



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده عمران و معماری

موضوع :

بررسی رفتار اتصالات نیمه صلب در سازه های فولادی

پایان نامه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی عمران – سازه

استاد راهنمای اول :

دکتر علی کیهانی

استاد راهنمای دوم :

دکتر رامین امینی

نگارش :

امین غلامی داودی

تیر ۱۳۸۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فصل اول - مقدمه

۱-۱- مقدمه.....	۲
فصل دوم - کلیاتی در مورد اتصالات و تحلیل غیرخطی	
۱-۲- طبقه بندی قابهای ساختمانی.....	۶
۲-۲- اتصالات تیر به ستون در قابهای فولادی.....	۸
۱-۲-۲- اتصالات صلب تیر به ستون.....	۸
۲-۲-۲- اتصالات ساده تیر به ستون.....	۱۱
۱-۲-۲-۲- اتصال ساده تیرها با نبشی جان.....	۱۲
۲-۲-۲-۲- اتصال ساده تیرها با نبشی نشیمن.....	۱۳
۳-۲-۲-۲- اتصال ساده تیرها با نشیمن تقویت شده.....	۱۸
۳-۲-۲- اتصالات نیمه صلب تیر به ستون.....	۲۱
۳-۲- تاریخچه بررسی اتصالات.....	۲۵
۴-۲- سختی اتصال.....	۲۹
۱-۴-۲- محاسبه سختی اتصالات نیمه صلب فولادی با استفاده از معادلات چند خطی.....	۳۳
۵-۲- منحنی لنگر دوران اتصالات.....	۳۸
۱-۵-۲- مدل های منحنی لنگر دوران برای اتصالات.....	۴۰
۱-۱-۵-۲- مدل خطی.....	۴۱
۲-۱-۵-۲- مدل چند جمله ای.....	۴۱
۳-۱-۵-۲- مدل توانی.....	۴۲
۴-۱-۵-۲- مدل نمایی.....	۴۳
۵-۱-۵-۲- مدل ۳ پارامتری.....	۴۴
۱-۵-۱-۵-۲- اتصال جفت نبشی جان.....	۴۵
۲-۵-۱-۵-۲- اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی.....	۴۷
۶-۱-۵-۲- مدل ۲ پارامتری.....	۴۹
۶-۲- مفهوم گیر داری اتصال.....	۵۵
۱-۶-۲- معادله خط تیر.....	۵۹
۷-۲- کلیاتی در مورد تحلیل غیر خطی.....	۶۳
۱-۷-۲- مقدمه.....	۶۳
۲-۷-۲- رفتار غیر خطی سازه ها.....	۶۴
۳-۷-۲- نحوه اعمال بار برای تحلیل غیر خطی.....	۶۶

۶۸	۴-۷-۲- روش نیوتن-رافسون.....
	فصل سوم - معرفی نرم افزار Ansys و نحوه مدل سازی اتصالات در این نرم افزار
۷۳	۱-۳- آشنایی کلی با روش اجزاء محدود و برنامه Ansys.....
۷۳	۱-۱-۳- آشنایی با روش اجزاء محدود.....
۷۵	۲-۱-۳- معرفی نرم افزار Ansys.....
۸۳	۲-۳- روش مدل سازی در نرم افزار Ansys.....
۸۳	۱-۲-۳- نام فایل ها و عنوان آنالیز.....
۸۳	۲-۲-۳- تعیین گروه کاری اصلی برنامه.....
۸۴	۳-۲-۳- تنظیم سیستم واحد ها.....
۸۴	۴-۲-۳- انتخاب نوع المان.....
۸۶	۵-۲-۳- تعریف مقدار پارامترها.....
۸۷	۶-۲-۳- تعریف خواص مواد.....
۹۰	۷-۲-۳- ساخت مدل هندسی.....
۹۰	۱-۷-۲-۳- مدل سازی تیر طره.....
۹۲	۲-۷-۲-۳- مدل سازی نبشی فوقانی.....
۹۴	۳-۷-۲-۳- مدل سازی نبشی نشیمن.....
۹۵	۴-۷-۲-۳- مدل سازی جوش ها.....
۹۸	۸-۲-۳- المان بندی مدل هندسی.....
۱۰۷	۹-۲-۳- کوپل کردن اجزای مدل.....
۱۰۸	۱۰-۲-۳- معرفی تکیه گاه ها و بارگذاری.....
۱۰۹	۱۱-۲-۳- آنالیز.....
۱۱۰	۱۲-۲-۳- مشاهده نتایج.....
۱۱۳	۳-۳- مدل سازی اتصال جفت نبشی جان.....
۱۱۳	۱-۳-۳- مدل سازی نبشی های جان.....
۱۱۵	۲-۳-۳- مدل سازی جوش.....
۱۱۷	۳-۳-۳- کوپل کردن گره ها.....
۱۱۷	۴-۳-۳- معرفی تکیه گاه ها و بارگذاری.....
۱۱۸	۴-۳- مدل سازی اتصال ورق فوقانی و نشیمن تقویت شده.....
۱۱۸	۱-۴-۳- مدل سازی ورق فوقانی.....
۱۱۹	۲-۴-۳- مدل سازی ورق نشیمن و سخت کننده.....

۱۲۲	۳-۴-۳- مدل سازی جوش ها
۱۲۴	۳-۴-۴- کوپل کردن گره ها
۱۲۴	۳-۴-۵- معرفی تکیه گاه هاو بارگذاری
۱۲۵	۳-۵-۵- مدل سازی اتصالات برای پروفیل های جفت
۱۲۶	۳-۵-۱- مدل سازی اتصال نبشی فوقانی و نشیمن
۱۲۷	۳-۵-۲- مدل سازی اتصال جفت نبشی جان به همراه نبشی نشیمن
۱۲۸	۳-۵-۳- مدل سازی اتصال نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی
	فصل چهارم - اتصالات مدل شده و بررسی رفتار آنها
۱۳۰	۴-۱- مقدمه
۱۳۰	۴-۲- مشخصات اتصالات مدل شده
۱۳۰	۴-۲-۱- اتصالات نبشی فوقانی و نبشی نشیمن
۱۳۱	۴-۲-۲- اتصال نبشی جان
۱۳۸	۴-۲-۳- اتصال با ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده
۱۴۳	۴-۲-۴- اتصال جفت نبشی جان
۱۴۶	۴-۲-۵- اتصال نبشی فوقانی و نشیمن تقویت شده برای IPE دابل
۱۵۰	۴-۲-۶- اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن برای IPE دابل
۱۵۳	۴-۳- منحنی های لنگر دوران
۱۹۸	۴-۴- خط تیر و درصد گیرداری
۲۱۰	۴-۵- جداول سختی اتصالات
۲۱۵	۴-۶- طراحی یک سازه در نرم افزار Sap2000
۲۱۸	۴-۷- مقایسه نمودار ها و نتایج تحلیل
	فصل پنجم - نتیجه گیری
	فصل ششم - مراجع
	فصل هفتم - پیوست

جدول (۱-۲): ثابتهای تابع چند جمله‌ای فری و موریس	۴۲
جدول (۱-۴): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی پیشنهادی راهنمای اتصالات	۱۳۲
جدول (۲-۴): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی طراحی شده	۱۳۳
جدول (۳-۴): مشخصات اتصالات جان پیشنهادی راهنمای اتصالات	۱۳۶
جدول (۴-۴): مشخصات اتصالات نبشی جان طراحی شده	۱۳۷
جدول (۵-۴): مشخصات اتصالات ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده پیشنهادی راهنمای اتصالات	۱۴۱
جدول (۶-۴): مشخصات اتصالات ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده طراحی شده	۱۴۲
جدول (۷-۴): مشخصات اتصالات نبشی جان برای پروفیل دابل پیشنهادی راهنمای اتصالات	۱۴۵
جدول (۸-۴): مشخصات اتصالات نبشی جان برای IPE دابل طراحی شده	۱۴۶
جدول (۹-۴): مشخصات اتصالات نبشی فوقانی و نشیمن تقویت شده برای پروفیل دابل پیشنهادی راهنمای اتصالات	۱۴۸
جدول (۱۰-۴): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی برای پروفیل دابل پیشنهادی راهنمای اتصالات	۱۴۹
جدول (۱۱-۴): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی برای پروفیل دابل مدل شده	۱۵۲
جدول (۱۲-۴): سختی های اتصالات نبشی جان برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات	۲۱۱
جدول (۱۳-۴): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات	۲۱۱
جدول (۱۴-۴): سختی های اتصالات نشیمن تقویت شده و ورق فوقانی برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات	۲۱۲
جدول (۱۵-۴): سختی های اتصالات نبشی جان در تیر پروفیل دابل برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات	۲۱۲
جدول (۱۶-۴): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی در تیر پروفیل دابل	
برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات	۲۱۲
جدول (۱۷-۴): سختی های اتصالات نشیمن تقویت شده و نبشی فوقانی در تیر پروفیل دابل	
برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات	۲۱۳
جدول (۱۸-۴): سختی های اتصالات نبشی جان برای اتصالات طراحی شده	۲۱۳
جدول (۱۹-۴): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای اتصالات طراحی شده	۲۱۳
جدول (۲۰-۴): سختی های اتصالات نشیمن تقویت شده و ورق فوقانی برای اتصالات طراحی شده	۲۱۳
جدول (۲۱-۴): سختی های اتصالات نبشی جان برای پروفیل دابل برای اتصالات طراحی شده	۲۱۴
جدول (۲۲-۴): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای پروفیل دابل برای اتصالات طراحی شده	۲۱۴
جدول (۲۳-۴): درصد گیرداری اتصالات مختلف	۲۱۴

شکل (۱-۲): اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی.....	۹
شکل (۲-۲): اتصالات صلب تیر به ستون از نوع پیچی.....	۱۰
شکل (۳-۲): اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی (اتصال تیر به جان ستون).....	۱۱
شکل (۴-۲): دو نوع اتصال ساده اجرائی.....	۱۲
شکل (۵-۲): جوش نبشی جان به ستون.....	۱۳
شکل (۶-۲): رفتار نبشی نشیمن در زیر بار.....	۱۴
شکل (۷-۲): محل قرارگیری عکس العمل R بر روی بال افقی نبشی نشیمن.....	۱۶
شکل (۸-۲): مقطع بحرانی خمشی در نشیمن انعطاف پذیر.....	۱۶
شکل (۹-۲): جوش نبشی نشیمن به ستون.....	۱۷
شکل (۱۰-۲): جوش نبشی فوقانی به تیر و ستون.....	۱۷
شکل (۱۱-۲): تغییر شکل نبشی فوقانی.....	۱۸
شکل (۱۲-۲): موقعیت نشیمن تقویت شده نسبت به تیر.....	۱۹
شکل (۱۳-۲): دو ترتیب برای برش لبه آزاد سخت کننده.....	۲۰
شکل (۱۴-۲): صفحه مثلی در زیر نشیمن.....	۲۰
شکل (۱۵-۲): طبقه بندی اتصالات.....	۲۱
شکل (۱۶-۲): انواع قاب با سختی اتصالات متفاوت تحت اثر بار گسترده.....	۲۲
شکل (۱۷-۲): منحنی $M-\theta$ تحت بارهای یکنواخت.....	۲۴
شکل (۱۸-۲): اتصال با نبشی نشیمن و فوقانی.....	۲۵
شکل (۱۹-۲): نمودار مقاومت بر حسب سختی اتصالات مختلف.....	۳۱
شکل (۲۰-۲): مدل سازی اتصال توسط مجموعه فنرهای خطی.....	۳۲
شکل (۲۱-۲): ایده اساسی روش معادله چند خطی.....	۳۵
شکل (۲۲-۲): تاثیر ضریب شکل.....	۳۵
شکل (۲۳-۲): اتصال کاملاً جوش شده.....	۳۶
شکل (۲۴-۲): اجزای اتصال جوش شده.....	۳۶
شکل (۲۵-۲): مدل مکانیکی اتصال جوش شده.....	۳۷
شکل (۲۷-۲): تغییر شکل دورانی یک اتصال.....	۳۹
شکل (۲۸-۲): انواع منحنی های لنگر - دوران.....	۳۹
شکل (۲۹-۲): منحنی های لنگر - دوران برخی از اتصالات رایج.....	۴۰
شکل (۳۰-۲): مقطع نبشی در وضعیت الاستیک (a) مقطع دابل نبشی (b) مدل سازی (c) دیاگرام آزاد جسم.....	۵۱

شکل (۲-۳۱): مقطع نبشی در وضعیت پلاستیک (a) مکانیسم نبشی دوبل (b) وضعیت مفاصل پلاستیک	۵۲
(c) وضعیت تغییر شکل یافته	۵۳
شکل (۲-۳۲): اتصال نیمه صلب با نبشی نشمین و فوقانی (پرچ شده)	۵۳
شکل (۲-۳۳): توزیع نیروها در نبشی نشمین و فوقانی در وضعیت الاستیک	۵۵
شکل (۲-۳۴): توزیع نیروها در نبشی تحتانی و فوقانی در وضعیت پلاستیک	۵۵
شکل (۲-۳۵): فرضیات شرایط تکیه گاهی	۵۶
شکل (۲-۳۶): دیاگرامهای تغییرات لنگر تیر برای حالات مختلف گیرداری تکیه گاه و بارگذاری ها	۵۸
شکل (۲-۳۷): تیر منفرد با تکیه گاه های فنری	۵۹
شکل (۲-۳۸): لنگر و دوران برای معادلات شیب افت (جهت مثبت لنگرها)	۶۲
شکل (۲-۳۹): منحنی لنگر- دوران و خطوط تیر	۶۴
شکل (۲-۴۰): مثال هایی از رفتار غیر خطی سازه ای	۶۵
شکل (۲-۴۱): چوب ماهیگیری که حالت غیر خطی هندسی را نشان می دهد	۶۷
شکل (۲-۴۲): رفتار سیستم غیر کنسرواتو (وابسته به مسیر)	۶۷
شکل (۲-۴۳): بارگذاری در چندگام یا زیر گام	۶۸
شکل (۲-۴۴): مقایسه روش فقط نمویی و روش نیوتن- رافسون	۷۰
شکل (۲-۴۵): روش نیوتن- رافسون برای یک تکرار	۷۰
شکل (۲-۴۶): روش نیوتن- رافسون برای تکرار بعدی (i+1)	۷۱
شکل (۲-۴۷): روش نیوتن- رافسون نمویی	۸۵
شکل (۳-۱): المان Solid45	۸۶
شکل (۳-۲): المان Solid95	۸۹
شکل (۳-۳): منحنی تنش - کرنش فولاد st37	۹۰
شکل (۳-۴): منحنی تنش - کرنش جوش	۹۲
شکل (۳-۵): شکل سه بعدی تیر طره	۹۳
شکل (۳-۶): شکل سه بعدی نبشی فوقانی	۹۵
شکل (۳-۷): شکل سه بعدی نبشی نشمین	۹۶
شکل (۳-۸): شکل سه بعدی اتصال	۹۹
شکل (۳-۹): تیر یک سر گیردار	۱۰۰
شکل (۳-۱۰): المان بندی اتوماتیک به صورت Free	۱۰۱
شکل (۳-۱۱): المان بندی اتوماتیک به صورت Free با اندازه بسیار ریز	۱۰۱
شکل (۳-۱۲): المان بندی اتوماتیک به صورت Mapped	

۱۰۲	شکل (۱۳-۳) : المان بندی دستی به صورت Mapped
۱۰۲	شکل (۱۴-۳) : المان بندی دستی به صورت Mapped به تعداد دلخواه (ریز)
۱۰۳	شکل (۱۵-۳) : المان بندی دستی به صورت Mapped به تعداد دلخواه (درشت)
۱۰۳	شکل (۱۶-۳) : اخطار مش زدن شکل دارای ابعاد بیشتر از ۴ بعد به صورت Mapped
۱۰۴	شکل (۱۷-۳) : اخطار وجود دو گره با مختصات یکسان
۱۰۴	شکل (۱۸-۳) : اخطار اعمال تغییرات در شکل مش بندی شده
۱۰۴	شکل (۱۹-۳) : اخطار مش بندی
۱۰۵	شکل (۲۰-۳) : المان بندی با دستور by Corners
۱۰۵	شکل (۲۱-۳) : المان بندی با دستور by Corners با المانهای نامتطبق
۱۰۷	شکل (۲۲-۳) : شکل سه بعدی المانهای اتصال
۱۰۸	شکل (۲۳-۳) : شکل سه بعدی المانهای اتصال
۱۰۹	شکل (۲۴-۳) : منوی Solution Controls
۱۱۴	شکل (۲۵-۳) : مدل جفت نبشی جان
۱۱۸	شکل (۲۶-۳) : مدل ورق فوقانی
۱۲۰	شکل (۲۷-۳) : سخت کننده تحتانی
۱۳۱	شکل (۱-۴) : اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی
۱۳۱	شکل (۲-۴) : مدل اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی
۱۳۳	شکل (۳-۴) : تنش اصلی اول اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی
۱۳۴	شکل (۴-۴) : معیار تنش Von masses اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی
۱۳۴	شکل (۵-۴) : خیز اتصال نبشی نشیمن و فوقانی
۱۳۵	شکل (۶-۴) : اتصال ساده جفت نبشی جان
۱۳۶	شکل (۷-۴) : مدل اتصال ساده جفت نبشی جان
۱۳۷	جدول (۴-۴) : مشخصات اتصالات نبشی جان طراحی شده
۱۳۷	شکل (۸-۴) : معیار تنش Von masses اتصال ساده جفت نبشی جان
۱۳۸	شکل (۹-۴) : تنش اصلی اول اتصال ساده جفت نبشی جان
۱۳۹	شکل (۱۰-۴) : اتصال با ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده
۱۳۹	شکل (۱۱-۴) : اتصال با ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده (پلان)
۱۳۹	شکل (۱۳-۴) : مدل اتصال ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده
۱۴۰	شکل (۱۴-۴) : مدل ورق فوقانی و ورق تحتانی به همراه سخت کننده

۱۴۰	شکل (۱۵-۴): خیز اتصال ورق فوقانی و تحتانی.....
۱۴۲	شکل (۱۶-۴): تنش اصلی اول اتصال ورق فوقانی و تحتانی.....
۱۴۳	شکل (۱۷-۴): معیار تنش Von masses اتصال ورق فوقانی و تحتانی.....
۱۴۳	شکل (۱۸-۴): اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۴	شکل (۱۹-۴): مدل اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۴	شکل (۲۰-۴): مدل نبشی های جان و نبشی نشیمن برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۵	شکل (۲۱-۴): خیز اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۶	شکل (۲۲-۴): تنش اصلی اول اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۷	شکل (۲۳-۴): معیار تنش Von masses اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۷	شکل (۲۵-۴): مدل اتصال نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۹	شکل (۲۶-۴): مدل نشیمن تقویت شده برای تیر های IPE جفت.....
۱۴۹	شکل (۲۷-۴): اتصال ساده نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۰	شکل (۲۸-۴): خیز اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۰	شکل (۲۹-۴): تنش اصلی اول اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۱	شکل (۳۰-۴): معیار تنش Von masses اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۱	شکل (۳۱-۴): اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۳	شکل (۳۲-۴): مدل اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۳	شکل (۳۳-۴): خیز حداکثر تیر طره با اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۳	شکل (۳۴-۴): تنش اصلی اول اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۳	شکل (۳۵-۴): تنش معیار Von Masses اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت.....
۱۵۵	شکل (۳۶-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱.....
۱۵۵	شکل (۳۷-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲.....
۱۵۶	شکل (۳۸-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳.....
۱۵۶	شکل (۳۹-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴.....
۱۵۷	شکل (۴۰-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵.....
۱۵۷	شکل (۴۱-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶.....
۱۵۸	شکل (۴۲-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷.....
۱۵۸	شکل (۴۳-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸.....
۱۵۹	شکل (۴۴-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۹.....

۱۵۹	شکل (۴-۴۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۰
۱۶۰	شکل (۴-۴۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۱
۱۶۰	شکل (۴-۴۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۲
۱۶۱	شکل (۴-۴۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۳
۱۶۱	شکل (۴-۴۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۴
۱۶۲	شکل (۴-۵۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۵
۱۶۲	شکل (۴-۵۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۶
۱۶۳	شکل (۴-۵۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۷
۱۶۳	شکل (۴-۵۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۸
۱۶۴	شکل (۴-۵۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۹
۱۶۴	شکل (۴-۵۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۰
۱۶۵	شکل (۴-۵۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۱
۱۶۵	شکل (۴-۵۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۲
۱۶۶	شکل (۴-۵۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۳
۱۶۶	شکل (۴-۵۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۴
۱۶۷	شکل (۴-۶۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۵
۱۶۷	شکل (۴-۶۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۶
۱۶۸	شکل (۴-۶۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۷
۱۶۸	شکل (۴-۶۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۸
۱۶۹	شکل (۴-۶۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۹
۱۶۹	شکل (۴-۶۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۰
۱۷۰	شکل (۴-۶۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۱
۱۷۰	شکل (۴-۶۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۲
۱۷۱	شکل (۴-۶۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۳
۱۷۱	شکل (۴-۶۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۴
۱۷۲	شکل (۴-۷۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۵
۱۷۲	شکل (۴-۷۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۶
۱۷۳	شکل (۴-۷۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۷
۱۷۳	شکل (۴-۷۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۸
۱۷۴	شکل (۴-۷۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۹

۱۷۴	شکل (۷۵-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۰
۱۷۵	شکل (۷۶-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۱
۱۷۵	شکل (۷۷-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۲
۱۷۶	شکل (۷۸-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۳
۱۷۶	شکل (۷۹-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۴
۱۷۷	شکل (۸۰-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۵
۱۷۷	شکل (۸۱-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۶
۱۷۸	شکل (۸۲-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۷
۱۷۸	شکل (۸۳-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۸
۱۷۹	شکل (۸۴-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۹
۱۷۹	شکل (۸۵-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۰
۱۸۰	شکل (۸۶-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۱
۱۸۰	شکل (۸۷-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۲
۱۸۱	شکل (۸۸-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۳
۱۸۱	شکل (۸۹-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۴
۱۸۲	شکل (۹۰-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۵
۱۸۲	شکل (۹۱-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۶
۱۸۳	شکل (۹۲-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۷
۱۸۳	شکل (۹۳-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۸
۱۸۴	شکل (۹۴-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۹
۱۸۴	شکل (۹۵-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۰
۱۸۵	شکل (۹۶-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۱
۱۸۵	شکل (۹۷-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۲
۱۸۶	شکل (۹۸-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۳
۱۸۶	شکل (۹۹-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۴
۱۸۷	شکل (۱۰۱-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۵
۱۸۷	شکل (۱۰۲-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۶
۱۸۸	شکل (۱۰۳-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۷
۱۸۸	شکل (۱۰۴-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۸
۱۸۹	شکل (۱۰۵-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۹

۱۸۹	شکل (۴-۱۰۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۰
۱۹۰	شکل (۴-۱۰۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۱
۱۹۰	شکل (۴-۱۰۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۲
۱۹۱	شکل (۴-۱۰۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۳
۱۹۱	شکل (۴-۱۱۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۴
۱۹۲	شکل (۴-۱۱۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۵
۱۹۲	شکل (۴-۱۱۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۶
۱۹۳	شکل (۴-۱۱۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۷
۱۹۳	شکل (۴-۱۱۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۸
۱۹۴	شکل (۴-۱۱۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۹
۱۹۴	شکل (۴-۱۱۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۰
۱۹۵	شکل (۴-۱۱۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۱
۱۹۵	شکل (۴-۱۱۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۲
۱۹۶	شکل (۴-۱۱۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۳
۱۹۶	شکل (۴-۱۲۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۵
۱۹۷	شکل (۴-۱۲۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۴
۱۹۷	شکل (۴-۱۲۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۵
۱۹۹	شکل (۴-۱۲۳): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱)
۱۹۹	شکل (۴-۱۲۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲)
۲۰۰	شکل (۴-۱۲۵): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۳)
۲۰۰	شکل (۴-۱۲۶): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۴)
۲۰۱	شکل (۴-۱۲۷): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۵)
۲۰۱	شکل (۴-۱۲۸): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۶)
۲۰۲	شکل (۴-۱۲۹): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۷)
۲۰۲	شکل (۴-۱۳۰): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۸)
۲۰۳	شکل (۴-۱۳۱): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۹)
۲۰۳	شکل (۴-۱۳۲): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۰)
۲۰۴	شکل (۴-۱۳۳): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۱)
۲۰۴	شکل (۴-۱۳۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۲)
۲۰۵	شکل (۴-۱۳۵): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۳)

شکل (۴-۱۳۶): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۴).....	۲۰۵
شکل (۴-۱۳۷): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۵).....	۲۰۶
شکل (۴-۱۳۸): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۶).....	۲۰۶
شکل (۴-۱۳۹): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۷).....	۲۰۷
شکل (۴-۱۴۰): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۸).....	۲۰۷
شکل (۴-۱۴۱): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۹).....	۲۰۸
شکل (۴-۱۴۲): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۰).....	۲۰۸
شکل (۴-۱۴۳): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۱).....	۲۰۹
شکل (۴-۱۴۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۲).....	۲۰۹
شکل (۴-۱۴۵): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۳).....	۲۱۰
شکل (۴-۱۴۶): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۴).....	۲۱۰
شکل (۴-۱۴۷): ایجاد انتهای مفصلی در انتهای تیرها و بادبند ها.....	۲۱۵
شکل (۴-۱۴۸): مشخصات تیر های طبقه اول در حالات حدی گیر دار و مفصلی.....	۲۱۶
شکل (۴-۱۴۹): مشخصات تیر های طبقه دوم در حالات حدی گیر دار و مفصلی.....	۲۱۶
شکل (۴-۱۵۰): پنجره تغییر سختی انتهای تیر ها.....	۲۱۷
شکل (۴-۱۵۱): مشخصات تیر های طبقه اول پس از تغییر سختی انتهای تیر ها.....	۲۱۷
شکل (۴-۱۵۲): مشخصات تیر های طبقه دوم پس از تغییر سختی انتهای تیر ها.....	۲۱۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در یک سازه واحد فلزی، اجزای زیر سازه‌ای، یعنی مجموعه تیرها، ستونها، بادبندها و ... به وسیله یکی از انواع اتصالات پیچی، پرچی و جوش با یکدیگر در ارتباطند. اتصالات سازه‌های فولادی را به شکل‌های مختلفی می‌توان طراحی و اجرا نمود. این موضوع سبب می‌شود، تا سیستم باربر ساختمانهای فولادی از نوعی به نوع دیگر تغییر نماید.

اتصالات باید به نحوی طراحی گردند که دارای ظرفیت باربری بیشتری از اعضای اتصال یافته باشند. در سازه‌های متعارف فولادی، معمولاً اتصالات تیر به ستون با فرض صلب کامل یا مفصل ایده‌آل طراحی و مدل‌سازی می‌شوند.

فرض اتصال صلب معرف این است که پیوستگی کامل بین شیب شکل تغییرشکل یافته اعضای منتهی به اتصال وجود داشته و زاویه بین اعضای متقارب ثابت می‌باشد و تمام لنگر گیرداری از تیر به ستون منتقل می‌شود. همچنین فرض اتصال مفصلی معرف این است که هیچگونه پیوستگی بین شیب شکل تغییرشکل یافته اعضای منتهی به اتصال وجود نداشته و در نتیجه، لنگری از تیر به ستون منتقل نمی‌شود. اغلب اتصالات استفاده شده در سازه‌های فولادی رفتار نیمه‌صلب از خود نشان می‌دهند که روی پاسخ سازه و توزیع نیروهای داخلی اثر می‌گذارد. بنابراین مدل‌سازی صحیح این اتصالات ضروری می‌باشد.

در سازه‌های فولادی، سه نوع قاب ساختمانی تعریف شده که هر یک از آنها بامشخصات مختص به خود تعیین‌کننده ابعاد اعضاء سازه و نوع و مقاومت اتصالات مربوطه است.

- گروه (۱) قابها با اتصالات تیر و ستون به اندازه کافی صلب (قابهای خمشی)

- گروه (۲) قابها با اتصالات تیر و ستون بدون گیرداری (قابهای ساده)

- گروه (۳) قابها با اتصالات تیر و ستون با مقدار صلبیت بین گروه (۱) و (۲) (قابهای نیمه صلب)

اتصالات با مقدار درصد گیرداری بیش از ۹۰٪ در رده گروه (۱)، اتصالات با مقدار درصد گیرداری کمتر از ۲۰٪ در رده گروه (۲) و اتصالات با مقدار درصد گیرداری بین ۲۰٪ تا ۹۰٪ در رده گروه (۳) محسوب می‌شود. درصد گیرداری اتصال بنا به تعریف، نسبت لنگر انتقال یافته توسط اتصال به لنگر حالت گیرداری کامل می‌باشد.

یکی از راههای بررسی رفتار اتصالات، استفاده از منحنی لنگر دوران است. این منحنی که می‌تواند از نتایج آزمایشگاهی، کامپیوتری و یا آماری برای اتصالات به دست آید و رفتار اتصال، یعنی تغییرات لنگر به دوران نسبی تیر و ستون را نشان می‌دهد. بنا به تعریف سختی شیب منحنی نمودار لنگر دوران می‌باشد.

با توجه به جزئیات زیادی که هر اتصال می‌تواند داشته باشد، رسم منحنی لنگر- دوران برای تعیین سختی دورانی آن توسط آزمایش برای تمام انواع اتصالات مقدور نمی‌باشد و برای ترسیم منحنی لنگر- دوران اتصال، باید از مدل‌های ریاضی و یا برنامه‌های کامپیوتری استفاده نمود. در استفاده از برنامه‌های کامپیوتری برای تحلیل اتصال، لازم است که ابتدا مدلی مناسب از اتصال که در آن اجزاء و قطعات مختلف تشکیل‌دهنده اتصال، با توجه به رفتارشان تعریف شده باشند تهیه نمود و سپس بعد از مراحل مختلف تحلیل مدل، نتایج حاصل شده را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. چون اتصالات معمول در سازه‌های فولادی از اجزاء مختلف و با ابعاد گوناگون تشکیل شده‌اند، جهت مطالعه دقیق‌تر و بررسی جزئیات مناسب‌تر است که از روش اجزای محدود استفاده نمود.

در این پایان نامه سعی شده است تا تمام اتصالات رایج توصیه شده در آیین نامه راهنمای اتصالات ایران [۱۲] مورد بررسی قرار گیرد اتصال جفت نبشی جان به عنوان اتصال مفصلی، اتصال نبشی نشیمن و فوقانی به عنوان اتصال نیمه صلب و اتصال ورق فوقانی و نشیمن سخت شده به عنوان اتصال صلب مدل شده اند همچنین اتصال جفت نبشی جان به همراه نبشی نشیمن و اتصال نبشی فوقانی

ونشیمن برای تیر های با پروفیل دوبل نیز مدل شده اند. پس از مدل سازی و آنالیز هر اتصال سختی اولیه و سختی پلاستیک آنها محاسبه و نمودار لنگر دوران آنها رسم شده است سپس درصد گیر داری اتصال برای تیر هایی با دهانه های مختلف محاسبه شده است.

فصل دوم

کلیاتی در مورد اتصالات و

تحلیل غیر خطی

۲-۱- طبقه‌بندی قاب‌های ساختمانی

در مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران [۸] و آیین‌نامه سازه‌های فولادی *AISC* [۱۰]، سه نوع قاب ساختمانی تعریف شده که هر یک از آنها با مشخصات مختص به خود، تعیین‌کننده ابعاد اعضای سازه و نوع و مقاومت اتصالات مربوطه است.

گروه (۱) قابهای صلب (قاب خمشی)

در این نوع قابها فرض می‌شود اتصالات تیر و ستون به اندازه کافی صلب است به طوری که در تغییرشکل قاب، زاویه اولیه بین تیر و ستون بدون تغییر باقی می‌ماند. این عمل با تأمین درجه گیرداری چرخش در حدود ۹۰ درصد یا بیشتر که برای جلوگیری از تغییر زاویه ضرورت دارد، انجام می‌پذیرد. اتصالات این نوع، هم در طراحی به روش تنش‌های مجاز و هم در طرح خمیری بکار می‌روند.

گروه (۲) قابهای ساده

در این نوع قابها فرض می‌شود اتصالات تیر و ستون بدون گیرداری است. در مورد بار قائم، اتصال انتهای تیرها و شاهتیرها فقط برای انتقال برش طراحی شده اند و می‌تواند تحت اثر بار قائم، آزادانه دوران کند. اگر زاویه اصلی بین اعضای متقاطع امکان تغییری تا حدود ۸۰ درصد مقدار چرخش تئوریک اتصالی مفصلی و کاملاً بدون اصطکاک را دارا باشد، اتصال این اعضاء را می‌توان ساده محسوب نمود.

استفاده از قابهای گروه (۲) در ساختمانها در صورتی مجاز است که طراحی سازه به روش تنشهای مجاز انجام شده و جوابگوی شرایط زیر باشد:

الف) دستگاه مقاوم در مقابل بارهای جانبی حاصل از باد یا زلزله (دهانه‌های مهاربندی شده یا دیوارهای برشی و یا قابهای خمشی) برای ساختمان تعبیه شود و محاسبه نشان دهد که پایداری ساختمان و اعضای تشکیل‌دهنده آن در مقابل نیروهای جانبی در حدی قابل قبول می‌باشد.

ب) ظرفیت تیرها و شاهییرها برای تحمل بار قائم با فرض تیر با تکیه‌گاه ساده، کافی باشد.

پ) اتصال تیر و ستون ظرفیت کافی در دوران غیرارتجاعی داشته باشند تا تنشهای تولید شده در وسایل اتصال از قبیل پیچ، پرچ و جوش، تحت اثر حالت‌های مختلف بارگذاری، در حد مجاز باقی بماند.

گروه (۳) قابهای نیمه‌صلب (انتهای قطعات دارای گیرداری نسبی)

در این نوع قابها فرض می‌شود اتصال انتهای تیرها و شاهییرها دارای ظرفیت خمشی به مقداری مشخص و قابل اطمینان، بین صلبیت گروه (۱) و انعطاف‌پذیری گروه (۲)، می‌باشد. در این نوع اتصالات، گیرداری چرخش بین ۲۰ تا ۹۰ درصد گیرداری لازم برای جلوگیری از هرگونه تغییر زاویه می‌باشد.

آیین‌نامه *AISC* در طراحی به روش ضریب بار و مقاومت (*LRFD*) سازه‌ها را به دو گروه دسته‌بندی می‌کند [۳۲].

الف- گروه *FR(Fully Restrained)*

این گروه معمولاً به عنوان قاب گیردار معرفی می‌شود که در آن فرض می‌شود که سختی اتصالات تیر به ستون به اندازه‌ای است که زاویه بین اعضای متقارب در یک اتصال تغییر نمی‌کند.

ب- گروه *PR(Partially Restrained)*

در این گروه فرض می‌شود که اتصال تیر به ستون سختی کمتری دارد به طوری که زاویه بین اعضای متقارب در یک اتصال تغییر می‌کند.

در این تقسیم‌بندی، *FR* معادل با گروه ۱ و *PR* معادل با گروه ۲ و ۳ آیین‌نامه (*ASD*) و *AISC* و مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمانی است.

۲-۲- اتصالات تیر به ستون در ساختمانهای فولادی

یکی از مزایای سازه‌های فولادی، تنوع در اتصالات می‌باشد. اتصالات سازه‌های فولادی را به شکلهای مختلف می‌توان طراحی و اجرا نمود. همانطوری که قبلاً بیان شد، سه نوع اتصال در ساختمانهای فولادی کاربرد دارد. در این بخش جزئیات این اتصالات تیر به ستون ارائه شده است.

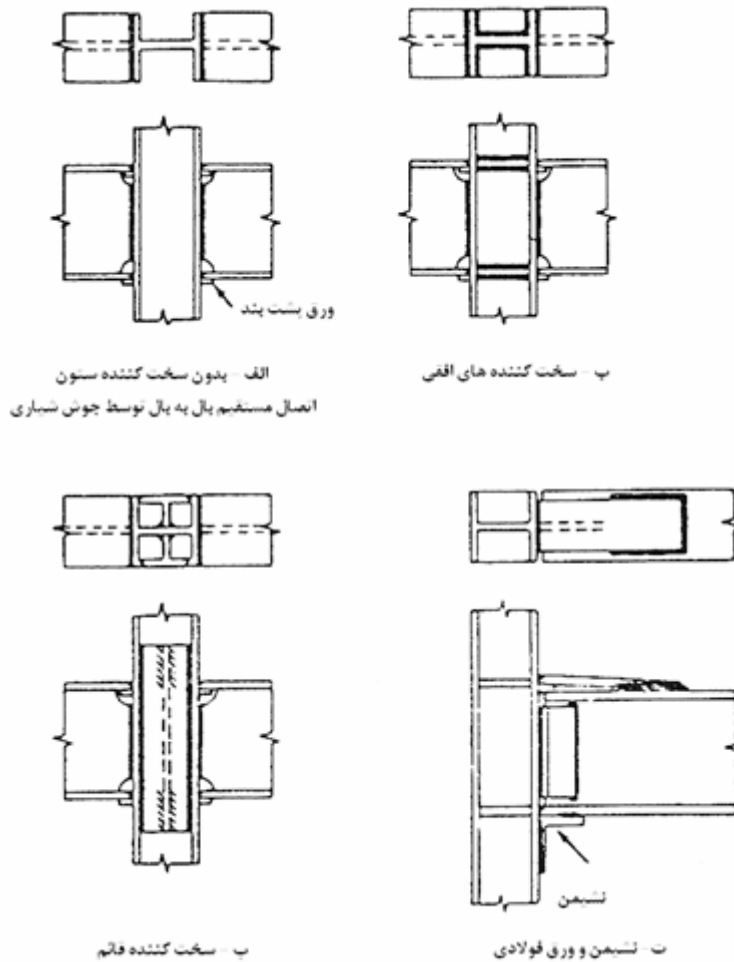
۲-۱- اتصالات صلب تیر به ستون

برای اتصالات کاملاً صلب، لنگرهای سازه باید به وسیله یکی از روشهای مختلف تحلیل سازه به دست آیند و تیرها و اتصالات آن، برای لنگرها و برش‌های مربوطه طراحی گردند. اتصالات باید صلبیت کافی داشته باشند که بتوانند در عمل زاویه بین ستون و تیر را ثابت نگه دارند. از آنجائیکه در اکثر حالات، لنگر خمشی تیر به صورت یک زوج نیرو در بالهای کششی و فشاری تیر با بازوی تقریباً مساوی ارتفاع تیر حمل می‌گردد، نقش اصلی یک اتصال صلب فراهم آوردن امکاناتی برای انتقال این نیروهای کششی و فشاری می‌باشد. همچنین از آنجائیکه بیشتر نیروی برشی توسط جان تیر حمل می‌گردد، پیوستگی کامل اتصال ایجاب می‌کند که نیروی برشی مستقیماً از جان انتقال پیدا کند.

در یک اتصال صلب تیر به ستون، تیرها ممکن است از دو طرف به هر دو بال ستون متصل شده باشند (شکل‌های (۱-۲) - الف، ب و پ) و یا فقط به یک بال ستون متصل شوند (شکل‌های (۱-۲) - ت و (۲-۲)) و همچنین ممکن است که همانند شکل (۳-۲) تیرها از یک یا دو طرف به جان ستون به طور صلب متصل شده باشند. [۶]

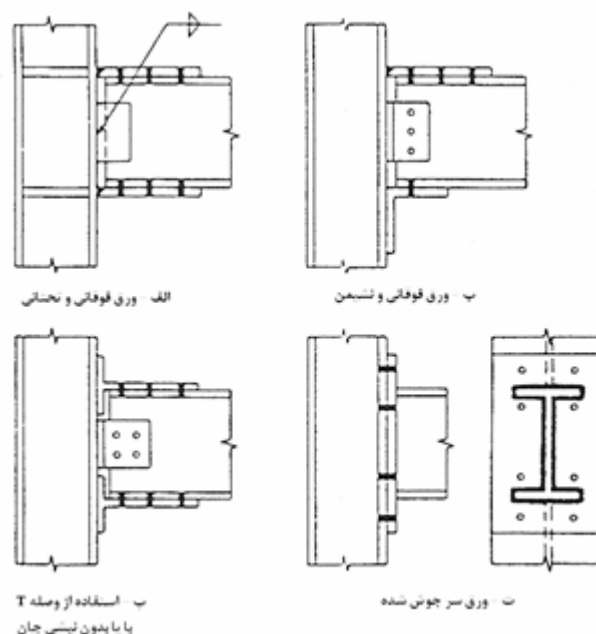
هدف اصلی در طرح یک اتصال صلب، انتقال نیروهای موجود از طریق اتصال بدون هرگونه تغییرشکل موضعی ناشی از این نیروها می‌باشد. استفاده از اتصال صلب در قاب‌های سازه‌های فولادی دو مزیت دارد، اول اینکه از طرح و محاسبه پلاستیک که اقتصادی تر می‌باشد، می‌توان استفاده کرد و دیگر اینکه اگر از طرح و محاسبه الاستیک استفاده شود در صورت فشرده بودن تیرهای متصل شده

به ستون، می‌توان از ده درصد کاهش مجاز لنگر خمشی و ده درصد افزایش تنش خمشی مجاز استفاده نمود. در هر دو حالت، اتصال باید قادر باشد تا ظرفیت پلاستیک اعضای متصل به خود را انتقال دهد و نیز آنقدر شکل‌پذیر باشد تا بتواند دوران‌های مفصل پلاستیک را تحمل کند. آزمایش‌های انجام شده، توانایی اتصالات صلب را برای هر دو منظور فوق به اثبات رسانیده‌اند. [۶]

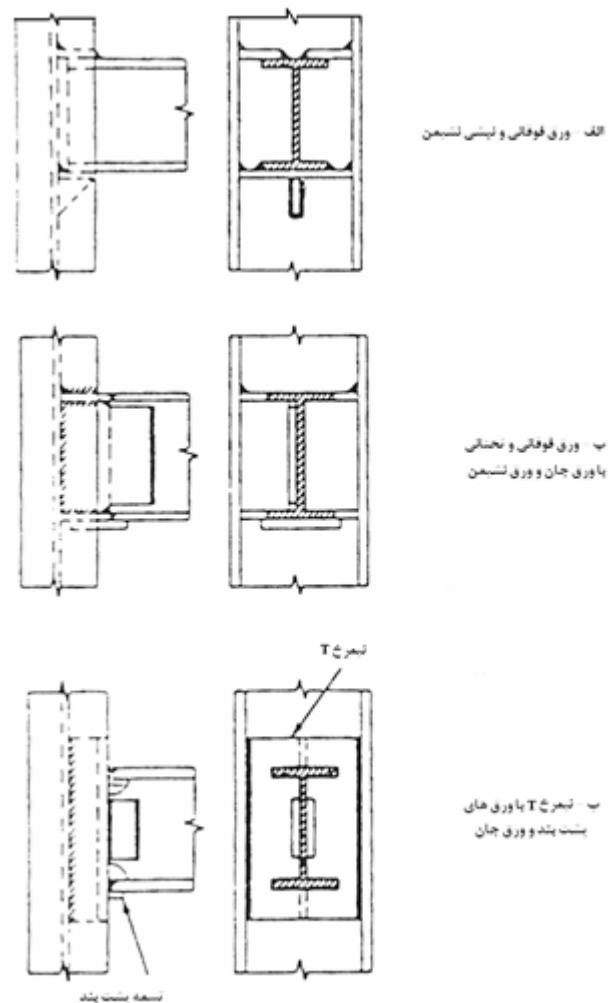


شکل (۱-۲): اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی [۶]

صلبیت یک اتصال، تحت تأثیر صلبیت تکیه‌گاههای آن قرار دارد. برای تیرهایی که بر روی بال ستون سوار می‌شوند، نازک یا لاغر بودن ورق بال ستون باعث کاهش صلبیت اتصال خواهد گشت. برای رفع این اشکال می‌توان بین بال‌های ستون، در مقابل بال‌های تیر، از سخت‌کننده استفاده نمود. با کاربرد اتصالات صلب تیر به ستون، می‌توان از مقاومت اضافی اعضا که فقط در موقع یکسره بودن از خود بروز می‌دهند، استفاده کرد. در این حالت هرگاه در نقطه‌ای، بار از حد مجاز بالاتر رود، توزیع مجدد نیروها و لنگرها در طول عضو برای تنش‌های اضافی اتفاق می‌افتد. با کاربرد اینگونه اتصالات، لنگر منفی ایجاد شده در تکیه‌گاه، لنگر مثبت وسط دهانه را کاهش داده و از اینرو اساس مقطع موردنیاز نیز کم شده و در نتیجه یک صرفه‌جویی در مصرف فولاد بدست می‌آید.



شکل (۲-۲): اتصالات صلب تیر به ستون از نوع پیچی [۶]



شکل (۳-۲): اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی (اتصال تیر به جان ستون) [۶]

۲-۲-۲- اتصالات ساده تیر به ستون

از انواع معمول اتصال ساده تیر به ستون استفاده از نبشی‌های جان و نبشی نشیمن می‌باشد که در

نوع دوم یک نبشی فوقانی نیز در بال بالایی تیر قرار می‌گیرد (شکل (۴-۲) - الف و ب)

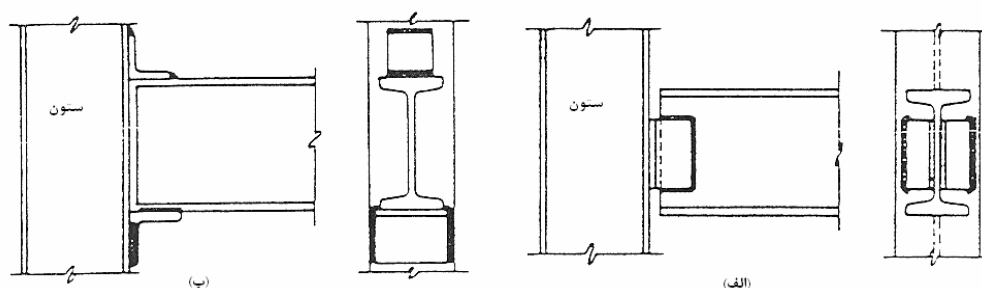
این نوع اتصال فقط برای انتقال نیروی برشی طرح می‌گردد و اینطور فرض می‌شود که هیچگونه

لنگر خمشی در اتصال ظاهر نمی‌گردد. اگر یک تیر ساده بارگذاری شود، افتادگی وسط تیر باعث

دوران دو انتها خواهد شد (البته این دوران بسیار کم خواهد بود). [۹]

۲-۲-۱ اتصال ساده تیرها به وسیله نبشی جان

اتصالات ساده برشی به کمک نبشی‌های جان برای اتصال تیر به ستون و تیر به شاهتیر به کار می‌رود. بدین طریق که معمولاً دو نبشی را در کارخانه بر جان تیر جوش می‌نمایند و جوشهای بین نبشی و ستون و یا شاهتیر را در کارگاه بعد از اینکه اتصال تنظیم گردید در روی کار انجام می‌دهند. معمولاً نبشی به اندازه تقریباً ۲۰ میلی‌متر در هر طرف از سر تیر بیرون می‌آید و سپس این تیر را به وسیله پیچ‌های مونتاژ به ستون نصب می‌کنند و بعد جوش بین نبشی و ستون را انجام می‌دهند و دست آخر پیچ‌های مونتاژ را باز می‌کنند.

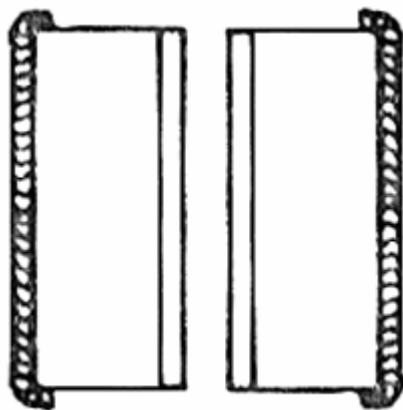


شکل (۲-۴): دو نوع اتصال ساده اجرائی [۹]

معمولاً در محاسبه اتصال فرض بر این است که اتصال، کلیه برش یا عکس‌العمل موجود را منتقل می‌نماید و لنگر گیرداری به وجود نمی‌آورد و برای این منظور قطعات اتصالی را تا حد امکان با انعطاف‌پذیری زیاد قرار می‌دهند تا دوران زاویه‌ای تیر در تکیه‌گاه آزاد باشد. معمولاً مقدار مناسب عرض بال نبشی که به جان تیر وصل می‌گردد بین ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر و بال متصل شده به ستون بین ۶۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر است و اگر اجباراً از نبشی‌های با بال مساوی استفاده گردد، نبشی‌های اتصال بین ۶۰×۶۰ تا ۱۰۰×۱۰۰ به کار می‌رود. طول نبشی از مقدار برشی که باید منتقل نماید نتیجه می‌گردد ولی البته بسته به ارتفاع جان تیر و وضع اجرای جوشکاری محدود خواهد بود. در این اتصالات سعی

می‌گردد نبشی تا حد امکان نازک و قابل انعطاف باشد و معمولاً از گذراندن جوش در روی دو انتهای

نبشی خودداری می‌گردد ولی مطابق با شکل (۵-۲) باید جوش را در طول کوتاهی برگردانید. [۹]



شکل (۵-۲): جوش نبشی جان به ستون [۹]

۲-۲-۲-۲- اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن

اتصال ساده با نبشی نشیمن را می‌توان به عنوان راه حل جایگزین اتصال ساده با نبشی جان یا انواع اتصالات ساده که در آنها از جان تیر برای برقراری اتصال استفاده می‌گردد، بکار برد. در این نوع اتصال تیر بر روی یک نشیمن که می‌تواند تقویت نشده (انعطاف‌پذیر) یا تقویت شده باشد، قرار می‌گیرد. در این قسمت نشیمن‌های تقویت نشده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

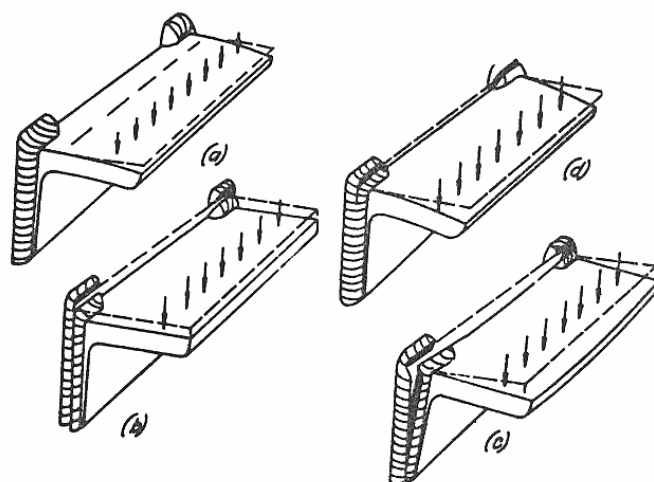
نشیمن انعطاف‌پذیر (نبشی تنها)، شکل (۲-۴-ب) برای تحمل تمام واکنش تکیه‌گاهی تیر طراحی گردیده است. در این نوع اتصال باید همیشه از یک نبشی بالایی که تنها وظیفه آن تأمین تکیه‌گاه جانبی برای بال فشاری است استفاده به عمل آید.

نبشی نشیمن را معمولاً در کارخانه یا پای کار در ارتفاع لازم به ستون یا شاه‌تیر جوش می‌نمایند و بعد تیر بر روی آن سوار می‌گردد و به آن جوش می‌شود. در این اتصال نبشی بالایی بعد از نصب تیر در روی کار جوش می‌شود، این نبشی را معمولاً در محاسبه در مقابل عکس‌العمل تکیه‌گاه به حساب نمی‌آورند. [۵]

مانند اتصالات ساده با نبشی جان، منظور از اتصالات نشیمن تنها انتقال واکنش تکیه‌گاهی قائم است. بنابراین اتصال نباید در انتهای تیر، گیرداری قابل توجهی ایجاد کند. به این دلیل است که نبشی‌های نشیمن و نبشی نگهدارنده بالائی باید نسبتاً قابل انعطاف باشند. نبشی فوقانی را با ابعاد ظریف و معمولاً از نبشی $60 \times 60 \times 6 \text{ mm}$ تا $100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$ قرار می‌دهند و فقط دو لبه انتهائی بالهای آن را (در امتداد عرض بال تیر) جوش می‌نمایند و یا در طول کوچکی جوش را برمی‌گردانند. آزمایش نشان می‌دهد که نبشی فوقانی با ابعاد ظریف مقدار کمی گیرداری به وجود می‌آورد. خود نبشی نشیمن نیز باید تا حد امکان خمش‌پذیر باشد به طوری که از زاویه دوران تیر در انتها تبعیت کند.

وقتی که یک نبشی نشیمن انعطاف‌پذیر طراحی می‌کنیم خیلی مهم است که رفتار این نبشی را در

اثر این بار بدانیم (شکل ۶-۲). [۵]



شکل (۶-۲): رفتار نبشی نشیمن در زیر بار [۵]

بال افقی نبشی نشیمن تحت تأثیر تنش خمشی قرار دارد و به طرف پائین خم خواهد شد (شکل ۶-۲-a). عکس‌العمل تکیه‌گاهی R روی جوش اتصال تولید برش مستقیم خواهد نمود (شکل ۶-۲-b) و همچنین در اثر این عکس‌العمل تنش خمشی در روی جوش اتصالی تولید می‌شود (شکل ۶-۲-c). اگر نبشی نشیمن لاغر باشد، همانطور که در شکل (۶-۲-d) دیده می‌شود ناحیه

فوقانی جوش اتصالی در اثر عکس‌العمل تکیه‌گاهی پاره خواهد شد. علت این موضوع این است که به علت لاغر بودن نبشی فقط این ناحیه از جوش تحت نیرو قرار می‌گیرد در حالی که در یک نبشی کلفت تمام جوش تحت نیروی خمشی قرار خواهد گرفت. بال افقی نبشی نشیمن تحت تنش خمشی در اثر عکس‌العمل تکیه‌گاهی R می‌باشد. مسئله مهم در اینجا پیدا کردن محل این عکس‌العمل در روی بال افقی می‌باشد. اگر محل عکس‌العمل بدست آید از روی آن می‌توان لنگر خمشی وارد بر بال افقی نبشی و جوش اتصال را بدست آورد. [۵]

در شکل (۷-۲) سه حالت مختلف a ، b و c دیده می‌شود:

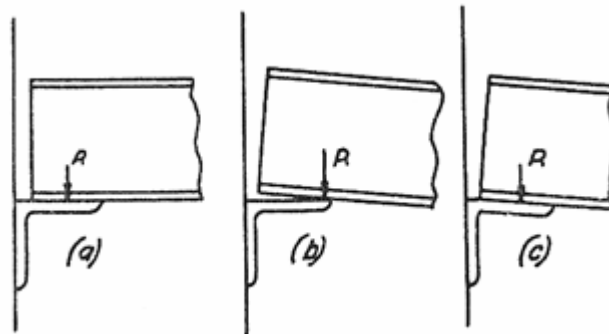
حالت a زمانی را نشان می‌دهد که عکس‌العمل R تازه بر نبشی وارد شده است. حالت b زمانی را نشان می‌دهد که تیر در اثر بار وارده، خیز برداشته و در نتیجه همانطور که در شکل دیده می‌شود عکس‌العمل R به نوک بال افقی نبشی نقل مکان نموده است.

به علت اینکه در این حالت بازوی نیروی R بزرگ می‌شود در نتیجه مقدار لنگر وارده بر بال افقی نیز بیشتر شده و بال فوقانی نبشی به طرف پائین خم می‌شود. در این حالت بال فوقانی نبشی درست همان شکل تیر اصلی را در تکیه‌گاه خواهد داشت.

در نتیجه به علت تماس کامل تیر و نبشی نشیمن عکس‌العمل R به طرف عقب جابه‌جا خواهد شد و مقدار لنگر خمشی کمتر خواهد گشت. البته اگر بال فوقانی نبشی کلفت باشد به علت اینکه کمتر به طرف پائین خم برمی‌دارد نیروی عکس‌العمل R به لبه آزاد بال فوقانی نزدیکتر بوده و مقدار لنگر خمشی وارد بر جوش اتصالی و خود نبشی بیشتر می‌شود.

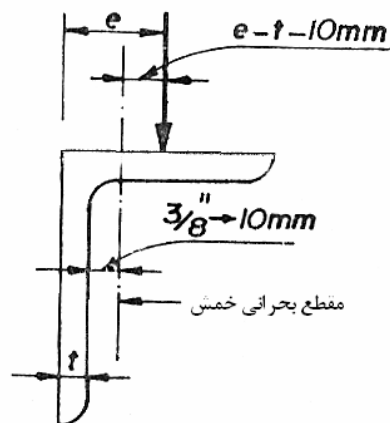
اگر نبشی نشیمن خیلی لاغر طراحی شود در اثر نیروی عکس‌العمل R خیز زیادی به طرف پائین برمی‌دارد و در نتیجه نیروی R کاملاً به انتهای تیر منتقل می‌شود. در این حالت طول تماس نبشی و تیر بسیار کم شده و ممکن است باعث لهیدگی جان تیر بشود.

معمولاً برای عرض بال افقی نبشی در حدود ۸ تا ۱۰ سانتی متر کافی می باشد و اگر نبشی با بالی نامساوی موجود باشد مناسب تر است زیرا بال کوچک در زیر تیر و بال بزرگ بر سطح ستون قرار می گیرد. همچنین طول نبشی را معمولاً از ۲۲ تا ۲۵ سانتی متر بیشتر نمی گیرند.



شکل (۲-۷): محل قرارگیری عکس العمل R بر روی بال افقی نبشی نشیمن [۵]

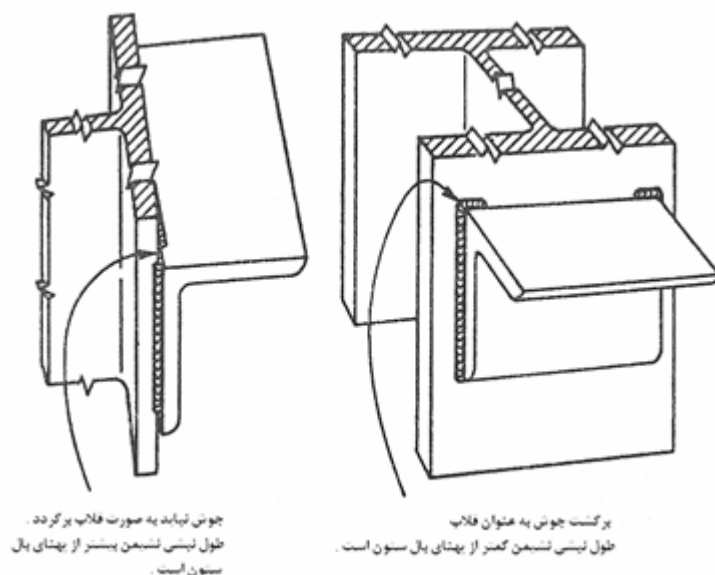
آزمایشاتی که در روی این قبیل اتصالات به عمل آمده است نشان می دهد که مقطع خطرناک از لحاظ خمش نزدیک به گردی گوشه نبشی است و لوسون نشان داده است که در نمونه های مختلف این مقطع در فاصله $\frac{3}{8}$ اینچ و در حدود ۱ سانتی متر از سطح قائم داخلی نبشی جلوتر است (شکل ۲-۸) و معمولاً این مشخصات را در محاسبه نبشی به کار می برند [۹].



شکل (۲-۸): مقطع بحرانی خمشی در نشیمن انعطاف پذیر [۹]

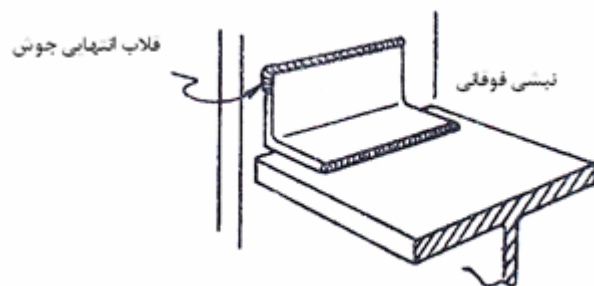
همانطور که در شکل (۲-۹) دیده می شود انتهای بالایی دو جوش قائم نبشی نشیمن به ستون باید به مقدار ۲ برابر بعد جوش یا $\frac{1}{5}$ سانتی متر به صورت قلاب در جهت افقی برگردد. طول نبشی

نشیمن معمولاً از پهنای بال ستون کمتر است ولی اگر به دلایلی پهنای بال ستون از طول نبشی نشیمن کمتر گردد، جوش‌های اتصالی در لبه‌های بال ستون در پشت نبشی نشیمن داده می‌شوند و به صورت قلاب بر نمی‌گردند.

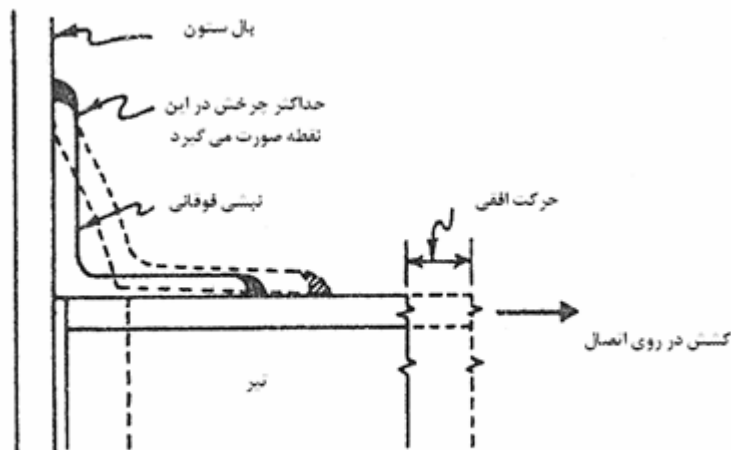


شکل (۲-۹): جوش نبشی نشیمن به ستون [۵]

براساس آنچه که قبلاً بیان شد، به منظور دادن پایداری کافی به تیر همیشه بعد از نصب تیر روی نبشی نشیمن، مطابق شکل (۲-۱۰) یک نبشی انعطاف‌پذیر به بال فوقانی تیر و ستون جوش می‌دهند. در یک آزمایش کشش مستقیم که در دانشگاه لی‌های بر روی یک نبشی اتصالی فوقانی به ابعاد $100 \times 100 \times 8$ میلی‌متر انجام گرفت، دیده شد که این نبشی قبل از خرابی به میزان $5cm$ کشیده می‌شود که تقریباً ۲۰ برابر مقداری است که در عمل لازم می‌باشد. (شکل ۲-۱۱) [۵].



شکل (۲-۱۰): جوش نبشی فوقانی به تیر و ستون [۵]



شکل (۲-۱۱): تغییر شکل نبشی فوقانی [۵]

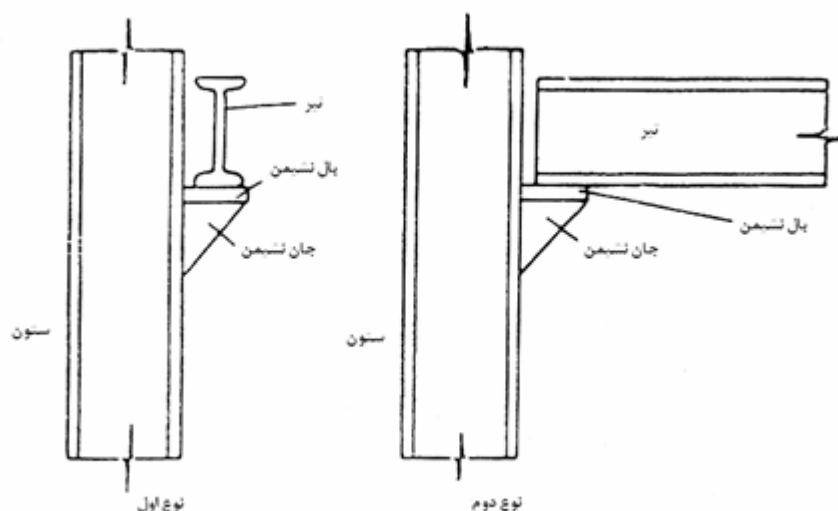
۲-۲-۳- اتصال ساده تیر به ستون با نشیمن تقویت شده

تکیه‌گاه یا نشیمن تقویت شده که در اصطلاح آن را تکیه‌گاه لچکی می‌گوئیم برای عکس‌العمل‌های بیش از حالت نبشی‌های نشیمن به کار می‌رود. با بالا رفتن عکس‌العمل تکیه‌گاهی، ضخامت لازم برای نبشی‌های نشیمن انعطاف‌پذیر نیز بالا می‌رود، به نحوی که دیگر از استاندارد ساخت نبشی‌های نورده شده خارج می‌شود. در چنین مواقعی به جای نبشی‌های انعطاف‌پذیر، از نشیمن‌های تقویت شده استفاده می‌کنند. نشیمن‌های تقویت شده مطابق شکل (۲-۱۲) بر دو نوع می‌باشند:

۱- جان نشیمن عمود بر جان تیر می‌باشد.

۲- جان نشیمن و جان تیر در یک صفحه قرار دارند.

تکیه‌گاه لچکی معمولاً از یک نیم‌رخ T یا قطعه‌ای تیر آهن که برش داده شده و یا گاهی از دو قطعه ورق که به یکدیگر جوش می‌شود و یا نبشی که به وسیله لچکی‌هایی تقویت شده تشکیل می‌گردد. تکیه‌گاه باید طول تکیه کافی برای تیری که روی آن قرار می‌گیرد به وجود آورد و این طول حداقل باید آنقدر باشد که لهیدگی بین جان و بال در تیر به وجود نیاید.



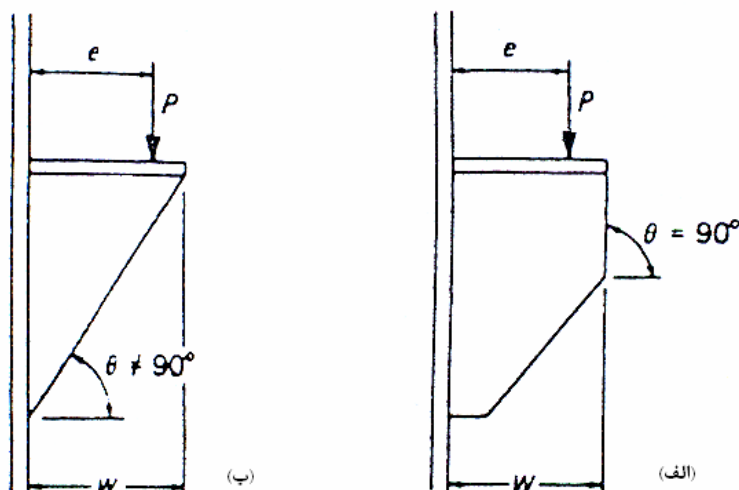
شکل (۲-۱۲): موقعیت نشیمن تقویت شده نسبت به تیر [۵]

در تکیه‌گاه تقویت شده وقتی که تیر در اثر بارهای وارد دوران زاویه پیدا می‌کند به علت استحکام و شقی تکیه‌گاه محل تأثیر عکس‌العمل به طرف نوک تکیه‌گاه منتقل می‌گردد و به همین علت هم وقتی که حداقل طول لازم برای جلوگیری از لهیدگی مشخص شد آن را از انتهای بیرونی تکیه‌گاه رو به داخل به حساب می‌آورند، برخلاف نبشی نشیمن ساده که در آن از انتهای تیر رو به بیرون به حساب می‌آید.

نشیمن‌های تقویت شده به منظور انتقال لنگر به کار گرفته نمی‌شوند و وظیفه آنها تنها تحمل بارهای قائم می‌باشد.

همانطور که در شکل (۲-۱۳) دیده می‌شود، یکی از عوامل تفاوت رفتار نشیمن‌های تقویت شده، زاویهٔ برش لبهٔ آزاد سخت‌کنندهٔ آن می‌باشد. اگر زاویهٔ θ حدود ۹۰ درجه باشد، سخت‌کننده خود مانند یک ورق سخت نشده تحت فشار یکنواخت، رفتار می‌نماید و باید از کمانش موضعی آن جلوگیری کرد. وقتی که ورق سخت‌کننده طوری برش خورده که از آن یک صفحه مثلثی ایجاد گردد، رفتار متفاوتی از آن بروز می‌کند. رفتار سخت‌کننده‌های مثلثی از لحاظ نظری به وسیله سالمون و به

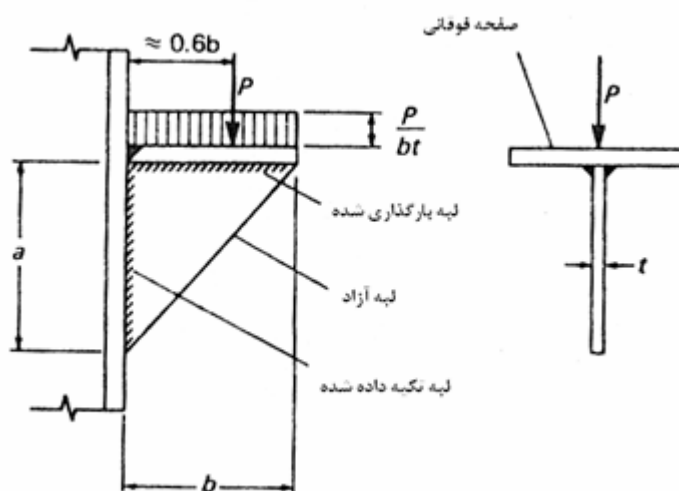
وسیله آزمایش توسط سالمون^۱، بیوتر^۲ و اوشریدان^۳ مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. بیدل^۴ و همکاران هم توصیه‌های طراحی در این مورد به عمل آورده‌اند. رفتار نشیمن‌های طاقچه‌ای جوش شده توسط جنسن^۵ مورد مطالعه قرار گرفته است [۶].



شکل (۲-۱۳): دو ترتیب برای برش لبه آزاد سخت‌کننده [۶]

شکل (۲-۱۴) نمایشگر قرارگیری صفحه لچکی زیر نشیمن و علائمی است که در مورد آن بکار می‌رود. برای صفحات سخت‌شده کوچک که عکس‌العمل تیر را متحمل می‌شوند، در صورت مثلی بودن ورق سخت‌کننده، خطر کمانش و خرابی بسیار کم می‌باشد. کارهای تجربی نشان می‌دهند که لچکی‌های مثلی از مقاومت بعد از کمانش قابل توجهی برخوردارند. معمولاً جاری شدن فولاد لبه آزاد قبل از وقوع کمانش اتفاق می‌افتد، در این مرحله توزیع مجددی از تنش‌ها به وقوع می‌پیوندد.

¹ Salmon
² Buetter
³ O'sheridan
⁴ Beedle
⁵ Jensen



شکل (۲-۱۴): صفحه مثلی در زیر نشیمن [۶]

۲-۳-۲- اتصالات نیمه صلب تیر به ستون

در ارتباط با اتصال تیر به ستون، جان استون^۱ در سال ۱۹۴۲ تشخیص داد که هر اتصال صلب دارای مقداری انعطاف پذیری بوده و هر اتصال مفصلی نیز قابلیت تحمل مقداری لنگر را دارد [۱۱].

در شکل (۲-۱۵) زاویه θ از رابطه زیر بدست می آید:

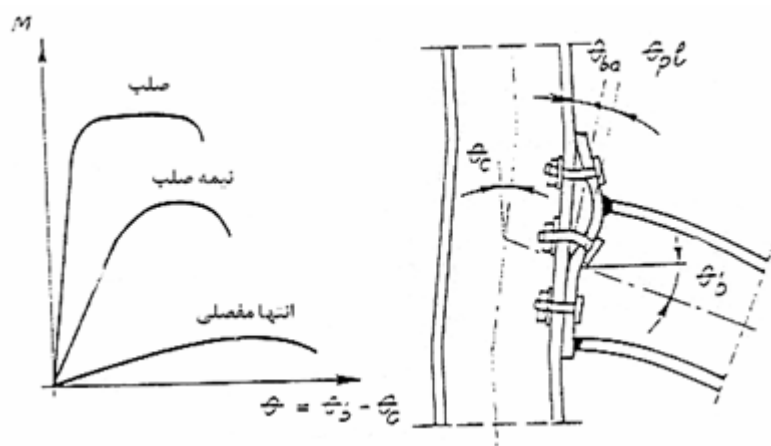
$$\theta = \theta_b - \theta_c \quad (۲-۱)$$

که در رابطه بالا θ_b و θ_c زاویه چرخش تیر و ستون می باشند. با پارامتر θ می توان نوع اتصال را تشخیص داد. برای $\theta = 0$ اتصال صلب و برای $0 < \theta < \theta_b$ اتصال نیمه صلب و برای $\theta = \theta_b$ اتصال مفصلی است.

عیب یک اتصال ساده آن است که تیر باید برای حداکثر لنگری که در ناحیه میانی آن تولید می شود طرح گردد (برای مثال در حالت بار یکنواخت $M = WL/8$). یک اتصال کاملاً صلب در دو انتهای تیر، باعث کاهش لنگر در ناحیه میانی و افزایش لنگرهای انتهایی می شود. لنگری که در ناحیه میانی کاسته می شود، به لنگرهای انتهایی افزوده می گردد. هرچه درجه صلبیت اتصال افزایش می یابد، مقدار لنگر در ناحیه میانی بیشتر کاهش پیدا می کند. در یک تیر با بارگذاری یکنواخت و گیردار در

¹ John Stone

دو انتها، لنگری به اندازه $M = \frac{WL}{24}$ در وسط و $M = \frac{WL}{12}$ در دو انتها وجود خواهد داشت (شکل ۲-۱۶). بنابراین اساس مقطع لازم در این حالت $\frac{2}{3}$ حالتی خواهد بود که اتصالات انتهایی به صورت ساده و شکل پذیر هستند.



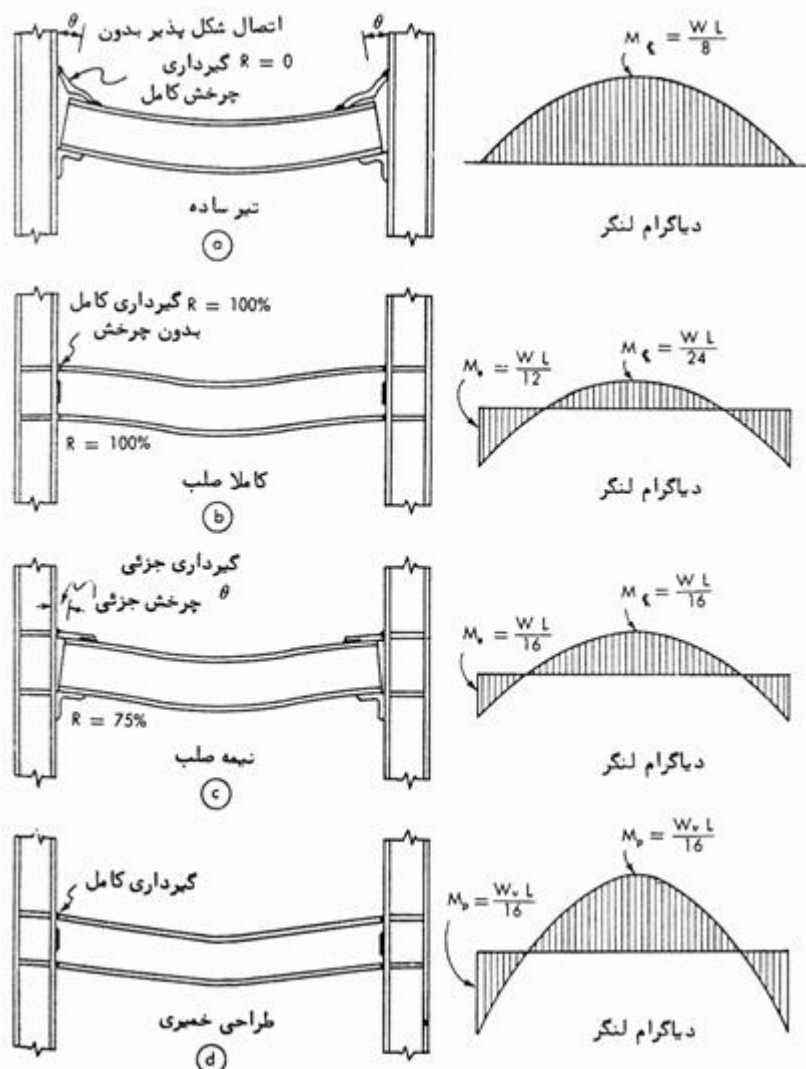
شکل (۲-۱۵): طبقه‌بندی اتصالات [۱۱]

طرفداران اتصالات نیمه صلب اشاره می‌کنند که این مقدار توزیع لنگر بسیار کم می‌باشد و اظهار می‌دارند که اگر یک اتصال نیمه‌صلب با صلبیت $R = 0.75$ داشته باشیم، باعث می‌شود که مقدار لنگر در وسط و دو انتها برابر و مساوی $M = \frac{WL}{16}$ گردد. در این حالت کمترین اساس مقطع حاصل می‌شود، و مقدار موردنیاز نصف حالتی خواهد بود که اتصال دو انتها به صورت ساده است.

وضعیت صلبیت $R = 0.75$ باعث حداقل کردن اساس مقطع برای بارگذاری یکنواخت می‌گردد. اگر صلبیت از ۰.۷۵ بیشتر شود، مقدار لنگر انتهایی بیشتر از $\frac{WL}{12}$ خواهد شد و اگر صلبیت مقداری از ۰.۷۵ کمتر شود لنگر وسط بیشتر از $\frac{WL}{12}$ خواهد شد.

آیین‌نامه اجازه می‌دهد که اتصالات نیمه صلب فقط در جایی مورد استفاده قرار گیرند که دلایل کافی برای توانایی آنها جهت پایداری در مقابل یک لنگر معین بدون هیچگونه اضافه تنش در جوش، وجود داشته باشد. طراحی اعضای با چنین اتصالاتی، باید بر این اصل قرار گیرد که درجه صلبیت بزرگتر از مقدار حداقلی که مؤثر دانسته می‌شود، اتفاق نیافتد. در این اتصالات ممکن است تغییر

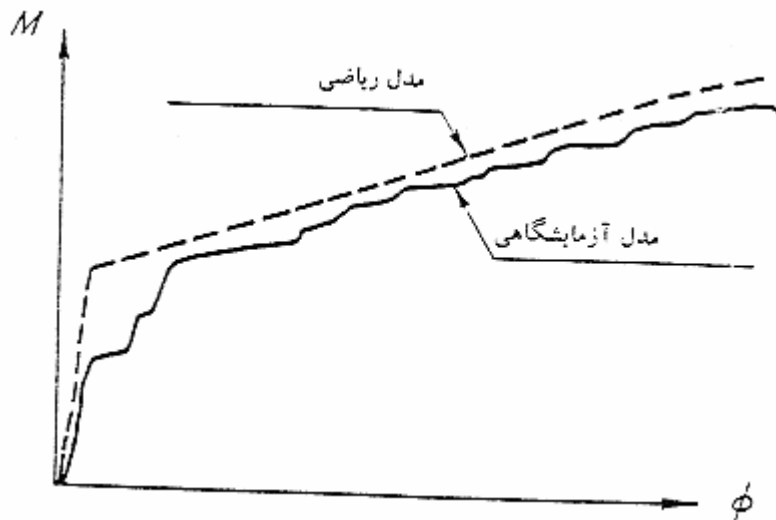
شکل‌های غیرالاستیک اتفاق بیفتد ولی هیچوقت نباید تنش‌های جوش اتصالات از حد مجاز بیشتر شوند.



شکل (۲-۱۶): انواع قاب با سختی اتصالات متفاوت تحت اثر بار گسترده [۵]

در سالهای اخیر کارهای زیاد آزمایشگاهی و تئوریک برای طرح و شناخت رفتار اتصالات نیمه‌صلب هم از نظر ساختار و هم از نظر تئوریک انجام شده است. امروزه پذیرفته شده است که هر اتصالی می‌تواند همانند اتصال نیمه‌صلب رفتار نماید [۱۱]. تعداد زیادی آزمایش برای ارائه منحنی لنگر-چرخش تحت بارهای یکنواخت انجام شده است این منحنی‌ها سه ناحیه الاستیک، پلاستیک و منطقه سخت‌شدگی را نشان می‌دهند (شکل ۲-۱۷).

براساس مدل‌های گوناگون اتصال و بکارگیری اطلاعات آزمایشگاهی، روابط تئوریک گوناگونی برای پیشگویی با اطمینان کامل برای رفتار حقیقی اتصالات نیمه‌صلب در کلیه نواحی ارائه شده است.

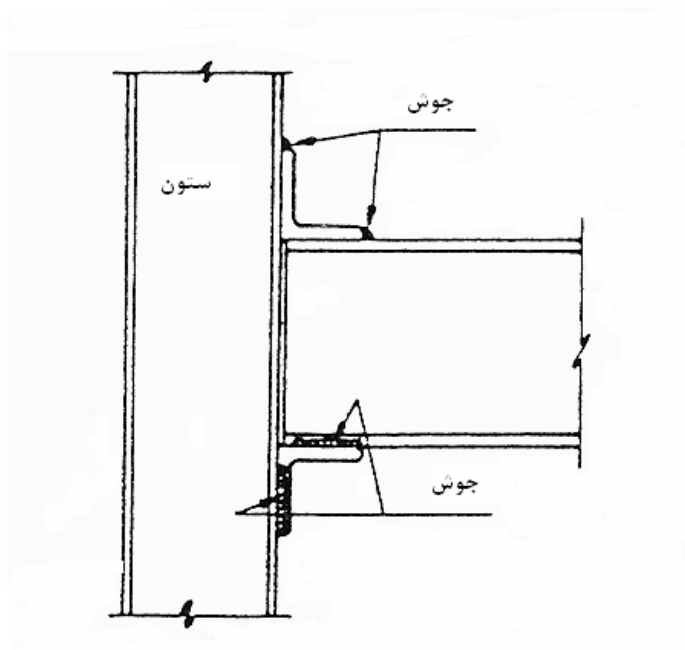


شکل (۲-۱۷): منحنی $M-\theta$ تحت بارهای یکنواخت [۱۱]

در سالهای اخیر توجه زیادی به مسائل اقتصادی بودن سازه‌های نیمه‌صلب مطرح گردیده و براساس مقایسه‌ای که توسط گلوگون، بژوهارد (۱۹۹۲) بین اتصالات نیمه‌صلب و اتصالات صلب انجام شده است، اتصالات نیمه‌صلب ۲۰٪ نسبت به قاب مقاوم خمشی و ۱۰٪ نسبت به قاب مهاربندی شده هم مرکز کاهش هزینه دارد [۱۱].

درجه‌گیری اتصالات نیمه‌صلب بستگی به نوع اتصال، سختی و مقاومت قسمت‌های تشکیل‌دهنده آن دارد. اشکال عمده در محاسبه این نوع اتصالات تعیین درجه‌گیری این اتصال می‌باشد. محاسبه درجه‌گیری اتصال مشکل و پیچیده است زیرا عوامل مختلفی در آن تأثیر دارند و علاوه بر مقاومت و سختی نبشی‌ها و ورق‌ها و جوش‌های اتصال، سختی تیر و ستون مورد اتصال نیز در این درجه‌گیری تأثیر دارد. در مرحله اول برای پی بردن به مطلب باید نتایج آزمایشهای انجام شده در این مورد را مطالعه کرد. این نوع اتصالات معمولاً به دو صورت طرح و اجرا می‌گردند: اتصال با نبشی‌های فوقانی و نشیمن (شکل ۲-۱۸) و اتصال با نبشی در زیر و ورق در بالا (شکل ۲-۲۱).

در اتصال با نبشی نشیمن و فوقانی درجه گیرداری به ابعاد نبشی‌های اتصال، طول دهانه، ارتفاع و مشخصات مقطع تیر و نیز خمشی‌پذیری ستون بستگی دارد. در حالت تکیه‌گاه با نشیمن ساده که آزادی دوران موردنظر است و نبشی فوقانی را با ابعاد ظریف بکار می‌برند، گیرداری کمی به وجود می‌آید و مقدار آن مثلاً کمتر از ۱۰٪ تا ۲۰٪ است ولی با قوی نمودن نبشی فوقانی می‌توان گیرداری‌های قابل ملاحظه‌ای به وجود آورد و مثلاً گیرداری تکیه‌گاه را به ۵۰٪ و حتی ۶۰٪ رسانید. البته این کار از نظر عملی اشکال دیگری دارد، چون برای بدست آوردن گیرداری بیشتر باید نبشی‌هایی بکار برد که عرض بال‌ها کم و ضخامت آنها زیاد باشد، مثلاً نبشی‌های ۷۰×۷۰ یا ۸۰×۸۰ میلی‌متر که ضخامت بال‌ها بیش از ۱۴ یا ۱۶ میلیمتر باشد و گاهی نبشی مناسب در بازار موجود نیست [۹].



شکل (۲-۱۸): اتصال با نبشی نشیمن و فوقانی [۹]

۲-۳- تاریخچه بررسی اتصالات

اولین آزمایش‌ها جهت تعیین درصد گیرداری اتصالات تیر به ستون، توسط یانگ^۱ در دانشگاه الینویز^۲ در سال ۱۹۱۷ صورت پذیرفت [۱۷].

تحلیل قابهای نیمه‌صلب با استفاده از روش‌های شیب-افت و پخش لنگر توسط بیکر و راتبون^۳ به طور جداگانه بیان شده است. در هر دو مورد، ضریب Z اتصال نیمه‌صلب که تغییر زاویه بر لنگر واحد را بیان می‌دارد، معرفی گردیده است ($Z = \theta / M$). این عمل در واقع رابطه $(M - \theta)$ را خطی فرض کرده و Z معکوس شیب این خط می‌باشد [۱۷].

تحقیقات اولیه توسط لیز و گیبسون^۴ طی مقاله‌ای در سال ۱۹۳۶ نشان داده است که اتصال تیر به ستون توسط نبشی فوقانی جوش شده، گیرداری نسبی را فراهم می‌آورد و می‌توان از نبشی نشیمن نیز برای تحمل بارهای قائم استفاده نمود [۱۱].

جان استون^۵ در سال ۱۹۴۲ تشخیص داد که هر اتصال صلب دارای مقداری انعطاف‌پذیری بوده و هر اتصال مفصلی نیز قابلیت تحمل مقداری لنگر را دارد [۱۱].

تحقیقاتی در مورد اتصال ورق فوقانی با اتصال جوش توسط برانز و ماینز^۶ در سال ۱۹۴۴ در دانشگاه لی‌های^۷ انجام گرفته است و نیز تحقیقاتی توسط جانسون و هچمن^۸ در سال ۱۹۴۷ در همان دانشگاه روی بیش از چهل اتصال پرچی انجام گرفت [۱۱]. این دو محقق روش طراحی را براساس گیرداری انتهایی اتصال نیمه‌صلب بیان نموده و ادعا نمودند که در صورت استفاده از این روش‌ها، ۱۵ الی ۲۰ درصد از وزن تیرها در قاب‌ها کاسته می‌شود.

¹ Young

² Illinois

³ Backer & Rathbun

⁴ Lyse & Gibson

⁵ John stone

⁶ Brandes & Mains

⁷ Le high

⁸ Johnston & Hechtman

بعد از دهه ۱۹۶۰ با توسعه تکنولوژی کامپیوتری و روش‌های آنالیز ماتریسی سازه‌ها، روش‌های متعدد کامپیوتری جهت آنالیز سیستم‌های سازه‌ای با اتصالات نیمه گیردار پیشنهاد شد [۷].

ویو و مانفورتن^۱ در سال ۱۹۶۳ با تعریف یک ضریب گیرداری که به عنوان درصد گیرداری اتصال مرتبط به عضو تعریف می‌شد، روشی برای آنالیز قاب‌های نیمه گیردار معرفی کردند که ماتریس سختی عضو دو سر گیردار را در این روش اصلاح می‌کرد [۷].

لایوسلی^۲ (۱۹۶۴)، ویور و جر^۳ (۱۹۶۵)، لایت فوت و لمسوریر^۴ (۱۹۷۴) روش‌های آنالیز سازه‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب را که مبتنی بر رفتار خطی اتصالات بود ارائه کردند [۱۸]. رومستاد و سابراماین^۵ در سال ۱۹۷۰ روشی برای آنالیز قاب‌های با اتصالات نیمه گیردار با استفاده از مدل دو خطی از رفتار اتصالات معرفی کردند [۷].

در سال ۱۹۷۱ آزمایشات مهمی در دانشگاه لی‌های برای بررسی رفتار اتصالات خمشی تیر به ستون انجام گردید. در آن زمان چون محاسن اتصالات نیمه صلب مشخص نبود آزمایشات بر مبنای اتصالات صلب انجام گردید. این آزمایشات در مورد توصیه‌های طراحی اتصالات صلب، راه را برای رسیدن به اتصالات نیمه صلب هموار نمود [۱۱].

اولین گام در استفاده از عبارات ریاضی برای تعریف منحنی $(M - \theta)$ به سال ۱۹۳۶ برمی‌گردد.

سومر^۶ در سال ۱۹۶۹ مدل غیرخطی چندجمله‌ای از منحنی لنگر- دوران اتصالات ارائه نمود.

براساس کارهای انجام شده سومر، یک تابع چندجمله‌ای توسط فرای و موریس^۷ در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است که می‌تواند رابطه لنگر- دوران را برای هر اتصال بیان کند [۲۲].

¹ Wu & Monforton

² Livsely

³ Weaver & Gere

⁴ Light foot & LeMessurier

⁵ Romstad & Subramanian

⁶ Sommer

⁷ Frye & Morris

ریچارد و ابوت^۱ در سال ۱۹۷۵، یک مدل توانی برای بیان منحنی لنگر- دوران ارائه دادند [۳۴].

لویی و چن^۲ در سال ۱۹۸۳، مدل دوخطی را برای منحنی لنگر- دوران اتصال پیشنهاد کرده‌اند، در این مدل شیب اولیه منحنی لنگر- دوران در یک لنگر معین با خطی که شیب آن کمتر از شیب مدل تک خطی است، جایگزین می‌شود. همچنین در مدل خطی رازاک^۳ (۱۹۸۳) منحنی لنگر- دوران با چند خط راست تقریب زده می‌شود [۳۱ و ۱۸].

انگ و موریس^۴ در سال ۱۹۸۴ روشی برای آنالیز سازه‌های اسکلتی سه بعدی با اتصالات نیمه گیردار پیشنهاد داده و نشان دادند که ترکیب انعطاف‌پذیری اتصال و اثر $P - \Delta$ به مقدار قابل توجهی تغییر شکل‌های جانبی چنین سازه‌هایی را زیاد می‌کند [۷].

لویی و چن در سال ۱۹۸۶ مدل نمایی چند پارامتری را برای بیان رفتار لنگر- دوران اتصال ارائه داده‌اند. این مدل با اطلاعات آزمایشگاهی، برازش منحنی خوبی را ارائه می‌دهد [۳۰].

چن و گوتو^۵ در سال ۱۹۸۷ یک روش آنالیز مرتبه دوم الاستیک را با استفاده از کامپیوتر برای آنالیز سازه‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب پیشنهاد کردند [۷].

اکروید، کانینگ هان و های^۶ (۱۹۹۰)، لویی و چن (۱۹۹۱)، لویی و یو^۷ (۱۹۹۴) در زمینه تأثیر انعطاف‌پذیری اتصالات در پاسخ سازه‌ها تحقیقاتی انجام داده‌اند [۷ و ۱۸].

کایم و چن^۸ در سال ۱۹۹۸ یک روش عملی و کاربردی برای استفاده در دفاتر مهندسی در طراحی سازه‌های با اتصالات نیمه گیردار از نوع نبشی فوقانی و نشیمن با نبشی‌های جان ارائه دادند. در این روش با توجه به مشخصات تیر، ستون، نبشی‌ها و بارگذاری مفروض می‌توان R_{ki} سختی اولیه دوران،

¹ Richard & Abbott

² Lui & chen

³ Razzaq

⁴ Ang & Morris

⁵ Chen & Goto

⁶ Ackroyd & Cunnighan & Hsieh

⁷ Lui & Yu

⁸ Kim & chen

M_u ظرفیت نهایی لنگر و n پارامتر شکل مربوط به منحنی لنگر- دوران را به آسانی و از طریق جداول و نمودارها تعیین نمود [۲۴].

کیشی و یابوکی^۱ در سال ۲۰۰۱ طی مقاله‌ای رفتار غیرخطی اتصال با نبشی نشیمن و فوقانی و اتصال نبشی جان را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مقاله، اتصال با روش اجزای محدود مورد تحلیل قرار گرفته است، مدل‌سازی اتصال در چهار حالت (در دو مدل پیچ در مدلسازی در نظر گرفته شده و در دو مدل دیگر در نظر گرفته نشده است) انجام شده است [۲۵].

اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی پیچ شده، طی مقاله‌ای توسط احمد، کیشی، ماتسوکا، کومورو^۲ در سال ۲۰۰۱، به روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آنالیز با مقادیر آزمایشگاهی ازیزینامینی^۳ (۱۹۸۵) و مدل توانی کیشی و چن (۱۹۹۰) مقایسه شده است. منحنی‌های لنگر- دوران حاصل از آنالیز اجزاء محدود و مدل توانی تقریباً با منحنی‌های آزمایشگاهی در ناحیه الاستیسیته خطی یکسان هستند و خیلی زود وارد مرحله غیرخطی (پلاستیک) می‌شوند. با وجود این هر دو مدل نسبت به مدل آزمایشگاهی در دوران‌های زیاد انعطاف‌پذیری بیشتری نشان دادند [۱۳].

لی و مون^۴ در سال ۲۰۰۲، طی مقاله‌ای رفتار لنگر- دوران اتصال نیمه صلب با نبشی نشیمن و فوقانی و اتصال با نبشی جان را به صورت پیچ شده مورد بررسی قرار دادند. آنان در تحقیق خود مدلی برای بیان رابطه لنگر- دوران اتصالات نیمه گیردار با استفاده از دو پارامتر شکل α و n ارائه دادند. در این مقاله، برای بیان مقادیر α و n برحسب جملاتی از سختی اولیه (k_i) و سختی پلاستیک (k_p)، در مجموع از ۷۵ مقادیر آزمایشگاهی (۵۰ نمونه اتصال با نبشی جان و ۲۵ نمونه اتصال با نبشی تحتانی و فوقانی) استفاده شد. مقادیر k_i و k_p توسط رفتار بار- تغییر مکان مقطع نبشی در کشش، به

¹ Kishi & Yabuki

² Ahmed & kishi & Matsuoka & komuro

³ Azizinamini

⁴ Lee & Moon

طور تحلیلی بدست آورده شد و نشان داده شد که به طور عام با مقادیر آزمایشگاهی سازگاری دارند [۲۸].

۲-۴- سختی اتصال

در ساختمان‌های با اتصالات مفصلی تیپ اتصال به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که توانایی دوران انتهایی تیر و انتقال نیروی برشی میسر باشد، بدین ترتیب آنالیز و طراحی با هم هماهنگی و تطابق خواهند داشت. همچنین در ساختمانهای با قاب صلب، ابتدا سازه براساس فرض اتصالات صلب، تحت اثر بارگذاری مورد نظر آنالیز شده و سپس براساس لنگرهای بدست آمده، اعضا و اتصالات آن به گونه‌ای طرح می‌شوند که توانایی انتقال لنگر مزبور میسر باشد و فرض اولیه که بر مبنای صلبیت اتصال قرار داشت نیز با انتخاب تیپ مناسب اتصال و استفاده از سخت‌کننده‌ها تأمین می‌گردد.

در ساختمانهای با اتصالات نیمه گیردار، براساس نوع بارگذاری و با روش به کار رفته در بهینه‌سازی در نهایت یک سختی اولیه برای اتصالات ساده انتخاب می‌گردد و توسط روشی مناسب، سازه با اتصالات نیمه گیردار تحت اثر بارگذاری موردنظر آنالیز شده و لنگرهای انتهایی بدست می‌آید. با تغییر در میزان ظرفیت لنگر یک اتصال، سختی آن نیز دچار تغییر می‌گردد. اگر نتوان سختی اولیه مفروض را تأمین نمود، اعتبار آنالیز مخدوش می‌شود و در صورتی که اتصال با سختی موردنظر نتواند لنگری را که در آن به وجود می‌آید منتقل کند، طرح غیرقابل قبول خواهد بود. بنابراین باید به طریقی سختی اتصال را در فاز طراحی شرکت داد و از اینجا تعیین رابطه بین ظرفیت لنگر و سختی هر اتصال ضروری به نظر می‌رسد. [۴]

در حالت کلی برای یک اتصال مرتبط به شاهیتری با عمق d که هر بال آن دارای سطح مقطع عرضی مؤثری برابر با A بوده و تنش تسلیم آن F_y باشد، ظرفیت لنگر نهایی تقریباً برابر است با: [۵]

$$M_u \approx AF_y d \quad (۲-۴۲)$$

و سختی اتصال متناسب است با A و مجذور عمق d :

$$K \approx 2A \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \frac{Ad^2}{2} \quad (۴۳-۲)$$

که با حذف A نتیجه می‌شود:

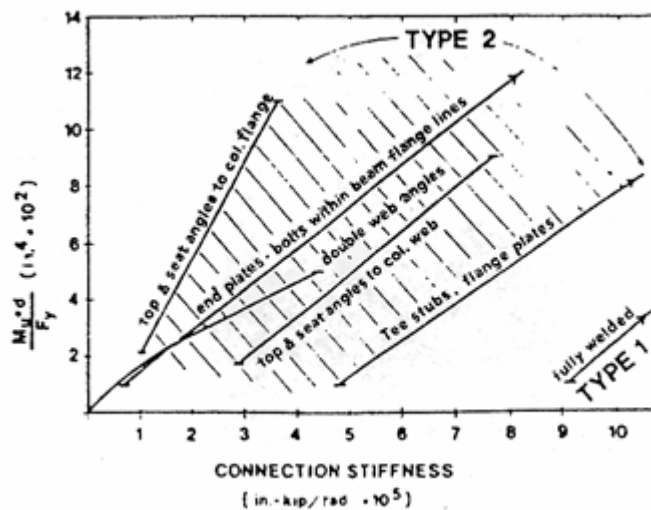
$$K \propto \frac{M_u d}{F_y} \quad (۴۴-۲)$$

بدین ترتیب روابطی نظیر رابطه (۴۴-۲)، مقاومت M_u را به سختی اتصال K ارتباط می‌دهند.

حال اگر برای اتصالات مختلف M_u و k مشخص باشد، چه از طریق آزمایش و یا توسط آنالیز، می‌توان روی نمودار $\frac{M_u d}{F_y}$ بر حسب k ، متناظر با هر اتصال نقطه‌ای مشخص نمود. هر گاه از بین

نقاط مختلف مربوط به یک تیپ اتصال، خط یا منحنی عبور داده شود، نموداری نظیر شکل (۳۷-۲) بدست می‌آید.

چنین نموداری در طرح بهینه اتصالات نیمه‌گیردار نقش اساسی خواهد داشت.



شکل (۱۹-۲): نمودار مقاومت بر حسب سختی اتصالات مختلف [۲۹]

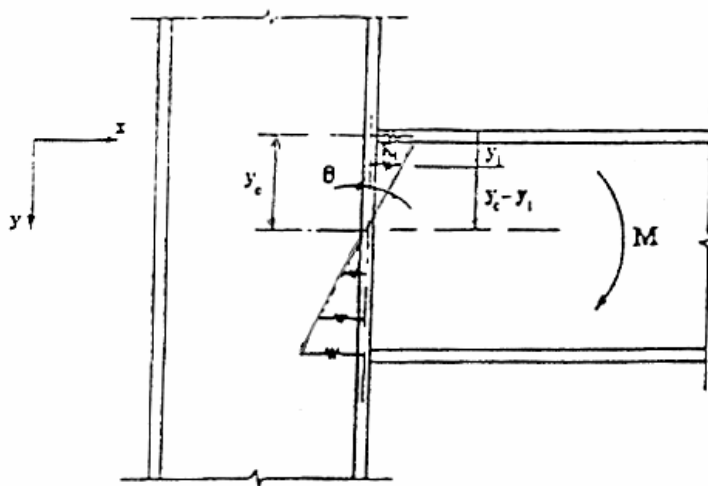
فرض می‌شود که طرح بهینه اتصالی با سختی و ظرفیت لنگری مشخص، مورد نظر باشد، با توجه به عمق تیر d و تنش تسلیم F_y مقدار $\frac{M_u d}{F_y}$ محاسبه و بر مبنای سختی مفروض k برای اتصال،

می‌توان نقطه‌ای را روی نمودار مزبور تعیین کرد. اگر در این نقطه اتصالی موجود باشد، طرح بهینه

موجود بعنوان طرح بهینه انتخاب می‌شود. طبعاً این اتصال دارای ظرفیت لنگری است که کمی بیش از مقدار مورد نیاز است. حال که اهمیت چنین نموداری در طراحی مشخص شد، ضرورت تعیین رابطه‌هایی بین سختی اتصالات و ظرفیت لنگر آنها برای طرح بهینه اتصالات آشکار می‌گردد. [۵]

شکل زیر نوشت:

با استفاده از این رابطه می‌توان K سختی اتصال را به صورت مقدار لنگر لازم برای دوران واحد تعریف کرد. برای آنالیز یک اتصال می‌توان رفتار آن را توسط تعدادی فنر موازی مدل کرد که انتهای تیر را مثلاً به یک ستون متصل می‌سازد (شکل ۲-۳۸)



در اثر لنگر وارده M بسته به محل محور دورانی اتصال، تعدادی از فنرها کشیده و برخی دیگر فشرده می‌شوند و در نتیجه دوران θ در انتهای تیر اتفاق می‌افتد. نحوه تغییر شکل فنرها به گونه‌ای

خواهد بود که اصل مستوی باقی ماندن سطوح قبل و بعد از خمش را ارضاء کند. با نوشتن معادله تعادل کل نیروهای داخلی فنرها، می توان محل محور دوران اتصال را به سادگی توسط رابطه زیر تعیین نمود:

$$y_c = \frac{\sum k_i y_i}{\sum k_i} \quad (۴۶-۲)$$

در این رابطه، K_i سختی جزئی از اتصال می باشد که به فاصله y_i از مبدأ محور y ها قرار دارد. در حقیقت رابطه (۴۶-۲) محلی را به عنوان تار خنثی اتصال تعیین می کند. با نوشتن معادله تعادل لنگر وارده M با لنگر نیروهای فنرها نسبت به محور دوران اتصال چنین بدست می آید: [۵]

$$M = \sum K_i (y_c - y_i)^2 \theta \quad (۴۷-۲)$$

بنابراین سختی دورانی اتصال را می توان از رابطه زیر تعیین کرد:

$$K = \sum k_i (y_c^2 + y_i^2 - 2y_c y_i) \quad (۴۸-۲)$$

که با استفاده از رابطه (۴۹-۲) می توان عبارت فوق را به فرم ساده تری نوشت:

$$k = \sum k_i y_i^2 - y_c^2 \sum k_i \quad (۵۰-۲)$$

و با جایگذاری y_c از رابطه (۴۶-۲)، رابطه اساسی برای محاسبه سختی دورانی اتصال به صورت زیر بدست می آید:

$$k = \sum k_i y_i^2 - \frac{(\sum k_i y_i)^2}{\sum k_i} \quad (۵۱-۲)$$

لازم به تذکر است که y_i در رابطه (۴۶-۲) را می توان نسبت به هر مبدأ دلخواه در ارتفاع تیر تعیین نمود و وابسته به مبدأ خاصی نیست. مثلاً اگر میان تار تیر به عنوان مبدأ انتخاب گردد می توان علامت y_i های بالای این محور را مثبت و علامت y_i های زیر آن را منفی در نظر گرفت. در صورتیکه تار خنثی اتصال (محل y_c) به عنوان مبدأ اندازه گیری y_i در نظر گرفته شود، در رابطه (۵۰-۲)، y_c برابر صفر شده و بنابراین رابطه اساسی محاسبه سختی اتصال به فرم ساده زیر تبدیل می شود:

$$k = \sum k_i y_i^2 \quad (۵۲-۲)$$

بنابراین سختی اتصال متناسب با توان دوم فاصله عناصر سخت‌کننده اتصال تا تار خنثی می‌باشد، به عبارت دیگر اجزایی از اتصال که در نزدیکی تار خنثی اتصال قرار دارند، نسبت به اجزای دورتر تأثیر به مراتب کمتری روی سختی اتصال دارند. به عنوان مثال اتصال تیر به ستون توسط نبشی جان، دارای سختی دورانی کمتری نسبت به اتصال با نبشی فوقانی و نشیمن خواهد داشت.

۲-۴-۱- محاسبه سختی اتصالات نیمه صلب فولادی با معادلات چند خطی [۲۸]

پارامتری به نام ضریب شکل را معرفی می‌کنیم که به صورت شکل منحنی $M-A$ که براساس نتایج آزمایشگاهی ترسیم شده است تعریف می‌شود.

آیین نامه اروپا نسبت $M-A$ را با رابطه ۳ خطی تخمین می‌زند و از روشی که اصطلاحاً روش اجزا نامیده می‌شود برای استنتاج سختی اولیه اتصالات و ممان پلاستیک استفاده می‌کند. ۳ پارامتر پایه‌ای در این مدل عبارتند از:

K : سختی اولیه

M_p : ممان پلاستیک

n : ضریب شکل

که M_p , K مشخصات مکانیکی اساسی اتصالات را تعیین می‌کنند و ضریب شکل درجه کاهش سختی اتصال را با افزایش دوران تعیین می‌کند این پارامتر به نقش همه اعضای اتصال در حالی که لنگر و دوران زیاد می‌شود بستگی دارد. [۲۸]

معادله چند خطی از یک سری معاملات خطی تشکیل شده است. در بدست آوردن این منحنی از ۲ فرضیه زیر استفاده شده است. [۲۸]

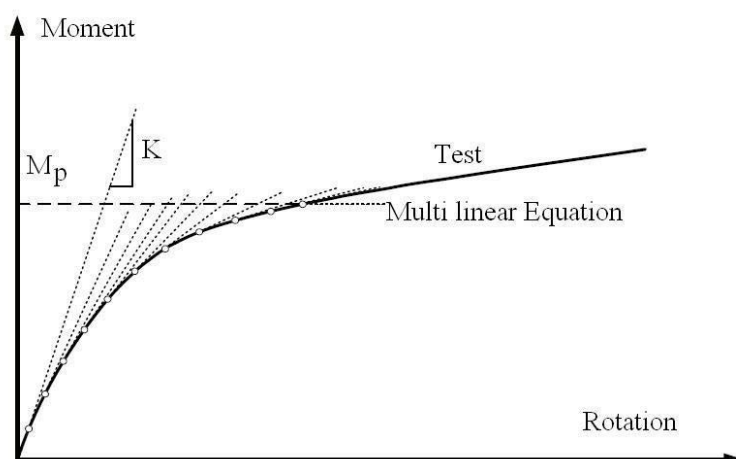
۱- شیب منحنی با افزایش ممان کاهش می‌یابد.

۲- شیب منحنی وقتی لنگر به حدلنگر پلاستیک اتصال برسد صفر می‌شود.

این موارد را می‌توان در شکل و معادله زیر مشاهده نمود که در آنها K سختی اولیه اتصال، M_P لنگر

پلاستیک اتصال، N ضریب شکل می‌باشد.

$$\theta_j = \sum_{i=1}^j \frac{[M_i - M_{i-1}]}{K \left[1 - \left(\frac{M_i}{M_P} \right)^n \right]} \quad \text{رابطه (۲-۵۳)}$$



شکل (۲-۲۱): ایده اساسی روش معادله چند خطی

در معادله ضریب شکل (N) در شکل منحنی ممان دوران تاثیر می‌گذارد به طوری که هر چه ضریب

شکل بیشتر شود منحنی تیزتر می‌شود.

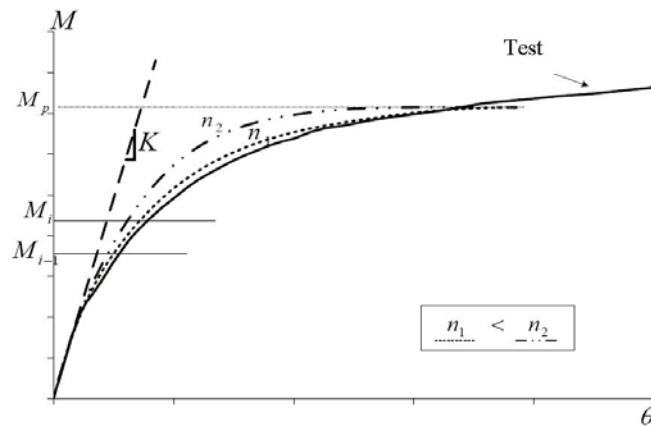
با استفاده از روش اجزا به راحتی می‌توان M_P ، K را بدست آورد. این روش می‌تواند بدست آوردن

سختی اولیه و لنگر پلاستیک در سه اتصال زیر استفاده شود.

- اتصال‌های جوش شده

- اتصال‌های صفحات انتهایی پیچ شده

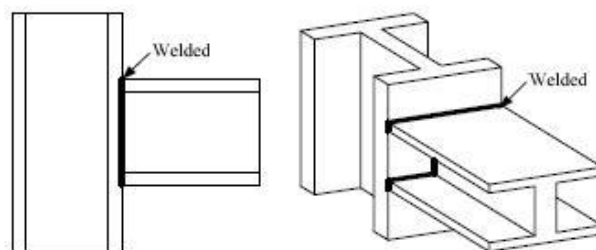
- اتصال‌های پیچ شده با نبشی



شکل (۲-۲۲): تاثیر ضریب شکل

محاسبات شامل مراحل زیر می شود:

۱. لیست کردن اجرای اتصال تیر به ستون
 ۲. تخمین نسبت نیرو تغییر مکان برای هر جزء
 ۳. ترکیب اجزا برای ارزیابی سختی اولیه و لنگر پلاستیک در کل اتصال
- برای مثال اجرای اتصال کاملاً جوش شده در شکل نشان داده شده است:

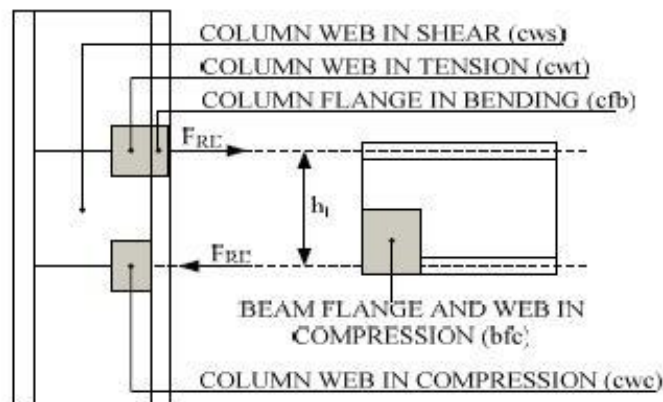


شکل (۲-۲۳): اتصال کاملاً جوش شده

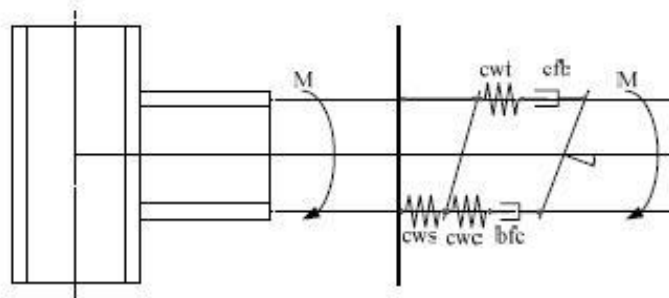
نواحی زیر در شکل بالا معرفی شده اند

- CWS جان ستون در برش
- cfb بال ستون در خمشی
- Cwt جان ستون در کشش
- bfc بال و جان ستون در فشار

• *CWC* جان ستون در فشار



شکل (۲-۲۴): اجزای اتصال جوش شده



شکل (۲-۲۵): مدل مکانیکی اتصال جوش شده

سختی دورانی و مقاومت خمشی توسط قسمت ۳ *CWS*، *CWC*، *CWT* و مقاومت خمشی اتصال توسط قسمت‌های *cfb* و *bfc* کنترل می‌شود که در شکل ۶ نشان داده شده است.

$$F_{Rd} = \min \{ F_{cws,Rd}, F_{cwc,Rd}, F_{cwt,Rd}, F_{cfw,Rd}, F_{bfc,Rd} \} \quad \text{رابطه (۲-۵۴)}$$

در طراحی پایداری ممان پلاستیک ضعیف‌ترین عضو تعیین کننده می‌باشد.

$$M_p = F_{Rd} h_t \quad \text{رابطه (۲-۵۵)}$$

وسختی اولیه اتصال را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$K = \frac{h_t^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_{cwt}}} \quad \text{رابطه (۲-۵۶)}$$

ضریب شکل برای محاسبه منحنی واقعی $m-\theta$ به صورت تیزی معادله چند خطی تعریف می شود. در اینجا فرض می شود ضریب شکل متناسب است با نسبت ممان پلاستیک به سختی اولیه $\left(\frac{m_p}{k}\right)$ از

تحلیل رگرسیون ضریب شکست بصورت زیر بدست می آید:

$$n = a + \frac{b}{\theta_0} = a + b \frac{k}{m_p} \quad \text{رابطه (۵۷-۲)}$$

برای اتصالات زیر معادله ضریب شکل نشان داده شده است.

اتصال پیچ شده با نبشی

$$n = 1.2575 + \frac{0.0014K}{M_p} \quad \text{رابطه (۵۸-۲)}$$

اتصال پیچ شده با صفحه انتهایی

$$n = 1.2575 + \frac{0.0014K}{M_p} \quad \text{رابطه (۵۹-۲)}$$

اتصال جوش شده

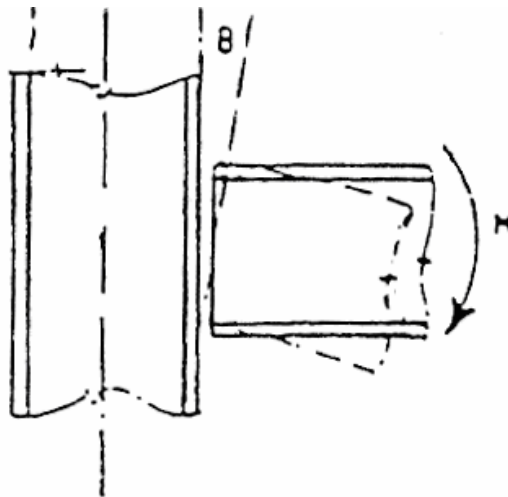
$$n = 1.2923 + \frac{0.0039K}{M_p} \quad \text{رابطه (۶۰-۲)}$$

۵-۲- منحنی لنگر - دوران اتصالات

برای اینکه تحلیل سازه‌ای با اتصالات انعطاف پذیر امکان پذیر باشد لازم است اطلاعات کافی راجع به ویژگیهای این اتصالات داشته باشیم. به علت تغییر شکل اجزاء و بالهای ستون، مقداری تغییر شکل در اتصالات وجود خواهد داشت. در نتیجه یک دوران نسبی در محورهای اعضای متصل در هر گره بوجود می آید (شکل ۲-۲۷).

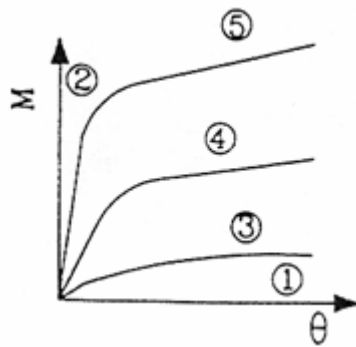
بنابراین از ویژگیهای مهم اتصال، رابطه بین لنگر مؤثر (M) و زاویه دوران (θ) بین محورهای اعضای اتصال است. این رابطه را می توان به صورت ترسیمی توسط منحنی بیان کرد که لنگر را

برحسب خصوصیات دوران اتصال ارائه می‌دهد. شکل (۲-۲۸) منحنی‌های فرضی را نشان می‌دهد که برای توصیف رفتار یک اتصال قابل استفاده می‌باشد. منحنی (۱) (محور افقی)، نشان دهنده یک اتصال مفصلی ایده‌آل می‌باشد که برای همه مقادیر دوران، لنگر مربوطه صفر است. منحنی (۲) (محور قائم)، نشان دهنده یک اتصال کاملاً صلب ایده‌آل است که در آن گره اتصال برای هر مقدار لنگر دارای دوران نمی‌باشد. این دو حالت، حدی بوده و در عمل همه منحنی‌های لنگر دوران در بین این حالات حدی قرار دارند. منحنی‌های (۵)، (۴)، (۳) اتصالات نیمه صلب با درجات صلبیت مختلف را نشان می‌دهند. [۶]



شکل (۲-۲۷): تغییر شکل دورانی یک اتصال [۶]

منحنی (۳) یک اتصال انعطاف‌پذیر مثل اتصال جفت نبشی جان را نشان می‌دهد. منحنی (۵) یک اتصال صلب تر مانند اتصال ورق فوقانی جوش شده را نشان داده و منحنی (۴) یک اتصال با صلبیت متوسط مانند اتصال نبشی فوقانی را نشان می‌دهد.

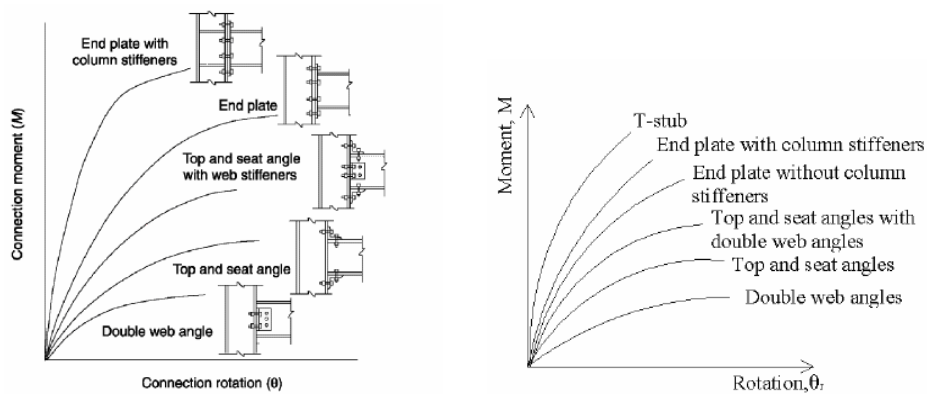


شکل (۲-۲۸): انواع منحنی‌های لنگر- دوران [۳]

همانطوری که از منحنی‌ها دیده می‌شود در آغاز، رفتار اتصال تقریباً الاستیک بوده و منحنی بصورت یک خط مستقیم با شیب $k = M/\theta$ می‌باشد که معرف ضریب ثابت فنریت دورانی اتصال بوده و به مدول اتصال موسوم است. با افزایش بار، اتصال شروع به تغییر شکل غیرالاستیک کرده و زاویه دوران سرعت افزایش می‌یابد و بدین ترتیب در حالت کلی اتصال دارای مشخصه لنگر- دوران غیرخطی است.

عوامل گوناگونی که در سختی اتصال مؤثرند توسط لویت، چسون و مانز^۱ بررسی شده‌اند که برخی از آنها عبارتند از: طول و ارتفاع تیر اتصال، اینکه تیر به بال یا جان ستون متصل است، ضخامت نبشی متصل شده، نوع و اندازه‌های سخت کننده‌های احتمالی (اتصال جان ستون)، خواص فیزیکی نبشی، اجزای سخت کننده‌ها، فاصله بین مراکز سوراخهای پیچ یا پرچ، اندازه و نوع جوش‌های مصرفی، کمانش موضعی بال تیر، جاری شدن سخت کننده‌های ستون، جاری شدن جان ستون، بار نظیر جاری شدن ورق‌ها، تماس تیر و ستون در خلال تغییر شکل. در شکل (۲-۲۹) منحنی لنگر دوران تقریبی به طور نسبی برخی از اتصالات رایج نشان داده شده است.

¹ Lewitt & Chesson & Munse



شکل (۲-۲۹): منحنی‌های لنگر-دوران برخی از اتصالات رایج [۳۹]

۲-۵-۱- مدل‌های لنگر - دوران برای اتصالات

برای دخالت دادن تأثیر انعطاف‌پذیری اتصال در رفتار، آنالیز و طراحی قاب‌های فولادی شناخت منحنی‌های لنگر - دوران اتصالات و یا حداقل شناخت بعضی از خصوصیات اصلی این منحنی‌ها الزامی می‌باشد. روش‌های زیادی برای بدست آوردن منحنی‌های لنگر - دوران برای اتصالات پیشنهاد شده است. در این بخش برخی از مدل‌های پیشنهاد شده برای رفتار لنگر - دوران اتصالات آورده شده است.

منحنی لنگر - دوران اکثر اتصالات دارای دو قسمت اصلی می‌باشد، در قسمت اول سختی اتصال بیشتر است و در قسمت دوم با کاهش شیب منحنی لنگر - دوران سختی نیز کاهش می‌یابد.

۲-۵-۱-۱- مدل خطی

اولین گام در استفاده از عبارات ریاضی برای تعریف منحنی $(M - \theta)$ به سال ۱۹۳۶ برمی‌گردد.

شیب اولیه خط مماس بر منحنی $(M - \theta)$ به عنوان فاکتور Z اتصال نیمه صلب تعریف شده بود

$$(Z = \theta / M)$$

تارپی و کاردینال^۱ در سال ۱۹۸۱، ملچرز و کار^۲ در سال ۱۹۸۲، لویی و چن^۳ در سال ۱۹۸۳، مدل دو خطی را پیشنهاد کردند که در آن شیب اولیه منحنی لنگر - دوران در یک لنگر معین با خطی که شیب آن کمتر از شیب مدل تک خطی است، جایگزین می‌شود. رازاک^۴ (۱۹۸۳) از یک مدل خطی استفاده کرد که در آن منحنی لنگر - دوران توسط تعدادی پاره‌خط راست نمایش داده می‌شود. اگرچه مدل‌های خطی برای استفاده ساده هستند، اما پرش ناگهانی و نادرست سختی در محل اتصال خطوط به هم باعث می‌شود که استفاده عملی از آنها دقیق نباشد.

۲-۱-۵-۲-مدل چندجمله‌ای

مدل تابع چندجمله‌ای برای منحنی لنگر - دوران توسط سومر^۵ (۱۹۶۹) و فرای و موریس^۶ (۱۹۷۵) پیشنهاد شده است که دوران را بر حسب جملاتی از لنگر بیان می‌کند. [۲۱]

$$\theta = c_1 (kM)^1 + c_2 (kM)^3 + c_3 (kM)^5 \quad (۲-۴)$$

بطوریکه k پارامتر استاندارد است که وابسته به نوع و هندسه اتصال می‌باشد و C_1, C_2 و C_3 ثابت‌های منحنی هستند. θ دوران اتصال بر حسب رادیان و M لنگر اعمال شده به اتصال می‌باشد.

ثابت‌های C_1, C_2 و C_3 برای سه نوع اتصال مختلف در جدول شماره (۲-۱) آورده شده است. [۲۱]

¹ Tarpy & Cardinal

² Melchers & Kaur

³ Lui & Chen

⁴ Razzaq

⁵ Sommer

⁶ Fry & Morris

نوع اتصال	ثابتهای منحنی		
	c_1	c_2	c_3
ورق انتهایی بدون سخت کننده ستون	$1,83 \times 10^{-3}$	$1,04 \times 10^{-4}$	$6,38 \times 10^{-6}$
نبشی بالا و پایین و نبشی دابل جان	$2,23 \times 10^{-5}$	$1,85 \times 10^{-8}$	$3,19 \times 10^{-12}$
نبشی بالا و پایین بدون نبشی جان	$8,46 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-8}$

جدول (۱-۲): ثابتهای تابع چند جمله‌ای فرای و موریس

۲-۵-۱-۳-مدل توانی

ریچارد و ابوت^۱ در سال ۱۹۷۵، رابطه زیر را برای تعریف ممان بر حسب دوران ارائه داده‌اند: [۱۶]

$$M = \frac{(k_i - k_p)\theta}{\left(1 + \left| \frac{(k_i - k_p)\theta}{M_o} \right|^n\right)^{\frac{1}{n}}} + k_p\theta \quad (۵-۲)$$

بطوریکه:

k_i = شیب اولیه اتصال

k_p = شیب سخت شدگی تغییر شکل نسبی اتصال

M_o = لنگر اولیه

n = پارامتر شکل

انگ و موریس^۲ در سال ۱۹۸۴ از تابع استاندارد شده رامبرج و اسگود^۳ در سال ۱۹۴۳ استفاده کردند

تا رفتار لنگر - دوران را به صورت زیر بیان کنند:

$$\frac{\theta}{\theta_o} = \frac{(km)}{(km)_o} \left\{ 1 + \left[\frac{km}{(km)_o} \right]^{(n-1)} \right\} \quad (۶-۲)$$

¹ Richard & Abbott

² Ang & Morris

³ Ramberg & Osgood

بطوریکه θ_0 ، $(KM)_0$ و n مقادیر ثابتی هستند که شکل تابع را تعریف می کنند، k پارامتر استاندارد می باشد که بستگی به نوع و هندسه اتصال دارد. به ازای مقادیر مختلف n ، شکل منحنی نیز تغییر می کند.

۲-۵-۱-۴-مدل نمایی

لویی و چن^۱ (۱۹۸۶) مدل نمایی چند پارامتری زیر را ارائه کرده اند: [۱۷]

$$M = \sum_{j=1}^m C_j [1 - \exp(-\frac{|\theta|}{2j\alpha})] + M_o + R_{kf} |\theta| \quad (۷-۲)$$

در این رابطه M_0 لنگر اولیه اتصال می باشد که از منحنی برازش شده بدست می آید، R_{kf} سخت شدگی کرنش اتصال، α ضریب مقیاس و C_j ثابت منحنی است که از آنالیز رگرسیون خطی بدست می آید. این مدل با اطلاعات آزمایشگاهی برازش منحنی خوبی را ارائه می دهد. با وجود این، اگر تغییر ناگهانی در شیب منحنی $(M-\theta)$ وجود داشته باشد، این مدل نمی تواند به خوبی آن را بیان کند.

سپس کیشی و چن^۲ مدل نمایی لویی و چن را به منظور بیان رفتار اتصال، اشکال تغییر ناگهانی در

شیب منحنی لنگر - دوران را، به صورت زیر اصلاح کردند: [۱۷]

$$M = M_o + \sum_{j=1}^m C_j [1 - \exp(-\frac{|\theta|}{2j\alpha})] + \sum_{k=1}^n D_k (\theta - \theta_k) H[\theta - \theta_k] \quad (۸-۲)$$

بطوریکه، D_k پارامتر ثابت برای قسمت خطی منحنی است، θ_k دوران اولیه در قسمت خطی منحنی،

$H[\theta]$ تابع پله ای (برای $\theta > 0$ برابر یک و برای $\theta < 0$ برابر صفر) می باشد.

مدل نمایی سه پارامتری زیر جهت بیان رفتار لنگر - دوران اتصال با نبشی فوقانی و نشیمن (با جفت

نبشی جان و یا بدون جفت نبشی جان) توسط وو و چن^۳ در سال ۱۹۹۰ ارائه شده است: [۱۷]

¹ Lui & Chen

² Kishi & Chen

³ Wu & Chen

$$\frac{M}{M_u} = n \left[L_n \left(1 + \frac{\theta}{n\theta_o} \right) \right] \quad (9-2)$$

M_u ظرفیت الاستوپلاستیک مکانیسم ایده آل شده، θ_0 یک زاویه مرجع است که توسط نسبت M_u/R_{ki} مشخص می شود که در آن R_{ki} سختی دورانی اولیه است و n پارامتر شکل است. پارامترهای M_u و R_{ki} را می توان به صورت تحلیلی به دست آورد، در صورتیکه پارامتر شکل n با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و به صورت تجربی بدست می آید.

۲-۵-۱-۵- مدل نمایی ۳ پارامتری

در این روش منحنی $M-\phi$ به نواحی زیر تقسیم می شود. [۳۸]

- محدوده الاستیک اولیه (توسط لنگر مقاوم الاستیک اتصال کنترل می شود)

- محدوده سخت شده کرنشی (توسط دوران زیاد کنترل می شود)

- محدوده انتقالی (توسط مشخصات تسلیم پلاستیک اعضای اتصال کنترل می شود)

مدل به طور کامل به سه ناحیه یاد شده بستگی دارد، نسبت $M-\phi$ برای لنگر M (که از دوران نسبی

ϕ بدست می آید) را از رابطه (۲-۱۰) بدست می آوریم: [۳۸]

$$M = [M_o + K_p \phi][1 - \exp(-K_i \phi/M_o)] \quad \text{رابطه (۲-۱۰)}$$

M_o : ثابت مقاوم

K_i : سختی اولیه اتصال الاستیک

K_p : سختی کرنشی سخت شدگی اتصال (پلاستیک)

مدل پیشنهاد شده بر اساس داده های آزمایش های اتصال تعیین می شود. این داده ها از نتایج

آزمایش های اتصالات با ابعاد واقعی بدست می آیند که نشان دهنده توانایی مدل در بدست آوردن $M-\phi$

در اتصالات انعطاف پذیر می باشد.

۲-۵-۱-۵-۱- اتصال جفت نبشی جان

مقادیر سختی اولیه (الاستیک) اتصال از منحنی آزمایشی متناسب با مدل پیشنهاد شده بدست می‌آید. برای این امر از تقریب تغییر شکل اتصال در کشش انتهای نبشی‌ها استفاده می‌شود در حالی که تغییر شکل بدست آمده بوسیله بار متمرکز در وسط دهانه عضو با انتهای گیردار ایجاد می‌شود (جایی که بال متصل به ستون با پیچ و پرچ شرایط تکیه‌گاه گیردار در انتهای عضو را نشان می‌دهد و همچنین نیروی تیر در واحد طول اتصال مؤثر روی هر کدام از نبشی‌های جان ایجاد کننده بار متمرکز می‌باشد).

در نظر گرفته می‌شود لنگر مقاوم اتصال توسط بار میانگین در واحد طول اتصال در کشش زیاد انتهای اتصال ($P/5$)، طول اتصال در کشش و بازوی لنگر بوجود بیاید. [۳۸]

در محدوده الاستیک فرض می‌شود اعضای اتصال انتهای تیر حول نیمه پایینی اتصال دوران می‌کنند در حالی که مقاومت خمشی توسط نیمه بالایی اتصال برای نیروی خمشی در انتهای تیر ایجاد می‌شود همچنین بازوی لنگر $\frac{2}{3}$ طول اتصال می‌باشد. [۳۸]

تغییر شکل خمشی و برشی هر دو در مصالح نبشی رسیدگی می‌شود.

می‌توان سختی دورانی اولیه اتصال را توسط رابطه زیر برای اتصال جفت نبشی جان بدست آورد:

$$(K_i)_{DWA} = \frac{1}{L_b \left[\frac{L_b^2}{192 E_c I_w} + \frac{k_s}{G_c A_w} \right]} \left(\frac{d_b}{2} + \frac{l_w}{2} \right) 0.167 l_w^2 \quad \text{رابطه (۲-۱۱)}$$

K_s : ضریب تغییر شکل برشی

A_w : سطح برش در واحد طول نبشی جان

مدول برشی مصالح نبشی: G_e و مدول الاستیک مصالح نبشی $E_e =$

ممان اینرسی واحد طول نبشی جان: I_w و عمق کل تیر $d_b =$

طول اتصال نبشی جان: L_w

دهانه موثر تیر دو سرگیردار استفاده شده در مدل: L_b

در محدوده پلاستیک با تشکیل مفصل پلاستیک در موقعیت بحرانی، اتصال جفت نبشی می‌توانند مانند دو قسمت صلب رفتار کند. مقدار سختی پلاستیک اتصال از منحنی آزمایشی متناسب با مدل پیشنهاد شده با تقریب تغییر شکل اتصال در کشش انتهای اتصال بدست می‌آید که این تغییر شکل توسط بار متمرکزی که در انتهای عضو طره قرار گرفته است ایجاد می‌شود. [۳۸]

(جایی که نیروی تیر در واحد طول اتصال که روی هر کدام از نبشی‌های اتصال تأثیر می‌گذارد بار متمرکز را بوجود می‌آورد) [۳۸]

در محل کاملاً پلاستیک شده فرض می‌شود اعضای اتصال انتهای تیر حول $0/2$ پایینی اتصال دوران می‌کنند در حالی که مقاومت خمشی توسط $0/8$ بالایی اتصال برای نیروی خمشی در انتهای تیر ایجاد می‌شود و همچنین بازوی لنگر $0/558$ طول اتصال می‌باشد. [۳۸]

می‌توان فرض نمود مفصل پلاستیک در محل بحرانی توسعه پیدا می‌کند (ابتدا در گوشه مهره بست، در آخر در نزدیکی انتهای ماهیچه نبشی. هم تغییر شکل برشی و هم تغییر شکل خمشی هر دو در نبشی ملاحظه می‌شود.

تغییر شکل برشی و خمشی به G_p (مدول برشی سخت شدگی کرنشی) و E_p (مدول سخت شدگی کرنشی) بستگی دارد.

سختی دورانی پلاستیک اتصال برای اتصال جفت نبشی جان بصورت زیر بدست می‌آید.

$$(K_p)_{DWA} = \frac{1}{L_c \left[\frac{L_c^2}{3E_p I_w} + \frac{k_s}{G_p A_w} \right]} \left(\frac{d_b}{2} + \frac{l_w}{2} \right) 0.76 l_w^2 \quad \text{رابطه (۲-۱۳)}$$

E_p : مدول سخت شده کرنشی مواد نبشی

G_p : مدول برشی سخت شده کرنشی مواد نبشی

L_c : دهانه موثر تیر طره در مدل مورد استفاده

L_c : دهانه موثر تیره طره در مدل مورد استفاده

مقادیر مرتبط به M_o برای اتصال جفت نبشی جان از منحنی آزمایشی متناسب با مدل پیشنهاد شده

با مشخصات ابعادی اتصال بدست می آید. پارامتر M_o برای اتصال جفت نبشی جان به صورت زیر

بدست می آید. [۳۸]

$$(M_o)_{DWA} = \alpha (t_{cw})^\eta (l_w)^\mu \quad \text{رابطه (۲-۱۵)}$$

$\alpha = 2/628 \times 10^3$ ثابت تجربی:

$\eta, \mu = 0/4854$, $1/8284$ توانهای تجربی:

۲-۵-۱-۵-۲- اتصال با نبشی فوقانی و نشیمن

برای اتصال نبشی فوقانی و نشیمن مقادیر سختی اولیه اتصال از منحنی های آزمایشی متناسب با

مدل پیشنهاد شده بدست می آید. برای این امر از تقریب تغییر شکل اتصال در کشش نبشی ها استفاده

می شود در حالی که تغییر شکل بدست آمده بوسیله بار متمرکز در انتهای عضو طره ایجاد می شود.

(بال نبشی متصل به ستون با پیچ و پرچ شرایط تکیه گاه در انتهای گیردار عضو طره ای را ایجاد می

کند و همچنین نیروی واحد بر طول اتصال، موثر روی نبشی اتصال بار متمرکز را ایجاد می کند.) [۳۸]

در نظر گرفته می‌شود لنگر مقاوم توسط نیروی واحد طول در کشش انتهای اتصال، طول موثر اتصال در کشش و بازوی لنگر ایجاد می‌شود. همچنین فرض می‌شود اعضای اتصال انتهای تیر حول بال فشاری تیر دوران می‌کنند در حالی که مقاومت خمشی توسط طول موثر اتصال L_c به همراه ضخامت موثر اتصال t_c برای نیروی خمشی در انتهای تیر ایجاد می‌شود. [۳۸]

تغییر شکل برشی و خمشی هر دو در نبشی رسیدگی می‌شوند و می‌توان سختی دورانی اولیه اتصال را توسط رابطه زیر برای اتصال نبشی فوقانی و نشیمن بدست آورد:

$$(K_i)_{TSA} = \frac{1}{L_c \left[\frac{L_c^2}{3E_e I_t} + \frac{k_s}{G_e A_t} \right]} d_b (d_b + g_{ct}) l_e \quad \text{رابطه (۱۶-۲)}$$

$A_t =$ سطح برشی در واحد طول نبشی فوقانی (بال کششی)

$I_t =$ ممان اینرسی در واحد طول نبشی فوقانی (بال کششی)

$L_c =$ دهانه موثر در تیر طره در مدل مورد استفاده

$L_c =$ فاصله مرکز پیچ تا مهره در بال متصل به ستون در نبشی فوقانی

مقادیر سختی پلاستیک اتصال از منحنی آزمایشی متناسب با مدل پیشنهاد شده با تقریب تغییر شکل نبشی کششی در محدوده پلاستیک بدست می‌آید که این تغییر شکل توسط بار متمرکزی که در انتهای عضو طره قرار گرفته است ایجاد می‌شود. [۳۸]

لنگر مقاوم اتصال در نظر گرفته می‌شود توسط نیرو در واحد طول اتصال در کشش و بازوی لنگر بوجود بیاید. [۳۸]

هم تغییر شکل برشی و هم تغییر شکل خمشی هر دو در نبشی ملاحظه می‌شود و سختی دورانی پلاستیک اتصال نبشی بالایی و نشیمن به صورت زیر بدست می‌آید:

$$(K_p)_{TSA} = \frac{1}{L_c \left[\frac{L_c^2}{3E_p I_t} + \frac{k_s}{G_p A_t} \right]} d_b (d_b + g_{ct}) l_e \quad \text{رابطه (۲-۱۸)}$$

$L_c =$ دهانه موثر در تیر طره در مدل مورد استفاده

مقادیر مرتبط به M_o (برای اتصال نبشی فوقانی و نشیمن) از منحنی آزمایشی متناسب با مدل

پیشنهاد شده با مشخصات ابعادی اتصال بدست می‌آید پارامتر M_o برای اتصال جفت نبشی به صورت

زیر بدست می‌آید: [۳۸]

$$(M_o)_{TSA} = \alpha (l_e)^\eta (d_b)^\mu (t_e/t_{ct})^\rho \quad \text{رابطه (۲-۲۰)}$$

ثابت تجربی: $\alpha = 2/279 \times 10^3$

توانهای تجربی: $\eta, \mu, \rho = 1/426, 0/9556, -0/8536$

$$L_e = N_{ct} D_N$$

$$t_e = (t_{ct} + \frac{t_{cs}}{d_b}) (0/625/t_{ct})^{1/5}$$

۲-۵-۱-۶- مدل ۲ پارامتری

با استفاده از دو پارامتر α و n ، مدلی برای بیان رابطه لنگر - دوران اتصالات نیمه گیردار مطابق زیر

پیشنهاد شده است. [۲۸]

$$M = \alpha |Ln(n.1\theta.\theta + 1)|^n \quad (۲-۲۱)$$

در رابطه بالا، پارامتر شکل α بر روی سختی اولیه و لنگر نهایی تأثیر می‌گذارد و همچنین شکل

صحیح منحنی $(M - \theta)$ تابعی از پارامتر شکل n می‌باشد.

مدل پیشنهاد شده با اطلاعات آزمایشگاهی انتخاب شده در مرجع توسط کیشی و چن (۱۹۸۶) برازش

خوبی را ارائه می‌دهد. کوچک بودن پارامترهای α و n از نظر فیزیکی می‌تواند یک عیب برای این مدل

عنوان شود. از طرف دیگر، به خاطر ساده‌سازی و تطبیق مناسب با منحنی لنگر - دوران اتصالات مختلف، این عیب نیز برطرف می‌شود.

مقادیر بهینه α و n در تطابق با منحنی‌های آزمایشگاهی، بر حسب سختی اولیه (k_i) و سختی

$$\begin{cases} \alpha = f(k_i, k_p) \\ n = f(k_i, k_p) \end{cases} \quad (22-2)$$

پلاستیک (k) از آنالیز رگرسیون استاتیکی به دست می‌آیند [۲۸]:

برای بیان روابطی برای پارامترهای α و n ، در مجموع از ۷۵ مقادیر آزمایشگاهی استفاده شده است.

۵۰ اتصال با نبشی جان و ۲۵ اتصال با نبشی تحتانی و فوقانی به کار گرفته شده است. برای بیان

پارامترهای شکل، بر روی اتصالات با نبشی تحتانی و فوقانی (پیچی) تحلیل استاتیکی انجام گرفته و

به صورت روابط زیر استخراج شده‌اند [۲۸]:

$$\alpha = 9,689E - 0,4k_i + 9,562E - 0,4k_p + 3,85Q \quad (R^2 = 0,91) \quad (23-2)$$

$$n = 4,500E - 0,6k_i + 4,400E - 0,6k_p + 0,60I \quad (R^2 = 0,92) \quad (24-2)$$

که R^2 ضریب همگونی و K_i و K_p بر حسب $kN.m$ می‌باشند.

بررسی رفتار مقطع نبشی پیچ شده

برای تعیین K_i و K_p ، بررسی رفتار بار - تغییر مکان مقطع نبشی در کشش ضروری می‌باشد. رفتار

مقطع نبشی برای دو وضعیت زیر آنالیز می‌شود:

الف- حالت الاستیک

ب - حالت پلاستیک که در آن مکانیسم گسیختگی توسعه می‌یابد.

فرضیات اساسی برای تحلیل به صورت زیر است:

۱- تغییر شکل اتصال کم است.

۲- تغییر شکل تیر و ستون در مقایسه با تغییر شکل اتصال ناچیز است.

۳- خطای محاسبه تغییر شکل ناچیز می‌باشد.

رابطه p_e - Δ_e مقطع نبشی در حالت الاستیک به صورت زیر بدست می‌آید [۲۸]:

$$p_e = \frac{12ET}{g_1^3} \left(\frac{g_1 + g_2}{g_1 + 4g_2} \right) \Delta_e \quad (2-25)$$

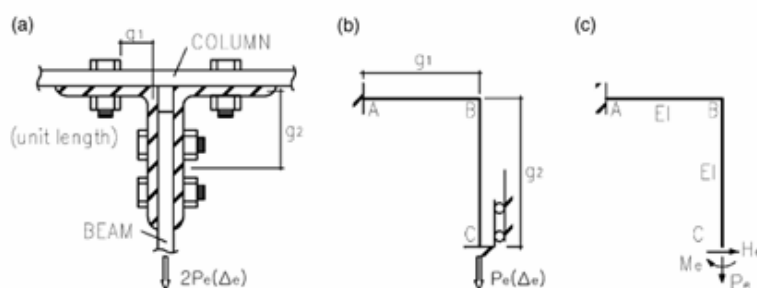
در رابطه بالا:

g_1 = فاصله محور مرکزی بال مجاور تیر تا لبه پیچ در بال مجاور به ستون

g_2 = فاصله محور مرکزی بال مجاور به ستون تا مرکز پیچ‌ها در بال مجاور به تیر

EI = سختی خمشی مقطع نبشی بر واحد طول

مقطع نبشی در وضعیت الاستیک در شکل (۲-۳۰) ارائه شده است.



شکل (۲-۳۰): مقطع نبشی در وضعیت الاستیک (a) مقطع دابل نبشی (b) مدل سازی (c) دیاگرام آزاد جسم [۲۸]

آزمایشها نشان می‌دهند که در رفتار نبشی‌ها با مکانیسم‌های مختلف، تفاوت‌هایی وجود دارد. مقطع

نبشی در وضعیت پلاستیک و نحوه تغییر شکل آن در شکل (۲-۳۱) آورده شده است. به نظر می‌رسد

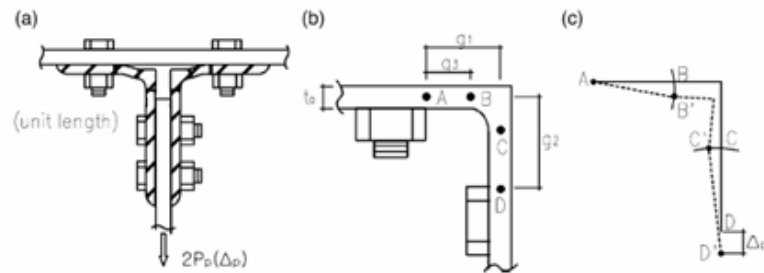
که تغییر شکل نبشی با تغییر مکان قائم Δ_p سازگاری دارد و می‌توان گفت که مقطع نبشی به صورت

زیر رفتار می‌کند:

۱- اگر مفصل پلاستیک در نقطه B شکل گیرد، قسمت $A-B$ همانند یک جسم صلب حول A دوران می‌یابد.

۲- اگر مفصل پلاستیک در C شکل گیرد، قسمت $C-D$ همانند یک جسم صلب حول D دوران می‌یابد.

۳- قسمت ماهیچه نمی‌تواند تغییر شکل یابد.



شکل (۳۱-۲): مقطع نبشی در وضعیت پلاستیک (a) مکانیسم نبشی دوبل (b) وضعیت مفاصل پلاستیک (c) وضعیت تغییر شکل یافته [۲۸]

با برابر شدن لنگر با لنگر پلاستیک، رابطه بار - تغییر مکان در وضعیت پلاستیک به صورت زیر ارائه شده است [۲۸]:

$$p_p = \frac{2M_p \left\{ (g_1 - g_3)(g_3^2 + \Delta_p^2) + \frac{1}{2}g_2\Delta_p^2 \right\}}{\left\{ g_3(g_1 - g_3)(g_3^2 + \frac{1}{2}\Delta_p^2) + g_3\Delta_p \left(\frac{1}{2}g_2\Delta_p^2 - g_1g_3 + g_3^2 \right) \right\}} \quad (۲۶-۲)$$

بطوریکه:

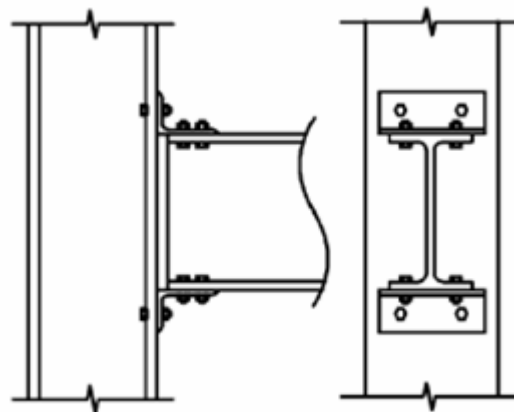
g_1 = فاصله محور مرکزی بال مجاور تیر تا نقطه A در بال مجاور ستون

g_2 = فاصله محور مرکزی بال مجاور ستون تا لبه اولین پیچ در بال مجاور تیر

g_3 = فاصله از پنجه ماهیچه تا نقطه A در بال مجاور ستون

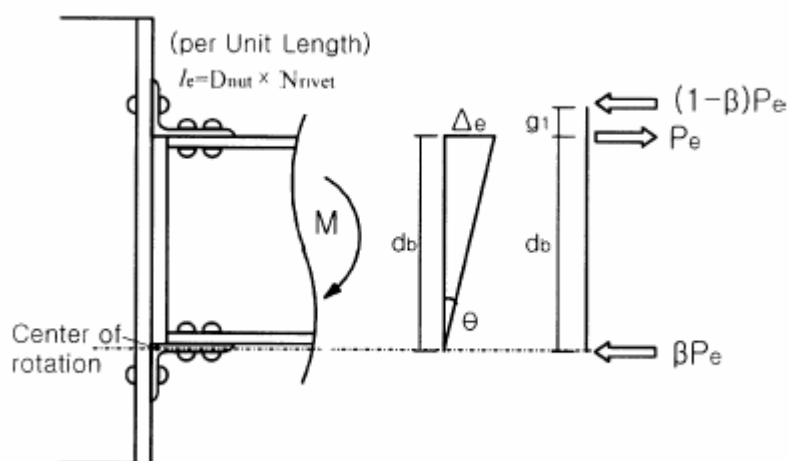
M_p = لنگر پلاستیک که برابر است با $\sigma_y t_a^2 / 4$ که t_a : ضخامت نبشی و σ_y : تنش تسلیم نبشی)

نمونه اتصال پرچ شده با نبشی تحتانی و فوقانی در شکل (۳۲-۲) نشان داده شده است. بر مبنای فرضیات استفاده شده در تحلیل رفتار نبشی‌ها، سختی اولیه می‌تواند از تئوری ارتجاعی بدست آید. نبشی بالایی مقاومت در برابر لنگر خمشی را بهبود می‌بخشد.



شکل (۳۲-۲): اتصال نیمه صلب با نبشی نشیمن و فوقانی (پرچ شده) [۲۸]

به خاطر اینکه نیروی گیرداری پرچ از پیچ کمتر است، به نظر می‌رسد که طول موثر (قطر سر پرچ $\times$ تعداد پرچ) می‌تواند در برابر لنگر خمشی مقاومت کند. همانطوریکه در شکل (۳۳-۲) نشان داده شده است، مرکز دوران اتصال در بال مجاور فشاری تیر در انتهای تیر قرار دارد.



شکل (۳۳-۲): توزیع نیروها در نبشی نشیمن و فوقانی در وضعیت الاستیک [۲۸]

بنابراین با استفاده از فرضیات بالا و رابطه $P_e - \Delta_e$ مقطع نبشی، رابطه بین لنگر M و دوران θ به

صورت زیر به دست می‌آید [۲۸]:

$$M = (p_e \cdot l_e) \times (d_b + g_l) \times \left(\frac{d_b}{\Delta_e} \right) \theta \quad (27-2)$$

بطوریکه:

l_e : طول موثر نبشی بالایی

d_e = ارتفاع تیر

بنابراین، سختی اولیه k_i به صورت زیر ارائه شده است [۲۸]:

$$k_i = \frac{12EI}{g_l^3} \left(\frac{g_l + g_2}{g_l + 4g_2} \right) \cdot l_e \cdot (d_b + g_l) \quad (28-2)$$

اگر لنگر افزایش یابد، مفاصل پلاستیک در مناطق بحرانی نبشی فوقانی تشکیل می‌شوند. در وضعیت

پلاستیک مطابق شکل (۳۴-۲) مرکز دوران در همان وضعیت الاستیک می‌باشد. براساس

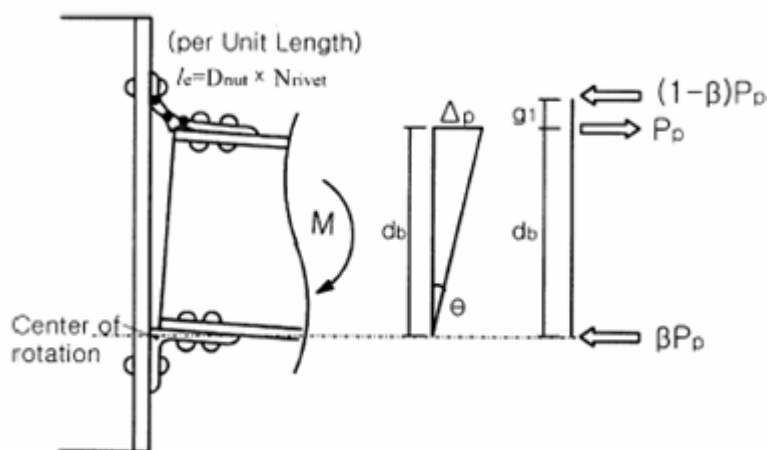
رابطه $p_p - \Delta_p$ مقطع نبشی، رابطه لنگر- دوران به صورت زیر نتیجه می‌شود [۲۸]:

$$M = (p_p \cdot l_e) \times (d_b + g_l) \times \left(\frac{d_b}{\Delta_p} \right) \theta \quad (29-2)$$

در نهایت سختی پلاستیک توسط رابطه زیر بیان می‌شود [۲۸]:

$$k_p = \frac{2M_p \{ (g_l - g_3)(g_3^2 + \Delta_p^2) + 0.5g_2\Delta_p^2 \}}{\{ g_3(g_l - g_3)(g_3^2 + 0.5\Delta_p^2) + g_3\Delta_p(0.5g_2\Delta_p^2 - g_l g_3 + g_3^2) \}} \quad (30-2)$$

در رابطه بالا، $\Delta_p = 5.08mm$ که از نتایج آزمایشگاهی گزارش شده بدست آمده است.



شکل (۳۴-۲) توزیع نیروها در نبشی تحتانی و فوقانی در وضعیت پلاستیک [۲۸]

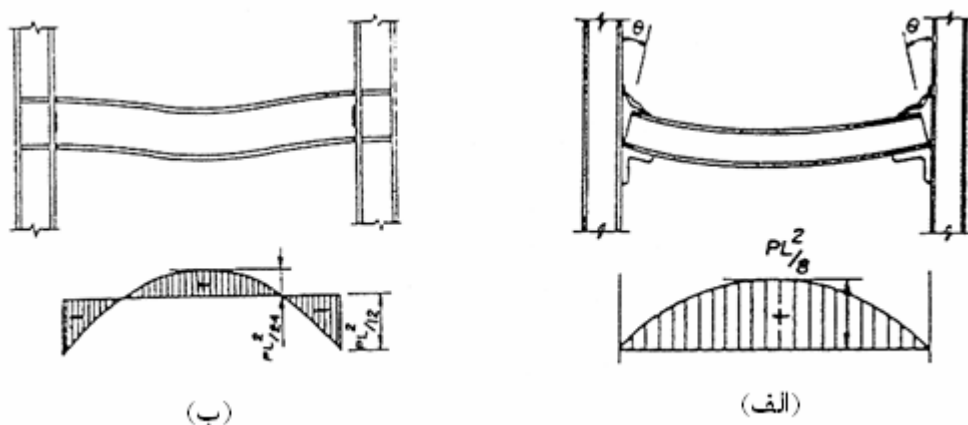
۲-۶- مفهوم درجه‌گیرداری اتصال

در روشهای محاسباتی که برای یافتن لنگرها در اسکلت‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، معمولاً دو نوع تکیه‌گاه جزء فرضیات محاسبه است.

۱- تکیه‌گاه ساده که در آن تیر آزادی دارد که دوران زاویه‌ای به خود بگیرد. در این تکیه‌گاه لنگر

گیرداری به وجود نمی‌آید. (شکل ۲۴-۲- الف)

۲- تکیه‌گاه کاملاً گیردار که در آن دوران زاویه‌ای بین تیر و ستون صورت نمی‌گیرد. معمولاً لنگرها و تنش‌هایی که در قابهای ساختمانی به دست می‌آوریم متکی بر این فرض است که زاویه بین دو قطعه متصل شده تغییر پیدا نکرده است. (شکل ۲۴-۲- ب)



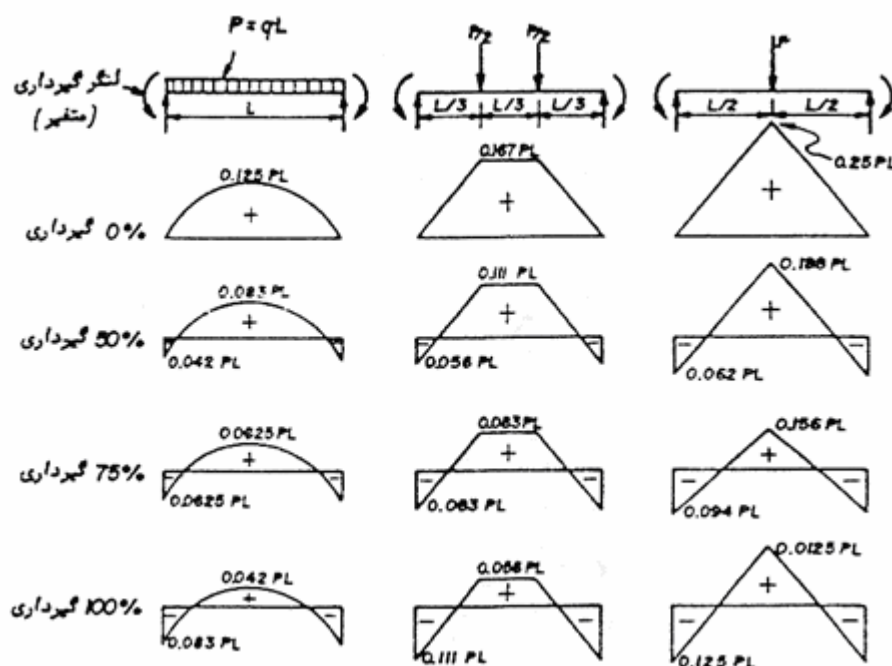
شکل (۳۵-۲): فرضیات شرایط تکیه‌گاهی [۹]

اگر تیری با تکیه‌گاه گیردار به ستون بسیار مستحکم و خمشی‌ناپذیری متصل باشد خط مماس بر میان‌تار تیر قبل از تغییر شکل با خط مماس بر میان تار تیر بعد از تغییر شکل منطبق می‌شود و می‌گوئیم حداکثر گیرداری در تکیه‌گاه به وجود آمده است. [۶]

تکیه‌گاه نوع (۱) را ۰٪ گیرداری و نوع (۲) را ۱۰۰٪ گیرداری می‌نامند.

در اتصالاتی که در عمل مورد استفاده است نوع سومی از تکیه‌گاه به وجود می‌آید که خواص بین دو حد گفته شده را دارد یعنی دوران زاویه بین تیر و ستون صورت می‌گیرد ولی مقدار آن کمتر از حالت (۱) است و در عین حال مقدار قابل توجهی لنگر گیرداری در تکیه‌گاه تولید می‌گردد، این نوع اتصال را اتصال نیمه‌گیردار می‌نامند و گیرداری آن بسته به وضع اتصال و بار و دهانه تیر ممکن است مثلاً ۲۵٪ یا ۵۰٪ یا ۷۵٪ و غیره باشد، یعنی لنگر به وجود آمده در تکیه‌گاه ۲۵٪ یا ۵۰٪ یا ۷۵٪ مقدار لنگر حالت (۲) باشد. [۹]

شکل (۲-۲۵) دیاگرامهای تغییرات لنگر تیر را برای حالات مختلف گیرداری تکیه‌گاه و بارگذاریهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳۶): دیاگرامهای تغییرات لنگر تیر برای حالات مختلف گیرداری تکیه‌گاه و بارگذاریها [۹]

با مطالعه این اشکال می‌توان نتیجه گرفت که هیچکدام از دو حالت حدی ۰٪ گیرداری و ۱۰۰٪ گیرداری از نظر وزن تیر مقرون به صرفه نمی‌باشد. در تیری که با بار یکنواخت بارگذاری شده است یعنی حالت (I)، در صورتی که گیرداری تکیه‌گاه برابر با ۷۵٪ باشد، لنگر مثبت وسط دهانه و لنگر منفی تکیه‌گاه با هم برابرند و کوچکترین لنگر را برای تعیین اندازه پروفیل تیر به دست می‌دهند، یعنی صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای به وجود می‌آید. برای بارگذاری حالت (II) نیز چنین وضعی برقرار است، فقط حالت بارگذاری (III) است که تکیه‌گاه ۱۰۰٪ گیردار وضع مقرون به صرفه می‌دهد. بنابراین در هر سه حالت بارگذاری حتی با تولید ۵۰٪ گیرداری مقدار قابل توجهی صرفه‌جویی در اندازه پروفیل تیر آهن به دست می‌آید. [۹]

رابطه زیر برای تعیین درجه گیرداری اتصال به کار می‌رود:

$$R_i = \frac{100M_i}{M_e} \quad (2-2)$$

R_i : درجه (درصد) گیرداری اتصال

M_i : لنگر انتهایی واقعی (لنگر واقعی موجود در اتصال)

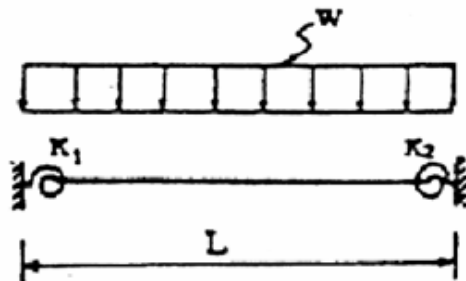
M_e : لنگر گیرداری کامل انتهایی (لنگر در اتصال با فرض گیرداری کامل اتصال)

تعاریف رایج که در بالا به آن اشاره شد شاید برای بیان مفهوم گیرداری مناسب باشد، اما نه تنها برای بقیه مسائل مربوط به اتصالات نظیر تحلیل سازه‌های با اتصالات نیمه‌گیردار کارایی ندارد، بلکه برخلاف ویژگی یک تعریف فراگیر، اصطلاحاً جامع و کامل نیست، یعنی بسادگی ممکن است یک اتصال که تیر و ستون مشخصی را در یک قاب به هم متصل می‌سازد و بنابر تعریف مثلاً ۷۵٪ گیردار است، در محلی دیگر که تنها طول تیر و یا بارگذاری تیر و یا شرایط انتهایی دیگر فرق دارد، گیرداری کاملاً متفاوت، مثلاً برابر ۵۰٪ ارائه دهد. [۶]

بعنوان نمونه، مثال ساده‌ای نظیر یک تیر منفرد را می‌توان در نظر گرفت شکل (۲-۲۶) که در انتهای خود دارای اتصالات نیمه‌گیردار است و تحت اثر بار گسترده W قرار دارد. مدل مناسب برای اتصالات آن در آنالیز فنر با سختی دورانی K_1 و K_2 خواهد بود، همچنین می‌توان نشان داد که لنگر در تکیه‌گاه سمت چپ برابر است با: [۶]

$$M_1 = \left[\frac{K_1 \left[K_2 + \frac{6EI}{L} \right]}{K_1 K_2 + \frac{4EI}{L} (K_1 + K_2) + 12 \left[\frac{EI}{L} \right]^2} \right] \frac{WL^2}{12} \quad (۲-۳)$$

با توجه به اینکه $\frac{WL^2}{12}$ لنگر گیرداری این تیر می‌باشد می‌توان عبارت داخل کروشه را مطابق با تعریف، دقیقاً همان میزان گیرداری اتصال با سختی K_1 نامید. اما از همین عبارت بخوبی مشخص می‌شود که اگر اتصال را در شرایطی کاملاً مشابه در نظر بگیریم که در آن تنها سختی انتهای دیگر تغییر کرده و یا تیر دارای طول دیگری باشد برای گیرداری اتصال مقدار متفاوتی بدست خواهد آمد. بنابراین مشخص می‌گردد که تعریف رایج برای درصد گیرداری یک اتصال، مفهومی نسبی است و از جامعیت کافی برخوردار نمی‌باشد. براین اساس بهترین پارامتری را که می‌توان بعنوان مشخصه یک اتصال معرفی نمود سختی دورانی آن و مناسب‌ترین مدل برای آن در تحلیل سازه‌ها فنر دورانی با همان سختی است.

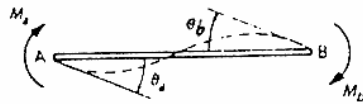


شکل (۲-۳۷): تیر منفرد با تکیه‌گاه‌های فنری [۷]

۲-۶-۱- معادله خط تیر

به منظور درک بهتر و تشخیص درجه‌گیرداری در اتصالات، مفهوم خط تیر بوسیله باتو و روان^۱ ابداع گردیده و اولین بار توسط سورچینکف^۲ مورد استفاده قرار گرفته است [۶]. این روش، شیوه‌ای گرافیکی جهت تعیین و مقایسه میزان گیرداری اتصالات می‌باشد.

مطابق شکل (۲-۳۵) تیر AB را در نظر می‌گیریم که تحت بارگذاری دلخواه و لنگرهای خمشی انتهای M_a و M_b قرار داشته و دارای شیب‌های θ_a و θ_b در انتهای خود می‌باشد.



(الف) لنگرهای انتهایی و شیب‌های نهایی



(ب) لنگرهای گیرداری

شکل (۲-۳۸): لنگر و دوران برای معادلات شیب افت (جهت مثبت لنگرها) [۶]

لنگرهای خمشی لازم برای آنکه $\theta_a = \theta_b = 0$ باشد، به عنوان لنگرهای گیرداری M_{fa} و M_{fb}

نام‌گذاری می‌کنیم. در اینصورت روابط شیب-افت به صورت زیر می‌باشد.

$$M_a = M_{fa} + \frac{4EI}{L}\theta_a + \frac{2EI}{L}\theta_b \quad (۲-۳۱)$$

$$M_b = M_{fb} + \frac{2EI}{L}\theta_a + \frac{4EI}{L}\theta_b \quad (۲-۳۲)$$

اگر دو معادله بالا را برای θ_a و θ_b حل نموده و دو معادله را از هم کم کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{6EI}{L}(\theta_a - \theta_b) = 3(M_a - M_b) - 3(M_{fa} - M_{fb}) \quad (۲-۳۳)$$

¹ Batho & Rowan

² Surochinkoff

با در نظر گرفتن تقارن بارگذاری داریم:

$$M_a = -M_b, \quad \theta_a = -\theta_b, \quad M_{fa} = -M_{fb} \quad (34-2)$$

با جاگذاری مقادیر فوق در رابطه (۴)، بدست می‌آید:

$$2 \frac{EI}{L} \theta_a = M_a - M_{fa} \quad (35-2)$$

یا

$$M_a = M_{fa} + \frac{2EI}{L} \theta_a \quad (36-2)$$

رابطه فوق را معادله خط تیر نامگذاری کرده‌اند.

در حالت گیرداری کامل ($\theta_a = 0$) لنگر انتهایی برابر لنگر گیرداری بوده ($M_a = M_{fa}$) و برای

انتهای مفصلی ($M_a = 0$)، شیب انتهایی برابر خواهد بود با:

$$\theta_a = -\frac{M_{fa}}{(2EI/L)} \quad (37-2)$$

به عنوان مثال، رابطه‌ای که لنگر انتهایی M_e و دوران انتهایی θ_e را برای تیر تحت بار گسترده

یکنواخت از گیرداری کامل تا انتهای ساده به یکدیگر مرتبط می‌کند، به صورت زیر می‌باشد:

$$M_e = -\frac{EI}{L} \theta_e - \frac{WL}{12} \quad (38-2)$$

(W کل بار گسترده یکنواخت وارده بر تیر)

رابطه فوق نشان‌دهنده یک خط مستقیم می‌باشد که دو نقطه b' و a' در روی نمودار شکل (۲-۲)

(۳۶) ابتدا و انتهای آن می‌باشند.

نقطه a' نشان‌دهنده گیرداری کامل است ($\theta_e = 0$). در این حالت لنگر انتهایی همان لنگر

گیرداری انتهایی خواهد بود.

$$(a') \quad M_e = -\frac{WL}{12} \quad (39-2)$$

نقطه b' نشان دهنده یک اتصال انتهایی ساده است که در آن لنگر انتهایی M_e برابر با صفر

می باشد ($M_e = 0$). وضعیت تیر در این حالت همان وضعیت تیر ساده با دوران انتهایی زیر خواهد بود:

$$(b') \quad \theta_e = -\frac{WL^2}{24EI} \quad (۴۰-۲)$$

خطی که دو نقطه a' و b' را به یکدیگر متصل می کند همان خط تیر می باشد. اگر بار روی تیر

افزایش یابد، خط تیر موازی با خط اولیه به طرف خارج حرکت می کند. بدیهی است که حرکت این

خط با افزایش مقدار لنگر انتهایی و چرخش انتهایی (θ_e) همراه خواهد بود.

خط تیر در حالت دوم (خط چین) نشان دهنده ضرایب اطمینان می باشد و معمولاً بین ۱٫۶۷ تا ۲

برابر خط قبلی که بر مبنای بارگذاری مجاز بدست آمده، می باشد.

نقطه ای که در آن نمودار اتصال ($M_e - \theta_e$)، خط تیر را قطع می کند، نشان دهنده لنگر- دوران

انتهایی در اثر بارگذاری موجود خواهد بود. از اینجا دیده می شود که چگونه رفتار یک تیر بستگی به

اتصال آن دارد. در این حالت فرض می شود که تیر به صورت متقارن بارگذاری شده و اتصال دو انتها

یکسان می باشد. با این فرضیات عکس العمل دو انتها نیز برابر خواهد شد. [۷]

منحنی (۱) نشان دهنده یک اتصال انعطاف پذیر است که در یک لنگر بسیار پایین، بدون اینکه در

آن خرابی رخ دهد، جاری شده (M_I) و اجازه می دهد که اتصال دوران (θ_I) کند. این اتصال می تواند

یکی از انواع زیر باشد: [۷]

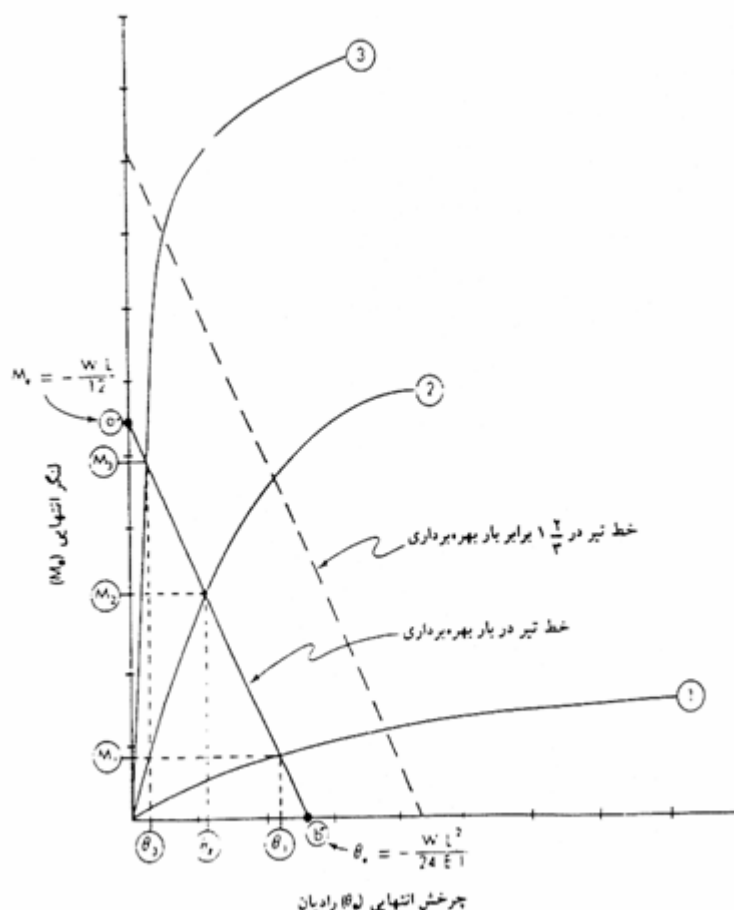
الف- نبشی نشیمن با نبشی فوقانی، ب- نبشی جان و ج- ورق فوقانی ضعیف که اجازه جاری

شدن می دهد. با توجه به اینکه به این اتصال، انعطاف پذیر گفته می شود ولی باز در انتهای آن لنگری

تولید می گردد.

منحنی (۲) نشان‌دهنده یک اتصال نیمه‌صلب است. این اتصال از نوع اتصال با ورق فوقانی می‌باشد و طوری طرح شده که در زیر بارهای خدمت به طور مؤثری جاری می‌شود تا دوران لازمه را در اتصال تولید کند. ولی هنوز صلبیت کافی برای انتقال لنگر انتهایی مربوطه را دارد.

اگرچه پیشنهاد شده که در اتصال نیمه‌صلب می‌توان نبشی ضخیم به جای ورق فوقانی استفاده کرد ولی از لحاظ محاسبه، ساخت و کاربرد به طوری که بتواند لنگر انتهایی معینی را تحمل کند، بسیار غیرعملی است. [۷]



شکل (۲-۳۹) منحنی لنگر-دوران و خطوط تیر [۵]

منحنی (۳) نشان‌دهنده رفتار یک اتصال صلب می‌باشد که در آن از ورق فوقانی استفاده شده است. این اتصال برای آن طرح شده که بتواند تمام لنگر گیرداری انتهایی را منتقل نماید. در این

حالت از آنجایی که قصدی برای جاری شدن مصالح در اتصال نمی‌باشد، ورق فوقانی تا حد ممکن کوتاه انتخاب می‌شود.

هر یک از سه نوع اتصال یک ظرفیت باربری وسیعی دارند که به وسیله منحنی بین دو خط تیر در حالت بهره‌برداری و ۱٫۶۷ برابر آن نشان داده شده است.

بنابراین برای رسم خط تیر باید دو نقطه از خط تیر را در حالی که تمام بارها بر روی آن مؤثر است، بدست آورد. این دو نقطه عبارتند از:

الف- لنگر انتهایی کل M_e در حالتی که تیر به صورت گیردار است.

ب- زاویه دوران انتهایی θ_e وقتی که تیر به صورت ساده است.

لنگر گیرداری M_e را می‌توان به وسیله جداول طراحی با در نظر گرفتن اصل جمع آثار قوا بدست آورد. با داشتن M_e مقدار دوران انتهایی تیر ساده θ_e از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\theta_e = \frac{M_e L}{2EI} \quad (۴۱-۲)$$

۷-۲- کلیاتی در مورد تحلیل غیرخطی

۷-۲-۱- مقدمه

تئوری خطی مرسوم تحلیل سازه‌ها بر پایه دو فرض اساسی بنا شده است. خطی بودن رفتار مصالح، که بیانگر خطی بودن روابط تنش- کرنش می‌باشد و خطی بودن هندسی، که تغییرمکان‌ها کوچک تلقی می‌شوند، کرنش‌ها توابع خطی از تغییرمکان‌ها هستند و معادلات تعادل برای شکل اولیه سازه نوشته می‌شوند. [۱]

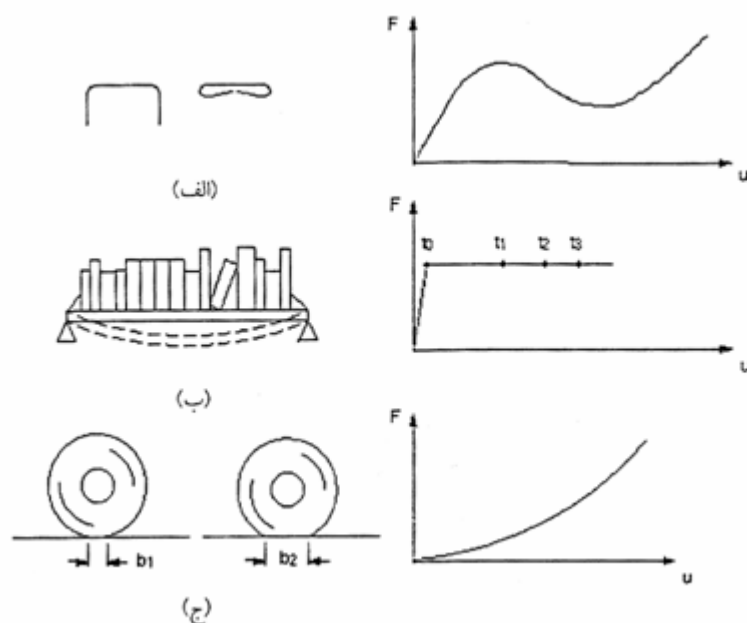
به طور کلی تئوری درجه یک خطی در شرایط عادی به اندازه کافی جوابگوی مسائل تحلیل سازه‌ها در مهندسی عمران می‌باشد. ولی اگر بارهای خارجی افزایش یابند و از حد مقدار فرض شده در هنگام طراحی فراتر روند (مطالعه رفتار سازه در محدوده گسیختگی)، تئوری خطی با افزایش بار به

تدریج از اعتبار می‌افتد و پاسخ سازه مورد مطالعه، رفتار غیرخطی پیدا می‌کند. بنابراین برای بررسی رفتار واقعی سازه‌ها از روش‌های تحلیل غیرخطی که به نتایج واقعی نزدیک‌ترند استفاده می‌شود.

۲-۷-۲- رفتارهای غیرخطی سازه‌ها

احتمالاً هر کسی در جریان امور روزمره، به نحوی با رفتارهای غیرخطی مواجه می‌شود. به عنوان مثال، هرگاه دو برگ کاغذ را توسط منگنه به هم دوخت کنیم، میخ منگنه به طور دائمی به شکل متفاوتی خم می‌شود (شکل ۲-۴۴). اگر بار سنگینی را بر روی یک قفسه چوبی قرار دهیم، با گذشت زمان به میزان خمیدگی آن افزوده می‌گردد (شکل ۲-۴۴). هنگامی که بار یک اتومبیل یا کامیون افزایش می‌یابد، سطح تماس بین تایرهای بادی آن و جاده، برای مقابله با مقدار بار اضافی تغییر می‌کند (شکل ۲-۴۴). [۱۵]

اگر منحنی نیرو- تغییر شکل برای هر یک از این مثال‌ها ترسیم شود، مشاهده خواهد شد که همه آنها ویژگی اصلی یک رفتار غیرخطی سازه‌ای را به نمایش می‌گذارند و آن، منحنی سختی به ازای مقادیر مختلف بار است. [۱]



شکل (۲-۴۰): مثال‌هایی از رفتار غیرخطی سازه‌ای [۱۴]

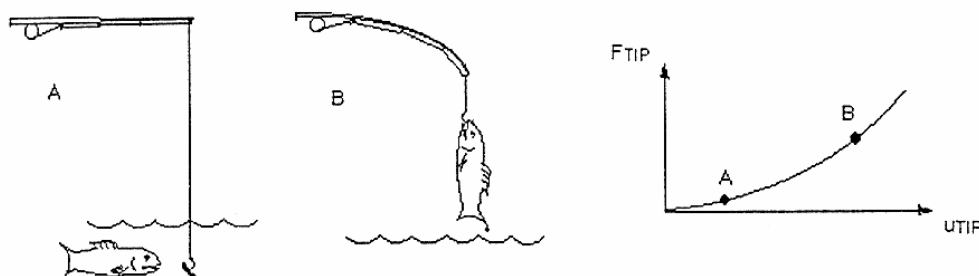
رفتارهای غیرخطی را می‌توان به سه گروه تقسیم‌بندی نمود [۱۵]:

الف- رفتار غیرخطی ناشی از تغییر حالت

بسیاری از اجزای سازه‌های معمولی، نوعی از رفتار غیرخطی را نشان می‌دهند که وابسته به حالت آنها می‌باشد. به عنوان مثال، یک کابل که فقط به صورت کششی عمل می‌کند، می‌تواند شل یا کشیده باشد؛ یک تکیه‌گاه غلطکی در شرایط خاصی می‌تواند تماسی را ایجاد کند یا حالت غیرتماسی داشته باشد؛ یک لایه منجمد می‌تواند در یک حالت به صورت منجمد و در حالت دیگر به صورت ذوب شده باشد. در چنین مواردی سختی عناصر به طور ناگهانی بین مقادیر مختلف تغییر می‌کند. این تغییر حالت ممکن است به طور مستقیم وابسته به بار باشد (مثل وضعیت کابل) یا ناشی از عوامل خارجی دیگر (مثل عامل حرارت در لایه منجمد) باشد.

ب- رفتار غیرخطی هندسی

اگر یک سازه، متحمل تغییرشکل‌های بزرگی شود ساختار هندسی آن تغییر می‌کند. به عنوان مثال، چوب ماهیگیری شکل (۲-۴۵) را در نظر بگیرید. تحت اثر بار جانبی کم، نوک میله دارای سختی جانبی کمی است (شیب منحنی $F-u$ در نقطه A). وقتی بار جانبی افزایش می‌یابد تحت تأثیر کاهش بازوی لنگر، افزایش سختی را در بارهای زیادتر نشان می‌دهد (شیب منحنی $F-u$ در نقطه B). مشخصه رفتار غیرخطی هندسی، جابجایی‌ها و یا دوران‌های بزرگ می‌باشد.



شکل (۲-۴۱): چوب ماهیگیری که حالت غیرخطی هندسی را نشان می‌دهد [۱۵]

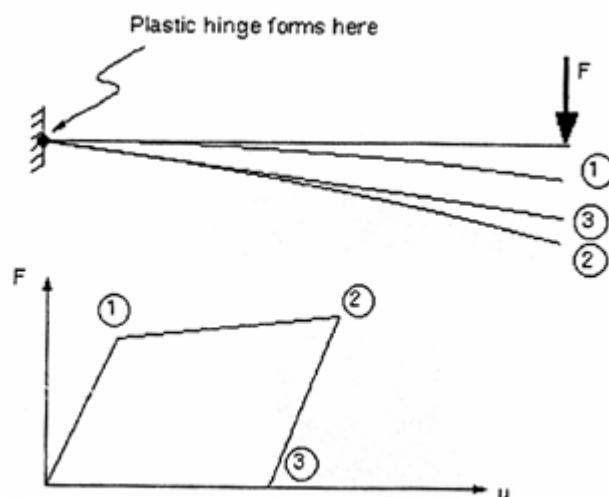
ج- رفتار غیرخطی مصالح (مادی)

بعضی از سازه‌ها در تغییرشکل‌های کوچک دچار تنش‌های بالاتر از مقدار حدی ماده متشکله شده و با پیدایش مفصل پلاستیک، خرابی موضعی یا کلی در آنها ظاهر می‌گردد که این رفتار غیرخطی مادی نامیده می‌شود. عموماً رابطه غیرخطی بین تنش- کرنش، علت بروز این نوع رفتار غیرخطی در سازه‌ها است. [۱۵]

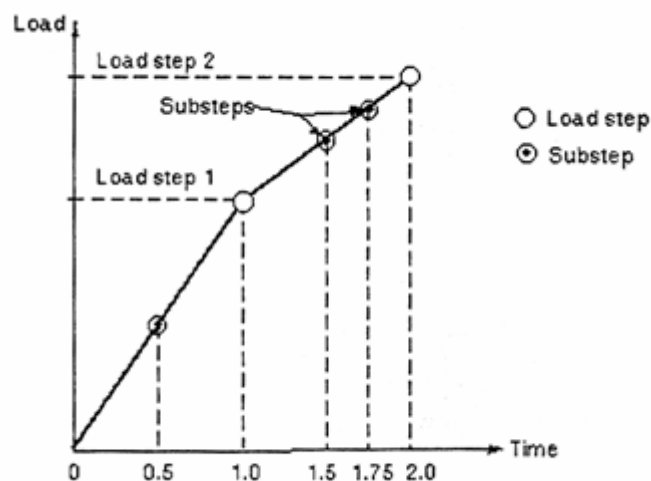
۲-۷-۳- نحوه اعمال بار برای تحلیل غیرخطی

در بسیاری از تحلیل‌ها، تنش‌ها و یا جابجایی‌ها فقط در مقادیر بار و یا زمان‌های مشخص موردنیاز هستند. اگر سیستم موردنظر کنسرواتيو (پایستار) باشد تحلیل آن مستقل از مسیر است، یعنی بارها به طور معمول می‌توانند با هر ترکیب و هر تعداد مرحله (افزایش) اعمال شوند، بدون اینکه روی نتایج نهایی تأثیری داشته باشند. برعکس، تحلیل یک سیستم غیرکنسرواتيو وابسته به مسیر است یعنی تاریخچه بار- پاسخ واقعی سیستم باید دقیقاً دنبال شود تا نتایج دقیقی حاصل شود. همچنین یک تحلیل می‌تواند وابسته به مسیر باشد اگر بیش از یک جواب برای یک مقدار بار موردنظر وجود داشته باشد. در این‌گونه مسائل محاسبه پاسخ به طور مؤثری با استفاده از یک تحلیل نموّی مرحله به مرحله (یعنی اعمال بارها در مراحل افزایشی به صورت تدریجی در چندین گام بارگذاری) انجام می‌شود. در شکل (۲-۴۶) رفتار یک سیستم غیر کنسرواتيو نشان داده شده است [۱۵].

بنابراین یک روش برای تحلیل غیرخطی این است که کل بار به یک سری از بارهای نمویی افزایشی تبدیل شود. بارهای نمویی را می‌توان در چندین گام بارگذاری یا در یک گام بارگذاری با چندین زیر گام (شکل ۲-۴۷) به کار برد. [۱۵]



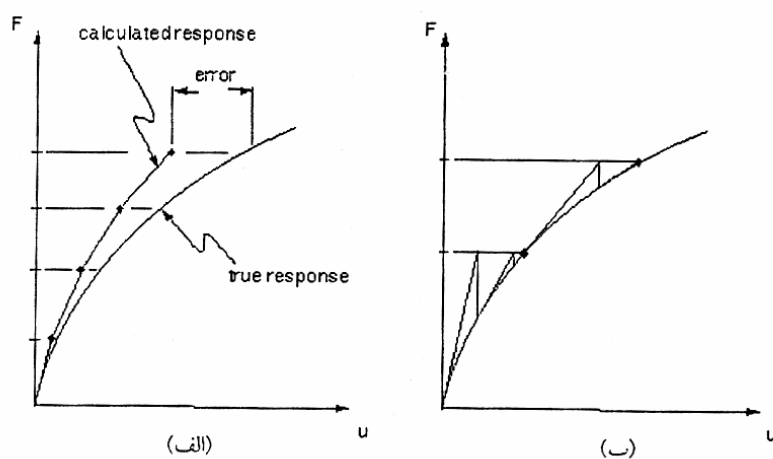
شکل (۲-۴۲): رفتار سیستم غیر کنسرواتیو (وابسته به مسیر) [۱۵]



شکل (۲-۴۳): بارگذاری در چندگام یا زیر گام [۱۴]

در هر حل نمویی کامل، ماتریس سختی با توجه به تغییرات غیرخطی سختی سازه، اصلاح می‌شود قبل از اینکه بار به مرحله بعدی بار نموی برسد. اما به دلیل فرض خطی بودن منحنی نیرو-تغییر شکل در هر گام یا زیر گام بارگذاری خطاهایی به وجود می‌آید. یک روش نموی، تنها، ذاتاً میزان خطا را در هر مرحله افزایش می‌دهد یا به عبارت دیگر خطاها در هر مرحله جمع می‌شوند و سبب می‌شود که نتایج نهایی نامتعادل باشد (شکل ۲-۴۸).

برای حل این مشکل عملاً از یک فرایند تکراری برای کم کردن خطا در هر گام استفاده می‌شود .
روش نیوتن- رافسون یکی از معروف‌ترین روش‌های تکراری حل دستگاه معادلات غیرخطی است
[۱۵].



شکل (۲-۴۴): مقایسه روش فقط نمویی و روش نیوتن- رافسون [۱۴]

۲-۷-۴ روش نیوتن- رافسون [۱۵]

در روش المان محدود، دستگاه معادلات تعادل یک سیستم را می‌توان به صورت زیر تشکیل داد:

$$[k]\{u\} = \{F^a\} \quad (۲-۶۱)$$

در رابطه فوق:

$[k]$: ماتریس سختی

$\{u\}$: بردار مقادیر نامعلوم درجه آزادی

$\{F^a\}$: بردار بارهای اعمال شده می‌باشد.

اگر ماتریس ضرایب $[k]$ تابعی از مقادیر نامعلوم درجه آزادی (یا مشتق آنها) باشد آنگاه معادله

(۲-۶۱) یک معادله غیرخطی است.

روش نیوتن-رافسون یک روش تکراری حل معادلات غیرخطی است و می‌توان به صورت زیر

نوشت:

$$[k_i^T] \{ \Delta u_i \} = \{ F^a \} - \{ F_i^{nr} \} \quad (۶۲-۲)$$

$$\{ u_{i+1} \} = \{ u_i \} + \{ \Delta u_i \} \quad (۶۳-۲)$$

در رابطه فوق:

$[k_i^T]$: ماتریس مماسی

i : زیرنویسی که نشان‌دهنده شماره تکرار جاری است.

$\{ F_i^{nr} \}$: بردار بار ناشی از بارهای داخلی المان می‌باشد.

طرف راست معادله (۶۲-۲) یک بردار بار نامتعادل یا مانده می‌باشد و مقدار باری است که سیستم

را از حالت تعادل خارج می‌کند.

شکل (۴۹-۲) روش حل تکراری را برای مدلی با یک درجه آزادی نشان می‌دهد. در یک آنالیز

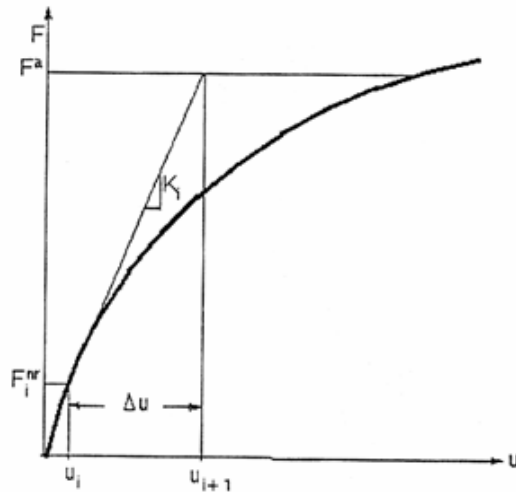
سازه‌ای، $[k_i^T]$ ماتریس سختی مماسی است، $\{ u_i \}$ بردار جابجایی و $\{ F_i^{nr} \}$ بردار نیرویی که از

تنش‌های المان محاسبه شده است. در آنالیزهای حرارتی، الکترومغناطیس و گذرا $\{ F_i^{nr} \}$ ، $\{ u_i \}$ و

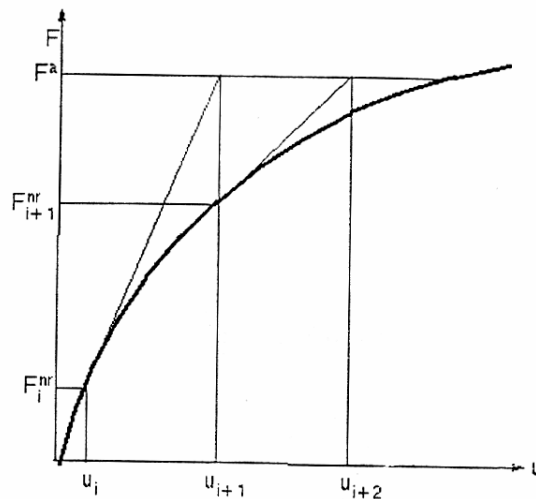
$[k_i^T]$ مفاهیم متفاوتی دارند.

همانطوری که از شکل‌های (۴۹-۲) الی (۵۰-۲) به نظر می‌رسد، بیش از یک تکرار نیوتن-رافسون

برای بدست آوردن یک حل همگرا شده نیاز است.



شکل (۲-۴۵): روش نیوتن-رافسون برای یک تکرار [۱۵]



شکل (۲-۴۶): روش نیوتن-رافسون برای تکرار بعدی $(i+1)$ [۱۵]

مراحل الگوریتم کلی روش نیوتن-رافسون به صورت زیر می باشد: [۱۵]

۱- مقداری برای $\{u_0\}$ فرض می شود. مقدار $\{u_0\}$ معمولاً جواب همگرایی حاصل از گام های زمانی

قبلی است. $\{u_0\}$ در اولین گام زمانی، صفر فرض می شود.

۲- محاسبه ماتریس سختی مماسی اصلاح شده $[k_i^T]$ و $\{F_i^{nr}\}$ بردار ناشی از تنش های المان که

با استفاده از $\{u_i\}$ محاسبه شده اند.

۳- محاسبه $\{\Delta u_i\}$ از معادله (۲-۶۲)

۴- افزودن $\{\Delta u_i\}$ به $\{u_i\}$ برای بدست آوردن تخمین بعدی $\{u_{i+1}\}$ در معادله (۶۳-۲)

۵- تکرار گام‌های ۲ الی ۴ تا زمانی که همگرایی بدست آید.

روابط روش نیوتن-رافسون را در حالت کلی و برای گام زمانی n و تکرار i می‌توان به صورت زیر

بیان نمود:

$$[k_{n,i}^T] \{\Delta u_i\} = \{F_n^\alpha\} - \{F_{n,i}^{nr}\} \quad (۶۴-۲)$$

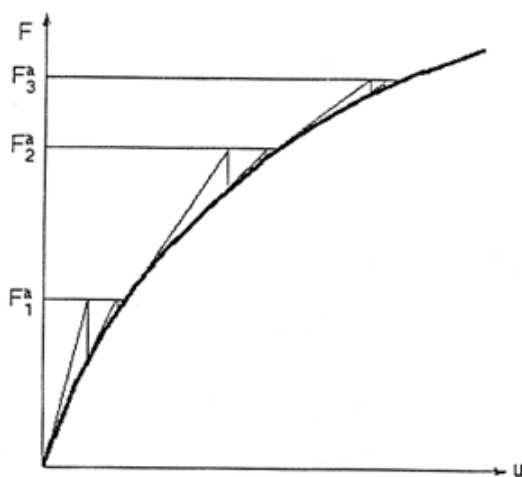
در رابطه بالا:

$[K_{n,i}^T]$: ماتریس مماسی برای گام زمانی n و تکرار i

$\{F_n^\alpha\}$: مجموعه بارهای استفاده شده در گام زمانی n

$\{F_{n,i}^{nr}\}$: بردار بار برای گام زمانی n و تکرار i

مراحل روش نمویی نیوتن-رافسون در شکل (۴۷-۲) آورده شده است:



شکل (۴۷-۲): روش نیوتن-رافسون نمویی [۱۵]

فصل سوم

**معرفی نرم افزار *ANSYS*
و نحوه مدلسازی اتصالات در
این نرم افزار**

۳-۱- آشنایی کلی با روش اجزاء محدود و برنامه ANSYS

۳-۱-۱- آشنایی کلی با روش اجزاء محدود

به طور کلی برای حل مسائل فیزیکی سه روش موجود است:

۱- روش تحلیلی دقیق ۲- روش عددی ۳- روش تجربی

در حل دقیق همانطور که از نام آن مشخص است، به محاسبه دقیق پارامتری معادلات دیفرانسیل حاکم بر میدان‌های فیزیکی همچون میدان حرارتی، میدان تنش، میدان الکتریکی و ... می‌پردازند. در حالیکه در روش دوم به حل تقریبی و عددی این مسائل پرداخته می‌شود. روش تجربی یا آزمایشگاهی نیز با توجه به اینکه مبتنی و برگرفته از خود واقعیت می‌باشد، روش مناسبی محسوب می‌گردد.

در این میان روش حل عددی که اجزاء محدود زیرمجموعه آن می‌باشد، جزء یکی از پرکاربردترین روشهای مورد استفاده در حل مسائل مهندسی است. از جمله مزیت‌های حل عددی خصوصاً اجزاء محدود نسبت به روشهای دیگر به شرح زیر است:

۱- ضعف عمده روش آزمایشگاهی، پرهزینه و زمانگیر بودن آن می‌باشد. در حالیکه در روش حل عددی اینچنین نیست.

۲- روش حل دقیق از تحلیل مدل‌های با هندسه پیچیده عاجز است و تنها روشهای حل عددی به خصوص اجزاء محدود در این زمینه کارگشا است.

۳- در حل مسائلی که شرایط مرزی کمی پیچیده می‌شود نیز حل دقیق ناتوان است و تنها روشهای مرسوم عددی در حل این نوع مسائل بکار می‌رود.

اصطلاح اجزاء محدود برای اولین بار توسط کلاف در سال ۱۹۶۰ جهت حل مسائل الاستیسیته دوبعدی به کار گرفته شد. هر چند اولین شخصی که عملاً از این روش در حل مسائل پیچش استفاده نمود کورانت در سال ۱۹۴۳ است [۲].

بدون شک روش اجزاء محدود انقلابی در صنعت جهان و نحوه نگرش به تحلیل و طراحی به وجود آورد. حل مسائلی که توسط روش معمول تحلیلی غیرممکن می‌نمود، قابلیت مدلسازی پروسه‌های واقعی صنعتی با کمترین ساده‌سازیها، توانمندی روش در ارائه نتایج قابل اطمینان، کاهش هزینه‌های سنگین تست‌های عملی در پروسه‌های طراحی، سرعت بالای روش در حل مسائل و بالاخره افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی در طراحی باعث گردید تا این روش به عنوان جزء لاینفک پیشرفت صنعتی درآید.

در روش اجزاء محدود غالباً مسائل فیزیکی به کمک معادلات دیفرانسیل حاکم بر سیستم و یا به کمک کمینه نمودن انرژی پتانسیل حل می‌شوند. روش کار بدین صورت است که کل مدل هندسی به اجزاء ریزتری به نام المان تقسیم می‌شود. هر المان خود دارای گره‌هایی است که مقادیر ورودی (بارگذاری و شرایط مرزی) و خروجی (نتایج) به آنها اختصاص داده می‌شوند.

هر المان دارای یک رفتاری است که به آن تابع شکل می‌گویند و مقدار درجه آزادی (مثلاً جابجایی: u) در هر ناحیه از المان را مشخص می‌کند شرط اصلی انتخاب تابع شکل مناسب، قابلیت ارضاء شدن شرایط مرزی توسط آن تابع است، که می‌تواند این تابع درجه یک، درجه دو و یا هر تابع دیگری باشد. قابل ذکر است نرم‌افزارهای اجزاء محدود غالباً از توابع چندجمله‌ای یعنی $(ax^n + bx^{n-1} + \dots)$ برای تعریف تابع شکل استفاده می‌کنند. با بالا بردن مرتبه تابع شکل می‌توان دقت را افزایش داد.

با توجه به اینکه روش اجزاء محدود منتهی به حل یک دستگاه معادلات می‌شود و حل دستگاه معادلات در کامپیوتر به صورت آرایه‌ای و برداری قابل انجام می‌باشد، از اینرو سعی می‌شود تا تمامی روابط و معادلات در اجزاء محدود به صورت آرایه‌ای و برداری ارائه گردند.

روش کمینه نمودن انرژی پتانسیل غالباً برای حل مسائل سازه‌ای به کار می‌رود و اولین بار توسط کورانت ارائه شد [۲]. روشهای کاهش خطای معادلات دیفرانسیل حاکم عموماً به روشهای تابع وزنی مرسوم می‌باشند. در این روشها، سعی می‌کنند تا با صور مختلف مقدار ثابت های (ضرایب) تابع شکل حدس زده شده را طوری تعیین کنند تا خطای حاصل از تقریبی بودن و حدسی بودن تابع شکل را نسبت به معادله دیفرانسیل حاکم بر مسئله کاهش دهند. یکی از این روشها، روش گالرکین است، در این روش تابع وزنی همان تابع شکل است و انتگرال ضریب تابع شکل در معادله دیفرانسیل برابر صفر قرار می‌گیرد.

۳-۱-۲- معرفی نرم افزار ANSYS

برنامه ANSYS در سال ۱۹۷۱ توسط شرکت SAS Inc به عنوان یکی از پیشگامان نرم افزارهای اجزاء محدود ساخته شد و مورد استفاده محققان قرار گرفت و جزء اولین نرم افزارهایی است که آنالیزهای غیرخطی، مکانیک شکست، مخازن و سایر آنالیزها را در بسته نرم افزاری خود قرار داد.

از جمله ویژگیهای این نرم افزار می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: [۱]

۱- حل گره‌ای قدرتمند و هوشمند این نرم افزار، کاربرد آنرا از کاربردهای تحقیقاتی به کاربردهای صنعتی ارتقاء داده است به طوری که هم در امور تحقیقاتی و هم در امور صنعتی می‌توان از آن استفاده کرد.

۲- مدلسازی و شبکه‌بندی در این نرم افزار ساده و در عین حال قدرتمند است.

۳- رابطهای گرافیکی کاربر این نرم افزار گویا است و دسترسی و کار با آنها ساده است.

۴- در این نرم افزار امکان انجام تحلیل های مختلف مقدور است به طوری که از آن در سه شاخه مهندسی مکانیک، عمران و الکترونیک استفاده مستقیم می شود و در شاخه های مهندسی مواد، شیمی و پلیمر قابل بهره برداری می باشد.

۵- این نرم افزار دارای رابط هایی است که امکان برقراری ارتباط با نرم افزارهای CAD و نرم افزارهای دیگر اجزاء محدود را میسر کرده است.

۶- در این نرم افزار روشی موجود است که به کاربر اجازه می دهد تا قابلیت های نرم افزار را به کمک ماکرو افزایش دهد. لذا کاربر این اجازه را می یابد تا مطابق با نیاز ویژه خود امکانات نرم افزار را به کار گیرد.

۷- دسترسی ساده تر و در عین حال بسیار جامع تر به نتایج خروجی نرم افزار در این نرم افزار موجود است.

در تمامی بخش های ANSYS همواره دو روش را می توان برای وارد کردن اطلاعات بکار برد:

۱- با استفاده از خط دستور

۲- با استفاده از منوهای گرافیکی (GUI)

در روش اول می توان دستورات را خط به خط و مجزا وارد نمود و یا اینکه تمام دستورات را در داخل یک فایل ورودی قرار داد. در روش دوم برای وارد کردن اطلاعات به برنامه از منوهای آماده ای که در صفحه نمایش ANSYS وجود دارد، می توان استفاده کرد. بیشتر دستورات ANSYS در این منوها وجود دارد. در صورت عدم وجود دستوری خاص بایستی از روش اول، دستور موردنظر را از طریق خط دستوری که همواره در صفحه نمایش نمایان است، به برنامه وارد نمود.

محیط برنامه ANSYS به ۵ ناحیه عمده متفاوت تقسیم می شود: [۱]

۱- *ANSYS Utility Menu*: این منو که با توجه به محصول انتخاب شده نامگذاری می‌شود، یکی از

منوهای مهم نرم‌افزار است که در مراحل مختلف یک تحلیل از آن استفاده زیادی می‌شود.

۲- *ANSYS Main Menu*: این منو که به منوی اصلی نرم‌افزار معروف است، محل قرارگیری

پردازشگرهای نرم‌افزار است و یکی از منوهای مهم در نرم‌افزار است.

۳- *ANSYS Input*: این منو برای وارد کردن دستورات نرم‌افزار به کار می‌رود.

۴- *ANSYS Toolbar*: در این منو کلیدهای نظیر *SAVE. DB* و *RESUME. DB* و ... موجود است و برای

ذخیره‌سازی، فراخوانی داده‌ها، خروج از نرم‌افزار، نمایش و ... به صورت مستقیم به کار می‌رود.

۵- *ANSYS Graphic Window*: این پنجره سیاه‌رنگ که فضای بزرگی را اشغال کرده است به پنجره

گرافیکی معروف است و کلیه نمایش‌های گرافیکی و نموداری نرم‌افزار در این پنجره نمایش داده می‌شود.

۶- *ANSYS Output*: کلیه خروجی‌های نرم‌افزار، دستورات اجرا شده و ... نوشته می‌شود.

برای یک آنالیز کامل در *ANSYS* می‌توان سه مرحله کلی را به صورت زیر در نظر گرفت:

الف- ساخت مدل

ب- بارگذاری و آنالیز

ج- مشاهده نتایج

ایجاد یک مدل المان محدود بیشترین وقت کاربر *ANSYS* را نسبت به سایر بخش‌های تحلیل

می‌گیرد. در این قسمت ابتدا نام و عنوانی برای مدل انتخاب می‌شود، سپس از طریق پردازشگر

Prep7 یا *Preprocessor* نوع المان‌ها، مقادیر ثابت المان‌ها، خواص مواد و هندسه مدل تعیین می‌شوند. در

کتابخانه المان *ANSYS*، المانهای زیادی وجود دارد. نام هر المان از یک پیشوند و یک عدد تشکیل شده

است که به ترتیب گروه و نوع المان را مشخص می‌کند. به عنوان مثال می‌توان به المان‌های

BEAM 4 ، PLANE 77 و SOLID 96 اشاره کرد. لیست تمام المانهای موجود در کتابخانه این نرم افزار در

پیوست آمده است.

گروه‌های مختلف المان‌ها به صورت زیر هستند:

BEAM	LINK	SOLID
COMBINATION	MASS	SOURCE
CONTACT	MATRIX	SURFACE
FLUID	PIPE	USER
HYPER elastic	PLANE	INTERFACE
INFINITE	SHELL	VISCO elastic (or viscoplastic)

در برنامه ANSYS کاربر می‌تواند به دلخواه نوع المان را بوجود آورد و آن را به کتابخانه المان ANSYS

اضافه نماید. حداکثر شش المان مستقل را می‌توان ایجاد نمود.

مقادیر ثابت المان‌ها خصوصیتی هستند که وابسته به نوع و مشخصات المان هستند و برای المان‌های مختلف، تعداد و مفهوم مقادیر ثابت، متفاوت است. برای مثال، در المان جرم تعریف مقدار ثابت جرم در هر جهت (z,y,x) لازم است. البته بعضی المان‌ها مثل SOLID 45 نیاز به مقادیر ثابت ندارند.

خواص مواد بکار رفته در المان‌ها را می‌توان به صورت خطی یا غیرخطی، ایزوتروپ یا ارتوتروپ و یا غیرایزوتروپ، ثابت یا وابسته به دما، به برنامه معرفی نمود. خواص غیرخطی مواد به صورت اطلاعات فهرست شده، مانند خواص پلاستیکی (منحنی تنش - کرنش)، اطلاعات مربوط به خزش، تورم و مواد هایپرالاستیک می‌باشد. برای هر مجموعه از خواص مواد، عددی اختصاص داده می‌شود و قبل از معرفی هر المان، نوع مواد آن المان مشخص می‌گردد. خواص مواد المان‌ها را می‌توان به هنگام ایجاد داده‌ها به

ANSYS معرفی نمود و نیز می‌توان اطلاعات مربوط به خواص مواد را در داخل فایل ذخیره کرد و کتابخانه‌ای از خواص مواد به وجود آورد و به هنگام معرفی المان‌ها از آنها استفاده نمود.

پس از تعیین خواص مواد، مرحله ایجاد المان‌بندی مدل است. قابل ذکر است که مدلسازی در نرم‌افزار ANSYS به دو روش انجام می‌شود:

الف - روش مدلسازی غیرمستقیم

در این روش کاربر می‌بایست ابتدا مدل هندسی مساله را به کمک یکی از دو روش زیر ساخته و سپس با انجام عمل شبکه‌بندی بر روی آن، مدل را به یک مدل اجزاء محدود تبدیل کند تا مدل برای بارگذاری و حل آماده شود:

۱- ساخت مدل هندسی به کمک قابلیت‌های مدلسازی هندسی نرم‌افزار ANSYS

۲- همچنین می‌توان مدل را در نرم‌افزارهای CAD در قالب IGES ساخته و وارد نرم‌افزار نمود.

ب - روش مدل‌سازی مستقیم

این روش برای مدل‌های ساده‌تر به کار می‌رود و می‌توان بدون به وجود آوردن شکل هندسی، ابتدا موقعیت گره‌ها را مشخص کرد و سپس با تعریف المان بین گره‌ها، المان‌بندی را تکمیل کرد. البته بعد از شبکه‌بندی، شکل مدل نیز به وجود می‌آید.

در نرم‌افزار ANSYS به دو روش می‌توان یک مدل را شبکه‌بندی نمود:

۱) روش (Free) ۲) روش (Mapped)

شبکه‌بندی اتوماتیک این نرم‌افزار بسیار قدرتمند است و غالباً المانهای خوبی (از لحاظ قرار گرفتن، ریز بودن المان در نواحی حساس و ...) تولید می‌کند. اما سرعت و دقت تحلیل در المان بندی mapped بسیار بیشتر می باشد و محدودیت هایی مانند داشتن گره در یک نقطه خاص یا استفاده از المانهای ۶ وجهی

تنها در این المان بندی قابل اجرا است و مش بندی *Free* کاملاً درهم می باشد و از المان های ۴ وجهی (*Tetrahedral*) استفاده می کند. البته لازم به ذکر است استفاده از المان بندی *Mapped* همیشه امکان پذیر نمی باشد.

هدف اصلی از آنالیز به روش اجزاء محدود، تعیین پاسخ سازه نسبت به یک سری شرایط بارگذاری خاص می باشد. بنابراین معرفی مناسب بارگذاری به برنامه یکی از مراحل اصلی آنالیز می باشد. با استفاده از پردازشگر (*Solution*) تعیین نوع آنالیز، گزینه های آنالیز، تعیین گزینه های بارگذاری و شروع آنالیز المان محدود انجام می شود. البته قسمت بارگذاری را می توان در پیش پردازنده (*PREP 7*) نیز انجام داد. نوع آنالیز برحسب شرایط بارگذاری و پاسخی که مدنظر است، تعیین می شود.

آنالیزهای سازه ای را می توان در گروه های اصلی زیر انجام داد:

ANSYS/ Multiphysics

ANSYS/ Mechanical

ANSYS/ Structural

ANSYS/ Linearplus

Ansys توانایی انجام انواع آنالیزهای سازه ای را دارا می باشد که به بعضی از آنها در زیر اشاره شده است.

- | | |
|--|---------------------------------------|
| - آنالیز هارمونیک | - آنالیز استاتیکی |
| - آنالیز غیر خطی مادی (وابسته به زمان) | - آنالیز دینامیکی گذرا |
| - آنالیز تغییر شکل بزرگ | - آنالیز غیر خطی مادی (مستقل از زمان) |
| - آنالیز تماس | - آنالیز مودال |
| - آنالیز مواد مرکب | - آنالیز طیفی |
| - آنالیز خستگی | - آنالیز کمانشی |

همچنین تحلیل مسائلی مانند مسایل سیالات، مکانیک شکست، شکل دهی فلزات، میدانهای مغناطیسی و بهینه سازی از جمله امکانات این نرم افزار قرار دارد.

بعد از تعیین نوع تحلیل و نیز گزینه‌های آن، مرحله بعدی، بارگذاری است. اگرچه می‌توان بارگذاری را قبل از تعیین نوع آنالیز انجام داد اما ANSYS این نوع روند را توصیه می‌کند.

کلمه بار (Load) در ANSYS شامل شرایط مرزی مانند قیدها و تکیه‌گاه‌ها می‌باشد که کاملاً مانند نیروهای داخلی و خارجی عمل می‌نماید.

بارها در ANSYS به شش گروه اصلی تقسیم شده‌اند:

- قیدهای مربوط به درجات آزادی

- نیروها

- بارهای سطحی

- بارهای حجمی

- بارهای اینرسی

- بارهای میدان کوپله

بیشتر این نیروها را می‌توان در مدل هندسی (بر روی نقاط کلیدی، خطوط و سطح) یا در مدل المان محدود (روی گره‌ها و المان‌ها) بکار برد.

برنامه ANSYS مفهوم زمان (Time) را در آنالیز گذرا و آنالیز استاتیکی به کار می‌گیرد. در آنالیز گذرا زمان به صورت واقعی و برحسب ثانیه، دقیقه و یا ساعت است ولی در آنالیز استاتیکی زمان به عنوان شمارنده‌ای برای تعریف گام‌ها و زیرگام‌ها عمل می‌کند. در ANSYS می‌توان گزینه‌های گام بارگذاری را

برای هر گام عوض کرد. این گزینه‌ها می‌توانند تعداد زیرگام‌ها، زمان در انتهای گام بارگذاری و کنترل روی خروجی‌ها باشند. برحسب آنالیزی که انجام می‌شود ممکن است به گزینه‌های بارگذاری نیاز نباشد. پس از مدل‌سازی و حل مساله کاربر نیاز به مشاهده نتایجی از قبیل مقدار تنش تولیدی، افت دما، توزیع حرارت و ... (با توجه به تحلیل انجام شده) دارد تا بتواند براساس جوابهای بدست آمده طراحی خود را در صورت نیاز تغییر دهد و یا همان طراحی قبلی را در عمل به کار بندد. برای مشاهده نتایج، پردازشگر *Post Processor* در نرم‌افزار *ANSYS* به کار می‌رود. دو پردازشگر مهم در *ANSYS Main Menu* برای مشاهده نتایج موجود است:

۱- پردازشگر *Post 1* یا *General Post Processor*: این پردازشگر حالت عمومی دارد و برای مشاهده نتایج در یک زیرگام و برای تمام مدل و یا بخش انتخاب شده‌ای از مدل به کار می‌رود. نتایج تحلیل را می‌توان به صورت شکل‌های هم‌تراز، اشکال تغییرشکل‌یافته، نتایج فهرست شده جدولی و یا منحنی‌های محیط رنگی مشاهده کرد و آنها را تفسیر نمود. *Post1* امکانات دیگری نظیر تخمین خطا، ترکیب حالات بارگذاری و غیره را دارد.

۲- پردازشگر *Post 26* یا *Time History Postprocessor*: به نام پردازنده تاریخچه زمانی است و برای مشاهده نتایج در نقاط مشخصی از مدل و در تمامی زیر گام‌ها به کار می‌رود. در این پردازشگر می‌توان نتایج بدست آمده را به صورت گراف روی محور زمان (یا فرکانس) مشاهده نمود و یا آنها را به صورت فهرست‌وار و جداول بدست آورد. از سایر امکانات این پردازشگر، عملیات حسابی و جبری پیچیده است که می‌توان روی خروجی‌ها انجام داد.

۳-۲- مدل سازی اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی در نرم افزار ANSYS

در این قسمت نحوه مدلسازی و روند ورود داده ها و اطلاعات به همراه دستورات ANSYS برای مدل سازی تیر طره و اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن ارائه شده است.

۳-۲-۱- نام فایل ها و عنوان آنالیز

اگر در هنگام شروع اجرای برنامه، نامی برای فایل انتخاب نشده باشد، در این قسمت با دستور زیر می توان نام فایل را وارد کرده و یا نام قبلی را تغییر داد:

ANSYS Utility > File > change jobname= IPE10

/FILENAME,IPE10,0

عنوان آنالیز عبارتی است که در صفحه کار گرافیکی ANSYS نوشته می شود. این کار، کاملاً اختیاری می باشد، اما ANSYS توصیه می کند که این عنوان انتخاب شود. عنوان آنالیز با دستور زیر وارد می شود و حداکثر می تواند ۷۲ حرف داشته باشد.

ANSYS Utility Menu > File > change Title

/TITLE,NonLinear

همچنین برای تعویض شاخه کار *Anslys* از دستورات زیر استفاده می شود:

ANSYS Utility Menu > File > change Directory

/CWD,'G:\Ansys Work'

۳-۲-۲- تعیین گروه کاری اصلی برنامه

با استفاده از مسیر زیر، گروه کاری اصلی برنامه تعیین می گردد:

ANSYS Main Menu > Preference → structural

با دستور زیر مدل سازی آغاز می گردد:

/Prep7

البته در صورتی که برای مدل سازی از روش گرافیکی استفاده کنیم نیاز به این دستور نمی باشد.

۳-۲-۳- تنظیم سیستم واحدها

تنظیم سیستم آحاد به هر کدام از سیستم‌های موجود در نرم‌افزار، تأثیری در نحوه انجام محاسبات و پاسخ مساله ندارد و فقط جهت اطلاع کاربر به کار می‌رود.

برای تنظیم سیستم واحدها می‌توان عمل زیر را انجام داد:

ANSYS Main Menu> preprocessor> Material props> Material Library> select Units
/Units,SI

۳-۲-۴- انتخاب نوع المان

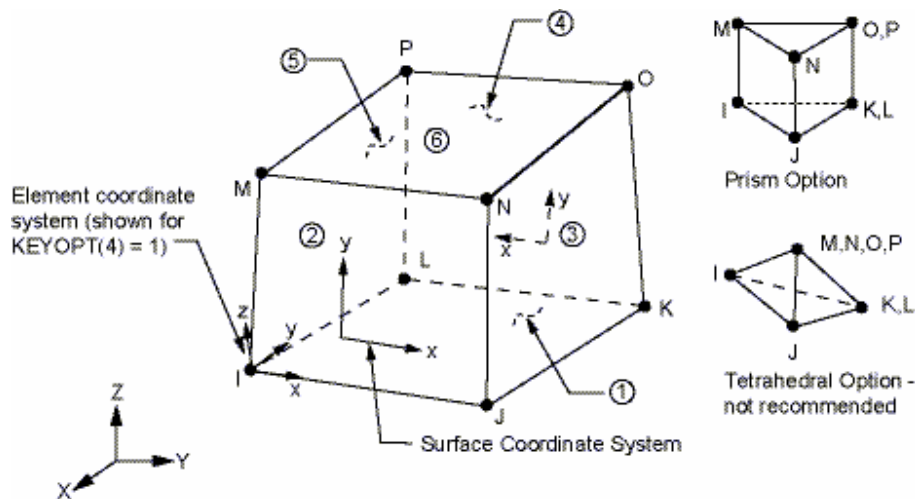
برای مدل سازی اتصالات، از المان *SOLID 45* استفاده شده است. همان طور که در ابتدای فصل گفته شد در این نرم افزار المان های بسیار زیادی برای استفاده در پروژه های مختلف وجود دارد که لیست آنها در پیوست آمده است در میان المان ها، المانهای *Solid* برای مدل سازه احجام سه بعدی مناسب می باشد. المان های *Solid* زیادی در این نرم افزار موجود می باشد ولی برای پروژه ما که مصالح ما همسانگرد می باشد و مسائلی مانند میدان های الکتریکی، مغناطیسی و یا حرارتی بر آن حاکم نیست دو المان *Solid45* و *Solid95* مناسب می باشد و از آنجایی که مدلهای این پروژه دارای سطوحی صاف می باشند و همچنین برای کاهش مدت زمان تحلیل از المان *Solid 45* استفاده شده است. مشخصات المان های *Solid45* و *Solid95* در ذیل آمده است.

المان *Solid45*:

المان *Solid45* برای مدل سازی سه بعدی سازه های *Solid* استفاده می شود. این المان با ۸ نقطه که هر کدام دارای ۳ درجه آزادی می باشند تعریف می شود این درجات آزادی تغییر مکان در جهات X,Y,Z می باشد.

این المان قابلیت استفاده در مسائل خزش، پلاستیسیته، تورم، تنش مقاوم، کرنش بزرگ و تغییر مکان

بزرگ را دارد. المان مشابه با این المان و با مشخصات غیر همسانگرد المان Solid64 می باشد.

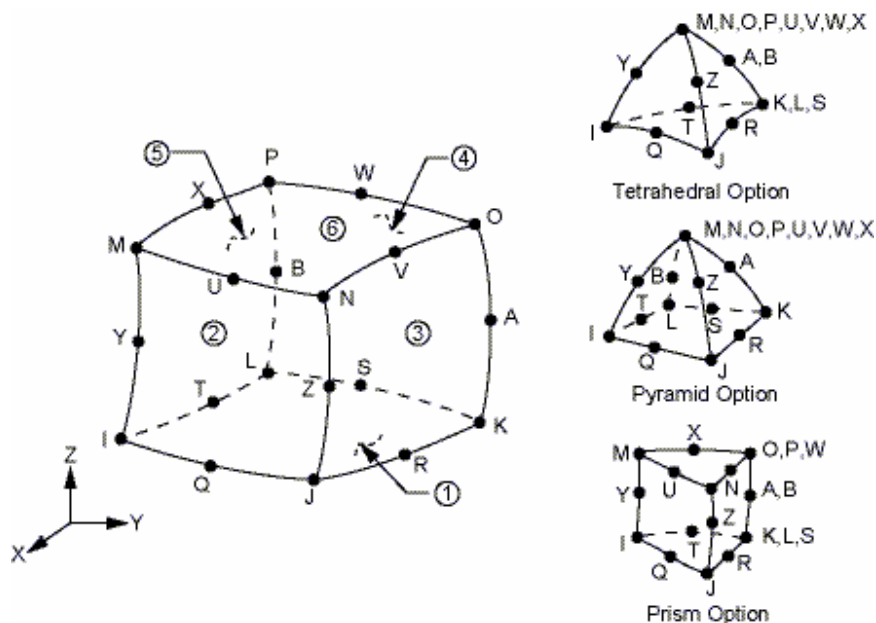


شکل (۱-۳): المان Solid45

المان Solid95:

المان Solid 95 المانی مشابه و البته در درجات بالاتر از المان Solid 45 می باشد. این المان می تواند اشکال نامنظم را بدون کاهش دقت مدل نماید. این المان با مدل های تغییر مکان سازگاری دارد و در مرز های مدل انحنا دار خوب عمل می کند. این المان با ۲۰ نقطه که هر کدام دارای ۳ درجه آزادی می باشد تعریف می شود این درجات آزادی تغییر مکان در جهات X,Y,Z می باشد. این المان می تواند هر جهت فضایی را داشته باشد.

این المان قابلیت استفاده در مسائل خزش، پلاستیسیته، تورم، تنش مقاوم، کرنش بزرگ و تغییر مکان بزرگ را دارد. همچنین قابلیت های نانوشته گوناگونی در این المان در دسترس می باشد.



شکل (۳-۲): المان Solid95

با استفاده از مسیر زیر، المان‌ها به برنامه معرفی می‌شوند.

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/ Edit/ Delete

در پنجره محاوره *Element Types* کلید *Add* را فشار داده و سپس در جعبه محاوره *Library of*

Element Types در پنجره سمت چپ از المانهای خانواده سازه‌ای *structural* نوع المان *solid* را انتخاب

کرده و در پنجره مقابل آن المان *Brick 8 node 45* انتخاب می‌شود. یا از دستور زیر برای معرفی المان

استفاده می‌شود.

ET,1,SOLID45

۳-۲-۵- تعریف مقدار پارامترها

ماکروهایی که برای تیپ‌های مختلف اتصالات نوشته شده است به صورت پارامتری می‌باشد که این

امکان را فراهم می‌نماید که اتصال را با هر بعد و مشخصاتی تحلیل نماییم. در این قسمت مقادیر این

پارامترها را معرفی می نماییم. می توان عبارات توضیحی را بعد از علامت (!) به عنوان راهنمای برنامه قرار داد.

<i>BL=1.00</i>	<i>! Beam length</i>
<i>BH=0.12</i>	<i>! Beam height</i>
<i>BW=0.064</i>	<i>! Beam flange width</i>
<i>BFT=0.0063</i>	<i>! Beam flange thickness</i>
<i>BWT=0.0044</i>	<i>! Beam web thickness</i>
<i>BA=0.007</i>	<i>! Beam arc radius</i>
<i>ATL=0.09</i>	<i>! Angle top length</i>
<i>ATH=0.08</i>	<i>! Angle top height</i>
<i>ATT=0.008</i>	<i>! Angle top thickness</i>
<i>ABL=0.15</i>	<i>! Angle bottom length</i>
<i>ABH=0.10</i>	<i>! Angle bottom height</i>
<i>ABT=0.010</i>	<i>! Angle bottom thickness</i>
<i>WT=.005</i>	<i>! Welding top diameter</i>
<i>WB=.006</i>	<i>! Welding bottom diameter</i>
<i>TAA=0.010</i>	<i>! Top Angle arc radius</i>
<i>BAA=0.012</i>	<i>! Bottom Angle arc radius</i>
<i>DIS=0.010</i>	<i>! Distance between beam and column</i>
<i>D=0.002</i>	<i>! Distance between Beams</i>
<i>ENDLOAD=1500</i>	<i>! concentrated load</i>

۳-۲-۶- تعریف خواص مواد

با توجه به اینکه مدل تحت بار اعمال شده، وارد ناحیه پلاستیک می شود، بنابراین علاوه بر تعریف مدول الاستیسیته و ضریب پواسون باید منحنی تنش- کرنش نیز برای برنامه تعریف شود.

ابتدا خواص خطی مواد معرفی می شود که می تواند حالت ثابت یا وابسته به دما، ایزوتروپ یا ارتوتروپ داشته باشد.

ANSYS Main Menu > preprocessor > Material props> constant> Isotropic

با انتخاب حالت ایزوتروپ پنجره‌ای باز می‌شود که چند پارامتر باید مشخص شوند.

مدول الاستیسیته و ضریب پواسون مواد باید تعیین شوند که مدول الاستیسیته E برای مواد ایزوتروپ، در جهت X معرفی می‌شود و در سایر جهات (Y,Z) بصورت پیش فرض برابر مشخصه جهت X در نظر گرفته می‌شود.

مقدار مدول الاستیسیته برای مقاطع فولادی و جوش برابر $E=2.1e11 \text{ Pa}$ و ضریب پواسون $\nu=0.3$ در نظر گرفته شده است.

پس از معرفی خواص خطی مواد، منحنی تنش - کرنش مواد تعریف می‌شود.

برای تعریف منحنی تنش کرنش برای مقاطع فولاد، از گزینه *MISO* استفاده شده است. منحنی تنش - کرنش برای مقاطع فولاد معمولی که از نوع $\sigma\epsilon$ انتخاب شده، بصورت *Miso* سه خطی مطابق فرض شده است. برای این مصالح پس از معرفی مدول الاستیسیته و ضریب پواسن باید مختصات نقاط تغییر شیب نمودار را وارد کرد. نسبت تنش کرنش در نقطه اول باید برابر با مدول الاستیسیته معرفی شده باشد (شکل ۳-۳).

برای معرفی این مشخصات باید از مسیر ذیل استفاده نمود:

Structural>Nonlinear>Inelastic>Rate independent>Isotropic Hardening Plasticity>Multilinear

برای مصالح جوش از مواد متفاوتی استفاده می‌شود. جوش در حالت ایده‌آل یک ماده شکل‌پذیر است، و از لحاظ تئوری، منحنی تنش - کرنش جوش $E\epsilon_0$ همانند فولاد نرمه می‌باشد ولی چون در عمل جوش طوری اجرا می‌شود که حالت ترد پیدا می‌کند، برای تطبیق بهتر با مدل واقعی، منحنی تنش - کرنش جوش مطابق شکل ۳-۴ فرض شده است. بنابر این برای جوش از مصالح *Biso* یا دو خطی استفاده می‌شود برای این مصالح بعد از معرفی مدول الاستیسیته و ضریب پواسن باید تنش تسلیم و شیب خط دوم

منحنی را وارد نمود. این شیب معمولا ۳ تا ۵ درصد شیب خط اول (مدول الاستیسیته) می باشد

(شکل ۳-۴).

برای معرفی این مشخصات باید از مسیر ذیل استفاده می شود:

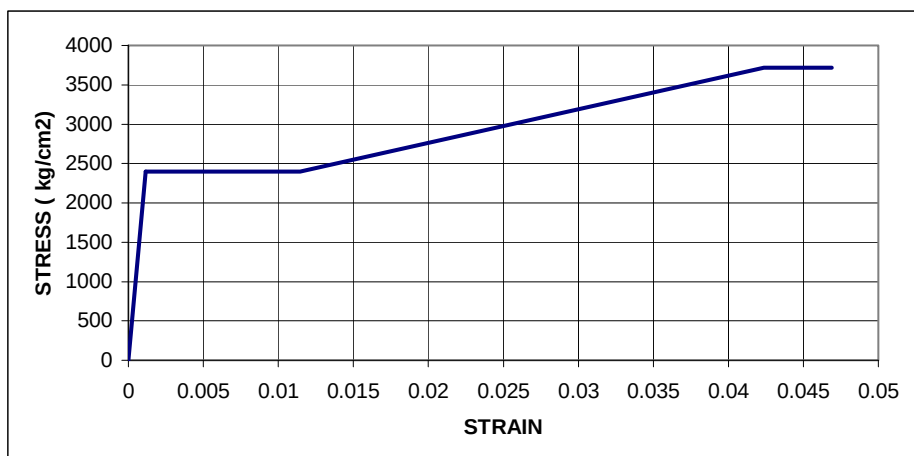
Structural>Nonlinear>Inelastic>Rate independent>Isotropic Hardening Plasticity>bilinear

در این برنامه برای معرفی مشخصات مواد در ماکرو از دستورات زیر استفاده شده است.

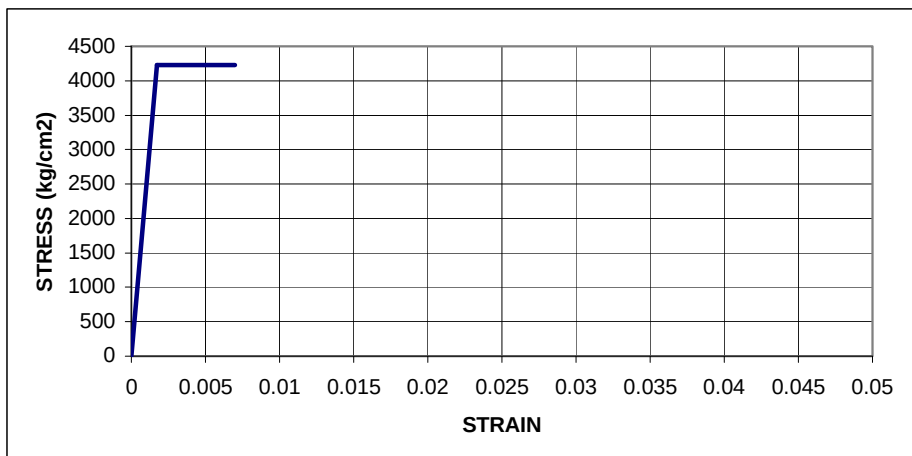
```
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,,0012,2.4e8
TBPT,,,01143,2.4e8
TBPT,,,04238,3.714e8
TBPT,,,0469,3.7e8
MP,EX,2,248.8e9
MP,PRXY,2,,.3
TB,BISO,2,1,2,
TBDATA,,,400e6,6.04e10,,,,
```

برای مشاهده نمودار تنش - کرنش تعیین شده در برنامه ANSYS، باید مسیر زیر را طی نمود:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Material Props > Data Tables > Graph



شکل (۳-۳): منحنی تنش - کرنش فولاد St37



شکل (۳-۴): منحنی تنش - کرنش جوش

۳-۲-۷- ساختن مدل هندسی

همانطور که بعداً قسمت مش بندی مدل توضیح داده خواهد شد برای مدل سازی در نرم افزار *Ansys* محدودیت های زیادی وجود دارد به همین علت برای مدل سازی به روش ذیل عمل شده است.

۳-۲-۷-۱- مدل سازی تیر طره:

ابتدا نوع مصالح تیر را از نوع مصالح ۱ (فولاد *St37*) انتخاب می کنیم سپس در صفحه شکل مقطع تیر ترسیم می گردد و سپس آن را در جهت عمود بر صفحه امتداد می دهیم برای رسم مقطع تیر ابتدا بالها و جان مقطع ترسیم می گردد سپس ماهیچه های بین جان و بال به وسیله رسم صفحه با انتخاب نقاط ترسیم می گردد. دقت شود برای رسم نقطه در نقاط انتهایی ماهیچه در بال و جان باید برش ایجاد شود برای این عمل ابتدا صفحه را دوران داده و سپس آن را به قسمت مورد نظر انتقال می دهیم سپس صفحات مورد نظر را انتخاب کرده و آنها را با دستورات برش صفحه با *Work Plane* برش می زنیم.

پس از رسم کامل مقطع تیر آن را به اندازه طول تیر طره امتداد می دهیم و حجم تیر را ایجاد می کنیم دوباره در محل هایی در امتداد طول تیر برش ایجاد می کنیم تا بتوان گره های ایجاد شده را با گره های جوش که بعداً مدل می شوند کوپل نمود.

در پایان حجم های ایجاد شده را نام گذاری می کنیم. دستورات استفاده شده در این قسمت در ذیل آمده است:

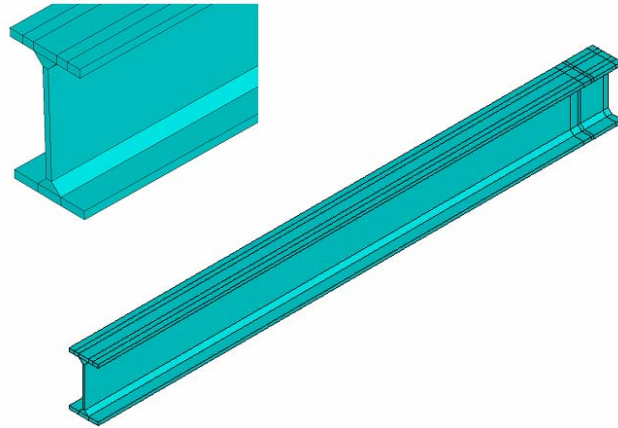
! Beam Volume

```

MAT,1
WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,, -90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
WPOFF, , , BA+BWT/2+ATL/2
ASBW,5
WPOFF, , , -ATL
ASBW,1
VEXT,ALL, , , , BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,ATH
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,WT
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,ABH-ATH-WT
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,-ABH+ABT+BAA
VSBW,ALL

```

VSEL,ALL
CM,BEAM,VOLU



شکل (۳-۵): شکل سه بعدی تیر طره

۳-۲-۷-۲- مدل سازی نبشی فوقانی:

ابتدا یک مکعب با ابعاد بالها و طول نبشی ایجاد می گردد سپس به بوسیله *Work Plane* برشهایی در آن ایجاد می کنیم و مکعب دیگری در مکعب قبل ایجاد می کنیم به طوری که از کم کردن این مکعب از مکعب قبل شکل نبشی ایجاد گردد اما قبل از این کار با استفاده از دستور *Fillet* در کنج مکعب کوچکتر یک ربع استوانه ایجاد می کنیم سپس مکعب کوچکتر را با صفحه محیط این استوانه برش می زنیم تا ماهیچه نبشی نیز ایجاد گردد اکنون قسمت های اضافی را پاک می کنیم سپس دوباره در محل هایی که نیاز به گره برای بدست آوردن نتایج آنالیز و یا کوپل شدن با سایر اجزای مدل مانند جوش ها باشد برش هایی ایجاد می کنیم. شکل مدل این نبشی را می توان در شکل (۳-۶) مشاهده نمود. در پایان قسمتهای مدل شده را انتخاب و نام گذاری می نماییم. برای انجام این اعمال از دستورات ذیل استفاده شده است:

! Top Angle Volume

WPLANE,1,0,BH/2+ATT,ATT

BLOCK,-ATL/2,ATL/2,-ATT,ATH-ATT,-ATT,ATH-ATT

BLOCK,-ATL/2,ATL/2,0,ATH-ATT,0,ATH-ATT

AFILLT,68,71,TAA,

VSBA,14,77

VSbv,13,16

VDELE,15,,,1

VSbw,14

WPOFF, , ,TAA

VSbw,15

WPOFF, , , -TAA

WPRO, , , -90

VSbw,ALL

WPOFF, , ,TAA

VSbw,ALL

WPRO, , , -90

VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH

WPOFF, , ,BA+BWT/2

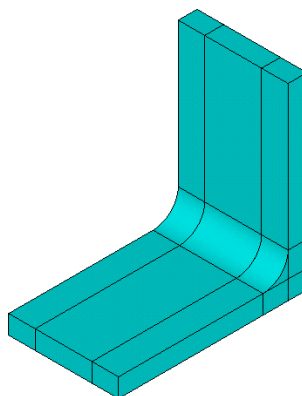
VSbw,ALL

WPOFF, , , -2*BA-BWT

VSbw,ALL

VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH

CM,ANG_TOP,VOLU



شکل (۳-۶): شکل سه بعدی نبشی فوقانی

۳-۷-۲-۳- مدل سازی نبشی نشیمن:

برای مدل سازی نبشی نشیمن نیز مانند نبشی فوقانی عمل می کنیم. دقت شود چون صفحه های در کل فضا گسترده شده است در هنگام برش زدن نبشی نشیمن ممکن است نبشی فوقانی و تیر نیز برش زده شود برای جلوگیری از این مشکل باید قسمت های مورد نظر از نبشی نشیمن قبل از برش زدن انتخاب گردند. برای مدل کردن نبشی نشیمن از دستورات ذیل استفاده شده است:

! Bottom Angle Volume

WPLANE,1,0,-BH/2-ABT,ABT

BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,ABT,-ABT,ABH-ABT

BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,0,0,ABH-ABT

AFILLT,292,289,BAA,

VSBA,22,302

VSBV,20,70

VDELE,68,,,1

VSBW,22

WPOFF, , ,BAA

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH

VSBW,ALL

WPOFF, , ,ATH-BAA-ABT

VSBW,ALL

WPOFF, , ,WT

VSBW,ALL

WPOFF, , ,ATH+ABT-WT

VSEL,ALL

WPRO, , , -90

VSBW,ALL

WPOFF, , , -BAA

VSBW,ALL

WPRO, , , -90

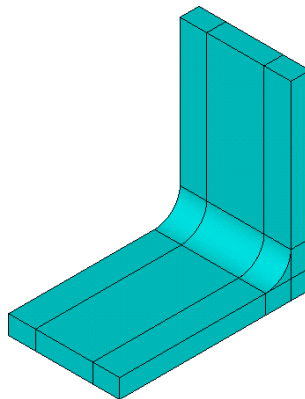
VSEL,S,LOC,Y,-BH,-BH/2

WPOFF, , ,BW/2

VSBW,ALL

WPOFF, , ,WB

VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BW-WB
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -WB
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH
 CM,ANG_BOTTOM,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1,,1,0

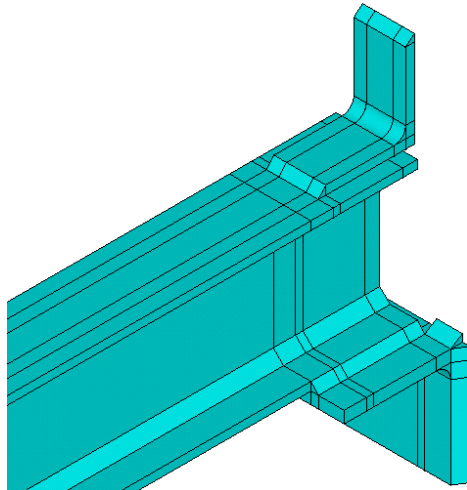


شکل (۷-۳): شکل سه بعدی نبشی نشیمن

۳-۲-۷-۴- مدل سازی جوشها:

برای مدل سازی جوشها ابتدا در محل جوشها، مکعب هایی به طول اندازه جوش و ابعادی به اندازه بعد جوش ایجاد می کنیم سپس پس از برش زدن ها برای مطابقت با نبشی ها و تیر با استفاده از ایجاد صفحه ای با مختصات گره های دو یال روبرو به هم از جوش، مکعب را به دو قسمت تبدیل میکنیم سپس قسمت های اضافی را انتخاب و پاک می کنیم دقت شود قبل از ایجاد اولین جوش نوع مصالح جاری را به

شماره دو تغییر می دهیم درپایان مدل جوش ها را نام گذاری می نماییم. دستورات این قسمت در ذیل آمده است.



شکل (۳-۸): شکل سه بعدی اتصال

!welding

```
ASEL,S,LOC,Z,ATH
ASEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
VEXT,ALL,,0,0,WT
ASEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH
VEXT,ALL,,0,WT,0
ASEL,S,LOC,Y,-BH/2
ASEL,R,LOC,Z,0,ABT
ASEL,U,LOC,X,-BW/2-WB,BW/2+WB
VEXT,ALL,,0,WB,0
ASEL,S,LOC,X,ABL/2
ASEL,R,LOC,Z,0,ABT
ASEL,R,LOC,Y,-BH/2,-ABH-BH/2
VEXT,ALL,,WB,0,0
ASEL,S,LOC,X,-ABL/2
ASEL,R,LOC,Z,0,ABT
ASEL,R,LOC,y,-BH/2,-ABH-BH/2
VEXT,ALL,,-WB,0,0
```

ASEL,S,LOC,Y,-BH/2
 ASEL,R,LOC,X,BW/2,BW/2+WB
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
 VEXT,ALL,,0,BFT,0
 ASEL,S,LOC,Y,-BH/2
 ASEL,R,LOC,X,-BW/2,-BW/2-WB
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
 VEXT,ALL,,0,BFT,0
 VSEL,ALL

 !WELD CUTTING

 A,155,153,297,301
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
 VSBA,ALL,571
 VDELE,139,141,,1
 A,157,158,289,293
 VSEL,S,MAT,,0
 VSEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATT
 VSBA,ALL,393
 VDELE,139,141,,1
 A,198,204,313,317
 VSEL,S,MAT,,0
 VSEL,R,LOC,X,ABL/2,ABL/2+WB
 VSBA,ALL,352
 VDELE,139,141,,1
 A,197,202,321,327
 VSEL,S,MAT,,0
 VSEL,R,LOC,X,-ABL/2,-ABL/2-WB
 VSBA,ALL,352
 VDELE,139,141,,1
 A,279,287,337,331
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
 VSEL,R,LOC,X,BW/2,BW/2+WB
 VSBA,ALL,352
 VDELE,140,143,,1
 A,248,256,347,342
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
 VSEL,R,LOC,X,-BW/2,-BW/2-WB
 VSBA,ALL,352

VDELE,140,143, ,1
VSEL,S,MAT,,0
A,198,287,311,309
VSBA,106,352
VDELE,133,,,1
A,306,305,197,256
VSBA,95,506
VDELE,133, , ,1
VSEL,S,MAT,,0
VATT,2,,1,0
CM,WELD,VOLU

مسیر گرافیکی بعضی از دستورات بالا در ذیل آمده است:

تولید نقاط:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Modeling > create > Key points > In Active cs

تولید مستطیل:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Modeling > create > Areas > Rectangle > By Dimensions

تولید مکعب:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Modeling > create > Volume > Block > By Dimensions

ساخت خطوط راست:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Modeling > create > Lines > Lines > In Active coord

ساخت سطح به کمک خطوط تولید شده:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Modeling > create > Areas > Arbitrary > By Lines

امتداد سطح در جهت مورد نظر برای تولید حجم:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude/Sweep > Areas > By xyz off set

۳-۲-۸- المان بندی مدل هندسی

در المان بندی اجزاء، از سیستم المان بندی Mapped استفاده شده است.

برای انجام عملیات المان بندی از دستور زیر استفاده می شود:

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool

در جعبه ابزار *Mesh Tool*، با استفاده از گزینه *Smart size* درشت بودن یا ریز بودن المانها برای اجزای مختلف مدل تعیین می شود. درجه *Smart Size* هر چقدر به عدد ۱۰ نزدیکتر شود، المانهای درشت تری روی مدل ایجاد خواهد شد.

همچنین برای المان بندی اتوماتیک، تنظیمات زیر انجام می شود:

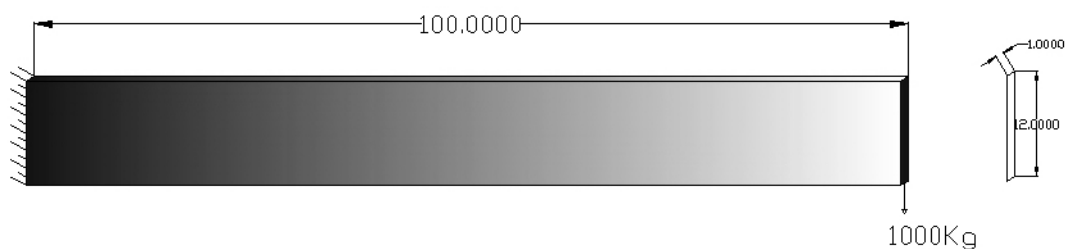
Mesh : Volumes

Shape : Tet

Mesher : Free

در جعبه ابزار *Mesh Tool*، برای ریز کردن المانها، می توان از گزینه *Refine at Element* نیز استفاده نمود.

برای المان بندی شکل مورد نظر در این پروژه که شامل یک تیر طره با یک اتصال نیمه صلب فولادی با جوش می باشد می توان از راه های گوناگونی استفاده نمود اما بسیار مفید می باشد که ابتدا مدل سازی را از شکل های ساده شروع کرده و سپس مدل اصلی را المان بندی کنیم برای این منظور ابتدا تیری با مشخصات ذیل را در نظر گرفته و آن را به صورت دستی و با استفاده از روابط مقاومت مصالح تحلیل شده است تا نتایج آن را با نتایجی که با مش زدن های متفاوت در نرم افزار بدست می آید مقایسه شود.



شکل (۳-۹): تیر یک سر گیردار

$$E = 207 \times 10^9 \text{ GPa} , P = 0.3$$

نتایج تحلیل به شرح زیر می باشد:

$$I = \frac{12^3 \times 1}{12} \text{ cm}^4 = 144 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

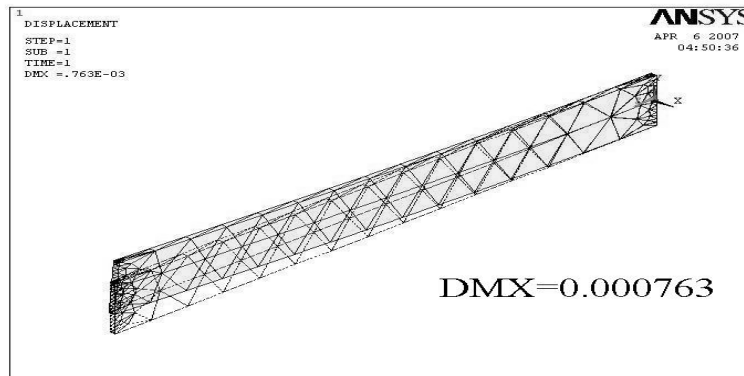
$$\Delta_{Max} = \frac{1000 \times 1^3}{3 \times 207 \times 10^9 \times 144 \times 10^{-8}} = 0.001118$$

برای مدل سازی این تیر از دستورات زیر استفاده شده است:

```
/Prep7
ET,1,Solid45
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,200e9
MPDATA,PRXY,1,,.3
Block,-0.005,0.005,-0.06,0.06,0,1
```

مش بندی های زیر برای این تیر در نظر گرفته شده است:

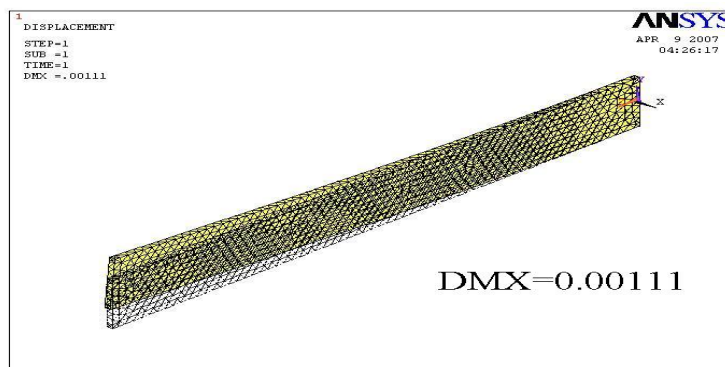
۱- مش بندی اتوماتیک ۴ وجهی (Tetrahedral) با مش های با اندازه معمولی (default)



شکل (۳-۱۰): المان بندی اتوماتیک به صورت Free

همان طور که مشاهده می شود نتایج آن با تحلیل دستی تفاوت زیادی دارد و همان طور که در هنگام انتخاب این مش نرم افزار خطاری مبنی بر عدم دقت این مش بندی می دهد این مش، مش دقیقی نمی باشد. (شکل ۳-۱۰)

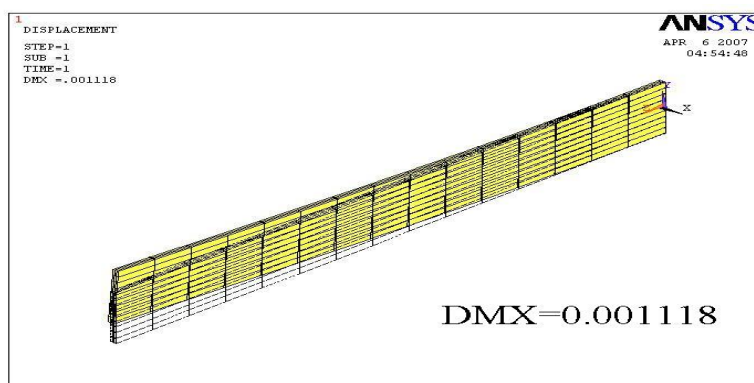
۲- مش بندی اتوماتیک ۴ وجهی (Tetrahedral) با مش های با اندازه بسیار ریز



شکل (۱۱-۳): المان بندی اتوماتیک به صورت *Free* با اندازه بسیار ریز

مشاهده میشود که نتیجه تقریباً با نتیجه تحلیل دستی مطابقت می کند اما باید در نظر داشت که اگر از این مش بندی برای اشکال بزرگ و پیچیده استفاده شود زمان تحلیل توسط رایانه بسیار طولانی می شود. (شکل ۱۱-۳)

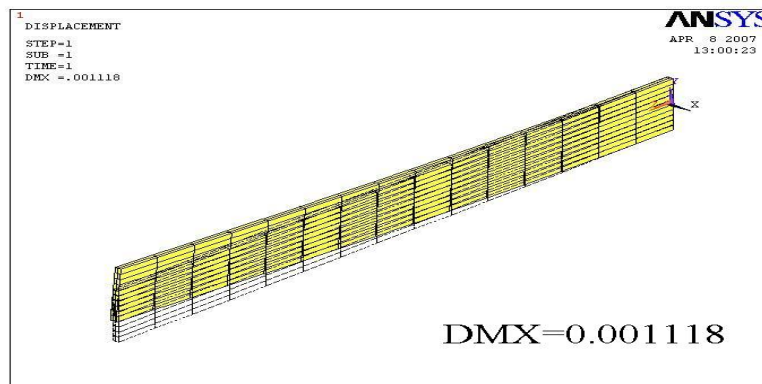
۳- مش بندی اتوماتیک به صورت *Mapped*



شکل (۱۲-۳): المان بندی اتوماتیک به صورت *Mapped*

همان طور که مشاهده می شود نتایج به صورت بسیار دقیق با تحلیل دستی مطابقت می کند البته این مش بندی برای اشکالی که دارای ۴ بعد می باشند امکان پذیر می باشد و برای سایر اشکال با انجام تمهیدات خاص امکان پذیر بوده و برای اشکال با هندسه پیچیده امکان پذیر نمی باشد. (شکل ۱۲-۳)

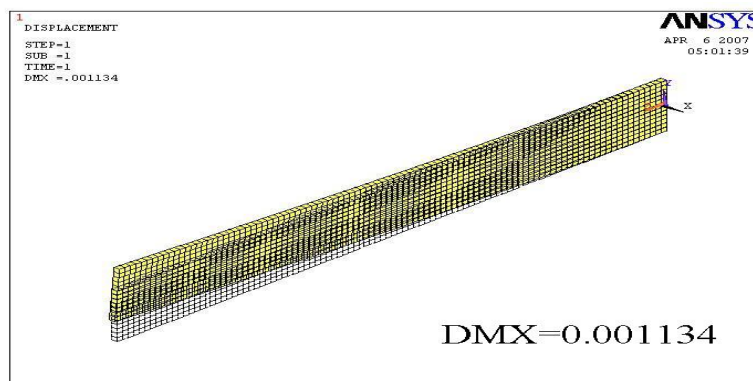
۴- مش بندی دستی مانند مش بندی اتوماتیک (تعداد مش در هر وجه)



شکل (۳-۱۳): المان بندی دستی به صورت *Mapped*

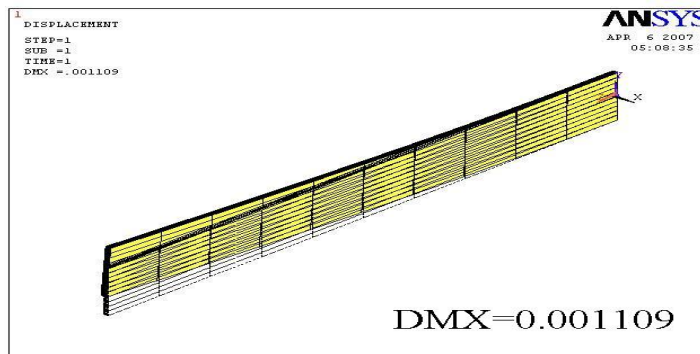
همانطور که مشاهده می شود نتایج مانند مش بندی *Mapped* کاملاً دقیق می باشد. (شکل ۳-۱۳)

۵- مش بندی دستی با تعداد مش دلخواه در هر وجه (شکل ۳-۱۴)



شکل (۳-۱۴): المان بندی دستی به صورت *Mapped* به تعداد دلخواه (ریز)

۶- مش بندی دستی با تعداد مش دلخواه در هر وجه (شکل ۳-۱۵)



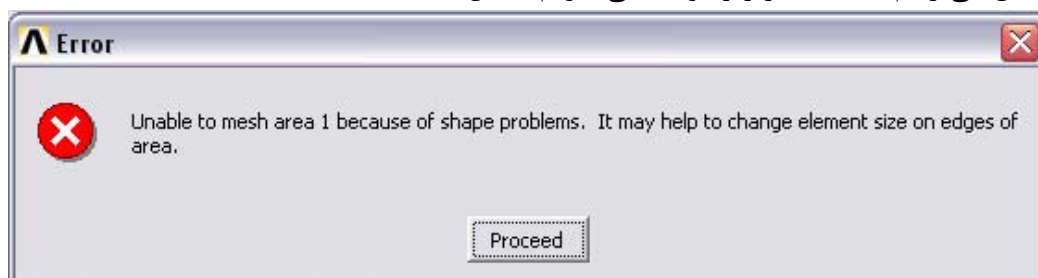
شکل (۳-۱۵): المان بندی دستی به صورت *Mapped* به تعداد دلخواه (درشت)

پس از این مدل ها می توان گفت بهترین نتیجه از مدل هایی با مش بندی *Mapped* بدست می آید که البته در همه شکل ها امکان پذیر نبوده و کلا کاری وقت گیر می باشد.

در این قسمت سعی به مش زدن مقطع *I* شکل به صورت *Mapped* می نماییم. برای این منظور:

۱- ابتدا خطوط دور مقطع *I* را رسم کرده و کل مقطع را یک جا با دستور *Arbitrary* رسم می کنیم سپس

آن را مش می زنیم اما با اخطار زیر مواجه می شویم. (شکل ۳-۱۶)

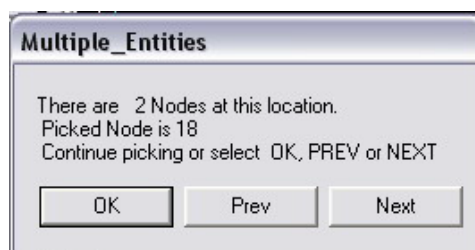


شکل (۳-۱۶): اخطار مش زدن شکل دارای ابعاد بیشتر از ۴ بعد به صورت *Mapped*

۲- رسم بالها و جان به طور مجزا سپس مش زدن هر مستطیل که در نقاط تماس بال ها و جان دارای دو

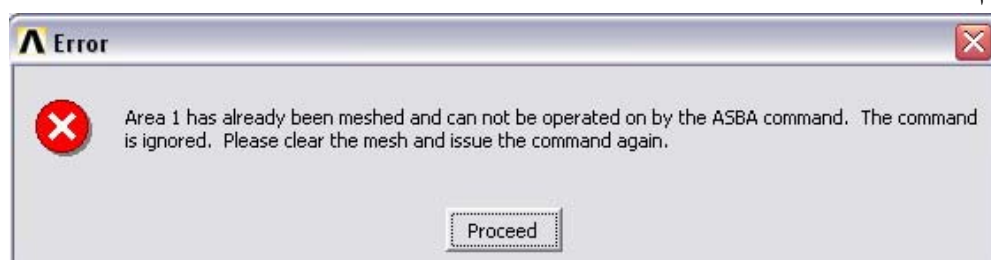
نقطه می شود یعنی جدا از هم کار می کنند. (شکل ۳-۱۷)

البته میتوان با استفاده از دستور *Couple* این گره ها را به هم متصل نمود و درجات آزادی آنها را با هم یکی نمود.



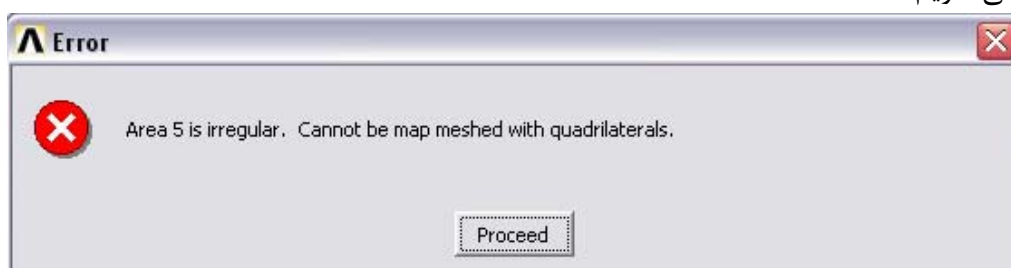
شکل (۳-۱۷): اخطار وجود دو گره با مختصات یکسان

۳-رسم کل مستطیل و مش زدن آن سپس کم کردن قسمت های اضافه از آن که با اخطار شکل مواجه می شویم.



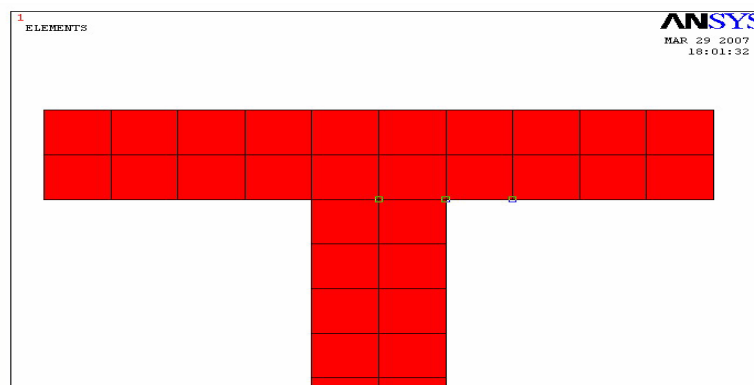
شکل (۳-۱۸): اخطار اعمال تغییرات در شکل مش بندی شده

۴-رسم بالها و جان به طور جدا و استفاده از دستور *Add* و سپس مش زدن شکل که با اخطار شکل مواجه می شویم.

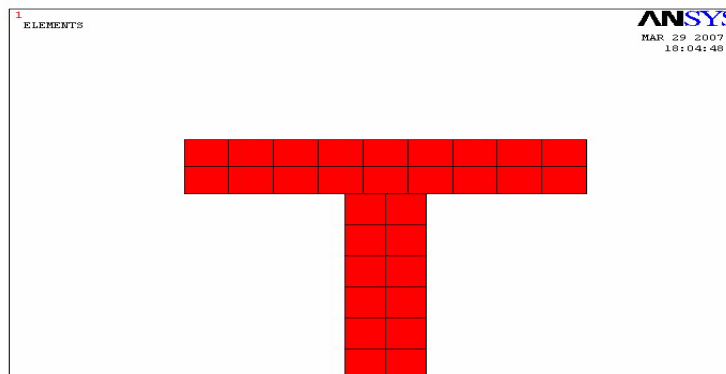


شکل (۳-۱۹): اخطار مش بندی

۵-رسم بالها و جان به طور جدا و استفاده از دستور *Glue* و سپس مش زدن شکل که دوباره با اخطار (شکل ۳-۱۹) مواجه می شویم،البته اگر دستور مش بندی توسط گوشه ها (*by Corners*) استفاده کنیم با هیچ ایرادی مواجه نمی شویم (شکل ۳-۲۰) اما به نظر می رسد که اینگونه استفاده از این دستور صحیح نباشد زیرا می توان شکل را طوری مش بندی کرد که گره های المان های مجاور بر هم منطبق نباشد (شکل ۳-۲۰).



شکل (۳-۲۰) : المان بندی با دستور *by Corners*



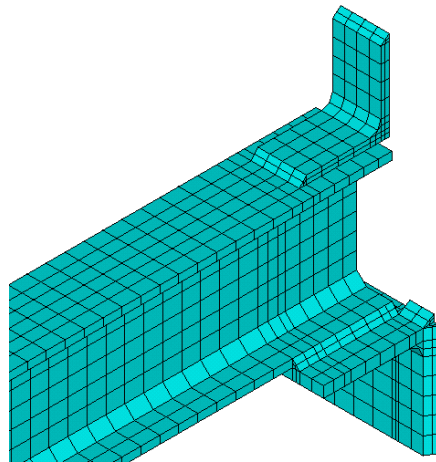
شکل (۳-۲۱) : المان بندی با دستور *by Corners* با المانهای نا منطبق

با توجه به روش های فوق به نظر میرسد راه ممکن و منطقی برای ترسیم و مش زدن مدل استفاده از دستور *Extrude* و *couple* می باشد که در زیر شرح داده می شود.

همان طور که در بخش شرح دستورات مورد استفاده در این مدل سازی مشاهده می کنید از دستور *Extrude* برای امتداد دادن یک خط یا صفحه و ایجاد به ترتیب یک صفحه یا حجم استفاده می شود. برای مثال همانطور که در شکل مشاهده می نمایید ابتدا جان تیر رسم می شود و پس از مش زدن آن را به اندازه ضخامت بال نبشی به بالا امتداد می دهیم سپس این مستطیل ایجاد شده را به چپ و راست امتداد می دهیم تا بال فوقانی ایجاد شود همین طور این عمل را در پایین جان تکرار می کنیم تا بال زیرین هم ایجاد شود. استفاده از این دستور این امکان را به ما می دهد که با امتداد دادن به مقدار دلخواه و تکرار آن در هر نقطه دلخواه ما دارای گره باشیم و هر قسمت به تعداد مورد نظر ما تقسیم بندی شود. نکته قابل توجه دیگر در این باره این می باشد که این نرم فزار فقط اشکالی را که دارای حداکثر ۴ ضلع در صفحه و ۶ وجه در فضا می باشند را به صورت *mapped* مش می زند. به همین منظور در این برنامه تمامی اشکال توسط *Work plane* برش زده و به احجام کوچکتر با حداکثر ۶ وجه تقسیم شده اند. دستورات استفاده شده برای مش زدن به شرح ذیل می باشند:

! Everything Mesh

```
ALLSEL,ALL  
ESIZE,BW/7,0,  
MSHAPE,0,3D  
MSHKEY,1  
VMESH,ALL
```



شکل (۳-۲۲): شکل سه بعدی المانهای اتصال

۳-۲-۹- کوپل کردن اجزای مدل:

اکنون نوبت به آن می‌رسد که جوشها، نبشی‌ها و تیر به هم کوپل گردند تا با هم عمل کنند. برای این کار در هر نوبت گره‌هایی که باید با هم کوپل شوند انتخاب و سپس در تمام جهات با هم کوپل می‌گردند. برای این عمل از دستورات زیر استفاده شده است.

! COUPLING

NSEL,S,LOC,Y,BH/2

NSEL,R,LOC,Z,ATH,ATH+WT

CPINTF,ALL

NSEL,S,LOC,X,-BW/2

NSEL,A,LOC,X,BW/2

NSEL,R,LOC,Y,-BH/2+BFT,-BH/2

NSEL,R,LOC,Z,ABT,ABH

CPINTF,ALL

۳-۲-۱۰- معرفی تکیه گاه ها و بارگذاری:

مرحله بارگذاری شامل تعیین نوع آنالیز، شرایط مرزی تکیه گاهی و اعمال بارها می باشد به محل تماس و چسبیدن جوش به ستون در همه جهات (*All Dof*) جابجایی صفر نسبت می دهیم که عمل تکیه گاه گیردار را انجام می دهد. برای اعمال شرایط مرزی از دستور زیر استفاده می شود.

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Loads > Apply > structural > Displacement > on Nodes

پس از انتخاب گره ها، در پنجره محاوره *Apply U,ROT on Nodes* گزینه *All DOF* انتخاب می شود.

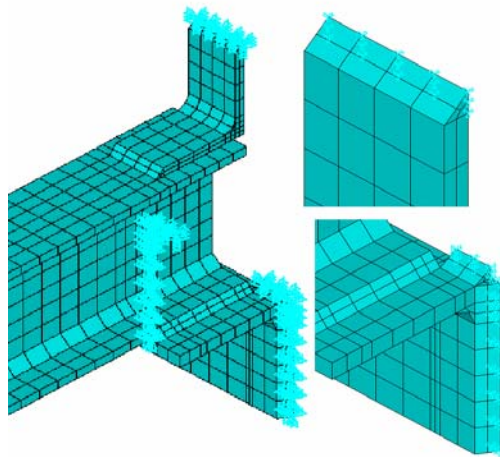
نیروها به صورت متمرکز در انتهای تیر اعمال شده است. برای اعمال نیروها در نقاط گرهی المان

می توان از دستور زیر استفاده کرد.

ANSYS Main Menu > Preprocessor > Loads > Apply > structural > Force-moment > on Nodes

پس از اعمال بارها، گزینه های مربوط به تحلیل غیرخطی که شامل نحوه اعمال بارها بصورت پله ای،

تعداد گام ها و زیرگام های بارگذاری و غیره مشخص می گردد.



شکل (۳-۲۳): شکل سه بعدی المانهای اتصال

در ان برنامه از دستورات زیر برای بارگذاری و معرفی تکیه گاه ها استفاده شده است:

! Restrain support nodes

NSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT

NSEL,A,LOC,X,ABL/2,ABL

NSEL,A,LOC,X,-ABL,-ABL/2

NSEL,R,LOC,Z,0

D,ALL,ALL

NSEL,S,LOC,X,-BW/2-WB,-ABL/2

NSEL,A,LOC,X,BW/2+WB,ABL/2

NSEL,R,LOC,Y,-BH/2+BFT,-BH/2

NSEL,R,LOC,Z,0

D,ALL,ALL

ALLSEL,ALL

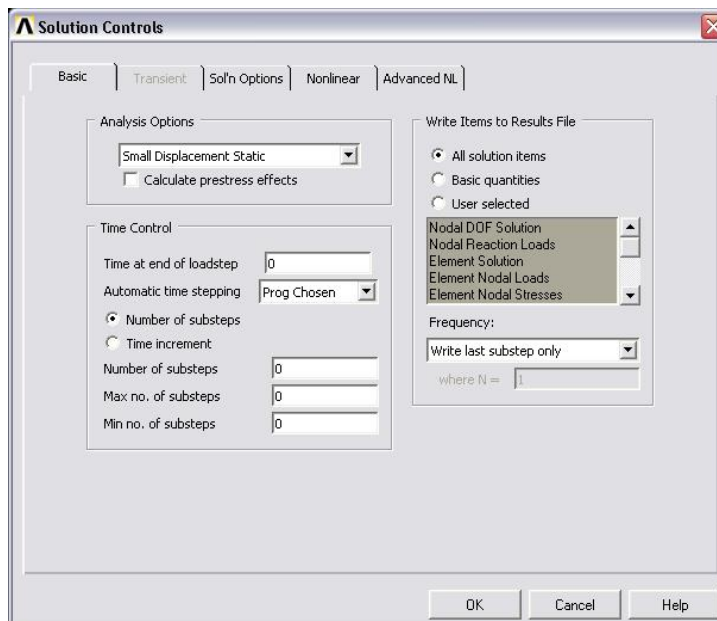
KSEL,S,KP,,26,41,15

FK,ALL,FY,-ENDLOAD

۳-۲-۱۱-آنالیز

ابتدا برای انجام تحلیل غیر خطی باید گزینه های مربوط را آنالیز تنظیم نمود.

ANSYS Main Menu > Solution > Analysis Type>Sol'n Control



شکل (۳-۲۴): منوی *Solution Controls*

یا از دستورات زیر استفاده نمود:

! SOLVE

```
/SOL
CNVTOL,F,,0.01,2,1,
NSUBST,10,50,8
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,ALL
LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
```

پس از مدتی با توجه به حجم مدل و امکانات سخت‌افزاری، حل مساله با پیغام *Solution is done* در

یک پنجره زردرنگ کامل می‌شود.

۳-۲-۱۲- مشاهده نتایج

مشاهده نتایج به صورت گرافیکی در *General Post processor* میسر است.

برای مشاهده تغییر فرم مدل تحت بارگذاری مسیر زیر دنبال می‌شود:

ANSYS Main Menu > General Postproc > Plot Results > Deformed shape

برای مشاهده کانتور تنش معادل *Von Mises* از عملیات زیر استفاده می‌شود:

ANSYS Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour plot > Nodal Solu

در جعبه محاوره *Contour Nodal Solution Data*، با انتخاب گزینه‌های *Stress* و *Von Mises SEQV*

می‌توان تنش ون مایز را مشاهده نمود. البته در این پنجره می‌توان با تنظیمات گزینه‌های مختلف انواع

تنش‌ها، کرنش‌ها، تغییر مکان‌ها و ... را مشاهده نمود.

برای رسم نمودار و عکس گرفتن از بعضی از نتایج آنالیز ها در این برنامه دستورات زیر آماده شده

است:

```
/POST1
SET, LAST
*GET, LASTSTEP, ACTIVE, 0, SET, SBST
*GET, LASTTIME, ACTIVE, 0, SET, TIME
*DIM, DELTAZ, TABLE, LASTSTEP, 2, 1, COL, ROW
*DIM, DELTA, ARRAY, LASTSTEP, 6, 1, ZI, ZJ,
SET, FIRST
*DO, I, 1, LASTSTEP
*GET, STEPTIME, ACTIVE, 0, SET, TIME
*GET, ZI, NODE, 63, U, Z
*GET, ZJ, NODE, 1, U, Z
ROW = ZI - ZJ
STEPLOAD = STEPTIME * ENDLOAD * 2 / LASTTIME
DELTA(I, 1) = I
DELTA(I, 2) = STEPTIME
DELTA(I, 3) = STEPLOAD
DELTA(I, 4) = ZI
DELTA(I, 5) = ZJ
DELTA(I, 6) = ROW
DELTAZ(I, 1) = STEPLOAD
DELTAZ(I, 2) = ROW
SET, NEXT
*ENDDO
*VPLOT, DELTAZ(1, 2), DELTAZ(1, 1)
/ui, copy, save, EMF, FULL, MONO, REVERSE, LANDSCAPE
VPLOT
/VIEW, 1, 1, 1, 1      ! IZOMETRIC VIEW
/ANG, 1
/AUTO, 1
/REP
/ui, copy, save, EMF, FULL, MONO, REVERSE, PORTRAIT
PLDISP, 0
```

```

/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, U,Y, 0,1
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
ANCNTR,10,.5
PLNSOL, U,Z, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, S,Y, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, S,Z, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

دستورات بالا در انتهای برنامه نمودار لنگر-دوران و چند تصویر از تغییر شکل ها و تنش های اتصال را ترسیم می کند و سپس آنها را با فرمت *emf* آنرا ذخیره می کند. این فرمت برای ذخیره نمودن نمودار ها بسیار مناسب می باشد چون با بزرگ کردن شکل کیفیت آن کاهش نمی یابد. استفاده از دستورات ذیل قبل از دستورات بالا باعث می شود تصاویر و عبارات اضافی در صفحه نمایش *Ansys* پاک گردند. استفاده از این دستورات قبل از ذخیره تصاویر بسیار مفید می باشد.

<i>/axlab,x,Rotation (Rad)</i>	<i>! x axis lable</i>
<i>/axlab,y,Moment (N.m)</i>	<i>! y axis lable</i>
<i>/plopts,title,off</i>	<i>!Dont show the title on the graph</i>
<i>/plopts,frame,off</i>	<i>!Dont show the frame around the graph</i>
<i>/udoc,,date,off</i>	<i>!Dont show date and ansys logo on the plot</i>
<i>/udoc,,type,off</i>	<i>!Dont show type of the graph</i>
<i>/color,curve,whit</i>	<i>!color of the curves 1,3 increment 1 is white</i>
<i>/grid,0</i>	<i>!No grid lines in x and y directions</i>
<i>/gthk,curve,0</i>	<i>!Thickness of curves</i>
<i>/gropt,dig1,4</i>	<i>!Number of digits used in axis is 3 multiply by 10**</i>
<i>/gropt,axnsc,1.6</i>	<i>!Font size of the axis numbers is in size 2</i>
<i>/gropt,view,0,0,1</i>	<i>!Make it possible to change the graph size</i>
<i>/dev,font,1,Times*New*Roman,1000,0,36</i>	
<i>/udoc,,typ2,right</i>	<i>!Dont show legend of the graphs</i>

در این پروژه برنامه هایی برای مدل سازی اتصال نبشی نشیمن و فوقانی برای پروفیل جفت، اتصال ورق فوقانی و نشیمن تقویت شده، اتصال جفت نبشی جان، اتصال جفت نبشی جان به همراه نبشی نشیمن برای پروفیل جفت و اتصال نبشی فوقانی و نشیمن تقویت شده برای پروفیل جفت نوشته شده است. متن تمامی این برنامه ها در پیوست موجود می باشد. در این قسمت طراحی قسمت های متفاوت این اتصالات به تفصیل شرح داده می شود.

۳-۳- مدلسازی اتصال جفت نبشی جان

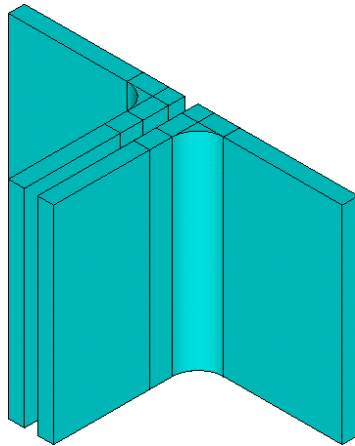
برای معرفی نام، مصالح، المانها و همچنین برای مدلسازی تیر طره و المان بندی، بارگذاری و آنالیز کل مدل در این اتصال همانند اتصال نبشی فوقانی و نبشی تحتانی که در بالا توضیح داده شد عمل می نماییم.

۳-۳-۱- مدلسازی نبشی های جان:

در این قسمت مانند نبشی های اتصال قبل ابتدا یک مکعب با ابعاد بالها و طول نبشی ایجاد می گردد سپس به وسیله *Work Plane* برشهایی در آن ایجاد می کنیم و مکعب دیگری در مکعب قبل ایجاد می کنیم به طوری که از کم کردن این مکعب از مکعب قبل شکل نبشی ایجاد گردد اما قبل از این کار با استفاده از دستور *Fillet* در کنج مکعب کوچکتر یک ربع استوانه ایجاد می کنیم سپس مکعب کوچکتر را با صفحه محیط این استوانه برش می زنیم تا ماهیچه نبشی نیز ایجاد گردد اکنون قسمت های اضافی را پاک می کنیم سپس دوباره در محل هایی که نیاز به گره برای بدست آوردن نتایج آنالیز و یا کوپل شدن با سایر اجزای مدل مانند جوش ها باشد برش هایی ایجاد می کنیم. دوباره همین اعمال را برای نبشی

دیگر انجام می دهیم شکل مدل این نبشی ها را می توان در شکل (۳-۲۵) مشاهده نمود. در پایان

قسمتهای مدل شده را انتخاب و نام گذاری می نماییم.



شکل (۳-۲۵): مدل جفت نبشی جان

برای انجام این اعمال از دستورات ذیل استفاده شده است:

! Web Angle

```
WPCSYS,1,0
BLOCK,BWT/2,BWT/2+AH,-AL/2,AL/2,0,AH
BLOCK,BWT/2+AT,BWT/2+AH,-AL/2,AL/2,AT,AH
AFILLT,96,183,AA,
VSBA,21,186
VSBV,19,43
VDELE,39,,1
BLOCK,-BWT/2,-BWT/2-AH,-AL/2,AL/2,0,AH
BLOCK,-BWT/2-AT,-BWT/2-AH,-AL/2,AL/2,AT,AH
AFILLT,192,183,AA,
VSBA,39,195
VSBV,19,44
VDELE,43,,1
VSEL,ALL
CMSEL,U,BEAM
WPOFF,,AT,
VSBW,ALL
```

WPOFF,,,AA,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,DIS-AT-AA,
 VSBW,ALL
 WPROTA,,,90
 WPOFF,,,AT+BWT/2,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AA,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,2*AT-BWT-AA,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AA,
 VSBW,ALL
 CM,ANGLE,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1,,1,0

۳-۲-۳- مدلسازی جوش:

در این قسمت مانند نبشی های اتصال قبل ابتدا در محل جوشها، مکعب هایی به طول اندازه جوش و ابعادی به اندازه بعد جوش ایجاد می کنیم سپس پس از برش زدن ها برای مطابقت با نبشی ها و تیر با استفاده از ایجاد صفحه ای با مختصات گره های دو یال روبرو به هم از جوش، مکعب را به دو قسمت تبدیل میکنیم سپس قسمت های اضافی را انتخاب و پاک می کنیم دقت شود قبل از ایجاد اولین جوش نوع مصالح جاری را به شماره دو تغییر می دهیم در پایان مدل جوش ها را نام گذاری می نماییم.

دستورات این قسمت در ذیل آمده است.

! Welding

ASEL,S,LOC,X,AH+BWT/2
 ASEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 VEXT,ALL,,,WC,,
 ASEL,S,LOC,X,-AH-BWT/2
 ASEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 VEXT,ALL,,,WC,,
 ASEL,S,LOC,Z,AH

ASEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 ASEL,U,LOC,X,-BWT/2,BWT
 VEXT,ALL,,,,WB
 ASEL,S,LOC,Y,AL/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,AH
 ASEL,U,LOC,X,-BWT/2,BWT
 VEXT,ALL,,,,WB,
 ASEL,S,LOC,Y,-AL/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,AH
 ASEL,U,LOC,X,-BWT/2,BWT
 VEXT,ALL,,,,-WB,

! WELD CUTTING

VSEL,S,MAT,,0
 A,171,123,124,169
 VSBA,54,281
 VDELE,63,,,1
 A,132,131,173,175
 VSBA,55,240
 VDELE,63,,,1
 A,180,177,125,128
 VSBA,56,245
 VDELE,63,,,1
 A,183,181,136,137
 VSBA,57,249
 VDELE,63,,,1
 A,186,185,128,148
 VSBA,58,252
 VDELE,63,,,1
 A,189,191,152,137
 VSBA,59,256
 VDELE,63,,,1
 A,147,194,193,125
 VSBA,60,260
 VDELE,63,,,1
 A,136,151,198,197
 VSBA,61,264
 VDELE,63,,,1
 VSEL,S,MAT,,0

VATT,2,,1,0
CM,WELD,VOLU

۳-۳-۳- کوپل کردن گره ها:

برای این کار ابتدا گره های روی صفحات تماس جوش ها و تیر را انتخاب می کنیم سپس همه گره ها کوپل می کنیم البته چون نمی توان تمام گره های مورد نظر برای کوپل شدن را با هم انتخاب نمود این کار را در چند مرحله انجام می دهیم دستورات ذیل را مشاهده کنید:

NSEL,S,LOC,X,BWT/2
NSEL,A,LOC,X,-BWT/2
NSEL,R,LOC,Z,AH,AH+WB
NSEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,BWT/2
NSEL,A,LOC,X,-BWT/2
NSEL,R,LOC,Z,DIS,AH
NSEL,U,LOC,Z,AH
NSEL,R,LOC,Y,-AL/2-WB,-AL/2
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,BWT/2
NSEL,A,LOC,X,-BWT/2
NSEL,R,LOC,Z,DIS,AH
NSEL,U,LOC,Z,AH
NSEL,R,LOC,Y,AL/2,AL/2+WB
CPINTF,ALL

۳-۳-۴- معرفی تکیه گاه ها و بارگذاری:

در این قسمت نیز مانند بالا ابتدا گره هایی که روی سطوح تماس جوش ها و ستون قرار دارند انتخاب و

سپس آنها را گیر دار می نمایم شرح این عمل در دستورات زیر موجود می باشد:

! Restrain support nodes

NSEL,S,LOC,X,-AH-BWT/2-WC,-AH-BWT/2
NSEL,A,LOC,X,AH+BWT/2,AH+BWT/2+WC
NSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL

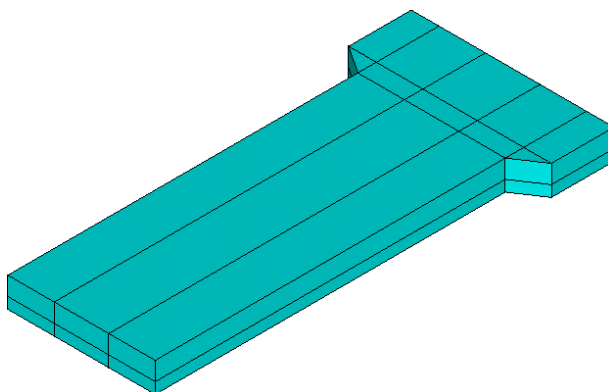
```
KSEL,S,KP,,26,39,13
FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL
```

۳-۴- مدل سازی اتصال ورق فوقانی و نشیمن تقویت شده

برای معرفی نام، مصالح، المانها و همچنین برای مدل سازی تیر طره و المان بندی، بارگذاری و آنالیز کل مدل در این اتصال همانند اتصالات قبل عمل می نماییم.

۳-۴-۱- مدل سازی ورق فوقانی:

برای مدل سازی ورق فوقانی ابتدا یک مکعب مستطیل ایجاد می کنیم سپس با استفاده از صفحات *Work Plane* برش هایی در آن ایجاد می کنیم. سپس قسمت های اضافی را پاک می کنیم. شکل این مدل را می توان در شکل (۳-۲۶) مشاهده نمود. دستوراتی که در این قسمت از آنها استفاده شده است در زیر آمده است.



شکل (۳-۲۶): مدل ورق فوقانی
! Top Plate

```
WPCSYS,1,0
BLOCK,-B1/2,B1/2,BH/2,BH/2+T1,0,L1
VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH
WPOFF,,,D1
VSBW,ALL
```

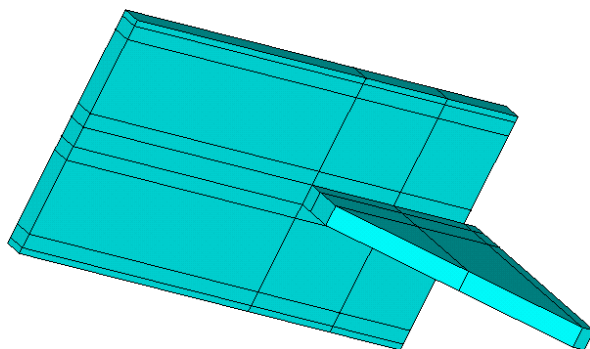
WPOFF,,,0.04-D1
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,0.01
 VSBW,ALL
 WPRO,,, -90
 WPOFF,,,BW/2-0.01
 VSBW,ALL
 WPOFF,,, -BW+0.02
 VSBW,ALL
 A,159,182,181,158
 VSBA,30,199
 A,160,172,171,157
 VSBA,67,209
 VDELE,26,46,20,1
 VDELE,30,31,,1
 WPOFF,,,BW/2-0.01+BA+BWT/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,, -2*BA-BWT
 VSBW,ALL
 WPRO,,, -90,0
 WPOFF,,,BH/2+D1
 VSBW,ALL
 VSEL,U,LOC,Z,0,D1
 CM,TOP_PLATE,VOLU

۳-۴-۲- مدل سازی ورق نشیمن و سخت کننده:

برای مدل سازی ورق نشیمن مانند ورق فوقانی ابتدا یک مکعب مستطیل ایجاد می کنیم سپس با استفاده از صفحات *Work Plane* برش هایی در آن ایجاد می کنیم. سپس در محل تماس سخت کننده با ورق نشیمن صفحه ای ایجاد می کنیم اکنون با امتداد دادن این صفحه در جهت منفی محور *Z* می توان سخت کننده را ایجاد نمود سپس برای ایجاد شکل لچکی در سخت کننده برش هایی در آن بوسیله

Work Plane ایجاد می کنیم اکنون قسمت های اضافی ورق نشیمن و سخت کننده را پاک می کنیم

شکل این مدل را می توان در شکل (۳-۲۷) مشاهده نمود.



شکل (۳-۲۷): سخت کننده تحتانی

دستورات زیر برای رسم این نشیمن استفاده شده است:

! BOTTOM PLATE

```
WPCSYS,1,0
BLOCK,-B2/2,B2/2,-BH/2,-BH/2-T2,0,L2
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH
WPOFF,,,D2
VSBW,ALL
WPOFF,,,0.05-D2
VSBW,ALL
WPOFF,,,W-0.05
VSBW,ALL
WPRO,,, -90
WPOFF,,,TS/2
VSBW,ALL
WPOFF,,,DS
```

VSBW,ALL
 WPOFF,,,BW/2-TS/2-DS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,D2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,BW/2-D2-TS/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,DS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,BW/2+TS/2+DS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,D2
 VSBW,ALL
 ASEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2
 ASEL,R,LOC,Z,0,W
 ASEL,R,LOC,X,-TS/2,TS/2
 AGEN,2,ALL,,,,,,0
 ASEL,S,AREA,,108,109
 ASEL,A,AREA,,116
 VEXT,ALL, , , -HS,
 WPRO,,90,
 WPOFF,,,BH/2+T2+DS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,0.02-DS
 VSBW,ALL
 A,354,353,333,334
 VSEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2-0.02,-BH/2-HS
 VSEL,U,LOC,Z,0,D2
 VSBA,ALL,563
 VDELE,134,140,6,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-HS
 VSEL,U,LOC,Z,0,D2
 VSEL,A,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS
 CM,BOTTOM_PLATE,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1,,1,0

۳-۴-۳- مدل سازی جوش ها

در این قسمت مانند نبشی های اتصالات قبل ابتدا در محل جوشها، مکعب هایی به طول اندازه جوش و ابعادی به اندازه بعد جوش ایجاد می کنیم سپس پس از برش زدن ها برای مطابقت با نبشی ها و تیر با استفاده از ایجاد صفحه ای با مختصات گره های دو یال روبرو به هم از جوش، مکعب را به دو قسمت تبدیل میکنیم سپس قسمت های اضافی را انتخاب و پاک می کنیم دقت شود قبل از ایجاد اولین جوش نوع مصالح جاری را به شماره دو تغییر می دهیم در پایان مدل جوش ها را نام گذاری می نماییم. دستورات این قسمت در ذیل آمده است.

! WELDING

```
VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+T1
VSEL,R,LOC,Z,0,D1
VSEL,A,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-T2
VSEL,R,LOC,Z,0,D2
VATT,2,,1,0
ASEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+D1
ASEL,R,LOC,Z,L1
VEXT,ALL,,,,D1
ASEL,S,LOC,X,-BW/2,-BW/2-D2
ASEL,A,LOC,X,BW/2,BW/2+D2
ASEL,R,LOC,Y,-BH/2
ASEL,R,LOC,Z,0.05,L2
VEXT,ALL,,,,BFT,
ASEL,S,LOC,X,-TS/2,-TS/2-D2
ASEL,A,LOC,X,TS/2,TS/2+D2
ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2
ASEL,R,LOC,Z,D2,W
VEXT,ALL,,,,-DS,
ASEL,S,LOC,X,-TS/2
ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS
ASEL,R,LOC,Z,0,D2
VEXT,ALL,,,,-DS,,
ASEL,S,LOC,X,TS/2
```

ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS

ASEL,R,LOC,Z,0,D2

VEXT,ALL,,,DS,,

! WELD CUTTING

VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+D1

VSEL,R,LOC,Z,L1,L1+D1

A,219,215,336,357

VSBA,ALL,650

VDELE,157,159,,1

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT

VSEL,R,LOC,X,BW/2,BW/2+D2

A,371,369,318,322

VSBA,ALL,458

VDELE,134,157,23,1

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT

VSEL,R,LOC,X,-BW/2,-BW/2-D2

A,365,281,278,364

VSBA,ALL,458

VDELE,143,157,14,1

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-DS

VSEL,R,LOC,X,TS/2,TS/2+DS

VSEL,R,LOC,Z,D2,W

A,299,384,379,296

VSBA,ALL,458

VDELE,143,157,14,1

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-DS

VSEL,R,LOC,X,-TS/2,-TS/2-DS

VSEL,R,LOC,Z,D2,W

A,256,259,377,373

VSBA,ALL,458

VDELE,147,157,10,1

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-HS

VSEL,R,LOC,X,TS/2,TS/2+DS

VSEL,R,LOC,Z,0,DS

A,325,333,395,397

VSBA,ALL,458

VDELE,157,159,,1

VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-HS

VSEL,R,LOC,X,-TS/2,-TS/2-DS
 VSEL,R,LOC,Z,0,DS
 A,389,326,334,385
 VSBA,ALL,458
 VDELE,157,159,,1
 VSEL,S,MAT,,0
 VATT,2,,1,0
 VSEL,S,MAT,,2
 CM,WELD,VOLU

۳-۴-۴- کوپل کردن گره ها

برای این کار ابتدا گره های روی صفحات تماس جوش ها و تیر را انتخاب می کنیم سپس همه گره ها کوپل می کنیم البته چون نمی توان تمام گره های مورد نظر برای کوپل شدن را با هم انتخاب نمود این

کار را در چند مرحله انجام می دهیم دستورات ذیل را مشاهده کنید:
 ! COUPLING

NSEL,S,LOC,Y,BH/2
 NSEL,R,LOC,Z,L1,L1+D1
 CPINTF,ALL
 NSEL,S,LOC,X,BW/2
 NSEL,A,LOC,X,-BW/2
 NSEL,R,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
 NSEL,R,LOC,Z,0.05,L1
 CPINTF,ALL
 NSEL,S,LOC,X,TS/2
 NSEL,A,LOC,X,-TS/2
 NSEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-DS
 NSEL,R,LOC,Z,D1,W
 CPINTF,ALL

۳-۴-۵- معرفی تکیه گاه ها و بارگذاری:

در این قسمت نیز مانند بالا ابتدا گره هایی که روی سطوح تماس جوش ها و ستون قرار دارند انتخاب و سپس آنها را گیر دار می نماییم شرح این عمل در دستورات زیر موجود می باشد:

! Restrain support nodes

NSEL,s,LOC,Z,0

D,ALL,ALL

ALLSEL,ALL

KSEL,S,KP,,26,41,15

FK,ALL,FY,-ENDLOAD

ALLSEL,ALL

۳-۵- مدلسازی اتصالات برای پروفیل های جفت

برای مدلسازی تیرهایی که با پروفیل های جفت ساخته شده اند ابتدا نوع مصالح تیر را از نوع مصالح ۱ انتخاب می کنیم سپس در صفحه شکل مقطع یک تیر ترسیم می گردد و سپس آن را در همان صفحه کپی می کنیم برای رسم مقطع تیر ابتدا بالها و جان مقطع ترسیم می گردد سپس ماهیچه های بین جان و بال به وسیله رسم صفحه با انتخاب نقاط ترسیم می گردد. دقت شود برای رسم نقطه در نقاط انتهایی ماهیچه در بال و جان باید برش ایجاد شود برای این عمل ابتدا صفحه را دوران داده و سپس آن را به قسمت مورد نظر انتقال می دهیم سپس صفحات مورد نظر را انتخاب کرده و آنها را با دستورات برش صفحه با *Work Plane* برش می زنیم.

پس از رسم کامل مقطع تیر آن را به اندازه طول تیر طره امتداد می دهیم و حجم تیر را ایجاد می کنیم دوباره در محل هایی در امتداد طول تیر برش ایجاد می کنیم تا بتوان گره های ایجاد شده را با گره های جوش که بعدا مدل می شوند کوپل نمود.

در پایان حجم های ایجاد شده را نام گذاری می کنیم. دستورات استفاده شده در این قسمت برای هر یک از اتصالات زیر در مورد برش زدن با صفحات *Work Plane* با دیگری متفاوت می باشد.

۳-۵-۱- اتصال نبشی نشیمن و فوقانی

دستورات استفاده شده در این اتصال برای مدل کردن تیر به شرح زیر می باشد:
! Beam Volume

WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,, -90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
AGEN,,ALL,,, -BW/2-D/2, , , , 1
AGEN,2,ALL,,, BW+D, , , , 0
WPOFF, , , BA+BWT/2-ATL/2
ASBW,10
WPOFF, , , ATL
ASBW,5
VEXT,ALL, , , , BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,ATH
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,WT
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,ABH-ATH-WT
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,-ABH+ABT+BAA
VSBW,ALL
VSEL,ALL
CM,BEAM,VOLU

۳-۶-۲- اتصال جفت نبشی جان به همراه نبشی نشیمن

دستورات استفاده شده در این اتصال برای مدل کردن تیر به شرح زیر می باشد:

! Beam Volume

WPOFF, , , DIS

RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2

RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT

RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA

WPRO,,, -90

WPOFF, , , BA+BWT/2

ASBW,ALL

WPOFF, , , -2*BA-BWT

ASBW,ALL

A,11,12,13,17

A,9,10,20,16

AGEN,,ALL,,, -BW/2-D/2, , , , 1

AGEN,2,ALL,,, BW+D, , , , 0

VEXT,ALL, , , , BL-DIS

WPCSYS,1,0

VSEL,ALL

WPOFF,0,0,AWH-0.002

VSBW,ALL

WPOFF,0,0,0.002

VSBW,ALL

WPOFF,0,0,WWB

VSBW,ALL

WPOFF,0,0,ABH-AWH-WWB

VSBW,ALL

WPROTA,,, -90,

WPOFF,0,0,AWL/2

VSBW,ALL

WPOFF,0,0,WWB

VSBW,ALL

WPOFF,0,0,-AWL-WWB

VSBW,ALL

WPOFF,0,0,-WWB

VSBW,ALL

VSEL,ALL
CM,BEAM,VOLU

۳-۷-۳- اتصال نبشی فوقانی و نشیمن تقویت شده

دستورات استفاده شده در این اتصال برای مدل کردن تیر به شرح زیر می باشد:
! Beam Volume

WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,, -90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
AGEN,,ALL,,, -BW/2-D/2, , , , 1
AGEN,2,ALL,,, BW+D, , , , 0
WPOFF, , , BA+BWT/2-ATL/2
ASBW,10
WPOFF, , , ATL
ASBW,5
VEXT,ALL, , , , BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,ATH
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,WT
VSBW,ALL
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
CM,BEAM,VOLU

فصل چهارم

اتصالات مدل شده و بررسی رفتار آنها

۴-۱- مقدمه

پس از تدوین برنامه های مدل سازی اتصالات یاد شده در فصل گذشته هر اتصال در ابعاد مختلف تحلیل و بررسی شده اند. راهنمای آیین نامه اتصالات [۱۲] برای هر شماره از پروفیل های تیر سازه، ابعاد مشخصی را در هر یک از انواع رایج اتصالات پیشنهاد می نماید. با استفاده از این آیین نامه نیازی به طراحی اتصالات سازه های فولادی نمی باشد. در این پایان نامه اغلب اتصالاتی که توسط آیین نامه پیشنهاد می شوند مدل سازی و مورد بررسی قرار گرفته اند. علاوه بر این اتصالات پیشنهادی، هر یک از انواع اتصالات برای یک شماره پروفیل مشخص با ابعاد مختلفی طرح و مدلسازی شده اند تا بتوان به تاثیر اعضای مختلف سازنده اتصالات پی ببریم. در انتهای فصل یک سازه ساختمانی ۲ طبقه یک بار به طور معمول و بار دیگر با استفاده از نتایج بدست آمده از این اتصالات طراحی و تحلیل شده است و نتایج آنها با هم مقایسه شده است.

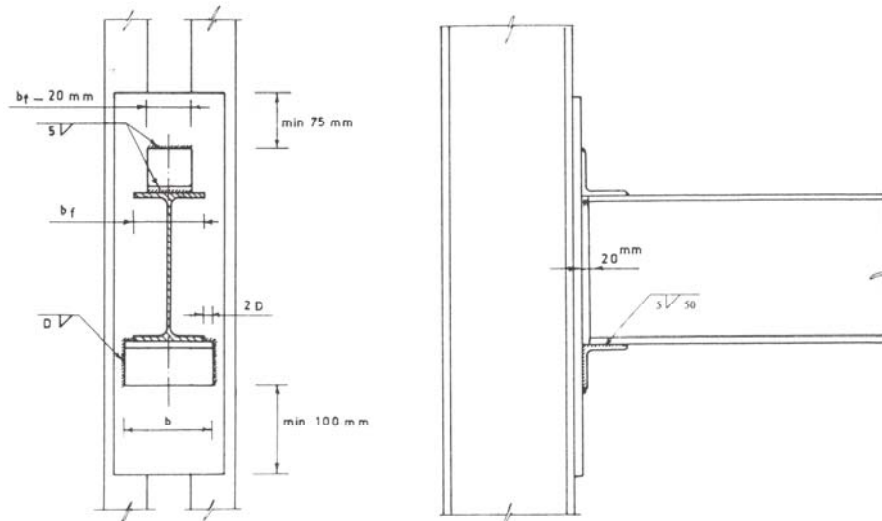
۴-۲- مشخصات اتصالات مدل شده

اتصالاتی که در این پروژه مدل سازی شده اند به چندین گروه تقسیم می شوند

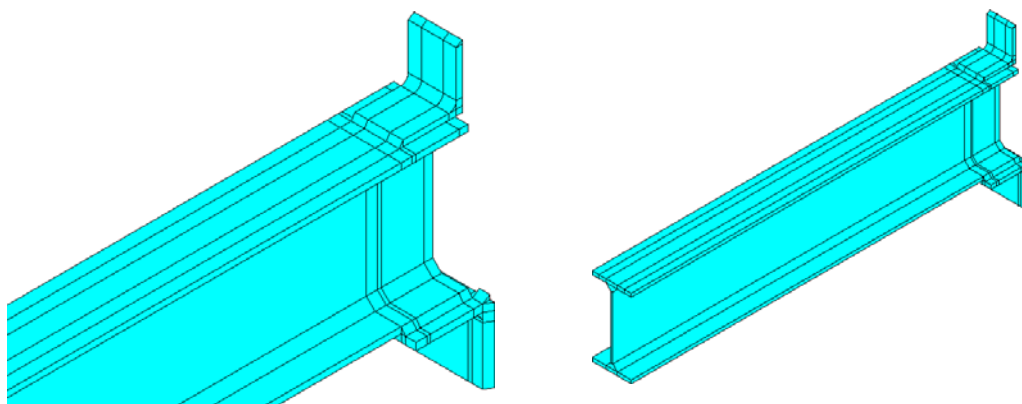
۴-۲-۱- اتصالات نبشی فوقانی و نبشی نشیمن

در این گروه ۱۶ اتصال مورد بررسی قرار گرفته است ابتدا نبشی های توصیه شده توسط آیین نامه اتصالات مدل سازی شده اند و با بدست آوردن سختی اتصال و نمودار لنگر دوران اتصالات برای محاسبه درصد گیرداری جداول این آیین نامه تکمیل گردیده است. سپس با تغییر در ابعاد نبشی ها و بعد جوش در یک اتصال خاص تاثیرات آنها بر سختی اتصال بررسی شده است (جدول ۴-۱). مشخصات اتصالات نام برده را می توان در جدول (۴-۲) مشاهده نمود.

تصاویری از این اتصالات را می توان در شکل ۴-۱ مشاهده نمود در این تصویر اطلاعاتی در مورد نحوه قرار گیری و ابعاد اجزای اتصال به تصویر کشیده شده است. همچنین تصاویری از این مدل های اتصالات در نرم افزار Ansys را نیز می توان در شکل (۴-۲) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱): اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی [۱۲]



شکل (۴-۲): مدل اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی

در این پروژه سعی شده است تمامی انواع اتصالات رایجی که در آیین نامه اتصالات توصیه شده است در نرم افزار Ansys تحلیل و مدل سازی شود بنابراین در هر ۵ نوع اتصال مدل شده تمامی شماره های نیمرخ IPE تحلیل شده است و علاوه بر آن در هر نوع از اتصالات در یک پروفیل خاص ابعاد مختلفی از اتصال برای بررسی تاثیر اجزای آن در عمل کرد اتصال مدل شده اند.

شماره مدل	مقطع IPE	شماره نبشی فوقانی (mm)	طول نبشی فوقانی (mm)	شماره نبشی نشیمن (mm)	طول نبشی نشیمن (mm)	بعد جوش (mm)
۱	۱۰۰	۶۰×۶۰×۶	۳۵	۸۰×۸۰×۸	۱۰۰	۵
۲	۱۲۰	۶۰×۶۰×۶	۴۵	۸۰×۸۰×۸	۱۰۰	۵
۳	۱۴۰	۸۰×۸۰×۸	۵۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۰۰	۵
۴	۱۶۰	۸۰×۸۰×۸	۵۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۰۰	۶
۵	۱۸۰	۸۰×۸۰×۸	۶۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۲۰	۶
۶	۲۰۰	۸۰×۸۰×۸	۶۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۴۰	۶
۷	۲۲۰	۸۰×۸۰×۸	۷۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۶۰	۸
۸	۲۴۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۸۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۱۶۰	۸
۹	۲۷۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۸۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۱۸۰	۸
۱۰	۳۰۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۹۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۱۰
۱۱	۳۰۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۹۰	۱۵۰×۱۵۰×۱۵	۱۸۰	۱۰

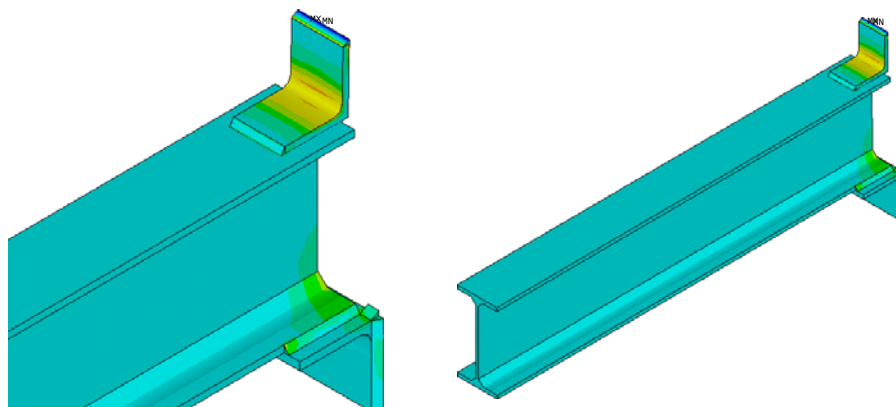
جدول (۴-۱): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی پیشنهادی راهنمای اتصالات [۱۲]

پس از مدل سازی، اتصال را تحلیل نموده و با بدست آوردن دوران اتصال و لنگر تکیه گاهی نمودار لنگر دوران آن را همانطور که در بخش ۲ به تفصیل توضیح داده شده است ترسیم می کنیم پس از تحلیل می توان تغییر مکان های المان های مدل را در هر یک از جهات اصلی محور مختصات مشاهده و مقدار دقیق آن را قرائت نمود شکل خیز تیر را می توان در شکل (۴-۵) مشاهده نمود همچنین می توان تنشهای قائم ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) و یا تنشهای اصلی ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) و همچنین برشها و

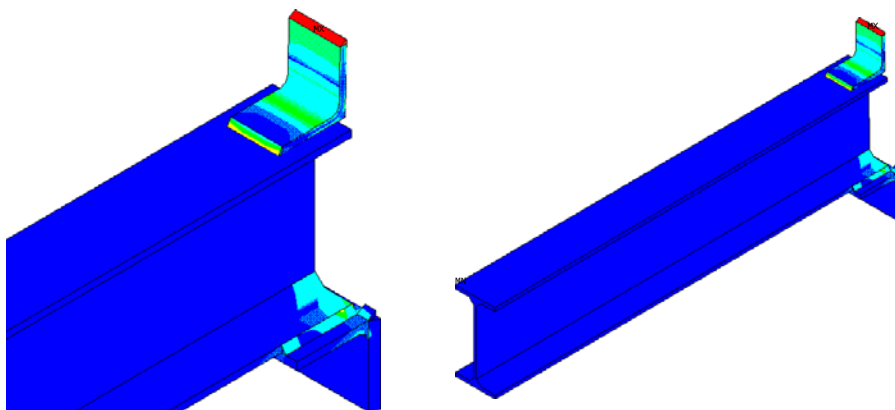
تنش در معیار های تسلیم مانند فون مایزر را در هر نقطه مشاهده نمود. شکل (۴-۳) تنش اصلی اول و شکل شماره (۴-۴) تنش در معیار تسلیم فون مایزر را در مدل اتصال ۶ نشان می دهد.

شماره مدل	مقطع IPE	شماره نبشی فوقانی (mm)	طول نبشی فوقانی (mm)	شماره نبشی نشیمن (mm)	طول نبشی نشیمن (mm)	بعد جوش (mm)
۱۲	۳۰۰	۶۰×۶۰×۶	۹۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۱۰
۱۳	۳۰۰	۸۰×۸۰×۸	۹۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۱۰
۱۴	۳۰۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۹۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۱۰
۱۵	۳۰۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۷۵	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۱۰
۱۶	۳۰۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۶۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۱۰

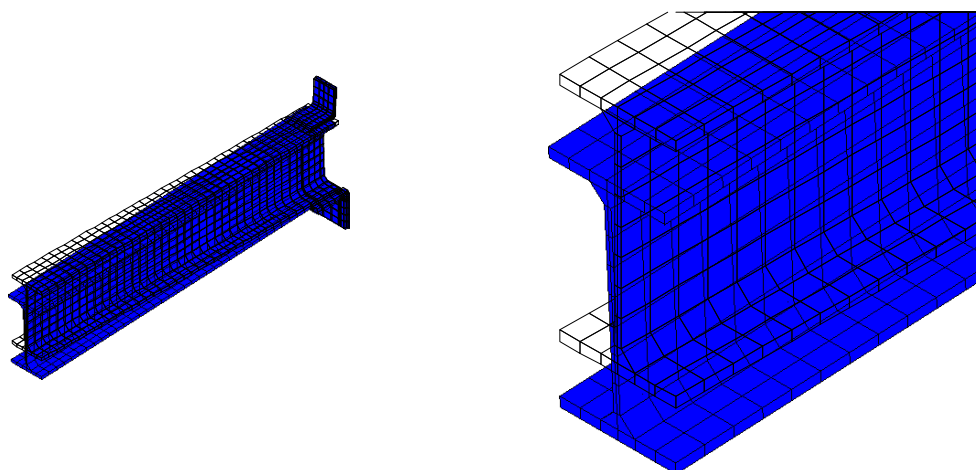
جدول (۴-۲): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی طراحی شده



شکل (۴-۳): تنش اصلی اول اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی



شکل (۴-۴): معیار تنش von Mises اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی

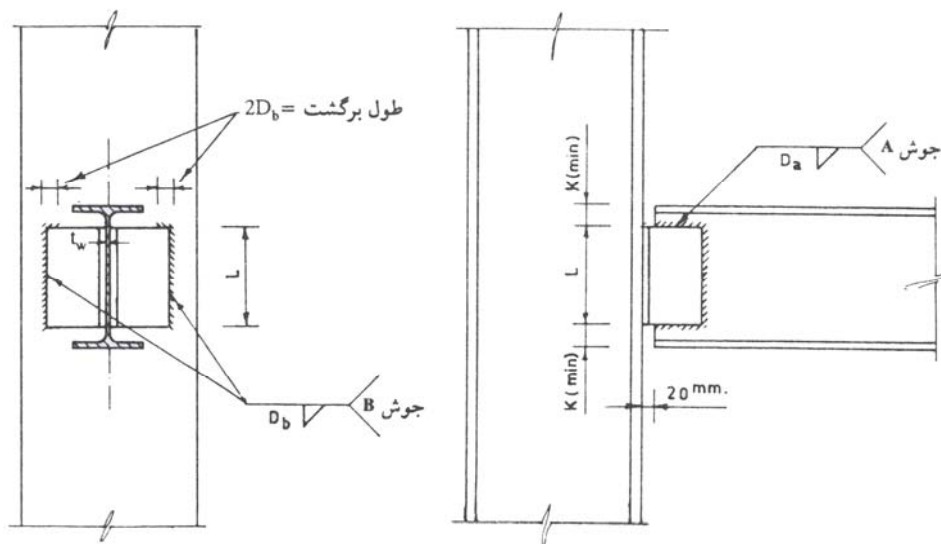


شکل (۴-۵): خیز اتصال نبشی نشیمن و فوقانی

۴-۲-۲- اتصال نبشی جان:

اتصال نبشی جان به عنوان یک اتصال ساده و مفصلی شناخته می شود که این مطلب به طور کامل در مدل های این بخش به اثبات رسیده است.

نحوه وارد شدن بارگذاری مدل های این پروژه به صورت ۲ بار متمرکز در انتهای تیر طره است که نحوه اعمال آن را می توان توسط نرم افزار کنترل نمود در این مدل بار گذاری در ۱۰ مرحله اعمال می گردد تا بتوان تغییر مکان و تنشها را در المانهایی که به حالت پلاستیک می رسند را مشاهده نمود.

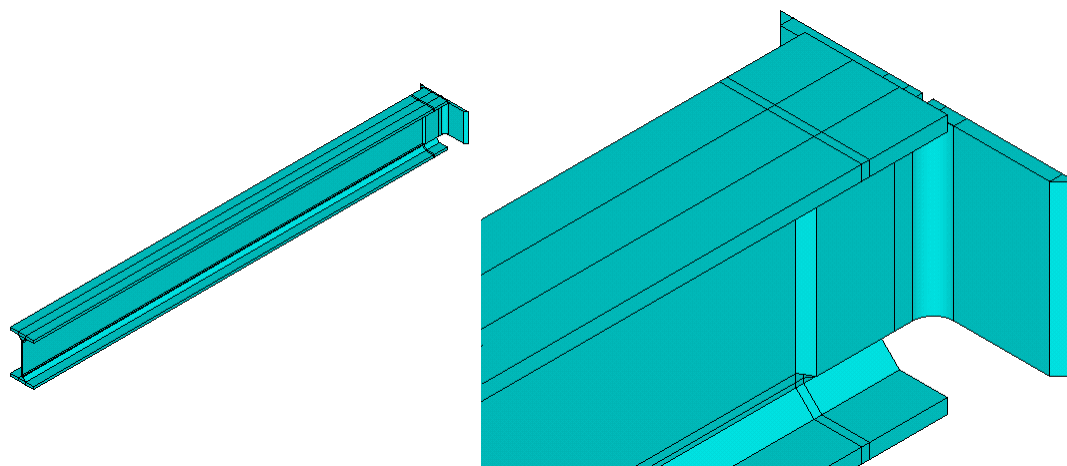


شکل (۴-۶): اتصال ساده جفت نبشی جان [۱۲]

همان طور که در نمودار لنگر دوران شکل (۴-۴۶) مشاهده خواهید کرد با وارد شدن یک لنگر معمولی (100 N.m) به اتصال مدل ۱۷ که مشخصات مشابهی با مدل ۱۹ دارد اتصال تغییر شکل های بسیار بزرگ از خود نشان داد که دیگر نمی توان قوانین رایج تحلیل را در آن صادق دانست در صورتی که در لنگر ناچیز 40 N.m اتصال رفتاری کاملاً عادی از خود نشان داد که این مطلب به خوبی نشان میدهد که این اتصال را با تقریب بسیار خوبی می توان مفصلی در نظر گرفت. نمودار لنگر دوران این اتصال با لنگر 40 N.m را می توان در شکل (۴-۴۷) مشاهده نمود در ضمن مشخصات اتصال نبشی جان را در شکل (۴-۶) و مدل این اتصال در نرم افزار Ansys را در شکل (۴-۷) می توان مشاهده نمود. مشخصات کامل اتصالات مدل شده در این بخش در جداول (۴-۳) و (۴-۴) آمده است.

تصاویری از تنش اصلی اول و تنش معیار فون مایز در این اتصال را می توان در شکل های (۴-۸) و (۴-۹) مشاهده نمود. با دقت در تصویر تنش اصلی اول می توان صحت فرض آقای ماکسول چاسیلا در بخش ۲-۱-۴-۵ را مشاهده نمود همانطور که مشاهده می شود اتصال حول نیمه پایینی اتصال دوران می کند و بال متصل به ستون نبشی جان مانند تیر طره عمل می کند. این مطلب در مورد

اتصال قبل نیز صادق بود. همانطور که انتظار می رود تنش ها در نبشی ها وجوش ها به مراتب بیشتر از سایر نقاط می باشد.



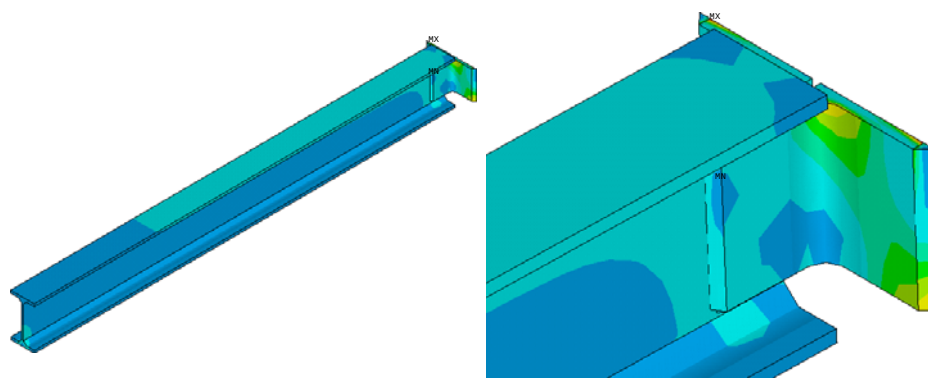
شکل (۴-۷): مدل اتصال ساده جفت نبشی جان

شماره مدل	نیمرخ	حاجت نبشی	شماره نبشی	اندازه جوش A	اندازه جوش B
۱۹	IPE 100	۶۵	۵۰×۵۰×۵	۳	۵
۲۰	IPE 120	۸۵	۵۰×۵۰×۵	۳	۵
۲۱	IPE 140	۱۰۵	۶۰×۶۰×۶	۳	۵
۲۲	IPE 160	۱۲۰	۶۰×۶۰×۶	۳	۵
۲۳	IPE 180	۱۳۰	۸۰×۸۰×۸	۳	۶
۲۴	IPE 200	۱۵۰	۸۰×۸۰×۸	۳	۶
۲۵	IPE 220	۱۶۰	۸۰×۸۰×۸	۳	۶
۲۶	IPE 240	۱۷۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۴	۸
۲۷	IPE 270	۱۸۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۴	۸
۲۸	IPE 300	۱۹۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۴	۸

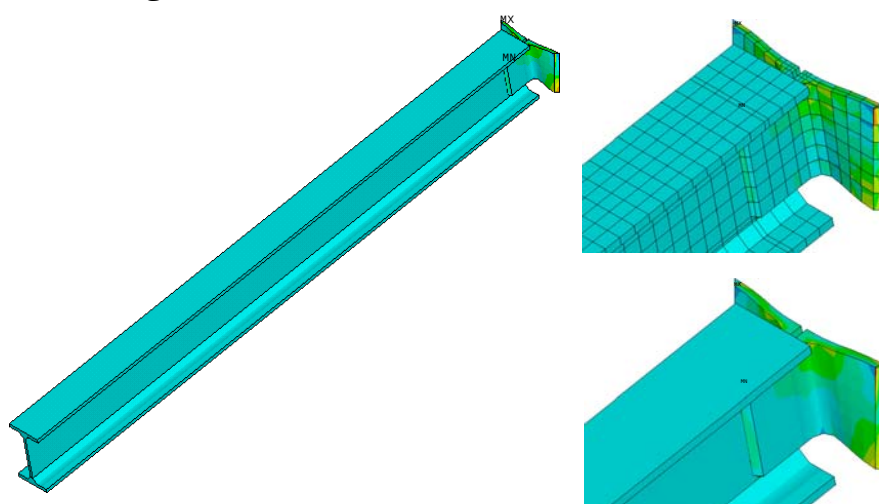
جدول (۴-۳): مشخصات اتصالات جان پیشنهادی راهنمای اتصالات [۱۲]

شماره شکل	نیمرخ	چاپ نمایی	شماره نبشی	اندازه جوش A	اندازه جوش B
۲۹	IPE 200	۱۵۰	۶۰×۶۰×۶	۳	۵
۳۰	IPE 200	۱۵۰	۸۰×۸۰×۸	۳	۶
۳۱	IPE 200	۱۵۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۴	۸
۳۲	IPE 200	۱۲۵	۸۰×۸۰×۸	۳	۶
۳۳	IPE 200	۱۰۰	۸۰×۸۰×۸	۳	۶

جدول (۴-۴): مشخصات اتصالات نبشی جان طراحی شده



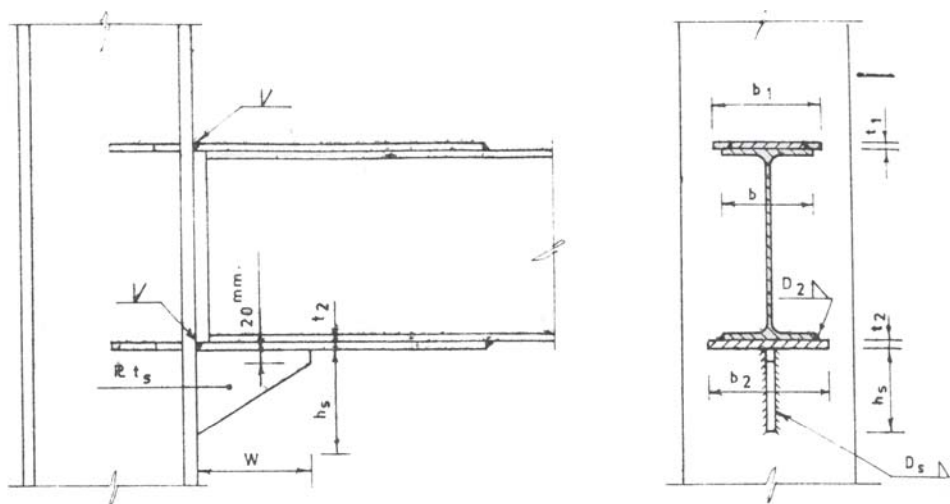
شکل (۴-۸): معیار تنش von Mises اتصال ساده جفت نبشی جان



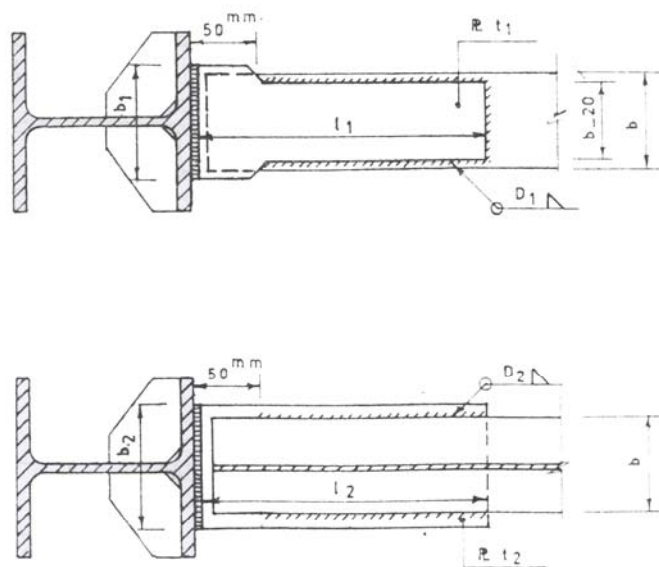
شکل (۴-۹): تنش اصلی اول اتصال ساده جفت نبشی جان

۳-۲-۴- اتصال با ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده

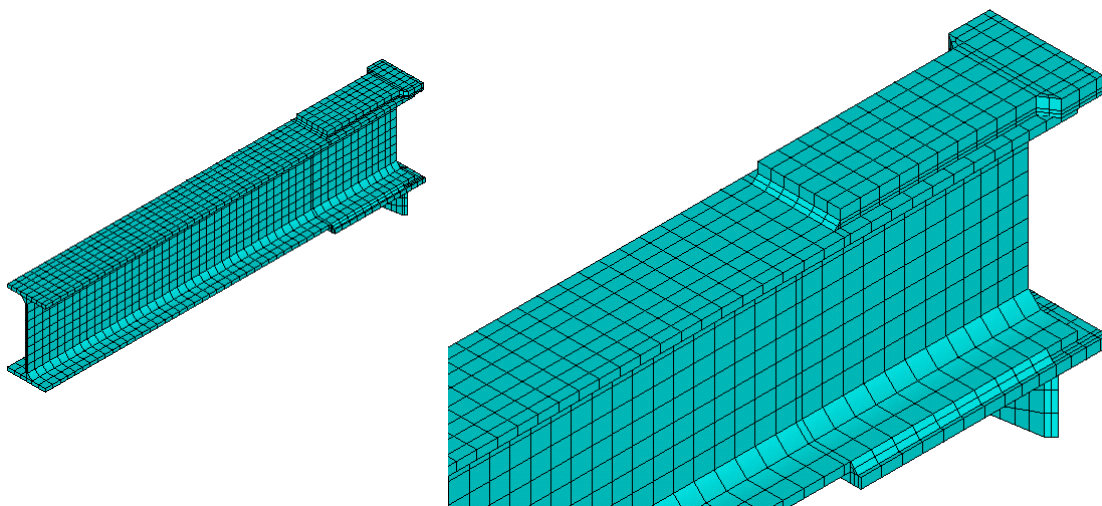
در این مدل سعی شده است مانند مدل های قبل، مدل هایی کاملاً مشابه با اتصالات توصیه شده در آیین نامه مدل شود اما بعضی از ابعاد جوش های توصیه شده حداقل های آیین نامه فولاد ایران (مبحث ۱۰) را رعایت نمی کند برای مثال همان طور که در جدول (۴-۵) مشاهده می کنید در اتصال IPE 10 برای ورق فوقانی، ورقی با ضخامت ۱۲ mm و جوشی با بعد ۴ mm توصیه شده که حداقل بعد جوش گوشه آیین نامه را رعایت نمی کند در ثانی جوش کردن لب به لب این ورق با ضخامت ۱۲ mm می تواند به بال ستون آسیب وارد کند ولی در هر صورت تمام این اتصالات در نرم افزار مدل شده اند و نتایج خوبی از آنها بدست آمد. مدل توصیه شده این اتصال در شکل های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) و مدل این اتصال در نرم افزار Ansys در شکل های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) به تصویر کشیده شده است.



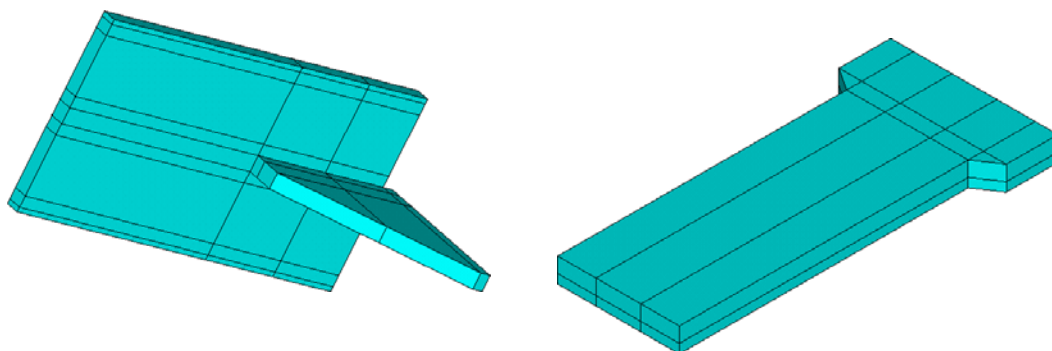
شکل (۴-۱۰): اتصال با ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده [۱۲]



شکل (۴-۱۱): اتصال با ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده (پلان) [۱۲]

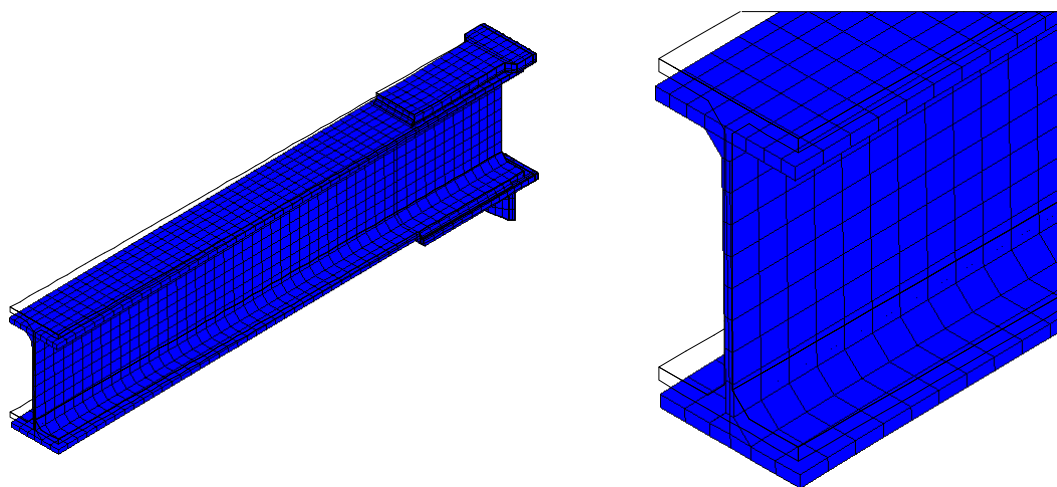


شکل (۴-۱۳): مدل اتصال ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده

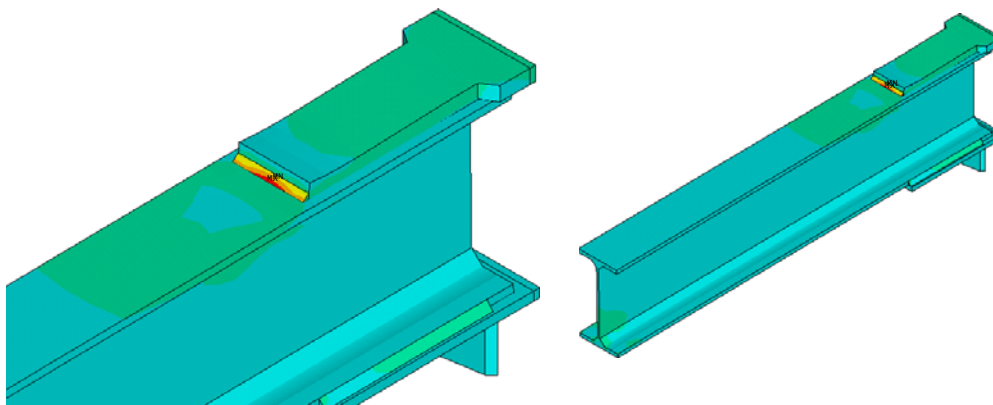


شکل (۴-۱۴): مدل ورق فوقانی و ورق تحتانی به همراه سخت کننده

مشخصات این مدل ها را می توان در جدول های (۴-۵) و (۴-۶) مشاهده نمود. در جدول اول مشخصات اتصالاتی که توسط آیین نامه توصیه شده و در جدول دوم مشخصات اتصالاتی که برای بررسی تاثیر ضخامت ورق فوقانی و همچنین تاثیر طول این ورق به تفصیل آمده است. تصاویری از تنش اصلی اول و تنش معیار فون مایز در این اتصال را می توان در شکل های (۴-۱۶) و (۴-۱۷) مشاهده نمود و تصویری از خیز حداکثر تیر در شکل (۴-۱۵) آمده است.



شکل (۴-۱۵): خیز اتصال ورق فوقانی و تحتانی



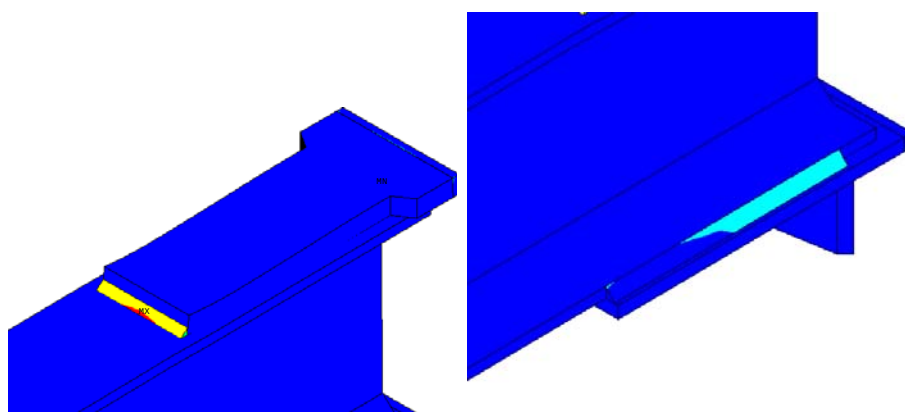
شکل (۴-۱۶): تنش اصلی اول اتصال ورق فوقانی و تحتانی [۱۲]

ورق فوقانی						ورق تحتانی				نشیمن سخت شده			
شماره مدل	نیمرخ	ضخامت (mm)	پهنای کله (mm)	طول (mm)	جوش (mm)	ضخامت (mm)	پهنا (mm)	طول (mm)	جوش (mm)	ضخامت (mm)	عرض (mm)	ارتفاع (mm)	جوش (mm)
۳۴	۱۰۰	۱۲	۵۵	۱۷۰	۴	۶	۷۵	۱۷۰	۴	۸	۸۰	۶۰	۶
۳۵	۱۲۰	۱۲	۶۵	۱۹۰	۴	۶	۸۵	۱۹۰	۵	۸	۸۰	۷۰	۶
۳۶	۱۴۰	۱۲	۷۵	۲۰۰	۴	۸	۹۵	۲۰۰	۵	۱۰	۱۰۰	۸۰	۷
۳۷	۱۶۰	۱۴	۸۵	۲۲۰	۵	۸	۱۰۵	۲۲۰	۶	۱۰	۱۰۰	۹۰	۷
۳۸	۱۸۰	۱۴	۹۵	۲۳۰	۵	۱۰	۱۱۰	۲۳۰	۶	۱۰	۱۰۰	۹۰	۷
۳۹	۲۰۰	۱۶	۱۱۰	۲۴۰	۶	۱۰	۱۲۰	۲۴۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷
۴۰	۲۲۰	۱۶	۱۳۰	۲۶۰	۶	۱۲	۱۳۰	۲۶۰	۷	۱۲	۱۲۰	۱۱۰	۸
۴۱	۲۴۰	۱۶	۱۴۰	۲۷۰	۷	۱۲	۱۴۰	۲۷۰	۸	۱۲	۱۲۰	۱۲۰	۸
۴۲	۲۷۰	۱۶	۱۵۵	۲۹۰	۷	۱۲	۱۵۵	۲۹۰	۹	۱۲	۱۲۰	۱۳۰	۸
۴۳	۳۰۰	۱۸	۱۷۰	۳۱۰	۷	۱۴	۱۷۰	۳۱۰	۹	۱۲	۱۲۰	۱۴۰	۸

جدول (۴-۵): مشخصات اتصالات ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده پیشنهادی راهنمای اتصالات [۱۲]

ورق فوقانی						ورق تحتانی				نشیمن سخت شده			
شماره مدل	نیمرخ	ضخامت (mm)	پهنای کله (mm)	طول (mm)	جوش (mm)	ضخامت (mm)	پهنای (mm)	طول (mm)	جوش (mm)	ضخامت (mm)	عرض (mm)	ارتفاع (mm)	جوش (mm)
۴۴	۲۰۰	۱۲	۱۱۰	۲۴۰	۶	۱۰	۱۲۰	۲۴۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷
۴۵	۲۰۰	۱۴	۱۱۰	۲۴۰	۶	۱۰	۱۲۰	۲۴۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷
۴۶	۲۰۰	۱۶	۱۱۰	۲۴۰	۶	۱۰	۱۲۰	۲۴۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷
۴۷	۲۰۰	۱۶	۱۱۰	۳۰۰	۶	۱۰	۱۲۰	۳۰۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷
۴۸	۲۰۰	۱۶	۱۱۰	۱۸۰	۶	۱۰	۱۲۰	۱۸۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷

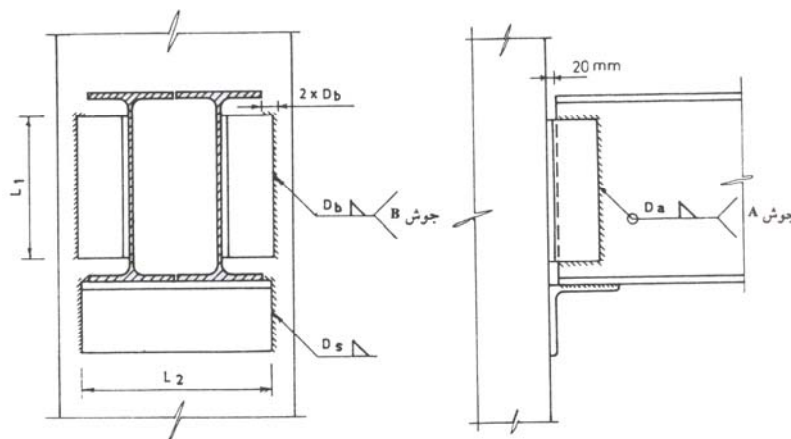
جدول (۴-۶): مشخصات اتصالات ورق فوقانی و تحتانی با نشیمن تقویت شده طراحی شده



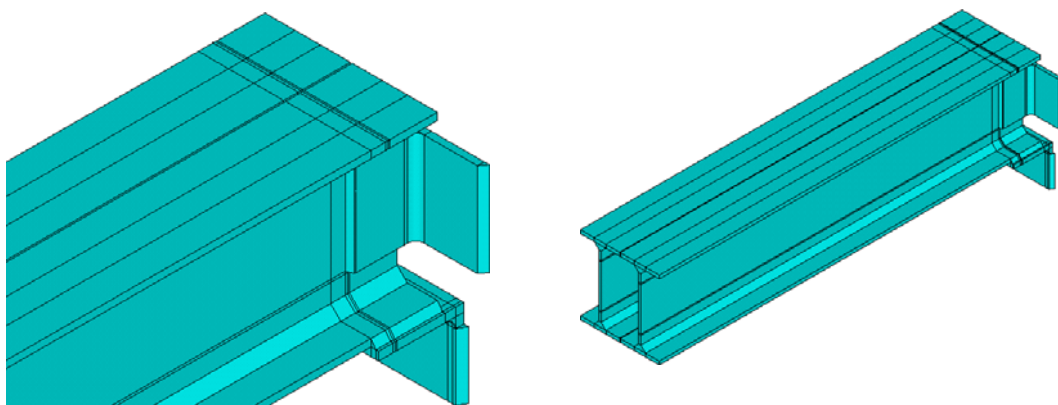
شکل (۴-۱۷): معیار تنش von Mosses اتصال ورق فوقانی و تحتانی

۴-۲-۴- اتصال جفت نبشی جان

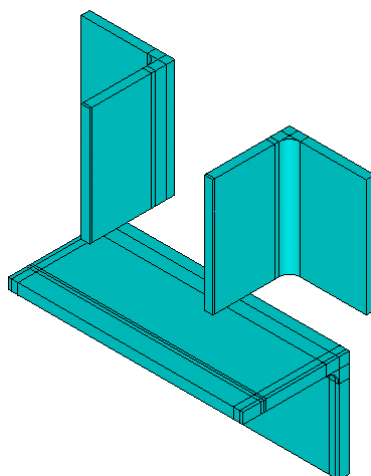
اتصال دیگری که در اینجا مدل سازی شده است اتصال نبشی جان برای تیر های IPE دابل می باشد. تفاوت این اتصال با اتصال جفت نبشی جان برای تیرهای IPE تک قرار گرفتن یک نبشی در زیر تیر به عنوان نشیمن می باشد که باعث تحمل برش بیشتر و جابجا شدن محور دوران اتصال می شود. تصاویری از این اتصالات را می توان در شکل ۴-۱۸ مشاهده نمود در این تصویر اطلاعاتی در مورد نحوه قرارگیری و ابعاد اجزای اتصال به تصویر کشیده شده است. همچنین تصاویری از این مدل های اتصالات در نرم افزار Ansys را نیز می توان در شکل های (۴-۱۹) و (۴-۲۰) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۸): اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت [۱۲]

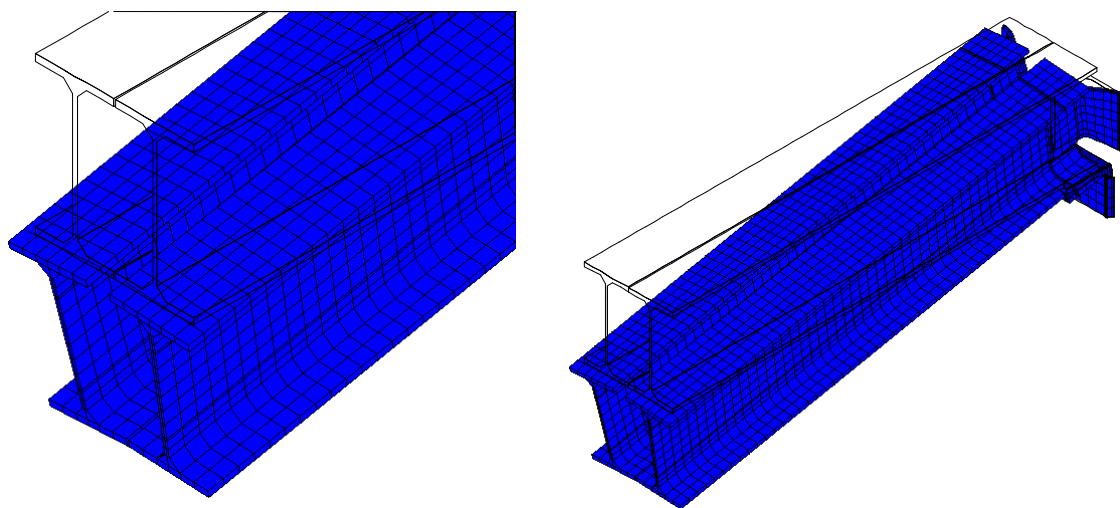


شکل (۴-۱۹): مدل اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت

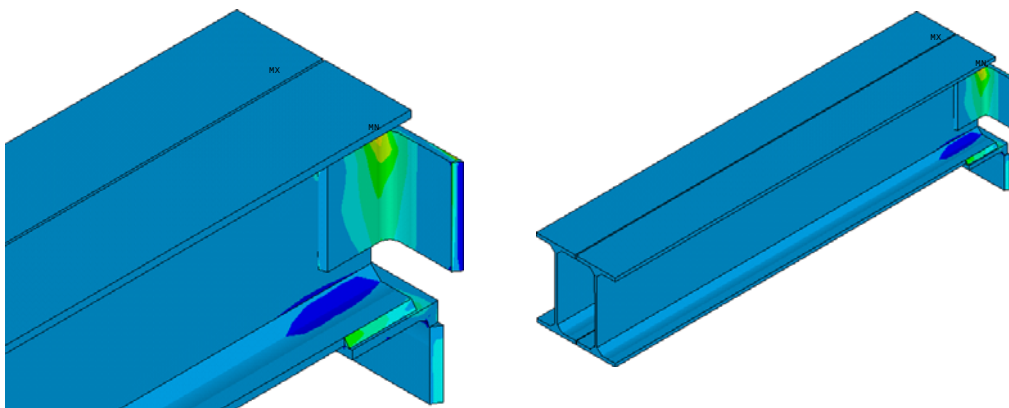


شکل (۴-۲۰): مدل نبشی های جان و نبشی نشیمن برای تیر های IPE جفت

مشخصات این مدل ها را می توان در جدول های (۴-۷) و (۴-۸) مشاهده نمود. در جدول اول مشخصات اتصالاتی که توسط آیین نامه توصیه شده و در جدول دوم مشخصات اتصالاتی که برای بررسی تاثیر ضخامت ورق فوقانی و همچنین تاثیر طول این ورق به تفصیل آمده است. تصاویری از تنش اصلی اول و تنش معیار فون مایز در این اتصال را می توان در شکل های (۴-۲۳) و (۴-۲۴) مشاهده نمود و تصویری از خیز حداکثر تیر در شکل (۴-۲۲) آمده است.



شکل (۴-۲۱): خیز اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت



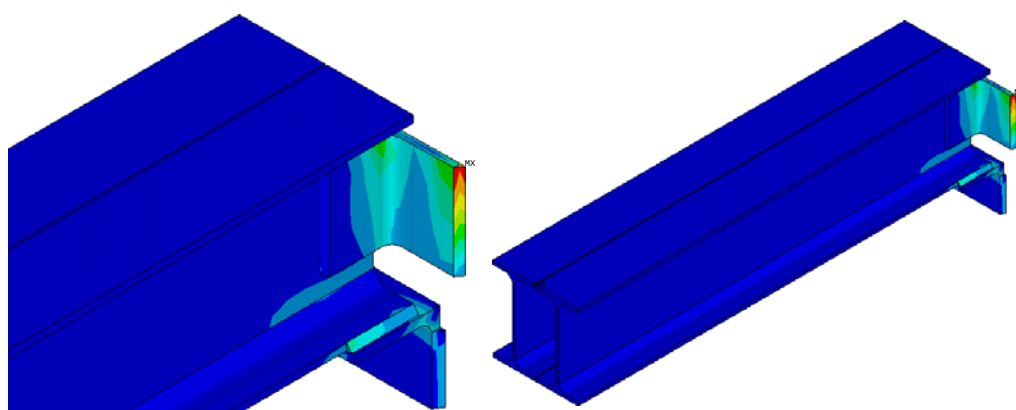
شکل (۴-۲۲): تنش اصلی اول اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت

شماره مدل	نیمرخ	نبشی های جان				نبشی نشیمن		
		شماره نبشی	طول	جوش D_a	جوش D_b	شماره نبشی	طول	جوش
۴۹	IPE 100	۵۰×۵۰×۵	۷۰	۳	۵	۸۰×۸۰×۸	۱۳۰	۴
۵۰	IPE 120	۵۰×۵۰×۵	۸۵	۳	۵	۸۰×۸۰×۸	۱۵۰	۴
۵۱	IPE 140	۶۰×۶۰×۶	۱۰۰	۳	۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۶۰	۵
۵۲	IPE 160	۶۰×۶۰×۶	۱۱۰	۳	۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۸۰	۵
۵۳	IPE 180	۸۰×۸۰×۸	۱۳۰	۳	۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۰۰	۶
۵۴	IPE 200	۸۰×۸۰×۸	۱۵۰	۳	۶	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۲۰	۶
۵۵	IPE 220	۸۰×۸۰×۸	۱۶۰	۳	۶	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۴۰	۶
۵۶	IPE 240	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۸۰	۴	۷	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۶۰	۶
۵۷	IPE 270	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۰۰	۴	۷	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۹۰	۷
۵۸	IPE 300	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۳۰	۴	۷	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۳۲۰	۷

جدول (۴-۷): مشخصات اتصالات نبشی جان برای IPE دابل پیشنهادی راهنمای اتصالات [۱۲]

شماره مدل	نیمرخ	نبشی های جان				نبشی نشیمن		
		شماره نبشی	طول	جوش D_a	جوش D_b	شماره نبشی	طول	جوش
۵۹	IPE 200	۵۰×۵۰×۵	۱۵۰	۳	۶	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۲۰	۶
۶۰	IPE 200	۶۰×۶۰×۶	۱۵۰	۳	۶	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۲۰	۶
۶۱	IPE 200	۸۰×۸۰×۸	۱۵۰	۳	۶	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۲۰	۶
۶۲	IPE 200	۸۰×۸۰×۸	۱۳۰	۳	۶	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۲۰	۶
۶۳	IPE 200	۸۰×۸۰×۸	۱۱۰	۳	۶	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۲۰	۶

جدول (۴-۸): مشخصات اتصالات نبشی جان برای IPE دوبل طراحی شده



شکل (۴-۲۳): معیار تنش von Mosses اتصال ساده جفت نبشی جان برای تیر های IPE جفت

تصاویری از تنش اصلی اول و تنش معیار فون مایز در این اتصال را می توان در شکل های (۴-۲۳) و

(۴-۲۴) مشاهده نمود و تصویری از خیز حداکثر تیر در شکل (۴-۲۲) آمده است.

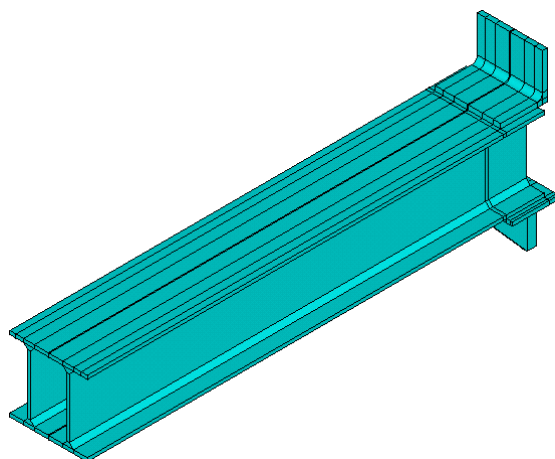
۴-۲-۵- اتصالات نبشی فوقانی و نشیمن تقویت شده برای IPE دوبل:

در این گروه ۱۰ اتصال مورد بررسی قرار گرفته است که با بدست آوردن سختی اتصال و نمودار لنگر

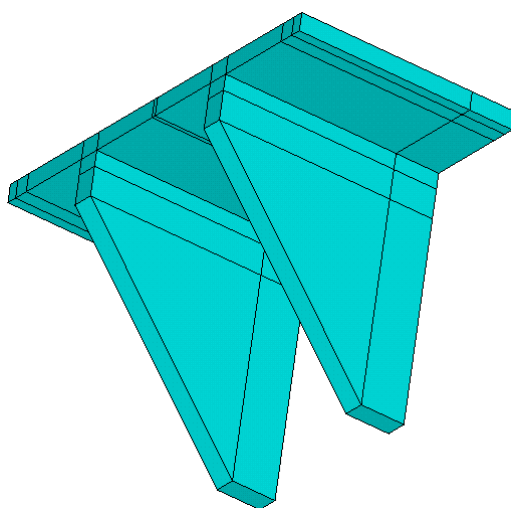
دوران اتصالات برای محاسبه درصد گیرداری جداول این آیین نامه تکمیل گردیده است.. مشخصات

اتصالات نام برده را می توان در جدول (۴-۹) مشاهده نمود.

تصاویری از این اتصالات را می توان در شکل (۴-۲۷) مشاهده نمود در این تصویر اطلاعاتی در مورد نحوه قرار گیری و ابعاد اجزای اتصال به تصویر کشیده شده است. همچنین تصاویری از این مدل های اتصالات در نرم افزار Ansys را نیز می توان در شکل (۴-۲۶ و ۴-۲۵) مشاهده نمود.



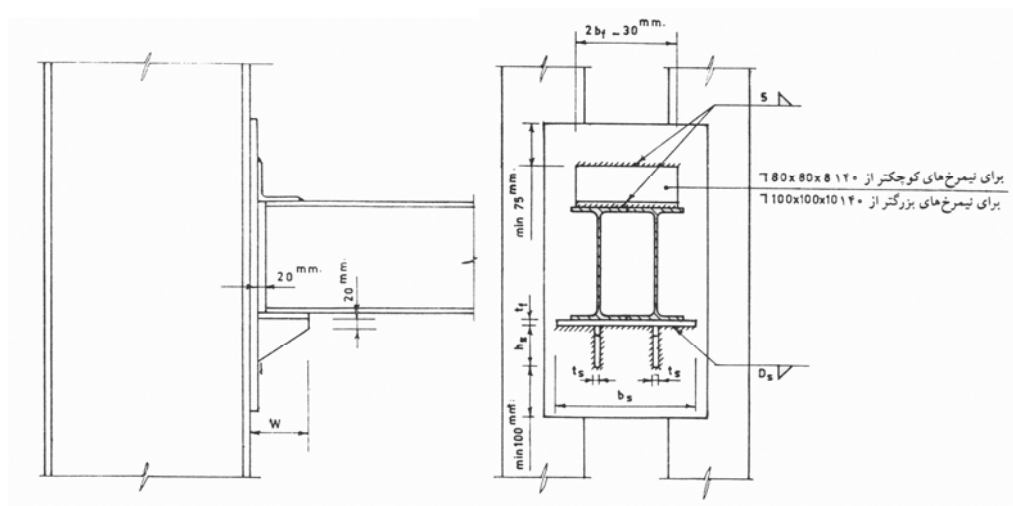
شکل (۴-۲۵): مدل اتصال نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت



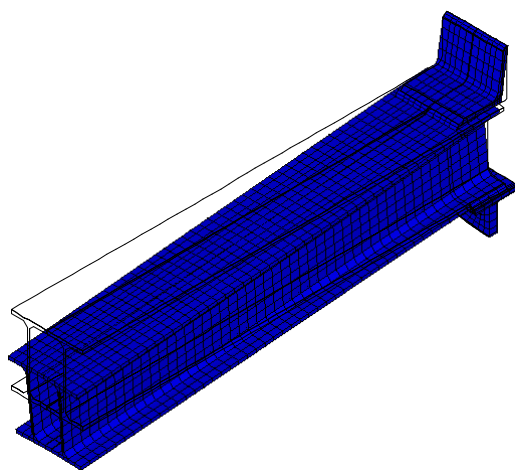
شکل (۴-۲۶): مدل نشیمن تقویت شده برای تیر های IPE جفت

نبشی فوقانی					ورق نشیمن				نشیمن سخت شده			
شماره مدل	نیمرخ	نبشی	طول (mm)	جوش (mm)	ضخامت (mm)	پهنا (mm)	طول (mm)	جوش (mm)	ضخامت (mm)	عرض (mm)	ارتفاع (mm)	جوش (mm)
۶۴	۱۰۰	۸۰×۸۰×۸	۸۰	۵	۶	۱۳۰	۸۰	۵	۸	۸۰	۸۰	۵
۶۵	۱۲۰	۸۰×۸۰×۸	۱۰۰	۵	۸	۱۵۰	۸۰	۵	۸	۸۰	۹۰	۵
۶۶	۱۴۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۲۰	۷	۸	۱۷۰	۱۰۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۷
۶۷	۱۶۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۴۰	۷	۸	۱۸۰	۱۰۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۱۰	۷
۶۸	۱۸۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۸۰	۷	۸	۲۰۰	۱۰۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۲۰	۷
۶۹	۲۰۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۰۰	۷	۱۰	۲۲۰	۱۰۰	۷	۱۰	۱۰۰	۱۳۰	۷
۷۰	۲۲۰	۱۲×۱۲۰×۱۲۰	۲۲۰	۷	۱۰	۲۴۰	۱۲۰	۸	۱۲	۱۲۰	۱۴۰	۸
۷۱	۲۴۰	۱۲×۱۲۰×۱۲۰	۲۴۰	۷	۱۰	۲۶۰	۱۲۰	۸	۱۲	۱۲۰	۱۵۰	۸
۷۲	۲۷۰	۱۲×۱۲۰×۱۲۰	۲۷۰	۷	۱۲	۲۹۰	۱۲۰	۸	۱۲	۱۲۰	۱۷۰	۸
۷۳	۳۰۰	۱۲×۱۲۰×۱۲۰	۳۰۰	۷	۱۲	۳۲۰	۱۲۰	۸	۱۲	۱۲۰	۱۸۰	۸

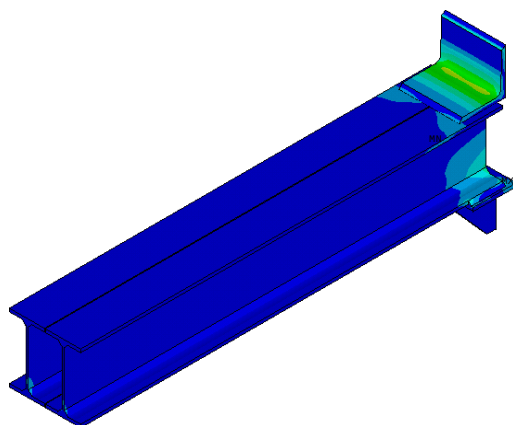
جدول (۴-۹): مشخصات اتصالات نبشی فوقانی و نشیمن تقویت شده برای IPE دابل پیشنهادی راهنمای اتصالات [۱۲]



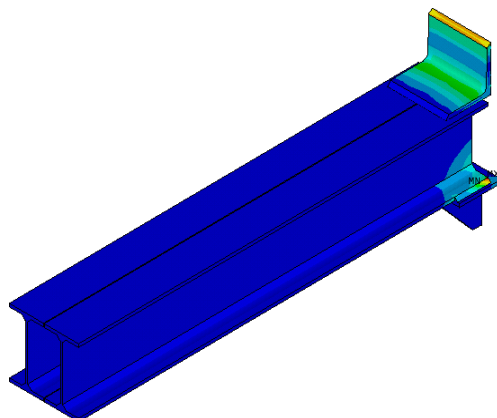
شکل (۴-۲۷): اتصال ساده نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی برای تیر های *IPE* جفت [۱۲]



شکل (۴-۲۸): خیز اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های *IPE* جفت



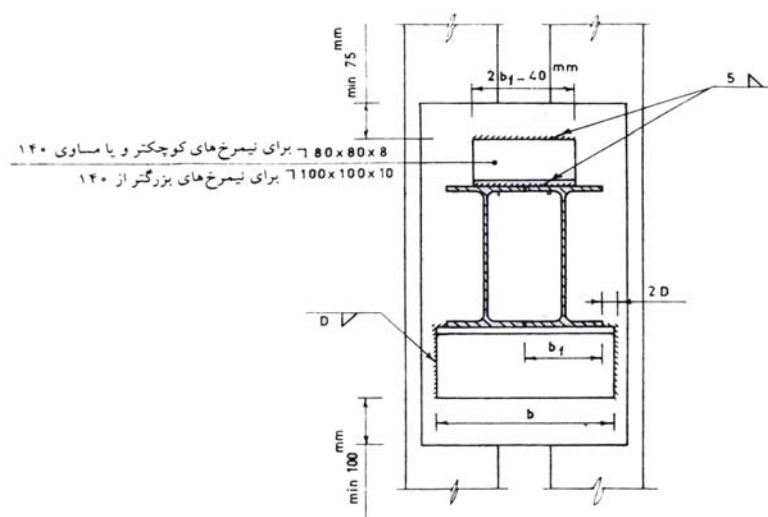
شکل (۴-۲۹): تنش اصلی اول اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های *IPE* جفت



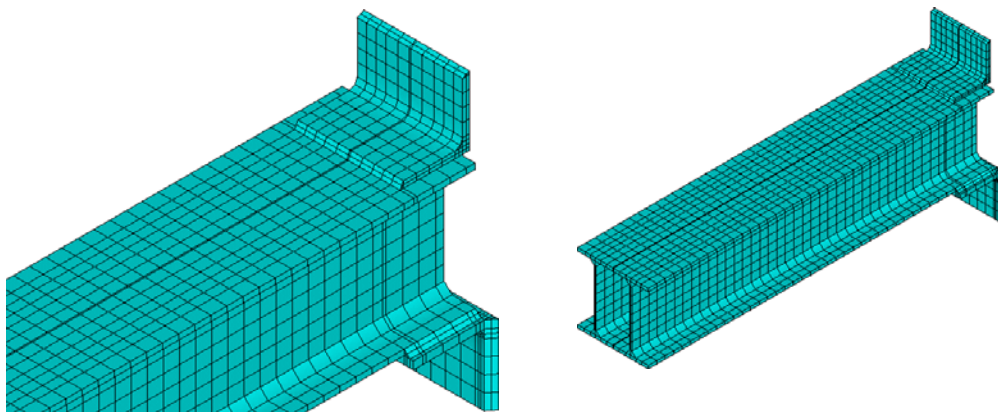
شکل (۴-۳۰): معیار تنش von Mosses اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های *IPE* جفت

۴-۲-۶- اتصالات نبشی فوقانی و نبشی نشیمن برای *IPE* دابل:

آخرین اتصالی که در این پروژه مدل شده است اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن باری تیر های *IPE* دابل می باشد. این اتصال مشابه با اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن برای تیر های *IPE* تک می باشد . تصاویری از این اتصالات را می توان در شکل (۴-۳۱) مشاهده نمود در این تصویر اطلاعاتی در مورد نحوه قرار گیری و ابعاد اجزای اتصال به تصویر کشیده شده است. همچنین تصاویری از این مدل های اتصالات در نرم افزار Ansys را نیز می توان در شکل (۴-۳۲) مشاهده نمود.

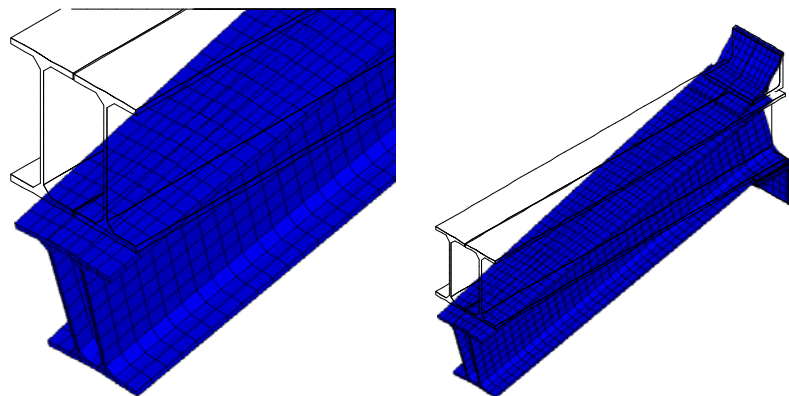


شکل (۴-۳۱): اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های *IPE* جفت [۱۲]



شکل (۴-۳۲): مدل اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت

مشخصات این مدل ها را می توان در جدول های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) مشاهده نمود. در جدول اول مشخصات اتصالاتی که توسط آیین نامه توصیه شده و در جدول دوم مشخصات اتصالاتی که برای بررسی تاثیر ضخامت ورق فوقانی و همچنین تاثیر طول این ورق به تفصیل آمده است. تصاویری از تنش اصلی اول و تنش معیار فون مایز در این اتصال را می توان در شکل های (۴-۳۳) و (۴-۳۴) مشاهده نمود و تصویری از خیز حداکثر تیر در شکل (۴-۳۵) آمده است.



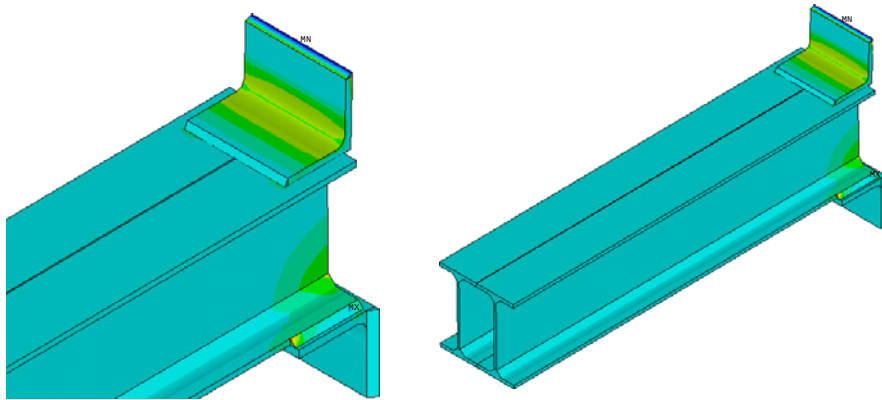
شکل (۴-۳۳): خیز حداکثر تیر طره با اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت

شماره مدل	مقطع IPE	شماره نبشی فوقانی (mm)	طول نبشی فوقانی (mm)	شماره نبشی نشیمن (mm)	طول نبشی نشیمن (mm)	بعد جوش (mm)
۷۴	IPE 100	۶۰×۶۰×۶	۸۰	۸۰×۸۰×۸	۱۳۰	۶
۷۵	IPE 120	۸۰×۸۰×۸	۹۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۵۰	۶
۷۶	IPE 140	۸۰×۸۰×۸	۱۰۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۷۰	۷
۷۷	IPE 160	۸۰×۸۰×۸	۱۲۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۸۰	۸
۷۸	IPE 180	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۴۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۰۰	۸
۷۹	IPE 200	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۶۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۲۰	۹
۸۰	IPE 220	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۸۰	۱۵۰×۱۵۰×۱۵	۲۴۰	۹
۸۱	IPE 240	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۰۰	۱۵۰×۱۵۰×۱۵	۲۶۰	۹
۸۲	IPE 270	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۳۰	۱۵۰×۱۵۰×۱۵	۲۹۰	۱۱
۸۳	IPE 300	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۲۶۰	۱۵۰×۱۵۰×۱۵	۳۰۰	۱۳

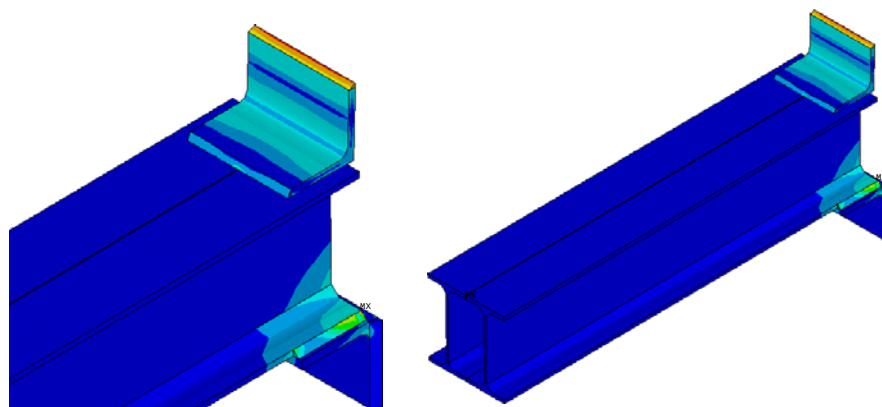
جدول (۴-۱۰): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی برای IPE دابل پیشنهادی راهنمای اتصالات [۱۲]

شماره مدل	مقطع IPE	شماره نبشی فوقانی (mm)	طول نبشی فوقانی (mm)	شماره نبشی نشیمن (mm)	طول نبشی نشیمن (mm)	بعد جوش (mm)
۸۴	IPE 200	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۴۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۳۰	۹
۸۵	IPE 200	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۵۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۳۰	۹
۸۶	IPE 200	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۶۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۳۰	۹
۸۷	IPE 200	۱۰۰×۱۰۰×۱۰	۱۷۰	۱۲۰×۱۲۰×۱۲	۲۳۰	۹

جدول (۴-۱۱): مشخصات اتصالات نبشی نشیمن و فوقانی برای IPE دابل مدل شده



شکل (۴-۳۴): تنش اصلی اول اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت



شکل (۴-۳۵): تنش معیار Von Mosses اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای تیر های IPE جفت

۴-۳- منحنی های لنگر-دوران

همانگونه که در فصل دوم به آن اشاره گردید، منحنی لنگر- دوران و درجه گیرداری یک اتصال از مهمترین مشخصه‌ها در آنالیز و طراحی بهینه قاب‌های فولادی می‌باشد، چراکه در دست داشتن منحنی لنگر- دوران اتصالات منجر به تحلیل سازه‌ها با توجه به رفتار واقعی اتصالات می‌شود، و میزان تقریب‌ها در محاسبات را که به دلیل ایده‌آل سازی‌های رفتار اتصالات بوجود می‌آید، کاهش می‌دهد. بدین منظور در این فصل، براساس نتایج آنالیز به روش المان محدود که با استفاده از نرم‌افزار ANSYS انجام گرفته است، منحنی لنگر- دوران هر یک از اتصالات مدل شده رسم شده است و با

استفاده از آن نمودار خط تیر هر یک از مدل‌ها و در نتیجه درصد گیرداری هر یک از آنها براحتی بدست می‌آید.

منحنی‌های لنگر- دوران هر یک از مدل‌ها

براساس میزان انحراف تیر نسبت به ستون که همان تغییر شکل دورانی اتصال است و در اثر لنگر خمشی بوجود می‌آید، منحنی‌های لنگر- دوران اتصالات مدل شده، مطابق شکل‌های (۴-۳۶) الی (۴-۱۲۲) ترسیم شده‌اند.

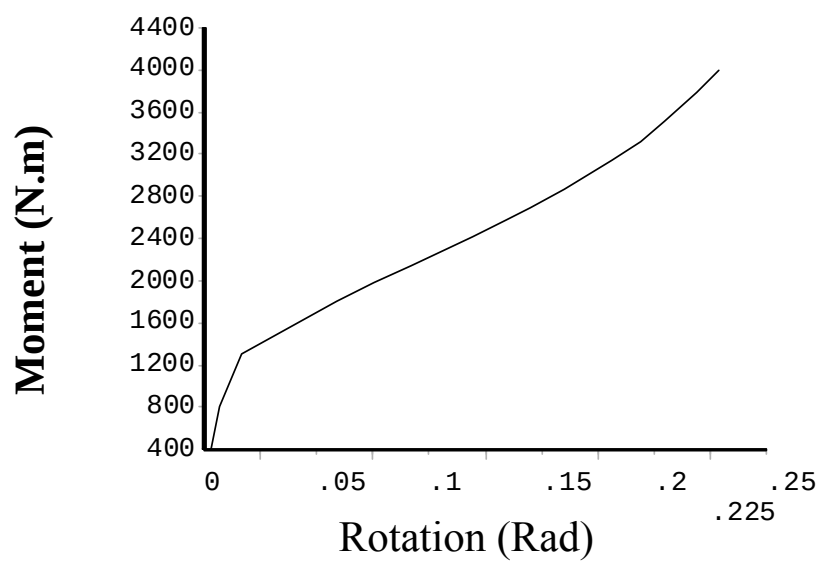
برای محاسبه میزان دوران اتصال (θ) در هر مدل، در هر یک از زیرگام‌ها میزان جابجایی بال فوقانی و تحتانی تیر در محل اتصال آن به ستون، از نرم‌افزار *ANSYS* بدست آمده و سپس اختلاف این دو جابجایی به ارتفاع مقطع تیر در آن مدل تقسیم شده است.

به عبارتی از رابطه ۴-۱ برای بدست آوردن مقدار θ در هر زیرگام بارگذاری استفاده شده است:

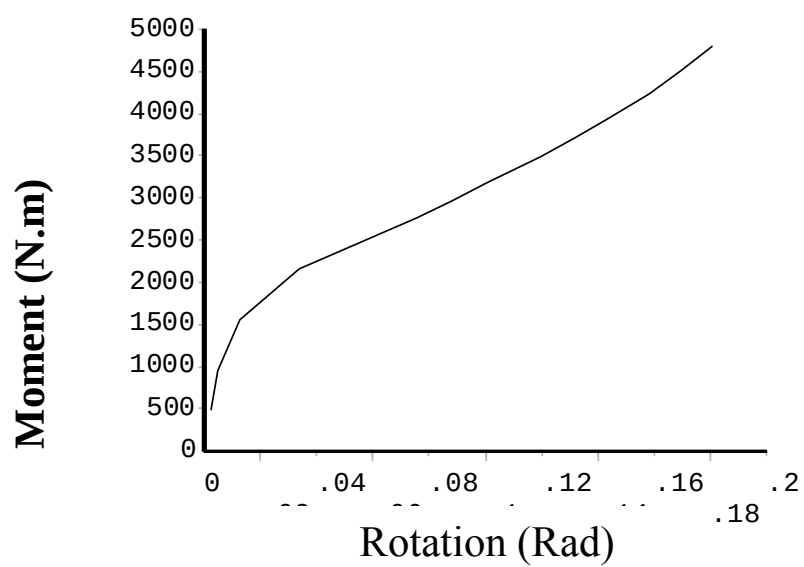
$$\theta = \frac{U_{XA} - U_{XB}}{H} \quad (۴-۱)$$

در رابطه بالا U_{XA} و U_{XB} به ترتیب، میزان جابجایی بال فوقانی و تحتانی تیر در محل اتصال به ستون می‌باشد و نیز H ارتفاع مقطع تیر است.

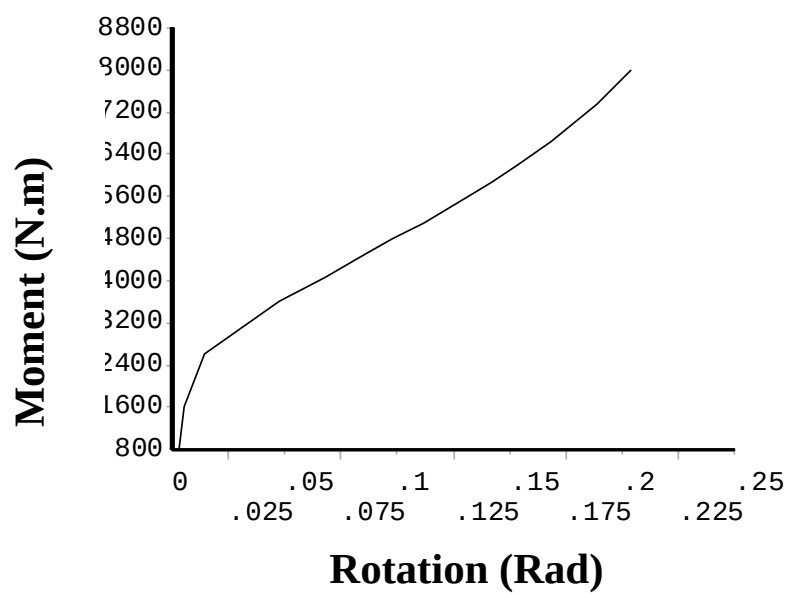
با توجه به نمودارهای لنگر- دوران و توزیع تنش‌ها در المان‌ها، برای هر یک از مدل‌ها منحنی لنگر- دوران را می‌توان به سه ناحیه تقسیم‌بندی کرد، ناحیه اول بصورت خطی می‌باشد که نشان دهنده محدوده الاستیک است؛ ناحیه دوم یک محدوده غیرخطی می‌باشد که بیانگر یک محدوده انتقالی از حالت الاستیک به حالت پلاستیک است، که در این محدوده برخی از المان‌ها به حد جاری شدن می‌رسند؛ ناحیه سوم نیز بصورت غیر خطی می‌باشد، که در این محدوده المان‌های موجود در یک یا چند مقطع جاری شده و به مرحله گسیختگی می‌رسند. البته به طور استثنا در اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن پس از مرحله دوم دوباره یک سخت‌شدگی را مشاهده می‌کنیم.



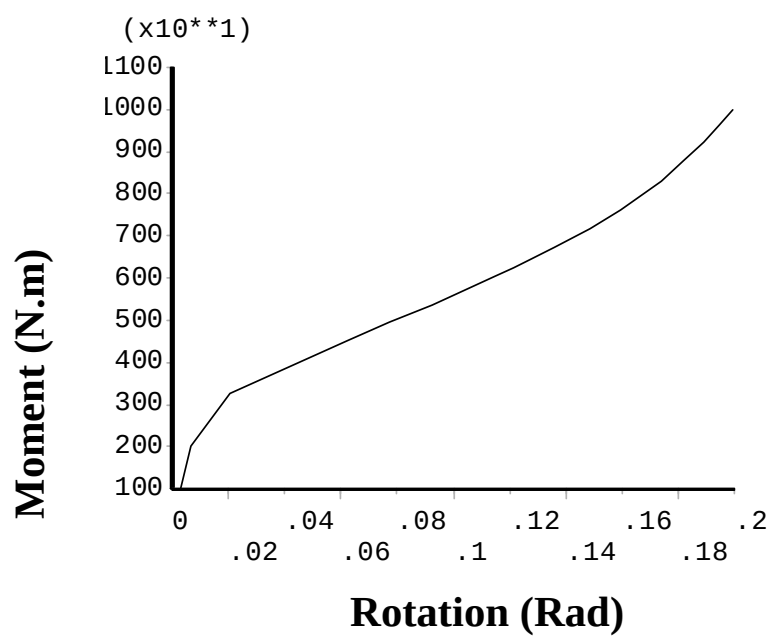
شکل (۴-۳۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱



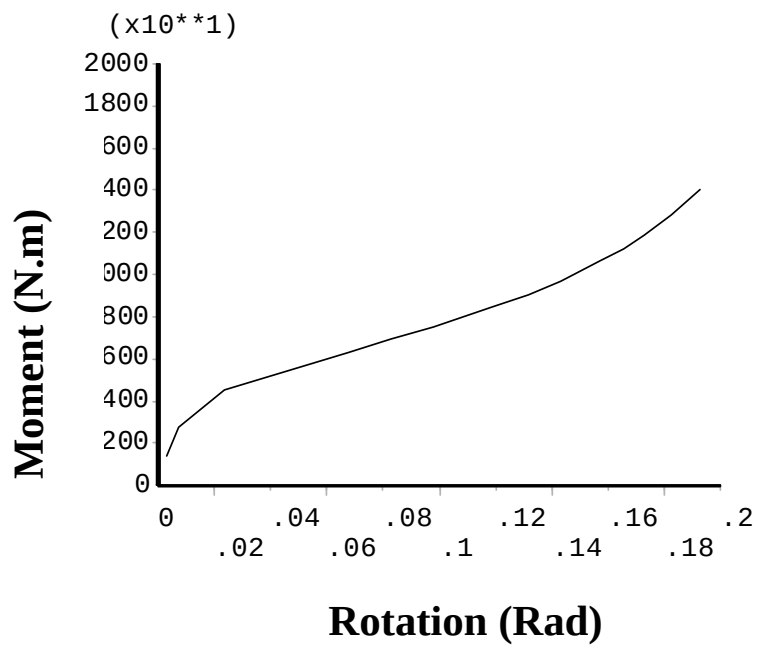
شکل (۴-۳۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲



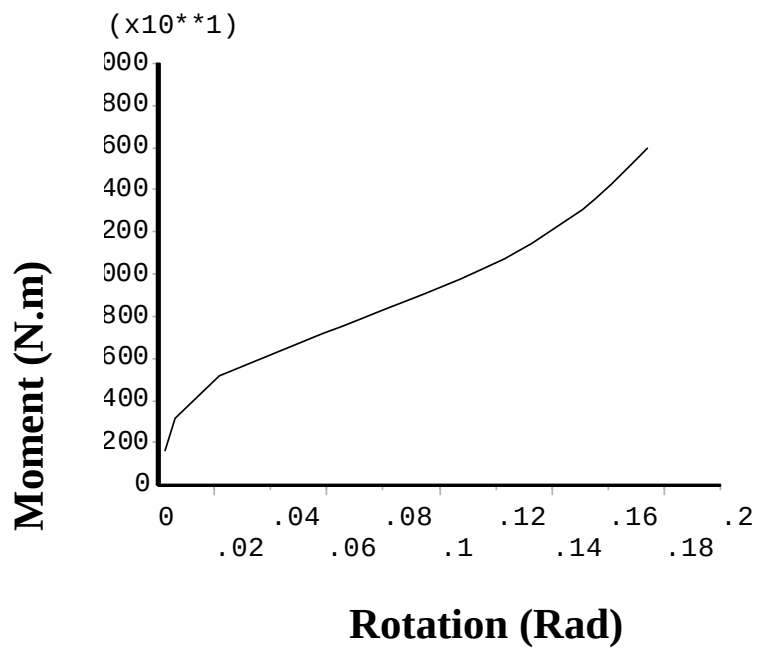
شکل (۴-۳۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳



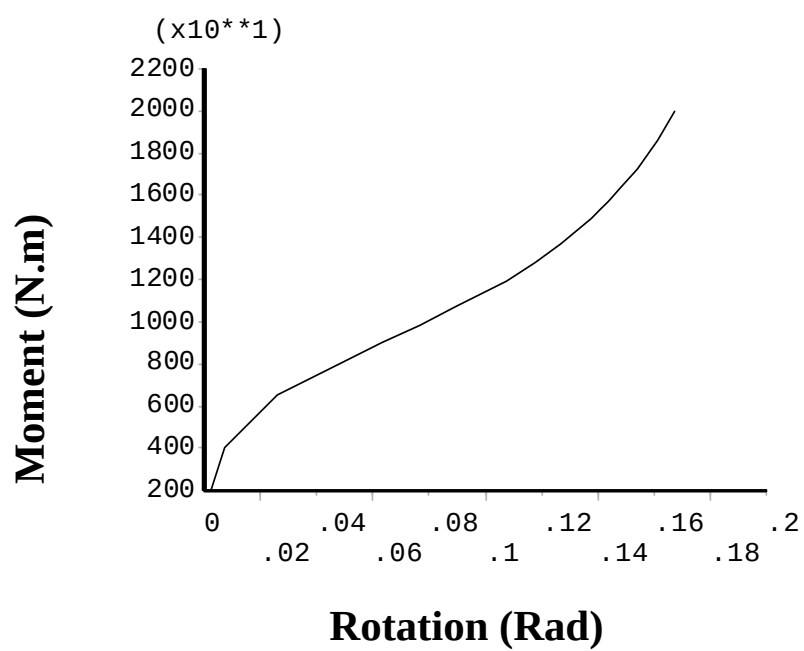
شکل (۴-۳۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴



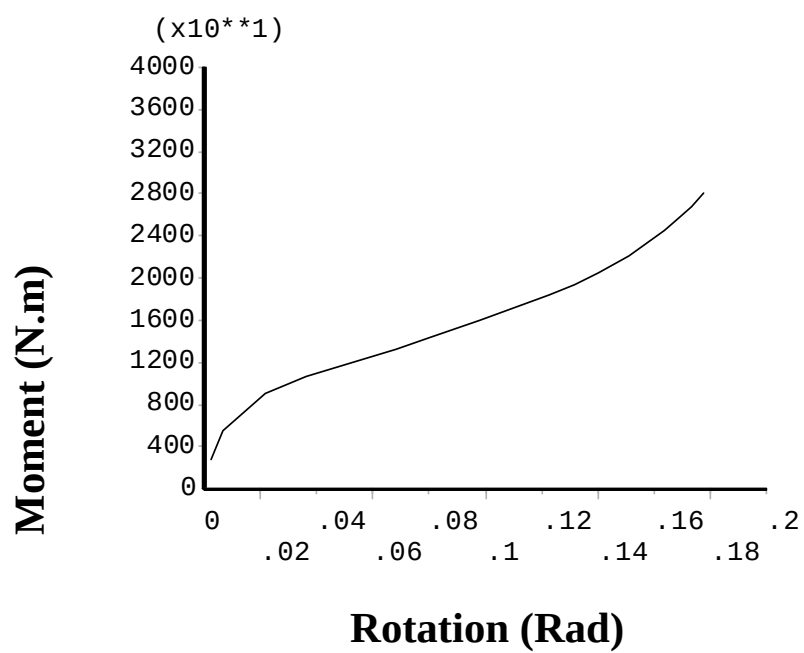
شکل (۴-۴۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵



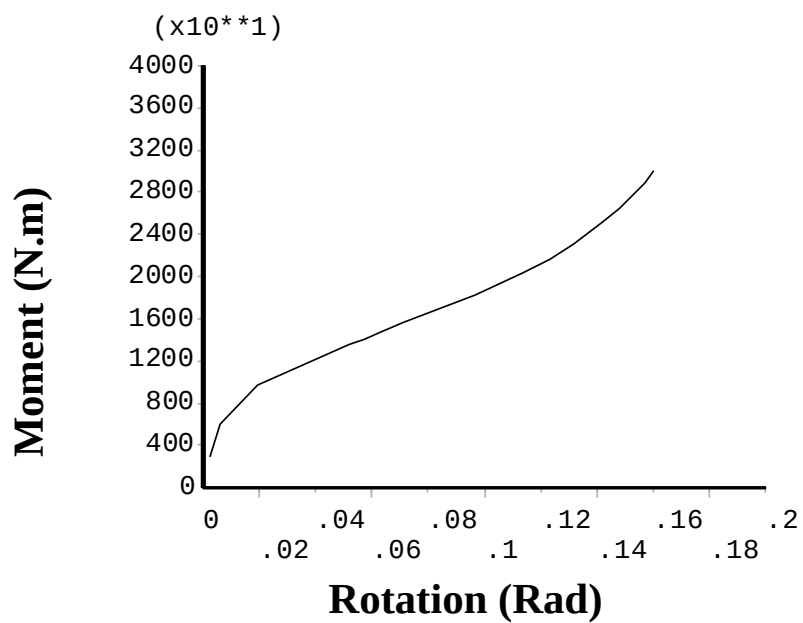
شکل (۴-۴۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶



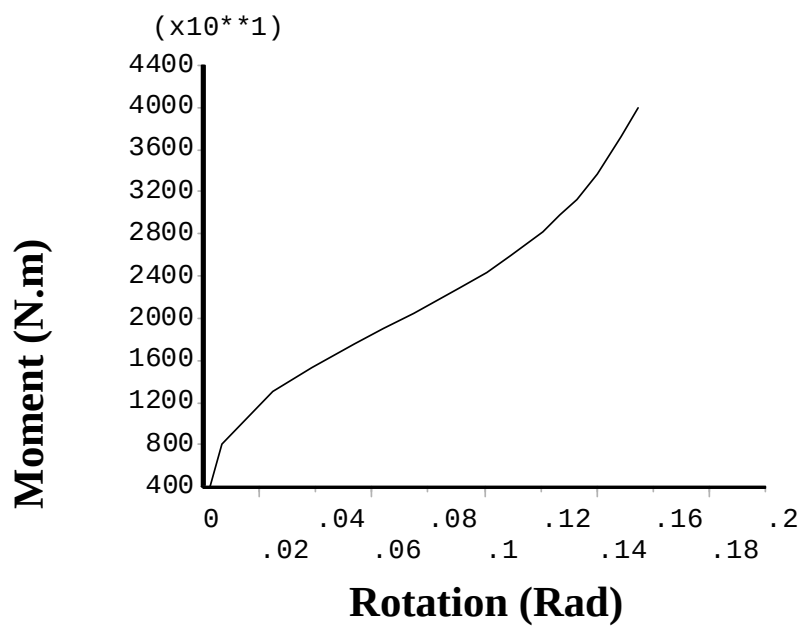
شکل (۴-۴۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷



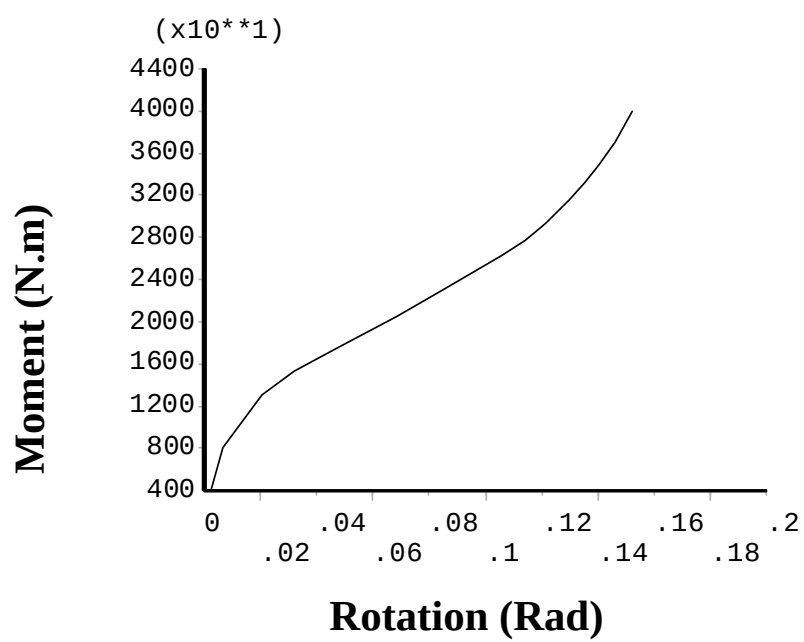
شکل (۴-۴۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸



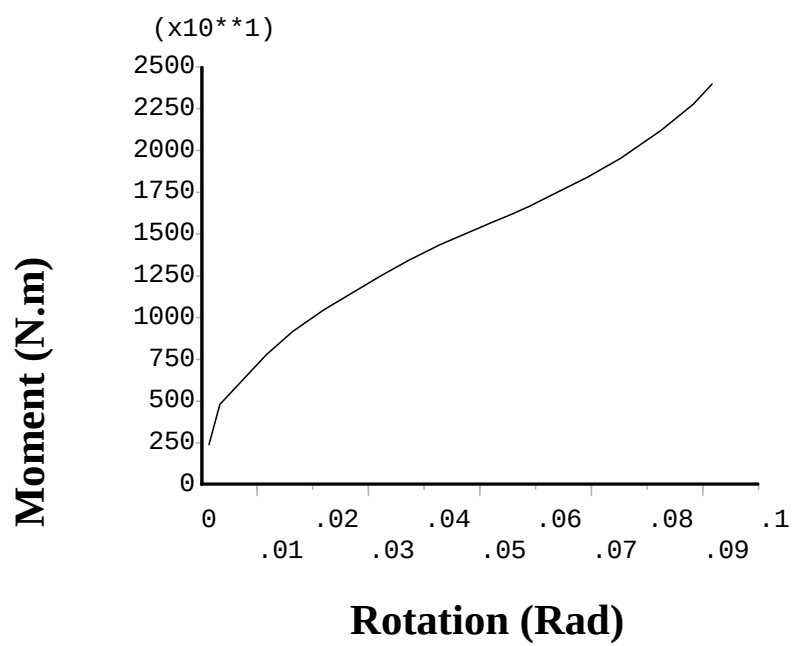
شکل (۴-۴۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۹



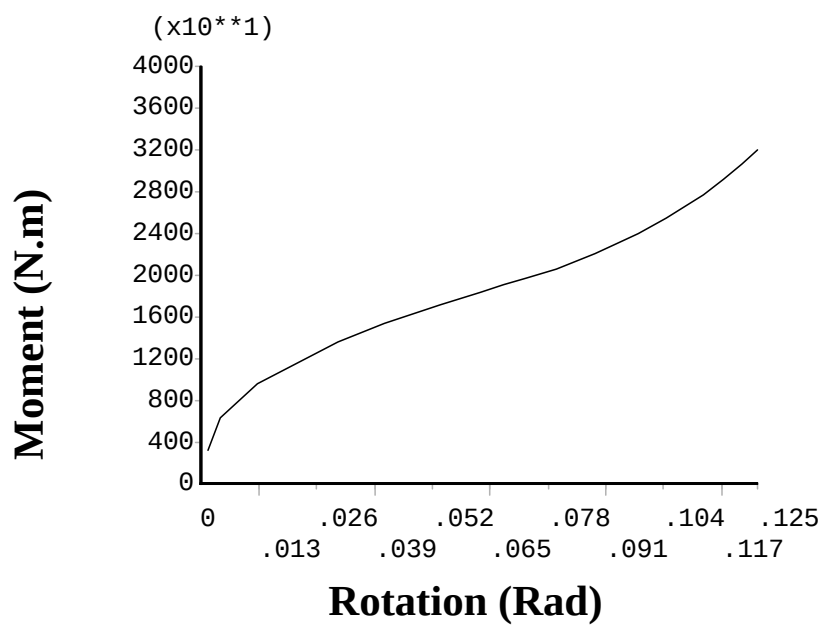
شکل (۴-۴۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۰



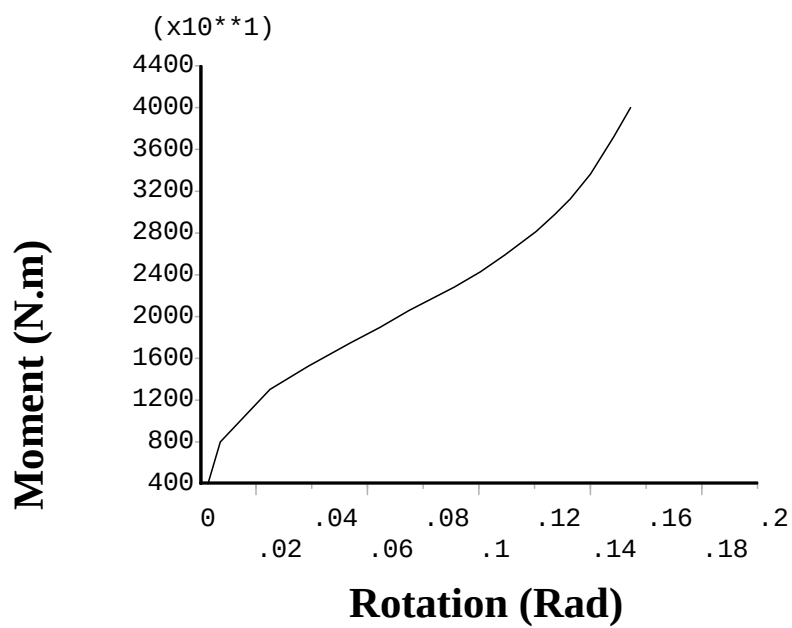
شکل (۴-۴۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۱



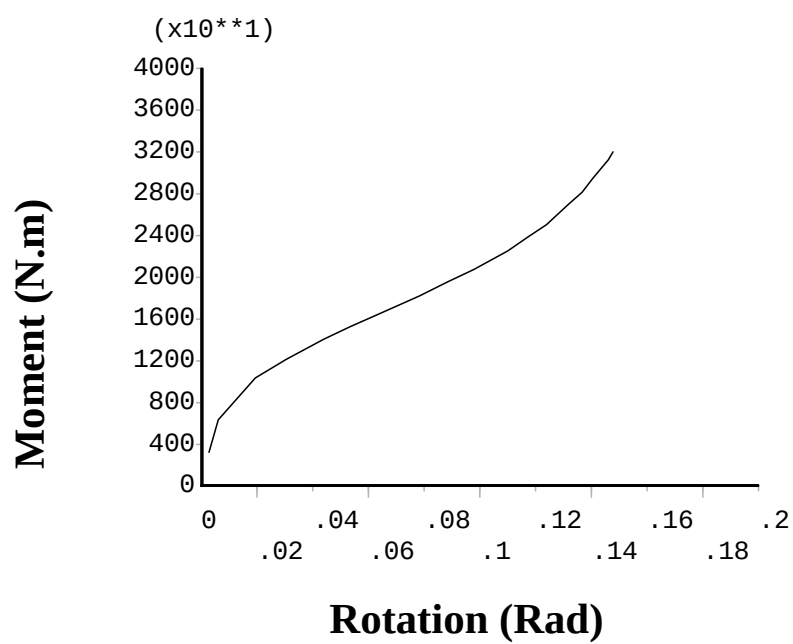
شکل (۴-۴۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۲



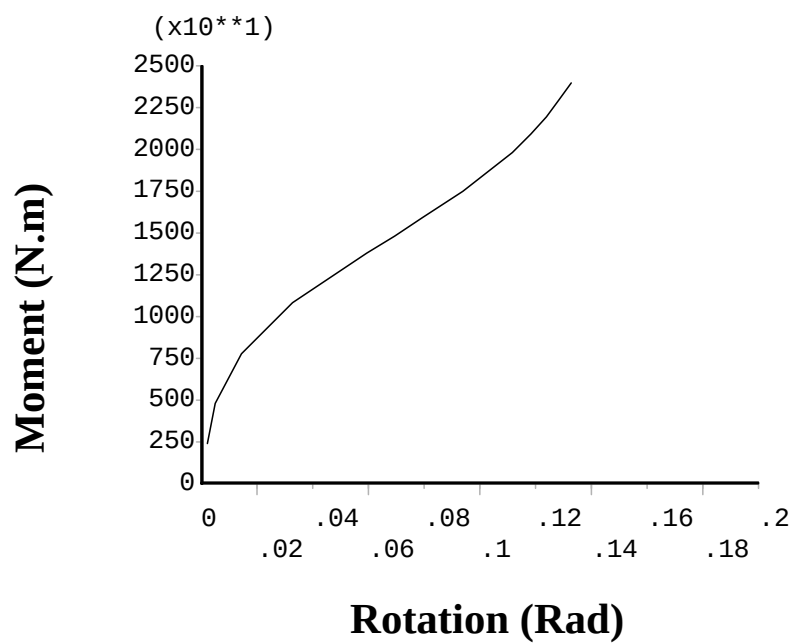
شکل (۴-۴۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۳



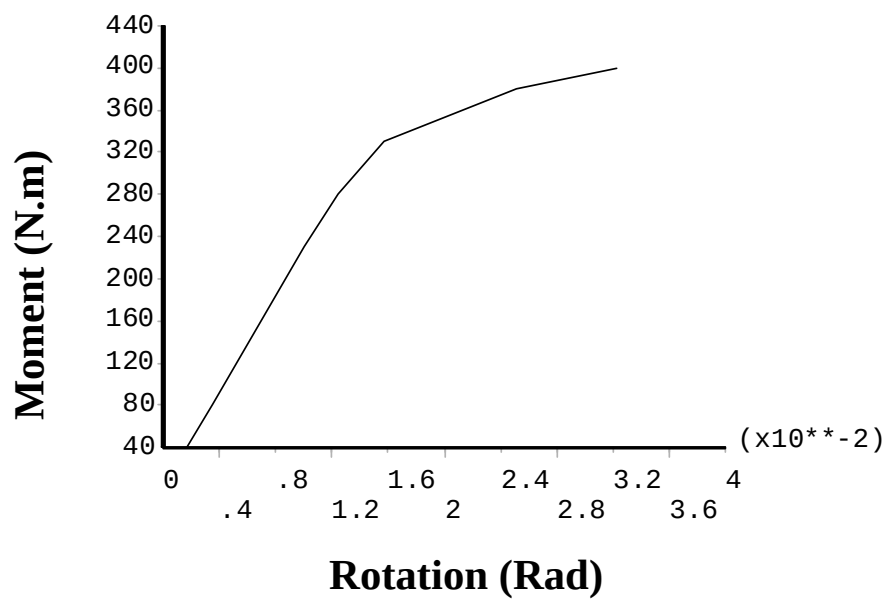
شکل (۴-۴۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۴



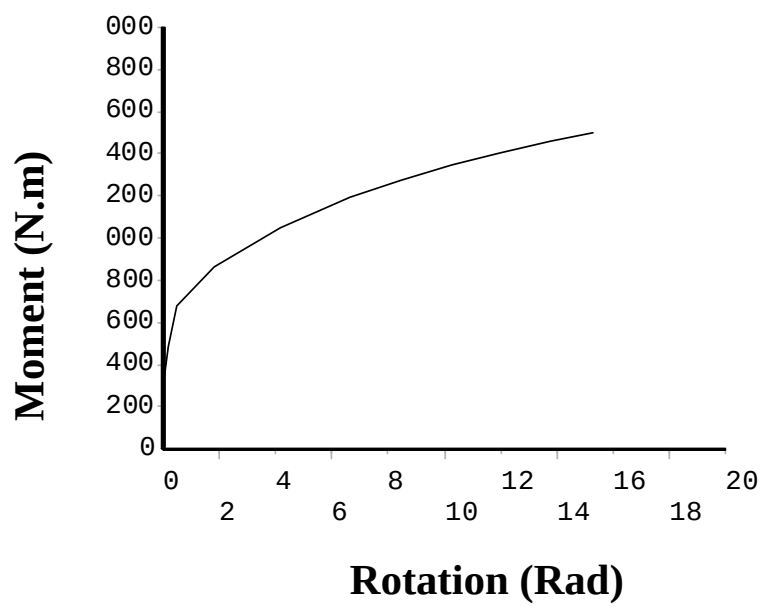
شکل (۴-۵۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۵



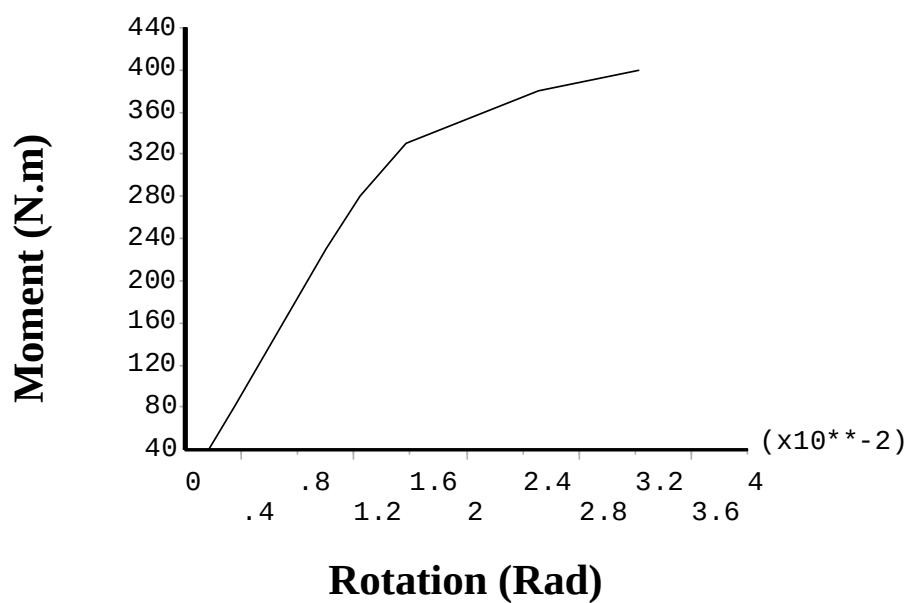
شکل (۴-۵۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۶



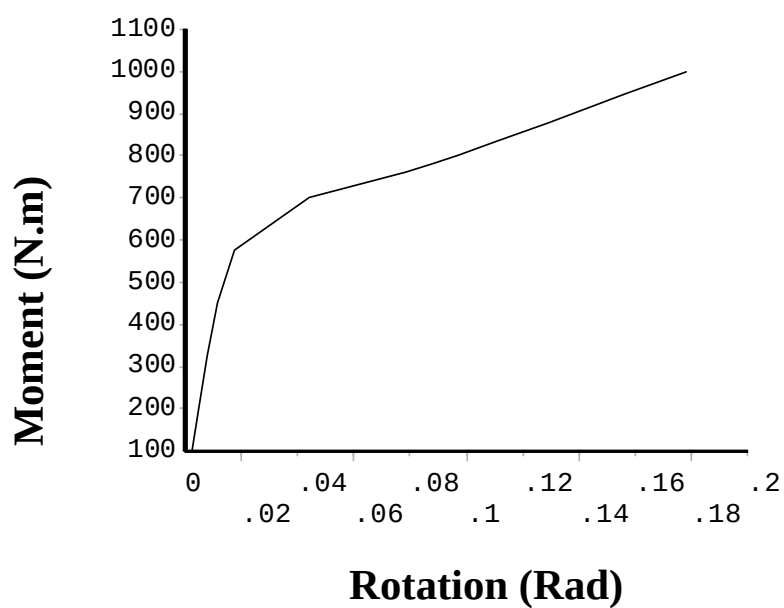
شکل (۴-۵۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۷



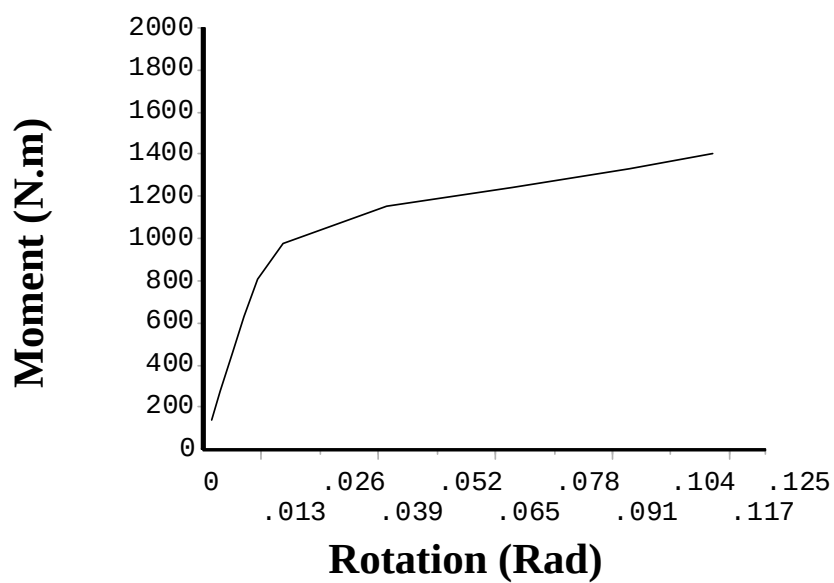
شکل (۴-۵۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۸



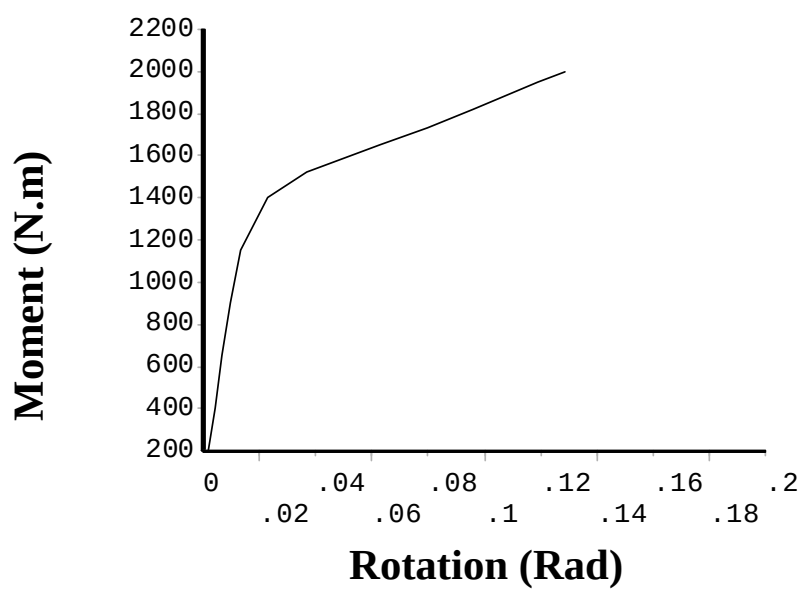
شکل (۴-۵۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۱۹



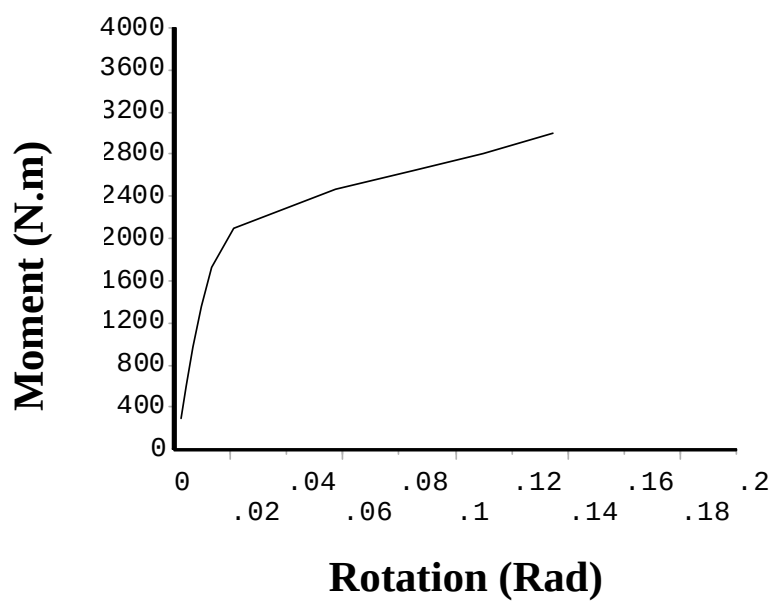
شکل (۴-۵۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۰



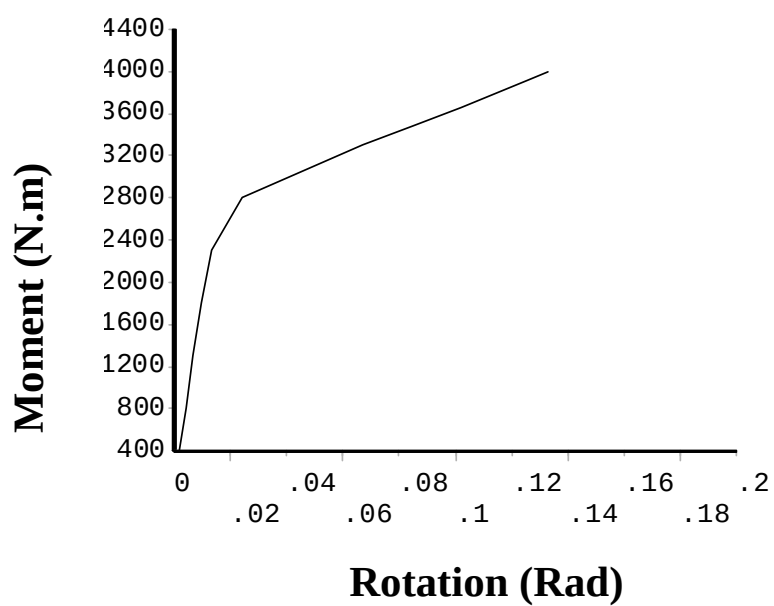
شکل (۴-۵۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۱



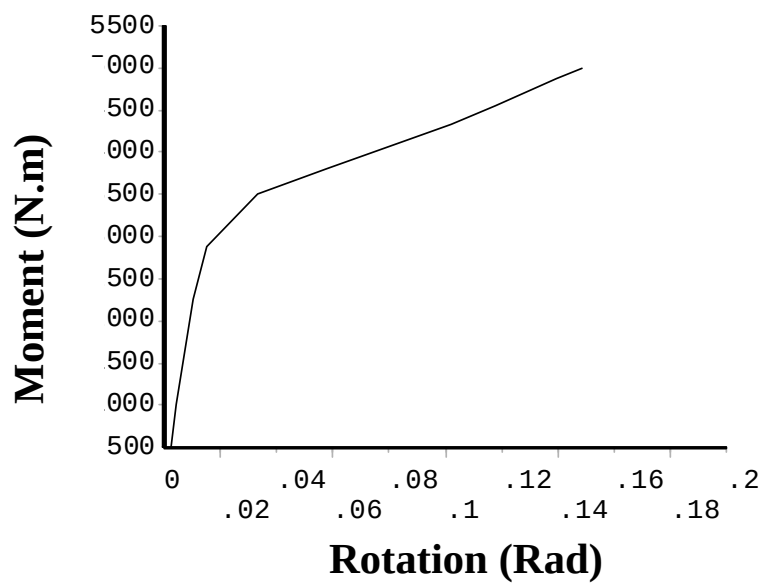
شکل (۴-۵۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۲



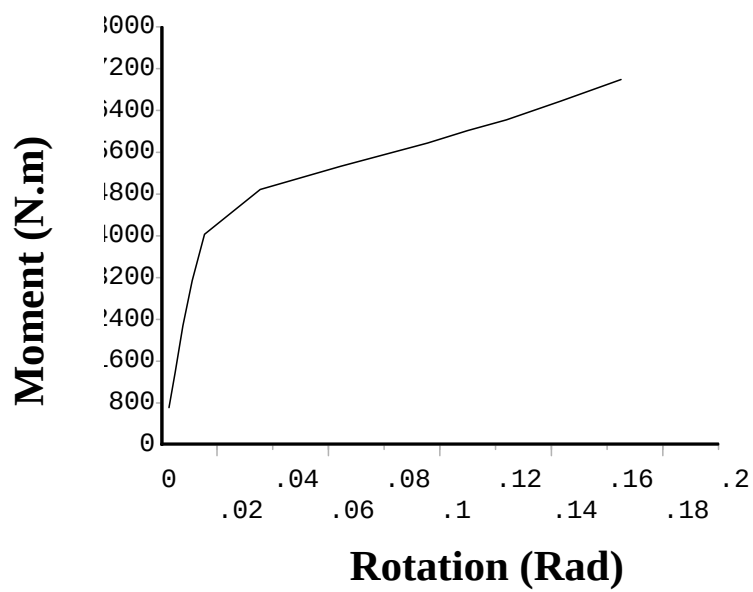
شکل (۴-۵۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۳



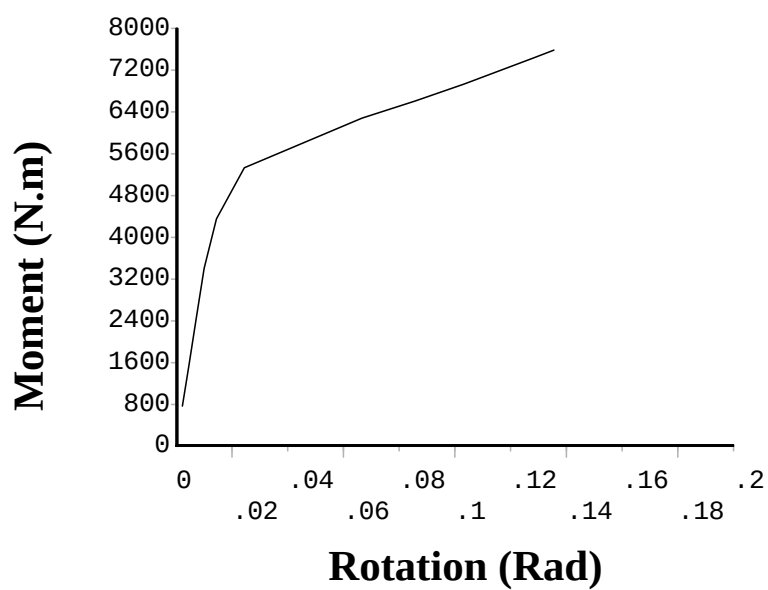
شکل (۴-۵۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۴



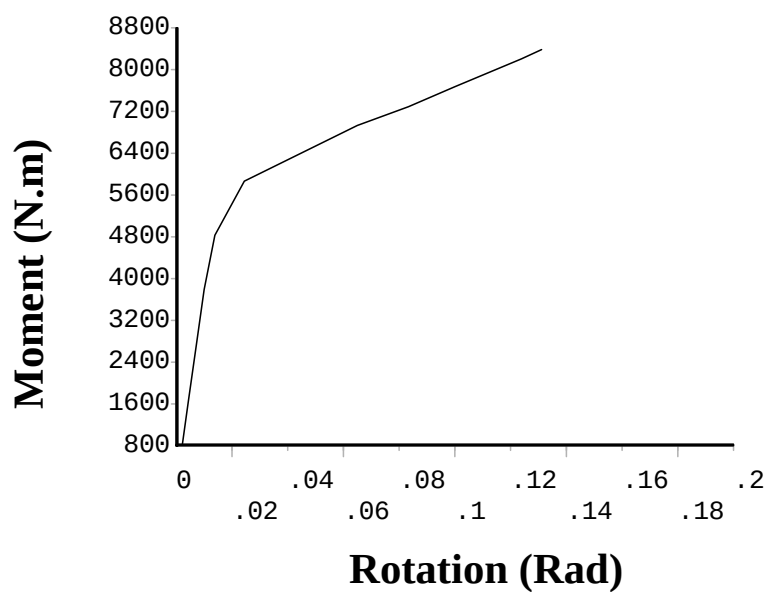
شکل (۴-۶۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۵



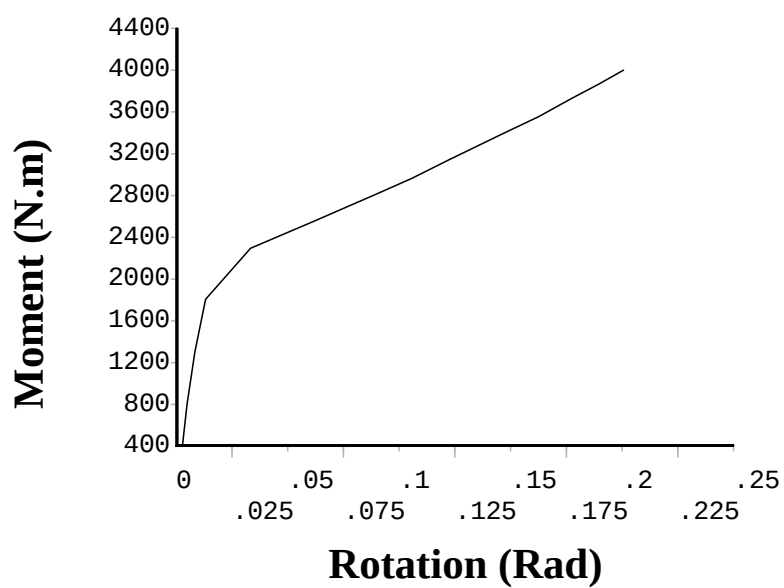
شکل (۴-۶۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۶



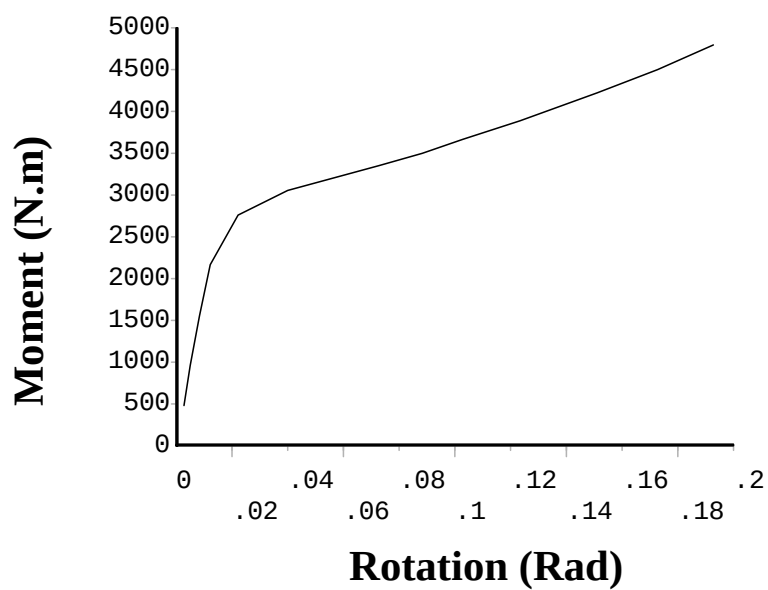
شکل (۴-۶۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۷



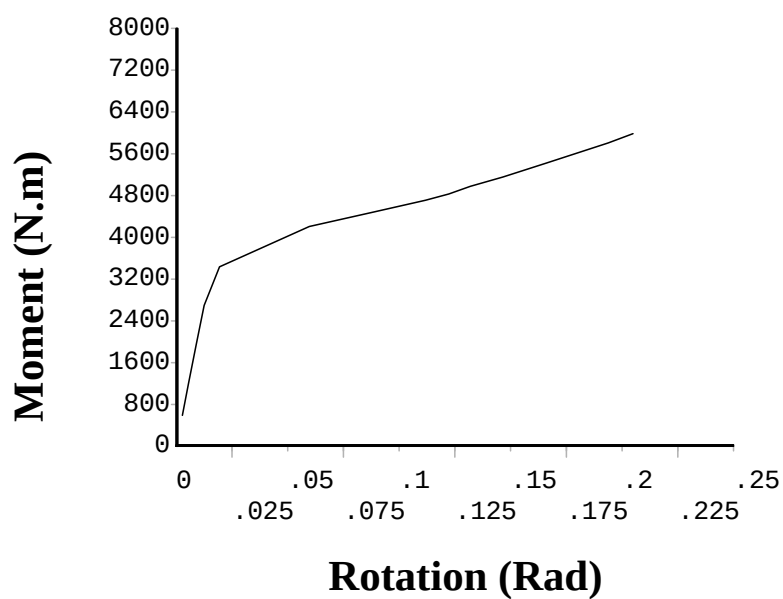
شکل (۴-۶۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۸



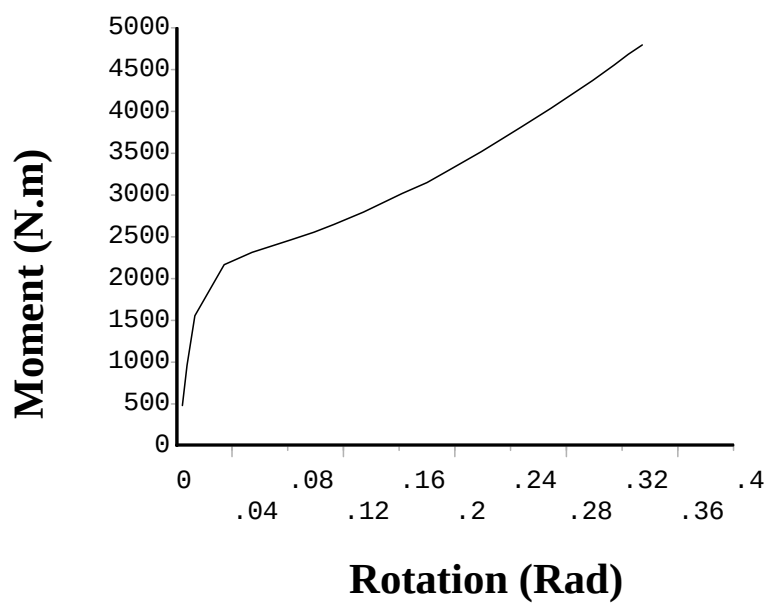
شکل (۴-۶۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۲۹



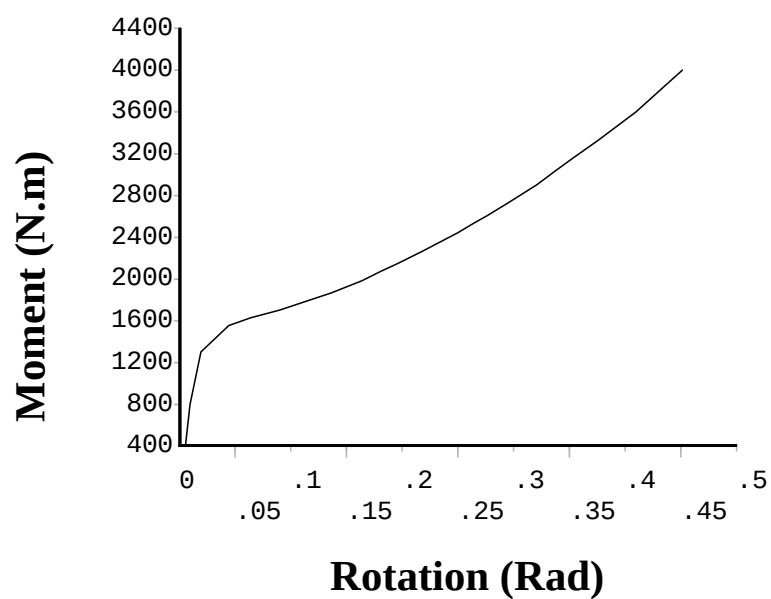
شکل (۴-۶۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۰



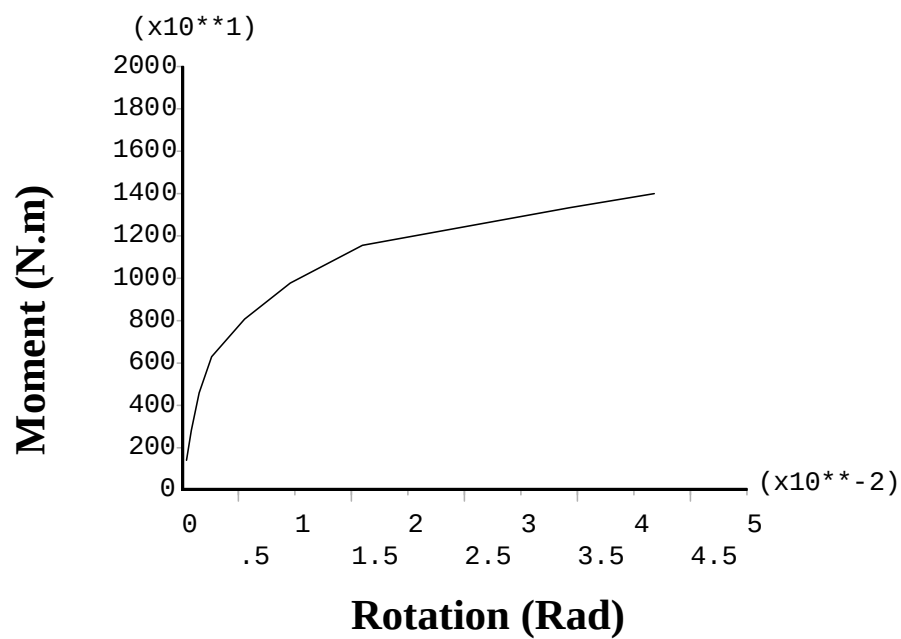
شکل (۴-۶۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۱



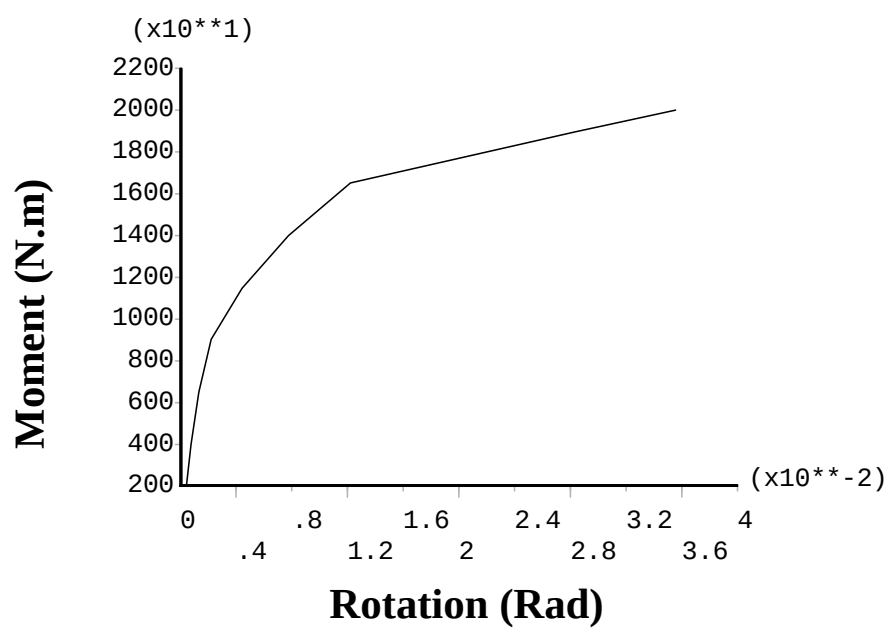
شکل (۴-۶۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۲



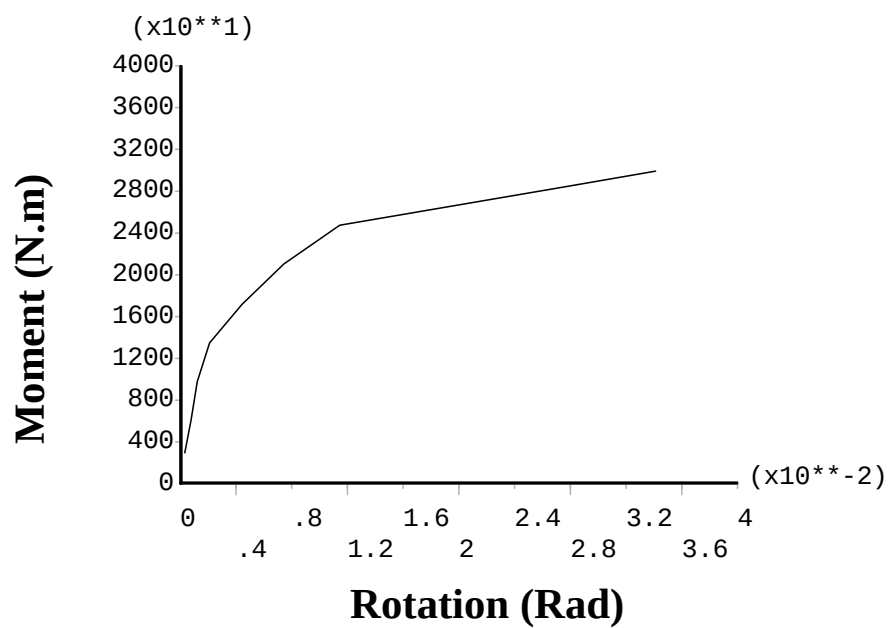
شکل (۴-۶۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۳



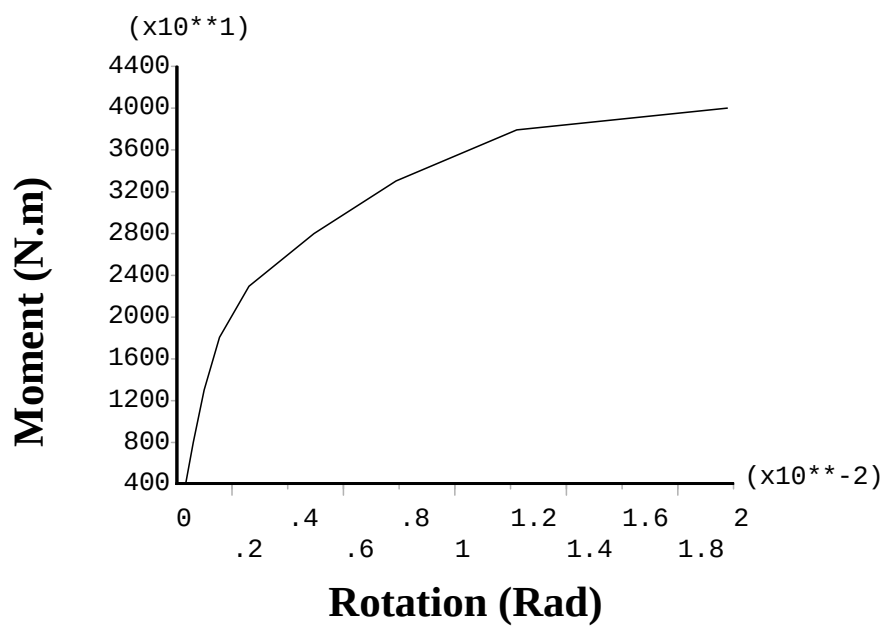
شکل (۴-۶۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۴



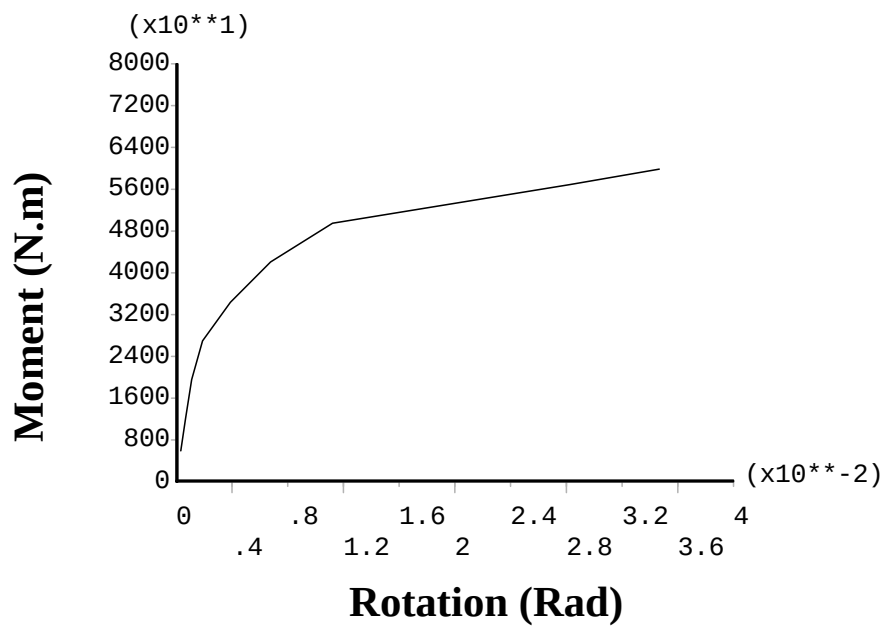
شکل (۷۰-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۵



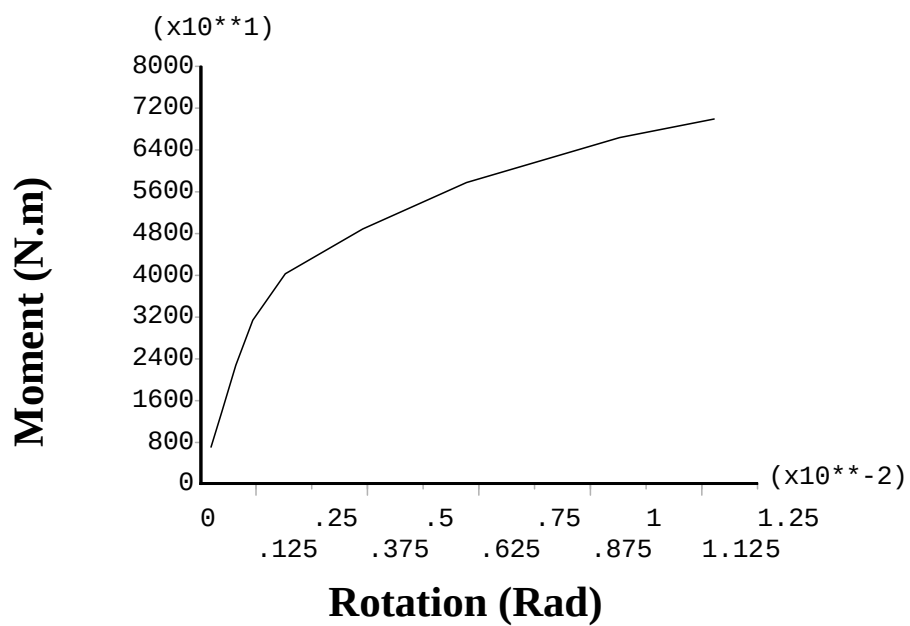
شکل (۷۱-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۶



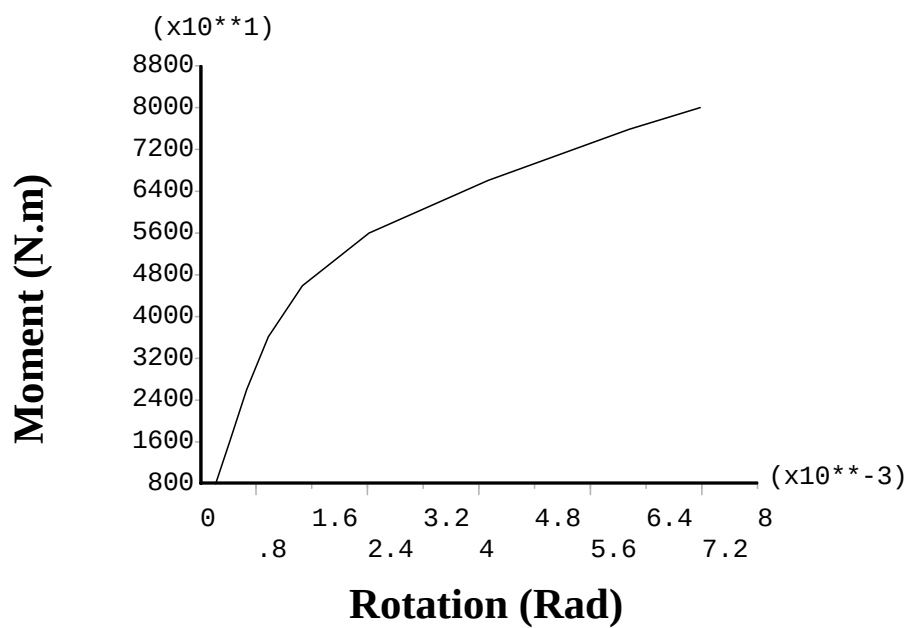
شکل (۷۲-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۷



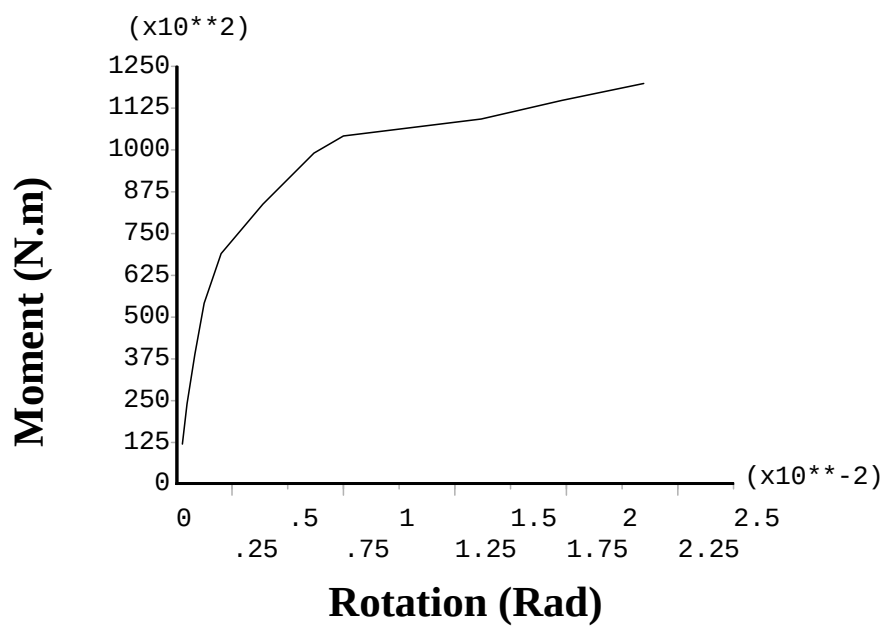
شکل (۷۳-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۸



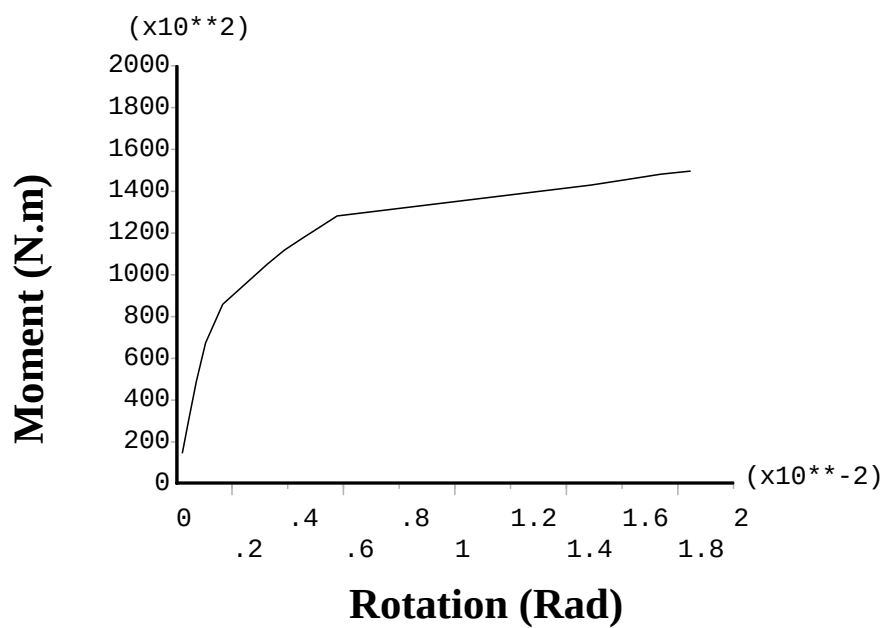
شکل (۷۴-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۳۹



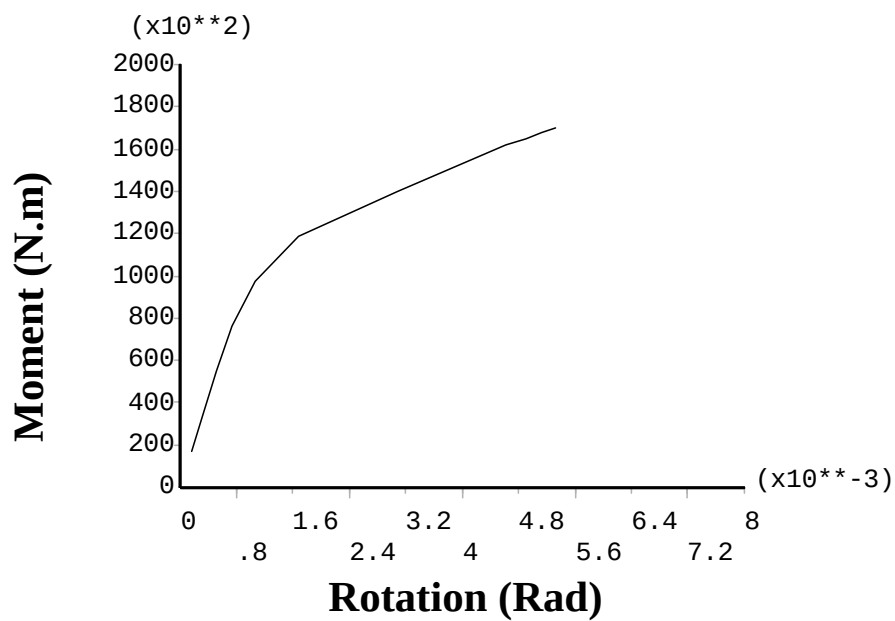
شکل (۷۵-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۰



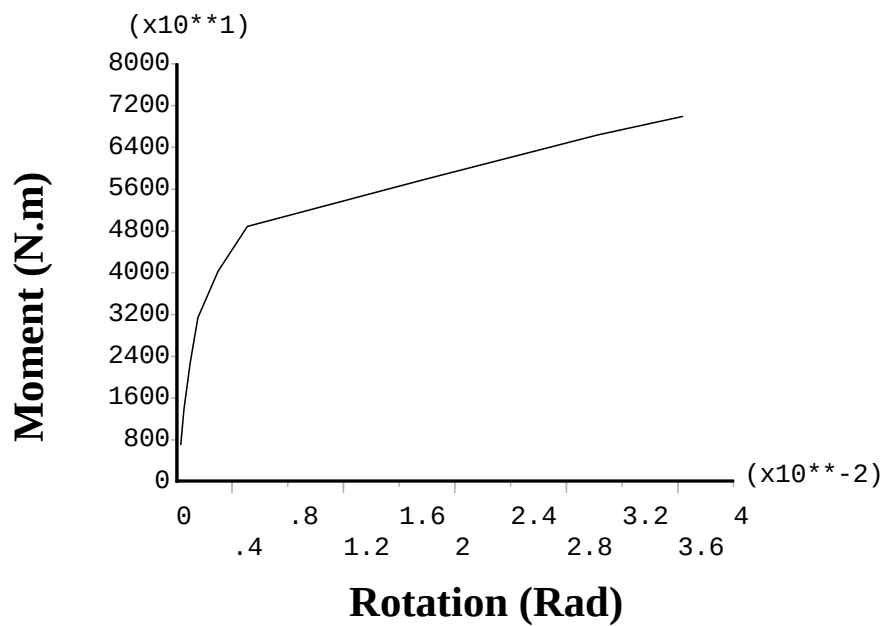
شکل (۴-۷۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۱



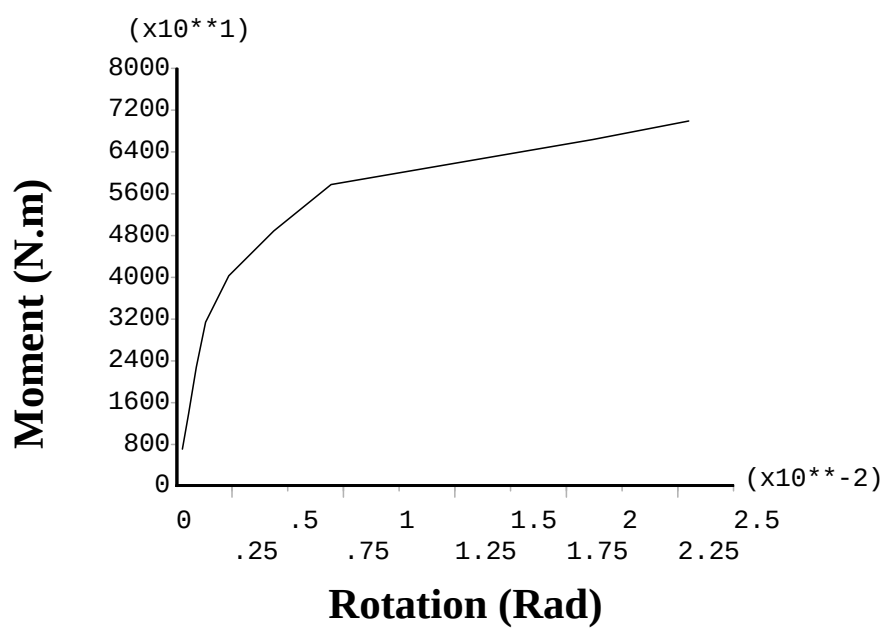
شکل (۴-۷۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۲



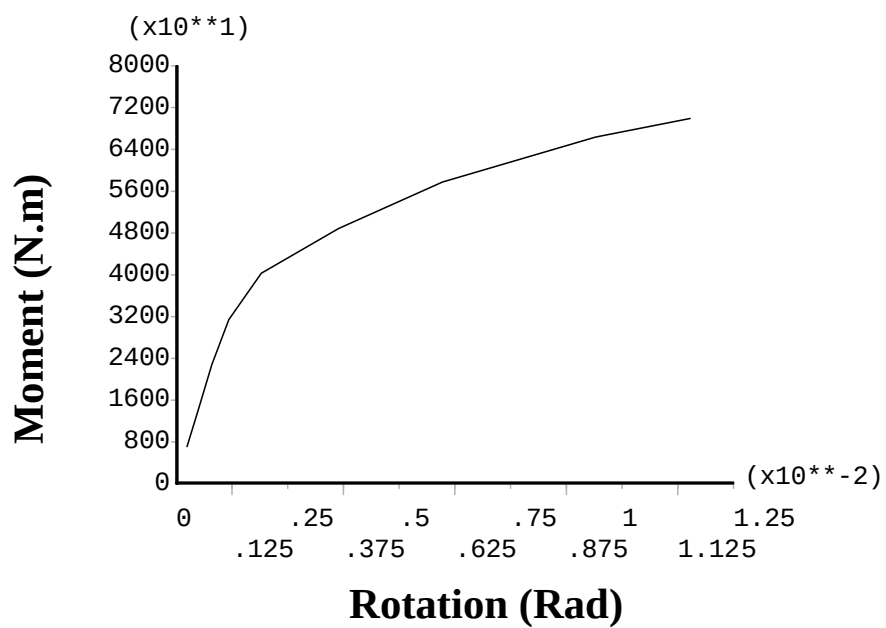
شکل (۷۸-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۳



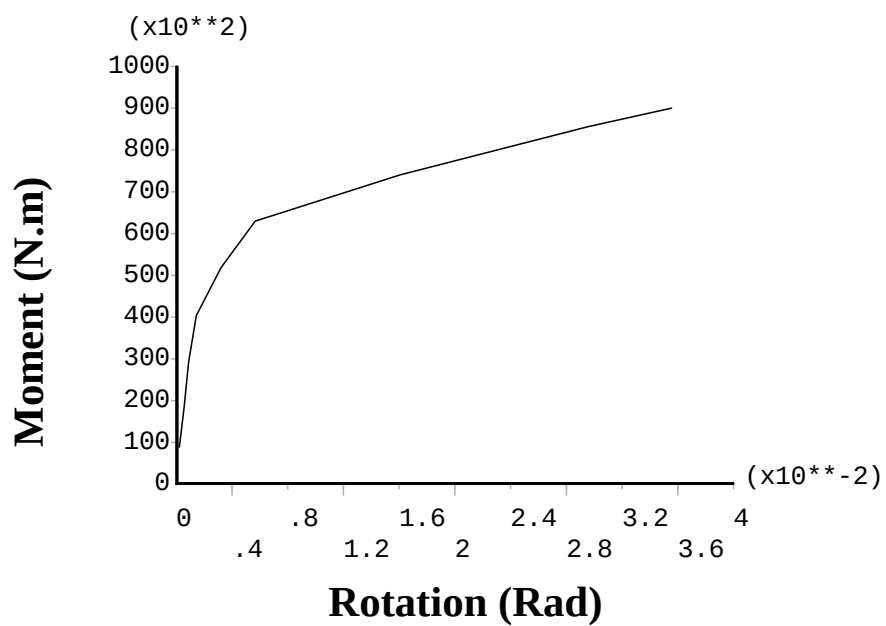
شکل (۷۹-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۴



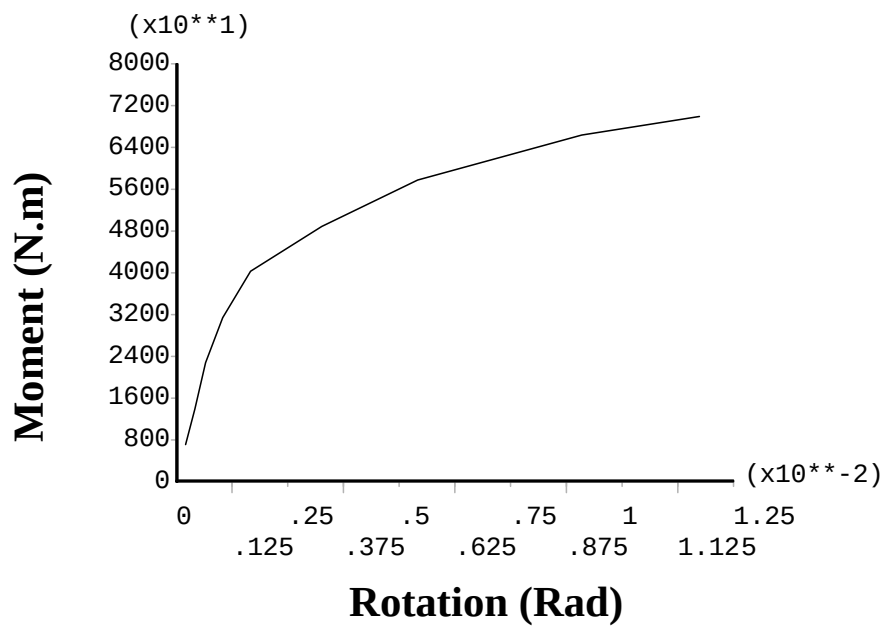
شکل (۴-۸۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۵



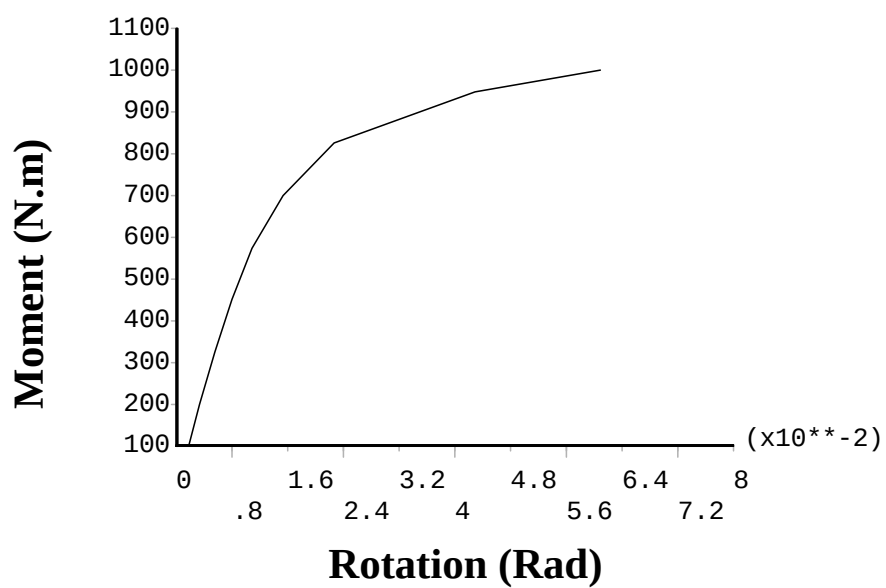
شکل (۴-۸۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۶



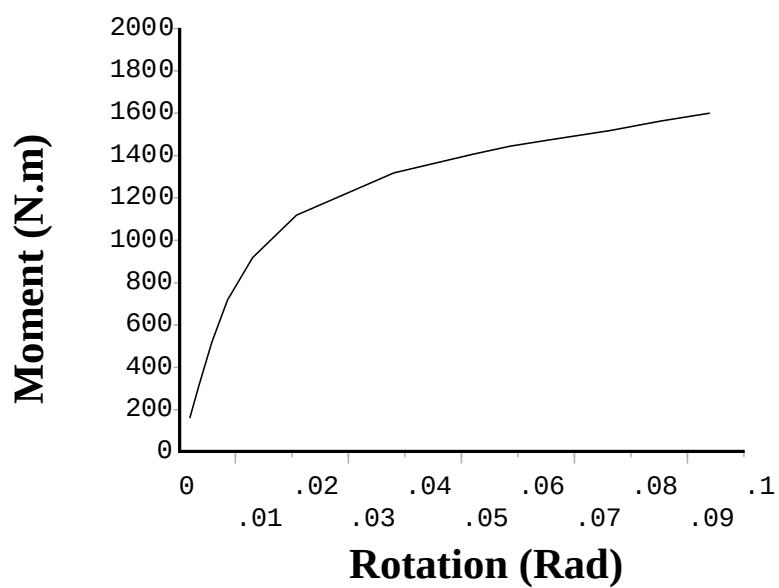
شکل (۴-۸۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۷



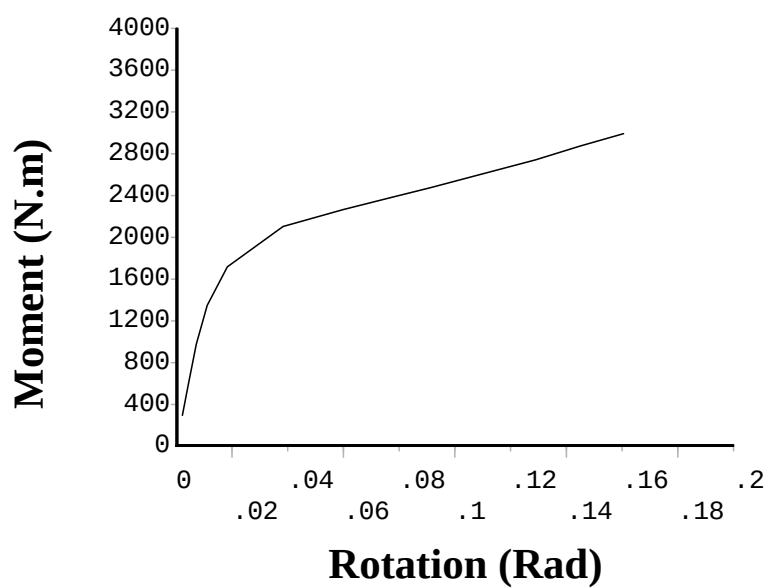
شکل (۴-۸۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۸



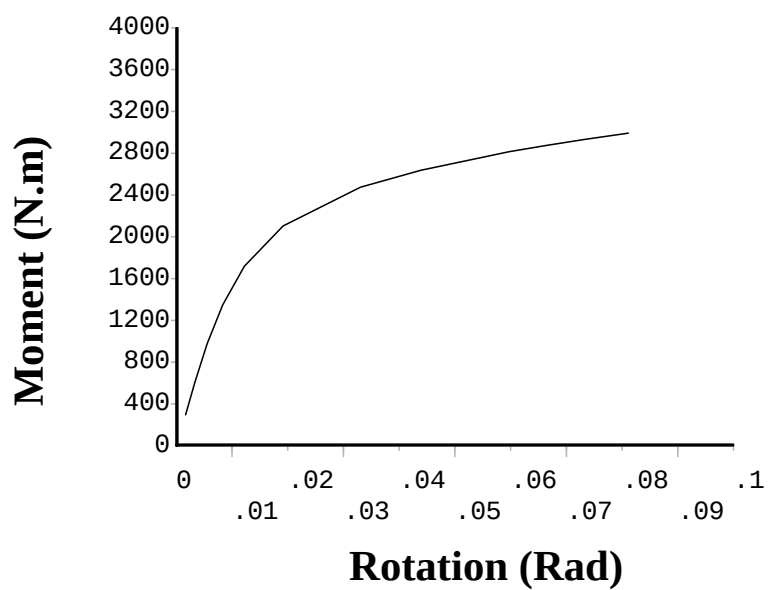
شکل (۴-۸۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۴۹



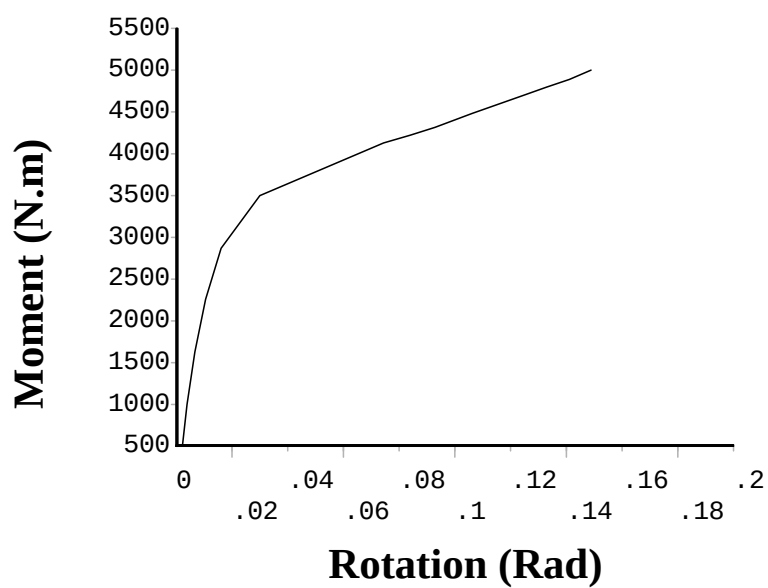
شکل (۴-۸۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۰



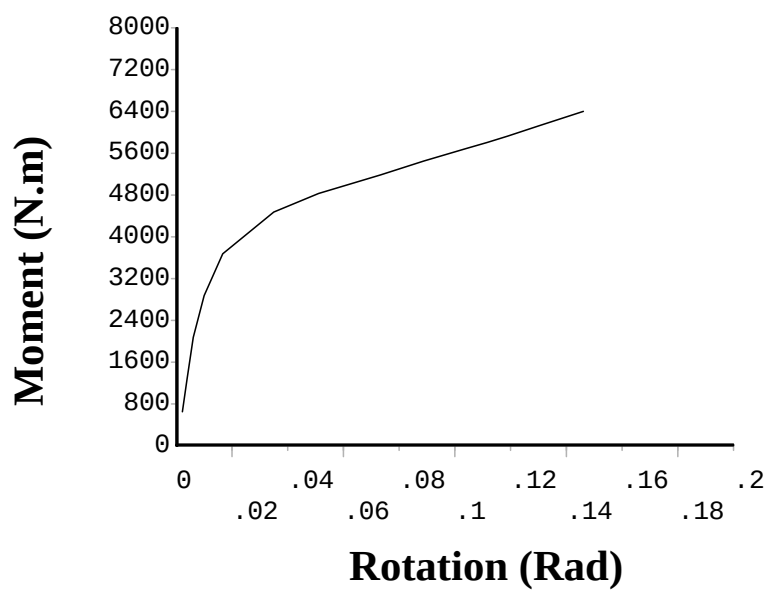
شکل (۴-۸۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۱



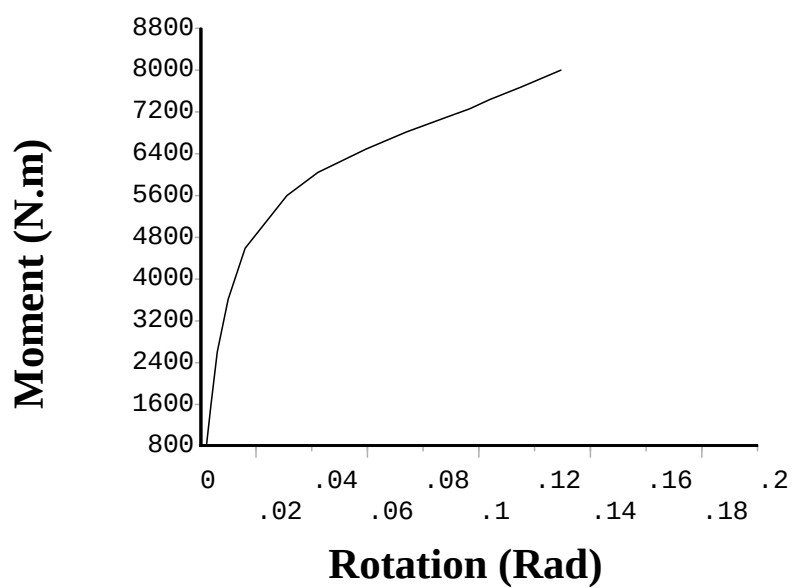
شکل (۴-۸۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۲



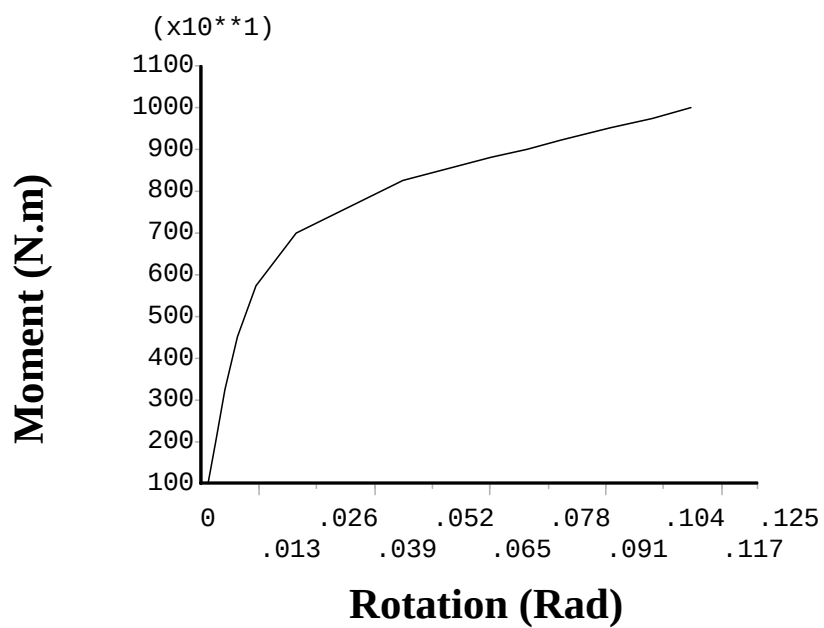
شکل (۴-۸۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۳



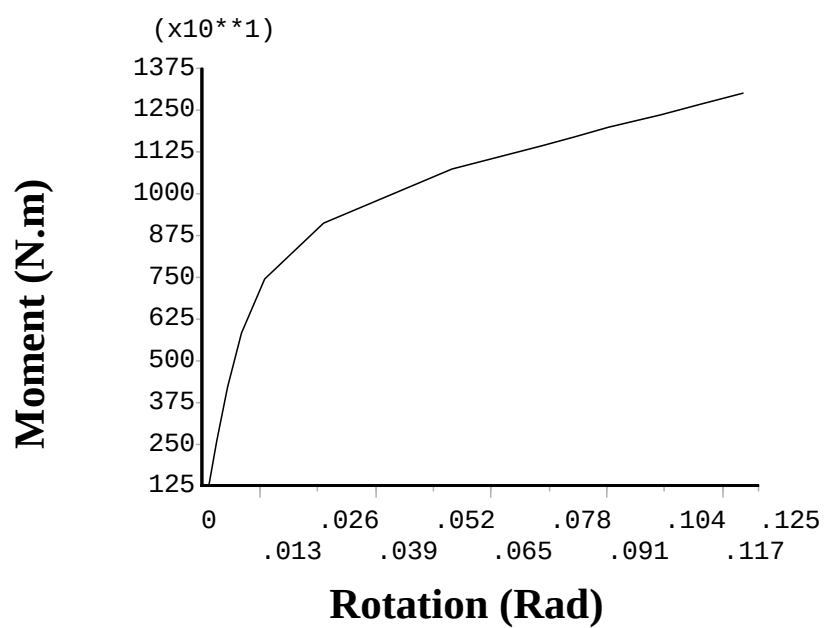
شکل (۴-۸۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۴



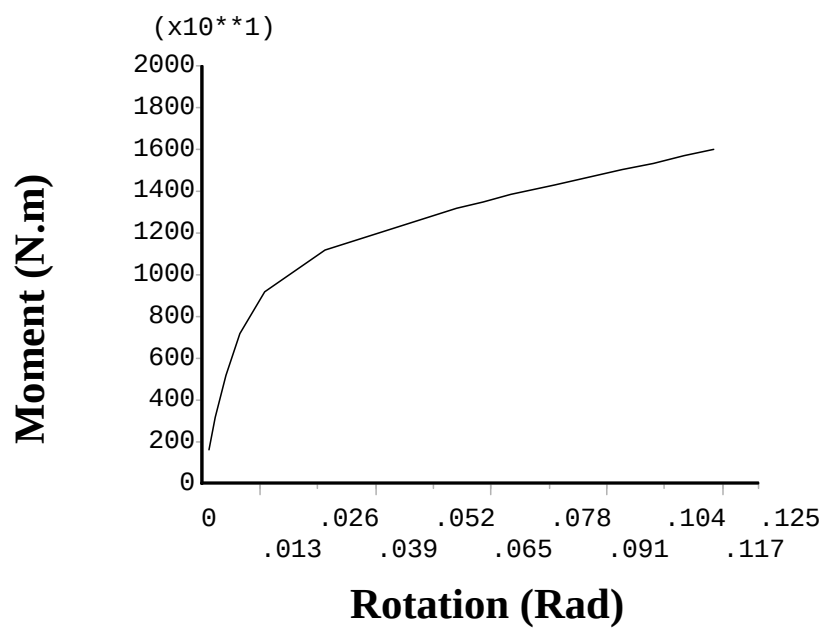
شکل (۴-۹۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۵



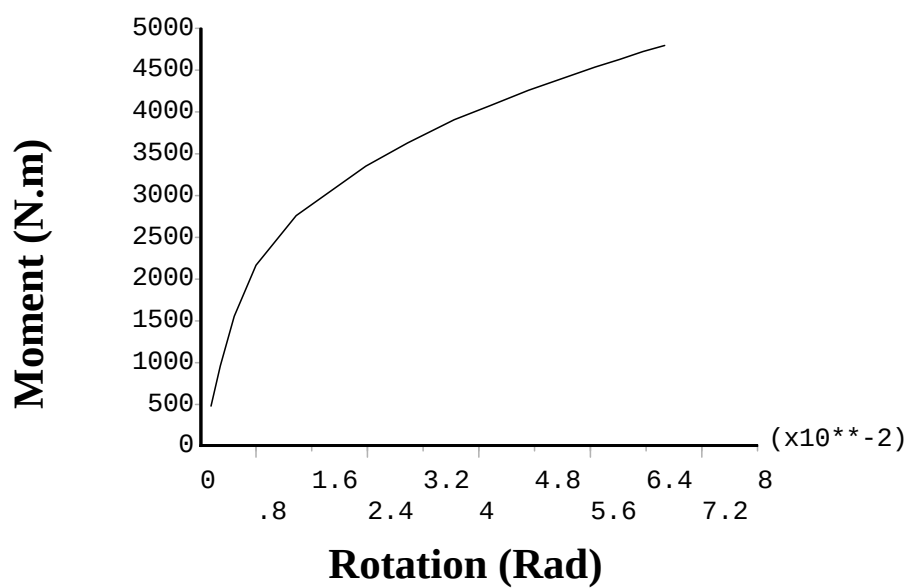
شکل (۴-۹۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۶



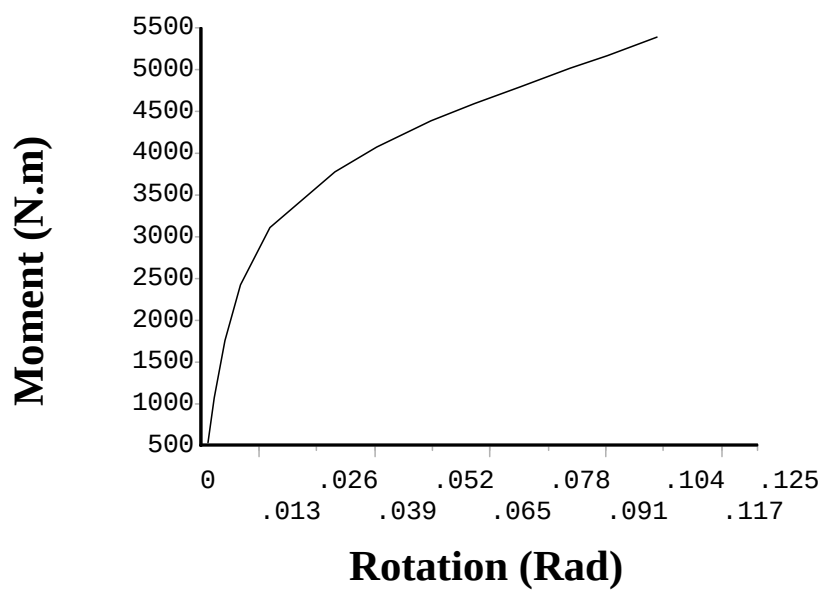
شکل (۹۲-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۷



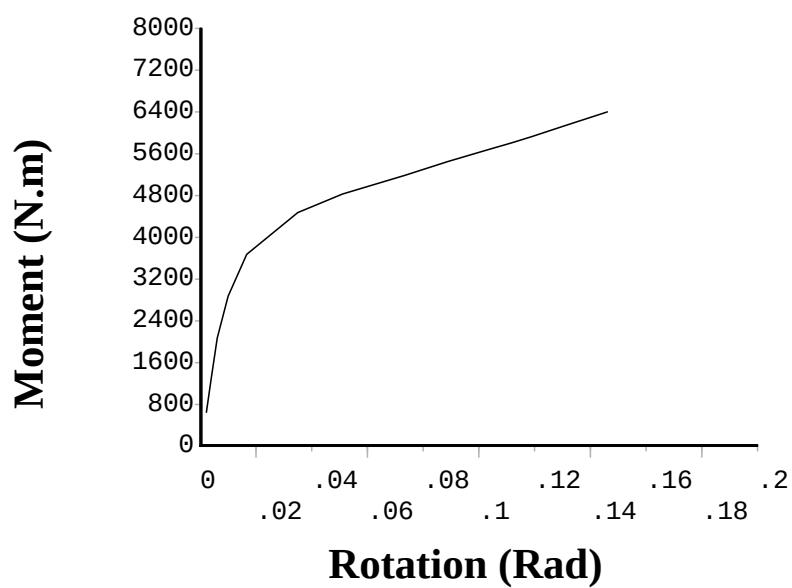
شکل (۹۳-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۸



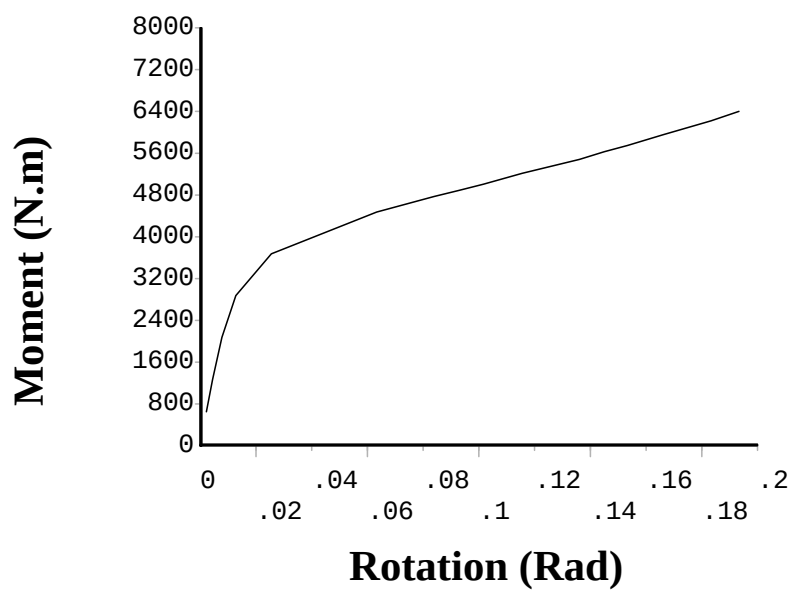
شکل (۴-۹۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۵۹



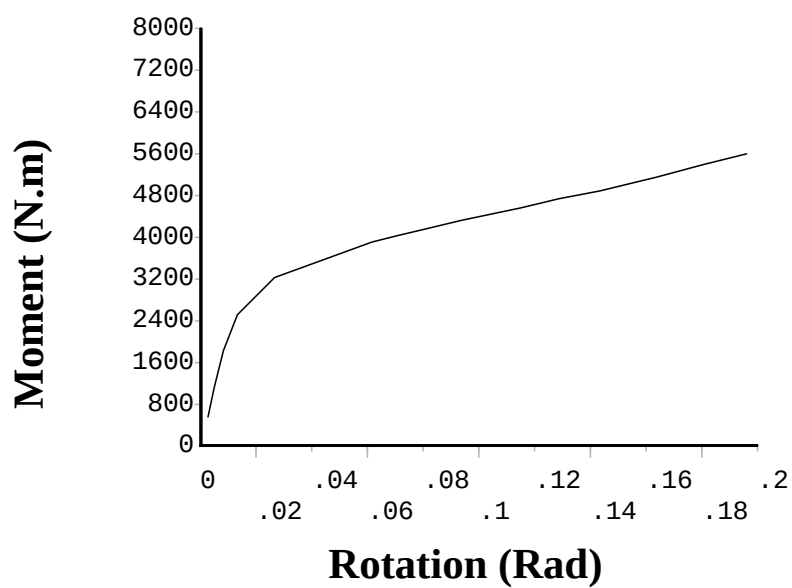
شکل (۴-۹۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۰



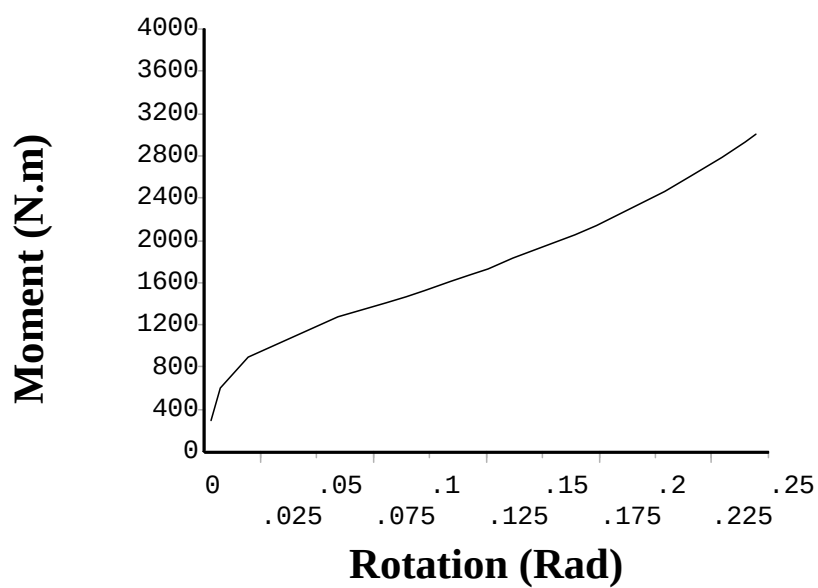
شکل (۹۶-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۱



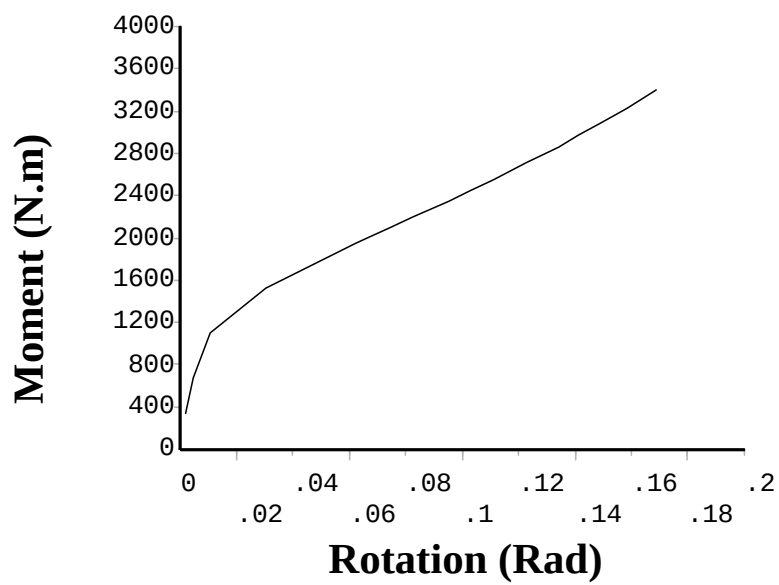
شکل (۹۷-۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۲



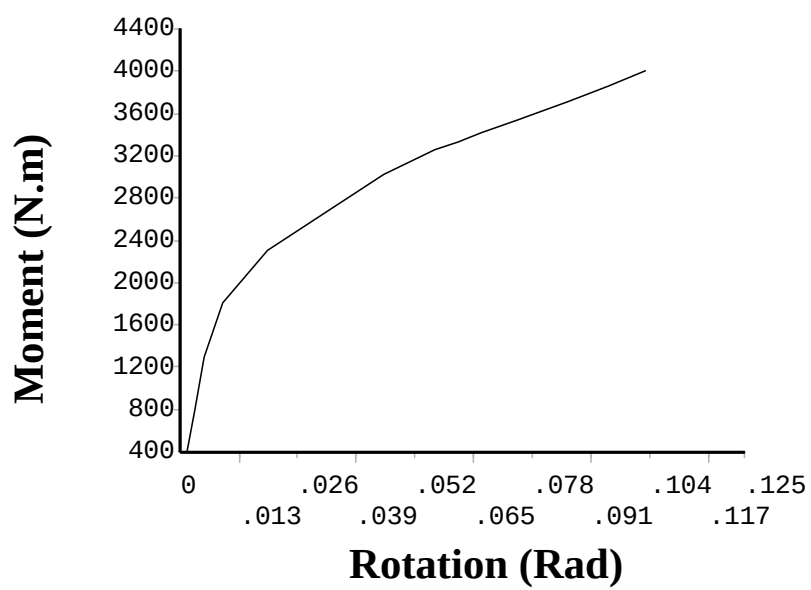
شکل (۴-۹۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۳



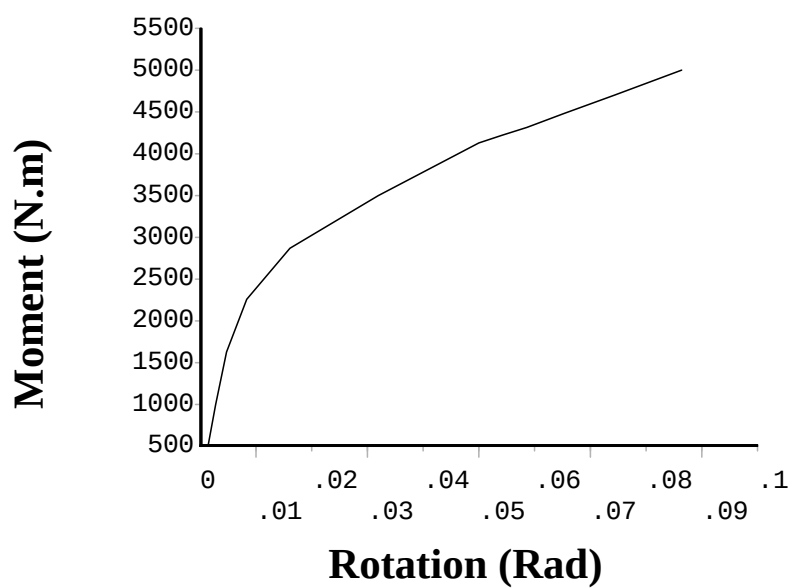
شکل (۴-۹۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۴



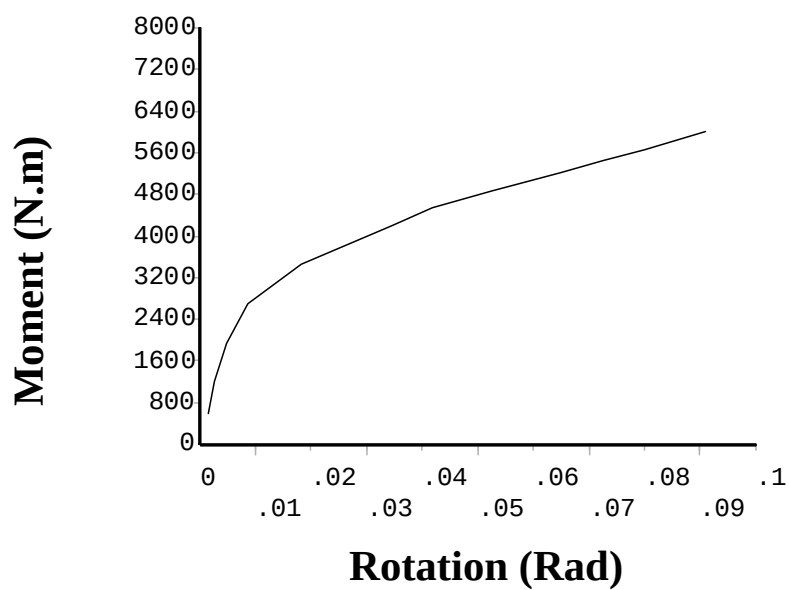
شکل (۴-۱۰۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۵



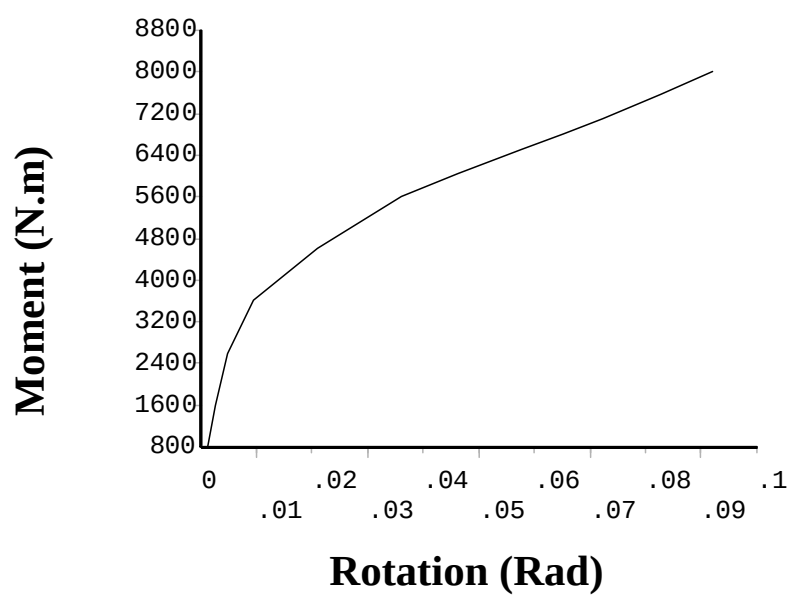
شکل (۴-۱۰۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۶



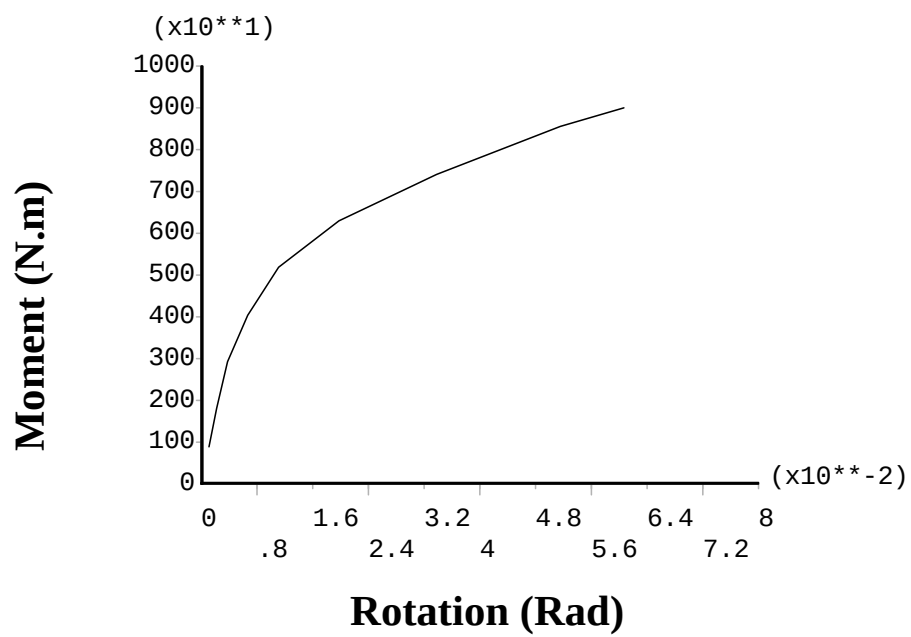
شکل (۴-۱۰۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۷



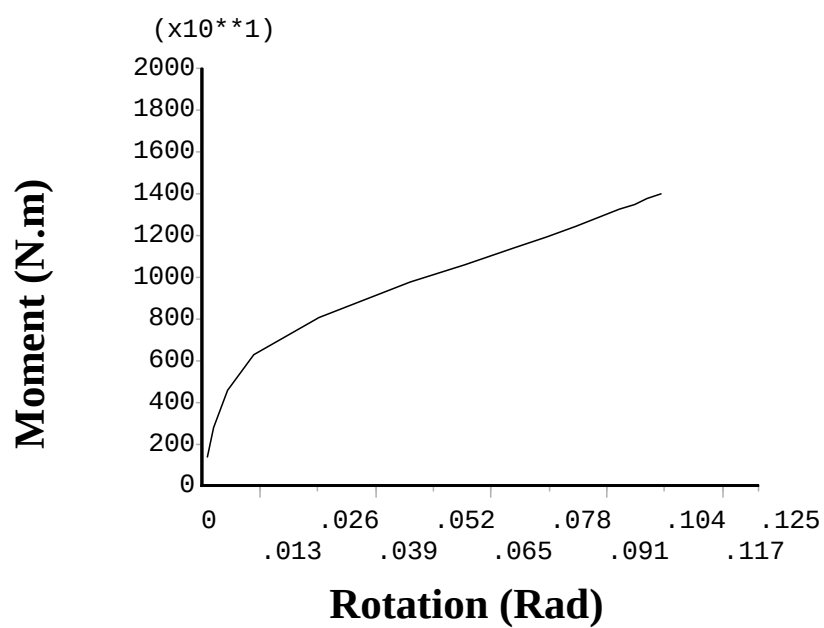
شکل (۴-۱۰۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۸



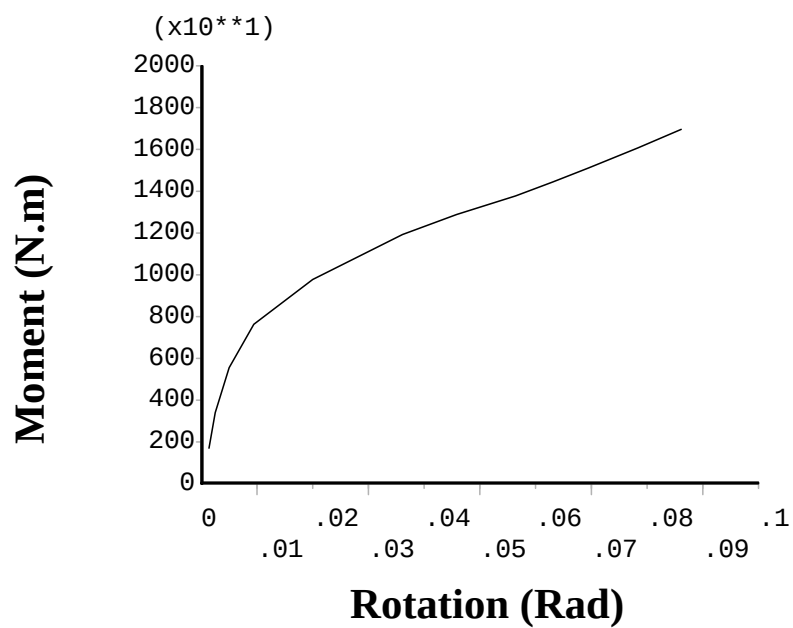
شکل (۴-۱۰۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۶۹



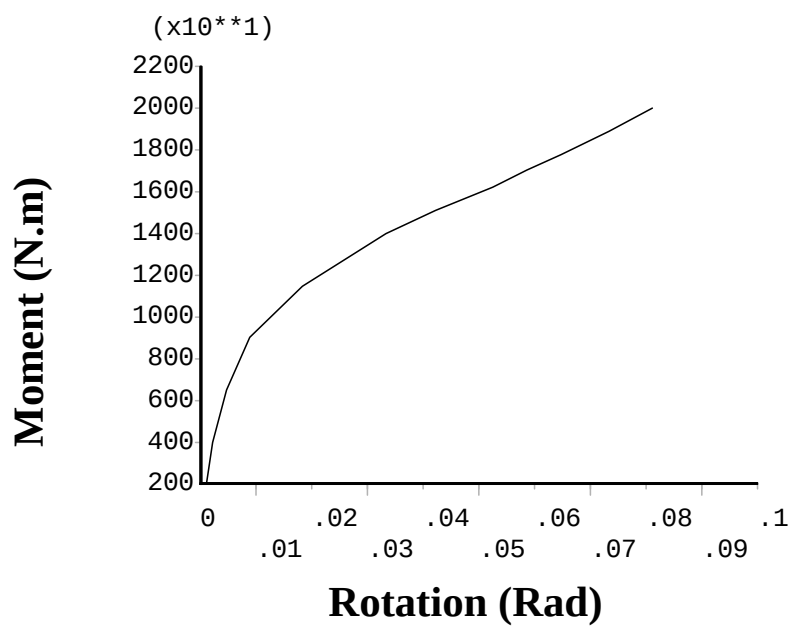
شکل (۴-۱۰۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۰



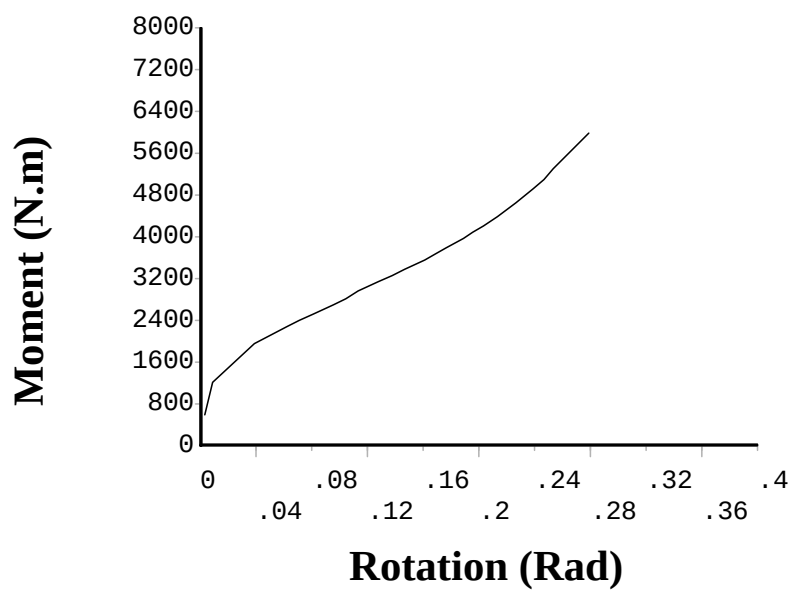
شکل (۴-۱۰۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۱



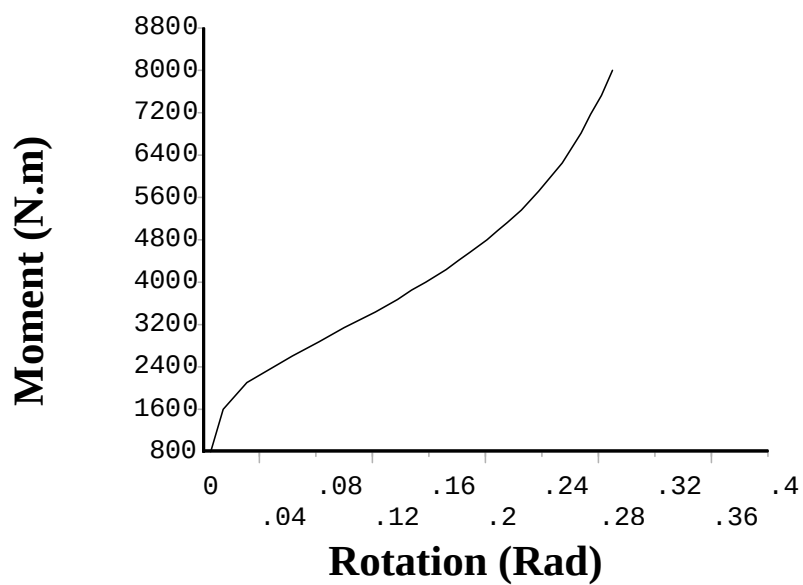
شکل (۴-۱۰۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۲



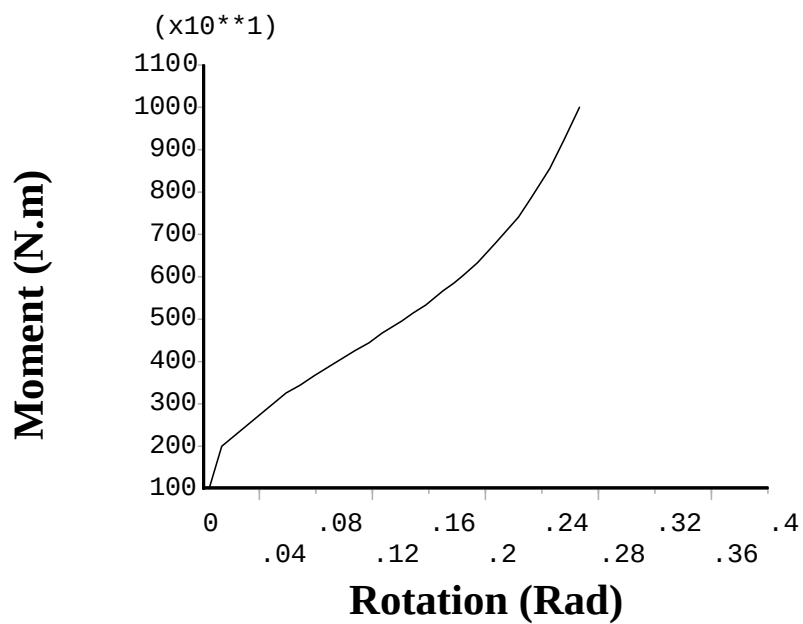
شکل (۴-۱۰۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۳



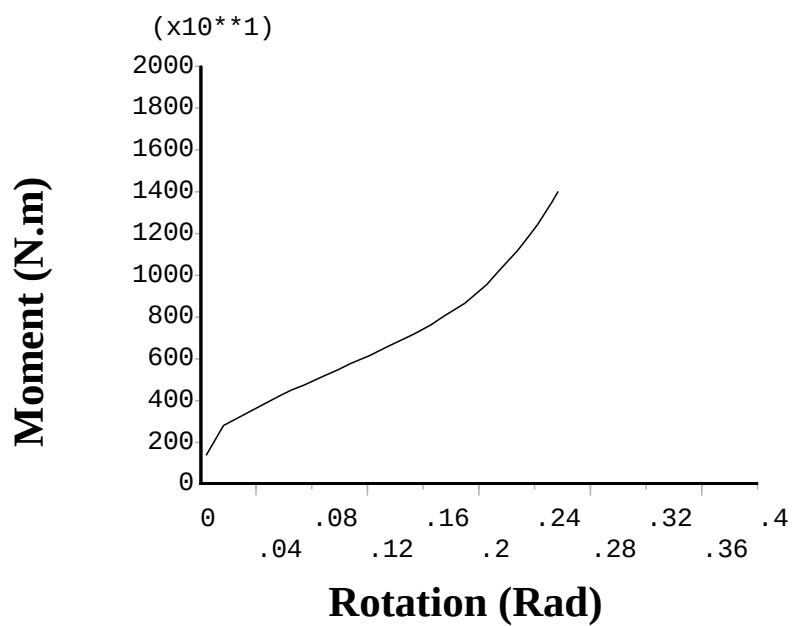
شکل (۴-۱۰۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۴



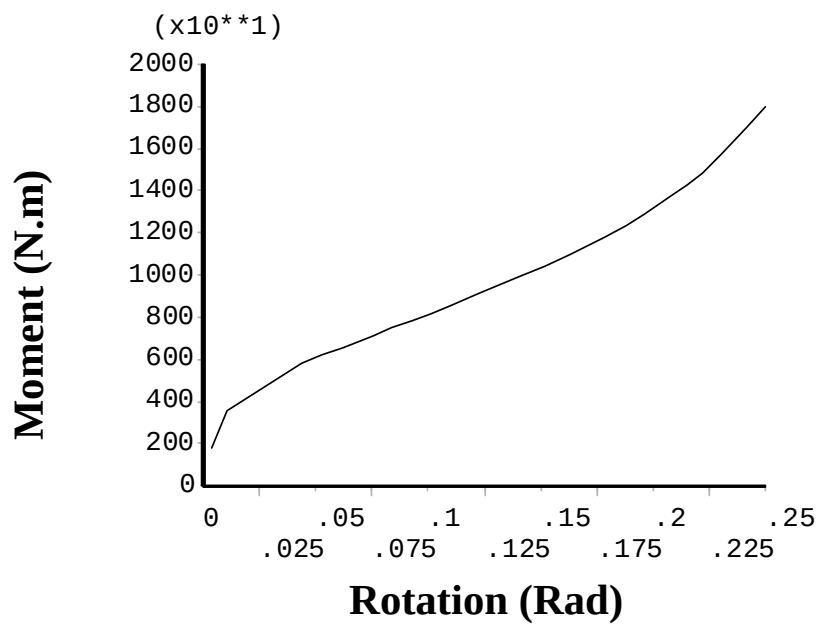
شکل (۴-۱۱۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۵



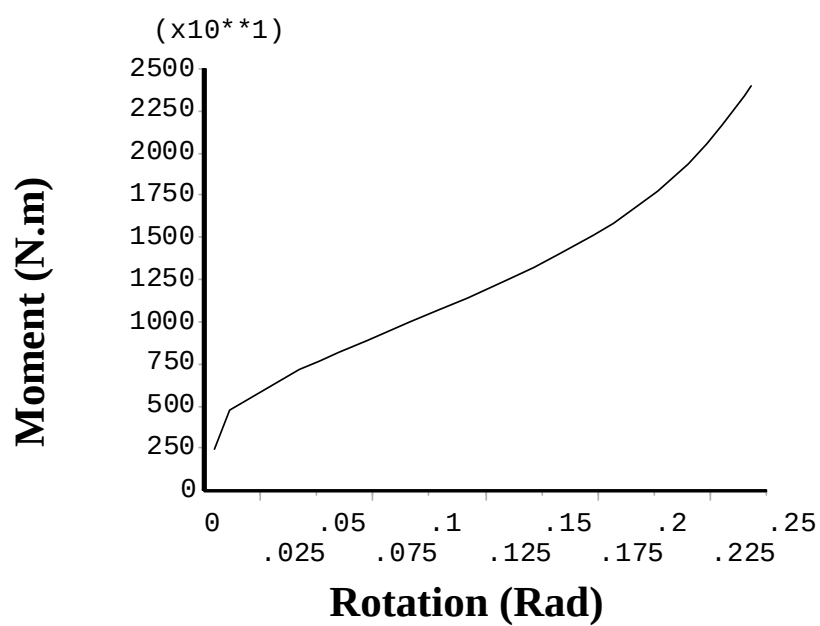
شکل (۴-۱۱۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۶



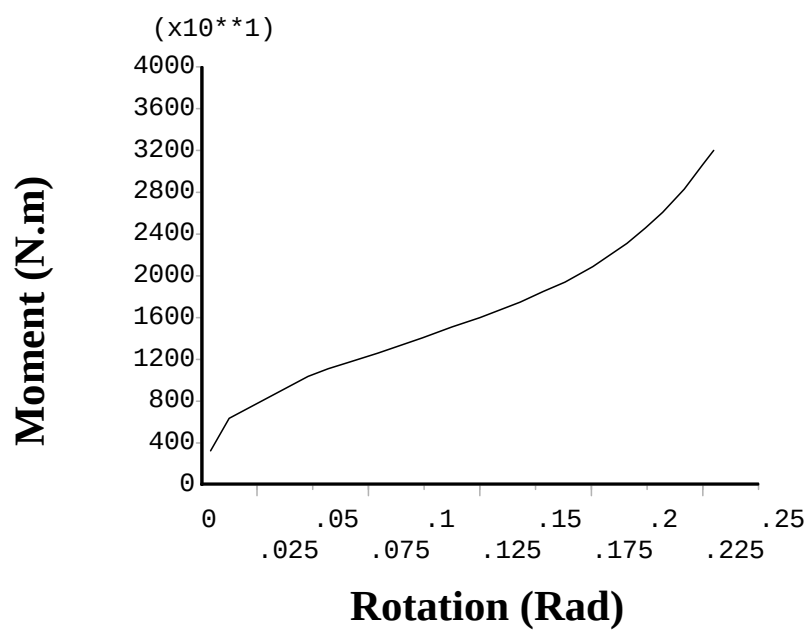
شکل (۴-۱۱۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۷



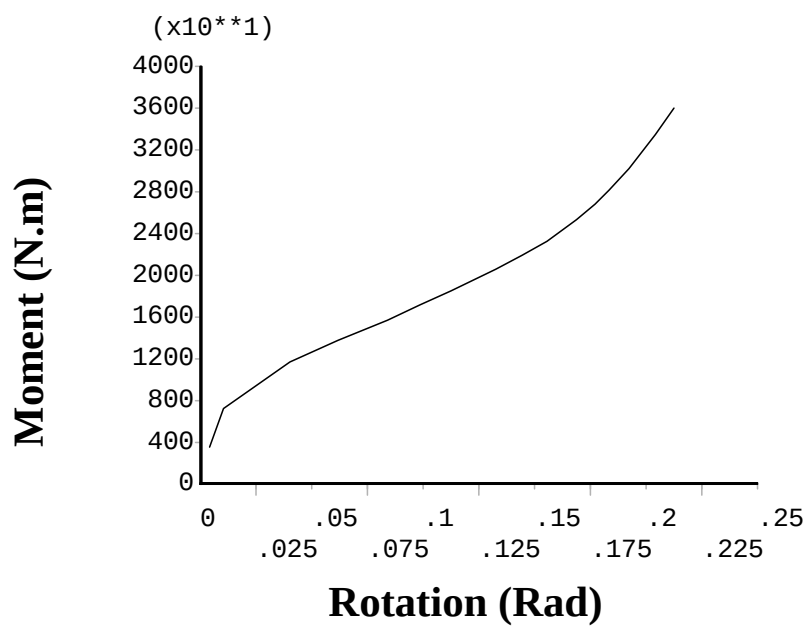
شکل (۴-۱۱۳): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۸



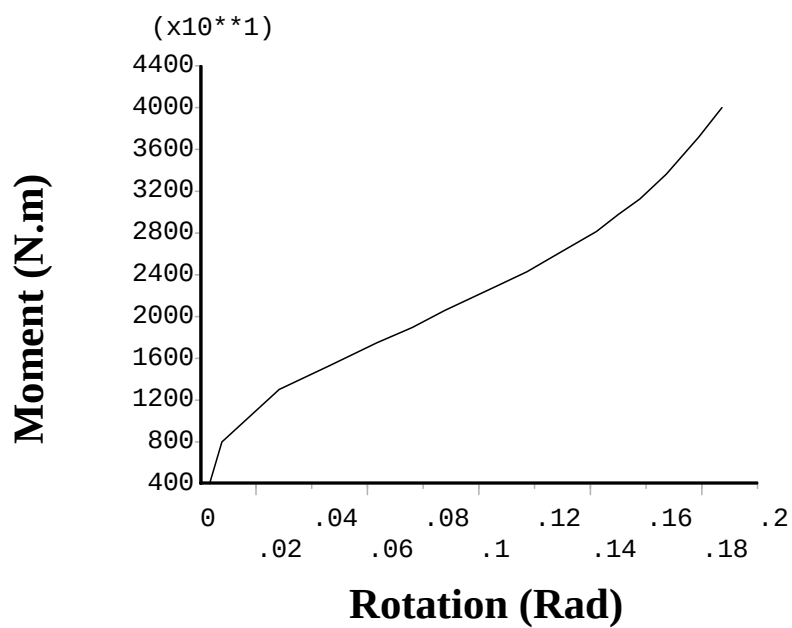
شکل (۴-۱۱۴): نمودار لنگر-دوران اتصال ۷۹



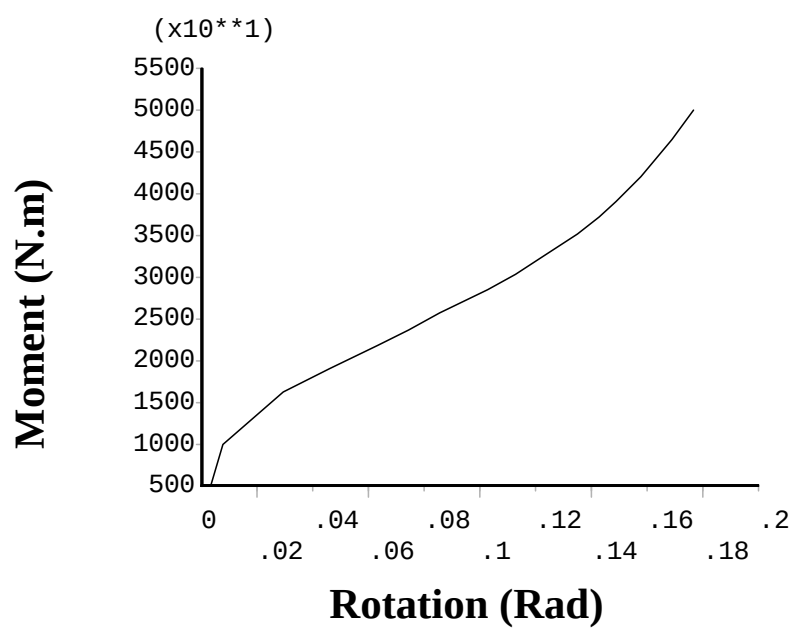
شکل (۴-۱۱۵): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۰



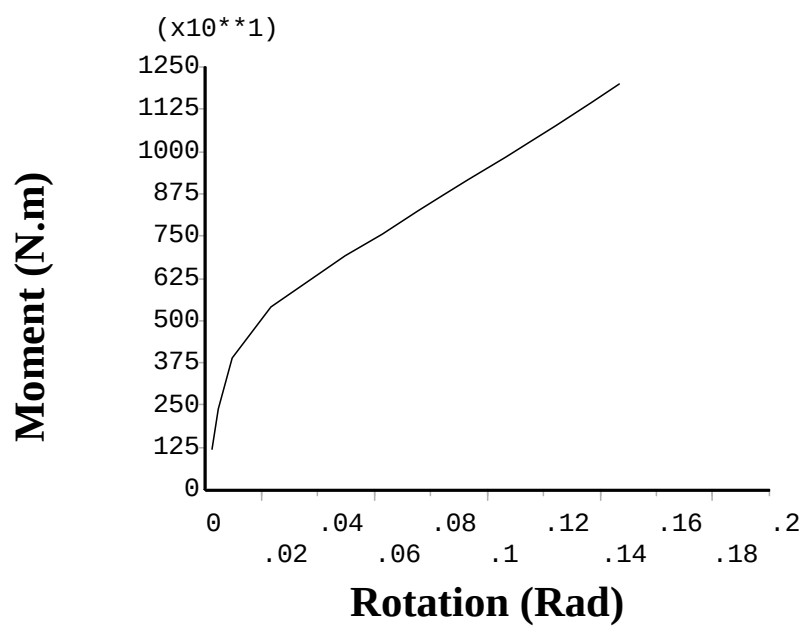
شکل (۴-۱۱۶): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۱



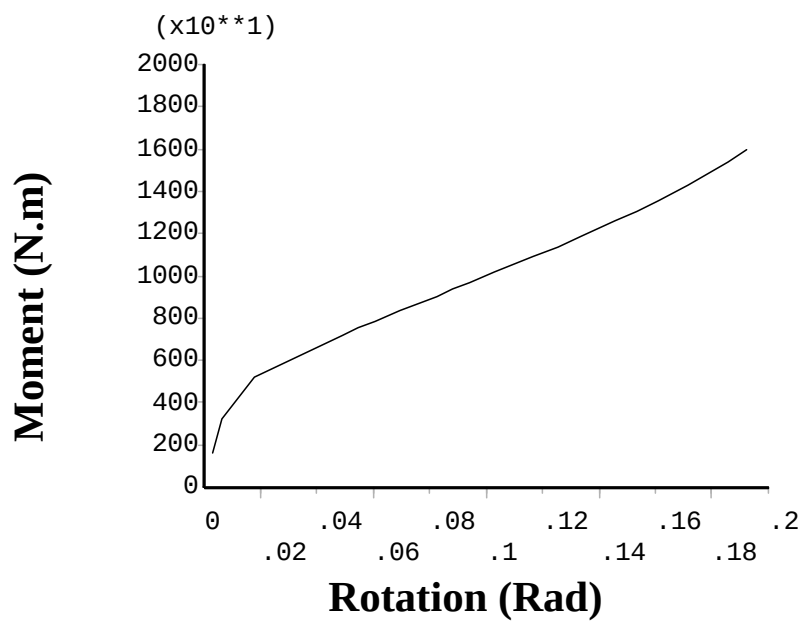
شکل (۴-۱۱۷): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۲



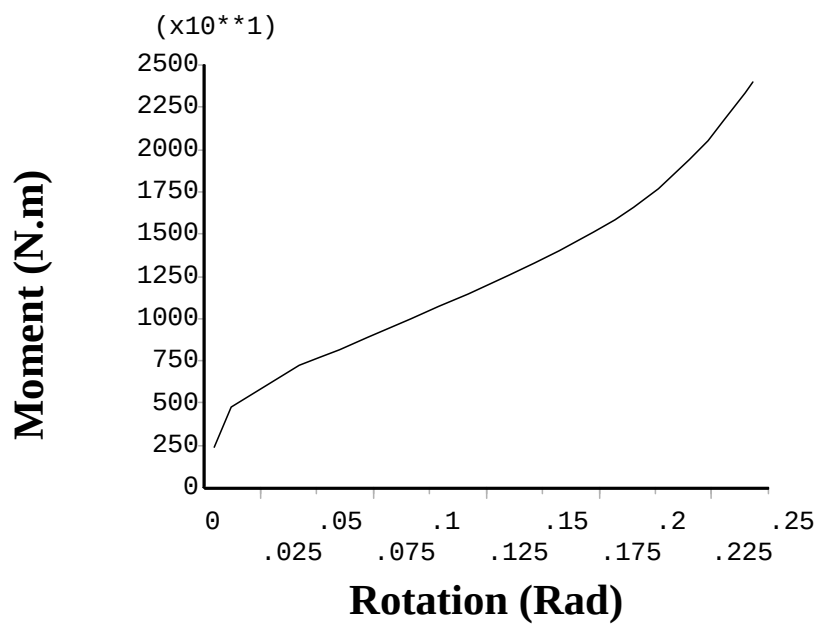
شکل (۴-۱۱۸): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۳



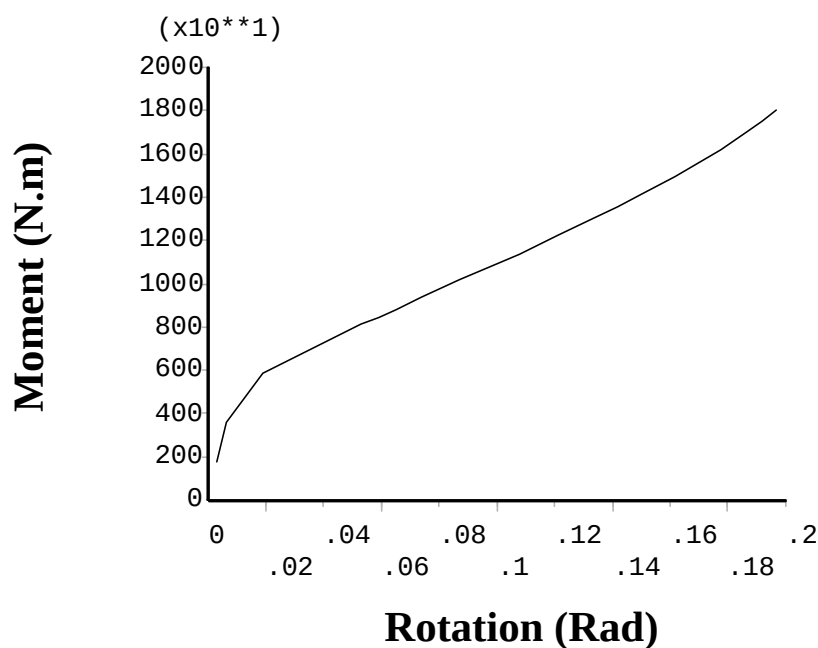
شکل (۴-۱۱۹): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۴



شکل (۴-۱۲۰): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۵



شکل (۴-۱۲۱): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۶



شکل (۴-۱۲۲): نمودار لنگر-دوران اتصال ۸۷

۴-۴- خط تیر و درصد گیرداری

همان‌طوری که در فصل دوم توضیح داده شده است، درجه گیرداری اتصال مفهومی نسبی دارد و با توجه به شرایط قاب، مقادیر مختلفی دارد. مشخصات تیر، شرایط بارگذاری و سختی اتصال انتهای دیگر تیر از مهمترین پارامترهایی هستند که درجه گیرداری یک اتصال به آن بستگی دارد.

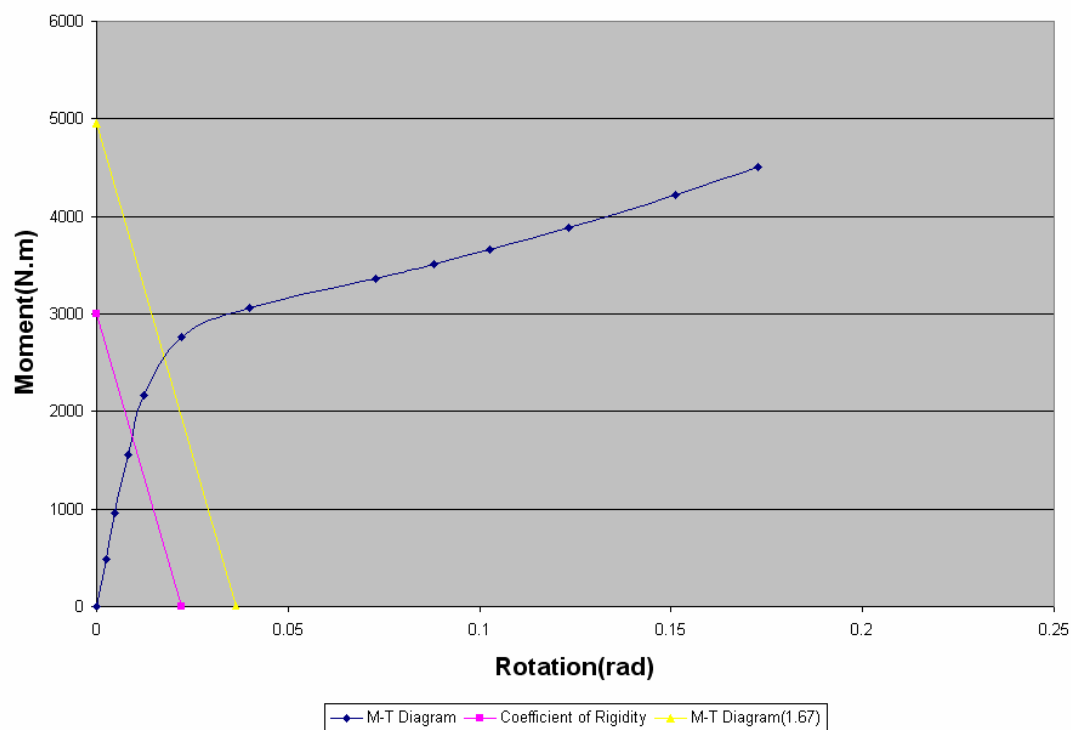
با توجه به مفهوم و کاربرد خط تیر در محاسبه درجه گیرداری (بخش ۲-۵)، از هر اتصال یک پروفیل انتخاب و پس از رسم منحنی‌های لنگر- دوران آن، خط تیر برای ۴ تیر با دهانه‌های مختلف روی آن به صورت جدا ترسیم و در صد گیر داری آنها را بدست می آوریم.

درصد گیرداری با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

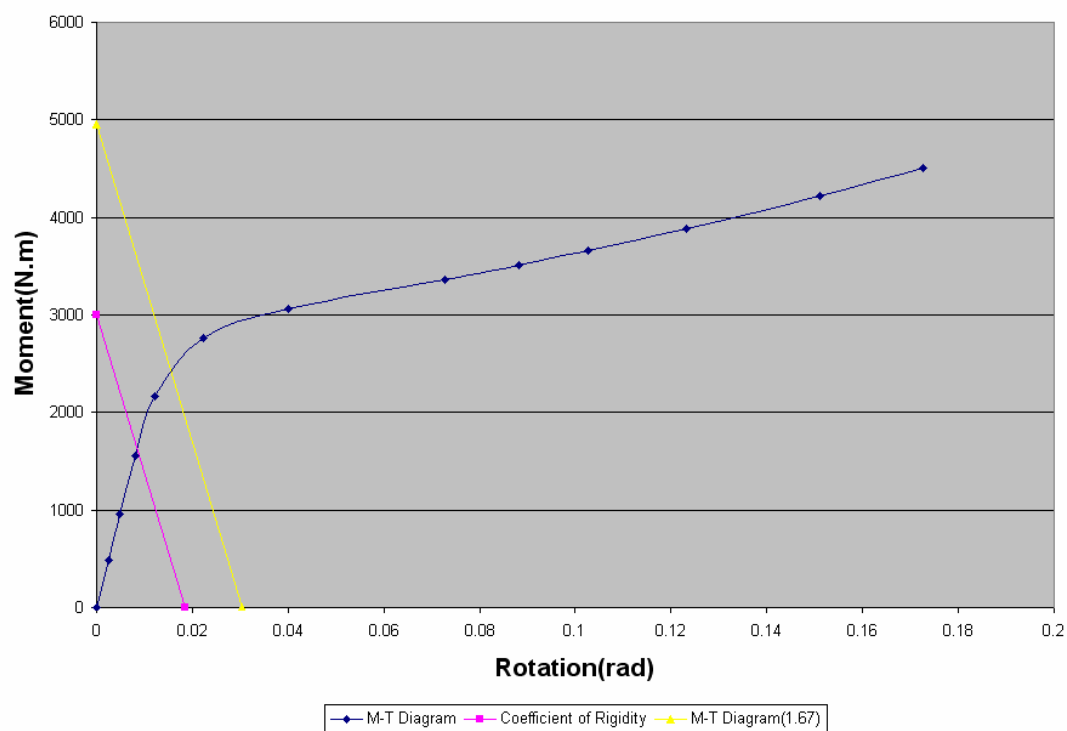
$$R = 100M / Me \quad (۴-۲)$$

M مقدار لنگر در نقطه تلاقی خط تیر با منحنی لنگر- دوران و M_e لنگر حالت گیرداری کامل

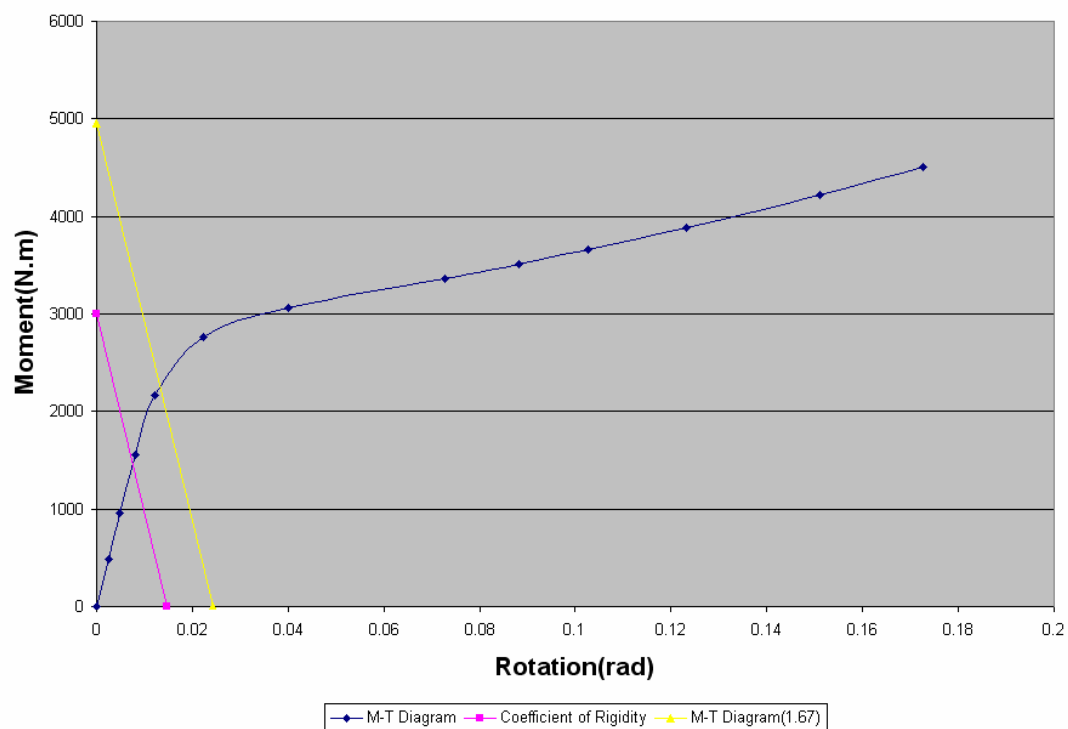
است.



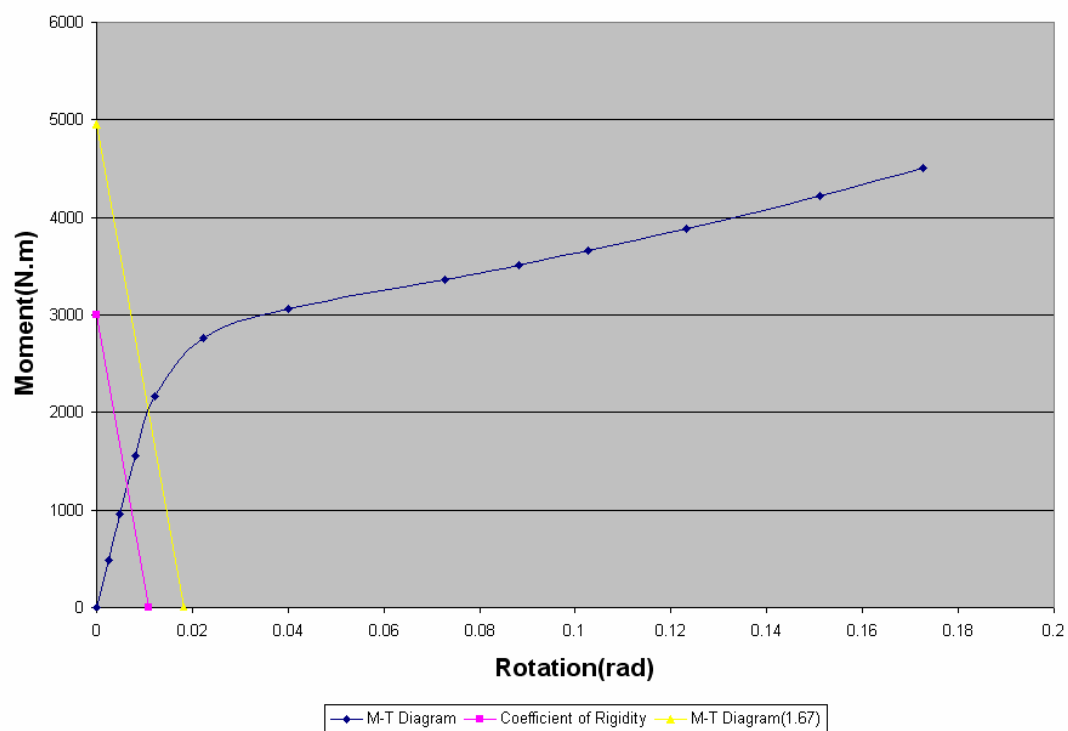
شکل (۴-۱۲۳): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱)



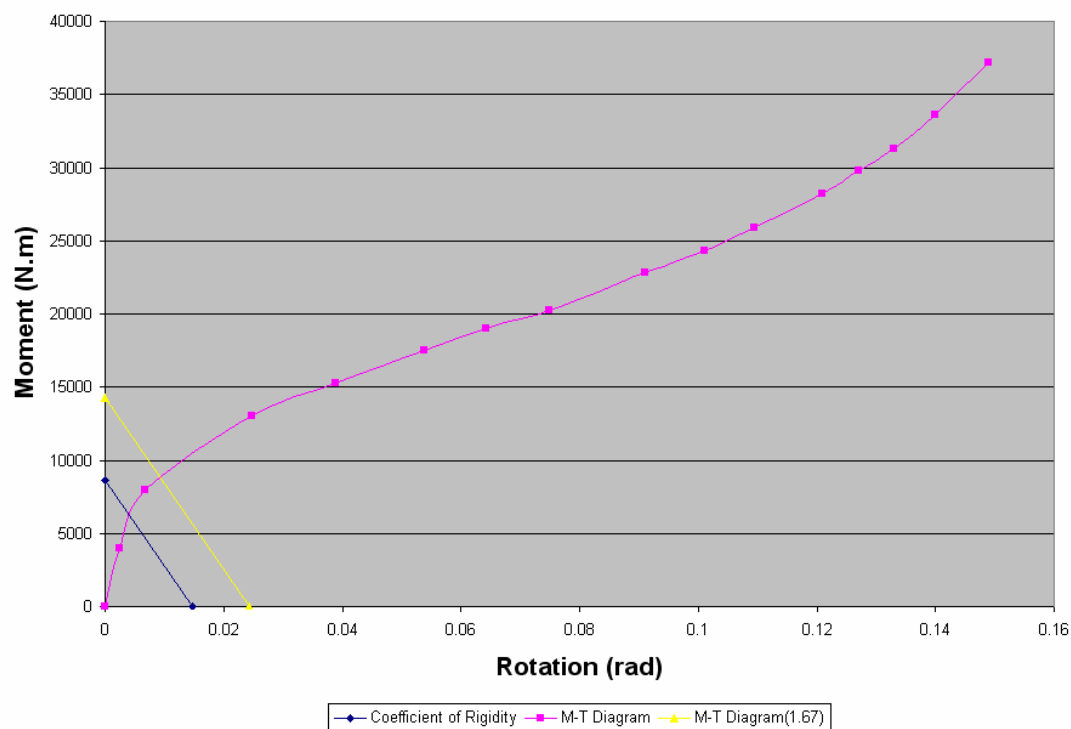
شکل (۴-۱۲۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲)



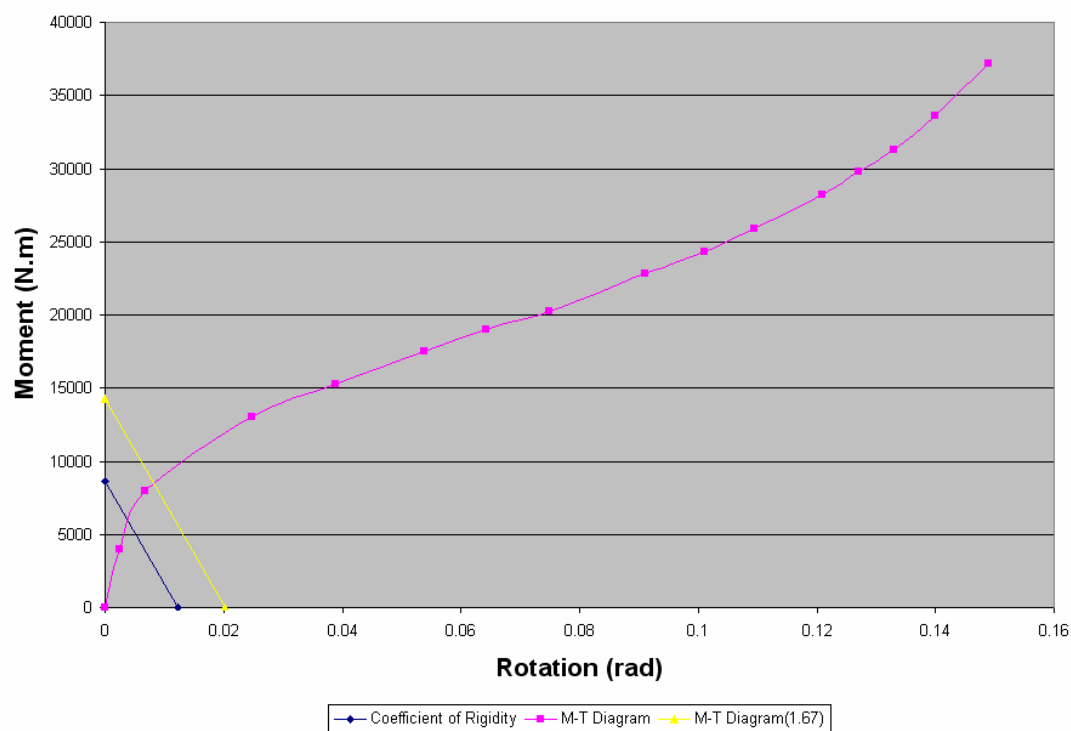
شکل (۴-۱۲۵): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۳)



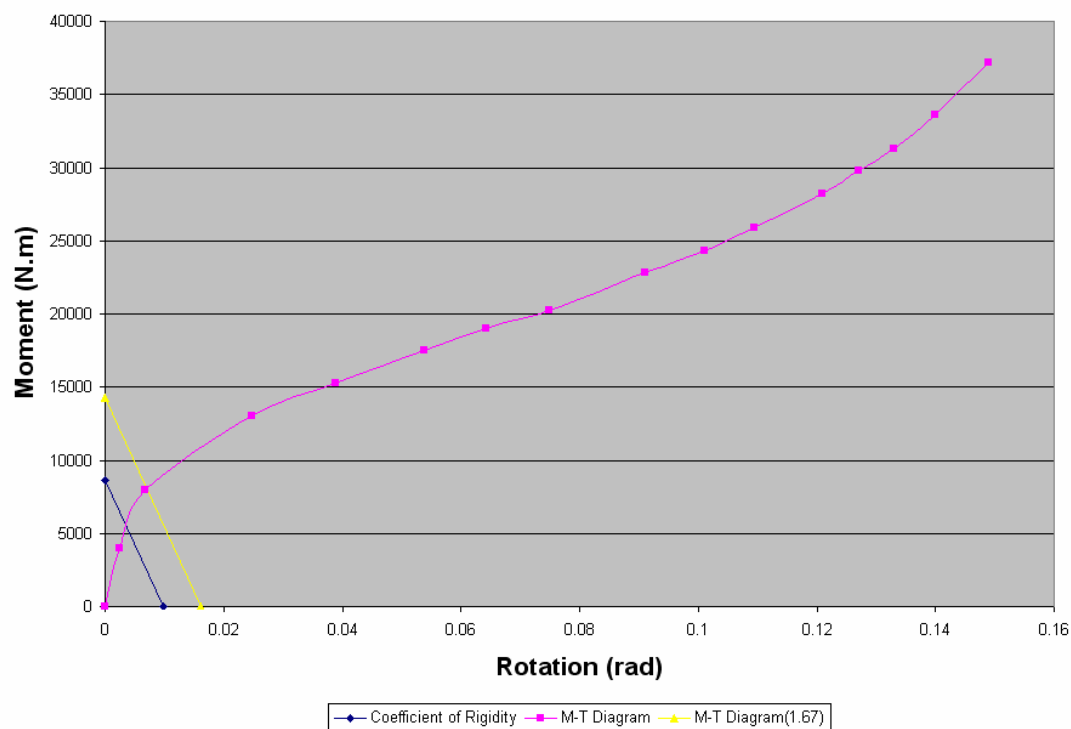
شکل (۴-۱۲۶): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۴)



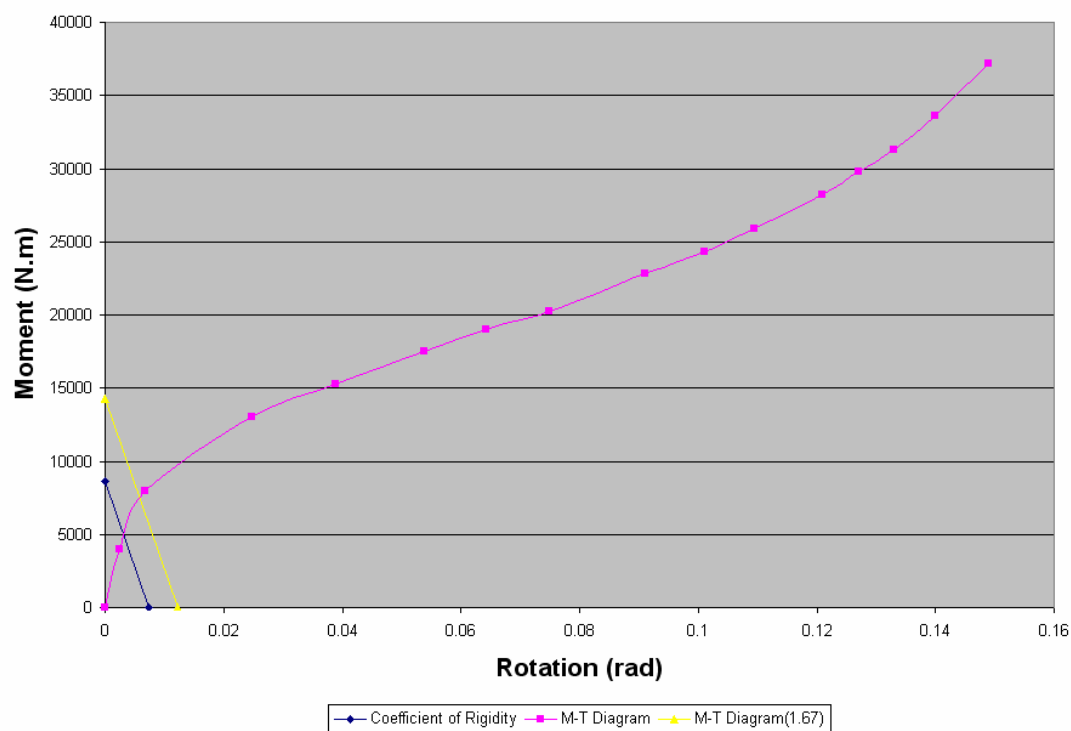
شکل (۴-۱۲۷): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۵)



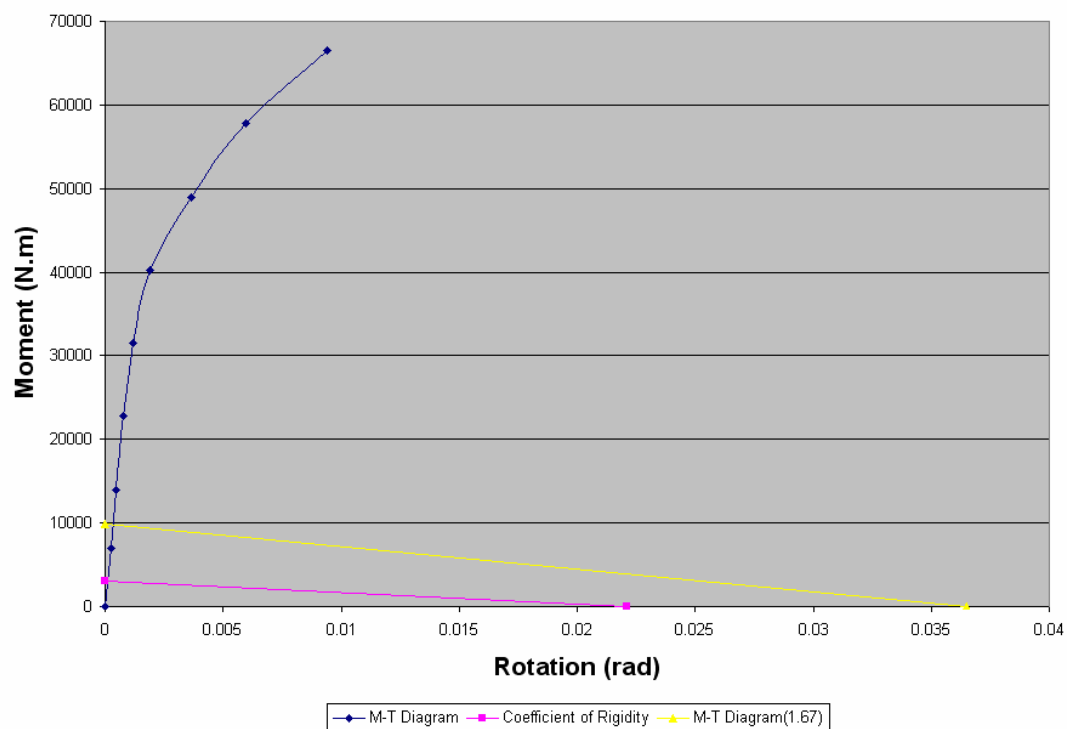
شکل (۴-۱۲۸): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۶)



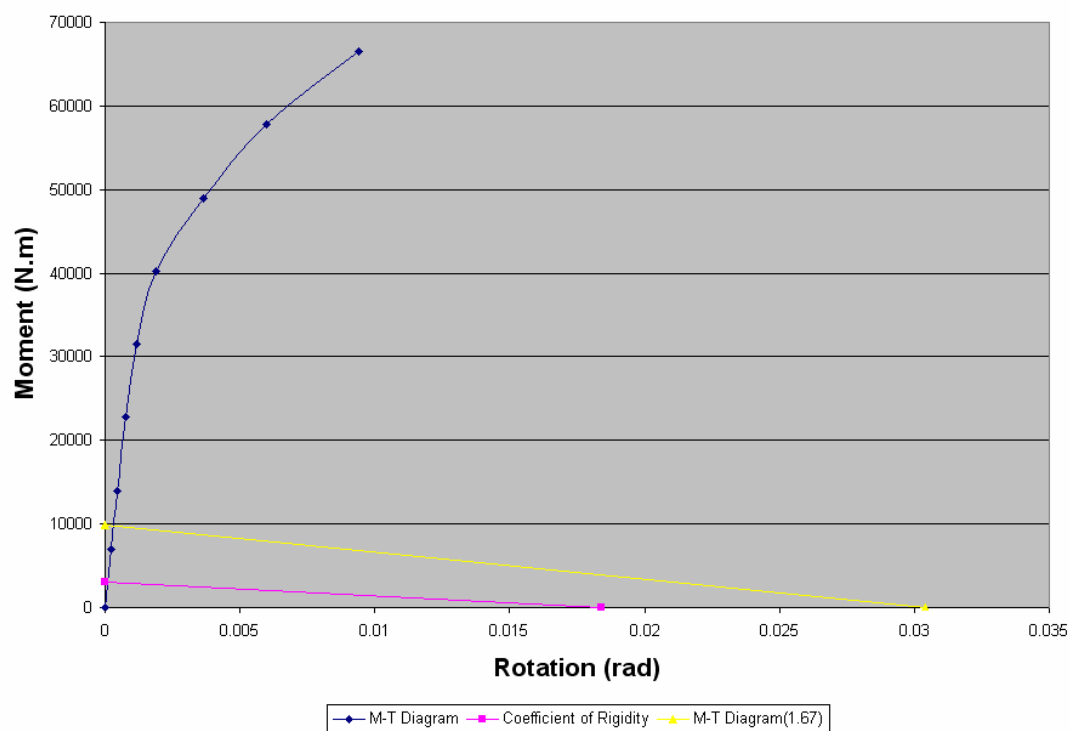
شکل (۴-۱۲۹): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۷)



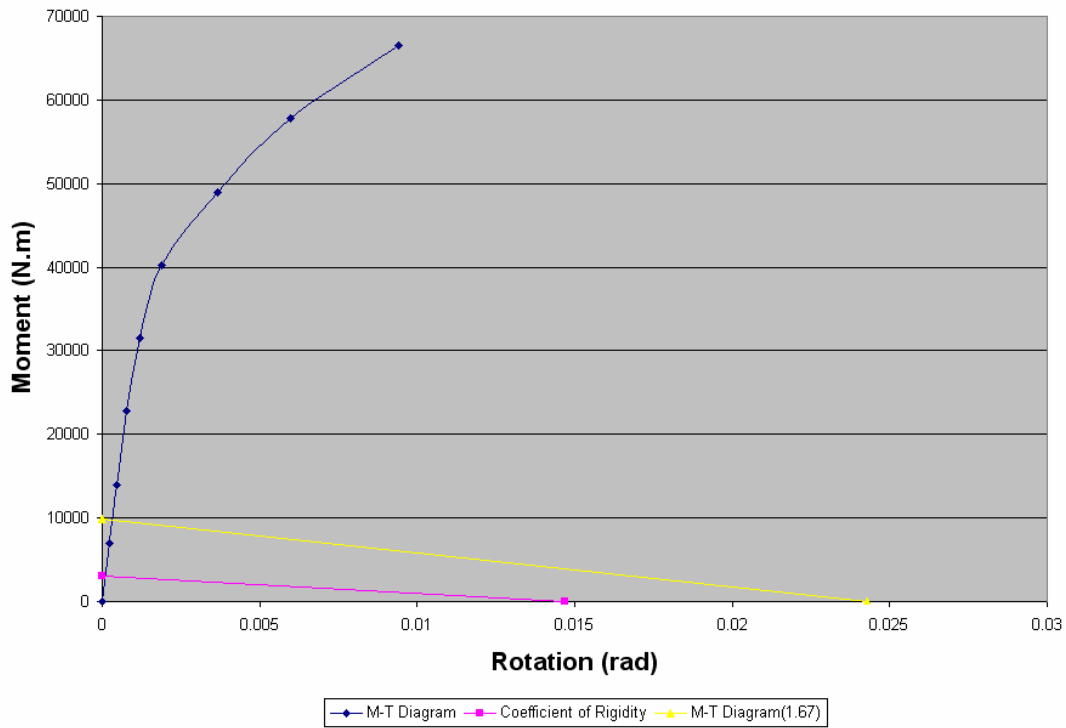
شکل (۴-۱۳۰): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۸)



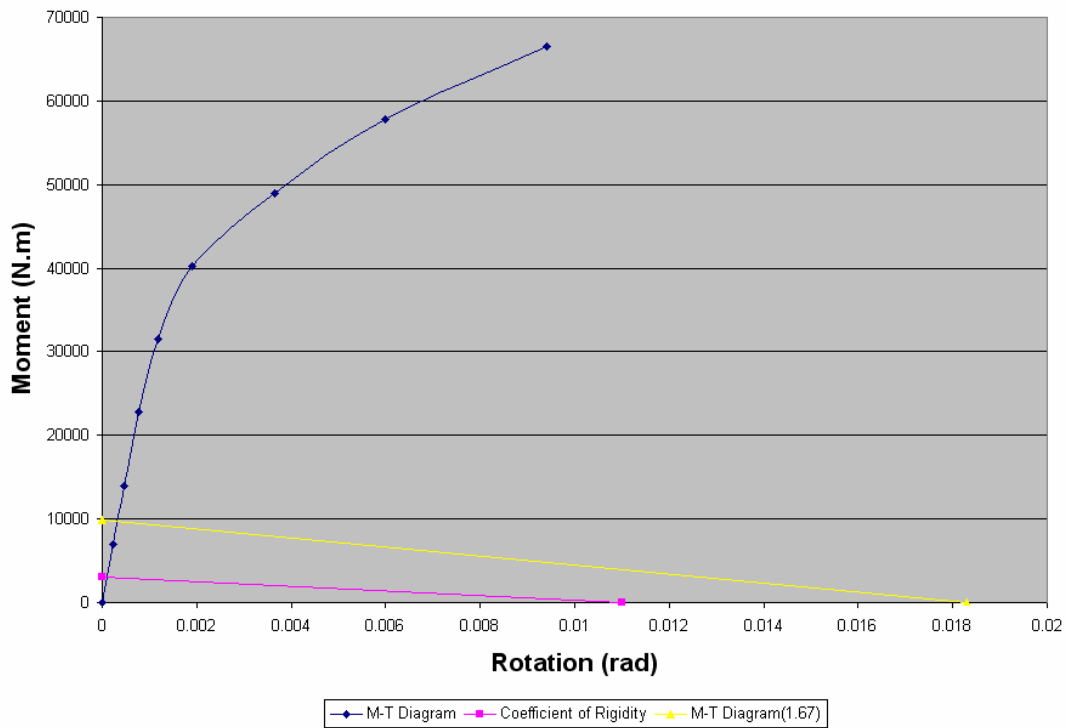
شکل (۴-۱۳۱): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۹)



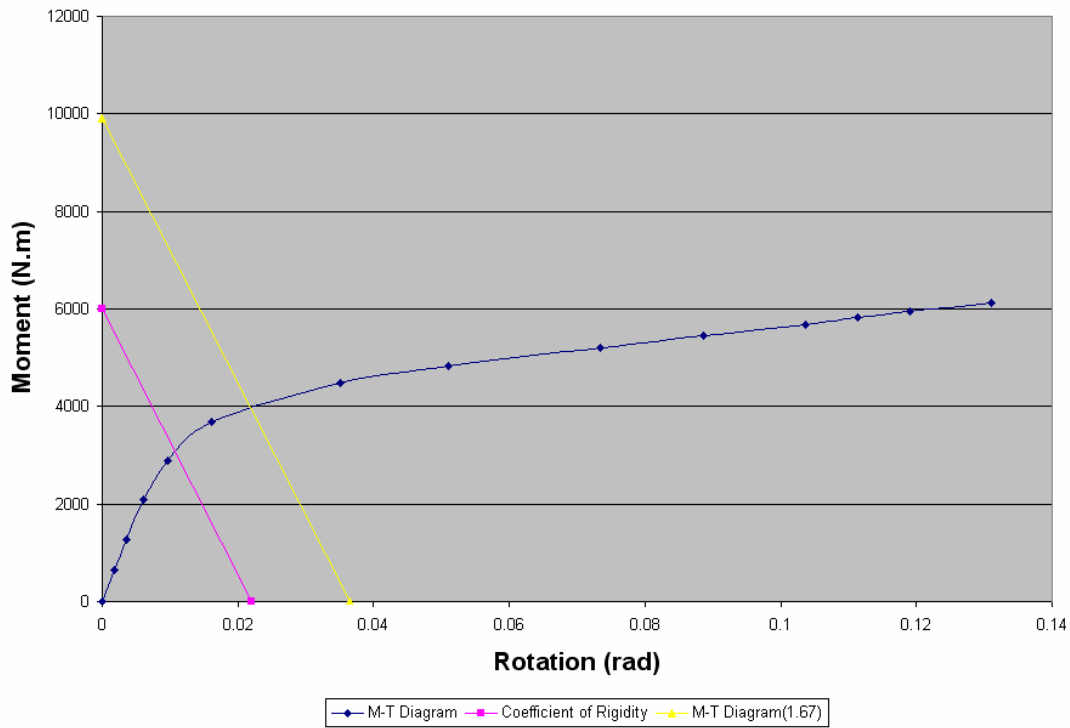
شکل (۴-۱۳۲): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۰)



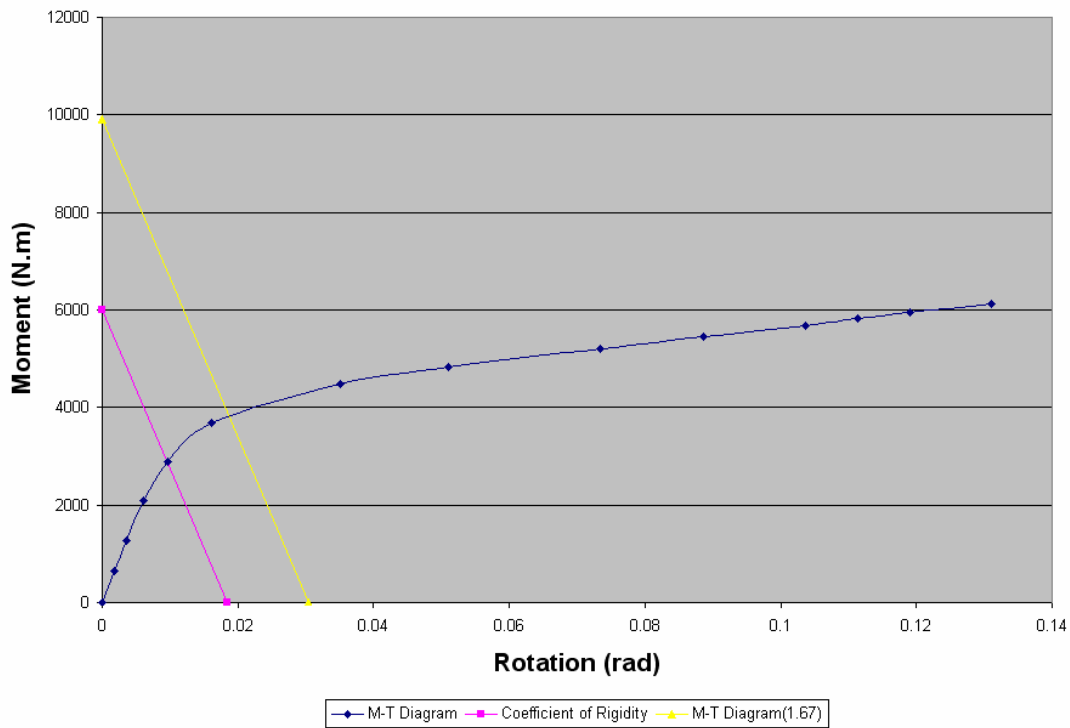
شکل (۴-۱۳۳): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۱)



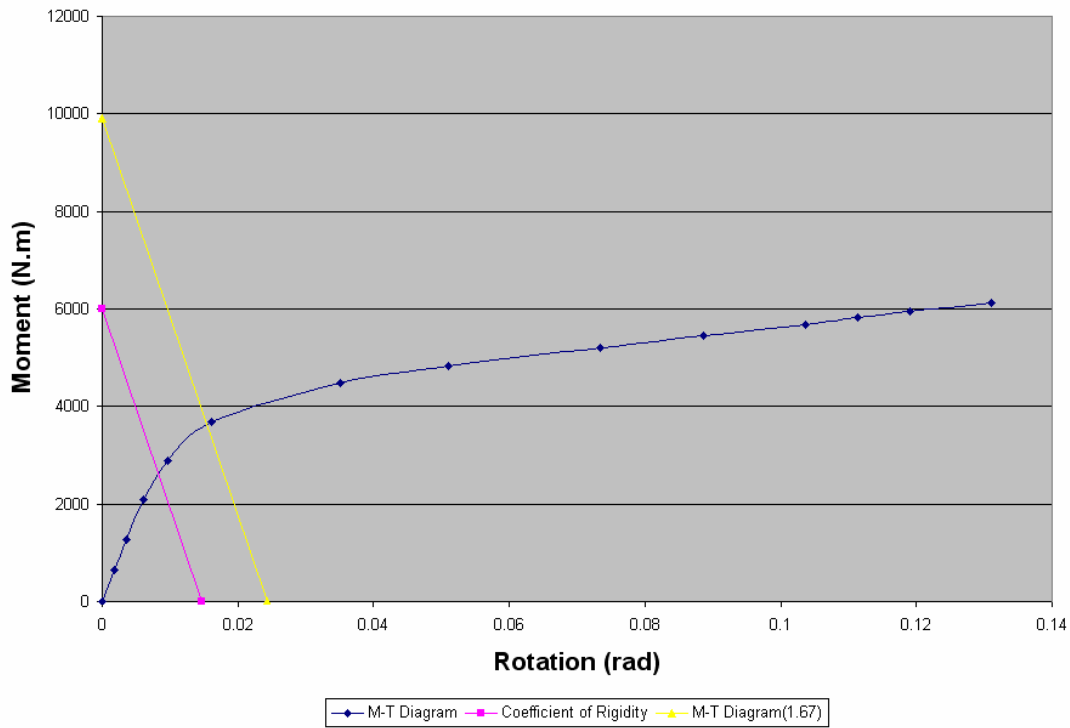
شکل (۴-۱۳۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۲)



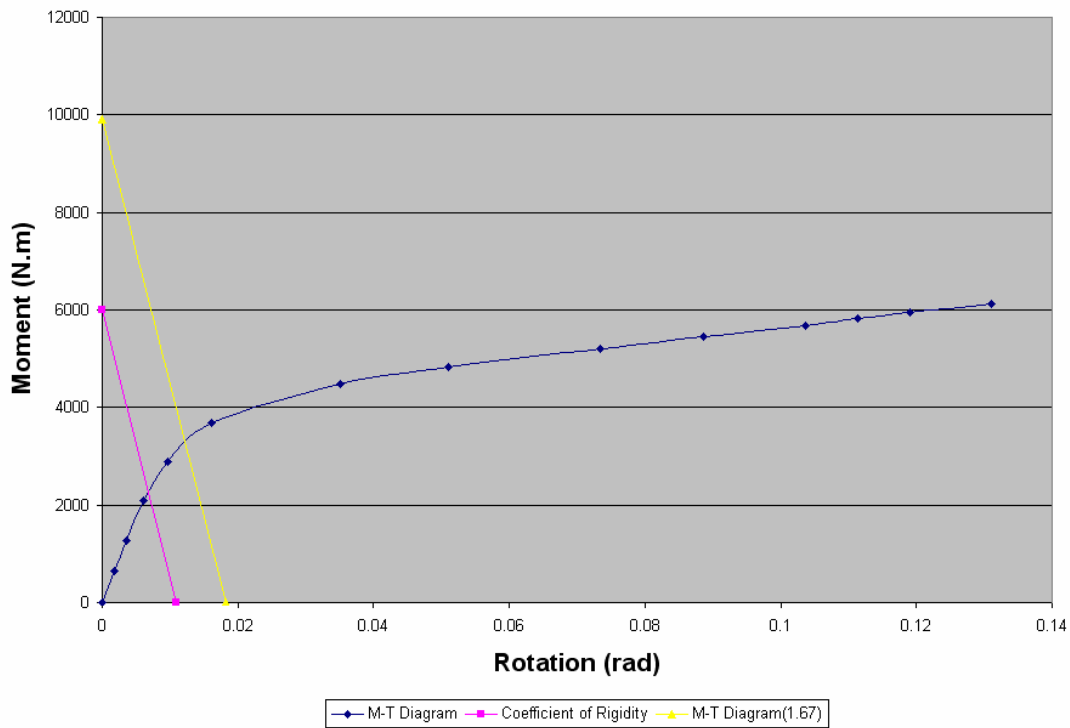
شکل (۴-۱۳۵): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۳)



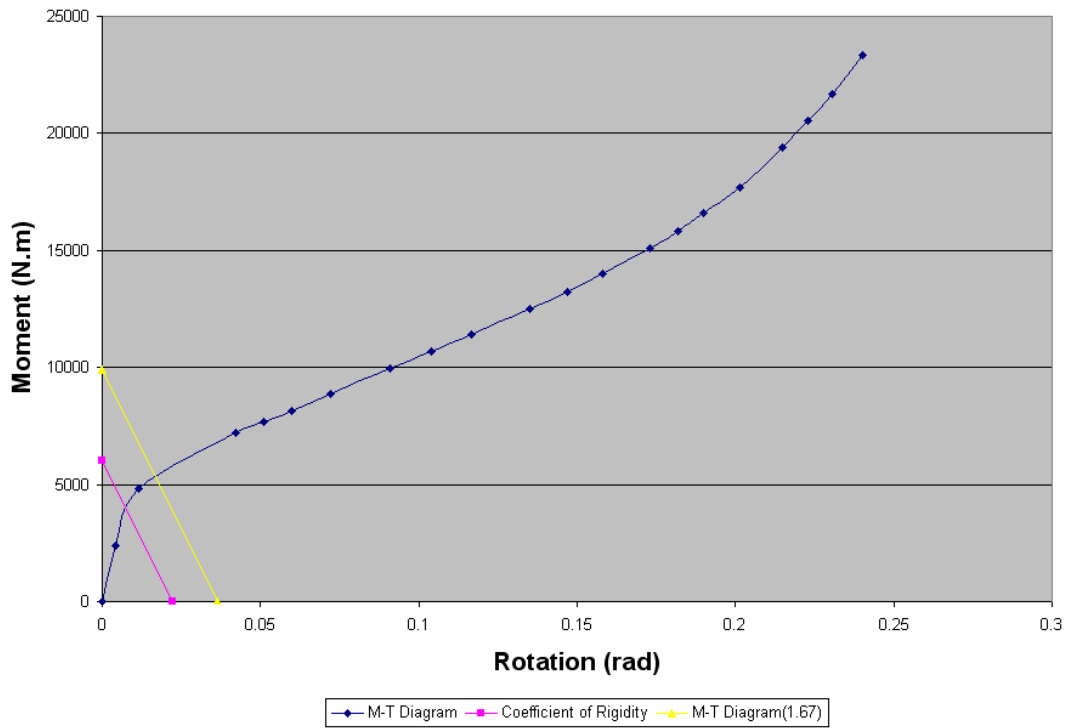
شکل (۴-۱۳۶): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۴)



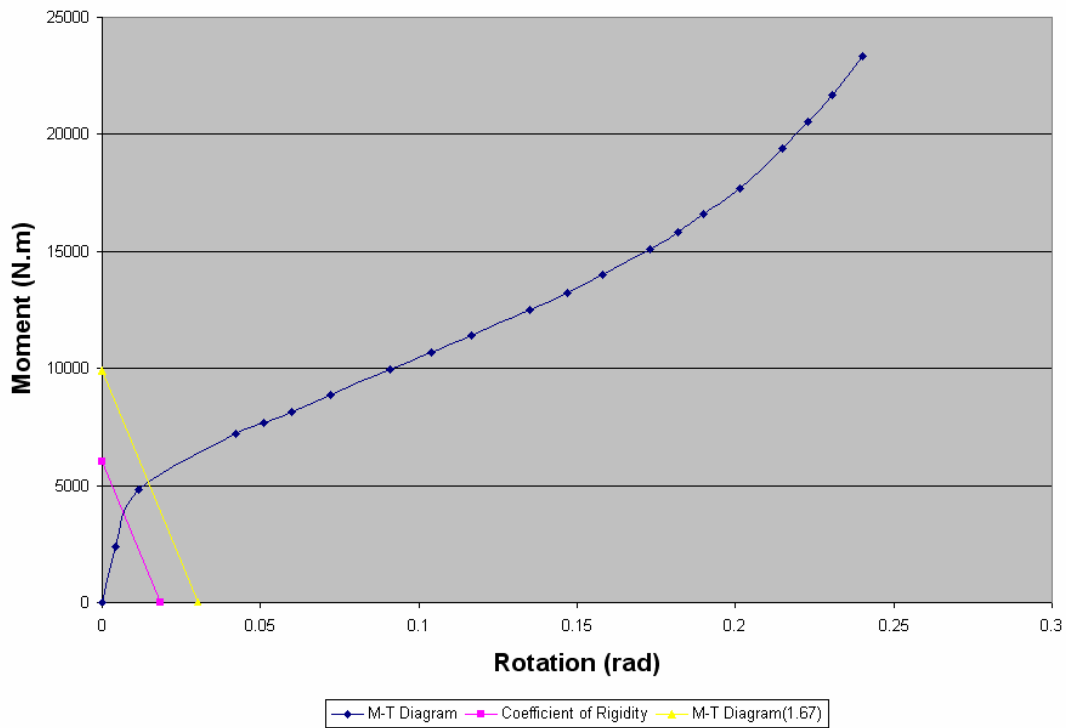
شکل (۴-۱۳۷): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۵)



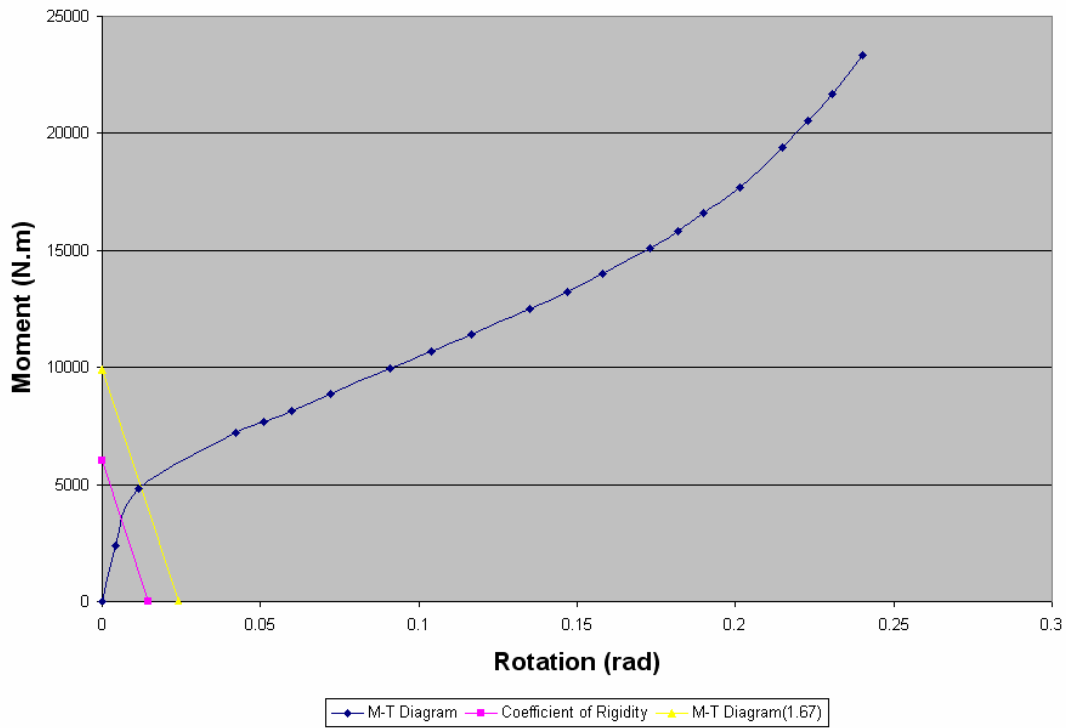
شکل (۴-۱۳۸): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۶)



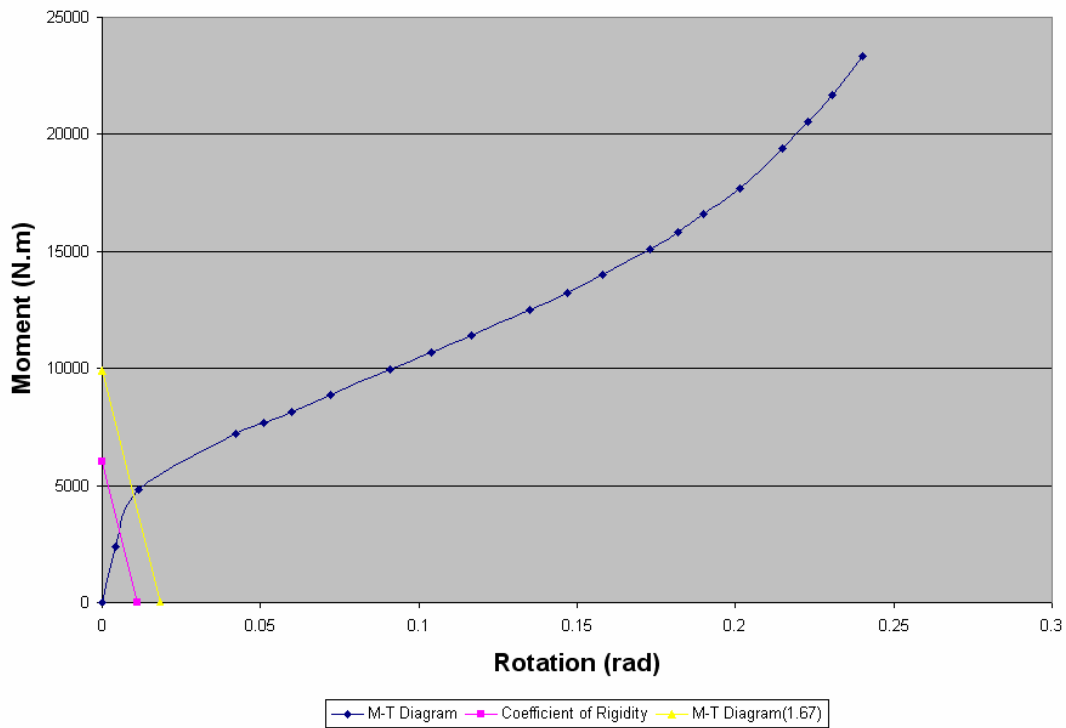
شکل (۴-۱۳۹): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۷)



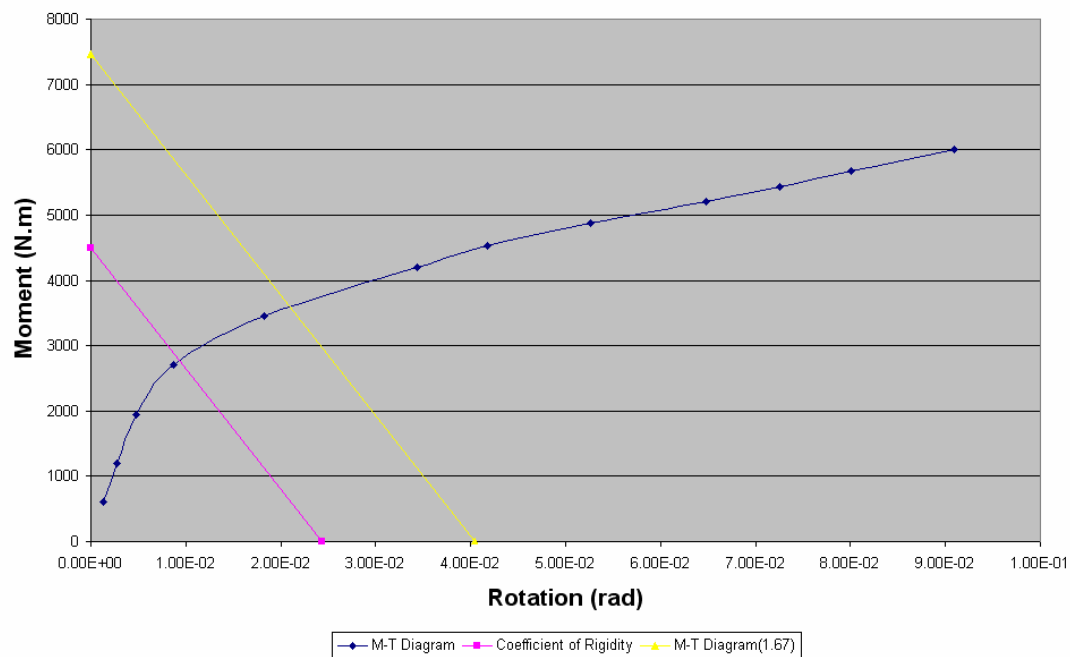
شکل (۴-۱۴۰): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۸)



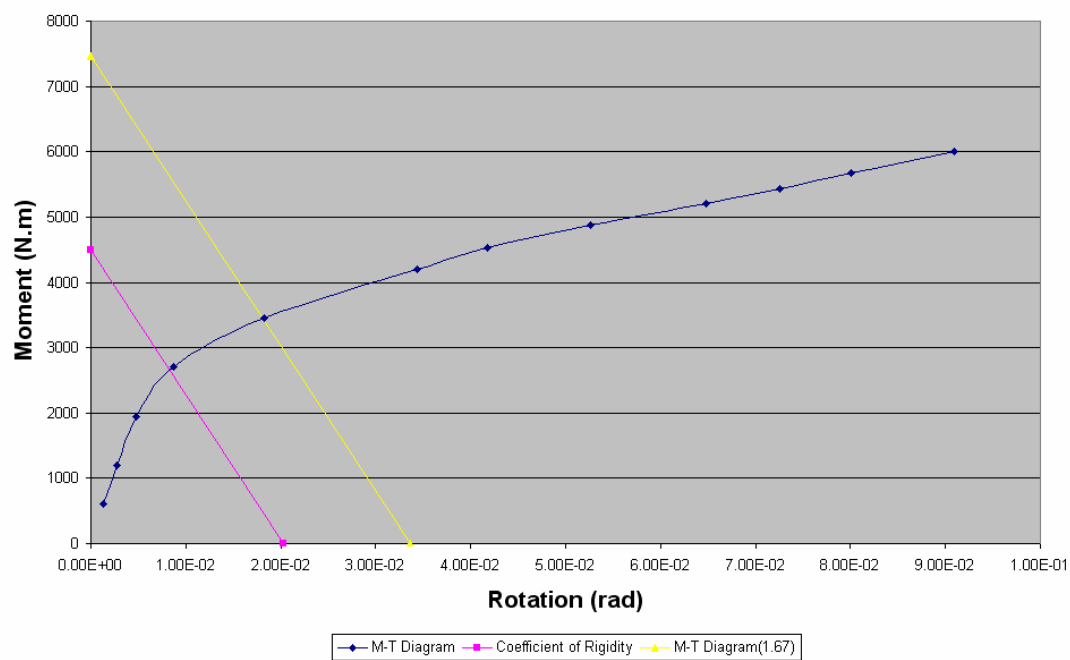
شکل (۴-۱۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۱۹)



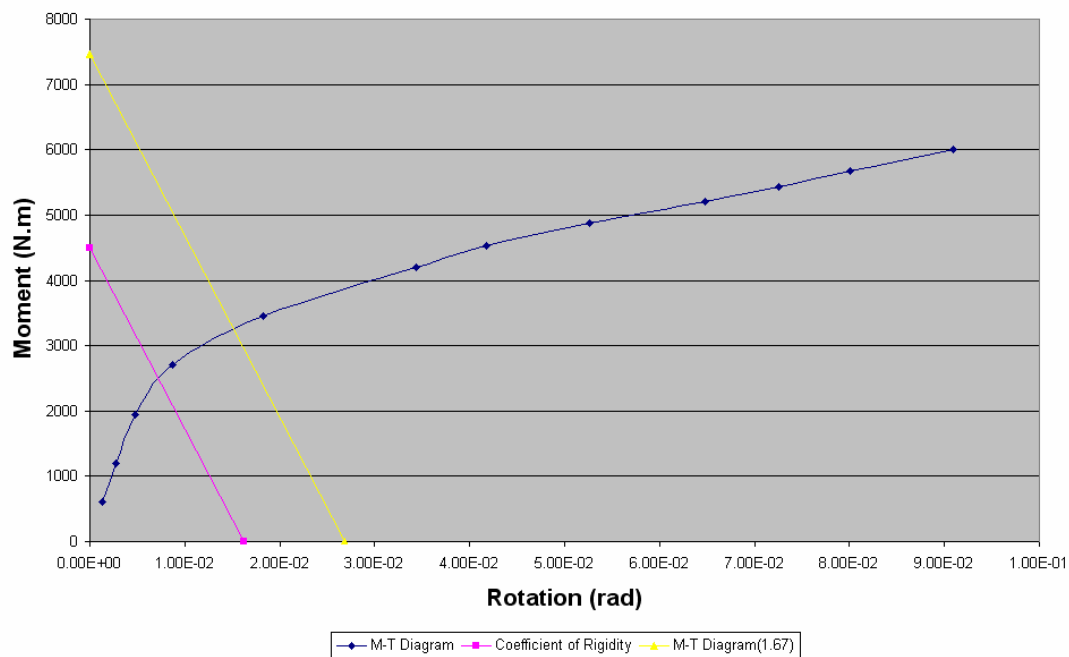
شکل (۴-۱۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۰)



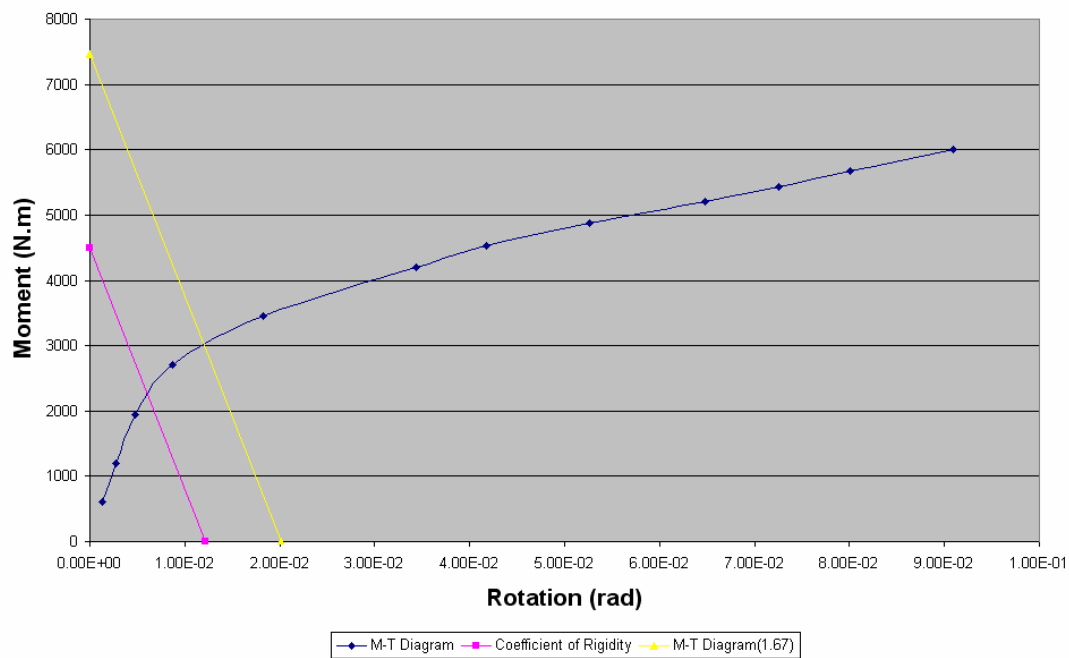
شکل (۴-۱۴۳): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۱)



شکل (۴-۱۴۴): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۲)



شکل (۴-۱۴۵): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۳)



شکل (۴-۱۴۶): نمودار لنگر-دوران به همراه خط تیر (تیر ۲۴)

۴-۵- جداول سختی اتصالات:

در این قسمت بر اساس نتایج نرم افزار Ansys و نمودارهای لنگر دوران هر اتصال سختی اولیه و سختی پلاستیک اتصال بدست آمده است. برای بدست آوردن سختی اولیه شیب ابتدایی نمودار اندازه

گیری شده است همانطور که در جداول زیر ملاحظه می نمایید در ابتدای نمودار میزان لنگر اتصال بر حسب N.m و دوران اتصال بر حسب رادیان محاسبه شده است و از این طریق شیب اولیه اتصال بدست می آید. برای محاسبه سختی پلاستیک همانطور که در نمودار ها نیز نمایش داده شده است میزان این سختی با افزایش نیرو ها کم می شود برای همین سختی پلاستیک را در اولین نقطه ای که نمودار تغییر شیب می دهد بدست آوردیم برای این کار لنگر و دوران اتصال در اولین نقطه تغییر شیب و نقطه بعد از آن قرائت و شیب خط مستقیم بین این دو نقطه را بدست آوردیم.

	M_1	θ_1	M_2	θ_2	M_3	θ_3	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
IPE 100	60	0.0027	345	0.0125	420	0.0529	22222	1856
IPE 120	100	0.00237	575	0.0172	700	0.0442	42194	4630
IPE 140	140	0.00197	980	0.01765	1155	0.04088	71066	7533
IPE 160	200	0.00201	1115	0.0135	1525	0.0367	99502	17672
IPE 180	300	0.00213	1725	0.0133	2100	0.0213	140845	46875
IPE 200	400	0.00204	2300	0.0134	2800	0.0667	196078	9381
IPE 220	500	0.002147	2875	0.01536	3500	0.0332	232883	35034
IPE 240	700	0.002299	4025	0.01545	4900	0.03562	304480	43381
IPE 270	760	0.00213	4370	0.01408	5320	0.02434	356808	92593
IPE 300	840	0.0021	4830	0.01391	5880	0.02412	400000	102840

جدول (۴-۱۲): سختی های اتصالات نبشی جان برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات

	M_1	θ_1	M_2	θ_2	M_3	θ_3	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
IPE 100	400	0.00297	800	0.00643	1300	0.01673	134680	48544
IPE 120	480	0.0024	960	0.00492	1560	0.0126	200000	78125
IPE 140	800	0.0027	1600	0.0056	2600	0.0143	296296	114943
IPE 160	1000	0.003	2000	0.0065	3250	0.0204	333333	89928
IPE 180	1400	0.0028	2800	0.00703	4550	0.0238	500000	104353
IPE 200	1600	0.00253	3200	0.0063	5200	0.0215	632411	131579
IPE 220	2000	0.00254	4000	0.0071	6500	0.0261	787402	131579
IPE 240	2800	0.00267	5600	0.0067	9100	0.0216	1048689	234899
IPE 270	3000	0.00242	6000	0.00608	9750	0.0196	1239669	277367
IPE 300	4000	0.00247	8000	0.00608	13000	0.0247	1619433	268528
IPE 300	4000	0.00245	8000	0.0065	13000	0.0207	1632653	352113

جدول (۴-۱۳): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات

	M_1	θ_1	M_2	θ_2	M_3	θ_3	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
IPE 100	1400	0.000406	6300	0.002594	11550	0.01591	3448276	394263
IPE 120	2000	0.000368	9000	0.00216	16500	0.01219	5434783	747757
IPE 140	3000	0.000341	13500	0.002091	24750	0.011407	8797654	1207600
IPE 160	4000	0.000288	23000	0.00261	38000	0.01224	13888889	1557632
IPE 180	6000	0.000303	27000	0.0018	49500	0.01122	19801980	2388535
IPE 200	7000	0.00024	40250	0.00189	57750	0.006	29166667	4257908
IPE 220	8000	0.000203	46000	0.00145	56000	0.0024	39408867	10526316
IPE 240	12000	0.000233	69000	0.002	99000	0.0062	51502146	7142857
IPE 270	15000	0.00021	86200	0.0011	127969	0.00577	71428571	8944111
IPE 300	17000	0.00016	97750	0.00106	119000	0.0026	106250000	13798701

جدول (۴-۱۴): سختی های اتصالات نشیمن تقویت شده و ورق فوقانی برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات

	M_1	θ_1	M_2	θ_2	M_3	θ_3	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
IPE 100	100	0.0016	700	0.0147	950	0.0404	62500	9728
IPE 120	160	0.0017	920	0.01296	1120	0.0207	94118	25840
IPE 140	240	0.00164	1350	0.0114	2100	0.0383	146341	27881
IPE 160	300	0.00164	1725	0.0122	2100	0.0192	182927	53571
IPE 180	500	0.00196	2875	0.01568	3500	0.0301	255102	43343
IPE 200	640	0.00181	3680	0.016	4480	0.035	353591	42105
IPE 220	800	0.0017	4600	0.01614	5600	0.0311	470588	66845
IPE 240	1000	0.0016	5750	0.01245	7000	0.0213	625000	141243
IPE 270	1300	0.00168	7475	0.0141	9100	0.0272	773810	124046
IPE 300	1600	0.00157	9200	0.0141	11200	0.0278	1019108	145985

جدول (۴-۱۵): سختی های اتصالات نبشی جان در تیر پروفیل دابل برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات

	M	θ	M	θ	M	θ	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
IPE 100	600	0.0034	1200	0.0081	1950	0.0387	176471	24510
IPE 120	800	0.00491	1600	0.0138	2100	0.031	162933	29070
IPE 140	1000	0.00446	2000	0.01296	3250	0.0584	224215	27509
IPE 160	1400	0.00446	2800	0.0162	4200	0.0561	313901	35088
IPE 180	1800	0.0041	3600	0.0105	5850	0.0441	439024	66964
IPE 200	2400	0.0042	4800	0.0116	7200	0.0422	571429	78431
IPE 220	3200	0.0042	6400	0.0119	10400	0.0478	761905	111421
IPE 240	3600	0.0037	7200	0.0101	11700	0.04	972973	150502
IPE 270	4000	0.0031	8000	0.00771	13000	0.028	1290323	246427
IPE 300	5000	0.00294	10000	0.00752	16250	0.0293	1700680	286961

جدول (۴-۱۶): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی در تیر پروفیل دابل برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات

	M	θ	M	θ	M	θ	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
IPE 100	300	0.0031	600	0.00731	900	0.0198	96774	24019
IPE 120	340	0.00208	1105	0.0108	1530	0.0302	163462	21907
IPE 140	400	0.00153	1800	0.00927	2300	0.0193	261438	49850
IPE 160	500	0.00135	2250	0.0082	2875	0.016	370370	80128
IPE 180	600	0.00135	2700	0.0087	3450	0.018	444444	80645
IPE 200	800	0.00126	3600	0.0095	4600	0.021	634921	86957
IPE 220	900	0.001115	5175	0.01	6300	0.0197	807175	115979
IPE 240	1400	0.0014	6300	0.0116	8050	0.0262	1000000	119863
IPE 270	1700	0.0015	7650	0.0095	11900	0.0359	1133333	160985
IPE 300	2000	0.0011	9000	0.0088	11500	0.0182	1818182	265957

جدول (۴-۱۷): سختی های اتصالات نشیمن تقویت شده و نبشی فوقانی در تیر پرروفیل دابل برای اتصالات پیشنهادی راهنمای اتصالات

شماره اتصال	M	θ	M	θ	M	θ	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
12	400	0.00232	1800	0.013	2300	0.033	172414	25000
13	400	0.002044	2160	0.0122	2760	0.0223	195695	59406
14	400	0.001733	3450	0.0192	4200	0.0596	230814	18564
15	400	0.003081	1560	0.0128	2310	0.0544	129828	18029
16	400	0.004876	1300	0.0191	1550	0.0438	82034	10121

جدول (۴-۱۸): سختی های اتصالات نبشی جان برای اتصالات طراحی شده

شماره اتصال	M	θ	M	θ	M	θ	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
29	400	0.00232	1800	0.013	2300	0.033	172414	25000
30	400	0.002044	2160	0.0122	2760	0.0223	195695	59406
31	400	0.001733	3450	0.0192	4200	0.0596	230814	18564
32	400	0.003081	1560	0.0128	2310	0.0544	129828	18029
33	400	0.004876	1300	0.0191	1550	0.0438	82034	10121

جدول (۴-۱۹): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای اتصالات طراحی شده

شماره اتصال	M	θ	M	θ	M	θ	سختی اولیه اتصال	سختی پلاستیک
44	7000	0.00028	31500	0.0015	49000	0.005	25000000	5000000
45	7000	0.00026	31500	0.0013	40250	0.00232	26923077	8578431
46	7000	0.00024	31500	0.00119	40250	0.00189	29166667	12500000
47	9000	0.00023	40500	0.0014	63000	0.0056	39130435	5357143
48	7000	0.0002	40250	0.0017	57750	0.0054	35000000	4729730

جدول (۴-۲۰): سختی های اتصالات نشیمن تقویت شده و ورق فوقانی برای اتصالات طراحی شده

سختی پلاستیک	سختی اولیه اتصال	θ	M	θ	M	شماره اتصال
58824	347826	0.0238	3360	0.0136	2760	59
46233	348387	0.0301	3780	0.0155	3105	60
42553	355556	0.035	4480	0.0162	3680	61
62016	290909	0.0254	3680	0.0125	2880	62
52632	243478	0.0263	3220	0.013	2520	63

جدول (۴-۲۱): سختی های اتصالات نبشی جان برای IPE دویل برای اتصالات طراحی شده

سختی پلاستیک	سختی اولیه اتصال	θ	M	θ	M	شماره اتصال
80645	521739	0.0233	5400	0.0047	3900	84
173913	553633	0.0177	5200	0.0062	3200	85
78431	571429	0.0422	7200	0.0116	4800	86
181452	600000	0.0187	5850	0.0063	3600	87

جدول (۴-۲۲): سختی های اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی برای IPE دویل برای اتصالات طراحی شده

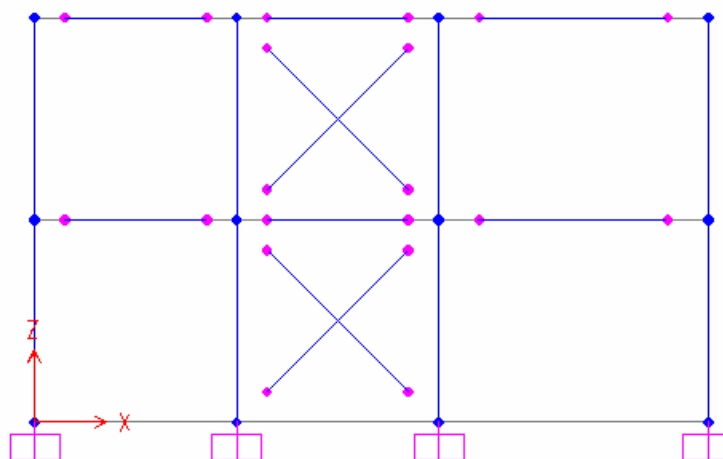
طول دهانه	نوع اتصال	3 m	۴ m	۵ m	۶ m
۴۱/۵۲	اتصال جفت نبشی جان	۴۸/۵۷	۵۳/۸۶	۵۷/۸۶	
۴۱/۷۰		۴۵/۰۰	۴۷/۹۰	۵۰/۵۵	
۱۵/۱۵	اتصال نبشی فوقانی و نشیمن	۶۱/۰۲	۶۵/۳۷	۶۸/۹۷	
۵۰/۹۲		۵۶/۶۳	۵۹/۱۷	۶۱/۳۷	
۹۹/۱۰	اتصال ورق فوقانی و نشیمن	۹۹/۳۲	۹۹/۴۶	۹۹/۵۵	
۹۸/۲۲		۹۸/۶۵	۹۸/۹۲	۹۹/۱۰	
۳۷/۵۳	اتصال جفت نبشی جان 2IPE	۴۳/۰۷	۴۷/۷۱	۵۰/۵۰	
۳۲/۳۶		۳۶/۲۲	۳۸/۲۱	۳۹/۶۰	
۴۸/۴۰	اتصال نبشی فوقانی و نشیمن 2IPE	۵۳/۹۲	۵۸/۵۴	۶۲/۳۱	
۴۶/۹۰		۴۹/۰۱	۵۰/۹۹	۵۲/۸۳	
۵۹/۰۶	اتصال نشیمن تقویت شده و نبشی فوقانی 2IPE	۶۴/۵۱	۶۸/۷۶	۷۲/۰۴	
۶۰/۴۹		۶۲/۶۶	۶۴/۶۳	۶۶/۳۸	

جدول (۴-۲۳): درصد گیرداری اتصالات مختلف

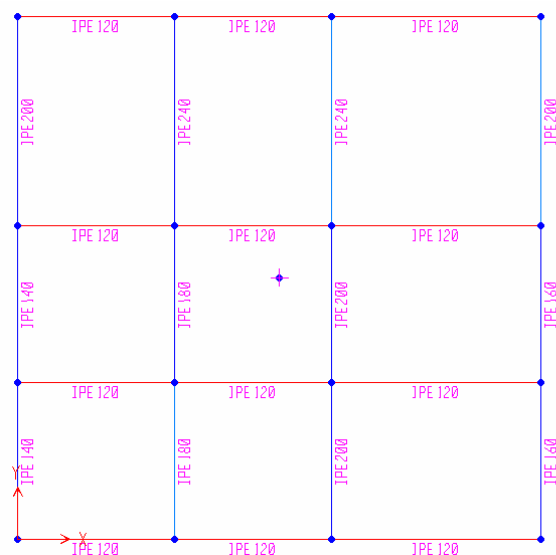
۴-۶- طراحی یک سازه در نرم افزار Sap2000

در این قسمت ما یک سازه ۲ طبقه را یک بار به طور معمول و بار دیگر با در نظر گرفتن سختی اتصال مدل سازی و طراحی می کنیم.

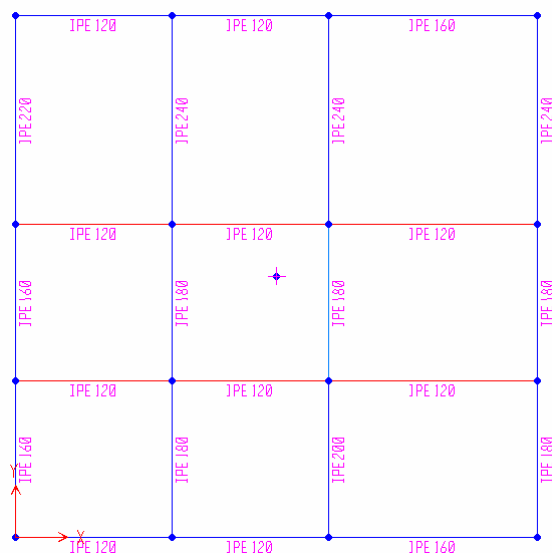
سازه مورد نظر ما در هر یک از جهات محور های X و Y دارای ۳ دهنه می باشد که در جهت X ها از بادبند و در جهت Y ها از قاب خمشی استفاده شده است. بعد از بارگذاری، سازه را تحلیل و طراحی می کنیم. برای طراحی تیر های سازه از مقطع IPE ، برای طراحی ستون ها از مقطع IPE و برای تیر ها از مقطع IPE استفاده شده است. از طراحی این سازه با در نظر گرفتن انتهای مفصلی تیرها برای جهت X ها و انتهای گیردار برای جهت Y ها نتایج نشان داده شده در شکل های (۴-۱۴۸) و (۴-۱۴۹) بدست آمد.



شکل (۴-۱۴۷): ایجاد انتهای مفصلی در انتهای تیرها و بادبند ها



شکل (۴-۱۴۸): مشخصات تیرهای طبقه اول در حالات حدی گیر دار و مفصلی



شکل (۴-۱۴۹): مشخصات تیرهای طبقه دوم در حالات حدی گیر دار و مفصلی

سپس از طریق پنجره Assign Frame Releases که در شکل (۴-۱۴۹) نشان داده شده است سختی انتهای تیرها را مطابق جداول (۴-۱۳) و (۴-۱۴) از حالت کاملاً گیر دار و کاملاً مفصلی تغییر می‌دهیم. برای تیرهای جهت X ها از اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن و برای تیرهای جهت Y ها از اتصال ورق فوقانی و نشیمن تقویت شده استفاده می‌کنیم. سپس بعد از تحلیل و طراحی مجدد به علت عوض شدن مقاطع طراحی شده مقادیر سختی انتهای اتصالات را دوباره عوض می‌کنیم در نهایت با تحلیل و طراحی مجدد سازه نتایج شکل‌های (۴-۱۵۱) و (۴-۱۵۲) بدست آمد.

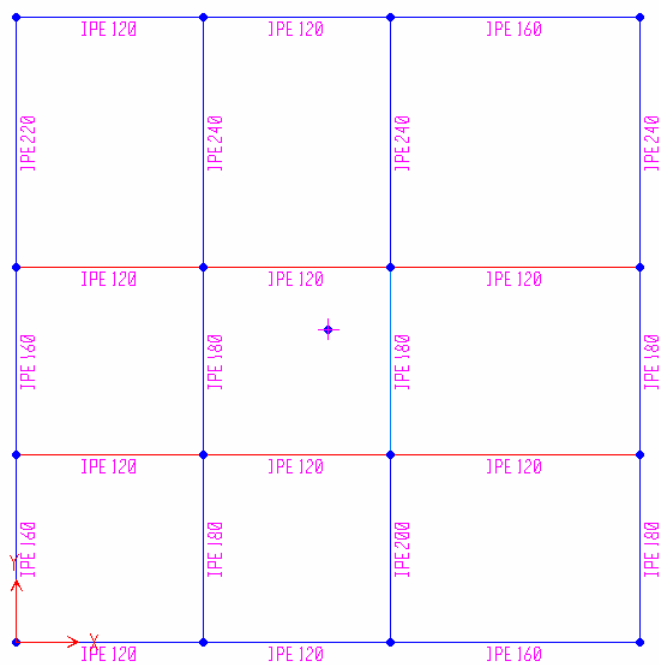
Assign Frame Releases

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	☐	☐		
Shear Force 2 (Major)	☐	☐		
Shear Force 3 (Minor)	☐	☐		
Torsion	☐	☐		
Moment 22 (Minor)	☐	☐		
Moment 33 (Major)	☒	☒	0.	0.

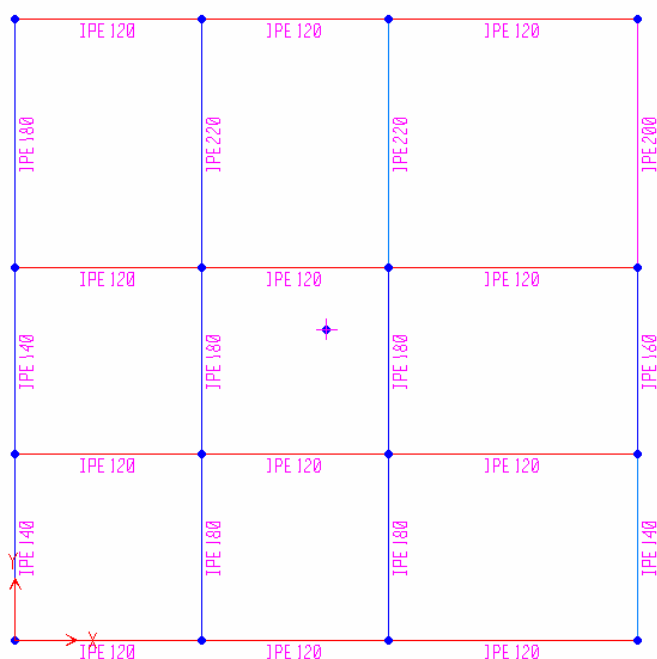
☐ No Releases

OK Cancel

شکل (۴-۱۵۰): پنجره تغییر سختی انتهای تیر ها



شکل (۴-۱۵۱): مشخصات تیر های طبقه اول پس از تغییر سختی انتهای تیر ها



شکل (۴-۱۵۲): مشخصات تیر های طبقه دوم پس از تغییر سختی انتهای تیر ها

۴-۷- مقایسه نمودار ها و نتایج تحلیل

۱. از مقایسه کلی نمودار ها می توان دریافت وقتی از تیری با شماره پروفیل بزرگتر استفاده می

کنیم سختی اتصالی که برای آن تیر پیشنهاد می شود بیشتر می شود.

۲. وقتی از تیری با شماره پروفیل بزرگتر استفاده می کنیم سطح زیر منحنی لنگر دوران اتصال

آن بیشتر می شود در نتیجه اتصال انرژی کرنشی بیشتری تحمل می کند.

۳. در نمودار های نبشی نشیمن و فوقانی می توان مشاهده نمود بعد از آنکه سختی اتصال

کاهش می یابد با تغییر شکل های بزرگتر دوباره سختی اتصال افزایش می یابد این اتفاق

ممکن است به دلیل جابجا شدن مرکز دوران هنگام پلاستیک شدن اجزای اتصال رخ بدهد.

۴. از مقایسه شیب اولیه نمودار های لنگر دوران اتصال نبشی جان و اتصالات دیگر می توان

مشاهده نمود این اتصال دارای سختی اولیه ای مشابه با سایر اتصالات می باشد یعنی این

اتصال در بار های کوچک می تواند لنگر انتهای تیر را به ستون متقل کند.

۵. از مقایسه سطح زیر منحنی نمودار های لنگر دوران اتصال نبشی جان و سایر اتصالات می توان دریافت این اتصال واقعا می تواند به عنوان یک اتصال مفصلی مورد استفاده قرار گیرد زیرا در لنگر های کوچک تغییر شکلهای بزرگی پیدا می کند که این باعث کاهش لنگر انتهایی تیر می شود.

۶. از مقایسه شیب اولیه نمودار های لنگر دوران اتصال ورق فوقانی و نشیمن سخت شده با نمودار های سایر اتصالات دیده می شود این اتصالات دارای سختی بسیار زیاد می باشند.

۷. سطح زیر نمودار های لنگر دوران اتصال ورق فوقانی و نشیمن سخت شده نسبت به سایر اتصالات کوچک می باشد.

۸. از مقایسه مدل های ۱۲ تا ۱۶ که برای بررسی تاثیر نبشی فوقانی در اتصال نبشی فوقانی و نبشی نشیمن می توان نتیجه گرفت تاثیر اندازه پروفیل نبشی بسیار بیشتر از طول این نبشی می باشد.

۹. از مقایسه مدل های ۲۹ تا ۳۳ که برای بررسی تاثیر اجزای اتصال جفت نبشی جان طراحی شده بودند می توان نتیجه گرفت تاثیر اندازه پروفیل نبشی بیشتر از طول نبشی جان می باشد.

۱۰. از جداول طراحی و مقایسه نمودار های لنگر دوران مدل های ۴۴ تا ۴۸ می توان نتیجه گرفت که نیازی به طراحی این اتصال با ضخامت بسیار زیاد و طول بزرگ نمی باشد و با ابعادی بسیار کمتر نیز می توان به این گیر داری دست پیدا نمود البته در فصل ۲ توضیح داده شد که کمتر شدن گیر داری علاوه بر اقتصادی تر شدن اتصال می تواند باعث اقتصادی تر شدن تیر شود.

۱۱. از مقایسه نمودار های لنگر دوران اتصال هایی که با جفت نبشی جان به همراه نبشی نشیمن طراحی شده اند با اتصالهای نبشی جان می توان نتیجه گرفت علیرغم اینکه نبشی نشیمن باعث بالا رفتن مقاومت برشی اتصال می شود سختی اتصال افزایش کمی پیدا می کند و باز هم این اتصال را می توان جز اتصالات مفصلی به شمار آورد.

۱۲. از مقایسه مدل های ۴۴ تا ۴۸ که برای بررسی تاثیر طول و ضخامت ورق فوقانی در اتصال گیردار طراحی شده بودند می توان نتیجه گرفت که هم افزایش طول ورق نشیمن و فوقانی و هم افزایش ضخامت ورق فوقانی باعث افزایش سختی اتصال می شود.

۱۳. از مقایسه مدل های ۵۹ تا ۶۳ که برای بررسی تاثیر نبشی جان در اتصال های جفت نبشی جان با نبشی نشیمن برای پروفیل دابل طراحی شده بودند می توان نتیجه گرفت برخلاف اتصال مشابه نبشی جان بدون نبشی نشیمن تاثیر شماره نبشی جان ناچیز و برعکس طول نبشی جان تاثیر زیادی در سختی این اتصال دارد.

۱۴. از مقایسه نمودار های لنگر دوران اتصال های نبشی فوقانی و نبشی نشیمن برای تیر های تک و دابل می توان نتیجه گرفت که رفتار این اتصالات بسیار شبیه به هم می باشد و طول بسیار زیاد نبشی ها در حالت پروفیل دابل باعث افزایش چشمگیر سختی اتصال نمی شود.

۱۵. از مقایسه نمودار های لنگر دوران اتصالات نبشی نشیمن و نبشی فوقانی با اتصالات نشیمن تقویت شده و نبشی فوقانی می توان نتیجه گرفت سختی این اتصالات تقریباً مشابه با هم می باشد و تاثیر نشیمن تقویت شده یا نبشی نشیمن در سختی اتصال ناچیز می باشد و نبشی فوقانی سختی اتصال را ایجاد می کند.

۱۶. از مقایسه کلی نمودار های گیرداری می توان نتیجه گرفت با کم شدن طول دهنه تیر، گیرداری اتصال زیاد می شود یعنی یک اتصال مشخص در تیر هایی با طول کمتر گیر دارتر عمل می کنند.

۱۷. از مقایسه کلی نمودار های گیرداری می توان نتیجه گرفت هرچه بارگذاری تیر بیشتر شود از گیر داری تیر کاسته می شود.

۱۸. از بررسی نتایج تحلیل سازه می توان نتیجه گرفت با جایگزینی سختی اتصالات در انتهای تیر ها که آنها را مفصلی یا کاملاً گیر دار در نظر می گرفتیم باعث کاهش شماره پروفیل تیر می گردد و یا باعث بالا رفتن ضریب اطمینان در استفاده آن پروفیل می گردد.

فصل پنجم

نتیجه گیری

در این پایان نامه ابتدا ماکرو هایی برای مدل سازی و آنالیز اتصالات جفت نبشی جان، نبشی نشیمن با نبشی فوقانی، نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی، ورق نشیمن با ورق فوقانی و نبشی نشیمن با جفت نبشی جان در نرم افزار Ansys نوشته شده است. سپس ماکروی هر اتصال با ابعاد پیشنهادی آیین نامه راهنمای اتصالات برای تمام پروفیل های تیر (IPE) در نرم افزار اجرا شده اند سپس با استفاده از اندازه گیری زاویه دوران اتصال و لنگر اعمال شده نمودار های لنگر دوران تمام اتصالات، سختی اولیه و سختی پلاستیک هر اتصال محاسبه شده اند. همچنین درصد گیر داری اتصال در چند تیر با طول های مختلف محاسبه گردیده است. پس از اتصالات پیشنهاد شده توسط آیین نامه راهنمای اتصالات چند اتصال با ابعاد دلخواه نیز مورد بررسی قرار گرفته اند. در کل تعداد ۸۷ عدد اتصال به صورت کامل و دقیق و مدل کردن جوش ها، ساخته و آنالیز گردید همچنین برای ۲۴ تیر درصد گیرداری با استفاده از رسم خط تیر و نمودار لنگر دوران مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت یک سازه دو طبقه یک بار بدون در نظر گرفتن سختی اتصالات و بار دیگر با در نظر گرفتن سختی اتصالات که مقدار آنها در همین پایان نامه محاسبه شده تحلیل و طراحی گردیده است. با توجه به کلیه آنالیزهای صورت گرفته، نتایج زیر قابل بیان می باشد.

بکار گرفتن مقادیر سختی اتصالات در طراحی سازه ها باعث کاهش شماره پروفیل تیر های سازه می شود و یا موجب بالا رفتن ضریب اطمینان طراحی سازه می گردد. به همین علت می توان گفت در نظر گرفتن سختی اتصالات باعث اقتصادی تر شدن طراحی می گردد.

از تحلیل اتصالات مختلف نتایج مختلفی بدست آمده است اما بعضی از نتایج در تمام اتصالات یکسان می باشد. وقتی تیر از پروفیل بزرگتری ساخته می شود اتصال این تیر به ستون

سخت تر می گردد یعنی حتی در اتصالاتی مانند اتصال جفت نبشی جان برای این تیر ها سختی زیادی از خود نشان می دهند.

سختی اتصال نبشی نشیمن و نبشی فوقانی به ابعاد نبشی فوقانی بستگی دارد سختی این اتصال پس از رسیدن به حالت پلاستیک دوباره افزایش می یابد.

سختی اولیه اتصال جفت نبشی جان مانند سایر اتصالات نیمه صلب نسبتا زیاد می باشد اما با افزایش بار این سختی بسیار کاهش می یابد در نتیجه برای بارگذاری های معمولی ساختمانها اتصال جفت نبشی جان مانند یک اتصال کاملا مفصلی عمل می کند اندازه پروفیل نبشی جان بسیار بیشتر از طول این نبشی در سختی این اتصال تاثیر می گذارد.

سختی اتصالات ورق فوقانی و نشیمن بسیار زیاد و گیرداری آن روی تیر ها با طول های مختلف بسیار زیاد بدست آمد در نتیجه در صورت استفاده از این اتصال در سازه (با ابعاد پیشنهاد شده توسط آیین نامه راهنمای اتصالات) می توان آن را کاملا صلب در نظر گرفت در این اتصال با افزایش ضخامت ورق فوقانی و با افزایش طول ورق فوقانی و نشیمن سختی سازه زیاد می گردد.

سختی اتصالات جفت نبشی جان به همراه نبشی نشیمن همانند اتصال جفت نبشی جان بدون نبشی نشیمن به سرعت کاهش می یابد. سختی این اتصال به ابعاد نبشی نشیمن بستگی دارد که تاثیر طول این نبشی بسیار بیشتر از ابعاد آن است.

سختی اتصالات نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی و سختی اتصال نبشی نشیمن با نبشی فوقانی تقریبا مشابه با یکدیگر می باشد و بستگی زیادی به ابعاد نبشی فوقانی دارد.

در نهایت می توان سختی متوسط اتصالات را به ترتیب زیر مرتب نمود :

سختی اتصال ورق فوقانی و ورق نشیمن (نشیمن تقویت شده) < سختی اتصال نبشی نشیمن با
نبشی فوقانی < سختی اتصال جفت نبشی جان

همچنین می توان سختی متوسط اتصالات مربوط به پروفیل های دابل را به ترتیب زیر
مرتب نمود :

سختی اتصال نشیمن تقویت شده با نبشی فوقانی < سختی اتصال نبشی نشیمن با نبشی فوقانی <
سختی اتصال جفت نبشی جان

فصل ششم

مراجع

مراجع

- [۱] شعبانعلی، محمد رضا؛ (۱۳۸۲) تحلیل المان محدود به کمک ANSYS
- [۲] جاهد مطلق، حمیدرضا؛ نوبان، محمدرضا؛ اشراقی، محمدامین؛ (۱۳۸۳)، اجزاء محدود
- ANSYS،
- [۳] صادق آذر، مجید؛ (۱۳۷۴)، "سازه‌های فولادی، کتاب اول: مصالح، مبانی طرح و اتصالات"
- [۴] طاحونی، شاپور؛ (۱۳۷۹)، "راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی"
- [۵] طاحونی، شاپور؛ (۱۳۵۹)، "طرح و محاسبه سازه‌های جوش شده"
- [۶] طاحونی، شاپور؛ زندی، امیرپیمان؛ (۱۳۷۱)، "اتصالات در سازه‌های فولادی"
- [۷] علمیه، احمدرضا؛ (۱۳۷۷)، "آنالیز سازه‌های فولادی با در نظر گرفتن رفتار واقعی اتصالات"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه عمران دانشکده فنی دانشگاه مازندران.
- [۸] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان؛ (۱۳۷۹)، "مقررات ملی ساختمانی، مبحث ۱۰: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، (۱۳۷۹)
- [۹] مگردیچیان، آرک؛ (۱۳۷۱)، "طرح و محاسبات ایستایی، جلد سوم: طرح و محاسبه اتصالات در ساختمان‌های فلزی"
- [۱۰] میرقادری، رسول؛ (۱۳۸۲)، "آئین‌نامه سازه‌های فولادی (AISC)"
- [۱۱] ناطقی الهی، فریبرز؛ کاظم، حسین؛ یزدانی، علی؛ (۱۳۷۹)، "رفتار لرزه‌ای اتصالات نیمه صلب"
- [۱۲] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان؛ (۱۳۷۶)، "راهنمای اتصالات در ساختمان‌های فولادی"

- [13]. Ackroyd, M.H. ; Gerstle, K.H. (1982), “Behavior of Type 2 steel frames”, *Journal of the structural division, ASCE*, Vol. 108, No. ST7, PP. 1541-1556.
- [14]. Maxwell L. Chisala. (1999), “Modeling $M-f$ curves for standard beam-to-column connections”, *Engineering Structures* 21 (1999) 1066–1075.
- [15]. ANSYS, “ANSYS User’s Manual”, Ver.10.0, SAS IP, Inc.
- [16]. Attiogbe, E. ; Morris, G. (1991), “Moment-Rotation Function For Steel Connections”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 117, No.6, PP. 1703-1718
- [17]. Chen, W.F. ; Kishi, N. (1989), “Semi rigid Steel Beam-To-Column Connection: Data Base and Modeling”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 115, No.1, PP. 105-119.
- [18] Chen, W.F. ; Lui, E.M. (1991), “Stability Design of Steel Frames”, CRC Press, 380 P.
- [19] Degertekin, S.O. ; Hayalioglu, M.S. (2004), “Design of non-linear semi-rigid steel frames with semi- rigid column bases”, *Electronic Journal of structural Engineering*, Vol.4, PP. 1-16.
- [20] El-Tawil, S. ; Mikesell, T. ; Kunnath, S.K. (2000), “Effect of local Details and Yield Ratio on Behavior of FR Steel Connections”, *Journal of structural Engineering, ASCE*, Vol. 126, No.1, PP. 79-87.
- [21] Faella, C.; Piluso, V. ; Rizzano, G. (1999), “Structural Steel semirigid connections: Theory, Design and Software”, CRC Press, 505 P.
- [22] Fry, M.J. ; Morris, G.A. (1975), “Analysis of flexibly connected steel frames”, *Canadian Journal of civil Engineering*, Vol.2, PP.280-291.

- [23] Kameshki, E.S. ; Saka, M.P. (2003), “Genetic algorithm based optimum design of nonlinear planar steel frames with various semirigid connections”, *Journal of constructional steel Research* 59, PP. 109-134.
- [24] Kim, Y. ; Chen, W.F. (1998), “Practially Restrained Framed Design”, *Journal of structural Engineering*, ASCE, Vol.124, No.7, PP.736-749.
- [25] Kishi, N. ; Ahmed, A. ; Yabuki, N. ; Chen, W.F. (2001), “Nonlinear finite element analysis of top- and seat- angle with double web- angle connections”, *structural Engineering and Mechanics*, Vol. 12, No.2, PP. 201-214.
- [26] Kishi, N. ; Chen, W.F. (1990), “Moment- Rotation Relations of semirigid connections angle”, *Journal of structural Engineering*, ASCE, Vol. 116, No.7, PP. 1813-1833.
- [27] Kishi, N. ; Chen, W.F. (1986), “Data base of steel beam – to – column connections”, *Struct . Eng ., Report No . CE- STR-86-26*, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN .
- [28] Lee, S.S. ; Moon, T.S. (2002), “Moment- Rotation model of semi-rigid connections with angles”, *Engineering structures* 24, PP. 227-237.
- [29] Lightfoot, E. ; Le Messurier, A.P. (1974), “Elastic Analysis of Frame work with Elastic Connections”, *J.Struct . Div ., ASCE*, 100(6) .
- [30] Lui, E.M. ; Chen, W.F. (1986), “Analysis and behavior of flexibly – jointed frames”, *Engineering structures* 8, PP. 107-180.
- [31] Lui, E.M. ; Chen, W.F. (1983), “Strength of H – Columns with small end restraints”, *J . Institution of Struct . Eng . (London)*, 61B(1), PP. 17-26.
- [32] McCormac, J.C. (1989) “Structural Steel Design: LRFD Method”, Harper Collins publishers.

[33] Monforton, A.R. ; Wu, T.S. (1963), “Matrix analysis of semi – rigidly connected frames”, *J. Struc. Div., ASCE*, 87 (6),pp. 13-42.

[34] Richard, R . M. ; Abbott, B .J. (1975), “Versatile elastic – plastic stress – strain formula”, *J. Eng. Mech. Div., ASCE*, 101(4) , pp.511-515 .

[35] Romstad, K. M. ; Subramanian, C .V.(1970), “Analysis of frame with partial connection rigidity ”, *Journal of the Structural Division , Proccedings of the ASCE* ; 96(ST 11) ,pp. 2283-300.

[36] Tarpy , T.S. ; Cardinal , J.W. (1981), “Behavior of semi – rigid beam – to – column end plate connections ”, *Joints in Struct. Steel work*, J. H. Howlett etal ., eds, Pentech Press, London , 2.3- 2.25.

[37] WU, F. H. ; chen, W.F. (1990) “A Design Model for Semi- rigid Connections” *Engineering structural*, Vol.12, No.12 , pp. 88-97.

[38] zhang, J. ; Dong, p. (2000) “Residual Stresses in welded Moment Frames and Implieations for structural performance” , *Journal of structural Engineering*, ASCE, Vol. 126, No.3, pp. 306-315.

فصل هفتم

پیوست

Element Library

LINK1	2D Spar (or Truss)
PLANE2	2D 6-Node Triangular Structural Solid
BEAM3	2D Elastic Beam
BEAM4	3D Elastic Beam
SOLID5	3D Coupled-Field Solid
COMBIN7	Revolute Joint
LINK8	3D Spar (or Truss)
INFIN9	2D Infinite Boundary
LINK10	Tension-only or Compression-only Spar
LINK11	Linear Actuator
CONTAC12	2D Point-to-Point Contact
PLANE13	2D Coupled-Field Solid
COMBIN14	Spring-Damper
PIPE16	Elastic Straight Pipe
PIPE17	Elastic Pipe Tee
PIPE18	Elastic Curved Pipe
PIPE20	Plastic Straight Thin-Walled Pipe
MASS21	Structural Mass
BEAM23	2D Plastic Beam
BEAM24	3D Thin-walled Beam
PLANE25	Axisymmetric-Harmonic 4-Node Structural Solid
MATRIX27	Stiffness, Damping, or Mass Matrix
SHELL28	Shear/Twist Panel
FLUID29	2D Acoustic Fluid
FLUID30	3D Acoustic Fluid
LINK31	Radiation Link
LINK32	2D Conduction Bar
LINK33	3D Conduction Bar
LINK34	Convection Link
PLANE35	2D 6-Node Triangular Thermal Solid
SOURC36	Current Source
COMBIN37	Control
FLUID38	Dynamic Fluid Coupling
COMBIN39	Nonlinear Spring
COMBIN40	Combination
SHELL41	Membrane Shell
PLANE42	2D Structural Solid
SHELL43	4-Node Plastic Large Strain Shell
BEAM44	3D Elastic Tapered Unsymmetric Beam
SOLID45	3D Structural Solid
SOLID46	3D 8-Node Layered Structural Solid
INFIN47	3D Infinite Boundary
MATRIX50	Superelement (or Substructure)
SHELL51	Axisymmetric Structural Shell
CONTAC52	3D Point-to-Point Contact
PLANE53	2D 8-Node Magnetic Solid
BEAM54	2D Elastic Tapered Unsymmetric Beam
PLANE55	2D Thermal Solid
SHELL57	Thermal Shell
PIPE59	Immersed Pipe or Cable

PIPE60	Plastic Curved Thin-Walled Pipe
SHELL61	Axisymmetric-Harmonic Structural Shell
SOLID62	3D Magneto-Structural Solid
SHELL63	Elastic Shell
SOLID64	3D Anisotropic Structural Solid
SOLID65	3D Reinforced Concrete Solid
PLANE67	2D Coupled Thermal-Electric Solid
LINK68	Coupled Thermal-Electric Line
SOLID69	3D Coupled Thermal-Electric Solid
SOLID70	3D Thermal Solid
MASS71	Thermal Mass
PLANE75	Axisymmetric-Harmonic 4-Node Thermal Solid
PLANE77	2D 8-Node Thermal Solid
PLANE78	Axisymmetric-Harmonic 8-Node Thermal Solid
FLUID79	2D Contained Fluid
FLUID80	3D Contained Fluid
FLUID81	Axisymmetric-Harmonic Contained Fluid
PLANE82	2D 8-Node Structural Solid
PLANE83	Axisymmetric-Harmonic 8-Node Structural Solid
SOLID87	3D 10-Node Tetrahedral Thermal Solid
VISCO88	2D 8-Node Viscoelastic Solid
VISCO89	3D 20-Node Viscoelastic Solid
SOLID90	3D 20-Node Thermal Solid
SHELL91	Nonlinear Layered Structural Shell
SOLID92	3D 10-Node Tetrahedral Structural Solid
SHELL93	8-Node Structural Shell
CIRCU94	Piezoelectric Circuit
SOLID95	3D 20-Node Structural Solid
SOLID96	3D Magnetic Scalar Solid
SOLID97	3D Magnetic Solid
SOLID98	Tetrahedral Coupled-Field Solid
SHELL99	Linear Layered Structural Shell
VISCO106	2D 4-Node Viscoplastic Solid
VISCO107	3D 8-Node Viscoplastic Solid
VISCO108	2D 8-Node Viscoplastic Solid
TRANS109	2D Electromechanical Transducer
INFIN110	2D Infinite Solid
INFIN111	3D Infinite Solid
INTER115	3D Magnetic Interface
FLUID116	Coupled Thermal-Fluid Pipe
SOLID117	3D 20-Node Magnetic Solid
HF118	2D High-Frequency Quadrilateral Solid
HF119	3D High-Frequency Tetrahedral Solid
HF120	3D High-Frequency Brick Solid
PLANE121	2D 8-Node Electrostatic Solid
SOLID122	3D 20-Node Electrostatic Solid
SOLID123	3D 10-Node Tetrahedral Electrostatic Solid
CIRCU124	Electric Circuit
CIRCU125	Diode
TRANS126	Electromechanical Transducer
SOLID127	3D Tetrahedral Electrostatic Solid p-Element

SOLID128	3D Brick Electrostatic Solid p-Element
FLUID129	2D Infinite Acoustic
FLUID130	3D Infinite Acoustic
SHELL131	4-Node Layered Thermal Shell
SHELL132	8-Node Layered Thermal Shell
FLUID136	3D Squeeze Film Fluid Element
FLUID138	3D Viscous Fluid Link Element
FLUID139	3D Slide Film Fluid Element
FLUID141	2D Fluid-Thermal
FLUID142	3D Fluid-Thermal
SHELL143	4-Node Plastic Small Strain Shell
ROM144	Reduced Order Electrostatic-Structural
PLANE145	2D Quadrilateral Structural Solid p-Element
PLANE146	2D Triangular Structural Solid p-Element
SOLID147	3D Brick Structural Solid p-Element
SOLID148	3D Tetrahedral Structural Solid p-Element
SHELL150	8-Node Structural Shell p-Element
SURF151	2D Thermal Surface Effect
SURF152	3D Thermal Surface Effect
SURF153	2D Structural Surface Effect
SURF154	3D Structural Surface Effect
SURF156	3D Structural Surface Line Load Effect
SHELL157	Thermal-Electric Shell
LINK160	Explicit 3D Spar (or Truss)
BEAM161	Explicit 3D Beam
PLANE162	Explicit 2D Structural Solid
SHELL163	Explicit Thin Structural Shell
SOLID164	Explicit 3D Structural Solid
COMBI165	Explicit Spring-Damper
MASS166	Explicit 3D Structural Mass
LINK167	Explicit Tension-Only Spar
SOLID168	Explicit 3D 10-Node Tetrahedral Structural Solid
TARGE169	2D Target Segment
TARGE170	3D Target Segment
CONTA171	2D 2-Node Surface-to-Surface Contact
CONTA172	2D 3-Node Surface-to-Surface Contact
CONTA173	3D 4-Node Surface-to-Surface Contact
CONTA174	3D 8-Node Surface-to-Surface Contact
CONTA175	2D/3D Node-to-Surface Contact
CONTA176	3D Line-to-Line Contact
CONTA178	3D Node-to-Node Contact
PRETS179	Pretension
LINK180	3D Finite Strain Spar (or Truss)
SHELL181	4-Node Finite Strain Shell
PLANE182	2D 4-Node Structural Solid
PLANE183	2D 8-Node Structural Solid
MPC184	Multipoint Constraint Elements: Rigid Link, Rigid Beam, Slider, Spherical, Revolute, Universal, Slot
SOLID185	3D 8-Node Structural Solid
SOLID186	3D 20-Node Structural Solid or Layered Solid
SOLID187	3D 10-Node Tetrahedral Structural Solid
BEAM188	3D Linear Finite Strain Beam

BEAM189	3D Quadratic Finite Strain Beam
SOLSH190	3D 8-Node Layered Solid Shell
SOLID191	3D 20-Node Layered Structural Solid
INTER192	2D 4-Node Gasket
INTER193	2D 6-Node Gasket
INTER194	3D 16-Node Gasket
INTER195	3D 8-Node Gasket
MESH200	Meshing Facet
FOLLW201	Follower load element
INTER202	2D 4-Node Cohesive Zone
INTER203	2D 6-Node Cohesive Zone
INTER204	3D 16-Node Cohesive Zone
INTER205	3D 8-Node Cohesive Zone
SHELL208	2-Node Finite Strain Axisymmetric Shell
SHELL209	3-Node Finite Strain Axisymmetric Shell
PLANE223	2D 8-Node Coupled-Field Solid
SOLID226	3D 20-Node Coupled-Field Solid
SOLID227	3D 10-Node Coupled-Field Solid
PLANE230	2D 8-Node Electric Solid
SOLID231	3D 20-Node Electric Solid
SOLID232	3D 10-Node Tetrahedral Electric Solid
SURF251	2D Radiosity Surface
SURF252	3D Thermal Radiosity Surface

Solid Element Library

SOLID5	3D Coupled-Field Solid	
SOLID45	3D Structural Solid	*
SOLID46	3D 8-Node Layered Structural Solid	
SOLID62	3D Magneto-Structural Solid	
SOLID64	3D Anisotropic Structural Solid	
SOLID65	3D Reinforced Concrete Solid	
SOLID70	3D Thermal Solid	
SOLID87	3D 10-Node Tetrahedral Thermal Solid	
SOLID90	3D 20-Node Thermal Solid	
SOLID92	3D 10-Node Tetrahedral Structural Solid	
SOLID95	3D 20-Node Structural Solid	*
SOLID96	3D Magnetic Scalar Solid	
SOLID97	3D Magnetic Solid	
SOLID98	Tetrahedral Coupled-Field Solid	
SOLID117	3D 20-Node Magnetic Solid	
SOLID122	3D 20-Node Electrostatic Solid	
SOLID123	3D 10-Node Tetrahedral Electrostatic Solid	
SOLID127	3D Tetrahedral Electrostatic Solid p-Element	
SOLID128	3D Brick Electrostatic Solid p-Element	
SOLID147	3D Brick Structural Solid p-Element	*
SOLID148	3D Tetrahedral Structural Solid p-Element	
SOLID164	Explicit 3D Structural Solid	*
SOLID168	Explicit 3D 10-Node Tetrahedral Structural Solid	
SOLID185	3D 8-Node Structural Solid	*
SOLID186	3D 20-Node Structural Solid or Layered Solid	*
SOLID187	3D 10-Node Tetrahedral Structural Solid	
SOLID191	3D 20-Node Layered Structural Solid	
SOLID226	3D 20-Node Coupled-Field Solid	
SOLID227	3D 10-Node Coupled-Field Solid	
SOLID231	3D 20-Node Electric Solid	
SOLID232	3D 10-Node Tetrahedral Electric Solid	

IPE10 WEB ANGLE

```

Finish
/Clear
/FILNAME,Model1
/TITLE,'NonLinear Analysis Of semi Rigid Connection'
/CWD,'D:\'
/PREP7

                                ! Dimensions
BL=1.00          ! Beam length
BH=0.10          ! Beam height
BW=0.055        ! Beam flange width
BFT=0.0057      ! Beam flange thickness
BWT=0.0041      ! Beam web thickness
BA=0.007        ! Beam arc radius
AL=0.065        ! Angle length
AH=0.05         ! Angle height
AT=0.005        ! Angle thickness
WB=0.003        ! Welding diameter(Angle to Beam)
WC=0.005        ! Welding diameter(Angle to Column)
AA=0.008        ! Angle arc radius
DIS=0.02        ! Distance between beam and column(ABT+AA)
ENDLOAD=750     ! concentrated load

                                ! Material Properties
ET,1,SOLID45
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,.0012,2.4e8
TBPT,,.01143,2.4e8
TBPT,,.04238,3.714e8
TBPT,,.0469,3.7e8
MP,EX,2,248.8e9
MP,PRXY,2,.3
TB,BISO,2,1,2,
TBDATA,,400e6,6.04e10,,,,

                                ! Beam Volume
WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,,-90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
VEXT,ALL, , , , BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,AH
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,WB
VSBW,ALL
WPRO,,90,
WPOFF,0,0,AL/2
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,WB
VSBW,ALL

```

WPOFF,0,0,-AL-WB
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,-WB,0
 VSBW,ALL
 VSEL,ALL
 CM,BEAM,VOLU

! Web Angle

WPCSYS,1,0
 BLOCK,BWT/2,BWT/2+AH,-AL/2,AL/2,0,AH
 BLOCK,BWT/2+AT,BWT/2+AH,-AL/2,AL/2,AT,AH
 AFILLT,96,183,AA,
 VSBA,21,186
 VSBV,19,43
 VDELE,39,,,1
 BLOCK,-BWT/2,-BWT/2-AH,-AL/2,AL/2,0,AH
 BLOCK,-BWT/2-AT,-BWT/2-AH,-AL/2,AL/2,AT,AH
 AFILLT,192,183,AA,
 VSBA,39,195
 VSBV,19,44
 VDELE,43,,,1
 VSEL,ALL
 CMSEL,U,BEAM
 WPOFF,,,AT,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AA,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,DIS-AT-AA,
 VSBW,ALL
 WPROTA,,,90
 WPOFF,,,AT+BWT/2,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AA,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,, -2*AT-BWT-AA,
 VSBW,ALL
 WPOFF,,, -AA,
 VSBW,ALL
 CM,ANGLE,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1,,1,0

! Welding

ASEL,S,LOC,X,AH+BWT/2
 ASEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 VEXT,ALL,,,WC,,
 ASEL,S,LOC,X,-AH-BWT/2
 ASEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 VEXT,ALL,,, -WC,,
 ASEL,S,LOC,Z,AH
 ASEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 ASEL,U,LOC,X,-BWT/2,BWT
 VEXT,ALL,,,,WB
 ASEL,S,LOC,Y,AL/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,AH
 ASEL,U,LOC,X,-BWT/2,BWT
 VEXT,ALL,,,,WB,
 ASEL,S,LOC,Y,-AL/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,AH
 ASEL,U,LOC,X,-BWT/2,BWT
 VEXT,ALL,,,,-WB,

! WELD CUTTING

VSEL,S,MAT,,0
 A,171,123,124,169
 VSBA,54,281
 VDELE,63,,,1
 A,132,131,173,175
 VSBA,55,240
 VDELE,63,,,1
 A,180,177,125,128
 VSBA,56,245
 VDELE,63,,,1
 A,183,181,136,137
 VSBA,57,249
 VDELE,63,,,1
 A,186,185,128,148
 VSBA,58,252
 VDELE,63,,,1
 A,189,191,152,137
 VSBA,59,256
 VDELE,63,,,1
 A,147,194,193,125
 VSBA,60,260
 VDELE,63,,,1
 A,136,151,198,197
 VSBA,61,264
 VDELE,63,,,1
 VSEL,S,MAT,,0
 VATT,2,,1,0
 CM,WELD,VOLU

! Everything Mesh

ALLSEL,ALL
 ESIZE,BW/5,0,
 MSHAPE,0,3D
 MSHKEY,1
 VMESH,ALL

! COUPLING

NSEL,S,LOC,X,BWT/2
 NSEL,A,LOC,X,-BWT/2
 NSEL,R,LOC,Z,AH,AH+WB
 NSEL,R,LOC,Y,-AL/2,AL/2
 CPINTF,ALL

NSEL,S,LOC,X,BWT/2
 NSEL,A,LOC,X,-BWT/2
 NSEL,R,LOC,Z,DIS,AH
 NSEL,U,LOC,Z,AH
 NSEL,R,LOC,Y,-AL/2-WB,-AL/2
 CPINTF,ALL

NSEL,S,LOC,X,BWT/2
 NSEL,A,LOC,X,-BWT/2
 NSEL,R,LOC,Z,DIS,AH
 NSEL,U,LOC,Z,AH
 NSEL,R,LOC,Y,AL/2,AL/2+WB
 CPINTF,ALL

! Restrain support nodes

NSEL,S,LOC,X,-AH-BWT/2-WC,-AH-BWT/2
 NSEL,A,LOC,X,AH+BWT/2,AH+BWT/2+WC
 NSEL,R,LOC,Z,0
 D,ALL,ALL
 KSEL,S,KP,,26,39,13

```

FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL

! SOLVE

/SOL
CNVTOL,F, ,0.01,2,1,
NSUBST,10,50,8
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,ALL
LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
/POST1
SET,LAST
*GET,LASTSTEP,ACTIVE,0,SET,SBST
*GET,LASTTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
*DIM,DELTAZ,TABLE,LASTSTEP,2,1,COL,ROW
*DIM,DELTA,ARRAY,LASTSTEP,6,1,ZI,ZJ,
SET,FIRST
*DO,I,1, LASTSTEP
*GET,STEPTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
*GET,ZI,NODE,2594,U,Z
*GET,ZJ,NODE,2615,U,Z
ROW=ZI-ZJ
STEPLoad=STEPTIME*ENDLOAD*2/LASTTIME
DELTA(I,1)=I
DELTA(I,2)=STEPTIME
DELTA(I,3)=STEPLoad
DELTA(I,4)=ZI
DELTA(I,5)=ZJ
DELTA(I,6)=ROW
DELTAZ(I,1)=STEPLoad
DELTAZ(I,2)=ROW
SET,NEXT
*ENDDO
*VPLOT, DELTAZ(1,2),DELTAZ(1,1)
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
SET,LAST
VPLOT
/VIEW,1,1,1,1 ! IZOMETRIC VIEW
/ANG,1
/AUTO,1
/REP
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,PORTRAIT
PLDISP,0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, U,Y, 0,1
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
ANCNTR,10,.5
PLNSOL, U,Z, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, S,Y, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, S,Z, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

2IPE10 WEB ANGLE WITH SEAT ANGLE

```

Finish
/Clear
/FILNAME,Model1
/TITLE,'NonLinear Analysis Of semi Rigid Connection'
/CWD,'D':
/PREP7

                                !Dimensions
BL=1.00      ! Beam length
BH=0.10      !Beam height
BW=0.055     ! Beam flange width
BFT=0.0057   ! Beam flange thickness
BWT=0.0041   ! Beam web thickness
BA=0.007     !Beam arc radius
AWL=0.065    ! Angle web length
AWH=0.05     !Angle web height
AWT=0.005    !Angle web thickness
WWB=.003     !Welding top diameter
WWC=.005     !Welding top diameter
AWA=0.007    !Angle Web arc radius
ABL=0.13     !Angle bottom length
ABH=0.08     !Angle bottom heitht
ABT=0.008    !Angle bottom thickness
ABA=0.010    !Angle Bottom arc radius
WB=.004      !Welding bottom diameter
DIS=0.018    !Distance between beam and column(=ABT+ABA(
D=0.002      !Distance between Beams
ENDLOAD=500  !concentrated load

                                !Material Properties
ET,1,SOLID45
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,.0012,2.4e8
TBPT,,.01143,2.4e8
TBPT,,.04238,3.714e8
TBPT,,.0469,3.7e8
MP,EX,2,248.8e9
MP,PRXY,2,.3
TB,BISO,2,1,2 ,
TBDATA,,400e6,6.04e10,,,,

                                !Beam Volume
WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,,90
WPOFF, , ,BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
AGEN,,ALL,,,-BW/2-D/2, , , ,1
AGEN,2,ALL,, ,BW+D, , , ,0
VEXT,ALL, , , ,BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,AWH-0.002
VSBW,ALL

```


WPOFF,0,0,0.002
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,WWB
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,ABH-AWH-WWB
 VSBW,ALL
 WPROTA,, -90,
 WPOFF,0,0,AWL/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,WWB
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,-AWL-WWB
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,-WWB
 VSBW,ALL
 VSEL,ALL
 CM,BEAM,VOLU

!Bottom Angle Volume

WPLANE,1,0,-BH/2-ABT,ABT
 BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,ABT,-ABT,ABH-ABT
 BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,0,0,ABH-ABT
 AFILLT,200,219,ABA,
 VSBA,42,445
 VSBV,38,74
 VDELE,46,,,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,ABA
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AWH-ABA-ABT-0.002
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,0.002
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,WWB
 VSBW,ALL
 WPRO, , -90
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -ABA
 VSBW,ALL
 WPRO, , , -90
 WPOFF, , , BW+D/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , WB
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -2*BW-WB-D
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -WB
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH
 CM,ANG_BOTTOM,VOLU

!WEB Angle Volume

WPCSYS,1,0
 BLOCK,D/2+BW/2+BWT/2,D/2+BW/2+BWT/2+AWH,-AWL/2,AWL/2,0,AWH
 BLOCK,D/2+BW/2+BWT/2+AWT,D/2+BW/2+BWT/2+AWH,-AWL/2,AWL/2,AWT,AWH
 AFILLT,626,631,AWA,
 VSBA,145,644
 VSBV,127,147
 VDELE,146,,,1
 BLOCK,-D/2-BW/2-BWT/2,-D/2-BW/2-BWT/2-AWH,-AWL/2,AWL/2,0,AWH
 BLOCK,-D/2-BW/2-BWT/2-AWT,-D/2-BW/2-BWT/2-AWH,-AWL/2,AWL/2,AWT,AWH

AFILLT,631,698,AWA,
 VSBA,146,702
 VSBV,127,150
 VDELE,147,,,1
 VSEL,S,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2,-D/2-BW/2-BWT/2-AWH
 VSEL,A,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2,D/2+BW/2+BWT/2+AWH
 VSEL,R,LOC,Y,-AWL/2,AWL/2
 WPOFF,,,AWT
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AWA
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,DIS-AWT-AWA
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AWH-DIS-0.002
 VSBW,ALL
 WPROTA,,,90
 WPOFF,,,D/2+BW/2+BWT/2+AWT
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AWA
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,D-BW-BWT-AWT*2-AWA
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,AWA
 VSBW,ALL
 CM,ANG_TOP,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1,,1,0

!Welding

ASEL,S,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2,-D/2-BW/2-BWT/2-AWT
 ASEL,A,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2,D/2+BW/2+BWT/2+AWT
 ASEL,R,LOC,Z,AWH
 VEXT,ALL,,,,WWB
 ASEL,S,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2,-D/2-BW/2-BWT/2-AWT
 ASEL,A,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2,D/2+BW/2+BWT/2+AWT
 ASEL,R,LOC,Y,AWL/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,AWH-0.002
 VEXT,ALL,,,,WWB,
 ASEL,S,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2,-D/2-BW/2-BWT/2-AWT
 ASEL,A,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2,D/2+BW/2+BWT/2+AWT
 ASEL,R,LOC,Y,-AWL/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,AWH-0.002
 VEXT,ALL,,,,-WWB,
 ASEL,S,LOC,X,AWH+D/2+BWT/2+BW/2
 ASEL,R,LOC,Y,-AWL/2,AWL/2
 VEXT,ALL,,,WWC,,
 ASEL,S,LOC,X,-AWH-D/2-BWT/2-BW/2
 ASEL,R,LOC,Y,-AWL/2,AWL/2
 VEXT,ALL,,,,-WWC,,
 ASEL,S,LOC,X,ABL/2
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-ABT-ABA,-BH/2-ABH
 VEXT,ALL,,,WB,,
 ASEL,S,LOC,X,-ABL/2
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-ABT-ABA,-BH/2-ABH
 VEXT,ALL,,,,-WB,,
 ASEL,S,LOC,X,BW+D/2,BW+D/2+WB
 ASEL,A,LOC,X,-BW-D/2,-BW-D/2-WB
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
 VEXT,ALL,,,,BFT,

!WELD CUTTING

ALLSELL,ALL
 A,363,546,545,346
 VSBA,201,903
 VDELE,211,,,1
 A,460,512,509,457
 VSBA,192,864
 VDELE,211,,,1
 A,515,469,468,513
 VSBA,193,818
 VDELE,211,,,1
 A,519,520,492,480
 VSBA,194,822
 VDELE,211,,,1
 A,521,484,496,522
 VSBA,195,827
 VDELE,211,,,1
 A,525,526,491,479
 VSBA,196,830
 VDELE,211,,,1
 A,483,495,530,529
 VSBA,197,834
 VDELE,211,,,1
 A,535,455,456,533
 VSBA,198,838
 VDELE,211,,,1
 A,463,537,539,464
 VSBA,199,842
 VDELE,211,,,1
 A,541,543,364,348
 VSBA,200,846
 VDELE,211,,,1
 VSEL,S,,,202,205
 A,402,553,552,398
 VSBA,ALL,849
 VDELE,214,217,,1
 VSEL,S,,,206,209
 A,563,561,433,437
 VSBA,ALL,849
 VDELE,214,217,,1
 VSEL,S,MAT,,0
 CM,WELD,VOLU
 VATT,2,,1,0

!Everything Mesh

ALLSEL,ALL
 ESIZE,BW/5,0 ,
 MSHAPE,0,3D
 MSHKEY,1
 VMESH,ALL

!COUPLING

NSEL,S,LOC,X,BW+D/2
 NSEL,A,LOC,X,-BW-D/2
 NSEL,R,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
 NSEL,R,LOC,Z,ABT+ABA,ABH
 CPINTF,ALL
 NSEL,S,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2
 NSEL,A,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2
 NSEL,R,LOC,Y,AWL/2,AWL/2+WWB
 NSEL,R,LOC,Z,DIS,AWH-0.002
 CPINTF,ALL
 NSEL,S,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2

```

NSEL,A,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2
NSEL,R,LOC,Y,-AWL/2,-AWL/2-WWB
NSEL,R,LOC,Z,DIS,AWH-0.002
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2
NSEL,A,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2
NSEL,R,LOC,Y,-AWL/2,AWL/2
NSEL,R,LOC,Z,AWH,AWH+WWB
CPINTF,ALL
                                !Restrain support nodes
NSEL,S,LOC,X,ABL/2,ABL/2+WWC
NSEL,A,LOC,X,-ABL/2,-ABL/2-WWC
NSEL,R,LOC,Y,-BH/2-ABA-ABT,-BH/2-ABH
NSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
NSEL,S,LOC,X,D/2+BW/2+BWT/2+AWH,D/2+BW/2+BWT/2+AWH+WWC
NSEL,A,LOC,X,-D/2-BW/2-BWT/2-AWH,-D/2-BW/2-BWT/2-AWH-WWC
NSEL,R,LOC,Y,-AWL/2,AWL/2
NSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
KSEL,S,KP,,46,66,20
KSEL,A,KP,,59,79,20
FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL
                                !SOLVE
/SOL
CNVTOL,F, ,0.001,2,1 ,
NSUBST,10,50,8
NLGEOM,1
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,ALL
LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
/POST1
!
                                Graph Settings
/axlab,x,Rotation (Rad)      ! x axis lable
/axlab,y,Moment (N.m)       ! y axis lable
/plopts,title,off           !Dont show the title on the graph
/plopts,frame,off           !Dont show the frame around the graph
/udoc,,date,off             !Dont show date and ansys logo on the plot
/udoc,,type,off             !Dont show type of the graph
/color,curve,whit           !color of the curves 1,3 increment 1 is white
/grid,0                      !No grid lines in x and y directions
/gthk,curve,0               !Thickness of curves
/gropt,dig1,4               !Number of digits used in axis is 3 multiply by 10**
/gropt,axnsc,1.6           !Font size of the axis numbers is in size 2
/gropt,view,0,0,1          !Make it possible to change the graph size
/dev,font,1,Times*New*Roman,1000,0,36
/udoc,,typ2,right           !Dont show legend of the graphs
!
                                Graph Drawing
SET,LAST
*GET,LASTSTEP,ACTIVE,0,SET,SBST
*GET,LASTTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
*DIME,MT,TABLE,LASTSTEP,2,1,,
SET,FIRST
*DO,I,1,LASTSTEP
    *GET,STEPTIME,ACTIVE,0,SET,TIME

```

```

MT(I,1)=2*ENDLOAD*STEPTIME/LASTTIME
MT(I,2)=(UZ(6211)-UZ(6232))/BH
SET,NEXT
*ENDDO
*VPLOT, MT(1,2),MT(1,1(
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

IPE12 TOP & SEAT ANGLE

```

Finish
/Clear
/FILNAME,Model1
/TITLE,'NonLinear Analysis Of semi Rigid Connection'
/CWD,'D'\:
/PREP7

!Dimensions
BL=1.00      ! Beam length
BH=0.10      ! Beam height
BW=0.055     ! Beam flange width
BFT=0.0057   ! Beam flange thickness
BWT=0.0041   ! Beam web thickness
BA=0.007     ! Beam arc radius
ATL=0.035    ! Angle top length
ATH=0.06     ! Angle top height
ATT=.006     ! Angle top thickness
ABL=0.10     ! Angle bottom length
ABH=0.08     ! Angle bottom height
ABT=0.008    ! Angle bottom thickness
WT=.005      ! Welding top diameter
WB=.005      ! Welding bottom diameter
TAA=0.008    ! Top Angle arc radius
BAA=0.010    ! Bottom Angle arc radius
DIS=0.008    ! Distance between beam and column(=ABT(
ENDLOAD=2000 ! concentrated load

!Material Properties
ET,1,SOLID45
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,.0012,2.4e8
TBPT,,.01143,2.4e8
TBPT,,.04238,3.714e8
TBPT,,.0469,3.7e8
MP,EX,2,248.8e9
MP,PRXY,2,.3
TB,BISO,2,1,2,
TBDATA,,400e6,6.04e10,,,,
!Beam Volume
MAT,1
WPOFF, , , DIS
RECTNG, -BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG, -BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG, -BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,, -90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
WPOFF, , , BA+BWT/2+ATL/2

```

ASBW,5
 WPOFF, , , -ATL
 ASBW,1
 VEXT,ALL, , , , BL-DIS
 WPCSYS,1,0
 VSEL,ALL
 WPOFF,0,0,ATH
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,WT
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,ABH-ATH-WT
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,-ABH+ABT+BAA
 VSBW,ALL
 VSEL,ALL
 CM,BEAM,VOLU

!Top Angle Volume

WPLANE,1,0,BH/2+ATT,ATT
 BLOCK,-ATL/2,ATL/2,-ATT,ATH-ATT,-ATT,ATH-ATT
 BLOCK,-ATL/2,ATL/2,0,ATH-ATT,0,ATH-ATT
 AFILLT,68,71,TAA,
 VSBA,14,77
 VSBV,13,16
 VDELE,15,,1
 VSBW,14
 WPOFF, , , TAA
 VSBW,15
 WPOFF, , , -TAA
 WPRO, , -90
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , TAA
 VSBW,ALL
 WPRO, , , -90
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH
 WPOFF, , , BA+BWT/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -2*BA-BWT
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
 CM,ANG_TOP,VOLU

!Bottom Angle Volume

WPLANE,1,0,-BH/2-ABT,ABT
 BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,ABT,-ABT,ABH-ABT
 BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,0,0,ABH-ABT
 AFILLT,292,289,BAA,
 VSBA,22,302
 VSBV,20,70
 VDELE,68,,1
 VSBW,22
 WPOFF, , , BAA
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , ATH-BAA-ABT
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , WT
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -ATH+ABT-WT
 VSEL,ALL
 WPRO, , -90
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BAA

VSBW,ALL
 WPRO, , , -90
 VSEL,S,LOC,Y, -BH, -BH/2
 WPOFF, , , BW/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , WB
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BW-WB
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -WB
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y, -BH/2, -BH/2-ABH
 CM,ANG_BOTTOM,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1, , 1, 0

!welding

ASEL,S,LOC,Z,ATH
 ASEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
 VEXT,ALL, , , 0, 0, WT
 ASEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH
 VEXT,ALL, , , 0, WT, 0
 ASEL,S,LOC,Y, -BH/2
 ASEL,R,LOC,Z, 0, ABT
 ASEL,U,LOC,X, -BW/2-WB, BW/2+WB
 VEXT,ALL, , , 0, WB, 0
 ASEL,S,LOC,X,ABL/2
 ASEL,R,LOC,Z, 0, ABT
 ASEL,R,LOC,Y, -BH/2, -ABH-BH/2
 VEXT,ALL, , , WB, 0, 0
 ASEL,S,LOC,X, -ABL/2
 ASEL,R,LOC,Z, 0, ABT
 ASEL,R,LOC,y, -BH/2, -ABH-BH/2
 VEXT,ALL, , , -WB, 0, 0
 ASEL,S,LOC,Y, -BH/2
 ASEL,R,LOC,X, BW/2, BW/2+WB
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
 VEXT,ALL, , , 0, BFT, 0
 ASEL,S,LOC,Y, -BH/2
 ASEL,R,LOC,X, -BW/2, -BW/2-WB
 ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
 VEXT,ALL, , , 0, BFT, 0
 VSEL,ALL

!WELD CUTTING

A,155,153,297,301
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
 VSBA,ALL,571
 VDELE,139,141, , 1
 A,157,158,289,293
 VSEL,S,MAT, , 0
 VSEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATT
 VSBA,ALL,393
 VDELE,139,141, , 1
 A,198,204,313,317
 VSEL,S,MAT, , 0
 VSEL,R,LOC,X,ABL/2,ABL/2+WB
 VSBA,ALL,352
 VDELE,139,141, , 1
 A,197,202,321,327
 VSEL,S,MAT, , 0
 VSEL,R,LOC,X, -ABL/2, -ABL/2-WB
 VSBA,ALL,352

```

VDELE,139,141,,1
A,279,287,337,331
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
VSEL,R,LOC,X,BW/2,BW/2+WB
VSBA,ALL,352
VDELE,140,143,,1
A,248,256,347,342
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
VSEL,R,LOC,X,-BW/2,-BW/2-WB
VSBA,ALL,352
VDELE,140,143,,1
VSEL,S,MAT,,0
A,198,287,311,309
VSBA,106,352
VDELE,133,,1
A,306,305,197,256
VSBA,95,506
VDELE,133,,1
VSEL,S,MAT,,0
VATT,2,,1,0
CM,WELD,VOLU

!Everything Mesh

ALLSEL,ALL
ESIZE,BW/4,0,
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
VMESH,ALL

!COUPLING

NSEL,S,LOC,Y,BH/2
NSEL,R,LOC,Z,ATH,ATH+WT
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,-BW/2
NSEL,A,LOC,X,BW/2
NSEL,R,LOC,Y,-BH/2+BFT,-BH/2
NSEL,R,LOC,Z,ABT,ABH
CPINTF,ALL

!Restrain support nodes
NSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
NSEL,A,LOC,X,ABL/2,ABL
NSEL,A,LOC,X,-ABL,-ABL/2
NSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
CM,RESTRAIN,NODE
NSEL,S,LOC,X,-BW/2-WB,-ABL/2
NSEL,A,LOC,X,BW/2+WB,ABL/2
NSEL,R,LOC,Y,-BH/2+BFT,-BH/2
NSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
CMSEL,A,RESTRAIN
CM,RESTRAIN,NODE
ALLSEL,ALL
KSEL,S,KP,,26,41,15
FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL

!SOLVE

/SOL
CNVTOL,F,,0.001,2,1,
NSUBST,10,50,8
NLGEOM,1
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,ALL

```



```

LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
/POST1
!
! Graph Settings
/axlab,x,Rotation (Rad)      ! x axis lable
/axlab,y,Moment (N.m)       ! y axis lable
/plopts,title,off           !Dont show the title on the graph
/plopts,frame,off           !Dont show the frame around the graph
/udoc,,date,off             !Dont show date and ansys logo on the plot
/udoc,,type,off             !Dont show type of the graph
/color,curve,whit           !color of the curves 1,3 increment 1 is white
/grid,0                     !No grid lines in x and y directions
/gthk,curve,0               !Thickness of curves
/gropt,dig1,4               !Number of digits used in axis is 3 multiply
by 10**
/gropt,axnsc,1.6           !Font size of the axis numbers is in size 2
/gropt,view,0,0,1          !Make it possible to change the graph size
/dev,font,1,Times*New*Roman,1000,0,36
/udoc,,typ2,right          !Dont show legend of the graphs
!
! Graph Drawing
SET, LAST
*GET, LASTSTEP, ACTIVE, 0, SET, SBST
*GET, LASTTIME, ACTIVE, 0, SET, TIME
*DIM, MT, TABLE, LASTSTEP, 2, 1, ,
SET, FIRST
*DO, I, 1, LASTSTEP
    *GET, STEPTIME, ACTIVE, 0, SET, TIME
    MT(I,1)=2*ENDLOAD*STEPTIME/LASTTIME
    MT(I,2)=(UZ(63)-UZ(1))/BH
    SET, NEXT
*ENDDO
*VPLLOT, MT(1,2),MT(1,1(
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

2IPE12 TOP & SEAT ANGLE

```

Finish
/Clear
/FILNAME,Model1
/TITLE,'NonLinear Analysis Of semi Rigid Connection'
/CWD,'D:\'
/PREP7

```

! Dimensions

```

BL=1.00      ! Beam length
BH=0.12      ! Beam height
BW=0.064     ! Beam flange width
BFT=0.0063   ! Beam flange thickness
BWT=0.0044   ! Beam web thickness
BA=0.007     ! Beam arc radius
ATL=0.09     ! Angle top length
ATH=0.08     ! Angle top height
ATT=0.008    ! Angle top thickness
ABL=0.15     ! Angle bottom length
ABH=0.10     ! Angle bottom heitht
ABT=0.010    ! Angle bottom thickness
WT=.005      ! Welding top diameter

```

```

WB=.006          ! Welding bottom diameter
TAA=0.010        ! Top Angle arc radius
BAA=0.012        ! Bottom Angle arc radius
DIS=0.010        ! Distance between beam and column(=ABT)
D=0.002          ! Distance between Beams
ENDLOAD=1500     ! concentrated load
                  ! Material Properties
ET,1,SOLID45
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,.0012,2.4e8
TBPT,,.01143,2.4e8
TBPT,,.04238,3.714e8
TBPT,,.0469,3.7e8
MP,EX,2,248.8e9
MP,PRXY,2,.3
TB,BISO,2,1,2,
TBDATA,,400e6,6.04e10,,,,
                  ! Beam Volume
WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,, -90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
AGEN,,ALL,,, -BW/2-D/2, , , , 1
AGEN,2,ALL,,, BW+D, , , , 0
WPOFF, , , BA+BWT/2-ATL/2
ASBW,10
WPOFF, , , ATL
ASBW,5
VEXT,ALL, , , , BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,ATH
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,WT
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,ABH-ATH-WT
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,-ABH+ABT+BAA
VSBW,ALL
VSEL,ALL
CM,BEAM,VOLU
                  ! Top Angle Volume
WPLANE,1,0,BH/2+ATT,ATT
BLOCK,-ATL/2,ATL/2,-ATT,ATH-ATT,-ATT,ATH-ATT
BLOCK,-ATL/2,ATL/2,0,ATH-ATT,0,ATH-ATT
AFILLT,110,113,TAA,
VSBA,22,119
VSBV,21,24
VDELE,23,,,1
VSBW,22
WPOFF, , , TAA

```

VSBW,23
 WPOFF, , , -TAA
 WPRO, , -90
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , TAA
 VSBW,ALL
 WPRO, , , -90
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH
 WPOFF, , , -D/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BW/2+BA+BWT/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BA*2-BWT
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , D+BW/2+BWT/2+BA
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , BW/2-BA-BWT/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , BA*2+BWT
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
 CM,ANG_TOP,VOLU

 ! Bottom Angle Volume
 WPLANE,1,0,-BH/2-ABT,ABT
 BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,ABT,-ABT,ABH-ABT
 BLOCK,-ABL/2,ABL/2,-ABH+ABT,0,0,ABH-ABT
 AFILLT,170,183,BAA,
 VSBA,32,575
 VSBV,30,35
 VDELE,33,,,1
 VSBW,32
 WPOFF, , , BAA
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , ATH-BAA-ABT
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , WT
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -ATH+ABT-WT
 VSEL,ALL
 WPRO, , -90
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BAA
 VSBW,ALL
 WPRO, , , -90
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-ATH,-BH/2
 WPOFF, , , BW+D/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , WB
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -2*BW-WB-D
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -WB
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-ABH
 CM,ANG_BOTTOM,VOLU
 VSEL,ALL
 VATT,1,,1,0

 !welding
 ASEL,S,LOC,Z,ATH

```

ASEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
VEXT,ALL,,0,0,WT
ASEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH
VEXT,ALL,,0,WT,0
ASEL,S,LOC,X,ABL/2
ASEL,R,LOC,Z,0,ABT
ASEL,R,LOC,Y,-BH/2,-ABH-BH/2
VEXT,ALL,,WB,0,0
ASEL,S,LOC,X,-ABL/2
ASEL,R,LOC,Z,0,ABT
ASEL,R,LOC,y,-BH/2,-ABH-BH/2
VEXT,ALL,,-WB,0,0
ASEL,S,LOC,Y,-BH/2
ASEL,R,LOC,X,BW+D/2,BW+D/2+WB
ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
VEXT,ALL,,0,BFT,0
ASEL,S,LOC,Y,-BH/2
ASEL,R,LOC,X,-BW-D/2,-BW-D/2-WB
ASEL,R,LOC,Z,DIS,ABH
VEXT,ALL,,0,BFT,0
VSEL,ALL

!WELD CUTTING

A,477,481,273,275
VSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
VSBA,ALL,879
VDELE,218,224,,1
A,278,277,469,457
VSEL,S,MAT,,0
VSEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATT
VSBA,ALL,790
VDELE,218,224,,1
A,493,366,372,495
VSEL,S,MAT,,0
VSEL,R,LOC,X,ABL/2,ABL/2+WB
VSBA,ALL,638
VDELE,161,162,,1
VDELE,158,,1
A,370,365,503,501
VSEL,S,MAT,,0
VSEL,R,LOC,X,-ABL/2,-ABL/2-WB
VSBA,ALL,638
VDELE,197,198,,1
VDELE,164,,1
A,513,507,446,454
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
VSEL,R,LOC,X,BW+D/2,BW+D+WB
VSBA,ALL,638
VDELE,200,202,,1
VDELE,218,,1
A,523,518,416,424
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
VSEL,R,LOC,X,-BW-D/2,-BW-D-WB
VSBA,ALL,638
VDELE,204,206,,1
VDELE,218,,1
VSEL,S,MAT,,0
VATT,2,,1,0
CM,WELD,VOLU

! Everything Mesh

ALLSEL,ALL

```

```

ESIZE,BW/4,0,
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
VMESH,ALL

                                ! COUPLING
NSSEL,S,LOC,Y,BH/2
NSSEL,R,LOC,Z,ATH,ATH+WT
CPINTF,ALL
NSSEL,S,LOC,X,-BW-D/2
NSSEL,A,LOC,X,BW+D/2
NSSEL,R,LOC,Y,-BH/2+BFT,-BH/2
NSSEL,R,LOC,Z,ABT,ABH
CPINTF,ALL

                                ! Restrain support nodes
NSSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
NSSEL,A,LOC,X,ABL/2,ABL
NSSEL,A,LOC,X,-ABL,-ABL/2
NSSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
KSEL,S,KP,,50,60,10
KSEL,A,KP,,68,82,14
FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL

                                ! SOLVE
/SOL
CNVTOL,F, ,0.01,2,1,
NSUBST,10,50,8
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,ALL
LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
/POST1
SET,LAST
*GET,LASTSTEP,ACTIVE,0,SET,SBST
*GET,LASTTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
*DIM,DELTAZ,TABLE,LASTSTEP,2,1,COL,ROW
*DIM,DELTA,ARRAY,LASTSTEP,6,1,ZI,ZJ,
SET,FIRST
*DO,I,1, LASTSTEP
*GET,STEPTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
*GET,ZI,NODE,6,U,Z
*GET,ZJ,NODE,3,U,Z
ROW=ZI-ZJ
STEPLOAD=STEPTIME*ENDLOAD*2/LASTTIME
DELTA(I,1)=I
DELTA(I,2)=STEPTIME
DELTA(I,3)=STEPLOAD
DELTA(I,4)=ZI
DELTA(I,5)=ZJ
DELTA(I,6)=ROW
DELTAZ(I,1)=STEPLOAD
DELTAZ(I,2)=ROW
SET,NEXT
*ENDDO
*VPLOT, DELTAZ(1,2),DELTAZ(1,1)
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
SET,LAST

```

```

VPLOT
/VIEW,1,1,1,1      ! IZOMETRIC VIEW
/ANG,1
/AUTO,1
/REP
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,PORTRAIT
PLDISP,0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, U,Y, 0,1
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
ANCNTR,10,.5
PLNSOL, U,Z, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, S,Y, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL, S,Z, 0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

IPE10 TOP & SEAT PLATE

```

Finish
/Clear
/FILNAME,Model1
/TITLE, 'NonLinear Analysis Of semi Rigid Connection IPE10 TOP & SEAT
PLATE'
/CWD, 'D'\:
/PREP7

                                !Dimensions
BL=1.00      ! Beam length
BH=0.10      !Beam height
BW=0.055     ! Beam flange width
BFT=0.0057   ! Beam flange thickness
BWT=0.0041   ! Beam web thickness
BA=0.007     !Beam arc radius
L1=0.17      !Plate top length
B1=0.055     !Plate top Width
BE=0.035     !Plate top end Width
T1=0.012     !Plate top thickness
D1=0.004     !Top Welding
L2=0.170     !Plate bottom length(=L1(
B2=0.075     !Plate bottom heitht
T2=0.006     !Plate bottom thickness
D2=0.004     !Bottom Welding
HS=0.060     !Height
W=0.080      !Width
TS=0.008     !Thickness
DS=0.006     !Welding
DIS=0.02     !Distance between beam and column(=ABT(
ENDLOAD=7000 !concentrated load
                                !Material Properties

ET,1,SOLID45
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,.0012,2.4e8
TBPT,,.01143,2.4e8
TBPT,,.04238,3.714e8
TBPT,,.0469,3.7e8
MP,EX,2,248.8e9
MP,PRXY,2,.3

```

```

TB,BISO,2,1,2 ,
TBDATA,,400e6,6.04e10,,,,,
!Beam Volume
MAT,1
WPOFF, , , DIS
RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
WPRO,,, -90
WPOFF, , , BA+BWT/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -2*BA-BWT
ASBW,ALL
A,11,12,13,17
A,9,10,20,16
ASEL,S,LOC,Y,BH/2-BFT,BH/2
WPOFF, , , BA+BWT/2+BE/2
ASBW,ALL
WPOFF, , , -BE
ASBW,ALL
ASEL,ALL
VEXT,ALL, , , , BL-DIS
WPCSYS,1,0
VSEL,ALL
WPOFF,0,0,0.05
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,W-0.05
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,L1-W
VSBW,ALL
WPOFF,0,0,D1
VSBW,ALL
VSEL,ALL
CM,BEAM,VOLU
!Top Plate
WPCSYS,1,0
BLOCK,-B1/2,B1/2,BH/2,BH/2+T1,0,L1
VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH
WPOFF,,, D1
VSBW,ALL
WPOFF,,, 0.04-D1
VSBW,ALL
WPOFF,,, 0.01
VSBW,ALL
WPRO,,, -90
WPOFF,,, BW/2-0.01
VSBW,ALL
WPOFF,,, -BW+0.02
VSBW,ALL
A,159,182,181,158
VSBA,30,199
A,160,172,171,157
VSBA,67,209
VDELE,26,46,20,1
VDELE,30,31,,1
WPOFF,,, BW/2-0.01+BA+BWT/2
VSBW,ALL
WPOFF,,, -2*BA-BWT
VSBW,ALL
WPRO,,, -90,0
WPOFF,,, BH/2+D1

```

```

VSBW,ALL
VSEL,U,LOC,Z,0,D1
CM,TOP_PLATE,VOLU
                                !BOTTOM PLATE
WPCSYS,1,0
BLOCK,-B2/2,B2/2,-BH/2,-BH/2-T2,0,L2
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH
WPOFF,,,D2
VSBW,ALL
WPOFF,,,0.05-D2
VSBW,ALL
WPOFF,,,W-0.05
VSBW,ALL
WPRO,,,90
WPOFF,,,TS/2
VSBW,ALL
WPOFF,,,DS
VSBW,ALL
WPOFF,,,BW/2-TS/2-DS
VSBW,ALL
WPOFF,,,D2
VSBW,ALL
WPOFF,,, -BW/2-D2-TS/2
VSBW,ALL
WPOFF,,, -DS
VSBW,ALL
WPOFF,,, -BW/2+TS/2+DS
VSBW,ALL
WPOFF,,, -D2
VSBW,ALL
ASEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2
ASEL,R,LOC,Z,0,W
ASEL,R,LOC,X,-TS/2,TS/2
AGEN,2,ALL,,,,,,,,0
ASEL,S,AREA,,108,109
ASEL,A,AREA,,116
VEXT,ALL,,,-HS,
WPRO,,90,
WPOFF,,,BH/2+T2+DS
VSBW,ALL
WPOFF,,,0.02-DS
VSBW,ALL
A,354,353,333,334
VSEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2-0.02,-BH/2-HS
VSEL,U,LOC,Z,0,D2
VSBA,ALL,563
VDELE,134,140,6,1
VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-HS
VSEL,U,LOC,Z,0,D2
VSEL,A,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS
CM,BOTTOM_PLATE,VOLU
VSEL,ALL
VATT,1,,1,0
                                !WELDING
VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+T1
VSEL,R,LOC,Z,0,D1
VSEL,A,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-T2
VSEL,R,LOC,Z,0,D2
VATT,2,,1,0
ASEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+D1
ASEL,R,LOC,Z,L1

```


VEXT,ALL,,,,,D1
 ASEL,S,LOC,X,-BW/2,-BW/2-D2
 ASEL,A,LOC,X,BW/2,BW/2+D2
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2
 ASEL,R,LOC,Z,0.05,L2
 VEXT,ALL,,,,,BFT,
 ASEL,S,LOC,X,-TS/2,-TS/2-D2
 ASEL,A,LOC,X,TS/2,TS/2+D2
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2
 ASEL,R,LOC,Z,D2,W
 VEXT,ALL,,,,,DS,
 ASEL,S,LOC,X,-TS/2
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS
 ASEL,R,LOC,Z,0,D2
 VEXT,ALL,,,,DS,,
 ASEL,S,LOC,X,TS/2
 ASEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS
 ASEL,R,LOC,Z,0,D2
 VEXT,ALL,,,,DS,,
 !WELD CUTTING
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+D1
 VSEL,R,LOC,Z,L1,L1+D1
 A,219,215,336,357
 VSBA,ALL,650
 VDELE,157,159,,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
 VSEL,R,LOC,X,BW/2,BW/2+D2
 A,371,369,318,322
 VSBA,ALL,458
 VDELE,134,157,23,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
 VSEL,R,LOC,X,-BW/2,-BW/2-D2
 A,365,281,278,364
 VSBA,ALL,458
 VDELE,143,157,14,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-DS
 VSEL,R,LOC,X,TS/2,TS/2+DS
 VSEL,R,LOC,Z,D2,W
 A,299,384,379,296
 VSBA,ALL,458
 VDELE,143,157,14,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-DS
 VSEL,R,LOC,X,-TS/2,-TS/2-DS
 VSEL,R,LOC,Z,D2,W
 A,256,259,377,373
 VSBA,ALL,458
 VDELE,147,157,10,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-HS
 VSEL,R,LOC,X,TS/2,TS/2+DS
 VSEL,R,LOC,Z,0,DS
 A,325,333,395,397
 VSBA,ALL,458
 VDELE,157,159,,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-HS
 VSEL,R,LOC,X,-TS/2,-TS/2-DS
 VSEL,R,LOC,Z,0,DS
 A,389,326,334,385
 VSBA,ALL,458
 VDELE,157,159,,1
 VSEL,S,MAT,,0
 VATT,2,,1,0

```

VSEL,S,MAT,,2
CM,WELD,VOLU

!Everything Mesh
ALLSEL,ALL
ESIZE,BW/5,0,
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
VMESH,ALL

!COUPLING
NSEL,S,LOC,Y,BH/2
NSEL,R,LOC,Z,L1,L1+D1
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,BW/2
NSEL,A,LOC,X,-BW/2
NSEL,R,LOC,Y,-BH/2,-BH/2+BFT
NSEL,R,LOC,Z,0.05,L1
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,TS/2
NSEL,A,LOC,X,-TS/2
NSEL,R,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-T2-DS
NSEL,R,LOC,Z,D1,W
CPINTF,ALL

NSEL,s,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
ALLSEL,ALL
KSEL,S,KP,,26,41,15
FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL

!SOLVE
/SOL
CNVTOL,F,,0.01,2,1,
NSUBST,10,50,8
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,ALL
LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
/POST1
SET, LAST
*GET, LASTSTEP, ACTIVE, 0, SET, SBST
*GET, LASTTIME, ACTIVE, 0, SET, TIME
*DIM, DELTAZ, TABLE, LASTSTEP, 2, 1, COL, ROW
*DIM, DELTA, ARRAY, LASTSTEP, 6, 1, ZI, ZJ,
SET, FIRST
*DO, I, 1, LASTSTEP
*GET, STEPTIME, ACTIVE, 0, SET, TIME
*GET, ZI, NODE, 4169, U, Z
*GET, ZJ, NODE, 4035, U, Z
ROW=ZI-ZJ
STEPLoad=STEPTIME*ENDLOAD*2/LASTTIME
DELTA(I,1)=I
DELTA(I,2)=STEPTIME
DELTA(I,3)=STEPLoad
DELTA(I,4)=ZI
DELTA(I,5)=ZJ
DELTA(I,6)=ROW
DELTAZ(I,1)=STEPLoad

```

```

DELTAZ(I,2)=ROW
SET,NEXT
*ENDDO
*VPLLOT, DELTAZ(1,2),DELTAZ(1,1(
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
VPLLOT
/VIEW,1,1,1,1,1 ! IZOMETRIC VIEW
/ANG,1
/AUTO,1
/REP
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,PORTRAIT
PLDISP,0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL,U,Y,0,1
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
ANCNTR,10,.5
PLNSOL,U,Z,0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL,S,Y,0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE
PLNSOL,S,Z,0,1.0
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

Top Angle Seat Plate

```

Finish
/Clear
/FILNAME,Model1
/TITLE,'NonLinear Analysis Of semi Rigid Connection'
/CWD,'D:\'
/PREP7

```

! Dimensions

```

BL=1.00 ! Beam length
BH=0.10 ! Beam height
BW=0.055 ! Beam flange width
BFT=0.0057 ! Beam flange thickness
BWT=0.0041 ! Beam web thickness
BA=0.007 ! Beam arc radius
ATL=0.08 ! Angle top length
ATH=0.08 ! Angle top height
ATT=0.008 ! Angle top thickness
WT=0.005 ! Welding top diameter
TAA=0.010 ! Top Angle arc radius
TS=0.008 ! Hardening Plate thickness
TF=0.006 ! Plate thickness
W=0.080 ! Plate width
BS=0.130 ! PLate length
HS=0.080 ! Hardening Plate height
WS=0.005 ! Welding Plate
DIS=0.020 ! Distance between beam and column
D=0.002 ! Distance between Beams
ENDLOAD=1500 ! concentrated load

```

! Material Properties

```

ET,1,SOLID45
MP,EX,1,200e9
MP,PRXY,1,.3
TB,MISO,1,1,4,0
TBPT,,.0012,2.4e8
TBPT,,.01143,2.4e8
TBPT,,.04238,3.714e8

```

TBPT,,.0469,3.7e8
 MP,EX,2,248.8e9
 MP,PRXY,2,,3
 TB,BISO,2,1,2,
 TBDATA,,400e6,6.04e10,,,

! Beam Volume

WPOFF, , , DIS
 RECTNG,-BW/2, BW/2, BH/2-BFT, BH/2
 RECTNG,-BW/2, BW/2, -BH/2, -BH/2+BFT
 RECTNG,-BWT/2, BWT/2, -BH/2+BFT+BA, BH/2-BFT-BA
 WPRO,,,-90
 WPOFF, , ,BA+BWT/2
 ASBW,ALL
 WPOFF, , , -2*BA-BWT
 ASBW,ALL
 A,11,12,13,17
 A,9,10,20,16
 AGEN,,ALL,,,-BW/2-D/2, , , ,1
 AGEN,2,ALL,, ,BW+D, , , ,0
 WPOFF, , ,BA+BWT/2-ATL/2
 ASBW,10
 WPOFF, , ,ATL
 ASBW,5
 VEXT,ALL, , , ,BL-DIS
 WPCSYS,1,0
 VSEL,ALL
 WPOFF,0,0,ATH
 VSBW,ALL
 WPOFF,0,0,WT
 VSBW,ALL
 WPCSYS,1,0
 VSEL,ALL
 CM,BEAM,VOLU

! Top Angle Volume

WPLANE,1,0,BH/2+ATT,ATT
 BLOCK,-ATL/2,ATL/2,-ATT,ATH-ATT,-ATT,ATH-ATT
 BLOCK,-ATL/2,ATL/2,0,ATH-ATT,0,ATH-ATT
 AFILLT,191,193,TAA,
 VSBA,42,198
 VSBV,25,44
 VDELE,43,,1
 VSBW,42
 WPOFF, , ,TAA
 VSBW,43
 WPOFF,,,-TAA
 WPRO,,,-90
 VSBW,ALL
 WPOFF,, ,TAA
 VSBW,ALL
 WPRO, , , -90
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH
 WPOFF, , , -D/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BW/2+BA+BWT/2
 VSBW,ALL
 WPOFF, , , -BA*2-BWT
 VSBW,ALL
 WPOFF, , ,D+BW/2+BWT/2+BA

VSBW,ALL
 WPOFF,, ,BW/2-BA-BWT/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,, ,BA*2+BWT
 VSBW,ALL
 VSEL,S,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
 CM,ANG_TOP,VOLU
 ! SEAT PLATE
 WPCSYS,-1,0
 WPOFF,,-BH/2-TF,
 BLOCK,-BS/2,BS/2,0,TF,0,W
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH
 WPRO,, ,90
 WPOFF,,,D/2+BW/2-TS/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,TS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,BW/2-TS/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,WS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,TS/2-BW-D-WS-BW/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,TS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,TS/2-BW/2
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,WS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,WS+BW
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,D
 VSBW,ALL
 WPRO,,,90
 WPOFF,,,DIS
 VSBW,ALL
 WPCSYS,-1,0
 ASEL,S,LOC,Y,-BH/2-TF
 ASEL,R,LOC,Z,0,W
 ASEL,R,LOC,X,-TS/2-D/2-BW/2,+TS/2+D/2+BW/2
 ASEL,U,LOC,X,+TS/2-D/2-BW/2,-TS/2+D/2+BW/2
 AGEN,2,ALL,,,,,,,,0
 ASEL,S,AREA,,228,230
 ASEL,A,AREA,,232
 VEXT,ALL, , , -HS,
 WPRO,,90,
 WPOFF,,,BH/2+TF+WS
 VSBW,ALL
 WPOFF,,,0.02-WS
 VSBW,ALL
 A,385,392,366,359
 VSEL,R,LOC,Y,-BH/2-TF-0.02,-BH/2-HS
 VSEL,U,LOC,Z,0,DIS
 VSBA,ALL,575
 VDELE,113,,1,1
 VDELE,114,,1,1
 VSEL,S,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-HS
 VSEL,U,LOC,Z,0,D2
 VSEL,A,LOC,Y,-BH/2-T2,-BH/2-HS
 CM,BOTTOM_PLATE,VOLU

```

VSEL,ALL
VATT,1,,1,0
!welding
ASEL,S,LOC,Z,ATH
ASEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATH
VEXT,ALL,,0,0,WT
ASEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH
VEXT,ALL,,0,0,WT,0
ASEL,S,LOC,Y,-BH/2
ASEL,R,LOC,Z,DIS,W
ASEL,R,LOC,X,-D/2-BW-WS,+D/2+BW+WS
ASEL,U,LOC,X,-D/2-BW,+D/2+BW
VEXT,ALL,,0,BFT,0
A,413,409,187,185
VSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
VSBA,ALL,659
VDELE,160,166,,1
A,189,190,361,401
VSEL,S,MAT,,0
VSEL,R,LOC,Y,BH/2,BH/2+ATT
VSBA,ALL,620
VDELE,160,166,,1
A,421,422,322,296
VSEL,S,volu,,151
VSBA,ALL,453
VDELE,97,,,1
A,427,428,327,312
VSEL,S,volu,,152
VSBA,ALL,468
VDELE,113,,,1
! Everything Mesh
ALLSEL,ALL
ESIZE,BW/4,0,
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
VMESH,ALL
! COUPLING
NSEL,S,LOC,Y,BH/2
NSEL,R,LOC,Z,ATH,ATH+WT
CPINTF,ALL
NSEL,S,LOC,X,-BW-D/2
NSEL,A,LOC,X,BW+D/2
NSEL,R,LOC,Y,-BH/2+BFT,-BH/2
NSEL,R,LOC,Z,DIS,ATH
CPINTF,ALL
! Restrain support nodes
NSEL,S,LOC,Y,BH/2+ATH,BH/2+ATH+WT
NSEL,A,LOC,Y,-BH/2,-BH/2-TF-HS
NSEL,R,LOC,Z,0
D,ALL,ALL
KSEL,S,KP,,50,60,10
KSEL,A,KP,,68,82,14
FK,ALL,FY,-ENDLOAD
ALLSEL,ALL
! SOLVE
/SOL
CNVTOL,F,0.001,2,1,
NSUBST,10,50,8
NLGEOM,1
OUTRES,ERASE

```

```

OUTRES,ALL,ALL
LNSRCH,1
CUTCONTROL,PLSLIMIT,1
TIME,10
/STATUS,SOLU
SOLVE
/POST1
!
! Graph Settings
/axlab,x,Rotation (Rad)      ! x axis lable
/axlab,y,Moment (N.m)       ! y axis lable
/plopts,title,off           ! Dont show the title on the graph
/plopts,frame,off           ! Dont show the frame around the graph
/udoc,,date,off              ! Dont show date and ansys logo on the plot
/udoc,,type,off              ! Dont show type of the graph
/color,curve,whit           ! color of the curves 1,3 increment 1 is white
/grid,0                      ! No grid lines in x and y directions
/gthk,curve,0                ! Thickness of curves
/gropt,dig1,4                ! Number of digits used in axis is 3 multiply by 10**
/gropt,axnsc,1.6             ! Font size of the axis numbers is in size 2
/gropt,view,0,0,1           ! Make it possible to change the graph size
/dev,font,1,Times*New*Roman,1000,0,36
/udoc,,typ2,right           ! Dont show legend of the graphs
!
! Graph Drawing
SET,LAST
*GET,LASTSTEP,ACTIVE,0,SET,SBST
*GET,LASTTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
*DIME,MT,TABLE,LASTSTEP,2,1,,
SET,FIRST
*DO,I,1,LASTSTEP
    *GET,STEPTIME,ACTIVE,0,SET,TIME
    MT(I,1)=2*ENDLOAD*STEPTIME/LASTTIME
    MT(I,2)=(UZ(7230)-UZ(7257))/BH
    SET,NEXT
*ENDDO
*VPLOT, MT(1,2),MT(1,1)
/ui,copy,save,EMF,FULL,MONO,REVERSE,LANDSCAPE

```

Abstract

In the Common Steel structures, beam to column connections are usually designed supposing completely rigid or ideal pinned, but most of the real beams to column connections have the same behavior of semi-rigid connections. Semi- rigid connections are more interested to the researchers and a lot of researches have been done and continued.

In this thesis at first, for modeling and analysis of web angles connections, top and seat angle, with ansys software. Each connection macros with user guide proposed dimensions for beams profiles runs in software. Using connection rotation angular majorment loaded moment, drawn diagrams of each connections and elastic stiffness and plastic stiffness of each connections with different distance are obtained. Finally, a two story building with aspect connection stiffness and approximately with out these are analyzed and designed.

Using of connection stiffness in structure design cause to decrease in beams profile. Consequently structure design reliability has bean increase. Therefore pay attention connection stiffness economize project planning.



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده عمران و معماری

Title:

**Evaluation Behavior of Semi - rigid Connection of Steel
Structure**

Master of Science Thesis
Civil & Structure Engineering

Supervisor:

Dr. A. Keyhani

Assistance:

Dr. R. Amini

By:

Amin Gholami Davodi