بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

# تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **جابر میرزایی بادی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان آنالیز ، طراحی، ساخت و آزمایش مخازن کامپوزیت - فلز تحت فشار داخلی** در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - هوافضا پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما | دکتر غلامحسین رحیمی شعربافان مقدس | استاد | |
| استاد ناظر | دکتر مجید میرزایی | دانشیار | |
| استاد ناظر | دکتر غلامحسین لیاقت | استاد | |
| استاد ناظر | دکتر علی اصغر جعفری | دانشیار | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر مجید میرزائی | دانشیار | |

## آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

**ماده ۱:** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲:** در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی هوافضا است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر غلامحسن رحیمی از آن دفاع شده است.»

**ماده ۳:** به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴:** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵:** دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

**ماده ۶:** اینجانب جابر میرزائی بابادی دانشجوی رشته مهندسی هوافضا مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: جابر میرزائی بابادی

# دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی

## دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵-** این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی: جابر میرزاجعفری

امضاء:

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا

# آنالیز،طراحی،ساخت و آزمایش مخازن کامپوزیت- فلزتحت فشار داخلی

جابر میرزایی بادی

استاد راهنما:
دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف

زمستان ۱۳۹۰

**تقدیم به پدر، مادر و همسر عزیزم:**

که با صبر و تحمل خود تمامی مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمودند و همواره در راه رسیدن به هدف، مشوق و پشتیبانم بودند.

**و با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه آقای دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف که با نکته های دلاویز و گفته های بلند ، صحیفه های سخن را علم پرور نمود وهمواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام واکمال پایان نامه بوده است.**

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

.

# چکیده

در این پایان نامه یک مخزن کامپوزیتی تحت فشار با لاینر فلزی در ناحیه الاستیک مورد بررسی قرار می گیرد. مخزنی که در این پایان نامه مورد بررسی قرار می گیرد بخاطر اینکه کاربرد خاصی در صنایع هوایی دارد دارای ابعاد مشخصی نیز می باشد.در فصل دوم این پایان نامه، لاینر فلزی آنالیز تنش و ساخته می شود و سپس لاینر ساخته شده، مورد آزمایش قرار می گیرد. تمرکز اصلی در این بخش بررسی تاثیر جوش محیطی بر روند توزیع تنش و کرنش می باشد که در تحقیقات قبلی کمتر به این موضوع پرداخته شده است. از جمله نتایج در بخش بررسی اثر جوش در توزیع تنش و کرنش می توان ظاهر شدن تنش فشاری طولی در سطح بالای محل جوشکاری و تنش کششی در سطح بین پوسته مخزن و کمربند جوش اشاره کرد. در ادامه در فصل سوم جهت تقویت مخزن در تحمل تنش و کرنش، مخزن به دو صورت محیطی و مارپیچی کامپوزیت پیچی می گردد بدین منظور جهت ساخت مخزن ابتدا در این فصل زوایا و ضخامت کامپوزیت بر روی مخزن محاسبه می گردد. بر اساس این محاسبات انجام گرفته، کامپوزیت پیچی بر روی لاینر فلزی انجام می گردد. سپس مخزن کامپوزیت پیچی شده مورد آزمایش قرار می گیرد. همچنین در هر فصل از روش عددی هم برای آنالیز تنش و کرنش استفاده شده است که نتایج آنالیز عددی حاصل در هر دو فصل با نتایج تجربی آنها مورد مقایسه قرار می گیرد. نتایج آنالیز عددی و تجربی در تست لاینر فلزی دارای همبستگی بسیار خوبی می باشد اما در فصل بعدی نتایج آنالیز عددی و تجربی به دلیل عدم مدل کردن پیش کشش الیاف کامپوزیت در آنالیز عددی، محدودیت ها و خطاهای ساخت نتایج از همبستگی کمتری برخوردار می باشد.



**کلید واژه:** لاینر فلزی، کامپوزیت، آنالیز عددی، آنالیز تجربی

## فهرست مطالب

عنوان صفحه


فهرست جدول‌ها.....ح

فهرست شکل‌ها .....ط

فصل ۱-ملاحظات عمومی و پیشینه تحقیق .....۱

۱-۱-مقدمه.....۲

۱-۲-معرفی انواع مخازن:.....۲

۱-۲-۱-مخازن نوع اول ، مخازن کاملا فلزی.....۲

۱-۲-۲-مخازن نوع دوم ، مخزن کمرپیچ .....۳

۱-۲-۳-مخازن نوع سوم، مخزن تمام پیچ.....۴

۱-۲-۴-مخازن نوع چهارم ، مخزن تمام کامپوزیتی.....۴

۱-۳ساخت مخزن.....۵

۱-۳-۱-رشته پیچی:.....۵

۱-۳-۲-مزایا و معایب رشته پیچی : .....۵

۱-۳-۳-انواع ماشین های رشته پیچی:.....۶

۱-۳-۴-فرایند تولید:.....۶

۱-۴-مروری بر مقالات :.....۷

۱-۵-اهدف پروژه.....۱۰

۱-۶-نوآوری پروژه.....۱۰

فصل ۲-آنالیز،طراحی،ساخت وتست لاینر فلزی مخزن .....۱۱

طراحی لاینر مخزن.....۱۲

۲-۱-مقدمه ۱۲

۲-۲-مخازن استوانه ای .....۱۲

۲-۲-۱-آنالیز غشایی.....۱۳

۲-۲-۱-۱- آنالیر غشایی استوانه ..... ۱۳
۲-۲-۱-۲- آنالیز غشایی در پوش ها: ..... ۱۴
۲-۲-۲- آنالیز خمشی مخزن: ..... ۱۶
۲-۲-۲-۱- آنالیز خمشی استوانه: ..... ۱۶
۲-۲-۲-۲- آنالیز خمشی کره: ..... ۱۷
۲-۲-۳- ناپیوستگی در مخازن استوانه ای ..... ۱۸
۲-۲-۳-۱- ناپیوستگی بین بدنه استوانه ای و در پوش کروی: ..... ۱۸
۲-۲-۳-۲-محاسبات کمیات در پوسته کروی در اثر نیروی برشی و فشار داخلی ..... ۲۱
۲-۲-۴- محاسبه ضخامت لاینر: ..... ۲۱
۲-۲-۵- ابعاد هندسی مخزن ..... ۲۲
۲-۲-۶- تعیین نوع پوسته: ..... ۲۲
۲-۲-۷- آنالیز غشایی استوانه : ..... ۲۲
۲-۲-۷-۱- آنالیز خمشی و غشایی قسمت استوانه در اثر در پوش نیم کروی ..... ۲۳
۲-۲-۸- آنالیز غشایی در پوش نیم کروی بدون نازل ..... ۲۶
۲-۲-۸-۱- آنالیز خمشی-غشایی در پوش نیم کروی بدون نازل ..... ۲۷
۲-۳-تحلیل عددی لاینر فلزی مخزن ..... ۲۸
۲-۳-۱- مدلسازی لاینر مخزن ..... ۲۸
۲-۳-۲- شبکه بندی لاینر مخزن ..... ۲۸
۲-۳-۳- قید گذاری لاینر مخزن ..... ۲۹
۲-۳-۴- نتایج تحلیل عددی لاینر مخزن ..... ۲۹
۲-۳-۴-۱- نتایج کرنش عددی لاینر مخزن ..... ۲۹
۲-۳-۴-۲-نتایج تنش عددی لاینر مخزن ..... ۳۱
۲-۴-بررسی اثر جوش در توزیع تنش طولی ..... ۳۳
۲-۵-آزمایش لاینر مخزن: ..... ۳۴
۲-۵-۱-نقش و جایگاه آزمایش ..... ۳۵

۲-۵-۲- هدف آزمایش ..... ۳۵
۲-۵-۳- فرضیات آزمایش ..... ۳۵
۲-۵-۴- خواص مکانیکی لاینر فلزی: ..... ۳۶
۲-۵-۴-۱- تست کشش فلز ..... ۳۷
-۵-۵-۲ روش آزمایش ..... ۳۹
۲-۵-۶- وسائل اندازه گیری ..... ۳۹
۲-۵-۶-۱- کرنش سنج های الکتریکی مقاومتی ..... ۳۹
۲-۵-۶-۲-اندازه نگار ..... ۴۰
۲-۵-۶-۳- پمپ ایجاد فشار ..... ۴۰
۲-۵-۶-۴-محل نصب کرنش سنج ها ..... ۴۱
۲-۵-۶-۵-نصب کرنش سنج ها ..... ۴۲
۲-۵-۷- نتایج آزمایش لاینر فلزی ..... ۴۴
۲-۵-۷-۱- نتایج کرنش تجربی لاینر فلزی ..... ۴۴
۲-۵-۷-۲-نتایج تنش تجربی لاینر فلزی ..... ۴۶
۲-۶-مقایسه نتایج تجربی و عددی ..... ۴۸
۲-۶-۱- مقایسه نتایج کرنش عددی و تجربی لاینر فلزی ..... ۴۸
۲-۶-۲- مقایسه نتایج تنش عددی و تجربی لاینر فلزی ..... ۵۰
۲-۷-محاسبه میزان تحمل فشار توسط لاینر فلزی ..... ۵۲
۲-۸-نتایج کلی بدست آمده از بخش لاینر فلزی ..... ۵۲
۲-۸-۱- بررسی نتایج تنش و کرنش طولی ..... ۵۳
۲-۸-۲- بررسی نتایج تنش و کرنش محیطی ..... ۵۴
فصل ۳- آنالیز، طراحی، ساخت و تست مخزن کامپوزیتی ..... ۵۶
۳-۱-مقدمه ..... ۵۷
-۲-۳طراحی ..... ۵۷
۳-۲-۱- فرمول بندی زاویه پیچش ..... ۵۷

۳-۲-۲- کشش در الیاف..... ۵۹
۳-۲-۳- رابطه تنش-کرنش برای لایه ای با جهت دلخواه..... ۶۰
۳-۲-۴- تخمین شکست..... ۶۲
۳-۲-۴-۱- تخمین شکست در یک لایه تک جهته..... ۶۳
۳-۲-۴-۲-معیار شکست اصلاح شده تسای – وو..... ۶۵
۳-۲-۵- روش ژئودزیک..... ۶۶
۳-۲-۵-۱- مسیر ژئودزیک..... ۶۶
۳-۲-۶- تعیین روش رشته پیچی..... ۶۷
۳-۲-۷- تعیین زاویه پیچش..... ۶۷
۳-۲-۷-۱- تعیین زاویه پیچش قسمت استوانه ای..... ۶۷
۳-۲-۷-۲- تعیین زاویه پیچش قسمت کلگی..... ۶۷
۳-۲-۸- محاسبه ضخامت کامپوزیت در روش ژئودزیک..... ۶۸
۳-۲-۸-۱- تعیین ضخامت کامپوزیت در قسمت استوانه ای..... ۶۸
۳-۲-۸-۲- تعیین ضخامت قسمت کلگی مخزن..... ۶۹
۳-۲-۹- جنس مواد رزین و کامپوزیت..... ۷۰
۳-۳-تحلیل عددی مخزن فلز - کامپوزیت..... ۷۰
۳-۳-۱- مدلسازی مخزن..... ۷۰
۳-۳-۲- شبکه بندی..... ۷۱
۳-۳-۳- قید گذاری:..... ۷۱
۳-۳-۴- بارگذاری مخزن..... ۷۲
۳-۳-۵- تحلیل مخزن فلز-کامپوزیتی..... ۷۳
۳-۳-۵-۱- نتایج کرنش تحلیل مخزن..... ۷۳
۳-۳-۵-۲-نتایج تنش عددی مخزن..... ۷۴
۳-۴-ساخت..... ۷۶
۳-۴-۱- ساخت مخزن..... ۷۶

۳-۵-آزمایش مخزن ..... ۷۸
۳-۵-۱- هدف آزمایش ..... ۷۸
۳-۵-۱-۱- فرضیات آزمایش ..... ۷۹
-۲-۵-۳ روش آزمایش..... ۷۹
۳-۵-۳- شرح آزمایش..... ۸۰
۳-۵-۴- نتایج تجربی ..... ۸۰
۳-۵-۴-۱-نتایج کرنش تجربی تست مخزن..... ۸۰
-۲-۴-۵-۳محاسبه تنش های تجربی..... ۸۲
۳-۶-مقایسه نتایج تجربی و عددی..... ۸۵
۳-۶-۱-مقایسه نتایج کرنش تجربی و عددی..... ۸۵
۳-۶-۲-مقایسه نتایج تنش عددی و تجربی مخزن..... ۸۷
۳-۷-نتایج کلی بدست آمده از بخش مخزن کامپوزیتی ..... ۸۹
فصل ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۹۱
۴-۱-نتیجه گیری..... ۹۲
۴-۲-پیشنهادها ..... ۹۲
ضمیمه أ -..... ۹۴
ضمیمه ب -..... ۹۷
فهرست مراجع ..... ۹۸

## فهرست علایم و نشانه‌ها

| عنوان | علامت اختصاری |
|---|---|
| ماتریس بسط داده شده سفتی | A |
| قطر مخزن | $D$ |
| مدول الاستیک کامپوزیت در راستای الیاف | $E_{11}$ |
| مدول الاستیک کامپوزیت در راستای عمود بر الیاف | $E_{22}$ |
| ضرایب استحکام | $F_{ij}$ |
| نیروی منتجه از کشش الیاف | $F_r$ |
| نیروی عمود برسطح | $f_r$ |
| نیروی عمود بر سطح | $f_n$ |
| مدول برشی کامپوزیت | $G_{12}$ |
| طول قسمت استوانه ای مخزن | $L$ |
| فشار | $P$ |
| ماتریس سفتی | $Q$ |
| ماتریس سفتی کاهش یافته | $\overline{Q}$ |
| استحکام کششی طولی | $S_{Lt}$ |
| استحکام فشاری طولی | $S_{Lc}$ |
| استحکام کششی متقاطع | $S_{Tt}$ |
| استحکام فشاری متقاطع | $S_{Tc}$ |
| ضخامت لاینر | $t$ |
| زاویه پیچش | $\alpha$ |
| کرنش | $\varepsilon$ |
| تنش | $\sigma$ |
| تمایل به لیز خوردن | $\lambda$ |
| ضریب اصطکاک | $\mu$ |
| ضریب پواسون | $\upsilon_{12}$ |
| مقاومت گسیختگی لایه در جهت **x** | $X$ |
| مقاومت گسیختگی لایه در جهت **y** | $Y$ |
| شعاع قسمت استوانه ای | $a$ |

| | |
|---|---|
| ممان خمشی بر واحد طول روی صفحات yوx | $M_x, M_y$ |
| ممان شعاعی بر واحد طول | $M_\theta$ |
| تغییر مکانها در راستای x ، y و z | $u, \vartheta, w$ |
| نیروی عمودی بر واحد طول | $N_x$ |
| نیروی شعاعی بر واحد طول | $N_\theta$ |
| ضریب عددی | $\beta$ |
| نیروی برشی بر واحد طول | $Q_x$ |
| تنش عمودی محیطی | $\sigma_\theta$ |
| تنش عمودی نصف النهاری روی صفحه موازی | $\sigma_\varphi$ |
| ضخامت کامپوزیت با زاویه ۹۰درجه در قسمت استوانه ای مخزن | $t_{hoop}$ |
| ضخامت کامپوزیت با زاویه α در قسمت استوانه ای مخزن | $t_{hely}$ |
| کشش در پیچش الیاف | $T$ |
| پهنای باند الیاف | $Bw$ |
| ممان خمشی نصف النهاری بر واحد طول روی صفحه موازی پوسته | $M_\varphi$ |
| کرنش برشی کامپوزیت | $\gamma_{12}$ |
| نیروی نصف النهاری بر واحد طول روی صفحه موازی | $N_\varphi$ |
| نیروی برشی در صفحه xy | $\tau_{xy}$ |

## فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**

جدول ۲-۱ابعاد هندسی مخزن ..... ۲۲
جدول ۳-۱ خواص مکانیکی کامپوزیت ..... ۷۰

## فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه


شکل ۱-۱ مخزن نوع اول با پوسته کاملا فلزی ..... ۳

شکل ۱-۲ مخزن نوع دوم که قسمت استوانه ای کامپوزیت پیچی شده ..... ۳

شکل ۱-۳ مخزن نوع سوم که کاملا روی لاینر فلزی کامپوزیت پیچی شده ..... ۴

شکل ۱-۴ مخزن نوع چهارم که روی لاینر پلیمری کاملا کامپوزیت پیچی شده ..... ۵

شکل ۱-۵ شماتیکی از فرایند رشته پیچی[۳۹] ..... ۶

شکل ۲-۱استوانه مدور تحت بار متقارن، الف: سیستم مقتصات، ب: المان پوسته در خالت غشایی، ج: تصویر تنش محیطی در جهت شعاع[۲۵] ..... ۱۳

شکل ۲-۲ المان پوسته با تقارن محوری، الف: منتجه های تنش روی المان، ب: نیروی محیطی و منتجه شعاعی، ج: مولفه محیطی در اثر منتجه شعاعی، د: مولفه قائم در اثر نیروهای کوهانی[۲۵] ..... ۱۵

شکل ۲-۳ المان پوسته استوانه ای مدور[۲۵] ..... ۱۷

شکل ۲-۴ مخزن استوانه ای با درپوش کروی، الف: تغییر مکان شعاعی، ب: نیروی لبه ای بین استوانه و نیم کره[۲۵] ..... ۱۹

شکل ۲-۵ پوسته کروی با نیروی لبه ای [۲۵] ..... ۲۱

شکل ۲-۶ تغییرات تنش تحلیلی خمشی-غشایی محیطی در قسمت استوانه ای مخزن ..... ۲۵

شکل ۲-۷ تغییرات تنش تحلیلی خمشی-غشایی طولی در قسمت استوانه ای مخزن ..... ۲۵

شکل ۲-۸ تغییرات تنش طولی در ضخامت قسمت استوانه مخزن ..... ۲۶

شکل ۲-۹ تغییرات تنش تحلیلی خمشی-غشایی محیطی در قسمت کلگی مخزن ..... ۲۷

شکل ۲-۱۰ تغییرات تنش تحلیلی خمشی-غشایی نصف النهاری طولی در قسمت کلگی مخزن ۲۸

شکل ۲-۱۱ مخزن شبکه بندی شده ..... ۲۹

شکل ۲-۱۲ کرنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۳۰

شکل ۲-۱۳کرنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰ ..... ۳۰

شکل ۲-۱۴کرنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۳۱

شکل ۲-۱۵ کرنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰ ..... ۳۱
شکل ۲-۱۶تنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۳۲
شکل ۲-۱۷تنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰ ..... ۳۲
شکل ۲-۱۸تنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۳۳
شکل ۲-۱۹تنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰ ..... ۳۳
شکل ۲-۲۰ دیاگرام نیروی برشی و ممان خمشی در انقطاع هندسی بین محل جوش و پوسته ۳۴
شکل ۲-۲۱تنش طولی در سطح بالا و پایین محل جوش ..... ۳۴
شکل ۲-۲۲ دستگاه تست کشش ..... ۳۷
شکل ۲-۲۳ تست کشش نمونه فلز۱ ..... ۳۷
شکل ۲-۲۴تست کشش نمونه فلز ۲ ..... ۳۸
شکل ۲-۲۵ دستگاه اندازه نگار ۱۶ کاناله ..... ۴۰
شکل ۲-۲۶ دستگاه HST با قدرت فشار bar ۱۰۰۰ ..... ۴۱
شکل ۲-۲۷ محل نصب کرنش سنج ها بر روی مخزن ..... ۴۲
شکل ۲-۲۸ نحوه چیدمان کرنش سنج ها ..... ۴۳
شکل ۲-۲۹ شماتیکی از چگونگی آزمایش تجربی مخزن ..... ۴۳
شکل ۲-۳۰کرنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۴۴
شکل ۲-۳۱کرنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰ ..... ۴۵
شکل ۲-۳۲کرنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۴۵
شکل ۲-۳۳کرنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰ ..... ۴۶
شکل ۲-۳۴تنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۴۷
شکل ۲-۳۵تنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰ ..... ۴۷
شکل ۲-۳۶تنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۴۸
شکل ۲-۳۷تنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰ ..... ۴۸
شکل ۲-۳۸مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۴۹
شکل ۲-۳۹مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰ ..... ۴۹

شکل ۲-۴۰مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۴۹
شکل ۲-۴۱مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰..... ۵۰
شکل ۲-۴۲مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۵۰
شکل ۲-۴۳مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰..... ۵۱
شکل ۲-۴۴مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۵۱
شکل ۲-۴۵مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰ .....۵۲
شکل ۲-۴۶ تنش طولی ناحیه بندی شده ..... ۵۳
شکل ۲-۴۷ تنش محیطی ناحیه بندی شده .....۵۴
شکل ۳-۱ هندسه مسیر فایبر بر روی سطح s [۴۰]..... ۵۸
شکل ۳-۲ وضعیت دوبعدی تنش بر روی یک لایه ارتوتروپیک نازک[۵] ..... ۶۳
شکل ۳-۳مقایسه بین معیار شکست، الف: تسای- وو، ب:کرنش بیشینه، ج:آزی- تسای- هیل براساس اطلاعات تجربی کامپوزیت الیاف کربن – رزین اپوکسی[۵] .....۶۵
شکل ۳-۴ شماتیکی از مسیر پیچش ژئودزیک [۴۰].....۶۶
شکل ۳-۵تغییرات شعاع قطاع های کلگی (mm) بر حسب مکان(mm) ..... ۶۸
شکل ۳-۶تغییرات زاویه پیچش الیاف(درجه) برحسب مکان(mm)..... ۶۸
شکل ۳-۷تغییرات ضخامت کامپوزیت(mm)برحسب مکان(mm) ..... ۷۰
شکل ۳-۸ مدلسازی مخزن در نرم افزار..... ۷۱
شکل ۳-۹ مخزن که بر روی سطح آن قید گذاری شده .....۷۲
شکل ۳-۱۰ مخزن در شرایط بار گذاری شده.....۷۲
شکل ۳-۱۱کرنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰..... ۷۳
شکل ۳-۱۲کرنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۷۳
شکل ۳-۱۳کرنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۴۰..... ۷۴
شکل ۳-۱۴کرنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۴۰ ..... ۷۴
شکل ۳-۱۵تنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار bar ۲۰..... ۷۵
شکل ۳-۱۶تنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار bar ۲۰ ..... ۷۵

شکل ۳-۱۷تنش عددی مخزن در راستای طولی در فشار ۴۰ bar..... ۷۶
شکل ۳-۱۸تنش عددی مخزن در راستای محیطی در فشار ۴۰ bar..... ۷۶
شکل ۳-۱۹،لاینر فلزی سوار شده بر روی دستگاه رشته پیچی ..... ۷۷
شکل ۳-۲۰مخزن در حین رشته پیچی..... ۷۷
شکل ۳-۲۱مخزن کامل رشته پیچی شده..... ۷۸
شکل ۳-۲۲مخزن کاملا کامپوزیت پیچی شده که pre coating بروی آن زده شده ..... ۸۰
شکل ۳-۲۳کرنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار ۲۰ bar..... ۸۱
شکل ۳-۲۴کرنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار ۲۰ bar ..... ۸۱
شکل ۳-۲۵کرنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار ۴۰bar..... ۸۲
شکل ۳-۲۶کرنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار ۴۰ bar ..... ۸۲
شکل ۳-۲۷تنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار ۲۰ bar..... ۸۳
شکل ۳-۲۸تنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار ۲۰ bar..... ۸۴
شکل ۳-۲۹تنش تجربی مخزن در راستای طولی در فشار ۴۰ bar..... ۸۴
شکل ۳-۳۰تنش تجربی مخزن در راستای محیطی در فشار ۴۰ bar..... ۸۵
شکل ۳-۳۱مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار ۲۰ bar..... ۸۶
شکل ۳-۳۲مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار ۲۰ bar..... ۸۶
شکل ۳-۳۳مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار ۴۰ bar..... ۸۷
شکل ۳-۳۴مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار ۴۰ bar ..... ۸۷
شکل ۳-۳۵مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار ۲۰ bar..... ۸۸
شکل ۳-۳۶مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار ۲۰ bar..... ۸۸
شکل ۳-۳۷مقایسه کرنش تجربی و عددی مخزن در راستای طولی در فشار ۴۰ bar..... ۸۹
شکل ۳-۳۸مقایسه تنش تجربی و عددی مخزن در راستای محیطی در فشار ۴۰ bar ..... ۸۹