

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی عمران گرایش سازه

**بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی اتصال صلب، با مقطع کاهش یافته تیر (RBS) با روش
اجزاء محدود**

استاد:

دکتر ابراهیم خلیل زاده وحیدی

نگارش:

مهدی شیرینی

مهرماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشکده فنی مهندسی
گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
مهدی شیری

تحت عنوان

**بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی اتصال صلب، با مقطع کاهش یافته تیر (RBS) با روش
اجزاء محدود**

در تاریخ ۹۱/۷/۳۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

۱- استادراهنما دکتر ابراهیم خلیل زاده وحیدی با مرتبه علمی استادیار امضاء

۲- استادان داور داخل گروه دکتر حمیدرضا اشرفی با مرتبه علمی استادیار امضاء

دکتر امیر هوشنگ اخویسی با مرتبه علمی استادیار امضاء

با سپاس فراوان از مجموعه دانشگاه رازی، علی الخصوص اساتید محترم گروه عمران (گرایش سازه) دانشکده فنی مهندسی، که امکانات و شرایط لازم را جهت تحصیل رایگان اینجانب فراهم آوردند. بر خود لازم می دانم که تشکر ویژه ای از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر ابراهیم خلیل زاده و حیدی نموده که از محضر ایشان به معنای واقعی کلمه، تعلیم و تربیت یافته و با راهنمایی ها و پیگیری ها مداوم خود، اینجانب را در تهیه این پایان نامه یاری نمودند. بدون شک بدون کمک های بی شائبه ایشان تهیه این پایان نامه برای اینجانب مقدور نبود

چکیده

تأثیر جزییات اتصالات در خود اتصالات و در رفتار آنها و مقادیر جابجایی ها و عکس العمل های سازه ها، الزام طراحی بهینه اتصالات را امری ضروری قلمداد می کند. تغییر قابل توجه در رفتار اتصال، چشمه اتصال و رفتار و سطح عملکرد لرزه ای قاب های خمشی از جمله فواید این بهینه سازی می باشد. تحقیقات نشان داده اند که خرابی های اتصالات به دلیل کماتش بال و جان، تغییر شکل چشمه اتصال و شکست جوش در ناحیه اتصال تیر به ستون می باشد. این خرابی ها، تأثیر زیادی در ویژگی های رفتاری قاب های خمشی فولادی، مثل سختی، شکل پذیری و سطح عملکرد لرزه ای قاب ها دارند. تلاش های انجام شده برای اصلاح رفتار اتصالات خمشی رایج به دو راهکار اصلاحی کلی قابل تقسیم بندی است. یکی از روش ها، سخت کردن اتصال و دیگری نرم کردن تیر در مجاورت ستون می باشد. این دو روش اصلاح اتصالات اگرچه در ظاهر با یکدیگر متفاوت هستند، ولیکن هدف مشترک آنها سوق دادن مفصل پلاستیک به ناحیه ای دور از بر ستون، یعنی دور کردن مفصل پلاستیک از نقطه ای که مستعد برای شکست ناگهانی به علت معایب احتمالی در جوش، تمرکز تنش به علت وجود سوراخ های دسترسی و ورق پشتبند، گیرداری قابل توجه در محل جوش تیر به ستون و وجود تنش های سه محوره می باشد. در واقع در اتصالات سخت شده با قوی کردن اتصال، تشکیل مفصل پلاستیک به دور از بال ستون، جایی که شرایط بحرانی فوق الذکر وجود ندارد، تشکیل شود، در حالی که در اتصالات نرم شده باضعیف کردن ناحیه ای دور از بر ستون، مفصل پلاستیک به داخل تیر هدایت می شود. در راهکار دوم یکی از اتصالاتی که امروزه استفاده عملی دارد و مطابق آیین نامه AISC 358-2005 دارای شرایط لازم برای استفاده در قاب های خمشی می باشد، اتصال تیر با مقطع کاهش یافته و یا اتصال RBS (Reduced Beam Section) است. در این تحقیق به بررسی اثر مشخصات اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته، در خرابی های فوق، توزیع تنش در ناحیه بریده شده، سختی و مقاومت اتصال پرداخته می شود و سعی می شود با تغییر در مشخصات اتصال از خرابی های فوق جلوگیری شود و یا وقوع خرابی ها به تاخیر بیفتد. در این نوع اتصال با ایجاد کاهش در مقطع بال تیر در ناحیه ای مشخص، که در حدود نصف ارتفاع تیر از بر ستون قرار دارد، لولای پلاستیک را از منطقه گره اتصال و ستون دور نموده و به تیر انتقال می دهند. این امر باعث می شود در شرایط بحرانی اصل تیر ضعیف و ستون قوی رعایت و تیر قبل از ستون به تنش بحرانی برسد.

در ادامه سه نوع متداول اتصال RBS شامل کاهش مقطع در بال تیر بصورت دایره ای، ذوذنقه ای و مثلثی به همراه تیر بدون کاهش در مقطع بال بصورت دینامیکی تحلیل و رفتار آنها با نرم افزار ANSYS مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که کاهش در مقطع بال تیر باعث کم شدن تنش در ناحیه اتصال و افزایش شکل پذیری اتصال شده است. در این خصوص بیشترین تأثیر از نظر کاهش میزان سختی را، تیر با کاهش در مقطع بال بصورت ذوذنقه ای نسبت به سایر مقاطع دارد و از نظر کرنش در ناحیه پلاستیک، تیر با مقطع ذوذنقه دارای کمترین مقدار کرنش پلاستیک نسبت به سایر مقاطع دارد.

واژه های کلیدی: قاب فولادی خمشی، اتصال خمشی، مفصل پلاستیک، RBS، سطح عملکرد لرزه ای

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
فصل اول-فلسفه شکل پذیری و طراحی لرزه ای اتصالات.....	۴
۱-۱- مقدمه.....	۵
۲-۱- ماهیت زلزله و لزوم انجام طراحی لرزه ای	۵
۳-۱- انواع اتصالات و قاب های سازه ای.....	۷
۱-۳-۱- اتصالات ساده (مفصل)	۷
۲-۳-۱- اتصالات کاملاً صلب (گیردار)	۸
۳-۳-۱- اتصالات نیمه صلب (پاره گیردار)	۸
۴-۱- تعیین میزان گیرداری یک اتصال.....	۹
۵-۱- ارزیابی اتصالات صلب جوشی و منحنی لنگر - دوران اتصالات ($M - \theta$)	۹
۶-۱- ملزومات چرخشی برای اتصالات خمشی.....	۱۱
۷-۱- کفایت عملکرد ثقلی اتصالات تیر به ستون.....	۱۲
۸-۱- اتصالات در زلزله نرتریج.....	۱۷
۱-۸-۱- بررسی اتصالات متعارف آسیب دیده در زلزله نرتریج.....	۱۸
۲-۸-۱- خلاصه فعالیت های انجام شده پس از زلزله نرتریج.....	۲۰
۳-۸-۱- اشکالات ایجاد کننده شکست ترد در اتصال متعارف.....	۲۱
۴-۸-۱- نتیجه حاصل از تحقیقات - ضعف موجود در بر اتصالات متعارف.....	۲۳
۹-۱- نگرش جدید در طراحی لرزه ای قاب های خمشی فولادی.....	۲۶
۱۰-۱- تعریف مفاهیم ضریب رفتار R و ضریب افزایش مقاومت Ω	۲۶
۱۱-۱- بررسی کفایت عملکرد لرزه ای اتصالات.....	۳۲
۱۲-۱- الزامات لرزه ای قاب های خمشی فولادی.....	۳۹
۱-۱۲-۱- ضوابط ویژه تناسبات اجزای مقطع.....	۳۹
۲-۱۲-۱- چشمه اتصال.....	۴۰
۳-۱۲-۱- شرط ستون قوی - تیر ضعیف.....	۴۳
۴-۱۲-۱- ورق های پیوستگی.....	۴۶
فصل دوم- تئوری های مربوط پلاستیسیته و شکست.....	۴۸
۱-۲- معادلات حاکم برای ماده با رفتار الاستیک ایده آل.....	۴۹
۱-۱-۲- رفتار غیر خطی ماده الاستوپلاستیک.....	۵۰

۵۱	۲-۱-۲- معیار تسلیم ماده (Yield Criterion)
۵۲	۳-۱-۲- معیار تسلیم فون میزز (Von Mises)
۵۳	۴-۱-۲- معیار تسلیم ترسکا (Tresca)
۵۴	۵-۱-۲- معیار تسلیم مور-کولمب (Mohr-Coulomb)
۵۵	۶-۱-۲- معیار تسلیم دراگر- پراگر (drucker – prager)
۵۷	۷-۱-۲- معیار سخت شوندگی (معیار کار سختی یا کرنش سختی)
۵۷	۸-۱-۲- مدل پلاستیک کامل (Perfectly Plastic)
۵۸	۹-۱-۲- مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک (Isotropic Hardening)
۵۹	۱۰-۱-۲- مدل سخت شوندگی سینماتیک (kinematic hardening)
۶۰	۱۱-۱-۲- مدل سخت شوندگی مرکب (mixed hardening)
۶۰	۱۲-۱-۲- روابط تنش - کرنش الاستیک - پلاستیک
۶۲	۱۳-۱-۲- سخت شوندگی الاستیک - پلاستیک ماده تحت بارگذاری تک محوری
۶۴	۱۴-۱-۲- شکل ماتریسی روابط تنش - کرنش الاستیک - پلاستیک
۶۷	۱۵-۱-۲- مدل الاستیک با سخت گردانی سینماتیک (EKH)
۶۷	۱۶-۱-۲- مدل الاستیک با سخت گردانی ایزوتروپیک (ELH)
۷۰	فصل سوم- اتصالات RBS
۷۱	۱-۳- مقدمه
۷۶	۲-۳- اثر RBS در جلوگیری از ترد شکنی اتصال و کنترل تنش ها در بر ستون
۷۷	۳-۳- پارامترهای طراحی یک اتصال اتصالات RBS شعاعی
۷۷	۴-۳- اثر دال بتنی در رفتار اتصالات RBS
۷۹	۵-۳- اثر مقاومت چشمه ی اتصال بر رفتار اتصالات RBS
۷۹	۱-۵-۳- معیار ارائه شده توسط Cheol-Ho Lee, Sang-Woo Jeon برای طراحی چشمه اتصال
۸۱	۲-۵-۳- معیار ارائه شده توسط Moslehi Tabar و Deylami برای طراحی چشمه اتصال
۸۳	۶-۳- اثر نحوه ی اتصال جان تیر به بال ستون بر رفتار اتصالات RBS
۸۳	۷-۳- اثر مهار جانبی مکمل در انتهای RBS
۸۳	۸-۳- کاهش سختی قاب در اثر استفاده از اتصالات RBS
۸۴	۹-۳- رفتار اتصالات RBS تیر به ستون عمیق
۸۶	۱۰-۳- رفتار اتصالات RBS بزرگ اندازه‌ی ساخته شده از فولاد مقاومت بالا
۸۹	۱۱-۳- بهسازی و تقویت اتصالات خمشی ساختمانهای موجود با استفاده از RBS
۹۱	فصل چهارم- طراحی و مدلسازی اتصال با نرم افزار Ansys
۹۲	۱-۴- مقدمه
۹۳	۲-۴- فرضیات و مدل سازی
۹۳	۱-۲-۴- معرفی نرم افزار Ansys

۹۴	.....۴-۲-۲- تحلیل غیر خطی مادی.....
۹۴	.....۴-۲-۳- المان های مورد استفاده.....
۹۵	.....۴-۲-۴- مدل سازی اتصال پیشنهادی.....
۹۸	.....۴-۲-۵- مصالح به کار رفته.....
۹۹	.....۴-۲-۶- بارگذاری.....
۱۰۰	.....۴-۲-۷- شبکه هندسی.....
۱۰۱	.....۴-۳- تحلیل مودال.....
۱۰۴	.....۴-۴- اعتبار سنجی نتایج تحلیل تنش.....
۱۱۱	.....۴-۵- تحلیل تنش.....
۱۲۱	.....۴-۶- تحلیل تنش و نمودار هیستریسیس.....
۱۲۷	.....نتایج و پیشنهادات.....
۱۲۹	.....مراجع.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: حلقه های زنجیر پاولی..... ۶
- شکل ۲-۱: دوران اتصال با توجه به میزان گیرداری اتصال..... ۹
- شکل ۳-۱: منحنی لنگر دوران برای انواع اتصالات..... ۱۰
- جدول ۱-۱: روش های مختلف مدل کردن منحنی لنگر - دوران اتصالات..... ۱۱
- شکل ۴-۱: بارگذاری ثقلی اتصال ثقلی در آزمایشگاه..... ۱۲
- شکل ۵-۱: تیر AB تحت اثر لنگرهای انتهایی..... ۱۳
- شکل ۶-۱: نمودار لنگر - چرخش سه نوع اتصال..... ۱۵
- شکل ۷-۱: نمودار لنگر - چرخش اتصال گیردار ایده آل و اتصال مفصل ایده آل..... ۱۵
- شکل ۸-۱: اثرات افزایش EI ، L در نمودار خط تیر..... ۱۵
- شکل ۹-۱: بررسی نمودار لنگر- دوران برای اتصالات مختلف..... ۱۶
- شکل ۱۰-۱: اتصال متعارف آسیب دیده در زلزله نورتریج..... ۱۷
- شکل ۱۱-۱: ناحیه شروع خرابی در اتصالات تیر به ستون..... ۱۸
- شکل ۱۲-۱: شکست های گره تیر به ستون..... ۱۹
- شکل ۱۳-۱: شکست های ستون..... ۱۹
- شکل ۱۴-۱: شکست قائم در طول ورق برشی اتصال..... ۲۰
- شکل ۱۵-۱: شمایی از چند تیپ اتصال مالکیت دار..... ۲۵
- شکل ۱۶-۱: انواع جزییات متعارف اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته..... ۲۵
- شکل ۱۷-۱: تبدیل نیروهای داخلی صفحه ای تیر به نیروهای داخل صفحه ای ستون..... ۲۸
- شکل ۱۸-۱: قیاس اتصالات پیش از نرتریج و پس از نرتریج..... ۲۹
- شکل ۱۹-۱: تشکیل مفصل پلاستیک در تیر، دور از بر ستون..... ۳۰
- شکل ۲۰-۱: محل تشکیل مفاصل پلاستیک..... ۳۱
- شکل ۲۱-۱: توزیع کرنش پلاستیک در یک زیرسازه شکل پذیر..... ۳۱
- شکل ۲۲-۱: تغییر شکل یک قابل خمشی تحت اثر بارهای جانبی..... ۳۲
- شکل ۲۳-۱: انواع زیر سازه های قابل ساخت در آزمایشگاه و قابل مدل سازی در نرم افزار..... ۳۳
- شکل ۲۴-۱: دو نمونه متفاوت زیر سازه ساخته شده در آزمایشگاه..... ۳۳
- شکل ۲۵-۱: بار گذاری استاندارد پیشنهادی SAC..... ۳۴
- ۲۶-۱: نمایش پارامترها..... ۳۵
- شکل ۲۷-۱ شمایی از نمودارهای $M-\theta$ و $P-\Delta$ ۳۶
- شکل ۲۸-۱: نمودار لنگر- چرخش پلاستیک..... ۳۶
- شکل ۲۹-۱: مشخصات نمودار لنگر - چرخش پلاستیک خوب از نظر..... ۳۷
- شکل ۳۰-۱: پوش نمودار لنگر - چرخش پلاستیک..... ۳۸
- جدول ۲-۱: محدودیت نسبت های عرض به ضخامت در اعضای قاب خمشی ویژه..... ۴۰

- شکل ۱-۳۱: چشمه اتصال و نیروهای وارد بر آن..... ۴۱
- شکل ۱-۳۲: محاسبه تلاشهای ناشی از تشکیل مفاصل پلاستیک در مقاطع بحرانی ۴۴
- شکل ۱-۳۳: محل تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال با ورق های روسری و زیرسری..... ۴۵
- شکل ۱-۳۴: محل تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال ماهیچه ای ۴۶
- شکل ۱-۳۵: محل تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال RBS..... ۴۶
- شکل ۲-۱: نمایش سطوح تسلیم معیارهای ترسکا و فون میزز در فضای تنشهای اصلی..... ۵۳
- شکل ۲-۲: نمایش دوبعدی معیاری تسلیم ترسکا و فون میزز (a) نمایش در صفحه II. b) نمایش مهندسی..... ۵۴
- شکل ۲-۳: نمایش دایره مور معیار تسلیم مور-کولمب..... ۵۵
- شکل ۲-۴: نمایش هندسی سطوح تسلیم مور-کولمب و دراگر-پراگر در فضای تنش اصلی..... ۵۶
- شکل ۲-۵: نمایش دو بعدی معیاری تسلیم مور-کولمب و دراگر-پراگر در صفحه II..... ۵۶
- شکل ۲-۶: مدل‌های ریاضی برای نمایش رفتارهای مختلف سخت شوندگی کرنشی..... ۵۸
- شکل ۲-۷: نمایش هندسی معیارهای سخت شوندگی Prager و Ziegler..... ۶۰
- شکل ۲-۸: نمایش هندسی شرط تعامد طبق نظریه ی قانون جریان مربوطه..... ۶۲
- شکل ۲-۹: رفتار سخت گردانی کرنش الاستوپلاستیک برای حالت تک محوری..... ۶۳
- شکل ۲-۱۰: تئوریهای ارائه شده برای اثر باوشینگر..... ۶۸
- شکل ۲-۱۱: مدل‌های مختلف رفتار تنش - کرنش سیکلی ماده..... ۶۹
- شکل ۳-۱: نمونه عملی یک تیر RBS..... ۷۲
- شکل ۳-۲: تیر RBS..... ۷۳
- شکل ۳-۳: تیر RBS با تغییرات دوزنقه..... ۷۳
- شکل ۳-۴: تیر RBS با تغییرات خطی..... ۷۳
- شکل ۳-۵: تیر RBS با تغییرات شعاعی..... ۷۳
- شکل ۳-۶: تیر RBS با سوراخ غیر هم قطر سوراخ هم قطر..... ۷۴
- شکل ۳-۷: دیاگرام ظرفیت و نیاز ممان خمشی: (الف) اتصال استخوانی مستقیم. (ب) اتصال استخوانی شعاعی خطی..... ۷۴
- جدول ۳-۱ مقایسه نسبی انواع اتصال خمشی ۷۶
- شکل ۳-۸: مشخصات کلی نمونه ها..... ۷۶
- شکل ۳-۹: مشخصات هندسی تیر RBS با برش شعاعی ۷۷
- شکل ۳-۱۰: جزئیات دال بتنی مورد استفاده در آزمایش های جونز و همکاران..... ۷۸
- شکل ۳-۱۱: پیچش ستون و خمش حول محور ضعیف: (الف) نیروی مایل بال تیر، ناشی از کمانش جانبی پیچشی (ب) نیروهای خارج از صفحه ی وارده به ستون..... ۸۴
- شکل ۳-۱۲: جزئیات نمونه ی مورد مطالعه توسط ژانگ و ریکلز (2-SPEC) ((الف) نما از پهلو (ب) نما از پایین..... ۸۵
- شکل ۳-۱۳: جزئیات نمونه های آزمایشی چن و تو..... ۸۶
- شکل ۳-۱۴ (الف): رفتار هیستریزیس نمونه های آزمایش شده توسط چن و تو (نمونه ۱ و نمونه ۲) ۸۷
- شکل ۳-۱۴ (ب): رفتار هیستریزیس نمونه های آزمایش شده توسط چن و تو (نمونه ۳ و نمونه ۴) ۸۸

شکل ۳-۱۵	شکل پیشنهادی توسط چن و همکاران.....	۸۹
(شکل ۳-۱۶)	طرح مورد مطالعه یوانگ و همکاران.....	۹۰
جدول ۴-۱	مدل های پلاستیسیته قابل مدل سازی در Ansys.....	۹۳
شکل ۴-۱	المان ۴۳ Shell.....	۹۵
شکل ۴-۲	مدل هندسی با برش نیم دایره.....	۹۶
شکل ۴-۳	مدل هندسی با برش مثلثی	۹۷
شکل ۴-۴	مدل هندسی با برش دوزنقه.....	۹۷
جدول ۴-۲	مشخصات مقطع کاهش یافته.....	۹۷
شکل ۴-۵	مشخصات مقطع کاهش یافته	۹۸
شکل ۴-۶	منحنی تنش- کرنش فولاد.....	۹۹
جدول ۴-۳	جدول مشخصات مکانیکی فولاد.....	۹۹
شکل ۴-۷	نحوه بارگذاری اعمال شده به سازه.....	۹۹
شکل ۴-۸	مدل المان محدود اتصال بدون برش.....	۱۰۰
شکل ۴-۹	مدل المان محدود اتصال با برش مثلثی.....	۱۰۰
شکل ۴-۱۰	مدل المان محدود اتصال با برش دایره ای.....	۱۰۰
شکل ۴-۱۱	مدل المان محدود اتصال با برش ذو ذنقه.....	۱۰۰
شکل ۴-۱۲	مود اول برش مثلثی فرکانس مود اول ۲۷.۸۹۵.....	۱۰۱
شکل ۴-۱۳	مد دوم برش مثلثی فرکانس مود دوم ۶۷.۹۲۶.....	۱۰۱
شکل ۴-۱۴	مود سوم برش مثلثی فرکانس مود سوم ۶۹.۰۴۷.....	۱۰۲
شکل ۴-۱۵	مود اول برش دایره فرکانس مود اول ۲۷.۶۵۹.....	۱۰۲
شکل ۴-۱۶	مود دوم برش دایره فرکانس مود دوم ۶۶.۹۷.....	۱۰۲
شکل ۴-۱۷	مود سوم برش دایره فرکانس مود سوم ۶۸.۰۲.....	۱۰۳
جدول ۴-۴	فرکانس مودهای اول تا سوم سازه با اشکال مختلف مقطع کاهش یافته.....	۱۰۳
شکل ۴-۱۸	مقایسه فرکانس مود اول انواع مقطع کاهش یافته و شکل ساده.....	۱۰۴
شکل ۴-۱۹	تنش فون میزز در تیر یک سر گیردار، در آستانه تسلیم صفحات خارجی بال های تیر در ریشه تیر.....	۱۰۵
شکل ۴-۲۰	تنش فون میزز در ریشه تیر یک سر گیردار ، در آستانه تسلیم صفحات خارجی بال های تیر در ریشه تیر.....	۱۰۶
شکل ۴-۲۱	کرنش فون میزز کل در تیر یک سر گیردار، در آستانه تسلیم صفحات خارجی بال های تیر در ریشه تیر.....	۱۰۶
شکل ۴-۲۲	کرنش پلاستیک در تیر یک سر گیردار -بال های تیر در ریشه تیر.....	۱۰۷
شکل ۴-۲۳	نمای نزدیکتر از کرنش پلاستیک کرنش پلاستیک در تیر یک سر گیردار -بال های تیر در ریشه تیر.....	۱۰۸

- شکل ۴ - ۲۴: تنش فون میزز در تیر یک سر گیردار - پس از آنکه بالهای تیر در ریشه تیر کاملاً پلاستیک شده اند ... ۱۰۹
- شکل ۴ - ۲۵: مقادیر تنش فون میزز در تیر یک سر گیردار - پس از آنکه بال های تیر در ریشه تیر کاملاً پلاستیک شده اند. ۱۱۰
- شکل ۴-۲۶: کرنش پلاستیک فون میزز در نقاط مختلف تیر یک سرگیردار - پس از آنکه بال های تیر در ریشه تیر کاملاً پلاستیک شده اند. ۱۱۱
- شکل ۴-۲۷: منحنی تنش فون میزز در تیر ساده - بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۸: منحنی تنش فون میزز در تیر ساده- بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۹: منحنی تنش فون میزز در تیر ساده- بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۳
- شکل ۴-۳۰: نمودار تنش در تیر ساده در پایان مرحله اول بارگذاری..... ۱۱۳
- شکل ۴-۳۱: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته مثلثی، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۴
- شکل ۴ - ۳۲: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته مثلثی ، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۴
- شکل ۴ - ۳۳: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته مثلثی، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۵
- شکل ۴ - ۳۴: نمودار تنش در تیر با برش مثلثی در پایان مرحله اول بارگذاری..... ۱۱۵
- شکل ۴ - ۳۵: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته زودنقه ای، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۶
- شکل ۴ - ۳۶: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته زودنقه ای، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۶
- شکل ۴ - ۳۷: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته زودنقه ای، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۷
- شکل ۴ - ۳۸: نمودار تنش در تیر با برش ذودنقه ای در پایان مرحله اول بارگذاری..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۹: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته دایره ای، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۰: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته دایره ای بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۸
- شکل ۴ - ۴۱: منحنی تنش فون میزز در تیر با مقطع کاهش یافته دایره ای، بار گذاری در سر تیر به سمت Z..... ۱۱۹
- شکل ۴ - ۴۲: نمودار تنش در تیر با برش دایره ای در پایان مرحله اول بارگذاری..... ۱۱۹
- شکل ۴ - ۴۳: مقایسه تنش در راستای X و تنش فون میزز در چهار نمونه - نود میانی صفحه خارجی بال تیر در ریشه پس از تسلیم..... ۱۲۰
- شکل ۴ - ۴۴: منحنی تنش کرنش برای سیکل بارگذاری و باربرداری در تیر ساده..... ۱۲۲
- شکل ۴ - ۴۵: منحنی تنش کرنش برای سیکل بارگذاری و باربرداری در تیر با مقطع کاهش یافته مثلث..... ۱۲۲
- شکل ۴ - ۴۶: منحنی تنش کرنش برای سیکل بارگذاری و باربرداری در تیر با مقطع کاهش یافته ذوزنقه ای..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۷: منحنی تنش کرنش برای سیکل بارگذاری و باربرداری در تیر با مقطع کاهش یافته دایروی..... ۱۲۳
- شکل ۴ - ۴۸: مقایسه ماگزیمم کرنش الاستیک در راستای X در چهار نمونه مقطع..... ۱۲۴
- شکل ۴-۴۹: مقایسه ماگزیمم کرنش پلاستیک در راستای X در چهار نمونه مقطع..... ۱۲۴
- شکل ۴ - ۵۰: مقایسه ماگزیمم کرنش کل در راستای X در چهار نمونه مقطع..... ۱۲۵
- شکل ۴ - ۵۱: درصد تنش الاستیک به پلاستیک در راستای X در چهار نمونه مقطع..... ۱۲۵

مقدمه

کاربرد قاب های خمشی (Moment Resisting Frames) به دلیل امکان برخورداری از فضاهای باز معماری از دیرباز مورد توجه طراحان سازه بوده است. استفاده از قاب های خمشی برای ساختمان های مقاوم در برابر زلزله، بدلیل قابلیت شکل پذیری مناسب، در سطح در وسیعی کاربرد دارد. این نوع قاب ها در صورتی می توانند به شکل پذیری مطلوب برسند که تسلیم خمشی در تیرها و یا تسلیم برشی در ناحیه چشمه اتصال ستون ها رخ دهد [۱]. بنابراین وقتی قاب های خمشی تحت اثر بارهای تناوبی شدید هستند، اتصالات باید بتوانند به مقاومت تیرها و نواحی چشمه اتصال برسند. محل اتصال تیر به ستون، یا در ناحیه حرارت دیده در اثر جوشکاری به دلیل طبیعت ترد جوش و تمرکز تنش ناشی از سوراخ های دسترسی، ورق پشتبند، وجود تنش های سه محوره و از حساسیت زیادی برخوردار است. تا قبل از زلزله نرتریج آمریکا ۱۹۹۴ Northridge در آمریکا و اکثر نقاط دنیا، اتصال رایج جهت قاب های خمشی اتصال جان پیچی، بال جوشی (BWWF) (bolted web welded flange) بود. اما در زلزله مذکور به علت ناکارآمدی اتصال فوق روش ها و تکنیک های جدیدی برای تامین مقاومت و شکل پذیری سازه ها به وجود آمد.

بعد از زلزله های ۱۹۹۴ نرتریج آمریکا و ۱۹۹۵ کوبه ژاپن، اتصالات خمشی متنوعی ابداع شدند که همگی کوشش می کردند مشکلات مشاهده شده در قاب های خمشی در زلزله های مذکور را رفع کنند. این کوشش ها که هم در جوش کاری و هم در طراحی اتصالات جدید با رعایت ارتقاء نکات ضعف در طراحی های قبلی صورت گرفتند منجر به پیدایش اتصالات خمشی تقویت شده ای با ورق های انتهایی نظیر ورق های پوششی، (Cover plates) ریب ها (Ribs) و اتصال گیردار درخت ژاپن (Japanese tree fixed connection) و غیره (End plates) گردیدند. در قاب های خمشی فولادی چند طبقه، در عرف طراحی مطلوب است که قاب منظمی طراحی شود، به طوریکه مفاصل پلاستیک بتوانند در تیرها تشکیل شده و ستونها الاستیک باقی بمانند به نحوی که اصل تیر ضعیف - ستون قوی حاکم شود. اگرچه در اتصالات خمشی تقویت شده فوق این قوانین رعایت شده است و بر مشکلات زلزله فائق آمده اند اما این اتصالات بسیار پر هزینه می باشند و از شکل پذیری و قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار نیستند.

نتایج حاصل از آزمایشات متعدد، مشخص نموده است که اتصالات گیردار جوشی رایج، به دلیل وقوع شکست های 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 نمی باشند. تنها مزیت این اتصالات نسبت به اتصالات خمشی قبل از زلزله نرتریج آن است که همواره اتصالی را می سازند که قوی تر از تیر است. اما می توان همین کار را به وسیله تضعیف تیر در برابر اتصال (در طول محدودی از تیر و نزدیک به گره اتصال) انجام داد. استفاده از مقطع کاهش یافته در عرض بال تیر (Reduced beam section) و در مجاورت اتصال گیردار تیر به ستون، طرح بسیار مناسبی جهت بهبود شکل پذیری در قاب هایی که در معرض بارگذاری های شدید لرزه ای هستند، می باشد. هدف از هدایت مکان تشکیل مفصل پلاستیک و

جاری شدن فولاد از محل اتصال تیر به ستون به انتهای تیر، اهمیت ستون در حفظ پایداری سازه است. در حالی که با خرابی یک یا چند تیر در سازه ممکن است خلی به پایداری کل سازه ایجاد نشود [۲].

در قاب های خمشی جهت هدایت مفصل پلاستیک به ناحیه بحرانی تیر از دو روش استفاده می شود. تقویت بر اتصال تیر به ستون با استفاده از سخت کننده یا لچکی و تضعیف قسمت نزدیک به انتهای تیر به ستون با مقطع فولادی کاهش یافته RBS. در اتصالات RBS به منظور حصول رفتار لرزه ای مطلوب، استراتژی تضعیف موضعی مقطع تیر اتخاذ شده است. در این اتصالات، سطح مقطع تیر در بخشی از طول تیر، به منظور ایجاد یک ناحیه ی مفصل پلاستیک موردانتظار، که در دهانه ی تیر رخ می دهد، در محلی دور از بر ستون، کاهش داده می شود تا در یک ناحیه ی از پیش تعیین شده، ظرفیت خمشی تیر با ممان مورد نیاز برابر شود. چندین روش برای انجام این کاهش سطح مقطع پیشنهاد شده است که ایجاد سوراخ های متقارن در طرفین بال تیر و برداشتن قسمتی از بال های تیر بصورت متقارن حول محور تیر(پروفیل استخوان سگی Dogbone Moment Resisting Connections) از این جمله می باشد [۳].

روش سوراخ کردن بال به دلیل وقوع تمرکز تنش های شدید در اطراف سوراخ ها و نیز هزینه نسبتاً بالای سوراخ کاری چندان مورد استفاده قرار نگرفته است. در اتصال صلب RBS در فاصله ای از بر ستون، در ناحیه ای از تیر، مقطع آن کاهش داده می شود بدین وسیله مفصل پلاستیک در تیر ایجاد گردد. به منظور کاهش مقطع تیر می توان به سه روش مختلف سطح بال های تیر را کاهش داد. روش اول برش ثابت می باشد در این روش مقطع تیر در طول ناحیه بریده شده ثابت است. در این حالت بدلیل ایجاد تمرکز تنش در گوشه های بوجود آمده حاصل از برش، اتصال رفتار خوبی از خود نشان نمی دهد. روش دوم برش دوزنقه ای می باشد در این حالت مقطع تیر در طول ناحیه بریده شده بصورت خطی تغییر می کند. در این حالت نیز در گوشهها تمرکز تنش ایجاد شده و رفتار اتصال را تحت تاثیر قرار میدهد. روش سوم برش دایروی میباشد در این حالت مقطع تیر در ناحیه بریده شده بصورت دایروی تغییر میکند. در برش دایروی تمرکز تنش وجود ندارد و رفتاربهتری نسبت به دو حالت قبل از خود نشان میدهد.. در سال ۱۹۹۶، ابتدا اتصال RBS مستقیم ابداع شد، سپس شکل آن با توجه به نمودار لنگر خمشی تحت اثر بارهای جانبی اصلاح شد و اتصال RBS خطی بوجود آمد. پس از آن، بدلیل تمرکز تنش در لبه های RBS خطی و بمنظور ایجاد نواحی انتقالی صاف و هموار، اتصال RBS خطی شعاعی در اواخر سال ۱۹۹۸ معرفی گردید. در نهایت، بدلیل مشکلات اجرایی و سخت بودن فرم برش بالها در اتصال RBS خطی شعاعی، اتصال RBS با برش شعاعی پیشنهاد گردید با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده، از میان حالت های مختلف پیشنهاد شده برای کاهش مقطع تیر در اتصال، موفقیت آمیزترین نتایج مربوط به اتصال RBS با برش شعاعی بوده است. همچنین ترکیب بندی هایی که در آنها به منظور متعادل نمودن سطح مقطع و نیاز خمشی از برش های نامتقارن، یا سوراخ هایی با اندازه ی متغیر استفاده شده است نیز بصورت موفقیت آمیزی مورد آزمایش واقع شده اند.

مطالعات آزمایشگاهی بر روی اتصالات استخوانی نشان می دهد در سازه هایی که از این اتصال استفاده می شود، به دلیل کاهش سطح مقطع تیر، سختی سازه به مقدار کمی کاهش می یابد. به همین علت باید در کنترل تغییرمکان جانبی سازه، اثر کاهش سختی ناشی از کاهش مقطع تیر را لحاظ کرد. این اتصالات دارای شکل پذیری فوق العاده ای هستند و ناحیه ی پلاستیک با عملکردخود، انرژی به مراتب بیشتری، نسبت به مفصل با طول محدود بر ستون، جذب کرده، و مفصل نامحدود کنترل شده ای با شکل پذیری فوق العاده بوجود می آورد که منجر به افزایش پربود و ضریب رفتار سازه می گردد. علاوه بر این، مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی این اتصالات، تحت بارهای چرخه ای، نشان می دهد که مقاومت نهایی این اتصالات، نسبت به اتصالات خمشی معمولی، تقریباً بدون تغییر باقی می ماند، سختی، فقط اندکی تغییر می

کند و ظرفیت چرخش پلاستیک می تواند تا چند برابر افزایش یابد. در این نوع اتصال، تیر به صورت مستقیم با استفاده از جوش شیاری بال تیر به ستون متصل می گردد و از هیچ ورق تقویتی استفاده نمی شود. برای اتصال جان تیر به ستون می توان از جوش و یا پیچ استفاده کرد. اتصال جان تیر به ستون با جوش مناسبتر می باشد. زیرا جان جوش شده، نیروی بیشتری را منتقل می کند و سطح تنش در جوش بال تیر کاهش می یابد. کاهش سطح مقطع تیر معمولاً با استفاده از برش حرارتی صورت می گیرد. پس از اتمام برش، باید سطح برش خورده کاملاً صاف شود تا از ایجاد شکاف در ناحیه غیرهموار جلوگیری شود [۴].

با استفاده از این اتصالات، استعداد شکست ناشی از حساسیت جوش کاری و تمرکز تنش در اثر تغییر ناگهانی هندسه، به حداقل رسیده و ظرفیت اتلاف انرژی نیز بهبود می یابد. اجرای اتصالات استخوانی با واداشتن تسلیم، به وقوع در تیر، باعث کاهش حساسیت جوش کاری و ممانعت از تمرکز تنش بر روی جوش ها گردیده و سبب قابل اطمینان تر شدن اتلاف انرژی می شود. نتایج آزمایش های مقایسه ای قاب های خمشی فولادی مشابه با اتصالات خمشی معمولی و RBS، نشان می دهد که قاب های خمشی با اتصالات RBS، بهتر از قاب های خمشی مرسوم رفتار می نمایند. قابلیت اطمینان اتصالات RBS، به کیفیت جوش با نفوذ کامل بال تیر به بال ستون و رفتار میان ضخامتی بال ستون، بستگی دارد. عدم جزئیات دهی مناسب دال در اتصالات RBS، ممکن است از رفتار فیوزی مورد نظر بخش کاهش یافته ی مقطع تیر، ممانعت بعمل آورد. مطالعات آزمایشگاهی گسترده، نشان می دهد که با استفاده از روش اتصال پیشنهادی، می توان به زاویه ی چرخش پلاستیک بزرگتر از ۰/۰۴ رادیان، که چندین برابر، بزرگتر از میانگین چرخش پلاستیک، در روش قدیمی اتصال است، دست یافت [۴].

اتصالات RBS بصورت بالقوه، اقتصادی ترین نوع در میان انواع اتصالات جدید پیشنهادی می باشند استفاده از اتصالات RBS در سازه، باعث کاهش هزینه های اجرایی اتصالات و سازه، از طریق کاهش حجم فلز جوش، دستمزد جوشکار، هزینه های بازرسی جوش، مصالح بکار رفته در اتصال، زمان اجرا و ... می شود. مطالعات انجام شده نشان می دهد که استفاده از اتصالات RBS باعث صرفه جویی ۱۶ تا ۳۰ درصدی در هزینه ی کل پروژه می شود. در جدول (۱) هزینه ی نسبی انواع جدید اتصالات نسبت به اتصالات خمشی قبل از نرتریج نشان داده شده است که در آن، برتری مطلق اقتصادی اتصالات RBS نسبت به سایر اتصالات خمشی پیشنهادی، قابل مشاهده است. در این متره، که توسط یک شرکت پیمانکاری بزرگ آمریکایی انجام شده است، کل هزینه های اتصالات در سازه، تا لحظه ی تحویل به کارفرما، در نظر گرفته شده است. اگر چه در سایر پروژه ها، این هزینه ها، بسته به موقعیت پروژه، عوامل مرتبط با نیروی کار، تکنولوژی مورد استفاده در کارگاه و ... متغیر است، ولی این تغییرات به اندازه های نیست که اعداد جدول را بی اعتبار سازد. اگر هزینه ی اتصالات، در حدود نصف هزینه های کل سازه تخمین زده شود، به وضوح مشاهده می شود که هزینه ی سازه های دارای اتصالات RBS شعاعی جدید، تنها ۸۴ درصد هزینه ی اقتصادیترین سازه های خمشی در حال اجرا در دنیا (با اتصالات خمشی با ورق های پوششی) می باشد [۵].

فصل یک

فلسفه شکل‌پذیری و طراحی لرزه‌ای اتصالات

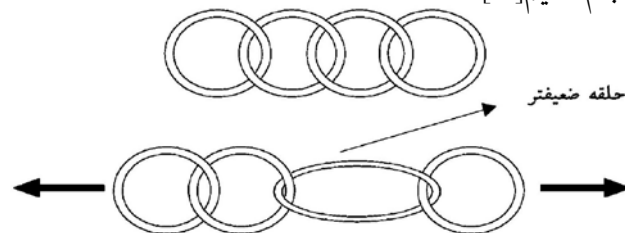
۱-۱- مقدمه

از دیدگاه سازه ای، عبارت طراحی به مجموعه‌ای از قواعد علم ساخت و ساز اطلاق می‌گردد که هدف آن به وجود آوردن سازه ای می‌باشد که از نظر شکل و ابعاد، خواست‌های مربوط به کارآیی، پایایی و زیبایی را به طور همزمان و در طی یک طرح، برآورده سازد. هدف اصلی طراحی سازه، ساخت وسازه‌ای است که در آن نه تنها هزینه‌های اولیه ساخت در نظر گرفته می‌شود، بلکه هزینه‌های مربوط به نگهداری، تخریب و زوال‌های احتمالی نیز به همراه مزایای سازه‌های ایجاد شده لحاظ می‌گردند. از این رو طراحی بهینه‌ی سازه احتیاج به فهم صحیح از کلیه قوانین حاکم بر موارد فوق دارد. اهداف ذکر شده برای طراحی سازه‌ها در برابر عواملی مانند بارهای زنده، مرده و برف با دشواری کمتری قابل حصول هستند، در حالی که برای طراحی سازه در برابر عوامل دیگری مانند گردبادها، سیل و زلزله با دشواری حاصل می‌گردند. منشأ این دشواری، به شدت احتمالاتی این پدیده‌ها و نیز وابسته بودن رفتار سازه به شدت و نوع این بارها می‌باشد. تاکنون در میان این عوامل، زلزله عامل ۶۰٪ از تلفات جانی ناشی از حوادث طبیعی پیش بینی نشده بوده است. بنابراین طراحی مناسب سازه در مقابل زلزله و ارائه روشی مشخص برای اطمینان از عملکرد سازه در حین زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است.

۱-۲- ماهیت زلزله و لزوم انجام طراحی لرزه ای

به طور کلی رویکرد مهندسی به طراحی جنبه کمی داشته و اعضاء سازه ای باید بگونه‌ای انتخاب و جزئیات بندی شوند که در مقابل تلاش‌های حاصل از کلیه عوامل از جمله زلزله، پاسخگو باشند. اما طراحی برای بزرگترین نیروهای قابل تصور که از بزرگترین زلزله‌ی پیش بینی شده برای یک ساختگاه حاصل می‌گردد، غیرمنطقی بوده و از نظر اقتصادی نیز قابل قبول نمی‌باشد. بنابراین طراحی برای سطح پایین تری از نیروها صورت می‌گیرد. پس منطقی است که نقاطی از سازه در مقابل تلاش‌های ایجاد شده ناشی از نیروی زلزله، متحمل آسیب‌های موضعی مانند رسیدن به حد کمانش و یا جاری شدن شوند. اما ذکر این نکته حائز اهمیت است که در یک طرح مناسب لرزه ای، سازه ضمن تحمل آسیب‌های موضعی ایجاد شده، از پایداری و یکپارچگی کلی برخوردار باشد. دنبال کردن این روش به طراحی لرزه ای سازه‌ها می‌انجامد. در این روش، سازه به گونه‌ای تحلیل و طراحی می‌گردد که نقاط پیش بینی شده برای تحمل آسیب‌های موضعی، قسمت اعظم انرژی لرزه ای وارد شده به سازه را جذب

نموده و خود قادر باشند تغییر شکل های خمیری را بدون کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت تحمل نمایند، و در این حال، دیگر اعضای سازه نیز در محدوده تقریباً الاستیک باقی بمانند. توانایی تحمل تغییر شکل های خمیری بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت، نشانگر شکل پذیری اعضای سازه و معیاری برای تعیین رفتار مناسب سازه طی زلزله‌های شدید می‌باشد. بنابراین واضح است که با توجه به نوع و شدت زلزله، مقادیر مختلفی نیز برای شکل پذیری مورد نیاز می‌باشد و طراحی مناسب یک سازه با تامین کردن شکل پذیری مورد نیاز آن در ارتباط مستقیم خواهد بود. اما این موضوع نیز باید همیشه در نظر گرفته شود که آسیب های حاصل از ورود اعضا سازه به محدوده خمیری، باید بعد از زلزله قابل تعمیر و بازسازی باشند و از این منظر در طراحی لرزه‌های باید موازنه‌ای میان هزینه های اولیه ساخت و هزینه های مربوط به تعمیر و بازسازی برقرار گردد. این فلسفه‌ی طراحی مشکل، مورد توجه بسیاری از محققین بوده و هزینه های زیادی در این رابطه صرف شده است که تا هزینه های مالی سنگین حاصل از خسارات زلزله کاهش یابد. در نتیجه، هدف اصلی طراحی لرزه ای مدرن، کاهش خسارت های مالی و اقتصادی به همراه حفظ جان افراد می‌باشد. ارزیابی و تامین شکل پذیری مورد نیاز، عامل بسیار مهمی در حل این مشکل می باشد. پروفیسور پاولی اهل نیوزلند که یکی از بزرگان طراحی لرزه ای در دنیا بوده است و ابداع روش ظرفیتی در طرح سازه ها را به او نسبت می دهند، سازه را همانند چند حلقه زنجیر به هم متصل مانند شکل ۱-۱ مثال می‌زند و اعتقاد دارد که در طراحی لرزه ای حتماً لازم داریم تا یکی از این حلقه‌ها را به عمد ضعیفتر تناسب دهی کنیم تا در زلزله حتماً وارد ناحیه غیر خطی شود و باعث اتلاف انرژی زلزله گردد. برای اینکار موظفیم دو کار را انجام دهیم [۵]:



شکل ۱-۱: حلقه های زنجیر پاولی [۵]

- جزئیات بندی در ناحیه ضعیف تر به گونه‌ای باشد که در تغییر شکل های بزرگ دچار ناپایداری و زوال نشود.
 - بقیه حلقه‌های زنجیر به گونه‌ای طراحی شوند که دارای چنان مقاومتی باشند که با رسیدن حلقه شکل پذیر به حد مقاومتش هم چنان در ناحیه الاستیک باقی بمانند.
- با پذیرفتن اینکه بعضی از اجزای سازه به صورت شکل پذیر عمل کنند (حلقه شکل پذیر)، در حقیقت مقادیری خرابی را در سازه پذیرفته ایم که البته این خرابی‌ها نباید منجر به فرو ریزش سازه شود. بدین ترتیب این ایده پس از

مطرح شدن به شدت از سوی دانشمندان و مهندسان دیگر کشورها مورد استقبال قرار گرفت و به طور مستقیم وارد آیین نامه‌ها شد، به خصوص آیین نامه‌های بهسازی لرزه ای که بر اساس روش طراحی بر اساس عملکرد یا همان "Performance Base Design" می‌باشد. در این آیین نامه‌ها به حلقه شکل پذیر زنجیر، عضو کنترل شونده توسط تغییر مکان یا "Displacement control" و به حلقه‌های دیگر، اعضا کنترل شونده توسط نیرو یا "Force Control" گفته می‌شود. این مفهوم در آیین نامه‌های ساختمانی جدید نیز به نحوی وارد شده است. در واقع کلیه اعضا ابتدا بایستی تحت اثر نیروهای کاهش یافته زلزله تناسب دهی و طراحی شوند و سپس با ضرایبی مثل Ω_0 در آیین نامه AISC یا ضریب 0.4R در آیین نامه ۲۸۰۰، بار زلزله ورودی برای طراحی اعضای کنترل شونده توسط نیرو تشدید شود (این دو پارامتر بعداً به تفصیل مورد بحث قرار خواهند گرفت). به عبارتی هدف از اعمال این ضرایب این است که این اعضا تا رسیدن اعضای کنترل شونده توسط تغییر مکان به مقاومت حدی شان، در حالت الاستیک باقی بمانند و وارد ناحیه غیر خطی نشوند.

۱-۳- انواع اتصالات و قاب های سازه ای

در سازه‌ها و بخصوص سازه‌های فولادی، اتصالات نقش بسزایی در ارتباط با حفظ یکپارچگی (integrity) سازه ایفا می‌کنند و در حقیقت وظیفه اصلی اتصالات، انتقال صحیح نیروها بین اعضاء و اجزاء سازه‌های وارد بر آن بر اساس عملکرد مورد نظر می‌باشد. در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی و نیز آیین نامه سازه‌های فولادی AISC [۳] سه نوع قاب ساختمانی به همراه مفروضات محاسباتی مربوط به آنها، ملاک طرح و محاسبه سازه‌های فولادی قرار گرفته است.

- قاب ساده - اتصال نوع ۲ (AISC) با مقدار گیر داری $R < 20\%$.
 - قاب صلب - اتصال نوع ۱ (AISC) با مقدار گیر داری $R < 90\%$.
 - قاب نیمه صلب - اتصال نوع ۳ (AISC) با مقدار گیر داری $20\% < R < 90\%$.
- مقدار گیر داری R عبارتست از مقدار لنگر انتهایی واقعی (با فرض اینکه در ستون هیچگونه دورانی به وجود نیامده باشد) تقسیم بر لنگر گیر داری همان انتها در حالت کاملاً صلب (گیردار) [۱۳].

۱-۳-۱- اتصالات ساده (مفصل)

در تقسیم بندی آیین نامه AISC، اتصالاتی ساده فرض می‌شود که میزان گیر داری آن حداکثر ۲۰٪ باشد. به عبارت دیگر در این اتصالات توانایی انتقال لنگر خمشی بین تیر و ستون وجود ندارد و در نتیجه زاویه بین تیر و ستون