



مجله نشر

اصول طراحی هوتور و پیشرانش فضایی

جلد ۲



تالیف

دکتر فتح الله اُمّی

دانشیار گروه هوافضای دانشگاه تربیت مدرس

اولین کتاب مورد تأیید انجمن هوافضای ایران
IAS-88-001



موسسه انتشارات بعثت

تهران - زمستان ۱۳۹۵

سرشناسه	امی، فتح‌الله، ۱۳۳۱ -
عنوان و نام پدیدآور	اصول طراحی موتور و پیشرانش فضایی / تألیف فتح‌الله امی؛ [با حمایت] انجمن هوا فضایی ایران.
مشخصات نشر	تهران: بعثت، ۱۳ -
مشخصات ظاهری	ج: مصور، جدول، نمودار (رنگی).
شابک	978-600-7084-18-2 ج: ۲
وضعیت فهرست نویسی	فهرست نویسی بر اساس جلد دوم، ۱۳۹۵.
یادداشت	جلد اول کتاب حاضر قبلاً تحت عنوان "تاریخچه و اصول مقدماتی طراحی موشک سوخت مایع (V2 & SCUD-B)" در سال ۱۳۷۲ توسط "جهاد دانشگاهی، واحد تهران" به صورت مستقل منتشر شده است.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	موشک‌های سوخت مایع
موضوع	Liquid propellant rockets
موضوع	سوخت مایع موشک
موضوع	Liquid propellants
موضوع	موشک‌ها - طرح و ساختمان
موضوع	Rockets (Aeronautics)-- Design and construction
شناسه رده	انجمن هوافضای ایران
رده بندی کنگره	۱۳۰۰ الف ۸ الف ۴ / TL۷۸۳
رده بندی دیویی	۶۲۹/۴۷۵۲۲
شماره کتابشناسی ملی	۴۵۰۲۴۲۸



موسسه انتشارات بعثت

بنیان گذار: استاد فخرالدین حجازی

تاسیس ۱۳۴۷

پروانه نشر دائم: ۵۴، شماره ثبت شرکت‌ها: ۳۳۷۱

عضو رسمی اتحادیه ناشران کتاب و نشر، تهران
و انجمن فرهنگی ناشران کتاب، مشهد

اصول طراحی موتور و پیشرانش فضایی

جلد ۲

/ دکتر فتح‌الله امی /

نوبت چاپ: اول / تاریخ انتشار: زمستان ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه / تعداد صفحه: ۱۷۶

شابک: 978-600-7084-18-2 ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۸۴-۱۸-۲

نشانی دفتر مرکزی: تهران - خ انقلاب - خ ۱۶ - آذر - شماره ۳۶ - ساختمان بعثت
کدپستی: ۵۴۴۹۳-۱۴۱۷۹ / تلفن: ۶۶۹۶۶۶۸۶-۶۶۴۱۹۸۹۹ / دورنگار: ۶۶۴۹۸۴۶۵

www.besatpub.com

besat.lib@gmail.com

سخن ناشر:

موسسه انتشارات بعثت (غیرانتفاعی) در سال ۱۳۴۷ در شرایطی که جامعه نیازمند تلاش‌های روشنگرایانه‌ی علمی و احیای الگوهای دینی بود، به‌همت نویسنده و سخنور نامی، شادروان استاد فخرالدین حجازی و جمعی از دوستانش شکل گرفت. از آن پس تلاش کرده است با نشر آثار مفید و مورد نیاز جامعه به‌ویژه دانشگاهی سهمی هرچند اندک در آگاهی‌بخشی، توسعه‌ی فکر و معرفت انسانی ایفا نماید. در این‌جا از نویسندگان و پژوهشگران برای همکاری دعوت می‌شود تا با ارایه‌ی آثار ارزشمند خود، ضامن بسط و گسترش فرهنگ و نیاز فرهنگی جامعه، موجب رشد فعالیت‌های موسسه و حیات پویای آن باشند.

کتاب حاضر (اصول طراحی معماری و پیش‌رانش فضایی) ادامه مباحث جلد اول (موتور و پیش‌رانش فضایی) حاصل تجارب تدریس و تحقیق دکتر فتح‌الله امی - عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس - است که در اختیار دانشجویان، کارشناسان و علاقه‌مندان به این تکنولوژی قرار می‌گیرد.

امید است خوانندگان محترم با پیشنهادها و انتقادهای سازنده این موسسه را در بهبود آثارش یاری فرمایند.

ای نام تو بهترین سرآغاز

از آنجاکه یکی از وظایف انجمن هوافضای ایران چاپ و نشر کتاب‌های مربوط به فناوری پیشرفته هوافضا در کشور می‌باشد، این انجمن از همه کارشناسان و اعضای هیئت‌علمی دانشگاه‌ها که در علوم هوافضا تلاش می‌نمایند دعوت نموده آثار خود را جهت انتشار در اختیار انجمن قرار دهند تا پس از بررسی و ارزیابی لازم، چاپ و منتشر گردد.

کتاب «موتور و پیشران فضایی» که حاصل بیست سال تدریس و تحقیق دکتر فتح‌الله امی عضو محترم هیئت‌علمی دانشکده هوافضا دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد به‌منظور حمایت معنوی در اختیار انجمن قرار گرفته و پس از بررسی کارشناسی کد IAS-88-001 مورد تأیید انجمن واقع است. مطالب این کتاب که برای اولین بار در ایران به چاپ می‌رسد ضمن تشریح کامل موتور فضایی‌های معروف جهان که تاکنون مورد بهره‌برداری قرار گرفته، نحوه طراحی آن را به روش و آموزش داده است، به‌طوری‌که کارشناسان پس از طی دوره آن می‌توانند مشخصات کلی موتور و پیشران فضایی موردنظر را طراحی و محاسبه نمایند. حل مثال واقعی پیشران فضایی 170- که برای پرتاب موشک باربری «نرژی» در این مرحله اول مورد بهره‌برداری قرار گرفته، راهنمای طراحی موتور می‌باشد.

بخش‌های دیگر کتاب، فناوری پاشش و انتشار سیال سوخت در تمام موتورهای زمینی، هوایی و فضایی که با سوخت مایع توان مؤثر و نیروی پیشران را ایجاد می‌کنند تشریح نموده و برای اولین بار در ایران تئوری، طراحی انژکتور و صفحه انژکتور را ارائه نموده است. در این کتاب طراحی سیستم‌های سرد انواع انژکتور نیز ارائه شده است. در بخش‌های انتهایی کتاب، ضمن بررسی موتورهای پاششی فضایی واقعی جهان، نحوه عملکرد آن‌ها با ارائه نمودار تشریح شده و اجزای مهم و متعلقات موتور پر قدرت RD-214 که برای پرتاب موشک باربر کاسموس مورد بهره‌برداری قرار گرفت، ارائه گردیده است. جداول و منحنی‌های منحصربه‌فرد در این کتاب که انواع سوخت‌های مهم موتور و پیشران‌های فضایی است به غنای تخصصی کتاب می‌افزاید.

در پایان، بار دیگر انجمن هوافضای ایران از عموم اعضا هیئت‌علمی و کارشناسان هوافضایی کشور دعوت می‌نماید که آثار خود را جهت انتشار در اختیار انجمن قرار دهند تا انجمن در انجام رسالت اشاعه و آموزش فناوری پیشرفته هوافضا در کشور گامی مؤثر بردارد.

محمد همایون صدر

رئیس انجمن هوافضای ایران

بنام خداوند جان و خرد

پیشگفتار

بی‌تردید خلقت زمین و آسمان در اعصار تاریخ بشر همواره مورد توجه اندیشمندان بوده و در تمام کتب آسمانی از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آیات الهی یاد شده است. در قرآن عظیم بیش از سیصد بار از خلقت آسمان‌ها و زمین یاد نموده و از انسان‌های باخرد (اولی‌الالباب) دعوت نموده که در حوزه با عظمت خلقت زمین و آسمان‌ها نظر کنند تا شاید به برخی از قوانین این پدیده پیچیده دست یابند.^۱

دعوت پروردگار عالم به تدبیر در حرکت پرندگان در هوا که گاهی با بال زدن و گاهی بدون حرکت بال‌ها پیش می‌روند، مشوق بشر برای دستیابی به علم پرواز است.^۲ در جای دیگر همه مخلوقات جن و انس را برای سفر به فضا تشویق نموده و می‌فرماید به کرانه‌های آسمان دست نی‌یابید مگر به واسطه نیروی علم که بر نیروی جاذبه زمین غلبه یابد.^۳ جالب است که در تمام آیات قرآن از زمین با کلمه مفرد (ارض) و از آسمان با کلمه جمع (سماوات) یاد نموده‌اند. این آسمان دارای هفت طبقه است (سبع‌السماوات) که آنچه بشر می‌بیند فقط طبقه اولی آسمان دنیا است.^۴

فناوری هوافضا از آن جهت تکنولوژی پیشرفته محسوب می‌شود که انسان را با شکل جهان و رشد آن آشنا می‌سازد. مهم‌ترین بهره از سیاره زمین برای زندگی بهتر و حفاظت از محیط‌زیست به جهان بشریت می‌رسد و همچنین قلعه‌ای محسوب می‌شود که آثار پیشرفت آن بر سایر علوم و فناوری‌های مورد نیاز جامعه بشری از آن جاری می‌گردد. برای مثال سه راهبرد سبک‌سازی، کوچک‌سازی و بازآرایی در فناوری فضایی موجب پیدایش علوم جدید و میان‌رشته‌ای مثل کامپوزیت‌ها و پانل‌ها، مواد گردیده که کاربرد روزافزون آن در سایر صنایع چشمگیر است.

پیشرفت روزافزون فناوری فضایی در سال‌های اخیر در ایران موجب گردیده که پیشرانش‌های عظیم ماهواره‌بر مثل موتور سیمرغ و ماهواره‌های پارس‌رفته مثل رصد، ظفر، فجر، امیرکبیر، نوید و کیسول زیستی راکت کاوش به همت دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و صنایع هوافضای کشور طراحی و ساخته شود.

با اتکا بر الطاف الهی پنجمین اثر اینجانب تحت عنوان «اصول طراحی موتور و پیشرانش فضایی» چاپ گردید. این اثر که مجموعه تکامل‌یافته تألیفات قبلی است در چهارده فصل تدوین شده که مرجع دروس آرایه‌شده توسط اینجانب در تحصیلات تکمیلی

۱- آیه ۱۹۰ آل عمران: ان فی خلق السموات و الارض و اختلاف الیل و النهار لآیات لا ولی الیاب.

۲- آیه ۱۹ ملک: اولم یرو الی الطیر فوفهم صافات و یقبضن ما یمسکهن اسما الرحمن انه بکلی شیء بصیر.

۳- آیه ۳۳ الرحمن: یا معشر الجن و الانس ان استطعتم ان تنفذوا من اقطار السموات و الارض فانفذوا لا تنفذوا الا بسلطان.

۴- آیه ۵ ملک: لقد زینا السماء الدنیا بمصابیح.

می‌باشد. ترتیب مباحث به گونه‌ای است که دانشجویان به سادگی با مراحل طراحی موتور و پیشرانش فضایی با سوخت مایع آشنا می‌شوند و سعی شده ضمن انتقال مفاهیم اصلی از پیچیده کردن مطالب پرهیز شود.

از آنجاکه صنایع طراحی پیشرانش‌های فضایی، تکنولوژی پیشرفته محسوب می‌شود و در انحصار چند کشور معدود است، در مراجع و مقالات علمی-پژوهشی جهانی، از ارایه مباحث کلیدی و مهم این تکنولوژی پرهیز می‌شود تا انحصار آن همواره محفوظ باشد. در منابع غربی کتاب‌های قطوری مشاهده می‌شود که متأسفانه دانشجویان و علاقه‌مندان به این تکنولوژی، با مطالعه آن‌ها به راهکارهای اساسی طراحی پیشرانش‌های فضایی دست نمی‌یابند، ولی در این کتاب پس از ارایه مطالب اصولی و مداول کاربردی در فصل‌های اول تا ششم، طراحی یک پیشرانش فضایی سوخت مایع واقعی در فصل هفتم ارایه شده است. در فصل‌های هشتم و نهم، طراحی مجموعه‌های تشکیل‌دهنده موتور شامل: انژکتور، صفحه انژکتور، محفظه احتراق و نازل همراه با تجهیزات تست آن‌ها ارایه گردیده تا دانشجویان بتوانند در بخش طراحی این صنعت که خوشبختانه کشور ما به تکنولوژی آن دست‌یافتگی داشته و دارند و این تکنولوژی را به سمت اهداف عالی‌تر توسعه دهند. در فصل دهم متعلقات موتور شامل توربوپمپ و اتصالات آن به انضمام عملکرد پنوماتیکی و هیدرولیکی با ذکر یک نمونه (موتور RD-214) ارایه شده است، در فصل یازدهم موضوع طراحی توربوپمپ در موتور سوخت مایع و در فصل دوازدهم موضوع مهم قطره و پاشش در موتور و پیشرانش‌های سوخت مایع فسیلی و هیدروکربنی مورد توجه قرار گرفته است. در فصل سیزدهم مبانی حرکت در هوا و فضا ارایه شده که در پایان آن دانشجویان می‌بایست کد محاسبات یک ماهواره بر مناسب برای قرار دادن ماهواره در مدار مورد نیاز را تدوین نمایند. و بالاخره در فصل چهاردهم کاربرد و توسعه موتورهای سوخت مایع در هوشماریه شده است.

در اینجا لازم است از آقایان پرفسور کوردیافسف، پرفسور سهخوف و دکتر بورکالسوف استادان اینجانب در دانشگاه صنعتی ایلالتی مسکو و نویسندگان طراحی و منابع روسی بکار گرفته شده در تألیف این اثر یاد نمود، همچنین از آقایان دکتر پژمان کاظم‌پور، مهندس علی مهرابی، دکتر حسین موسوی، مهندس دومان صوفیانی و مهندس مهدی خداپایاری که در تدوین این کتاب مؤلف را یاری نمودند قدردانی شود.

در پایان ضمن تقدیم این کتاب به سرور آزادگان جهان، امام حسین (ع) و سرباز باوفای ایشان شهید سردار حسن طهرانی مقدم، که از مؤسسان فناوری هوافضا در ایران بود، امید است همواره از این تکنولوژی در مقاصد و اهداف صلح‌آمیز بهره‌برداری گردد.

یا من له الهواء و الفضاء

فتح الله امی

تهران- پاییز ۱۳۹۵

فهرست مطالب جلد ۱ (موتور و پیشرانش فضایی)

- فصل ۱: تاریخ طراحی اولین موتور و پیشرانش فضایی
فصل ۲: آشنایی با اتمسفر و فضا
فصل ۳: موتورهای جت عملی
فصل ۴: موتورهای جت عملی با سوخت مایع
فصل ۵: مشخصات اصلی موتور سوخت مایع
فصل ۶: اصول محاسبات نرم‌دینامیکی - گاز دینامیکی موتور سوخت مایع
فصل ۷: سوخت و احتراق در پیشران فضایی
فصل ۸: اصول طراحی محفظه احتراق موتور سوخت مایع
فصل ۹: طراحی نازل
فصل ۱۰: متعلقات موتور سوخت مایع
- منابع

فهرست مطالب جلد ۲

فصل ۱۱ اصول طراحی توربوپمپ موتور و پیشرانش سوخت مایع.....	۸
۱-۱۱ مقدمه.....	۸
۲-۱۱ عملکرد و اصول ماشین های کار و نیرو.....	۸
۳-۱۱ تعاریف در مورد ماشین.....	۱۲
۱-۳-۱۱ توربو ماشین محوری و شعاعی:.....	۱۲
۲-۳-۱۱ توربو ماشین فشارقوی و فشار ضعیف.....	۱۲
۳-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند راجه.....	۱۲
۴-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند مرحله.....	۱۲
۵-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند بدنه.....	۱۳
۶-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند محوره.....	۱۳
۷-۳-۱۱ توربین های ضربه ای و عکس العملی.....	۱۳
۸-۳-۱۱ درجه عکس العملی.....	۱۳
۴-۱۱ راندمان مکانیکی در توربوماشین.....	۱۴
الف- ماشین های کار.....	۱۴
ب- ماشین نیرو (توربین گاز یا بخار).....	۱۵
۵-۱۱ راندمان کلی توربوماشین ها.....	۱۵
۶-۱۱ عوامل اقتصادی طراحی توربین.....	۱۵
۷-۱۱ توربوپمپ پیشرانش فضایی.....	۱۶
۱-۷-۱۱ مقدمه.....	۱۶
۲-۷-۱۱ پیشرانش با مخازن تحت فشار (سیستم جایگزین).....	۱۸
۳-۷-۱۱ روش های تأمین گاز مخازن.....	۲۳
۴-۷-۱۱ تنظیم فشار ورودی سیال عامل پمپ.....	۲۶
۵-۷-۱۱ سیستم سوخت رسانی پیشرانش احتراق مجدد (بسته).....	۳۲
۶-۷-۱۱ سیستم سوخت رسانی پیشرانش باز.....	۳۶
۷-۷-۱۱ مباحث منتخب در توربوپمپ پیشرانش فضایی.....	۳۹

۴۸	تمرین فصل یازدهم
۴۹	پیوست فصل یازدهم: پایگاه فضایی بایکونور
۵۱	فصل ۱۲ اصول پاشش سیال عامل در موتور سوخت مایع
۵۱	۱-۱۲ مقدمه
۵۲	۲-۱۲ انواع روشهای گسستگی در پاشش
۵۴	۳-۱۲ شبیه‌سازی انتشار سیال عامل
۵۵	۴-۱۲ پاشش در انژکتور آکوستیک
۶۲	تمرین فصل دوازدهم
	پیوست فصل دوازدهم: طراحی و ساخت اولین انژکتور دویاپه و میکرو موتور
۶۳	ساخت مایع در ایران
۶۶	فصل ۱۳ باز حرکت در هوا و فضا
۶۶	۱-۱۳ مقدمه
۶۷	۲-۱۳ نیروی ایرودینامیک
۷۱	۳-۱۳ معادلات خاک بر حرکت جسم در هوا و فضا
۷۱	۴-۱۳ معادلات حاکم بر حرکت هواپیما
۷۲	۱-۴-۱۳ حرکت مستقیم خطی بدون شتاب هواپیما
۷۴	۲-۴-۱۳ اوج‌گیری
۷۵	۳-۴-۱۳ برخاستن
۷۶	۵-۱۳ مبانی حرکت در فضا
۷۶	۱-۵-۱۳ پرواز در فضای با جاذبه و با موتور
۷۸	۲-۵-۱۳ پرواز در فضای بدون جاذبه و نیروی دینامیک
۸۲	۶-۱۳ روابط اساسی حرکت
۸۹	۷-۱۳ تأثیر سیستم پیشران‌ش بر عملکرد پرواز جسم
۹۱	۸-۱۳ پرواز فضایی
۹۴	۱-۸-۱۳ مدار بیضوی
۹۹	۲-۸-۱۳ فضای عمیق
۱۰۰	۳-۸-۱۳ انحرافات و اغتشاشات در مدار
۱۰۳	۴-۸-۱۳ عوامل ایجاد اغتشاش در مدار ماهواره به دور زمین
۱۰۵	۵-۸-۱۳ سرعت مأموریت
۱۰۸	۶-۸-۱۳ مانورهای پروازی هواپیما
۱۱۲	۷-۸-۱۳ پیشران‌ش کنترلی - واکنشی
۱۱۵	۹-۱۳ وسایل پرواز در فضا
۱۱۵	۱-۹-۱۳ فضاپیماهای تک‌مرحله‌ای

۱۱۶	۱۳-۹-۲ فضاپیماهای چندمرحله‌ای
۱۲۲	۱۳-۱۰ وسایل پرتاب فضایی
۱۲۶	۱۳-۱۱ موشک‌های نظامی
۱۲۹	۱۳-۱۲ اثرات آیرودینامیکی فوران شعله خروجی از نازل
۱۲۹	۱۳-۱۳ پایداری پرواز
۱۳۱	تمرین‌های فصل سیزدهم
۱۳۲	پیوست فصل سیزدهم: کپسول‌های حامل موجود زنده به فضا
۱۳۵	فصل ۱۴ کاربرد و توسعه موتورهای سوخت مایع
۱۳۵	۱۴-۱ مقدمه
۱۳۶	۱۴-۲ موشک‌های فضایی
۱۴۰	۱۴-۳ موشک‌های داخل اتمسفر
۱۴۱	۱۴-۴ هواپیماهای راکت جت
۱۴۲	۱۴-۵ سیر تحول موتورهای سوخت مایع فضایی در جهان
۱۴۷	تمرین فصل چهاردهم
۱۴۸	پیوست فصل چهاردهم: کیهان‌شناسی و یافته‌های تلسکوپ هابل
۱۷۰	فهرست منابع