



دانشگاه حاشتی خواجه نصیرالدین طوسی  
تاسیس ۱۳۲۷

دانشکده مهندسی هوافضا

**پایان نامه کارشناسی ارشد**

**گرایش مهندسی فضا**

**طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری در یک انتقال بهینه مداری با استفاده**

**از موتور سوخت مایع**

**استاد راهنما:**

**آقای دکتر نوین زاده**

**نگارش:**

**هژیر ضیایی جم**

**مهر ۱۳۸۹**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
تاسیس ۱۳۷۲

### دانشکده مهندسی هوا فضا

هیئت داوران پس از مطالعه ی پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:  
(طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری در یک انتقال بهینه مداری با استفاده از موتور سوخت مایع)) ،  
توسط هژیر ضیایی جم صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه ی کارشناسی ارشد در  
رشته ی مهندسی هوافضا گرایش مهندسی فضایی مورد تایید قرار می دهد.

- |                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| ۱.استاد راهنما                    | آقای دکتر علیرضا نوین زاده |
| ۲. ممتحن داخلی                    | آقای دکتر مهران میرشمس     |
| ۳. ممتحن خارجی                    | آقای دکتر محسن بهرامی      |
| ۴. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه | آقای دکتر نیکخواه          |

## اظہار نامہ

موضوع پایان نامہ : طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری در یک انتقال بهینه مداری با استفاده از

موتور سوخت مایع

استاد راهنما : آقای دکتر علیرضا نوین زاده

دانشجو : هژیر ضیایی جم

شماره ی دانشجویی : ۸۷۰۱۲۹۴

اینجانب هژیر ضیایی جم دانشجوی دوره ی کارشناسی ارشد مهندسی هوا فضا گرایش مهندسی فضایی دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامہ توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می باشد و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می نمایم کہ مطالب مندرج در پایان نامہ تاکنون برای دریافت هیچ مدرکی یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامہ چارچوب مطلوب دانشگاه به طور کامل رعایت شده است.

تاریخ.....

## حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱. حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی هوا فضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد. ضمناً متن این صفحه باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

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.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع، مجاز نمی باشد.

آرمانخواهی آنان متلزم صبر بر رنج‌هاست  
پس برادر خوبم ، برای جانبازی در راه  
آرمانها یاد بگیر که در این سیاره رنج صبورترین

انانها باشی

شهید مرتضی آوینی

تقدیرم به همه شهیدان میهن اسلامی ایران

با تشکر از زحمات همسر عزیزم که عاشقانه و صبورانه

سختی‌های زندگی را بر من شیرین نمود.

### چکیده

در این تحقیق به دنبال بهینه‌سازی مسیر پروازی یک بلوک انتقال مداری جهت انتقال از مدار پارک به مدار زمین آهنگ و طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری در این انتقال بهینه می‌باشیم. این تحقیق در ادامه تحقیقات صورت گرفته در زمینه طراحی بلوک انتقال مداری می‌باشد، هدف از آن بهینه کردن روش طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری می‌باشد. جهت بهینه سازی از روشی موسوم به گرادیان نزولی (Steepest Descent) استفاده شده است، این روش دارای انعطاف پذیری بالا و سرعت مناسب می‌باشد پارامتر بهینه شده در این تحقیق کار کنترلی می‌باشد که اثر مستقیم بر روی مصرف سوخت دارد. همچنین جهت صحت سنجی نتایج بدست آمده از روش‌های کلاسیک و شبیه‌سازی توسط نرم افزار STK استفاده شده است. نتایج حاصله بیانگر این است که مصرف سوخت در مانوری که نازل آن دارای گیمبال باشد تا حدود زیادی کاهش می‌یابد. این کاهش میزان سوخت منجر به افزایش راندمان بلوک و کاهش در هزینه‌ها می‌باشد. در روش طراحی سیستمی نیز جهت محاسبه وزن سوخت و زمان سوزش از روش‌های آماری استفاده نشده و از نتایج بهینه سازی انتقال مداری بهره گیری شده است.

**کلمات کلیدی:** بلوک انتقال مداری، بهینه سازی مسیر-گرادیان نزولی-مصرف سوخت

فصل ۱ شناسایی بلوکهای انتقال مداری ..... ۱

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- مروری اجمالی بر گزارش ..... ۴
- ۳-۱- بررسی بلوکهای انتقال مداری موجود در دنیا ..... ۵
  - ۱-۳-۱- موشک پروتون ..... ۵
  - ۲-۳-۱- موشک سایوز ..... ۱۴
  - ۳-۳-۱- موشک دلتا ۲ ..... ۱۹
- ۴-۱- شناسایی زیر سیستمهای بلوک انتقال مداری ..... ۲۲
  - ۱-۴-۱- ساختار بلوک انتقال مداری ..... ۲۲
  - ۲-۴-۱- ماتریسهای طراحی هر زیرسیستم ..... ۲۳
  - ۳-۴-۱- مجموعه سازه بدنه (سازه بدنه و تقویت کننده) ..... ۲۳
  - ۴-۴-۱- سیستمهای پیشرانه فضایی ..... ۲۵
  - ۵-۴-۱- سیستم تغذیه ..... ۳۲
  - ۶-۴-۱- نگه دارنده ها ..... ۳۵
  - ۷-۴-۱- الزامات آداپتور و سیستم جدایش آن ..... ۳۶
  - ۸-۴-۱- الزامات مجموعه سخت افزار سیستم هدایت و کنترل (IMU، کامپیوتر پرواز، سیستم تغذیه و کابلاژ و تله متری) ..... ۳۹
  - ۹-۴-۱- الزامات شرایط پاکیزگی و آلودگی ..... ۳۹

فصل ۲ طراحی هدایت بهینه در انتقال مداری ..... ۴۱

- ۱-۲- مقدمه‌ایی بر روش گرادیان نزولی ..... ۴۲
  - ۱-۱-۲- روش گرادیان نزولی ..... ۴۲
  - ۲-۱-۲- حداقل نمودن تابع به کمک روش گرادیان نزولی ..... ۴۵
  - ۳-۱-۲- الگوریتم روش گرادیان نزولی ..... ۴۷
- ۲-۲- طراحی هدایت بهینه برای انتقال مداری ..... ۴۹
  - ۱-۲-۲- فرضیات ..... ۴۹
  - ۲-۲-۲- معادلات حاکم و معیار بهینه‌گی ..... ۵۲
  - ۳-۲-۲- شرایط اولیه و انتهایی ..... ۵۷
- ۳-۲- طراحی بوسیله هاهمن ..... ۵۷
  - ۱-۳-۲- تدوین معادلات ..... ۵۷



## فهرست عناوین

۵۸	۲-۳-۲- انتقال هاهمن.....
۶۱	۳-۳-۲- محاسبه زمان سوزش در انتقال هاهمن.....
۶۲	۴-۲- طراحی بوسیله نرم افزار STK.....
۶۲	۲-۴-۱- نتایج شبیه سازی به کمک STK در روش تک پالس اغتشاشی.....
۶۳	۲-۴-۲- نتایج شبیه سازی به کمک STK در روش اغتشاشی غیر ایمپالسی.....
۶۸	۲-۵- نتایج حاصل از بکارگیری روش گرادیان نزولی برای حل مسئله.....
۷۳	۲-۵-۱- بررسی تغییرات زاویه بردار تراست در طول زمان.....
۷۵	۲-۶- مقایسه میزان انرژی و سوخت مصرفی در حالت‌های مختلف.....
۷۹	فصل ۳ طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری در یک انتقال بهینه مداری با سوخت مایع.....
۸۰	۳-۱- طراحی مفهومی.....
۸۰	۳-۱-۱- متغیرهای ورودی.....
۸۱	۳-۱-۲- متغیرهای طراحی.....
۸۲	۳-۱-۳- قیود طراحی.....
۸۲	۳-۱-۴- روابط حاکم بر طراحی موشک.....
۸۳	۳-۲- پیکربندی جرمی.....
۸۶	۳-۲-۱- انتخاب سوخت [۲].....
۸۷	۳-۳- تعیین چرخه طراحی موتور.....
۹۱	۳-۳-۱- مقادیر پارامترهای مستقل طراحی موتور.....
۹۳	۳-۳-۲- طراحی مبنی بر شرایط کنترلی بلوک انتقال مداری.....
۹۶	۳-۳-۳- طراحی نازل.....
۹۷	۳-۳-۴- طراحی محفظه احتراق.....
۱۰۰	۳-۳-۵- تخمین جرمی و ابعادی موتور.....
۱۰۱	۳-۳-۶- تخمین جرم نازل و محفظه احتراق.....
۱۰۲	۳-۳-۷- متد جرم محفظه احتراق.....
۱۰۳	۳-۳-۸- متد تخمین جرم نازل.....
۱۰۴	۳-۳-۹- خنک کاری در موتور.....
۱۰۶	۳-۳-۱۰- تغییر در نیروی رانش.....
۱۰۸	۳-۴- طراحی سیستم تغذیه بلوک انتقال مداری.....
۱۱۰	۳-۴-۱- طراحی سیستم توربوپمپی.....
۱۱۵	۳-۴-۲- روابط اصلی حاکم بر طراحی توربوپمپ.....

## فهرست عناوین

۱۱۸	۳-۴-۳- طراحی سیستم فشاری.....
۱۲۲	۴-۴-۳- طراحی جرمی و ابعادی سیستم تغذیه فشاری.....
۱۲۳	۵-۴-۳- محاسبه دبی جرمی دمشی.....
۱۲۴	۶-۴-۳- تعداد مخازن هلیوم.....
۱۲۵	۷-۴-۳- تخمین جرم هلیوم.....
۱۲۷	۸-۴-۳- هیتزگذاری مخازن هلیوم.....
۱۲۹	۵-۳- طراحی حجم و جرم مخازن بلوک انتقال مداری.....
۱۳۶	۶-۳- طراحی ابعادی بلوک انتقال مداری.....
۱۳۷	۷-۳- الگوریتم بارگذاری و سازه بلوک انتقال مداری.....
۱۳۹	۱-۷-۳- حالت بارگذاری حداکثر نیروهای آیرودینامیکی.....
۱۴۲	۲-۷-۳- حالت بارگذاری حداکثر شتاب محوری.....
۱۴۳	۳-۷-۳- تعیین ضخامت پوسته.....
۱۴۴	۴-۷-۳- روند طراحی پوسته به همراه تقویت کننده عرضی.....
۱۴۸	۸-۳- توزیع جرمی.....
۱۵۵	۹-۳- انتهای دور طراحی.....
۱۵۶	۱۰-۳- چارت های طراحی سیستمی.....
۱۶۲	۶ فصل ۶- تدوین کد طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری.....
۱۶۳	۱-۴- تعاریف.....
۱۶۳	۲-۴- ورودیهای برنامه طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری (USD M VER2).....
۱۶۳	۳-۴- خروجیهای برنامه طراحی سیستمی بلوک انتقال مداری (USD M VER2).....
۱۶۴	۴-۴- علائم به کار رفته در برنامه USD M VER2.....
۱۷۰	۵ فصل ۵- جمع بندی نهایی و پیشنهاد.....
۱۷۱	۱-۵- جمع بندی نهایی.....
۱۷۲	۲-۵- برخی از نتایج حاصل از نرم افزار USD M VER2.....
۱۷۳	۳-۵- مقایسه طراحی بهینه با نتایج طراحی معمولی.....
۱۷۴	۴-۵- مقایسه طراحی بهینه با طراحی معمولی و طراحی آماری.....
۱۷۸	۵-۵- پیشنهاد برای کارهای آتی.....
۱۸۰	۶-۵- مراجع و منابع.....

فهرست اشکال

۷	شکل (۱-۱) نمایش مسیر صعود موشک پروتون [7]
۸	شکل (۲-۱) مسیر صعود بلوک DM [7]
۹	شکل (۳-۱) انتقال مداری به ژئوسنگرون با دو ایمپالس [7]
۹	شکل (۴-۱) نمایی از بلوک انتقال مداری موشک پروتون [7]
۱۰	شکل (۵-۱) مانور ژئوسنگرون بلوک DM بطور متداول [7]
۱۱	شکل (۶-۱) مسیر بلوک انتقال مداری Breeze [7]
۱۳	شکل (۷-۱) بلوکهای انتقال مداری موشک پروتون [7]
۱۷	شکل (۸-۱) نمای انفجاری از موشک سایوز [8]
۱۸	شکل (۹-۱) ماموریت پروازی موشک سایوز [8]
۱۹	شکل (۱۰-۱) ماموریت فضایی متداول بلوک انتقال مداری FREGAT [8]
۲۰	شکل (۱۱-۱) پیکربندی موشک دلتا ۲ [8]
۲۰	شکل (۱۲-۱) ماموریت دلتا ۲ دو مرحله‌ای [8]
۲۱	شکل (۱۳-۱) نمونه‌هایی از ماموریت موشک دلتا ۲ [8]
۲۹	شکل (۱۴-۱) بازه ایمپالس ویژه موتورهای مختلف (منبع <a href="http://www-ssc.igpp.ucla.edu">www-ssc.igpp.ucla.edu</a> )
۴۳	شکل (۱-۲) گرادیان و کانتورهای تابع $f$
۴۵	شکل (۲-۲) روش گرادیان سعی در پیدا کردن حداقل مقدار تابع دارد
۵۲	شکل (۳-۲) فضایما تحت اثر جاذبه زمین
۵۷	شکل (۴-۲) نمایی از یک مدار بیضوی
۵۹	شکل (۵-۲) نمایی از انتقال هاهمن
۶۸	شکل (۶-۲) الگوریتم حل گرادیان نزولی بکار گرفته شده در حل مسئله
۹۲	شکل (۱-۳) نمایی از نازل و محفظه احتراق
۹۷	شکل (۲-۳) موتور بلوک انتقال مداری [11]

## فهرست اشکال

---

- ۱۰۰ شکل ۳-۳) نمایی از زاویه گلوگاه
- ۱۰۲ شکل ۴-۳) نمایی از محفظه احتراق
- ۱۰۳ شکل ۵-۳) نمایی از پوسته نازل (فرض اول)
- ۱۰۴ شکل ۶-۳) نمایی از پوسته نازل (فرض دوم)
- ۱۰۵ شکل ۷-۳) انتقال حرارت در محفظه احتراق
- ۱۰۵ شکل ۸-۳) تحلیل انتقال حرارت در دیواره محفظه رانش
- ۱۰۷ شکل ۹-۳) شیوه استفاده از نازل چرخان
- ۱۱۲ شکل ۱۰-۳) فاصله مخازن تا توربوپمپ ها
- ۱۲۸ شکل ۱۱-۳) دو نمونه هیتر گذاری در مسیر گاز هلیوم
- ۱۳۱ شکل ۱۲-۳) نمونه ای از مخازن با حجم، تقریباً برابر
- ۱۳۲ شکل ۱۳-۳) نمونه ای از مخازن با تفاوت قابل ملاحظه در حجم
- ۱۳۲ شکل ۱۴-۳) مناسبترین نمونه چیدمان مخازن (از لحاظ دمش)
- ۱۴۷ شکل ۱۵-۳) نمودار تست کمانش [17]
- ۱۴۸ شکل ۱۶-۳) نمونه ای از پروفیل تقویت کننده های عرضی [17]
- ۱۷۵ شکل ۱-۵) چارت طراحی آماری

## فهرست جداول

### فهرست جداول

۶	جدول ۱-۱) زمانبندی موشک در مسیر استارت [7]
۸	جدول ۲-۱) کارایی موشک پروتون و مدارهای مرجع [7]
۱۲	جدول ۳-۱) کارایی انتقال مداری GEO برای بلوک K/DM [7]
۱۴	جدول ۴-۱) مشخصات سیستمی موشک پروتون و بلوک انتقال مداری آن [7]
۱۵	جدول ۵-۱) پرتاب‌های موفقیت آمیز موشک سایوز [7]
۱۵	جدول ۶-۱) اطلاعات سیستمی موشک سایوز [7]
۱۶	جدول ۷-۱) مشخصات بلوک انتقال مداری FREGAT [7]
۱۷	جدول ۸-۱) رابطه بین شیب مداری و زاویه آزیموت پرتاب موشک سایوز [8]
۲۱	جدول ۹-۱) زمانبندی عملیاتی موشک دلتا ۲ [8]
۲۲	جدول ۱۰-۱) توانایی حمل محموله به مدارهای مختلف موشک دلتا ۲ [8]
۲۴	جدول ۱۱-۱) ماتریس طراحی زیرسیستم‌های بلوک انتقال مداری
۲۹	جدول ۱۲-۱) انواع موتورهای موجود
۳۱	جدول ۱۳-۱) ماتریس طراحی موتور سوخت مایع
۳۲	جدول ۱۴-۱) ماتریس طراحی مخازن
۳۴	جدول ۱۵-۱) ماتریس طراحی سیستم دمش
۳۴	جدول ۱۶-۱) ماتریس طراحی سیستم فشاری
۳۶	جدول ۱۷-۱) شرایط دما و رطوبت بلوک FREGAT قبل از پرتاب
۵۰	جدول ۱-۲) مشخصات مدار پارک
۵۰	جدول ۲-۲) مشخصات مدار زمین آهنگ
۵۱	جدول ۳-۲) پارامترهای خصوصیات ماهواره و بلوک انتقال مداری
۵۷	جدول ۴-۲) شرایط ابتدایی و انتهایی مسیر حرکت
۶۱	جدول ۵-۲) نتایج حل مسئله بهینه سازی توسط روش کلاسیک

## فهرست جداول

- جدول ۶-۲) نتایج شبیه سازی به کمک STK در روش تک پالس اغتشاشی ۶۲
- جدول ۷-۲) نتایج شبیه سازی به کمک STK در روش اغتشاشی غیر ایмпالسی ۶۳
- جدول ۸-۲) نتایج بهینه سازی با روش گرادیان نزولی ۶۹
- جدول ۹-۲) مقایسه نتایج بدست آمده ۷۵
- جدول ۱-۳) ورودی‌های طراحی بلوک انتقال مداری ۸۰
- جدول ۲-۳) متغیرهای طراحی ۸۱
- جدول ۳-۳) پارامترهای پیکربندی جرمی بلوک انتقال مداری ۸۴
- جدول ۴-۳) محدودیت ضریب وزنی  $\alpha$  ۸۵
- جدول ۵-۳) مشخصات سوخت های متداول [۲] ۸۷
- جدول ۶-۳) پارامترهای جرمی موتور ۸۸
- جدول ۷-۳) پارامترهای طراحی موتور ۹۰
- جدول ۸-۳) مشخصه طولی پیشران های مختلف [۱] ۹۷
- جدول ۹-۳) ورودی و خروجی تخمین جرمی نازل و محفظه احتراق ۱۰۲
- جدول ۱۰-۳) روش های خنک کاری محفظه احتراق و نازل ۱۰۵
- جدول ۱۱-۳) شیوه های تغییر در نیروی رانش ۱۰۷
- جدول ۱۲-۳) ورودی و خروجی طراحی سیستم توربوپمپی ۱۱۱
- جدول ۱۳-۳) ورودی و خروجی طراحی سیستم فشاری ۱۲۰
- جدول ۱۴-۳) خواص مورد استفاده هلیوم ۱۲۲
- جدول ۱۵-۳) ورودی و خروجی طراحی جرمی و ابعادی سیستم فشاری ۱۲۳
- جدول ۱۶-۳) ورودی و خروجی طراحی جرمی و ابعادی مخازن پیشران ۱۳۰
- جدول ۱۷-۳) حجم، قطر و طول مخازن ۱۳۳
- جدول ۱۸-۳) خصوصیات چند نوع سازه مورد استفاده در مخازن [۴] ۱۳۵
- جدول ۱۹-۳) ورودی و خروجی بارگذاری حداکثر نیروی آیرودینامیکی ۱۴۰

## فهرست جداول

۱۴۲	جدول ۳-۲۰) ورودی و خروجی بارگذاری حداکثر نیروی شتاب محوری
۱۴۳	جدول ۳-۲۱) مشخصات ورودی و خروجی تعیین ضخامت پوسته بدنه
۱۴۵	جدول ۳-۲۲) مشخصات ورودی و خروجی تعیین تقویت کننده های عرضی
۱۵۰	جدول ۳-۲۳) نحوه تعیین جرم زیرسیستم های بلوک انتقال مداری
۱۶۵	جدول ۴-۱) علائم به کار رفته در قسمت ورودی برنامه USDN VER2
۱۶۵	جدول ۴-۲) علائم به کار رفته در قسمت طراحی بهینه مسیر
۱۶۶	جدول ۴-۳) علائم به کار رفته در قسمت موتور
۱۶۶	جدول ۴-۴) علائم به کار رفته در قسمت دمش
۱۶۷	جدول ۴-۵) علائم به کار رفته در توزیع جرمی
۱۶۷	جدول ۴-۶) علائم به کار رفته در قسمت ابعادی
۱۶۸	جدول ۴-۷) علائم بکار رفته در قسمت جرمی کل بلوک
۱۶۸	جدول ۴-۸) علائم بکار رفته در قسمت نازل
۱۶۹	جدول ۴-۹) علائم بکار رفته در قسمت مخازن
۱۷۲	جدول ۵-۱) نتایج بدست آمده از نرم افزار USDN VER2
۱۷۳	جدول ۵-۲) نتایج مقایسه های طراحی بهینه با طراحی معمولی (۱)
۱۷۴	جدول ۵-۳) نتایج مقایسه های طراحی بهینه با طراحی معمولی (۲)
۱۷۶	جدول ۵-۴) اطلاعات ورودی ۳ واریانت جهت مقایسه
۱۷۶	جدول ۵-۵) نتایج بدست آمده از هر ۳ واریانت طراحی
۱۷۷	جدول ۵-۶) بررسی خطای روش های طرحی بهینه و کلاسیک نسبت به طراحی آماری

فهرست نمودار

- نمودار ۱-۱) نمودار ارتفاع، سرعت اینرسی، شتاب و فشار دینامیکی در طی مسیر پرواز [7] ..... ۷
- نمودار ۲-۱) کارایی انتقال مداری GSO برای بلوک K/DM [7] ..... ۱۲
- نمودار ۱-۲) تغییرات نیم بردار اصلی مدار(a) با زمان در مانور فاز ۱ ..... ۶۴
- نمودار ۲-۲) تغییرات مصرف سوخت با زمان در مانور فاز ۱ ..... ۶۴
- نمودار ۳-۲) افزایش نرخ سرعت با زمان در مانور فاز ۱ ..... ۶۵
- نمودار ۴-۲) تغییرات نرخ سرعت با نیم بردار اصلی در مانور فاز ۱ ..... ۶۵
- نمودار ۵-۲) تغییرات نیم بردار اصلی مدار(a) با زمان در مانور فاز ۲ ..... ۶۶
- نمودار ۶-۲) تغییرات مصرف سوخت با زمان در مانور فاز ۲ ..... ۶۶
- نمودار ۷-۲) افزایش نرخ سرعت با زمان در مانور فاز ۲ ..... ۶۷
- نمودار ۸-۲) تغییرات نرخ سرعت با نیم بردار اصلی در مانور فاز ۲ ..... ۶۷
- نمودار ۹-۲) تغییرات نیم بردار اصلی مدار(a) با زمان در مانور فاز ۱ ..... ۶۹
- نمودار ۱۰-۲) تغییرات مصرف سوخت با زمان در مانور فاز ۱ ..... ۷۰
- نمودار ۱۱-۲) افزایش نرخ سرعت با زمان در مانور فاز ۱ ..... ۷۰
- نمودار ۱۲-۲) تغییرات نرخ سرعت با نیم بردار اصلی در مانور فاز ۱ ..... ۷۱
- نمودار ۱۳-۲) تغییرات نیم بردار اصلی مدار(a) با زمان در مانور فاز ۲ ..... ۷۱
- نمودار ۱۴-۲) تغییرات مصرف سوخت با زمان در مانور فاز ۲ ..... ۷۲
- نمودار ۱۵-۲) تغییرات نرخ سرعت با نیم بردار اصلی در مانور فاز ۲ ..... ۷۲
- نمودار ۱۶-۲) تغییرات نرخ سرعت با نیم بردار اصلی در مانور فاز ۲ ..... ۷۳
- نمودار ۱۷-۲) تغییرات بردار تراست در طول زمان مانور فاز ۱ ..... ۷۴
- نمودار ۱۸-۲) تغییرات بردار تراست در طول زمان مانور فاز ۲ ..... ۷۴
- نمودار ۱۹-۲) مقایسه تغییر سرعت مورد نیاز در هر روش ..... ۷۶
- نمودار ۲۰-۲) سوخت مصرفی در هر روش ..... ۷۶



## فهرست نمودار

---

نمودار ۲-۲۱) زمان سوزش در هر روش ..... ۷۷

نمودار ۲-۲۲) مقایسه سوخت مصرف شده فاز اول مانور در روش STK اغتشاشی غیرایمپالسی با بهینه‌ساز در طول زمان. ۷۷

نمودار ۲-۲۳) مقایسه سوخت مصرف شده فاز دوم مانور در روش STK اغتشاشی غیرایمپالسی با بهینه‌ساز در طول زمان ۷۸

نمودار ۵-۱) جرم محموله نسبت به جرم کل ..... ۱۷۷

نمودار ۵-۲) جرم محموله نسبت به جرم سوخت ..... ۱۷۸

نمودار ۵-۳) جرم محموله نسبت به جرم خشک ..... ۱۷۸

## فهرست علائم

فهرست علائم :

واحد	نام پارامتر	علائم
$Km^3/s^2$	گرانش زمین	$\mu$
$m/s$	مقدار انرژی در هر سوزش	$\Delta V_i$
$s$	زمان طی مسیر	$T$
$m$	شعاع حوض	$r_p$
$degree$	زاویه تغییر انرژی	$\varphi$
$m$	نصف محور کانونی	$a$
$degree$	شیب مدار	$i$
$m/s$	سرعت مدار	$V$
$s$	زمان سوزش	$t$
$s$	ایمپالس ویژه	$I_{sp}$
$Kn$	تراست	$T$
$m$	قطر	$L$
$m$	طول	$D$
$ton$	جرم سوخت	$M_p$
$ton$	جرم کل	$M_t$
$ton$	جرم محموله	$M_{pay}$
$ton$	جرم نهایی	$M_f$
-	دقت گراف	$R^2$
-	نسبت جرمی محموله	$\mu_p$
-	نسبت جرمی خشک	$\mu_F$
$Kn/ton$	نسبت تراست به وزن	$n$
$ton/s$ یا $Kg/s$	دبی خروجی	$\dot{m}$

## فهرست علائم

$m$	ضخامت مخزن هلیوم	$t_h$
$Kg$	جرم مخازن هلیوم	$m_{th}$
$Kg/s$	دبی خروجی از مخازن هلیوم	$\dot{m}_{hi}$
$GPa$	تنش دایره ای	$\sigma_h$
$KN/m$	نیروی ارتفاع سیال	$N_{head}$
$KN/m$	نیروی فشار بالشتک	$N_{ullage}$
$m$	ارتفاع سیال مخزن	$h$
$M$	سطح مبنای بلوک	$S_m$
-	ضریب آبرودینامیکی	$c_x$
$Kg$	توزیع جرمی بلوک	$M_0(x)$
$Kg$	جرم فیرینگ	$M_{fi}$
$Km/s$	سرعت حامل	$V^*$
-	ضریب شتاب جانبی	$n_y$
$Kg/s^2$	نیروی آبرودینامیکی در طول	$q_{ax}(x)$
-	ضریب شتاب محوری	$n_x$
$Kg\ m/s^2$	نیروی محوری در طول	$N(x)$
$Kg\ m/s^2$	نیروی برشی در طول	$Q(x)$
$Kg\ m^2/s^2$	گشتاور خمشی در طول	$M(x)$
$bar$	فشار بحرانی	$P_{cr}$
$m$	حداکثر گام تقویت کننده ها	$l_{max}$

## فهرست علائم

$m^3$	حجم احتراق	$V_c$
-	ضریب ایمنی	$f$
$bar$	حد نهایی تنش انبساطی	$F_{tu}$
$m$	ضخامت دیواره	$t_w$
$m$	ضخامت دیواره خروجی نازل	$t_e$
$m^3$	حجم کل احتراق	$V_w$
$degree$	زاویه گلوگاه ها	$\theta_c$
$\cdot K$	دما در دیواره محفظه احتراق	$T_w$
$W/m^2 \cdot K^4$	ثابت بولتزمن	$\sigma$
$\cdot K$	دما محیط	$T_{env}$
$bar$	اختلاف فشار توربو پمپ	$\Delta P_{fed}$
$bar$	فشار پیشران در ورودی پمپ	$P_p$
$bar$	فشار بالشتک	$P_0$
-	راندمان پمپ	$\eta_{pump}$
واحد	نام پارامتر	علائم
$bar$	فشار مورد نیاز سیستم تغذیه	$\Delta P_{fed}$
$m$	افت هد دینامیکی	$H_p$
$rad/s$	سرعت چرخش پمپ	$N_r$
$m^3/s$	دبی حجمی	$Q$
$N.m$	گشتاور شافت پمپ	$\tau$
$bar$	فشار تانک	$P_{tank}$
$bar$	فشار مخازن هلیوم	$P_{blow}$
-	تعداد مخازن هلیوم	$n$
$bar$	حد نهایی تنش مخازن هلیوم	$F_{all}$
$Kg$	جرم هلیوم	$m_h$
$m^3$	حجم مخزن هلیوم	$V_{blow}$
$m$	شعاع مخزن هلیوم	$r_h$