 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 : به منظور در نظر تغییرات مشخصات محصولات تولیدی با مشخصات اسمی در نظر گرفته می‌شود. مقدار آن بر اساس پراکندگی نتایج میانگین حاصل از تست‌های پروتوتایپ در مقایسه با مشخصات اسمی تعیین می‌شود. نمونه‌ای از تعیین ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ در شکل (۵-۶) نشان داده شده است. برای این منظور می‌توان نیروی میراگر در تغییر شکل صفر در تست پروتوتایپ مربوط به دامنه Δ_{max} را ملاک عمل قرار داد.



شکل (۵-۶). نمونه‌ای از محاسبه ضرایب $\lambda_{p,max}$ و $\lambda_{p,min}$ بر اساس نتایج حاصل از تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول

ضریب λ_{model} : به منظور در نظر گرفتن خطای مدل عددی در شبیه سازی رفتار واقعی میراگر می‌باشد. در صورتی که خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط میراگر در دامنه $0.67\Delta_{max}$ کمتر از ۱۰٪ باشد، مقدار این ضریب را می‌توان برابر با ۱ در نظر گرفت. در غیر این صورت مقدار این ضریب برابر است با نسبت مقدار متوسط انرژی مستهلک شده در حین تست در دامنه $0.67\Delta_{max}$ به مقدار شبیه سازی شده توسط مدل عددی. مقدار ضریب λ_{model} نباید بزرگتر از ۱ در نظر گرفته شود.

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. 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 مقاومت تسلیم و سختی پس از تسلیم اعمال نمود. سایر مشخصات مدل عددی از جمله سختی اولیه میراگر می‌تواند ثابت در نظر گرفته شود.
- برای میراگرهای اصطکاکی، ضرایب حد بالا و پایین در مدل عددی تنها بر مقاومت آستانه لغزش میراگر اعمال می‌شوند. سایر مشخصات مدل عددی از جمله سختی اولیه میراگر می‌تواند ثابت در نظر گرفته شود.
- برای میراگرهای ویسکوز، میراگرهای ویسکوز دیواری و میراگرهای روغنی، ضرایب حد بالا و پایین در مدل عددی تنها بر ضریب میرایی میراگر اعمال می‌شوند. سایر مشخصات مدل عددی از جمله سختی تراکم ناپذیری و توان سرعت میراگر می‌تواند ثابت 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

تغییر شکل 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 در نظر گرفته شود.

۵-۲-۶ تست‌های کنترل محصول

لازم است از هر مدل از میراگرهای تولید شده برای پروژه، حداقل سه نمونه به صورت تصادفی انتخاب شده و تست کنترل محصول بر روی آن انجام شود. پروتوکل بارگذاری در تست‌های کنترل محصول شامل اعمال حداقل ۴ چرخه هارمونیک با دامنه $0.67\Delta_{max}$ و پریودی بین $0.67T_1$ تا T_1 می‌باشد.

تذکره ۱: در خصوص میراگرهای تسلیم شونده و اصطکاکی می‌توان در تست کنترل محصول از ۳ چرخه به صورت شبه استاتیکی یا دینامیکی استفاده نمود.

تذکره ۲: در صورتی که تست‌های پروتوتایپ بر روی نمونه‌هایی با مقیاس کامل که اختصاصاً برای پروژه مدنظر ساخته شده‌اند، انجام شده باشد، تست‌های پروتوتایپ نیز می‌توانند به عنوان بخشی از تست‌های کنترل محصول در نظر گرفته شوند.

۶-۲-۶ معیار پذیرش تست‌های کنترل محصول

کنترل معیارهای پذیرش در تست‌های کنترل محصول مشابه تست‌های پروتوتایپ مطابق بند ۶-۲-۲ می‌باشد که در آن لازم است معیارهای کیفی و کمی برآورده شوند. مشخصات میانگین بدست آمده از تست‌های کنترل محصول باید در محدوده $\lambda_{p,min}$ تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی بدست آمده از تست‌های پروتوتایپ قرار بگیرند.

تذکره: به جز در میراگرهای تسلیم شونده، در سایر موارد، همان میراگر تست شده می‌تواند در پروژه نیز مورد استفاده قرار گیرد. این امر در خصوص میراگرهای تسلیم شونده مجاز نبوده و میراگرهای تسلیم شونده‌ای که تست شده باشند نمی‌توانند در پروژه مورد استفاده قرار بگیرند.

بنابراین در خصوص میراگرهای تسلیم شونده لازم است علاوه بر میراگرهایی که در پروژه نصب می‌شوند، میراگرهایی اضافه به منظور انجام تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول ساخته شود.

۶-۳ تست جداگرها

۶-۳-۱ تست‌های پروتوتایپ

تست‌های پروتوتایپ لازم است حداقل بر روی دو نمونه با مقیاس کامل انجام شوند. در صورتی که به دلیل محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی، امکان انجام تست بر روی نمونه با مقیاس کامل وجود نداشته باشد، می‌توان تست‌های پروتوتایپ را بر روی نمونه‌های با مقیاس کوچک انجام داد به شرطی که اولاً ضریب مقیاس از ۱:۴ کوچکتر نباشد، ثانیاً جزئیات، نوع مصالح، ضرایب 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.

۶-۳-۱-۱ تست مربوط به بارهای لرزه ای

به منظور انجام تست مربوط به بارهای لرزه ای، لازم است جداگر تحت تست‌های شماره ۱ تا ۴ قرار داده شود (مطابق شکل (۶-۶)). کلیه تست‌ها لازم است به شکل دینامیکی و در پیرودی برابر با پیرودی مود اصلی سازه جداسازی شده در جهت مدنظر اعمال شوند. این پیرودی لازم است متناظر با زلزله سطح ۲ و برابر اساس مشخصات اسمی یا حد بالا یا حد پایین جداگرها تعیین شود.

- تست ۱: اعمال بار محوری فشاری P_G سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۱۲ چرخه به طوری که ۳ چرخه اول دارای دامنه $0.25\Delta_{max}$ ، ۳ چرخه دوم دارای دامنه $0.5\Delta_{max}$ ، ۳ چرخه سوم دارای دامنه $0.66\Delta_{max}$ و ۳ چرخه چهارم دارای دامنه Δ_{max} باشد که در آنها Δ_{max} برابر است با حداکثر تغییرشکل برشی در مرکز سختی سیستم جداساز (تراز جداسازی شده) که برای تخمین آن می‌توان از تحلیل‌های تاریخچه زمانی فاز ۱ (با در نظر گرفتن مشخصات حد پایین تخمینی برای جداگرها) استفاده نمود.

- تست ۲: اعمال بار محوری $P_{c,max}$ سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۳ چرخه با دامنه Δ_{max} .
- تست ۳: اعمال بار محوری $P_{c,min}$ سپس اعمال تغییرشکل برشی در ۳ چرخه با دامنه Δ_{max} .
- تست ۴: اعمال بار محوری فشاری P_G سپس اعمال تغییر شکل برشی در ۱۵ چرخه با دامنه $0.75\Delta_{max}$. در این بارگذاری لزومی به اعمال هر ۱۵ چرخه به صورت پیوسته نبوده و می‌توان تست را در سه بخش مجزا که هر بخش شامل ۵ چرخه پیوسته باشد انجام داد.

در تست‌های فوق بار P_G عبارت است از بار محوری ثقلی وارده بر جداگر. برای محاسبه آن می‌توان با استفاده از ترکیب بار ثقلی $D+0.25L$ بار محوری وارده بر تمام جداگرهای مشابه با جداگر مورد تست را بدست آورده و از میانگین آن‌ها به عنوان P_G استفاده نمود. همچنین $P_{c,max}$ برابر است با حداکثر نیروی فشاری وارده بر جداگرهای مشابه با جداگر مورد تست و $P_{c,min}$ برابر است با حداقل نیروی فشاری وارده بر جداگرهای مشابه با جداگر مورد تست که تخمین این دو نیروی محوری بر اساس تحلیل‌های تاریخچه زمانی فاز ۱ (با در نظر گرفتن مشخصات حد بالای تخمینی برای جداگرها) انجام می‌شود.

تذکر: در جداگرهای لاستیکی در صورتی که نیروی $P_{c,min}$ کششی باشد لازم است نیروی محوری جداگر در تست ۳ به صورت کششی اعمال شود. در این دستورالعمل لازم است جداگرهای لغزشی به نحوی طراحی شوند که در معرض بلندشدگی قرار نگیرند. لذا در تست شماره ۳ برای جداگرهای لغزشی همواره نیروی محوری به صورت فشاری خواهد بود.



شکل (۶-۶). تست‌های پروتوتایپ لرزه‌ای شماره ۱ تا ۴ جداگرهای لرزه ای

۶-۳-۱-۲ تست مربوط به بارهای ناشی از باد

به منظور انجام تست 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 تست را مدنظر قرار داد. انجام این تست می‌تواند به صورت شبه استاتیکی انجام شود.

تذکر: در صورتی که نیروی باد منجر به ایجاد لغزش و یا تسلیم در سیستم جداسازی شده ساختمان نشود، نیازی به انجام تست ناشی از باد نمی‌باشد.

۶-۳-۲ معیارهای پذیرش تست‌های پروتوتایپ

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایشات لازم است جداگرهای تست شده قادر به تامین معیارهای پذیرش تست‌های پروتوتایپ باشند. معیارهای پذیرش شامل دو دسته معیارهای کیفی و معیارهای کمی می‌باشند.

۶-۳-۱-۲ معیارهای پذیرش کیفی

در کلیه تست‌های پروتوتایپ لازم است جداگر بدون آسیب مانده و شواهدی از بروز ناپایداری، کممانش، 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.

۶-۳-۲-۲ معیارهای پذیرش کمی

جداگرهایی که در تست‌های پروتوتایپ شرکت کرده اند لازم است معیارهای ۱۵٪ را مطابق این بند در هر چهار تست پروتوتایپ لرزه‌ای (تست‌های شماره ۱ تا ۴) برآورده کنند. هدف از تعیین این الزام اطمینان از پایداری رفتار چرخه‌ای جداگرها می‌باشد. در صورت تایید مهندس طراح، محدودیت ۱۵٪ معرفی شده در این بند می‌تواند تا ۲۰٪ افزایش یابد به شرطی که اثر آن در محاسبه حد بالا و پایین مشخصات جداگر لحاظ گردد.

تذکر: به استثنای جداگرهای لغزشی مسطح، در سایر جداگرها علاوه بر معیارهای ۱۵٪، باید سختی پس از تسلیم (یا سختی پس از لغزش) جداگر مثبت باشد. این معیار در تمام تست‌های شماره ۱ تا ۴ لازم است کنترل شود. کنترل چشمی این معیار بر اساس نتایج چرخه‌ای حاصل از تست‌ها بلامانع است.

▪ معیار ۱۵٪ برای نیروی برشی جداگر در تغییرشکل صفر

در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است نیروی برشی جداگر در تغییرشکل صفر در مقایسه با مقدار متناظر میانگین گیری شده در تمام چرخه‌ها بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است روابط (۶-۸) و (۶-۹) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta 0}^+)_i - \overline{V_{\Delta 0}^+}}{V_{\Delta 0}^+} < +0.15 \quad (۸-۶)$$

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta 0}^-)_i - \overline{V_{\Delta 0}^-}}{V_{\Delta 0}^-} < +0.15 \quad (۹-۶)$$

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 (میانگین گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان).

▪ معیار ۱۵٪ برای نیروی برشی جداگر در تغییرشکل حداکثر در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است نیروی برشی جداگر در تغییرشکل حداکثر در مقایسه با مقدار متناظر میانگین گیری شده در تمام چرخه‌ها بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است روابط (۶-۱۰) و (۶-۱۱) برقرار باشند:

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta max}^+)_i - \overline{V_{\Delta max}^+}}{V_{\Delta max}^+} < +0.15 \quad (۱۰-۶)$$

$$-0.15 < \frac{(V_{\Delta max}^-)_i - \overline{V_{\Delta max}^-}}{V_{\Delta max}^-} < +0.15 \quad (۱۱-۶)$$

در روابط فوق $(V_{\Delta max}^+)_i$ و $(V_{\Delta max}^-)_i$ 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 (میانگین گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). در جداگرهای لغزشی مسطح نیازی به کنترل این معیار نمی‌باشد.

▪ معیار ۱۵٪ برای انرژی مستهلک شده توسط جداگر در هر چرخه در کلیه چرخه‌های با دامنه یکسان لازم است انرژی مستهلک شده در هر چرخه در مقایسه با مقدار متناظر میانگین گیری شده در تمام چرخه‌ها بیش از ۱۵٪ اختلاف نداشته باشد. برای این منظور لازم است رابطه (۶-۱۲) برقرار باشد:

دقت نظر است

$$-0.15 < \frac{(DE)_i - \overline{DE}}{\overline{DE}} < +0.15 \quad (۱۲-۶)$$

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 (میانگین گیری شده بر روی تمام چرخه‌ها با دامنه یکسان). انرژی مستهلک شده توسط جداگر در هر چرخه برابر است مساحت داخل چرخه در منحنی نیرو-تغییرشکل جداگر. در جداگرهای لاستیکی با میرایی پایین نیازی به کنترل این معیار نمی‌باشد.

۳-۳-۶ تعیین مشخصات اسمی جداگر

بر اساس نتایج بدست آمده از تست‌های پروتوتایپ مشخصات اسمی جداگر تعیین می‌شود. برای این منظور لازم است کلیه پارامترهای موثر در رفتار جداگر بر اساس میانگین نتایج در چرخه‌های مختلف (با دامنه یکسان) بدست آورده شود. پارامترهای موثر در رفتار جداگرهای مختلف در فصل ۳ ارائه شده است. از جمله مهمترین پارامترها 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 تغییرشکل‌های برشی مختلف را نیز استخراج نمود.

تذکره ۱: برای جداگرهای تست شده لازم است مشخصات مدل عددی تعیین گردد به طوری که مدل عددی بتواند رفتار واقعی جداگر را در دامنه‌های مختلف با دقت مناسبی شبیه سازی کند به طوری که خطای مدل عددی در تخمین متوسط نیروی جداگر در تغییرشکل صفر حداقل و تغییرشکل حداکثر در دو دامنه Δ_{max} و $\Delta_{max}, 67$ کوچکتر از ۱۰٪ باشد. همچنین لازم است خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط جداگر در دو دامنه Δ_{max} و $\Delta_{max}, 67$ کوچکتر از ۱۰٪ باشد. در صورتی که معیار مربوط به انرژی مستهلک شده برآورده نشود، لازم است اثر خطای مدل عددی مطابق بند ۶-۳-۴ از طریق ضریب λ_{model} در نظر گرفته شود. تحت هیچ شرایطی خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط جداگر در دو دامنه Δ_{max} و $\Delta_{max}, 67$ نباید فراتر از ۳۰٪ باشد.

تذکر ۲: در تست‌های پروتوتایپ حداقل دو نمونه مشابه تست می‌شوند. لذا مشخصات اسمی جداگر بر اساس نتایج میانگین بدست آمده از هر دو نمونه تعیین شده و بدن ترتیب هر دو نمونه مشخصات اسمی یکسانی خواهند داشت اگرچه ممکن است نتایج آنها اندکی با یکدیگر متفاوت باشد. تاثیر این تفاوت در رفتار در 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 آن‌ها 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، خودگرمایی جداگر (به واسطه استهلاک انرژی)، لغزش سطوح لغزش و نیز پدیده‌هایی همانند پیش کرنشی و شکست اصطکاکی بر رفتار جداگرها تاثیرگذار هستند. علاوه بر آن عوامل محیطی از قبیل گذر زمان و تغییرات دمای محیط نیز می‌توانند بر رفتار برخی از جداگرها تاثیرگذار باشند. به منظور در نظر گرفتن تغییرات فوق، لازم است علاوه بر مشخصات اسمی جداگر، مشخصات حدبالا و حد پایین جداگرها نیز تخمین زده شود. برای این منظور لازم است مشخصات اسمی جداگر در ضرایب حد بالا (λ_{max}) و حد پایین (λ_{min}) ضرب شوند که این دو کمیت به ترتیب مطابق روابط (۶-۱۳) و (۶-۱۴) تعیین می‌شوند.

$$\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{a\theta, max} - 1)]\lambda_{cyc, max}\lambda_{p, max} \quad (۶-۱۳)$$

$$\lambda_{min} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{a\theta, min})]\lambda_{cyc, min}\lambda_{p, min}\lambda_{Model} \quad (۶-۱۴)$$

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:

دقت مقررات ملی و کنترل ساختمان

ضریب λ_a : به منظور در نظر گرفتن اثر گذر زمان و تغییرات دمای محیط بر مشخصات جداگر است. برای کلیه جداگرهای معرفی شده در این دستورالعمل در غیاب نتایج آزمایشگاهی مربوطه مقدار $\lambda_{a,max}$ و $\lambda_{a,min}$ را می‌توان به ترتیب زیر در نظر گرفت.

- برای انواع جداگرهای لغزشی: $\lambda_{a,max}$ و $\lambda_{a,min}$ به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۱.
- برای انواع جداگرهای لاستیکی: $\lambda_{a,max}$ و $\lambda_{a,min}$ به ترتیب برابر با ۱/۳ و ۱.

ضریب λ_{eye} : به منظور در نظر گرفتن تغییرات مشخصات جداگر در چرخه‌های مختلف بارگذاری و در نظر گرفتن اثراتی از قبیل خود گرمایی، پیش کرنشی و شکست اصطکاکی می‌باشد. برای کلیه جداگرها مقدار $\lambda_{eye,max}$ و $\lambda_{eye,min}$ بر اساس نتایج حاصل از کنترل ۱۵٪ در تست پروتوتایپ مربوط به دامنه Δ_{max} بدست می‌آیند. برای این منظور لازم است نتایج حاصل از روابط (۶-۱۰) تا (۶-۱۳) در هر چرخه با عدد ۱ جمع شده و بزرگترین و کوچکترین عدد حاصله به ترتیب به عنوان $\lambda_{eye,max}$ و $\lambda_{eye,min}$ در نظر گرفته شوند. هرچقدر رفتار جداگر پایدارتر بوده و چرخه‌های مختلف در هر دامنه به شکل دقیقتری بر روی یکدیگر قرار داشته باشند، ضریب λ_{eye} به عدد ۱ نزدیکتر خواهد بود. لازم به ذکر است برای محاسبه ضرایب مربوط به مقاومت تسلیم و ضریب اصطکاک، از نتایج آزمایشگاهی مقاومت در تغییر شکل صفر استفاده شده و برای محاسبه ضرایب مربوط به سختی پس از تسلیم، از نتایج آزمایشگاهی مقاومت در تغییر شکل حداکثر استفاده می‌شود.

ضریب λ_p : این ضریب به منظور در نظر گرفتن تغییرات مشخصات محصولات تولیدی با مشخصات اسمی در نظر گرفته می‌شود و مقدار آن بر اساس پراکندگی نتایج میانگین حاصل از تست‌های پروتوتایپ و کنترل محصول در مقایسه با مشخصات اسمی تعیین می‌شود به نحوی که میانگین نتایج در دامنه‌های یکسان در تست‌های مختلف در محدوده $\lambda_{p,min}$ برابر تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی جداگر باشد.

ضریب λ_{model} : به منظور در نظر گرفتن خطای مدل عددی در شبیه سازی رفتار واقعی جداگر می‌باشد. در صورتی که خطای مدل عددی در تخمین متوسط انرژی مستهلک شده توسط جداگر در دامنه Δ_{max} کمتر از ۱۰٪ باشد، مقدار این ضریب را می‌توان برابر با ۱ در نظر

گرفت. در غیر این صورت مقدار این ضریب برابر است با نسبت مقدار متوسط انرژی مستهلک شده در حین تست در دامنه $\Delta_{max} 0.67$ به مقدار شبیه سازی شده توسط مدل عددی. مقدار ضریب λ_{model} نباید بزرگتر از ۱ در نظر گرفته شود.

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 این صورت محاسبه ضرایب حد بالا و پایین بر اساس مقاومت جداگر در تغییرشکل صفر انجام می‌شود.
- 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. در این صورت محاسبه ضرایب حد بالا و پایین سختی جداگر بر اساس مقاومت جداگر در تغییرشکل حداکثر و محاسبه ضرایب حد بالا و پایین مقاومت تسلیم (مشخصه) جداگر بر اساس مقاومت جداگر در تغییرشکل صفر انجام می‌شود.

۶-۳-۵ تست‌های کنترل محصول

لازم است از هر مدل از جداگرهای تولید شده برای پروژه، حداقل سه نمونه به صورت تصادفی انتخاب شده و تست کنترل محصول بر روی آن انجام شود. پروتوکل بارگذاری در تست‌های کنترل محصول مشابه تست شماره ۱ در تست‌های پروتوتایپ لرزه‌ای می‌باشد با این تفاوت که تنها کفیسست ۳ چرخه با دامنه $0.66\Delta_{max}$ به صورت شبه استاتیکی یا دینامیکی (با پریودی برابر با پریود سازه جداسازی شده) به جداگر اعمال شود.

تذکر: در صورتی که تست‌های پروتوتایپ بر روی نمونه‌هایی با مقیاس کامل که اختصاصاً برای پروژه مدنظر ساخته شده اند، انجام شده باشد، تست‌های پروتوتایپ نیز می‌توانند به عنوان بخشی از تست‌های کنترل محصول در نظر گرفته شوند.

۶-۳-۶ معیار پذیرش تست‌های کنترل محصول

کنترل معیارهای پذیرش در تست‌های کنترل محصول مشابه تست‌های پروتوتایپ مطابق بند ۲-۳-۶ می‌باشد که در آن لازم است معیارهای کیفی و کمی برآورده شوند. مشخصات میانگین بدست آمده از تست‌های کنترل محصول باید در محدوده $\lambda_{p,min}$ تا $\lambda_{p,max}$ برابر مشخصات اسمی بدست آمده از تست‌های پروتوتایپ قرار بگیرند.

تذکر: به جز در جداگرهای لاستیکی هسته سربی، در سایر جداگرها، همان جداگر تست شده می‌تواند در پروژه نیز مورد استفاده قرار گیرد. در خصوص جداگرهای لاستیکی هسته سربی، در صورتی که تنها تست کنترل محصول (نه تست‌های پروتوتایپ) بر روی جداگر انجام شده باشد، می‌توان از جداگر تست شده در پروژه نیز استفاده نمود.

مقررات ملی ساختمان

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقرررات ملی و کتترل ساختمان

فصل ۷

سایر الزامات

مقررات

دقر مقررات ملی و کنترل ساختمان



دقتر مقررات ملی و کتترل ساختمان

۷-۱ اتصالات میراگرها و جداگرها

اتصالات میراگرها / جداگرها لازم است دو معیار زیر را برآورده کنند:

- کلیه تلاش‌ها در اتصالات میراگرها/جداگرها کنترل شونده توسط نیرو بوده و لازم است معیار پذیرش بند ۴-۴-۴-۵ را برآورده کنند. در رابطه (۵-۲۲) ضریب ۷ برای جداگرها برابر ۲ و برای کلیه میراگرها ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود.
- اتصال به نحوی باشد که منجر به ایجاد اختلال در عملکرد میراگر / جداگر نشود.

۷-۲ دیافراگم کف

کلیه تلاش‌ها در کلیه اعضای دیافراگم کف لازم است به صورت کنترل شونده توسط نیرو در نظر گرفته شوند. نیروی دیافراگم کف طبقات مطابق بند ۴-۴-۵-۳ بر اساس شتاب طبقات محاسبه می‌گردد.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۷-۳ شالوده

طراحی شالوده در ساختمان های مجهز به میراگر/جداگر مشابه سایر ساختمان ها بوده با این تفاوت که نیروهای لرزه ای مطابق بند ۵-۴-۵-۲ بر اساس برش طبقات محاسبه می گردد. در سازه های مجهز به میراگر و جداگر، فشار خاک زیر شالوده و کلیه تلاش های وارده بر اجزای سازه ای شالوده کنترل شونده توسط نیرو و تلقی می شوند. در رابطه (۵-۲۲) ضریب ۷ برای کنترل فشار خاک زیر شالوده و نیز طراحی خمشی شالوده برابر با ۱ و برای طراحی برش یک طرفه و دوطرفه مقطع شالوده برابر با ۱/۵ در نظر گرفته می شود. در طراحی شالوده تحت بارهای لرزه ای، لازم است مشخصات خاک (مدول بستر و مقاومت فشاری) متناظر با مشخصات مورد انتظار، در نظر گرفته شود.

تبصره ۱: در کنترل فشار خاک زیر شالوده کلیه ترکیبات بارگذاری بدون ضریب در نظر گرفته شده و تنش فشاری خاک نباید از مقاومت فشاری مورد انتظار خاک تجاوز کند. (در غیاب نتایج آزمایشگاهی، مقاومت فشاری مورد انتظار خاک را می توان ۳ برابر مقاومت فشاری مجاز خاک در نظر گرفت).

تبصره ۲: صرفاً تحت بارهای ثقلی (ترکیب بارهای بدون ضریب حاوی بارهای مرده، زنده، بار برف یا بار زنده بام) لازم است تنش فشاری خاک زیر شالوده از مقاومت فشاری مجاز خاک تجاوز نکند.

تبصره ۳: در غیاب نتایج آزمایشگاهی، به منظور تخمین مدول بستر خاک زیر شالوده می توان از رابطه (۷-۱) استفاده نمود. در صورتی که مشخصات مورد نیاز در رابطه (۷-۱) در دسترس نباشد، استفاده از رابطه تقریبی (۷-۲) نیز برای تخمین مدول بستر خاک بلامانع است.

$$k_s = \frac{1.3G}{1-\nu} \quad (۷-۱)$$

$$k_s = 40 q_a \quad (۷-۲)$$

مدول برش دینامیکی خاک G بر حسب N/m^2 و ضریب پواسون خاک ν بر اساس مطالعات ژئوتکنیک در ساختگاه و یا مطابق نشریه ۳۶۰ تخمین زده می شود. همچنین مقاومت فشاری

طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای — ۳۰۱

مجاز خاک q_a بر حسب N/m^2 بوده و هر دو رابطه فوق مدول بستر را بر حسب N/m^3 می‌دهند.

تبصره 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 0.5 برابر مقادیر حاصل از رابطه (۷-۱) یا (۷-۲) در نظر گرفت.

۴-۷ اجزای غیرسازه‌ای

نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای در طبقات از ضرب حداکثر شتاب طبقات (حاصل از میانگین گیری نتایج تاریخچه زمانی غیرخطی) در جرم عضو غیرسازه‌ای محاسبه نمود. محل اثر این نیرو را می‌توان در مرکز جرم عضو غیرسازه‌ای فرض نمود. به منظور طراحی اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های تجهیز شده به میراگرها / جداگرها، الزامات ضابطه ۷۲۹ و یا پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۷ الزامات حریق

جداگرهایی که در طبقات نصب می‌شوند، لازم است دارای پوشش ضد حریق بوده و در برابر حریق حفاظت شوند به نحوی که الزامات مبحث سوم مقررات ملی ساختمان برآورده گردد. سیستم محافظت کننده حریق نباید قیدی در برابر حرکات جانبی و قائم جداگر ایجاد کرده و سبب اخلال در عملکرد جداگر شود.

دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان

۷-۶ نگهداری و بازدید

کلیه میراگرها و جداگرها لازم است مطابق برنامه زمان بندی و چک لیست مشخصی مورد بازدید دوره ای قرار بگیرند. اجرای صحیح نگهداری و بازدید از میراگرها و جداگرها مستلزم همکاری مالکیت ساختمان، مدیریت ساختمان، پیمانکار ساختمان، مهندس طراح و شرکت سازنده میراگر/جداگر می باشد. در این بخش وظایف هر یک از اشخاص حقیقی و حقوقی فوق ذکر شده و مواردی که لازم است مورد بازدید قرار گیرد برای میراگرها و جداگرهای مختلف ارائه شده است.

به طور کلی شش دسته بازدید برای میراگرها و سیستم های جداساز تعریف می شود که عبارتند از:

- بازدید پس از نصب: این بازدید پس از نصب میراگرها و جداگرها انجام شده و شامل مشاهده چشمی و اندازه گیری می باشد.
- بازدید سالانه: این بازدید به صورت سالانه یا دو سالانه انجام شده و شامل مشاهده چشمی می باشد.
- بازدید دوره ای: این بازدید هر ۵ سال یک بار انجام شده و شامل مشاهده چشمی و اندازه گیری می باشد.
- بازدید اضطراری: این بازدید پس از وقوع زلزله ای حداقل با شدت زلزله سطح سرویس و یا پس از وقوع هر نوع حادثه ای که به نوعی میراگرها و سیستم جداساز را تحت تاثیر قرار می دهد (نظیر آتش سوزی، سیل و طوفان شدید)، انجام شده و شامل مشاهده چشمی می باشد.
- بازدید دقیق: این بازدید زمانی انجام می شود 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 اندازه گیری می 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 می دهند، انجام شده و شامل مشاهده چشمی و اندازه گیری می شود.

طراحی لوزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرها و جداگرهای لوزه‌ای — ۳۰۳

جزئیات بیشتر در خصوص روند انجام بازدیدها و شرح وظایف هر یک از اشخاص حقیقی- حقوقی دخیل در روند انجام بازدیدها در جدول (۷-۱) ارائه شده است. در جداول (۷-۲) و (۷-۳) نحوه انجام ارزیابی روی میراگرها و سیستم های جداساز مختلف ارائه شده است.

جدول (۷-۱). جزئیات بازدید های شش گانه میراگرها و جداگرها

مسئول کنترل نتایج ارزیابی	نوع ارزیابی	مسئول انجام بازدید	زمان انجام	نوع بازدید
مهندس طراح	مشاهده چشمی و اندازه گیری	پیمانکار اصلی	پس از نصب	پس از نصب
	مشاهده چشمی	مالکیت ساختمان	حداکثر ۲ سال یک بار	سالانه
	مشاهده چشمی و اندازه گیری		هر ۵ سال یکبار	دوره ای
	مشاهده چشمی		پس از وقوع حادثه	اضطراری
	مشاهده چشمی و اندازه گیری		پس از تشخیص ایراد	دقیق
مشاهده چشمی و اندازه گیری		پس از بازسازی	پس از بازسازی	

جدول (۷-۲). جزئیات ارزیابی در سیستم جداساز لوزه ای

نوع ارزیابی		سیستم جداساز
اندازه گیری	مشاهده چشمی	
<ul style="list-style-type: none"> کنترل ابعادی اندازه گیری مقدار تغییر شکل افقی و قائم ایجاد شده در جداگر کنترل تعداد و ابعاد پیچ های اتصال و اطمینان از سفتی آن ها 	<ul style="list-style-type: none"> کنترل وضعیت ظاهری اطمینان از عدم زنگ زدگی قطعات فلزی اطمینان از عدم وجود ترک در اجزای فلزی و لاستیکی کنترل پوشش لاستیکی محافظ اطمینان از عدم زدگی روی صفحات لغزش کنترل وضعیت پوشش حفاظتی حریق جداگرها (در صورت وجود) 	 <p>جداگرها</p>
<ul style="list-style-type: none"> 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) 	<ul style="list-style-type: none"> اطمینان از وجود درز افقی و 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 نشی و آسیب در آنها 	 <p>تراز جداسازی شده</p>

جدول (۷-۳). جزئیات ارزیابی در میراگرهای مختلف

نوع ارزیابی		میراگرها
اندازه گیری	مشاهده چشمی	
<ul style="list-style-type: none"> • کنترل ابعادی • اندازه گیری مقدار تغییر شکل اجزای تسلیم شونده • کنترل تعداد و ابعاد پیچ ها و پین های اتصال و اطمینان از سفتی آن ها 	<ul style="list-style-type: none"> • کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزا • کنترل وضعیت پوشش رنگ قطعات • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر 	 <p>میراگر های تسلیم شونده</p>
<ul style="list-style-type: none"> • کنترل ابعادی • اندازه گیری مقدار تغییر شکل ایجاد شده در میراگر • کنترل تعداد و ابعاد پیچ ها و پین های اتصال و اطمینان از سفتی آن ها • کنترل میزان پیش فشردگی مابین صفحات لغزش 	<ul style="list-style-type: none"> • کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزای فلزی و یا صفحات لغزش • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر 	 <p>میراگرهای اصطکاکی</p>
<ul style="list-style-type: none"> • کنترل ابعادی • اندازه گیری مقدار تغییر شکل ایجاد شده در میراگر • کنترل تعداد و ابعاد پیچ ها و پین های اتصال و اطمینان از سفتی آن ها 	<ul style="list-style-type: none"> • کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزا • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر • اطمینان از عدم وجود نشتی در میراگر 	 <p>میراگرهای ویسکوز</p>
<ul style="list-style-type: none"> • کنترل ابعادی • اندازه گیری مقدار تغییر شکل ایجاد شده در میراگر • کنترل تعداد و ابعاد پیچ ها و پین های اتصال و اطمینان از سفتی آن ها 	<ul style="list-style-type: none"> • کنترل وضعیت ظاهری • اطمینان از عدم زنگ زدگی • اطمینان از عدم وجود ترک در اجزا • اطمینان از عدم وجود قید برای حرکت میراگر • اطمینان از عدم جداشدگی لایه های ویسکوالاستیک و لایه های فلزی 	 <p>میراگرهای ویسکوالاستیک</p>

۷-۷ 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 شرکت های سازنده
آیا میراگرها/جداگرهای طراحی شده قابل تست هستند؟	استعلام از شرکت های سازنده/آزمایشگاه
آیا عملکرد سازه حداقل در دو سطح خطر ۱ و ۲ بررسی شده است؟	عملکرد سازه حداقل در دو سطح خطر ۱ و ۲ باید ارزیابی شود.
آیا عملکرد سازه جداسازی شده با در نظر گرفتن حد بالا و حد پایین مشخصات جداگر بررسی شده است؟	در سازه های جداسازی شده باید یک بار حد بالا و یک بار حد پایین برای جداگرها در نظر گرفته شده و بحرانی ترین حالت ملاک کنترل عملکرد سازه قرار گیرد.
آیا کلیه معیارهای پذیرش کنترل شده اند؟	کلیه تلاش های کنترل شونده توسط نیرو و جابجایی باید معیارهای پذیرش مربوطه را برآورده کنند.
آیا پاسخ میراگر/جداگر در سطح خطر ۲ ملاک انجام تست های پروتوتایپ و کنترل محصول قرار گرفته اند؟	تست های پروتوتایپ و کنترل محصول باید مطابق فصل ۶ بر اساس حداکثر تغییرشکل میراگر/جداگر در زلزله سطح ۲ انجام شوند.
آیا تست های پروتوتایپ بر روی میراگرها و جداگرها انجام شده است؟	مطابق فصل ۶، تست های پروتوتایپ باید بر روی میراگرها و جداگرها انجام شود.
آیا میراگرهای اصطکاکی، ویسکوز و ویسکوالاستیک به صورت ۱۰۰٪ تست کنترل محصول شده اند؟	به جز میراگرهای تسلیم شونده، برای سایر میراگرها باید تست های کنترل محصول روی تمام میراگرهای سازه انجام شود.
آیا تست کنترل محصول بر روی حداقل یک نمونه از هر مدل از میراگرهای تسلیم شونده انجام شده است؟	میراگرهای تسلیم شونده پس از تست قابل استفاده نیستند، لذا لازم است از هر مدل میراگر تسلیم شونده، یک نمونه اضافه ساخته شده و تست کنترل محصول روی آن انجام شود. نمونه انتخابی برای تست به صورت تصادفی انتخاب می شود.

۷-۸ کنترل طراحی توسط دستگاه نظارتی

طراحی سازه های مجهز به میراگر باید حداقل توسط یک متخصص و طراحی سازه های مجهز به سیستم جداساز لرزه ای باید حداقل توسط دو متخصص، کنترل شوند. متخصصین ذیصلاح

جهت کنترل طراحی سازه های مجهز به میراگر و جداگر در هر استان توسط نظام مهندسی استان انتخاب می شود.



مأمور ساختمان
مقررات

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.

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 روزنه‌های خودتنظیم شونده، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک.

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 بین المللی بهبود تاب آوری بیمارستان‌ها و مراکز حیاتی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

نشریه شماره ۶۲۶، راهنمای کاربردی انجام تحیل خطر زلزله (۱۳۹۲)، امور نظام فنی، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.

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.

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.

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.

Bozorgnia Y and Campbell KW, (2004), “The vertical-to-horizontal response spectral ratio and tentative procedures for developing simplified V/H and vertical design spectra”, *Journal of Earthquake Engineering*, 8(2), 175-207.

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.

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.

Kastaras CP, Panagiotakos TB and Koliass 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.

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), "Subassemblage 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 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.

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.

Rezaeian S, Bozorgnia Y, Idriss IM, Abrahamson N, Campbell K and Silva W, (2014), “Damping scaling factors for elastic response spectra for shallow crustal earthquakes in active tectonic regions: “average” horizontal component”, *Earthquake Spectra*, 30(2), 939-963.

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-Carcia 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.

Toro GR (1995), “Probabilistic models of site velocity profiles for generic and site-specific ground-motion amplification studies”, *Technical Report No. 779574*, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY.

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.



مجموعه مقررآت

دقر مقررآت ملی و کترل ساختمان