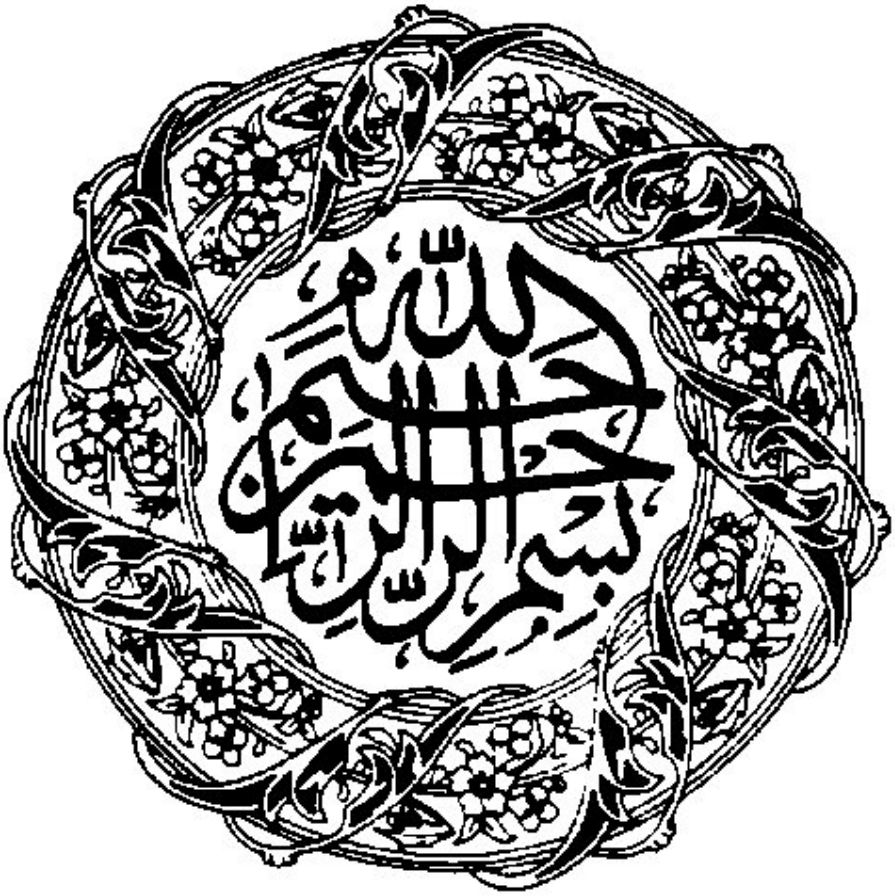
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران

گرایش سازه

عنوان پایان نامه:

بررسی و مقایسه اتصالات گیردار تیر به ستون فولادی دوبل با استفاده از صفحات کناری و با استفاده از صفحات داخلی به روش اجزای محدود

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا اشرفی

نگارش:

محسن جوادی

مهر ماه 1392

سپاسگذاری:

بدینوسیله از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر حمیدرضا اشرفی که در طول انجام این پایان‌نامه از راهنمایی‌هـای ایشان بی نصیب نبودم تشکر می‌کنم.

همچنین از اساتید محترم هیئت داوران آقایان دکتر خلیل‌زاده و دکتر آقایاری که قبول زحمت کردند تا این پایان نامه به شکل مناسب ارائه شود تشکر می‌کنم.

تقدیم اثر:

تقدیم به پدر و مادر مهربانم که همواره مشوق اصلی من در راه کسب علم دانش بوده‌اند

چکیده

در کشور ایران به دلیل کمبود و هزینه بالای نیمرخ‌های بال پهن (IPB) جهت استفاده به عنوان ستون، معمولاً دو نیمرخ (IPE) با کمی فاصله از هم همراه با ورق پوششی سراسری یا تسمه به صورت واحد درآمده و تیرها به کمک ورقهای اتصال به ورق پوششی ستون متصل می شوند. این اتصال همرا با کلیه ملحقات خود به ظاهر می تواند یک اتصال کاملاً صلب باشد. در حالی که ورق پوششی ستون فقط در امتداد کناره‌های طولی خود به ستون جوش شده و در اثر کشش حاصل از نیروی وارده از بال های تیر در این فاصله می‌توانند آزادانه در صفحه عمود بر خود خم شده و نهایتاً با فرض باربری کافی باعث دوران نسبت به ستون شوند. بنابراین اتصال مورد نظر به صورت نیمه‌صلب عمل کرده و باعث بروز مشکلات پیش‌بینی نشده‌ای خواهد شد. هدف اصلی از ارائه این پایان نامه روشن ساختن مشکلات مزبور و پیدا کردن راه‌حلی مناسب برای حل این مشکلات بوده است. در این تحقیق جهت رسیدن به اهداف عنوان شده و بهبود رفتار اتصال صلب تیر به ستون‌های دوبل دو روش پیشنهاد شده است، روش اول استفاده از یک سری سخت‌کننده داخلی در تراز اتصال، و روش دوم پیشنهاد یک اتصال جدید به عنوان اتصال با صفحات داخلی می‌باشد، این اتصال برای اولین بار در این پایان نامه مطرح شده است و می‌توان گفت مخصوص ستون‌های دوبل طراحی شده است. برای بررسی رفتار اتصالات عنوان شده، اتصال رایج و همچنین اتصال با صفحات کناری نیز مدل شده‌اند. با توجه به تحقیقات نویسنده و همچنین بر اساس تجربیات دیگران اتصال صلب رایج بدترین رفتار و اتصال با صفحات کناری بهترین رفتار را را برای اتصال صلب تیر به ستون‌های دوبل دارا می باشد، بنابراین اتصالات مزبور گزینه‌های مناسبی برای مقایسه و بررسی رفتار اتصالات پیشنهاد شده هستند.

بررسی رفتار نمونه‌ها با استفاده از روش اجزای محدود و به کمک نرم افزار Abaqus انجام گرفته و بارگذاری به دو صورت یکطرفه و چرخه‌ای به نمونه‌ها اعمال شده است. در نتیجه تحقیقات مشخص شد، که در اتصال رایج حتی با درنظر گرفتن شرایط استاندارد جوشکاری، به دلیل کمانش ورق پوششی ستون و ایجاد تمرکز تنش در گوشه ورق های اتصال بال تیر به ستون، این ورق‌ها دچار گسیختگی خواهند شد. بنابراین استفاده از اتصال رایج حتی با در نظر گرفتن درصد گیرداری واقعی آن به عنوان تنها سیستم مقاوم جانبی منطقی به نظر نمی رسد؛ چرا که نیمه گیردار بودن این نوع اتصال در نتیجه آسیب‌های ایجاد شده در ستون است که مطلوب نمی‌باشد. پس از بررسی‌ها مشخص شد که اتصال متعارف تقویت شده با استفاده از سخت‌کننده‌های داخلی رفتار قابل قبولی دارد و توانسته مشکلات اتصال رایج را تا حدود زیادی بهبود بخشد. در این نوع اتصال مفصل پلاستیک در تیر تشکیل شده و اتصال از مقاومت و شکل‌پذیری مطلوبی برخوردار است. اتصال مزبور در مقایسه با اتصال با صفحات کناری عملکرد ضعیف تری دارد ولی در مقابل، عملیات ساخت و نصب آن بسیار ساده‌تر است و می‌توان حتی در ساختمان‌های کوتاه مرتبه شخصی از آن بهره گرفت. دومین اتصال پیشنهاد شده اتصال با صفحات داخلی می‌باشد؛ پس از بررسی این اتصال مشخص شد که این اتصال عملکرد بسیار مناسبی دارد، حتی صلبیت این نوع اتصال از صلبیت اتصال با صفحات کناری بیشتر است، چرا که در این نوع اتصال مقطع تیر در داخل ستون ادامه پیدا می‌کند؛ ادامه یافتن مقطع تیر در داخل ستون مزایا و معایبی دارد مزایای آن عبارتند از: افزایش صلبیت اتصال، کاهش خطر فرو ریختگی سقف پیش از گسیختگی تیر، عملکرد شبه کابلی پس از قطع ستون‌های میانی (عملکرد شبه کابلی یکی از عمده ترین دلایل معروف شدن اتصال با صفحات کناری است) به دلیل اجرای تیرها به شکل سراسری و معایب آن عبارتند از: افزایش فاصله آکس به آکس پروفیل های ستون و اجرای ستون به شکل درختی (اجرای ستون به شکل درختی موجب افزایش هزینه های حمل و نقل می شود).

حذف یک ستون قاب فولادی در حین حملات تروریستی، رویدادی معمولی نبوده و به طور ذاتی دارای طبیعتی بسیار مخرب می‌باشد. این پدیده باعث گسیختگی آنی و تخریب نهایی ستون می‌شود، در نتیجه ظرفیت باربری محوری ستون از بین رفته و باعث تشدید پارگی ناگهانی مقطع عرضی ستون می‌شود. این سناریو با همزمان واقع شدن خمش‌های جانبی تیرهای قاب متصل شده به ستون تشدید خواهد شد. مکانیسم سازه نیازمند این امر است که پیوستگی محکمی در طرفین ستون پاره شده ایجاد شود به طوری که یک نگهدارنده و عکس العمل زنجیره ای در برابر تخریب نهایی در فرو ریختگی تصاعدی کامل سازه ایجاد کند. تنها اتصالی که برای این منظور مورد قبول قرار گرفته است اتصال با صفحات کناری می‌باشد. در این تحقیق اتصال با صفحات داخلی برای اتصال صلب تیر به ستون‌های دوبل به عنوان گزینه مناسبی برای مقابله با تخریب ستون و اتصال صفحات کناری بعنوان بهترین گزینه برای سنجش عملکرد شبه کابلی اتصال پیشنهادی با استفاده از روش اجزای محدود و توسط نرم افزارAbaqus تحلیل گردیده است.

در این رساله برای بررسی عملکرد شبه‌کابلی اتصالات با صفحات داخلی و صفحات کناری یک روش پیشنهاد شده است که علارغم سادگی روش بسیار مناسبی به نظر می‌رسد. پس از بررسی عملکرد اتصال با ورق‌های کناری و اتصال با ورق های میانی مشخص شد که هر دو اتصال عملکرد قابل قبولی دارند. با دقت در مطالب عنوان شده متوجه خواهیم شد که مزایای اتصال با صفحات داخلی نسبت به معایب آن بسیار پر رنگ تر و قابل توجه تر است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: طرح لرزه ای اتصالات در قاب های خمشی فولادی 1

1-1- مقدمه 2

2-1- ماهیت زلزله و لزوم انجام طراحی لرزه‌ای 2

3-1- مفهوم شکل پذیری 4

4-1- ضریب رفتار R ضریب افزایش مقاومت Ω 6

5-1- انواع اتصالات 8

1-5-1- تعریف اتصال 8

2-5-1- اتصالات ساده 8

3-5-1- اتصالات نیمه صلب 9

4-5-1- اتصالات صلب 9

6-1- تعیین میزان گیرداری یک اتصال 10

7-1- منحنی لنگر – دوران $(M\text{-}\theta)$ اتصالات 10

8-1- خط تیر 12

9-1- مروری بر اتصالات پیش از زلزله نورث‌ریج 16

1-9-1- بررسی اتصالات متعارف آسیب دیده در زلزله نورث‌ریج 17

2-9-1- طبقه بندی صدمات وارده به اتصالات در حین زلزله 19

1-2-9-1-خرابی در تیرها 20

2-2-9-1-خرابی در بال ستون 21

3-2-9-1- خرابی و نقایص جوش 22

4-2-9-1- خرابی در ورق اتصال برشی جان تیر 23

5-2-9-1- خرابی در ناحیه چشمه اتصال 24

3-9-1- خلاصه فعالیت‌های انجام شده پس از زلزله نورث‌ریج 25

4-9-1- نتایج حاصل از تحقیقات بر روی اتصالات متعارف 29

1-4-9-1- روش‌های پیشنهادی برای ترمیم اتصالات موجود و جزئیات نوین اتصالات صلب 30

1-1-4-9-1-اتصالات با ورق‌های روسری و زیرسری 30

2-1-4-9-1-اتصالات با لچکی‌های قائم در بال تحتانی و فوقانی 31

3-1-4-9-1-اتصالات با ماهیچه در بال پایینی 32

4-1-4-9-1-اتصالات با ماهیچه در بال بالایی و بال پایینی 33

5-1-4-9-1-اتصالات با صفحات کناری 34

1-9-1-4-6-اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته 36
1-9-1-4-7-اتصالات لغزشی-اصطکاکی مستهلک کننده انرژی 37
1-9-1-4-8-اتصالات با ستون درختی 37
1-9-1-4-9-اتصالات با جان شکاف‌دار 38
1-10- علل لزوم تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها 38
1-11- علل لزوم تشکیل مفصل پلاستیک در فاصله‌ای دورتر از بر ستون 39
1-12- عملکرد لرزه‌ای اتصالات 43
1-13- بررسی صلاحیت عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی 44
1-14- طبقه بندی اتصالات بر اساس آیین نامه *AISC 2005* 51
1-14-1- طبقه بندی بر اساس سختی اتصال 51
1-14-2- مقاومت اتصال 52
1-14-3- شکل پذیری اتصال 52
1- 15- قاب‌های مقاوم خمشی فولادی (*SMRF*) 53
1-15-1- طبقه بندی قاب‌های خمشی در آیین نامه لرزه ای *AISC* 2005 54
1-15-2- طبقه بندی قاب‌های خمشی در آیین نامه *FEMA 350* 54
1-16- تاثیر هندسه اعضای قاب بر شکل پذیری 56
1-17- الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی 57
1-17-1- ضوابط ویژه تناسب اجزای مقطع 57
1-17-2- چشمه اتصال 58
1-17-3- شرط ستون قوی – تیر ضعیف 61
1-17-4- ورق‌های پیوستگی 64
1-17-5- مهاربندی جانبی تیرها 65
فصل دوم: اتصالات فولادی و سیستم اتصال گیردار با صفحات کناری 66
2-1- مقدمه 67
2-2- پیشینه 67
2-3-خصوصیات اتصال با صفحات کناری 68
2-4- مقاوم سازی در برابر ضربه و انفجار با استفاده از اتصال با صفحات 69
2-4-1- هندسه های معمول سیستم اتصال با ورق کناری 72
2-4-2- سازه های اجرا شده 74
2-4-2-1- ستاد فرماندهی نیروی دریایی 74
2-4-2-2- ساختمان دادگستری(تگزاس) 75
2-4-2-3- ساختمان برج کنترل پروازهای هوایی مقامات دولتی (*ATCT*) 76

2-5- مطالعات موسسه *LACO-TAP* بر روی اتصال با ورق کناری 77
2-5-1- پارامترهای بررسی شده در اتصال با صفحات کناری 78
2-5-1-1- محل تشکیل مفصل پلاستیک 79
2-5-1-2- بزرگترین زاویه چرخش اتصال 79
2-5-1-3- ناحیه پانلی ستون (چشمه اتصال) 80
2-5-1-4- مدهای تخریب 80
2-5-1-5- اندازه و ضخامت ورق پوشش 81
2-5-1-6- حداقل فاصله بین انتهای ورق پوشش و بال ستون 81
2-6- طرح سازه ای اتصال با ورق کناری 82
2-6-1- محل مفصل پلاستیک 82
2-6-2- ظرفیت لنگر پلاستیک 82
2-6-3- برش در محل مفصل پلاستیک 82
2-6-4- مقاومت مورد نیاز در مقاطع بحرانی 83
2-6-5- شرط ستون قوی و تیر ضعیف 83
2-6-6- مقاومت برشی ناحیه پانلی ستون 83
2-7- ساخت و نصب 83
2-8- مقایسه اتصال با ورق های کناری از لحاظ اقتصادی با چند نوع اتصال صلب دیگر 84
2-8-1- مقایسه اتصال با صفحات کناری و اتصال رایج قدیمی 85
2-8-2- مقایسه اتصال با صفحات کناری و اتصال تیر با مقطع کاهش یافته (*RBS*) 86
2-8-3- مقایسه اتصال با صفحات کناری و اتصال با ورق انتهایی بولتی 87
2-9- سیستم جدید اتصالات با ورق های کناری 88
2-9-1- معرفی هندسه جدید 88
2-9-2- مزایای قاب های ساخته شده از اتصال جدید 90
فصل سوم: اتصالات صلب تیر *I* شکل به ستون قوطی 91
3-1- مقدمه 92
3-2- اقدامات صورت گرفته در زمینه بررسی اتصالات صلب با استفاده از ستون‌های مرکب 93
3-2-1- مزروعی و همکاران 93
3-2-1-1-مشخصات نمونه های آزمایشگاهی 93
3-2-1-2- نتایج آزمایشات 98
3-2-1-3- نتیجه گیری 99
3-2-2- ناطقی الهی و مینایی (1379) 100

3-2-3- وثوقی (1381)..... 100
3-2-4- اقدسی (1384)..... 100
3-2-5- طباطبایی (1385)..... 100
3-2-6- قبادی و همکاران (1387)..... 101
3-2-7- ناطق الهی و طباطبایی (1387)..... 101
3-2-8- گرامی و غزنوی (1388)..... 101
3-2-9- واثقی و همکاران (1389)..... 102
3-2-10- نقی پور و قائدرحمت (1389)..... 102
3-2-11- قبادی و همکاران (1389)..... 102
3-2-12- صنیعی نیا و همکاران (1390)..... 103
3-2-13- صنیعی نیا و همکاران (1390)..... 103
3-2-14- قبادی و همکاران (1390)..... 103
3-2-15- فرزانه و همکاران (1390)..... 104
3-2-16- مزروعی و همکاران (1390)..... 104
3-2-17- دیلمی و قلی پور (1390)..... 104
3-2-18- صدیقیان و آقاکوچک (1391)..... 105
3-2-19- دیلمی و شیراوند 2005..... 106
3-2-21- دیلمی و یخچالیان 2008..... 107
3-2-22- میرقادری و دهقانی (2008)..... 108
3-2-23- فرخی و همکاران (2009)..... 108
3-2-24- کیامنش و همکاران (2010)..... 108
3-2-25- دیلمی و سلامی (2011)..... 109
3-2-26- ترابیان وهمکاران (2012)..... 110
فصل چهارم: مدلسازی و بررسی عملکرد لرزه ای اتصالات..... 111
4-1- ارزیابی عملکرد لرزه ای اتصالات..... 112
4-2- روش اجزاء محدود 112
4-3- معیارهای تسلیم..... 113
4-3-1- معیارتسلیم فون میسز..... 113
4-4- قواعد سخت شدگی کرنش..... 115
4-5- انتخاب نرم افزار..... 117
4-5-1- تاریخچه..... 118
4-5-2- قابلیت و مزیت های نرم افزار آباکوس..... 118

4-6- بررسی درستی نتایج بدست آمده توسط نرم افزار 119
4-7- انتخاب مدلها 123
4-7-1- کنترل شرط ستون قوی – تیر ضعیف 124
4-7-2- جزئیات اتصالات مدل شده 125
4-7-2-1- اتصال رایج تقویت شده با سخت کننده های داخلی با ورق روسری و زیر سری 125
4-7-2-2-اتصال رایج با ورق روسری و زیر سری 128
4-7-2-3- اتصال با صفحات کناری 129
4-7-2-4- اتصال با صفحات داخلی 129
4-8- نحوه ایجاد مدل تحلیلی 132
4-8-1- مشخصات مصالح 132
4-8-2- نحوه جزء بندی مدلها 133
4-8-3- مدل سازی 133
4-8-4- هندسه مدلها 133
4-8-5- شرایط مرزی و بار گذاری مدلها 134
4-8-5-1-بارگذاری یکنوا یا *Push Over* 134
4-8-5-2- بارگذاری چرخه ای (سیکلیک) 134
4-8-6- مش بندی مدلها 136
4-9-بررسی نتایج تحلیل 137
4-9-1- بررسی اتصالات رایج تقویت شده توسط سخت کننده های داخلی با ورق روسری و زیر سری 137
4-9-2- بررسی اتصالات رایج با ورق روسری و زیر سری 153
4-9-3- بررسی اتصالات با صفحات کناری 157
4-9-4- بررسی اتصالات با صفحات داخلی 164
4-9-4- مقایسه اتصالات بررسی شده 172
4-10- بررسی و مقایسه عملکرد شبه کابلی اتصال با صفحات کناری و اتصال با صفحات داخلی 176
4-10-1-شرح مختصری از روش استفاده شده در منبع [38] 177
4-10-2-روش پیشنهادی جهت بررسی عملکرد شبه کابلی اتصالات 179
4-10-2-1- هندسه مدلها 180
4-10-2-2- شرایط مرزی و بار گذاری مدلها 181
4-10-4-2-2-1-بارگذاری یکنوا یا *Push Over* 181
4-10-2-3- مش بندی مدلها 181
4-10-2-4-بررسی نتایج تحلیل 183
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات 187

5-1- نتیجه گیری 188
5-2- پیشنهادها..... 190

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (1-1): زنجیر پاولی همراه با رفتار ایده‌آل عضو شکل‌پذیر 4
شکل (1-2): نمایش ضرایب مربوط به شکل‌پذیری 7
شکل (1-3): انواع منحنی‌های لنگر- دوران 11
شکل(1-4): لنگر و چرخش برای معادلات شیب-افت 13
شکل (1-5): نمودار (M-θ) 15
شکل (1-6): شمای عمومی برای تعیین منحنی لنگر- دوران اتصالات 15
شکل(1-7): اتصال متعارف آسیب دیده در زلزله نورث‌ریج 16
شکل (1-8): ناحیه شروع خرابی در اتصالات تیر به ستون 18
شکل (1-9): شکست‌های گره تیر به ستون 18
شکل (1-10): شکست‌های ستون 19
شکل (1-11): شکست قائم در میان ورق برشی متصل به تیر در اتصال 19
شکل (1-12): انواع خرابی در تیر 20
شکل (1-13): انواع خرابی در بال ستون 21
شکل (1-14): انواع خرابی در جوش 22
شکل (1-15): انواع خرابی در ورق اتصال برشی جان 23
شکل (1-16): انواع خرابی در چشمه اتصال 24
شکل (1-17): اتصال قدیمی تقویت شده با ورق های روسری و زیرسری 30
شکل (1-18): اتصال در ساختمانهای جدید با استفاده از ورق های روسری و زیرسری 31
شکل (1-19): اتصال قدیمی تقویت شده با لچکی های قائم بالا وپایین 31
شکل (1-20): اتصال در ساختمانهای جدید با استفاده از لچکی های قائم بالا وپایین 32
شکل (1-21): اتصال قدیمی تقویت شده با ماهیچه در بال پایین 33
شکل (1-22): اتصال در ساختمانهای جدید با استفاده از ماهیچه در بال پایین 33
شکل (1-23): اتصال قدیمی تقویت شده با ماهیچه در بال بالا و پایین 34
شکل (1-24): اتصال در ساختمانهای جدید با استفاده از ماهیچه در بال بالا و پایین 34
شکل (1-25)اتصال قدیمی تقویت شده با نوع اول اتصال با صفحات کناری 35
شکل (1-26): نوع دوم اتصال با صفحات کناری 35
شکل (1-27): اتصال تیر با مقطع کاهش یافته 36
شکل (1-28): اتصال لغزشی-اصطکاکی مستهلک کننده انرژی 37
شکل (1-29): اتصال ستون درختی 37
شکل (1-30): اتصال با جان شکافدار 38
شکل (1-31): تبدیل نیروهای داخل صفحه‌ای تیر به نیروهای داخل صفحه‌ای ستون 40
شکل (1-32): قیاس اتصالات پیش از زلزله نورث‌ریج و پس از آن 40
شکل (1-33): تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر، دور از بر اتصال 41

شکل (1-34): محل تشکیل مفاصل پلاستیک 42
شکل (1-35): توزیع کرنش پلاستیک در یک زیرسازه شکل‌پذیر 43
شکل (1-36): مدلسازی زیرسازه اتصال تیر به ستون 44
شکل (1-37): انواع زیرسازه‌های قابل ساخت در آزمایشگاه و قابل مدلسازی در نرم‌افزار 45
شکل (1-38): زیرسازه‌های متفاوت اتصال تیر به ستون در آزمایشگاه 46
شکل (1-39): بارگذاری استاندارد پیشنهادی *SAC* 46
شکل (1-40): نمایش پارامترهای مورد نیاز برای استخراج منحنی لنگر- دوران زیر سازه 47
شکل (1-40): شمایی از نمودارهای (Δ-P) و (M-θ) 48
شکل (1-41): شمایی از نمودارهای لنگر- دوران پلاستیک 48
شکل (1-42): نمودار لنگر- دوران پلاستیک خوب از نظر *AISC* 48
شکل (1-43): پوش نمودار لنگر- دوران پلاستیک 50
شکل (1-44): معرفی خصوصیات رفتاری اتصالات بر اساس منحنی لنگر-دوران 51
شکل (1-45): طبقه بندی اتصالات بر مبنای درجه صلبیت بر اساس منحنی لنگر-دوران 52
شکل (1-46): توزیع کرنش الاستیک و پلاستیک در تیرهای با عمق متفاوت 56
شکل (1-47): تاثیر طول تیر بر شکل پذیری 56
شکل (1-48): چشمه اتصال و نیروهای وارد بر آن 59
شکل (1-49): محاسبه تلاش‌های ناشی از تشکیل مفصل پلاستیک در مقطع بحرانی 61
شکل (1-50): محل تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری 63
شکل (1-51): محل تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال با ماهیچه‌ای 63
شکل (1-52): محل تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال *RBS* 63
شکل (1-53): ورق‌های پیوستگی 64
شکل (2-1): اتصال با ورقهای کناری مجزا 68
شکل (2-2): اتصال با ورقهای کناری تمام عمق 68
شکل (2-3): اتصال با صفحات کناری 69
شکل (2-4) : واقعیت مخرب حذف ستون در عملیات تروریستی 70
شکل (2-5): تاثیر اتصال در کاهش فرو ریختگی پی در پی کف ها 71
شکل (2-6): هندسه اتصال الف) اتصال ورق کناری ب) اتصال ورق کناری بهبود یافته 71
شکل (2-7): هندسه های معمول سیستم اتصال ورق کناری 73
شکل (2-8): ساختمان فرماندهی نیروی دریایی آمریکا 74
شکل (2-9): سخت شدن ستون و استفاده آن به منظور کاهش فروریختگی پی در پی ساختمان دادگستری 75
شکل (2-10): استفاده از ورق کناری در برج مقاوم در برابر انفجار 76
شکل(2-11): اتصال با صفحات کناری و تاثیر آن در پایداری برج بر روی سه ستون در حین قطع ستون در حملات تروریستی 77
شکل (2-12): روند ساخت ونصب ستون درختی با اتصال ورق کناری، مشخص وسریع 84
شکل (2-13): هندسه جدید اتصال با ورق کناری 88
شکل (2-14): اتصال ورق های کناری و ورق های پیوستگی به ستون 89

شکل (2-15): اتصال ورق های برشی و ورق های روسری و زیرسری به تیر 89
شکل (2-16): روند ساخت ونصب به روش جدید 89
شکل (2-17): ساخت بیمارستان *Palpmar* در *San Diego* با استفاده از سیستم جدید اتصال با صفحات کناری 90
شکل (3-1): اتصالات صلب جوشی متداول در ساختمانهای فولادی و نحوه تغییر شکل آن تحت اثر لنگر وارده 93
شکل(3-2): ساختار مدل آزمایشی 94
شکل (3-3): جزئیات اجرایی نمونه اول (*S.N.1*) 96
شکل (3-4): جزئیات اجرایی نمونه دوم (*S.N.2*) 96
شکل (3-5): جزئیات اجرایی نمونه سوم (*S.N.3*) 96
شکل (3-6): جزئیات اجرایی نمونه چهارم (*S.N.4*) 97
شکل (3-7): جزئیات اجرایی نمونه پنجم (*S.N.5*) 97
شکل (3-8): جزئیات اجرایی نمونه ششم (*S.N.6*) 97
شکل (3-9): جزئیات اجرایی نمونه هفتم (*S.N.7*) 98
شکل (3-10): مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه‌های آزمایشی 98
شکل (3-11): مقایسه نمودار بار-تغییرمکان نمونه‌های آزمایشی 99
شکل (3-12): اتصال صلب تیر I شکل به ستون قوطی شکل را با استفاده از صفحات کناری 101
شکل (3-13): هندسه جدید برای اتصال با صفحات کناری 102
شکل (3-14): مقاوم سازی اتصال فولادی گیردار رایج با استفاده از ورق های سخت کننده مثلثی شکل 103
شکل (3-15): اتصال ستون دوبل به ورق پوششی تقویت شده 105
شکل (3-16): اتصالات صلب تیر I شکل به ستون قوطی شکل را بدون استفاده از ورق پیوستگی 106
شکل (3-17): اتصال ستون دوبل با صفحات کناری 106
شکل (3-18): اتصال اصلاح شده ستون دوبل با صفحات کناری 107
شکل (3-19): اتصال خورجینی اصلاح شده 108
شکل (3-20): اتصال متعارف تیر به ستون دوبل 108
شکل (3-21): اتصال صلب تقویت شدهٔ تیر I شکل به ستون قوطی 109
شکل (3-22): اتصال ستون دوبل با صفحات کناری ذوزنقه‌ای 109
شکل (3-23): اتصال صلب تیربه ستون قوطی را با استفاده از ورق قطری 110
شکل (4-1): نمودار معیارهای تسلیم فون میسز و ترسکا 115
شکل (4-2) معیارهای فون میسز و ترسکا 115
شکل (4-3): تغییرات سطوح تسلیم در قواعد سخت شدگی مختلف 116
شکل (4-4): مقایسه نحوه تغییرات سطوح تسلیم در قواعد سخت شدگی سینماتیکی و ایزوتروپیکی 117
شکل (4-5): مدل ساخته شده در آزمایشگاه 119
شکل (4-6): شرایط مرزی در مدل آزمایشگاهی 120
شکل (4-7): مدل ساخته شده توسط نویسنده و نرم افزار اجزاء محدود *Abaqus* 120
شکل (4-8): منحنی نیرو- جابجایی حاصل از تحلیل توسط نرم افزار آباکوس 120

شکل (4-9): منحنی نیرو-جابجایی نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدل شده در نرم افزار انسیس 121
شکل (4-10): مقایسه نتایج بدست آمده توسط نویسنده و نتایج استخراج شده از منبع [54] 121
شکل (4-11): توزیع تنش فون میسز برای نمونه مدل شده با المان *C3D8R* 122
شکل (4-12): توزیع کرنش پلاستیک معادل برای نمونه مدل شده با المان *C3D8R* 123
شکل (4-13): مقایسه تغییر شکل ایجاد شده در نمونه مدل شده در نرم افزار آباکوس و مدل ساخته شده در آزمایشگاه 123
شکل (4-14): اتصال ورق های سخت کننده داخلی به یکدیگر 126
شکل (4-15): اتصال ورق های پوششی ستون به سخت کننده های داخلی 126
شکل (4-16): اتصال قطعه سخت کننده به تک پروفیل ها 126
شکل (4-17): اتصال ورق های پوششی به ستون در ناحیه بین دو اتصال در تراز طبقات 127
شکل (4-18): اتصال ورق های داخلی و برشی به تیر ریشه اتصال 130
شکل (4-19): اتصال ورق های پیوستگی به تک پروفیل های تشکیل دهنده ستون 130
شکل (4-20): اتصال قطعه تیر ریشه اتصال به تک پروفیل های تشکیل دهنده ستون 131
شکل (4-21): اتصال ورق های پوششی و تکمیل ستون 131
شکل (4-22) منحنی تنش-کرنش فولاد 132
شکل (4-23) زیر سازه مدل شده برای تحلیل مدل ها 134
شکل (4-24) هندسه و شرایط مرزی اتصالات مدل شده 135
شکل (4-25): بارگذاری استاندارد *SAC* 135
شکل (4-26): المان بندی اتصال با ورق های روسری وزیرسری با صفحات سخت کننده داخلی 136
شکل (4-27): المان بندی اتصال با ورقهای روسری و زیرسری متعارف 136
شکل (4-28): المان بندی اتصال با ورق های کناری 136
شکل (4-29): المان بندی اتصال با ورق های داخلی 137
شکل (4-30): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01a* 138
شکل (4-31): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01a* 138
شکل (4-32): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01b* 138
شکل (4-33): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01b* 138
شکل (4-34): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01c* 139
شکل (4-35): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01c* 139
شکل (4-36): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01d* 139
شکل (4-37): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01d* 139
شکل (4-38): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01e* 140
شکل (4-39): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01e* 140
شکل (4-40): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01f* 140
شکل (4-41): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01f* 140
شکل (4-42): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01g* 141
شکل (4-43): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01g* 141

شکل (4-44): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01a* 141
شکل (4-45): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01a* 141
شکل (4-46): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01b* 142
شکل (4-47): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01b* 142
شکل (4-48): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01c* 142
شکل (4-49): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01c* 142
شکل (4-50): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01d* 143
شکل (4-51): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01d* 143
شکل (4-52): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01e* 143
شکل (4-53): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01e* 143
شکل (4-54): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01f* 144
شکل (4-55): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01f* 144
شکل (4-56): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.01g* 144
شکل (4-57): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.01g* 144
شکل (4-58): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01a* 145
شکل (4-59): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01b* 145
شکل (4-60): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01c* 146
شکل (4-61): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01d* 146
شکل (4-62): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01e* 146
شکل (4-63): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01f* 146
شکل (4-64): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.01g* 147
شکل (4-65): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01a* 147
شکل (4-66): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01b* 148
شکل (4-67): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01c* 148
شکل (4-68): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01d* 148
شکل (4-69): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01e* 149
شکل (4-70): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01f* 149
شکل (4-71): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.01g* 149
شکل (4-72): پوش منحنی‌های هیسترزیس لنگر-دوران نمونه های *SP.01* 150
شکل (4-73): مقایسه منحنی های هیسترزیس لنگر-دوران نمونه های *SP.01b* و *SP.01g* 151
شکل (4-74): نقاط مورد استفاده برای محاسبه چرخش اتصال 151
شکل (4-75): مقایسه نمودارهای لنگر-چرخش نمونه های تیپ *SP.01* برای بررسی درصد صلبیت اتصالات .. 153
شکل (4-76): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.02a* بدون گسیختگی 154
شکل (4-77): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.02a* با در نظر گرفتن گسیختگی 154
شکل (4-78): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.02b* با در نظر گرفتن گسیختگی 155
شکل (4-79): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.02a* 155

شکل (4-80): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.02b* 155
شکل (4-81): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.02a* 156
شکل (4-82): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.02b* 156
شکل (4-83): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.03a* 157
شکل (4-84): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.03a* 158
شکل (4-85): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.03b* 158
شکل (4-86): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.03b* 158
شکل (4-87): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.03a* 158
شکل (4-88): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.03a* 159
شکل (4-89): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.03b* 159
شکل (4-90): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.03b* 159
شکل (4-91): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.03a* 160
شکل (4-92): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.03b* 160
شکل (4-93): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.03a* 161
شکل (4-94): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.03b* 161
شکل (4-95): نقاط مورد استفاده برای محاسبه چرخش اتصال 163
شکل (4-96): منحنی لنگر- دوران اتصالات تیپ *SP.03* 164
شکل (4-97): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.04a* 165
شکل (4-98): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.04a* 165
شکل (4-99): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.04b* 165
شکل (4-100): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.04b* 165
شکل (4-101): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.04a* 166
شکل (4-102): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.04a* 166
شکل (4-103): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل *SP.04b* 166
شکل (4-104): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری سیکلیک در مدل *SP.04b* 166
شکل (4-105): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.04a* 167
شکل (4-106): منحنی لنگر- دوران نمونه *SP.04b* 168
شکل (4-107): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.04a* 168
شکل (4-108): منحنی هیسترزیس لنگر- دوران نمونه *SP.04b* 169
شکل (4-109): نقاط مورد استفاده برای محاسبه چرخش اتصال با صفحات داخلی 170
شکل (4-110): منحنی لنگر- چرخش اتصالات تیپ *SP.04* 171
شکل (4-111): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل های *SP.01b* و *SP02b* 173
شکل (4-112): توزیع تنش فون میسز در حالت بارگذاری یکنوا در مدل های *SP.03a* و *SP04b* 173
شکل (4-113): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل های *SP.01b* و *SP.02b* 173
شکل (4-114): توزیع کرنش پلاستیک معادل در حالت بارگذاری یکنوا در مدل های *SP.03a* و *SP.04b* 173
شکل (4-115): مقایسه منحنی های لنگر- دوران اتصالات مختلف 174

شکل (4-116): مقایسه منحنی های هیسترزیس لنگر- دوران اتصالات مختلف 175
شکل (4-117): مقایسه منحنی های لنگر- چرخش اتصالات مختلف 175
شکل (4-118): مدل ساختمان با قاب فولادی 177
شکل (4-119): زیرسازه در نظر گرفته شده برای تحلیل گسیختگی در اثر انفجار 178
شکل (4-120): مدل آزمایشگاهی زیرسازه اتصال با صفحات کناری 178
شکل (4-121): گسیختگی شکل پذیر ایجاد شده در انتهای بارگذاری در اتصال با صفحات کناری 179
شکل (4-122): زیر سازه در نظر گرفته شده برای تحلیل مدل ها 180
شکل (4-123): هندسه و شرایط مرزی اتصالات مدل شده 181
شکل (4-124): المان بندی گره میانی اتصال با ورق های کناری 182
شکل (4-125): المان بندی زیرسازۀ اتصال با ورق های کناری 182
شکل (4-126): المان بندی گره میانی اتصال با ورق های داخلی 182
شکل (4-127): المان بندی زیرسازۀ اتصال با ورق های داخلی 182
شکل (4-128): توزیع تنش فون میسز در اتصال با ورق های کناری 183
شکل (4-129): توزیع تنش فون میسز در اتصال با ورق های داخلی 183
شکل (4-130): توزیع کرنش پلاستیک معادل در ابتدای بارگذاری در اتصال با ورق های کناری 184
شکل (4-131): توزیع کرنش پلاستیک معادل در اواسط بارگذاری در اتصال با ورق های کناری 184
شکل (4-132): توزیع کرنش پلاستیک معادل در انتهای بارگذاری در اتصال با ورق های کناری 184
شکل (4-133): توزیع کرنش پلاستیک معادل در ابتدای بارگذاری در اتصال با ورق های داخلی 184
شکل (4-134): توزیع کرنش پلاستیک معادل در اواسط بارگذاری در اتصال با ورق های داخلی 184
شکل (4-135): توزیع کرنش پلاستیک معادل در انتهای بارگذاری در اتصال با ورق های داخلی 185
شکل (4-136): گسیختگی در اتصال با صفحات کناری بیرونی 185
شکل (4-137): گسیختگی در اتصال با صفحات کناری میانی 185
شکل (4-138): گسیختگی در اتصال با صفحات داخلی میانی 185
شکل (4-139): مقایسه منحنی های نیرو-جابجایی اتصال با صفحات کناری و اتصال با صفحات میانی 186

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (1-1): فرضیات مختلف مدل کردن منحنی لنگر- دوران اتصالات 12
جدول (1-2): خرابی تیرها 20
جدول (1-3): خرابی در بال ستون 21
جدول (1-4): انواع خرابی و نقص و ناپیوستگی در جوش 22
جدول (1-5): انواع خرابی در ورق اتصال برشی جان 23
جدول (1-6): انواع خرابی در چشمه اتصال 24
جدول (1-7): حداقل دریفت سیستمهای خمشی بر اساس آیین نامه *FEMA350* 55
جدول (1-8): محدودیت نسبت‌های عرض به ضخامت در اعضای قاب خمشی ویژه 58
جدول (2-1): مقایسه هزینه های اتصال با صفحات کناری و اتصال رایج قدیمی 85
جدول (2-2): مقایسه هزینه های اتصال با صفحات کناری و اتصال تیر با مقطع کاهش یافته 86
جدول (2-3): مقایسه هزینه های اتصال با صفحات کناری و اتصال بولتی با ورق انتهایی 87
جدول(4-1): جزئیات اتصال متعارف تقویت شده با سخت کننده های داخلی با ورق روسری و زیر سری 127
جدول (4-2): جزئیات اتصال متعارف با ورق روسری و زیرسری 128
جدول (4-3): جزئیات اتصال با صفحات کناری 129
جدول (4-4): جزئیات اتصال با صفحات داخلی 131
جدول (4-5): حداکثر تنش فون میسز در حالات مختلف بارگذاری برای نمونه های تیپ *SP.01* 145
جدول (4-6): خلاصه محاسبات صلبیت مربوط به اتصالات تیپ *SP.01* 153
جدول (4-7): حداکثر تنش فون میسز در حالات مختلف بارگذاری برای نمونه های *SP.01* 155
جدول (4-8): حداکثر تنش فون میسز در حالات مختلف بارگذاری برای نمونه های *SP.01* 159
جدول (4-9): خلاصه محاسبات صلبیت مربوط به اتصالات تیپ *SP.03* 163
جدول (4-10): حداکثر تنش فون میسز در حالات مختلف بارگذاری برای نمونه های *SP.04* 167
جدول (4-11): خلاصه محاسبات صلبیت مربوط به اتصالات تیپ *SP.04* 171
جدول (4-12): جزئیات اتصالات 180