بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک

عنوان:

مطالعه آزمایشی و عددی اثر تقویت برای کاهش اثر بارهای محلی بر روی کلگی بیضی‌گون۲:۱ تحت فشار داخل

استاد راهنما:
آقای دکتر سعید گلابی

به‌وسیله:
سید علی حسینی

شهریور ماه ۱۳۹۰

سپاس خدایی را که زیبایی‌های آفرینش را برای ما برگزید، روزی‌های پاکیزه را بر ما روان ساخت، ما را به تسلط به همه آفریدگان برتری داد و در احتیاج ما را از غیر خود فرو بست.

المهدی طاووس اهل الجنه

به آرزوی نگاه مهربانانه‌ای

تقدیم به دردانه‌ی عالم هستی روحی فداه

سپاس بیکران بر دلهای دریایی مادر دلسوز و پدر مهربانم،

که سجده ی ایثارشان گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارشان لحظه های مهربانی را به من آموخت

سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی همسر مهربان و فرزند عزیزتر از جانم، که صبورانه و مشوقانه با تمام وجود

در کنارم بوده و عطر خوش حضورشان معنا بخش لحظه های زندگی‌مان است.

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته جناب آقای دکتر سعید گلابی که با نکته های دلاویز و گفته های بلند،

صحیفه ی سخن را علم پرور نمود و با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشید و گلشن سرای علم

و دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساخت.

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

با تشکر و قدردانی از مدیر عامل و کارکنان محترم شرکت تقطیران

و آقای مهندس وحید ابریشمی راد

که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند

این پایان نامه با حمایت شرکت پالایش نفت اصفهان انجام گرفته است.

چکیده

در مواقعی ضخامت ورقی که برای تحمل فشار سیال از روابط طراحی به‌دست می‌آید، به اندازه-ای نیست که در برابر تنش‌های محلی که عموماً در ناحیه کمی از پوسته توزیع می‌شوند، مقاومت کند. در چنین مواردی به ناچار طراح از راه حل‌هایی مانند افزایش ضخامت پوسته، استفاده از صفحه تقویتی و تغییر شکل و اندازه آویزه (اتصال شونده) جهت جبران ناتوانی پوسته استفاده می‌نماید، که این کار علاوه بر افزایش هزینه‌ها، به علت اثرات محدود این روش‌ها، طراح را با مشکل مواجه می‌کند.

در این تحقیق با استفاده از روش تقویت محلی مانند نصب رینگ تقویت، که در تحقیقات گذشته نتیجه مطلوب آن در کاهش اثرات انواع بارهای محلی منفرد نشان داده شده، سعی شده است تا با تعیین هندسه مناسب و کارآمد رینگ‌های تقویت برای نسبت‌های مختلف t/d از کلگی، تنش‌های محلی ناشی از ترکیب بارگذاری‌های هم‌نوع کاهش یابد. در مدل اجزاءمحدود ابتدا موقعیت‌های بحرانی نصب صفحه تقویت روی کلگی پیدا و مقادیر مجاز بارگذاری برای کلگی تقویت شده در دو موقعیت با شکل‌ها و اندازه‌های مختلف رینگ تقویت، برای نسبت‌های مختلف t/d کلگی محاسبه می‌شود. با مقایسه نتایج و رفتار مشابه رینگ‌های تقویت در دو نسبت t/d کلگی به قاعده‌ی مهم و کاربردی امکان تعمیم نتایج به‌دست آمده به سایر نسبت‌های t/d کلگی دست یافته میشود. نتایج تحلیل‌های تئوری اعمال نیروهای مماسی و گشتاورهای خمشی روی سطح پوسته کلگی، به صورت نمودارهای کاربردی با قابلیت امکان پیش‌بینی میزان کاهش تنش‌های محلی و افزایش ظرفیت بارپذیری کلگی در صورت استفاده از هر رینگ تقویت ارائه می‌شوند. با معرفی شاخص‌های کمّی وزن، بار، استحکام، هزینه و انتخاب، این شاخص‌ها برای کلیه‌ی رینگ‌های تقویت محاسبه می شوند. بر این اساس بهترین رینگ تقویت از لحاظ اقتصادی مشخص و به‌منظور بررسی نتایج، با شبیه سازی شرایط مدل تئوری، آزمایشات عملی اعمال گشتاورهای خمشی خالص به کلگی بیضی‌گون ۲:۱ طرح‌ریزی و اجرا می‌شود.

اثر رینگ‌های تقویت برای بارگذاری‌های مختلف به ابعاد و هندسه رینگ بستگی دارد. نتایج تحلیل‌های تئوری نشان می‌دهد، که کمترین اثر مربوط به نیروهای طولی تا حدود ۱۵ درصد و بیشترین اثر مربوط به گشتاور خمشی طولی تا حدود ۳۵ درصد است. گزارشات آزمایش عملی نیز تقریباً با ۱۰ درصد اختلاف نتایج تئوری را تصدیق می‌کنند.

کلمات کلیدی: مخزن تحت فشار، دسته‌بندی تنش، بارهای محلی، رینگ تقویت، المان محدود، کرنش سنج، کلگی بیضی‌گون ۲:۱.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه‌ای بر تحلیل مخازن تحت فشار

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ معیارهای تسلیم ۴

۱-۲-۱ تنش عمودی ماکزیمم ۴

۱-۲-۲ معیار تنش برشی ماکزیمم ۴

۱-۳ بارگذاری در مخازن تحت فشار ۵

۱-۴ دسته بندی تنشها در مخازن تحت فشار ۷

۱-۴-۱ کلاسهای تنش (CLASSES OF STRESS) ۷

۱-۴-۲ ترکیبهای تنش (CATEGORIES OF STRESS) ۷

۱-۵ بررسی کلاس بندی تنش (CLASSES OF STRESS) ۸

۱-۵-۱ تنشهای اولیه (PRIMARY STRESS) ۹

۱-۵-۱-۱ تنش غشایی اولیه کلی ۹

۱-۵-۱-۲ تنش خمشی اولیه کلی ۱۰

۱-۵-۱-۳ تنش غشایی اولیه موضعی ۱۰

۱-۵-۲ تنشهای ثانویه (SECONDARY STRESS) ۱۱

۱-۵-۳ تنش ماکزیمم (PEAK STRESS) ۱۲

۱-۵-۴ تنشهای ناپیوستگی (DISCONTINUITY STRESSES) ۱۲

۱-۶ محدود کردن تنش، برآورده کردن ایمنی مخزن ۱۳

۱-۷ مراجع تحلیل بارهای محلی ۱۵

۱-۷-۱ روش تیر روی فونداسیون الاستیک ۱۶

۱-۷-۱-۱ بارگذاری منفرد ۱۶

۱-۷-۱-۲ بارگذاری چندگانه ۱۷

۱-۷-۲ PD5500/ANNEX G ۱۸

۱-۷-۲-۱ تاریخچه استاندارد اروپایی ۱۸

۱-۷-۲-۲ محدودیت ها ۱۹

۱-۷-۳ مراجع WRC#107 و WRC#297 ..... ۲۰

۱-۷-۳-۱ WRC#107 ..... ۲۱

۱-۷-۳-۱-۱ محدودیت ها ۲۲

۱-۷-۳-۱-۲ روش محاسبات ۲۲

۱-۷-۳-۲ WRC#297 ..... ۲۴

۱-۷-۳-۲-۱ محدودیت ها ۲۴

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱-۷-۴ نرم‌افزارهای تحلیل بارگذاری محلی ۲۴

۱-۸ روشهای کاهش تنشهای محلی ۲۶

۱-۹ رینگ تقویت ۲۸

۱-۱۰ کلگی مخازن ۲۹

۱-۱۰-۱ کلگی بیضی‌گون ۳۰
۱-۱۰-۲ کلگی کروی ۳۰
۱-۱۰-۳ کلگی چنبره ای ۳۱

۱-۱۱ مروری بر تحقیقات پیشین ۳۱

۱-۱۱-۱ یافتن ابعاد رینگ تقویت برای مخازن استوانهای تحت لنگر محیطی [۵] ۳۱
۱-۱۱-۲ یافتن ابعاد رینگ تقویت برای مخازن استوانهای تحت نیروی طولی [۶] ۳۴
۱-۱۱-۳ یافتن ابعاد رینگ تقویت برای مخازن استوانهای تحت نیروی محیطی [۷] ۳۵
۱-۱۱-۴ بررسی تقویت برای کاهش اثر بارهای محلی روی پوسته استوانه‌ای فشار داخل[۱۰] ۳۷
۱-۱۱-۵ رینگ تقویت روی کلگی کروی تحت فشار خارج [۱۱] ۴۰
۱-۱۱-۶ رینگ تقویت روی کلگی مخروطی تحت فشار خارج [۱۲] ۴۱
۱-۱۱-۷ رینگ تقویت روی کلگی مخروطی تحت فشار داخل [۱۳] ۴۳
۱-۱۱-۸ رینگ تقویت روی کلگی چنبره‌ای تحت فشار داخل و خارج [۱۴، ۱۵] ۴۴
۱-۱۱-۹ رینگ تقویت روی کلگی بیضوی تحت فشار داخلی [۱۶,۱۷] ۴۵

۱-۱۲ اهمیت ادامه تحقیقات ۴۹

فصل دوم: مدل‌سازی

۲-۱ مقدمه ۵۲

۲-۲ مدل‌سازی ۵۲

۲-۲-۱ کلیات مدل ۵۳
*۲-۲-۲ تعیین محدوده فشار و ضخامت برای نسبت های مختلف **td** ۵۳*
۲-۲-۳ تعیین ابعاد آویزه و صفحه تقویت آن ۵۶
۲-۲-۴ نحوه مدل‌سازی صفحه‌ی تقویت آویزه روی کلگی ۵۷
۲-۲-۵ مقادیر مجاز تنش ۵۹
۲-۲-۶ تکنیک مش بندی کلگی و انتخاب مش مناسب ۶۰
۲-۲-۷ تعیین موقعیت آویزه روی کلگی ۶۲
۲-۲-۸ صرفنظر از اثر بارگذاری فشارداخل و یا خارج ۶۶

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل سوم: تحلیل اجزاء محدود پوسته کلگی بیضی‌گون ۲:۱

۳-۱ مقدمه ۶۸

۳-۲روش و مراحل تحلیل کلگی بیضی‌گون ۶۸

۳-۳ تحلیل پوسته کلگی تحت اثر بارهای مماسی و گشتاورهای خمشی ۶۹

۳-۳-۱ تقریب ریاضی نمودارها ۷۶

۳-۳-۲ تغییر شکل پوسته کلگی ۷۹

۳-۴ طراحی رینگ‌های تقویت اولیه ۸۴

۳-۵ تعیین هندسه و ابعاد بهینه رینگ‌های تقویت برای کلگی با $\mathbf{td = 3}$ در موقعیت۲ ۸۷

۳-۵-۱ رینگ تقویت شماره یک ۸۷

۳-۵-۲ رینگ تقویت شماره دو ۸۹

۳-۵-۳ رینگ تقویت شماره سه ۸۹

۳-۵-۴ رینگ تقویت شماره چهار ۸۹

۳-۵-۵ رینگ تقویت شماره پنج ۹۰

۳-۵-۶ رینگ تقویت شماره شش ۹۲

۳-۵-۷ رینگ تقویت شماره هفت ۹۳

۳-۵-۸ رینگ تقویت شماره هشت ۹۴

۳-۵-۹ رینگ تقویت شماره نه ۹۵

۳-۵-۱۰ رینگ تقویت شماره ده ۹۵

۳-۶ مقایسه‌ی رینگ‌های تقویت ۹۸

۳-۷ نصب و تحلیل رینگ‌های تقویت در موقعیت ۱ کلگی با $\mathbf{td = 3}$ ۹۹

۳-۸ تعمیم نتایج به پوسته کلگی با نسبت $\mathbf{td = 1.5}$ ۱۰۱

۳-۸-۱ نمودارهای مرزی گشتاورهای خمشی و نیروهای مماسی در موقعیت۱ ۱۰۱

۳-۸-۲ نمودارهای مرزی گشتاور و نیرو در موقعیت۲ ۱۱۴

۳-۹ کاهش تنش در پوسته کلگی پس از نصب رینگ تقویت ۱۲۷

۳-۱۰ تعریف شاخص‌های کمّی ۱۳۴

۳-۱۰-۱ شاخص وزن ۱۳۵

۳-۱۰-۲ شاخص بار ۱۳۵

۳-۱۰-۳ شاخص افزایش استحکام ۱۳۵

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۳-۱۰-۴ شاخص هزینه ۱۳۶
۳-۱۰-۵ شاخص انتخاب ۱۳۶
۳-۱۰-۶ محاسبه شاخص‌های رینگ‌های تقویت ۱۳۷

فصل چهارم: طراحی نمونه آزمایشگاهی و انجام آزمایش

۴-۱ مقدمه ۱۴۶
۴-۲ اندازه‌گیری کرنش ۱۴۶
۴-۳ طراحی نمونه‌ی آزمایشگاهی ۱۵۰
۴-۴ ساخت نمونه‌ی آزمایشگاهی ۱۵۵
۴-۵ آماده سازی مدل ۱۶۰
۴-۵-۱ نصب صفحات تقویت روی کلگی ۱۶۰
۴-۵-۲ نصب، تکمیل و آماده سازی دستگاه ۱۶۲
۴-۵-۳ آماده سازی سطح جهت نصب کرنش سنج‌ها ۱۶۴
۴-۵-۴ نصب کرنش‌سنج‌ها ۱۶۶
۴-۵-۵ بررسی صحت نصب کرنش‌سنجها ۱۶۸
۴-۵-۶ کالیبراسیون کرنش سنج ها ۱۶۹
۴-۶ نصب رینگ روی کلگی نمونه آزمایشی و محاسبه مقادیر گشتاور ۱۶۹
۴-۷ انجام آزمایش و ثبت نتایج ۱۷۳
۴-۸ مقایسه نتایج تحلیل اجزاءمحدود و آزمایش عملی ۱۷۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

۵-۱ بحث و نتیجه گیری ۱۹۵
۵-۲ پیشنهاد برای ادامه‌ی تحقیقات ۱۹۹
مراجع ۲۰۰
پیوست ها و ضمائم ۲۰۲

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱ تعیین تنش مجاز برای کلاسها و ترکیبهای مختلف تنش [۱] ۱۴

جدول ۱-۲ تعیین تنش مجاز برای کلاسها و ترکیبهای مختلف تنش [۳] ۱۴

جدول ۱-۳ بررسی موقعیت مکانی ریب نسبت به محل بارگذاری ۳۵

جدول ۱-۴ بررسی محل قرار دادن رینگ ۳۶

جدول۱-۵ مقدار تنش در مدل$t/d=0.003$، برای رینگ با ضخامت۰/۰۰۳ متر ۳۷

جدول ۱-۶ اثر آرایشهای مختلف رینگ تقویت بر کاهش تنش برای $\frac{t}{d}=1.8$ ۳۸

جدول ۱-۷ ماکزیمم درصد کاهش تنش به ازای بارگذاریهای مختلف ۳۹

جدول ۱-۸ مقادیر تنش برای انواع رینگ تقویت ۴۰

جدول ۱-۹ ماکزیمم تنش فون مایزبرای کلگی های مختلف در حالت بدون رینگ و رینگ تقویت مداری ۴۱

جدول۱-۱۰ نتایج حاصل از افزودن رینگ تقویت در شش نقطه از کلگی ۴۶

جدول ۲-۱ ضخامت پوسته کلگی برای نسبتهای مشخص t/d ۵۶

جدول۲-۲ دسته بندی های مختلف تنش و مقادیر مجاز آنها ۵۹

جدول۲-۳ تنش ایجاد شده به ازای اندازه مش مختلف در موقعیت ۲ صفحه تقویت ۶۲

جدول۲-۴ تنش ایجاد شده در پوسته به ازای اندازه مش مختلف در موقعیت ۴ صفحه تقویت ۶۲

جدول۲-۵ تنش ایجاد شده در موقعیت‌های مختلف به‌ازای اعمال نیرو و گشتاور یکسان ۶۳

جدول ۲-۶ نتایج بررسی نهایی محل دقیق موقعیت بحرانی روی کلگی ۶۴

جدول ۲-۷ محاسبه نیرو و گشتاور مجاز در موقعیت‌های۱تا۶ ..... ۶۵

جدول۲-۸ بیان فواصل موقعیت های نصب صفحه تقویت آویزه نسبت به مرکز کلگی ۶۵

جدول۳-۱ مقایسه گشتاورهای خمشی مجاز کلگی با دو نسبت $t/d=1.5$ و $t/d=3$ در موقعیت۱ ..... ۷۲

جدول۳-۲ مقایسه گشتاورهای خمشی مجاز کلگی با دو نسبت $t/d=1.5$ و $t/d=3$ در موقعیت۲ ..... ۷۲

جدول۳-۳ مقایسه بارهای مماسی مجاز کلگی با دو نسبت $t/d=1.5$ و $t/d=3$ در موقعیت۱ ..... ۷۲

جدول۳-۴ مقایسه بارهای مماسی مجاز کلگی با دو نسبت $t/d=1.5$ و $t/d=3$ در موقعیت۲ ..... ۷۳

جدول۳-۵ تقریب ریاضی نمودارهای مرزی گشتاور و نیرو در کلگی بدون تقویت $t/d=1.5$ و $t/d=3$ ۷۸

جدول ۳-۶ رینگهای تقویت اولیه با مقطع $3t \times t$ بکار گرفته شده روی کلگی با $t/d=3$ در موقعیت ۲ ..... ۸۵

جدول ۳-۷ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره یک ۸۸

جدول ۳-۸ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره دو ۹۰

جدول ۳-۹ تغییر شکل رینگ تقویت شماره دو ۹۱

جدول ۳-۱۰ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره سه ۹۱

جدول ۳-۱۱ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره چهار ۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۳-۱۲ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره پنج ۹۳

جدول ۳-۱۳ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره شش ۹۴

جدول ۳-۱۴ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره هفت ۹۶

جدول ۳-۱۵ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره هشت ۹۷

جدول ۳-۱۶ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره نه ۹۷

جدول ۳-۱۷ ابعاد بهینه رینگ تقویت شماره ده ۹۸

جدول ۳-۱۸ مقایسه رینگ‌های طراحی شده در موقعیت ۲ و $t/d = 3$ ۹۹

جدول ۳-۱۹ مقایسه رینگ‌های طراحی شده در موقعیت۱و $t/d = 3$ ۱۰۰

جدول ۳-۲۰ مقایسه رینگ‌های طراحی شده در دو موقعیت۱و۲ و $t/d = 3$ ۱۰۱

جدول۳-۲۱ کاهش تنش ناشی از نصب رینگ تقویت روی کلگی $t/d = 3$ در موقعیت۱ ..... ۱۲۸

جدول۳-۲۲ کاهش تنش ناشی از نصب رینگ تقویت روی کلگی $t/d = 3$ در موقعیت۲ ..... ۱۲۸

جدول۳-۲۳ کاهش تنش ناشی از نصب رینگ تقویت روی کلگی $t/d = 1.5$ در موقعیت۱ ..... ۱۲۹

جدول۳-۲۴ کاهش تنش ناشی از نصب رینگ تقویت روی کلگی $t/d = 1.5$ در موقعیت۲ ..... ۱۲۹

جدول ۳-۲۵ محاسبه شاخص‌های بار و استحکام، موقعیت۱، $t/d = 3$ ۱۳۸

جدول ۳-۲۶ محاسبه شاخص‌های بار و استحکام، موقعیت۲، $t/d = 3$ ۱۳۸

جدول ۳-۲۷ محاسبه شاخص‌های هزینه و انتخاب ، موقعیت۱، $t/d = 3$ ۱۴۰

جدول ۳-۲۸ محاسبه شاخص‌های هزینه و انتخاب ، موقعیت۲، $t/d = 3$ ۱۴۰

جدول ۳-۲۹ محاسبه شاخص انتخاب میانگین، موقعیت۱و۲، $t/d = 3$ ۱۴۳

جدول ۴-۱ مقایسه دو نوع کلگی Torisphericalو Ellipsoidal 2:1 ..... ۱۵۷

جدول ۴-۲ مقایسه خواص دو جنس SA516-Gr70 و SS-304 ..... ۱۵۹

جدول ۴-۳ مقایسه نسبت t/d برای دو مدل کلگی ۱۶۹

جدول۴- ۴ میزان افزایش ظرفیت بارپذیری پس از نصب رینگ روی کلگی نمونه آزمایش ۱۷۱

جدول۴- ۵ میزان کاهش تنش پس از نصب رینگ روی کلگی نمونه آزمایش ۱۷۱

جدول ۴-۶ انتخاب وزنههای مناسب برای بارگذاریهای تعیین شده در موقعیت۱ ..... ۱۷۳

جدول ۴-۷ انتخاب وزنههای مناسب برای بارگذاریهای تعیین شده در موقعیت۲ ..... ۱۷۳

جدول ۴-۸ نتایج کرنش برای کلگی بدون تقویت در موقعیت۱ ..... ۱۷۶

جدول ۴-۹ نتایج کرنش برای کلگی بدون تقویت در موقعیت۲ ..... ۱۷۶

جدول ۴-۱۰ نتایج کرنش برای کلگی با رینگ تقویت در موقعیت۱ ..... ۱۷۷

جدول ۴-۱۱ نتایج کرنش برای کلگی با رینگ تقویت در موقعیت۲ ..... ۱۷۷

جدول ۴-۱۲ مقایسه نتایج تنش تحلیل تئوری و آزمایش خمش پوسته کلگی بدون تقویت در موقعیت۱ ..... ۱۷۸

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۴-۱۳ مقایسه نتایج تنش تحلیل تئوری و آزمایش خمش پوسته کلگی بدون تقویت در موقعیت۲.....۱۷۹

جدول ۴-۱۴ مقایسه نتایج تحلیل تئوری و آزمایش خمش پوسته کلگی بارینگ تقویت در موقعیت۱..... ۱۸۰

جدول ۴-۱۵ مقایسه نتایج تحلیل تئوری و آزمایش خمش پوسته کلگی بارینگ تقویت در موقعیت۲..... ۱۸۰

جدول۴-۱۶ مقایسه میزان کاهش تنش اجزاء محدود و عملی پس از نصب رینگ در موقعیت ۱..... ۱۹۲

جدول۴-۱۷ مقایسه میزان کاهش تنش تئوری و عملی پس از نصب رینگ در موقعیت ۲..... ۱۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱ توزیع تنش غشایی روی کل محیط پوستهی استوانهای و کروی ۸

شکل ۱-۲ توزیع تنش ثانویه در محل ناپیوستگی پوسته ۱۱

شکل۱-۳ تنش ماکزیمم در محل تقاطع دو جزء از مخزن ۱۲

شکل ۱-۴ پارامترهای هندسی، نیرو و بارگذاری روی هر رینگ تقویت ۱۷

شکل ۱-۵ دیاگرام ابعاد هندسی و بارگذاری برای تعیین ابعاد مناسب رینگ تقویت ۱۷

شکل ۱-۶ نمودار اعمال محدودیت هندسی برای استفاده از *PD5500* ۲۰

شکل ۱-۷ مشخصات هندسی پوستهی استوانهای و کروی به همراه متصل شونده ۲۱

شکل ۱-۸ نمودار ضرایب تمرکز تنش برای WRC ۲۲

شکل ۱-۹ محاسبه تنش در سطح درونی و سطح خارجی پوستهی استوانهای ناشی از بارگذاری خارجی ۲۳

شکل ۱-۱۰ تحلیل نازل در پوستهی استوانهای ۲۵

شکل ۱-۱۲ بررسی اثر عوامل کاهش تنشها در محل نگه دارندههای مخزن ۲۷

شکل ۱-۱۳ انواع کلگی‌های متداول ۳۰

شکل ۱-۱۴ نصب صفحه تقویت و رینگ روی پوسته مخزن ۳۲

شکل ۱-۱۵ نمودار درصد کاهش تنش برای مقادیر مختلف ارتفاع رینگ با پهنای t برای مخازن مختلف ۳۲

شکل ۱-۱۶ نمودار درصد کاهش تنش برای مقادیر مختلف ارتفاع رینگ با پهنای 2t برای مخازن مختلف ۳۳

شکل ۱-۱۷ نمودار مقایسه میزان تنش در نقطه خطرناک برای مخزن تقویت شده با رینگ با پهنای 3mm ۳۳

شکل ۱-۱۸ نمودار مقایسه تنش در نقطه خطرناک با تغییر ارتفاع برای مخزن دارای رینگ با پهنای 3mm ۳۴

شکل ۱-۱۹ نمودار تغییرات ارتفاع ریب، $t_r = t_{shell}$ و طول ریب 15cm در مخزن با $\frac{t}{d} = 0.003$ ۳۵

شکل ۱-۲۰ نمودار تغییرات ارتفاع ریب، 2t و طول 16cm در مخزن با t/d=0.003 ..... ۳۵

شکل۱-۲۱ نحوه اتصال رینگ به بدنه ۳۶

شکل ۱-۲۲ نمودار مرزی گشتاور خمشی برای $\frac{t}{d} = 1.8$ ۳۷

شکل ۱-۲۳ نمودار مرزی نیروی مماسی برای $\frac{t}{d} = 1.8$ ۳۸

شکل ۱-۲۴ نصب رینگ روی پوسته استوانهای ۳۹

شکل ۱-۲۵ انجام آزمایش روی پوسته استوانهای ۳۹

شکل ۱-۲۶ به ترتیب از راست به چپ ریب افقی، ریب عمودی، افقی مداری و عمودی مداری ۴۰

شکل ۱-۲۷ کلگی مخروطی و رینگ تقویت نصب شده روی آن ۴۲

شکل ۱-۲۸ مدل ابعادی مخروط ۴۳

شکل ۱-۲۹ نمودار زاویه نصب رینگ بر حسب قطر و ضخامت اولیه کلگی برای فشار داخل ۴۵

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۳۰ محل قرارگیری رینگ تقویت ۴۶

شکل ۱-۳۱ نحوه قرارگیری رینگ بر روی کلگی ۴۷

شکل۱-۳۲ نمودار L/t بر حسب d/t برای سه حالت: h/t=./75 ، h/t=1/25 و h/l=1 ..... ۴۸

شکل ۱-۳۳ نمودار درصد کاهش حجم برای سه حالت: h/l=1, h/t=1/25, h/t=0/75 ..... ۴۸

شکل۲-۱ مقادیر فاکتور جوش برای اتصالات مختلف ۵۴

شکل ۲-۲ نمودار D/t بر حسب فشار در محدوده ۱ تا ۱۰ بار ۵۵

شکل ۲-۳ نمودار D/t بر حسب محدوده گسترده ای از فشار ۵۵

شکل۲-۴ ابعاد آویزه و صفحه تقویت آن ۵۸

شکل۲-۵ گشتاور حاصل از نیروهای برشی روی سطح پوسته ۵۹

شکل۲-۶ پارتیشن و مش‌بندی اطراف محل نصب صفحه تقویت ۶۱

شکل ۲-۷ محل‌های نصب صفحه تقویت روی کلگی ۶۳

شکل۲-۸ بررسی محل دقیق موقعیت بحرانی۲ ..... ۶۴

شکل ۳-۱ موقعیت‌های نصب صفحه تقویت روی کلگی ۷۰

شکل۳-۲ نمودار مرزی نیروی مماسی در موقعیت ۱ برای کلگی بدون تقویت $t/d = 1.5$ و $t/d = 3$ ۷۳

شکل۳-۳ نمودار مرزی گشتاور خمشی در موقعیت ۱ برای کلگی بدون تقویت $t/d = 1.5$ و $t/d = 3$ ۷۴

شکل۳-۴ نمودار مرزی نیروی مماسی در موقعیت ۲ برای کلگی بدون تقویت $t/d = 1.5$ و $t/d = 3$ ۷۴

شکل۳-۵ نمودار مرزی گشتاور خمشی در موقعیت ۲ برای کلگی بدون تقویت $t/d = 1.5$ و $t/d = 3$ ۷۴

شکل ۳-۶ نمودار مرزی گشتاور خمشی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 3$ ۷۵

شکل۳-۷ نمودار مرزی گشتاور خمشی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 1.5$ ۷۵

شکل ۳-۸ نمودار مرزی بار مماسی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 3$ ۷۶

شکل۳-۹ نمودار مرزی بار مماسی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 1.5$ ۷۶

شکل ۳-۱۰ تقریب درجه ۳ نمودار مرزی گشتاور خمشی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 3$ ۷۷

شکل۳-۱۱ تقریب درجه ۳ نمودار مرزی گشتاور خمشی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 1.5$ ۷۷

شکل ۳-۱۲ تقریب درجه ۳ نمودار مرزی نیروی مماسی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 3$ ۷۷

شکل۳-۱۳ تقریب درجه ۳ نمودار مرزی نیروی مماسی در دو موقعیت ۱و۲ برای پوسته کلگی با $t/d = 1.5$ ۷۸

شکل ۳-۱۴ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر نیروی مماسی Fa درموقعیت ۱ ..... ۸۰

شکل ۳-۱۵ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر نیروی مماسی Fa درموقعیت ۲ ..... ۸۰

شکل ۳-۱۶ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر نیروی مماسی Ft در موقعیت ۱ ..... ۸۱

شکل ۳-۱۷ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر نیروی مماسی Ft در موقعیت ۲ ..... ۸۱

شکل ۳-۱۸ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر گشتاور خمشی Ma در موقعیت ۱ ..... ۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۳-۱۹ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر گشتاور خمشی $\mathbf{Ma}$ در موقعیت ۲ ۸۳

شکل ۳-۲۰ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر گشتاور خمشی $\mathbf{Mt}$ در موقعیت ۱ ۸۳

شکل ۳-۲۱ تغییر شکل پوسته کلگی تحت اثر گشتاور خمشی $\mathbf{Mt}$ در موقعیت ۲ ۸۳

شکل ۳-۲۲ نمودار مرزی $\boldsymbol{Fa - Ft}$ برای رینگ‌های اولیه ۸۶

شکل ۳-۲۳ نمودار مرزی $\boldsymbol{Ma - Mt}$ برای رینگ‌های اولیه ۸۶

شکل ۳-۲۴ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۱، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۲

شکل ۳-۲۵ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۱، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۲

شکل ۳-۲۶ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۲، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۲

شکل ۳-۲۷ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۲، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۳

شکل ۳-۲۸ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۳، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۳

شکل ۳-۲۹ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۳، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۳

شکل ۳-۳۰ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۴، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۴

شکل ۳-۳۱ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۴، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۴

شکل ۳-۳۲ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۵، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۴

شکل ۳-۳۳ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۵، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۵

شکل ۳-۳۴ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۶، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۵

شکل ۳-۳۵ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۶، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۵

شکل ۳-۳۶ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۷، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۶

شکل ۳-۳۷ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۷، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۶

شکل ۳-۳۸ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۸، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۶

شکل ۳-۳۹ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۸، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۷

شکل ۳-۴۰ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۹، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۷

شکل ۳-۴۱ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۰۹، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۷

شکل ۳-۴۲ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۱۰، $\mathbf{t/d = 3}$ ۱۰۸

شکل ۳-۴۳ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت۰۱،رینگ۱۰، $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۸

شکل ۳-۴۴ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۱، $\mathbf{t/d = 3}$ و $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۹

شکل ۳-۴۵ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۲، $\mathbf{t/d = 3}$ و $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۰۹

شکل ۳-۴۶ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۳، $\mathbf{t/d = 3}$ و $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۱۰

شکل ۳-۴۷ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۴، $\mathbf{t/d = 3}$ و $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۱۰

شکل ۳-۴۸ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۵، $\mathbf{t/d = 3}$ و $\mathbf{t/d = 1.5}$ ۱۱۱

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۳-۴۹ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۶ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۱۱

شکل ۳-۵۰ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۷ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۱۲

شکل ۳-۵۱ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۸ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۱۲

شکل ۳-۵۲ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۰۹ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۱۳

شکل ۳-۵۳ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۱ ،رینگ۱۰ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۱۳

شکل ۳-۵۴ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۱ ، $t/d = 3$ ۱۱۴

شکل ۳-۵۵ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۱ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۴

شکل ۳-۵۶ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۲ ، $t/d = 3$ ۱۱۵

شکل ۳-۵۷ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۲ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۵

شکل ۳-۵۸ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۳ ، $t/d = 3$ ۱۱۵

شکل ۳-۵۹ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۳ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۶

شکل ۳-۶۰ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۴ ، $t/d = 3$ ۱۱۶

شکل ۳-۶۱ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۴ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۶

شکل ۳-۶۲ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۵ ، $t/d = 3$ ۱۱۷

شکل ۳-۶۳ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۵ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۷

شکل ۳-۶۴ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۶ ، $t/d = 3$ ۱۱۷

شکل ۳-۶۵ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۶ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۸

شکل ۳-۶۶ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۷ ، $t/d = 3$ ۱۱۸

شکل ۳-۶۷ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۷ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۸

شکل ۳-۶۸ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۸ ، $t/d = 3$ ۱۱۹

شکل ۳-۶۹ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۸ ، $t/d = 1.5$ ۱۱۹

شکل ۳-۷۰ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۹ ، $t/d = 3$ ۱۱۹

شکل ۳-۷۱ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۰۹ ، $t/d = 1.5$ ۱۲۰

شکل ۳-۷۲ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۱۰ ، $t/d = 3$ ۱۲۰

شکل ۳-۷۳ نمودار مرزی اعمال گشتاور در موقعیت ۰۲ ،رینگ ۱۰ ، $t/d = 1.5$ ۱۲۰

شکل ۳-۷۴ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۱ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۱

شکل ۳-۷۵ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۲ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۲

شکل ۳-۷۶ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۳ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۲

شکل ۳-۷۷ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۴ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۳

شکل ۳-۷۸ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۵ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۳

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۳-۷۹ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۶ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۴

شکل ۳-۸۰ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۷ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۴

شکل ۳-۸۱ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۸ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۵

شکل ۳-۸۲ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۰۹ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۵

شکل ۳-۸۳ نمودار مرزی اعمال نیرو در موقعیت ۰۲ ،رینگ۱۰ ، $t/d = 3$ و $t/d = 1.5$ ۱۲۶

شکل۳-۸۴ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری و کاهش تنش ناشی از Fa در موقعیت۱ ..... ۱۳۰

شکل۳-۸۵ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری و کاهش تنش ناشی از Ft در موقعیت۱ ..... ۱۳۰

شکل۳-۸۶ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری و کاهش تنش ناشی از Ma در موقعیت۱ ..... ۱۳۱

شکل۳-۸۷ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری وکاهش تنش ناشی از Mt در موقعیت۱ ..... ۱۳۱

شکل۳-۸۸ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری و کاهش تنش ناشی از Fa در موقعیت۲ ..... ۱۳۲

شکل۳-۸۹ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری وکاهش تنش ناشی از Ft در موقعیت۲ ..... ۱۳۲

شکل۳-۹۰ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری وکاهش تنش ناشی از Ma در موقعیت۲ ..... ۱۳۳

شکل۳-۹۱ مقایسه افزایش ظرفیت بارپذیری و کاهش تنش ناشی از Mt در موقعیت۲ ..... ۱۳۳

شکل ۳- ۹۲ نمودار مقایسه شاخص‌های هزینه و انتخاب برای کلگی $t/d = 3$ در موقعیت۱ ..... ۱۴۱

شکل ۳-۹۳ نمودار مقایسه شاخص‌های هزینه و انتخاب برای کلگی $t/d = 3$ در موقعیت۲ ..... ۱۴۲

شکل ۳-۹۴ شاخص انتخاب میانگین، موقعیت۱و۲، $t/d = 3$ ۱۴۴

شکل ۴-۱ اندازه گیری کرنش در راستای منطبق بر مختصات xy و نیمساز آن ۱۴۸

شکل ۴-۲ اندازه گیری سه کرنش با زوایای معلوم نسبت به محور x ۱۴۹

شکل ۴-۳ نیروهای وارد بر بازوی گشتاور و اعمال خمش خالص در تکیه گاه ۱۵۲

شکل ۴-۴ قرقرههای شماره ۱ و ۲ جهت انتقال نیرو به بازو ۱۵۳

شکل ۴-۵ موقعیت قرقرهها جهت اعمال گشتاور محیطی ۱۵۳

شکل ۴-۶ موقعیت قرقرهها جهت اعمال گشتاور محوری ۱۵۴

شکل ۴-۷ موقعیت قرقرهها جهت اعمال گشتاور دو بعدی با زاویه θ نسبت به محور افقی ۱۵۴

شکل ۴-۸ دیاگرام آزاد میله با قراردادن جرم m در محل قرقرههای ۱ و ۲ ..... ۱۵۵

شکل ۴-۹ قرقره وسط جهت انتقال نیرویی معادل وزن میله ۱۵۵

شکل ۴-۱۰ تاج (Crown) و knuckle کلگی ۱۵۶

شکل ۴-۱۱ مشخصات کلگی Ellipsiodal 2:1 ..... ۱۵۸

شکل ۴-۱۲ مشخصات کلگی Torispherical ۱۵۸

شکل ۴-۱۳ ابعاد کلگی مورد آزمایش ۱۵۹

شکل ۴-۱۴ قالب ساخت کلگی بیضی‌گون $d=1237mm,t=4mm$ ۱۶۰

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۴-۱۵ کلگی ساخته شده از جنس SS-304 برای انجام آزمایش ۱۶۰

شکل ۴- ۱۶ نصب صفحه تقویت و بوشن روی کلگی در دو موقعیت ۱و۲ ..... ۱۶۱

شکل ۴-۱۶ نصب صفحات تقویت روی کلگی ۱۶۱

شکل ۴-۱۷ جوشکاری دقیق در اطراف صفحات تقویت به کلگی ۱۶۱

شکل ۴-۱۸ نصب کلگی ۱۶۲

شکل ۴-۱۹ اعمال گشتاور خمشی محوری به کلگی در موقعیت۱ ..... ۱۶۳

شکل ۴-۲۰ اعمال گشتاور خمشی محوری به کلگی در موقعیت۲ ..... ۱۶۳

شکل ۴-۲۱ نمایی از بارگذاری تحت زاویه به میله ۱۶۴

شکل ۴-۲۲ نمایی از مکانیزم تکمیل شده جهت اعمال گشتاور ۱۶۴

۴-۲۳ تمیزکاری سطح با سمباده ۱۶۵

شکل ۴-۲۴ استفاده از چتری ۲۴۰ برای صیقلی کردن سطح و صافی مناسب ۱۶۵

شکل ۴-۲۵ تمیز نمودن نهایی با استن ۱۶۵

شکل ۴-۲۶ مشخص کردن موقعیت دقیق نصب کرنش سنج ها ۱۶۶

شکل ۴-۲۷ کرنش سنجهای سه جهته با زاویه ۴۵ درجه ۱۶۷

شکل۴-۲۸ نصب سه کرنش‌سنج در گوشه صفحه تقویت ۱۶۷

شکل ۴-۲۹ نصب کرنش سنجها در راستای محوری و محیطی کلگی ۱۶۸

شکل۴-۳۰ نمودار مرزی نیروی مماسی برای کلگی نمونه آزمایشی در موقعیت۱ ..... ۱۷۰

شکل ۴- ۳۱ نمودار مرزی گشتاور خمشی برای کلگی نمونه آزمایشی در موقعیت۱ ..... ۱۷۰

شکل ۴- ۳۲ نمودار مرزی نیروی مماسی برای کلگی نمونه آزمایشی در موقعیت۲ ..... ۱۷۰

شکل ۴-۳۳ نمودار مرزی گشتاور خمشی برای کلگی نمونه آزمایشی در موقعیت۲ ..... ۱۷۱

شکل ۳-۳۴ اعمال گشتاور با زوایای ۰ ، ۳۰ ،۴۵ ،۶۰ و۹۰ درجه ۱۷۲

شکل ۴-۳۵ تعیین محل دقیق رینگ در داخل کلگی پشت محل نصب صفحه تقویت ۱۷۴

شکل ۴-۳۶ نصب رینگ در محل مشخص شده ۱۷۴

شکل۴-۳۷ اعمال گشتاور تحت زاویه به کلگی تقویت شده ۱۷۵

شکل ۴-۳۸ شماره گذاری کرنش سنج‌های نصب شده روی کلگی ۱۷۵

شکل۴-۳۹ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش برای کلگی بدون تقویت در موقعیت ۱ ..... ۱۸۱

شکل۴-۴۰ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش برای کلگی بدون تقویت در موقعیت ۲ ..... ۱۸۲

شکل۴-۴۱ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش برای کلگی با رینگ تقویت در موقعیت ۱ ..... ۱۸۳

شکل۴-۴۲ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش برای کلگی با رینگ تقویت در موقعیت ۲ ..... ۱۸۴

شکل ۴-۴۳ مقایسه نتایج تحلیل تئوری تغییر تنش بااستفاده از رینگ تقویت در موقعیت۱و کرنش‌سنج‌های۱تا۳ ... ۱۸۸

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۴-۴۴ مقایسه نتایج آزمایش عملی تغییر تنش بااستفاده از رینگ تقویت در موقعیت۱و کرنش‌سنج‌های۱تا۳ ...۱۸۹

شکل ۴-۴۵ مقایسه نتایج تحلیل تئوری تغییر تنش بااستفاده از رینگ تقویت در موقعیت۲و کرنش‌سنج‌های۱تا۳.....۱۹۰

شکل ۴-۴۶ مقایسه نتایج آزمایش عملی تغییر تنش بااستفاده از رینگ تقویت در موقعیت۲و کرنش‌سنج‌های۱تا۳....۱۹۱