بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
اهدنا الصراط المستقیم صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم ولا الضالین

رساله‌ی حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه است که در دی ماه سال ۱۳۸۹ در دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر عبدالرضا زارع و دکتر شهاب‌الدین حاتمی از آن دفاع شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه

توسعه روش مقاومت مستقیم برای مقاطع فولادی مرکب جوشی

اساتید راهنما:
دکتر عبدالرضا زارع
دکتر شهاب‌الدین حاتمی

پژوهشگر:
حسین دانش‌پژوه

دی ماه ۱۳۸۹

توسعه روش مقاومت مستقیم برای مقاطع فولادی مرکب جوشی

به وسیله‌ی:

حسین دانش‌پژوه

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی عمران

در تاریخ ۱۰/۱۴/ ۱۳۸۹ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای اول: دکتر عبدالرضا زارع با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۲- استاد راهنمای دوم: دکتر شهاب‌الدین حاتمی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه: دکتر حمید رحمانی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه: دکتر محمدعلی هادیانفرد با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۵- مدیر گروه: دکتر محمدحسین بازیار با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

دی ماه ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر دلسوزم

برادر مهربانم

و

همه دوستانم ،

آنان که در راه درست قدم بر می‌دارند.

سپاسگذاری

هرکس کلمه‌ای به من بیاموزد، مرا بنده خود نموده است. امام علی (ع)

به تبعیت از این کلام آسمانی و بنا به وظیفه شاگردی از زحمات و عنایات خاص اساتید گرامی که با بذل دانش و بزرگواری همواره چراغ راهنما و مشوق و پشتوانه علمی و اخلاقی اینجانب بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.
اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می‌دانم که از استاد ارجمند جناب آقای دکتر عبدالرضا زارع و دکتر شهاب‌الدین حاتمی اساتید راهنما تشکر و قدردانی کنم و از تمام کسانی که مرا در روند انجام پژوهش و تدوین رساله حاضر یاری داده‌اند، تشکر و سپاس‌گذاری نمایم.

حسین دانش‌پژوه
دی‌ماه ۱۳۸۹

نام : حسین **نام خانوادگی: دانش‌پژوه**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته وگرایش: مهندسی عمران – سازه**
اساتید راهنما: دکتر عبدالرضا زارع **تاریخ دفاع: دی‌ماه ۱۳۸۹**
دکتر شهاب‌الدین حاتمی

توسعه روش مقاومت مستقیم برای مقاطع فولادی مرکب جوشی

روش مقاومت مستقیم (DSM)، اولین‌بار، به صورت یک دسته معادله، برای اعضای فولادی سردساخت در مشخصات آئین‌نامه AISI، ارائه شد که بعد از انجام تحقیقات گسترده به عنوان روشی طراحی برای اعضای فولادی سردساخت توسعه یافته است که از آن می‌توان بعنوان یک روش طراحی برای اعضای فولادی سرد-ساخت فشاری، خمشی، برشی، تیرستون‌ها و سوراخ‌دار استفاده کرد. در سالهای اخیر، سعی شده است که از DSM برای طراحی اعضای فولادی نوردشده فشاری و خمشی نیز استفاده گردد.

بر اساس آئین‌نامه فولاد ایران، استفاده از مقاطع با اجزای لاغر در اعضایی که تحت فشار یکنواخت هستند، به‌طور کلی منع گردیده و استفاده از آنها را منوط به بکارگیری از روش‌های طراحی آئین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی می‌داند که به همین دلیل، ضرورت انجام تحقیق حاضر بر روی مقاطع لاغر جوشی بر مبنای روش توسعه‌یافته DSM احساس گردید.

فرآیند طراحی به روش DSM برای ستون‌هایی با مقاطع فولادی جوشی ساخته شده از ورق با اجزای لاغر تحت فشار یکنواخت مستلزم انجام آنالیز پایداری عددی بوده و نیازمند تعیین رفتار کمانش الاستیک عضو و استفاده از مجموعه اطلاعات کلی از منحنی‌های مقاومت نهایی برای پیش‌بینی مقاومت مقطع است. برای رسیدن به این اهداف از آئین‌نامه AISC و کلیات و محدودیت‌های آن در روند پایان‌نامه استفاده و نتیجه-گیری گردیده است.

در این پژوهش، آنالیزهای متعدد خطی و غیرخطی با استفاده از نرم‌افزارهای CUFSM و ABAQUS برای مقاطع جوشی ساخته شده از ورق صورت گرفته و با بررسی پارامترهای مختلف طراحی روی مقاومت نهایی چنین مقاطعی، از مزایای DSM برای آنالیز مقاطع فولادی جوشی ساخته شده از ورق در حالت‌های لاغر و غیرلاغر استفاده کرده و فرمول‌های طراحی ستون‌ها برای این نوع مقاطع ارائه گردیده و در نهایت با روش طراحی AISC مقایسه و نتیجه‌گیری شده است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- اهداف تحقیق ۵
۱-۳- روند انجام کار ۵
۱-۴- معرفی فصول پایان‌نامه ۵

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته

۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- عضو فشاری سردساخت ۸
۲-۳- عضو خمشی سردساخت ۱۰
۲-۴- عضو فشاری و خمشی نوردشده ۱۴
۲-۵- سایر اعضا و مقاطع ۱۶

فصل سوم: تبیین مبانی AISC وDSM برای مقاطع فولادی لاغر

۳-۱- مقدمه ۲۰
۳-۲- ناپایداری موضعی ورق ۲۰
۳-۲-۱- معادله دیفرانسیل ورق ۲۱
۳-۲-۱-۱- آنالیز FSM ۲۳
۳-۲-۱-۲- F_{CR} بدست آمده از آنالیز FSM ۲۳
۳-۲-۲ - منحنی تنش- کرنش برای ورق تحت فشار ۲۶
۳-۲-۳- کمانش غیرالاستیک ورق ۲۷
۳-۲-۴- ضوابط AISC برای کمانش موضعی ۲۸
۳-۲-۵- رفتار پس‌کمانشی ورق‌ها ۲۹
۳-۲-۶- ضوابط AISC برای مقاومت پس از کمانش ورق ۳۱
۳-۲-۶-۱- ضرایب Q_s برای ورق‌های تقویت نشده (UP) ۳۲
۳-۲-۶-۲- ضرایب Q_a برای ورق‌های تقویت شده (SP) ۳۳
۳-۲-۷- اثر تنش‌های پسماند بر کمانش غیرالاستیک ستون‌ها ۳۳
۳-۳- مفهوم DSM ۳۵

۳-۳-۱- مزیت‌های DSM ۴۰
۳-۴- مقایسه DSM و AISC برای مقاطع با اجزای لاغر ۴۰
۳-۵- کمانش غیرالاستیک ستون با مقاطع لاغر جوشی ۴۱
۳-۶- آنالیز غیرخطی مقاطع لاغر جوشی ۴۳
۳-۶-۱- اعمال اثر عیب و نقص اولیه ۴۳
۳-۷- مدل‌سازی آنالیز خطی و غیرخطی مقاطع لاغر جوشی ۴۵
۳-۸- روش مقاومت مستقیم برای مقاطع لاغر جوشی تحت فشار ۴۶
۳-۹- مد کمانش موضعی و اثر مقاومت پس از کمانش در مقاطع لاغر جوشی ۴۷

فصل چهارم: راست‌آزمایی مدل‌های آنالیز

۴-۱- مقدمه ۴۸
۴-۱-۱- خصوصیات و مشخصات هندسی مقطع برای مدل ۴۹
۴-۱-۲- آنالیز CUFSM ، ورودی‌ها و خروجی‌ها ۴۹
۴-۱-۳- نتیجه‌گیری از CUFSM ۵۶
۴-۲- کاربرد در DSM ۵۶
۴-۲-۱- مقاومت نهایی ستون به روش DSM ۵۶
۴-۲-۲- مقایسه نتیجه DSM با AISI ۵۸
۴-۳- انجام آنالیز خطی با ABAQUS، ورودی‌ها و خروجی‌ها ۵۸
۴-۳-۱- قسمت Part ۵۸
۴-۳-۲- قسمت Property ۵۸
۴-۳-۳- قسمت Step ۶۰
۴-۳-۴- قسمت Load ۶۰
۴-۳-۵- قسمت Mesh ۶۲
۴-۳-۶- قسمت Job ۶۲
۴-۳-۷- قسمت Run ۶۲
۴-۳-۸- قسمت Results ۶۴
۴-۳-۹- نتیجه‌گیری از آنالیز خطی ABAQUS ۶۴
۴-۳-۱۰- مقایسه نتیجه ABAQUS با CUFSM ۶۵

فصل پنجم: توسعه DSM برای مقاطع فولادی مرکب جوشی

۵-۱- مقدمه ۶۶
۵-۱-۱- هندسه و ابعاد مقاطع ۶۷
۵-۱-۲- خصوصیات مصالح مقاطع ۶۷
۵-۲- انجام آنالیزهای CUFSM ۶۹
۵-۳- معیار انتخاب مقاطع ۷۱
۵-۴- مدل‌سازی مقاطع معیار انتخابی در ABAQUS ۷۲
۵-۵- پارامترهای کلی مدل‌سازی با ABAQUS ۷۲
۵-۶- مدل‌سازی آنالیز خطی با ABAQUS ۷۳
۵-۷- مدل‌سازی آنالیز غیرخطی با ABAQUS ۷۴

۵-۷-۱- مدل‌سازی غیرخطی کمانش بدون اثر تنش پسماند ۷۴
۵-۷-۲- مدل‌سازی غیرخطی کمانش با اثر تنش پسماند ۷۴
۵-۸- نتایج قابل ارائه از مدل‌سازی آنالیز غیرخطی کمانش ۷۵
۵-۸-۱- نتیجه مهم موردنیاز از مدل‌سازی آنالیز غیرخطی کمانش ۷۵
۵-۹- تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق ۷۶
۵-۹-۱- روابط DSM بازنگری شده برای مقاطع لاغر جوشی در مد کمانش موضعی ۷۶
۵-۹-۱-۱- رابطه DSM با اثر تنش پسماند ۷۶
۵-۹-۱-۲- رابطه DSM بدون اثر تنش پسماند ۸۰
۵-۹-۲- روابط DSM برای مقاطع غیرلاغر جوشی در مد کمانش موضعی ۸۲
۵-۱۰- نتایج و بحث ۸۵
۵-۱۰-۱- یافته‌های تحقیق ۸۵
۵-۱۰-۱-۱- روابط DSM در حالت با تنش‌های پسماند ۸۵
۵-۱۰-۱-۲- روابط DSM در حالت بدون تنش‌های پسماند ۸۶
۵-۱۰-۲- محاسبه مقاومت نهایی مقاطع معیار از روابط پیشنهادی DSM ۸۶
۵-۱۰-۲-۱- مقاومت نهایی بدست آمده از روابط پیشنهادی DSM با اثر تنش پسماند ۸۷
۵-۱۰-۲-۱- مقاومت نهایی بدست آمده از روابط پیشنهادی DSM بدون اثر تنش پسماند ۸۸
۵-۱۰-۳- راستی‌نمایی نتایج حاصل از روابط پیشنهادی DSM با AISC ۸۹
۵-۱۰-۳-۱- روابط مربوط به ضرایب Q_s و Q_a طبق AISC ۹۰
۵-۱۰-۴- مقایسه نتایج حاصل از روابط پیشنهادی DSM با نتایج AISC ۹۲
۵-۱۰-۴-۱- بحث در مورد نتایج ۹۳
۵-۱۰-۵- بحث در مورد روابط پیشنهادی DSM برای مقاطع قوطی و H شکل ۹۵
۵-۱۰-۶- بحث در مورد روابط پیشنهادی DSM با روابط آئین‌نامه‌ای AISC ۹۶
۵-۱۰-۷- بحث در مورد نتایج مورد انتظار ۹۸

فصل ششم: جمع‌بندی و پیشنهادات

۶-۱- مقدمه ۱۰۰
۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۰۰
۶-۳- پیشنهادات ۱۰۲

فهرست منابع ۱۰۳

پیوست۱ : نمودارهای مقاطع قوطی و H شکل بدست آمده از CUFSM ۱۰۷
پیوست۲ : نمودارهای مقاطع قوطی و H شکل بدست آمده از ABAQUS با اثر تنش پسماند ۱۱۹
پیوست۳ : نمودارهای مقاطع قوطی و H شکل بدست آمده از ABAQUS بدون اثر تنش پسماند ۱۳۳
پیوست ۴ : نمونه‌ای از جزئیات محاسباتی مقاطع قوطی و H شکل با اثر تنش پسماند برای DSM ۱۴۷
پیوست ۵ : نمونه‌ای از جزئیات محاسباتی مقاطع قوطی و H شکل بدون اثر تنش پسماند برای DSM ۱۵۳
پیوست۶ : تمامی فایل‌های اجرایی مقاطع قوطی و H شکل در حالت با و بدون تنش پسماند بر رویCD ۱۵۹

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۲- ۱: خلاصه نتایج تنش‌های کمانشی مختلف ۱۴
جدول ۳- ۱ : ضریب کمانش موضعی k برای ورق با شرایط مختلف ۲۵
جدول ۳- ۲ : نسبت‌های حداکثر b/t برای اجزای تحت فشار مقاطع مختلف ساخته شده از ورق ۲۹
جدول ۳- ۳ : حداکثر نسبت‌های عرض به ضخامت در ورقهای تقویت نشده ۳۲
جدول ۳- ۴ : روابط ارائه شده برای عیب و نقص‌های موضعی اولیه دراعضای فشاری ۴۴
جدول ۵- ۱ : ابعاد مقاطع با درنظرگرفتن ترکیب اجزای لاغر و غیرلاغر در اندازه‌های مختلف ۶۸
جدول ۵- ۲ : مقادیر نهایی بدست آمده از آنالیز CUFSM ۷۰
جدول ۵- ۳ : مقاطع معیار مورد بررسی ۷۱
جدول ۵- ۴ : خلاصه نتایج ABAQUS در حالت با تنش پسماند ۷۷
جدول ۵- ۵ : خلاصه نتایج پارامترهای DSM در حالت با تنش پسماند ۷۹
جدول ۵- ۶ : خلاصه نتایج ABAQUS در حالت بدون تنش پسماند ۸۰
جدول ۵- ۷ : خلاصه نتایج پارامترهای DSM در حالت بدون تنش پسماند ۸۱
جدول ۵- ۸ : نتایج بدست آمده از روابط DSM برای مقاطع قوطی شکل در حالت با تنش پسماند ۸۷
جدول ۵- ۹ : نتایج بدست آمده از روابط DSM برای مقاطع H شکل در حالت با تنش پسماند ۸۷
جدول ۵- ۱۰ : نتایج بدست آمده از روابط DSM برای مقاطع قوطی شکل در حالت بدون تنش پسماند ۸۸
جدول ۵- ۱۱ : نتایج بدست آمده از روابط DSM برای مقاطع H شکل در حالت بدون تنش پسماند ۸۸
جدول ۵- ۱۲ : خلاصه نتایج بدست آمده از محاسبات AISC برای مقاطع لاغر جوشی با اثر تنش پسماند ۹۱
جدول ۵- ۱۳ : خلاصه نتایج بدست آمده از محاسبات AISC برای مقاطع لاغر جوشی بدون اثر تنش پسماند ۹۱
جدول ۵- ۱۴ : مقاومت مجاز طراحی مقاطع معیار در فشار یکنواخت، در حالت با تنش پسماند ۹۲
جدول ۵- ۱۵ : مقاومت مجاز طراحی مقاطع معیار در فشار یکنواخت در حالت بدون تنش پسماند ۹۴

حالت با تنش پسماند:

جدول پ۴-۱ : مشخصات مربوط به آنالیز CUFSM مقطعBox 55x55 و محاسبه تنش‌های الاستیک ۱۴۷
جدول پ۴-۲ : مشخصات مربوط به آنالیزABAQUS مقطعBox 55x55 و محاسبه پارامترهایDSM ۱۴۷
جدول پ۴-۳ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعBox 55x55 به روش DSM پیشنهادی ۱۴۸
جدول پ۴-۴ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعBox 55x55 به روش AISC ۱۴۹
جدول پ۴-۵ : محاسبه درصد خطا ۱۴۹
جدول پ۴-۶ : مشخصات مربوط به آنالیز CUFSM مقطعH 40x50 و محاسبه تنش‌های الاستیک ۱۵۰
جدول پ۴-۷ : مشخصات مربوط به آنالیزABAQUS مقطعH 40x50 و محاسبه پارامترهایDSM ۱۵۰

جدول پ۴-۸ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعH 40x50 به روش DSM پیشنهادی...۱۵۱
جدول پ۴-۹ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعH 40x50 به روش AISC ...۱۵۳
جدول پ۴-۱۰: محاسبه درصد خطا ...۱۵۳

حالت بدون تنش پسماند:

جدول پ۵-۱ : مشخصات مربوط به آنالیز CUFSM مقطعBox 45x45 و محاسبه تنش‌های الاستیک...۱۵۳
جدول پ۵-۲ : مشخصات مربوط به آنالیزABAQUS مقطعBox 45x45و محاسبه پارامترهایDSM...۱۵۳
جدول پ۵-۳ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعBox 45x45 به روش DSM پیشنهادی...۱۵۴
جدول پ۵-۴ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعBox 45x45 به روش AISC ...۱۵۵
جدول پ۵-۵ : محاسبه درصد خطا ...۱۵۵
جدول پ۵-۶ : مشخصات مربوط به آنالیز CUFSM مقطعH 50x50 و محاسبه تنش‌های الاستیک...۱۵۶
جدول پ۵-۷ : مشخصات مربوط به آنالیزABAQUS مقطعH 50x50 و محاسبه پارامترهایDSM...۱۵۶
جدول پ۵-۸ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعH 50x50 به روش DSM پیشنهادی...۱۵۷
جدول پ۵-۹ : محاسبه مقاومت نهایی مقطعH 50x50 به روش AISC ...۱۵۸
جدول پ۵-۱۰: محاسبه درصد خطا ...۱۵۸

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱- ۱ : نمونه‌هایی از اعضای سردساخت ۲
شکل ۱- ۲ : نمونه‌ای از آنالیزی FSM ۳
شکل ۱- ۳ : المان‌بندی روش آنالیزی نوارهای محدود و عناصر محدود ۴
شکل ۱- ۴ : نمونه‌ای از نمودار آنالیزی CUFSM ۴
شکل ۲- ۱ : مقایسه منحنی پیش‌بینی شده توسط روش DSM با نتایج آزمایشگاهی برای ستون‌ها ۸
شکل ۲- ۲ : شکل هندسی مقاطع ناودانی آزمایشگاهی ۹
شکل ۲- ۳ : شکل هندسی نمونه‌های آزمایشی ۹
شکل ۲- ۴ : نمونه‌ای از تست انجام شده در فشار محوری ۱۰
شکل ۲- ۵ : مقایسه منحنی پیش‌بینی شده توسط روش DSM با نتایج آزمایشگاهی برای تیرها ۱۱
شکل ۲- ۶ : مقایسه نتایج DSM با آنالیز FE روی تیرها با مقاطع C و Z شکل تحت مدهای موضعی و اعوجاجی..... ۱۱
شکل ۲- ۷ : نحوه شبیه‌سازی تست‌ها ۱۲
شکل ۲- ۸ : مقایسه نتایج DSM با نتایج آنالیز FE تحت مدهای موضعی و اعوجاجی ۱۲
شکل ۲- ۹ : نمونه‌ای از هندسه تیرهای فولادی سبک ۱۳
شکل ۲- ۱۰ : مقایسه نتایج مقاومت‌های برشی تیرهای فولادی سبک با معادلات DSM ۱۳
شکل ۲- ۱۱ : هندسه نمونه‌های آزمایشی ۱۴
شکل ۲- ۱۲ : مقایسه نتایج DSM با نتایج آزمایش‌ها ۱۵
شکل ۲- ۱۳ : نمونه‌ای از آنالیز FSM برای مقطع I شکل ۱۵
شکل ۲- ۱۴ : نتیجه مدل برای ستون با مقطع C شکل سوراخ‌دار تحت مدهای موضعی و اعوجاجی ۱۶
شکل ۲- ۱۵ : نمودار کنش و واکنشی C شکل تحت کمانش موضعی ۱۸
شکل ۳- ۱ : ورق مربع مستطیل تحت اثر نیروهای داخل صفحه و نیروهای برشی ۲۱
شکل ۳- ۲ : ورق چهار طرف مفصلی تحت بار گسترده فشاری یکنواخت N_x ۲۲
شکل ۳- ۳ : ضریب کمانش موضعی برای مقادیر مختلف r ۲۲
شکل ۳- ۴ : مقایسه ثابت‌های بدست آمده ازآنالیز FSM با روابط پیشنهادی AISC در فشار یکنواخت ۲۴
شکل ۳- ۵ : ورق‌های sp و up در مقاطع فولادی ۲۶
شکل ۳- ۶ : رفتار ورق نازک و ضخیم تحت نیروی فشاری ۲۷
شکل ۳- ۷ : نمودار ایده‌آل تنش- کرنش برای فولاد نرمه معمولی ۲۷
شکل ۳- ۸ : نمایش بی‌بعد مقاومت ورق‌های تحت فشار ۲۸
شکل ۳- ۹ : توزیع تنش در ورق‌های تقویت‌شده و تقویت‌نشده قبل و بعد از کمانش موضعی ۳۰
شکل ۳- ۱۰ : توزیع تنش در ورق‌های تقویت‌شده و تقویت‌نشده در ناحیه مقاومت پس از کمانش..... ۳۱
شکل ۳- ۱۱ : توزیع تنش‌های پسماند در نیمرخ‌های نوردشده ۳۴

شکل ۳- ۱۲ : توزیع تنش‌های پسماند درمقاطع قوطی وH شکل ساخته شده از ورق براساس آئین‌نامه AISC ۳۴
شکل ۳- ۱۳ : (الف)توزیع تنش در ورق(ب)توزیع تنش بعد ازکمانش(ج)فرضیه فون‌کارمان براساس عرض موثر ورق ... ۳۵
شکل ۳- ۱۴ : نمونه‌ای از مقطع کمانش یافته موضعی ۳۷
شکل ۳- ۱۵ : نمونه‌ای از مقطع کمانش یافته اعوجاجی ۳۸
شکل ۳- ۱۶ : نمونه‌ای از مقاطع کمانش یافته کلی ۳۹
شکل ۳- ۱۷ : نمودار تنش- کرنش ناحیه غیرخطی ۴۱
شکل ۳- ۱۸ : تئوری ضریب الاستیسیته مماسی انگسر ۴۱
شکل ۳- ۱۹ : نمودار تنش- کرنش فولاد معمولی ۴۲
شکل ۳- ۲۰ : نمودار شماتیک از رفتار دوگانگی تعادل ۴۵
شکل ۳- ۲۱ : نمودار شماتیک از رفتار(الف)با تنش پسماند و (ب)بدون تنش پسماند یک جزء تحت فشار ۴۵
شکل ۳- ۲۲ : اثر کمانش موضعی بر روی نمودار P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی FE ۴۷
شکل ۴- ۱ : ایجاد مقطع و ورودی‌ها ۴۹
شکل ۴- ۲ : خروجی ورودی‌ها ۵۰
شکل ۴- ۳ : آنالیز مقطع و نمودار کمانش الاستیک آن تحت مدهای کمانشی مختلف ۵۱
شکل ۴- ۴ : مد کمانشی موضعی الاستیک بحرانی در نقطه A با طول و ضریب بار مربوطه ۵۲
شکل ۴- ۵ : مد کمانشی اعوجاجی الاستیک بحرانی در نقطه B با طول و ضریب بار مربوطه ۵۳
شکل ۴- ۶ : مد کمانشی خمشی- پیچشی کلی در نقطه C با طول و ضریب بار مربوطه ۵۴
شکل ۴- ۷ : مد کمانش خمشی کلی در نقطه D با طول و ضریب بار مربوطه ۵۵
شکل ۴- ۸ : نمونه‌ای از مرحله Part ۵۹
شکل ۴- ۹ : نمونه‌ای از مرحله Property ۵۹
شکل ۴- ۱۰ : نمونه‌ای از مرحله Step ۶۰
شکل ۴- ۱۱ : نمونه‌ای از مرحله Load ۶۱
شکل ۴- ۱۲ : نمونه‌ای از اعمال شرایط تکیه‌گاهی در مرحله Load ۶۱
شکل ۴- ۱۳ : نمونه‌ای از مرحله Mesh ۶۲
شکل ۴- ۱۴ : نمونه‌ای از مرحله Job ۶۳
شکل ۴- ۱۵ : نمونه‌ای از مرحله Run ۶۳
شکل ۴- ۱۶ : نمونه‌ای از مرحله Results ۶۴
شکل ۵- ۱ : هندسه مقاطع جوشی قوطی و H شکل ۶۷
شکل ۵- ۲ : نمودار تنش- کرنش سه‌خطی فولاد نرمه معمولی ۶۸
شکل ۵- ۳ : نمودار (طول موج- ضریب تنش) مقطع کمانش‌یافته در مدهای مربوطه برای هر نقطه از طول ستون ۷۰
شکل ۵- ۴ : توزیع تنش‌های پسماند در مقاطع قوطی و H شکل ساخته شده از ورق برای آنالیز ۷۲
شکل ۵- ۵ : نمونه‌ای از مش‌بندی منظم المان محدود در مقاطع H و قوطی شکل ۷۳
شکل ۵- ۶ : مدل شماتیک شرایط تکیه‌گاهی و بارگذاری ستون با مقطع H شکل ۷۳
شکل ۵- ۷ : نمونه‌ای از آنالیز خطی ABAQUS برای مقطع H 40x50 در مد موضعی و کلی ۷۴
شکل ۵- ۸ : نمودار LPF مقطع Box 40x40 به همراه رفتار پس‌کمانشی آن ۷۶
شکل ۵- ۹ : نمودار مربوط به آنالیز CUFSM مقطع Box 10x5 غیرلاغر ۸۲
شکل ۵- ۱۰ : نمودار مربوط به آنالیز CUFSM مقطع H 10x10 غیرلاغر ۸۲
شکل ۵- ۱۱ : نمودارهایLPF و P-Δ مربوط به آنالیزABAQUS مقطع Box10x5 غیرلاغر با تنش پسماند..... ۸۳
شکل ۵- ۱۲ : نمودارهایLPF و P-Δ مربوط به آنالیزABAQUS مقطع H10x10 غیرلاغر با تنش پسماند ۸۳
شکل ۵- ۱۳ : نمودارهایLPF و P-Δ مربوط به آنالیزABAQUS مقطع Box10x5 غیرلاغر بدون تنش پسماند.. ۸۴

شکل ۵- ۱۴ : نمودارهایLPF و P-Δ مربوط به آنالیز ABAQUS مقطع H10x10 غیرلاغر بدون تنش پسماند.. ۸۴
شکل ۵- ۱۵ : بازتوزیع تنش در یک قسمت از سلول ستون لاغر کمانش‌یافته موضعی ۹۴
شکل ۵- ۱۶ : نمودار مربوط به رابطه پیشنهادی DSM برای مقاطع قوطی شکل ۹۵
شکل ۵- ۱۷ : نمودار مربوط به رابطه پیشنهادی DSM برای مقاطع H شکل ۹۵
شکل ۵- ۱۸ : نمودار مربوط به روابط پیشنهادی DSM برای مقاطع قوطی و H شکل ۹۶
شکل ۵- ۱۹ : منحنی طراحیAISC برای مقاطع لاغر تحت فشار یکنواخت بر مبنای فاکتور Q ۹۷
شکل ۵- ۲۰ : نمودار مربوط به مقایسه بین معادلات پیشنهادی DSM با روابط طراحیAISC برای مقاطع لاغر قوطی شکل ۹۷
شکل۵- ۲۱ : نمودار مربوط به مقایسه بین معادلات پیشنهادی DSM با روابط طراحیAISC برای مقاطع لاغر H شکل ۹۸
شکل ۵- ۲۲ : نمودار P-Δ آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع Box70x70 با اثر تنش پسماند ۹۹
شکل ۵- ۲۳ : نمودار P-Δ آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع Box70x70 بدون اثر تنش پسماند ۹۹
شکل پ۱- ۱ : نمودار خروجی مقطع B ۳۵X۲۵ از آنالیز CUFSM ۱۰۷
شکل پ۱- ۲ : نمودار خروجی مقطع B ۳۵X۳۵ از آنالیز CUFSM ۱۰۷
شکل پ۱- ۳ : نمودار خروجی مقطع B ۳۵X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۰۷
شکل پ۱- ۴ : نمودار خروجی مقطع B ۴۰X۲۵ از آنالیز CUFSM ۱۰۷
شکل پ۱- ۵ : نمودار خروجی مقطع B ۴۰X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۰۸
شکل پ۱- ۶ : نمودار خروجی مقطع B ۴۰X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۰۸
شکل پ۱- ۷ : نمودار خروجی مقطع B ۴۵X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۰۸
شکل پ۱- ۸ : نمودار خروجی مقطع B ۵۰X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۰۸
شکل پ۱- ۹ : نمودار خروجی مقطع B ۵۵X۵۵ از آنالیز CUFSM ۱۰۹
شکل پ۱- ۱۰ : نمودار خروجی مقطع B ۶۰X۶۰ از آنالیز CUFSM ۱۰۹
شکل پ۱- ۱۱ : نمودار خروجی مقطع B ۶۵X۶۵ از آنالیز CUFSM ۱۰۹
شکل پ۱- ۱۲ : نمودار خروجی مقطع B ۷۰X۷۰ از آنالیز CUFSM ۱۰۹
شکل پ۱- ۱۳ : نمودار خروجی مقطع B ۷۵X۷۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۰
شکل پ۱- ۱۴ : نمودار خروجی مقطع H ۲۰X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۰
شکل پ۱- ۱۵ : نمودار خروجی مقطع H ۲۰X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۰
شکل پ۱- ۱۶ : نمودار خروجی مقطع H ۲۰X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۰
شکل پ۱- ۱۷ : نمودار خروجی مقطع H ۲۵X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۱
شکل پ۱- ۱۸ : نمودار خروجی مقطع H ۲۵X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۱
شکل پ۱- ۱۹ : نمودار خروجی مقطع H ۲۵X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۱
شکل پ۱- ۲۰ : نمودار خروجی مقطع H ۳۰X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۱
شکل پ۱- ۲۱ : نمودار خروجی مقطع H ۳۰X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۲
شکل پ۱- ۲۲ : نمودار خروجی مقطع H ۳۰X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۲
شکل پ۱- ۲۳ : نمودار خروجی مقطع H ۳۵X۳۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۲
شکل پ۱- ۲۴ : نمودار خروجی مقطع H ۳۵X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۲
شکل پ۱- ۲۵ : نمودار خروجی مقطع H ۳۵X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۳
شکل پ۱- ۲۶ : نمودار خروجی مقطع H ۴۰X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۳
شکل پ۱- ۲۷ : نمودار خروجی مقطع H ۴۰X۳۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۳
شکل پ۱- ۲۸ : نمودار خروجی مقطع H ۴۵X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۳
شکل پ۱- ۲۹ : نمودار خروجی مقطع H ۴۰X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۴

شکل پ۱- ۳۰ : نمودار خروجی مقطع H ۴۰X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۴
شکل پ۱- ۳۱ : نمودار خروجی مقطع H ۴۵X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۴
شکل پ۱- ۳۲ : نمودار خروجی مقطع H ۴۵X۳۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۴
شکل پ۱- ۳۳ : نمودار خروجی مقطع H ۴۵X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۵
شکل پ۱- ۳۴ : نمودار خروجی مقطع H ۵۰X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۵
شکل پ۱- ۳۵ : نمودار خروجی مقطع H ۵۰X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۵
شکل پ۱- ۳۶ : نمودار خروجی مقطع H ۵۰X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۵
شکل پ۱- ۳۷ : نمودار خروجی مقطع H ۵۰X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۶
شکل پ۱- ۳۸ : نمودار خروجی مقطع H ۵۰X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۶
شکل پ۱- ۳۹ : نمودار خروجی مقطع H ۵۵X۳۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۶
شکل پ۱- ۴۰ : نمودار خروجی مقطع H ۵۵X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۶
شکل پ۱- ۴۱ : نمودار خروجی مقطع H ۵۵X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۷
شکل پ۱- ۴۲ : نمودار خروجی مقطع H ۵۵X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۷
شکل پ۱- ۴۳ : نمودار خروجی مقطع H ۵۵X۵۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۷
شکل پ۱- ۴۴ : نمودار خروجی مقطع H ۵۵X۵۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۷
شکل پ۱- ۴۵ : نمودار خروجی مقطع H ۵۰X۴۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۸
شکل پ۱- ۴۶ : نمودار خروجی مقطع H ۶۰X۴۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۸
شکل پ۱- ۴۷ : نمودار خروجی مقطع H ۶۰X۵۵ از آنالیز CUFSM ۱۱۸
شکل پ۱- ۴۸ : نمودار خروجی مقطع H ۶۰X۶۰ از آنالیز CUFSM ۱۱۸

حالت با تنش پسماند:

شکل پ۲- ۱ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۴۵X۴۵ ..... ۱۱۹
شکل پ۲- ۲ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۵۰X۵۰ ..... ۱۲۰
شکل پ۲- ۳ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۵۵X۵۵ ..... ۱۲۰
شکل پ۲- ۴ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۶۰X۶۰ ..... ۱۲۱
شکل پ۲- ۵ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۶۵X۶۵ ..... ۱۲۱
شکل پ۲- ۶ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۷۰X۷۰ ..... ۱۲۲
شکل پ۲- ۷ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۷۵X۷۵ ..... ۱۲۲
شکل پ۲- ۸ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۳۵X۴۵ ..... ۱۲۳
شکل پ۲- ۹ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۰X۵۰ ..... ۱۲۳
شکل پ۲- ۱۰ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۳۰ ..... ۱۲۴
شکل پ۲- ۱۱ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۳۵ ..... ۱۲۴
شکل پ۲- ۱۲ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۴۰ ..... ۱۲۵
شکل پ۲- ۱۳ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۴۵ ..... ۱۲۵
شکل پ۲- ۱۴ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۰X۳۰ ..... ۱۲۶
شکل پ۲- ۱۵ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۳۰ ..... ۱۲۶
شکل پ۲- ۱۶ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۴۵ ..... ۱۲۷
شکل پ۲- ۱۷ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۵۵ ..... ۱۲۷
شکل پ۲- ۱۸ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۵۵ ..... ۱۲۸
شکل پ۲- ۱۹ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۶۰ ..... ۱۲۸

شکل پ۲- ۲۰ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۳۵X۵۰ ..... ۱۲۹
شکل پ۲- ۲۱ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۰X۳۵ ..... ۱۲۹
شکل پ۲- ۲۲ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۰X۴۰ ..... ۱۳۰
شکل پ۲- ۲۳ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۴۰ ..... ۱۳۰
شکل پ۲- ۲۴ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۰X۵۰ ..... ۱۳۱
شکل پ۲- ۲۵ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۴۰ ..... ۱۳۱
شکل پ۲- ۲۶ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۴۰ ..... ۱۳۲

حالت بدون تنش پسماند:

شکل پ۳- ۱ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۴۵X۴۵ ..... ۱۳۳
شکل پ۳- ۲ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۵۰X۵۰ ..... ۱۳۴
شکل پ۳- ۳ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۵۵X۵۵ ..... ۱۳۴
شکل پ۳- ۴ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۶۰X۶۰ ..... ۱۳۵
شکل پ۳- ۵ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۶۵X۶۵ ..... ۱۳۵
شکل پ۳- ۶ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۷۰X۷۰ ..... ۱۳۶
شکل پ۳- ۷ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع B ۷۵X۷۵ ..... ۱۳۶
شکل پ۳- ۸ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۳۵X۴۵ ..... ۱۳۷
شکل پ۳- ۹ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۳۵X۵۰ ..... ۱۳۷
شکل پ۳- ۱۰ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۰X۴۰ ..... ۱۳۸
شکل پ۳- ۱۱ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۰X۵۰ ..... ۱۳۸
شکل پ۳- ۱۲ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۴۵ ..... ۱۳۹
شکل پ۳- ۱۳ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۰X۵۰ ..... ۱۳۹
شکل پ۳- ۱۴ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۶۰ ..... ۱۴۰
شکل پ۳- ۱۵ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۰X۳۵ ..... ۱۴۰
شکل پ۳- ۱۶ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۳۰ ..... ۱۴۱
شکل پ۳- ۱۷ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۳۵ ..... ۱۴۱
شکل پ۳- ۱۸ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۴۵X۴۰ ..... ۱۴۲
شکل پ۳- ۱۹ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۰X۳۰ ..... ۱۴۲
شکل پ۳- ۲۰ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۰X۴۰ ..... ۱۴۳
شکل پ۳- ۲۱ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۳۰ ..... ۱۴۳
شکل پ۳- ۲۲ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۴۰ ..... ۱۴۴
شکل پ۳- ۲۳ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۴۵ ..... ۱۴۴
شکل پ۳- ۲۴ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۵۵X۵۵ ..... ۱۴۵
شکل پ۳- ۲۵ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۴۰ ..... ۱۴۵
شکل پ۳- ۲۶ : نمودارهای LPF و P-Δ بدست آمده از آنالیز غیرخطی کمانش برای مقطع H ۶۰X۵۵ ..... ۱۴۶

مقدمه

۱-۱- مقدمه:

تا به امروز، روش‌های طراحی متعددی برای رسیدن به مقاومت نهایی اعضای مختلف فشاری تحت مدهای کمانش موضعی، اعوجاجی و کلی بدون درنظرگرفتن ترکیب مختلف آنها ارائه شده است. روش‌هایی که بر پایه محاسبه عرض‌های موثر اجزای تشکیل‌دهنده مقطع، منجر به تعیین مقدار تنش طراحی مربوطه می‌شد. با پیچیده شدن مقاطع، محاسبات عرض‌های موثر مقطع زمان‌بر و دشوار می‌گردد که برای غلبه بر این مشکلات، روش جدیدی بنام روش مقاومت مستقیم[1](DSM) نهادینه گشت که می‌توانست به راحتی رفتار مدهای کمانشی را با درنظرگرفتن اثر عملکرد متقابل بین مدی بیان نماید. گسترش DSM برای بررسی پایداری موضعی مقاطع فولادی نوردشده در حالی ادامه یافت که عموما" استفاده از مقاطع لاغر موضعی برای طراحی در اعضای مختلف نوردشده خودداری می‌گردید که درواقع، این منع منجر به نادیده گرفتن بحث ذخیره پس کمانشی مقاطع می‌شد. به دلیل همین نقیصه که حتی در آئین‌نامه فولاد ایران هم مشاهده می‌شود، توسعه روش DSM برای طراحی اعضای فشاری با مقاطع لاغر ساخته شده از ورق از اهمیت زیادی برخوردار می‌گردد و ضرورت انجام تحقیق در این زمینه را فراهم می‌نماید.

در این فصل، سعی بر این است تا کلیاتی از DSM را، به عنوان روش طراحی مورد استفاده در اعضای سردساخت بیان و برای اعضای فولادی جوشی ساخته شده از ورق تعمیم داده شود.

روش DSM، بر پایه یک آنالیز منطقی، اولین‌بار در اعضای فولادی سردساخت از طریق استفاده مستقیم از راه‌حل‌های کمانش الاستیک عضو در آئین‌نامه AISI[2][۲] بوجود آمده است[۱]. نمونه‌هایی از اعضای فولادی سردساخت در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

---

[1] *Direct Strength Method*

[2] *American Iron and Steel Institute*

شکل۱-۱- نمونه‌هایی از اعضای سردساخت

توسعه این روش، زمینه‌های لازم جهت انجام تحقیقات مهم در طراحی اعضای فولادی مختلف با مقاطع فشرده، غیرفشرده و لاغر را فراهم کرده است. به گونه‌ای که به مهندسین اجازه می‌دهد تا با تعیین همه ناپایداری‌های الاستیک برای کل مقطع اعم از کمانش‌های موضعی و کلی و همچنین با تعیین لنگر یا باری که منجر به تسلیم مقطع می‌شود، بتوانند بطور مستقیم مقاومت مقطع را تعیین کنند. به عبارت بهتر بار و لنگر اسمی مقطع، P_n و M_n تابعی از بار و لنگر جاری شدن مقطع، P_y و M_y و بار و لنگر بحرانی موضعی، P_{crl} و M_{crl} و بار و لنگر بحرانی کلی، P_{cre} و M_{cre} می‌باشد. به طور ساده:

$$M_n=f(M_{crl}\ ,\ M_{cre}\ ,\ M_y)$$

$$P_n=f(P_{crl}\ ,\ P_{cre}\ ,\ P_y) \qquad (۱-۱)$$

روش مقاومت مستقیم، DSM توسعه‌ای است برای استفاده از منحنی‌های ستون‌ها و تیرها در کمانش کلی مقطع با در نظرگرفتن ناپایداری‌های کمانش موضعی آن، بعلاوه ایجاد فرصتی است برای درنظرگرفتن ظرفیت پس از کمانش مقطع و بررسی کنش- واکنش‌های ایجاد شده در مدهای کمانش کلی و موضعی که به صورت محدودیت‌هایی در نحوه آنالیز نرم‌افزاری ظهور می‌یابد.

به طور خلاصه می‌توان گفت DSM بر پایه روش نوارهای محدود (FSM)[1] استوار است که شامل آنالیز پایداری کمانش الاستیک عضو و فهم رفتار خطی و حتی غیرخطی مقطع می‌باشد. در شکل ۱-۲ نمونه‌ای از آنالیز FSM آمده است:

[1] *Finite Strip Method*