مرکز اطلاعات علمی ایران
تاریخ مدارک

دانشگاه علم‌وصنعت ایران

دانشکدهٔ مهندسی مکانیک

۱۳۷۹ /۵/ ۲۱

اصول مطابقت کارائی موتور و بدنهٔ هواپیما

ارائه دهنده : سروش مخلص

۶۱۳۶۰

پایان نامه جهت دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی هوافضا

استاد راهنما : دکتر محمد نصیری

خرداد ۷۸

۳۰۰۰۷

تقدیم

به پدر، مادر و برادر عزیزم ، که همواره یاور و مشوق من بوده اند .

۳۰۰۰۷

چکیده

هواپیما ترکیبی است از دو سیستم اصلی موتور و بدنه . انتخاب مناسب موتور برای بدنه ، موجب صرفه جوئی در انرژی و هزینه ها و بهبود کارائی هواپیما می گردد .مسائل فراوانی در تطابق بین موتور وبدنه مطرح می باشند . در این پایان نامه طی چهار فصل سعی شده تا از نظر تئوری به مسائلی که در تطابق کارائی موتور و بدنه مطرح هستند و روشی که برای انتخاب مناسب پارامترهای اولیه موتور بکار می رود ، پرداخته شود . در همین راستا یک برنامه کامپیوتری (ANALYSIS) تهیه شده که به کمک آن می توان هواپیما را از نظر وزنی (وزن هواپیما در هر یک از فازهای ماموریت) وکارائی (دینامیک پرواز) مدل نمود . در قسمت آخر به عنوان مثال مسئله تعویض موتور هواپیمای F4-E مطرح گشته و پارامترهای مشخصه یک موتور توربوفن جدید (نسبت تراکم کمپرسور ، نسبت کنارگذری و درجه حرارت ورودی توربین) به منظور کاهش سوخت مصرف شده به وسیله این هواپیما طی انجام ماموریت ، معرفی گشته اند .

قدردانی

حال که به لطف خداوند مراحل تحریر و تنظیم این پایان نامه به اتمام رسیده ، برخود لازم میدانم تا مراتب امتنان وتشکر خویش را از کلیه سرورانی که به نحوی مرا در انجام این کار مساعدت نموده اند به حضور ایشان تقدیم نمایم .خصوصا از جناب آقای دکتر محمد نصیری استاد محترم راهنما که همواره از رهنمودهای ایشان بهره مند بوده ام کمال تشکر را دارم . همین طور از اساتید ارجمندی که مسئولیت داوری و حضور در جلسه دفاعیه را تقبل نموده اند سپاسگذارم .

و در پایان از دوستان خوبم آقایان مهندس مسعود صدقی و مهندس امین قوامی که در انجام این پایان نامه به انحاء مختلف مرا یاری نمودند تشکر می نمایم .

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

چکیده.....الف

تقدیم.....ب

قدردانی.....ت

فهرست مطالب.....پ

فهرست اشکال و جداول.....د

فهرست علائم.....ض

پیشگفتار.....۱

فصل اول : آنالیز محدودیتها

۱-۱- مقدمه.....۴

۱-۲- مروری بر ایرودینامیک.....۵

۱-۳- معادلات دینامیک پروازی.....۱۰

۱-۳-۱- پرواز Cruise با سرعت وارتفاع ثابت.....۱۲

۱-۳-۲- صعود با سرعت ثابت.....۱۳

۱-۳-۳- گردش با سرعت و ارتفاع ثابت.....۱۳

۱-۳-۴- شتابگیری افقی.....۱۴

۱-۳-۵- برخاست.....۱۵

۱-۳-۶- فرود.....۱۹

۱-۳-۷- سقف پرواز.....۲۰

۱-۴- تخمینهای اولیه از پارامترهای مورد نیاز.....۲۲

۱-۴-۱- تخمین پارامترهای اولیه.....۲۲

۲-۴-۱- تخمین نیروی جلوبرندگی.....۲۳
۳-۴-۱- تخمین ضرائب وزن (β).....۲۴
فصل دوم : آنالیز ماموریت
۱-۲- مقدمه.....۲۶
۲-۲- مدل وزنی هواپیما.....۲۸
۱-۲-۲- انتگرال گیری در حالت $P_s>0$.....۲۹
۲-۲-۲- انتگرال گیری در حالت $P_s=0$.....۳۱
۳-۲-۲- خواص مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی(TSFC) و تخمین آن.....۳۱
۴-۲-۲- مدل وزنی در حالت گرم کردن موتور(Warm Up).....۳۳
۵-۲-۲- مدل وزنی در حالت شتابگیری برای برخاستن.....۳۳
۶-۲-۲- مدل وزنی در حالت چرخیدن به هنگام برخاستن.....۳۴
۷-۲-۲- مدل وزنی در حالت صعود با سرعت ثابت.....۳۴
۸-۲-۲- مدل وزنی در حالت شتابگیری افقی.....۳۵
۹-۲-۲- مدل وزنی در حالت شتابگیری همراه با صعود.....۳۶
۱۰-۲-۲- مدل وزنی در حالت پرواز Cruise با سرعت ثابت.....۳۷
۱۱-۲-۲- مدل وزنی در حالت گردش با سرعت و ارتفاع ثابت.....۳۸
۱۲-۲-۲- مدل وزنی در حالت پرواز Cruise در بهترین سرعت و ارتفاع.....۳۸
۱۳-۲-۲- مدل وزنی در حالت Loiter.....۴۲
۱۴-۲-۲- مدل وزنی برای مانورهای با سطح انرژی ثابت.....۴۲
۳-۲- محاسبه وزن برخاستن(W_{To}).....۴۳
۴-۲- تعین مسیر پرواز برای شرایط کمترین مصرف سوخت و
مینیمم زمان صعود.....۴۵

فصل سوم : آنالیز سیکل موتور در فاز On Design

۳-۱- مقدمه..... ۴۸

۳-۲- دانش لازم..... ۴۹

۳-۲-۱- اجزاء موتورهای توربوفن..... ۴۹

۳-۲-۲- تعریف نسبتهای خواص نهائی..... ۵۱

۳-۲-۳- نرخ جریان جرمی..... ۵۳

۳-۲-۴- راندمان اجزاء مختلف..... ۵۵

۳-۲-۵- فرضیات مورد استفاده در تحلیل جریان..... ۵۷

۳-۲-۶- دسته بندی پارامترهای کارائی محاسبه شده و پارامترهای لازم برای انجام محاسبات..... ۶۷

۳-۳- انتخاب داده های ورودی..... ۷۰

فصل چهارم : آنالیز سیکل موتور در فاز Off Disign

۴-۱- مقدمه..... ۷۳

۴-۲- دانش لازم..... ۷۳

۴-۲-۱- فرضیات مورد استفاده در تحلیل جریان..... ۷۴

۴-۲-۲- تعریف روش مقادیر مرجع..... ۷۵

۴-۲-۳- تعریف پارامتر جریان جرمی(MFP)..... ۷۶

۴-۲-۴- شرایط موجود در توربین فشار بالا و محفظه خنک کننده..... ۷۶

۴-۳- محاسبه پارامترهای کارائی..... ۷۷

۴-۳-۱- پارامترهای کارائی اجزاء موتور..... ۷۷

۴-۳-۲- پارامترهای کارائی کل موتور..... ۸۲

۴-۳-۳- روش تکرار برای محاسبات..... ۸۳

فصل پنجم : حل یک مسئله نمونه

۵-۱- مقدمه..... ۸۵

۵-۲- اطلاعات اولیه..... ۸۶

۵-۲-۱- مشخصات هواپیما..... ۸۷

۵-۲-۲- تعین ماموریت مورد نظر برای هواپیما..... ۸۸

۵-۲-۳- تخمین رفتار موتور J79-GE-17 ..... ۹۱

۵-۲-۴- تخمین ضریب پسای هواپیما..... ۹۲

۵-۳- انتخاب پارامترهای اولیه برای یک موتور جدید..... ۹۸

۵-۳-۱- آنالیز پارامتریک سیکل موتور J79-GE-17 ..... ۹۸

۵-۳-۲- آنالیز پارامتریک سیکل موتور توربوفن با ضریب
کنار گذری پائین وجریان مخلوط شونده..... ۱۰۰

۵-۳-۳- اجرا آنالیز ماموریت و انتخاب نقطه طراحی موتور..... ۱۰۲

۵-۴- نتایج حاصله..... ۱۰۳

چشم انداز تحقیقات آینده..... ۱۰۶

توضیحاتی در مورد برنامه ANALYSIS..... ۱۰۷

مراجع..... ۱۰۹

اشکال و جداول..... ۱۱۱

فلوچارت برنامه ANALYSIS ۱۴۵

فهرست اشکا ل و جداول

شکل (۱-۱) - توزیع فشار اطراف ایرفویل [1].....۱۱۱

شکل (۱-۲) - نمودار ضریب پسا بر حسب زاویه حمله [1].....۱۱۱

شکل (۱-۳) - تغیرات پسا بر حسب عدد ماخ [1].....۱۱۲

شکل (۱-۴) - نیروهای وارد بر هوا پیما به هنگام گردش [2].....۱۱۲

شکل (۱-۵a) - مراحل فرایند برخاستن ($h_{obs} > h_{TR}$)[2] ۱۱۳

شکل (۱-۵b) - مراحل فرایند برخاستن ($h_{obs} < h_{TR}$) [2].....۱۱۳

شکل (۱-۶) - فرایند نشستن[2] ۱۱۳

شکل (۱-۷) - تخمین C_{dmin} برای هواپیماهای باری و مسافربری [2].....۱۱۴

شکل (۱-۸) - تخمین K_2 برای جنگنده ها [2].....۱۱۴

شکل (۱-۹) - تخمین C_{D0} برای جنگنده ها [2] ۱۱۴

شکل (۱-۲) - مثالی از مسیر پرواز برای کمترین زمان صعود [2].....۱۱۵

شکل (۲-۲) - مثالی از مسیر پرواز برای کمترین مصرف سوخت به
هنگام اوجگیری [2].....۱۱۵

شکل (۱-۳) - شماتیکی از موتور توربوفن و شماره گذاری قسمتهای
مختلف آن [2].....۱۱۶

شکل (۲-۳) - شماتیکی از هوای گرفته شده برای خنک سازی [2].....۱۱۶

شکل (۳-۳) - نیروی جلوبرندگی موتور ۱۱۶

شکل (۱-۵) - تغیرات نیروی جلوبرندگی موتور " J79-GE-17 " بر حسب
عدد ماخ و ارتفاع در حالت نصب نشده و بدون پس سوز ۱۱۷

شکل (۲-۵) - تغیرات مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی موتور
" J79-GE-17 " بر حسب عدد ماخ و ارتفاع در حالت
نصب نشده و بدون پس سوز ۱۱۷
شکل (۳-۵) - تغیرات دبی موتور " J79-GE-17 " بر حسب عدد ماخ
و ارتفاع در حالت نصب نشده و بدون پس سوز ۱۱۸
شکل (۴-۵) - تغیرات نسبت تراکم کمپرسور موتور " J79-GE-17 " بر
حسب عدد ماخ و ارتفاع در حالت نصب نشده و بدون
پس سوز ۱۱۸
شکل (۵-۵) - تغیرات نیروی جلوبرندگی موتور " J79-GE-17 " بر
حسب عدد ماخ و ارتفاع در حالت نصب نشده و
همراه با پس سوز.....۱۱۹
شکل (۶-۵) - تغیرات مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی موتور
" J79-GE-17 " بر حسب عدد ماخ و ارتفاع در حالت
نصب نشده و همراه با پس سوز ۱۱۹
شکل (۷-۵) - تغیرات دبی هوا موتور " J79-GE-17 " بر حسب عدد
ماخ و ارتفاع در حالت نصب نشده و بدون پس سوز ۱۲۰
شکل (۸-۵) - تغیرات نسبت تراکم موتور " J79-GE-17 " بر حسب
عدد ماخ و ارتفاع در حالت نصب نشده و بدون پس سوز ۱۲۰
شکل (۹-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور " J79-GE-17 " .
تغیرات نیروی جلوبرندگی ویژه بر حسب عدد ماخ و ارتفاع
در حالت نصب نشده و بدون پس سوز ۱۲۱

شکل (۱۰-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور " J79-GE-17 " .
تغیرات مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی بر حسب عدد ماخ
و ارتفاع در حالت نصب نشده و بدون پس سوز ۱۲۱
شکل (۱۱-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور " J79-GE-17 " .
تغیرات مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی برحسب ارتفاع و
نیروی جلوبرندگی ویژه در حالت نصب نشده و بدون پس سوز...۱۲۲
شکل (۱۲-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور " J79-GE-17 " .
تغیرات نیروی جلوبرندگی ویژه بر حسب عدد ماخ و ارتفاع در
حالت نصب نشده و همراه با پس سوز ۱۲۲
شکل (۱۳-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور " J79-GE-17 " .
تغیرات مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی بر حسب عدد ماخ و
ارتفاع در حالت نصب نشده وهمراه با پس سوز ۱۲۳
شکل (۱۴-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور " J79-GE-17 " .
تغیرات مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی برحسب ارتفاع و
نیروی جلوبرندگی ویژه درحالت نصب نشده همراه با پس سوز ..۱۲۳
شکل (۱۵-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور توربوفن
در شرایط " Cruise " در ارتفاع 32000 ft بدون پس سوز ۱۲۴
شکل (۱۶-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور توربوفن در
شرایط " Take off " در ارتفاع 2000 ft با پس سوز ۱۲۴
شکل (۱۷-۵) - نتایج حاصل از آنالیز پارامتریک سیکل موتور توربوفن در
شرایط " Cruise " در ارتفاع 40500 ft بدون پس سوز ۱۲۵

شکل (۱۸-۵) – تغیرات کارائی موتور توربوفن بر حسب تغیر درجه
حرارت ورودی توربین در شرایط " Cruise " در ارتفاع
40500 ft بدون پس سوز (آنالیز پارامتریک) ۱۲۵
شکل (۱۹-۵) – ناحیه انتخاب نسبتهای تراکم کمپرسور و کنارگذری
موتور توربوفن در شرایط " Cruise " در
ارتفاع 32000 ft بدون پس سوز ۱۲۶
شکل (۲۰-۵) – ناحیه انتخاب نسبتهای تراکم کمپرسور و کنارگذری
موتور توربوفن در شرایط " Take off " در ارتفاع 2000 ft
با پس سوز ۱۲۶
شکل (۲۱-۵) – ناحیه انتخاب نسبتهای تراکم کمپرسور و کنارگذری
موتور توربوفن در شرایط " Cruise " در ارتفاع 40500 ft
بدون پس سوز ۱۲۷
شکل (۲۲a-۵) – تاثیر تغیرات درجه حرارت ورودی توربین بر ناحیه
انتخاب نسبتهای تراکم کمپرسور و کنارگذری موتور
توربوفن در شرایط " Cruise " در ارتفاع 40500 ft
بدون پس سوز ۱۲۷
شکل (۲۲b-۵) – تاثیر تغیرات درجه حرارت ورودی توربین بر ناحیه
انتخاب نسبتهای تراکم کمپرسور و کنارگذری موتور
توربوفن در شرایط " Cruise " در ارتفاع 40500 ft
بدون پس سوز ۱۲۸

شکل (۲۳-۵) - نمودار وزن سوخت مصرف شده در طی فازهای
مختلف ماموریت برای ترکیبهای (۵-۱) ازموتور توربوفن ۱۲۹
شکل (۲۴-۵) - نمودار وزن سوخت مصرف شده در طی فازهای
مختلف ماموریت برای ترکیبهای (۹-۶) از
موتور توربوفن ۱۳۰

جدول (۱-۱) - تخمین C_{lmax} [2] ۱۳۳
جدول (۱-۴) - انواع متغیرهای موجود در فرایند Off Design [2] ۱۳۳
جدول (۱-۵) - تغیرات عدد ماخ بر حسب ارتفاع برای صعود به
ارتفاع " Cruise "باکمترین مصرف سوخت ۱۳۴
جدول (۲-۵) - اطلاعات مربوط به ماموریت تعین شده برای هواپیما ۱۳۴
جدول (۱-۳-۵) - نتایج محاسبه شده مربوط به جزئیات ماموریت.....۱۳۵
جدول (۲-۳-۵) - نتایج محاسبه شده مربوط به جزئیات ماموریت.....۱۳۶
جدول (۴-۵) - تغیرات عدد ماخ ، ارتفاع ، نیروی جلوبرندگی و
مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی برای صعود
به ارتفاع " Cruise " از 2000 - 32000 ft با کمترین مصرف
سوخت برای موتور J79-GE-17 " ۱۳۶
جدول (۵-۵) - سوخت مصرف شده طی ماموریت مورد نظر ، برای ترکیبهای
مختلف موتور توربو فن.....۱۳۷
جدول (۱-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۱)
ازجدول (۵-۵) ۱۳۷

جدول (۲-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۲)
از جدول (۵-۵) ۱۳۸
جدول (۳-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۳) از
جدول (۵-۵) ۱۳۸
جدول (۴-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۴) از
جدول (۵-۵) ۱۳۹
جدول (۵-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۵) از
جدول (۵-۵) ۱۳۹
جدول (۶-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۶) از
جدول (۵-۵) ۱۴۰
جدول (۷-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۷) از
جدول (۵-۵) ۱۴۰

جدول (۸-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره (۸) از
جدول (۵-۵) ۱۴۱
جدول (۹-۶-۵) - اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و نیروی جلوبرندگی
طی ماموریت تعین شده برای هواپیما برای ترکیب شماره
(۹) از جدول (۵-۵) ۱۴۲
جدول (۱-۷-۵) - تغیرات عدد ماخ ، ارتفاع ، نیروی جلوبرندگی و
مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی برای صعود به
ارتفاع " Cruise " از 32000 - 2000 ft با کمترین مصرف
سوخت برای ترکیبهای شماره (۵-۱) از جدول (۵-۵) ۱۴۲
جدول (۲-۷-۵) - تغیرات عدد ماخ ، ارتفاع ، نیروی جلوبرندگی و
مصرف سوخت ویژه جلوبرندگی برای صعود به
ارتفاع " Cruise " از 32000 - 2000 ft با کمترین مصرف
سوخت برای ترکیبهای شماره (۹-۶) از جدول (۵-۵) ۱۴۳
جدول (۸-۵) - نتایج بدست آمده جدید در مورد مشخصه های ماموریت ۱۴۴