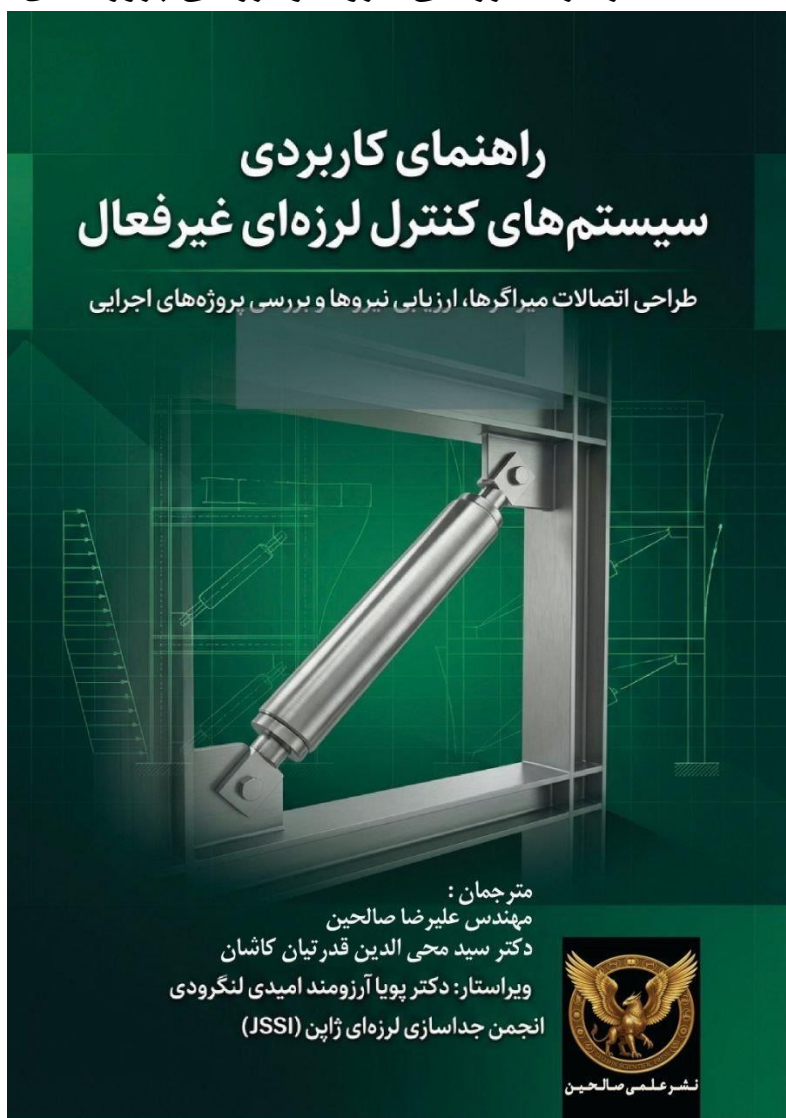


راهنمای کاربردی سیستم های کنترل لرزه ای غیر فعال

طراحی اتصالات میراگرها، ارزیابی نیروها و بررسی پروژه های اجرایی



انجمن جداسازی لرزه ای ژاپن (JSSI)

مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و دکتر سید محی الدین قدرتیان کاشان
ویراستار: دکتر پویا آرزومند امید لنگرودی



نشر علمی صالحین

نام کتاب: راهنمای کاربردی سیستم‌های کنترل لرزه‌ای غیر فعال
طراحی اتصالات میراگرها، ارزیابی نیروها و بررسی پروژه‌های اجرایی
مؤلف: انجمن جداسازی لرزه‌ای ژاپن (JSSI)
مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و دکتر سید محی الدین قدرتیان کاشان
ویراستار: دکتر پویا آرزومند امیدی لنگرودی

گرافیسیت: کتایون علی نوری

سال چاپ: ۱۴۰۴

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۸۰۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸۶۲۲۸۹۶۷۵۶۱

حق چاپ برای نشر علمی صالحین محفوظ می‌باشد

نشانی مرکز پخش: تهران، خیابان انقلاب، رجانروی در اصلی دانشگاه، پاساژ فروزنده، طبقه اول واحد ۴۱۹

تلفن: ۰۹۱۲۳۴۸۸۶۴۹۸ - ۸۸۲۸۳۶۹۸ - ۶۶۹۶۸۶۱۴ - ۰۹۱۲۵۰۱۰۰۳

عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای کاربردی سیستم‌های کنترل لرزه‌ای غیر فعال: طراحی اتصالات میراگرها، ارزیابی نیروها و بررسی پروژه‌های اجرایی/انجمن جداسازی لرزه‌ای ژاپن (JSSI); مترجم علیرضا صالحین; ویراستار پویا آرزومند امیدی لنگرودی.
مشخصات نشر	: تهران: علمی صالحین، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۳۷۶ ص.
شابک	: 978-622-89675-6-1
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتاب حاضر از متن انگلیسی با عنوان «Passive vibration control structure: design and construction manual...» به فارسی برگردانده شده است.
موضوع	: ساختمان‌های ضد زلزله Earthquake resistant design امواج زلزله -- میرایی Seismic waves-- Damping
شناسه افزوده	: صالحین، علیرضا، ۱۳۶۵ - ، مترجم
شناسه افزوده	: قدرتیان کاشان، سیدمحی‌الدین، ۱۳۶۶ -، مترجم
شناسه افزوده	: آرزومند امیدی لنگرودی، پویا، ۱۳۷۱ -، ویراستار
شناسه افزوده	: انجمن جداسازی لرزه‌ای ژاپن
شناسه افزوده	: Japan Society of Seismic Isolation
رده بندی کنگره	: TA۶۵۸/۴۴
رده بندی دیویی	: ۶۹۳/۸۵۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۴۵۱۵۹۷
اطلاعات رگورد کتابشناسی	: فیبا

میثاق‌نامه حقوقی مالکیت فکری و شرایط بهره‌برداری انتشارات علمی صالحین (حق نشر (Copyright) ۱۴۰۴ (ج))

ماده ۱: تعاریف و دامنه شمول اثر

۱-۱. تعریف اثر: این اثر شامل، اما نه محدود به، کلیه متون، نگاره‌ها، تصاویر، نمودارها، جداول، داده‌نامه‌ها (اینفوگرافیک)، طرح جلد، صفحه‌آرایی (Layout)، تایپوگرافی، کدهای منبع (در نسخه‌های دیجیتال)، فراداده‌ها (Metadata) و ساختار سازماندهی محتوا می‌باشد.

۱-۲. دامنه حقوق: کلیه حقوق مادی (Economic Rights) ناشی از پدیدآوردن این اثر، شامل حق تکثیر، نشر، پخش، عرضه، اجرا، ترجمه، اقتباس و بهره‌برداری در هر فرمت (چاپی، صوتی، تصویری، الکترونیکی) و در هر بستر (فیزیکی، سایبری، متاورس) که اکنون موجود است یا در آینده ابداع گردد، به موجب قراردادهای معتبر قانونی، به صورت انحصاری، مطلق و غیرقابل رجوع به «انتشارات علمی صالحین» (که از این پس «ناشر» نامیده می‌شود) تعلق دارد.

۱-۳. حقوق معنوی: حقوق معنوی اثر، طبق ماده ۴ «قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان مصباح ۱۳۴۸»، برای پدیدآورندگان محفوظ است؛ لکن حق انحصاری صیانت از این حقوق و پیگرد قانونی هرگونه تحریف، تغییر یا آسیب به تمامیت اثر، به ناشر تفویض گردیده است.

ماده ۲: ماهیت حقوقی تملک و بهره‌برداری

۲-۱. تفکیک مالکیت (در نسخ چاپی): خرید نسخه فیزیکی این اثر، صرفاً موجب انتقال مالکیت بر «عین کالا» (صفحات و جلد) مطابق با عقد بیع در قانون مدنی می‌گردد. این خرید، هیچ‌گونه حقی نسبت به مالکیت محتوا، حق تکثیر، یا بهره‌برداری تجاری از آن برای خریدار ایجاد نمی‌نماید. قاعده «استفاده منصفانه» یا «مالکیت نسخه» مجوزی برای اسکن، فتوکپی یا تبدیل نسخه فیزیکی به دیجیتال نیست.

۲-۲. پروانه بهره‌برداری (در نسخ دیجیتال): دریافت، دانلود یا دسترسی به نسخه الکترونیکی این اثر، به منزله «بیع» نیست؛ بلکه اعطای یک «پروانه بهره‌برداری» (License Agreement) با ویژگی‌های زیر است:

الف) شخصی: فقط مختص شخصی است که هزینه را پرداخت کرده یا حساب کاربری به نام اوست.

ب) محدود: محدود به مطالعه و استفاده متعارف.

ج) غیرانحصاری و غیرقابل انتقال: کاربر حق فروش، اجاره، هدیه و اگازاری لایسنس یا اشتراک‌گذاری حساب کاربری خود با اشخاص ثالث را ندارد.

ماده ۳: ممنوعیت‌های صریح و نقض کی‌رایت

هرگونه فعل یا ترک فعلی که منجر به نقض حقوق انحصاری ناشر گردد، مستند به مواد ۲۳، ۲۴ و ۲۵ «قانون حمایت حقوق مؤلفان» و مواد ۶۱، ۷۴ و ۷۵ «قانون تجارت الکترونیکی»، جرم تلقی شده و علاوه بر جبران کامل خسارات وارده (اعم از مادی و معنوی و افت منافع)، موجب پیگرد کیفری (حبس و جزای نقدی) خواهد بود. مصادیق نقض شامل موارد زیر است (حصری نیست):

۳-۱. بازتولید غیرمجاز: هرگونه عکس‌برداری، اسکن، فتوکپی، ضبط صوتی (روخوانی متن)، بازنویسی دستی یا تایپی و ذخیره‌سازی در پایگاه‌های داده.

۳-۲. توزیع شبکه: بارگذاری (Upload) اثر در سایت‌ها، فضای ابری (Cloud)، شبکه‌های اجتماعی (تلگرام، اینستاگرام و...)، سامانه‌های اشتراک فایل (Torrent/P2P) و اینترنت‌های سازمانی.

۳-۳. آثار اشتقاقی و تبدیلی: هرگونه ترجمه، تلخیص، خلاصه‌نویسی، تبدیل به نمایشنامه، فیلم‌نامه، محتوای آموزشی ویدیویی، یا تولید آثار جدید بر پایه این اثر بدون مجوز کتبی ناشر.

۳-۴. بهره‌برداری تجاری ثانویه: فروش مجدد نسخه‌های دیجیتال، اجاره دادن نسخه‌های چاپی در مقیاس تجاری (غیر از کتابخانه‌های عمومی دارای مجوز)، یا استفاده از اثر در بسته‌های آموزشی انتفاعی.

ماده ۴: هوش مصنوعی، داده‌کاوی و فناوری‌های نوین

با توجه به پیشرفت فناوری، موارد زیر صراحتاً ممنوع اعلام می‌گردد و نقض آن به منزله سرقت محتوای علمی/ادبی تلقی می‌شود:

۴-۱. داده‌کاوی (Text & Data Mining): هرگونه استخراج ماشینی متن، تحلیل خودکار داده‌ها، خزش (Crawling) و اسکرپینگ (Scraping) محتوای اثر.

۴-۲. تغذیه هوش مصنوعی: استفاده از تمام یا بخشی از این اثر به عنوان «داده ورودی» (Input Data)، «داده آموزشی» (Training Set) یا جهت «تنظیم دقیق» (Fine-tuning) هرگونه سامانه هوش مصنوعی، مدل‌های زبانی بزرگ (LLMs)، هوش مصنوعی مولد (Generative AI) و الگوریتم‌های یادگیری ماشین.

ماده ۵: استثنائات قانونی

صرفاً استفاده‌هایی که مشمول ماده ۷ «قانون حمایت حقوق مؤلفان» باشد مجاز است:

نقل قول مستقیم یا غیرمستقیم از بخش‌های مختصر اثر، منحصرأ برای اهداف نقد، تحلیل، آموزش و پژوهش علمی.

شرط الزامی: در تمامی موارد فوق، ذکر کامل منبع (عنوان اثر، نام مؤلف، نام ناشر) الزامی است. عدم ذکر منبع، حتی در استفاده جزئی، سرقت علمی (Plagiarism) محسوب می‌شود.

ماده ۶: تدابیر فنی حفاظتی (DRM) و مهندسی معکوس

در صورتی که اثر (فیزیکی یا دیجیتال) حاوی قفل‌های نرم‌افزاری واترمارک (Watermark)، هولوگرام یا هرگونه تدابیر حفاظتی فنی باشد:

هرگونه اقدام جهت خنثی‌سازی، شکستن قفل، کرک کردن (Crack)، مهندسی معکوس، دی‌کامپایل (Decompile) یا دور زدن این تدابیر، طبق مواد ۷۱ تا ۷۳ قانون تجارت الکترونیکی و مواد ۲۵ تا ۲۷ قانون جرایم رایانه‌ای، جرم مستقل محسوب شده و مستوجب مجازات حبس و جریمه سنگین است.

ماده ۷: سلب مسئولیت (Disclaimer) و حدود ضمانت

۷-۱. ماهیت محتوا: ناشر و پدیدآورندگان نهایت تلاش خود را برای صحت و دقت محتوا به کار بسته‌اند، اما هیچ‌گونه ضمانتی (صریح یا ضمنی) مبنی بر بی‌عیب بودن، به‌روز بودن، یا تناسب محتوا برای یک هدف خاص (Fitness for a Particular Purpose) ارائه نمی‌دهند.

۷-۲. محدودیت مسئولیت: مسئولیت هرگونه استفاده از اطلاعات، دستورالعمل‌ها یا داده‌های موجود در این اثر و عواقب ناشی از آن (اعم از خسارات مستقیم، غیرمستقیم، تبعی، جانی یا مالی) تماماً بر عهده کاربر است. سقف مسئولیت مالی ناشر در برابر کاربر در هر شرایطی، محدود به «مبلغ پرداختی برای خرید اثر» خواهد بود.

ماده ۸: حل اختلاف و قانون حاکم

این توافق‌نامه تابع قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران است. در صورت بروز هرگونه اختلاف، ناشر حق دارد حسب صلاحیت خود، موضوع را از طریق مراجع قضایی صالح در شهر تهران (یا محل اقامتگاه قانونی ناشر) یا از طریق داوری پیگیری نماید. کاربر با تهیه این اثر، صلاحیت محلی دادگاه‌های تهران را پذیرفته و حق اعتراض به صلاحیت را از خود سلب می‌نماید.

ماده ۹: ضمانت اجرا و جبران خسارت

کاربر متعهد می‌گردد در صورت نقض هر یک از مفاد این توافق‌نامه، کلیه خسارات وارده به ناشر (شامل زیان‌های مالی، از دست رفتن سود، لطمه به شهرت تجاری) و تمامی هزینه‌های دادرسی و حق‌الوکاله وکیل انتخابی ناشر را بدون هیچ‌گونه قید و شرطی جبران نماید.

آشنایی با مترجمان



مهندس علیرضا صالحین (مدیر علمی نشر دانشگاهی فرهنگد بیش از یک دهه و مدیر انتشارات علمی صالحین)

مهندس علیرضا صالحین، چهره‌ای برجسته و چندرشته‌ای در عرصه مهندسی و نشر علمی کشور است که از سال ۱۳۹۲ مدیریت علمی نشر دانشگاهی فرهنگد را بر عهده دارد. وی با تلفیق کم‌نظیری از دانش آکادمیک در مهندسی عمران و معماری، تخصص فنی در فناوری اطلاعات و مهارت‌های عملی عمیق در مکانیک و الکترونیک خودرو، جایگاهی منحصر به فرد به عنوان یک متخصص میان‌رشته‌ای و پیشگام در تولید محتوای فنی روزآمد به دست آورده است. انتشارات علمی صالحین توسط ایشان در سال ۱۴۰۴ تاسیس گردید.

ایشان با بیش از دو دهه تجربه اجرایی در پروژه‌های عمرانی و بیش از یک دهه مدیریت علمی، همواره به عنوان یک تحلیلگر و منتقد فعال در صنایع ساخت‌وساز و خودرو شناخته شده‌اند. رویکرد ایشان مبتنی بر پر کردن خلاء میان دانش تئوریک و نیازهای عملی صنعت است؛ امری که در کارنامه درخشان ایشان شامل تألیف، ترجمه، گردآوری و ویراستاری تخصصی بیش از ۸۰ عنوان کتاب در حجمی بالغ بر ۳۰,۰۰۰ صفحه به‌خوبی نمایان است. این آثار، که بسیاری از آن‌ها به موضوعات پیچیده و فناورانه روز دنیا می‌پردازند، گواهی بر تعهد وی به ارتقای دانش فنی جامعه مهندسی ایران است.

تسلط ایشان بر زبان تخصصی و مهارت‌های عملی متعدد، از جوشکاری و بازرسی‌های غیرمخرب تا تعمیرات پیشرفته الکترونیکی و مکانیکی، به وی این امکان را داده است که پیچیده‌ترین منابع بین‌المللی را برای مخاطب فارسی‌زبان دسترس‌پذیر و کاربردی سازد.

بیشترین تعداد کتاب در زمینه کنترل ارتعاشات، میراگرها و جداسازهای لرزه‌ای توسط ایشان در ایران ترجمه گردیده است و مجموعه نفیس و ارزشمندی را برای ایرانیان فراهم آورده است.

دکتر محی‌الدین قدرتیان کاشان:

مقدمه ویرایش چهارم

با وقوع زلزله‌های عظیم اخیر در سراسر جهان، از جمله در ژاپن و ایالات متحده و آسیب‌های گسترده ناشی از آن‌ها، تقاضای اجتماعی نه تنها برای حفظ جان انسان‌ها، بلکه برای کاهش آسیب و خسارت به ساختمان‌ها و محتویات آن‌ها افزایش یافته است. در ژاپن نیز پس از زلزله بزرگ هانشین-آواجی در سال ۱۹۹۵، زلزله بزرگ شرق ژاپن در سال ۲۰۱۱ و زلزله کوماموتو در سال ۲۰۱۶، بلایای طبیعی بزرگی یکی پس از دیگری رخ داده‌اند و تلاش‌های مشترک دولت و بخش خصوصی برای پیشگیری و کاهش آثار بلایا در حال انجام است. با این حال، در ابتدای سال جاری، زلزله شبه‌جزیره نوتو (Noto Peninsula Earthquake) رخ داد که منجر به از دست رفتن جان بسیاری از انسان‌ها و فروریختن یا سوختن تعداد زیادی از ساختمان‌ها گردید و به یک فاجعه بزرگ تبدیل شد. در جهت کاهش آثار چنین بلایایی، مقاومت‌سازی لرزه‌ای سطح بالای ساختمان‌ها به شدت مورد تقاضاست و به عنوان یکی از راهکارها، توسعه فنی و به کارگیری سازه‌های با کنترل غیرفعال (Passive Control) پیشرفت چشمگیری داشته و نمونه‌های اجرایی آن در سراسر جهان به سرعت در حال افزایش است.

کاربرد سازه‌های با کنترل غیرفعال در ژاپن، از ساختمان‌های بلندمرتبه فراتر رفته و به ساختمان‌های کوتاه و میان‌مرتبه، از جمله خانه‌های مسکونی مستقل (ویلایی) و سازه‌های با دهانه بزرگ گسترش یافته است و سابقه ساخت‌وساز آن در بزرگترین مقیاس جهانی قرار دارد. ترکیبات متنوعی از انواع میراگرها و فرم‌های سازه‌ای محقق شده است و به نظر می‌رسد که در آینده نیز با تداوم توسعه و بهبود فنی با هدف ارتقای عملکرد، صرفه اقتصادی و جنبه‌های معماری، خلق سازه‌های کنترل لرزه‌ای با جذابیت‌های گوناگون ادامه یابد.

از سوی دیگر، تاریخچه طراحی، ساخت و نگهداری ساختمان‌های مجهز به اجزای سازه‌ای نوین نظیر میراگرهای لرزه‌ای هنوز کوتاه است و اطلاعات فنی مرتبط هر ساله به‌روزرسانی می‌شود؛ لذا تدوین سیستم فنی آن هنوز کامل نیست. برای تسریع در درک صحیح مهندسان عملیاتی از فناوری سازه‌های کنترل لرزه‌ای که انتظار می‌رود پیشرفت بیشتری داشته باشد، حل مسائل عملی گوناگون نظیر چگونگی طراحی، ارزیابی و ساخت میراگرها و قاب‌های سازه‌ای، اطمینان از عملکرد میراگرها مطابق با مشخصات تعیین شده و حفظ آن در آینده و همچنین میزان عملکرد کنترلی ساختمان، امری ضروری است. جمع‌بندی و ارائه آخرین اطلاعات فنی سازه‌ای مورد نیاز برای حل این ابهامات به شکلی کاملاً شفاف و وظیفه‌ای مهم برای توسعه و رواج فناوری کنترل لرزه‌ای محسوب می‌شود.

با در نظر گرفتن موارد فوق، «دستورالعمل طراحی و اجرای سازه‌های کنترل لرزه‌ای غیرفعال» با محوریت نکات قابل توجه در مراحل مختلف دامنه کاربرد، طراحی و اجرا و همچنین آیین‌های مدیریتی استاندارد و روش‌های تضمین عملکرد میراگر، جهت ارائه آخرین اطلاعات به مهندسان سازه تدوین شده است. یکی از ویژگی‌های بارز این مجموعه آن است که علاوه بر حوزه ساختمان، متخصصان بسیاری از حوزه‌های مکانیک و شیمی که در زمینه میراگرهای لرزه‌ای فعالیت دارند، مستقیماً در تهیه آن مشارکت داشته‌اند و اطلاعات دقیقی در خصوص عملکرد و کنترل کیفیت میراگرها در آن

گنجانده شده است. همچنین هدف بر این است که از طریق درک متقابل میان رشته‌های مرتبط، به شکل‌گیری شناخت مشترک و ایجاد معیارهای یکسان از سطح میراگر تا کل سازه کنترل لرزه‌ای کمک شود.

در "انجمن جداسازی لرزه‌ای ژاپن" (Japan Society of Seismic Isolation)، به منظور بررسی کنترل پاسخ لرزه‌ای در چهارچوبی گسترده و نه محدود به جداسازی لرزه‌ای (Base Isolation)، در فوریه سال ۲۰۰۰ «کمیته فرعی کنترل پاسخ» تأسیس شد (که در سال ۲۰۲۲ به «کمیته سازه‌های کنترل لرزه‌ای» تغییر نام داد) و تا به امروز به فعالیت خود جهت درک آخرین روندها در فناوری سازه‌های کنترل لرزه‌ای ادامه داده است. دستاورد محوری این فعالیت‌ها، انتشار نسخه اول دستورالعمل طراحی و اجرای سازه‌های کنترل لرزه‌ای غیرفعال در اکتبر ۲۰۰۳ بود که متناسب با تغییرات شرایط اجتماعی و سایر عوامل، مورد بازنگری قرار گرفته است. اکنون، پس از گذشت ۱۰ سال از انتشار ویرایش سوم، بازنگری انجام شده و ضمن بازنگری کلی و افزودن مطالب جدید، حجم کتاب به طور قابل توجهی افزایش یافته است؛ از جمله افزودن آخرین اطلاعات پژوهشی، نمونه‌های طراحی و اطلاعات محصولات. همچنین، «میراگرهای جرم اینرسی (Inertial Mass Dampers)» که کاربرد آن‌ها به صورت جدی آغاز شده، به عنوان یک نوع جدید از میراگر اضافه شده و اصول مکانیکی، منحنی‌های عملکرد، روش‌های طراحی و مدل‌های تحلیلی و طراحی میراگرهای آن، همانند سایر انواع میراگرها تشریح شده است. علاوه بر این، توضیحات جدیدی در مورد مشاهده و آزمایش ساختمان‌های کنترل شده، با محتوایی به‌روزرسانی شده، به همراه نمونه‌های طراحی ساختمان‌های کنترل شده و برگه اطلاعات فنی (Data Sheet) میراگرها، به «ضمیمه ۱» افزوده شده است. از آنجا که پس از چندین بازنگری، محتوای این دستورالعمل گسترده و حجیم شده است، مطالب مربوط به طراحی، ساخت و اجرا در «جلد اصلی» و اطلاعات طراحی و فنی مرتبط در «جلد ضمیمه ۱» و در قالب دو جلد مجزا منتشر می‌شود.

در بازنگری حاضر، کمیته تدوین با محوریت دو کمیته فرعی زیرمجموعه «بخش سازه‌های کنترل لرزه‌ای» تشکیل شد و تدوین پیش‌نویس بازنگری را انجام داد. در «کمیته فرعی معیارهای کیفیت اجزای کنترل لرزه‌ای»، اجزای کنترل لرزه‌ای مورد استفاده در عمل به ۶ گروه کلی تقسیم شدند:

۱. روغنی (Oil)

۲. ویسکوز (Viscous)

۳. ویسکوالاستیک (Viscoelastic)

۴. فولادی (Steel)

۵. اصطکاکی (Friction)

۶. جرم اینرسی یا جرمی تنظیم شده (Inertial Mass)

و ۶ کارگروه جدید جهت بررسی اطلاعات فنی دقیق مربوط به مکانیزم، عملکرد، روش‌های آزمایش و مدیریت هر یک از آن‌ها تشکیل گردید. این بررسی‌ها با همکاری اعضای کمیته و بخش تولیدکنندگان اجزای کنترل لرزه‌ای انجام گردید. در «کمیته فرعی ارزیابی کنترل لرزه‌ای» نیز، مدل‌سازی تحلیلی اجزای کنترل لرزه‌ای و سازه‌های کنترل لرزه‌ای و همچنین مباحث مربوط به طراحی و ارزیابی عملکرد سازه‌های کنترل لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

پنج کارگروه به بررسی تئوری‌های مرتبط، روش‌های کاربردی، آزمایش و مشاهده کنترل لرزه‌ای و ترویج سازه‌های کنترل لرزه‌ای پرداختند. این بار پس از ۱۰ سال، بازنگری بزرگی صورت گرفت و محتوای متنوعی از جمله اطلاعات پژوهشی و نمونه‌های اجرایی طراحی به‌روزرسانی شد. بررسی و تدوین طرح بازنگری بیش از ۲ سال زمان برد. بدین‌وسیله از اعضای کمیته تدوین که در طولانی‌مدت زحمت کشیدند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

مه ۲۰۲۴

کمیته تدوین ویرایش چهارم «دستورالعمل طراحی و اجرای سازه‌های کنترل لرزه‌ای غیرفعال»

• رئیس کمیته: تسوجی تایچی (Tsuji Taiichi)

• دبیر: ساتو دایکی (Sato Daiki)

توضیحات	تاریخ انتشار	ویرایش
انتشار اولیه.	اکتبر ۲۰۰۳	نسخه اول
همراه با اصلاحات گسترده در توضیحات فصل‌ها، مطالب مربوط به “میراگرهای اصطکاکی” (Friction Dampers) به عنوان مبحث جدید اضافه شد و روش‌های طراحی ساده با پیش‌فرض محاسبات دستی پیشنهاد گردید.	سپتامبر ۲۰۰۵	نسخه دوم
تغییر نقاط اصلاح شده.	ژوئیه ۲۰۰۷	نسخه دوم، چاپ دوم
بازنگری جامع در محتوای روش طراحی بخش اتصال اجزای کنترل لرزه‌ای و جایگزینی انواع داده‌ها و نمونه‌های طراحی با جدیدترین موارد.	نوامبر ۲۰۱۳	نسخه سوم
در خصوص طراحی بخش اتصال میراگرهای لرزه‌ای، مفاهیم نیروهای طراحی قاب اصلی سازه کنترل لرزه‌ای، انتقال نیرو در سطح افقی کف (دیافراگم) و همچنین نمونه‌های طراحی مشخص بخش‌های اتصال متناسب با انواع میراگرها و فرم‌های سازه‌ای گردآوری شد.	اکتبر ۲۰۱۵	نسخه سوم، ضمیمه ۱
بازنگری و افزودن توضیحات تمام فصل‌ها به طور جامع. توضیحات مربوط به “میراگرهای جرم اینرسی (Inertial Mass Dampers)” به عنوان مبحث جدید اضافه شد. محتوای نمونه‌های اجرایی طراحی و برگه‌های اطلاعات فنی (Data Sheets) به‌روزرسانی شد و همگام با درج مطالب جدید در مورد نمونه‌های مشاهده و آزمایش ساختمان‌های کنترل لرزه‌ای، «ضمیمه ۱» افزایش حجم یافت.	مه ۲۰۲۴	نسخه چهارم

فهرست مطالب

بخش اول (۱): طراحی بخش نصب (اتصال) میراگر کنترل لرزه‌ای

فصل ۱: طراحی بخش نصب میراگر کنترل لرزه‌ای

- ۱.۱ نیروی مقاومت میرایی میراگر کنترل لرزه‌ای و روش نصب
- ۱.۲ سیاست‌های اساسی طراحی بخش نصب میراگر کنترل لرزه‌ای
- ۱.۳ انتقال تنش به مصالح تیر و ستون قاب اصلی
- ۱.۴ نیروی برشی طبقه برای طراحی قاب اصلی سازه کنترل لرزه‌ای
- ۱.۵ نیروی اضافی وارده به قاب اصلی متناسب با فرم سازه‌ای میراگر کنترل لرزه‌ای
- ۱.۶ تدابیر هنگام زلزله برای TMD و سایر تجهیزات مقابله با نوسان باد نصب شده در پشت بام
- ۱.۷ مراجع و منابع مربوط به روابط طراحی

فصل ۲: تفکر و نمونه‌های نیروی طراحی قاب اصلی سازه کنترل لرزه‌ای

- ۲.۱ روش تحلیلی برای به دست آوردن نیروی طراحی قاب اصلی سازه کنترل لرزه‌ای
- ۲.۲ مدل ساختمان مورد بررسی
- ۲.۳ پیشنهاد روش محاسبه بر اساس تحلیل استاتیکی با در نظر گرفتن پاسخ دینامیکی
- ۲.۴ روش تنظیم مدل سیستم افزوده استاتیکی در میراگرهای وابسته به سرعت
- ۲.۵ نمونه محاسبه نیروی طراحی قاب اصلی سازه کنترل لرزه‌ای

فصل ۳: نمونه‌های طراحی انتقال نیروی افقی در سطح افقی کف (دیافراگم)

- ۳.۱ مقدمه
- ۳.۲ روش محاسبه نیروی برشی منتقل شده توسط دال کف (نیروی برشی انتقالی)
- ۳.۳ نمونه طراحی
- ۳.۴ جمع‌بندی

فصل ۴: نمونه‌های طراحی بخش نصب میراگر کنترل لرزه‌ای

- ۴.۱ نمونه طراحی بخش نصب نوع لینک برشی - میراگر روغنی
- ۴.۲ نمونه طراحی بخش نصب دیواری - میراگر ویسکوز
- ۴.۳ نمونه طراحی بخش نصب نوع ستون میانی - میراگر روغنی
- ۴.۴ نمونه طراحی بخش نصب نوع مهاربندی (بادبندی) - میراگر فولادی
- ۴.۵ نمونه طراحی بخش نصب نوع ستون میانی - میراگر فولادی
- ۴.۶ نمونه طراحی بخش نصب نوع مهاربندی (بادبندی) - میراگر اصطکاکی
- ۴.۷ نمونه طراحی بخش نصب میراگر اصطکاکی و بدنه سازه موجود (مقاوم‌سازی)
- ۴.۸ نمونه طراحی بخش نصب میراگر ویسکوز نوع دورانی
- ۴.۹ نمونه طراحی بخش نصب نوع کلویس (اتصال مفصلی/دوشاخه)

بخش دوم (II): نمونه‌های طراحی ساختمان‌های کنترل لرزه‌ای

فصل ۱: مقدمه

فصل ۲: نمونه‌های اجرایی طراحی

- معرفی کلی نمونه‌های اجرایی طراحی
- نمونه اجرایی ۱: ساختمان اداری ۳۵ طبقه با اسکلت فولادی (S) با استفاده از میراگر روغنی با عملکرد بالا
- نمونه اجرایی ۲: مجتمع مسکونی ۲۹ طبقه بتن مسلح (RC) با استفاده از میراگر ویسکوالاستیک
- نمونه اجرایی ۳: ساختمان اداری-هتل ۲۷ طبقه با اسکلت فولادی (S) با استفاده از میراگر اصطکاکی و میراگر روغنی
- نمونه اجرایی ۴: ساختمان اداری ۱۰ طبقه با اسکلت فولادی (S) با استفاده از میراگر فولادی
- نمونه اجرایی ۵: مجتمع چندمنظوره ۱۸ طبقه با اسکلت فولادی (S) با استفاده از دیوار کنترل لرزه‌ای ویسکوز و میراگر روغنی

- نمونه اجرایی ۶: اصلاح (مقاوم‌سازی) لرزه‌ای ساختمان اداری ۱۷ طبقه با اسکلت فولادی (S) با استفاده از میراگر جرمی ویسکوز تنظیم‌شده

بخش سوم (III): نمونه‌های مشاهده و آزمایش ساختمان‌های کنترل لرزه‌ای

فصل ۱: مقدمه

فصل ۲: نمونه‌های مشاهده ساختمان‌های کنترل لرزه‌ای

- ۲.۱ روش تحلیل مشخصات ارتعاشی ساختمان بر اساس رکوردهای مشاهده‌ای
- ۲.۲ نتایج تحلیل ساختمان کنترل لرزه‌ای ۲۱ طبقه
- ۲.۳ نتایج تحلیل ساختمان کنترل لرزه‌ای ۴۱ طبقه
- ۲.۴ نتایج تحلیل ساختمان کنترل لرزه‌ای ۵۴ طبقه (مورد A)
- ۲.۵ نتایج تحلیل ساختمان کنترل لرزه‌ای ۵۴ طبقه (مورد B)
- ۲.۶ نتایج تحلیل ساختمان کنترل لرزه‌ای ۴۳ طبقه

فصل ۳: نمونه‌های آزمایش ساختمان‌های کنترل لرزه‌ای

- ۳.۱ خلاصه آزمایش میز لرزان
- ۳.۲ نتایج آزمایش
- ۳.۳ بازتولید و تحلیل آزمایش از طریق تحلیل
- ۳.۴ آزمایش زیر-قاب با اعمال تغییر شکل بین طبقه‌ای و نیروی میراگر به قاب کنترل لرزه‌ای

فصل ۴: جمع‌بندی

IV. برگه‌های اطلاعات فنی میراگرهای کنترل لرزه‌ای

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات برگه‌های اطلاعات فنی

فصل ۲: اقلام مندرج و برگه‌های اطلاعات فنی

- میراگر روغنی
- میراگر ویسکوز
- میراگر ویسکوالاستیک
- میراگر فولادی
- میراگر اصطکاکی
- میراگر جرم اینرسی

فصل ۱: طراحی بخش نصب (اتصال) میراگر لرزه‌ای

۱.۱ نیروی مقاومت میرایی میراگر لرزه‌ای و روش نصب: در طراحی بخش نصب (اتصال) میراگر لرزه‌ای، طراحی نباید صرفاً بر اساس تنش‌های موجود باشد، بلکه باید به گونه‌ای طراحی شود که میراگر لرزه‌ای بتواند تمام عملکردی را که داراست را به نمایش بگذارد؛ بنابراین، در نظر گرفتن متغیرات و رواداری‌ها در طراحی ضروری است. از این رو، مطلوب است که «نیروی مقاومت میرایی» (Damping Resistance Force) از سمت میراگر لرزه‌ای، به عنوان نیروی مقاومت میرایی در «حالت حدی» (Limit State) آن در نظر گرفته شود.

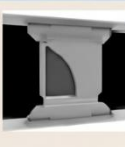
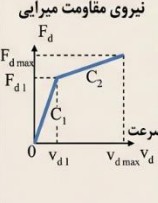
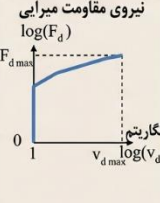
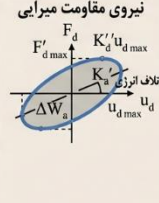
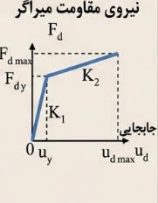
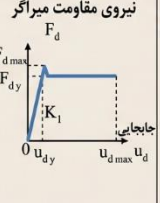
روش نصب میراگر لرزه‌ای بسته به مکانیزم تولید نیروی مقاومت میرایی در آن متفاوت است. به طور کلی، در مواردی که نیروی مقاومت میرایی عمدتاً فقط در جهت محور میراگر تولید می‌شود، از «اتصال مفصلی» (Pin Connection) و در سایر موارد از «اتصال صلب» (Rigid Connection) استفاده می‌گردد. بنابراین، در مورد تنش‌هایی که به بخش نصب وارد می‌شود، علاوه بر در نظر گرفتن مؤلفه‌های متناسب با روش اتصال، باید تنش‌های ناشی از تغییر شکل خارج از صفحه (Out-of-plane) قاب که میراگر در آن نصب شده (به دلیل زلزله در جهت عمود)، تنش‌های ناشی از شتاب و همچنین تنش‌های اضافی ناشی از خطاهای اجرایی نیز لحاظ گردد.

علاوه بر این، از آنجا که ناحیه اتصال میراگر لرزه‌ای باید دارای صلیبیت بالایی باشد تا تغییر شکل در خود اتصال رخ ندهد و اثر کنترلی میراگر به دلیل کاهش تغییر شکل اعمالی به میراگر از بین نرود و همچنین نباید دارای لقی (Play) یا شلی باشد، حفظ سلامت و استحکام بخش نصب از این دیدگاه نیز حائز اهمیت است.

(۱) نیروی مقاومت میرایی میراگر لرزه‌ای: در هنگام طراحی بخش نصب میراگر لرزه‌ای، لازم است که نیروی مقاومت میرایی میراگر، با فرض «حالت حدی» میراگر در نظر گرفته شود. طراحی باید به گونه‌ای باشد که حتی اگر میراگر لرزه‌ای حداکثر نیروی مقاومت میرایی خود را بروز دهد، بخش نصب آن دچار آسیب‌هایی نظیر پلاستیک شدن (Plasticity) یا شلی شدگی نشود و بتواند تنش‌ها را به صورت پایدار منتقل کند؛ این امر از دیدگاه برنامه سازه‌ای بسیار مهم است.

جدول ۱.۱.۱: نیروی مقاومت میرایی میراگر لرزه‌ای

عنوان	نیروی مقاومت میرایی میراگر لرزه‌ای
میراگر روغنی (Oil Damper)	نیروی مقاومت میرایی در سرعت حدی. (Limit Velocity)
میراگر ویسکوز (Viscous Damper)	نیروی مقاومت میرایی حدی با در نظر گرفتن وابستگی به عوامل مختلف (مانند دما، فرکانس و ...).
میراگر ویسکوالاستیک (Viscoelastic Damper)	نیروی مقاومت میرایی حدی با در نظر گرفتن وابستگی به عوامل مختلف.
میراگر فولادی (Steel Damper)	حداکثر مقاومت با در نظر گرفتن سخت‌شوندگی کرنشی. (Strain Hardening)

میراگر اصطکاکی (Friction Damper) حداکثر نیروی اصطکاک با در نظر گرفتن اصطکاک ایستایی. (Static Friction)					
میراگر جرم اینرسی (Inertial Mass Damper) حداکثر نیروی مقاومت با در نظر گرفتن مکانیزم جلوگیری از ورودی بیش از حد.					
میراگر روغنی	میراگر ویسکوز (لزج)	میراگر ویسکوالاستیک (لزج-ارتجاعی)	میراگر فولادی	میراگر اصطکاکی	میراگر جرم اینرسی
					
نیروی مقاومت میرایی 	نیروی مقاومت میرایی 	نیروی مقاومت میرایی 	نیروی مقاومت میراگر 	نیروی مقاومت میراگر 	نیروی مقاومت میرایی در حالت دستگاه مجهز به جسم ویسکوز 

شکل ۱.۱.۱ نمودار مفهومی نیروی مقاومت میرایی

این شکل نمودارهای هیستریزیس نیرو-تغییر مکان یا نیرو-سرعت را برای انواع میراگرها نشان می‌دهد که پارامترهای حدی در آن‌ها مشخص شده‌اند. فرمول‌ها و متغیرها در بلوک‌های زیر آمده‌اند. حالت حدی بسته به نوع میراگر متفاوت است و با در نظر گرفتن وابستگی‌های مختلف تعیین می‌شود. نیروی مقاومت میرایی در حالت حدی به شرح زیر اتخاذ می‌گردد (به جدول ۱.۱.۱ و شکل ۱.۱.۱ مراجعه فرمایید):

در **میراگرهای روغنی و ویسکوز**، معمولاً نیروی مقاومت میرایی در «سرعت حدی» با در نظر گرفتن حاشیه ایمنی برای کورس حرکتی یا طول بازوی عملیاتی میراگر (Stroke) لحاظ می‌گردد.

در **میراگرهای ویسکوالاستیک**، معمولاً نیروی مقاومت میرایی در زمان «حد تغییر شکل» جسم ویسکوالاستیک در نظر گرفته می‌شود.

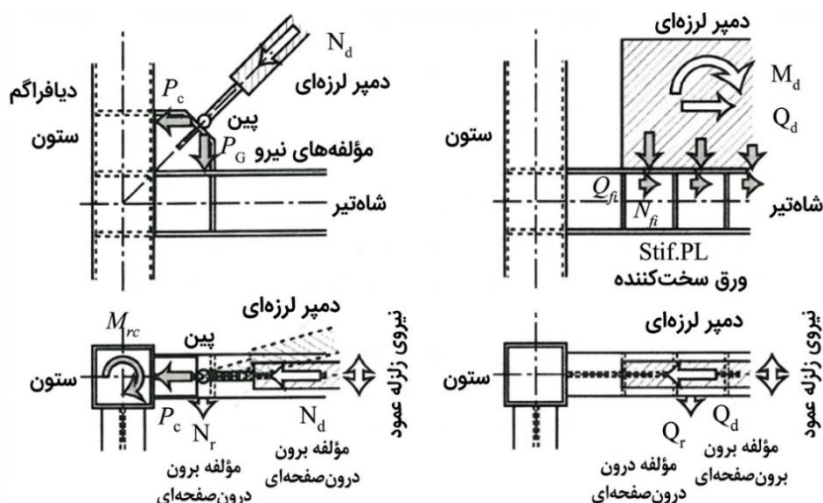
در **میراگرهای فولادی**، حداکثر نیروی مقاومت با در نظر گرفتن «سخت‌شوندگی کرنشی» ناشی از بارگذاری چرخه ای (Cyclic Loading) ملاک است.

در **میراگرهای اصطکاکی**، حداکثر نیروی مقاومت اصطکاکی با لحاظ کردن «اصطکاک ایستایی» در نظر گرفته می‌شود.

در **میراگرهای جرم اینرسی**، حداکثر نیروی مقاومت میرایی توسط مکانیزمی تعیین می‌شود که از اعمال نیروی اینرسی بیش از حد ناشی از شتاب جلوگیری می‌کند.

به ویژه در مورد **میراگرهای فولادی**، در مواردی مانند نوع «لینک برشی» (Shear Link) یا نوع «میان ستونی» (Inter-column) که کرنش پلاستیک در یک ناحیه خاص متمرکز می‌شود، علاوه بر بررسی آثار حداکثر کرنش و سرعت کرنش، انجام بررسی‌های «عمر خستگی» نیز ضروری است. در این حالت، باید توجه داشت که تنش ایجاد شده به دلیل اثر سخت‌شوندگی کرنشی ممکن است به حدود ۳ برابر تنش تسلیم (Yield Stress) برسد.

(۲) **روش نصب میراگر لرزه‌ای و تنش طراحی:** برای روش نصب میراگر لرزه‌ای، عمدتاً از دو نوع «اتصال مفصلی» (Pin Connection) و «اتصال صلب» (Rigid Connection) استفاده می‌گردد.



شکل ۱.۱.۲: تنش‌های وارده بر اتصال مفصلی (Pin). شامل نیروی محوری میراگر (N_d) و مؤلفه‌های نیروی پین (P_c) در جهات مختلف. شکل ۱.۱.۳: تنش‌های وارده بر اتصال صلب (Rigid). شامل لنگر خمشی میراگر (M_d)، نیروی برشی (Q_d) و نیروی محوری (N_d).

همچنین نیروهای ناشی از زلزله در جهت متعامد (Orthogonal Earthquake Force) نشان داده شده است که باعث ایجاد مؤلفه‌های خارج از صفحه (M_c ، Q_c ، P_c) می‌شود.

(الف) اتصال مفصلی، میراگرهای لرزه‌ای که با اتصال مفصلی نصب می‌شوند، شامل موارد زیر هستند:

میراگر روغنی، میراگر ویسکوز نوع دورانی، میراگر ویسکوز با مقاومت جریان سیال، میراگر اصطکاکی نوع مهاربندی (Brace Type) با مکانیزم حلقوی و میراگر جرم اینرسی دورانی. همچنین ممکن است در میراگرهای ویسکوالاستیک نوع مهاربندی یا میراگرهای فولادی نیز از این اتصال استفاده گردد. در اتصال مفصلی، اساساً نیروی محوری در جهت محور میراگر لرزه‌ای عمل می‌کند، اما باید توجه داشت که تنش‌های عمود بر محور (ناشی از تغییر شکل در اثر زلزله در جهت عمود) و همچنین تنش‌های اضافی ناشی از خطاهای اجرایی نیز عمل می‌کنند (شکل ۱.۱.۲).

در اعضای اصلی سازه (تیر و ستون)، نیروی محوری و نیروی برشی ناشی از مؤلفه هم‌راستا با محور میراگر و در برخی موارد لنگر خمشی عمل می‌کند. علاوه بر این، لنگر خمشی، نیروی برشی خارج از صفحه و لنگر پیچشی ناشی از مؤلفه‌های عمود بر محور نیز بر اعضا وارد می‌شود. همچنین، در مورد نوع «لینک برشی» (Shear Link)، زمانی که میراگر روغنی یا میراگر ویسکوز به صورت افقی در مرکز شاه‌تیر (Girder) نصب می‌شود، برای کنترل تغییر شکل خارج از صفحه میراگر، یک «ریل راهنما» (Guide Rail) تعبیه می‌شود. در این حالت نیز طراحی باید با در نظر گرفتن تنش‌های خارج از صفحه ناشی از تغییر شکل زلزله در جهت عمود انجام گردد.

بسته به شرکت سازنده و مدل تجهیز، از «مکانیزم تکیه گاه کروی» (Spherical Bearing) که یک مفصل همه‌جهته است [عکس ۱.۱.۱] و یا «مکانیزم مفصل تک‌جهته» (Uni-directional Pin) [عکس ۱.۱.۲] استفاده می‌گردد. با در نظر گرفتن رفتار سازه در هنگام زلزله در جهت عمود و آثار لقی اولیه، مکانیزم مفصل همه‌جهته می‌تواند بدون مشکل پاسخگو باشد؛ اما در مورد مکانیزم مفصل تک‌جهته، طراحی بخش نصب باید با لحاظ کردن آثار ناشی از تغییر شکل در جهت عمود و لقی موجود در اتصال پین انجام شود. لازم به ذکر است که در مورد مکانیزم مفصل تک‌جهته، برخی دیتیل‌ها (جزئیات اجرایی) به گونه‌ای طراحی شده‌اند که قابلیت پیروی از تغییر شکل در هنگام تغییر شکل در جهت عمود را داشته باشند. به خصوص، برای اینکه میراگر در آثار بسیار کوچک (مانند کنترل لرزش ناشی از باد) به طور مؤثر عمل کند، از آنجا که اثر لقی در اتصال بسیار بزرگ خواهد بود، نیاز به توجه و دقت ویژه است.



عکس ۱.۱.۱: مکانیزم پین نوع تکیه گاه کروی در بخش نصب، عکس ۱.۱.۲: مکانیزم پین نوع تک‌جهته در بخش نصب

در مورد نوع تکیه گاه کروی، معمولاً تا بال اتصال به قاب سازه‌ای اصلی به صورت یکپارچه است و آن بال با پیچ‌های کششی به تکیه‌گاه سمت سازه متصل می‌شود. در مورد نوع مفصل تک‌جهته، معمولاً تا براکت (Bracket) به صورت یکپارچه است و با پین اتصال به براکت تکیه‌گاه سمت سازه متصل می‌شود.

محدوده مسئولیت بین شرکت سازنده میراگر و طراح سازه بدین صورت است که: معمولاً تا «بال اتصال» در نوع کروی، یا تا «براکت سمت میراگر و پین اتصال» در نوع تک‌جهته، در محدوده کاری شرکت سازنده است و بخش تکیه‌گاه سمت سازه اصلی یا پیچ‌های اتصال در محدوده کاری طراح سازه قرار می‌گیرد.

(ب) اتصال صلب (Rigid Connection): میراگرهایی که با اتصال صلب نصب می‌شوند، در مواردی غیر از آنچه برای اتصال مفصلی ذکر شد، به کار می‌روند [عکس ۱.۱.۳]. در اتصال صلب، علاوه بر نیروی محوری در جهت درون صفحه‌ای میراگر، نیروی برشی و لنگر خمشی نیز عمل می‌کنند. همچنین در زمان زلزله در جهت عمود، نیروی برشی و لنگر خمشی در جهت خارج از صفحه ناشی از تغییر شکل عمل کرده و علاوه بر این، تنش‌های اضافی ناشی از خطاهای اجرایی نیز وارد می‌شود [شکل ۱.۱.۳]. به ویژه، در صورتی که شرایط مرزی در محل اتصال برای مؤلفه‌های تنش (غیر از نیروی مقاومت میرایی) نزدیک به شرایط «گیردار» (Fixed) باشد، باید از قبل اطمینان حاصل کرد که میراگر لرزه‌ای در برابر این تنش‌های ایجاد شده نیز به درستی عمل می‌کند. حتی اگر در مدل تحلیلی، اتصال به صورت مفصلی (پین) مدل شده باشد، اگر اتصال واقعی به صورت صلب یا نیمه‌صلب باشد، باید ملاحظات لازم برای تنش‌های اضافی ناشی از تغییر شکل قاب سازه در نظر گرفته شود [عکس ۱.۱.۴].



عکس ۱.۱.۳: اتصال صلب در بخش نصب میراگر ویسکوز نوع دیواری، عکس ۱.۱.۴: اتصال صلب در بخش نصب میراگر اصطکاکی نوع مهاربندی

بر روی اعضای اصلی سازه، نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از مؤلفه‌های درون صفحه‌ای عمل می‌کند و مؤلفه‌های جهت عمود نیز باعث ایجاد نیروی برشی خارج از صفحه، لنگر خمشی خارج از صفحه و لنگر پیچشی می‌شوند.

محدوده مسئولیت بین شرکت سازنده و طراح سازه بدین صورت است که: معمولاً تا خود بدنه میراگر لرزه‌ای در محدوده کاری شرکت سازنده است و بخش نصب میراگر یا پیچ‌های اتصال و غیره در محدوده کاری طراح سازه قرار می‌گیرد.

(۳) روش نصب برای هر نوع میراگر لرزه‌ای

(الف) میراگر روغنی (Oil Damper): فرم‌های ساختاری میراگر روغنی شامل «نوع مهاربندی» (Brace Type) و «نوع لینک برشی» (Shear Link Type) است و اخیراً «نوع میان ستونی» (Inter-column Type) نیز وجود دارد. میراگر روغنی دارای مکانیزمی است که نیروی مقاومت میرایی را در جهت محور میراگر تولید می‌کند؛ بنابراین برای جلوگیری از اعمال تنش‌های مؤلفه‌های جهات دیگر به میراگر، اصل بر این است که بخش نصب آن به صورت «مکانیزم مفصلی» باشد [عکس‌های ۱.۱.۱ و ۱.۱.۲].

(ب) میراگر ویسکوز (Viscous Damper): در میراگر ویسکوز، روش نصب بسته به فرم ساختاری آن متفاوت است و به دو دسته «نوع دیواری (Wall) / میان‌ستونی (Inter-column)» و «نوع مهاربندی (Brace) / لینک برشی (Shear Link)» تقسیم می‌گردد.

۱. میراگر ویسکوز نوع دیواری و میان‌ستونی: میراگرهای نوع دیواری و میان‌ستونی دارای مکانیزمی هستند که نیروی مقاومت میرایی را در جهت «داخل صفحه دیوار» تولید می‌کنند و باید سیستمی باشند که تغییر شکل در جهت خارج از صفحه را دنبال کنند (Follow). بنابراین، بخش نصب آن‌ها باید دارای مکانیزمی باشد که بتواند در برابر نیروی برشی و لنگر خمشی داخل صفحه مقاومت کند. به طور کلی، قسمت پایین و بالای میراگر دیواری با «پیچ‌های پرمقاومت» (High-strength Bolts) به شاتیرها سازه در طبقات بالا و پایین متصل می‌شود و نیروی برشی و لنگر خمشی را منتقل می‌کند [عکس ۱.۱.۳]. در نتیجه، لقی اولیه ایجاد نمی‌شود، اما از آنجا که تیر نصب به گونه‌ای است که تنش‌های اضافی (نیروی محوری، نیروی برشی، لنگر خمشی) ناشی از مقاومت میرایی حدی به صورت پیوسته در جهت طول دیوار ایجاد می‌شود، در هنگام طراحی باید به «تنش‌های موضعی» در تک‌تک موقعیت‌های تیر توجه نمود.

۲. میراگر ویسکوز نوع مهاربندی و لینک برشی: میراگرهای ویسکوز نوع «مقاومت دورانی» و «مقاومت جریان سیال» که ساختار مهاربندی یا لینک برشی دارند، دارای مکانیزمی هستند که نیروی مقاومت میرایی را در جهت محور میراگر تولید می‌کنند و بخش نصب آن‌ها مشابه میراگر روغنی است [عکس‌های ۱.۱.۱ و ۱.۱.۲].

(ج) میراگر ویسکوالاستیک (Viscoelastic Damper): در میراگر ویسکوالاستیک، روش نصب بسته به فرم ساختاری متفاوت است و به دسته‌های دیواری، میان‌ستونی، لینک برشی و مهاربندی تقسیم می‌گردد.

۱. میراگر ویسکوالاستیک نوع دیواری، میان‌ستونی و لینک برشی: در موارد دیواری، میان‌ستونی و لینک برشی، مشابه میراگر ویسکوز دیواری، بخش نصب به صورت «اتصال صلب» در نظر گرفته می‌شود.

۲. میراگر ویسکوالاستیک نوع مهاربندی: در مورد نوع مهاربندی، برخلاف مهارندهای معمول سازه فولادی (S-structure) و موارد مشابه، در اکثر موارد بخش نصب به صورت «اتصال صلب» در نظر گرفته می‌شود تا در برابر مؤلفه‌های تغییر شکل غیرمحوری نیز مقاومت کند [عکس ۱.۱.۵]، اما مواردی هم وجود دارد که مشابه میراگر روغنی از «اتصال مفصل تک‌جهته» استفاده می‌گردد.

(د) میراگر فولادی (Steel Damper): در میراگر فولادی، روش نصب بسته به فرم ساختاری متفاوت است و به دسته‌های دیواری، میان‌ستونی، لینک برشی و مهاربندی تقسیم می‌شود.

۱. میراگر فولادی نوع دیواری، میان‌ستونی و لینک برشی: در موارد دیواری، میان‌ستونی و لینک برشی، بخش نصب به صورت «اتصال صلب» اجرا می‌شود [عکس ۱.۱.۶].

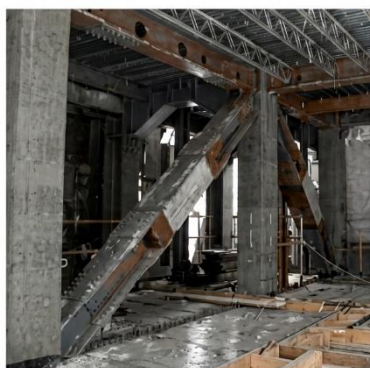
۲. **میراگر فولادی نوع مهاربندی:** در مورد نوع مهاربندی، مشابه مهاربندهای معمول سازه فولادی، در اکثر موارد بخش نصب به صورت «اتصال صلب» اجرا می‌شود تا در برابر مؤلفه‌های تغییر شکل غیرمحوری نیز مقاومت کند [عکس ۱.۱.۴]، اما مواردی هم وجود دارد که مشابه میراگر روغنی از «اتصال مفصل تک‌جهته» استفاده می‌گردد.

(ه) **میراگر اصطکاکی (Friction Damper):** در میراگر اصطکاکی، روش نصب بسته به فرم ساختاری متفاوت است و به دسته‌های دیواری/میان‌ستونی و مهاربندی/لینک برشی تقسیم می‌گردند.

۱. **میراگر اصطکاکی نوع دیواری و میان‌ستونی:** در موارد دیواری و میان‌ستونی، بخش نصب به صورت «اتصال صلب» است.

۲. **میراگر اصطکاکی نوع مهاربندی و لینک برشی:** در موارد مهاربندی و لینک برشی، اگر نیروی اصطکاک توسط مکانیزم پیچی تولید شود، مشابه مهاربندهای معمول سازه فولادی، در اکثر موارد بخش نصب به صورت «اتصال صلب» در برابر مؤلفه‌های تغییر شکل غیرمحوری اجرا می‌شود؛ اما اگر نیروی اصطکاک توسط مکانیزم حلقوی (Ring Mechanism) تولید شود، مشابه میراگر روغنی، اغلب از «اتصال مفصل تک‌جهته» استفاده می‌گردد.

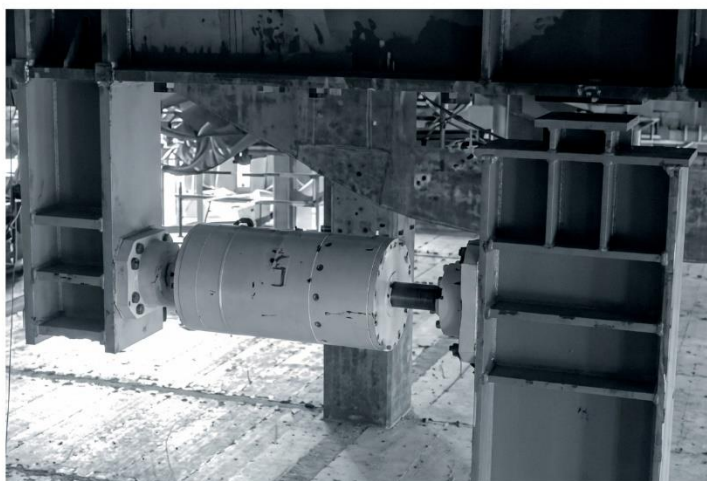
از آنجا که در میراگر اصطکاکی، اثر لقی اولیه (Initial Play) بسیار زیاد است و همچنین نیاز به صلیبیت بالای اتصال می‌باشد، استفاده از اتصال صلب رایج‌تر است؛ اما در صورت استفاده از اتصال مفصلی (پین)، باید تمهیداتی اندیشیده شود، مانند جدا کردن بخشی که خطاهای اجرایی را جذب می‌کند (مثلاً اتصال با پیچ‌های پرمقاومت) از خود مکانیزم مفصل.



عکس ۱.۱.۵: اتصال صلب در بخش نصب میراگر ویسکوالاستیک نوع مهاربندی و عکس ۱.۱.۶: اتصال صلب در بخش نصب میراگر فولادی نوع دیواری

(و) **میراگر جرم اینرسی یا جرمی تنظیم شده (Inertial Mass Damper):** به عنوان میراگر لرزه‌ای که جرم اینرسی تولید می‌کند، تجهیزاتی وجود دارند که اثر جرم را از طریق چرخش تقویت می‌کنند. مکانیزم این میراگرها به گونه‌ای است که نیروی اینرسی ناشی از چرخش جسم دوار (Flywheel) حول یک محور، توسط «مکانیزم بال

اسکرو» (Ball Screw) (یک مکانیزم تبدیل حرکت خطی به چرخشی یا برعکس است که با استفاده از ساچمه (توپ‌های فلزی کوچک)، که به عنوان بلبرینگ عمل می‌کنند، حرکت را با کمترین اصطکاک ممکن انتقال می‌دهد- مترجم) به صورت نیروی مقاومت در جهت محوری ظاهر می‌شود. اصل بر این است که بخش نصب این میراگرها به صورت «مکانیزم مفصلی» باشد [عکس ۱.۱.۷].



عکس ۱.۱.۷: اتصال مفصلی در بخش نصب میراگر جرم اینرسی دورانی

۱.۲ سیاست‌های پایه طراحی بخش نصب میراگر لرزه‌ای: طراحی بخش اتصال و نصب میراگر لرزه‌ای باید بر اساس سیاست‌های پایه زیر انجام شود:

بخش اتصال و نصب میراگر لرزه‌ای باید به عنوان مکانیزمی عمل کند که **صرفاً مؤلفه نیروی مقاومت میرایی** میراگر را منتقل می‌کند. اصل بر این است که بخش نصب در برابر «نیروی مقاومت میرایی حدی»، دچار پلاستیک شدگی (تسلیم) نشود و طراحی به گونه‌ای باشد که با پلاستیک شدن بخش نصب، ناپایداری در حین عملکرد میراگر ایجاد نگردد. در بخش نصب، باید از «خروج از مرکزیت» پرهیز شود، کمانش رخ ندهد و تغییر شکل‌هایی که عملکرد میراگر را مختل می‌کنند، ایجاد نگردد؛ ضمن اینکه باید صلبیت کافی تأمین گردد. همچنین، اتصال باید در برابر نیروی واکنش خارج از صفحه میراگر در هنگام زلزله در جهت عمود بتواند مقاومت کند یا قابلیت پیروی از تغییر شکل را داشته باشد. بسته به شرایط، دیتیل‌ها باید با در نظر گرفتن امکان **تعویض میراگر در آینده** طراحی (و تعبیه) شوند.

(۱) اهمیت طراحی بخش نصب میراگر: در طراحی سیستم کنترل لرزه‌ای، طرح ساختاری میراگر لرزه‌ای بسیار مهم است، اما «دیتیل‌های طراحی» مربوط به اتصال میراگر به قاب اصلی نیز برای تضمین اثر کنترلی حائز اهمیت حیاتی هستند. خود میراگر لرزه‌ای به عنوان یک محصول استاندارد در کارخانه تولید شده و به کارگاه ساختمانی تحویل

داده می‌شود، اما بخش نصب آن مشابه سایر اعضای سازه ساختمان، در هر ساختمان متفاوت است و در محل کارگاه اجرا می‌شود. به همین دلیل، نقاط بحرانی از نظر مدیریت کیفیت، معمولاً در بخش نصب متمرکز می‌گردند.

در طراحی بخش نصب میراگر لرزه‌ای، با درس گرفتن از «موارد خسارت زلزله‌های گذشته» در سازه‌های دارای مهاربند (که رفتاری مشابه دارند)، بدترین سناریوهای خسارت را به صورت ملموس می‌توان تصور کرد و تدابیر مقابله‌ای را شفاف‌تر نمود. در میان موارد خسارت زلزله‌های پیشین، نمونه‌های خسارت در بخش نصب اعضای اسکلت فولادی در [عکس ۱.۲.۱] نشان داده شده است.

(الف) نمونه‌ای است که در آن «صفحه بادبند» (Gusset Plate - G.PL) در بخش نصب مهاربند دچار تغییر شکل خارج از صفحه شده است.

(ب) نمونه‌ای است که در بخش نصب میراگر، بال ستون تکیه‌گاه که با «اتصال پیچ کششی» متصل شده، به دلیل نیروی کششی میراگر دچار تغییر شکل موضعی در جهت خارج از صفحه شده است.

(ج) نمونه‌ای است که بخش جوشکاری شده صفحه بادبند (G.PL) بین اتصال میراگر، دچار «شکست کششی» شده است.



عکس ۱.۲.۱: موارد خسارت زلزله در بخش نصب میراگر

(الف) تغییر شکل خارج از صفحه G.PL نصب، (ب) تغییر شکل موضعی بخش اتصال پیچ کششی، و (ج) شکست بخش جوشکاری شده G.PL بین اتصال.

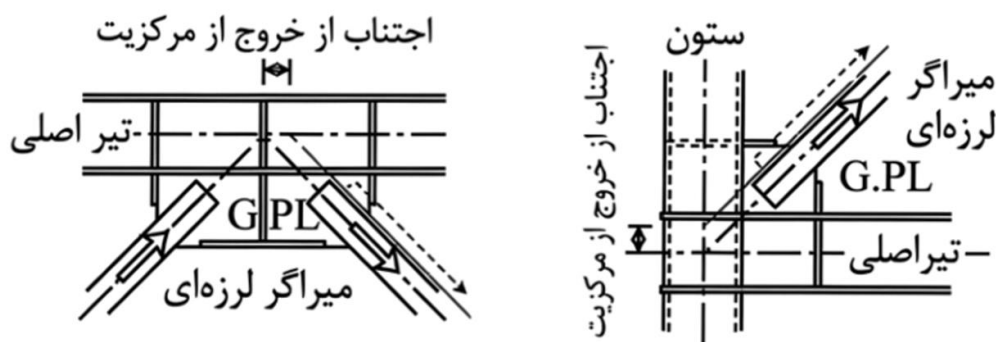
(۲) **سیاست‌های پایه بخش نصب میراگر لرزه‌ای:** طراحی بخش نصب میراگر لرزه‌ای بر اساس سیاست‌های پایه زیر انجام می‌شود:

۱. در میراگر لرزه‌ای و بخش نصب آن، باید از «خروج از مرکزیت» (Eccentricity) محور عضو جلوگیری گردد.
۲. بخش نصب نباید در برابر «نیروی مقاومت میرایی حدی» میراگر لرزه‌ای، پلاستیک (تسلیم) شود.

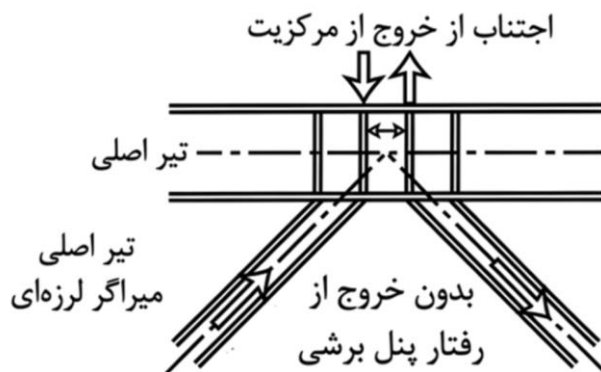
۳. بخش نصب نباید دچار کمانش یا تغییر شکل خارج از صفحه شود و باید دیتیلی باشد که امکان انتقال تنش را فراهم نماید.
۴. از آنجا که بخش نصب با میراگر لرزه‌ای به صورت «سری» (Series) قرار می‌گیرد، برای اینکه تغییر شکل اعمالی به میراگر هدر نرود، باید «صلبیت» کافی تأمین گردد.
۵. بخش نصب باید به عنوان مکانیزمی عمل کند که اصولاً فقط مؤلفه نیروی مقاومت میرایی میراگر را منتقل کند و در برابر سایر مؤلفه‌های تنش مقاومتی نشان ندهد (آزاد باشد).
۶. طراحی سطح مقطع باید با در نظر گرفتن «عملکرد سطح مقطع مؤثر» انجام شود.
۷. نیروهای واکنش و تغییر شکل خارج از صفحه میراگر ناشی از «زلزله در جهت عمود» باید در نظر گرفته شود.
۸. دیتیل‌ها باید با در نظر گرفتن امکان «تعویض میراگر» در آینده طراحی شوند.

(۳) خروج از مرکزیت میراگر و بخش نصب: بسیار مهم است که جانمایی و دیتیل‌های میراگر لرزه‌ای و بخش نصب آن به گونه‌ای باشد که نسبت به محور تیر و ستون قاب اصلی دچار «خروج از مرکزیت» (Eccentricity) نشود [شکل ۱.۲.۱]. با این حال، در مواردی که خروج از مرکزیت اجتناب‌ناپذیر است، باید تنش‌های اضافی ناشی از این خروج از مرکزیت را به عنوان تنش طراحی برای اعضای تیر-ستون قاب اصلی یا بخش نصب در نظر گرفت و همچنین تأثیراتی نظیر «کاهش صلبیت» ناشی از خروج از مرکزیت را لحاظ نمود و اثر کنترلی و تنش‌های قاب اصلی را ارزیابی کرد.

لازم به ذکر است، حتی در حالتی که بین محور میراگر و محور تیر اصلی خروج از مرکزیتی وجود ندارد، در دیتیل‌هایی که بین موقعیت نصب میراگرهای چپ و راست روی جان تیر فاصله وجود دارد (Space)، نیروی برشی مستقیماً در این فاصله به «پانل جان شاه‌تیر» وارد می‌شود که بسیار شدید خواهد بود و نیاز به توجه دارد [شکل ۱.۲.۲].

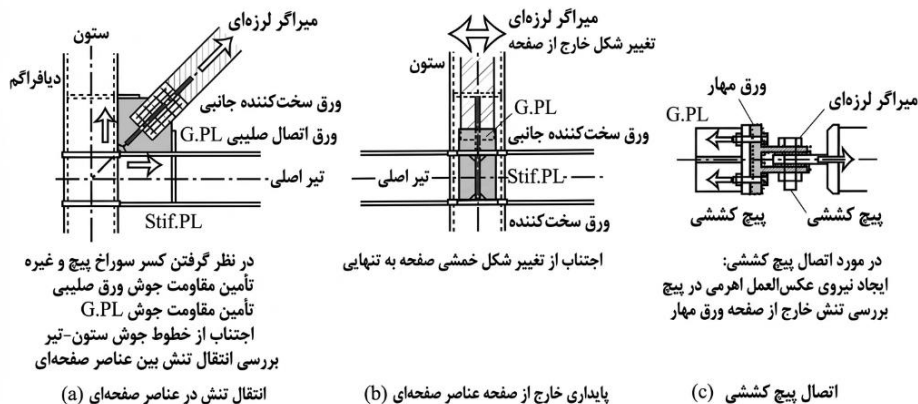


شکل ۱.۲.۱ اجتناب از خروج از مرکزیت در میراگر و بخش اتصال



شکل ۱.۲.۲ تبدیل شدن شاه تیر به پانل برشی در محل اتصال میراگر (اجتناب از خروج از مرکزیت/ بدون خروج از مرکزیت محوری/ تبدیل به پانل برشی)

(۴) نکات قابل توجه در بخش نصب میراگر لرزه‌ای: بخش نصب میراگر باید دیتیلی باشد که انتقال تنش به تیر و ستون قاب اصلی را به طور کامل ممکن سازد. به ویژه در مورد «اتصالات صلیبی» (Cruciform Joints)، باید دیتیلی انتخاب شود که تنش ورق متعامد (Orthogonal PL) را به طور مطمئن به ورق داخل صفحه (In-plane PL) یا اعضای تیر و ستون اصلی منتقل نماید [شکل ۱.۲.۳ (الف)]. در اتصال جوشی بخش نصب میراگر با محل اتصال تیر به ستون (Panel Zone)، به یک «دستورالعمل روند جوشکاری» نیاز است که با خطوط جوش محل اتصال تیر-ستون تداخل نداشته باشد. همچنین باید دیتیلی انتخاب شود که در برابر تنش طراحی، دچار کماتش یا تغییر شکل خارج از صفحه نگردد [شکل ۱.۲.۳ (ب)]. در صورتی که بخش نصب از نوع بتن مسلح (RC) باشد، باید تمهیداتی اندیشیده شود تا در برابر تنش وارده از میراگر، کاهش صلبیت ناشی از «بیرون کشیدگی» (Pull-out) یا «ترک خوردگی» میل مهارها از بخش نصب رخ ندهد.



شکل ۱.۲.۳: دیتیل بخش نصب

(۵) نکات قابل توجه در بخش اتصال پیچ کششی: در روش اتصال با «پیچ کششی»، به عنوان تنش وارده به پیچ، نه تنها باید نیروی مقاومت میرایی حدی میراگر را در نظر گرفت، بلکه اگر صلیبت ورق بال (Flange PL) کافی نباشد، باید «نیروی واکنش اهرمی» (Prying Action / Leverage Force) که ایجاد می‌شود را نیز لحاظ کرد. به همین ترتیب، در طراحی ورق مهار (Anchor PL)، باید خمش خارج از صفحه ناشی از نیروی محوری پیچ (شامل نیروی اهرمی) را در نظر گرفت [شکل ۱.۲.۳ (ج)]. همچنین مطلوب است طراحی به گونه‌ای باشد که تحت نیروی کششی، جدایش یا بازشدگی (Opening) در اتصال رخ ندهد. علاوه بر این، در محل تلاقی با بدنه RC، باید آثار تغییر شکل ناشی از بیرون کشیدگی میل مهارها را در نظر گرفت [عکس ۱.۲.۲].



عکس ۱.۲.۲: نمونه‌ای از بیرون کشیدگی میل مهار برای مهار نمودن میراگر

۱.۳ انتقال تنش به اعضای تیر و ستون قاب اصلی: بخش نصبی که تنش را از میراگر لرزه‌ای به اعضای تیر و ستون قاب اصلی منتقل می‌کند، باید بتواند «مؤلفه‌های تنش اضافی» (نیروی محوری، نیروی برشی، لنگر خمشی، نیروی واکنش خارج از صفحه و غیره) را که بسته به روش نصب میراگر متفاوت است، به طور مطمئن منتقل نماید. همچنین، در خصوص انتقال تنش از سایر قاب‌های اصلی به قاب میراشده (Damped Frame) از طریق دیافراگم افقی (کف‌ها) نیز باید انتقال به صورت مطمئن انجام شود. لازم به ذکر است که حتی در صورت «مقاوم‌سازی لرزه‌ای» (Retrofitting) سازه‌های موجود، این موارد صادق است.

(۱) انتقال تنش به تیر و ستون قاب اصلی: در خصوص بخش اتصال مهاربند در سازه‌های فولادی (S)، نمونه‌های خسارت زلزله در فرم‌های سازه‌ای که مهاربند K-شکل (شورون) به شاه‌تیر متصل می‌شود در [عکس ۱.۳.۱] نشان داده شده است.

(الف) نمونه‌ای است که به دلیل خروج از مرکزیت محورهای چپ و راست مهاربند، بخش جان (Web) شاه‌تیر دارای مقطع جعبه‌ای (Box) دچار «شکست برشی» شده است.

(ب) نمونه‌ای است که در آن پل جان شاه‌تیر به دلیل ترکیب «نیروی محوری + کمناش برشی» دچار خرابی شده است.

(ج) نمونه‌ای است که در اتصال مهاربند تسمه‌ای (Flat Bar Brace)، همراه با کمناش موضعی بخش اتصال، شاه‌تیر دچار تغییر شکل خارج از صفحه شده و منجر به شکست اجزای ورق شاه‌تیر شده است.



(a) خروج از مرکزیت محور مهاربند

(b) کمناش جان تیر اصلی

(c) تغییر شکل خارج از صفحه تیر اصلی در اثر کمناش مهاربند

عکس ۱.۳.۱: موارد خسارت زلزله در بخش اتصال مهاربند

از این موارد خسارت مشخص می‌شود که وقتی نیروی واکنش میراگر (در چیدمان‌هایی مثل K-شکل و غیره) به شاه‌تیر منتقل می‌شود، لازم است نیروی واکنش میراگر (نیروی محوری، برش، خمش واکنش خارج از صفحه) به «تنش طراحی شاه‌تیر» اضافه شود [شکل ۱.۳.۱ الف]. در این حالت، باید از پلاستیک شدن جان شاه‌تیر در برابر نیروی محوری و برشی جلوگیری کرد و همچنین «پایداری کمناش» پل جان را کنترل نمود. علاوه بر این، از آنجا که در هنگام زلزله، تغییر شکل خارج از صفحه مهاربند ناشی از زلزله در جهت عمود نیز به طور هم‌زمان رخ می‌دهد، نیروی واکنش خارج از صفحه میراگر نیز به شاه‌تیر اضافه می‌شود؛ لذا بررسی «تنش خمشی جانبی» (Lateral Bending) و مهار تغییر شکل عرضی بال پایین ضروری است [شکل ۱.۳.۱ ب].

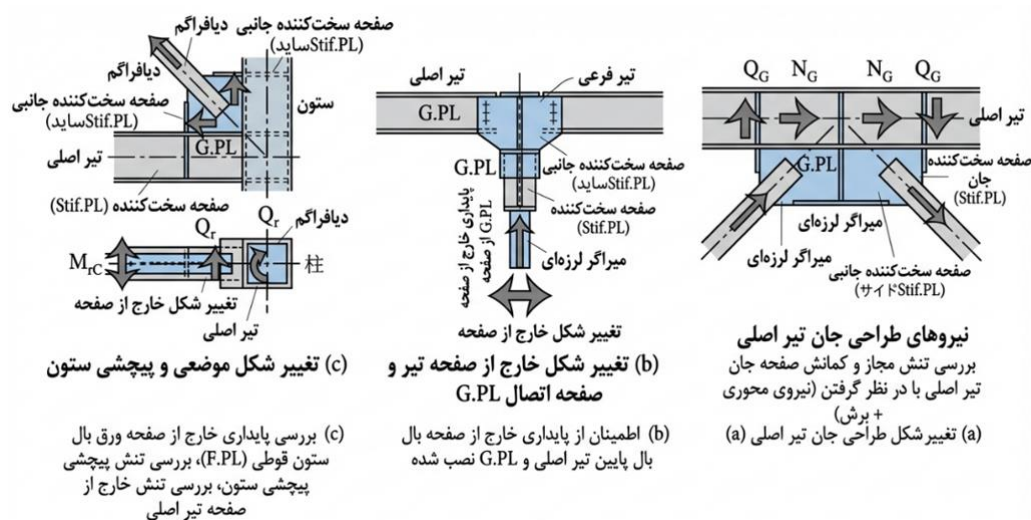
(الف) **تنش طراحی جان شاه‌تیر:** (در نظر گرفتن نیروی محوری + نیروی برشی / بررسی تنش مجاز و کمناش ورق).

(ب) **تغییر شکل خارج از صفحه شاه‌تیر و G.PL:** (تأمین پایداری خارج از صفحه برای صفحه بادیبند (G.PL) در بال پایین شاه‌تیر / پایداری جهت خارج از صفحه (G.PL)).

(ج) **تغییر شکل موضعی ستون - تغییر شکل برگشتی:** (تغییر شکل دیافراگم / بررسی پایداری خارج از صفحه F.PL مقطع جعبه‌ای / بررسی تنش پیچشی ستون / بررسی تنش خارج از صفحه شاه‌تیر).

اگر قاب اصلی فولادی (S) باشد، طراحی دیتیل باید به گونه‌ای باشد که «تغییر شکل موضعی» اجزای ورق تشکیل‌دهنده بخش اتصال به ستون یا شاه‌تیر (مانند تغییر شکل خارج از صفحه ورق PL مقطع جعبه‌ای، یا تغییر شکل خارج از صفحه PL بیرون‌زده در مقطع بسته) رخ ندهد [شکل ۱.۳.۱ (ب) و (ج)].

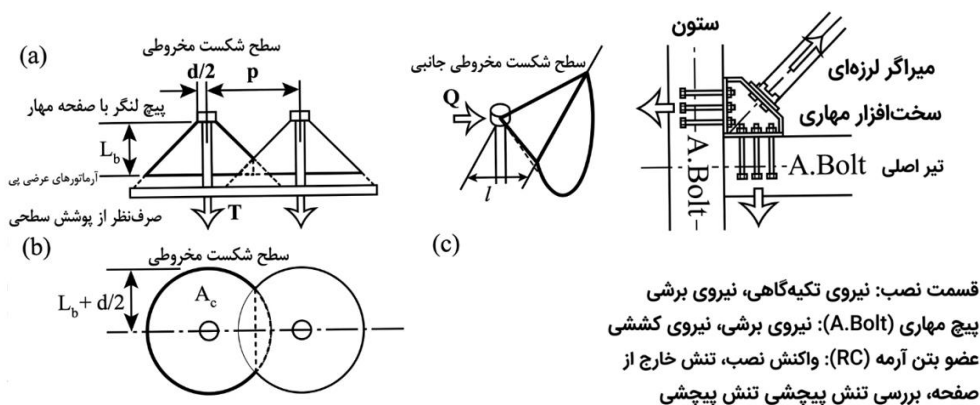
اگر قاب اصلی بتن مسلح (RC) باشد، باید در برابر تنش‌های موضعی وارده از بخش نصب میراگر (تنش تکیه‌گاهی/لهیدگی، نیروی کششی میل مهار، نیروی برشی، تنش پیچشی و غیره) به گونه‌ای طراحی شود که حتی در ترکیب با تنش‌های قاب اصلی، آسیبی ایجاد نگردد [شکل ۱.۳.۲]. به ویژه در مورد میل مهارها، بررسی در برابر «تنش ترکیبی نیروی محوری و برشی» ضروری است. در صورتی که در انتهای میل مهار «صفحه مهار» (Anchor Plate) نصب شود، بررسی «شکست مخروطی» (Cone Failure) بتن در برابر نیروی کششی [شکل ۱.۳.۳ الف و ب] و بررسی «شکست مخروطی جانبی» (Side Cone Failure) بتن ناشی از نیروی برشی میل مهار [شکل ۱.۳.۳ ج]] الزامی است. همچنین در مواردی که دیتیل نیاز به جوشکاری در محل (کارگاه) دارد، باید تأثیر حرارت جوشکاری بر اعضای بتن آرمه را در نظر گرفت.



شکل ۱.۳.۱ اجزاء سازه اصلی - عناصر صفحه ای

در خصوص شکست مخروطی، سطح شکستی که به طور معمول تشکیل می‌شود به مقادیر محاسبه شده در روابط طراحی نزدیک است [عکس ۱.۳.۲]. اما بتن سطحی (Surface Concrete) که بالاتر از میلگردهای اصلی پی یا موارد مشابه قرار دارد، به دلیل اثر «کاهش سطح مقطع بتن» ناشی از وجود میلگردهای عرضی و غیره، ممکن است زودتر دچار ترک‌های کششی شود که به کل مقطع نفوذ کرده و منجر به پوسته پوسته شدن (Spalling) گردد [عکس ۱.۳.۳]. از آنجا که این بخش به عنوان سطح شکست مخروطی مؤثر عمل نمی‌کند، در طراحی باید از آن صرف‌نظر کرد [شکل ۱.۳.۳ (a)]. همچنین، در مورد میل مهارهایی که در انتهای آن‌ها صفحه مهار تعبیه شده و از مهره‌های بلند

(Bag Nut / Cap Nut) برای اتصال به صفحه ستون (Base Plate) استفاده می‌گردد، اگر فاصله بین انتهای مهره و صفحه مهار انتهایی کم باشد، قبل از اینکه سطح شکست مخروطی تشکیل شود، بتن اطراف تنه پیچ (Bolt) (Shaft) به صورت استوانه‌ای دچار پانچ شدگی یا لغزش (Punching/Sliding) گردیده و نمی‌توان مقاومت مقرر را تأمین کرد؛ بنابراین باید فاصله کافی در این میان تأمین گردد. در مراجع (۲)، مقرر شده است که طول تنه میل مهار باید بیش از ۳.۵ برابر قطر پیچ تأمین شود.



شکل ۱.۳.۲: بخش نصب به قاب اصلی سازه RC و شکل ۱.۳.۳: شکست مخروطی میل مهار دارای صفحه مهار

(الف) سطح شکست مخروطی / نادیده گرفتن سطح بتن (Surface Concrete).

(ب) L_e (طول مؤثر) / سطح شکست مخروطی A_c .

(ج) سطح شکست مخروطی جانبی (Side Cone).

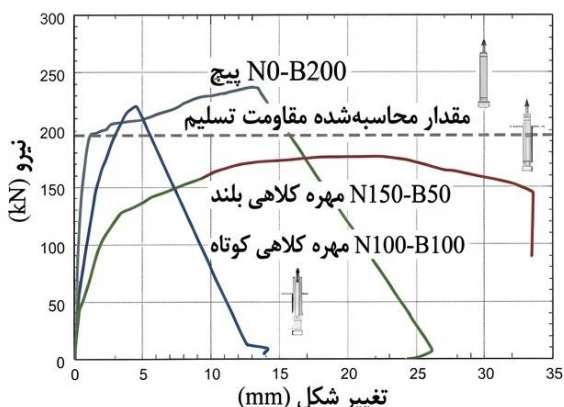


عکس ۱.۳.۲: مود شکست مخروطی نرمال (عمودی) توسط پیچ با انتهای مهار شده و عکس ۱.۳.۳: جدا شدگی کششی سطح بتن ناشی از نقص مقطع عرضی (میلگرد و غیره)

به عنوان میل مهرار، نمونه‌ای از آزمایش شکست مخروطی (Cone Failure) با استفاده از ۳ نوع: (۱) پیچ معمولی L ۲۰۰ میلی‌متر، (۲) مهره کلاهی‌دار L (Cap Nut) ۱۰۰ میلی‌متر - تنه پیچ L ۱۰۰ میلی‌متر و (۳) مهره کلاهی‌دار L ۱۵۰ میلی‌متر - تنه پیچ L ۵۰ میلی‌متر در [عکس ۱.۳.۴ (a)] نشان داده شده است. در نمونه (۲) که فاصله بین انتهای مهره کلاهی‌دار و صفحه انتهایی نوک (Tip Anchorage Plate) تا حدودی تأمین شده است، سطح شکست مخروطی به صورت عادی تشکیل می‌شود [عکس ۱.۳.۴ (d)]. در مورد (۳) که فاصله کوتاه است، بیرون کشیدگی بتن استوانه‌ای در حدود ۲۰٪ مقاومت نهایی مورد انتظار آغاز می‌شود [عکس ۱.۳.۴ (ج)]. پس از آن (در ادامه بارگذاری)، اگرچه مقاومت به دلیل اصطکاک آن بخش افزایش می‌یابد، اما سختی به کمتر از حدود ۱/۱۰ سختی اولیه می‌رسد و از آنجا که به مقاومت تسلیم مورد نیاز در طراحی نمی‌رسد، دچار کمبود مقاومت می‌شود [عکس ۱.۳.۴ (b)]. علاوه بر این، منحنی بار-تغییر مکان حتی پس از باربرداری به مبدأ تغییر شکل باز نمی‌گردد و تغییر شکل بیرون کشیدگی به صورت دائمی باقی می‌ماند [عکس ۱.۳.۴ (b)] و در برابر بارگذاری رفت و برگشتی، پیچ صرفاً به صورت تجمعی بیرون کشیده می‌شود، بنابراین نمی‌توان انتظار عملکرد به عنوان میل مهرار را داشت.



نمونه‌های آزمایشی پیچ‌های مهرار با مهره کلاهی (a)



منحنی‌های بار-تغییر شکل پیچ‌های مهرار با مهره کلاهی (b)



شکست بیرون کشیدگی مهره کلاهی بلند (c)



شکست مخروطی مهره کلاهی کوتاه (d)

عکس ۱.۳.۴: موارد احتیاط در میل مهرارها برای استفاده از مهره کلاهی‌دار و صفحه انتهایی نوک