

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ


بسم رب شهدا و صدیقین

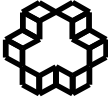
ولا تحسبن الذین قتلوا فی سبیل اللہ امواتا بل احواء عند ربهم یرزقون

تقدیم بہ شہیدان راہ حق

مہدی قبادی و امیر محمودیان

شماره: تاریخ:	تأییدیه هیأت داوران	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
<p>هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان :</p> <p>طراحی ، ساخت و تست رانشگر گاز سرد جهت به کارگیری در شبیه ساز دینامیک وضعیت ماهواره</p> <p>توسط آقای مهدی قبادی ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش مهندسی فضایی در تاریخ...../...../۱۳..... مورد تأیید قرار می دهند.</p>		
امضاء	جناب آقای دکتر مهران میرشمس	۱- استاد راهنمای اول
امضاء	جناب آقای دکتر علیرضا باصحبت نوین زاده	۲- ممتحن داخلی
امضاء	جناب آقای دکتر امیر علی نیکخواه	۳- ممتحن خارجی
امضاء	جناب آقای دکتر امیر علی نیکخواه	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

شماره: تاریخ:	اظهارنامه دانشجو	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
<p>اینجانب مهدی قبادی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش مهندسی فضایی دانشکده هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان</p> <p>طراحی ، ساخت و تست رانشگر گاز سرد جهت به کارگیری در شبیه‌ساز دینامیک وضعیت ماهواره</p> <p>با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر مهران میرشمس، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصلت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.</p> <p style="text-align: right;">امضاء دانشجو:</p> <p style="text-align: right;">تاریخ:</p>		

شماره: تاریخ:	حق طبع و نشر و مالکیت نتایج	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
<p>۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.</p> <p>ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.</p> <p>۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.</p> <p>همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.</p> <p style="text-align: right;">* توجه:</p> <p>این فرم می بایست پس از تکمیل، در نسخ تکثیر شده قرار داده شود.</p>		

تقدیر و تشکر

سپاس بیکران خدای سبحان را که یاری نمود تا بتوانم دوره تحصیلی کارشناسی ارشد خود را با ارائه این پایان نامه به اتمام برسانم. قبل از هر چیز لازم می دانم که از راهنمایی های استاد ارجمند جناب آقای دکتر مهران میرشمس که با صبر و بردباری فراوان مرا راهنمایی و یاری نمودند تشکر نمایم. به طور یقین همت، صبر و تواضع ایشان الگویی به یاد ماندنی برای من خواهد بود.

از آقای مهندس حجت طائی که مرا در مدت اجرای این پروژه مساعدت و همیاری کردند نهایت تشکر را دارم. بدون شک انجام این پروژه بدون همدلی، همکاری و تخصص ایشان بسیار دشوار می نمود.

از آقایان مهندس سجادی، مهندس میردامادیان و مهندس ذبیحیان نیز به خاطر مساعدت در بخش های سخت افزاری و نرم افزاری کمال تشکر را دارم.

در پایان از پدر و مادر عزیز و فداکارم به خاطر حمایت ها، تشویق ها و مساعدت های ایشان که جهت تحصیل در این دوره و کلیه دوران های زندگی مرهون داشته اند صمیمانه و از اعماق وجود تشکر و قدردانی می کنم و خدای را بخاطر این موهبت بزرگ شکر می کنم.

امید است که این پایان نامه در مسیر رشد و تعالی صنعت هوافضای نظام جمهوری اسلامی ایران اقدامی درخور و ارزنده باشد.

چکیده

در این پژوهش هدف اصلی طراحی، ساخت و تست رانشگر گاز سرد با توجه به نیازهای مأموریتی یک شبیه‌ساز سه درجه آزادی دینامیک وضعیت ماهواره است. از این رو در قدم نخست به شناسایی ساختار و مأموریت شبیه‌سازهای دینامیک وضعیت پرداخته شده و کارکرد رانشگرهای گاز سرد در این شبیه‌سازها بررسی شده است. سپس با آشنایی با نیازهای مأموریتی شبیه‌ساز ۱۰۰۱ (ساخته شده در آزمایشگاه تحقیقات فضایی^۱) و مبانی طراحی شیپوره‌ها به طراحی اولیه رانشگر گاز سرد مورد نیاز جهت کنترل وضعیت این شبیه‌ساز پرداخته شده تا مشخصات اولیه آن حاصل گردد. در ادامه با انجام شبیه‌سازی‌های عددی به کمک نرم افزار فلونت نتایج حاصل بررسی شده تا مشخصات نهایی ساخت نمونه تحقیقاتی بدست آید. در نهایت با ساخت و تست نمونه تحقیقاتی و انجام تغییرات در شیپوره این نمونه، نتایج تجربی بدست آمده به همراه نتایج تئوری تحلیل شده و حالت بهینه جهت ساخت نمونه مهندسی بدست آمده است. با ساخت نمونه مهندسی و انجام تست پذیرش باید سایر اجزای سیستم پیشرانش گاز سرد انتخاب، یا در صورت لزوم طراحی و ساخته شوند که در ادامه روند پژوهش به آن پرداخته شده است. همچنین در انتها روند نصب سیستم پیشرانش گاز سرد بر روی شبیه‌ساز ۱۰۰۱ و نتایج عملکرد شبیه‌ساز با مجموعه رانشگرهای گاز سرد انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌ساز سه درجه آزادی کنترل وضعیت ماهواره، رانشگر گاز سرد، شبیه‌سازی عددی، طراحی شیپوره

^۱ دانشکده هوافضا، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

فهرست مطالب

۱.....	فصل ۱) مقدمه
۳.....	۱-۱) شبیه‌سازهای حرکت وضعی
۳.....	۱-۱-۱) شبیه‌ساز حرکت وضعی چرخشی
۶.....	۲-۱) رانشگر گاز سرد
۷.....	۱-۲-۱) شناسایی اجزای رانشگر گاز سرد
۸.....	۲-۱) مروری بر فعالیت‌ها و تحقیقات منتشر شده در داخل کشور
۹.....	۳-۱) مروری بر فعالیت‌ها و تحقیقات منتشر شده در خارج از کشور
۱۱.....	فصل ۲) مبانی طراحی شیپوره رانشگر گاز سرد
۱۱.....	۱-۲) مقدمه
۱۲.....	۲-۲) انواع شیپوره‌ها
۱۷.....	۳-۲) تئوری طراحی شیپوره
۲۰.....	فصل ۳) طراحی اولیه رانشگر گاز سرد (روش تحلیلی)
۲۰.....	۱-۳) مقدمه
۲۱.....	۲-۳) محاسبه ابعاد رانشگر گاز سرد
۲۵.....	۳-۳) محاسبه جرم و حجم سوخت
۲۷.....	۴-۳) بررسی تغییرات دما
۳۱.....	فصل ۴) شبیه‌سازی رانشگر گاز سرد (روش عددی)
۳۱.....	۱-۴) مقدمه
۳۱.....	۲-۴) تولید شبکه در نرم‌افزار گمبیت
۳۴.....	۳-۴) شبیه‌سازی جریان در نرم‌افزار فلوئنت

- ۳۴-۳-۴) تعیین نوع نمونه و محاسبه گر ۳۴
- ۳۴-۳-۴) تعیین شیوه محاسباتی و فرمول بندی حل ۳۴
- ۳۵-۳-۴) تعریف مدل فیزیکی ۳۵
- ۳۵-۳-۴) تنظیم خواص سیال ۳۵
- ۳۶-۳-۴) تعیین شرایط عملکردی ۳۶
- ۳۶-۳-۴) تعیین شرایط مرزی ۳۶
- ۳۸-۳-۴) تعیین شرایط اولیه ۳۸
- ۳۹-۴) نتایج شبیه سازی ۳۹
- ۳۹-۴-۴) شیپوره با نسبت مساحت ۲/۴ و زاویه ۱۵ درجه (نمونه طراحی اولیه) ۳۹
- ۴۲-۴-۴) شیپوره با نسبت مساحت ۲۹ و زاویه ۱۵ درجه (نمونه تحقیقاتی) ۴۲
- ۴۶-۴-۴) شیپوره با نسبت مساحت ۵/۷۶ و زاویه ۱۵ درجه (نمونه مهندسی) ۴۶
- ۴-۵) جمع بندی طراحی اولیه و شبیه سازی شیپوره ۵۰
- فصل ۵) فرآیند ساخت و تست رانشگر گاز سرد ۵۱
- ۵۱-۵) طراحی و ساخت نمونه تحقیقاتی ۵۱
- ۵۲-۵) تست نمونه تحقیقاتی ۵۲
- ۵۲-۲-۵) مبانی تئوری ۵۲
- ۵۳-۲-۵) تجهیزات مورد نیاز ۵۳
- ۵۴-۲-۵) فرآیند تست ۵۴
- ۵۴-۲-۵) تحلیل نتایج ۵۴
- ۳-۵) طراحی و ساخت نمونه مهندسی ۵۷

- ۴-۵) تست پذیرش ۶۵
- ۱-۴-۵) تست‌های بازدید چشمی ۶۵
- ۲-۴-۵) تست‌های فیزیکی ۶۵
- ۳-۴-۵) تست‌های عملکردی ۶۷
- فصل ۶) انتخاب، طراحی و ساخت اجزای سیستم پیشرانس گاز سرد جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۶۸
- ۱-۶) مخزن گاز سرد ۶۸
- ۱-۱-۶) مخازن کامپوزیتی ۷۰
- ۲-۱-۶) انتخاب مخزن کامپوزیتی مناسب جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۷۲
- ۲-۶) رگولاتور (تنظیم کننده فشار) ۷۳
- ۱-۲-۶) معرفی انواع رگولاتورهای گاز ۷۴
- ۲-۲-۶) انتخاب رگولاتور مناسب جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۰
- ۳-۶) فیلتر ۸۲
- ۱-۳-۶) انتخاب فیلتر مناسب جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۲
- ۴-۶) اکومولاتور (حوضچه آرامش) ۸۲
- ۱-۴-۶) طراحی حوضچه آرامش مناسب جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۳
- ۵-۶) شیر سولونوئیدی ۸۳
- ۱-۵-۶) طراحی سولونوئید مناسب جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۵
- فصل ۷) نصب سیستم پیشرانس گاز سرد بر روی شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۶
- ۱-۷) مراحل نصب سیستم پیشرانس گاز سرد بر روی شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۶
- ۱-۱-۷) جانمایی و نصب مخازن گاز سرد ۸۶

۸۷	..... نصب رانشگرهای گاز سرد (۲-۱-۷)
۸۸	..... اتصال رانشگرها و نصب رگولاتور (۳-۱-۷)
۸۹	..... نصب جعبه تقسیم انرژی الکتریکی (۴-۱-۷)
۹۰	..... اتصال سیستم به رایانه مرکزی و نصب نرم افزار (۵-۱-۷)
۹۱	..... فصل ۸) نتایج عملکرد شبیه‌ساز ۱۰۰۱ با مجموعه رانشگرهای گاز سرد
۹۱	..... (۱-۸) استخراج معادلات دینامیکی شبیه ساز ۱۰۰۱
۹۱	..... (۱-۱-۸) استخراج معادلات به روش اویلر
۹۶	..... (۲-۱-۸) استخراج معادلات حرکت سیستم به روش کواترنیون
۹۸	..... (۲-۸) شبیه‌سازی سیستم کنترلی در محیط سیمولینک نرم افزار متلب
۱۰۰	..... (۱-۲-۸) سیستم کنترلی
۱۰۱	..... (۲-۲-۸) طراحی گسسته‌ساز سیستم کنترلی رانشگر گاز سرد
۱۰۵	..... (۳-۸) نتایج عملکرد شبیه‌ساز ۱۰۰۱ با مجموعه رانشگرهای گاز سرد
۱۱۰	..... فصل ۹) جمع‌بندی و پیشنهادات
۱۱۰	..... (۱-۹) جمع‌بندی
۱۱۱	..... (۲-۹) پیشنهادات
۱۱۳	..... پیوست ۱) نرم افزار تحلیل موج ضربه‌ای درون شیپوره رانشگر گاز سرد
۱۱۵	..... پیوست ۲) روشهای ساخت شیپوره
۱۱۷	..... پیوست ۳) آشنایی با انواع لودسل‌ها
۱۱۹	..... پیوست ۴) نتایج اندازه‌گیری رانش برای نمونه‌های تحقیقاتی و مهندسی
۱۲۸	..... مراجع

فهرست تصاویر

- شکل ۱-۱: روندنمای طراحی و ساخت رانشگر گاز سرد ۲
- شکل ۱-۲: a-مدل میزی b-مدل چتری (آزادی حرکتی کامل در یاو). [۳] ۴
- شکل ۱-۳: مدل دمبلی (آزادی کامل در یاو و رول). [۳] ۴
- شکل ۱-۴: شبیه‌ساز حرکت وضعی ۱۰۰۱ ۵
- شکل ۱-۵: نحوه قرارگیری رانشگرهای گاز سرد بر روی هر صفحه ۵
- شکل ۱-۶: سیستم‌های پیشرانش فضایی ۶
- شکل ۱-۷: ساختار کلی رانشگر گاز سرد ۷
- شکل ۱-۲: بررسی ایجاد موج ضربه‌ای در طراحی شیپوره و پدیده جدایش [۸] ۱۲
- شکل ۲-۲: قسمت‌های مختلف شیپوره‌های خارجی و داخلی [۲۲] ۱۳
- شکل ۳-۲: ساختار شیپوره با سیستم کنترل بردار نیروی پیشران به وسیله‌ی تزریق مایع [۲۲] ۱۴
- شکل ۴-۲: نمونه‌ی قسمت ورودی و گلوگاهی شیپوره‌های خارجی و داخلی [۲۲] ۱۵
- شکل ۵-۲: شکل‌های اصلی ناحیه‌ی خروجی شیپوره [۲۲] ۱۶
- شکل ۶-۲: مقایسه‌ی طول و جریان شیپوره‌های مخروطی و پروفیل‌دار با شیپوره ایده‌آل [۲۲] ۱۶
- شکل ۷-۲: نمونه‌ی یک شیپوره معمولی [۱۲] ۱۷
- شکل ۸-۲: نیم زاویه قسمت واگرای شیپوره [۱۲] ۱۹
- شکل ۹-۲: تغییرات بهینه در نمونه شیپوره [۱۲] ۱۹
- شکل ۱-۳: روندنمای طراحی اولیه (روش تحلیلی) ۲۰
- شکل ۲-۳: ضربه ویژه بر حسب نسبت انبساط شیپوره ۲۳
- شکل ۳-۳: قطر گلوگاه شیپوره بر حسب فشار رگولاتور ۲۴
- شکل ۴-۳: نمودار حجم مخزن بر حسب فشار مخزن ۲۶
- شکل ۵-۳: تغییرات دما و فشار مخزن بر حسب زمان. [۸] ۲۸
- شکل ۶-۳: تغییرات جرم گاز مخزن و ضربه ویژه بر حسب زمان. [۸] ۲۸
- شکل ۷-۳: هیتر نمونه ۲۹
- شکل ۸-۳: نرم‌افزار طراحی اولیه رانشگر گاز سرد ۲۹
- شکل ۱-۴: پنجره رسم خطوط در نرم‌افزار گمبیت ۳۲
- شکل ۲-۴: پنجره تولید صفحه در نرم‌افزار گمبیت ۳۲
- شکل ۳-۴: پنجره شبکه‌بندی در نرم‌افزار گمبیت ۳۳

- شکل ۴-۴: پنجره تعیین شرایط مرزی در نرم‌افزار گمبیت ۳۳
- شکل ۴-۵: پنجره تعیین نوع نمونه و محاسبه‌گر در نرم‌افزار فلوئنت ۳۴
- شکل ۴-۶: پنجره تعیین شیوه محاسباتی و فرمول بندی حل در نرم‌افزار فلوئنت ۳۵
- شکل ۴-۷: پنجره تعیین مدل فیزیکی در نرم‌افزار فلوئنت ۳۵
- شکل ۴-۸: پنجره تعیین خواص سیال در نرم‌افزار فلوئنت ۳۶
- شکل ۴-۹: پنجره تعیین شرایط عملکردی در نرم‌افزار فلوئنت ۳۶
- شکل ۴-۱۰: پنجره تعیین شرایط مرزی در نرم‌افزار فلوئنت ۳۷
- شکل ۴-۱۱: پنجره تعیین شرایط مرزی در نرم‌افزار فلوئنت ۳۷
- شکل ۴-۱۲: پنجره تعیین شرایط اولیه در نرم‌افزار فلوئنت ۳۸
- شکل ۴-۱۳: پنجره تعیین شروع حل شرایط اولیه در نرم‌افزار فلوئنت ۳۸
- شکل ۴-۱۴: کانتور تغییرات ماخ در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۳۹
- شکل ۴-۱۵: کانتور تغییرات سرعت در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۳۹
- شکل ۴-۱۶: بردار تغییرات سرعت در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۴۰
- شکل ۴-۱۷: بردار تغییرات سرعت در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۴۰
- شکل ۴-۱۸: کانتور تغییرات فشار استاتیک در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۴۱
- شکل ۴-۱۹: کانتور تغییرات دما در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۴۱
- شکل ۴-۲۰: کانتور تغییرات چگالی در شیپوره نمونه طراحی اولیه ۴۲
- شکل ۴-۲۱: کانتور تغییرات ماخ در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۲
- شکل ۴-۲۲: کانتور تغییرات ماخ در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۳
- شکل ۴-۲۳: کانتور تغییرات سرعت در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۳
- شکل ۴-۲۴: بردار تغییرات سرعت در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۴
- شکل ۴-۲۵: بردار تغییرات سرعت در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۴
- شکل ۴-۲۶: کانتور تغییرات فشار استاتیک در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۵
- شکل ۴-۲۷: کانتور تغییرات دما در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۵
- شکل ۴-۲۸: کانتور تغییرات چگالی در شیپوره نمونه تحقیقاتی ۴۶
- شکل ۴-۲۹: کانتور تغییرات ماخ در شیپوره نمونه مهندسی ۴۷
- شکل ۴-۳۰: کانتور تغییرات سرعت در شیپوره نمونه مهندسی ۴۷
- شکل ۴-۳۱: بردار تغییرات ماخ در شیپوره نمونه مهندسی ۴۸
- شکل ۴-۳۲: بردار تغییرات ماخ در شیپوره نمونه مهندسی ۴۸

- شکل ۴-۳۳: کانتور تغییرات فشار استاتیک در شیپوره نمونه مهندسی ۴۹
- شکل ۴-۳۴: کانتور تغییرات دما در شیپوره نمونه مهندسی ۴۹
- شکل ۴-۳۵: کانتور تغییرات چگالی در شیپوره نمونه مهندسی ۵۰
- شکل ۵-۱: نقشه ساخت و شماتیک نمونه تحقیقاتی ۵۱
- شکل ۵-۲: نمونه تحقیقاتی رانشگر گاز سرد ۵۲
- شکل ۵-۳: نیروسنج (لودسل) مورد استفاده در فرآیند تست ۵۳
- شکل ۵-۴: ولت متر مورد استفاده در فرآیند تست ۵۳
- شکل ۵-۵: کالیبراتور نیرو مورد استفاده در فرآیند تست ۵۳
- شکل ۵-۶: منبع تغذیه مورد استفاده در فرآیند تست ۵۴
- شکل ۵-۷: رانشگر نمونه تحقیقاتی ؛ طول شیپوره ۸ میلی متر ۵۴
- شکل ۵-۸: نمودار تغییرات نیرو بر حسب طول شیپوره ۵۵
- شکل ۵-۹: نقشه ساخت و شماتیک نمونه مهندسی ۵۷
- شکل ۵-۱۰: نمای سه بعدی قطعات رانشگر گاز سرد ۵۷
- شکل ۵-۱۱: نقشه ساخت بدنه خارجی رانشگر گاز سرد (شماره ۱) ۵۸
- شکل ۵-۱۲: بدنه خارجی رانشگر گاز سرد (شماره ۱) ۵۸
- شکل ۵-۱۳: نقشه ساخت قرقره میانی رانشگر گاز سرد (شماره ۲) ۵۹
- شکل ۵-۱۴: مرحله تراشکاری قرقره میانی رانشگر گاز سرد (شماره ۲) ۵۹
- شکل ۵-۱۵: بدنه اصلی و سری دو طرفه قرقره میانی رانشگر گاز سرد (شماره ۲) ۶۰
- شکل ۵-۱۶: قرقره میانی رانشگر گاز سرد قبل از سیمپیچی (شماره ۲) ۶۰
- شکل ۵-۱۷: قرقره میانی نهایی رانشگر گاز سرد (شماره ۲) ۶۰
- شکل ۵-۱۸: نقشه ساخت بدنه داخلی رانشگر گاز سرد (شماره ۳) ۶۱
- شکل ۵-۱۹: مرحله خم کاری بدنه داخلی رانشگر گاز سرد (شماره ۳) ۶۱
- شکل ۵-۲۰: مرحله جوش و تراشکاری نهایی بدنه داخلی رانشگر گاز سرد (شماره ۳) ۶۱
- شکل ۵-۲۱: نقشه ساخت لوله میانی متحرک رانشگر گاز سرد (شماره ۴) ۶۲
- شکل ۵-۲۲: لوله میانی متحرک رانشگر گاز سرد (شماره ۴) ۶۲
- شکل ۵-۲۳: نقشه ساخت شیپوره رانشگر گاز سرد (شماره ۵) ۶۳
- شکل ۵-۲۴: شیپوره رانشگر گاز سرد (شماره ۵) ۶۳
- شکل ۵-۲۵: شماتیک رانشگر گاز سرد نمونه مهندسی ۶۴
- شکل ۵-۲۶: رانشگر گاز سرد نمونه مهندسی ۶۴

- شکل ۵-۲۷: اتصال زوج رانشگرها به برد تقسیم انرژی الکتریکی ۶۴
- شکل ۵-۲۸: ترازوی دیجیتالی مورد استفاده در فرآیند تست ۶۶
- شکل ۵-۲۹: کولیس مورد استفاده در فرآیند تست ۶۶
- شکل ۶-۱: مخزن کامپوزیتی مورد استفاده در شبیه‌ساز SATSIM [۱] ۶۸
- شکل ۶-۲: مخزن فلزی کروی گاز زنون، محصول شرکت SURREY [۱] ۶۹
- شکل ۶-۳: مخزن فلزی استوانه‌ای، محصول شرکت SURREY [۱] ۶۹
- شکل ۶-۴: دسته‌بندی انواع کامپوزیت‌ها [۳۷] ۷۱
- شکل ۶-۵: مخزن کامپوزیتی ۹ لیتری استفاده شده در سیستم گاز سرد ۷۳
- شکل ۶-۶: نمونه مقطع رگولاتور تک مرحله‌ای Gloor-art5100 [۳۸] ۷۴
- شکل ۶-۷: رگولاتور دو مرحله‌ای Wescol [۳۹] ۷۵
- شکل ۶-۸: تغییرات فشار خروجی با افت فشار مخزن [۳۵] ۷۵
- شکل ۶-۹: رگولاتور سری Exact-FM55 [۳۵] ۷۶
- شکل ۶-۱۰: رگولاتور پنل اتوماتیک BT-Spectrotec [۳۵] ۷۶
- شکل ۶-۱۱: رگولاتور نقطه مصرف spectrolab [۳۵] ۷۷
- شکل ۶-۱۲: رگولاتور بین خطی LM-51 Spectron [۳۵] ۷۷
- شکل ۶-۱۳: پانل‌های غیر اتوماتیک BM-65 [۳۵] ۷۷
- شکل ۶-۱۴: نمونه معمولی یک میکرو تنظیم کننده فشار [۲۲] ۷۸
- شکل ۶-۱۵: رگولاتور انتخابی جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ [۳۵] ۸۱
- شکل ۶-۱۶: ابعاد رگولاتور انتخابی جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ [۳۵] ۸۱
- شکل ۶-۱۷: فیلترهای FITOK [۴۱] ۸۲
- شکل ۶-۱۸: مخازن جدار نازک قابل استفاده به عنوان اکومولاتور [۴۰] ۸۳
- شکل ۶-۱۹: رینگ ساخته شده، جایگزین اکومولاتور ۸۳
- شکل ۶-۲۰: ساختار سلونوئید ۸۴
- شکل ۶-۲۱: ساختار یک شیر سلونوئیدی ۱- بدنه شیر ۲- ورودی ۳- خروجی ۸۴
- شکل ۶-۲۲: نمونه شیر سلونوئیدی [۴۰] ۸۴
- شکل ۶-۲۳: قرقره، سیم پیچ و هسته سلونوئید ساخته شده ۸۵
- شکل ۷-۱: جانمایی مخازن کامپوزیت به صورت قرینه و نحوه اتصال ۸۶
- شکل ۷-۲: نحوه اتصال دو مخزن جهت هم فشاری ۸۷
- شکل ۷-۳: اتصال جهت پر کردن مخزن توسط مخزن خارجی ۸۷

- شکل ۷-۴: رانشگر گاز سرد نهایی به همراه برد تقسیم انرژی و اتصال پنوماتیکی ۸۷
- شکل ۷-۵: نحوه اتصال رانشگرهای گاز سرد بر روی هر صفحه شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۸
- شکل ۷-۶: لوله‌های استنلس استیل جهت ایجاد شبکه پنوماتیکی ۸۸
- شکل ۷-۷: رگولاتور بین خطی Exact و نحوه اتصال و قرارگیری بر روی شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۹
- شکل ۷-۸: باتریهای مورد استفاده جهت تأمین انرژی الکتریکی رانشگرهای گاز سرد ۸۹
- شکل ۷-۹: تقسیم کننده انرژی الکتریکی ۸۹
- شکل ۷-۱۰: مبدل USB پردازنده مرکزی ۹۰
- شکل ۷-۱۱: پردازنده مرکزی در حال اجرا نرم‌افزار کنترلی ۹۰
- شکل ۸-۱: محورهای چرخش [۳] ۹۲
- شکل ۸-۲: چرخش یاو، پیچ، رول ۹۵
- شکل ۸-۳: تصویری از صفحه اصلی شبیه‌سازی در نرم‌افزار سیمولینک ۹۹
- شکل ۸-۴: نمونه‌ای از یک کنترلر PD [۲۳] ۱۰۰
- شکل ۸-۵: کنترلر PD طراحی شده برای شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۱۰۱
- شکل ۸-۶: مدل کنترل وضعیت یک فضاپیما توسط رانشگر عکس‌العملی. [۲۳] ۱۰۲
- شکل ۸-۷) گسسته‌ساز PWWF [۲۳] ۱۰۳
- شکل ۸-۸: گسسته‌ساز PWWF شبیه‌سازی شده برای مجموعه رانشگرهای گاز سرد ۱۰۴
- شکل ۸-۹: نمودار تغییرات زوایای یاو، پیچ و رول در حین انجام مانور ۱۰۵
- شکل ۸-۱۰: نمودار تغییرات نرخ‌های بدنی p, q, r در حین انجام مانور ۱۰۶
- شکل ۸-۱۱: نمودار تغییرات گشتاورهای کنترلی ۱۰۷
- شکل ۸-۱۲: نمودار رانش تولید شده توسط یک جفت رانشگر محور یاو ۱۰۷
- شکل ۸-۱۳: نمودار رانش تولید شده توسط یک جفت رانشگر محور پیچ ۱۰۸
- شکل ۸-۱۴: نمودار رانش تولید شده توسط یک جفت رانشگر محور رول ۱۰۸
- شکل ۱: وارد کردن مشخصات گاز و نسبت فشار و مساحت [۳۲] ۱۱۳
- شکل ۲: مشاهده ایجاد موج ضربه‌ای در شیپوره [۳۲] ۱۱۴
- شکل ۳: شیپوره با خروجی دو بعدی (مدل «بایت») [۱۴] ۱۱۵
- شکل ۴: نمونه لودسل فشاری ۱۱۷
- شکل ۵: نمونه لودسل فشاری ۱۱۷
- شکل ۶: نمونه لودسل خمشی ۱۱۸
- شکل ۷: نمونه لودسل تک پایه ۱۱۸

- شکل ۸: حالت ۱: طول شیپوره ۸ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۵ نیوتون ۱۱۹
- شکل ۹: حالت ۲: طول شیپوره ۷.۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۲ نیوتون ۱۱۹
- شکل ۱۰: حالت ۳: طول شیپوره ۷ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۵ نیوتون ۱۲۰
- شکل ۱۱: حالت ۴: طول شیپوره ۶/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۷ نیوتون ۱۲۰
- شکل ۱۲: حالت ۵: طول شیپوره ۶ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۷ نیوتون ۱۲۱
- شکل ۱۳: حالت ۶: طول شیپوره ۵/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۸ نیوتون ۱۲۱
- شکل ۱۴: حالت ۷: طول شیپوره ۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۸ نیوتون ۱۲۲
- شکل ۱۵: حالت ۸: طول شیپوره ۴/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۲۲ نیوتون ۱۲۲
- شکل ۱۶: حالت ۹: طول شیپوره ۴ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۲۳ نیوتون ۱۲۳
- شکل ۱۷: حالت ۱۰: طول شیپوره ۳/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۲۹ نیوتون ۱۲۳
- شکل ۱۸: حالت ۱۱: طول شیپوره ۳ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۳۴ نیوتون ۱۲۴
- شکل ۱۹: حالت ۱۲: طول شیپوره ۲/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۳۶ نیوتون ۱۲۴
- شکل ۲۰: حالت ۱۳: طول شیپوره ۲ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۳۴ نیوتون ۱۲۵
- شکل ۲۱: حالت ۱۴: طول شیپوره ۱/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۹ نیوتون ۱۲۵
- شکل ۲۲: حالت ۱۵: طول شیپوره ۱ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۱۴ نیوتون ۱۲۶
- شکل ۲۳: حالت ۱۶: طول شیپوره ۱/۵ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۰/۹۲ نیوتون ۱۲۶
- شکل ۲۴: حالت ۱۷: طول شیپوره ۱/۱ میلی متر؛ حداکثر نیروی رانش ۱/۲۵ نیوتون ۱۲۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مشخصات و نیازهای ماموریتی شبیه‌ساز ۱۰۰۱ [۱] ۵
- جدول ۲-۱: مشخصات رانشگر گاز سرد صنعت سامانه‌های فضایی صایران [۳۰] ۹
- جدول ۳-۱: نتایج تست اندازه‌گیری رانش در محیط جو [۳۰] ۹
- جدول ۴-۱: مشخصات نمونه رانشگرهای گاز سرد شرکت Marotta و Moog [۳۵] ۱۰
- جدول ۱-۳: خواص فیزیکی گازهای سرد [۹] ۲۲
- جدول ۲-۳: پارامترهای جرمی، عملکردی سیستم پیشرانس گاز سرد (طراحی اولیه) ۲۷
- جدول ۳-۳: پارامترهای جرمی، عملکردی سیستم پیشرانس گاز سرد ۳۰
- جدول ۱-۵: پارامترهای جرمی، عملکردی سیستم پیشرانس گاز سرد (نمونه مهندسی) ۵۶
- جدول ۲-۵: مشخصات ساخت بدنه خارجی رانشگر گاز سرد ۵۸
- جدول ۳-۵: مشخصات ساخت قرقره میانی رانشگر گاز سرد ۵۹
- جدول ۴-۵: مشخصات ساخت بدنه داخلی رانشگر گاز سرد ۶۱
- جدول ۵-۵: مشخصات ساخت لوله میانی متحرک رانشگر گاز سرد ۶۲
- جدول ۶-۵: مشخصات ساخت شیپوره رانشگر گاز سرد ۶۳
- جدول ۷-۵: تست بازرسی چشمی سیستم پیشرانس گاز سرد ۶۵
- جدول ۸-۵: تست فیزیکی سیستم پیشرانس گاز سرد ۶۶
- جدول ۹-۵: تستهای عملکردی زیر سیستم رانشگر گاز سرد ۶۷
- جدول ۱-۶: مشخصات کاری رگولاتور انتخابی جهت به‌کارگیری در شبیه‌ساز ۱۰۰۱ [۳۶] ۸۱
- جدول ۲-۶: مشخصات سولونوئید رانشگر گاز سرد شبیه‌ساز ۱۰۰۱ ۸۵
- جدول ۱-۸: ضرایب گسسته‌ساز PWWF [۲۴] ۱۰۴
- جدول ۲-۸: انتخاب ضرایب کنترلی برای سه محور یاو، پیچ و رول ۱۰۵

فهرست علائم

واحد	توضیح	پارامتر
N	نیروی پیشران	T
kg/s	دبی خروجی شیپوره	\dot{m}
m/s	سرعت خروجی شیپوره	V_e
Pa	فشار خروجی شیپوره	p_e
Pa	فشار محیط	p_a
Pa	فشار محفظه	p_c
Pa	فشار فشارشکن	p_r
mm	قطر خروجی شیپوره	D_e
mm	قطر گلوگاه شیپوره	D_t
J/kg-k	ثابت گازها	R
K	دمای محفظه	T_c
-	ماخ خروجی شیپوره	M_e
-	سرعت صوت	a_0
-	نسبت گرمای ویژه	γ
m/s	سرعت مشخصه	C^*
s	ضربه مخصوص	I_{sp}
m/s^2	شتاب جاذبه	g_0
-	بازده شیپوره	λ
kg	جرم سوخت	m_p
kg	جرم باقی مانده در مخزن	m_r
m^3	حجم مخزن	V_t
J/kg	آنتالپی	h
deg	نیم زاویه شیپوره	θ
-	نسبت انبساط شیپوره	ε
deg	میزان انحراف	δ
mm	قطر داخلی سوپاپ شیر	d_i
mm	قطر خارجی نشیمن گاه	d_0
mm^2	حداقل سطح فیلتر	A_f
-	درصد تخلخل	N

فصل ۱) مقدمه

یکی از چالش‌های مهم در پروژه‌های طراحی و ساخت ماهواره، اطمینان از عملکرد صحیح آن در طی مأموریت است. زیرا در این پروژه‌ها، که غالباً هزینه‌های سنگینی را در بردارند، در صورت عدم عملکرد صحیح ماهواره پس از قرارگیری در مدار، دسترسی جهت رفع نقص آن‌ها وجود ندارد. از این‌رو شبیه‌سازی از اهمیت خاصی در صنایع فضایی برخوردار است. یکی از قابل‌اطمینان‌ترین روش‌های شبیه‌سازی، شبیه‌سازی سخت‌افزار در حلقه دینامیک وضعیت است، که به ما این امکان را می‌دهد تا بتوانیم زیرسیستم‌های مورد استفاده در ماهواره را بر روی این شبیه‌سازها تست نموده و از عملکرد صحیح آن‌ها اطمینان حاصل نماییم. یکی از این زیر سیستم‌ها، رانشگر جهت کنترل وضعیت ماهواره است، که در بسیاری از ماهواره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت پاسخ رانشگرها در کنار دقت چرخ‌های عکس‌العملی یک مجموعه کامل را برای سیستم کنترل وضعیت ماهواره به وجود می‌آورد. بنابراین با توجه به اهمیت حصول اطمینان از عملکرد صحیح رانشگرها در سیستم کنترل وضعیت ماهواره، لزوم به‌کارگیری آن‌ها در شبیه‌سازهای کنترل وضعیت ماهواره امری ضروری به نظر می‌رسد.

در ادامه جهت مشخص شدن مراحل انجام پژوهش روندنمای طراحی، ساخت و تست رانشگر گاز سرد را در شکل ۱-۱ مشاهده می‌نمایید.