بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد رضا وفایی تاج خاتونی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی رفتار اتصال گیردار در قابهای خمشی فولادی ویژه در برابر زلزله های نزدیک گسل** در تاریخ ۱۳۸۸/۹/۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی زلزله پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر فرهاد دانشجو	استاد	
استاد مشاور	دکتر ناصر خاجی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حمزه شکیب	استاد	
استاد ناظر	دکتر منصور ضیایی فر	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حمزه شکیب	استاد	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **محمدرضا وفایی** دانشجوی رشته **مهندسی عمران- مهندسی زلزله** ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۵ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده **مهندسی عمران و محیط زیست** متعهد می‌شوم کلِیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

تاریخ و امضا: **۱۳۸۸/۹/۱۰**

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی عمران- مهندسی زلزله است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر فرهاد دانشجو و مشاوره جناب آقای دکتر ناصر خاجی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **محمدرضا وفایی** دانشجوی رشته **مهندسی عمران- مهندسی زلزله** مقطع‌کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **محمدرضا وفایی**

تاریخ و امضا: **۱۳۸۸/۹/۱۰**

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی زلزله

بررسی رفتار اتصالات گیردار در قاب‌های خمشی فولادی ویژه در برابر زلزله‌های نزدیک گسل

محمدرضا وفایی تاج‌خاتونی

استاد راهنما:

دکتر فرهاد دانشجو

استاد مشاور:

دکتر ناصر خاجی

آذر ۱۳۸۸

تقدیم به مادرم

که می دانم هنوز

در همین نزدیکی هاست...

تشکر و قدردانی

شایسته است که از دانشگاه تربیت مدرس که امکانات و شرایط لازم برای تحصیل اینجانب را فراهم نموده تشکر و قدردانی کنم. بر خود لازم میدانم که از زحمات استاد ارجمند و گرانقدرم جناب آقای **پرفسور فرهاد دانشجو** که مفتخر به شاگردی ایشان بوده‌ام و از محضرشان درس علم و اخلاق و عمل آموخته‌ام واز راهنمایی‌های کریمانه و بی‌شائبه ایشان بهره برده‌ام نهایت سپاسگزاری را داشته باشم. بدون شک بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان تهیه این پایان نامه برای اینجانب میسر نبوده است.

همچنین از استاد بزرگوار جناب آقای **دکتر ناصر خاجی** که راهنمایی‌ها و کمک ایشان همواره یاری‌بخش من در انجام این پایان نامه بوده است، تشکر و قدردانی میکنم؛ و نیز از تمامی اساتید، دوستان و اعضای خانواده‌ام که هریک به تناسب موقعیتشان در طول انجام این پایان نامه بنده را یاری نمودند.

محمدرضا وفایی آذر ۱۳۸۸

چکیده

زلزله‌های نزدیک‌گسل به‌دلیل دارا بودن محتوای بالا فرکانسی با پهنای باند باریک، سبب انتقال پالسی با انرژی فوق‌العاده بالا (معمولا در ابتدای شتاب‌نگاشت) به سیستم می‌شود. آسیب‌های کلی و جزئی به‌وجود آمده در سازه‌های مدرن تحت اثر زلزله‌های نزدیک‌گسل، جدا از نقص اتصالات، به مشخصه‌های لرزه‌ای این زلزله‌ها ارتباط دارد. مشخصاتی هم‌چون وجود پالس‌های پریود بلند در ابتدای رکوردها و اعمال نیروی ضربه‌گونه به سازه‌های موجود در مسیر پیشرو گسیختگی گسل، آسیب‌هایی در اتصالات قاب‌های خمشی ایجاد می‌کند؛ چرا که قاب‌های خمشی تحت اثر زلزله‌های نزدیک‌گسل به نسبت زلزله‌های دور از گسل، رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به منظور شناخت بهتر رفتار اتصالات در قاب‌های خمشی، تحت تاثیر این نوع از زلزله‌ها ۳ قاب ۲، ۴ و ۶ طبقه بر اساس ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی گردید. سپس قاب‌های طراحی شده به همراه تمام اجزای اتصالاتشان توسط روشی که طی آن تیر و ستون در نواحی بحرانی نزدیک به اتصال، ورق‌های اتصال و جوش‌ها به طور کامل و با استفاده از ریزالمان و بقیه نواحی سازه برای جلوگیری از افزایش زمان تحلیل با استفاده از المان‌های قابی ساخته شده است، در نرم‌افزار ANSYS مدل‌سازی و با اعمال رکوردهای دور و نزدیک‌گسل زلزله‌های بم، چی‌چی، کوبه و لوماپریتا تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌زمانی شدند. نیازهای مقاومتی و چرخشی همه اتصالات به صورت منحنی‌های هیسترزیس لنگر-دوران ارائه و مورد بررسی و تفسیر قرار گرفتند. بررسی منحنی‌های لنگر-دوران اتصالات که از تحلیل قاب‌ها در این تحقیق به‌دست آمده، نشان دهنده تفاوت بسیار زیاد نیاز دورانی و شکل‌پذیری سازه‌های طراحی شده بر مبنای آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم، تحت اثر این دو نوع رکورد می‌باشد. به‌طوری‌که حداکثر دوران اتصالات قاب‌ها تحت اثر رکوردهای نزدیک‌گسل به مراتب بزرگ‌تر از مقدار متناظر آن برای رکوردهای دور از گسل می‌باشد. این در حالی است که به دلیل هم‌پایه شدن رکوردها، نیاز مقاومتی (لنگر) تجربه شده توسط اتصال برای دو حالت اعمال رکورد نزدیک و دور از گسل، در اکثر موارد مقادیری تقریبا برابر و یا با اختلاف کم داشته است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد اتصال خمشی با شکل‌پذیری ویژه مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان می‌تواند بدون گسیختگی به دوران ۰/۰۴ رادیان برسد. حتی برخی از مدل‌ها دوران حدود ۰/۰۵۵ رادیان را نیز بدون گسیختگی تجربه کرده‌اند. اما در عین حال بررسی‌های دیگر بر روی منحنی‌های نیاز لنگر-دوران نشان دهنده این مطلب است که اکثر اتصالات بعد از اعمال رکوردهای نزدیک‌گسل دچار تغییرشکل‌های ماندگار شده‌اند، چراکه در حین بارگذاری و بعد از اعمال پالس موجود در رکورد، اتصالات حول نقطه جدیدی شروع به دوران کرده و در پایان بارگذاری تغییر شکل‌هایی تا ۰/۰۳۲ رادیان نیز در آن‌ها باقی مانده است. دسته دیگری از نتایج نشان می‌دهد با افزایش نسبت پریود سازه به پریود غالب زلزله ($\frac{T}{Tp}$) در قاب‌های مورد بررسی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک، نیاز دورانی اتصالات افزایش می‌یابد و این تاکیدی است بر لزوم طراحی سازه‌ها با ظرفیت دورانی بالا و شکل‌پذیری زیاد در نواحی نزدیک‌گسل.

کلید واژه: زلزله نزدیک‌گسل، قاب خمشی ویژه، اتصال صلب ،تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی، منحنی لنگر دوران اتصال

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... و
فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۲- تعریف مساله، هدف و روش تحقیق ۳
۱-۳- ساختار تحقیق ۴

فصل ۲- تاریخچه تحقیقات ۵
۲-۱- مقدمه ۵
۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده ۵
۲-۲-۱- دسته اول تحقیقات ۶
۲-۲-۲- دسته دوم تحقیقات ۶
۲-۲-۳- دسته سوم تحقیقات ۸

فصل ۳- مشخصات رکوردهای دور و نزدیک گسل مورد استفاده ۱۳
۳-۱- مقدمه ۱۳
۳-۲- محدوده نزدیک گسل ۱۳
۳-۳- مشخصات رکوردهای نزدیک گسل ۱۵
۳-۳-۱- مقادیر PGA، PGV وPGD ۱۵
۳-۳-۲- وجود حرکت پالس گونه ۱۷
۳-۳-۳- بررسی مولفه های رکوردهای جنبش زمین در نزدیکی گسل ۱۷
۳-۳-۴- انتقال انرژی در مدت زمان کوتاه و اعمال نیروی ضربه گونه ۱۹
۳-۴- انتخاب رکوردها ۲۰
۳-۴-۱- زلزله بم ۲۱
۳-۴-۲- زلزله چی چی ۲۳
۳-۴-۳- زلزله کوبه ۲۴
۳-۴-۴- زلزله لوماپریتا ۲۵
۳-۵- آماده نمودن رکوردها ۲۷

فصل ۴- طراحی قابها و اتصالات مورد مطالعه ۲۸
۴-۱- مقدمه ۲۸
۴-۲- مشخصات کلی قابها ۲۸

۴-۳- بارگذاری ۲۹
۴-۳-۱- بارگذاری ثقلی ۲۹
۴-۳-۲- بارگذاری جانبی ۲۹
۴-۴- طراحی مدل های سیستم قاب خمشی ۳۰
۴-۴-۱- طراحی تیرها ۳۰
۴-۴-۲- طراحی ستون ها ۳۱
۴-۴-۳- کنترل معیار ستون قوی- تیر ضعیف ۳۲
۴-۴-۴- کنترل تغییر مکان جانبی قابها ۳۳
۴-۴-۵- طراحی اتصالات ۳۳
۴-۴-۵-۱- طراحی اتصال برای خمش ۳۴
فصل ۵- مدل اجزا محدود قابها و اتصالات ۴۰
۵-۱- مقدمه ۴۰
۵-۲- معرفی نرم افزار انسیس ۴۰
۵-۳- تحلیل دینامیکی گذرا ۴۱
۵-۳-۱- روش نیومارک ۴۲
۵-۳-۱-۱- روش کامل ۴۳
۵-۳-۱-۲- روش کاهش یافته ۴۴
۵-۳-۱-۳- روش جمع آثار مودی ۴۴
۵-۴- رفتار غیر خطی ۴۴
۵-۴-۱- مدل سازی رفتار غیر خطی هندسی در نرم افزار انسیس ۴۵
۵-۴-۲- مدل سازی رفتار غیر خطی مصالح در نرم افزار انسیس ۴۶
۵-۴-۲-۱- معرفی رفتار غیرخطی فولاد به نرم افزار انسیس ۴۹
۵-۴-۲-۲- معرفی رفتار غیرخطی جوش به نرم افزار انسیس ۴۹
۵-۵- معرفی المان های استفاده شده در مدل قابهای ۲، ۴ و ۶ طبقه ۴۹
۵-۵-۱- المان SOLID ۴۵ ..... ۵۰
۵-۵-۲- المان SHELL ۴۳ ..... ۵۱
۵-۵-۳- المان BEAM ۱۸۹ ..... ۵۱
۵-۵-۴- المان های CONTACT ۱۷۳ و TARGET ۱۷۰ ..... ۵۲
۵-۵-۵- المان MASS ۲۱ ..... ۵۲
۵-۶- مدل سازی قابها ۵۳
۵-۶-۱- نحوه مدل سازی محدوده اتصالات ۵۴
۵-۶-۱-۱- مدل سازی ورقها و اجزا سازه ای ۵۴
۵-۶-۱-۲- مدل سازی جوش ۵۸
۵-۶-۱-۳- مدل سازی تماس بین ورق ها ۵۸
۵-۶-۲- نحوه مدل سازی سایر قسمت های قاب ۶۰
۵-۶-۳- شرایط مرزی ۶۱
۵-۷- کنترل صحت محاسبات ۶۳

فصل ۶- تحلیل مدلها و نتایج حاصل از آن ۶۶
۶-۱- مقدمه ۶۶
۶-۲- نحوه محاسبه منحنی دوران-لنگر اتصال ۶۷
۶-۳- زلزله بم ۷۰
۶-۳-۱- چرخش اتصالات قاب ۲ طبقه تحت اثر زلزله بم ۷۰
۶-۳-۲- چرخش اتصالات قاب ۴ طبقه تحت اثر زلزله بم ۷۲
۶-۳-۳- چرخش اتصالات قاب ۶ طبقه تحت اثر زلزله بم ۷۵
۶-۳-۴- مقایسه حداکثر دوران اتصالات قابها تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۹
۶-۴- زلزله چی چی ۸۱
۶-۴-۱- چرخش اتصالات قاب ۲ طبقه تحت اثر زلزله چی چی ۸۱
۶-۴-۲- چرخش اتصالات قاب ۴ طبقه تحت اثر زلزله چی چی ۸۳
۶-۴-۳- چرخش اتصالات قاب ۶ طبقه تحت اثر زلزله چی چی ۸۶
۶-۴-۴- مقایسه حداکثر دوران اتصالات قابها تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۹۰
۶-۵- زلزله کوبه ۹۲
۶-۵-۱- چرخش اتصالات قاب ۲ طبقه تحت اثر زلزله کوبه ۹۲
۶-۵-۲- چرخش اتصالات قاب ۴ طبقه تحت اثر زلزله کوبه ۹۴
۶-۵-۳- چرخش اتصالات قاب ۶ طبقه تحت اثر زلزله کوبه ۹۷
۶-۵-۴- مقایسه حداکثر دوران اتصالات قابها تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۱۰۱
۶-۶- زلزله لوماپریتا ۱۰۳
۶-۶-۱- چرخش اتصالات قاب ۲ طبقه تحت اثر زلزله لوماپریتا ۱۰۳
۶-۶-۲- چرخش اتصالات قاب ۴ طبقه تحت اثر زلزله لوماپریتا ۱۰۵
۶-۶-۳- چرخش اتصالات قاب ۶ طبقه تحت اثر زلزله لوماپریتا ۱۰۸
۶-۶-۴- مقایسه حداکثر دوران اتصالات قابها تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا ۱۱۲
۶-۷- مقایسه نیاز دورانی اتصالات طبقات مختلف تحت رکوردهای نزدیک گسل ۱۱۴
۶-۸- بررسی رفتار ناحیه اتصال و کنترل تغییر مکان جانبی قابها ۱۱۸
فصل ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۲
۷-۱- مقدمه ۱۲۲
۷-۲- نتایج تحقیق ۱۲۲
۷-۳- پیشنهادات ۱۲۴
فهرست مراجع ۱۲۵
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۲۸
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۳۰

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
عرض بال تیر	b_{bf}
عرض بال ستون	b_{cf}
ضریب مشارکت مود اول	C_0
ضریب تبدیل تغییرمکان طیفی خطی به تغییرمکان حداکثر غیرخطی	C_1
ضریب اثر کاهش سختی و افت مقاومت اجزاء سازه	C_2
ضریب اثر افزایش تغییرشکل جانبی سازه تحت اثر $P-\Delta$	C_3
عمق تیر	d_b
ارتفاع ستون	d_c
ارتفاع چشمه اتصال ورقهای پیوستگی	d_z
مدول الاسیته فولاد	E
تنش تسلیم ستون	F_{yc}
تنش تسلیم ورقهای پیوستگی	F_{yst}
شتاب ثقلی	g
ارتفاع ستون	h
فاصله دور ترین تار مقطع تا انتهای ماهیچه اتصال بال به جان	K
سختی جانبی موثر	K_e
سختی جانبی ارتجاعی	K_i
طول تیر از بر ستون	L_b
ظرفیت خمش پلاستیک مقطع تیر	M_p
لنگر خمشی اضافی	M_v
مقاومت فشاری مورد نیاز ستون	P_u
مقاومت تسلیم فشاری ستون	P_y
بار مرده	Q_D
بارزنده	Q_L
بارگذاری ثقلی	Q_G
نسبت تنش تسلیم مورد انتظار تیر به حداقل تنش تسلیم تیر	R_{yb}

نسبت تنش تسلیم مورد انتظار ستون به حداقل تنش تسلیم ستون	R_{yc}
شعاع ژیراسیون	r_y
زمان تناوب اصلی موثر	T_e
زمان تناوب اصلی ساختمان	T_i
مجموع ضخامت ستون و ورقهای مضاعف	t
ضخامت بال تیر	t_{bf}
ضخامت بال ستون	t_{cf}
ضخامت بال ستون	t_f
ضخامت قطعه منتقل کننده نیروی فشاری	t_{pf}
ضخامت ناحیه چشمه اتصال	t_{pz}
ضخامت جان	t_w
برش تسلیم	V_y
نیروی برشی موجود در ناحیه چشمه	V_r
وزن ساختمان	W
عرض چشمه اتصال بین بالهای ستون	w_z
مدول پلاستیک مقطع ستون	Z_c
مجموع لنگرهای خمشی در بالا و پایین محل برخورد محور میانی تیر- ستون	$\sum M^*_{pc}$
مجموع لنگر های خمشی تیر ها در محل برخورد محور میانی تیر و ستون	$\sum M^*_{bc}$
تنش معادل	σ_e

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مقایسه مقادیر بیشینه برای دو رکورد نزدیک و دوراز گسل بم ۱۶
جدول ۳-۲: نسبت PGV /PGA برای دو رکورد نزدیک و دور از گسل زلزله بم ۱۶
جدول ۳-۳: مقادیر بیشینه حرکت زمین برای امتدادهای موازی و عمود بر گسل ۱۸
جدول ۳-۴: مشخصات زلزله های مورد استفاده ۲۱
جدول ۴-۱: پارامترهای مورد نیاز برای تعیین برش پایه ۳۰
جدول ۴-۲: نسبت های لاغری موجود و مجاز ۳۰
جدول ۴-۳: نسبت لنگر تیر به ستون ۳۳
جدول ۴-۴: تغییر مکان جانبی قابها ۳۳
جدول ۴-۵: مشخصات هندسی تیر و ستون اتصال طبقه اول قاب دو طبقه ۳۴
جدول ۴-۶: جزئیات اتصالات تیر به ستون طراحی شده در قابها ۳۹
جدول ۵-۱: انواع رفتار غیرخطی مصالح در نرم افزار انسیس ۴۶
جدول ۵-۲: خصوصیات مصالح المان SOLID۴۵ ۵۰
جدول ۶-۱: دورانهای نیاز اتصالات تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل ۱۱۴
جدول ۶-۲: دوران و کرنش حداکثر در جوش اتصالات تحت اثر زلزله های نزدیک گسل ۱۱۹
جدول ۶-۳: تغییر مکان نسبی حداکثر طبقات قاب ها تحت اثر زلزله های نزدیک گسل ۱۲۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: عوامل شکل دهنده رفتار قاب ۱
شکل ۲-۱: اشکال مختلف اتصالRBS: (a) برش مخروطی، (b) برش شعاعی، (c) برش مستقیم ۱۱
شکل ۳-۱: تعیین مسیر پیشرو گسیختگی گسل ۱۳
شکل ۳-۲: ایستگاههای قرار گرفته در محدوده نزدیک گسل مسبب زلزله چی چی ۱۴
شکل ۳-۳: نمودار PGA و PGV نسبت به نزدیکترین فاصله از رومرکز در زلزله چی چی ۱۶
شکل ۳-۴: محاسبه شتاب در راستای دلخواه توسط دو مولفه افقی ثبت شده از زلزله ۱۸
شکل ۳-۵: دیاگرام مسیر بیشترین سرعت برای چند ایستگاه نزدیک گسل زلزله چی چی ۱۹
شکل ۳-۶: تاریخچه شتاب، سرعت و جابجایی زلزله بم (الف) ایستگاه محمدآباد مسکون (ب) ایستگاه بم ۲۲
شکل ۳-۷: محتوا فرکانسی رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۲۲
شکل ۳-۸: تاریخچه شتاب، سرعت و جابجایی رکورد (الف) دور از گسل (ب) نزدیک گسل زلزله چی چی ۲۳
شکل ۳-۹: محتوا فرکانسی رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۲۴
شکل ۳-۱۰: تاریخچه شتاب، سرعت و جابجایی رکورد (الف) دور از گسل (ب) نزدیک گسل زلزله کوبه ۲۵
شکل ۳-۱۱: محتوا فرکانسی رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۲۵
شکل ۳-۱۲: تاریخچه شتاب، سرعت و جابجایی رکورد (الف) دور از گسل (ب) نزدیک گسل زلزله لوماپریتا ۲۶
شکل ۳-۱۳: محتوا فرکانسی رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا ۲۶
شکل ۴-۱: عرض بارگیر قاب جدا شده از سازه یک دهانه ۲۹
شکل ۴-۲: مشخصات تیر و ستون قاب های طراحی شده ۳۲
شکل ۴-۳: مشخصات تیر و ستون اتصال طبقه اول قاب دو طبقه ۳۴
شکل ۴-۴: طرح ورق فوقانی به صورت شماتیک ۳۵
شکل ۴-۵: ابعاد ورق فوقانی اتصال ۳۵
شکل ۴-۶: جزئیات ورق تحتانی اتصال ۳۶
شکل ۴-۷: برش در تیر بعد از بوجود آمدن مفاصل پلاستیک در ۲ انتهای آن ۳۸
شکل ۴-۸: نمای کلی اتصال و ابعاد ورق انتقال برش ۳۸
شکل ۵-۱: رفتار تنش-کرنش در حالات مختلف ۴۷
شکل ۵-۲: سخت شوندگی ایزوتروپیک ۴۸
شکل ۵-۳: سخت شوندگی سینماتیکی ۴۹
شکل ۵-۴: نمودار تنش-کرنش فولاد ۴۹
شکل ۵-۵: المان سازه ای SOLID۴۵ ۵۰
شکل ۵-۶: المان سازه ای SHELL۴۳ ۵۱
شکل ۵-۷: المان سازه ای BEAM۱۸۹ ۵۱
شکل ۵-۸: جفت المان سازه ای TARGET۱۷۰ و CONTACT۱۷۳ ۵۲
شکل ۵-۹: المان سازه ای MASS۲۱ ۵۲
شکل ۵-۱۰: مقایسه روش مورد استفاده در مدل سازی قابها در این تحقیق با یکی از روشهای مرسوم. ۵۳
شکل ۵-۱۱: قرار دادن فاصله بین ورقها برای مماس ماندن سطوح مجازی آنها ۵۴
شکل ۵-۱۲: موقعیت دو ورق نسبت به هم برای در نظر گرفتن ضخامت مجازی المانها ۵۵

شکل ۵-۱۳: جزئیات فولادی اتصال نوع اول ۵۶
شکل ۵-۱۴: جزئیات فولادی اتصال نوع اول از نمای جانبی ۵۷
شکل ۵-۱۵: مدلسازی جوش با المان SOLID۴۵ ۵۸
شکل ۵-۱۶: مدل کامل شده اتصال نوع اول از دو نمای مختلف ۵۹
شکل ۵-۱۷: مش بندی مقطع تیر ۶۰
شکل ۵-۱۸: المان BEAM در قسمت میانی تیر ۶۰
شکل ۵-۱۹: اتصال دو المان BEAM و SHELL توسط ورق صلب ۶۱
شکل ۵-۲۰: مدل قاب ۲ طبقه با المان SHELL و مش ریز در نواحی نزدیک اتصال و المان BEAM در سایر قسمتها ۶۲
شکل ۵-۲۱: مدل قاب ۴ طبقه با المان SHELL و مش ریز در نواحی نزدیک اتصال و المان BEAM در سایر قسمتها ۶۲
شکل ۵-۲۲: مدل قاب ۶ طبقه با المان SHELL و مش ریز در نواحی نزدیک اتصال و المان BEAM در سایر قسمتها ۶۳
شکل ۵-۲۳: مدل ارائه شده در مرجع ۳۸ ۶۴
شکل ۵-۲۴: قاب ساخته شده در نرم‌افزار انسیس برای کنترل صحت جواب‌ها ۶۴
شکل ۵-۲۵: ناحیه نزدیک به اتصال از قاب ساخته شده در نرم‌افزار انسیس برای کنترل صحت جواب‌ها ۶۵
شکل ۵-۲۶: تغییرمکان نسبی بام ۶۵
شکل ۵-۲۷: تغییرمکان نسبی بام در مدل ساخته شده توسط انسیس ۶۵
شکل ۶-۱: نام گذاری نمودارها ۶۶
شکل ۶-۲: ناحیه بندی اتصال تیر به ستون ۶۷
شکل ۶-۳: تغییر شکل در چشمه اتصال ۶۸
شکل ۶-۴: تغییر شکل درناحیه ۲ ۶۸
شکل ۶-۵: مکان تقریبی تشکیل مفصل پلاستیک طبق FEMA 350 ۶۹
شکل ۶-۶: نحوه محاسبه دوران درناحیه ۳ ۶۹
شکل ۶-۷: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۰
شکل ۶-۸: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۱
شکل ۶-۹: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۲
شکل ۶-۱۰: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۲
شکل ۶-۱۱: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۳
شکل ۶-۱۲: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۳
شکل ۶-۱۳: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۵
شکل ۶-۱۴: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۵
شکل ۶-۱۵: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۶
شکل ۶-۱۶: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۶
شکل ۶-۱۷: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه پنجم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۷
شکل ۶-۱۸: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه ششم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله بم ۷۷
شکل ۶-۱۹: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۲ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله بم ۷۹
شکل ۶-۲۰: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۴ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله بم ۷۹
شکل ۶-۲۱: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۶ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله بم ۸۰
شکل ۶-۲۲: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۸۱
شکل ۶-۲۳: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۸۲
شکل ۶-۲۴: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۸۳
شکل ۶-۲۵: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۸۳

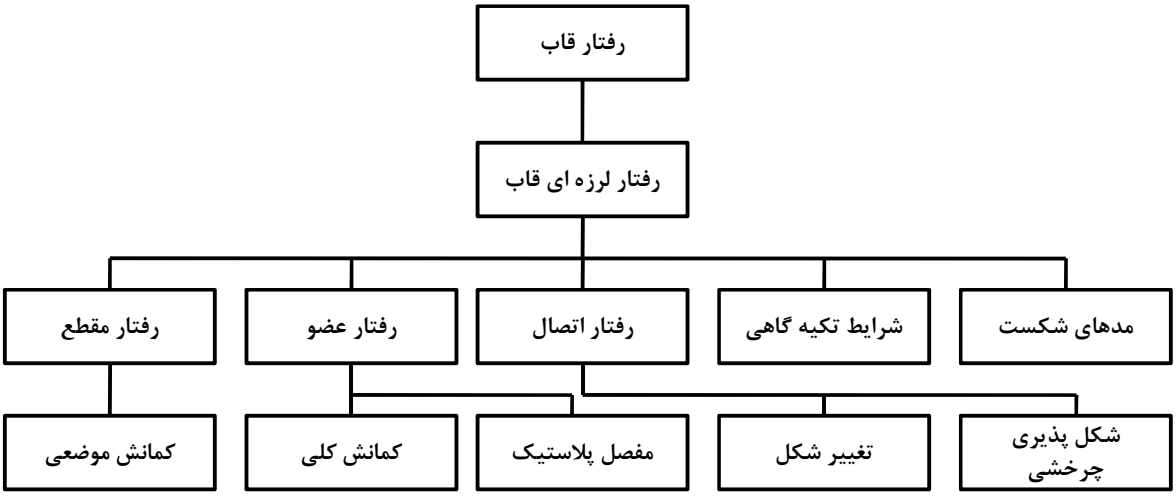
شکل ۶-۲۶: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی.... ۸۴
شکل ۶-۲۷: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی ۸۴
شکل ۶-۲۸: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی.....۸۶
شکل ۶-۲۹: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی.....۸۶
شکل ۶-۳۰: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی.... ۸۷
شکل ۶-۳۱: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی. ۸۷
شکل ۶-۳۲: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه پنجم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی.. ۸۸
شکل ۶-۳۳: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه ششم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله چی چی.. ۸۸
شکل ۶-۳۴: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۲ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله چی چی.... ۹۰
شکل ۶-۳۵: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۴ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله چی چی.... ۹۰
شکل ۶-۳۶: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۶ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله چی چی.... ۹۱
شکل ۶-۳۷: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه..... ۹۲
شکل ۶-۳۸: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۹۳
شکل ۶-۳۹: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه..... ۹۴
شکل ۶-۴۰: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۹۴
شکل ۶-۴۱: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۹۵
شکل ۶-۴۲: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه..... ۹۵
شکل ۶-۴۳: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۹۷
شکل ۶-۴۴: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه..... ۹۷
شکل ۶-۴۵: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۹۸
شکل ۶-۴۶: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه ۹۸
شکل ۶-۴۷: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه پنجم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه..... ۹۹
شکل ۶-۴۸: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه ششم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله کوبه..... ۹۹
شکل ۶-۴۹: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۲ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله کوبه.....۱۰۱
شکل ۶-۵۰: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۴ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله کوبه.....۱۰۱
شکل ۶-۵۱: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۶ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله کوبه.....۱۰۲
شکل ۶-۵۲: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا....۱۰۳
شکل ۶-۵۳: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۲ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا...۱۰۴
شکل ۶-۵۴: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا....۱۰۵
شکل ۶-۵۵: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا...۱۰۵
شکل ۶-۵۶: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا..۱۰۶
شکل ۶-۵۷: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۴ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا.....۱۰۶
شکل ۶-۵۸: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه اول از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا....۱۰۸
شکل ۶-۵۹: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه دوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا....۱۰۸
شکل ۶-۶۰: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه سوم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا...۱۰۹
شکل ۶-۶۱: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه چهارم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا.....۱۰۹
شکل ۶-۶۲: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه پنجم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا.۱۱۰
شکل ۶-۶۳: نمودار لنگر- دوران اتصال طبقه ششم از قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل زلزله لوماپریتا.۱۱۰
شکل ۶-۶۴: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۲ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله لوماپریتا..۱۱۲
شکل ۶-۶۵: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۴ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله لوماپریتا..۱۱۳

شکل ۶-۶۶: مقایسه حداکثر دوران اتصالات در قاب ۶ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل زلزله لوماپریتا...۱۱۳
شکل ۶-۶۷: حداکثر دوران اتصالات قابها به تفکیک زلزله.....۱۱۵
شکل ۶-۶۸: شکل کلی محتوا فرکانسی زلزلههای نزدیکگسل.....۱۱۵
شکل ۶-۶۹: محتوا فرکانسی رکورد نزدیکگسل بم در مقایسه با سایر رکوردها.....۱۱۶
شکل ۶-۷۰: چرخش اتصالات قاب ۲ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل.....۱۱۷
شکل ۶-۷۱: چرخش اتصالات قاب ۴ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل.....۱۱۷
شکل ۶-۷۲: چرخش اتصالات قاب ۶ طبقه تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل.....۱۱۸
شکل ۶-۷۳: (الف) توزیع کرنش در اتصال (ب) توزیع تنش در اتصال.....۱۱۹

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

استفاده از قاب‌های خمشی (MRFs)[1] فولادی به دلیل امکان برخورداری از فضاهای باز معماری از دیرباز مورد توجه طراحان سازه بوده است. استفاده از این قاب‌ها برای ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، به دلیل قابلیت شکل‌پذیری مناسب، در کشور ما نیز در سطح وسیعی، کاربرد دارد. به طور کلی رفتار سازه‌های فلزی به عوامل متعددی بستگی دارد که اثرات متقابل این عوامل، رفتار سازه را شکل می‌دهند. به‌طور خلاصه این عوامل را می‌توان طبق شکل ۱-۱ نشان داد.



شکل ۱-۱: عوامل شکل دهنده رفتار قاب[۱]

همان‌طور که دیده می‌شود، یکی از این عوامل، رفتار اتصالات می‌باشد که در رفتار کلی قاب موثر بوده[۱]، و از مشخصه‌های مهم رفتار اتصالات، شکل منحنی لنگر- دوران آن‌ها می‌باشد [۲]. بنابراین وقتی قاب‌های خمشی تحت اثر بارهای تناوبی شدید هستند، اتصالات باید بتوانند به مقاومت تیرها و نواحی چشمه برسند. محل اتصال تیر به ستون و یا ناحیه حرارت دیده در اثر جوشکاری به دلیل طبیعت ترد جوش و تمرکز تنش ناشی از سوراخ‌های دسترسی، ورق پشت‌بند، وجود تنش‌های سه محوره و .... از حساسیت زیادی برخوردار است. نتایج حاصل از آزمایش‌های متعدد، مشخص نموده است که اتصالات گیردار جوشی ، به دلیل وقوع شکست‌های ترد در محل اتصال تیر به ستون و یا در ناحیه حرارت دیده در اثر جوشکاری، قادر به نشان دادن شکل پذیری مناسب و یا رسیدن به مقاومت تیرها و چشمه اتصال نمی‌باشند[۳].

[1] Moment Resisting Frames

زلزله ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ نورث‌ریج[1] که در ۲۰ مایلی شمال غرب لس‌آنجلس اتفاق افتاد، اولین زلزله‌ای بود که به تعداد زیادی از ساختمان‌های مقاوم خمشی در آمریکا آسیب سازه‌ای رساند. اگرچه شدت زلزله ۶/۸ درجه در مقیاس ریشتر بود که بر اساس مقدار انرژیی که رها کرد یک زلزله متوسط درنظر گرفته می‌شد، اما تعداد زیادی از اتصالات تیر به ستون ساختمان‌های مقاوم خمشی در آن زلزله به شدت آسیب دیدند. این اتصالات در آیین نامه (UBC)[2] مورد تایید قرار گرفته بودند و تصور می‌شد که ظرفیت کافی دارند تا تیر در خمش به حد تسلیم برسد و یا ناحیه چشمه اتصال ستون دچار تسلیم برشی گردد. اما برخلاف انتظار، اکثر اتصالات به دلایلی هم‌چون: آسیب تیر، آسیب بال ستون، نواقص و ناپیوستگی‌های جوش، آسیب نبشی اتصال جان و آسیب چشمه اتصال، به‌صورت ترد گسیخته شدند و در موارد کمی رفتار آن‌ها شکل پذیر بود.

یک سال بعد از زمین‌لرزه نورث‌ریج، درست در ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ زلزله‌ای به بزرگی ۶/۹ درجه در مقیاس ریشتر، شهر کوبه[3] در ژاپن را لرزاند که در این زلزله بسیاری از اتصالات قاب‌های خمشی آسیب دیدند و حتی بعضی از ساختمان‌های با قاب خمشی فرو ریختند. کشف این آسیب‌ها این اندیشه را تقویت کرد که در زلزله‌های قبلی هم آسیب‌هایی به‌وجود آمده است که مخفی مانده‌اند. تحقیقات بعدی به درستی تایید کرد که چنین آسیب‌هایی در زلزله ۱۹۹۲ لندرز[4] و زلزله ۱۹۸۹ لوماپرتیا[5] اتفاق افتاده است.

کشف آسیب‌های جدی در ساختمان‌های فولادی با قاب‌های خمشی جوشی در زلزله‌های دیگر، از جمله زلزله کوبه، نیز تاییدی بر آسیب‌های اتفاق افتاده در قاب‌های خمشی نورث‌ریج بود و این نشان دهنده این مطلب بود که این آسیب‌ها جدا از نقص اتصالات، به مشخصه‌های لرزه‌ای این زلزله‌های خاص نیز مربوط می‌شدند. مشخصاتی هم‌چون وجود پالس‌های پریود بلند در ابتدای رکوردها و تجمع انرژی و انتقال آن در مدت زمان کوتاه و اعمال نیروی ضربه‌گونه به سازه‌های موجود در مسیر پیشرو گسیختگی گسل باعث به‌وجود آمدن شکست ترد در اتصالات قاب‌های خمشی شده بود. قبل از زلزله نورث‌ریج چنین تصور می‌شد که این نوع ساختمان‌ها بسیار شکل‌پذیرند و از آسیب‌هایی که ظرفیت سازه را کاهش می‌دهد مصون‌اند، چرا که آسیب‌های بسیار جدی به این نوع سازه‌ها در زلزله‌های گذشته به ندرت گزارش شده بود و حتی هیچ‌گونه گزارشی از فرو ریختن چنین سازه‌هایی وجود نداشت. به همین علت در کنار بررسی رفتار سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک‌گسل به مطالعاتی برای بهبود رفتار اتصالات در قاب‌های خمشی پرداخته شد. یکی از زمینه‌های مطالعه رفتار سازه‌ها، تمرکز روی منحنی‌های هیسترزیس[6] اتصالات آن‌ها می‌باشد؛ که این تحقیق قصد دارد آن‌را انجام دهد.

[1] Northridge
[2] Uniform Building Code
[3] Kobe
[4] Landers
[5] Loma prieta
[6] Hysteresis