

کزین برتر اندیشه برنگذرد  
خداوند روزی ده رهنمای

به نام خداوند جان و خرد  
خداوند نام و خداوند جای

تقدیم به پدر و مادرم

# جست‌ها

## موتورهای توربینی هوایی

مؤلف و گردآوری کننده : مهندس سید عبدالرضا بنی فاطمه

سرشناسه

بنی فاطمه، سیدعبدالرضا، ۱۳۶۴-، گردآورنده، مترجم

عنوان و نام پدیدآور : جت‌ها، موتورهای توربینی هوایی/مولف و گردآوری کننده؛ [صحیح: گردآورنده و مترجم] سیدعبدالرضا بنی فاطمه.

مشخصات نشر : تهران : طراح، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری : ۳۲۴ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).

شابک : 978-600-8666-11-0

وضعیت فهرست نویسی : فیبا

عنوان دیگر : موتورهای توربینی هوایی.

موضوع : توربین‌های گازی هواگرد.

موضوع : Aircraft gas-turbines

رده‌بندی کنگره : TLV۰۹/۵ / ت۹ب۹ ۱۳۹۶

رده‌بندی دیویی : ۶۲۹/۱۳۴۳۵۳

شماره کتابشناسی ملی : ۴۹۸۲۹۴۶

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف، ناشر نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۶۶-۱۱-۰

ISBN 978- 600- 8666-11 -0



نشر طراح

- نام کتاب : جت‌ها، موتورهای توربینی هوایی
- مولف و گردآوری کننده : مهندس سیدعبدالرضا بنی فاطمه
- ناشر : طراح
- صفحه آرایي : فاطمه نیکبختیان
- تیراژ : ۳۰۰ جلد
- نوبت چاپ : دوم، بهار ۱۳۹۷

کلیه حقوق برای نشر طراح محفوظ است.

آدرس انتشارات : خیابان انقلاب - روبه‌روی دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - ط دوم واحد ۵۰۶

آدرس پخش : خیابان انقلاب - روبه‌روی دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - ط منفی یک واحد ۲۰۸

تلفن : ۶۶۴۶ ۷۹۹۹ و ۶۶۹۵۱۸۳۲ و ۶۶۹۵۱۸۳۱-۰۲۱ - فکس : ۳۶۲۶ ۶۶۹۵-۰۲۱ و ۳ ۱۱۲ ۱۱۲ ۰۹۱۲

# پیشگفتار مؤلف

می‌پردازد و برای آشنایی بهتر خوانندگان با اصول آیرودینامیک موتور فصل چهارم گردآوری شده است. در فصول بعدی مازول‌های اصلی موتور و متعلقات و سیستم‌های جانبی موتور مثل سیستم‌های خنک‌کاری و آب‌بندی در موتور و نمونه‌های مختلف از موتورهای توربینی و همچنین در فصل بیستم مختصری درباره کاربردهای غیرهوایی موتورهای توربینی توضیح داده شده است. کتاب دارای عکس‌های رنگی و با کیفیت است که به فهم بهتر مطالب کمک می‌کند.

در جمهوری اسلامی ایران، شرکت طراحی و ساخت موتورهای هوایی یکی از شرکت‌های زیرمجموعه سازمان صنایع هوایی است و در حوزه موتورهای توربینی هوایی فعالیت می‌کند و تاکنون پیشرفت‌های خوبی هم در این زمینه بدست آورده است و با توجه به ظرفیت‌های موجود، آینده درخشان‌تری هم در این زمینه در کشور ما پیش بینی می‌شود.

**لازم** است در انتها تا از جناب آقایان مهندس محمدمهدی بالی معاونت محترم صنعت ساخت شرکت طراحی و ساخت موتورهای هوایی (شرکت سمت)، مهندس بهزاد خان احمدلو معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری شرکت سمت، مهندس علیرضا حاجیان‌نژاد، مهندس محمدمهدی حامدی که زحمت بازخوانی و ویراستاری فنی اثر را بر عهده گرفتند و مجموعه شرکت سمت که اینجانب تجربه خود را در این زمینه مدیون این مجموعه هستم و همچنین ریاست محترم انتشارات نشر طراح تشکر و قدردانی نمایم.

**قطعاً** این اثر هم خالی از اشکال نبوده و لذا از کلیه خوانندگان تقاضا می‌شود تا نظرات و پیشنهادهای خود را به آدرس الکترونیکی [S.a.r.banifatemeh2@gmail.com](mailto:S.a.r.banifatemeh2@gmail.com) ارسال نمایند.

**بدون** شک صنعت موتورهای توربینی یکی از پیشرفته‌ترین و مدرن‌ترین صنایع در جهان است و بالاترین سطوح تکنولوژی در طراحی و ساخت این موتورها به کار گرفته می‌شود. تقریباً تمامی حوزه‌های مهندسی مکانیک و مهندسی هوافضا در این زمینه درگیر هستند. امروزه کاربردهای موتورهای توربینی در حال گسترش بوده و علاوه بر صنایع هوایی و کاربردهای صنعتی در نیروگاه‌ها و صنایع نفت و گاز، این موتورها در کشتی‌ها و وسایل نقلیه دریایی و حتی در تانک‌های رزمی هم به کار گرفته می‌شوند. از این رو و با توجه به اهمیت این موضوع، کمبود کتاب جامع در این زمینه و به زبان فارسی در کشور ما احساس می‌شد و لذا هدف این کتاب، گردآوری مجموعه‌ای درباره موتورهای توربینی هوایی است که خواننده را با اصول تئوری، نحوه عملکرد و ساختار و قطعات مختلف موتور توربینی آشنا کند. سعی شده است تا مطالب کتاب پیوستگی خود را حفظ کنند و گام به گام ساختار موتور توربینی توضیح داده شود. مطالعه این کتاب می‌تواند برای دانشجویان رشته هوافضا، مهندسی شاعل در صنایع هوایی، خلبانان و حتی مهندسی که در زمینه موتورهای توربینی صنعتی فعالیت دارند و کلیه افراد علاقه‌مند به موتورهای جت مفید باشد. نگارش کتاب به گونه‌ای است که مطالعه آن برای افرادی که آشنایی اولیه با موتورهای توربینی را ندارند هم آسان و سودمند خواهد بود.

**کتاب** مشتمل بر بیست فصل است و در ابتدای شروع هر فصل نمونه‌هایی از موتورهای معروف و پرنده‌هایی که این موتورها در آنها به کار رفته است به صورت مصور معرفی شده‌اند. در فصول اول کتاب اصول پیشران جت، تاریخچه آن و بررسی اجمالی روند ساخت موتور توربینی، اصول عملکرد و انواع موتورهای توربینی بیان شده‌اند. فصل سوم به تئوری موتورهای توربینی و روابط پیشران موتور

۶۱	۱۰-۴	پارامترهای هندسی ایرفویل
۶۲	۱۱-۴	واماندگی ایرفویل
۶۳	۱۲-۴	کاربردهای ایرفویل
۶۸	۱۳-۴	موج ضربه

### فصل ۵ ورودی هوای موتورهای توربینی (۷۳-۸۱)

۷۳	۱-۵	نقش ورودی هوا در موتور
۷۴	۲-۵	انواع ورودی هوا
۷۴		ورودی‌های مادون صوت
۷۶		ورودی‌های مافوق صوت
۷۸		ورودی موتورهای رم جت و اسکرم جت
۷۹	۳-۵	عوامل موثر بر عملکرد ورودی موتور
۸۰	۴-۵	سیستم یخ‌زدایی موتور

### فصل ۶ کمپرسور موتورهای توربینی .... (۸۳-۱۰۳)

۸۳	۱-۶	انواع کمپرسور موتورهای توربینی و عملکرد آنها
۸۴		اصول عملکرد کمپرسور گریز از مرکز
۸۵		کمپرسورهای محوری
۹۰		کمپرسورهای ترکیبی
۹۰	۲-۶	تحلیل فشار کمپرسور
۹۱	۳-۶	آیرودینامیک کمپرسور
۹۳	۴-۶	واماندگی و سرچ در کمپرسور
۹۹	۵-۶	مواد سازنده کمپرسور
۱۰۰	۶-۶	ملاحظات ساخت کمپرسور
۱۰۳	۷-۶	آلودگی کمپرسور و توربین

### فصل ۷ محفظه احتراق ..... (۱۰۵-۱۲۰)

۱۰۵	۱-۷	عملکرد و قسمت‌های محفظه احتراق
۱۰۹	۲-۷	انواع محفظه احتراق
۱۱۱	۳-۷	احتراق در محفظه
۱۱۳	۴-۷	نازل پاشش سوخت و انواع آن
۱۱۷	۵-۷	روش‌های خنک‌کاری سیلندر احتراق
۱۱۸	۶-۷	ساختارهای جدید محفظه احتراق

### فصل ۸ مجموعه توربین ..... (۱۲۳-۱۳۴)

۱۲۳	۱-۸	عملکرد و اجزای توربین
-----	-----	-----------------------

### فصل ۱ پیشرانش جت ..... (۱۱-۳)

۳	۱-۱	مقدمه
۴	۲-۱	تاریخچه پیشرانش جت
۸	۳-۱	انواع پیشرانش جت

### فصل ۲ اصول عملکرد و انواع موتورهای توربینی

(۱۳-۳۱)		
۱۳	۱-۲	اصول عملکرد موتورهای توربینی
۱۴	۲-۲	سیکل کاری موتورهای توربینی
۱۶	۳-۲	تغییرات فشار، حجم و دما در موتور توربینی
۱۶	۴-۲	رفتار گاز در موتور
۱۸	۵-۲	انواع موتورهای توربینی
۲۷	۶-۲	مقایسه بازده موتورهای مختلف
۲۸	۷-۲	موتور و هواپیما
۲۹	۸-۲	نامگذاری‌های توان موتور
۲۹	۹-۲	مروری بر انواع موتورهای توربینی

### فصل ۳ تئوری موتورهای توربینی ..... (۳۳-۴۹)

۳۳	۱-۳	مفاهیم و کمیت‌های فیزیکی
۳۵	۲-۳	محاسبه پیشرانش موتور
۳۷	۳-۳	توزیع پیشرانش موتور
۴۱	۴-۳	روابط بازده موتورهای توربینی
۴۳	۵-۳	عوامل موثر بر روی پیشرانش

### فصل ۴ مبانی آیرودینامیک موتورهای توربینی

(۵۱-۷۰)		
۵۱	۱-۴	مفاهیم پایه آیرودینامیک
۵۴	۲-۴	جریان مادون صوت در مجراهای همگرا و واگرا
۵۵	۳-۴	تئوری برنولی
۵۵	۴-۴	اندازه‌گیری سرعت، فشار و فشار کل جریان
	۵-۴	جریان مافوق صوت در مجراهای همگرا، واگرا و همگرا واگرا
۵۶		
۵۷	۶-۴	جریان سیال ایده‌آل در اطراف ایرفویل
۵۷	۷-۴	عوامل موثر بر روی جریان آرام و متلاطم
۵۹	۸-۴	ایرفویل در یک جریان سیال واقعی
۶۰	۹-۴	تشریح فیزیکی نیروی برا

۱۸۹ ۳-۱۳ نمونه‌هایی از موتورهای عمود پرواز

**فصل ۱۴ سیستم سوخت‌رسانی موتور (۲۱۲-۱۹۵)**

۱-۱۴ سیستم سوخت رسانی داخل بدنه هواپیما ۱۹۵  
 ۲-۱۴ سیستم سوخت رسانی داخل موتور ۱۹۶  
 ۳-۱۴ اجزای سیستم کم‌فشار سوخت موتور ۱۹۶  
 ۴-۱۴ اجزای سیستم پرفشار سوخت موتور ۱۹۸  
 ۵-۱۴ سیستم سوخت رسانی موتور General electric CJ805-23 (J79) ۲۰۹  
 ۶-۱۴ سوخت موتورهای توربینی ۲۱۱

**فصل ۱۵ سیستم روانکاری موتور ..... (۲۲۴-۲۱۵)**

۱-۱۵ دلایل استفاده از روانکار در موتور ۲۱۵  
 ۲-۱۵ انواع سیستم روانکاری ۲۱۶  
 ۳-۱۵ اجزای اصلی سیستم روانکاری ۲۱۸  
 ۴-۱۵ انواع روغن‌های روانکار ۲۲۳

**فصل ۱۶ سیستم استارت موتور توربینی (۲۴۰-۲۲۷) .....**

۱-۱۶ مقدمات لازم برای استارت موتور ۲۲۷  
 ۲-۱۶ استارترموتورها ۲۲۸  
 ۳-۱۶ مراحل استارت موتورهای توربینی ۲۳۳  
 ۴-۱۶ حالت‌های کامل نبودن استارت موتور ۲۳۳  
 ۵-۱۶ موتور توان کمکی ۲۳۶  
 ۶-۱۶ سیستم جرعه احتراق ۲۳۷

**فصل ۱۷ مواد و روش‌های ساخت قطعات موتورهای توربینی (۲۵۲-۲۴۳) .....**

۱-۱۷ مواد ۲۴۳  
 ۲-۱۷ روش‌های ساخت ۲۴۷

**فصل ۱۸ اورهال، آزمایش و حسگرهای اندازه‌گیری موتور (۲۶۶-۲۵۵) .....**

۱-۱۸ اورهال ۲۵۵  
 ۲-۱۸ تست کردن موتور ۲۶۰

۲-۸ شکل آیرودینامیکی تیغه‌ها و پره‌های توربین ۱۲۸

۳-۸ مواد سازنده اجزای توربین ۱۳۱

۴-۸ ملاحظات ساخت اجزای توربین ۱۳۳

**فصل ۹ سیستم خروجی موتورهای توربینی (۱۴۸-۱۳۷) .....**

۱-۹ ساختار سیستم خروجی ۱۳۷  
 ۲-۹ انواع نازل پیش برنده ۱۳۹  
 ۳-۹ سیستم خروجی موتورهای با نسبت کنارگذر ۱۴۰  
 ۴-۹ میزان صدای موتور ۱۴۰  
 ۵-۹ معکوس کننده‌های پیشرانش ۱۴۲

**فصل ۱۰ روش‌های تقویت پیشرانش .... (۱۶۱-۱۵۱)**

۱-۱۰ تقویت پیشرانش با تزریق آب ۱۵۱  
 ۲-۱۰ تقویت پیشرانش با پس سوز ۱۵۴

**فصل ۱۱ خنک‌کاری و آب‌بندی با استفاده از هوای کمکی کمپرسور ..... (۱۷۱-۱۶۳)**

۱-۱۱ موارد استفاده از هوای کمکی کمپرسور ۱۶۳  
 ۲-۱۱ خنک‌کاری بخش‌های مختلف موتور ۱۶۴  
 ۳-۱۱ آب‌بندی در موتور توربینی ۱۶۸

**فصل ۱۲ جعبه‌دنده متعلقات و یاتاقان‌های موتور (۱۸۲-۱۷۳) .....**

۱-۱۲ عملکرد جعبه‌دنده متعلقات موتور ۱۷۳  
 ۲-۱۲ نحوه اتصال جعبه‌دنده‌ها ۱۷۴  
 ۳-۱۲ توزیع بار جعبه‌دنده ۱۷۷  
 ۴-۱۲ مواد به کار رفته در جعبه‌دنده ۱۷۸  
 ۵-۱۲ یاتاقان‌های موتور توربینی ۱۷۸  
 ۶-۱۲ نصب کردن موتور ۱۸۰

**فصل ۱۳ موتورهای توربینی با قابلیت پرواز و فرود عمودی (۱۹۲-۱۸۵) .....**

۱-۱۳ انواع سیستم‌های عمود پرواز ۱۸۵  
 ۲-۱۳ موتورهای عمودپرواز ۱۸۶

## VI فهرست

۱۲-۱۹	موتور	۲۶۱
۳۰۲	General Electric/NASA UDF Demonstrator	۲۶۵
۳۰۲	Jetcat p200 موتور میکروجت	۱۳-۱۹
۳۰۳	پیشرفت‌های آینده‌ی موتورهای توربینی	۱۴-۱۹

### فصل ۲۰ کاربردهای غیرهوایی موتورهای توربینی (۳۰۵-۳۱۰) .....

۱-۲۰	موتورهای توربینی صنعتی برای تولید توان الکتریکی	۳۰۵
۲-۲۰	کاربردهای دریایی موتورهای توربینی	۳۰۶
۳-۲۰	موتورهای توربینی در صنایع نفت و گاز	۳۰۶
۴-۲۰	کاربردهای پیشران زمینی	۳۰۷
۵-۲۰	موتور AGT1500 Alliedsignal Lycoming	۳۰۷
۶-۲۰	Series General electric LM	۳۰۸
۷-۲۰	موتور Pratt & Whitney Canada PT6	۳۰۹

### واژه‌نامه (۳۱۱-۳۱۶) .....

### مراجع (۳۱۷) .....

۳-۱۸	حسگرهای پارامترهای موتور	۲۶۱
۴-۱۸	تست رهاسازی پره	۲۶۵

### فصل ۱۹ معرفی نمونه‌هایی از موتورهای توربینی (۲۶۹-۳۰۳) .....

۱-۱۹	موتور توربوفاون Pratt & Whitney JT8D	۲۷۰
۲-۱۹	موتور Pratt & Whitney PT6-34	۲۸۴
۳-۱۹	موتور توربوفاون	۳-۱۹
۴-۱۹	موتور توان کمکی Whilliams international/Rolls Royce FJ44	۲۹۵
۴-۱۹	موتور توان کمکی Teledyne CAE Auxiliary Power Unit	۲۹۵
۵-۱۹	موتور توربوشارژ/توربوپراپ Allison Engine Company Model 250-C18 (T63)	۲۹۵
۶-۱۹	موتورهای سری K شرکت Allison	۲۹۷
۷-۱۹	موتور General Electric CF700	۲۹۹
۸-۱۹	موتور General Electric TF39	۲۹۹
۹-۱۹	موتورهای سری CF6 جنرال الکتریک	۳۰۱
۱۰-۱۹	موتور General Electric F101	۳۰۱
۱۱-۱۹	موتور General Electric T64	۳۰۱