بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت معلم سبزوار

دانشکده فنی و مهندسی- گروه مکانیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان پایان نامه:

مدلسازی سیستم کنترل سوخت موتور توربوجت با استفاده از سیستم فازی - عصبی تطبیقی(ANFIS)

استاد راهنما:

دکتر علی گل نژاد

نگارش:

رحیم خشتگر

مهر ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آن شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

تقدیر و تشکر:

ضمن سپاس بیکران خداوند،برخود لازم می دانم،از اساتید محترم جناب آقای دکتر علی گل نژاد و جناب آقای دکتر امیر خوشنویس که با ارائه راهنمایی های مدبرانه و دلسوزانه‌شان،نظارت و سرپرستی این پروژه را بر عهده داشته اند،صمیمانه تشکر و قدر دانی نمایم.همچنین از صنایع هواپیمایی ایران(صها) که امکانات لازم را جهت تحقیق بر روی این پروژه فراهم نموده اند سپاسگزارم.

در پایان لازم می دانم که از اعضای هیات داوری بخاطر حضور در جلسهٔ دفاعیه و فراهم نمودن امکان ارائه پربار آن،صمیمانه تشکر نموده و سپاس خود را به حضورشان تقدیم می دارم.

مهر ۱۳۹۰

فرم چکیده‌ی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی تحصیلات تکمیلی

دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: خشتگر	**نام:** رحیم	**ش دانشجویی:** ۸۷۱۳۸۰۱۰۴۰
استاد راهنما: دکتر علی گل‌نژاد	**استاد مشاور:**	
دانشکده: فنی و مهندسی	**رشته:** مکانیک	**گرایش:** تبدیل انرژی
مقطع: کارشناسی ارشد	**تاریخ دفاع:** ۱۳۹۰/۷/۲۱	**تعداد صفحات:** ۹۵

عنوان پایان‌نامه: مدلسازی سیستم کنترل سوخت موتور توربوجت با استفاده از سیستم فازی– عصبی تطبیقی(ANFIS)

کلیدواژه‌ها: موتور توربوجت – تابع عضویت گوسی- تابع عضویت زنگی - سیستم فازی - عصبی تطبیقی

چکیده

موتور های توربین گاز جهت کارکرد مطلوب به یک سیستم کنترل نیاز دارند تا دبی سوخت را به عنوان منبع انرژی اولیه بر اساس نیاز موتور تنظیم نماید. هدف از این پروژه تبدیل سیستم کنترل سوخت هیدرومکانیکی به الکترونیکی است.بین پارامترهای ورودی سیستم کنترل سوخت که شامل دمای ورودی کمپرسور،سرعت موتور،موقعیت دسته گاز و فشار خروجی کمپرسور می باشد، سوخت مورد نیاز موتورتنها خروجی سیستم می‌باشد که تابعی است غیر خطی و رابطه‌ی ریاضی مستقیمی برای آن در دسترس نیست.از این رو دیدگاه فازی ـ عصبی تطبیقی برای مدل سازی پارامترهای موثر بر خروجی سیستم به صورت یک ایده عمومی در آمد چراکه مدل ANFIS در برگیرنده دو مدل شبکه های عصبی و مدل فازی می‌باشد .بخش فازی رابطه ای بین ورودی و خروجی برقرار نموده و پارامترهای مربوط به توابع عضویت بخش فازی به وسیله شبکه های عصبی تعیین می‌شود، لذا خصوصیات هر دو مدل فازی و عصبی در ANFIS نهفته است.برای این کار ۹۳۰ الگوی آزمایشی مختلف در

صنایع هواپیمائی ایران(صها) از موتور توربوجت J85-GE-21A تهیه شد تا در فرآیند یادگیری استفاده شود. برای آموزش از الگوریتم یادگیری ترکیبی و همچنین تابع عضویت های گوسی و زنگی با دو راهبرد تعداد توابع عضویت یکسان و متفاوت استفاده گردید. نتایج نشان داد که خطای پیش بینی شده با استفاده از تابع عضویت گوسی بین ٪۰.۵ و ٪۲٤.۷ تغییر می‌کند وخطای پیش بینی میانگین ٪۸.۱۵ است.و با استفاده از تابع عضویت زنگی خطای پیش بینی شده بین٪۳.۰۸ و ٪۳۰.٦ تغییر می‌کند وخطای پیش بینی میانگین ٪۱۱.۵ است.

امضای استاد راهنما

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول

مقدمه ای بر انواع موتور های توربینی و سیستم کنترل سوخت آنها

۱-۱ مقدمه.....۲

۱-۲ انواع موتور های جت.....۲

۱-۲-۱ توربین گاز.....۲

۱-۲-۲ توربو جت.....۳

۱-۲-۳ توربو فن.....٤

۱-۲-٤ توربوپراپ(توربوشفت).....٦

۱-۲-٥ رم جت.....۷

۱-۲-٦ پالس جت.....۷

۱-۲-۷ پرشر جت.....۸

۱-۳ سیستم های کنترل سوخت.....۹

۱-٤ پارامترهای سیستم کنترل سوخت.....۹

۱-٥ مروری بر روش های ریاضی سیستم کنترل سوخت.....۱۲

۱-٥-۱- طراحی شکل و ترکیب سیستم کنترل.....۱۲

۱-٥-۲- طراحی سیستم کنترل تطبیقی(Adaptive Control).....۱٤

۱-٦-معرفی سیستم کنترل سوخت چند موتور هواپیما.....۱٤

۱-٦-۱ سیستم کنترل سوخت Pt-6.....۱۵

۱-٦-۲- سیستم کنترل سوخت JFC68..... ۱٦

۱-٦-۳- سیستم کنترل سوخت WOODWARD ۱۷

۱-٦-٤- سیستمهای کنترل الکترونیکی.....۱۸

۱-٦-۵- سیستم کنترل سوخت دیجیتال ۱۹

فصل دوم

مروری بر کارهای گذشته.....۲۰

فصل سوم

سیستم کنترل سوخت J85-GE-21A

۳-۱ مقدمه.....۳۵

۳-۲ پمپ سوخت اصلی.....۳٦

۳-۳ کنترل سوخت اصلی.....۳۷

۳-۳-۱ بخش اندازه گیری جریان ۳۹

۳-۳-۱-۱ فیلترها.....۳۹

۳-۳-۱-۲ تابع اندازه گیری مقدار سوخت.....۳۹

۳-۳-۱-۳ اساس شیر تنظیم کننده فشار ٤۰

۳-۳-۱-٤ عملکرد شیر تنظیم کننده فشار ٤۰

۳-۳-۱-۵ سرووی شیر اندازه گیری جریان ٤٣

۳-۳-۲ بخش محاسبه گر ٤٥

۳-۳-۲-۱ اتصالات چند گانه ٤٦

۳-۳-۲-۲ سنسور فشار خروجی کمپرسور ٤٧

۳-۳-۲-۳ سیستم حسگر سرعت ٤٨

۳-۳-۲-٤ عملکرد بادامک سه بعدی ٥٠

۳-۳-۲-۵ سرووی دمای ورودی کمپرسور ٥١

۳-۳-۲-٦ سرووی هندسی متغیر ٥٣

۳-۳-۲-۷ اتصالات محاسباتی ٥٥

فصل چهارم

سیستم فازی- عصبی تطبیقی

٤-۱ مقدمه..... ٥٧

٤-۲ الگوریتم Back-Propagation (BP)..... ٥٨

٤-۳ سیستم های فازی..... ٥٨

٤-٤ سیستم فازی- عصبی تطبیقی ٥٩

٤-۵ معیارهای ارزیابی مدل ٦٥

فصل پنجم

ارائه و تحلیل داده ها

۵-۱ آزمایش ها ٦٧

۵-۲ مدلسازی ۷۰

۵-۲-۱ طراحی سیستم فازی - عصبی تطبیقی ۷۰

۵-۲-۲ ارزشگذاری سیستم فازی - عصبی تطبیقی ۷۱

۵-۳ نتایج سیستم فازی - عصبی تطبیقی ۷۲

فصل ششم

بحث و نتیجه‌گیری..... ۷۸

منابع..... ۸۱

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه ۸۳

چکیده انگلیسی ۸٤

فهرست تصاویر

عنوان صفحه

شکل(۱-۱) موتور توربو جت با کمپرسور محوری..... ۳

شکل(۱-۲) موتور توربوفن باضریب کنار گذر بالا..... ۵

شکل(۱-۳) موتور توربو پراپ..... ٦

شکل(۱-٤) رم جت..... ۷

شکل(۲-۱) نقشه عملکرد کمپرسور و محدودیت‌های آن..... ۲۳

شکل(۲-۲) محدودیت‌های انفجاری احتراق..... ۲۳

شکل(۲-۳) نقشه عملکرد توربین و محدودیت‌های آن..... ۲٤

شکل(۲-٤) پاسخ پله‌ای به شتاب مثبت با کنترلر انتگرالی-تناسبی..... ۲۵

شکل(۲-۵) پاسخ پله‌ای به شتاب منفی با کنترلر انتگرالی-تناسبی..... ۲۵

شکل(۲-٦) پاسخ پله‌ای به شتاب مثبت با کنترلر فازی نوع اول..... ۲٦

شکل(۲-۷) پاسخ پله‌ای به شتاب منفی با کنترلر فازی نوع اول..... ۲٦

شکل(۲-۸) پاسخ پله‌ای به شتاب مثبت با کنترلر فازی نوع دوم..... ۲۷

شکل(۲-۹) پاسخ پله‌ای به شتاب مثبت با کنترلر فازی نوع دوم..... ۲۷

شکل(۳-۱) سیستم سوخت رسانی ۳٦

شکل(۳-۲) نحوه تاثیر پارامترهای ورودی روی شیر اندازه گیری جریان در سیستم کنترل سوخت..... ۳۸

شکل(۳-۳) سیستم کنترل سوخت ٤۲

شکل(۳-٤) سروی شیر اندازه گیری جریان ٤٥
شکل(۳-٥) بخش محاسبه گر سیستم کنترل با پارامترهای کنترلی ٤٦
شکل(۳-٦) سروی فشار خروجی کمپرسور ٤٨
شکل(۳-۷) سروی گاورنر ٤٩
شکل(۳-۸) سروی دمای ورودی کمپرسور ٥٢
شکل(۳-۹) سیستم سروی هندسی متغیر ٥٤
شکل(٤-۱) یک شبکه تک لایه با s نرون..... ٥۷
شکل(٤-۲) یک مدل فازی سوجنو با دو ورودی و دو قانون ٥۹
شکل(٤-۳) ساختار یک مدل ANFIS با ۲ متغیر ورودی ٦۱
شکل(٥-۱): تغییرات دبی سوخت در مقابل تغییرات CDPو RPM ٦۷
شکل (٥-۲): تغییرات دبی سوخت در مقابل تغییرات CDPو RPM ٦۸
شکل (٥-۳): تغییرات دبی سوخت در مقابل تغییرات CDPو CIT ٦۸
شکل(٥-٤) تابع عضویت دمای ورودی کمپرسور ۷۰
شکل(٥-٥)تابع عضویت موقعیت دسته گاز ۷۰
شکل(٥-٦) تابع عضویت فشار خروجی کمپرسور ۷۱
شکل(٥-۷) تابع عضویت RPM موتور ۷۱
شکل(٥-۸) مقدار تجربی جریان سوخت و مقدار پیش بینی شده توسط ANFIS با استفاده از تابع عضویت گوسی..... ۷٦

شکل(۵-۹) مقدار تجربی جریان سوخت و مقدار پیش بینی شده توسط ANFIS با استفاده از تابع عضویت زنگی ۷۶

فهرست علایم و نشانه ها

W_f جریان سوخت خروجی

CIT یا T_2 دمای ورودی به کمپرسور

P_{amb} فشار اتمسفر

P_{s4} فشار محفظه احتراق

CDP یا P_3 فشار خروجی از کمپرسور

c_p گرمای مخصوص در فشار ثابت

c_v گرمای مخصوص در حجم ثابت

γ نسبت گرمای ویژه

η_c بازده آیزنتروپیک کمپرسور

η_t بازده آیزنتروپیک توربین

P_h فشار بالا دست شیر اندازه گیری جریان

P_m فشار پایین دست شیر اندازه گیری جریان

ΔP افت فشار در طول اوریفیس شیر اندازه گیری جریان

$y_{forecast}$ خروجی ANFIS

y_{actual} مقدار واقعی

MAE میانگین خطای مطلق

MSE میانگین مجذورات خطا

$RMSE$ جذر میانگین مجذورات خطا

RE خطای نسبی

R^2 ضریب تعیین

P_3/P_2 نسبت فشار کمپرسور

w نرخ جریان

$\frac{W_a\sqrt{\theta_a}}{\delta_a}$ جریان تصحیح شده

$N/\sqrt{\theta_a}$ سرعت تصحیح شده

$W_{ga}\sqrt{T_a}/P_a$ تابع جریان تصحیح شده

$\frac{T_a-T_b}{T_a}$ نسبت دما

فصل اول

مقدمه ای بر انواع موتور های توربینی

و سیستم کنترل سوخت آنها

۱-۱ مقدمه

بررسی و مطالعه سیستم های کنترل سوخت در موتورهای جت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.کنترل تعداد زیادی پارامتر در موتور، محدودیت های عملکرد موتور در شرایط مختلف پروازی،نیاز به ایجاد شتاب های مختلف ایمن برای موتور،همگی از عواملی می باشند که نیاز به وجود یک سیستم کنترل کارا برای موتورهای هواپیما را ضرروری می سازند.در سالهای اخیر عواملی چون مصرف اقتصادی سوخت، قابلیت اطمینان بالا و تضمین راندمان بالا نیز برای موتور به این عوامل اضافه شده اند.

ساده ترین سیستم کنترل سوخت برای موتورهای توربین گاز یک شیر کنترل دستی می باشد.لکن استفاده از شیر دستی برای کنترل سوخت روش مناسبی نیست زیرا خلبان مجبور است مرتبا تنظیم های گوناگون را خود انجام دهد تا از آسیب موتور جلوگیری کند و آن را در یک عملکرد صحیح با راندمان بالا نگه دارد.بروز چنین مسائلی با توجه به وظایف دیگر خلبان،امر کنترل هواپیما را با مشکل جدی روبرو می‌سازد.

۱-۲ انواع موتور های جت

۱-۲-۱ توربین گاز

در حقیقت تمامی موتورهای جتی که دارای توربین هستند توربین گاز نامیده می شوند ولی اصطلاح توربین گاز بیشتر به موتورهای جتی داده میشود که هدف استفاده از آنها تولید رانش نیست بلکه چرخاندن توربین و اکثرا برای تولید برق است و برخی اوقات در طراحی و نحوه قرار گرفتن توربین‌ها و نازل با انواع دیگر موتور جت تفاوت عمده ای دارند. در توربین های بخار برای چرخاندن توربین‌ها

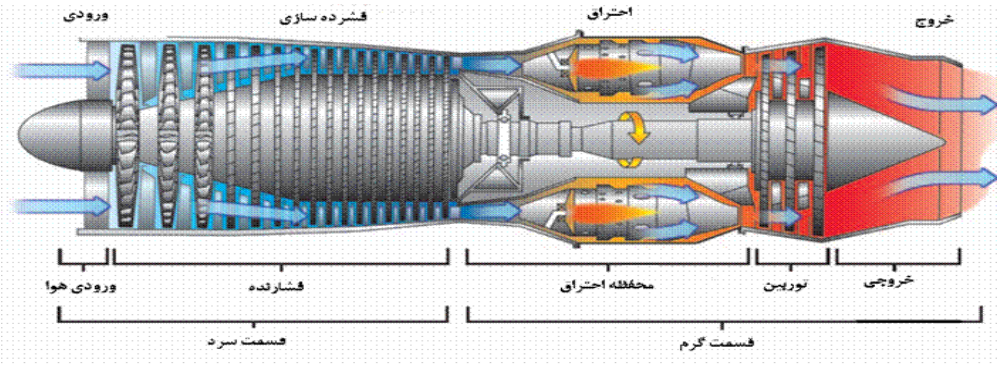
ابتدا آب را توسط سوخت‌های فسیلی حرارت می‌دهند تا آب تبدیل به بخار شود و بخار سبب چرخش توربین می‌شود که این سیستم دارای ضعف‌هایی است از جمله حجیم بودن دستگاه‌ها و تشکیلات نیروگاه ولی در توربین گاز مرحله تبدیل آب به بخار حذف شده است و گازهای داغ خروجی که در توربین بخار هدر می‌شوند در این حالت مستقیما سبب چرخش توربین می‌گردد .

۱-۲-۲ توربوجت :

توربوجت یک واژه کلی برای توصیف موتورهای توربین گازی است، که به طور کلی از سه قسمت کمپرسور (فشارنده هوای ورودی)،محفظه احتراق وتوربین(برای چرخاندن کمپرسور و یا شفت)تشکیل می‌شوند.در کل منظور از توربوجت نوعی از موتور جت بدون شفت اضافی (مقصود شفتی است که برای انتقال نیرو به جایی غیر از کمپرسور مورد استفاده قرار بگیرد) وضریب کنار گذر صفر است.

مزایا : نسبت به توربوفن وتوربوپراپ و ... طراحی ساده تری دارد همچنین در سرعتهای مافوق صوت بازده بالایی دارد (تقریباً از ماخ دو به بالا)

معایب : طراحی پایه وکلی این نوع موتور در سرعتهای زیر صوت بسیار ناکارآمد ، کم بازده ، پر مصرف و نسبتاً پر صدا می‌باشد .



شکل(۱-۱) موتور توربو جت با کمپرسور محوری[۲٤]

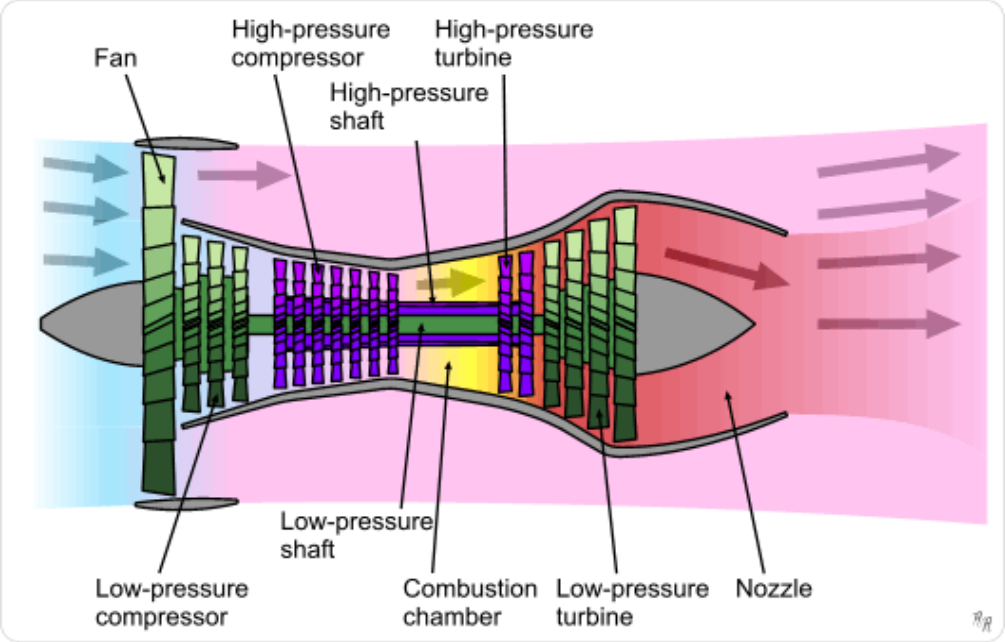
۱-۲-۳ توربو فن :

ساختار موتور توربوفن مانند موتور توربوجت است با این تفاوت که مرحله(یا مراحل) اول کمپرسور آن بسیار بزرگتر است.این مساله باعث می‌شود که هوای ورودی به موتور به شدت افزایش پیدا کند.اما درصد زیادی از هوای ورودی به موتور بدون وارد شدن به محفظه احتراق و مخلوط شدن با سوخت و احتراق از انتهای موتور خارج می‌شود. به نسبت هوایی که بدون عبور از محفظه احتراق از موتور خارج می‌شود به کل هوای ورودی ضریب کنار گذر[1] می‌گویند. با این کار سرعت گازهای داغ خروجی از نازل کاهش و دبی جرمی(میزان جرم عبوری از موتور در واحد زمان) موتور افزایش می‌یابد.

مزایا: بازده و برد بیشتر نسبت به توربوجت در سرعتهای زیر صوت و دمای پایین گازهای خروجی (به علت مخلوط شدن گازهای ناشی از احتراق با هوای سرد کنار گذر)

معایب: این موتورها بسیار پیچیده تر از توربوجت هستند.(دارای مجراهای بیشتر و معمولاً دارای شفت های چندگانه). قطر بدنه‌ی موتورهای توربوفن بسیار زیاد است و در مجموع موتورهای بزرگ و سنگینی هستند و نیاز به پره‌های بزرگ و سنگین دارند، بیشتر در معرض ورود اشیای خارجی قرار دارد و در مقابل یخ زدگی آسیب‌پذیر می‌باشد. دارای سرعت محدود است(زیر صوت) چون در برابر عبور از امواج ضربه ای ناشی از رسیدن به سرعت صوت، بسیار آسیب پذیر است و نمی‌تواند از سرعت صوت عبور کند.

[1] - Bypass



شکل(۱-۲) موتور توربوفن باضریب کنار گذر با لا[۲٤]

پراپ فن :

شبیه موتور توربو فن است با این تفاوت که فن آن در بیرون مجرای موتور قرار دارد.

مزایا: بازده سوخت بیشتر (اصولاً هدف از طراحی این موتورهای پیچیده وگرانقیمت افزایش بازده وکاهش مصرف سوخت بود) ونسبت به موتور توربوفن کم صداتروهمچنین توانایی کارکرد در محدوده سرعت بزرگتر از توربو فن، این موتور به علت کم مصرف بودن در دهه ۱۹۸۰محبوب شد(به علت قیمت بالای نفت)

معایب: برخی از نمونه های آن بر خلاف انتظار از توربو فن پر صداتر بودندواز انواع دیگر موتور جت پیچیده ترو گرانتر بودند، همین مساله باعث شد تا تولید وتوسعه آنها متوقف شود.