





دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش سازه

بررسی آزمایشگاهی عملکرد خمشی تیورقهای فولادی

با ناکاملی کروی در صفحه ی جان

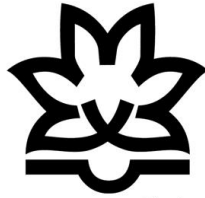
علی نصیری

استاد راهنما

پروفسور حسین شوکتی

بهمن ۹۳

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.



دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش سازه

بررسی آزمایشگاهی عملکرد خمشی تیورقهای فولادی با ناکاملی کروی در صفحه ی جان

این پایاننامه به عنوان بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۷ توسط هیئت داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنما: دکتر حسین شوکتی

داور خارجی: دکتر سعید تاروردیلو

داور داخلی: دکتر محمد رضا شیدایی

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر مهدی چهل امیرانی

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.



دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایاننامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشجو می‌باشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، برای آگاهی دانشجو و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.
۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.
۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **علی نصیری خواجه پاشا** دانشجوی گرایش **عمران - سازه** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم میشوم.

تاریخ و امضا دانشجو

به نام خداوند بخشایسگر مهربان

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آمان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زینبی ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان مادرم

که هرچه آموختم در کتب عشق شما آموختم و هرچه بگوختم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را سپاس

توانم بگویم .

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ به‌شتم رضای شما

,

از استاد گرامیم جناب آقای پروفیسور شوکتی بسیار سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تاین این

پایان نامه بسیار مشکل مینمود.

چکیده:

رفتار سازه ای تیر ورقها معمولا بر اساس کمانش برشی جان آنها ارزیابی میشود. در انجام مراحل ساخت، حمل و نقل و نصب تیرورقها ناکاملی های قابل ملاحظه ای ممکن است به ورقها اعمال شود. از سوی دیگر میدانیم سازه های جدار نازک حساس به ناکاملی میباشند. لذا ناکاملی در جان تیرورقهای ساخته شده از المانهای صفحه ای لاغر میتواند بر روی مسیر تعادل سیستم شامل قبل کمانش، بعد کمانش و نیز ظرفیت باربری نهایی تاثیر داشته باشد. در این پایان نامه در دو بخش عددی و آزمایشگاهی به بررسی تاثیر نوع خاصی از ناکاملی موضعی در جان تیوروق که در فاصله بین سخت کننده های عرضی و بالهای بالایی و پایینی (پانل) بوجود می آید، پرداخته شده است. این نوع از ناکاملی در هر دو راستای متعامد پانل جان بوده و دارای شکلی کروی میباشد. در بخش عددی از نرم افزار اجزا محدود آباکوس برای آنالیز غیر خطی تیوروقها استفاده شده است و با ایجاد ناکاملی موضعی در پانلهای مختلف جان تیوروقها، مسیر تعادل سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بخش آزمایشگاهی نیز با استفاده از پنج نمونه ی آزمایشگاهی صحت مدل عددی ساخته شده در نرم افزار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مدل عددی ساخته شده در نرم افزار آباکوس و مقایسه آن با نتایج حاصل از آزمایشات و نیز مقادیر تئوریک حاصل از روابط آیین نامه AISC موید رضایت بخش بودن نتایج میباشد.

کلمات کلیدی: ناکاملی هندسی اولیه، تیوروق، ناکاملی کروی جان، بررسی آزمایشگاهی

فهرست مطالب

۱	فصل اول-پیشگفتار
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ هدف از تحقیق
۳	۳-۱ روش انجام تحقیق
۴	۴-۱ محدوده ی مورد مطالعه
۴	۵-۱ اهمیت و ضرورت انجام تحقیق
۵	۲ فصل دوم-پیشینه تحقیق و ادبیات فنی
۶	۱-۲ مقدمه
۶	۲-۲ تیر ورقها و ملاحظات طراحی در آیین نامه AISC-LRFD
۶	۱-۲-۲ بررسی رفتار تیوررقها
۱۳	۲-۲-۲ ملاحظات آیین نامه AISC در مورد تیر ورقها
۱۴	۱-۲-۲-۲ مقاومت خمشی تیوررقها
۱۶	۲-۲-۲-۲ مقاومت برشی تیوررقها
۱۸	۳-۲ حدود مجاز ناکاملی در آیین نامه ی AWS
۲۰	۴-۲ الزامات EURO CODE برای مدلسازی عددی تیوررقها
۲۱	۱-۴-۲ روش آنالیز دقیق
۲۱	۲-۴-۲ روش ناکاملی معادل
۲۲	۵-۲ تحقیقات انجام شده ی قبلی
۲۲	۱-۵-۲ مرور اجمالی
۲۳	۲-۵-۲ بررسی نتایج برخی کارهای گذشته
۲۳	۱-۲-۵-۲ بررسی نتایج تحقیق مرتبط با تاثیر ناکاملی مصالح
۲۸	۲-۲-۵-۲ بررسی نتایج تحقیق مرتبط با تاثیر شکل ناکاملی هندسی اولیه
۳۰	۱-۲-۲-۵-۲ تاثیر شکل ناکاملی اولیه
۳۱	۲-۲-۲-۵-۲ تاثیر ناکاملی مصالح
۳۳	۲-۵-۲-۳ بررسی نتایج تحقیق مرتبط با تاثیر تغییر در دامنه ناکاملی هندسی اولیه(آنالیز حساسیت)
۳۳	۲-۵-۲-۳-۱ تحقیق انجام شده بوسیله ی Graciano
۳۷	۲-۳-۲-۵-۲ تحقیق انجام شده بوسیله ی Ajeesh
۴۰	۳ فصل سوم-طراحی و مشخصات سیستم آزمایشات

۴۱	۱-۳ مقدمه
۴۱	۲-۳ مشخصات نمونه ها
۴۳	۳-۳ نوع جوش مورد استفاده
۴۴	۴-۳ آماده سازی نمونه ها
۴۴	۱-۴-۳ برشکاری، اسمبل کردن و جوشکاری ورقها
۴۸	۲-۴-۳ رنگ آمیزی و مش بندی:
۴۹	۳-۴-۳ ایجاد ناکاملی در پانل مورد نظر
۵۰	۴-۴-۳ اندازه گیری شکل دقیق نمونه ها
۵۱	۵-۳ بارگذاری و شرایط تکیه گاهی
۵۱	۱-۵-۳ روش بارگذاری
۵۱	۲-۵-۳ جک بارگذاری
۵۳	۳-۵-۳ تکیه گاهها
۵۴	۴-۵-۳ مهار بندی جانبی نمونه ها
۵۵	۶-۳ تجهیزات اندازه گیری و برداشت داده ها
۵۵	۱-۶-۳ لود سل
۵۵	۲-۶-۳ تغییر مکان سنجها
۵۶	۳-۶-۳ کرنش سنجها
۵۶	۴-۶-۳ دیتالاگر
۵۷	۷-۳ مشخصات فولاد
۵۸	۴ فصل چهارم-مدلسازی عددی
۵۹	۱-۴ مقدمه
۵۹	۲-۴ نرم افزار GIDY.۲
۵۹	۱-۲-۴ معرفی نرم افزار GIDY.۲ و ویژگیهای آن
۶۰	۲-۲-۴ مراحل ترسیم هندسه مدل در نرم افزار GID:
۶۱	۳-۴ نرم افزار ABAQUS
۶۱	۱-۳-۴ معرفی نرم افزار ABAQUS و روش تحلیلی مورد استفاده
۶۲	۱-۱-۳-۴ مقدمه ای بر روش اجزا محدود
۶۲	۲-۱-۳-۴ انواع المانها
۶۳	۱-۲-۱-۳-۴ المانهای continuum
۶۴	۲-۲-۱-۳-۴ المانهای shell

۶۵.....	۳-۲-۱-۳-۴ beam المانهای
۶۵.....	۳-۱-۳-۴ Abaqus/Standard در آنالیزهای غیر خطی
۶۹.....	۴-۱-۳-۴ رفتار غیر خطی مواد
۷۱.....	۲-۳-۴ مدلسازی در نرم افزار ABAQUS
۷۱.....	۱-۲-۳-۴ اسمبل کردن part ها
۷۲.....	۲-۲-۳-۴ تعریف کردن ویژگیهای ورقها
۷۳.....	۳-۲-۳-۴ مشخصات مدول step در مدل‌های شبیه سازی شده
۷۵.....	۴-۲-۳-۴ تعیین شرایط مرزی و بار گذاری در مدل عددی
۷۶.....	۵-۲-۳-۴ مش بندی
۷۷.....	۴-۳-۲-۶ JOB مدول
۷۸.....	۵ فصل پنجم-گزارش آزمایشات
۷۹.....	۱-۵ مقدمه
۷۹.....	۲-۵ نمونه ۱ (تیرورق بدون ناکاملی کروی موضعی)
۸۶.....	۳-۵ نمونه ۲ (تیرورق با ناکاملی کروی موضعی با دامنه ی ۲۰ میلیمتر در پانل ۴)
۹۲.....	۴-۵ نمونه ۳ (تیرورق با ناکاملی کروی موضعی با دامنه ی ۲۰ میلیمتر در پانل ۳)
۱۰۰.....	۵-۵ نمونه ۴ (تیرورق با ناکاملی کروی موضعی با دامنه ی ۲۰ میلیمتر در پانل ۲)
۱۰۷.....	۶-۵ نمونه ۵ (تیرورق با ناکاملی کروی موضعی با دامنه ی ۱۰ میلیمتر در پانل ۲)
۱۱۵.....	۶ فصل ششم-مقایسه ی نمودارها و نتایج و نتیجه گیری
۱۱۶.....	۱-۶ مقدمه
۱۱۶.....	۲-۶ نتایج و نمودارهای ترکیبی برای نمونه های آزمایشگاهی
۱۱۶.....	۱-۲-۶ نمودارهای نیرو- تغییر مکان قائم
۱۱۷.....	۶-۲-۱-۱ مقایسه بین نمونه های p۴i۲۰ و perfect
۱۱۸.....	۲-۱-۲-۶ مقایسه بین نمونه های p۳i۲۰ و perfect
۱۱۹.....	۳-۱-۲-۶ مقایسه بین نمونه های p۲i۲۰ و perfect
۱۲۱.....	۶-۲-۱-۴ مقایسه بین نمونه های p۲i۱۰ و perfect
۱۲۲.....	۲-۲-۶ نمودارهای نیرو- تغییر مکان افقی جان (بیرون زدگی از پانلها)
۱۲۸.....	۳-۲-۶ نمودارهای نیرو- کرنش
۱۳۱.....	۳-۶ مقایسه ی نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی
۱۳۱.....	۱-۳-۶ نمودارهای نیرو-تغییر مکان قائم
۱۳۵.....	۲-۳-۶ نمودارهای نیرو-تغییر مکان افقی (بیرون زدگی از پانل)

۱۴۱.....	۶-۳-۳ نمودارهای نیرو- کرنش
۱۴۱.....	۶-۳-۳-۱ نمودارهای نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ۱
۱۴۴.....	۶-۳-۳-۲ نمودارهای نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ۲
۱۴۷.....	۶-۳-۳-۳ نمودارهای نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ۳
۱۵۰.....	۶-۴ مقایسه ی نتایج
۱۵۰.....	۶-۴-۱ مقایسه مقدار کاهش در ظرفیت نهایی نمونه های آزمایشگاهی و عددی نسبت به نمونه ی بدون ناکاملی..
۱۵۱.....	۶-۴-۲ مقایسه مقدار ظرفیت نهایی نمونه های عددی و آزمایشگاهی با آیین نامه ی AISC-LRFD.
۱۵۲.....	۶-۴-۳ مقایسه مقدار کاهش در سختی نمونه های آزمایشگاهی و عددی نسبت به نمونه ی بدون ناکاملی
۱۵۴.....	۶-۵ آنالیز کمانش خطی
۱۵۴.....	۶-۵-۱ کلیات
۱۵۴.....	۶-۵-۲ نمونه ی بدون ناکاملی کروی در پانلها (نمونه ی perfect)
۱۵۵.....	۶-۵-۳ نمونه ی با ناکاملی کروی در پانل ۴ (نمونه ی p۴i۲۰)
۱۵۶.....	۶-۵-۴ نمونه ی با ناکاملی کروی در پانل ۳ (نمونه ی p۳i۲۰)
۱۵۶.....	۶-۵-۵ نمونه ی با ناکاملی کروی در پانل ۲ (نمونه ی p۲i۲۰)
۱۵۷.....	۶-۵-۶ نمونه ی با ناکاملی کروی در پانل ۱ (نمونه ی p۱i۲۰)
۱۵۸.....	۶-۵-۷ مقایسه ی نتایج حاصل از تحلیل کمانش خطی
۱۵۸.....	۶-۵-۸ مقایسه ی نتایج تحلیل کمانش خطی با نتایج تحلیل غیر خطی و نتایج آزمایشگاهی
۱۶۲.....	۷ نتیجه گیری
۱۶۳.....	۷-۱ مقدمه
۱۶۴.....	۷-۲ نتایج بدست آمده از انجام تحقیق

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: بیرون زدگی در پانلهای جان تیر ورق	۳
شکل ۱-۲: انواع تیورورها با و بدون سخت کننده	۷
شکل ۲-۲: انواع مقاطع رایج تیورورها	۸
شکل ۳-۲: کاربرد به عنوان شاهتیر در پلهای کابلی	۸
شکل ۴-۲: کاربرد به عنوان تیر در پلها	۹
شکل ۵-۲: کاربرد به عنوان تیر در پلهای راه آهن	۹
شکل ۶-۲: انواع کمانش و ناپایداری تیورورها	۱۰
شکل ۷-۲: انواع کمانش و ناپایداری تیورورها	۱۰
شکل ۸-۲: عملکرد خرپایی تیورورق	۱۱
شکل ۹-۲: استحکام پس کمانشی تیورورق	۱۲
شکل ۱۰-۲: تیورورق با حداقل بعد پانل برابر d	۱۸
شکل ۱۱-۲: بیرون زدگی پانل جان	۲۱
شکل ۱۲-۲: قوس اولیه در تیر	۲۲
شکل ۱۳-۲: پیچش اولیه در بال بالایی یا سخت کننده ی طولی	۲۲
شکل ۱۴-۲: نمونه ی تست شده در دانشگاه LTU	۲۴
شکل ۱۵-۲: نمونه ی تست شده در دانشگاه UPC	۲۴
شکل ۱۶-۲: الگوی تنش پسماند پیشنهاد شده بوسیله ی ECCS	۲۵
شکل ۱۷-۲: الگوی تنش پسماند ساده شده توسط Barth و White	۲۵
شکل ۱۸-۲: الگوی تنش پسماند ساده شده توسط Chacon	۲۶
شکل ۱۹-۲: الگوی تنش پسماند پیشنهاد شده بوسیله ی BSK	۲۶
شکل ۲۰-۲: الگوی تنش پسماند پیشنهاد شده در دانشگاه Ljubljana	۲۷
شکل ۲۱-۲: نمودارهای بار-جابجایی قائم در وسط دهانه	۲۷
شکل ۲۲-۲: شمای کلی تست	۲۸
شکل ۲۳-۲: اندازه گیری ناکاملی های اولیه	۲۹
شکل ۲۴-۲: الگوی تنش پسماند	۳۰
شکل ۲۵-۲: ظرفیت باربری نهایی برای شرایط اولیه مختلف	۳۱
شکل ۲۶-۲: منحنی های نیرو-جابجایی، تاثیر ناکاملیهای سازه ای اولیه	۳۲
شکل ۲۷-۲: مشخصات هندسه ی تیورورق	۳۳

شکل ۲-۲۸: مدسوم	۳۴
شکل ۲-۲۹: منحنی نیرو-جابجایی به ازای دامنه های مختلف ناکاملی و نسبتهای مختلف b_1/h_w برای شکل اولیه ی ناکاملی به شکل مد ۳	۳۵
شکل ۲-۳۰: منحنی نیرو-جابجایی برای اشکال مختلف ناکاملی اولیه برای دامنه ی ناکاملی ۷ میلیمتر و به ازای نسبتهای مختلف b_1/h_w	۳۷
شکل ۲-۳۱: نمونه با ناکاملی	۳۸
شکل ۲-۳۲: فرم تغییر شکل یافته ی نمونه	۳۹
شکل ۳-۱: نامگذاری پانلهای تیورورق	۴۱
شکل ۳-۲: مشخصات مقطع تیورورق	۴۲
شکل ۳-۳: فواصل سخت کننده ها و طول دهانه	۴۲
شکل ۳-۴: ناکاملی کروی موضعی	۴۲
شکل ۳-۵: دستگاه جوشکاری مورد استفاده	۴۴
شکل ۳-۶: دستگاه جوشکاری مورد استفاده	۴۴
شکل ۳-۷: برش ورقها	۴۵
شکل ۳-۸: خال جوش کردن ورق بال به تیر ناودانی و ورق بال به تیر نبشی	۴۶
شکل ۳-۹: خال جوش کردن سخت کننده ها	۴۶
شکل ۳-۱۰: تیر ورق آماده جوشکاری کامل	۴۶
شکل ۳-۱۱: جوشکاری	۴۷
شکل ۳-۱۲: جوشکاری به صورت منقطع	۴۷
شکل ۳-۱۳: تیورورق بعد از جوشکاری	۴۸
شکل ۳-۱۴: رنگ آمیزی	۴۸
شکل ۳-۱۵: مش بندی	۴۹
شکل ۳-۱۶: ناکامی کروی در یکی از پانلها	۴۹
شکل ۳-۱۷: ریسمان کشی پانل های جان	۵۰
شکل ۳-۱۸: برداشت بیرون زدگی پانلها با کولیس	۵۱
شکل ۳-۱۹: موتور و دستگاه کنترلی اعمال نیرو	۵۱
شکل ۳-۲۰: جک هیدرولیکی	۵۲
شکل ۳-۲۱: پایه صلب	۵۲
شکل ۳-۲۲: تکیه گاه غلطکی	۵۳
شکل ۳-۲۳: قرار گرفتن تیورورق بر روی تکیه گاه	۵۳

شکل ۳-۲۴: مهاربندی جانبی تیرورق	۵۴
شکل ۳-۲۵: مهاربندی جانبی نمونه با استفاده از صفحه فلزی و بلبرینگ	۵۴
شکل ۳-۲۶: لودسل	۵۵
شکل ۳-۲۷: تغییر مکان سنج (lvdt)	۵۵
شکل ۳-۲۸: کرنش سنج	۵۶
شکل ۳-۲۹: دیتالاگر	۵۶
شکل ۳-۳۰: نمونه ها بعد از انجام تست کشش	۵۷
شکل ۳-۳۱: دستگاه تست کشش	۵۷
شکل ۴-۱: نرم افزار GID	۵۹
شکل ۴-۲: وارد کردن مختصات گره های پانلها در نرم افزار GID	۶۰
شکل ۴-۳: تعریف کردن صفحه در نرم افزار GID	۶۰
شکل ۴-۴: تفاوت المانهای پوسته ای متداول و پیوسته	۶۴
شکل ۴-۵: سرهم کردن پارتها در ABAQUS	۷۱
شکل ۴-۶: تعریف کردن ضخامت صفحات	۷۲
شکل ۴-۷: تعرف کردن ویژگیهای فولاد	۷۲
شکل ۴-۸: فعال کردن گزینه غیرخطی هندسی	۷۴
شکل ۴-۹: استفاده از گزینه ی اتوماتیک در تحلیل و تعیین نمو اولیه و حداکثر تعداد نموها	۷۴
شکل ۴-۱۰: شرایط تکیه گاهی و بار گذاری	۷۵
شکل ۴-۱۱: مش بندی تیر ورق	۷۶
شکل ۵-۱: موقعیت کرنش سنجها و جابجایی سنجها(فواصل به میلیمتر میباشد)	۸۰
شکل ۵-۲: موقعیت کرنش سنجها در بال کششی	۸۰
شکل ۵-۳: شمای کلی بارگذاری	۸۱
شکل ۵-۴: کمانش قطری	۸۱
شکل ۵-۵: مود شکست نمونه واقعی	۸۲
شکل ۵-۶: مود شکست نمونه شبیه سازی شده	۸۲
شکل ۵-۷: منحنی نیرو- تغییر مکان قائم وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۳	۸۳
شکل ۵-۸: منحنی نیرو- تغییر مکان جانبی وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۴	۸۳
شکل ۵-۹: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۱	۸۴
شکل ۵-۱۰: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۲	۸۴
شکل ۵-۱۱: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۱	۸۵

- شکل ۵-۱۲: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۲ ۸۵
- شکل ۵-۱۳: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۳ ۸۶
- شکل ۵-۱۴: موقعیت کرنش سنجها و جابجایی سنجها در نمونه ی دوم ۸۷
- شکل ۵-۱۵: موقعیت کرنش سنجها در بال کششی در نمونه دوم ۸۷
- شکل ۵-۱۶: ناکاملی کروی ایجاد شده در پانل شماره ۴ از ۲ نما ۸۷
- شکل ۵-۱۷: فرم تغییر شکل یافته ی پانل با ناکاملی موضعی بعد از بارگذاری ۸۸
- شکل ۵-۱۸: مود شکست نمونه آزمایشگاهی ۸۸
- شکل ۵-۱۹: مود شکست نمونه شبیه سازی شده ۸۹
- شکل ۵-۲۰: منحنی نیرو- تغییر مکان قائم وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۳ ۸۹
- شکل ۵-۲۱: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۱ ۹۰
- شکل ۵-۲۲: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۲ ۹۰
- شکل ۵-۲۳: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۵ ۹۱
- شکل ۵-۲۴: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۱ ۹۱
- شکل ۵-۲۵: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۲ ۹۲
- شکل ۵-۲۶: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۳ ۹۲
- شکل ۵-۲۷: موقعیت کرنش سنجها و جابجایی سنجها در نمونه ی سوم ۹۳
- شکل ۵-۲۸: موقعیت کرنش سنجها در بال کششی در نمونه ی سوم ۹۳
- شکل ۵-۲۹: ناکاملی موضعی ایجاد شده در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ۹۴
- شکل ۵-۳۰: کمانه کردن سخت کننده ۹۴
- شکل ۵-۳۱: کمانش جانبی پیچشی ۹۵
- شکل ۵-۳۲: مود شکست نمونه آزمایشگاهی ۹۵
- شکل ۵-۳۳: مود شکست نمونه شبیه سازی شده ۹۶
- شکل ۵-۳۴: منحنی نیرو- تغییر مکان قائم وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۳ ۹۶
- شکل ۵-۳۵: منحنی نیرو- تغییر مکان جانبی وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۴ ۹۷
- شکل ۵-۳۶: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۱ ۹۷
- شکل ۵-۳۷: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۲ ۹۸
- شکل ۵-۳۸: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۵ ۹۸
- شکل ۵-۳۹: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۱ ۹۹
- شکل ۵-۴۰: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۲ ۹۹
- شکل ۵-۴۱: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۳ ۱۰۰

- شکل ۵-۴۲: ناکاملی موضعی ایجاد شده در پانل شماره ی ۲ از مدل آزمایشگاهی از دو نما ۱۰۰
- شکل ۵-۴۳: ناکاملی موضعی ایجاد شده در پانل شماره ی ۲ از مدل شبیه سازی شده..... ۱۰۱
- شکل ۵-۴۴: موقعیت کرنش سنجها و جابجایی سنجها در نمونه ی چهارم ۱۰۱
- شکل ۵-۴۵: موقعیت کرنش سنجها در بال کششی در نمونه ی چهارم ۱۰۱
- شکل ۵-۴۶: فرم تغییر شکل یافته ی پانل با ناکاملی موضعی بعد از بارگذاری از ۲ نما ۱۰۲
- شکل ۵-۴۷: فرم تغییر شکل یافته ی پانل با ناکاملی موضعی در مدل عددی ۱۰۲
- شکل ۵-۴۸: مود شکست نمونه آزمایشگاهی ۱۰۳
- شکل ۵-۴۹: مود شکست نمونه شبیه سازی شده..... ۱۰۳
- شکل ۵-۵۰: منحنی نیرو- تغییر مکان قائم وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۳ ۱۰۴
- شکل ۵-۵۱: منحنی نیرو-بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۱ ۱۰۴
- شکل ۵-۵۲: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۲ ۱۰۵
- شکل ۵-۵۳: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۳ ۱۰۵
- شکل ۵-۵۴: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۱ ۱۰۶
- شکل ۵-۵۵: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۲ ۱۰۶
- شکل ۵-۵۶: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۳ ۱۰۷
- شکل ۵-۵۷: ناکاملی موضعی ایجاد شده در پانل شماره ی ۲ از مدل آزمایشگاهی از دو نما ۱۰۷
- شکل ۵-۵۸: موقعیت کرنش سنجها و جابجایی سنجها در نمونه ی پنجم ۱۰۸
- شکل ۵-۵۹: موقعیت کرنش سنجها در بال کششی در نمونه ی پنجم ۱۰۸
- شکل ۵-۶۰: فرم تغییر شکل یافته ی پانل با ناکاملی موضعی بعد از بارگذاری در مدل آزمایشگاهی و شبیه سازی شده..... ۱۰۹
- شکل ۵-۶۱: جدا شدن سخت کننده از بال فشاری در اواخر بارگذاری ۱۰۹
- شکل ۵-۶۲: مد شکست نمونه شبیه سازی شده ۱۱۰
- شکل ۵-۶۳: مد شکست نمونه آزمایشگاهی ۱۱۰
- شکل ۵-۶۴: منحنی نیرو- تغییر مکان قائم وسط دهانه حاصل از lvdt شماره ی ۳ ۱۱۱
- شکل ۵-۶۵: منحنی نیرو- بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۱ ۱۱۲
- شکل ۵-۶۶: منحنی نیرو-بیرون زدگی پانل جان حاصل از lvdt شماره ی ۲ ۱۱۲
- شکل ۵-۶۷: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۱ ۱۱۳
- شکل ۵-۶۸: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۲ ۱۱۳
- شکل ۵-۶۹: منحنی نیرو- کرنش حاصل از کرنش سنج شماره ی ۳ ۱۱۴
- شکل ۶-۱: نمودار نیرو- تغییر مکان قائم(خیز) (مقایسه ی بین نمونه های $p\phi_i 20$ و perfect) ۱۱۷

- شکل ۶-۲: نمودار نیرو-تغییر مکان قائم(خیز) (مقایسه ی بین نمونه های p_{3i20} و perfect) ۱۱۸
- شکل ۶-۳: نمودار نیرو-تغییر مکان قائم(خیز) (مقایسه ی بین نمونه های p_{2i20} و perfect) ۱۲۰
- شکل ۶-۴: نمودار نیرو-تغییر مکان قائم(خیز) (مقایسه ی بین نمونه های p_{2i10} و perfect) ۱۲۱
- شکل ۶-۵: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۱ (مقایسه ی بین نمونه های p_{4i20} و perfect) ۱۲۳
- شکل ۶-۶: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۱ (مقایسه ی بین نمونه های p_{3i20} و perfect) ۱۲۳
- شکل ۶-۷: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۱ (مقایسه ی بین نمونه های p_{2i20} و perfect) ۱۲۴
- شکل ۶-۸: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۱ (مقایسه ی بین نمونه های p_{2i10} و perfect) ۱۲۴
- شکل ۶-۹: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۲ (مقایسه ی بین نمونه های p_{4i20} و perfect) ۱۲۶
- شکل ۶-۱۰: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۲ (مقایسه ی بین نمونه های p_{3i20} و perfect) ۱۲۶
- شکل ۶-۱۱: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۲ (مقایسه ی بین نمونه های p_{2i20} و perfect) ۱۲۷
- شکل ۶-۱۲: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از lvdT شماره ی ۲ (مقایسه ی بین نمونه های p_{2i10} و perfect) ۱۲۷
- شکل ۶-۱۳: نمودار نیرو- کرنش در جان تیرورق ها(در پانلهای دارای ناکاملی موضعی کروی) ۱۲۸
- شکل ۶-۱۴: نمودار نیرو- کرنش در نقطه ای بر روی بال کششی(حاصل از کرنش سنج شماره ی ۲) ۱۲۹
- شکل ۶-۱۵: نمودار نیرو- کرنش در نقطه ای بر روی بال کششی(حاصل از کرنش سنج شماره ی ۳) ۱۲۹
- شکل ۶-۱۶: نمودار نیرو- تغییر مکان قائم (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی perfect) ۱۳۲
- شکل ۶-۱۷: نمودار نیرو- تغییر مکان قائم (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{4i20}) ۱۳۲
- شکل ۶-۱۸: نمودار نیرو- تغییر مکان قائم (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{3i20}) ۱۳۳
- شکل ۶-۱۹: نمودار نیرو- تغییر مکان قائم (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{2i20}) ۱۳۳
- شکل ۶-۲۰: نمودار نیرو- تغییر مکان قائم (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{2i10}) ۱۳۴
- شکل ۶-۲۱: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی perfect) ۱۳۵
- شکل ۶-۲۲: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{4i20}) ۱۳۶
- شکل ۶-۲۳: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{3i20}) ۱۳۶
- شکل ۶-۲۴: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{2i20}) ۱۳۷
- شکل ۶-۲۵: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{2i10}) ۱۳۷
- شکل ۶-۲۶: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی perfect) ۱۳۸
- شکل ۶-۲۷: نمودار نیرو- تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{4i20}) ۱۳۹
- شکل ۶-۲۸: نمودار نیرو-تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{3i20}) ۱۳۹
- شکل ۶-۲۹: نمودار نیرو-تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{2i20}) ۱۴۰
- شکل ۶-۳۰: نمودار نیرو-تغییر مکان افقی (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{2i10}) ۱۴۰
- شکل ۶-۳۱: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی p_{4i20}) ۱۴۲

- شکل ۶-۳۲: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p3i20$) ۱۴۲
- شکل ۶-۳۳: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p2i20$) ۱۴۳
- شکل ۶-۳۴: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p2i10$) ۱۴۳
- شکل ۶-۳۵: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی perfect) ۱۴۴
- شکل ۶-۳۶: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p4i20$) ۱۴۵
- شکل ۶-۳۷: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p3i20$) ۱۴۵
- شکل ۶-۳۸: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p2i20$) ۱۴۶
- شکل ۶-۳۹: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p2i10$) ۱۴۶
- شکل ۶-۴۰: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی perfect) ۱۴۷
- شکل ۶-۴۱: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p4i20$) ۱۴۸
- شکل ۶-۴۲: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p3i20$) ۱۴۸
- شکل ۶-۴۳: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p2i20$) ۱۴۹
- شکل ۶-۴۴: نمودار نیرو- کرنش (مقایسه ی بین نتیجه عددی و آزمایشگاهی نمونه ی $p2i10$) ۱۴۹
- شکل ۶-۴۵: مقایسه درصد کاهش ظرفیت در نمونه های عددی و آزمایشگاهی ۱۵۰
- شکل ۶-۴۶: مقایسه ظرفیت نهایی نمونه ی perfect حاصله از روبرط تئوریک، مدل عددی و مدل آزمایشگاهی ... ۱۵۱
- شکل ۶-۴۷: مقایسه ی درصد کاهش سختی نمونه ها ۱۵۲
- شکل ۶-۴۸: مد اول کمانش در نمونه ی perfect ۱۵۴
- شکل ۶-۴۹: مد اول کمانش در نمونه ی $p4i20$ ۱۵۵
- شکل ۶-۵۰: مد اول کمانش در نمونه ی $p3i20$ ۱۵۶
- شکل ۶-۵۱: مد اول کمانش در نمونه ی $p2i20$ ۱۵۷
- شکل ۶-۵۲: مد اول کمانش در نمونه ی $p2i10$ ۱۵۷
- شکل ۶-۵۳: مقایسه ی بار کمانش نمونه ها ۱۵۸
- شکل ۶-۵۴: مقایسه بار کمانش نمونه ی perfect حاصل از تحلیل کمانش خطی با نمودارهای نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ۱۵۹
- شکل ۶-۵۵: مقایسه بار کمانش نمونه ی $p4i20$ حاصل از تحلیل کمانش خطی با نمودارهای نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ۱۵۹
- شکل ۶-۵۶: مقایسه بار کمانش نمونه ی $p3i20$ حاصل از تحلیل کمانش خطی با نمودارهای نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ۱۶۰
- شکل ۶-۵۷: مقایسه بار کمانش نمونه ی $p2i20$ حاصل از تحلیل کمانش خطی با نمودارهای نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ۱۶۰

شکل ۶-۵۸: مقایسه بار کمانش نمونه ی p_{2i10} حاصل از تحلیل کمانش خطی با نمودارهای نیرو- تغییر مکان افقی حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ۱۶۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ : حداکثر میزان مجاز بیرون زدگی برای تیوروق با سخت کننده در هر دو طرف ورق جان ۱۹
- جدول ۲-۲: حداکثر میزان مجاز بیرون زدگی برای تیوروق بدون سخت کننده ۱۹
- جدول ۳-۲: حداکثر میزان مجاز بیرون زدگی برای تیوروق با سخت کننده در یک طرف ورق جان ۲۰
- جدول ۴-۲: مشخصات و ظرفیت نهایی نمونه های تست شده در دانشگاههای LTU و UPC ۲۴
- جدول ۵-۲: مشخصات نمونه ها ۲۹
- جدول ۶-۲: نسبت بین نتایج عدی و تجربی حاصل از هر یک از شرایط اولیه ۳۱
- جدول ۷-۲: تاثیر ناکاملی سازه ای اولیه ۳۲
- جدول ۸-۲: هندسه ی تیر ورق و مشخصات فولاد ۳۳
- جدول ۹-۲: مقاومت با توجه به مدها و دامنه های مختلف و نسبتهای مختلف (b_1/h_w) ۳۶
- جدول ۱۰-۲: بررسی تاثیر ناکاملی ۳۹
- جدول ۱-۳: مشخصات هندسی تیوروقها ۴۳
- جدول ۲-۳: نتایج تست کشش ۵۷
- جدول ۱-۴: شرایط تکیه گاهی ۷۶
- جدول ۱-۶: مقایسه ی درصد کاهش ظرفیت در نمونه های عددی و آزمایشگاهی ۱۵۰
- جدول ۲-۶: ظرفیت نهایی نمونه ی perfect حاصله از روابط تئوریک، مدل عددی و مدل آزمایشگاهی ۱۵۱
- جدول ۳-۶: مقایسه کاهش سختی در نمونه های عددی و آزمایشگاهی ۱۵۲

۱ فصل اول-پیشگفتار