

طراحی میراگر های غیر فعال در برابر زلزله

Design of Passive Dampers Against Earthquake



Juan D. Gomez

Trevor E. Kelly

Charles A. Kircher

Oscar M. Ramirez

Martin W. Johnson

Andrew S. Whittaker

Michael C. Constantinou



مؤلف ، مترجم و گردآورنده

مهندس علیرضا صالحین

مترجمین

مهندس مرتضی راضی

مهندس علی حیدری

طراحی میراگرهای غیر فعال

درباره زلزله

اثر ارزشمند:

Juan D. Gomez
Trevor E. Kelly
Charles A. Kircher
Oscar M. Ramirez
Martin W. Johnson
Andrew S. Whitakker
Micheal C. Constantinou

مترجم و گردآورنده:

مهندس علیرضا صالحین

مترجمین:

مهندس مرتضی راضی

مهندس علی حیدری

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

فهرست

۵	۱- مقدمه مترجمین
۱۱	۲- کتابچه راهنمای شرکت هلمز
۱۲	۱-۲- مقدمه
۲۳	۲-۲- اصول میرایی درون سازه ای
۲۹	۳-۲- مشخصات میراگر
۵۹	۴-۲- تحلیل کاهش میرایی
۷۷	۵-۲- تحلیل تاریخچه زمانی
۱۱۷	۶-۲- خواص عملی دستگاه ها
۱۳۷	۷-۲- روند طراحی میرایی
۱۳۳	۸-۲- میراگرهای هیسترتیک فلزی و سربی تسلیم شونده
۱۵۹	۹-۲- میراگرهای قیچی
۱۷۱	۱۰-۲- میراگرهای بادبند زانویی
۱۸۹	۱۱-۲- اثرات ضربه زدن سازه ها به یکدیگر
۲۰۵	۱۲-۲- سیستم های هایبرید (دوگانه)
۲۱۵	۱۳-۲- کاربرد میراگرها در مقاوم سازی پلها
۲۲۹	۳- بخش محاسباتی و مثال های عددی
۲۳۰	۱-۳- گسترش و ارزیابی روش های ساده سازی شده برای تحلیل و طراحی ساختمان ها با سیستم های اتلاف انرژی غیرفعال
۲۳۰	۱-۱-۳- بخش ۱ - مقدمه
۲۳۵	۲-۱-۳- بخش ۲ - تشریح روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی
۲۴۷	۳-۱-۳- بخش ۳ - اصلاح طیف پاسخ برای میرایی بالاتر
۲۵۶	۳-۴-۱-۳- بخش ۴ - ارزیابی روش های ساده شده تحلیل سیستم های تسلیم شونده با یک درجه آزادی با تجهیزات اتلاف انرژی
۲۹۰	۳-۵-۱-۳- بخش ۵ - نسبت تغییرمکان غیرالاستیک به تغییرمکان محاسبه شده با فرض رفتار الاستیک
۲۹۹	۳-۶-۱-۳- بخش ۶ - تقاضای شکل پذیری تغییرمکان در سازه های با سیستم میرایی ویسکوز
۳۰۶	۳-۷-۱-۳- بخش ۷ - توسعه و ارزیابی روش های ارزیابی تحلیل مودی و نیروی جانبی معادل برای ساختمان های جدید با سیستم میرایی
۲۳۱	۳-۸-۱-۳- بخش ۸ - ارزیابی روش های تحلیل و طراحی ساختمان های با سیستم میرایی
۳۷۷	۳-۹-۱-۳- بخش ۹ - خلاصه ، نتایج و پیشنهادات

۳۸۱	NEHRP 2000 - ۱۰-۱-۳ - ضمیمه الف -
۴۱۷	۱۱-۱-۳ - ضمیمه ب - تشریح ساختمان های نمونه بدون
۴۳۱	سیستم میرایی و طراحی سیستم های باربر نیروی جانبی توسط NEHRP 1997
۴۶۳	۱۲-۱-۳ - ضمیمه ج - اجرای تقریبی منحنی پوش آور ساختمان های با و بدون سیستم های میرایی بر اساس تحلیل پلاستیک
۴۷۳	۱۳-۱-۳ - ضمیمه د - ملاحظاتی در طراحی تجهیزات میرایی تسلیم شونده فلزی و یسکوالاستیک سخت
۵۱۹	۱۴-۱-۳ - ضمیمه م - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل قاب های ۳ و ۶ طبقه با سیستم میرایی یسکوز خطی
۵۴۳	۱۵-۱-۳ - ضمیمه ن - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل ۳ طبقه با سیستم میرایی یسکوز غیر خطی
۵۷۵	۱۷-۱-۳ - ضمیمه و - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل ۳ طبقه با سیستم میرایی تسلیم شونده
۵۸۸	۱۸-۱-۳ - ضمیمه ز - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل ۳ طبقه با سیستم میرایی یسکوز خطی با استفاده از روش دوم استاتیک غیرخطی FEMA 274
۶۰۹	۱۹-۱-۳ - بخش ۱۰ - منابع و مأخذ
۶۱۵	۴ - طراحی و مدلسازی در SAP2000 و ETABS
۶۳۳	۵ - عکس های میراگرها
۶۴۹	۶ - بخش استانداردها
۶۵۰	۶-۱ - ترجمه بخش میراگرهای آیین نامه FEMA
۶۷۳	۶-۲ - ترجمه بخش میراگرهای راهنمای SEAOC
۷۰۱	۷ - منابع و مراجع
۷۰۵	۸ - لغت نامه
۷۰۶	۸-۱ - لغت نامه فارسی به انگلیسی
۷۱۸	۸-۲ - لغت نامه انگلیسی به فارسی
۷۳۱	۹ - معرفی نامه

مقدمه

با حمد و سپاس بی پایان به درگاه ایزد منان، اثر دیگری را نیز تحت عنوان " طراحی میراگرهای غیرفعال در برابر زلزله" به انجام رسانیدم. برای تهیهٔ این اثر در مراحل گردآوری منابع، ترجمه و تدوین مطالب تلاش‌های زیادی انجام شده و سعی بر این بوده تا این اثر بتواند با کمترین نقص و به شکل کامل مباحث مرتبه با بحث استهلاک انرژی توسط میراگرهای را ارائه دهد.

مطالب این کتاب جنبه‌های تئوری و کاربردی را پوشش می‌دهد و شاید کمتر اثری در این زمینه موجود باشد که دارای چنین جامعیتی باشد. سعی بر آن بوده که مطالب تئوری با ضامین طراحی و مباحث اجرایی در هم آمیخته شود تا برای تمامی مهندسین و محققین قابل استفاده باشد.

توصیه می‌شود که پیش از مطالعه این کتاب، لغت نامه تخصصی انتهای کتاب مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین برای تکمیل مطالب کتاب، یک نسخه DVD به همراه کتاب ارائه شده است که شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- قسمت آین نامه : شامل استاندارهای ATC, FEMA ,IBC,IRAN ,NZS,SEAOC ,UBC

۲- قسمت کتب تكمیلی : شامل ۲۴ عدد کتاب و هنبوک.

۳- قسمت فیلم : فیلم‌های NEES ، مجموعه سخنرانی پروفسور Kelly و مجموعه ای بی نظیر از فیلم‌های انواع میراگرهای.

۴- قسمت نرم افزار : در دو بخش نرم افزارهای General و Professional ارائه گردیده است. در بخش General نرم افزارهای مورد نیاز برای استفاده از DVD قرار داده است و در بخش Professional مجموعه ۹ نرم افزار به همراه آموزش و فایل‌های مربوطه آورده شده است. با توجه به محتویات موجود در DVD، خوانندگان عزیز بدون نیاز به صرف زمان و هزینه زیاد می‌توانند اطلاعات جامعی از تئوری رفتار میراگرهای و طراحی آنها به دست آورند. در صورتی که نیاز باشد مطلبی در رابطه با این کتاب انتشار یابد، از طریق وب سایت همیار این کتاب (www.AvistaBook.com) انجام خواهد پذیرفت.

همگام با پیشرفت‌های علم تحلیل سازه‌ها، مهندسی مواد و پیشرفت‌های نرم افزاری، فن آوری استفاده از میراگرهای در تقویت رفتار لرزه‌ای سازه‌ها تیز رو به پیشرفت و گسترش می‌باشد. هر روز میراگرهای جدیدی ارائه می‌شوند و تحقیقات در این زمینه ادامه می‌یابد. بنابراین، تهیهٔ کتابی که بتواند تمام موضوعات مرتبه با این فن آوری را در بر گیرد، کار بسیار مشکلی به نظر می‌رسد. با این حال، سعی شده تا حد امکان کتابی که ارائه می‌شود بتواند تمام نیازهای مهندسین را در این زمینه پاسخگو باشد. در این کتاب آخرین پیشرفت‌های در صنعت میراگرهای مورد اشاره و

تحلیل قرار گرفته است. به هر حال محدودیت تعداد صفحات کتاب باعث شد در برخی موارد اختصار رعایت شود.

این کتاب از چندین کتاب و مجموعه های تالیفی مختلف تشکیل یافته است که شامل بخش های زیر می باشد:

۱- ترجمه کامل کتاب "In-Structure Damping and Energy Dissipation" از شرکت مهندسین مشاور Holmes سال ۲۰۰۱

۲- ترجمه کامل کتاب "Development and evaluation of simplified procedures for analysis and design of Buildings with Passive Energy Dissipation Systems" از انتشارات MCEER دانشگاه بوفالو، منتشر شده در سال ۲۰۰۰

۳- قسمت های ترجمه موردی در رابطه با Scissor-Jack-Damper Energy Dissipation ، Lead Extrusion Damper ، Metal Hysteretic System ، Toggle bracing damper و Bridge Dampers و Damper

۴- نکات طراحی میراگر آین نامه های : ۳۵۷ SEAOC ، FEMA

۶- قسمت های تالیفی - گردآوری شده سیستم های دوگانه (Hybrid) ، اثرات ضربه زدن سازه ها ETABS و SAP2000 و (Pounding) ، طراحی با

۸- انواع میراگر ها و جزئیات اجرایی مربوطه

۹- دیکشنری تخصصی میراگرها با پیش از ۳۵۰ لغت تخصصی.

در این کتاب تلاش بر آن بوده که تمامی میراگرها به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گیرند. به طوری که تمام آین نامه های معتبر، نرم افزارها و سایر مطالب تکمیلی در این مجموعه گنجانده شده تا خوانندگان از مطالعه ای سایر متابع در این زمینه تا حدی بسیار باشند. کتاب دیگری که در بحث کترول غیرفعال سازه ها تحت عنوان "راهنمای جامع طراحی جداساز لرزه ای" (ترجمه و گردآوری شده توسط همین مولف) انتشار یافته، می تواند در بحث کترول غیرفعال سازه ها مکمل مباحث این کتاب باشد.

کتابی که توسط شرکت هلمز ارائه گردیده شامل نکاتی در رابطه با تحلیل ، طراحی و اجرای این سیستم می باشد. مطالب این کتاب شامله ای اصلی این اثر بوده و کتابی که توسط MCEER ارائه شده نیز به دلیل وجود مثال های کاربردی به کتاب اضافه گردیده است. مجموعه گزارشات فنی ، استانداردها و مقالات بخش دیگری از این مجموعه را تشکیل می دهد. مباحث مهمی نظری سیستم های دوگانه از جمله مباحثی است که در این کتاب بدان پرداخته شده است. کتاب ارائه شده توسط MCEER از جنبه ای کاربردی بودن در طراحی و اجرا دارای مزیت های زیادی می باشد.

سعی بر این بوده است که این کتاب با زبانی ساده نگارش یابد به طوری که تمامی مهندسین و علاقه مندان به این فن آوری قادر به استفاده از آن باشند. همچنین تلاش شده تا این اثر نیاز مهندسین طراح ، مجریان و محققین را به میزان زیادی پاسخگو باشد. مباحث ویژه نظری استفاده از میراگرها در سازه هایی نظری پل ها و سازه های خاص و مباحثی چون طراحی و چیدمان بهینه میراگرها در سازه ها ، در قالب این کتاب نمی گنجد و ان شاء الله در جلد دوم این کتاب به آنها

پرداخته خواهد شد.

امید داریم که مخاطبان گرانقدر، نقصان و کاستی های این کتاب را به دیده ای اغماض نگریسته و ما را در راه تکمیل این اثر در چاپ های بعدی یاری دهند. در نسخه DVD همراه این کتاب، مطالب بسیار ارزنده ای ارائه شده است و سعی شده مطالبی که در قالب نوشتار قابل ارائه نیست یا اینکه حجم کتاب اجازه هی بیان آنها را نمی دهد در این DVD ارائه شوند.

با تمام تلاش های صورت گرفته، این کتاب خالی از نقص و ایراد نخواهد بود. بنابراین، ضمن پوزش از خوانندگان عزیز به دلیل نقایص احتمالی، از عزیزان خواننده تقاضا می شود نظرات و پیشنهادات خود را که می تواند به رفع نواقص و ارتقاء سطح علمی کتاب در چاپ های بعدی کمک کند، از طریق آدرس الکترونیکی Info@avistabook.com به ما انتقال دهنند.

این اثر حاصل تلاش افرادی بوده که عشق به علم و خدمت به جامعه مهندسی کشور شالوده ای افکارشان و پشتکار سرلوحه ای کارشنان بوده است. امید است که اثر ارائه شده بتواند رضایت خوانندگان را فراهم آورده و خدمتی هر چند ناچیز به جامعه مهندسین کشور باشد.

پروفسور Soong Constantinou از دانشگاه بوفالو آمریکا به اینجانب لطف داشته و به طور مجانی مجوز ترجمه تمامی مطالب برداشته شده را به طور رایگان به این انتشارات اهدا کردند، از ایشان هم بابت زحماتشان سپاسگزارم.

از دوستان عزیز و مهندسان گرانقدر، مهندس راضی و حیدری که در ترجمه این کتاب ما را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم. تشکر بسیار ویژه ای از مهندس بزرگوار و فهمیده، جناب مهندس پور صدر دارم که بسیار در این کتاب به بنده کمک کرده اند، باشد که جامعه مهندسین زلزله کشور قدر چنین مهندس بزرگواری را بدانند.

در آخر از خاتم مشایخ و آقای رضایی برای همکاری صمیمانه شان در صفحه آرایی کتاب کمال تشکر را دارم.

مهندس علیرضا صالحین

Acknowledgement

This report was originally published in English on November 16, 2001 by the Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER) as part of its technical report series. It was prepared by the University at Buffalo, State University of New York, as a result of research sponsored by MCEER through a grant from the Earthquake Engineering Research Centers Program of the National Science Foundation. Neither MCEER, associates of MCEER, its sponsors, the University at Buffalo, State University of New York, nor any person acting on their behalf:

1. makes any warranty, express or implied, with respect to the use of any information, apparatus, method, or process disclosed in this report or that such use may not infringe upon privately owned rights; or
2. assumes any liabilities of whatsoever kind with respect to the use of, or the damage resulting from the use of, any information, apparatus, method, or process disclosed in this report.

Any opinions, findings, and conclusions or recommendations expressed in this publication are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of MCEER, the Earthquake Engineering Research Centers Program of the National Science Foundation, or any other sponsors.

تقدیم به مادر بزرگوارم
هر چه تشکر کنم ، هر چه تلاش کنم
نخواهم توانست گوشه ای از زحمات بی دریغ شما را جبران نمایم.
همیشه از صمیم قلب دوست دارم.

كتابچه راهنمای شرکت هلمز

۱. میرایی در سازه و استهلاک انرژی

مقدمه

مطلوب ارائه شده در این بخش توسط گروه مهندسی هلمز تهیه و تدوین گردیده است. این بخش به عنوان یک راهنمای طراحی ارائه شده و نگارش آن با دقت و توجه کافی انجام پذیرفته است.

مطلوب این بخش به نحوی تدوین شده است که برای هر پروژه با مشخصات فنی و ویژگی های خاص، قابل استفاده باشد. شرکت هولمز، نمایندگی های آن و کارکنان آن در قالب صحت و دقت مطالب ارائه شده در این بخش و یا نقص ها یا اشکالات احتمالی در توصیه های طراحی مندرج در آن، هیچ مسئولیتی را عهده دار نمی باشند.

۱-۱ زمینه های کاری شرکت هولمز

گروه مهندسی شرکت هولمز در امور طراحی و تأمین سیستم های جداساز لرزه ای بیش از ۲۰ سال سابقه دارد. جداسازهای پایه یکی از انواع وسایل کترل غیرفعال لرزه ای سازه ها می باشند. وسایل مستهلاک کننده ای انرژی (میراگرها) از انواع دیگر سیستم های کترل غیرفعال سازه ای می باشند.

کاربرد ابزارهای استهلاک انرژی و میرایی درون سازه ای کمتر از جداسازهای پایه می باشد، اما به هر حال در موقعیت هایی که استفاده از سیستم های جداساز لرزه ای میسر نباشد، استفاده از میراگرها می تواند گزینه ای مناسبی باشد. بنابراین، استفاده از میراگرها، زمینه ای مناسبی برای توسعه و گسترش تکنولوژی مقابله با بارهای زلزله و کاهش خرابی های سازه را فراهم می آورد.

از جمله موارد به کارگیری وسایل استهلاک انرژی که توسط شرکت هولمز اجرا شده، می توان به یک قاب سازه ای در دانشگاه کانتربوری اشاره نمود. این سازه با مهار تسلیم شونده تقویت شده است. همچنین موارد دیگری از کاربرد میراگرها توسط شرکت هولمز در دست مطالعه و بررسی می باشد.

همچنین شرکت هولمز برنامه ای را برای گسترش توانایی ها در زمینه ای طراحی و اجرای جداگرها پایه و طراحی عملکردی به اجرا گذاشته است. هدف از این برنامه به کارگیری این تکنیک ها برای دو هدف زیر می باشد:

تأمین سخت افزارهای تأمین کننده‌ی میرایی از طریق شرکت‌های وابسته.

به عنوان مثال شرکت ابزارآلات هولمز به تازگی یک میراگر مهاری تسلیم شونده‌ی پیشرفت‌های را ارائه کرده است. همچنین شرکت کامپوزیت‌های هولمز، میراگرهای ویسکوالاستیک را تأمین می‌کند.

معرفی گروه مشاوره هولمز

به عنوان نمونه شرکت هولمز کولی (Holmes Cully) با داشتن متخصصانی شناخته شده، در بخش ارائه‌ی خدمات تحلیل، طراحی و تنظیم استناد در زمینه‌های مختلف (شامل میرایی درون سازه‌ای و استهلاک انرژی) فعال می‌باشد.

برای اجرای روشی که ما در رسیدن به این اهداف به کار گرفته ایم لازم است موارد زیر مد نظر قرار گیرند:

آشنایی با آخرین پیشرفت‌ها در تکنولوژی کاربرد میراگرهای

برای اینکه بتوانیم ابزارهای مختلف سازه‌ای را اجرا کنیم، باید روش‌های تحلیل خود را متناسب با نیازها و قوانین جدید تصحیح و به روز کنیم.

استفاده از روش‌های طراحی معماري جدید به منظور سهولت در اجرای سیستم‌های سازه‌ای مختلف.

تأمین پشتیبانی و بازاریابی برای وسایلی که قصد تولید آنها را داریم.

هدف ما از معرفی این بخش، ارائه‌ی یک منبع جامع برای تحلیل و طراحی میراگرهای می‌باشد. در این بخش سعی شده برای همه‌ی روش‌های طراحی ارائه شده توضیحات به صورت کامل بیان شود. البته این کار یک فرآیند ادامه دار است و همگام با پیشرفت‌هایی که صورت می‌گیرد، در مطالب این بخش بازنگری هایی صورت خواهد گرفت.

۱-۲ شرح کلی بخش

تا کنون مجموعه‌ای از مطالعات تحلیلی توسط شرکت هولمز به انجام رسیده است. همچنین سعی شده یک بررسی اجمالی در رابطه با مطالب مربوطه در سایر منابع انجام گیرد. در ادامه با انجام تعدادی از آزمایش‌های مطالعاتی، قابلیت نرم افزار داخلی ما مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین تلاش شده تا با استفاده از تئوری میرایی، مشخصات مطلوب یک میراگر تعریف شود و نیز اثر انواع مختلف میراگرهای برای بازه‌ی محدودی از سازه‌ها ارزیابی شود.

در حال حاضر، توصیه‌های راهنمایی های موجود در این بخش قطعی و نهایی نیستند، بلکه به نوعی ارائه‌ی مطالب گذشته هستند که در کنار آن تفسیر ما از مشخصات و نحوه‌ی استفاده

از میراگرهای موجود در بازار کنونی نیز گنجانده شده است.

۱-۳ مطالعات گذشته

سیستم میرایی درون سازه ای (استهلاک انرژی) در برگیرنده‌ی کلیه‌ی المان‌های استفاده شده برای کاهش حرکات سازه‌ها تحت بارهای جانبی و زلزله‌می باشد. در این استراتژی، بر خلاف سایر روش‌هایی که هدف‌شان افزایش ظرفیت باربری سازه‌می باشد، سعی می‌شود تقاضای سازه کاهش یابد.

هدف اصلی مهندسی سازه این است که با صرف کمترین هزینه‌ی ممکن، ظرفیت سازه از مقدار تقاضای آن بیشتر شود.

در روش‌های معمول در مهندسی سازه سعی بر آن است که با افزایش ظرفیت سازه معیار مذکور تأمین شود. اما در روش کترول غیرفعال، نوع دیگری از روش کترول سازه به کار گرفته می‌شود و کاهش میزان تقاضای سازه مدنظر قرار می‌گیرد.

نکته: اصطلاح "تقاضا" به تلاش‌ها و کنش‌هایی گفته می‌شود که سازه آن‌ها را تجربه می‌کند. میزان تقاضا در کنار ویژگی‌های مربوط به بارهای اعمالی، به مشخصات مکانیکی سازه نیز مستقیماً بستگی دارد.

استهلاک انرژی تکنولوژی جدیدی نیست و به کارگیری آن در برخی از وسائل، از دهه ۱۹۷۰ رواج یافته است. با این وجود، میزان استفاده از این وسائل در کاربردهای مهندسی سازه بسیار اندک بوده است. می‌توان گفت مقاله‌ی تکنولوژی جدید (state of the art) که در سمینار سال ۱۹۹۳ ATC-۱۷-۱ ارائه شد، هنوز می‌تواند به عنوان یک منبع امروزی، مورد استفاده قرار گیرد.

از دیدگاه سخت افزاری، وسائل کاهش آثار زلزله به سه دسته‌ی جداسازی لرزه‌ای، استهلاک انرژی غیرفعال و کترول فعال تقسیم بنده می‌شوند. در این بخش بحثی از جداسازی و کترول فعال سازه‌ها به میان نیامده است.

موضوع مورد بحث در این بخش استهلاک انرژی به صورت غیرفعال می‌باشد. در این بخش چهار گروه عمده از وسائل وجود دارند که شامل موارد زیر می‌باشند: میراگرهای فلزی تسلیم شونده نظیر کنسول‌های فولادی، مهارهای تسلیم شونده و میراگرهای حاوی سرب میانی.

در این وسائل، نیرو وابسته به جابجایی می‌باشد و استهلاک انرژی از طریق تسلیم هیسترسیس انجام می‌شود.

وسایل اصطکاکی نظیر بالشک های ترمز کننده

این وسایل توسط پیچ هایی در نقاط تقاطع مهارها به هم متصل می شوند. در این وسایل نیز مانند میراگرهای تسلیم شونده ای فلزی، نیرو وابسته به جابجایی می باشد و استهلاک انرژی از طریق چرخه های اصطکاکی انجام می شود.

میراگرهای ویسکوز

در این میراگرها نیروی سیال از طریق یک روزنه (Orifice) اعمال می شود. در این وسایل، نیرو وابسته به سرعت می باشد و استهلاک انرژی توسط ویسکوزیته ای سیال صورت می گیرد.

میراگرهای ویسکوالاستیک

این وسایل (نظیر محصول ارائه شده توسط 3M) به شکل یک همبسپار جامد می باشد. محصول ارائه شده توسط 3M به شکل یک نوار پلاستیکی ضخیم می باشد که بین صفحات فولادی قرار می گیرد. این مصالح در عین اینکه دارای سختی الاستیک (که با نیروهای وابسته به جابجایی همراه خواهد بود) می باشند، دارای یک مؤلفه ای ویسکوز نیز می باشند. جزء ویسکوز باعث تولید نیروی وابسته به سرعت می شود. برخی از میراگرهای ویسکوالاستیک به شکل مایع بوده و میرایی آنها از طریق ویسکوزیته ای مصالح تأمین می گردد.

برای استهلاک انرژی به صورت غیرفعال، ابزارهای دیگری نیز به کار می روند که از جمله آنها می توان به آلیازهای مغز هندسی اشاره نمود. در این بخش تنها به چهار موردی که در بالا توضیح داده شد، پرداخته می شود.

کلیه ای ابزارهای استهلاک انرژی تقریباً عملکرد مشابهی دارند. این وسایل نیروی کینماتیکی (جنبی) ناشی از نیروهای خارجی را به انرژی حرارتی تبدیل می کنند.

برخی از ابزارهای جدید به رغم این که امیدهای زیادی را در زمینه ای استهلاک انرژی به وجود آورده اند، هنوز به صورت عمده در بازار موجود نیستند. به عنوان نمونه هایی از این وسایل، می توان به موارد زیر اشاره نمود:

میراگر ویسکوالاستیک با عملکرد لاستیکی که محصول کشور انگلستان می باشد.

چند نمونه جدید از میراگرها که تولید کشور ژاپن می باشند. به عنوان نمونه میراگر دیواری که در آن مصالح ویسکوالاستیک بین چندین صفحه داخل دیوار قرار داده می شوند.

میراگرهای با فولاد پر مقاومت

میراگرهای فولادی با مقاومت تسلیم کم، که به صورت برشی عمل می کند. به عنوان یک

نمونه از این میراگرها می توان به میراگر آسفالتی اصلاح شده مخصوص اشاره نمود. همه میراگرهایی که در بالا به آنها اشاره شد، در یکی از دسته های چهارگانه جای می گیرند. بنابراین، هر نتیجه گیری که برای این چهار گروه انجام شود، برای این میراگرها نیز قابل تعمیم می باشد.

۴- شرکت های فعال در بازار میراگرها

می توان گفت به لحاظ جنبه تحقیقاتی، بحث استهلاک غیرفعال انرژی در سال ۱۹۷۰ توسعه یافت، در اوایل ۱۹۹۰ به نقطه اوج خود رسید و از آن زمان تاکنون رشد اندکی داشته است.

از اولین شرکت ها و کسانی که در این مقوله وارد شده اند، می توان به موارد زیر اشاره نمود:

شرکت 3M

این شرکت برخی از تحقیقات مربوط به میراگرهای ویسکوالاستیک را پشتیبانی مالی می کرد و برای پنج سال در کنفرانس های مربوطه حضور فعال داشت. این شرکت در اواسط دهه ۱۹۹۰ از بازار میراگرها خارج شد.

آقای راجر اسکول که شرکت "صد زلزله" (CounterQuake) را بنیان نهاد و روی میراگرهای فلزی تسلیم شونده ADAS کار می کرد. وی در گذشته است.

شرکت پال دینامیک

این شرکت کانادایی میراگرهای اصطکاکی تولید می کند. شاید بتوان گفت این شرکت بیشترین پروژه ها را در آمریکای شمالی اجرا نموده است. این شرکت همچنان فعال است و نتایج بسیاری از مطالعات موردنی را نیز منتشر نموده است.

شرکت ابزارآلات تیلور

این شرکت آمریکایی سازنده میراگرهای ویسکوز سیال می باشد. این میراگرها در صنایع نظامی نظیر محافظت از سیلوهای انبار موشک و ارسنرهای هوایی استفاده می شوند. ساخت این وسایل بسیار پر هزینه می باشد. در این زمینه یک تولید کننده می دیگر به نام انیداین نیز وجود دارد که بازار کمتری را در اختیار دارد.

چند شرکت ژاپنی نیز وجود دارند که طیف گسترده ای از ابزارآلات با انواع مختلف را ارائه و توسعه داده اند. محصولات این شرکت ها در تعداد کمی از پروژه های مقاوم سازی مورد استفاده قرار گرفته اند. به طور کلی، این شرکت ها غیر از ارائه مقالات در کنفرانس ها، حضور پرنگی در بازار میراگرها نداشته اند.

S.E شرکت های

شهرت آن ها به دلیل پیشگام بودن در پذیرش تکنولوژی استفاده از میرگرها می باشد. از این گروه، می توان مشاورین گری هارت، نبیه یوسف و شرکت های وابسته را نام برد. مطرح شدن مباحث دانشگاهی و علمی رایج در دهه ۱۹۸۰، توجه آن ها را از جداسازهای پایه به سمت استهلاک انرژی غیرفعال معطوف کرد. در ادامه و در دهه ۱۹۹۰، آنها تکنولوژی کترل غیرفعال را تکامل یافته پنداشته و به سمت تکنولوژی کترل فعال حرکت کردند. آنها در زمینه‌ی کترل فعال نیز هیچ محصول تکنولوژیک و توسعه یافته‌ای که توسط مهندسین مجری و سازندگان قابل اجرا باشد را ارائه ندادند. بدین ترتیب آنها فرصت هایی برای سایر تأمین کنندگان این نوع از وسایل و طراحان خبره باقی گذاشتند تا بتوانند این خلا را پر کنند.

۱-۵ این تکنولوژی چه مقدار مفید است؟

اگرچه جداسازی لرزه ای زیرمجموعه‌ی بحث استهلاک انرژی غیرفعال می باشد، میرایی درون سازه ای از دو جنبه با جداسازی لرزه ای متفاوت است:

بر خلاف سیستم جداسازی که در یک صفحه عمل می کند، میرایی درون سازه ای در ارتفاع سازه توزیع می یابد. نحوه‌ی عملکرد سیستم جداسازی به صورت تغییر پریود سازه و در نتیجه تغییر شتاب طیفی سیستم سازه ای می باشد. افزایش پریود باعث می شود پاسخ سازه کاهش یابد، در حالی که میرایی درون سازه ای اثر اندکی بر پریود سازه دارد و تنها آن را اندکی کاهش می دهد. کاهش پاسخ سازه توسط میراگرها به صورت استهلاک انرژی انجام می شود.

از دیدگاه مهندسی، تفاوت اساسی بین سیستم جداسازی و میرایی استهلاک انرژی این است که سیستم جداساز لرزه ای به صورت سری با سازه عمل می کند، در حالی که میرایی درون سازه ای به موازات سازه کار می کند.

سیستم جداساز لرزه ای انرژی را قبل از این که وارد سیستم سازه ای شود، فیلتر کرده و اثر آن بر سازه را می کاهد. برای سازه ای که با میرایی درون سازه ای تقویت شده است، تمام انرژی زلزله وارد سیستم ترکیبی شده و مناسب با مشخصات هر یک از اجزاء (سیستم سازه ای و ابزارهای استهلاک انرژی) توسط آنها مستهلك می شود. برای این که این کار به بهترین شکل انجام شود، باید میرایی افزوده شده به سازه تنظیم شود. این کار بسیار پیچیده تر از مسئله‌ی جداساز لرزه ای می باشد.

کاهش پاسخ سازه با استفاده از میرایی درون سازه ای نسبت به سیستم های جداسازی لرزه ای کمتر می باشد. با استفاده از سیستم جداسازی می توان نیروها و تغییر شکل های سازه

را از ۴ تا ۶ برابر کاهش داد، در حالی که میزان کاهش پاسخ سازه با استفاده از میرایی درون سازه ای بین ۱.۵ تا ۲ برابر (در بهترین حالت) می باشد. در عوض، اجرا و نصب میراگرها نسبت به اجرای سیستم جداسازی سهولت بیشتری دارد.

می توان با اطمینان زیاد گفت که اجرای سیستم استهلاک انرژی صرفاً برای ساختمان هایی مطرح است که اجرای سیستم جداسازی برای آنها مقدور نباشد.

همچنین استفاده از سیستم استهلاک انرژی برای سازه های انعطاف پذیر با سیستم های باربر جانبی ضعیف و سازه های واقع در مناطقی با خاک سست مناسب است.

دلیل مناسب بودن ساختمان های انعطاف پذیر برای اجرای سیستم استهلاک انرژی این است که میرایی درون سازه ای از طریق حرکات نسبی بین طبقات (به شکل جابجایی یا سرعت) فعال می شود. در یک فرآیند تناقض آمیز به هر میزانی که حرکات سازه بیشتر باشد، میرایی افزایش خواهد یافت و در عین حال میرایی باعث کاهش حرکات سازه می شود. برای زلزله های نزدیک به گسل، ساختمان های با میرایی درون سازه ای نسبت به ساختمان های معمولی یا جداسازی شده مزیت خاصی ندارند. هر چند این موضوع نیاز به مطالعات موردی بیشتری دارد، اما مطالعات ما نشان می دهد میراگرها برای مقابله با یک (یا تعداد کم) پالس زلزله کارآیی خاصی ندارند.

طراحی سیستم میرایی درون سازه ای فرآیند مشکلی می باشد و تنها برای بازه‌ی محدودی از ساختمان ها مناسب است. متأسفانه این محدوده به درستی و به دقت تعریف نشده و بسیاری از تلاش ها و هزینه ها فقط و تنها فقط برای این صرف می شود تا معلوم گردد که استفاده از سیستم میرایی درون سازه ای برای یک سازه‌ی خاص مناسب است یا نه؟. یکی از اهداف مطالب مطرح شده در این راهنمای بررسی همین موضوع می باشد. به عبارت دیگر، تلاش می کنیم پروژه هایی که برای اجرای سیستم میرایی درون سازه ای مناسب نیستند را مشخص کنیم تا نیازی نباشد برای هر پروژه‌ی خاص مطالعه‌ی مکان سنجدی انجام شود.

از دیدگاه کارآیی و عملکرد، بهترین نوع میراگرها (حداقل از لحاظ تئوری) گران ترین آنها یعنی میراگرهای ویسکوز می باشند.

میراگرهای هیستریک اغلب با المان های سازه ای ادغام می شوند و در برخی موارد تمیز قائل شدن بین یک مهار سازه ای و یک میراگر مشکل است.

۶-۱ موانع استفاده از این تکنولوژی

عملکرد سیستم های کنترل غیرفعال به شکل تغییر مشخصات دینامیکی سازه می باشد. بیشتر مهندسین ترجیح می دهند با دینامیک پاسخ سازه درگیر نشوند و از روش های

استاتیکی معادل استفاده کنند. در برخی از موارد نیز از تحلیل طیفی استفاده می کنند. روش های استاتیکی و طیفی برای ارزیابی دقیق رفتار میراگرها مناسب نیستند، هر چند بسیاری از آیین نامه ها و منابع (نظیر FEMA ۲۷۳ و کتاب آبی SEAOC) تلاش دارند تا ابزارها و روش هایی برای استفاده از این روش ها را مهیا سازند.

تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از مدل سازی دقیق المان ها، تنها روش دقیق و مناسب برای ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه ها می باشد. با این حال هنوز استفاده از این روش در جامعه‌ی مهندسی چندان رواج ندارد. موانعی که برای تحلیل تاریخچه زمانی (خصوصاً در مورد میراگرهای درون سازه ای) وجود دارد، ملزومات سخت گیرانه‌ی آیین نامه‌ای، کمبود نرم افزارهای مناسب(؟) و نیاز به بازنگری دقیق نتایج، را شامل می شود.

بیشتر سازندگان میراگرها، وسایل ساخته شده را آزمایش کرده و نتایج آن را منتشر می کنند. مؤسسات تحقیقاتی نیز آزمایش های مشابهی را انجام می دهند که اغلب توسط سازندگان حمایت مالی می شود. به طور کلی، برنامه های انجام این آزمایش ها به یک وسیله‌ی خاص یا مجموعه‌ی از وسایل نصب شده در یک طبقه یا یک دهانه‌ی قاب مربوط می شود. به عبارت دیگر، توزیع میراگرها در سازه و انتخاب مشخصات مصالح (نظیر جرم، سختی و پریود) عمده‌ای در این برنامه ها جای ندارند.

به نظر می رسد تلاش هایی که برای ارائه‌ی روش های طراحی صورت گرفته برای پر کردن شکاف بین نحوه انجام آزمایش ها و طراحی سازه ای برای کاربردهای عملی میراگرها در سازه راهگشا نبوده است.

در حال حاضر مهندسین طراح هیچ نقطه‌ی شروع دقیق و مشخصی برای فرآیند تعیین نوع وسیله و مشخصات آن در اختیار ندارند. حتی برای ارزیابی این موضوع که آیا میرایی درون سازه‌ای قابلیت بررسی دارد یا خیر، هیچ روش مطمئنی وجود ندارد. این موضوع شاید مهم ترین مانع برای پذیرش و گسترش این تکنولوژی باشد. در صورت تکمیل شدن، این بخش راهنمایی تواند تا حدی این مشکل را مرتفع سازد.

۱-۷ روش های موجود برای طراحی میراگرها

برای طراحی بیشتر ابزارها با مصالح ویژه (نظیر میراگرهای فولادی)، از قواعد طراحی معمول یا توصیه های ارائه شده توسط شرکت سازنده‌ی وسیله (نظیر میراگرهای ویسکوز شرکتی) استفاده می شود.

به طور کلی، برای انجام ارزیابی عملکرد میراگرها می توان از مراجعی نظیر FEMA ۲۷۳ و کتاب آبی SEAOC استفاده نمود. این دو منبع از لحاظ ضوابط آیین نامه‌ای، جامع ترین منابع موجود می باشند. این مراجع استفاده از روش های تحلیل استاتیکی را تنها در مواردی

محدود مجاز می شمارند. در سایر موارد باید از روش های تحلیل غیرخطی (روش پوش آور (NSP) و تحلیل تاریخچه زمانی یا (NDP)) استفاده نمود.

نرم افزارهای طراحی عملکردی شرکت هولمز (شامل SAP 2000, ETABS, ProcessA, ModelA, ANSR-L) مناسبی برای انجام روش های تحلیل NSP و NDP را فراهم می آورند. برنامه های تحلیلی ANSR-L شامل انواع المان هایی می باشد که برای مدل سازی میراگرها (مهارهای تسلیم شونده و میراگرها میراگرها های ویسکوز) کاربرد دارند.

در طراحی میراگرها برخی از مسائل فنی وجود دارد که قبل از انجام تحلیل و طراحی سازه ای تقویت شده با همیراگرهای ویسکوز باید حل شوند. مدلی که برای مدل سازی برخی از انواع میراگرها مورد استفاده قرار می گیرد به شکل اتصال موازی یک میراگرها با یک فنر می باشد که به صورت سری از طریق یک فنر دیگر به سازه متصل می شوند. به نظر می رسد وجود فنر سری باعث ایجاد مشکلات عددی در نرم افزار می شود. مطالعات در این زمینه ادامه دارد.

۱-۸ دامنه های کاربرد این بخش

خلاصه ای از اصول میرایی درون سازه ای، مفهوم میرایی ویسکوز معادل و اثر میرایی بر پاسخ سازه در فصل دوم این بخش ارائه گردیده است. همچنین اثر میرایی بر بارهای باد نیز به طور مختصر در این بخش توضیح داده شده است، اما اساساً این بخش به بحث بارهای زلزله اختصاص دارد.

در فصل ۳ ویژگی های انواع مختلف میراگرها ارائه شده است. در فصل ۴ نیز به افت میرایی برای انواع میراگرها پرداخته شده و یک مثال کمی برای سازه ای ۱۰ طبقه مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل ۵ سه سازه را برای انجام تحلیل های پارامتری تاریخچه زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحلیل ها برای ارزیابی اثر میراگرها مختلف بر پاسخ لرزه ای سازه هایی که امکان استفاده از میراگرها برای آنها وجود دارد، مورد استفاده قرار می گیرد. در فصل ۶ مشخصات کاربردی میراگرها در مقایسه با مشخصات بهینه که از انجام تحلیل ها به دست می آید، مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد.

در فصل ۷ تلاش های اولیه برای ارائه روش های طراحی میراگرها مورد اشاره قرار گرفته است. در حال حاضر، مطالب این بخش بیشتر شامل ارائه ی مهم ترین نکات قابل استفاده برای طراحان می شود. به عبارت دیگر، نمی توان از این مطالب به عنوان یک روش صریح و روشن برای طراحی میراگرها یاد کرد. از ارزیابی های محدودی که در اینجا انجام شده است می توان دریافت که پیچیدگی بحث میرایی درون سازه ای در کنار تعداد انتخاب

های موجود برای طراحان، باعث می شود ارائه‌ی روش‌های طراحی جامع کار بسیاری مشکلی باشد. این بخش از کار در آینده بیشتر مورد توجه قرار خواهد گرفت. در فصل ۸ خلاصه‌ای از نکات ارائه شده در این بخش، همراه با مراجع مربوط به بحث میرایی درون سازه‌ای ارائه شده است. جزئیات مربوط به تحلیل‌های تاریخچه زمانی نیز در بخش ضمیمه ارائه شده است.

فصل ۲ اصول میرایی درون سازه ای

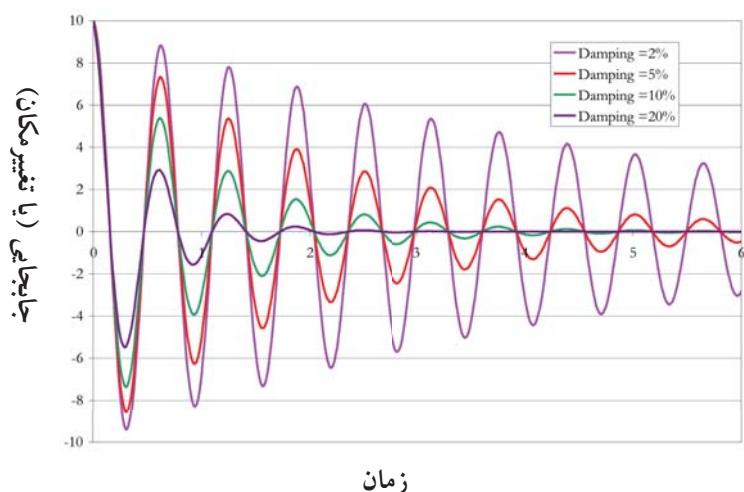
۱-۲ میرایی سازه ها

"میرا کردن" در اصطلاح به کاستن یا متوقف ساختن ارتعاش سیستم اطلاق می گردد. در مبحث مهندسی سازه، می توان میرایی را به عنوان یک مشخصه ای مجزا از مصالح در نظر گرفت که تمایل به مخالفت با حرکت دارد. هر چه میزان میرایی یک سیستم بیشتر باشد، بازگشت به حالت سکون در مدت کوتاهتری صورت می گیرد (شکل ۲-۱) را بینید). میرایی ویسکوز (β) مطابق رابطه ای زیر باعث تغییر کمی در پریود ارتعاش سازه (T) می شود:

$$T_D = \frac{T}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (1-2)$$

برای مقادیر معمول میرایی سازه ای، میزان تغییر در پریود قابل ملاحظه نیست. برای میرایی ۵ درصد میزان تغییرات در حدود ۰.۱ درصد می باشد. حتی میرایی ۲۰ درصدی تنها باعث افزایش ۲ درصدی در پریود سازه می شود.

شکل ۱-۲ اثر میرایی بر کاهش پاسخ سازه



میرایی در سیستم های مکانیکی، به صورت نسبتی از میرایی بحرانی C_{cr} بیان می شود. در صورتی که میرایی سازه برابر میرایی بحرانی باشد، با رها کردن سیستم از یک وضعیت تغییر شکل یافته، سازه بدون حرکت نوسانی به موقعیت سکون خود باز می گردد. میرایی بحرانی تابعی از سختی (k) و جرم (M) می باشد:

(۲-۲)

$$C_c = \sqrt{KM}$$

در حرکات دینامیکی فرض می شود مقادیر نیروهای میرایی متناسب با سرعت جسم متحرک می باشد، به این نوع از میرایی، میرایی ویسکوز (viscous) یا میرایی لزجی گفته می شود.

۲-۲ میرایی ویسکوز معادل

اگر چه استفاده از میرایی ویسکوز در تحلیل دینامیکی آسان و ساده می باشد، بخش زیادی از استهلاک انرژی در سیستم های سازه ای، ماهیت ویسکوز کامل ندارند. در این موارد از مفهوم میرایی ویسکوز معادل استفاده می شود که برای تبدیل میرایی ناشی از منابعی نظریه تسلیم مصالح به شکل "نسبت میرایی ویسکوز" استفاده می شود.

میرایی ویسکوز معادل β به شکل زیر تعریف می شود:

(۳-۲)

$$T_D = \frac{T}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

در این رابطه W_D بیانگر استهلاک انرژی هیسترتیک (ناحیه ای سایه دار در شکل (۲-۲) و W_{Sg} بیانگر انرژی کرنشی (ناحیه ای هاشورخورده در شکل (۲-۲) می باشد.

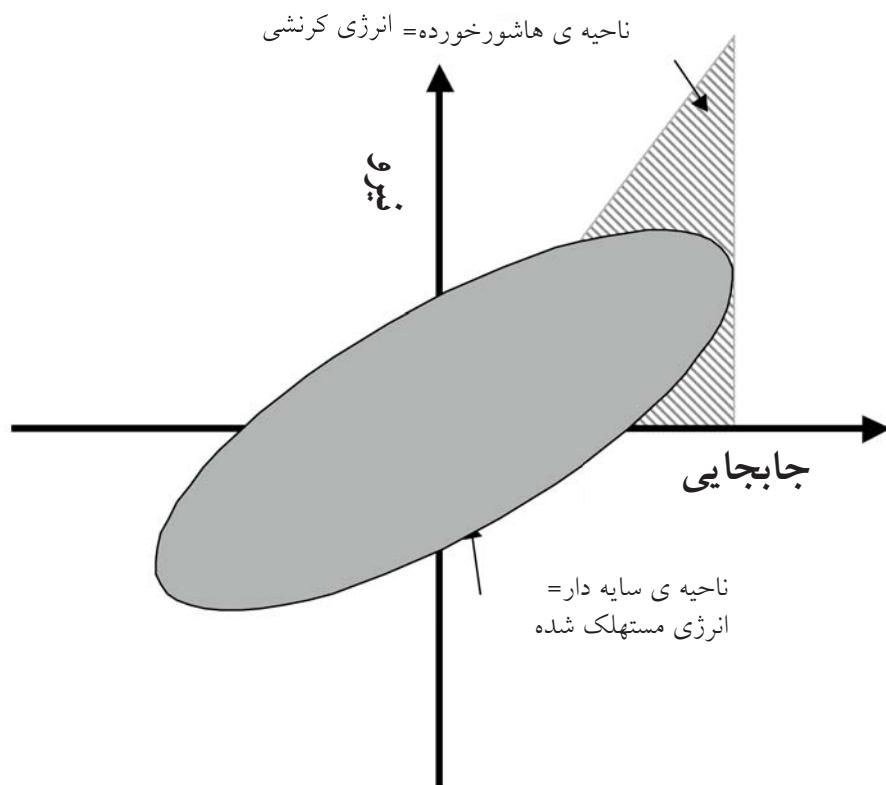
برای حالتی که مساحت حلقه ای هیسترسیس وسیله معلوم باشد، این فرمول یک روش ساده برای محاسبه ای میرایی ویسکوز معادل می باشد.

استفاده از این رابطه برای جداسازهای لرزه ای ساده است، زیرا انرژی کرنشی و انرژی مستهلك شده، به صورت تابعی از مشخصات جداساز لرزه ای بوده و می توان فرض کرد که تمام جداسازها دارای جابجایی یکسان می باشند.

برای میرایی توزیع یافته (غیر متمرکز در یک صفحه)، محاسبه ای انرژی کرنشی بسیار

مشکل تر از حالت قبلی می باشد. در این سیستم ها میرایی به صورت مجموع انرژی کرنشی مربوط به المان های توزیع یافته در سراسر سازه به همراه میراگرها می باشد و هر یک از آن ها می توانند دارای جابجایی های متفاوت باشند. به همین دلیل میرایی ویسکوز معادل، صرفاً می تواند یک مقدار تخمینی از کارآیی وسایل را ارائه دهد.

شکل ۲-۲ میرایی ویسکوز معادل



۲-۳ اثر میرایی بر پاسخ سازه

همان طور که در طیف پاسخ شتاب و جابجایی (شکل ۲-۳) نشان داده شده است، می توان گفت اساساً افزایش میرایی باعث کاهش پاسخ سازه می شود. هر چند میزان این کاهش برای پریودهای مختلف پاسخ سازه متفاوت است. همچنین میزان این کاهش به زلزله‌ی اعمال شده نیز بستگی دارد.

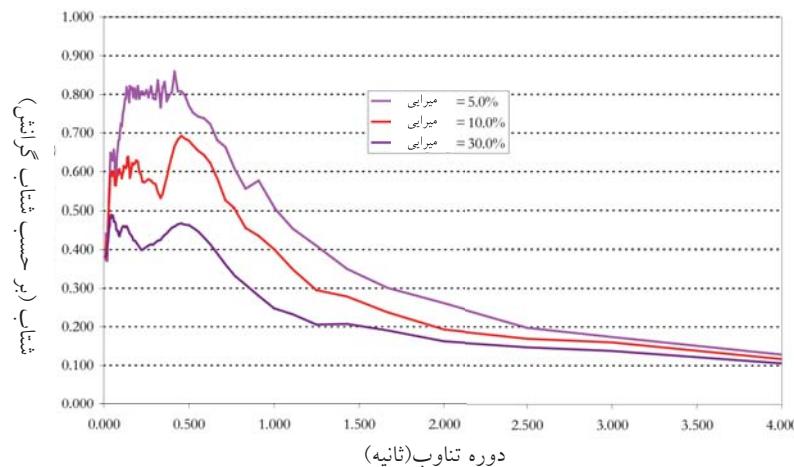
در پریود صفر ($T=0$)، میرایی هیچ اثری بر مقادیر طیف ندارد و مقدار طیف برابر بیشینه‌ی

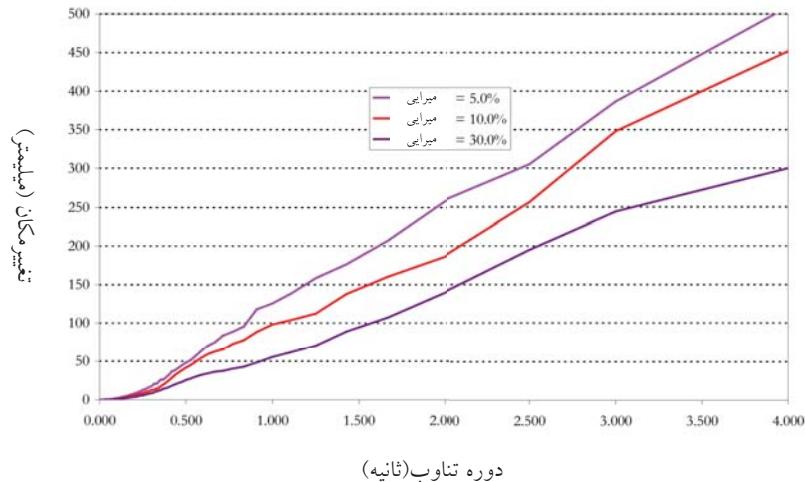
شتاب زمین می باشد. در پریودهای بالا میرایی اثر نسبتاً کمی بر پاسخ شتاب دارد، ولی اثر آن بر جابجایی ها قابل ملاحظه است.

آیین نامه هایی نظیر UBC و FEMA، اثر میرایی را با استفاده از ضریب میرایی (B) تخمین می زند. این ضریب تابعی از ضریب میرایی ویسکوز معادل (β) می باشد. در جدول (۲-۱) لیستی از مقادیر B (مندرج در FEMA) ارائه شده است. ضریب B_S به منظور تنظیم طیف پاسخ برای پریودهای پایین و B_1 برای تنظیم پاسخ برای پریود ۱ ثانیه ارائه شده است. ضریب B_S برای پریودهای کمتر از T_0 اعمال می شود. T_0 پریود مشخصه‌ی طیف پاسخ می باشد که محل برخورد ناحیه‌ی "شتاب ثابت" طیف با ناحیه‌ی "سرعت ثابت" طیف می باشد (شکل (۲-۴)) ملاحظه شود). برای پریودهای بزرگتر از T_0 ، ضریب B_1 به کار می رود.

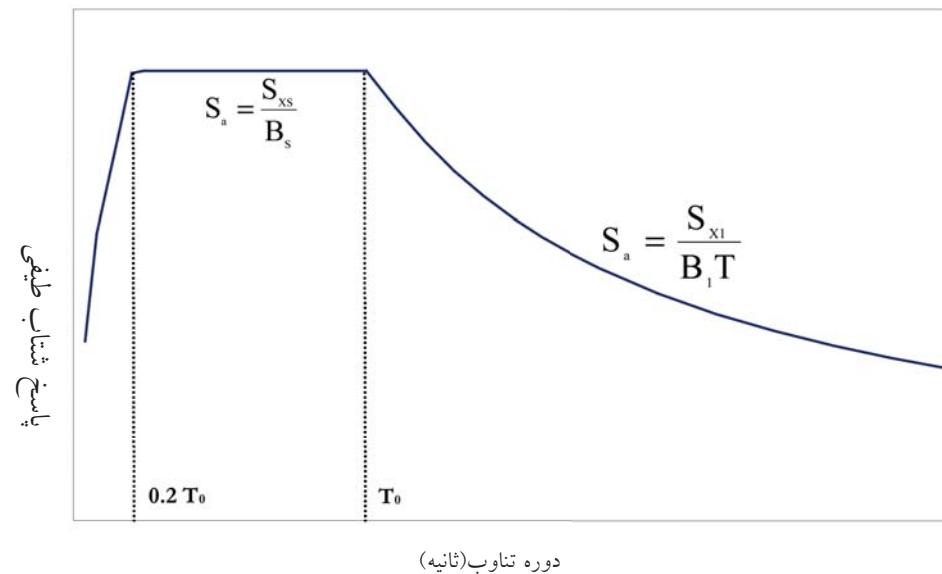
جدول ۲-۱ ضرایب کاهش میرایی

میرایی مؤثر β از میرایی بحرانی %	B_S	B_1
< 2	0.8	0.8
5	1.0	1.0
10	1.3	1.2
20	1.8	1.5
30	2.3	1.7
40	2.7	1.9
> 50	3.0	2.0





شکل ۲-۴ طیف FEMA



۳. مشخصات میراگرها

۱-۳ میراگرهای تسلیم شونده‌ی هیسترتیک

۱-۱-۳ معرفی میراگر

عموماً میراگرهای تسلیم شونده‌ی هیسترتیک به شکل فولادی می‌باشند. پیکربندی این نوع از میراگرهای را می‌توان طوری تعیین نمود که تسلیم آن به صورت خمشی، برشی یا محوری باشد. همچنین، این میراگرهای می‌توانند به صورت سریبی باشند که در برش تسلیم می‌شوند. میراگرهای طوری پیکربندی می‌شوند که مصالح آن سازگار با جابجایی‌های نسبی طبقات تغییرشکل دهد (به شکل (۳-۱) توجه شود).

میراگرهایی که به صورت محوری تسلیم می‌شوند، اغلب به صورت مهارهای قطری در سازه قرار می‌گیرند. همچنین می‌توان این میراگرهای را به شکل افقی در ارتفاعی از یک دیوار سازه‌ای به ستون مجاور متصل نمود.

پیکربندی میراگرهای تسلیم شونده‌ی برشی می‌خمشی می‌تواند به صورتی باشد که بالای یک دیوار پانلی را به سطح زیرین یک تیر اصلی از طبقه فوقانی متصل کند. دیوار پانلی به شکل طره‌ای از دیوار زیرین می‌باشد که شکافی بین بالای دیوار و سقف بالای آن وجود دارد. به عنوان یک جایگزین برای دیوار پانلی، می‌توان میراگرهای برشی یا خمشی را روی یک قاب فولادی سوار کرد.

تاکنوون پیشنهاداتی برای استفاده از پانل‌های پوششی ساختمان به منظور سوارسازی میراگرهای برشی و خمشی مطرح شده است، اما هیچ مورد ثبت شده‌ای از اجرای این پیشنهادات موجود نیست. سرب به طور کلی رفتار الاستوپلاستیک بدون سخت شدگی کرنشی دارد. فولاد نرم‌های که در ساخت میراگرهای استفاده می‌شود، دارای ناحیه‌ی تسلیم صاف می‌باشد که با یک سخت شدگی کرنشی همراه است. بزرگی نیروی تولید شده توسط میراگر، با میزان کرنش میراگر فولادی مرتبط است.

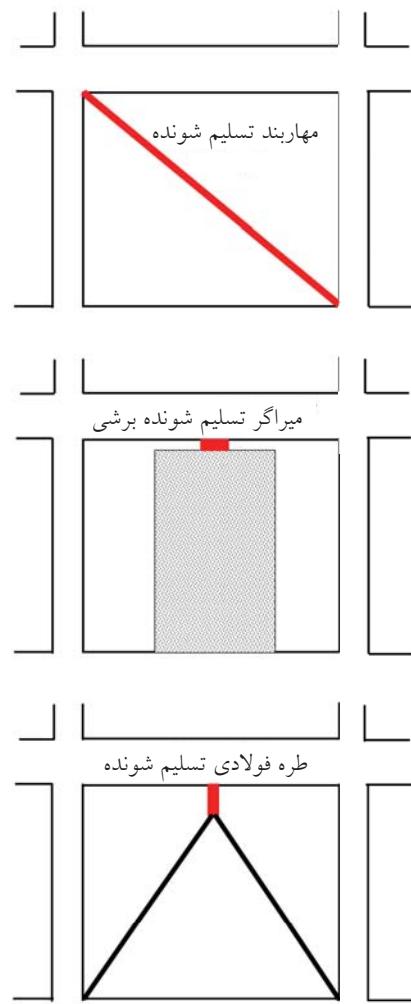
نکات ارائه شده در رابطه با مشخصات میراگرهای با فرض عدم وجود سخت شدگی

کرنشی در مصالح، تهیه و تدوین شده است. آثار ناشی از سخت شدگی کرنشی در ادامه ی همین بخش مورد بررسی قرار می گیرد.

برخی از پیکر بندهای میراگرهاي هیسترتیک (نظیر مهارهای تسليم شونده) اساساً به صورت یک عضو سازه ای عمل می کنند. هدف اصلی از نصب وسایل تأمین کننده ی میرایی درون سازه ای، استهلاک انرژی می باشد و افزایش سختی و مقاومت سازه (که در بیشتر موارد جزء لاینفک استفاده از میراگرها می باشد) مورد نظر نیست. اگر طراحی با دقت کافی صورت نگیرد، میراگرهاي هیسترتیک نمی توانند هدف مورد نظر را به انجام برسانند.

همان طوری که بعداً ملاحظه خواهد شد، عامل تعیین کننده در تأمین میرایی توسط این میراگرها، سختی اولیه ی آنها می باشد. هر چه میزان سختی بیشتر باشد، استهلاک انرژی نیز بیشتر خواهد بود. حتی اگر میراگرهاي هیسترتیک به صورت یک عضو سازه ای عمل کنند، تحلیل و طراحی میراگرها باید به جای روش های معمول تحلیل و طراحی سازه های تقویت شده، بر اساس اصول تحلیل و طراحی میراگرها انجام شود. دلیل این امر این است که میراگرهاي هیسترتیک طوری طراحی می شوند که قبل از المان های سازه ی موجود تسليم شوند. همچنین در تراز بارهای طراحی، رفتار غیرخطی وجود خواهد داشت؛ در حالی که در روش های سنتی طراحی، رفتار اعضا به صورت الاستیک خطی فرض می شود.

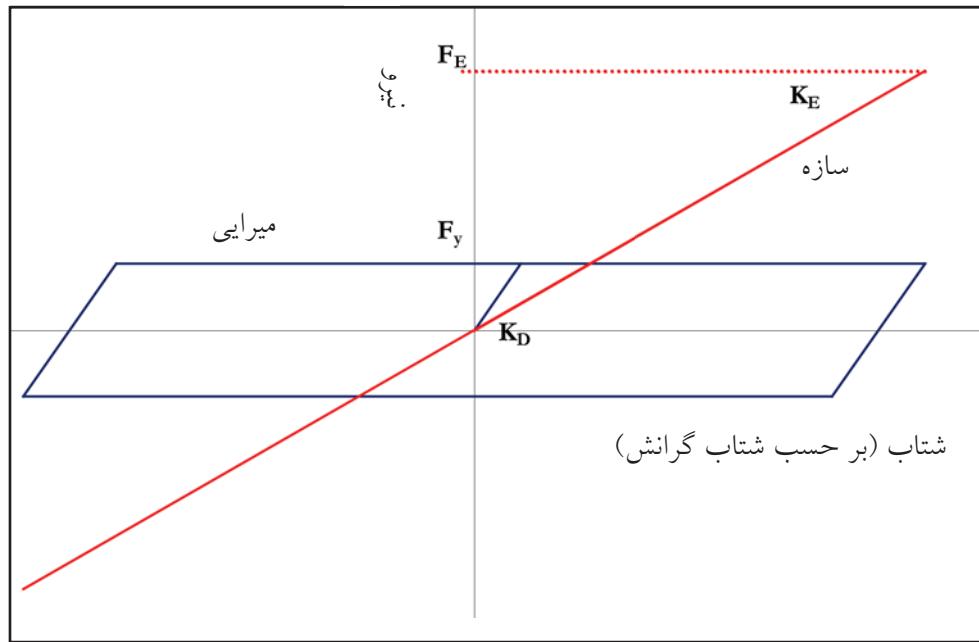
شکل ۱-۳ پیکربندی میراگرهای هیسترتیک



۱-۲ مشخصات میراگر

نیروی میراگرهای تسلیم شونده به صورت (F_y) به همراه یک مؤلفه‌ی سختی الاستیک (K_D) تعریف می‌شود (شکل ۱-۲) ملاحظه شود. عملکرد این نوع از میراگرهای تابعی از مشخصات میراگر و سختی الاستیک سازه می‌باشد.

شکل ۳-۲ رفتار چرخه ای میراگر تسلیم شونده



می توان مشخصات میراگر را بر حسب مشخصات سازه، به شکل زیر تعریف نمود:

(۱-۲)

$$f = \frac{K_D}{K_E} = \text{نسبت سختی میراگر به سختی کل سازه}$$

(۱-۳)

$$g = \frac{F_y}{F_E} = \text{نسبت نیروی تسلیم میراگر به نیروی کل سازه}$$

از این تعاریف می توان برای محاسبه میرایی ویسکوز معادل استفاده نمود:

$$\beta = \frac{W_D}{4\pi W_S} \quad (۳-۳)$$

در این رابطه WD بیانگر استهلاک انرژی هیسترتیک می باشد که برابر مساحت زیر حلقه Δ هیسترسیس می باشد. مقدار این کمیت برای جابجایی Δ از رابطه β زیر محاسبه می شود:

$$W_D = 4F_y(\Delta - \Delta_y) \quad (3-4)$$

که در این رابطه Δ_y جابجایی تسلیم میراگر می باشد و مقدار آن برابر (F_y / K_D) می باشد.
انرژی کرنشی (WS) از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$W_S = \frac{1}{2}(K_E\Delta + K_D\Delta_y) \quad (3-5)$$

تذکر: در برخی از منابع، در مورد اینکه انرژی کرنشی مربوط به میراگر چگونه در معادله ی (۳-۵) وارد شود، تفاوت هایی وجود دارد. به هر حال این موضوع تفاوت چندانی در روند ارائه شده در این روش ایجاد نمی کند.

با استفاده از معادلات (۳-۴) و (۳-۵) میرایی به شکل زیر تعریف می شود:

$$\beta = \frac{2F_y(\Delta - \Delta_y)}{\pi(K_E\Delta + K_D\Delta_y)} \quad (3-6)$$

با جایگزین کردن $K_D = fK_E$ و $F_y = K_{D\Delta y}$ خواهیم داشت:

$$\beta = \frac{2fK_E\Delta_y(\Delta - \Delta_y)}{\pi(K_E\Delta + fK_E\Delta_y)} \quad (3-7)$$

با لحاظ برخی ساده سازی ها، رابطه ای برای میرایی به دست می آید که به صورت تابعی از بیشینه ی جابجایی و مشخصات نسبی میراگر می باشد:

$$\beta = \frac{2f\Delta_y(\Delta - \Delta_y)}{\pi\Delta(\Delta + f\Delta_y)} \quad (3-8)$$

۱-۲-۳ مشخصات میراگرهای هیسترتیک

با استفاده از رابطه ی زیر می توان جابجایی نهایی را بر حسب مشخصات الاستیک سازه، محاسبه نمود:

$$\Delta_y = \frac{F_y}{K_D} = \frac{gF_E}{fK_E} = \Delta \frac{g}{f} \quad (3-10)$$

همچنين، جابجایی تسلیم مهار بر حسب مشخصات الاستیک سازه به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Delta_y = \frac{F_y}{K_D} = \frac{gF_E}{fK_E} = \Delta \frac{g}{f} \quad (3-10)$$

با جایگزین نمودن معادلات (۳-۹) و (۳-۱۰) در رابطه‌ی (۳-۸) نتیجه می شود:

$$\beta = \frac{2f\Delta \frac{g}{f}(\Delta - \Delta \frac{g}{f})}{\pi\Delta(\Delta + f\Delta \frac{g}{f})} \quad (3-11)$$

با انجام برخی ساده سازی‌ها، رابطه‌ای برای محاسبه‌ی میرایی به دست می آید که صرفاً تابعی از نسبت نیروی تسلیم میراگر به نیروی الاستیک (g) و نسبت سختی الاستیک میراگر به سختی الاستیک سازه (f) می باشد:

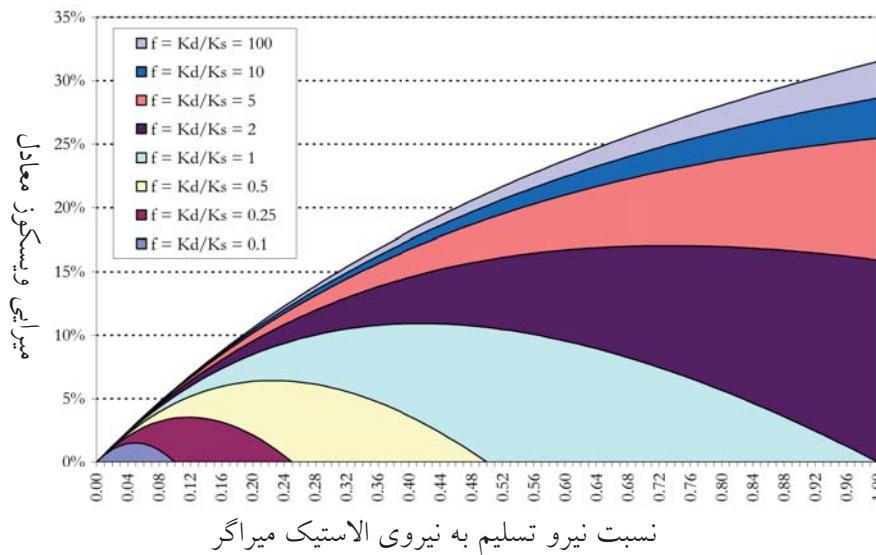
$$\beta = \frac{2g(1 - \frac{g}{f})}{\pi(1 + g)} \quad (3-12)$$

از رابطه‌ی (۳-۱۲) می توان دسته منحنی‌هایی تولید نمود که تابعی از دو پارامترهای f و g می باشند (به شکل (۳-۳) توجه کنید).

- به هر میزان که نسبت سختی میراگر به سختی سازه (f) بیشتر باشد، میرایی نیز بیشتر خواهد بود. از نقطه نظر اجرایی، به دست آوردن مقادیر بزرگتر از ۱ برای پارامتر f مشکل است. بنابراین، میرایی ۱۰ تا ۱۵ درصدی یک مقدار واقع بینانه می باشد.

- برای نسبت‌های سختی مختلف (f) مقدار بهینه‌ای برای مقاومت نسبی مهار (نسبت به نیروی الاستیک سازه) به دست می آید. این مقدار با افزایش سختی از ۰.۱۲ در $f=0.25$ تا ۰.۷۲ در $f=2.0$ تغییر می کند.

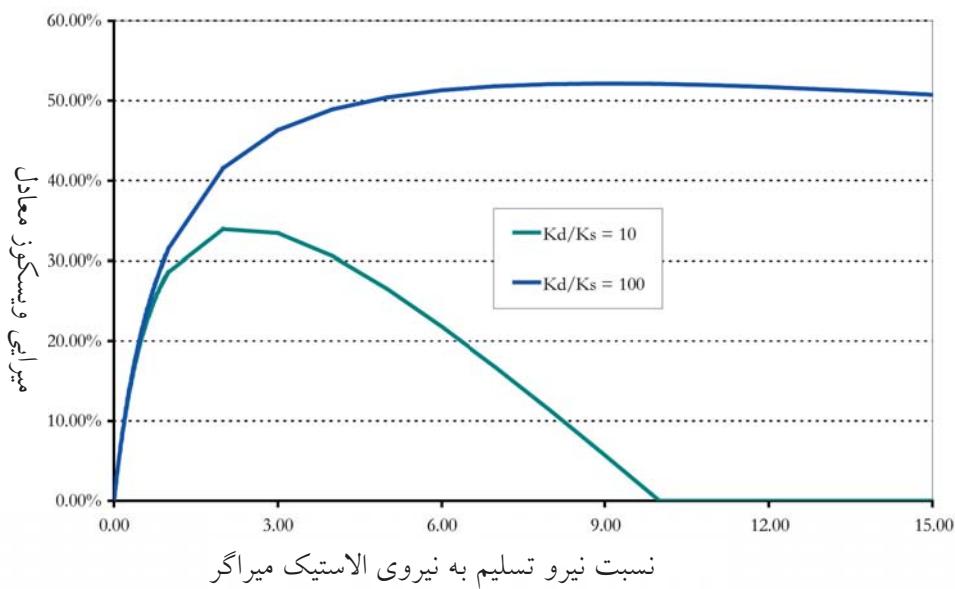
شکل ۳-۳: میرایی به شکل تابعی از مشخصات مهاربند



توجه داریم که حداکثر مقدار g در شکل (۳-۳) برابر 1.0 می باشد. این بدان معناست که نیروی تسلیم میراگر برابر با نیروی ارجاعی سازه می باشد. این مقدار برای پارامتر g ، به این مطلب اشاره دارد که نیروی تحمل شده توسط میراگر برابر نیروی تحمل شده توسط سازه می باشد. به عبارت دیگر، میراگر نیمی از نیروی کل سیستم را تحمل می کند.

اگر مقدار g از 1 بیشتر باشد، به این معنی است که میراگر نیرویی بیش از نیروی سازه را تحمل می کند. در حالت حدی، تمام مقدار نیرو توسط میراگر تحمل می شود. در شکل (۲-۸) میزان افزایش میرایی با افزایش متوالی میزان کل باری که میراگر تحمل می کند، ترسیم شده است. در حالت حدی، میرایی نشان داده شده در شکل (۳-۴) برابر مقداری از میرایی می باشد که توسط سازه ای با تابع هیستریسی پایدار تأمین می شود.

شکل ۴-۴: میراگرهای هیسترتیک با سختی و مقاومت زیاد



۳-۱-۲-۲ مشخصات مهار ویژه

مهار تسلیم شونده با جابجایی تسلیم ۱۱ میلی متر و مقادیر مختلف نسبت سختی میراگر به سختی سازه را در نظر بگیرید. برای یک مهار تسلیم شونده‌ی منشوری، جابجایی تسلیم تابعی از تنفس تسلیم فولاد و طول مهار می‌باشد. این مقدار مستقل از اندازه‌ی مقطع می‌باشد، زیرا کرنش تسلیم مقداری ثابت است و جابجایی تسلیم برابر حاصل ضرب این مقدار در طول مهار می‌باشد. جابجایی تسلیم برابر با ۱۱ میلی متر، معادل تسلیم یک مهار شورون با مقاومت فولاد برابر با ۲۶۰ مگاپاسکال و طول دهانه‌ی برابر با ۷.۵ متر و ارتفاع طبقه‌ی برابر با ۴.۱۵ متر می‌باشد.

در شکل (۳-۵) برای مجموعه‌ای از مهارها منحنی‌های هیسترسیس و میرایی ویسکوز معادل نشان داده شده است. این نمودارها برای سازه‌ای با نیروی الاستیک کل برابر ۴۰۰۰ کیلونیوتون در جابجایی نسبی ۰.۵ درصد ارائه گردیده است.

مهارهای نشان داده شده در شکل (۳-۵) مقاومت تسلیم افزایشی دارند. به عبارت دیگر، با افزایش مقاومت تسلیم، نسبت سختی مهار به سختی سازه (f = KD/KE) نیز افزایش می‌یابد.

در شکل (۳-۶) رفتار همین مهارها در جابجایی نسبی ۲.۵ درصد نمایش داده شده است. میرایی مربوط به هر یک از موارد ترسیم شده در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) به شکل

خلاصه در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

با توجه به نمودارهای بالا، میرایی برای مهارهایی با سختی کم ($f=0.25$) ناچیز می باشد.

برای رسیدن به مقادیر میرایی مطلوب، مهارهایی با سختی زیاد (سختی تقریباً برابر با سختی سازه) مورد نیاز می باشد. این کار مستلزم استفاده از مهارهای بزرگ می باشد که در اینجا به شکل صفحات فلزی با مقطع ۱۰۰ در ۸۰ میلی متر می باشند.

شکل دیگری از میرایی هیسترسیس در جدول (۳-۱) نشان داده شده است. در این حالت با افزایش جابجایی ها، میرایی اثر کمتری بر مقادیر جابجایی ها خواهد داشت. به طور کلی، هدف از به کار گیری میراگرهای هیسترتیک، کترول جابجایی های نسبی می باشد. بنابراین، این میراگرهای معمولاً طوری طراحی می شوند که در جابجایی های نسبی کار کنند.

جدول ۳-۱: میرایی تأمین شده توسط مهاربند های مختلف

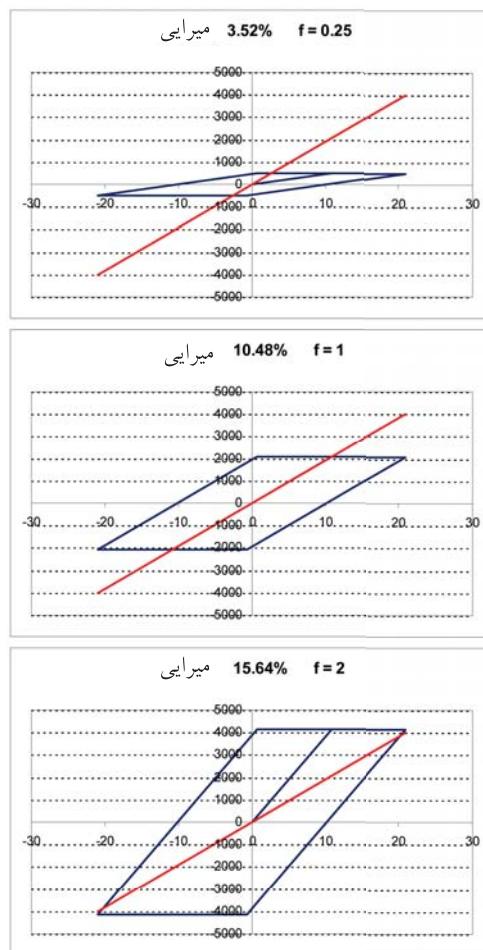
میرایی ویسکوز معادل	مساحت مقطع مهار	نیروی تسليم مهار	K الاستیک	جابجایی نسبی
3.52%	1,986	516	0.25	0.50%
	7,945	2065	1.00	
	15,891	4131	2.00	
10.48%	1,986	516	0.25	2.50%
	7,945	2065	1.00	
	15,891	4131	2.00	
15.64%	1,986	516	0.25	
	7,945	2065	1.00	
	15,891	4131	2.00	
1.45%	1,986	516	0.25	
	7,945	2065	1.00	
	15,891	4131	2.00	
5.38%	1,986	516	0.25	
	7,945	2065	1.00	
	15,891	4131	2.00	
9.84%	1,986	516	0.25	
	7,945	2065	1.00	
	15,891	4131	2.00	

میراگرهای مهاری نشان داده شده در جدول (۳-۱) و شکل های (۳-۵) و (۳-۶) به شکل منشوری هستند و تسليم صالح در تمام طول مهار رخ می دهد. یک انتخاب دیگر برای طراحی این نوع از میراگرهای کاهش طول تسليم آنها به بخش محدودی از طول آن می باشد. این کار با کاهش مقطع مهار در طول مشخصی از آن صورت می گیرد. برای نمونه، اگر ناحیه ای تسليم مهار را ۲۰ درصد میانی طول آن در نظر بگیریم و سطح مقطع بقیه ای طول مهار دو برابر بخش میانی آن باشد، جابجایی تسليم معادل ۶۰ درصد جابجایی تسليم مهار منشوری خواهد بود. همچنین، مقدار میرایی به شکلی که در ستون دوم جدول (۳-۲) آمده، افزایش خواهد یافت. در ناحیه ای جابجایی های کوچک، میرایی حدود ۴۰ درصد افزایش می یابد، اما در جابجایی های بزرگتر فقط ۵ درصد افزایش را شاهد خواهیم بود.

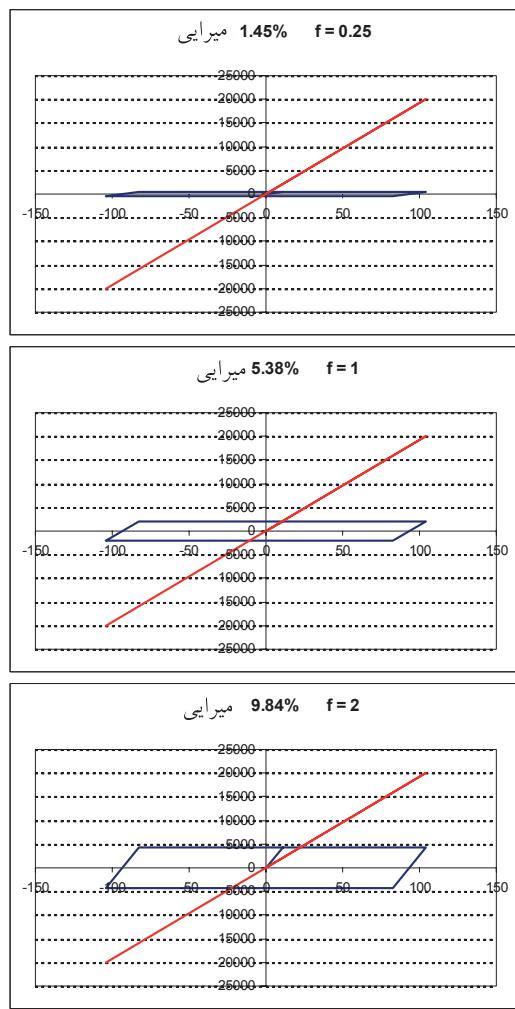
جدول ۳-۲ اثر مهاربندهای نازک شده

جابجایی نسبی	نیروی تسلیم مهاربند	میرایی ویسکوز معادل منشوری	میرایی ویسکوز معادل نازک شده
0.50%	516	3.52%	5.02%
	2065	10.48%	14.96%
	4131	15.64%	22.32%
2.50%	516	1.45%	1.52%
	2065	5.38%	5.64%
	4131	9.84%	10.30%

شکل ۳-۵: میرایی برای مهاربند تسلیم شونده در جابجایی نسبی ۰.۵ درصد



شکل ۶-۳: میرایی برای مهاربند تسلیم شونده در جابجایی نسبی ۲.۵ درصد



۳-۱-۳ خلاصه بحث مهارهای هیسترتیک

فرمول هایی که در این بخش برای تعیین میرایی تأمین شده توسط میراگرهای هیسترتیک ارائه شده، ساده به نظر می رسد اما استفاده از آنها در عمل، به دلیل زیر داری مشکلات زیادی خواهد بود:

دو پارامتر مشخصه‌ی میراگر (سختی و مقاومت تسلیم) به سختی سازه و تراز نیروی الاستیک سازه مقیاس می شوند که تعیین این دو پارامتر در اکثر موقعیت مشکلی می باشد. برای هر ساختمان چند طبقه، سختی و نیروی الاستیک باید با انتگرال گیری در

ارتفاع ساختمان به دست آیند.

نیروی الاستیک تابعی از شکل بارگذاری زلزله می باشد.

بیشتر سازه هایی که نیاز به نصب میراگر دارند هنگام وقوع زلزله وارد ناحیه‌ی غیرارتجاعی می شوند. به همین دلیل، بخشی از استهلاک انرژی توسط سازه صورت می گیرد.

مهم تر از دلایل قبلی این که مطالعات بالا نشان می دهد برای رسیدن به کارآیی بهتر، لازم است میراگرهای تسلیم شونده دارای مقاومت و سختی زیادی باشند. در حقیقت اگر سختی و مقاومت میراگر زیاد باشد، میراگرهای تسلیم شونده یک سیستم سازه‌ای الحاقی تشکیل می دهند و در کنار افزایش میرایی باعث تغییر سایر مشخصات مکانیکی سازه نیز می شوند. به طور معمول این نوع میراگرهای باعث کاهش دوره‌ی تناوب سازه می شوند که این کار باعث افزایش برش پایه‌ی ساختمان می شود.

در عمل مجزا ساختن اثر سختی از آثار میرایی بر پاسخ سازه بسیار مشکل است، زیرا هر دو عامل تمایل به کاستن از میزان جایجایی های سازه دارند.

دلایل مذکور باعث می شوند ارائه‌ی روش طراحی جامع برای میراگرهای از چیزی که در ابتدا به نظر می رسید بسیار مشکل تر باشد. در فصل های بعدی، پاسخ ساختمان های واقعی که میراگرهای تسلیم شونده در آنها نصب شده مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۳-۲ میراگرهای اصطکاکی هیستریک

۳-۲-۱ معرفی میراگر

مجموعه‌ی متنوعی از میراگرهای اصطکاکی با ویژگی‌های مختلف وجود دارند که هر یک از آنها برای ایجاد سطح لغزنده از مصالح مختلف استفاده می کنند.

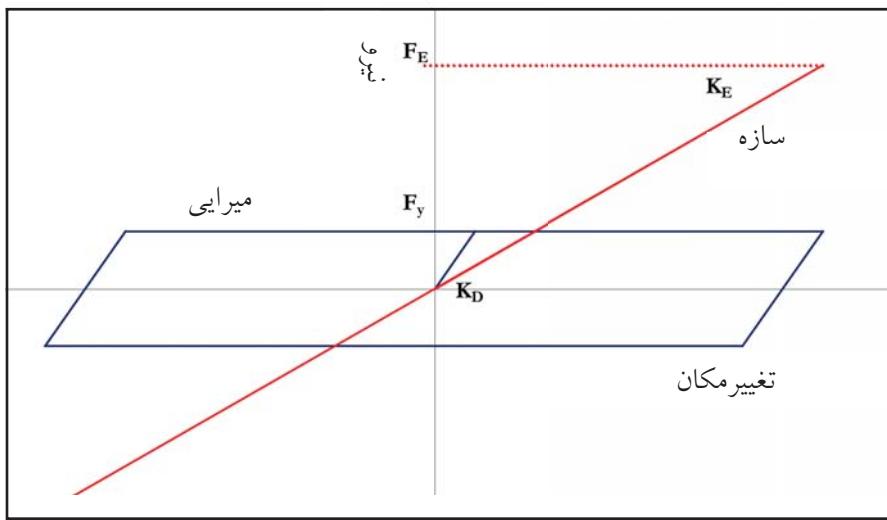
به عنوان نمونه می توان به بالشتک های ترمز کننده (brake pads) روی مصالح فولادی، مصالح فولادی روی فولاد یا فولاد بر روی برنج در اتصالات پیچی لغزنده و سایر آلیاژ‌های فلزی اشاره نمود.

میراگرهای اصطکاکی عمدهاً به شکل مهارهای قطری مورد استفاده قرار می گیرند. از این جمله می توان به میراگرهای فلزی تسلیم شونده اشاره نمود. هر چند می توان این میراگرهای را به شکل افقی بین وجه بالایی دیوار و تیر بالای آن قرار داد. میراگرهای تسلیم شونده‌ی فلزی نیز مثالی از حالت اخیر می باشند.

بیشتر میراگرهای اصطکاکی چرخه‌ی هیستریس مستطیلی پایدار دارند. اگرچه برخی از آنها طوری پیکربندی شده اند که یک نیروی خود مرکزی را تولید کنند که باعث ایجاد هیستریس های غیرمستطیلی می شود. بار لغزنده در این میراگرهای متناسب با جایجایی می باشد.

در این بخش صرفاً انواع معمولی میراگرهای اصطکاکی مورد بررسی قرار می‌گیرند. این نوع میراگرها حلقه‌های هیسترسیس مستطیلی (مطابق شکل ۳-۷) تولید می‌کنند.

شکل ۳-۷: رفتار چرخه‌ای میراگرهای اصطکاکی



با در نظر گرفتن یک میراگر تنها (بدون سازه)، می‌توان میرایی ویسکوز معادل را با اصلاح نمودن معادله ۲-۱۵ به دست آورد. به این صورت که اگر سختی سازه برابر صفر فرض شود، نسبت سختی میراگر به سختی سازه (f) به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و معادله ۳-۱۶ حاصل می‌آید:

$$\beta = \frac{2g}{\pi(1+g)} \quad (3-3)$$

در شکل (۳-۸) این تابع برای مقادیر مختلف ($g \leq 0.1$) ترسیم شده است. در این حالت، میراگر حدوداً نیمی از نیروی سازه را تحمل می‌کند (که در بیشتر کاربردهای عملی این چنین است). در شکل (۳-۹) این حالت برای میراگرهایی که نسبت به سازه نیروی بیشتری را تولید می‌کنند، بسط داده شده است. در حالت نهایی، این حالت به شکل یک سیستم سازه‌ای اصطکاکی با میرایی اصطکاکی خالص در می‌آید. میرایی ویسکوز معادل، به یک مقدار حدی برابر با ($\frac{63}{66\%} = \frac{2}{\pi}$) همگرا می‌شود.

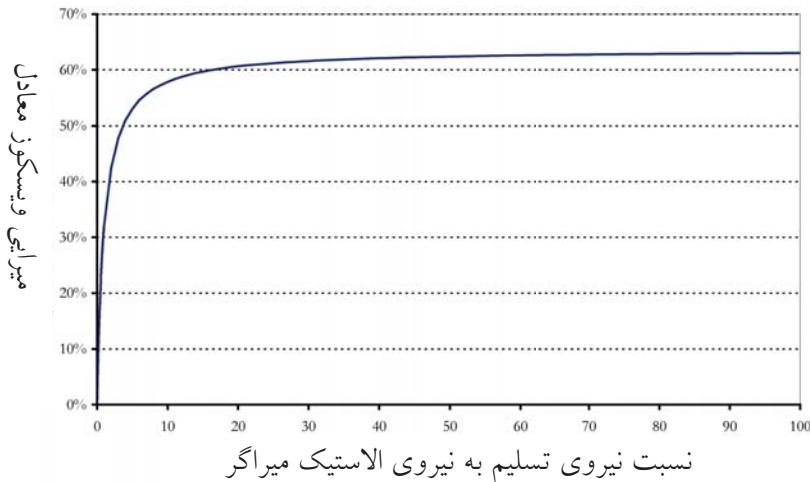
۳-۲-۳ خلاصه بحث میراگرهای اصطکاکی

منحنی میرایی ترسیم شده در شکل های (۳-۸) و (۳-۹) مربوط به میراگر (بدون اثر سازه) می باشدند. برای میراگرهای اصطکاکی میزان میرایی تأمین شده تابعی از جابجایی های نسبی در طبقات سازه می باشد. این میراگرها باید در هر طبقه، از کف به کف امتداد یافته و توسط المان های سازه ای (نظیر مهار یا دیوار پانل) اتصال یابند. این المان ها دارای سختی محدودی می باشد و به صورت سری با میراگر اصطکاکی عمل می کند. این کار باعث فراهم آمدن یک سختی اولیه ی محدود برای میرایی کل سازه می شود (که این بر خلاف فرض صلیت است که برای ارائه ی شکل های (۳-۸) و (۳-۹) در نظر گرفته شده است). به عبارت دیگر اثر المان هایی که به صورت سری به میراگر متصل هستند، باعث می شود اثر جابجایی های نسبی به طور کامل به میراگر منتقل نشود. به دلیل اینکه در کاربردهای عملی، میراگرها روی المان های غیر صلب سوار می شوند، شکل هیسترسیس واقعی آنها نه به صورت مستطیلی (شکل (۳-۷)) بلکه مشابه هیسترسیس میراگر تسلیم شونده (شکل (۳-۲)) خواهد بود. بنابراین، نتیجه گیری ها و تفاسیر مربوط به میراگرهای تسلیم شونده که در بخش قبلی ارائه شد، برای میراگرهای اصطکاکی نیز قابل استفاده می باشند.

شکل (۳-۸): نیروی میراگر اصطکاکی < نیروی سازه



شکل ۳-۹: نیروی میراگر اصطکاکی < نیروی سازه



۳-۳ میراگر ویسکوز

۳-۳-۱ معرفی میراگر

میراگرهای ویسکوز وسایلی هستند که نیروی مقاومی متناسب با سرعت، تولید می‌کنند. بیشتر میراگرهای ویسکوز به صورت میراگرهای سیال می‌باشند که مشابه جاذب‌های شوک در اتومبیل‌ها عمل می‌کنند. در صورتی که نیروها به آرامی اعمال شوند، این میراگرهای نسبت به تغییرشکل‌ها سختی کمی دارند؛ اما با افزایش شدت جابجایی‌ها (سرعت اعمال آن‌ها) سختی افزایش می‌یابد. رفتار میراگرهای ویسکوز توسط روابط کلی زیر توصیف می‌شود:

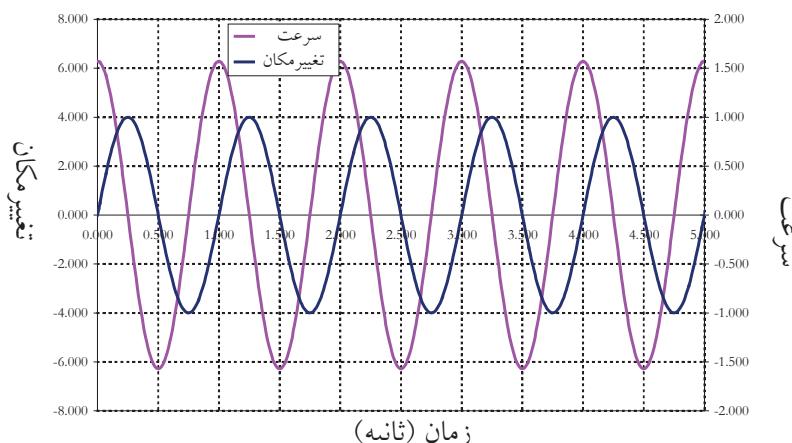
$$F_D = C |u|^\alpha \operatorname{sgn}(u) \quad (14-3)$$

در این رابطه F_D نیروی میراگر، C ضریب میراگر، u سرعت اعمالی می‌باشد. همچنین، α توان میراگر و sgn تابع علامت می‌باشد که علامت مؤلفه‌ی سرعت نسبی را تعیین می‌کند. مقدار α غالباً در بازه‌ی 0.3 تا 1 قرار دارد. بیشتر میراگرهای یک شیر تخلیه دارند که امکان تأمین سرعت حدی مشخص را فراهم می‌سازد. برای سرعت‌های بالاتر از سرعت حدی، نیروی میراگر ثابت می‌ماند. از دیدگاه تئوری، میراگرهای ویسکوز ابزارهای مطلوبی هستند، زیرا سرعت با جابجایی هم

فاز نیست. در شکل (۳-۱۰) سرعت ناشی از اعمال یک موج جابجایی سینوسی با پریود ۱ ثانیه نشان داده شده است. در نقطه‌ای که جابجایی بیشترین مقدار را دارد، سرعت برابر صفر است. مقدار بیشینه‌ی جابجایی نیز در لحظه‌ی سرعت رخ می‌دهد.

به لحاظ تئوری، نیروهای میراگر ویسکوز به شکل مستقیم به نیروی الاستیک کل سازه اضافه نمی‌شوند، زیرا بیشینه‌ی نیروهای میرایی زمانی رخ می‌دهد که نیروهای الاستیک ناشی از جابجایی‌های سازه مقدار کمی دارند. در عمل نیروی سازه و میراگر تقریباً با هم کوپل می‌شوند و نیروی کل را افزایش می‌دهند.

شکل ۳-۱۰ فازهای جابجایی و سرعت



۳-۳ مشخصات میراگر ویسکوز

همانطور که رابطه‌ی (۳-۱۴) نشان می‌دهد، پارامترهای تعریف کننده‌ی نیروی میرایی برای میراگر ویسکوز شامل ضریب میرایی (C)، توان و سرعت حدی (در صورت وجود) می‌باشد. اثر این عوامل و پارامترهایی نظیر نحوه بارگذاری در شکل‌های (۳-۱۱) و (۳-۱۶) نشان داده شده است. هر یک از این شکل‌ها برای جابجایی‌های سینوسی ترسیم شده‌اند.

فرمول‌های مربوط به جابجایی (Δ) و سرعت (u) به شکل زیر می‌باشند:

$$\Delta = \Delta_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (15-3)$$

$$u = \frac{d\Delta}{dt} = \Delta_0 \frac{2\pi}{T} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (16-3)$$

در این شکل ها T پریود موج سینوسی اعمال شده، C ضریب میرایی و α توان میراگر می باشد. در شکل (۳-۱۱) اثر تغییرات ضریب C نشان داده شده است. همانطور که از رابطه α (۳-۱۴) انتظار می رود، نیروی میرایی با C رابطه α خطی دارد. اگر C دو برابر شود نیروی میرایی نیز (با فرض ثابت بودن سرعت) دو برابر خواهد شد. منحنی میرایی در مقابل جابجایی به شکل بیضوی می باشد و از شکل منحنی سرعت پیروی می کند.

- در شکل (۳-۱۲) مقدار C ثابت فرض شده است و توان میراگر از 0.3 تا 1.0 تغییر می کند؛ توان میراگرهای معمولی در این بازه قرار دارد. با کاهش توان (α) از 1.0 به 0.3 ، نیروی میرایی کم می شده و شکل تابع نیروی میرایی از حالت بیضوی به شکل مستطیلی نزدیک می شود.

- در شکل (۳-۱۳) توان (α) تغییر می کند، اما ضریب میرایی (C) طوری تنظیم شده است که نیروی کل میرایی ثابت باقی بماند. برای ثابت نگاه داشتن نیروی میرایی، با کاهش توان از 0.3 تا 0.03 ضریب میرایی باید از 5.5 تا 20 افزایش یابد. این نمودار نشان می دهد که با کاهش توان، بیضوی به یک مستطیل نزدیک می شود.

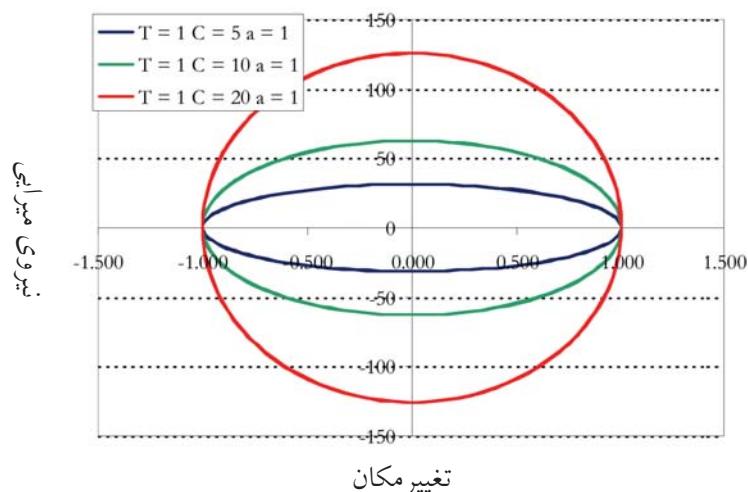
اشر سرعت حدی در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است. مشاهده می شود با افزایش مقدار C از 5 تا 20 ، نیروی میرایی به 50 محدود شده است. مطابق شکل (۳-۱۱)، با افزایش مقدادیر C مقدار حدی سرعت باعث قطع شدن بیضوی می شود. اشر این کار مشابه اشر کاهش توان می باشد و شکل بیضوی به حالت مستطیلی نزدیک می شود.

- در شکل (۳-۱۵) با ثابت نگاه داشتن دامنه α جابجایی، اشر تغییر پریود موج سینوسی بر میرایی نشان داده شده است. طبق رابطه α (۳-۱۶) برای میزان مشخصی از جابجایی، سرعت با پریود پاسخ (T) رابطه α معکوس دارد. به عبارت دیگر، پریود کمتر باعث ایجاد نیروی میرایی بیشتر می شود.

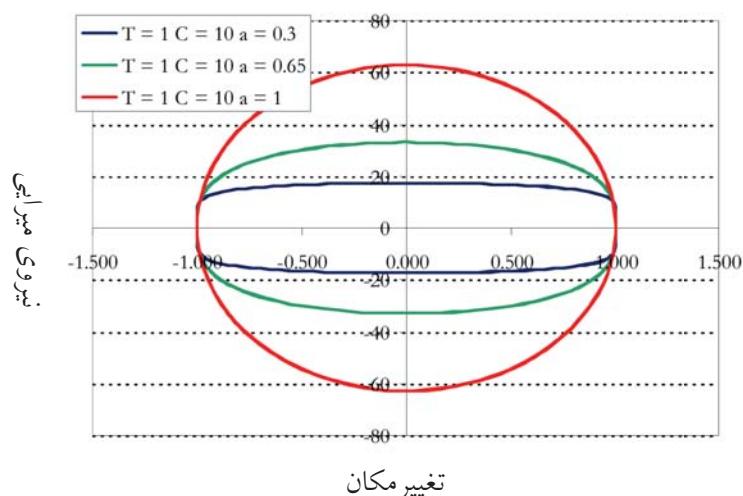
- در شکل (۳-۱۶) نیروی میرایی برای جابجایی های تسلیم مختلف ترسیم شده است. برای هر پریود مشخص، مقدادیر سرعت با جابجایی نسبت مستقیم دارد. نیروی میراگر با "نسبت جابجایی به مرتبه α توان" متناسب می باشد. در این مثال، توان برابر 0.5 می باشد و بنابراین اگر جابجایی 4 برابر شود نیروی میرایی دو ($2^{1/4}$) برابر خواهد شد. با توجه به انواع میراگرهای موجود، ضریب C می تواند تقریباً هر مقداری داشته باشد. در صورت نیاز، می توان با افزودن یا کاستن تعداد میراگرها مقدار ضریب C را افزایش یا کاهش داد. توان α می تواند مقداری بین 0.3 تا 1.0 داشته باشد. به طور کلی، مقدادیر C (که باعث ایجاد رابطه α خطا بین نیروی میرایی و سرعت می شود)، نتایج

مطلوب تری ارائه می دهد. در کاربردهای عملی، مقدار توان اغلب برابر ۱ می باشد. اگرچه حد سرعت می تواند در محدود کردن نیروها مؤثر باشد، اما این عامل باعث از دست رفتن خواص مطلوب میراگرهای ویسکوز(مثلاً تولید نیروهایی غیر هم فاز با جابجایی) می شود.

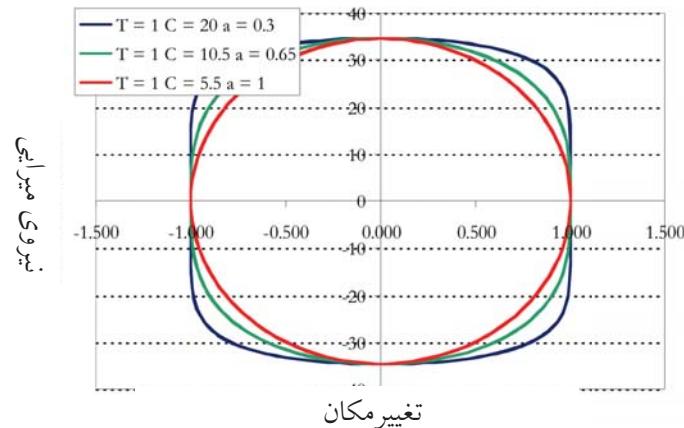
شکل ۳-۱۱: مقادیر ضریب میرایی (C)



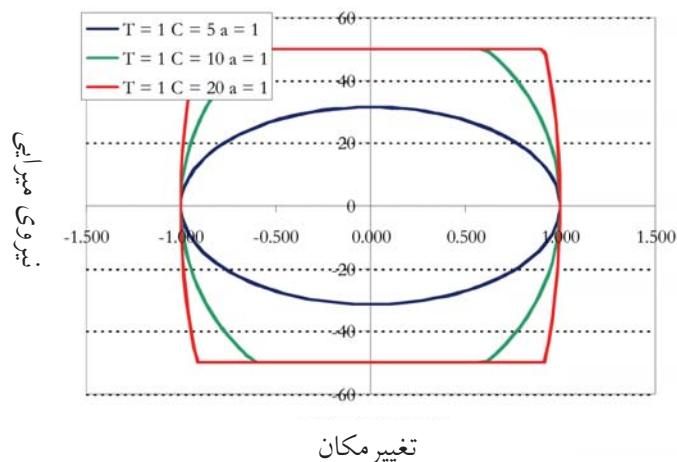
شکل ۳-۱۲: مقادیر توان میراگر (a) برای ضریب میرایی (C) ثابت



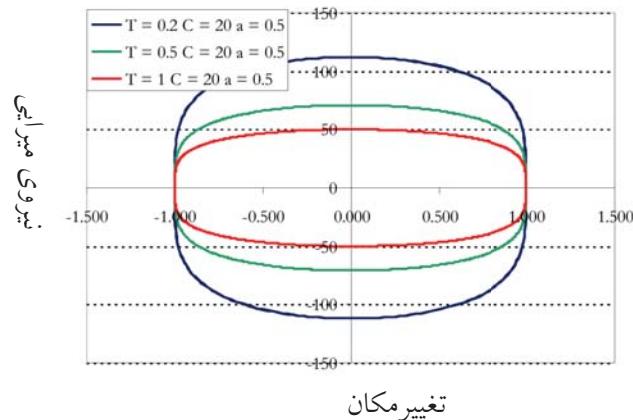
شکل ۱۳-۳: توان میراگر (α) برای نیروی ثابت میراگر



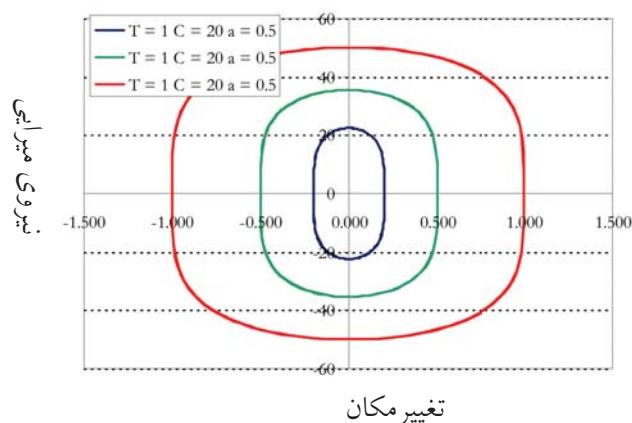
شکل ۱۴-۳: قطع سرعت در میراگرهای ویسکوز



شکل ۳-۱۵: فرکانس بارگذاری



شکل ۳-۱۶: دامنهٔ جابجایی



۳-۳-۳ اندرکش سازه و میراگر ویسکوز

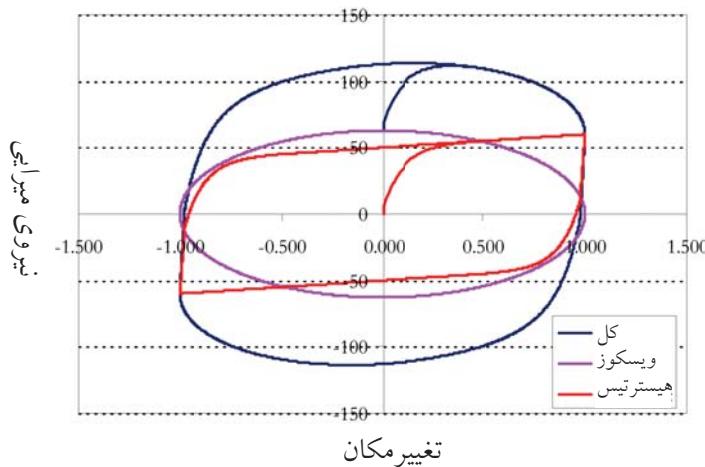
مشابه میراگرهای اصطکاکی، عملکرد میراگرهای ویسکوز تحت اثر انعطاف پذیری بین میراگر و سازه تغییر می کند. به عنوان مثال، میراگر ویسکوزی که در یک مهار قرار گرفته دارای ویژگی های میراگری است که به صورت سری به یک فنر متصل می باشد. بخشی از جابجایی نسبی طبقه باعث ایجاد تغییر شکل در فنر سری می شود و این عامل باعث کاهش میزان حرکت نسبی دو انتهای میراگر خواهد شد. این فرآیند باعث می شود نیروی میرایی با یک ضریب ثابت کاهش یابد. بزرگی این ضریب تابعی از سختی اتصال می باشد.

میراگرهای با شکل موازی با سازه‌ای که در آن نصب می‌شوند عمل می‌کنند. اگر رفتار سازه به شکل الاستیک باشد، این اثر باعث کج شدن بیضی می‌شود. این موضوع در بخش میراگرهای ویسکوالاستیک بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد. اگر سازه تسلیم شود (که معمولاً همین گونه است)، اثر ترکیبی نیرو و جابجایی پدید می‌آید.

در مثال مربوط به شکل (۳-۱۷) بیشینه‌ی نیروی سازه برابر 60 و بیشینه‌ی نیروی میراگر برابر 31.4 می‌باشد. بیشینه‌ی نیرو در سیستم ترکیبی برابر 83.2 می‌باشد که در این مثال، معادل نیروی کوپلینگ برابر $=23.2 = 60 - 83.2$ می‌باشد. این بدان معناست که حداقل نیرو در سازه به میزان 74 درصد نیروی میراگر افزایش می‌یابد.

اگر توان میراگر کمتر از 1 باشد، مقدار کوپلینگ افزایش می‌یابد. برای این مثال، اگر $f = 0.3$ باشد و حداقل نیروی میراگر ثابت فرض شود، کوپلینگ به میزان 81 درصد افزایش می‌یابد.

شکل ۳-۱۷: میراگر هیستریک موازی با میراگر ویسکوز



برای میراگری با توانی برابر 1.0 ، میزان کوپلینگ تابعی از ضریب میرایی (C) می‌باشد. در شکل (۳-۱۸) میرایی تأمین شده (که به شکل نسبت نیروی میراگر به حداقل نیروی سازه تعریف می‌شود)، در مقابل میزان کوپلینگ (که به شکل نسبت بیشینه‌ی نیروی کل منهای بیشینه‌ی نیروی سازه تقسیم بر بیشینه‌ی نیروی میراگر تعریف می‌شود) ترسیم شده است.

برای مقادیر میرایی نسبتاً کم (مثلاً نیروی میرایی برابر 10 درصد نیروی سازه)، کوپلینگ زیادی وجود ندارد (تنها حدود 30 درصد). میزان کوپلینگ با افزایش نیروی میرایی به شدت افزایش می‌یابد و هنگامی که نیروی میراگر برابر با نیروی سازه باشد مقدار آن به

۸۵ درصد می‌رسد. این وضعیت بدان معناست که نیرو در سازه به میزان ۸۵ درصد نیروی میراگر افزایش یافته است.

شکل ۱۸-۳: کوپلینگ میراگر ویسکوز و سازه



۳-۳-۳ خلاصه بحث میراگر ویسکوز

نیروی میرایی تأمین شده توسط میراگرهای ویسکوز در فاز مخالف حرکت می‌باشد. بنابراین، این نیرو به طور مستقیم با نیروی سازه جمع نمی‌شود. از دیدگاه تئوری، این موضوع سبب می‌شود نیروی وابسته به سرعت بسیار کارا باشد. اگرچه در عمل با اینکه سرعت و جابجایی در دو فاز مختلف هستند، اما میزانی از کوپلینگ بین دو مجموعه از نیروها (نیروی میراگر و نیروی سازه) وجود دارد. به ویژه اگر توان میراگر نزدیک به حد پایینی (یعنی حدود ۰.۳) باشد، این موضوع ملموس تر است.

میزان کوپلینگ با افزایش میرایی بیشتر می‌شود. در نتیجه با افزایش میرایی تأمین شده، نیروی میراگر که خارج از فاز نیروی سازه‌ای می‌باشد، اثر کمتری خواهد داشت.

۴ میراگر ویسکوالاستیک

۴-۱ معرفی میراگر

نیروی تولید شده توسط میراگرهای ویسکوالاستیک وابسته به سرعت می‌باشد، اما علاوه بر آن دارای یک سختی الاستیک نیز می‌باشد. بیشتر انواع میراگرهای ویسکوالاستیک از دو لایه‌ی پلیمری که بین یک صفحه‌ی مرکزی و دو صفحه‌ی خارجی مقید می‌شوند،

تشکیل شده اند. (شکل ۳-۱۹) را بینید). نیروی این نوع میراگرها را می توان مطابق

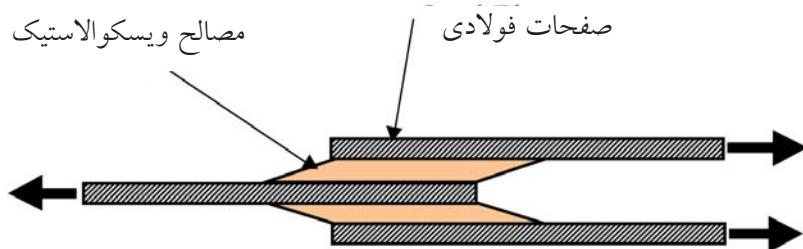
رابطه‌ی زیر بیان داشت:

(۱۷-۳)

$$F_D = k_{eff} \Delta + Cu$$

در این روابط k_{eff} سختی مؤثر میراگر، Δ جابجایی، C ضریب میرایی و u مؤلفه‌ی سرعت را نشان می دهد. در این میراگرها برخلاف میراگر ویسکوز، میرایی (مؤلفه‌ی وابسته به سرعت) تابعی خطی از سرعت می باشد؛ یعنی توان این نوع میراگرها برابر یک می باشد. این رابطه تابع نیرو-جابجایی را مطابق فرم نشان داده شده در شکل (۳-۲۴) ارائه می دهد.

شکل ۳-۱۹: میراگر ویسکوالاستیک



عبارات و اصطلاحاتی که برای توصیف رفتار میراگرهای ویسکوالاستیک فولادی استفاده می شوند، با پارامترهای مربوط به تعریف سایر میراگرها متفاوت می باشند. سختی برشی بر حسب G' (مدول انبارش برشی) تعریف می شود. بنابراین، سختی مؤثر به صورت زیر بیان می شود:

$$K_{eff} = \frac{G' A_b}{t} \quad (18-3)$$

که در این رابطه A_b مساحت محدود شده‌ی وسیله و t برابر ضخامت کل مصالح ویسکوالاستیک (مجموع تمام لایه‌ها) می باشد.

ضریب میرایی (C) بر حسب ضریب اتلاف برشی (G'') تعریف می شود:

$$C = \frac{G'' A_b}{\omega t} \quad (19-3)$$

در این رابطه ω فرکانس را نشان می دهد. به طور کلی، ضریب اتلاف به فرکانس مقیاس می شود (G''/ω); به این شکل می توان این پارامتر را همانند مدول انبارش، مستقیماً به صورت ضریبی از نسبت ابعادی (Ab/t) میراگر ارائه نمود.

۴-۳ مشخصات میراگر

مشخصات میراگرهای ویسکوالاستیک که شامل 'G و "G می شود به عواملی نظیر فرکانس، دما و کرنش بستگی دارد. میزان وابستگی به این پارامترها، تابعی از مصالح استفاده شده برای تأمین میرایی می باشد. مطالبی که به شکل خلاصه در این بخش ارائه شده، از نتایج آزمایش های تحلیل کیفی سیستم برای میراگرهای ویسکوالاستیک ® Tyfo به دست آمده اند. مصالحی که توسط سایر سازنده ها تهیه می شوند، ممکن است خواص متفاوتی داشته باشند.

میزان و نحوه تغییرات این پارامترها در اثر تغییر مقادیر فرکانس و کرنش های برشی مختلف، در شکل های (۳-۲۱) و (۳-۲۲) ترسیم شده است. همچنین منحنی وابستگی این پارامترها نسبت به حرارت در شکل (۳-۲۳) ترسیم شده است. در شکل (۳-۲۴) اثر کرنش بر منحنی هیسرسیس نمایش داده شده و شکل (۳-۲۵) اثر فرکانس بر این منحنی ها را نشان می دهد.

اولین نکته‌ی مهم و قابل ملاحظه این است که طراحی این نوع از میراگرهای پیچیده بوده و اساساً به صورت آزمون و خطأ انجام می شود. هر چند ساده سازی هایی برای اکثر پروژه ها قابل انجام است. به عنوان مثال، با فرض این که میرایی تأثیر اندکی بر تغییرات فرکانس دارد، می توان مقدار فرکانس را در مراحل اولیه تعیین نمود. همچنین با استفاده از جایجایی های نسبی الاستیک و کاهش دادن آن ها (ناشی از اثر میرایی) می توان تخمینی کلی برای جایجایی های نسبی طبقه ارائه نمود. این ساده سازی ها سبب می شود امکان تعیین مشخصات اولیه ای میراگر فراهم شود.

اثرات حرارت برای هر پروژه متفاوت است. برای مدت زمان های معمول زلزله، تغییرات حرارت در میراگرها نسبتاً کم است. با این حال، تغییرات احتمالی در درجه حرارت محیط باید مد نظر قرار داده شود زیرا ویژگی های مهار نسبت به تغییرات دما حساسیت زیاد دارد (شکل (۳-۲۳) را ببینید).

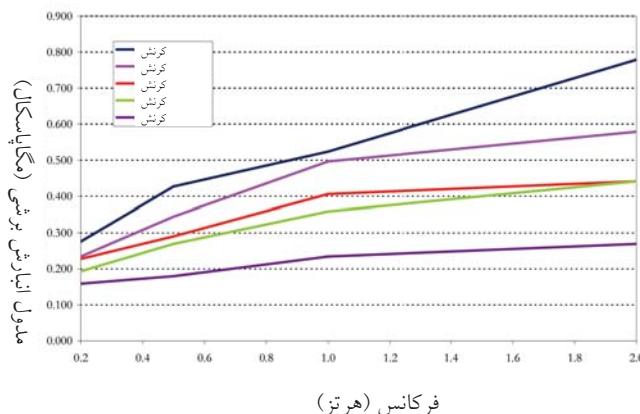
به طور کلی، حدود طراحی بر مبنای کرنشی حدود ۱۵٪ برای زلزله ای DBE و کرنشی برابر ۲۵٪ برای زلزله ای MCE تعیین می شود. اگرچه این حدود می توانند با نتایج حاصل از آزمایش های مربوط به تعیین مشخصات میراگرها تغییر یابند. میراگر های

دارای کرنش گسیختی مت加وز از ۵۰۰٪ می باشند، اما رفتار آن ها برای کرنش های بیش از ۲۵۰٪ به شدت غیر خطی می باشد.
پارامتر کرنش حدی (یا حد کرنش)، ضخامت مورد نیاز میراگر را تعیین می کند.
میراگرها دارای ابعاد پلان کوچکی هستند (حداکثر ۲۵۰ میلی متر مربع). بنابراین، در هر سازه تعداد زیادی از این میراگرها مورد استفاده قرار می گیرند.

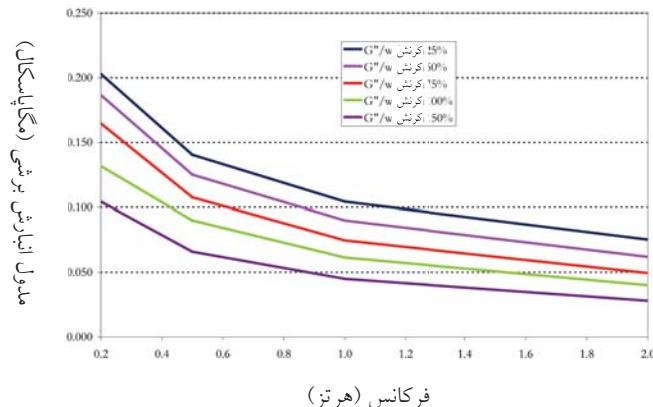
۳-۴-۳ خلاصه بحث میراگرها و یسکوالاستیک

میراگرها و یسکوالاستیک ویژگی های فر الاستیک و میراگر یسکوز را هم زمان دارا هستند. این وسایل پیچیده ترین نوع میراگرها بررسی شده در این بخش می باشد. رفتار این میراگرها تابعی از تراز کرنش، فرکанс و حرارت می باشد. در اغلب موارد طراحی این میراگرها یک فرآیند سعی و خطایی می باشد. به عبارت دیگر، باید چندین بار تحلیل ها انجام شوند تا بتوانیم میراگری به دست آوریم که مشخصات آن در بازه ی مطلوب قرار گیرد.

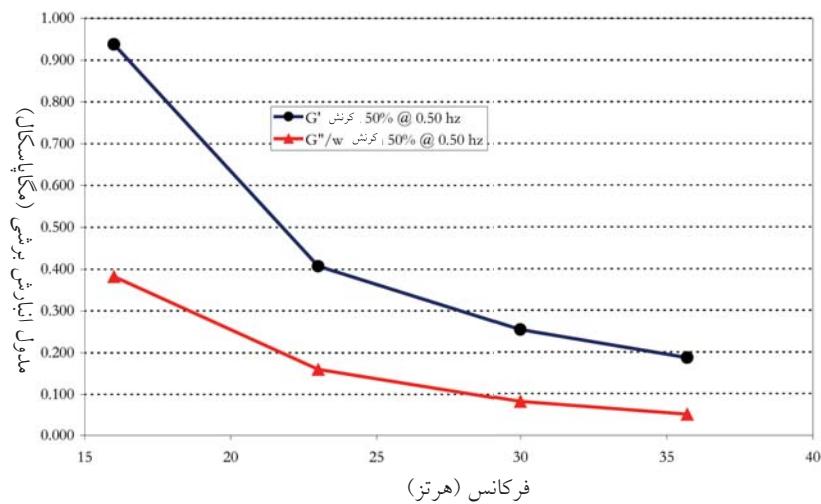
شکل ۳-۲۱: مدول انبارش میراگر یسکوالاستیک در دمای بین ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتیگراد



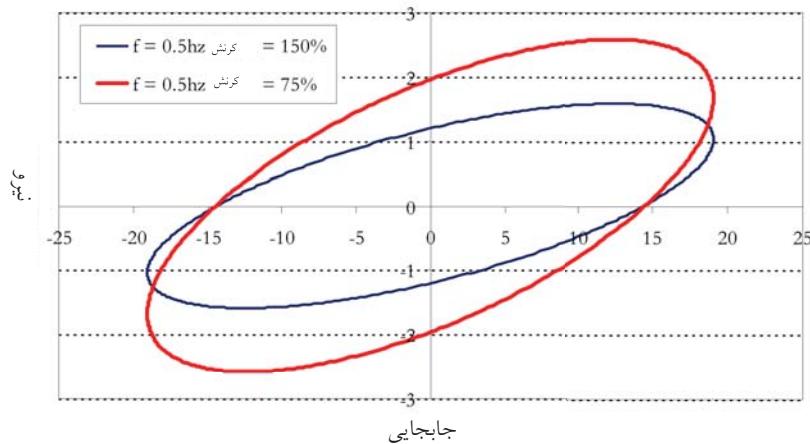
شکل ۳-۲۲: مدول اتلاف میراگرهای ویسکوالاستیک در دمای بین ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتیگراد



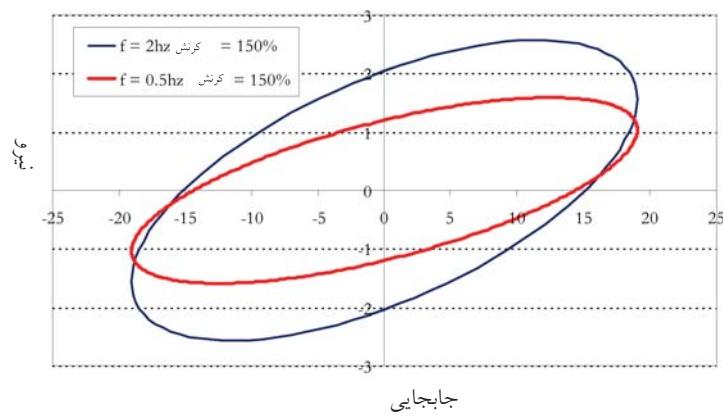
شکل ۳-۲۳: اثر دما بر میراگرهای ویسکوالاستیک



شکل ۳-۲۴: اثر کرنش بر میراگرهای ویسکوالاستیک



شکل ۳-۲۵: اثر فرکانس بر میراگرهای ویسکوالاستیک



۳-۵ انواع دیگر میراگرها

غیر از مواردی که در بخش های قبلی مورد اشاره قرار گرفت، انواع دیگری از میراگرهای نیز تا کنون پیشنهاد شده اند، اما تاکنون در پروژه های انجام شده عمدتاً از چهار دسته ای که در بالا توضیح داده شد، استفاده می گردد.

۳-۶ میراگرها در مقابل بارهای باد

اساساً میراگرها به صورت مستقل از منبع بارهای اعمالی عمل می‌کنند. بنابراین، از دیدگاه تئوری، میراگرها می‌توانند دامنه‌ی پاسخ سازه در مقابل بارهای زلزله و باد را کاهش دهند. هر چند، دو تفاوت عمده که بین بارهای باد و زلزله وجود دارد باعث می‌شود در عمل، کاهش پاسخ سازه در مقابل بارهای باد به راحتی صورت نگیرد:

تغییرشکل‌های ناشی از بارهای باد بسیار کمتر از جابجایی‌های ناشی از بارهای زلزله می‌باشد. به دلیل اینکه نیروهای تولید شده توسط میراگرها تابعی از جابجایی و سرعت می‌باشند، میزان کارآیی میراگرها برای جابجایی‌های کوچک پایین تر خواهد بود.

در مقایسه با ۱۰۲ سیکل مربوط به بارگذاری زلزله، بارهای باد تعداد بیشتری از چرخه‌ای حرکتی را تولید می‌کنند. طی عمر طراحی یک ساختمان ممکن است تعداد ۱۰۶ یا بیشتر از چرخه‌های بارگذاری باد رخ دهد.

برای بسیاری از مصالح (به ویژه فلزات تسليیم شونده) تعداد سیکل‌های بارگذاری باد جهت گسیختگی چرخه‌ای کافی خواهد بود.

تفاوت دیگر بین این دو نوع از بارگذاری این است که پاسخ سازه تحت بارهای باد به شکل خطی الاستیک می‌باشد. این در حالی است که طراحی سازه‌ها در مقابل بارهای زلزله برای حالت تسليیم انجام می‌شود.

از بین میراگرها که در این بخش مورد اشاره قرار می‌گیرند، میراگرهای هیسترتیک معمولاً دارای مصالح تسليیم شونده هستند. می‌توان این نوع میراگرها را طوری طراحی نمود که تحت بارگذاری باد، به دلیل گسیختگی ناشی از خستگی در ناحیه‌ای فراتر از حد تسليیم عمل کنند. در این نوع میراگرها برای مقابله با بارهای باد، سختی سازه تقویت می‌شود؛ اما به استهلاک انرژی کمکی نمی‌شود. برخی از میراگرها هیسترتیک (نظیر میراگرهای برشی سربی) برای مقابله با بارهای باد طراحی می‌شوند. اگر سرب تحت کرنش‌های پلاستیک قرار گیرد و در اتاق حرارت مجدداً کریستالایز شود، مشخصات خود را حفظ می‌کند. بنابراین به لحاظ تئوریکی، می‌توان از این نوع میراگرها برای میراگرها بارهای باد استفاده نمود. هر چند روش‌های طراحی مشخصی برای این نوع میراگرها موجود نیست. در این بخش نیز از این نوع میراگرها بحثی به میان نیامده است.

طراحی میراگرها اصطکاکی به شکلی که تحت بارهای باد لغزش داشته باشند، ناممکن به نظر می‌رسد. معمولاً مصالح اصطکاکی تحت فرسایش قرار می‌گیرند و کارآیی خود را تحت اعمال چرخه‌های بار باد از دست می‌دهند. اگر در این میراگرها لغزش رخ ندهد،

میراگر اصطکاکی تنها باعث افزایش سختی می شود و استهلاک انرژی رخ نمی دهد. نیروی میراگری که توسط میراگرهای ویسکوز تولید می شود، برابر حاصل ضرب ضریب میراگری در سرعت می باشد. صرف نظر از سرعت میراگر، می توان با نصب تعداد کافی از میراگرهای به ضریب میراگری دلخواه رسید. برای سرعت های پایین نیاز به تعداد زیادی از میراگرهای وجود خواهد داشت که محدودیت هزینه، باعث عدم استفاده از آن ها خواهد شد. میراگرهای ویسکوالاستیک شاید بهترین انتخاب برای کاهش پاسخ سازه در مقابل بارهای باد باشند. برای این نوع میراگرهای ضخامت لایه به صورت تابعی از حداکثر جابجایی می باشد. برای جابجایی های کوچک، می توان از لایه های نازک پلیمر استفاده نمود. به دلیل اینکه سختی و ضریب میراگر با ضخامت لایه نسبت معکوس دارند، می توان آنها را برای جابجایی های مختلف طراحی نمود.

اگر میراگری برای مقابله با بارهای باد مناسب باشد، به احتمال زیاد برای تحمل نیروهای زلزله مناسب نخواهد بود، زیرا میراگرهایی که برای جابجایی های کوچک طراحی می شوند در اثر جابجایی های بزرگ لرزه ای از هم گسیخته می شوند.

بنابراین، طراحی میراگر یا یابد دارای حد نیرویی باشد (به طوری که برای نیروهای بیش از آن میراگر کار نکند) یا طراحی طوری انجام شود که در تراز مشخصی از جابجایی به گسیختگی برسد. استفاده از اتصال سری میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای اصطکاکی می تواند استراتژی مناسبی باشد. نیروی لغزشی می تواند طوری تنظیم شود که نیروی اعمالی به میراگر ویسکوالاستیک را در یک حد ایمن محدود کند.

می توان با اعمال برخی تغییرات، ابزارهای معرفی شده در این بخش را برای تحمل بارهای باد مورد استفاده قرار داد.

میراگری تأمین شده توسط میراگرهای را می توان با استفاده از روش تحلیل افت میراگری اندازه گیری نمود. اگرچه می توان از روش تحلیل تاریخچه زمانی برای ارزیابی بارهای باد استفاده نمود، اما احتمالاً این روش بهترین راهکار نخواهد بود. برای این منظور می توان از برخی روش های پاسخ فرکانسی استفاده نمود. به دلیل اینکه پاسخ سازه در ناحیه ای ارجاعی قرار دارد، روش پاسخ فرکانسی قابل انجام می باشد.

در حال حاضر برای تحمل بارهای باد، از میراگرهایی با جرم تنظیم شده استفاده می شود. این میراگرهای طور معمول برای تحمل بارهای لرزه ای مناسب نیستند، زیرا استفاده از این میراگرهای به سازه ای با رفتار خطی الاستیک نیاز دارد.

