

اصول پیشرانش موشک

نویسنده:

دبی پراساد میشر

مترجمان:

دکتر حسین مهدوی مقدم

هیات علمی دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر الیاس رستمی

دکترای مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بهار ۱۴۰۲



شماره ۵۴۲

سرشناسه: میشر، دی. پی. (Mishra, D. P. (Aerospace engineer)

عنوان و نام پدیدآور: اصول پیشرانش موشک/نویسنده دبیر اسناد میشر؛ مترجمان حسین مهدوی مقدم، الیاس رستمی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۴۰۲.

مشخصات ظاهری: ۴۷۲ ص: مصور.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۸۶۷-۰۱-۳

ISBN: 978-600-7867-01-3

وضعیت فهرست نویسی: فیا.

یادداشت: عنوان اصلی: Fundamentals of rocket propulsion, 2017.

موضوع: هواپیماها -- موتورهای موشک / Airplanes -- Rocket engines

موتورهای موشک -- احتراق / Rocket engines -- Combustion

شناسه افزوده: مهدوی مقدم، حسین، ۱۳۳۹ - مترجم

شناسه افزوده: رستمی، الیاس، ۱۳۶۷ - مترجم

رده‌بندی کنگره: TLV۰۹

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۴۳۵۶

شماره کتابشناسی ملی: ۹۳۸۱۲۰۲

press.kntu.ac.ir



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: اصول پیشرانش موشک

مؤلف: دبیر اسناد میشر

مترجمان: دکتر حسین مهدوی مقدم، دکتر الیاس رستمی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: آبان ۱۴۰۲

شمارگان: ۲۰۰ جلد

چاپ و صحافی: آرمانسا

قیمت: ۳۵۰,۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷، رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

درباره مولف

دکتر دبی پراساد میشر استاد گروه مهندسی هوافضا در انستیتوی فناوری هند (IIT)، در شهر کانپور است، مکانی که وی در ایجاد آزمایشگاه احتراق نقش موثری داشت. وی در حال حاضر جایگاه Oil Golden Jubilee هند را در IIT در اختیار دارد. وی در سال ۲۰۰۲ در دانشگاه توکیو - دنگی ژاپن استاد مهمان بود. مباحث مورد علاقه وی شامل احتراق، دینامیک سیالات محاسباتی، (قطره سازی) اتمیزه کردن و غیره است. وی دریافت کننده جایزه دانشمند جوان در سال ۱۹۹۱ از وزارت انرژی های جدید و تجدید پذیر دولت هند بود. وی در سال ۲۰۰۲ به انجمن علمی INSA-JSPS پیوست. دکتر میشر جایزه یادبود Sir Rajendranath Mookerjee را از موسسه مهندسان هند دریافت کرد. وی دریافت کننده جایزه Samanta Chandrasekhar به دلیل کمک هایش به علم و فناوری است. وی به عنوان دستیار سردبیر ژورنال بین المللی انرژی-هیدروژن الزویر ایالات متحده خدمت کرده بود. علاوه بر این، وی همچنین به عنوان عضو هیات تحریریه ژورنال انستیتوی مهندسان چین، تیلور-فرانسیس و ژورنال بین المللی موتورهای توربو و جت فعالیت می کند. وی تعدادی از حق ثبت اختراعات هندی را در اختیار دارد و حدود ۲۰۰ مقاله تحقیقاتی را در ژورنال ها داوری و در کنفرانس ها منتشر کرده است. وی نویسنده کتاب عنوان اصول احتراق است که توسط پرنسیس هال دهلی نو منتشر شده است. وی تاکنون دو کتاب دیگر با عنوان احتراق آزمایشگاهی و ترمودینامیک مهندسی را منتشر کرده است که به ترتیب توسط تیلور و فرانسیس ایالات متحده و Cengage India Pvt Ltd دهلی نو منتشر شده است. او همچنین کتابی را با عنوان پیشرانش توربین گازی منتشر نموده است.

پیشگفتار مترجمان

مالی که ز تو کس نستاند، علم است
حرزی که تو را به حق رساند، علم است
جز علم طلب مکن تو اندر عالم
چیزی که تو را ز غم رهاند، علم است

(شیخ بهایی)

جهان امروز با پدیده‌ی تولید و گسترش روزافزون مفاهیم علمی روبه روست. به طوری که هر لحظه بر حجم آن افزوده شده و سیطره‌ی نفوذ آن خارج از ابعاد زمانی و مکانی، شکلی جهانی به خود گرفته است. علوم هوافضایی نیز به مانند سایر علوم و فناوری‌ها در جهان به سرعت در حال پیشرفت بوده و فناوری فضایی به یکی از پیشرفته‌ترین صنایع کاربردی و با اهمیت جهان تبدیل گشته است. از آنجا که استفاده از منابع علمی معتبر و کاربردی امری مهم و غیرقابل انکار برای پیشبرد هر علمی می‌باشد و از آنجا که صنعت هوافضایی کشور ما نیز رو به توسعه بوده و نیاز به استفاده از منابع علمی استاندارد برای پیشبرد هرچه بهتر آن حس می‌گردد لذا بر آن شدیم که به نوبه‌ی خود و در حد توان سهمی کوچک در راستای این پیشرفت با ترجمه کتاب حاضر برای اولین بار در کشور داشته باشیم.

کتاب اصول پیشرانش موشک توسط آقای میثرا به عنوان مقدمه ای در مورد جنبه‌های اساسی پیشرانش موشک‌ها برای دانشجویان مقطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی طراحی و تالیف شده است. اعتقاد بر این است که مهندسان صنعت هوافضا نیز می‌توانند از مباحث مندرج در این کتاب بهره مند گردند. کتاب مذکور تجربه بیش از ۳۰ سال مولف، از تدریس در دوره های پیشرانش هوافضا به دانشجویان دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد می باشد. انگیزه اصلی نوشتن این کتاب توسط آقای میثرا تأکید بر اصول اساسی پیشرانش موشک‌ها بوده که اساتید و دانشجویان را به ترغیب هرچه بیشتر برای انتخاب این موضوع و فعالیت در این حوزه نماید. فصل ۱ با معرفی مختصری در مورد پیشرانش موشک آغاز می‌شود و کاربرد آن را در شاخه‌های هوافضا و غیرهوافضایی پوشش می‌دهد. متعاقباً، فصل ۲ آیرودینامیک را پوشش می‌دهد که برای تجزیه و تحلیل موتورهای موشک ضروری است. اصول اساسی پیشرانش موشک، اصول ترمودینامیک، شیمی و دینامیک گاز به طور خلاصه در این فصل مورد بحث قرار گرفته است. عناصر پیشرانش موشک در فصل ۳ مورد بحث قرار گرفته است. پارامترهای عملکردی که در توصیف موتورهای موشک مفید است یعنی ضربه ویژه، نسبت ضربه به وزن، نرخ ویژه پیشران، ضریب دبی جرمی، ضریب رانش، سرعت مشخصه و راندمان پیشران، در این فصل تعریف و بحث شده است. هدف اصلی نازل موجود در موتور موشک، انبساط گازهای داغ با فشار بالا ناشی از سوختن یک پیشران به سرعت جت بالاتر برای تولید نیروی رانش لازم است. این مؤلفه مهم سیستم پیشران موشک در فصل ۴ پوشش داده شده است. عملکرد پروازهای فضایی در فصل ۵ پوشش داده شده است. چندین رژیم پرواز یعنی پرواز جوی، پرواز در نزدیکی فضا و پرواز در فضای عمیق در نظر گرفته می‌شوند. علاوه براین، رژیم پرواز جوی برای

موشک‌های هواسط‌حی و کاربردهای موشک‌های صوتی نیز در نظر گرفته شده است، در حالی که پرواز نزدیک فضایی برای ماهواره ها، آزمایشگاه های فضایی و غیره در نظر گرفته شده‌اند. در فصل ۶، انواع مختلفی از پیشران های شیمیایی متشکل از سوخت و اکسید کننده به همراه مواد افزودنی خاصی به طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است. فصل ۷ به موتورهای موشک با سوخت جامد (SPRES) می‌پردازد و کلیه جنبه های طراحی و توسعه آنها را پوشش می‌دهد. جنبه های طراحی طیف گسترده ای از برنامه های کاربردی را به صورت انواع وسایل پیشران‌ش یعنی فضاپیما، موشک‌ها، هواپیماها و غیره به همراه سیستم های مولد گاز نیز در این کتاب گنجانده شده است. موتور موشک با پیشران مایع (LPRE) در فصل ۸ پوشش داده شده است. انواع مختلفی از موتور موشک با پیشران مایع با محاسن و تقسیمات نسبی آن ها در این فصل گنجانده شده اند. تجزیه و تحلیل موتور موشک با پیشران مایع برای اجزای مختلف آن ها تهیه شده است که می تواند برای طراحی و توسعه موتورهای موشک مورد استفاده قرار گیرند. فصل ۹ به موتور موشک پیشران هیبریدی (HPRE) اختصاص داده شده است که دارای مزایا و معایب نسبی در مقایسه با موتورهای موشک با سوخت جامد و موتور موشک با پیشران مایع می باشد. فصل ۱۰ سیستم های تزریق و فرآیندهای اتمیزه‌ی درگیر در تشکیل اسپری پیشران های مایع را پوشش می‌دهد که در موتور موشک با پیشران مایع و موتور موشک پیشران هیبریدی کاربردهایی پیدا می‌کنند. فصل ۱۱ در مورد موتورهای موشک غیر شیمیایی بحث می‌کند که در زمان های اخیر برای کاربردهای فضایی استفاده می‌شوند. تمرین‌هایی در پایان هر فصل برای درک بهتر مفاهیم، ارائه شده است. تاکید بیشتر کتاب نیز برای بیان فرآیندهای اساسی و پایه در موتورهای موشک‌های شیمیایی صورت پذیرفته است.

در اینجا لازم است از زحمات آقای مهندس امید حبیبی، دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد دانشکده هوافضای دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، که در تدوین این اثر همکاری داشته‌اند، تشکر نماییم. در پایان، از آنجا که هر اثری به طور کامل خالی از اشکال و نقص نمی باشد، موجب خوشحالی مترجمان کتاب حاضر است که خوانندگان گرامی موارد مورد نظرشان را از طریق آدرس‌های elyas.rostami@email.kntu.ac.ir و mahdavy@kntu.ac.ir به سمع و نظر مترجمان برسانند.

حسین مهدوی مقدم، الیاس رستمی

بهار ۱۴۰۲

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- اصول پایه‌ای پیشرانش.....	۲
۳-۱- تاریخچه مختصری از موتورهای موشک.....	۳
۴-۱- طبقه‌بندی وسایل پیشران‌دهنده.....	۸
۱-۴-۱- مقایسه موشک‌های هوانفسی و موتورهای موشک.....	۱۰
۵-۱- انواع موتورهای موشک.....	۱۰
۱-۵-۱- موتورهای موشک شیمیایی.....	۱۱
۱-۵-۱-۱- موتورهای موشک سوخت جامد.....	۱۱
۱-۵-۱-۲- موتورهای موشک سوخت مایع.....	۱۳
۱-۵-۱-۳- موتورهای موشک سوخت هیبریدی.....	۱۵
۲-۵-۱- موتورهای موشک غیرشیمیایی.....	۱۷
۶-۱- کاربردهای موتورهای موشک.....	۱۷
۱-۶-۱- وسایل پرتاب فضایی.....	۱۷
۲-۶-۱- فضاپیما.....	۱۸
۳-۶-۱- موشک.....	۱۹
۴-۶-۱- سایر کاربردهای هوانوردی.....	۲۰
فصل دوم.....	۲۲
آیروترموشیمی موتورهای موشک.....	۲۲
۱-۲- مقدمه.....	۲۳
۲-۲- اصول‌های پایه ترمودینامیک شیمیایی.....	۲۳
۱-۲-۲- تعاریف پایه.....	۲۳
۳-۲- قوانین ترمودینامیک.....	۲۴

۲۴	۱-۳-۲- قانون اول ترمودینامیک
۲۵	۲-۳-۲- قانون اول برای حجم کنترل
۲۶	۳-۳-۲- قانون دوم ترمودینامیک
۲۸	۴-۲- سیستم عکس‌العملی
۲۸	۱-۴-۲- استوکیومتری
۳۲	۲-۴-۲- مخلوط گاز ایده‌آل
۳۵	۳-۴-۲- گرمای تشکیل و گرمای واکنش
۴۱	۵-۴-۲- تعادل شیمیایی
۴۵	۱-۵-۴-۲- ارزیابی ترکیب تعادلی واکنش‌های همزمان
۴۸	۵-۲- اصول پایه دینامیک گاز
۴۸	۱-۵-۲- قوانین بقا
۴۸	۲-۵-۲- جریان شبه یک بعدی پایدار
۵۰	۳-۵-۲- جریان آیزنتروپیک داکت با سطح متغیر
۵۲	۴-۵-۲- پارامتر جریان جرم
۵۵	۵-۵-۲- موج ضربه نرمال
۶۱	۶-۵-۲- موج ضربه مایل
۷۰	فصل سوم
۷۰	اجزای پیش‌رانش موشک
۷۱	۱-۳- مقدمه
۷۱	۲-۳- موتور موشک ایده‌آل
۷۳	۳-۳- معادله رانش موتورهای موشک
۷۴	۱-۳-۳- سرعت خروجی موثر
۷۵	۲-۳-۳- نیروی رانش بیشینه
۷۵	۳-۳-۳- تغییرات رانش با ارتفاع

۷۶	۴-۳-۳- تاثیر زاویه واگرایی بر رانش
۷۸	۴-۳- پارامترهای عملکردی موشک
۷۸	۴-۳-۱- ضربه کل و ضربه ویژه
۸۰	۴-۳-۲- راندمان ضربه ویژه
۸۱	۴-۳-۳- ضربه ویژه حجمی
۸۱	۴-۳-۴- ضریب جریان جرمی
۸۲	۴-۳-۵- ضریب رانش
۸۲	۴-۳-۶- مصرف ویژه سوخت
۸۳	۴-۳-۷- سرعت مشخصه
۸۴	۴-۳-۸- نسبت ضربه به وزن
۸۵	۴-۳-۹- بالانس انرژی و راندمان ها
۸۷	۴-۳-۹-۱- راندمان پیشرانش
۸۸	۴-۳-۹-۲- راندمان حرارتی
۸۸	۴-۳-۹-۳- راندمان کل
۹۳	فصل چهارم
۹۳	نازل موشک
۹۴	۴-۱- مقدمه
۹۴	۴-۲- مبانی جریان نازل همگرا - واگرا
۹۶	۴-۲-۱- سرعت خروجی
۱۰۰	۴-۲-۲- نرخ دبی جرمی و سرعت مشخصه
۱۰۵	۴-۲-۳- نسبت انبساط سطح مقطع
۱۰۷	۴-۳- هندسه نازل همگرا- واگرا
۱۰۹	۴-۴- تاثیر فشار محیط
۱۱۰	۴-۴-۱- فروانبساط در نازل همگرا- واگرا
۱۱۱	۴-۴-۲- فرا انبساط در نازل همگرا- واگرا

۱۱۳	۴-۵- نازل موشک پیشرفته
۱۱۴	۴-۵-۱- نازل قابل توسعه
۱۱۵	۴-۵-۲- نازل دو زنگوله‌ای
۱۱۵	۴-۵-۳- نازل انبساطی- انحرافی
۱۱۶	۴-۵-۴- نازل آیرواسپایک
۱۱۷	۴-۶- نازل‌های با کنترل جهت رانش
۱۲۰	۴-۷- افت‌ها در نازل موشک
۱۲۱	۴-۸- عملکرد نازل خروجی
۱۲۱	۴-۸-۱- راندمان آیزنتروپیک
۱۲۲	۴-۸-۲- ضریب تخلیه
۱۲۳	۴-۸-۳- ضریب جریان جرم
۱۲۴	۴-۹- ضریب رانش
۱۳۲	فصل پنجم
۱۳۲	عملکرد پروازی فضاپیما
۱۳۳	۵-۱- مقدمه
۱۳۳	۵-۲- نیروهای وارده بر روی یک وسیله پروازی
۱۳۴	۵-۲-۱- نیروهای آیرودینامیکی
۱۳۵	۵-۲-۲- جاذبه
۱۳۶	۵-۲-۳- چگالی اتمسفر
۱۳۶	۵-۳- معادله موشک
۱۴۱	۵-۳-۱- مقدار فاصله سوختن
۱۴۲	۵-۳-۲- ارتفاع سر خوردن
۱۴۲	۵-۳-۳- مسیر پروازی
۱۴۳	۵-۴- پرواز فضایی و مدار آن

۱۴۵	۱-۴-۵- مدار بیضوی
۱۴۸	۲-۴-۵- مدار زمین آهنگ
۱۴۸	۳-۴-۵- سرعت لازم برای رسیدن به مدار
۱۵۰	۴-۴-۵- سرعت فرار
۱۵۰	۵-۵- مسیر انتقال بین سیاره‌ای
۱۵۱	۶-۵- موتورهای موشک تک مرحله‌ای
۱۵۵	۷-۵- موتورهای موشک چند مرحله‌ای
۱۵۶	۱-۷-۵- چند مرحله‌ای
۱۶۴	فصل ششم
۱۶۴	پیشران‌های موشک شیمیایی
۱۶۵	۱-۶- مقدمه
۱۶۵	۲-۶- طبقه‌بندی پیشران‌های شیمیایی
۱۶۷	۳-۶- خواص عمومی پیشران‌ها
۱۶۸	۴-۶- پیشران‌های جامد
۱۶۹	۱-۴-۶- پیشران‌های جامد همگن
۱۷۱	۲-۴-۶- پیشران‌های ناهمگن
۱۷۲	۱-۲-۴-۶- سوخت جامد (بایندر)
۱۷۵	۲-۲-۴-۶- اکسیدکننده جامد
۱۷۶	۳-۲-۴-۶- پیشران‌های دو پایه مرکب اصلاح شده
۱۷۷	۴-۲-۴-۶- پیشران‌های پیشرفته
۱۷۸	۵-۶- پیشران‌های مایع
۱۷۹	۱-۵-۶- سوخت‌های مایع
۱۸۰	۱-۱-۵-۶- سوخت‌های هیدروکربنی
۱۸۱	۲-۱-۵-۶- هیدرازین N_2H_4
۱۸۲	۳-۱-۵-۶- هیدروژن مایع

۱۸۳	۴-۱-۵-۶- نیترات هیدروکسیل آمونیوم ($\text{NH}_2\text{OH} * \text{NH}_3$)
۱۸۴	۴-۲-۵-۶- اکسیدکننده‌های مایع
۱۸۴	۴-۲-۵-۶-۱- هیدروژن پراکسید (H_2O_2)
۱۸۵	۴-۲-۵-۶-۲- نیتروژن تترا اکسید (N_2O_4)
۱۸۶	۴-۲-۵-۶-۳- اسید نیتریک (HNO_3)
۱۸۷	۴-۲-۵-۶-۴- اکسیژن مایع
۱۸۷	۴-۲-۵-۶-۵- فلوئور مایع
۱۸۸	۴-۲-۵-۶-۳- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی پیشران‌های مایع
۱۸۹	۴-۲-۵-۶-۴- انتخاب پیشران‌های مایع
۱۹۱	۴-۲-۵-۶-۶- پیشران‌های ژلی
۱۹۱	۴-۲-۵-۶-۱- زلانت‌ها و پیشران‌های ژلی متداول
۱۹۲	۴-۲-۵-۶-۲- مزایای پیشران‌های ژلی
۱۹۲	۴-۲-۵-۶-۱- جنبه‌های ایمنی
۱۹۳	۴-۲-۵-۶-۲- جنبه‌های عملکردی
۱۹۳	۴-۲-۵-۶-۳- جنبه‌های ذخیره سازی
۱۹۳	۴-۲-۵-۶-۳- معایب پیشران‌های ژلی
۱۹۴	۴-۲-۵-۶-۷- پیشران‌های هیبریدی
۱۹۷	فصل هفتم
۱۹۷	موتورهای موشک سوخت جامد
۱۹۸	۷-۱- مقدمه
۱۹۹	۷-۲- پیکربندی اولیه
۲۰۰	۷-۳- فرآیندهای فیزیکی سوزش سوخت جامد
۲۰۲	۷-۴- مکانیزم سوزش سوخت جامد
۲۰۲	۷-۴-۱- پیشران‌های دوبایه

۲۰۴.....	۲-۴-۷- احتراق پیشران مرکب.....
۲۰۶.....	۵-۷- اندازه گیری نرخ سوزش و پسروی پیشران.....
۲۰۹.....	۱-۵-۷- اثر فشار محفظه بر نرخ سوزش.....
۲۱۲.....	۲-۵-۷- تاثیر دمای گرین بر نرخ سوزش.....
۲۱۴.....	۳-۵-۷- تاثیر نرخ جریان گاز.....
۲۱۷.....	۴-۵-۷- تاثیر حالت گذرا بر نرخ سوزش.....
۲۱۸.....	۵-۵-۷- تاثیر شتاب بر نرخ سوزش.....
۲۲۰.....	۶-۵-۷- روش های دیگر افزایش نرخ سوزش.....
۲۲۰.....	۱-۶-۵-۷- اثر اندازه ذره.....
۲۲۱.....	۲-۶-۵-۷- اصلاح کننده های نرخ سوزش.....
۲۲۲.....	۶-۷- مدل حرارتی برای سوزش پیشران سوخت جامد.....
۲۲۴.....	۷-۷- عملکرد موتور موشک سوخت جامد.....
۲۲۴.....	۱-۷-۷- جرقه زنی پیشران جامد.....
۲۲۷.....	۲-۷-۷- زمان کنش و زمان سوزش.....
۲۲۹.....	۸-۷- بالستیک های داخلی پیشران موتور سوخت جامد.....
۲۳۳.....	۱-۸-۷- پایداری عملکرد موتور موشک سوخت جامد.....
۲۳۵.....	۹-۷- پیکربندی گرین پیشران.....
۲۳۶.....	۱۰-۷- تغییرات سطح سوزش.....
۲۳۹.....	۱-۱۰-۷- گرین ستاره ای.....
۲۴۳.....	۱-۱۰-۷- گرین های سه بعدی.....
۲۴۶.....	۱۱-۷- سیستم اشتعال.....
۲۴۸.....	۱-۱۱-۷- جرقه زن های انفجاری.....
۲۵۱.....	۲-۱۱-۷- جرقه زن پیروژن.....
۲۵۲.....	۱۲-۷- مدل سازی جریان گرین جانبی سوز در موتور موشک.....
۲۶۲.....	فصل هشتم.....

۲۶۲	.....	موتورهای موشک سوخت مایع
۲۶۳	.....	۱-۸- مقدمه
۲۶۴	.....	۲-۸- پیکربندی اساسی
۲۶۶	.....	۳-۸- انواع موتورهای موشک سوخت مایع
۲۶۶	.....	۱-۳-۸- موتورهای موشک تک مولفه
۲۶۷	.....	۲-۳-۸- موتورهای موشک دو مولفه
۲۶۹	.....	۴-۸- احتراق پیشران های مایع
۲۷۳	.....	۱-۴-۸- احتراق پیشران خود مشتعل
۲۷۴	.....	۱-۱-۴-۸- احتراق پیشران غیر خود مشتعل
۲۷۵	.....	۵-۸- هندسه محفظه احتراق
۲۸۱	.....	۶-۸- ناپایداری احتراق در موتور موشک سوخت مایع
۲۸۴	.....	۱-۶-۸- تحلیل ناپایداری احتراق حالت حجمی (توده ای)
۲۸۸	.....	۲-۶-۸- کنترل ناپایداری احتراق
۲۸۸	.....	۱-۲-۶-۸- روش شیمیایی
۲۸۸	.....	۲-۲-۶-۸- روش آیرودینامیکی
۲۸۸	.....	۳-۲-۶-۸- روش مکانیکی
۲۹۰	.....	۷-۸- سیستم های جرقه زن
۲۹۴	.....	۸-۸- سیستم های خنک کاری
۲۹۵	.....	۱-۸-۸- خنک کاری اجبایی
۲۹۶	.....	۲-۸-۸- خنک کاری فیلمی
۲۹۷	.....	۳-۸-۸- خنک کاری فرسایشی
۲۹۷	.....	۹-۸- تجزیه و تحلیل انتقال حرارت در سیستم های خنک کاری
۳۰۷	.....	فصل نهم
۳۰۷	.....	موتور موشک با پیشران هیبریدی

۳۰۸	۱-۹- مقدمه
۳۰۹	۲-۹- محفظه احتراق
۳۱۰	۳-۹- پیشران های موتور موشک هیبریدی
۳۱۱	۴-۹- پیکربندی گرین
۳۱۲	۵-۹- احتراق پیشران های هیبریدی
۳۲۰	۱-۵-۹- اثر تابش حرارتی بر روی احتراق پیشران هیبریدی
۳۲۳	۶-۹- اشتعال پیشران های هیبریدی
۳۲۴	۷-۹- ناپایداری احتراق موتور موشک هیبریدی
۳۲۴	۱-۷-۹- ناپایداری های ناشی از کوپلینگ سیستم تغذیه
۳۲۵	۲-۷-۹- نوسان فشار
۳۲۵	۳-۷-۹- ناپایداری های فرکانس پایین ذاتی
۳۳۰	فصل دهم
۳۳۰	سیستم تزریق پیشران مایع
۳۳۱	۱-۱۰- مقدمه
۳۳۲	۲-۱۰- فرآیند اتمیزاسیون
۳۳۵	۳-۱۰- المان انژکتور
۳۳۶	۱-۳-۱۰- انواع انژکتورها
۳۳۶	۱-۱-۳-۱۰- انژکتورهای غیربرخوردی
۳۳۸	۲-۱-۳-۱۰- انژکتورهای برخوردی
۳۴۱	۳-۱-۳-۱۰- انواع دیگر انژکتورها
۳۴۲	۴-۱۰- طراحی المان انژکتور
۳۴۷	۵-۱۰- عملکرد انژکتور
۳۴۷	۱-۵-۱۰- توزیع اندازه قطره
۳۴۹	۲-۵-۱۰- توزیع جرم
۳۵۰	۳-۵-۱۰- فاکتور کیفیت

۳۵۱	۱۰-۶- توزیع کننده انژکتور
۳۵۳	۱۰-۷- منیفولد انژکتور
۳۵۴	۱۰-۸- سیستم تغذیه پشیران مایع
۳۵۶	۱۰-۸-۱- سیستم تغذیه با فشار گاز
۳۵۸	۱۰-۸-۱-۱- سیستم تغذیه فشار گاز سرد
۳۶۱	۱۰-۸-۱-۲- سیستم تغذیه فشار با گاز گرم
۳۶۲	۱۰-۸-۱-۳- سیستم تغذیه تولید شیمیایی گاز
۳۶۲	۱۰-۸-۱-۳-۱- مولد گاز سوخت جامد
۳۷۰	۱۰-۹- سیستم تغذیه توربوپمپ
۳۷۱	۱۰-۹-۱- انواع سیستم تغذیه توربوپمپ
۳۷۳	۱۰-۹-۱-۱- توربوپمپ پشیران
۳۷۳	۱۰-۹-۲- پمپ پشیران
۳۸۰	۱۰-۹-۲-۱- کاویتاسیون
۳۸۵	۱۰-۹-۲-۲- توربین های پشیران
۳۹۴	فصل یازدهم
۳۹۴	موشک های غیر شیمیایی
۳۹۵	۱۱-۱- مقدمه
۳۹۶	۱۱-۲- اصول اساسی موتور موشک الکتریکی
۳۹۶	۱۱-۲-۱- طبقه بندی موشک های الکتریکی
۳۹۶	۱۱-۲-۲- مفاهیم فیزیکی موشک های الکتریکی
۳۹۷	۱۱-۲-۲-۱- نیروهای الکترواستاتیک و الکترومغناطیس
۴۰۰	۱۱-۲-۲-۲- یونیزاسیون
۴۰۱	۱۱-۲-۲-۳- رفتار تخلیه الکتریکی
۴۰۳	۱۱-۳- رانشگرهای الکتروگرمایی

۴۰۳.....	۱۱-۳-۱- رزیستو جت
۴۰۸.....	۱۱-۳-۲- قوس جت
۴۱۰.....	۱۱-۴-۲- رانشگرهای الکترواستاتیک
۴۱۳.....	۱۱-۴-۱- اصول اساسی رانشگرهای الکترواستاتیک
۴۱۷.....	۱۱-۴-۲- انتخاب پیشران
۴۱۷.....	۱۱-۴-۳- عملکرد رانشگر یونی
۴۱۹.....	۱۱-۵- رانشگر الکترومغناطیس
۴۲۰.....	۱۱-۵-۱- اصول پایه‌ای رانشگر الکترومغناطیس
۴۲۰.....	۱۱-۵-۲- انواع رانشگر پلاسما
۴۲۱.....	۱۱-۵-۲-۱- رانشگر الکترومغناطیسی پلاسمای دینامیکی (MPDT)
۴۲۳.....	۱۱-۵-۲-۲- رانشگرهای پلاسمای پالسی
۴۲۵.....	۱۱-۵-۲-۳- رانشگرهای اثر هال
۴۲۷.....	۱۱-۶- موتور موشک هسته‌ای
۴۳۰.....	۱۱-۷- موشک‌ها با انرژی خورشیدی
۴۳۷.....	ضمیمه الف
۴۳۹.....	ضمیمه ب
۴۴۳.....	ضمیمه ج
۴۴۴.....	ضمیمه د: جداول پیشران‌ها
۴۴۸.....	فهرست واژگان