

طراحی میراگرهای غیرفعال در برابر زلزله

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

مترجمین

مهندس علیرضا صالحین و مهندس مرتضی راضی و علی حیدری

فهرست

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

۳۸۱	۱۰-۱-۳- ضمیمه الف - NEHRP 2000
۴۱۷	۱۱-۱-۳- ضمیمه ب - تشریح ساختمان های نمونه بدون سیستم میرایی و طراحی سیستم های باربر نیروی جانبی توسط NEHRP 1997
۴۳۱	۱۲-۱-۳- ضمیمه ج - اجرای تقریبی منحنی پوش آور ساختمان های با و بدون سیستم های میرایی بر اساس تحلیل پلاستیک
۴۶۳	۱۳-۱-۳- ضمیمه د - ملاحظات در طراحی تجهیزات میرایی تسلیم شونده فلزی ویسکوالاستیک سخت
۴۷۳	۱۴-۱-۳- ضمیمه م - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل قاب های ۳ و ۶ طبقه با سیستم میرایی ویسکوز خطی
۵۱۹	۱۵-۱-۳- ضمیمه ن - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل ۳ طبقه با سیستم میرایی ویسکوز غیر خطی
۵۴۳	۱۶-۱-۳- ضمیمه ه - محاسبات دقیق برای روش ساده شده تحلیل ۳ طبقه با سیستم میرایی ویسکوالاستیک
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 ویسکوز خطی با استفاده از روش دوم استاتیک غیرخطی FEMA 274
۶۰۹	۱۹-۱-۳- بخش ۱۰ - منابع و مأخذ
۶۱۵	۴- طراحی و مدل سازی در ETABS و SAP2000
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 رساندیم. برای تهیه ی این اثر در مراحل گردآوری منابع، ترجمه و تدوین مطالب تلاش های زیادی انجام شده و سعی بر این بوده تا این اثر بتواند با کمترین نقص و به شکل کامل مباحث مرتبط با بحث استهلاک انرژی توسط میراگرها را ارائه دهد. مطالب این کتاب جنبه های تئوری و کاربردی را پوشش می دهد و شاید کمتر اثری در این زمینه موجود باشد که دارای چنین جامعیتی باشد. سعی بر آن بوده که مطالب تئوری با مضامین طراحی و مباحث اجرایی در هم آمیخته شود تا برای تمامی مهندسين و محققين قابل استفاده باشد. توصیه می شود 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 می باشد:

- ۱- قسمت آیین نامه : شامل استانداردهای ATC, FEMA, IBC, IRAN, NZS, SEAOC, UBC.
 - ۲- قسمت کتب تکمیلی : شامل ۲۴ عدد کتاب و هندبوک.
 - ۳- قسمت فیلم : فیلم های NEES، مجموعه سخنرانی پروفیسور Kelly و مجموعه ای بی نظیر از فیلم های انواع میراگرها.
 - ۴- قسمت نرم افزار : در دو بخش نرم افزار های 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 فایل های مربوطه آورده شده است. با توجه به محتویات موجود در DVD، خوانندگان عزیز بدون نیاز به صرف زمان و هزینه زیاد می توانند اطلاعات جامعی از تئوری رفتار میراگرها 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 پیشرفت های علم تحلیل سازه ها، مهندسی مواد و پیشرفت های نرم افزاری، فن آوری استفاده از میراگرها در تقویت رفتار لرزه ای سازه ها نیز رو به پیشرفت و گسترش می باشد. هر روز میراگرهای جدیدی ارائه می شوند و تحقیقات در این زمینه ادامه می یابد. بنابراین، تهیه ی کتابی که بتواند تمام موضوعات مرتبط با این فن آوری را در بر گیرد، کار بسیار مشکلی به نظر می رسد. با این حال، سعی شده تا حد امکان کتابی که ارائه می شود بتواند تمام نیازهای مهندسين را در این زمینه پاسخگو باشد. در این کتاب آخرین پیشرفت ها در صنعت میراگرها 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 مهندسی 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 یوفالو، 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 .

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

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

۸- انواع میراگر ها و جزئیات اجرایی مربوطه

۹- دیکشنری تخصصی میراگرها با بیش 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 آیین نامه های معتبر، نرم افزارها و سایر مطالب تکمیلی در این مجموعه گنجانده شده تا خوانندگان از مطالعه ی سایر منابع در این زمینه تا حدی بی نیاز باشند. کتاب دیگری که در بحث کنترل غیرفعال سازه ها تحت عنوان "راهنمای جامع طراحی جداساز لرزه ای" (ترجمه و گردآوری شده توسط همین مولف) انتشار یافته، می تواند در بحث کنترل 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 شالوده ی 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 دهند. مباحث مهمی نظیر سیستم های دوگانه از جمله مباحثی است که در این کتاب بدان پرداخته شده است. کتاب ارائه شده توسط MCEER از جنبه ی 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 مهندسیان و علاقه مندان به این فن آوری قادر به استفاده از آن باشند. همچنین تلاش شده تا این اثر نیاز مهندسیان طراح، مجریان و محققین را به میزان زیادی پاسخگو باشد. مباحث ویژه نظیر استفاده از میراگرها در سازه هایی نظیر 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 ی اغماض نگریسته و ما را در راه تکمیل این اثر در چاپ های بعدی یاری دهند. در نسخه ی 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 ی 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 دهند.

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

پروفسور Constantinou و Soong 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 مهندسی زلزله کشور قدر چنین مهندس بزرگواری را بدانند.

در آخر از خانم 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 دوستت دارم.

کتابچه راهنمای شرکت هلمز

۱. میرایی در سازه و استهلاک انرژی

مقدمه

مطالب 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.

مطالب 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 قبال 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 کنترل غیرفعال لرزه ای سازه ها می باشند. وسایل مستهلک کننده ی انرژی (میراگرها) از انواع دیگر سیستم های کنترل 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 ی مناسبی باشد. بنابراین، استفاده از میراگرها، زمینه ی 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 ی طراحی و اجرای جداگرهای 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 کننده ی میرایی از طریق شرکت های وابسته.

به عنوان مثال شرکت ابزارآلات هولمز به تازگی یک میراگر مهاری تسلیم شونده ی پیشرفته را ارائه کرده است. همچنین شرکت کامپوزیت های هولمز، میراگرهای ویسکوالاستیک را تأمین می کند.

معرفی گروه مشاوره هولمز.

به عنوان نمونه شرکت هولمز کولی (Holmes Cully) با داشتن متخصصانی شناخته شده، در بخش ارائه ی خدمات تحلیل، طراحی و تنظیم اسناد در زمینه های مختلف (شامل میرایی درون سازه ای و استهلاک انرژی) فعال می باشد.

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 پیشرفت ها در تکنولوژی کاربرد میراگرها

برای اینکه بتوانیم ابزارهای مختلف سازه ای را اجرا کنیم، باید روش های تحلیل خود را متناسب با نیازها و قوانین جدید تصحیح و به روز کنیم. استفاده از روش های طراحی معماری جدید به منظور سهولت در اجرای سیستم های سازه ای مختلف .

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

هدف ما از معرفی این بخش، ارائه ی یک منبع جامع برای تحلیل و طراحی میراگرها می باشد. در این بخش سعی شده برای همه ی روش های طراحی ارائه شده توضیحات به صورت کامل بیان شود. البته این کار یک فرآیند ادامه دار است و همگام با پیشرفت هایی که صورت می گیرد، در مطالب این بخش بازنگری هایی صورت خواهد گرفت.

۱-۲ شرح کلی بخش

تا کنون مجموعه ای 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 آزمایش های 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 میراگرها برای بازه ی محدودی از سازه ها ارزیابی شود.

در حال حاضر، توصیه ها و راهنمایی های موجود در این بخش قطعی و نهایی نیستند، بلکه به نوعی ارائه ی مطالب گذشته هستند که در کنار آن تفسیر ما از مشخصات و نحوه ی استفاده

از میراگرهای موجود در بازار کنونی نیز گنجانده شده است.

۳-۱ مطالعات گذشته

سیستم میرایی درون سازه ای (استهلاک انرژی) در برگیرنده ی کلیه ی المان های استفاده شده برای کاهش حرکات سازه ها تحت بارهای جانبی و زلزله می باشد. در این استراتژی، بر خلاف سایر روش هایی که هدفشان افزایش ظرفیت باربری سازه می باشد، سعی می شود تقاضای سازه کاهش یابد.

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

در روش های معمول در مهندسی سازه سعی بر آن است که با افزایش ظرفیت سازه معیار مذکور تأمین شود. اما در روش کنترل غیرفعال، نوع دیگری از روش کنترل سازه به کار گرفته می شود و کاهش میزان تقاضای سازه مد نظر قرار می گیرد.

نکته: اصطلاح "تقاضا" به تلاش ها و کنش هایی گفته می شود که سازه آن ها را تجربه می کند. میزان تقاضا در کنار ویژگی های مربوط به بارهای اعمالی، به مشخصات مکانیکی سازه نیز مستقیماً بستگی دارد.

استهلاک انرژی تکنولوژی جدیدی نیست و به کارگیری آن در برخی از وسایل، از دهه ی ۱۹۷۰ رواج یافته است. با این وجود، میزان استفاده از این وسایل در کاربردهای مهندسی سازه بسیار اندک بوده است. می توان گفت مقاله ی تکنولوژی جدید (state of the art) که در سمینار سال ۱۹۹۳، ATC-17-1 ارائه شد، هنوز می تواند به عنوان یک منبع امروزی، مورد استفاده قرار گیرد.

از دیدگاه سخت افزاری، وسایل کاهش آثار زلزله به سه دسته ی جداسازی لرزه ای، استهلاک انرژی غیر فعال و کنترل فعال تقسیم بندی می شوند. در این بخش بحثی از جداسازی و کنترل فعال سازه ها به میان نیامده است.

موضوع مورد بحث در این بخش استهلاک انرژی به صورت غیرفعال می باشد. در این بخش چهار گروه عمده از وسایل وجود دارند که شامل موارد زیر می باشند:

میراگرهای فلزی تسلیم شونده نظیر کنسول های فولادی، مهارهای تسلیم شونده و میراگرهای حاوی سرب میانی.

در این وسایل، نیرو وابسته به جابجایی می باشد و استهلاک انرژی از طریق تسلیم هیسترسیس انجام می شود.

وسایل اصطکاکی نظیر بالشتک 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 ی 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 ی سیال صورت می گیرد.

میراگرهای ویسکوالاستیک

این وسایل (نظیر محصول ارائه شده توسط 3M) به شکل یک همبسیار 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 ی 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 ی مصالح تأمین می گردد.

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

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

برخی از ابزارهای جدید به رغم این که امیدهای زیادی را در زمینه ی 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 پرمقاومت

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 ی مخصوص اشاره نمود. همه ی 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.

۴-۱ شرکت های فعال در بازار میراگرها

می توان گفت به لحاظ جنبه ی تحقیقاتی، بحث استهلاک غیرفعال انرژی در سال ۱۹۷۰ توسعه یافت، در اوایل ۱۹۹۰ به نقطه ی 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 ی ۱۹۹۰ از بازار میراگرها خارج شد.

آقای راجر اسکول که شرکت "ضد زلزله" (CounterQuake) را بنیان نهاد و روی میراگرهای فلزی تسلیم شونده ی 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 موردی را نیز منتشر نموده است.

شرکت ابزارآلات تیلور

این شرکت آمریکایی سازنده ی میراگرهای ویسکوز سیال می باشد. این میراگرها در صنایع نظامی نظیر محافظت از سیلوهای انبار موشک و ارسترهای هواپیما استفاده می شوند. ساخت این وسایل بسیار پر هزینه می باشد. در این زمینه یک تولید کننده ی دیگر به نام اینداین 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 ی مقالات در کنفرانس ها، حضور پررنگی در بازار میراگرها نداشته اند.

شرکت های S.E.

شهرت آن ها به دلیل پیشگام بودن در پذیرش تکنولوژی استفاده از میرگرها می باشد. از این گروه، می توان مشاورین گری هارت، نیبه یوسف و شرکت های وابسته را نام برد. مطرح شدن مباحث دانشگاهی و علمی رایج در دهه ی ۱۹۸۰، توجه آن ها را از جداسازهای پایه به سمت استهلاک انرژی غیرفعال معطوف کرد. در ادامه و در دهه ی ۱۹۹۰، آنها تکنولوژی کنترل غیرفعال را تکامل یافته پنداشته و به سمت تکنولوژی کنترل فعال حرکت کردند. آنها در زمینه ی کنترل فعال نیز هیچ محصول تکنولوژیک و توسعه یافته ای که توسط مهندسين 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 خلأ را پر کنند.

۱-۵ این تکنولوژی چه مقدار مفید است؟

اگرچه جداسازی لرزه ای زیرمجموعه ی 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. نحوه ی 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 کاهش دهد. برای سازه ای که با میرایی درون سازه ای تقویت شده است، تمام انرژی زلزله وارد سیستم ترکیبی شده و متناسب با مشخصات هر یک از اجزاء (سیستم سازه ای و ابزارهای استهلاک انرژی) توسط آنها مستهلک 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 مسئله ی 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 تغییرشکل 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 کارایی خاصی ندارند.

طراحی سیستم میرایی درون سازه ای فرآیند مشکلی می باشد و تنها برای بازه ی 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 سازه ی خاص مناسب است یا نه؟ یکی از اهداف مطالب مطرح شده در این راهنما، 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 پروژه ی خاص مطالعه ی مکان سنجی انجام شود.

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

میراگرهای هیسترتیک اغلب با المان های سازه ای ادغام می شوند و در برخی موارد تمییز 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 مهندسين 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 جامعه ی مهندسی چندان رواج ندارد. موانعی که برای تحلیل تاریخچه زمانی (خصوصاً در مورد میراگرهای درون سازه ای) وجود دارد، ملزومات سخت گیرانه ی آیین نامه ای، 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 وسیله ی خاص یا مجموعه ای از وسایل نصب شده در یک طبقه یا یک دهانه ی قاب مربوط می شود. به عبارت دیگر، توزیع میراگرها در سازه و انتخاب مشخصات مصالح (نظیر جرم، سختی و پریود) عمدتاً در این برنامه ها جای ندارند.

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

در حال حاضر مهندسین طراح هیچ نقطه ی شروع دقیق و مشخصی برای فرآیند تعیین نوع وسیله و مشخصات آن در اختیار ندارند. حتی برای ارزیابی این موضوع که آیا میرایی درون سازه ای 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 راهنما می 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 سازنده ی 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 نامه ای، 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 ANSR-L, ModelA, ProcessA, ETABS, SAP 2000) ابزار مناسبی برای انجام روش های تحلیل NSP و NDP را فراهم می آورند. برنامه ی تحلیلی ANSR-L شامل انواع المان هایی می باشد که برای مدل سازی میراگرها (مهارهای تسلیم شونده و میراگرهای میراکننده های ویسکوز) کاربرد دارند. در طراحی میراگرها برخی از مسائل فنی وجود دارد که قبل از انجام تحلیل و طراحی سازه ی تقویت شده با همیراگرهای ویسکوز باید حل شوند. مدلی که برای مدلسازی برخی از انواع میراگرها مورد استفاده قرار می گیرد به شکل اتصال موازی یک میراکننده 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.

۸-۱ دامنه ی 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 ی 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 میراگرهای 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 ی روشهای 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 مبحث میرایی درون سازه ای در کنار تعداد انتخاب

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

فصل ۲ اصول میرایی درون سازه ای

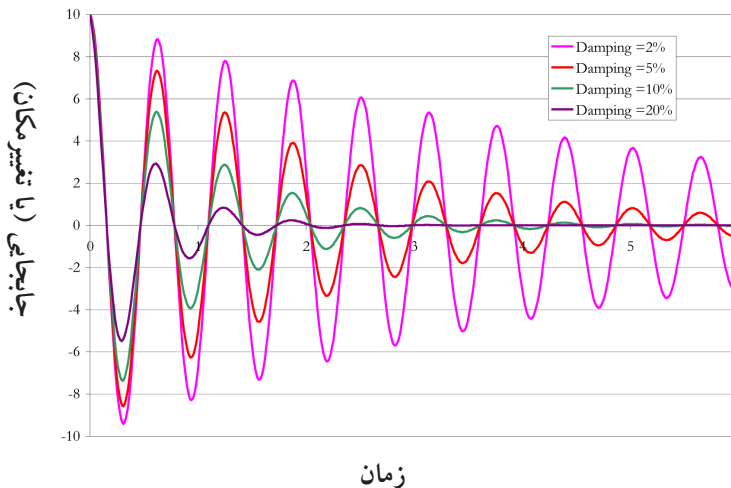
۲-۱ میرایی سازه ها

"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 ی 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 ببینید). میرایی ویسکوز (β) مطابق رابطه ی 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 ۲-۱ 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 تغییرشکل یافته، سازه بدون حرکت نوسانی به موقعیت سکون خود باز می گردد. میرایی بحرانی تابعی از سختی (k) و جرم (M) می باشد:

$$C_c = \sqrt{KM} \quad (2-2)$$

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 استهلاك 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 نظیر تسلیم مصالح به شکل "نسبت میرایی ویسکوز" استفاده می شود.

میرایی ویسکوز معادل β به شکل زیر تعریف می شود:

$$T_D = \frac{T}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (3-2)$$

در این رابطه W_D بیانگر استهلاك انرژی هیسترتیک (ناحیه ی سایه دار در شکل (۲-۲) و W_s بیانگر انرژی کرنشی (ناحیه ی هاشورخورده در شکل (۲-۲) می باشد.

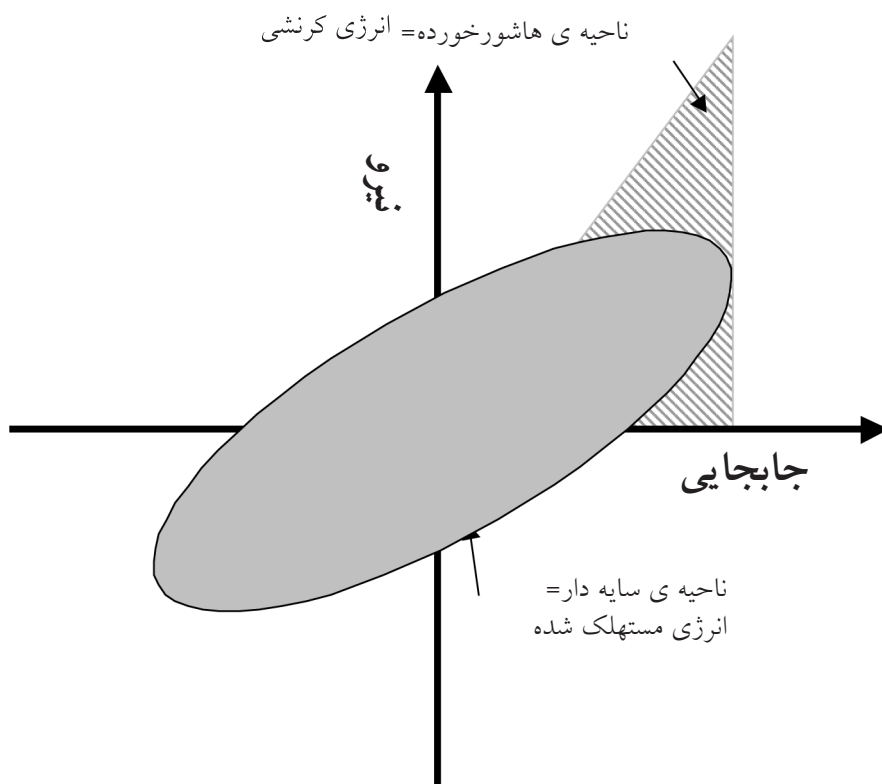
برای حالتی که مساحت حلقه ی هیسترسیس وسیله معلوم باشد، این فرمول یک روش ساده برای محاسبه ی میرایی ویسکوز معادل می باشد.

استفاده از این رابطه برای جداسازهای لرزه ای ساده است، زیرا انرژی کرنشی و انرژی مستهلک 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 ی 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 زلزله ی اعمال شده نیز بستگی دارد.

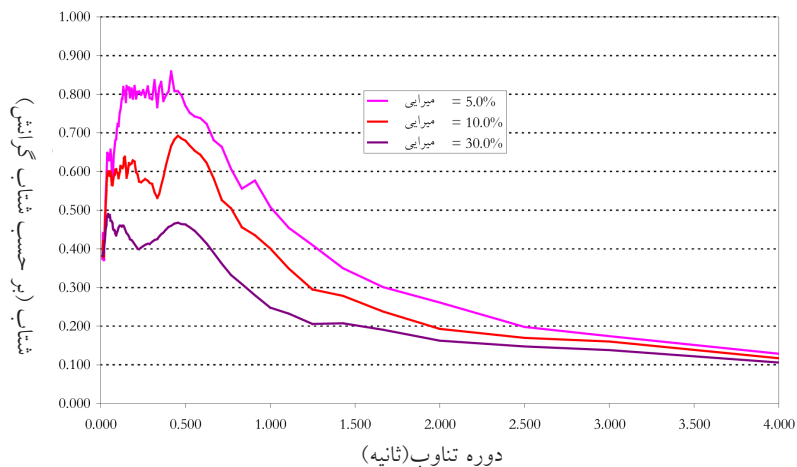
در پریود صفر ($T=0$)، میرایی هیچ اثری بر مقادیر طیف ندارد و مقدار طیف برابر بیشینه ی

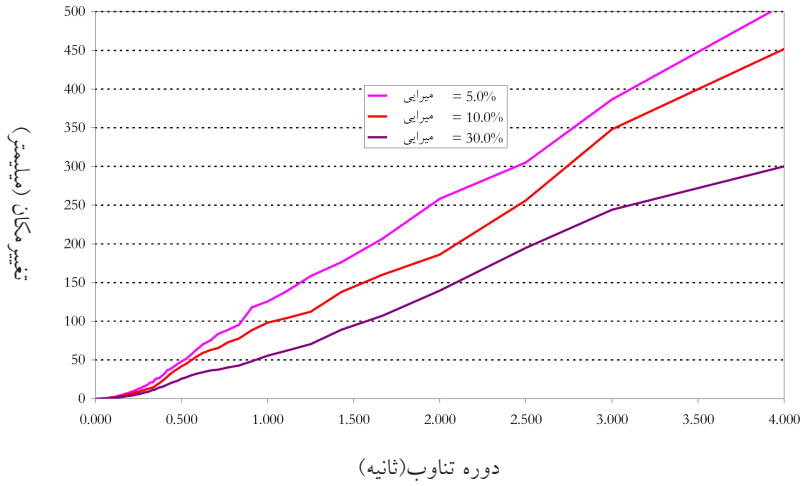
شتاب زمین می باشد. در پیوندهای بالا میرایی اثر نسبتاً کمی بر پاسخ شتاب دارد، ولی اثر آن بر جابجایی ها قابل ملاحظه است.

آیین نامه هایی نظیر UBC و FEMA، اثر میرایی را با استفاده از ضریب میرایی (B) تخمین می زنند. 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 Bs به منظور تنظیم طیف پاسخ برای پیوندهای پایین و B1 برای تنظیم پاسخ برای پیوند ۱ ثانیه ارائه شده است. ضریب Bs برای پیوندهای کمتر از T0 اعمال می شود. T0 پیوند مشخصه ی طیف پاسخ می باشد که محل برخورد ناحیه ی "شتاب ثابت" طیف با ناحیه ی "سرعت ثابت" طیف می باشد (شکل (۲-۴) ملاحظه شود). برای پیوندهای بزرگتر از T0، ضریب B1 به کار می رود.

جدول ۲-۱ ضرایب کاهش میرایی

میرایی مؤثر β از میرایی بحرانی %	Bs	B1
< 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 ۴-۲ طیف FEMA

