



۱۳۸۰ / ۲ / ۲۰

دانشگاه مازندران

دانشکده فنی و مهندسی

موضوع :

بررسی رفتار غیرخطی اتصالات نیمه صلب در سازه های فولادی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران گرایش سازه

اساتید راهنما :

آقای دکتر مرتضی نقی پور

آقای پروفسور علی کاوه

012395

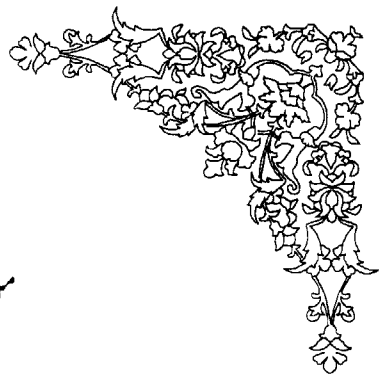
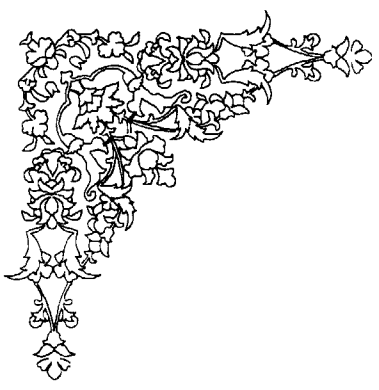
۳۵۹۸۴

نگارش :

رضا اسمریان نسب

فروردین ۱۳۸۰

۳۵۹۸۴



من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق


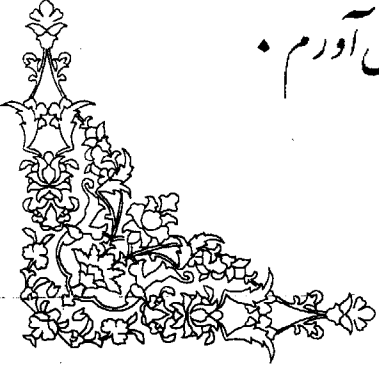
باسپاس از درگاه پروردگار متعال که توفیق به اتمام رساندن این پروژه را عطا فرمود

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر مرتضی نقی پور و جناب آقای پروفور علی کاوه

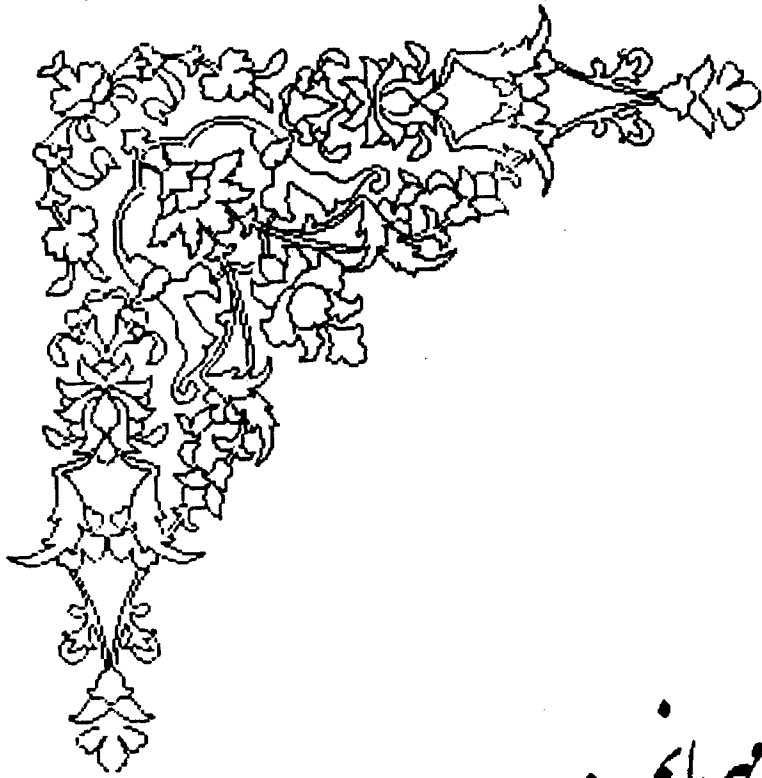
که زحمت راهمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند نهایت قدر دانی و تشکر را دارم

و از خداوند منان توفیق ایشان را مسئلت می نمایم. جا دارد از کلیه معلمان و اساتید

خود در دبیرستان مهر، دانشگاه تبریز و دانشکده فنی دانشگاه مازندران که تاکنون منت



اسادی برکردن اینجانب داشته اند کمال قدر دانی را به عمل آورم.

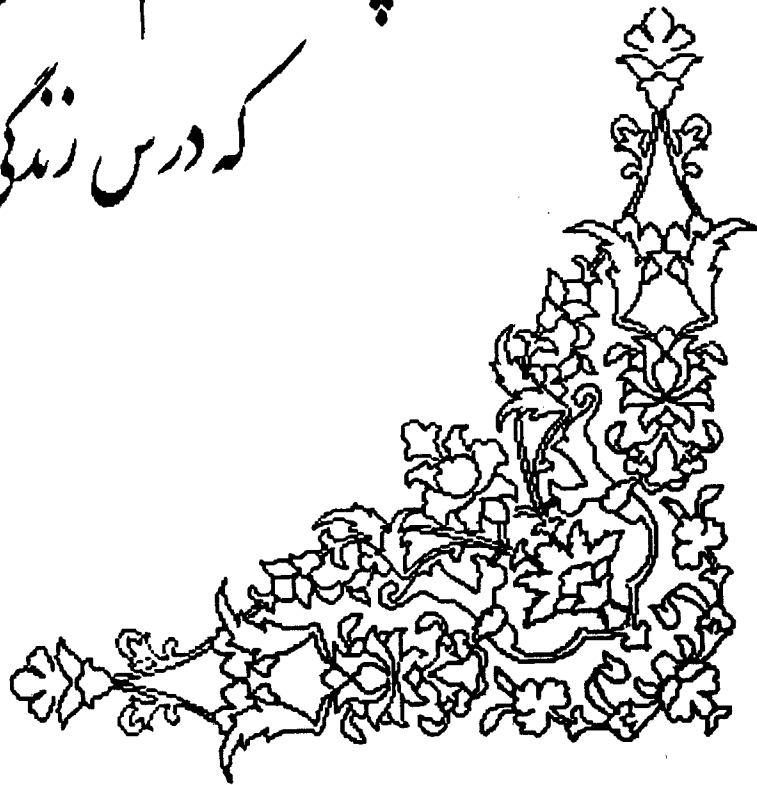


تقدیم بہ

مادر مہربانم و

پدر فداکارم، روحش شاد

کہ درس زندگی بہ من آموختہ



چکیده

معمولا در سازه‌های متعارف فولادی، اتصالات تیر به ستون با فرض صلب کامل (گیردار) یا مفصل ایده‌آل مدل سازی می‌شوند. هر چند که این ایده‌آل سازی رفتار اتصالات، مراحل آنالیز و طراحی را به مقدار قابل توجهی ساده‌تر می‌کند، لیکن پاسخ سازه ایده‌آل شده انطباق کاملی با پاسخ سازه واقعی ندارد. به عبارت دیگر رفتار واقعی اتصالات تیر به ستون مشابه رفتار اتصالات نیمه‌صلب است. بنابراین برای بررسی رفتار واقعی و طراحی اقتصادی و بهینه اتصالات تیر به ستون در ساختمان‌های فولادی بهتر است اتصالات به صورت نیمه‌صلب مدل شوند.

در این تحقیق، یک نوع اتصال متداول تیر به ستون فولادی که متشکل از ورق‌های اتصال فوقانی و تحتانی جوش شده می‌باشد، در ۲۱ حالت مختلف مدل شده است. بر اساس نتایج آنالیز به روش المان محدود و تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS، رفتار دورانی مدل‌ها بررسی شده است.

منحنی‌های لنگر- دوران، منحنی‌های سختی دورانی اتصال، مقدار درجه‌گیری اتصال با توجه به شرایط هندسی تیر، پیشنهاد رابطه لنگر و دوران و سایر پارامترها بررسی شده‌اند. همچنین تأثیر وجود اعضای مثل سخت‌کننده‌های افقی داخلی و خارجی در جان نیمرخ‌های ستون مرکب، لچکی‌های فوقانی و تحتانی جوش شده به ورق‌های اتصال، شکاف جوش شونده در انتهای ورق اتصال فوقانی، وجود جوش کام در ورق تقویتی بال ستون و تأثیر این اعضا در مقدار درجه‌گیری اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین منحنی‌های لنگر- دوران مدل‌های تحلیلی با مدل‌های مشابهی که در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، مقایسه شده و تطابق قابل قبولی را نشان می‌دهند.

فصل اول مقدمه

۱	مقدمه	۱-۱
۲	تاریخچه	۲-۱

فصل دوم کلیاتی در مورد اتصالات نیمه صلب و تحلیل غیر خطی

۵	طبقه بندی قاب های ساختمانی و شرایط گیرداری اتصالات قاب ها	۱-۲
۷	انواع اتصالات تیر به ستون در ساختمان های فولادی	۲-۲
۷	اتصال صلب تیر به ستون	۱-۲-۲
۹	اتصال مفصلی تیر به ستون	۲-۲-۲
۱۳	اتصال نیمه صلب تیر به ستون	۳-۲-۲
۲۱	مفهوم درجه گیرداری اتصال	۳-۲
۲۳	منحنی مشخصه لنگر- دوران ($M-\theta$) اتصالات	۴-۲
۲۶	مفهوم خط تیر	۵-۲
۳۲	رابطه بین سختی اتصال و ظرفیت لنگر	۶-۲
۳۴	رابطه اساسی برای محاسبه سختی اتصال	۷-۲
۳۶	اتصال پیوسته	۱-۷-۲
۳۶	اتصال توسط بال های تیر	۲-۷-۲
۳۸	قاب ها با اتصالات نیمه صلب	۸-۲
۳۸	تحلیل قاب ها با اتصالات نیمه صلب	۱-۸-۲
۴۱	اثر اتصالات نیمه صلب بر رفتار قاب ها	۲-۸-۲
۴۲	نقش اتصالات نیمه صلب در بهینه سازی طرح	۹-۲
۴۵	انواع مدل های پیشنهادی برای اتصالات نیمه صلب	۱۰-۲
۴۵	مقدمه	۱-۱۰-۲
۴۵	مدل خطی	۲-۱۰-۲
۴۷	مدل چند جمله ای	۳-۱۰-۲

۴۹	مدل توانی	۴-۱۰-۲
۵۱	مدل نمایی	۵-۱۰-۲
۵۳	مدل B-Spline	۶-۱۰-۲
۵۴	مروری بر تحلیل غیرخطی	۱۱-۲
۵۴	مقدمه	۱-۱۱-۲
۵۴	انواع رفتارهای غیرخطی	۲-۱۱-۲
۵۵	نمونه‌هایی از رفتار غیرخطی	۳-۱۱-۲
۵۶	نحوه اعمال بار برای تحلیل غیرخطی	۴-۱۱-۲
۵۸	روش نیوتن-رافسون	۵-۱۱-۲
۶۲	معیار همگرایی	۶-۱۱-۲

فصل سوم معرفی مدل‌ها و نحوه مدل‌سازی اتصالات نیمه‌صلب در برنامه ANSYS

۶۴	مشخصات اتصال نیمه‌صلب مدل شده	۱-۳
۶۸	معرفی برنامه ANSYS	۲-۳
۷۵	مشخصات اطلاعات ورودی مدل‌ها	۳-۳
۷۵	ورود به محیط برنامه ANSYS	۱-۳-۳
۷۵	نام فایل‌ها و عنوان آنالیز	۲-۳-۳
۷۵	تعیین گروه کاری اصلی برنامه	۳-۳-۳
۷۶	تعیین نوع المان‌ها	۴-۳-۳
۷۷	تعریف مقادیر ثابت المان‌ها	۵-۳-۳
۷۸	تعریف خصوصیات مواد	۶-۳-۳
۸۰	ساخت مدل هندسی	۷-۳-۳
۸۲	المان‌بندی مدل هندسی	۸-۳-۳
۸۹	بارگذاری	۹-۳-۳
۹۰	آنالیز	۱۰-۳-۳

فصل چهارم بررسی رفتار اتصال نیمه صلب مدل شده

۹۲	مقدمه	۱-۴
۹۲	منحنی های لنگر- دوران مدل تحلیلی	۲-۴
۱۰۵	منحنی های لنگر- دوران مدل آزمایشگاهی	۳-۴
۱۰۹	رابطه لنگر- دوران	۴-۴
۱۱۳	منحنی های سختی دورانی اتصال	۵-۴
۱۱۹	خطوط تیر و درصد های گیرداری	۶-۴
۱۳۳	محدوده بندی منحنی های لنگر- دوران از نظر درجه گیرداری	۷-۴
۱۴۴	بررسی تغییر شکل های اتصال	۸-۴
۱۵۴	توزیع تنش ها در اتصال	۹-۴

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

۱۶۷	نتایج	۱-۵
۱۷۰	پیشنهادات برای تحقیقات آتی	۲-۵

۸	اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی	شکل (۱-۲)
۸	اتصالات صلب تیر به ستون از نوع پیچی	شکل (۲-۲)
۹	اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی (اتصال تیر به جان ستون)	شکل (۳-۲)
۱۰	دو نوع اتصال ساده اجرایی	شکل (۴-۲)
۱۱	اتصال با نبشی جان یک طرفه	شکل (۵-۲)
۱۱	برون محوری نبشی های جان دو طرفه و یک طرفه	شکل (۶-۲)
۱۲	موقعیت نشیمن تقویت شده نسبت به تیر	شکل (۷-۲)
۱۳	برش های لبه آزاد سخت کننده	شکل (۸-۲)
۱۴	انواع قاب با سختی اتصالات متفاوت تحت اثر بار گسترده	شکل (۹-۲)
۱۶	اتصال با نبشی های فوقانی و نشیمن	شکل (۱۰-۲)
۱۶	اتصال نیمه گیردار با نبشی نشیمن و ورق فوقانی	شکل (۱۱-۲)
۱۷	اتصال نیمه گیردار با نبشی فوقانی و نشیمن	شکل (۱۲-۲)
۱۸	لقمه پشت بند برای جلوگیری از شره کردن جوش	شکل (۱۳-۲)
۱۸	ابعاد پیشنهادی برای ورق فوقانی	شکل (۱۴-۲)
۱۹	لقمه بین پای تیر و ستون	شکل (۱۵-۲)
۱۹	ابعاد ورق فوقانی	شکل (۱۶-۲)
۲۰	موقعیت محور دوران	شکل (۱۷-۲)
۲۰	موقعیت مرکز دوران به ازای سختی های مختلف ورق فوقانی اتصال	شکل (۱۸-۲)
۲۱	فرضیات شرایط تکیه گاهی	شکل (۱۹-۲)
۲۲	دیاگرام های تغییرات لنگر برای حالات مختلف گیرداری تکیه گاه و بارگذاری ها	شکل (۲۰-۲)
۲۳	تیر منفرد با تکیه گاه های فنری	شکل (۲۱-۲)
۲۴	تغییر شکل دورانی یک اتصال	شکل (۲۲-۲)
۲۴	انواع منحنی های لنگر - دوران	شکل (۲۳-۲)
۲۵	رفتار اتصال در اثر بارگذاری متناوب	شکل (۲۴-۲)
۲۶	لنگر و دوران برای معادلات شیب - افت (جهت مثبت لنگرها)	شکل (۲۵-۲)
۲۸	منحنی لنگر - دوران و خطوط تیر	شکل (۲۶-۲)
۳۰	نتایج واقعی آزمایش مربوط به منحنی لنگر - دوران و خط تیر	شکل (۲۷-۲)

۳۲	تغییر مقدار لنگر با شرایط تکیه‌گاهی	شکل (۲-۲۸)
۳۳	نمودار مقاومت بر حسب سختی اتصالات مختلف	شکل (۲-۲۹)
۳۴	مدل‌سازی اتصال توسط مجموعه فنرهای خطی	شکل (۲-۳۰)
۳۷	مدل اتصال بال‌های تیر به ستون توسط دو فنر	شکل (۲-۳۱)
۳۹	فرضیات مختلف برای مدل کردن منحنی لنگر- دوران اتصالات	شکل (۲-۳۲)
۴۰	تغییرات سختی اتصال در هنگام افزایش بار	شکل (۲-۳۳)
۴۰	مدل نمودن اتصال نیمه‌گیردار در برنامه SAP90	شکل (۲-۳۴)
۴۱	رفتار قاب با اتصالات نیمه‌گیردار تحت اثر بار جانبی	شکل (۲-۳۵)
۴۳	قسمتی از قاب مهاربندی شده با اتصالات تیر به ستون متفاوت	شکل (۲-۳۶)
۴۵	منحنی لنگر- دوران انواع اتصالات	شکل (۲-۳۷)
۴۶	مدل‌های خطی لنگر- دوران	شکل (۲-۳۸)
۴۸	خانواده منحنی‌های لنگر- دوران وقتی تنها یک پارامتر تغییر می‌کند	شکل (۲-۳۹)
۵۰	رفتار مدل توانی Ang-Morris	شکل (۲-۴۰)
۵۲	مقایسه نتایج آزمایشات و مدل‌نمایی و نمایی اصلاح شده	شکل (۲-۴۱)
۵۵	چوب ماهیگیری که حالت غیرخطی هندسی را نشان می‌دهد	شکل (۲-۴۲)
۵۶	مثال‌هایی از رفتار غیرخطی سازه‌ای	شکل (۲-۴۳)
۵۷	رفتار سیستم غیرکنسرواتیو (وابسته به مسیر)	شکل (۲-۴۴)
۵۷	گام‌های بارگذاری، زیرگام‌ها و زمان	شکل (۲-۴۵)
۵۸	مقایسه روش فقط نمویی و روش نیوتن- رافسون	شکل (۲-۴۶)
۵۹	روش نیوتن- رافسون برای یک تکرار	شکل (۲-۴۷)
۶۰	روش نیوتن- رافسون برای تکرار بعدی (i+1)	شکل (۲-۴۸)
۶۱	روش نیوتن- رافسون نمویی	شکل (۲-۴۹)
۶۲	روش نیوتن- رافسون اصلاح شده	شکل (۲-۵۰)
۶۴	مدل هندسی اتصال در حالت سه بعدی	شکل (۳-۱)
۶۵	مدل هندسی اتصال در حالت دو بعدی	شکل (۳-۲)
۷۱	کتابخانه بعضی از المان‌های تعریف شده در ANSYS	شکل (۳-۳)

صفحه	عنوان
۷۶	شکل (۳-۴) مشخصات المان SOLID45
۷۷	شکل (۳-۵) مشخصات المان CONTAC52
۷۹	شکل (۳-۶) منحنی تنش- کرنش فولاد
۷۹	شکل (۳-۷) منحنی تنش- کرنش فولاد با تغییر شکل کم
۸۰	شکل (۳-۸) منحنی تنش- کرنش جوش
۸۱	شکل (۳-۹) مدل هندسی اجزای اتصال
۸۳	شکل (۳-۱۰) المان بندی کل ستون
۸۳	شکل (۳-۱۱) المان بندی انتهای ستون
۸۴	شکل (۳-۱۲) المان بندی کل تیر
۸۴	شکل (۳-۱۳) المان بندی انتهای تیر
۸۵	شکل (۳-۱۴) المان بندی ورق اتصال فوقانی
۸۵	شکل (۳-۱۵) المان بندی ورق اتصال تحتانی
۸۶	شکل (۳-۱۶) المان بندی لچکی فوقانی
۸۶	شکل (۳-۱۷) المان بندی لچکی تحتانی
۸۷	شکل (۳-۱۸) المان بندی انواع جوشها
۸۷	شکل (۳-۱۹) موقعیت المان های CONTACT در کل مدل
۸۸	شکل (۳-۲۰) المان بندی کل مدل هندسی در حالت سه بعدی
۸۸	شکل (۳-۲۱) المان بندی مدل هندسی در حالت دو بعدی
۹۱	شکل (۳-۲۲) شرایط تکیه گاهی انتهای ستون
۹۱	شکل (۳-۲۳) توزیع نیروهای کششی و فشاری در انتهای بال های تیر
۹۴	شکل (۴-۱) منحنی لنگر- دوران مدل CN 01 از خروجی برنامه ANSYS
۹۴	شکل (۴-۲) منحنی لنگر- دوران مدل CN 01
۹۵	شکل (۴-۳) منحنی لنگر- دوران مدل CN 02
۹۵	شکل (۴-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 03
۹۶	شکل (۴-۵) منحنی لنگر- دوران مدل CN 04
۹۶	شکل (۴-۶) منحنی لنگر- دوران مدل CN 05

صفحه	عنوان
۹۷	شکل (۷-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 06
۹۷	شکل (۸-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 07
۹۸	شکل (۹-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 08
۹۸	شکل (۱۰-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 09
۹۹	شکل (۱۱-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 10
۹۹	شکل (۱۲-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 11
۱۰۰	شکل (۱۳-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 12
۱۰۰	شکل (۱۴-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 13
۱۰۱	شکل (۱۵-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 14
۱۰۱	شکل (۱۶-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 15
۱۰۲	شکل (۱۷-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 16
۱۰۲	شکل (۱۸-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 17
۱۰۳	شکل (۱۹-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 18
۱۰۳	شکل (۲۰-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 19
۱۰۴	شکل (۲۱-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 20
۱۰۴	شکل (۲۲-۴) منحنی لنگر- دوران مدل CN 21
۱۰۶	شکل (۲۳-۴) منحنی های لنگر- دوران مدل های آزمایشگاهی
۱۰۶	شکل (۲۴-۴) مقایسه منحنی لنگر- دوران مدل تحلیلی CN 01 با مدل آزمایشگاهی SN1
۱۰۷	شکل (۲۵-۴) مقایسه منحنی لنگر- دوران مدل تحلیلی CN 02 با مدل آزمایشگاهی SN2
۱۰۷	شکل (۲۶-۴) مقایسه منحنی لنگر- دوران مدل تحلیلی CN 06 با مدل آزمایشگاهی SN5
۱۰۸	شکل (۲۷-۴) مقایسه منحنی لنگر- دوران مدل تحلیلی CN 07 با مدل آزمایشگاهی SN3
۱۰۸	شکل (۲۸-۴) مقایسه منحنی لنگر- دوران مدل تحلیلی CN 13 با مدل آزمایشگاهی SN4
۱۱۱	شکل (۲۹-۴) برازش منحنی لنگر- دوران مدل CN 01
۱۱۱	شکل (۳۰-۴) برازش منحنی لنگر- دوران مدل CN 07
۱۱۲	شکل (۳۱-۴) برازش منحنی لنگر- دوران مدل CN 17
۱۱۲	شکل (۳۲-۴) برازش منحنی لنگر- دوران مدل CN 21
۱۱۳	شکل (۳۳-۴) خطوط مماس بر منحنی لنگر- دوران مدل CN 01

۱۱۵	منحنی سختی دورانی مدل CN 01 تا مدل CN 03	شکل (۴-۳۴)
۱۱۵	منحنی سختی دورانی مدل CN 04 تا مدل CN 06	شکل (۴-۳۵)
۱۱۶	منحنی سختی دورانی مدل CN 07 تا مدل CN 09	شکل (۴-۳۶)
۱۱۶	منحنی سختی دورانی مدل CN 10 تا مدل CN 12	شکل (۴-۳۷)
۱۱۷	منحنی سختی دورانی مدل CN 13 تا مدل CN 15	شکل (۴-۳۸)
۱۱۷	منحنی سختی دورانی مدل CN 16 تا مدل CN 18	شکل (۴-۳۹)
۱۱۸	منحنی سختی دورانی مدل CN 19 تا مدل CN 21	شکل (۴-۴۰)
۱۲۰	خط تیرهای مدل CN 01	شکل (۴-۴۱)
۱۲۰	خط تیرهای مدل CN 02	شکل (۴-۴۲)
۱۲۱	خط تیرهای مدل CN 03	شکل (۴-۴۳)
۱۲۱	خط تیرهای مدل CN 04	شکل (۴-۴۴)
۱۲۲	خط تیرهای مدل CN 05	شکل (۴-۴۵)
۱۲۲	خط تیرهای مدل CN 06	شکل (۴-۴۶)
۱۲۳	خط تیرهای مدل CN 07	شکل (۴-۴۷)
۱۲۳	خط تیرهای مدل CN 08	شکل (۴-۴۸)
۱۲۴	خط تیرهای مدل CN 09	شکل (۴-۴۹)
۱۲۴	خط تیرهای مدل CN 10	شکل (۴-۵۰)
۱۲۵	خط تیرهای مدل CN 11	شکل (۴-۵۱)
۱۲۵	خط تیرهای مدل CN 12	شکل (۴-۵۲)
۱۲۶	خط تیرهای مدل CN 13	شکل (۴-۵۳)
۱۲۶	خط تیرهای مدل CN 14	شکل (۴-۵۴)
۱۲۷	خط تیرهای مدل CN 15	شکل (۴-۵۵)
۱۲۷	خط تیرهای مدل CN 16	شکل (۴-۵۶)
۱۲۸	خط تیرهای مدل CN 17	شکل (۴-۵۷)
۱۲۸	خط تیرهای مدل CN 18	شکل (۴-۵۸)
۱۲۹	خط تیرهای مدل CN 19	شکل (۴-۵۹)
۱۲۹	خط تیرهای مدل CN 20	شکل (۴-۶۰)

۱۳۰	خط تیرهای مدل CN 21	شکل (۴-۶۱)
۱۳۳	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 01	شکل (۴-۶۲)
۱۳۴	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 02	شکل (۴-۶۳)
۱۳۴	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 03	شکل (۴-۶۴)
۱۳۵	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 04	شکل (۴-۶۵)
۱۳۵	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 05	شکل (۴-۶۶)
۱۳۶	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 06	شکل (۴-۶۷)
۱۳۶	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 07	شکل (۴-۶۸)
۱۳۷	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 08	شکل (۴-۶۹)
۱۳۷	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 09	شکل (۴-۷۰)
۱۳۸	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 10	شکل (۴-۷۱)
۱۳۸	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 11	شکل (۴-۷۲)
۹	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 12	شکل (۴-۷۳)
۱۳۹	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 13	شکل (۴-۷۴)
۱۴۰	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 14	شکل (۴-۷۵)
۱۴۰	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 15	شکل (۴-۷۶)
۱۴۱	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 16	شکل (۴-۷۷)
۱۴۱	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 17	شکل (۴-۷۸)
۱۴۲	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 18	شکل (۴-۷۹)
۱۴۲	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 19	شکل (۴-۸۰)
۱۴۳	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 20	شکل (۴-۸۱)
۱۴۳	درجه‌بندی منحنی لنگر- دوران مدل CN 21	شکل (۴-۸۲)
۱۴۶	دوران تیر در مدل CN 01	شکل (۴-۸۳)
۱۴۶	دوران تیر در مدل CN 21	شکل (۴-۸۴)
۱۴۷	تغییرشکل بال و ورق تقویتی ستون در مدل CN 01	شکل (۴-۸۵)
۱۴۷	تغییرشکل بال و ورق تقویتی ستون در مدل CN 06	شکل (۴-۸۶)
۱۴۸	تغییرشکل بال و ورق تقویتی ستون در مدل CN 17	شکل (۴-۸۷)

۱۴۸	تغییر شکل بال و ورق تقویتی ستون در مدل CN 21	شکل (۸۸-۴)
۱۴۹	پیچش بال و جان ستون در مدل CN 01	شکل (۸۹-۴)
۱۴۹	پیچش بال و جان ستون در مدل CN 03	شکل (۹۰-۴)
۱۵۰	پیچش بال و جان ستون در مدل CN 02	شکل (۹۱-۴)
۱۵۰	پیچش بال و جان ستون در مدل CN 16	شکل (۹۲-۴)
۱۵۱	جابجایی در جهت X مدل CN 16	شکل (۹۳-۴)
۱۵۱	جابجایی در جهت Y مدل CN 16	شکل (۹۴-۴)
۱۵۲	جابجایی در جهت Z مدل CN 16	شکل (۹۵-۴)
۱۵۲	جابجایی کل بصورت عددی در مدل CN 16	شکل (۹۶-۴)
۱۵۳	جابجایی کل بصورت برداری در مدل CN 16	شکل (۹۷-۴)
۱۵۵	توزیع تنش در اولین گام بارگذاری (M=0.8 ton.m)	شکل (۹۸-۴)
۱۵۵	توزیع تنش در دومین گام بارگذاری (M=1.6 ton.m)	شکل (۹۹-۴)
۱۵۶	توزیع تنش در سومین گام بارگذاری (M=2.4 ton.m)	شکل (۱۰۰-۴)
۱۵۶	توزیع تنش در چهارمین گام بارگذاری (M=3.2 ton.m)	شکل (۱۰۱-۴)
۱۵۷	توزیع تنش در پنجمین گام بارگذاری (M=4 ton.m)	شکل (۱۰۲-۴)
۱۵۷	توزیع تنش در ششمین گام بارگذاری (M=4.8 ton.m)	شکل (۱۰۳-۴)
۱۵۸	توزیع تنش در هفتمین گام بارگذاری (M=5.6 ton.m)	شکل (۱۰۴-۴)
۱۵۸	توزیع تنش در هشتمین گام بارگذاری (M=6.4 ton.m)	شکل (۱۰۵-۴)
۱۵۹	توزیع تنش در نهمین گام بارگذاری (M=7.2 ton.m)	شکل (۱۰۶-۴)
۱۵۹	توزیع تنش در دهمین گام بارگذاری (M=8 ton.m)	شکل (۱۰۷-۴)
۱۶۰	توزیع تنش در جوش گوشه امتداد طول ورق اتصال فوقانی مدل CN 16	شکل (۱۰۸-۴)
۱۶۰	توزیع تنش در جوش گوشه امتداد طول ورق اتصال تحتانی مدل CN 16	شکل (۱۰۹-۴)
۱۶۱	توزیع تنش در جوش شیاری ورق اتصال فوقانی مدل CN 01	شکل (۱۱۰-۴)
۱۶۱	توزیع تنش در جوش شیاری ورق اتصال تحتانی مدل CN 01	شکل (۱۱۱-۴)
۱۶۲	توزیع تنش در جوش گوشه امتداد عرض ورق اتصال فوقانی مدل CN 16	شکل (۱۱۲-۴)
۱۶۲	توزیع تنش در انتهای تیر (محل وارد شدن نیروها) مدل CN 16	شکل (۱۱۳-۴)
۱۶۳	توزیع تنش در جوش کام در امتداد ورق اتصال فوقانی مدل CN 17	شکل (۱۱۴-۴)