

الله

جمهوری اسلامی ایران
سازمان هواپیمائی کشوری
دانشکده هواپیمائی کشوری

موضوع :

موتورهای جت هواپیما

Aircraft Jet Engines

پایان نامه :

برای دریافت درجه لیسانس (کارشناسی) در مهندسی هواپیما

استاد راهنما :

آقای مهندس ابوالقاسم بیبقی فوق لیسانس در مهندسی مکانیک محرکه های

حرارتی از انگلستان

(متخصص موتورهای جت و پیستونی)

تهیه و تدوین :

عبدالرضا وفائی

تاریخ شهریورماه سال ۱۳۶۳

۱۰۹۲۳

" مشخصات تهیه کننده "

نام - عبدالرضا

نام خانوادگی - وفائی

شغل - کارشناس فنی هواپیما

تجارب حرفه‌ای و شغلی :

- ۱- مدت ۷ سال تجربه کاری در اداره استان دارپرد پرواز .
- ۲- گذراندن دوره آموزشی هواپیمای جت فالکن در کشور فرانسه (پاریس) و دریافت گواهینامه مربوطه از مرکز آموزشی فالکن سرویس.
- ۳- مطالعه کتابهای فنی و آموزشی هواپیماهای سبک جهت طرح سئوالات امتحانی.
- ۴- دارای گواهینامه‌های موتور و بدنه A & P و دریافت ۵ نوع از گواهینامه‌های تخصصی (Type) مربوط به موتور و بدنه هواپیماهای جت فالکن و موتور و بدنه هواپیماهای بونانزا و موتور I.G.S.O مربوط به هواپیماهای دو موتور پیستونی .
- ۵- نظارت بر اموال فنی هواپیماهای جت فالکن در خارج از کشور و تحویل هواپیماهای مسافرتی متعدد .

ابوالقاسم بیهقی

میل امضاء

تصویب شد :

۱۰۹۲۳

بسمه تعالی

با خدا یا ما را به بهترین راه یعنی ولایت و رسالت انبیا و
خاتمیت پیغمبر خاتم حضرت محمد (ص) و امامت حضرت علی ابن ابیطالب
(ع) و یازده فرزندان او راهنمایی فرما و چنان گردان که بردین تو
اسلام پایبند و در روز رستاخیر سرافراز باشیم.

بسمه تعالی

مقدمه

درس‌های اخیر طرح و ساخت توربین‌های گازی و کاربرد آن در صنایع مختلف پیشرفت زیادی نموده و تحقیقات و کار مداوم روی آنها باعث گشته که قابلیت اعتماد آنها را افزایش داده و مورد استفاده گسترده‌ای در صنایع عظیم حمل و نقل هوایی قرار گیرد.

توربین‌های گازی مورد استفاده در موتورهای جت هواپیما یکی از مباحث علمی و بسیار پیشرفته مهندسی بوده که برای مطالعه دقیق آن احتیاج به فراگیری علمی نظیر ترمودینامیک و دینامیک گازها و قوانین حرکت نیوتنی و سایر علوم مهندسی می‌باشد که در این مجموعه کاربرد مباحث فوق در موتور جت هواپیما بنحوی ساده‌ای بیان گردیده که مورد استفاده کلیه دانشجویان و علاقمندان به این فن قرار گیرد.

در تهیه و تدوین این کتاب که فعلاً در ۸ فصل تنظیم گردیده نویسنده سعی نموده از کتابهای علمی دانشگاهها راجع به توربین‌های گازی و سایر کتابها و جزوات تخصصی مربوط به موتورهای جت استفاده نماید تا حد امکان مطالب و مباحث علمی و فنی آن برای خوانندگان محترم قابل استفاده بوده و با وجود اینکه در تهیه مطالب دقت کافی مبذول گشته ولی نویسنده بهیچ وجه ادعا ندارد که کار ارائه شده از هر جهت کامل است بدون نقص می‌باشد لذا از کلیه خوانندگان محترم تقاضا دارد در هر قسمتی از این کتاب اگر به مطلب نارسا و یا اطلاعات نامناسبی برخورد نمودند برای بنام منت گذارده و آنرا متذکر شوند تا اقدام به رفع اصلاح آن نمایم.

در فصل اول این کتاب مختصری راجع به تاریخچه و اساس کار موتورهای جت بر اساس قوانین نیوتن و نیروی عکس‌العمل بطور خلاصه

بیان گردیده است .

در فصل دوم بطور کلی تغییرات سرعت سیال در داخل لوله ها و بازدهی شیبورها و دفیوزرها و جریان گاز کامل در دفیوزرها و سرعت صوت در یک سیال و پدیده تراکم پذیری و اهمیت عدد ماخ بیان گردیده است .

فصل سوم راجع به سیکل های کار موتورهای جت (سیکل استاندارد هوایی و سیکل برایتون) و کاربرد آن و همچنین مقایسه ای بین سیکل های موتورهای جت و پیستونی صحبت مینماید .

فصل چهارم شامل طبقه بندی انواع موتورهای جت از قبیل راکتها و موشکها و موتورهای رمجت و پالس جت که قطعات گردان در داخل خود ندارند و همچنین موتورهای که دارای قطعات گردان در داخل خود هستند از قبیل موتورهای توربوجت و توربوپراپ و توربو فن و توربوشافت میباشد .

در فصل پنجم به قسمتهای تشکیل دهنده یک موتور جت هواپیما بطور بسیار مختصرا اشاره شده است .

در فصل ششم دهانه ورودی هوا به موتور جت در هواپیماهای مادون صوت و ما فوق صوت و سیستم های جلوگیری و محافظت از یخ زدگی این دهانه مورد بحث قرار گرفته است .

فصل هفتم اختتامیافته بدکمپرسورهای جریان گریز از مرکز و محوری و همچنین ساختمان و طرز کار این نوع کمپرسورها و سرچ و استمال آنها .

در فصل هشتم فاکتورهای مهم در طراحی محفظه های احتراق و انواع و راندمان آنها و همچنین بررسی اصول احتراق و سوختها و سوخت پاشها نیز در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است .

در پایان وظیفه خود میدانم که از زحمات بی شائبه و ارزنده استاد
راهنما آقای مهندس ابوالقاسم بیهقی که در تدوین و تصحیح مطالب
این کتاب همکاری شایانی داشته اند تشکر و قدردانی نموده و برای
ایشان از درگاه خداوند متعال آرزوی موفقیت نمایم.

عبدالرضا وفائی

فهرست مندرجات

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	<u>فصل اول :</u>
	تاریخچه و توسعه موتورهای جت براساس قوانین نیوتن :
۱	۱-۱- تاریخچه
۵	۱-۲- قوانین نیوتن
۶	۱-۳- قوانین حرکت نیوتنی
۷	۱-۴- تاثیرات عکس العمل
	<u>فصل دوم :</u>
	جریان سیالات درشیپوره‌ها و پخش کننده‌ها و تاثیرات سرعت مادن صوت و مافوق صوت و اهمیت عدد ماخ :
۱۰	۲-۱- تغییرات سرعت سیال در داخل لوله‌ها (شیپوره و دفیوزر)
۱۶	۲-۲- بازدهی شیپوره‌ها و دفیوزرها
۱۷	۲-۳- جریان گاز کامل در دفیوزرها
۱۹	۲-۴- سرعت صوت در یک سیال و پدیده تراکم پذیری
۲۲	۲-۵- اهمیت عدد ماخ
	<u>فصل سوم :</u>
	سیکلهای محرکه‌ها :
۲۵	۳-۱- مقدمه
۲۵	۳-۲- سیکل توربین کازی
۲۶	۳-۳- سیکل توربینهای کازی (سیکل استاندارد هوایی)
۲۹	۳-۴- سیکل برایتون
۳۰	۳-۵- کاربرد سیکل برایتون

صفحه

عنوان

۳۱

۳-۶- مقایسه سیکل موتورهای پیستونی و جت

فصل چهارم :

طبقه بندی انواع موتورهای جت :

۳۶

۴-۱- موتورهای جت

۳۷

۴-۲- راکتها و موشکها

۴۰

۴-۳- موتوررم جت

۴۷

۴-۴- موتورپالس جت

۴۹

۴-۵- موتورهای توربوجت

۶۷

۴-۶- موتورهای توربوپراپ

۷۶

۴-۷- موتورهای توربوفن

۱۱۳

۴-۸- موتورهای توربوشافت

فصل پنجم :

قسمتهای مختلف تشکیل دهنده یک موتورجت :

۱۲۳

۵-۱- دهانه ورودی هوا

۱۲۳

۵-۲- کمپرسور

۱۲۳

۵-۳- محفظه احتراق

۱۲۴

۵-۴- توربین

۱۲۴

۵-۵- سیستم اگزوز

۱۲۵

۵-۶- سیستمهای موتورجت

فصل ششم :

دهانه ورودی هوا :

۱۲۶

۶-۱- مقدمه

۱۲۶

۶-۲- دهانه ورودی هوا در هواپیماهای مادون صوت

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۲۷	۳-۶- دهانه ورودی هوا در هواپیماهای ما فوق صوت
۱۲۸	۴-۶- سیستم جلوگیری و محافظت از یخ زدگی دهانه ورودی هوا
	<u>فصل هفتم :</u>
	<u>کمپرسور :</u>
۱۳۲	۱-۷- مقدمه
۱۳۵	۲-۷- کمپرسورهای جریان گریزا مرکز
۱۳۵	۳-۷- ساختمان و طرز کار کمپرسورهای گریزا مرکز
۱۳۶	۴-۷- کمپرسورهای جریان محوری
۱۳۸	۵-۷- ساختمان و طرز کار کمپرسورهای محوری
۱۵۲	۶-۷- سرج و استال کمپرسورها
	<u>فصل هشتم :</u>
	<u>محفظه احتراق :</u>
۱۶۲	۱-۸- مقدمه
۱۶۲	۲-۸- فاکتورهای مهم و مورد توجه در طراحی محفظه احتراق
	۳-۸- انواع محفظه‌های احتراق موتورهای جت که امروزه مورد استفاده
۱۶۳	قرار میگیرند
۱۷۷	۴-۸- تحول و بررسی محصولات احتراق و راندمان محفظه احتراق
۱۸۰	۵-۸- سوخت‌ها
۱۸۶	۶-۸- سوخت پاشها

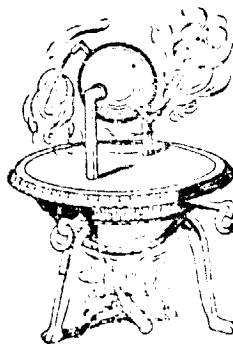
فصل اول

تاریخچه و توسعه موتورهای جت براساس قوانین نیوتن

۱-۱- تاریخچه :

دفیفا " هیچکس نمیداند که چه شخصی برای اولین بار اصول نیروی عکس العمل جت را کشف کرد . ولی این افتخار به شخصی بنام هیرو (Hero) از اهالی اسکندریه مصر در حدود ۱۵۰ سال قبل از میلاد مسیح نسبت داده میشود . او یک فرغره اختراع کرد که با بخار کار میکرد نام این وسیله Aeolipile میباشد . این طرح اصول اولیه یک موتور جت یا عکس العملی را تشکیل میداده است .

این وسیله تشکیل شده از یک ظرف پراز آب و دو لوله توخالی که بظرف آب مربوط بوده و به یک کره متصل میشوند ، دو لوله خروجی نیز که نوک آنها باریکتر شده عمود بر محور چرخش کره به آن متصل میشوند ، وقتیکه آب گرم شده بجوشد ، بخار حاصله از لوله های خروجی بسرعت خارج شده و سبب گردش کره میشود . (شکل ۱-۱) .



شکل (۱-۱)

در سال ۱۵۵۰ لئوناردو داوینچی (Leonardo Davinci) دستگاهی را طراحی کرد که در آن حرکت رویالای گاز می‌توانست پروانه روی سیخ کباب را بچرخاند .

در سال ۱۶۲۹ جیوانی برانکا (Giovanni Branca) ایتالیایی، یک توربین بخار ساخت که در آن از اصول عکس‌العمل‌ها استفاده شده بود و می‌توانست ماشینهای ساده را بکاربندد .

در سال ۱۶۸۷ اسحاق نیوتن قوانین حرکت و فرمول آنها را پیدا کرد که درحقیقت قوانین نیوتن اساس موتورهای جت را بنیان گذاشت ، او خودرویی را ساخت که بنام ارایه نیوتن نامیده شد ، این خودروبر اساس اصل عکس‌العمل کار میکند ، نحوه کار این خودرو باین صورت است که ظرف پر از آبی روی اجاقی نصب میشود ، لوله خروجی ظرف بشکل مخروط بوده و روی آن یک شیر کنترل بخار قرار دارد ، خروج بخار با سرعت زیاد سبب راندن خودرو شده و شیر بخار سرعت خودرو را کنترل میکند ، البته یادآور می‌گردد که اجاق و ظرف پر از آب روی چهار چرخ خودرو قرار گرفته‌اند

در سال ۱۷۹۱ جان باربر (John Barber) از تبعه انگلستان اولین شخصی بود که طرح تهیه سیکل ترمودینامیک توربین گازی را پیشنهاد کرد ، این توربین دارای تمام اجزاء اساسی یک توربین مدرن بوده با این تفاوت که در آن کمپرسوری از نوع رفت و برگشتی (پیستونی) بکار رفته بود .

در سال ۱۸۰۸ اختراع یک توربین گازی بنام جان بوم بل انگلیسی (John Bumbell) به ثبت رسید که در آن پرده‌های گردان بکار رفته بود ولی در آن پرده‌های ثابت وجود نداشت .

در سال ۱۸۵۰ دبلیو ، اف ، فرنی هوف (W.F.Fernihough) در انگلستان اختراع یک توربین را که با بخار و گاز کار میکرد به ثبت

رسانید ولی تا زمانی که بخار وسیله انتقال انرژی بود ، پیشرفت توربینهای گاز متوقف مانده بود ولی درعین حال مردی بنام استولز (Stolze) در سال ۱۸۷۲ چیزی را طرحریزی کرد که شاید بتوان آنرا اولین توربین گازی واقعی نامید ، او مدل این دستگاہ را بین سالهای ۱۹۰۰ و ۱۹۰۴ مورد آزمایش قرار داد ، در این آزمایش از یک توربین چند ردیفه (طبقه) گازی عکس‌العملی و یک کمپرسور چند ردیفه (طبقه) محوری استفاده شده بود .

آقای چارلز پارسونز (Sir Charles Parsons) مخترع بزرگ انگلیسی در سال ۱۸۸۴ موتورهای جت هواپیما را تاحدی تکمیل کرد ، او معتقد بود که میتوان هوای فشرده را به داخل یک کوره یا اطاق احتراق دمید و سوخت را به داخل آن پاشید و سپس محصول احتراق را توسط یک توربین منبسط کرد ، این عقیده درباره کمپرسور اصولاً همان چیزی است که امروزه داریم ، با این تفاوت که شکل تینه‌ها تغییر کرده است .

یکی از بزرگترین اشخاصی که در توسعه موتورهای جت نقش مهمی ایفا نموده است ، دکتر سانفورد اموس (Dr. Sanford A. Moss) است ، او یکی از مهندسين گرانقدر کمپانی جنرال الکتریک آمریکا گردید ، در سال ۱۹۰۰ تز خود را درباره توربینهای گاز تکمیل و آن را برای اخذ درجه فوق لیسانس (M.S.) به دانشگاه کالیفرنیا تسلیم نمود . کمکهای دکتر موس در مورد پیشرفت تمام انواع موتورها بقدری وسیع است که توضیح کامل آنها نیاز به تحریر مقالات زیادی دارد و فقط ، در این جا به ذکر چند نمونه از کارهای نامبرده اکتفاء میشود .

در سال ۱۹۰۲ دکتر موس آزمایشگاهی در دانشگاه کورنل (Cornell University) روی دستگاهی انجام داد که شاید بتوان آنرا اولین توربین گاز در ایالات متحده آمریکا دانست . با اینکه این توربین گاز

از نقطه نظر عملی موفقیت آمیز نبود ولی دکتر موس از آزمایش‌های خویش با اندازه کافی تجربه اندوخت که بتواند پروژه کمیانی جنرال الکتریک را در مورد ساختن توربین گاز در سالهای بعد شروع کند .

در سالهای بعد اختراعات و پیشرفتهای متعددی در مورد توربین گاز در آمریکا و اروپا پدید آمد ، ولی پیشرفت برجسته بعدی ساختن اولین توربوسوپرچارجر (Turbo Supercharger) جنرال الکتریک توسط دکتر سانفورد موس در اثناء جنگ جهانی اول بود .

در بین سالهای ۱۷۹۱ تا ۱۹۳۰ افراد بسیار زیادی طرح و ایده‌های مختلف برای موتورهای جت که ما امروزه از آنها استفاده می‌کنیم داده‌اند ، یکی از آنها فرانک ویتل (Frank Whittle) دانشجوی دانشکده افسری نیروی هوایی سلطنتی انگلستان می‌باشد ، او در سال ۱۹۳۰ به کارخانه رولزرویس انگلیس طرح ساخت موتور جت را داد که در آن کمپرسور هوا در جلو و توربین گاز در عقب بایک شافت مشترک کار میکردند و کمپرسور توسط انرژی حاصل از اطاق احتراق حرکت میکرد . این طرح برای ساخت موتور جت هواپیما ارائه گردید و بنام وی به ثبت رسید .

بطور خلاصه اسامی بعضی از مخترعین و طراحانی که مساعدتهائی در طرح موتور جت داشته‌اند را نام می‌بریم .

آقای جرج کالی (Sir George Caley) در سال ۱۸۰۷ و یکنفر فرانسوی بنام برسون (Bresson) در سال ۱۸۲۷ و در آمریکا چارلز جی کورتیس (Charles G. Curtis) در سال ۱۹۰۵ و دکتر گریفیث (Dr. Griffiht) عضو هواپیمائی سلطنتی انگلستان در سال ۱۹۲۸ و عده زیادی از مخترعین و مهندسين که در برنامه‌های جت مدرن شریک مساعی داشته‌اند تنها نام عده قلیلی از آنان ذکر شده است ولی کار هر کدام از آنان اساساً مبتنی بر قوانین حرکت نیوتن بوده است .

۱-۲- قوانین نیوتن :

در اینجا قبل از شروع به مطالعه انواع موتورهای جت و توربین، بهتر است با قوانینی که براساس آنها این موتورها کار میکنند و کشش تولید می‌نمایند آشنا شویم .

۱-۲-۱- قانون اول نیوتن : وقتی نیروی خارجی بر جسمی وارد نشود،

اگر ساکن باشد همواره سکون آن محفوظ خواهد بود و اگر حرکتی یکنواخت انجام میدهد ، همواره سرعت خود را حفظ خواهد کرد .
نتیجه مهمی که از قانون اول نیوتن میگیریم این است که هر جسمی اعم از ساکن یا متحرک با حرکت یکنواخت در مقابل تغییر وضعیت مقاومت میکند .

۱-۲-۲- قانون دوم نیوتن : اگر به جسمی نیروی وارد شود شتابی

خواهد داشت اعم از اینکه سرعت ، تغییر امتداد یا تغییر کمیت بدهد ، راستای نیرو و شتاب هم سو و مقادیر آنها متناسب خواهد بود ، بعنوان مثال اگر نیرو چند برابر شود شتاب نیز چند برابر خواهد شد ، وقتی نیروی جسم وارد میشود جسم از خود مقاومت و عکس العمل نشان میدهد که جهت آن مخالف نیروی وارده میباشد .

قانون دوم نیوتن را میتوان بوسیله فرمول $F = MA$ بیان نمود

که در آن F نیرو و M جرم و A شتاب میباشد .

۱-۲-۳- قانون سوم نیوتن : هرگاه جسمی نیروی بر جسم دیگری

وارد کند جسم دوم نیز متقابلاً بر جسم اول نیروی وارد میسازد که اندازه آن برابر اندازه نیروی اول ، جهت آن مخالف جهت نیروی اول و امتداد آن همان امتداد نیروی اول است . بعبارت دیگر در مقابل نیروی که بر جسم یا شیئی وارد میشود جسم یا شیئی هم یک نیروی عکس العمل وارد

میآورد ، نیروی وارده و عکس‌العمل با هم مساوی و درجهت مخالف هستند .
 مثالهای روزمره فراوانی از قانون سوم نیوتن میتوان بیان نمود ، آبیاش
 که بوسیله نیروی عکس‌العمل و بدون هیچگونه نیروی الکتریکی کار میکند
 یک نمونه از مثالهای قانون سوم نیوتن میباشد و یا میتوان عکس‌العمل
 حاصله از خروج آب از لوله‌های آب‌آتش‌نشانی که برای خاموش کردن آتش
 استفاده میشود و یا لوله‌های تفنگ و یا لوله‌های توپ که نیروی عکس‌العملی
 بر بدنه لوله اثر میکند را بعنوان مثالهایی از قانون سوم ذکر نمود .

۲-۱- قوانین حرکت نیوتنی :

نیروی تولید شده توسط موتور جت را میتوان بوسیله قانون دوم و سوم
 نیوتن در مورد حرکت تشریح کرد . در مورد قانون دوم میتوان گفت که با
 تغییر مومنتوم نیروئی بوجود میآید ، و این نیرو برابر است با مقدار
 تغییر مومنتوم نسبت به زمان ، مومنتوم یک جسم بصورت حاصلضرب جرم در
 سرعت آن تعریف میشود ، از این قانون چنین نتیجه میشود که اگر سرعت
 جسم را تغییر دهیم نیروئی لازم خواهد بود . این اصل بصورت معادله

$$F = \frac{dM}{dt}$$
 نشان داده میشود که در آن F عبارت است از نیرو ، M مومنتوم
 و t زمان میباشد .

معنی این معادله این است که نیروی تولید شده بوسیله یک تغییر
 سرعت در جسم برابر است با مقدار تغییر سرعت تقسیم بر تغییر زمان .
 فرمول دیگری که همین عمل را توضیح میدهد عبارتست از

$$F = \frac{W}{g} (V_2 - V_1)$$
 که در فرمول فوق W وزن بر حسب پوند یا کیلوگرم
 و F عبارتست از نیرو و $M = \frac{W}{g}$ جرم ماده است و V_2 سرعت نهائی
 بر حسب فوت بر ثانیه و یا متر بر ثانیه و V_1 سرعت اولیه بر حسب فوت
 بر ثانیه و یا متر بر ثانیه و g برابر است با شتاب ثقل زمین ۳۲/۲ فوت
 بر مجذور ثانیه و یا ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه است .