بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران گرایش زلزله

عنوان:

بررسی ضوابط تحلیل و طراحی قاب‌های خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط

هانیه رمضان صفت

استاد راهنما:

دکتر علی‌اکبر آقاکوچک

استاد مشاور:

دکتر شریف شاه‌بیک

تابستان ۱۳۸۸

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم هانیه رمضان صفت پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی ضوابط تحلیل و طراحی قابهای خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط در تاریخ ۱۳۸۸/٤/۱۳ 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 علی اکبر آقا کوچک	استاد	
استاد مشاور	دکتر شریف شاه بیک	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حمید محرمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر اردشیر دیلمی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حمید محرمی	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.
امضای استاد راهنما

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 می باشد، 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.

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/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر 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 می کند 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 دانشجوی رشته مقطع

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

تقدیم

تقدیم به مادر، پدر و برادر عزیزم

که وجودشان برایم رحمت است.

تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان و تشکر بی پایان از درگاه ایزد متعال

بر خود لازم می دانم از زحمات استاد فرزانه جناب آقای دکتر علی اکبر آقاکوچک که در مراحل مختلف این پایان نامه با صبر و شکیبایی فراوان راهنمای اینجانب بودند، کمال قدردانی و سپاس را به عمل آورم.

همچنین از جناب آقای دکتر شریف شاه بیک که در مراحل مختلف انجام این پایان نامه اینجانب را راهنمایی کردند کمال قدردانی را دارم.

گرچه دانسته‌هایم اندک است

امامی خواهم آنها را بشناسانم تا دیگری بهتر از من حقیقت را کشف کند

و کاری را پی گیرد که به رفع اشتباه من بیانجامد

و با این همه شادمان خواهم شد که علت کشف حقیقت بوده ام.

«آلبرشت دورر»

چکیده

تا قبل از زلزله‌ی سال ۱۹۹۴ نورث‌ریج و زلزله‌ی ۱۹۹۵ کوبه‌ی ژاپن فرض بر این بود که ساختمان‌های قاب خمشی در مقابل زلزله شکل‌پذیرند، در حالی که در این زلزله‌ها این ساختمان‌ها شکست‌های ترد رادراتصالاتشان تجربه کردند. بنابراین طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی بعد از این زلزله‌ها دستخوش تغییرات زیادی شد. آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان سه نوع قاب خمشی با درجات مختلف شکل پذیری را معرفی کرده که عبارتند از؛ قاب خمشی ویژه، متوسط و معمولی. قاب خمشی متوسط سیستم باربری جانبی‌ای است که در برابر نیروهای جانبی حاصل از زلزله از آن انتظار تغییر شکل های غیر ارتجاعی محدودی می رود. اتصالات تیر به ستون در این قاب ها لازم است زاویه تغییرمکان نسبی ۰/۰۲ رادیان را تحمل نمایند. در این سازه‌ها مقاطع بایدآنچنان طراحی شوند که از ایمنی کافی در مقابل گسیختگی ترد و کمانش موضعی برخوردار باشند. هدف این مقاله بررسی ضوابط تحلیل و طراحی این قاب‌ها، که اخیرا به آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم ایران اضافه شده است، تحت اثر بار جانبی می‌باشد. بدین منظور ابتدا سه قاب ۴، ۸ و ۱۲ طبقه بر اساس ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی و پس از آن نمونه‌هایی از اتصالات مورد استفاده در این قاب‌ها در نرم‌افزار ANSYS مدلسازی و تحلیل استاتیکی شدند. سپس منحنی‌های مربوط به تغییرشکل‌ها در اجزای مختلف این اتصال ترسیم گشتند. این تغییرشکل‌ها شامل تغییرشکل‌های ایجاد شده در ناحیه پانلی، تغییر زاویه اتصال در محل اتصال تیر به ستون و نیز تغییرشکل‌های خمیری ایجاد شده درانتهای ورق اتصال در تیر می باشد. با مطالعه کرنش های ایجاد شده در نقاط مختلف، مجموعه حداکثر ظرفیت چرخشی این اتصال بدست آمد. سپس مدلی ساده که می تواند تغییر شکل های این اتصال را شبیه سازی نماید، پیشنهاد گردید. از این مدل ساده در تحلیل قاب های ساخته شده با این نوع اتصالات، استفاده شد و رفتار کلی قاب تحت اثر بارهای جانبی بررسی گردید.

بررسی‌ها نشان می‌دهد اتصال خمشی با شکل‌پذیری متوسط می‌تواند بدون گسیختگی به زاویه تغییرمکان نسبی ۰/۰۲ رادیان برسد.

همچنین نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی برروی قاب‌های خمشی متوسط نشان می‌دهد قاب‌های ساخته شده با این نوع اتصال به سطح عملکردی موردنظر آیین‌نامه که ایمنی جانی است می‌رسند و در واقع هدف آیین‌نامه ی ۲۸۰۰ مبنی بر حفظ سطح عملکرد ایمنی جانی تامین شده است.

کلید واژه ها: قاب‌های خمشی فولادی، تحلیل پوش اور، زاویه تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای، گسیختگی اتصال.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- مقدمه و اهداف ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- طبقه بندی آسیبهای اتصالات گیردار در زلزله نورث ریج ۳

۱-۲-۱- آسیب تیر ۳

۱-۲-۲- آسیب بال ستون ۴

۱-۲-۳- آسیبها، نواقص و ناپیوستگیهای جوش ۴

۱-۲-۴- آسیبهای نبشی برشی اتصال جان: ۵

۱-۲-۵- آسیب چشمه اتصال ۶

۱-۲-۶- سایر آسیبها ۶

۱-۳- عوامل موثر بر عملکرد نامناسب اتصالات قاب خمشی درزلزله نورث ریج و راهکارهای اصلاحی ۷

۱-۳-۱- اثرات مخرب باقی ماندن تسمه پشت بند جوش شیاری در محل ۸

1-3-2- تمرکز تنش در ناحیه مجاور جوش اتصال ۸

۱-۳-۳- ایجاد تنشهای کششی سه محوره در اتصال ۸

۱-۳-۴- عدم توجه کافی به ظرفیت خمشی جان تیر ۹

۱-۳-۵- مقررات گمراه کننده ASTM ۹

۱-۳-۶- رعایت نکردن رابطه تیر ضعیف – ستون قوی ۱۰

۱-۳-۷- سوراخهای دسترسی ۱۰

۱-۳-۸- ضعیف بودن چشمه اتصال ۱۰

۱-۳-۹- عوامل دیگر ۱۱

۱-۴- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی ۱۱

۱-۵- دسته بندی قابهای خمشی طبق ضوابط لرزهای AISC 2005 ..... ۱۷

۱-۵-۱- قابهای خمشی ویژه ۱۸

۱-۵-۲- قابهای خمشی متوسط ۱۸
۱-۵-۳- قابهای خمشی معمولی ۱۹
۱-۵-۴- تفاوت قابهای خمشی ویژه با متوسط ۱۹
۱-۶- دسته بندی قابهای خمشی طبق آیین نامه طراحی ساختمانها دربرابر زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ۱۹
۱-۷- دسته بندی قابهای خمشی طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران ۲۰
۱-۸- تعریف مساله، اهداف و روش تحقیق ۲۱
۱-۹- ساختار پایان نامه ۲۲
فصل ۲- طراحی قابهای خمشی مورد مطالعه ۲۳
۲-۱- مقدمه ۲۳
۲-۲- مشخصات کلی سازه ها ۲۴
۲-۳- نمونه ای از طراحی اتصال تیر به ستون ۲۹
۲-۳-۱- تعیین برش پایه ۲۹
۲-۳-۲- کنترل تغییر مکان نسبی طبقات ۲۹
۲-۳-۳- قاب های خمشی فولادی متوسط ۳۰
۲-۳-۴- طراحی ستون ها ۳۰
۲-۳-۵- طراحی تیرها ۳۰
۲-۳-۶- چشمه اتصال ۳۵
۲-۳-۷- پایداری ورق های چشمه اتصال در قابهای خمشی متوسط ۳۷
۲-۳-۸- ورق های پیوستگی در در قابهای خمشی متوسط ۳۷
۲-۳-۹- کنترل متوسط بودن درجه شکل پذیری قابهای خمشی طراحی شده ۳۸
فصل ۳- بررسی و تحلیل رفتار اتصال صلب قاب خمشی متوسط فولادی ۳۹
۳-۱- مقدمه ۳۹
۳-۲- معرفی نرم افزار ANSYS 10.0 ۳۹
۳-۳- معرفی المانهای استفاده شده در نرم افزار ANSYS 10.0 ونحوه مدلسازی اتصال ۴۰
۳-۳-۱- المان SOLID 45 ۴۰
۳-۳-۲- المان CONTACT ۴۵

۳-۳-۲-۱- لزوم استفاده از المان CONTACT ۴۵
۳-۴- معرفی رفتار غیر خطی مصالح ۴۶
۳-۴-۱- نحوه بدست آوردن نمودار تنش- کرنش حقیقی ۴۶
۳-۴-۲- رفتارهای غیرخطی ۴۷
۳-۴-۳- مدلسازی رفتار غیرخطی فولاد و جوش در برنامه ANSYS 10.0 ..... ۴۸
۳-۵- نحوه جداسازی تیر و ستون از قاب ۵۰
۳-۶- بارگذاری اتصال صلب ۵۰
۳-۷- نحوه محاسبه منحنی لنگر- دوران اتصال ۵۱
۳-۸- مدل ساده شده اتصال در نرم افزار SAP ۶۰
۳-۹- تحلیل مدل قاب ۶۷
۳-۱۰- نتیجه گیری ۶۸
فصل ۴- تحلیل و بررسی رفتار قابهای خمشی متوسط ۶۹
۴-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون ۶۹
۴-۱-۱- الگوی بارگذاری قابها برای تحلیل استاتیکی غیرخطی ۷۰
۴-۱-۱-۱- ترکیب بار ثقلی ۷۰
۴-۱-۱-۲- الگوی بارگذاری جانبی ۷۰
۴-۱-۲- رفتار غیرخطی اجزاء ۷۱
۴-۱-۲-۱- رفتار غیر خطی اتصالات و چشمه اتصال ۷۱
۴-۱-۲-۲- رفتار غیر خطی ستونها ۷۲
۴-۱-۲-۳- رفتار غیرخطی تیرها ۷۲
۴-۱-۳- مقادیر لازم برای محاسبه تغییر مکان هدف ۷۸
۴-۱-۳-۱- تعیین تغییرمکان هدف ۸۰
فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۱
۵-۱- کلیات ۱۱۱
۵-۲- نتیجه گیری ۱۱۲
۵-۳- پیشنهادات ۱۱۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: اتصالات کاملاً صلب جوشی آئین نامه FEMA 350 [۵]. ۱۴

جدول ۴-۱: الگوی بارگذاری قابها برای تحلیل استاتیکی غیر خطی ۷۱

جدول ۴-۲: مشخصات مفاصل غیر خطی ستونهای قاب چهار طبقه نوع اول ۷۴

جدول ۴-۳: مشخصات مفاصل غیر خطی ستونهای قاب هشت طبقه نوع اول ۷۵

جدول ۴-۴: مشخصات مفاصل غیرخطی ستونهای قاب دوازده طبقه نوع اول تحت الگوی بار یکنواخت ۷۶

جدول ۴-۵: مشخصات مفاصل غیرخطی ستونهای قاب دوازده طبقه نوع اول تحت الگوی بار طیفی ۷۷

جدول ۴-۶: **مقادیر** C_0 **تا** C_3 ۷۹

جدول۴-۸: مقایسه برش پایه وتغییرمکان هدف قاب هشت طبقه نوع دوم و اول ۸۲

جدول۴-۹: مقایسه برش پایه وتغییرمکان هدف قاب دوازده طبقه در مدلسازی نوع اول و دوم ۸۲

جدول۴-۱۰: مقایسه سطح عملکرد ستونها با نسبت تنشهای متفاوت ۸۴

جدول ۴-۱۱: عملکرد ستونهای مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع اول تحت بارگذاری مختلف ۱۰۳

جدول ۴-۱۲: عملکرد ستونهای مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع دوم تحت بارگذاری مختلف۱۰۴

جدول ۴-۱۳: عملکرد تیرهای مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع اول تحت بارگذاری مختلف... ۱۰۵

جدول ۴-۱۴: عملکرد تیرهای مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع دوم تحت بارگذاری مختلف.. ۱۰۶

جدول ۴-۱۵: عملکرد اتصالات مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع اول تحت بارگذاری مختلف.. ۱۰۷

جدول۴-۱۶: عملکرداتصالات مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع دوم تحت بارگذاری مختلف.... ۱۰۸

جدول ۴-۱۷: عملکرد چشمه اتصال مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع اول تحت بارگذاری مختلف ۱۰۹

جدول ۴-۱۸: عملکردچشمه اتصال مدلهای ۴ و ۸ و ۱۲ طبقه مدلسازی نوع دوم تحت بارگذاری مختلف ۱۱۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: اتصال قبل از زلزله نورث ریج ۲

شکل ۱-۲: انواع آسیبهای تیر ۳

شکل ۱-۳: انواع آسیبهای ستون ۴

شکل ۱-۴: انواع آسیبهای جوش ۵

شکل ۱-۵: انواع آسیبهای نبشی برشی ۵

شکل ۱-۶: انواع آسیبهای چشمه اتصال ۶

شکل ۱-۷: روشهای افزایش سختی اتصال خمشی [۲۵] ۱۲

شکل۱-۸-روشهای افزایش نرمی اتصال خمشی. ۱۳

شکل۱-۹: اتصالات کاملاً صلب جوشی آئین نامه FEMA 350 ۱۵

شکل۱-۱۰: روشهای کاهش مقطع تیر [] ۱۶

شکل۱-۱۱: اتصال صلب RBS ۱۷

شکل ۲-۱: انتخاب قاب بحرانی براساس سطح بارگیر ۲۵

شکل ۲-۲: مقاطع استفاده شده در قاب ۴ طبقه. ۲۶

شکل ۲-۳: مقاطع استفاده شده در قاب ۸ طبقه. ۲۷

شکل ۲-۴: مقاطع استفاده شده در قاب ۱۲ طبقه ۲۸

شکل ۲-۵: ابعاد ورق روسری ۳۲

شکل ۲-۶: ابعاد ورق زیرسری ۳۴

شکل ۳-۱: المان سازه ایSOLID 45 ۴۱

شکل ۳-۲: تقسیم بندی حجمهای اتصال در ناحیه تقویت شده و ناحیه چشمه اتصال در اتصال میانی. ۴۲

شکل ۳-۳: نحوه مش بندی اتصال میانی ۴۳

شکل ۳-۴: تقسیم بندی حجمهای اتصال در ناحیه تقویت شده و ناحیه چشمه اتصال در اتصال کناری. ۴۴

شکل ۳-۵: نحوه مش بندی اتصال کناری. ۴۴

شکل۳-۶: مقایسه نقاط اتصال ادغام شده با حالتی که از المان تماس استفاده شده است..... ۴۶
شکل ۳-۷: سخت شدگی همسانگرد..... ۴۸
شکل۳-۸: سخت شوندگی کینماتیک..... ۴۸
۳-۹: منحنی تنش-کرنش فولاد A36..... ۴۹
۳-۱۰: منحنی تنش-کرنش فلز جوش E60XX..... ۴۹
۳-۱۱: نحوه جداسازی تیر و ستون از قاب..... ۵۰
۳-۱۲: نحوه بارگذاری اتصال در ANSYS..... ۵۱
شکل ۳-۱۳: ناحیه بندی اتصال تیر به ستون..... ۵۲
شکل ۳-۱۴: نحوه محاسبه $\boldsymbol{M-\theta}$ در چشمه اتصال..... ۵۳
شکل ۳-۱۵: نحوه محاسبه منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ درناحیه ۲..... ۵۳
شکل۳-۱۶: مکان تقریبی تشکیل مفصل پلاستیک طبق FEMA 350..... ۵۴
شکل۳-۱۷: نحوه محاسبه منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ درناحیه ۳..... ۵۴
شکل ۳-۱۸: مقایسه منحنی نیرو- تغییر مکان بدست آمده از نرم افزار ANSYS مدل اتصال ۴۰۰ با اتصال ۴۵۰..... ۵۵
شکل ۳-۱۹: مقایسه منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه چشمه اتصال (۱) مدل اتصال ۴۰۰ با اتصال ۴۵۰..... ۵۵
شکل ۳-۲۰: مقایسه منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه ۲ مدل اتصال ۴۰۰ با اتصال ۴۵۰..... ۵۶
شکل ۳-۲۱: منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه ۳ مدل اتصال ۴۰۰..... ۵۶
شکل ۳-۲۲: منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه ۳ مدل اتصال ۴۵۰..... ۵۷
شکل ۳-۲۳: مقایسه منحنی دو خطی شده $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه ۳ مدل اتصال ۴۰۰ با اتصال ۴۵۰..... ۵۷
شکل ۳-۲۴: منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه چشمه اتصال (۱) مدل اتصال ۴۰۰ برای دو حالت میانی و کناری..... ۵۸
شکل ۳-۲۵: منحنی $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه ۲ مدل اتصال ۴۰۰ برای دو حالت میانی و کناری..... ۵۹
شکل ۳-۲۶: منحنی دو خطی شده $\boldsymbol{M-\theta}$ مربوط به ناحیه ۳ مدل اتصال ۴۰۰ برای دو حالت میانی و کناری..... ۵۹

شکل ۳-۲۷: مقایسه منحنی نیرو- تغییر مکان بدست آمده از نرم افزار ANSYS مدل اتصال ۴۰۰ برای دو حالت میانی و کناری..... ۶۰
شکل ۳-۲۸: جداسازی تغییرشکل کل []..... ۶۰
شکل ۳-۲۹: مدل قیچی برای مدلسازی چشمه اتصال..... ۶۱
شکل ۳-۳۰: مدل ساده شده در SAP..... ۶۲
شکل ۳-۳۱: مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان اتصال بدست آمده از نرم افزارهای SAP و ANSYS..... ۶۳
شکل ۳-۳۲: مقایسه منحنی تغییر شکل تیر..... ۶۴
شکل ۳-۳۳: میزان کرنشهای موثر در اتصال در تغییرمکان مجاز آیین نامه مدل اتصال ۴۵۰..... ۶۴
شکل ۳-۳۴: توزیع کرنشهای موثر در اتصال در تغییرمکان مجاز آیین نامه مدل اتصال ۴۰۰..... ۶۵
شکل ۳-۳۵: توزیع کرنشهای موثر در اتصال در تغییرمکان مجاز آیین نامه مدل اتصال ۴۰۰..... ۶۵
شکل ۳-۳۶: توزیع تنشهای موثر در اتصال در تغییرمکان مجاز آیین نامه مدل اتصال۴۰۰..... ۶۶
شکل ۳-۳۷: توزیع تنشهای موثر در اتصال در تغییرمکان مجاز آیین نامه مدل اتصال ۴۰۰..... ۶۶
شکل۳-۳۸: تغییر شکل قاب یک دهانه در تحلیل نرم افزار SAP..... ۶۷
شکل۳-۳۹: منحنی نیرو برحسب زاویه تغییر مکان نسبی بین طبقه ای..... ۶۸
شکل ۴-۱: نامگذاری ستونها..... ۷۳
شکل ۴-۲: معیارهای پذیرش..... ۸۱
شکل ۴-۳: مقایسه منحنی برش پایه- تغییرمکان مدلسازی نوع اول و دوم قاب چهارطبقه..... ۸۵
شکل ۴-۴: مقایسه منحنی برش پایه- تغییرمکان مدلسازی نوع اول و دوم قاب هشت طبقه..... ۸۶
شکل ۴-۵: مقایسه منحنی برش پایه- تغییرمکان مدلسازی نوع اول و دوم قاب دوازده طبقه..... ۸۷
شکل ۴-۶: بارگذاری جانبی: یکنواخت، بارگذاری ثقلی: (D+L)۱/۱..... ۸۸
شکل ۴-۷: بارگذاری جانبی: طیفی، بارگذاری ثقلی: (D+L)۱/۱..... ۸۸
شکل ۴-۸: بارگذاری جانبی: طیفی، بارگذاری ثقلی: (D)۰/۹..... ۸۹
شکل ۴-۹: بارگذاری جانبی: یکنواخت، بارگذاری ثقلی: (D)۰/۹..... ۸۹
شکل ۴-۱۰: بارگذاری جانبی: طیفی، بارگذاری ثقلی: (D+L)۱/۱..... ۹۰
شکل ۴-۱۱: بارگذاری جانبی: یکنواخت، بارگذاری ثقلی: (D+L)۱/۱..... ۹۱
شکل ۴-۱۲: بارگذاری جانبی: طیفی، بارگذاری ثقلی: (D)۰/۹..... ۹۲

شکل ۴-۱۳: بارگذاری جانبی: یکنواخت، بارگذاری ثقلی: ۰/۹(D) ۹۳
شکل ۴-۱۴: بارگذاری جانبی: طیفی، بارگذاری ثقلی: ۰/۹(D) ۹۴
شکل ۴-۱۵: بارگذاری جانبی: یکنواخت، بارگذاری ثقلی: ۰/۹(D) ۹۵
شکل ۴-۱۶: بارگذاری جانبی: یکنواخت، بارگذاری ثقلی: ۱/۱(D+L) ۹۶
شکل ۴-۱۷: بارگذاری جانبی: طیفی، بارگذاری ثقلی: ۱/۱(D+L) ۹۷
شکل ۴-۱۸: مقایسه تغییر مکان نسبی مدلسازی نوع اول و دوم قاب چهار طبقه ۹۹
شکل ۴-۱۹: مقایسه تغییر مکان نسبی مدلسازی نوع اول و دوم قاب هشت طبقه ۱۰۰
شکل ۴-۲۰: مقایسه تغییر مکان نسبی مدلسازی نوع اول و دوم قاب دوازده طبقه ۱۰۱

فصل ۱- مقدمه و اهداف

۱-۱- پیشگفتار

قاب‌های خمشی در ساده‌ترین حالت ترکیب مستقیم تیرها و ستون‌ها هستند که در آنها تیرها بطور صلب به ستون‌ها متصل می‌شوند. در این قاب‌ها مقاومت در برابر نیروهای جانبی از طریق ایجاد لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در اعضای قاب و اتصالات تامین می‌شود. قاب خمشی با اتصالات تیر به ستون صلب تغییرمکان جانبی نخواهد داشت مگر اینکه تیرها و ستون‌ها دچار خمش شوند. بنابراین صلبیت خمشی و مقاومت اعضا و اتصالات قاب از عوامل اصلی ایجاد سختی جانبی و مقاومت برای کل قاب هستند[۲،۱].

در طراحی قاب‌های خمشی در برابر زلزله، هدف مستهلک کردن انرژی زلزله در مناطق مفصل خمیری می‌باشد. در این حالت مفاصل خمیری معمولا باید در داخل تیرها و چشمه اتصال تشکیل شوند و اتصالات تیر به ستون ارتجاعی باقی بمانند. برای مستهلک کردن انرژی زلزله، اعضای سازه‌ای باید بتوانند به ظرفیت لنگر خمیری رسیده و چرخش‌های خمیری بزرگی راتحمل کنند. بنابراین طراحان باید کمانش موضعی بال و جان و همچنین کمانش پیچشی جانبی مقطع رابه تاخیر بیندازند تا از ناپایداری ناگهانی جلوگیری شود. در نتیجه استفاده از مقاطع فشرده، برای اعضایی که قرار است در آنها مفصل ایجاد شود، الزامی است [۴،۳].

قابهای خمشی فولادی از پرکاربردترین سیستم‌های سازه‌ای در مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد محسوب می‌شوند. این قاب‌ها از لحاظ معماری بسیار مطلوب هستند و امکان استفاده حداکثر از فضاها را بوجود می آورند.

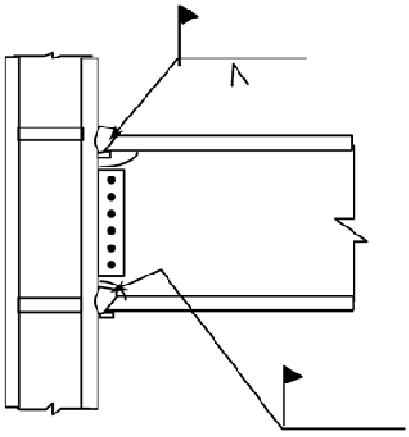
همچنین این قاب‌ها جزء سیستمهای با شکل پذیری بالا می‌باشند. یک سیستم را شکل پذیر می‌گویند اگر قادر به تحمل تغییرمکانهای بزرگ، بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت، بدون بروز ناپایداری و بدون فروریزش باشد. پایدار کردن سازه‌ها در مقابل زلزله‌های شدید بدون فروریزش، اما با تحمل سازه‌ای عمده، هدف آیین‌نامه‌های رایج طراحی است. بنابراین به تشویق مهندسین برای ساخت ساختمانهایی با سیستم سازه ای، مصالح و جزییاتی که سیستم را قادر به رفتار شکل پذیر کند پرداخته‌اند. مقدار نیروی طراحی که توسط آیین‌نامه‌ها برای سیستم سازه‌ای خاص تعیین می‌شود بستگی به میزان شکل پذیری سیستم دارد. آیین نامه اجازه می‌دهد که سیستم با شکل‌پذیری زیاد، برای سطح نیروی کمتری، نسبت به سیستم با شکل پذیری کم طراحی شود و چون سیستم شکل‌پذیر است بنظر می‌رسد که قادر باشد در مقابل تقاضاهایی که بیشتر از حد مقاومت ارتجاعی است مقاومت کند. آیین‌نامه‌های ساختمانی بزرگترین فاکتورهای کاهش نیرو (و بنابراین کمترین نیروهای جانبی طراحی) را برای قابهای خمشی در نظر می-گیرند. اما عیب این نوع سیستم ساختمانی تغییر مکان جانبی زیاد آن است. انعطاف پذیری بالای قابهای خمشی باعث افزایش آسیب المانهای غیر سازه‌ای می‌گردد. بنابراین برای جلوگیری از این امر لازم است

در طراحی این قابها از مقاطع بزرگتری استفاده شود تا تغییر مکان جانبی سازه در محدوده مجاز قرار گیرد [۸،۷،۶،۵].

در ۱۹۶۰مهندسان به سیستم قاب خمشی جوش شده توجه بیشتری کردند. زیرا در بین سیستمهایی که در آیین نامه ذکر شده بود جزء شکل پذیرها قرار داشت. بسیاری از مهندسین معتقد بودند که این سیستم آسیب ناپذیر است و اگر خرابی هم رخ دهد محدود به تسلیم شکل‌پذیر اعضا واتصالاتشان می-شود و فروریزش در اثر زلزله قابل تصور نبوده و غیر قابل وقوع می‌نمود. آنها براین اعتقاد بودند قاب‌های خمشی قادرند چرخش پلاستیک بزرگی در حدود ۰/۰۱۵ تا۰/۰۲ رادیان را بدون کاهش قابل ملاحظه مقاومت تحمل کنند.

اما زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج باعث تجدید نظر در این اعتقاد شد. زیرا تعدادی از ساختمانهای قاب خمشی بودند که دچار شکست‌های ترد دراتصالات تیر به ستونشان شدند. سازه‌های آسیب دیده ازنظر ارتفاع در محدوده ۱طبقه تا ۲۶ طبقه بودند و از نظر قدمت از۳۰ سال تا تازه ساخت راشامل می شدند. ازآنجایی که سازه‌های قاب خمشی بر طبق کدها طراحی شده بودند در اثر وقوع زلزله دچار خرابی-های محدود شدند وبطورکلی فرونریختند اما درمجموع ساختمان‌ها آنطور که انتظار می‌رفت عمل نکردند ودر نتیجه خرابی اتصالات ضررهای اقتصادی هنگفتی را متحمل شدند.

در نتیجه پس از آسیب‌دیدگی بسیاری از ساختمان‌های قاب‌خمشی در زلزله‌ی سال ۱۹۹۴ نورث‌ریج و زلزله‌ی۱۹۹۵ کوبه‌ی ژاپن، در طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی تغییراتی ایجاد شد. شکل ۱-۱ اتصالی را نشان می‌دهد که قبل از زلزله نورث‌ریج استفاده از آن بسیار رایج بود. در این اتصال وجود سوراخ دسترسی در جان تیر در اطراف بال شرایط جوشکاری با نفوذ کامل بین بال تیر و بال ستون را فراهم می‌کرد. یک نبشی برشی نیز برای اتصال جان تیر به ستون بکار می‌رفت که به جان تیر پیچ می‌شد. بعد از زلزله نورث‌ریج این عقیده که این نوع اتصال شکل‌پذیری خوبی دارد، مورد تجدید نظر قرار گرفت و امروزه از این اتصال به تنهایی برای مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا استفاده نمی‌شود[۹،۱۰].



شکل ۱-۱: اتصال قبل از زلزله نورث ریج

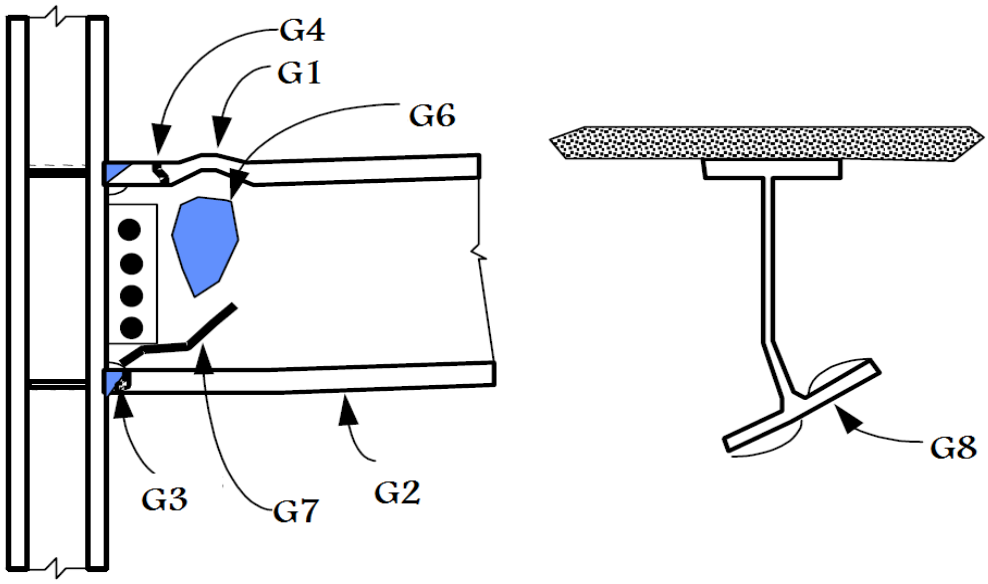
۱-۲- طبقه بندی آسیب‌های اتصالات گیردار در زلزله نورث ریج

تحقیقات انجام شده برروی اتصالات پیش از زلزله نورث‌ریج نشان می‌دهد علت گسیختگی ناگهانی ضعیف بودن المان‌های رابط است. بنابراین جهت اصلاح رفتار اتصالات جوشی تقویت نشده پیش از نورث‌ریج اثرات فلز جوش، هندسه سوراخ دسترسی جوش، اتصال جان تیر، ورق‌های پیوستگی و مقاومت چشمه اتصال بر رفتار اتصال مورد بررسی قرار گرفت.[۱۱،۱۲،۱۳،۱۴]

آسیب‌های وارده به المان‌های قاب‌های خمشی فولادی به صورت آسیب‌های مربوط به تیر (G)، ستون (C)، جوش (W)، ورق اتصال (S) و چشمه اتصال (P) طبقه بندی می‌شوند. آسیب در یک گره ممکن است از یکی از انواع فوق و یا چند نوع باشد. مشاهده وسیع این گونه آسیب‌ها در اتصالات علیرغم آسیب-های جدی در اجزا غیرسازه‌ای هشدار دهنده بود.

۱-۲-۱- آسیب تیر

آسیب دیدگی تیر ممکن است شامل کمانش بال (G1)، تسلیم بال (G2)، شکست بال در ناحیه (HAZ)[1] ویا خارج از آن (G3,G4)، شکست بال (G5)، تسلیم یا کمانش جان (G6)، شکست جان (G7) و یا کمانش جانبی پیچشی مقطع تیر (G8) باشد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: انواع آسیب‌های تیر

اغلب آسیب‌های گزارش شده در زلزله نورث‌ریج مربوط به بال تحتانی تیر می‌باشد [۱۵].دلیل این امر نزدیک شدن تار خنثی به بال بالا به دلیل وجود دال بتنی است. با کشیده شدن تار خنثی به سمت بالا

[1] Heat Affected Zone