وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

**دانشگاه تفرش**

دانشکده مهندسی عمران

**پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران– سازه**

# بررسی کاربرد سیستم ترکیبی از بادبندی شورون– زانویی با پانل برشی بصورت سری در قابهای فولادی

**استاد راهنمای اوّل:**

دکتر سیّد مهدی زهرائی

**استاد راهنمای دوّم:**

دکتر محمّد قاسم سحاب

**دانشجو:**

امیرکورش وثوق

شهریور ۹۰

تاریخ : ۱۳۹۰/۸/
شماره : ۴۵۲۹/۱۹۲...
پیوست : .....

دانشگاه تفرش

مدیریت تحصیلات تکمیلی

# صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی : امیر کوروش وثوق  شماره دانشجویی : ۸۷۳۱۲۲۰۱۱  دانشکده : مهندسی عمران

رشته تحصیلی/گرایش : مهندسی عمران/ سازه

عنوان پروژه : کاربرد سیستم ترکیبی از بادبند شورن زانویی و پانل برشی بصورت سری جهت بهبود عملکرد لرزه ای قابهای فولادی

تعداد واحد : ۶  تاریخ تصویب : ۸۹/۰۱/۳۰  تاریخ دفاع : ۹۰/۰۶/۳۱

نمره نهایی : ۱۹/۲۵  به عدد : ۱۹/۲۵  به حروف : نوزده و بیست و پنج صدم

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| استاد راهنمای اول | دکتر سید مهدی زهرایی | دانشیار | دانشگاه تهران | |
| استاد راهنمای دوم | دکتر محمد قاسم سحاب | استادیار | دانشگاه تفرش | |
| داور خارجی | دکتر اردشیر دیلمی | استادیار | دانشگاه صنعتی امیر کبیر | |
| داور داخلی | دکتر افشین مصلحی تبار | استادیار | دانشگاه تفرش | |
| نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر افشین مصلحی تبار | استادیار | دانشگاه تفرش | |

رئیس دانشکده : دکتر محمد قاسم سحاب

اعضاء :

تاریخ : ۹۰/۷/۲۰

مهر :

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر حمید رضا دهقانپور

اعضاء :

تاریخ : ۹۰/۷/۲۰

مهر :

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که با همراهی پیوسته از بدو تولد و پشتیبانی

گرمشان در تک تک ثانیه ها در کسب موفقیت های

من بلندترین، سخت ترین و بی ادعاترین نقش را ایفا نمودند.

تقدیم به پدر بزرگ عزیزم دکتر هوشنگ وثوق

که در کمک به من در طول زندگی هیچ دریغ ننمود.

تقدیم به نامزد مهربانم

که در تمامی لحظه ها با

دلگرمی هایش مرا یاری نمود.

با تشکّر و قدردانی از استادان بزرگوار،

جناب آقای دکتر زهرائی که در مراحل انجام تز با عنایت به نکات کلیدی و راهگشای ایشان، پیشرفت کار محقق گردید و ارتقاء سطح فنی کار مرهون تجربیات و دقت‌نظر ایشان است.

جناب آقای دکتر سحاب که نه تنها در مدت زمان تکمیل تز بلکه در طول دوران تحصیل با صعه صدر به راهنمایی و هدایت بنده پرداخته‌اند.

# چکیده

زلزله‌های نرثریج (1994) و کوبه (1995) که از لحاظ معیارهای لرزه‌شناسی در درجه متوسط قرار می‌گیرند نشان داد که بسیاری از ساختمانها بدلیل آسیب‌دیدگی در اعضای اصلی دچار نابودی یا خسارتهای بسیار شدیدی شدند که اکثراً در اتصالات تیر به ستون تمرکز یافته بودند. در نتیجه توسعه در تولید و ساخت سیستم‌های جاذب انرژی مورد توجه بسیار واقع شد که خسارتها را به اعضای قابل تعویض (در اصطلاح فیوز) محدود نمود که یکی از این سیستم‌ها بادبندی زانویی [1] می‌باشد. سیستم بادبندی زانویی نوع اصلاح شده‌ي بادبندي واگرا [2] است که با اضافه کردن یک عضو زانویی ارتباط میان بادبند و اتصال تیر به ستون، قطع می‌گردد. در این حالت بادبند، عضو زانویی را به دو قسمت میان تیر و ستون تقسیم می‌نماید. عضو کلیدی این سیستم همان زانو می‌باشد که هم در سختی الاستیک و هم در شکل‌پذیری و میزان جذب انرژی ورودی نقش بسزائی را ایفا می‌کند. نوع دیگری از سیستم اتلاف انرژی، سیستم تیر پیوند قائم (یا پانل برشی [3] ) است که مکانیزم این سیستم نیز همانند بادبندی زانویی است و تفاوت تقریباً در شکل هندسی دو سیستم می‌باشد. در سیستم تیر پیوند قائم یک پروفیل فولادی ارتباط میان بادبندی جناغی [4] و میانه تیر را قطع می‌نماید. در این سیستم نیز عضو کلیدی تیر پیوند است که با جاری شدن فرآیند جذب انرژی را انجام می‌دهد. این دو سیستم به تنهایی می‌بایست بواسطه تغییرشکلهای غیرارتجاعی مکرّر (رفت و برگشتی) در اعضای کلیدی، شکل‌پذیری مطلوب را بدون ایجاد هیچگونه ناپایداری در سازه، تأمین کنند. در این پایان‌نامه ترکیب صحیح دو سیستم کارآمد مذکور بصورت سری در دو قاب یک طبقه و دو طبقه فولادي نشان داده شده است و رفتار و ظرفیت این سیستم مرکب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

طراحی و چیدمان بهینه قاب با سیستم مرکب مورد بررسی قرار گرفته است و دیده می‌شود که با اعمال شیب واحد به زانوها، می‌توان جاري شدن یکنواخت را در تمام سطوح ایجاد نمود. همچنین با بارگذاری شبه استاتیکی قاب با سیستم مرکب، منحنی هیسترزیس دو مرحله‌ای کاملی بدست می‌آید. بُرش موجود در تیر پیوند هنگام تسلیم حدود 50 کیلونیوتن و نیروی محوری فشاری 17 کیلونیوتن می‌باشد که آنچنان اثر سوء در رفتار تیر پیوند ندارد با افزایش دامنه بارگذاری اعضای زانویی نیز جاری می‌شوند. هنگام تسلیم زانو، نیروی برشی در مقطع آن برابر 82 کیلونیوتن و نیروی محوری 45 کیلونیوتن است. در انتهای تحقیق با اعمال شتاب زلزله به شالوده، تحلیل تاریخچه زمانی بر روی دو قاب یک و دو طبقه انجام گرفته است. نتایج حاصل مبین پتانسیل بالای استهلاک انرژی در سیستم ترکیبی در دو سطح کاملاً مجزا می‌باشد. با طراحی صحیح و جلوگیری از کمانش موضعی جان (ناشی از برش وارده) در میراگرها، می‌توان قبل از انهدام قاب میزان قابل توجهی از انرژی وارد به سازه را مستهلک نمود.

کلمات کلیدی: بادبندی زانویی- سیستم پانل برشی- تیر پیوند قائم- استهلاك انرژي

1 - knee bracing

2 - eccentrically bracing

3 - shear panel

4 - chevron bracing

فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل اوّل: کلیات** | |
| 1-1) شرح موضوع | 1 |
| 2-1) اهداف تحقیق | 2 |
| 3-1) لرزه‌خیزی ایران | 5 |
| 4-1) خواص دینامیکی سازه‌ها | 6 |
| 1-4-1) خواص طیف پاسخ | 6 |
| 2-4-1) تأثیر زمان تناوب و استهلاک سازه | 8 |
| 5-1) روند انجام کار | 9 |
| 6-1) معرفی فصول پایان‌نامه | 9 |
| **فصل دوّم: نگاهی بر اجرا و عملکرد سازه‌هاي فولادي** | |
| 1-2) مقدمه | 11 |
| 2-2) آسیبهای وارده به ساختمانهای فولادی در زلزله‌**هاي گذشته** | 12 |
| 1-2-2) زلزله منجیل | 12 |
| 2-2-2) زلزله چنگوره- آوج | 16 |
| 3-2-2) زلزله بم | 17 |
| 4-2-2) زلزله نورثریج | 20 |

2-2-5) زلزله کوبه 22
2-3) بررسی اشکالات و ضعف‌های اجرایی در سازه‌هاي فولادي 23
2-3-1) پی‌ها و شناژها 24
2-3-2) اتصال ستونها به پی‌ها 24
2-3-3) ستونها 25
2-3-4) تیرها 27
2-3-5) اتصال تیر به ستون و تیر به تیر 28
2-3-6) سیستم باربر جانبی 30
2-3-7) مهاربندي در قاب 30
2-3-8) فرآیند جوش 33
2-3-9) سیستم سقف 33
2-3-10) دیوارهای داخلی و پیرامونی 34
2-3-11) راه‌پله 34
2-3-12) جمع‌بندي مطالب 35

**فصل سوّم: رویکردها در طراحی لرزه‌اي سازه**

3-1) مقدمه 36
3-2) استراتژي‌های مختلف در طراحی لرزه‌اي 37
3-2-1) جداسازي ساختمان از زمین 37
3-2-2) روشهای کنترل فعال 39
3-2-3) جذب کننده‌های تنظیم شونده‌ي ارتعاش 40

4-2-3) میراگرهای مستهلک کننده انرژی 41

3-3) معرفی سیستمهای غیرفعال 42

1-3-3) **مقدمه** 42

2-3-3) میراگرهای اصطکاکی، ویسکو- الاستیک جامد و ویسکوز مایع 42

1-2-3-3) میراگرهای ویسکو- الاستیک جامد 42

2-2-3-3) میراگرهای ویسکوز مایع 45

3-2-3-3) میراگرهای اصطکاکی 45

3-3-3) میراگرهای جاری**شونده فلزي** 48

1-3-3-3) سیستم بادبندی فولادی جاری**شونده** 48

2-3-3-3) میراگر اضافه‌کننده سختی و میرایی 49

3-3-3-3) میراگر صفحه مثلثی اضافه‌کننده سختی و میرایی 50

4-3-3-3) قاب خمشی 51

5-3-3-3) سیستم بادبندی واگرا 54

6-3-3-3) سیستم بادبندی کمانش‌ناپذیر 55

4-3-3) میراگرهای تولید شده از آلیاژهای حافظه‌**دار** 55

5-3-3) میراگرهای سربی 57

**فصل چهارم: کاربرد سیستم‌های واگرای بادبندی زانویی و پانل برشی**

1-4) **مقدمه** 60

2-4) معرفی سیستم KBF 61

3-4) تحقیقات انجام شده روي سیستم KBF در قابهاي فولادي 62

4-3-1) نتایج حاصل از طرح سیستم بادبندی زانویی کمانش‌پذیر (اوچوآ) 62
4-3-1-1) مقایسه رفتار بادبندي زانویی کمانش‌پذیر با رفتار سیستم بادبندي واگرا 63
4-3-1-2) بررسی اثر نوع اتصال تیر به ستون بر رفتار غیرخطی قاب 63
4-3-1-3) بررسی رفتار سیستم بادبندي زانویی کمانش‌پذیر در سازه‌هاي چند طبقه 64
4-3-1-4) بررسی اثر اندازه مقطع عضو قطري بر رفتار غیرخطی 64
4-3-2) نتایج حاصل از طرح سیستم بادبندي زانویی تعویض‌پذیر (اوچوآ) 66
4-3-2-1) هندسه و مشخصات اعضاء قاب و سیستم بادبندي (قاب a) 67
4-3-2-2) سختی و ظرفیت لنگر پلاستیک عضو زانویی نسبت به تیر و ستون 69
4-3-2-3) مقطع و اندازه عضو قطري (قاب a) 70
4-3-2-4) سختی و ظرفیت لنگر پلاستیک تیر (قاب a) 70
4-3-2-5) اثر نوع اتصال تیر به ستون و تکیه‌گاه (قاب a) 71
4-3-2-6) هندسه و مشخصات اعضاء قاب و سیستم بادبندي (قاب b) 73
4-3-2-7) تأثیر تغییرات در اندازه مقطع عضو قطري (قاب b) 74
4-3-2-8) تاثیرات تغییر در اندازه مقطع تیر (قاب b) 74
4-3-2-9) اثر اتصالات و تکیه‌گاه‌ها (قاب b) 74
4-3-3) نتایج آزمایشات بر روي سیستم بادبندي زانویی کمانش‌ناپذیر (بلندرا) 76
4-3-3-1) اثر پارامترهاي مختلف بر روي سختی اولیه سیستم 76
4-3-3-2) نتایج آزمایشات شبه دینامیکی 79
4-3-3-2-1) مبانی روش 79
4-3-3-2-2) روند و تجهیز آزمایش 80
4-3-3-2-3) نتایج 83
4-3-3-3) تحلیل دینامیکی غیرخطی قاب با سیستم KBF 87

4-3-3-4) مقایسه پاسخهاي دینامیکی قابهاي هفت طبقه با سه سیستم مختلف 88
4-3-4) نتایج تحلیل بادبند زانویی تعویض‌پذیر (مفید - خسروي) 93
4-3-4-1) انتخاب شکل بهینه عضو زانویی 93
4-3-4-2) انتخاب شکل بهینه المان قطري و زانویی 95
4-3-4-3) تخمین پاسخ غیرخطی سیستم KBF به روش نوین 95
4-3-4-4) تکنیکی جدید براي طراحی عضو زانویی 99
4-3-5) بررسی ترکیب سیستم KBF با میراگر اصطکاکی SBC (بلندرا) 101
4-3-5-1) کلیات 101
4-3-5-2) هدف تحقیق 102
4-3-5-3) طراحی اعضا 102
4-3-5-4) جزئیات نصب در آزمایشگاه 105
4-3-5-5) نتایج آزمایشگاهی 107
4-3-5-5-1) نتایج خطی 108
4-3-5-5-2) نتایج غیرخطی 110
4-3-5-5-3) نتایج عددي و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی 113
4-4) تحقیقات انجام شده روي سیستم پانل برشی در قابهاي فولادي 116
4-4-1) رفتار لرزه‌اي، طرح و تحلیل قابهاي مهاربندي شده‌ي غیر هم‌محور با مفاصل برشی قائم (وتر و بوکمپ) 116
4-4-1-1) مقدمه 116
4-4-1-2) طراحی مفصل برشی قائم 116
4-4-1-3) تحلیل پایداری کلی یک قاب داراي تیر پیوند قائم 116
4-4-1-4) نتایج آزمایش بارگذاري معادل یک زلزله از یک ساختمان 3 طبقه واقعی 117

2-4-4) بررسی آزمایشگاهی کاربرد تیر پیوند قائم در قابهاي فولادي (زهرایی و ماهروزاده) 120
1-2-4-4) مقدمه 120
2-2-4-4) نکات مربوط به طراحی تیر پیوند قائم 120
3-2-4-4) تدارك آزمایشها 121
4-2-4-4) مشاهدات و نتایج آزمایشگاهی قاب با تیر پیوند قائم 122
3-4-4) بررسی آزمایشگاهی حاصل از بارگذاري یکنواخت و تناوبی (آلبرمانی و ویلیامز) 125
1-3-4-4) مقدمه 125
2-3-4-4) طراحی و نصب مؤلفه‌ها 125
3-3-4-4) نتایج 132
1-3-3-4-4) بارگذاري یکنواخت 132
2-3-3-4-4) بارگذاري متناوب 135
4-3-4-4) تفسیر نتایج 138

فصل پنجم: اصول و مبانی تحلیل

1-5) معرفی برنامه آباکاس 141
2-5) پردازشگرها 142
3-5) مروري بر روش اجزاء محدود در تحلیل سازه 142
1-3-5) تعیین جابجایی گرهی در پردازشگر استاندارد 142
2-3-5) روش انتشار موج تنش در پردازشگر صریح 145
4-5) مؤلفه‌هاي مورد نیاز در یک تحلیل 146
1-4-5) هندسه جزء بندي شده 147

2-4-5) مشخصات مقطع المان 147
3-4-5) مشخصات مصالح 147
4-4-5) بارگذاري و شرايط مرزي 147
5-4-5) نوع تحليل 147
6-4-5) خروجيهاي مورد نياز 148
5-5) مقايسه روش کار تحليلگرهای اصلی 148
6-5) اجسام صلب و غير صلب (اجزاء محدود) 148
1-6-5) اجسام غير صلب (اجزاء محدود) 148
1-1-6-5) خانواده 149
2-1-6-5) مقدار درجه آزادي 149
3-1-6-5) تعداد گره 149
4-1-6-5) فرمول‌بندي 150
5-1-6-5) يکپارچگی 150
2-6-5) اجسام صلب 151
7-5) خواص غيرخطی مصالح 151
1-7-5) مصالح با خواص غيرخطی 152
2-7-5) خواص غيرخطی شرايط مرزي 152
3-7-5) خواص غيرخطی هندسی 153
8-5) تحليل ديناميکی خطی توسط آباکاس 154
1-8-5) ميرايی 154
2-8-5) معرفی ميرايی به برنامه 155
3-8-5) انتخاب مقدار ميرايی 156

9-5) تحلیل دینامیکی غیرخطی به روش صریح 156
10-5) پلاستیسیته در فلزات شکل‌پذیر 157
1-10-5) معیار تسلیم و شکست 158
1-1-10-5) تئوري تنش برشی حداکثر 158
2-1-10-5) تئوري انرژي کرنشی اعوجاجی حداکثر 159
2-10-5) قوانین سخت‌شوندگی کرنش 161
1-2-10-5) سخت‌شوندگی همسان 162
2-2-10-5) سخت‌شوندگی سینماتیکی 164
3-10-5) خواص پلاستیسیته در فلزات شکل‌پذیر 164
4-10-5) مدل‌هاي رفتار پلاستیک موجود در آباکاس 166
1-4-10-5) پلاستیسیته کلاسیک فلز 166
2-4-10-5) مدل مخصوص فلزات تحت بارهاي تناوبی 166
11-5) برخورد و تماس اجسام در مدل‌سازي 166
12-5) جمع‌بندي 167

فصل ششم: مطالعات عددي: تحلیل استاتیکی

1-6) مقدمه 168
2-6) بررسی هندسه سیستم 169
1-2-6) مقدمه 169
2-2-6) تعیین زوایا و مکان قرارگیری اعضاي سیستم بادبندي شورن- زانویی 170
3-2-6) تأثیر طول VLB بر زاویه بین زانو- بادبند 175

3-6) مقایسه خواص جاري‌شدن برشی و خمشی در یک تیر I شکل فولادي 177
1-3-6) مبانی و خروجی تحلیل 177
2-3-6) انتخاب مُد تسلیم 180
4-6) اعتبارسنجی نتایج حاصل از مطالعات عددي 181
5-6) طراحی اعضاي قاب با سیستم CK-VLB 183
1-5-6) طراحی تیر پیوند قائم 183
2-5-6) طراحی اعضاي زانویی 183
3-5-6) طراحی اعضاي اصلی قاب 184
4-5-6) طراحی دستگاه متوقف کننده 185
6-6) بارگذاري 186
7-6) جزئیات مدل‌سازي 187
8-6) نتایج بدست آمده از بارگذاري استاتیکی افزون 188
9-6) نتایج بدست آمده از بارگذاري متناوب 195
10-6) جمع‌بندي 201

فصل هفتم: مطالعات عددي: تحلیل دینامیکی

1-7) مقدمه 202
2-7) مبانی اعمال بارگذاري 203
3-7) نتایج حاصل از تحلیل 206
1-3-7) مقایسه برش پایه ایجاد شده 207
2-3-7) مقایسه نیروی داخلی بادبندها 209

3-3-7) مقایسه تنش/ کرنش بوجود آمده 212
4-3-7) بررسی پارامترهاي انرژي 219
5-3-7) بررسی عملکرد Stopper 229
4-7) جمع‌بندي 229

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
1-8) مقدمه 231
2-8) نتیجه‌گیری 231
3-8) پیشنهادات 233

منابع و مراجع

# فهرست جداول

جدول (4-1) فهرست اعضاي زانویی برای آزمایشهای قاب یک طبقه[9]
جدول (4-2) مقادیر ضریب شکل‌پذیری و نسبت جابجایی به ارتفاع[9]
جدول (4-3) ابعاد مقاطع اعضاء[9]
جدول (4-4) مشخصات قابهای فولادی مورد آزمایش[3]
جدول (4-5) مشخصات فولاد قابهای مورد آزمایش[3]
جدول (4-6) تعداد آزمایشهای انجام شده[39]
جدول (4-7) جزئیات آزمایشها[39]
جدول (4-8) نسبتهای نیرو و شکل‌پذیری[39]
نمودار (6-1) مقدار e در تغییرات عرض قاب
جدول (6-1) مشخصات نمونه‌ها برای مطالعه عددی رفتار قاب با پانل برشی[47]
نمودار (6-2) تاریخچه شدت جابجایی در بارگذاری تناوبی (Scale factor=2)
جدول (6-2) مشخصات اعضاي مدل شده
جدول (6-3) مشخصات فولاد مورد استفاده در مدل‌سازي
جدول (6-4) نیروها و ممان‌های داخلی در مقطع تیر پیوند قائم در آستانه تسلیم
جدول (6-5) نیروها و ممان‌های داخلی در مقطع زانو در آستانه تسلیم

# فهرست اشکال


شکل (1-1) انواع سیستمهای بادبندی همگرا

شکل (1-2) انواع سیستمهای بادبندی واگرا[6]

شکل (1-3) انواع سیستمهای بادبندی زانویی

شکل (1-4) تقسیم‌بندی طیف پاسخ به سه بخش

شکل (1-5) طیف شتاب زلزله طبس 1357 براي نسبتهاي استهلاك 2، 5، 10، و 20 درصد[4]

شکل (1-6) حساسیت موضعی نیروهای زلزله به تغییرات تناوب و استهلاک[4]

شکل (1-7) تغییرات نیروی زلزله نسبت به تناوب[4]

شکل (2-1) تخریب ساختمانهای با اهمیت خیلی زیاد[16]

شکل (2-2) اتصالات خورجینی[17]

شکل (2-3) ضعیف بودن ستون با بست‌هاي موازي[16]

شکل (2-4) تخریب ساختمانهای با اهمیت متوسط[16]

شکل (2-5) تخریب ساختمانهای بنایی بدلیل عدم وجود کلاف[16]

شکل (2-6) انهدام کلی سازه‌ها به علت عدم رعایت اصول مهندسی در زلزله بم[16]

شکل (2-7) تخریب ساختمان بدلیل وجود طبقه نرم در زلزله بم[16]

شکل (2-8) عکس قبل و بعد از زلزله بم توسط ماهواره کوئیک‌برد[19]

شکل (2-9) واژگونی آپارتمان در زلزله نورثریج[20]

شکل (2-10) خسارات وارده به ساختمان اداری بعد از زلزله کوبه[21]

شکل (2-11) اتصال نامناسب پاي ستون به صفحه ستون[23]

شکل (2-12) اجرای و طراحی نادرست ستون دوبل[23]

شکل (2-13) وصله نامناسب ستون[23]

شکل (2-14) استفاده از تیر لانه‌زنبوری در قاب خمشی[23]

شکل (2-15) ورق تحتانی و فوقانی در اتصال گیردار[23]

شکل (2-16) نبود لچکی در نبشی نشیمن[23]

شکل (2-17) استفاده از ناودانی تک و اجرای نادرست[23]

شکل (2-18) ساختمان واقع در ضلع جنوب غربی تقاطع آزادي- رودکی

شکل (2-19) استفاده از تیر لانه‌زنبوری بعنوان تیر پیوند[23]

شکل (2-20) بریدن جوش اتصال در زلزله بم[17]
شکل (2-21) کج شدن مقطع عرضی راه‌پله به علت تفاوت طول دو تیر شمشیری[23]
شکل (2-22) اتصال نادرست شمشیری[23]
شکل (3-1) دیاگرام سیستم فعال[25]
شکل (3-2) جذب کننده‌های تنظیم شونده[25]
شکل (3-3) میراگر ویسکوالاستیک متشکل از چند لایه از مواد ویسکوالاستیک
شکل (3-4) چرخه‌ی ایده‌آل میراگر ویسکو- الاستیک
شکل (3-5) استفاده از میراگرهای ویسکو- الاستیک در ساختمان مخابرات سوکیان چین[29]
شکل (3-6) جزئیات میراگر ویسکوز مایع[25]
شکل (3-7) جزئیات میراگر اصطکاکی پال[25]
شکل (3-8) توزیع نیرو در هنگام لغزش میراگر اصطکاکی[25]
شکل (3-9) اتصال شیاردار پیچی (**SBC**)[30]
شکل (3-10) نمودار نیرو- تغییرمکان میراگر اصطکاکی[25]
شکل (3-11) سیستم بادبندی فولادی جاری‌شونده[31]
شکل (3-12) سیستم نوین **ADAS** که (**X-RADAS**) شناخته می‌شود[32]
شکل (3-13) آزمایش میز لرزان و منحنی پسماند سیستم **ADAS**[32]
شکل (3-14) میراگر **TADAS** و نحوه قرارگیری آن[31]
شکل (3-15) (**a**) هندسه قاب (**b**) دیاگرام لنگر خمشی تحت بارهای جانبی (**c**) نیروی داخلی اعضاء[33]
شکل (3-16) اتصالات تقویت شده در قاب خمشی[33]
شکل (3-17) قاب با بادبندي واگرا
شکل (3-18) تغییرات سختی جانبی با توجه به طول تیر پیوند (Hjelmstad and Popov 1994)
شکل (3-19) سیستم BRB داراي هسته جاري شونده و غلاف آن[34]
شکل (3-20) رفتار فوق الاستیک آلیاژ نی‌تی‌نول
شکل (3-21) مقطع طولی از میراگر LED **a**) نوع تنگ شونده در سیلندر **b**) نوع میله متورم (Skinner 1993)
شکل (3-22) منحنی پسماند LEDها (Robinson 1987)
شکل (4-1) اشکال مختلف قاب با بادبندی زانویی : (a) بادبند جناقی-زانویی (b) بادبند ضربدري-زانویی (c) بادبند قطري یک طرف زانویی (d) بادبند قطری دو طرف زانویی[35]
شکل (4-2) رفتار بادبند زانویی در سیستم معرفی شده توسط اوچوآ[35]
شکل (4-3) منحنی نیرو- تغییرمکان برای دو سیستم EBF و KBF کمانش‌پذیر[35]

شکل (4-4) منحنی نیرو- تغییرمکان برای دو سیستم KBF کمانش‌پذیر با دو نوع اتصال گیردار و مفصلی[35]
شکل (4-5) منحنی نیرو- تغییرمکان برای قابهای سه طبقه[35]
شکل (4-6) منحنی نیرو- تغییرمکان برای قابی با دو مقطع گوناگون بادبند[35]
شکل (4-7) قابهاي مدل شده: (a) قاب اول (b) قاب دوم[7]
شکل (4-8) نمونه‌هاي مختلف مورد مطالعه در قاب اول (**a**)[36]
شکل (4-9) منحنی ظرفیت نمونه‌هاي گوناگون قاب اول (**a**)[36]
شکل (4-10) تاثیر اندازه مقطع عضو زانویی در رفتار قاب اول (**a**)[7]
شکل (4-11) تاثیر ظرفیت لنگر پلاستیک المان زانویی در مقاومت قاب اول (**a**)[7]
شکل (4-12) تاثیر اندازه مقطع عضو قطري در قاب اول (**a**)[36]
شکل (4-13) تاثیر اندازه مقطع المان تیر در قاب اول[7]
شکل (4-14) تاثیر ظرفیت لنگر پلاستیک در مقاومت نهایی قاب اول[7]
شکل (4-15) تاثیر اتصالات تیر به ستون در قاب اول[36]
شکل (4-16) تاثیر شرایط تکیه‌گاهی در قاب اول[36]
شکل (4-17) دو هندسه متفاوت در قاب دوم (**b**)[7]
شکل (4-18) رفتار دو مدل متفاوت از قاب دوم (**b**)[7]
شکل (4-19) تاثیر اندازه المان قطري در رفتار قاب دوم[7]
شکل (4-20) تاثیر نوع اتصال در قاب بادبندی شده زانویی حالت اتصال به روی تیر[7]
شکل (4-21) تاثیر نوع تکیه‌گاه در قاب بادبندی شده زانویی حالت اتصال به روی تیر[7]
شکل (4-22) پارامترهاي مؤثر بر سختی در یک قاب مجهز به سیستم بادبندی زانویی[35]
شکل (4-23) قابهاي مورد تحلیل قرار گرفته
شکل (4-24) اثر سطح مقطع بادبند قطری بر روی سختی قاب[35]
شکل (4-25) اثر طول عضو زانویی بر روی سختی قاب[35]
شکل (4-26) اثر ممان‌اینرسی مقطع زانو بر روی سختی قاب[35]
شکل (4-27) ابعاد قاب یک طبقه مورد آزمایش[9]
شکل (4-28) ابعاد قاب دو طبقه مورد آزمایش[9]
شکل (4-29) نقاط نصب کرنش‌سنجها و مبدلها بروي عضو زانویی[9]
شکل (4-30) منحنی پسماند آزمایش روي نمونه پنجم[9]
شکل (4-31) نتایج آزمایش قاب دو طبقه : (a) پاسخ جابجایی افقی طبقه دوم(b) منحنی پسماند طبقه دوم
شکل (4-32) کمانش موضعی و محل ایجاد ترکها بروی زانویی[9]