بسم الله الرحمن الرحیم

**کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و**

**نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه**

**متعلق به دانشگاه رازی است.**

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

**پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران**
**گرایش سازه**

**عنوان پایان نامه**

# مطالعه عددي اتصالات کامپوزيتي نيمه صلب نبشي نشيمن و بالاسري با و بدون نبشي جان تحت بارهاي يکنواخت

**استاد راهنما:**
**دکتر حمید رضا اشرفی**

**نگارش:**
**یوسف بیجازی**

**اسفند ماه ۱۳۹۰**

به تماشا سوگند

و به آغاز کلام

و به پرواز کبوتر از ذهن

واژه ای در قفس است

اثری که در برابر دیدگان شماست، مرهون ضمیر منیر بزرگ منشانی است که نور بر راهم فکندند تا راهبر و راهنمایم باشند، خاضعانه گل بوسه می کارم بر باغ پر برکت دستشان، گرچه در این کوتاه نگنجد وصف بلند مقام ایشان، که قصور قلم است و قصیده ایثار، لیکن بر خود فرض می دانم که سپاس نهم زحمات بی شائبه شان را، استادار جمند راهنما جناب آقای دکتر اشرفی که از نبع بلیغ و بحر عمیق علمشان در واژه واژه این شرح بهره برده ام.

اساتید محترم ممتحن جناب آقایان دکتر خلیل زاده و دکتر آقایاری که گام بر دیده و منت بر وجود ما نهادند و یمن ملاقات ایشان مایه مباهات بود.

همچنین از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر اخویسی که تجربیاتش را در این مدت در اختیار بنده گذاشتند، سپاسگزارم.

در پایان از دوستان گرانقدرم آقایان علی سپهوند، اکبر مخدومی و کیوان احمدی به خاطر همراهیشان بسیار سپاسگزارم.

# تقدیم به پدر عزیز و مادر مهربانم

آنان که وجودم برای آنان همه رنج و وجودشان برایم همه مهر است، توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید گشت تا روی سفید بمانم، آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان، روشنی رویشان و غروب غمهایشان سرمایه های جاودان زندگی من است، آنان که راستی قامتم در شکستگی قامتشان متجلی گشت.

در برابر وجود گرایشان زانوی ادب بر زمین می نهم و با قلبی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستان پر از مهر و محبتشان بوسه می زنم.

**چکیده**

در طراحی عملی سازه‌های فولادی دو نوع اتصال مطرح شده است. این اتصالات به اتصالات کاملاً صلب «لنگر» و ساده «برشی» طبقه‌بندی شده‌اند. در تئوری اتصالات کاملاً صلب نمی‌توانند دوران را تحمل نمایند و اتصالات ساده نیز قادر به انتقال لنگر نمی‌باشند. در واقعیت اتصالات صلب به طور نسبی مقداری انعطاف‌پذیری دارند که موجب دوران می‌شود و در اتصالات ساده نیز مقداری لنگر منتقل خواهد شد. در تعدادی از آئین نامه‌های مدرن طراحی، این حقیقت مورد تحقیق و نقد قرار گرفته است. که به معرفی نوع دیگری از اتصال با قید جزئی یا اتصال نیمه صلب انجامیده است. این نوع از اتصالات مقداری از لنگر تیر را به همراه برش به ستون انتقال می‌دهند. با توجه به اینکه اطلاعات کافی روی میزان لنگر منتقل شده و دوران اتصال در هنگام عمل انتقال لنگر در اتصالات نیمه صلب وجود ندارد. لذا تنهاترین راه برای تعیین میزان لنگر و دوران اتصالات با قید جزئی (اتصالات نیمه صلب) ترسیم منحنی‌های لنگر– دوران (M-θ) اتصال است. با این حال ترسیم چنین منحنی‌هایی نیازمند هزینه‌های زیاد، جهت تست‌های آزمایشگاهی است. به منظور کاهش هزینه‌ها، استفاده از المان محدود به کمک قدرت کامپیوترهای کنونی راهی مناسب جهت بدست آوردن منحنی‌های لنگر – دوران (M-θ ) اتصالات است. در این پایان‌نامه نتایج آزمایش‌های موجود سایر محققان، جهت مطابقت آنالیز المان محدود بکار برده شده است. بنابراین آنالیز المان محدود می‌تواند ابزار مناسبی در طراحی این اتصالات باشد. این پایان‌نامه ابتدا به مطالعه ۵ مدل المان محدود اتصالات نیمه صلب با نبشی فوقانی و تحتانی با و بدون نبشی جان می‌پردازد سپس تاثیر دال بتنی، روی این اتصالات را که به اتصالات کامپوزیتی نیمه صلب نامیده می‌شوند، بررسی خواهدشد لذا ۹ مدل المان محدود با دال بتنی مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان افزایش یا کاهش سختی و دوران در اتصال را با تغییر در پارامترهای مؤثر از جمله، میزان آرماتور برشی، فاصله رابطهای برشی، ضخامت نبشی جان، ضخامت نبشی‌های نشیمن و فوقانی و تعداد ردیف بولت‌ها بررسی خواهدشد. همچنین این پایان‌نامه توسعه مدل عددی المان محدود را با توانایی شبیه‌سازی و آنالیز رفتار مکانیکی انواع مختلف اتصالات نیمه صلب کامپوزیتی با نبشی بالاسری و زیرسری با و بدون نبشی جان تحت بارهای یکنواخت را بیان می‌کند. نرم‌افزار Ansys اساس مدل‌سازی و Contact جهت شبیه‌سازی سطح میان نبشی زیرسری و بالاسری و نبشی جان و بال تیر و ستون استفاده شده‌است. مدل المان محدود با نتایج آزمایشگاهی و عددی دیگران مقایسه شده است که بررسی‌ها صحت شبیه‌سازی و آنالیزکلی و رفتار تفصیلی این اتصال مانند رابطه لنگر–دوران (M–ɵ) ، تماس میان نبشی زیرسری و بالاسری و نبشی جان و بال تیر و ستون را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تعداد بولت‌ها در نبشی جان و افزایش ضخامت در نبشی زیرسری و بالاسری سختی و مقاومت نهایی و شکل‌پذیری اتصال کامپوزیتی را نسبت به اتصال فولادی نیمه صلب تغییر می‌دهد. در این تحقیق نشان داده شد که میزان آرماتور طولی، ضخامت دال بتنی و فاصله رابطهای برشی بیشترین تاثیر را روی رفتار منحنی لنگر–دوران اتصال دارند. سایر پارامترها، با تاثیر کمتری روی ظرفیت اتصال موثرند.

**کلمات کلیدی:** اتصال نیمه صلب، اتصال نیمه صلب کامپوزیتی، بار یکنواخت، نرم افزار Ansys

**پیشگفتار**

سازه‌های فلزی یکی از عمده‌ترین سیستم‌های سازه‌ای مورد استفاده در ساختمان‌های مدرن می‌باشد. برای تحلیل و طراحی این سیستم‌ها ملزم به مدل‌کردن رفتار اجزا و المان‌های آنها می‌باشیم. یکی از المان‌های موثر برای تعیین رفتار کلی سازه، اتصالات تیر به ستون درسازه‌های بتنی، فولادی و کامپوزیتی می‌باشد. مدل کردن رفتار اتصالات در گذشته عمدتاً به دو صورت کاملاً صلب و یا مفصل ایده آل انجام می‌شد. مطالعات صورت گرفته بر روی سازه‌های اجرا شده نشان داده که اتصالات این سیستم‌ها به طور کامل صلب نبوده و در مقابل بارهای وارده، مقداری دوران از خود نشان می‌دهند، همچنین اتصالات به صورت مفصلی نیز دارای مقاومت کمی در مقابل لنگرهای وارده می‌باشند، که این امر منجر به بروز خطا در تحلیل و طراحی واقعی سازه‌ها در مقابل بارهای وارده می‌شود. تحقیقات انجام شده دراین مورد، رفتار اتصالات را در محدوده‌ای بین این دو مورد در نظر گرفته است و این حالت، مطابقت بهتری با رفتار واقعی اتصال داشته و اجرای سازه‌ها با این گونه اتصالات راحت‌تر، ولی از لحاظ تحلیل و طراحی به دلیل نقش پارامترهای مختلف در تعیین رفتار لرزه‌ای قاب مشکلتر می‌باشد. پارامترهای موثر روی رفتار این اتصالات شامل مقاومت، شکل‌پذیری و سختی می‌باشد که در این پایان‌نامه به بررسی و تاثیر این پارامترها روی رفتار اتصالات نیمه صلب کامپوزیتی با هسته مجوف با نبشی زیر سری و بالا سری با و بدون نبشی جان پرداخته خواهدشد. در این تحقیق مدل‌سازی المان محدود بواسطه المان Solid مطالعه شده‌است. آزمایش‌های انتخابی برای دو نوع از اتصال نیمه صلب با المان محدود بنام اتصالات فولادی و کامپوزیتی با نبشی بالاسری و زیر سری با و بدون دوبل نبشی جان مدل شده‌است. هدف این پایان‌نامه، استفاده از آنالیز المان محدود به عنوان یک ابزار مناسب جهت دریافت پاسخ کلی و پیچیده اتصالات نیمه‌صلب انتخابی است. پس از مدل‌سازی اتصالات فولادی، آنها را بصورت کامپوزیتی می‌نماییم و سپس منحنی‌های لنگر- دوران (M-θ) بدست آمده را با نمونه‌های بدون دال از حیث مقاومت، سختی و شکل‌پذیری مقایسه نموده و آنها را طبقه‌بندی می‌نماییم و درصد گیرداری این نوع از اتصالات خاص بدست خواهد آمد. همچنین در این پایان‌نامه نیز حالت‌های مختلف شکست بررسی خواهد شد. تماس میان سطوح، پیش تنیدگی و هندسه غیرخطی در این پایان‌نامه لحاظ شده است. پایان‌نامه مذکور در ۵ فصل ارائه خواهد شد. فصل اول به سیستم‌های طبقه‌بندی اتصالات و محدوده اتصالات نیمه صلب اختصاص یافته‌است. فصل دوم به تاریخچه اتصالات نیمه صلب فولادی و کامپوزیتی توسط محققان، بیان شده است. فصل سه به تشریح مدل‌سازی، خواص مصالح و تحلیل مدل‌های المان محدود ساخته شده می‌پردازد. در فصل چهارم به بررسی نتایج مدل‌ها با نتایج آزمایشگاهی دیگران و عددی به تفصیل بیان خواهد شد و نهایتا در فصل آخر نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: سیستم‌های طبقه‌بندی اتصالات و محدوده اتصالات نیمه صلب**

۱-۱- نگاه کلی... ۲

۱-۲- پارامترهای موثر در رفتار یک اتصال ۳

۱-۲-۱- مقاومت اتصال ۳

۱-۲-۲- سختی اتصال ۳

۱-۲-۳- شکل‌پذیری اتصال ۷

۱-۳- طبقه‌بندی اتصالات ۹

۱-۳-۱- آئین‌نامه AISC-LRFD **1997** ۹

۱-۳-۲-آئین‌نامه Eurocode (CEN 1992) ۱۱

۱-۳-۳- طبقه بندی اتصالات توسط برخی از محققین ۱۴

۱-۳-۳-۱- طبقه‌بندی براساس سیستم پیشنهادی بیرهوود و همکاران ۱۴

۱-۳-۳-۲- طبقه‌بندی براساس سیستم پیشنهادی آستانه اصل ۱۵

۱-۳-۳-۳- تقسیم‌بندی اتصالات بر اساس سیستم پیشنهادی مازولونی و پلوسو ۱۶

۱-۳-۳-۴- دسته بندی اتصالات براساس سیستم پیشنهادی حسن و همکاران ۱۷

۱-۳-۴- دسته‌بندی اتصالات براساس مقررات ملی ساختمان ایران ۱۸

۱-۴- روش کار تحقیق ۱۸

**فصل دوم: تاریخچه تحقیقات**

۲-۱- مقدمه ۲۱

۲-۲- تاریخچه اتصالات نیمه صلب فولادی ۲۱

۲-۳- تاریخچه اتصالات نیمه صلب کامپوزیتی ۲۶

**فصل سوم: مدلسازی و آنالیز المان محدود**

۳-۱- آنالیز المان محدود اتصالات نیمه صلب ۳۰

۳-۲- مدل‌سازی اتصالات نیمه صلب با المان محدود ۳۴

۳-۲-۱- مدل‌سازی تفصیلی روشی برای شبیه سازی ۳۵

۳-۲-۲- تحقیقات آزمایشگاهی پیشین ۳۶

۳-۲-۳- نمونه‌های اتصالات مورد تحقیق در آنالیز المان محدود با دال کامپوزیتی هسته مجوف ۳۹

۳-۳- مدل‌سازی المان محدود ۴۰

۳-۳-۱- کلیاتی در مورد نرم افزار Ansys ۴۰

۳-۳-۲- آنالیز غیر خطی مادی (پلاستیسیته مستقل از زمان) ۴۲

۳-۳-۳- روش اجرا در نرم افزار Ansys ۴۴

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


۳-۳-۴- مدل‌های منحنی‌های تنش-کرنش ۴۵
۳-۳-۵- آنالیز تماس ۴۶
۳-۳-۶- مش‌بندی ۴۸
۳-۴- پیکربندی کلی مدل‌های المان محدود ۴۹
۳-۴-۱- انواع المان ۴۹
۳-۴-۲- بحث روی پیش‌تنیدگی و اصطکاک ۵۱
۳-۴-۳- مدل‌های مصالح بکاررفته ۵۳
۳-۵- مدل المان محدود سه بعدی دال مجوف کامپوزیتی ۵۵
۳-۵-۱- اندرکنش میان نبشی، تیر و ستون ۵۷
۳-۵-۲- شبیه‌سازی اتصالات نبشی نشیمن و بالاسری با و بدون نبشی جان بولت شده ۵۸
۳-۵-۳- مکانیسم انتقال برش در طول ۵۸
۳-۵-۴- مدل‌سازی دال بتنی تقویت شده ۵۹
۳-۵-۵- مدل‌سازی رابط‌های برشی(گل میخ برشی) ۶۱
۳-۵-۶- سطح مشترک دال بتن و تیر فولادی ۶۱
۳-۶- تحلیل غیرخطی ۶۱
۳-۷- بارگذاری و تعریف گسیختگی برای مدل المان محدود ۶۲
۳-۸- معیار گسیختگی برای بتن ۶۳

**فصل ۴: بررسی و تحلیل نتایج المان محدود**

۴-۱- مقدمه ۶۶
۴-۲- ترسیم نمودارهای لنگر-دوران (M-θ) توسط نرم افزار انسیس ۶۶
۴-۳- نمونه‌های اتصال فولادی نیمه صلب نبشی نشیمن و فوقانی با نبشی جان14S1 تا 14S4 ۶۷
۴-۴- نتایج اتصال نبشی بالاسری و زیرسری ۷۴
۴-۵- مقایسه بین المان محدود نتایج مربوط به اتصالات نیمه صلب و اتصال کامپوزیتی ۷۹

**فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات**

نتیجه کلی از بحث ۸۱
پیشنهاد ۸۳
فصل ۶: فهرست منابع ۸۵

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**

**جداول فصل اول: سیستم‌های طبقه‌بندی اتصالات و محدوده اتصالات نیمه صلب**

جدول (۱-۱) پارامترهای سیستم پیشنهادی R.hasan et al. 1998 ..... ۱۸

**فصل سوم: مدلسازی وخواص مصالح و آنالیز المان محدود**

جدول (۳-۱) فهرست نمونه های آزمایش شده عزایزی نامی..... ۳۸

جدول(۳-۲) نمونه‌های مورد آزمایش توسط کوکریتی و همکاران..... ۳۹

جدول(۳-۳) خصوصیات مدل‌های مورد استفاده در آنالیز المان محدود دال کامپوزیتی..... ۴۰

جدول(۳-۴) خلاصه‌ای از خصوصیات پلاستیک در نرم افزار انسیس را نشان می‌دهد [ANSYS]..... ۴۶

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


**شکل‌های فصل اول: سیستم‌های طبقه‌بندی اتصالات و محدوده اتصالات نیمه صلب**

شکل (۱-۱) سختی های اصلاح شده اتصال..... ۴

شکل (۱-۲) مدل هیسترزیس دوخطی اتصال..... ۵

شکل (۱-۳) خصوصیات منحنی– لنگر دوران مطابق AISC-LRFD 1997 ..... ۷

شکل (۱-۴) محدوده رفتار انواع قاب..... ۸

شکل (۱-۵) محدوده رفتار انواع اتصال..... ۸

شکل(۱-۶) دسته‌بندی اتصالات بر اساس Eurocode3(CEN1992)..... ۱۳

شکل (۱-۷) دسته بندی اتصالات بر اساس سیستم پیشنهادی .Bjorhovde et al..... ۱۵

شکل(۱-۸) تعریف قاب‌های مقاوم خمشی صلب، نیمه‌صلب و انعطاف‌پذیر Astaneh-Asl..... ۱۶

شکل (۱-۹) تقسیم بندی اتصالات بر اساس سیستم پیشنهادی Mazzolani & Piluso..... ۱۷

شکل (۱-۱۰) دسته بندی اتصالات براساس سیستم پیشنهادی حسن و همکاران ..... ۱۸

**جداول فصل دوم:تاریخچه تحقیق**

**شکل‌های فصل سوم: مدلسازی و آنالیز المان محدود**

شکل(۳-۱) نحوه اجرا و ساخت دالهای کامپوزیتی مجوف که انتقال برش از فولاد به بتن توسط ..... ۳۱

شکل (۳-۲) الگوی تست‌های آزمایشی نمونه‌های عزایزی نامی ..... ۳۷

شکل(۳-۳) هندسه و اندازه نبشی بالاسری و نشیمن در نمونه‌های مورد آزمایش کوکریتی و همکاران ..... ۳۹

شکل (۳-۴) منحنی تنش-کرنش المان بتن ..... ۵۰

شکل (۳-۵) منحنی تنش-کرنش المان فولاد..... ۵۰

شکل (۳-۶) منحنی تنش-کرنش بولت‌ها و آرماتورها..... ۵۰

شکل (۳-۷) نحود مدل کردن پیش تنیدگی بولت‌ها در نرم افزار انسیس[ANSYS V12]..... ۵۲

شکل (۳-۸) دیاگرام تنش-کرنش فولاد با کربن متوسط..... ۵۳

شکل (۳-۹) مدل المان محدود اتصال نبشی نشیمن و بالاسری با نبشی جان بولت شده نمونه $14s_1$ ..... ۵۴

شکل (۳-۱۰) مدل المان محدوداتصال نبشی نشیمن و بالاسری با نبشی جان بولت شده و نمایش المان هدف و تماسی بین نبشی‌ها و بال تیر و ستون نمونه $14s_3$ ..... ۵۵

شکل (۳-۱۱) مدل المان محدود اتصال کامپوزیتی با دال مجوف به همراه نحوه بارگذاری وقیدگذاری..... ۵۶

شکل (۳-۱۲) دال بتنی مجوف به همراه آرماتور طولی و عرضی..... ۵۷

شکل (۳-۱۳) مقطع عرضی اتصال کامپوزیتی..... ۵۷

شکل (۳-۱۴) اثرفشار قطری رابط برشی بر بتن ترک خورده ..... ۵۹

شکل (۳-۱۵) مدل لایه‌ای ساخته شده بتن کامپوزیتی..... ۵۹

شکل(۳-۱۶)مدل ساختمانی تیر کامپوزیتی..... ۵۹

شکل(۳-۱۷) روش تکرار نیوتن رافسون (ANSYS)..... ۶۲

شکل(۳-۱۸)سطوح گسیختگی سه بعدی بتن(ANSYS 1998)..... ۶۳

شکل (۳-۱۹) منحنی تنش پیوستگی-لغزش در نظر گرفته شده..... ۶۴

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**

**شکل‌های فصل چهارم: بررسی و تحلیل نتایج المان محدود**


شکل (۴-۱) مقایسه نتایج المان محدود با نمونه آزمایشگاهی $14S_1$ تحت بار یکنواخت افزایشی.....۶۸
شکل (۴-۲) تغییر شکل $14S_2$ توسط آنالیز المان محدود.....۷۰
شکل (۴-۳) مقایسه نتایج المان محدود با نمونه آزمایشگاهی $14S_2$ تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۰
شکل (۴-۴) مقایسه نتایج المان محدود با نمونه آزمایشگاهی $14S_3$ تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۱
شکل (۴-۵) مقایسه نتایج المان محدود نمونه‌های مورد مطالعه تحت بار یکنواخت افزایشی .....۷۲
شکل (۴-۶) شکل تغییر شکل و توزیع نتش در نمونه TS.....۷۳
شکل (۴-۷) مقایسه نتایج المان محدود با نمونه آزمایشگاهی TS تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۳
شکل (۴-۸) منحنی لنگر-دوران اتصالات کامپوزیتی تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۵
شکل (۴-۹) منحنی لنگر-دوران اتصالات کامپوزیتی تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۵
شکل (۴-۱۰) منحنی لنگر- دوران اتصالات کامپوزیتی تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۶
شکل (۴-۱۱) منحنی لنگر-دوران اتصالات کامپوزیتی تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۶
شکل (۴-۱۲) مقایسه میان ظرفیت لنگر و دوران نهایی اتصالات کامپوزیتی تحت بار یکنواخت افزایشی.....۷۷
شکل (۴-۱۳) درصد افزایش یا کاهش لنگر و دوران نهایی نسبت به نمونه $S_2$ تحت بار یکنواخت افزایشی...۷۸
شکل(۴-۱۴) مقایسه نتایج المان محدود اتصال فولادی وکامپوزیتی.....۷۹

# فصل اول

## سیستم‌های طبقه‌بندی اتصالات و محدوده اتصالات نیمه صلب

## ۱-۱- نگاه کلی

به منظور افزایش اتلاف انرژی در هنگام زلزله‌های سخت، سازه‌های فولادی باید به گونه‌ای مناسب توسط اتصالات با ظرفیت بالای اتلاف انرژی به هم متصل شوند. قبل از زلزله‌های کوبه[۱] و نورت ریج[۲] نگاه بیشتر طراحان و همچنین آئین‌نامه‌ها در آن زمان، معطوف به اتصالات جوشی تحت اثر نیروهای ناشی از حرکات زمین لرزه بود. که حقیقتاً این اتصالات دارای ظرفیت لنگر بالایی بودند، این نوع از اتصالات بعد از رسیدن به ظرفیت نهایی در رفتاری ترد گسیخته می‌شدند که موجب خرابی ساختمان‌ها در این زلزله شد[ ۱و۲ ]. با بررسی و مشاهده اثر خرابی‌های زلزله‌های گذشته بر روی سازه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که ظرفیت لنگر(M) تنها ملاک و معیار مقاومتی اتصالات در سازه‌های فولادی در زلزله نیست. به همراه ظرفیت لنگر کافی، اتصالات باید ظرفیت اتلاف انرژی با رفتاری شکل‌پذیر جهت زمین لرزه‌های گوناگون داشته باشند. در یک دهه بعد از زمین لرزه‌های نورت ریج و کوبه، آئین‌نامه‌های سازه‌های فولادی به همراه آئین نامه‌های لرزه‌ای، نقشی جدید برای اتصالات درنظر گرفتند لذا از منظر این دیدگاه و با این هدف، اخیراً اتصالات با قید جزئی یا اتصالات نیمه صلب در آئین نامه‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین استفاده از این اتصالات، یک راه اقتصادی برای عملکرد لرزه‌ای بهتر قاب‌های فلزی در هنگام زلزله است(۳ ). لذا صرفه اقتصادی این اتصالات در طراحی قاب‌های فلزی و اتلاف انرژی خوب در پاسخ زلزله، این اتصالات را در بکارگیری طراحی عملی رایج ساخته است. ولی آنالیز و تحقیقات آزمایشگاهی کافی روی پاسخ این نوع اتصالات وجود ندارد. علاوه بر این، پروسه پیچیده آنالیز و عدم آگاهی از محدوده کاربرد این نوع از اتصالات در طراحی‌های عملی از محدودیت‌های این اتصالات است که به دلیل این محدودیت‌ها، طراحان اتصالات را به صورت ثابت یا مفصلی در نظر می‌گیرند، اما این دو فرض نمی‌توانند رفتار واقعی غیرخطی اتصالات را منعکس کنند. پاسخ غیرخطی رفتار اتصالات اولین بار در سال ۱۹۳۰ بیان شده است. سپس تلاش‌هایی جهت تعیین منحنی‌های خطی ساده و دو خطی نسبت به مدل‌های نمایی و چند جمله‌ای برای انعکاس رفتار غیر خطی واقعی اتصالات صورت پذیرفت (۴). این مدل‌ها براساس رابطه لنگر – دوران(M-θ) تنظیم می‌شوند که منحنی‌های مدل با منحنی آزمایشگاهی برازش خواهند شد. با این حال نبود دانش کافی روی داده‌های آزمایشگاهی با پارامترهای مختلف، موجب شده است که محققان نتوانند توابع لنگر– دوران (M-θ) را برای هر اتصال خاص بکار ببرند. لذا به سبب افزایش قدرت محاسبه کامپیوترها در یک دهه

1- Kobe (1994)
2 -Northridge(1995)

گذشته، برنامه کاربردی المان محدود به منظور دریافت منحنی‌های لنگر-دوران (M-θ) جهت انعکاس اثرات غیر خطی در پاسخ رفتار اتصال تحت بارگذاری‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. به کمک برنامه المان محدود، پارامترهای مختلف مؤثر روی رفتاراتصال می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. در این فصل ابتدا به منظور درک کامل و جامع حوزه کاربرد اتصالات نیمه صلب و انواع اتصالات نیمه صلب و تعاریف آئین‌نامه از محدوده این نوع از اتصالات بیان خواهدشد. سپس کارهای انجام شده بصورت تحلیلی و آزمایشگاهی روی این اتصالات مورد بررسی قرار خواهد گرفت و نهایتاً هدف و حیطه‌کاری پایان‌نامه در انتهای این فصل بیان خواهد شد.

## ۱-۲- پارامترهای موثر در رفتار یک اتصال

یکی از عوامل موثر در تعیین رفتار سازه‌ها تحت اثر بارهای وارده، اتصالات تیر به ستون می‌باشد. برای شناخت بیشتر این اتصالات بایستی پارامترهای موثر در تعیین رفتار کلی اتصال در قاب شناسایی و مورد بررسی قرار گیرد. آئین نامه‌های مختلف سه پارامتر مقاومت، سختی و شکل پذیری اتصال را مهم جلوه داده و اکثر آنها نیز، بررسی‌ها و طبقه‌بندی خود را مطابق این سه پارامتر قرار داده‌اند.

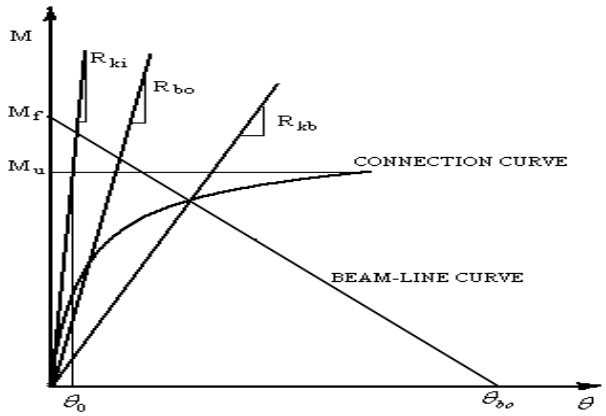
### ۱-۲-۱- مقاومت اتصال

مقاومت اسمی اتصال $M_n$ را می‌توان بر پایه حد نهایی مدل تحلیلی اتصال و یا نتایج حاصل از آزمایش تعیین کرد.آزمایش‌ها نشان می‌دهند که بعضی اتصالات حتی در دوران‌های بزرگ یک قسمت افقی مشخص به عنوان حد نهایی در منحنی لنگر دوران (M-θ) خود ندارند. در چنین اتصالاتی لازم است که یک مقدار مشخص برای دوران اتصال تعیین گردد و لنگر نظیر آن به عنوان مقاومت اسمی اتصال در نظر گرفته شود این مقدار دوران را با $\theta_n$ نمایش داده که در آئین نامه‌ها برای تیپ‌های مختلف قاب‌ها مقادیر متفاوتی دارد.

### ۱-۲-۲ - سختی اتصال

سختی یک اتصال را می‌توان توسط شیب منحنی M-θ تعیین نمود. چون منحنی M-θ برای جمیع مقادیر M و θ به صورت غیر خطی است می‌توان سختی اتصال را توسط شیب مماس بر منحنی M-θ به دست آورد. شکل ۱-۱ منحنی M-θ برای یک اتصال را نشان می‌دهد. در شکل ۱-۱ مماس بر منحنی M-θ سختی مماسی $R_{ki}$ است. چون تعیین سختی به روش مماسی به منحنی پیوسته و غیر خطی M-θ نیاز دارد، در بیشتر طراحی‌ها برای قاب‌های منظم از سختی وتری (سکانت) که راه حل قابل قبولی است، استفاده می‌شود. در این روش سختی اتصال در هر نقطه از منحنی M-θ شیب خط واصل بین آن نقطه و مبدأ مختصات است. ضریب سختی سکانت در بارهای سرویس، شیب خط واصل بین آن نقطه و مبدأ مختصات است. اتصالات را

بر حسب میزان سختی آن می‌توان به اتصالات صلب، اتصالات نیمه صلب با سختی جزئی و اتصالات ساده و یا مفصلی بدون سختی طبقه‌بندی نمود.




**شکل(۱-۱)- سختی های اصلاح شده اتصال(۵)**

ضریب سختی سکانت در بارهای سرویس، $K_{serv}$ معیار مناسبی برای سنجش تغییر مکان‌ها و حرکت جانبی قاب‌ها است و مقدار آن را می‌توان بر اساس زاویه دورانی حدوداً معادل ۰/۰۰۲۵ رادیان تعیین کرد.
ضریب سختی نهایی اتصال $k_{ult}$ ، با روش سکانت را می توان بر اساس زاویه دوران در حدود ۰/۰۲ رادیان به دست آورد. در هر حال میزان سختی اتصال هنگامی معنی‌دار است که با میزان سختی اعضای متصل شده به آن مقایسه شود. رفتار قاب‌های خمشی فولادی وابستگی زیادی به رفتار چرخشی اتصالات و سختی خمشی تیرها و ستون‌ها دارد. سختی چرخشی اتصال نقش تعیین کننده‌ای در دسته‌بندی اتصالات دارد. این سختی شامل سختی اولیه $R_{ki}$ و سختی اصلاح شده برای المان‌های فنر خطی می‌باشد.

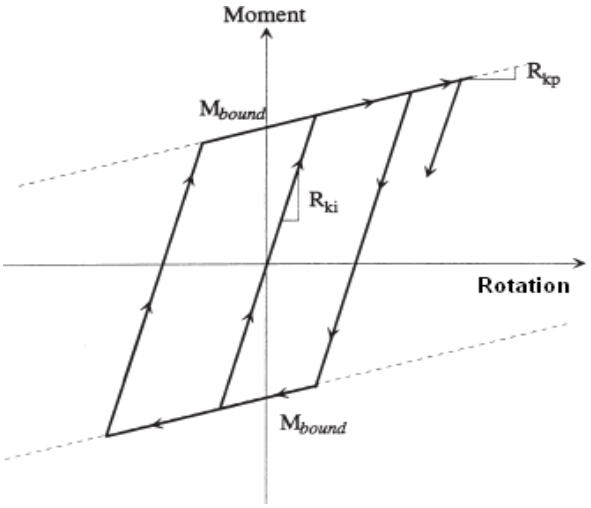
الف – سختی اولیه $R_{ki}$ : این سختی میزان سختی اتصال در مقابل لنگر وارده می‌باشد که تحت آن اتصال در محدوده الاستیک قراردارد و با توجه به مشخصات هندسی و سازه‌ای اتصال بدست می‌آید .

ب ) سختی اصلاح شده برای المان‌های فنر خطی: این سختی شامل سختی اولیه اصلاح شده $R_{ko}$، سختی خط تیر $R_{kb}$ و سختی وتری می‌باشد.

سختی اولیه اصلاح شده $R_{ko}$: برای تعیین این سختی دو پارامتر لنگر نهایی $M_u$ و سختی اولیه $R_{ki}$ مورد نیاز است در شکل (۱-۱) چگونگی تعیین این پارمتر بیان شده است، که $\theta = \frac{M_u}{R_{ki}}$ می‌باشد. این سختی را می‌توان به جای سختی اولیه اتصال برای تعیین مقاومت مماسی اتصال هنگامی که سختی اولیه بزرگ $R_{ki}$

می‌باشد، به کاربرد.

سختی خط تیر $R_{kb}$: با پیشرفت بارگذاری، افزایش چرخش و در نتیجه کاهش سختی در اتصال بوجود می‌آید. برای قاب‌های با جابجایی، هنگامی که اثر بارهای جانبی به بارهای ثقلی افزوده می‌شود، اتصال دستخوش تغییر شکل‌های قابل توجه‌ای می‌گردد که این منجر به نیاز به افزایش سختی اتصال برای جلوگیری از این تغییر شکل‌ها می‌شود. برای تعیین سختی $R_{kb}$ طبق روش زیر معادله خط تیر بدست آمده و بارسم آن مطابق شکل (۱-۱) می‌توان مقدار سختی $R_{kb}$ را به دست آورد. برای این منظور یک تیر تحت تأثیر لنگرهای انتهایی را در نظر گرفته و با استفاده از معادلات شیب افت معادله خط تیر را بدست می‌آوریم.




**شکل (۱-۲)-مدل هیسترزیس دوخطی اتصال(۶)**

$$\begin{cases} M_a = M_{fa} + \dfrac{2EI}{L}(2\theta_a + \theta_b) \\ M_b = M_{fb} + \dfrac{2EI}{L}(\theta_a + 2\theta_b) \end{cases} \qquad (۱-۱)$$

با در نظر گرفتن بارگذاری متقارن برای تیر داریم:

$$M_b = -M_a \quad , M_{fb} = M_{fa} \quad , \theta_b = -\theta_a \qquad (۱-۲)$$

باقراردادن مقادیر فوق در یکی از معادله(۱-۱) و ساده کردن آن داریم:

$$M_a = M_{fa} - \frac{2EI}{L}\theta_a \qquad (۳-۱)$$

که فرم کلی آن برا ی تیر تحت بار گسترده به صورت زیر است:

$$M_E = M_F - \frac{2EI}{L}\theta_b \qquad (۴-۱)$$

$\theta_b$ چرخش انتهایی تیر، $\theta_{bo}$ چرخش انتهایی برای بارگذاری یکسان برای تیر با تکیه‌گاه ساده ، $\theta_{bo} = \frac{WL^3}{24}$ و $M_F = \frac{WL^2}{12}$ لنگر اتصال در اتصال گیردار تحت بارگذاری گسترده است. با بدست آوردن محل قطع منحنی $M-\theta$ توسط خط تیر، شیب خطی که از مبدأ به محل قطع متصل می‌شود به عنوان سختی خط تیر $R_{kb}$ در نظر گرفته می‌شود.

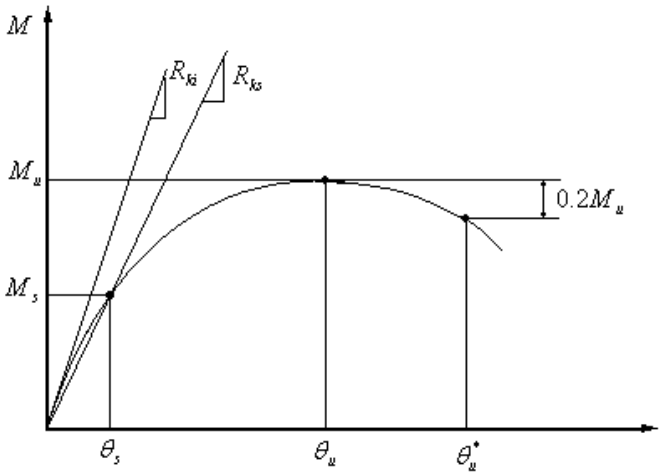
سختی سکانت $R_{ks}$: این سختی مطابق این رابطه تعریف می شود، $R_{ks} = \frac{M_s}{\theta_s}$ که در آن $M_s = \frac{2}{3}M_u$ می‌باشد. برای تعیین $R_{ks}$ با استفاده از مدل سه پارامتری کیشی و چن[1] می‌توان آن را به صورت زیر بدست آورد.

$$R_{ks} = \frac{2M_u}{3\theta_0\left(\frac{2^n}{3^n - 2^n}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{2R_{ki}}{3\left(\frac{2^n}{3^n - 2^n}\right)^{\frac{1}{n}}} \qquad (۴-۱)$$

$$\alpha = \frac{R_{ks}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{beam}} \qquad (۵-۱)$$

که $n$ پارامتر شکل و $R_{ki}$ سختی اولیه اتصال می‌باشد. همچنین با توجه به راه حل تقریبی زیر نیز می‌توان سختی سکانت را بدست آورد. و E,I,L مشخصات تیر متصل به گره وسختی بدون بعد $\alpha$ که در آئین نامه ها برای انواع اتصالات حدود آن به طور تقریبی داده شده است.

1- Kishi & Chen 1987




**شکل(۱-۳) خصوصیات منحنی– لنگر دوران مطابق [5] AISC-LRFD 1997**

### ۱-۲-۳- شکل‌پذیری اتصال

هنگامی که تغییر شکل‌ها در اجزای اتصال متمرکز می‌شوند، مانند اتصالات نیمه صلب و نیمه ظرفیت، مهمترین پارامتر تاثیرگذار در رفتار سازه شکل‌پذیری اتصال می‌باشد. شکل‌پذیری مورد نیاز برای اتصال بستگی به مکان مورد استفاده سازه با توجه به ناحیه لرزه خیزی زمین دارد. شکل‌پذیری را می‌توان وابسته به دورانی دانست که در آن اتصال دچار گسیختگی می‌گردد بنابراین لازم است ظرفیت دوران اتصال به گونه‌ای مناسب مشخص شود. این پارامتر به صورت نسبتی از ظرفیت دوران نهایی ($\theta_u$) نسبت به دوران تسلیم ($\theta_y$) تعریف شده است. باید توجه کرد که ($\theta_y$) مبتنی بر دیدگاه مهندسی و شکل منحنی است. در پروسه طراحی، سختی اولیه، مقاومت نهایی، ماکزیمم دوران و شکل پذیری، خصوصیاتی هستند که نیاز به کنترل توسط مهندس سازه می‌باشند. طبق ضوابط آئین‌نامه‌های لرزه‌ای سازه‌های فولادی، از قاب‌های خمشی متوسط انتظار می‌رود اعضای اتصالات آن قادر باشند تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی محدودی را هنگامی که در برابر نیروی زلزله قرار می‌گیرند تحمل نمایند. از طرف دیگر از قاب‌های خمشی ویژه انتظار می رود که تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای را در هنگام زلزله طرح تحمل نمایند و الزامات قاب‌های خمشی متوسط و ویژه در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها باید به دقت مراعات گردد. شکل‌پذیری یک اتصال در تعیین ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی از اهمیت خاصی برخوردار است. از انواع سیستم‌های باربر در طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی دو نوع قاب خمشی متوسط(IMF) و قاب خمشی ویژه(SMF) دارای کاربردهای فراوانی هستند.