۲۸ دستهٔ مهندسی زلزله

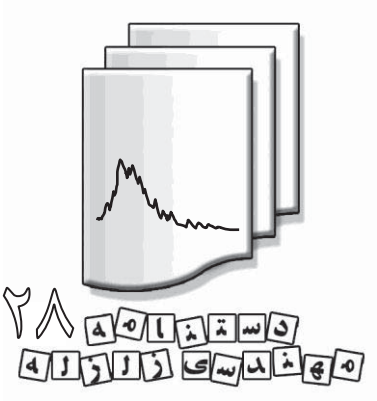
مقدمه‌ای بر کنترل سازه‌ها

(کاربرد جداسازها و میراگرها در طراحی و بهسازی لرزه‌ای)

محمدرضا تابش‌پور

(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)

به نام آن که جان را فکرت آموخت



مقدمه‌ای بر کنترل سازه‌ها

(کاربرد میراگرها و جداسازها در طراحی و بهسازی لرزه‌ای)

گردآوری:

دکتر محمدرضا تابش‌پور

(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)

فدک ایساتیس

تقدیم به:

جان باختگان زلزله های ایران

سخن مؤلف

سال ۷۶ موضوع پایان‌نامه کارشناسی خود را با عنوان «خواص مکانیکی و فیزیکی پلیمرها و لاستیک‌های مورد استفاده در ایزولاسیون لرزه‌ای پایه» انتخاب کردم و بسیار علاقمند بودم در خصوص طراحی و ساخت جداسازها و میراگرها فعالیت کنم. در دانشکده مهندسی شیمی و نیز متالورژی حدود یک سال وقت صرف کردم و اطلاعات مفیدی کسب کردم. بعدها نیز در چند مرحله تصمیم به اقداماتی گرفتم ولی به دلایلی منصرف می‌شدم. بعد از ورود به مقطع دکتری نیز چندین پایان‌نامه کارشناسی ارشد در خصوص میراگرها تعریف کردم که بیشتر در راستای نیازهای بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود بود. در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ دوره‌های متعددی در نقاط مختلف کشور برای معرفی این سیستم‌ها برگزار کردیم که یکی از مهم‌ترین آنها در سال ۱۳۸۴ و در کرمان بود. در بخش‌های مهندسی چند وزارتخانه نیز دوره‌های آموزشی متعددی برگزار کردیم.

در آن اوایل حتی برخی از افرادی که با جنبه‌های علمی موضوع نیز تا حدودی آشنا بودند و یا مدرس دانشگاه بودند نسبت به عملکرد این سیستم‌ها اظهار شک و تردید می‌کردند! خود این امر بسیار عجیب بود. در سال‌های ۱۳۸۳ به بعد دوست عزیزم دکتر پیمان رحمت‌آبادی به‌طور جدی و با اعتماد به این سیستم‌ها تلاش زیادی کرد تا ترویج و فرهنگ‌سازی شود. متأسفانه حدود ده سال طول کشید تا بالاخره مقاومت‌های موجود در جامعه مهندسی و کارفرمایی از بین رفت و بعدها گروه‌های مختلفی وارد این حوزه شدند. حتی این گروه‌ها نیز در اوایل راه خود با اینرسی و مقاومت بالای کارفرمایان و نیز جامعه مهندسی در این حوزه مواجه بودند. امروزه در مجموع می‌توان گفت هرچند فاصله داریم با میزان متناسب استفاده از این فناوری‌ها ولی باز هم تلاش-های امیدبخشی انجام شده است و باید با جدیت بیشتری نیز دنبال شود.

از همان اوایل شروع به کار کتب دستنامه زلزله، مطالب فراوانی در این زمینه گرداوری کردم تا در قالب یکی از این کتب تدوین و چاپ کنم. به دلیل نیازهای متعددی که در حوزه‌های دیگر احساس می‌کردم، برخی کتاب‌ها کندتر پیش رفت. در طول این چند سال برخی خوانندگان محترم درخواست‌هایی برای تسریع تدوین برخی کتب برنامه قبلی داشتند. در خصوص کتاب مرتبط با مباحث میراگر و جداساز، در حال حاضر تا تکمیل کتاب مورد نظر فاصله نسبتا زیادی هست، ولی می‌شود مطالب مرتبط ولی پراکنده‌ای که در چند کتاب از دوره دستنامه تاکنون چاپ شده است را کنار هم قرار داد تا افرادی که از این به بعد دنبال چنین مطالبی می‌گردند بخشی از این نیاز را ساده‌تر رفع کنند.

کتاب حاضر که ترکیبی از مطالب برخی کتب دستنامه است، به ترتیب شامل فصول زیر است:

۱-فصل دهم کتاب مبانی مهندسی زلزله (دستنامه ۳)

۲-فصل هشتم کتاب مهندسی زلزله پیشرفته (دستنامه ۴)

۳- مقاله با عنوان مقاوم‌سازی لرزه‌ای پل‌ها با استفاده از میراگرهای الحاقیارائه شده در دوازدهمین کنفرانس سراسری دانشجویان مهندسی عمران (آبان ۸۴)

http://dastnameh.mech.sharif.ir/wp-content/uploads/2015/07/Tabeshpour_MoqavemSazi-Larzeei-Pol_84-8.pdf

۴- گزیده فایل زیر:

Evaluation of Displacement-Based Analysis and DesignMethods for Steel Frames with Passive Energy Dissipators

M.S. Williams and F. Albermani

۵- فصل نهم کتاب تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها (داتتا)

۶- فصل پنجم کتاب مسائل مهندسی زلزله کاربردی (دستنامه ۷)

تولید و چاپ کتاب حاضر به دلیل پیگیری برخی از دوستان در خصوص تجمیع مطالب پراکنده در چند کتاب بود تا علاوه بر استفاده راحت‌تر، باعث ترویج و فرهنگ‌سازی بیشتر این فناوری‌ها در صنعت ساختمان کشور شود.

شاید مزیت این کتاب این باشد که در مجموع شامل دو بخش متفاوت است. بخش اول که بیشتر جنبه عمومی و کاربردی و مثال‌های متعدد استفاده از این سیستم‌ها را نشان می‌دهد و مخصوصا برای کارفرمایان و عموم مناسب است. بخش دوم جنبه علمی و محاسباتی دارد و برای دانشجویان و مهندسان مفید و قابل استفاده است.

از آقای مهندس پیمان رجاییان که در نمونه‌خوانی و ویرایش فصل چهارم کمک کردند و نیز قبلا فصل پنجم این کتاب را در قالب کتاب تحلیل لرزه‌ای با دقت ویرایش نمودند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

از مهندسان و صاحب‌نظران محترم صمیمانه تقاضا دارم که اینجانب را مورد منت قرار داده و نظرات و پیشنهادات خود را به اینجانب اطلاع دهند، تا مورد نظر قرار گیرد.

محمدرضا تابش‌پور

تهران، ۱۳۹۶

tabeshpour@yahoo.com

فهرست مطالب

فصل اول:
فناوری‌های کنترل ۱

۱.۱ مقدمه ۲
۲.۱ جداسازی لرزه‌ای ۲
۳.۱ میراگر ۱۰

فصل دوم:
معرفی میراگر و کاربرد آن در بهسازی لرزه‌ای ۱۵

۱.۲ مقدمه ۱۶
۲.۲ انواع میراگر ۱۷
۱.۲.۲ میراگر اصطکاکی ۱۷
۱.۱.۲.۲ میراگر اصطکاکی پال ۱۷
۲.۱.۲.۲ نیروی لغزش بادبند اصطکاکی ۱۸
۳.۱.۲.۲ میراگر اصطکاکی چرخشی ۱۹
۲.۲.۲ میراگر سیال لزج ۲۰
۳.۲.۲ میراگرهای فلزی ۲۳
۳.۲ مقایسه حلقه‌های چرخه‌ای انواع میراگر ۲۳
۴.۲ مقایسه میراگر اصطکاکی با میراگر سیال لزج ۲۴
۵.۲ معیار طراحی ۲۴
۶.۲ تحلیل دینامیکی غیرخطی ۲۴
۷.۲ موارد کاربردی ۲۵

فصل سوم:
بهسازی لرزه‌ای پل‌ها با استفاده از میراگرهای الحاقی ۴۰

۱.۳ مقدمه ۴۱
۲.۳ موارد کاربرد ۴۱
۳.۳ استفاده از میراگرهای سیال لزج در مقاوم‌سازی لرزه‌ای پل‌ها ۴۲
۱.۳.۳ پل Ok-Yeo ۴۴
۲.۳.۳ پل Chun-Su ۴۶
۳.۳.۳ پل E-Po ۴۷
۴.۳.۳ پل‌های Kang- Dong و Dong-Yun ۴۸

فصل چهارم:
مبانی تحلیل و طراحی ۵۰

۱.۴ مقدمه ۵۱
۲.۴ انتخاب انواع میراگر ۵۲
۳.۴ پارامترهای طراحی ۵۶
۱.۳.۴ طیف پاسخ ۵۶
۲.۳.۴ بررسی طیف‌های زلزله های مورد استفاده ۵۶
۴.۴ طراحی ساختمان ۵۷
۱.۴.۴ قاب خمشی ۵۷
۲.۴.۴ قاب های دارای میراگر ۵۷
۵.۴ روش‌های تحلیل و طراحی ۵۸
۱.۵.۴ مدل‌سازی سازه ۵۸
۲.۵.۴ مدل‌سازی میراگرها ۵۹
۳.۵.۴ روش‌های تحلیل پوش‌اور ۵۹
۱.۳.۵.۴ روش FEMA 356 ۶۱

۲.۳.۵.۴ روش پوش‌اور مودال ۶۲
۳.۳.۵.۴ روش طیف ظرفیت (ATC 40, 1996) ۶۳
۴.۳.۵.۴ نکاتی پیرامون استفاده از این روش‌ها ۶۵
۴.۵.۴ روش‌های طراحی ساده برای قاب‌های دارای میراگر ۶۶
۱.۴.۵.۴ روش گام به گام بر پایه تحلیل استاتیکی خطی ۶۶
۲.۴.۵.۴ روش میرایی لزج معادل ۶۷

فصل پنجم:
کنترل لرزه‌ای سازه‌ها ۶۸

۱.۵ مقدمه ۶۹
۲.۵ جداسازی لرزه‌ای ۷۰
۱.۲.۵ تکیه‌گاه لاستیکی چند لایه (*LRB*) ۷۰
۲.۲.۵ سیستم تکیه‌گاه نیوزلند ۷۲
۳.۲.۵ جداساز اصطکاکی فنری (*R – FBI*) ۷۴
۴.۲.۵ سیستم جداساز اصطکاکی خالص ۷۵
۵.۲.۵ تکیه‌گاه لغزشی الاستیک ۷۵
۶.۲.۵ سیستم پاندولی اصطکاکی (*FPS*) ۷۷
۳.۵ جداسازی‌های تکیه‌گاهی و مشخصات آن‌ها ۷۸
۱.۳.۵ طرح هندسی ۸۲
۴.۵ تحلیل ساختمان‌های دارای جداساز ۸۴
۱.۴.۵ تحلیل ساختمان‌های دارای جداساز با پی‌های جدا شده ۸۵
۲.۴.۵ روش حل ۸۸
۳.۴.۵ تحلیل ساختمان دارای جداساز با دال پایه ۹۲
۵.۵ طراحی ساختمان‌های دارای جداساز پایه ۱۰۰
۱.۵.۵ طراحی مقدماتی (طراحی جداساز و اندازه‌بندی اولیه سازه جداسازی شده) ۱۰۱
۲.۵.۵ تحلیل پاسخ سازه دارای جداساز ۱۰۴
۳.۵.۵ تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی ۱۰۵
۶.۵ میراگر جرمی تنظیم شده ۱۱۰

۱.۶.۵ تحلیل مودی کوپله ۱۱۷
۲.۶.۵ تحلیل مستقیم ۱۱۸
۳.۶.۵ تحلیل فضای حالت ۱۱۸
۷.۵ میراگرهای ویسکوالاستیک ۱۲۲
۱.۷.۵ مدل سازی میراگرهای ویسکوالاستیک ۱۲۲
۲.۷.۵ سیستم $MDOF$ با میراگر ویسکوالاستیک ۱۲۶
۳.۷.۵ روش شبه نیروی تکراری ($P-F$) ۱۲۹
۴.۷.۵ روش انرژی کرنشی مودی ۱۳۰
۵.۷.۵ حل فضای حالت ۱۳۲
۶.۷.۵ روش تحلیل طیف پاسخ ۱۳۶
۸.۵ کنترل سازه‌ای فعال ۱۳۷
۱.۸.۵ پایداری ۱۴۰
۲.۸.۵ کنترل‌پذیری و مشاهده پذیری ۱۴۱
۳.۸.۵ شاهد حالت یا ناظر وضعیت ۱۴۳
۹.۵ الگوریتم‌های کنترل فعال ۱۴۷
۱.۹.۵ تکنیک جانمایی قطب ۱۴۷
۲.۹.۵ کنترل بهینه خطی کلاسیک ۱۵۲
۳.۹.۵ کنترل بهینه لحظه‌ای ۱۵۸
۴.۹.۵ محدودیت‌های عملی ۱۶۰
۱۰.۵ کنترل نیمه‌فعال ۱۶۲
۱.۱۰.۵ وسایل کنترل نیمه‌فعال ۱۶۲
۲.۱۰.۵ الگوریتم‌های کنترل ۱۶۴

فصل ششم:

چند مسأله از کنترل سازه‌ها ۱۷۵

فناوری‌های کنترل

فصل ۱

۱.۱ مقدمه ۲
۲.۱ جداسازی لرزه‌ای ۲
۳.۱ میراگر ۱۰

۱.۱ مقدمه

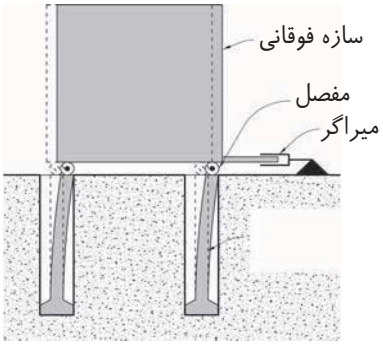
کلمات نوین یا جدید واژه‌های نسبی هستند. در مقایسه با گستره‌ی تاریخچـه‌ی معمـاری، تمـام نظام مهندسی زلزله می‌تواند به‌صورت «جدید» مورد توجه قرار گیرد. رویکرد طرح ظرفیـت، کـه مهندسان سازه را قادر می‌سازد تا سازه‌های مقاوم در برابر فروریزش را طراحی کنند فقط به سـی سال قبل برمی‌گردد. در راستای اهداف این فصل، لغت جدید (نوین) در مورد پیشرفت‌هایی به‌کار می‌رود که کم‌تر از بیست سال از ظهور آن‌ها می‌گذرد.

یکی از نکات مهم درخصوص اجزای غیرسازه‌ای این است که هم باعث خسارت به سازه می‌شود و هم با ایجاد وقفه در کارکرد سازه، هزینه‌ی جانبی بزرگی را ایجاد می‌کند.

انواع فناوری‌های مقاوم لرزه‌ای در این فصل مطرح می‌شوند که شامل طیف وسیعی هستند. ایـن فصل با جداسازی لرزه‌ای به‌عنوان رویکردی ساده اما متحول یافته به‌منظور غلبه بر زلزلـه، آغـاز شده و سپس بر دستگاه‌های جذب انرژی تمرکز دارد که اغلب به‌نام میراگرهـا شـناخته مـی‌شـوند. سپس، پیشرفت‌های اخیر در جلوگیری از خرابی مورد ملاحظه قرار مـی‌گیـرد. پـس از اشـاره بـه تقاضای روز افزون برای پیکربندی‌های سازه‌ای خلاقانه و قابل‌توجه جهت پتانسیل جذب انـرژی زلزله، دو رویکرد طراحی معرفی می‌شوند. یکی از آن دو که طراحی براسـاس عملکـرد اسـت بـه معماران بیش‌تر ارتباط دارد و پیش‌بینی مناسبی از خرابی‌ها و خسارات سـازه‌ای و غیرسـازه‌ای را ممکن می‌کند.

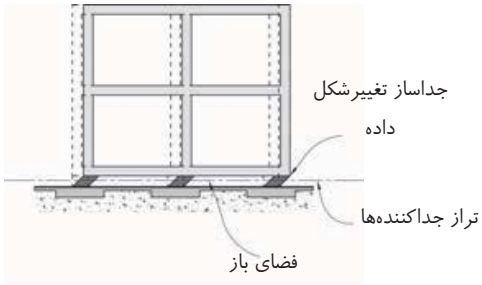
۲.۱ جداسازی لرزه‌ای

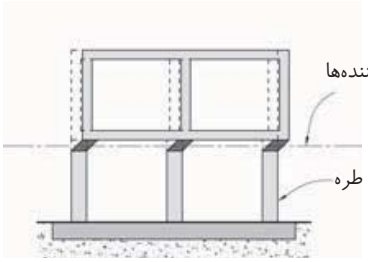
مفهوم جداسازی لرزه‌ای که اغلب، جداسازی پایه نامیده می‌شود، دارای قدمتی بیش از یک صـد سال است. اولین حق اختراع توسط فیزیکدان انگلیسی، در سال ۱۹۰۹ ثبت شد کـه پـودر تالـک (طلق) را به‌عنوان ابزار جداسازی دیوارهای باربر در پی‌هـا پیشـنهاد کـرد. البتـه از نظـر تـاریخی مواردی از اجرای جداسازی پایه در کشورهای ایران و چین اجرا شده است. اسـتفاده از جداسـازی



شکل ۶.۱
نمایش شماتیک سیستم جداساز پایه که شمع‌ها دارای انعطاف‌پذیری هستند.

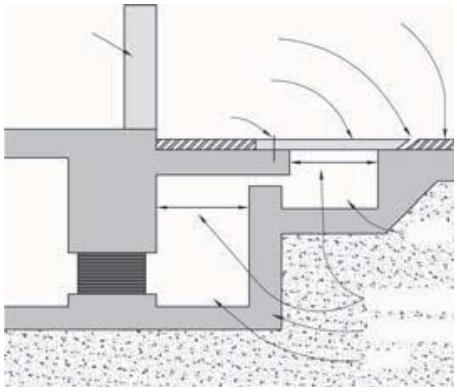
نما





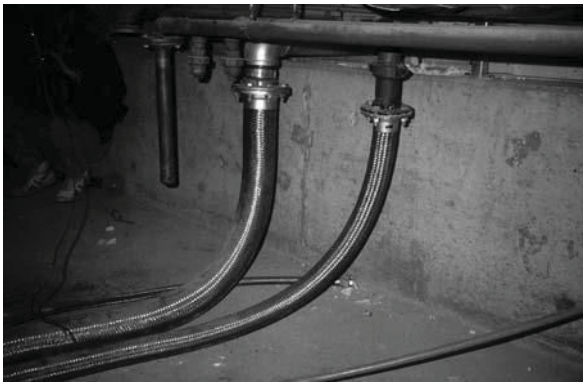
شکل ۷.۱ دو محل ممکن برای نصب جداساز

شکل ۸.۱
جداساز، سربی- لاستیکی بر روی ستون (بیمارستان، هند)



شکل ۹.۱
مقطع قسمت پیرامونی ساختمان دارای جداساز پایه

اتصالات تأسیسات یک ساختمان با جداساز نیز باید قابلیت حرکت نسبی را داشته باشند. لوله‌های گاز، آب و فاضلاب و کابل‌های برق و مخابرات نیازمند داشتن ظرفیت جهت تحمل حرکات طرح بدون پارگی و گسیختگی هستند (شکل ۱۰.۱). حتی چاه‌های آسانسور و چاله‌های آنان که در زیر طبقات هم‌کف هستند نیازمند جداشدن از زمین هستند.



شکل ۱۰.۱
سیستم لوله انعطاف‌پذیر در ساختمان جدانشده از پایه (ولینگتون)

جداسازی لرزه‌ای، گزینه‌ای عملی در ساختمان‌های جدید و ساختمان‌هایی است که نیازمند تقویت یا بهسازی لرزه‌ای هستند. تعدادی از ساختمان‌های بنایی با دیوار باربر دارای اهمیت تاریخی، در آمریکا و نیوزیلند با سیستم جداساز، بهسازی شده‌اند (اشکال ۱۱.۱ و ۱۲.۱). ممکن است جداساز لرزه‌ای به تنهایی برای تضمین عملکرد لرزه‌ای مناسب در بهسازی، ناکافی باشد و المان‌های سازه‌ای جدید نظیر قاب‌های مهاربندی شده یا دیوارهای برشی نیز نیاز شوند.

شکل ۱.۱۱
سیتی‌هال (سانفرانسیسکو)

شکل ۱.۱۲
ساختمان‌های مجلس (ولینگتون)

چندین ساختمان جدید به کمک جداساز لرزه‌ای، بهسازی شده‌اند. وقتی آشکار شد که ساختمان کتابخانه‌ی دانشگاه ویکتوریای ولینگتون حتی بعد از زلزله‌ی متوسط تا بزرگ به شدت دچار خسارت می‌شود، کتاب‌ها از بین می‌روند و کتابخانه تا چندین سال بدون استفاده باقی می‌ماند، تصمیمی به‌منظور بهبود مقاومت لرزه‌ای ساختمان گرفته شد (شکل ۱.۱۳).

شکل ۱.۱۳
زیر قسمتی از بالکن، تکیه‌گاه نصب شده است تا سیستم جداساز پایه نصب شود (کتابخانه،ولینگتون)

۱۵.۷.۲ هتل بیجینگ (چین)

هتل بیجینگ یک سازه ۸ طبقه با قاب بتن مسلح است که در آن ۷ میراگر لزج در راستای x و ۸ میراگر لزج در راستای y در هر طبقه اجرا شده است. کارایی میراگرهای استفاده شده در هتل بیجینگ در HIT تست شد و نمودار نیروی میراگر در مقابل جابه‌جایی آن در شکل ۳۰.۲ نشان داده شده است. ۱۴ میراگر فلزی به سازه متصل شده است که بر روی گسل قرار دارد و بزرگی شتاب حرکت زلزله ورودی به آن بزرگ‌تر از gal ۴۰۰ است تا به حال بیش از ۵۰ ساختمان با استفاده از دستگاه‌های استهلاک انرژی ساخته و یا بهسازی شده‌اند.

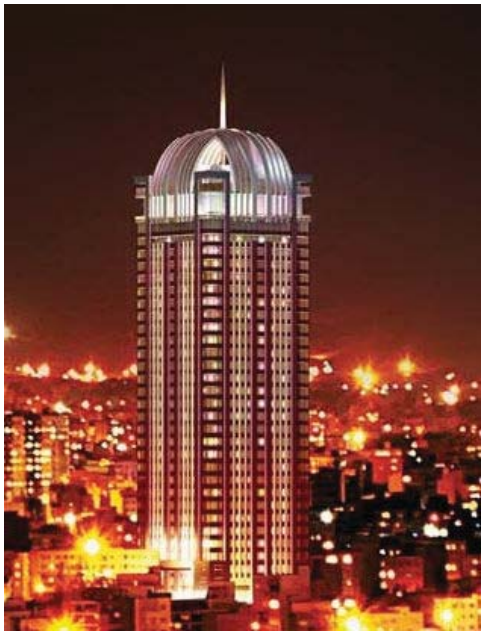
۱۶.۷.۲ چند مثال در داخل کشور (طراحی)

برج مرکز تجارت جهانی تبریز

ساختمانی در ایران که بر اساس یک الگوی ژاپنی در شهر تبریز در حال ساخت است. از آنجا که ارتفاع ساختمان مساوی ۱۵۴ متر است، علاوه بر نیروهای زلزله، بار باد نیز باید با دقت در طراحی لحاظ شود. میراگرهای ویسکوز برای کنترل ارتعاشات باد و زلزله، ابزار مناسبی هستند. قرار است در این ساختمان ۳۲ میراگر لزج با ظرفیت ۱۵۰ تن و استروک حدود ۱۱ سانتی‌متر به‌کار رود. این ساختمان به‌صورت سوپر فریم با هسته مرکزی ساخته شده است، که سیستم مناسبی برای نصب میراگر لزج است. در شکل ۳۱.۲ نمای معماری و نوع میراگر سازه این برج و در شکل ۳۲.۲ اجرای هسته مرکزی نشان داده شده است.

به‌عنوان یک توصیه کلی می‌توان گفت که در تعداد بیشتری از سازه‌های خاص در ایران باید از میراگر استفاده شود. امروزه قیمت مناسب و تعدد میراگرها زمینه را برای ورود به این زمینه حتی برای شرایط اقتصادی ساختمان در ایران، فراهم کرده است. در جدول ۱.۲ مشخصات برخی از ساختمان‌های طراحی شده با استفاده از میراگرها ارائه شده است.

شکل ۳۰.۲ هتل بیجینگ



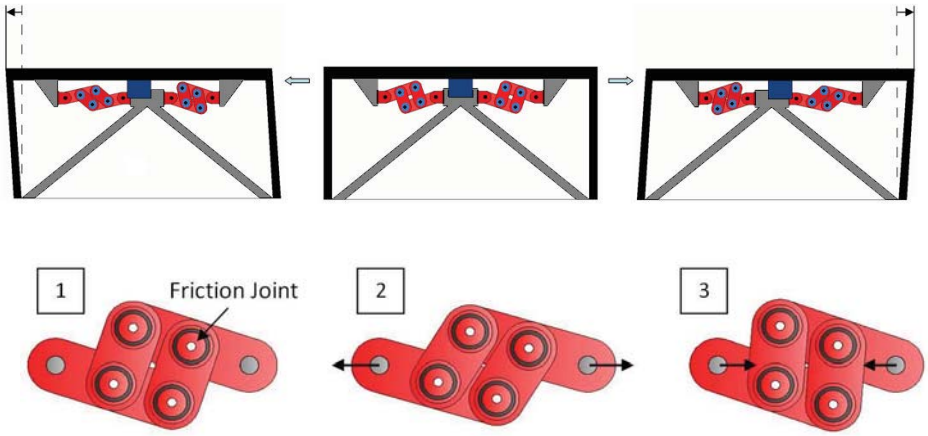
شکل ۳۱.۲ نمای معماری سازه و نوع میراگر مرکز تجارت جهانی تبریز

شکل ۳۲.۲ اجرای هسته مرکزی در مرکز تجارت جهانی تبریز

ساختمان بانک

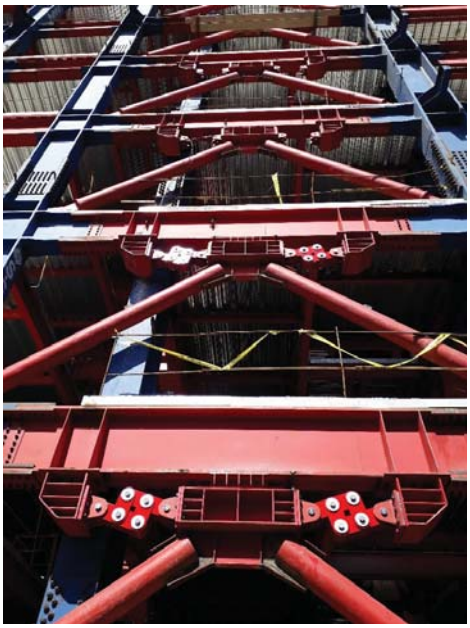
میراگرهای اصطکاکی – دورانی Damptech (معلا، ۱۹۹۹)، نسل جدید میراگرهای اصطکاکی می‌باشد که بر خلاف نمونه‌های انتقالی، رفتاری مبنی بر مکانیزم دورانی دارند. صفحه‌های فولادی میراگر توسط ورقه‌هایی از جنس پدهای اصطکاکی خاص، از یکدیگر جدا می‌شوند. پدهای بکار رفته باعث ایجاد رفتاری پایدار حتی در تعداد سیکل های بسیار زیاد می‌شود.

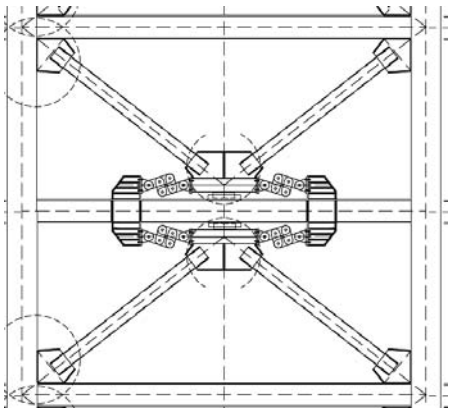
در این میراگرها زمانی که نیروهای خارجی به نیروی لغزش میراگر برسد ورقه‌های فولادی میراگر شروع به چرخش نسبت به یکدیگر کرده و به‌واسطه نیروی اصطکاکی ایجاد شده در پدها میرایی لازم تامین می‌گردد. شکل ۳۳.۲ نحوه عملکرد این میراگر تحت جابجایی های ایجاد شده در طبقات را نشان میدهد.



شکل ۳۳.۲ سازوکار میراگر اصطکاکی دورانی

بکارگیری این پدها، که با توصیه های اکید آیین نامه های اخیر مطابقت دارد، امکان بروز پدیده‌هایی مانند جوش سرد در دراز مدت و سایش در سطوح لغزش را که به عنوان یک نقیصه در سطوح اصطکاکی آبکاری شده (لغزش فلز روی فلز) مطرح است، از میان می‌برد. مزیت مهم دیگر آنکه عملکرد دورانی در این میراگر باعث محفوظ ماندن تمام سطح اصطکاک در طول عمر سازه شده و در نتیجه این سطوح شرایط ایدآل اولیه خود را در طول عمر خود حفظ می‌نمایند. جهت حفظ نیروی پیش تنیدگی در این میراگر از مکانیزم صفحات فنری نیز استفاده شده تا تغییرات نیرویی پیش تنیدگی در پیچ های این میراگر به حداقل برسد. با توجه به امکان تغییر در پارامترهای هندسی این نوع از میراگر، امکان تنظیم پارامترهای شکل چرخه هیسترزیس مانند سختی ثانویه مطابق با نظر طراح وجود دارد، که این امکان می‌تواند باعث ایجاد مزیت جبران بخشی از افت سختی سازه، ناشی از تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضا، در جابجایی‌های زیاد گردد. در شکل ۳۴.۲ نمونه‌ای از نحوه نصب این میراگرها نشان داده شده است.





نحوه ی نصب میراگرها بصورت شماتیک

شـکل ۳۴.۲ بکـارگیری میراگرهـای اصـطکاکی دورانـی در سـاختمان یـک بانـک در تهـران (تصـویر از شـرکت بهسازاندیشان تهران)

برج ۴۲ طبقه

استفاده از میراگرهای انرژی در طرح سازه‌های بلند مرتبه در سال‌های اخیر در کشور رواج یافته اسـت. نمونـه این ساختمانها که در حال حاضر بلندترین و بزرگترین ساختمان‌های دارای میراگر در کشور هستند در منطقـه ۲۲ تهران واقع شده است. این ساختمانهای ۴۲ طبقه حدود ۱۵۰ متر ارتفاع و هریک ۱۲۳۰۰۰ متر مربع بنـا دارند. سیستم سازه این برج‌ها مشتکل از قاب خمشی ویژه فولادی به علاوه میراگرهای اصطکاکی است کـه طراحی کامل توسط شرکت فن عمران پارس صورت گرفته است.

بنا بر اظهار شرکت طراح، گزینه قاب خمشی به علاوه میراگر در مقایسه با گزینه قاب خمشی تنها حـدود ۱۶ درصد کاهش هزینه اسکلت را در بر داشته است. در شکل ۳۵.۲ نمای سه بعدی این برج‌ها دیده می‌شود.

الف) برج مرجان، شامل ۵۰۴ میراگر اصطکاکی

ب) برج توسن، شامل ۴۹۲ میراگر اصطکاکی

شکل ۳۵.۲ برج‌های ۴۲ طبقه فولادی با میراگر (تصویر از شرکت فن عمران پارس)

جدول ۱.۲ مشخصات برخی از ساختمان‌های طراحی شده با استفاده از میراگرها

نام ساختمان	محل	سال	طراح	زیر بنا m^2	طبقات: زیر زمین	طبقات: بالای زمین	توضیحات
Shinsaibashi Toyo Building	اوساکا	۱۹۹۴	Takenaka Corporation	۲۷۰۲۵	۳	۱۲	میراگر لزج
Hakata Sea Hawk Hotel	فوکواوکا	۱۹۹۵	Takenaka Corporation	۱۳۸۱۵۵	۲	۳۶	میراگر لزج
Atami Korakuen Hotel	شیزواوکا	۱۹۹۶	Takenaka Corporation	۲۶۴۲۱	۰	۱۹	میراگر اصطکاکی
Dainihoninsatsu Ichigaya Main Office	توکیو	۱۹۹۸	Takenaka Corporation	۱۶۵۷۰	۲	۱۰	میراگر لزج
Improvement Project for Meiji University Surugadai District	توکیو	۱۹۹۸	Nikken Sekkei	۵۹۰۶۸	۲	۲۳	میراگر فلزی

فصل ۳

بهسازی لرزه‌ای پل‌ها با استفاده از میراگرهای الحاقی

مقدمه ۳۹

موارد کاربرد ۳۹

استفاده از میراگرهای سیال لزج در مقاوم‌سازی لرزه‌ای پل‌ها ۴۰

۱.۳.۳ پل *Ok-Yeo* ۴۲

۲.۳.۳ پل *Chun-Su* ۴۴

۳.۳.۳ پل *E-Po* ۴۵

۴.۳.۳ پل‌های *Kang- Dong* و *Dong-Yun* ۴۶

$$d = ۰/۳۲m,\ d = ۰/۵۰m$$

$$A = ۰/۱۹۶m^۲$$

ضخامت یک لایه: $S = \frac{d^۲/۴}{\pi dt} = \frac{d}{۴t}, t = ۱/۲۵cm$

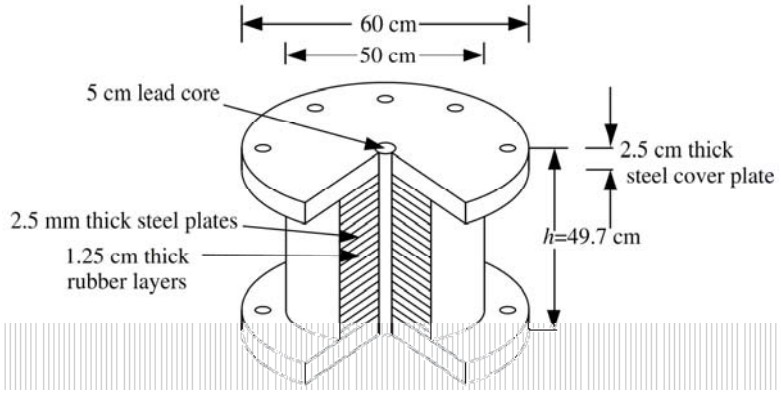
تعداد لایه‌ها: $N = H/t = ۲۹/۸ \ , N = ۳۰$

ضخامت ورق فولادی : $t_s \geq \frac{۲(t_i + t_{i+۱})(DL + LL)}{A_{re}F_s} \geq ۲mm$

که در آن $t_i, t_{i+۱}$ ضخامت لایه لاستیک در بالا و پایین ورق فولادی هستند. از مقدار $t_s = ۲/۵mm$ استفاده می‌کنیم. ارتفاع کلی جداساز برابر است با:

$$h = H + N \times t_s + ۲ \text{ (ضخامت ورق روکش)} = ۴۱/۴۹cm$$

قطر ورق روکش $۶۰cm >$ قطر هسته لاستیکی ($۵۰cm$) است. طبق طرح فوق، ابعاد نهایی اجزای مختلف جداساز در شکل ۱۲.۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲.۵ ابعاد طراحی جداساز تکیه‌گاهی با هسته سربی

۴.۵ تحلیل ساختمان‌های دارای جداساز

برای تحلیل ساختمان‌های دارای جداساز، دو نوع جداساز زیر مدنظر قرار می‌گیرند. جداساز پایه در پی‌های جدا شده (شکل ۱۳.۵) و جداساز دارای یک دال پایه (شکل ۱۴.۵ الف). برای جداسازی در پی، انتهای ستون به‌صورت شکل ۱۳.۵ الف ایده‌آل‌سازی می‌شود. فنرهای غیرخطی جانبی دارای رفتار نیرو- تغییر شکل تحت بار گذاری سیکلی است که شبیه به جداساز می‌باشد. در حالت جداسازی با یک پی گسترده

(۹۸.۵)

$$\left[(j\omega)^{۲}M+(j\omega)C+k\begin{bmatrix}\beta_{۱}+\beta_{۲} & -\beta_{۲}\\ -\beta_{۲} & \beta_{۲}\end{bmatrix}g_{۱}(\omega)+j\begin{bmatrix}\beta_{۱}+\beta_{۲} & -\beta_{۲}\\ -\beta_{۲} & \beta_{۲}\end{bmatrix}g_{۲}(\omega)\right]Y(j\omega)$$
$$=-MI_{۰}\ddot{x}_{g}(j\omega)$$

که در آن:

$$M=\begin{bmatrix}m_{۱} & ۰\\ ۰ & m_{۲}\end{bmatrix}\quad C=\begin{bmatrix}c_{۱}+c_{۲} & -c_{۲}\\ -c_{۲} & c_{۲}\end{bmatrix}\quad K=\begin{bmatrix}k_{۱}+k_{۲} & -k_{۲}\\ -k_{۲} & k_{۲}\end{bmatrix}\quad I_{۰}=\begin{bmatrix}۱\\ ۱\end{bmatrix}\quad \textbf{(۹۹.۵)}$$

اگر $\beta_{۲}/\beta_{۱}=k_{۲}/k_{۱}$ و c تناسب جرم و سختی باشد، این سیستم را می‌توان به دو معادله مودی غیرکوپله کرد. $\varphi_{۱}$ و $\varphi_{۲}$ نسبت به ماتریس جرم همسان می‌شوند و بنابراین برای $\beta_{۲}/\beta_{۱}=k_{۲}/k_{۱}$، معادلات زیر را داریم:

$$q_{i}(j\omega)=\frac{\varphi_{i}^{T}MI}{\Gamma_{ii}(j\omega)}\ddot{x}_{g}(j\omega)\qquad i=۱,۲\qquad \textbf{(۱۰۰.۵)}$$

$$\Gamma_{ii}(j\omega)=-\omega^{۲}+\omega_{i}^{۲}+\omega_{i}^{۲}\frac{\beta_{۱}}{k_{۱}}g_{۱}(\omega)+j\omega_{i}^{۲}\omega_{i}^{۲}\frac{\beta_{۱}}{k_{۱}}g_{۲}(\omega)\qquad i=۱,۲\quad \textbf{(۱۰۱.۵)}$$

وقتی ماتریس میرایی یا طرح مقاومت المان‌های ویسکوالاستیک سازه غیرکلاسیک است، $\Gamma(j\omega)$ قطری نیست و معادله کوپله $m\times m$ (معادله (۹۴.۵ الف)) را می‌توان حل کرد تا پاسخ y مستقیماً با چند روش تقریبی به‌دست آید. چند روش تقریبی [۱۰-۸]. برای حل معادله کوپله حرکت وجود دارند. در معادله (۹۴.۵ الف) به آن اشاره شده است. ساده‌ترین راه حل برای معادله (۹۴.۵ الف) را می‌توان با صرف‌نظر از درایه‌های غیرقطری معادلات حرکت کوپله و حل دستگاه معادلات غیرکوپله به‌دست آورد که برابر با تعداد مودهای در نظر گرفته در این تحلیل است. بنابراین دقت پاسخ به‌دست آمده به مقدار نسبی درایه‌های غیرقطری در معادلات کوپله حرکت بستگی دارد. در اینجا دو روش تقریبی روش شبه نیروی تکراری و روش انرژی کرنش ارائه می‌شوند که تخمین خوبی از پاسخ‌ها به‌دست می‌دهند. دلیل انتخاب این دو روش آن است که هر دو از فرکانس‌ها و شکل مود بدون میرایی استفاده می‌کنند و یک مجموعه از مجموعه معادلات غیرکوپله را حل می‌کنند که برابر تعداد مودها است.

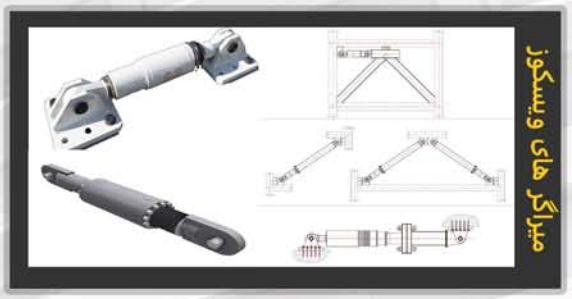
۳.۷.۵ روش شبه نیروی تکراری (گام به گام) ($P-F$)

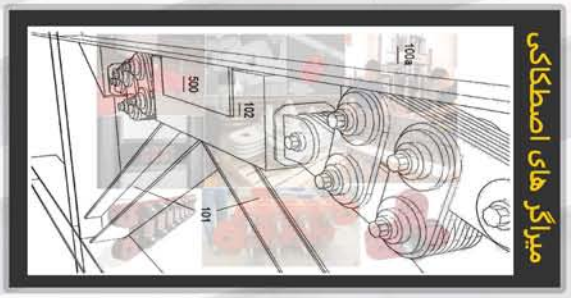
در این روش حل، کوپلینگ مودی درایه‌های قطری به‌عنوان یک شبه نیرو فرض و به سمت راست معادله (۹۴.۵ الف) انتقال می‌یابد. معادلات حرکت به روش تکرار حل می‌شوند و هر بار یک مجموعه از معادلات حرکت غیرکوپله حل می‌شوند در تکرار nام، معادلات حرکت زیر حل می‌شوند:

فن عمران پارس
Fan Omran Pars

شرکت «**فن عمران پارس**» با حضور جمعی از متخصصین سازه و زلزله که غالباً از فارغ‌التحصیلان دانشگاه صنعتی شریف هستند، در سال ۱۳۸۳ با موضوع طراحی و اجرای سیستم‌های مدرن جاذب انرژی و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در پروژه‌های مقاوم‌سازی و به موازات در احداث سازه‌های جدید تأسیس گردید. این شرکت به‌طور قطع یکی از مجموعه‌های پیشرو در زمینه‌ی تکنولوژی‌های مدرن کنترل ارتعاشات است. در طی بیش از یک دهه گذشته، بدنه‌ی تخصصی شرکت بیش از پیش تقویت و در پروژه‌های متعدد مقاوم‌سازی و طراحی سازه‌های خاص موفقیت‌های چشمگیری داشته است. در کاربرد فناوری های نوین از نظر اهمیت به ترتیب می توان طراحی حرفه ای، اجرای درست و تامین تجهیزات را به عنوان بخش های مختلف بر شمرد. طراحی دقیق، خلاقانه و اقتصادی با در نظر گرفتن همه ی ظرائف، مهمترین بخش از یک پروژه با بکارگیری سیستم های مدرن است.شرکت فن عمران پارس بنا بر گواه سوابق خود در این زمینه پیشرو است. در حال حاضر این شرکت خدمات ذیل را ارائه می‌نماید:

۱) طراحی، تهیه و اجرای سیستم‌های استهلاک انرژی و سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در سازه‌ها
۲) طراحی سازه‌های بلند با تکیه بر تجارب ارزشمند از پروژه‌های خود و نیز بهره‌گیری از تجارب سایر کشورهای پیشرو در این زمینه
۳) طراحی سازه‌های خاص
۴) طراحی و اجرای پروژه‌های مقاوم‌سازی با استفاده‌ی توأم از گزینه‌های سنتی و مدرن





www.fanomran.com
Info@fanomran.com
Tel: 021 88288315

Vibration Control

دانایی توانایی است
Knowledge is Power

نمونه هایی از پروژه های بلند مرتبه

کارفرما: تعاونی مسکن معاونت مهندسی نیروی دریایی ج.ا.ا
تعداد طبقات: ۴۲ طبقه | مساحت: ۱۲۳۰۰۰ متر مربع
سیستم سازه: قاب ویژه فولادی + ۵۰۴ میراگر اصطکاکی
ویژگی ها: بلندترین سازه مجهز به میراگر در کشور، مصرف بهینه فولاد

کارفرما: مشارکت شرکت توسن ساخت و تعاونی مسکن پدافند خاتم الانبیاء | تعداد طبقات: ۳۰ طبقه | مساحت: ۱۰۴۰۰۰ متر مربع
سیستم سازه: قاب ویژه فولادی + ۲۸۸ میراگر اصطکاکی
ویژگی ها: نصب میراگر با مهاربند دروازه ای، مصرف بهینه فولاد

کارفرما: تعاونی مسکن کارکنان نزاجا | تعداد طبقات: ۴۲ طبقه
مساحت: شامل ۴ برج هر یک به مساحت ۱۱۵۰۰۰ متر مربع
سیستم سازه: قاب ویژه + مهاربند ویژه فولادی
ویژگی ها: بهینه ترین سازه فولادی ۴۲ طبقه کشور

کارفرما: مشارکت شرکت توسن ساخت و تعاونی مسکن پدافند خاتم الانبیاء | تعداد طبقات: ۴۰ طبقه | مساحت: ۱۲۱۰۰۰ متر مربع
سیستم سازه: قاب ویژه فولادی + ۴۹۲ میراگر اصطکاکی
ویژگی ها: دومین سازه بلند مجهز به میراگر در کشور، مصرف بهینه فولاد

نمونه هایی از پروژه های بهسازی لرزه ای

ساختمان مرکزی دوم شرکت نفت | اسکلت بتن مسلح غیر شکل پذیر
طرح مقاوم سازی: اضافه کردن قاب پیرامونی فولادی به انضمام میراگرهای ویسکوز
خدمات: تحلیل و طراحی مقاوم سازی

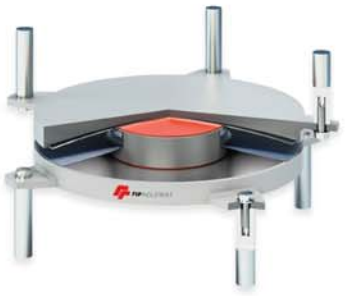
ساختمان اداری بیمارستان نوراقشار تهران | اسکلت قاب بتنی متوسط
طرح مقاوم سازی: اضافه کردن مهاربندهای همگرا
خدمات: تحلیل و طراحی مقاوم سازی

بهساز اندیشان تهران

B.A.T. Co.

FIP INDUSTRIALE
leading technologies

شرکت FIP ایتالیا
با بیش از ۷۰ سال تجربه و
اجرای صدها پروژه در سراسر دنیا
با استفاده از
انواع جداسازها و میراگرهای لرزه‌ای



تجهیز به جداسازهای اصطکاکی پاندولی

میراگرهای ویسکوز

جداسازهای لاستیکی- هسته سربی

نماینده انحصاری **DAMPTECH** دانمارک، **GERB** آلمان و **FIP** ایتالیا در ایران

www.BehsazAndishan.com
info@BehsazAndishan.com
Tel: 88799135 & 75

DAMPTECH
Earthquake Protection

میراگرهای اصطکاکی - دورانی

- ساخت سازه های جدید با مقاومت بالا در برابر زمین‌لرزه و مقاوم سازی سازه های موجود

- بکار رفته در بلندترین برج کشور ژاپن و پروژه های متعدد در دیگر کشورها از جمله در بزرگترین پروژه‌های ایران
- بدون نیاز به تعمیر و نگهداری
- موثرترین میراگر موجود در دنیا در جذب انرژی زلزله و کاهش جابجایی سازه

ساختمان مرکزی بانک گردشگری

ساختمان مرکزی بانک پاسارگاد

بیمارستان ۸۰۰ تختخوابی مهدی کلینیک

بهساز اندیشان تهران

B.A.T. Co.

GERB
Vibration Control Systems

کنترل ارتعاشات ناشی از خطوط ریلی

کنترل ارتعاشات تجهیزات نیروگاهی

میراگرهای جرمی (TMD) شرکت GERB
بکاررفته در برج العرب دبی

کنترل ارتعاشات کف‌های ساختمانی

کنترل ارتعاشات
ماشین‌آلات صنعتی

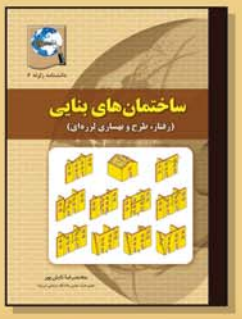
کنترل ارتعاشات پل‌ها

شرکت GERB آلمان
بیش از یک قرن سابقه در زمینه
کنترل ارتعاشات
اجرای بیش از هزار پروژه در سراسر دنیا

نماینده انحصاری DAMPTECH دانمارک، GERB آلمان و FIP ایتالیا در ایران

پایگاه علمی دستنامه: dastnameh.ir گروه تلگرامی دستنامه: @dastnameh فروشگاه اینترنتی: fadakbook.ir

پایگاه علمی دستنامه: dastnameh.ir گروه تلگرامی دستنامه: @dastnameh فروشگاه اینترنتی: fadakbook.ir



=

دستنامه ۱۳

+

دستنامه ۱۴

+

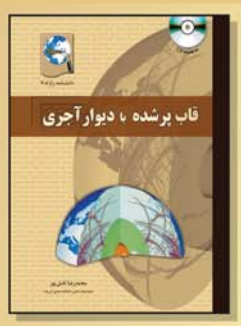
دستنامه ۱۵

+

دستنامه ۱۶

+

دستنامه ۱۷



=

دستنامه ۱۸

+

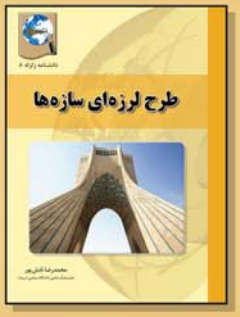
دستنامه ۱۹

+

دستنامه ۲۰

+

دستنامه ۲۱



=

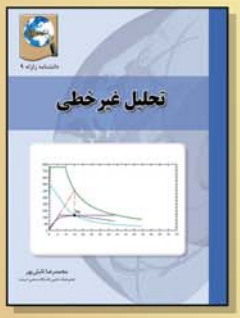
دستنامه ۲۲

+

دستنامه ۲۳

+

دستنامه ۲۴



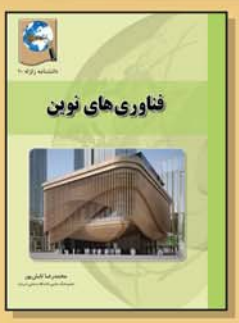
=

دستنامه ۲۵

+

دستنامه ۲۶

دستنامه ۲۷



=

دستنامه ۲۸

+

دستنامه ۲۹

دستنامه ۳۰