دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

بهینه سازی ترمودینامیکی یک سیکل میکروتوربین با تمرکز بر مبادله کن گرما و استفاده از انرژی گازهای خروجی

استاد راهنما

دکترمرتضی یاری

با مشاورت

دکتر سید محمد سید محمودی

توسط

عباس محمدیان

زمستان ۱۳۸۸

تقدیم به:

پدر عزیزم

مادر فداکارم

و

برادران مهربانم

سپاسگزاری:

حمد بی پایان و سپاس بی‌کران خدای را که بر من منت گذاشت تا این تحقیق را به پایان برسانم. امیدوارم که این پایان، آغازی برای یک عمر تلاش در جهت آبادانی و سازندگی کشور عزیزمان ایران باشد. اکنون که این پژوهش به پایان رسیده است، بر خود واجب می‌دانم از تمامی بزرگوارانی که مرا در فراگیری علم و دانش یاری نمودند قدردانی و تشکر نمایم. از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مرتضی یاری و مشاورت جناب آقای دکتر سید محمدسید محمودی و مهندس حقیری که در انجام این تحقیق از راهنمایی‌های ایشان بهره بردم صمیمانه تشکر می‌کنم.

از شرکت گاز استان اردبیل که این پایان نامه را مورد حمایت قرار دادند نهایت سپاسگزاری را دارم.

از تمامی دوستان و همکلاسی‌های عزیزم به پاس محبت‌شان تشکر می‌نمایم. در پایان برای همه‌ی عزیزان پیروزی و خوشبختی و برای خاک پاک میهنم سرافرازی آرزو می‌کنم.

نام خانوادگی دانشجو: محمدیان **نام:** عباس

عنوان پایان نامه: بهینه سازی ترمودینامیکی یک سیکل میکروتوربین با تمرکز بر مبادله کن گرما و استفاده از انرژی گازهای خروجی

استاد راهنما: دکتر مرتضی یاری

با مشاورت : دکتر سید محمد سید محمودی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** تبدیل انرژی **دانشگاه:** محقق اردبیلی **دانشکده:** فنی ومهندسی **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۸/۱۲/۱۰ **تعداد صفحه:** ۱۰۷

واژه‌های کلیدی:
میکروتوربین ، سیکل رانکین با سیال آلی، انرژی گازهای خروجی، روش اکسرژی- توپولوژیکال ، ذخیره انرژی اولیه

چکیده:
در این تحقیق، تحلیل سیکل‌های ترکیبی میکروتوربین و سیکل‌های رانکین با سیال آلی صورت گرفته است. آرایش‌های مختلف سیکل‌های ترکیبی عباتند از: میکروتوربین و سیکل ساده رانکین با سیال آلی، میکروتوربین و سیکل رانکین با مبدل حرارتی داخلی و سیال آلی و میکروتوربین و سیکل رانکین با بازیاب با سیال عامل آلی. سیال‌های کارکن آلی عبارتند از:R113,R123,R600,Isobutne که در زمره سیالات خشک هستند .سیکل‌های مختلف بر اساس راندمان انرژی بیشینه سیکل ترکیبی و متغیرهای فشار ورودی به توربین، اختلاف دمای پینچ پوینت و سوپر هیت و فشار زیرکش بهینه سازی شده است سپس بروش اکسرژی – توپولوژیکال تحلیل شده است، میزان راندمان اکسرژی، افت اکسرژی، درجه تصحیح ترمودینامیکی، ضریب تاثیر و... برای سیکل ترکیبی، سیکل‌های رانکین با سیال آلی و تک تک اجزای سیکل ترکیبی محاسبه شده است وتاثیر پارامترهایی نظیر فشار ورودی به توربین، دمای ورودی به توربین، اختلاف دمای پینچ پوینت و نسبت تراکم کمپرسور بر بازده حرارتی ، بازده قانون دوم ، اتلافات اکسرژی و میزان ذخیره انرژی اولیه سیکل‌های ترکیبی بحث شده است.
این مطالعه نشان داد که سیکل ترکیبی رانکین با مبدل حرارتی داخلی بیشترین راندمان انرژی، بیشترین راندمان اکسرژی و کمترین افت را در سیکل ترکیبی دارد . در بین سیالات مورد مطالعه R113 دارای بهترین عملکرد می‌باشد. با افزیش فشار ورودی به توربین راندمان سیکل‌های ترکیبی افزایش می‌یابد و میزان اتلافات کاهش می‌یابد، انرژی ذخیره شده در سیکل با مبدل داخلی نیز کاهش می‌یابد. افزایش دمای ورودی به توربین اتلافات را در سیکل با مبدل داخلی کاهش می‌دهد. بیشترین اتلافات در بین سیکل ها معمولاً در سیکل ترکیبی رانکین ساده با سیال آلی است.

فهرست مطالب

فصل‌اول مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- توربین گازی..... ۳

۱-۲-۱-کاربرد توربین گازی..... ۳

۱-۲-۲- اجزای اصلی توربین گازی..... ۴

۱-۲-۳-تاریخچه توربین گازی..... ۵

۱-۲-۴- انواع سیکل‌های توربین گازی..... ۷

۱-۲-۵- اصلاح سیکل توربین گازی..... ۱۰

۱-۲-۵-۱- انواع باززاهای مورد استفاده در توربین‌های گازی..... ۱۱

۱-۲-۵-۲-آثار مثبت و کارایی باززاها..... ۱۲

۱-۳- سیکل‌های ترکیبی و میکروتوربین..... ۱۲

۱-۴- سیکل رانکین با سیال آلی..... ۱۵

۱-۴-۱- پیشینه سیکل ترکیبی رانکین با سیال آلی و میکروتوربین..... ۱۸

۱-۴-۲- نیروگاه‌های زمین گرمایی دوگانه..... ۱۸

۱-۴-۳- سیکل رانکین با سیال آلی برای تولید توان در آب شیرین کنی..... ۲۰

۱-۴-۴- سیکل ترکیبی رانکین با سیال آلی و موتورهای احتراق داخلی..... ۲۱

۱-۴-۵- سیکل رانکین با سیال آلی دراشل کوچک..... ۲۲

۱-۵- انرژی و اکسرژی..... ۲۳

۱-۵-۱- مفهوم انرژی و قانون اول ترمودینامیک..... ۲۴

۱-۵-۲- مفهوم اکسرژی و قانون دوم ترمودینامیک..... ۲۵

۱-۵-۲-۱- قابلیت کار دهی- ماکزیمم پتانسیل کاری..... ۲۵

۱-۵-۲-۲- کار بازگشت پذیر و بازگشت ناپذیری..... ۲۷

۱-۵-۲- ۳- انتقال قابلیت کاردهی با تقابل گرما و کار..... ۳۰

۱-۵-۲-۴- کارایی قانون دوم..... ۳۴

۱-۵-۲-۵ مکانیزمهای اصلی تولید آنتروپی و نابودی اکسرژی..... ۳۶

فصل دوم مواد و روش‌ها..... ۳۸

۲-۱- قوانین اول و دوم ترمودینامیک..... ۳۹

۲-۱-۱- قانون اول ترمودینامیک..... ۳۹

۲-۱-۲- قانون دوم ترمودینامیک ۴۰
۲-۱-۲-۱- قانون دوم در مورد سیستم‌های بسته ۴۰
۲-۱-۲-۲- قانون دوم در مورد سیستم‌های جریان دائم ۴۸
۲-۳- تحلیل اکسرژی به روش اکسرژی- توپولوژیکال ۴۸
۲-۳-۱- مدل اتلاف اکسرژی ۵۰
۲-۳-۲-مدل راندمان اکسرژی ۵۴
۲-۴ مدلسازی و تحلیل ترمودینامیکی سیکل ترکیبی ۵۵
۲-۴-۱ مدل‌سازی و تحلیل ترمودینامیکی میکروتوربین ۵۵
۲-۴ -۲ مدل‌سازی و تحلیل ترمودینامیکی سیکل رانکین با سیال آلی ۵۸
۲-۵ - ذخیره انرژی اولیه ۶۵
۲-۶ مدلسازی کامپیوتری ۶۷
فصل سوم بحث و بررسی نتایج ۶۹
۳-۱- ارزیابی مدل کامپیوتری ۷۰
۳-۲- محاسبه اکسرژی به روش اکسرژی-توپولوژیکال ۷۳
۳-۳- مقایسه سیکل‌ها ۸۹
۳-۳-۱ - مقایسه سیکل‌ها با چیدمان سیال یکسان ۸۹
۳-۳-۲- بررسی اثر فشار ورودی به توربین بر راندمان دمایی ، راندمان اکسرژی ، افت اکسرژی و ذخیره انرژی اولیه سیکل‌های ترکیبی ۹۳
۳-۳-۳- بررسی اثر دمـای ورودی به توربین بر راندمان دمایی ، رانـدمان اکسرژی ، افت اکسرژی و ذخیره انرژی اولیه سیکل‌های ترکیب ۹۴
۳-۳-۴- بررسی اثر اختلاف دمای پینچ پوینت بر راندمان دمایی ، راندمان اکسرژی، افت اکسرژی و ذخیره انرژی اولیه سیکل‌های ترکیبی ۹۶
۳-۳-۵- بررسی نسبت فشار کمپرسور بر راندمان دمایی، راندمان اکسرژی، افت اکسرژی و ذخیره انرژی اولیه سیکل‌های ترکیبی ۹۷
فصل چهارم نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۹
۴-۱- نتیجه گیری ۱۰۰
۴-۲-پیشنهادات ۱۰۲
مراجع ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

شکل(۱-۱): نمایی از توربین گازی ۳

شکل(۱-۲): سیکل باز مستقیم ۸

شکل (۱-۳): سیکل باز غیر مستقیم ۸

شکل (۱-۴): سیکل بسته‌ی مستقیم ۹

شکل (۱-۵): سیکل بسته غیر مستقیم ۱۰

شکل (۱-۶): سیکل توربین گازی مجهز به نوعی مبدل باززا و مبدل حرارتی خنک کننده سیـــال عامل ۱۲

شکل (۱-۷): نمایی از سیکل میکروتوربین با بازیاب ۱۳

شکل (۱-۸): نمایی از سیکل رانکین با سیال آلی ۱۶

شکل (۱-۹): منحنی‌های اشباع برای در دیاگرام T-S برای a) سیال خشک b) سیال تر c) سیال ایزنتروپیک ۱۷

شکل (۱-۱۰): طرحواره یک نیروگاه زمین گرمایی دوگانه ۱۹

شکل(۱-۱۱): نیروگاه زمین گرمایی دوگانه که در کشور کاستاریکا نصب شده است ۱۹

شکل(۱-۱۲): طرحواره یک سیکل رانکین با سیال الی برای تولید برق مورد نیاز در اب شیرین کنی از نوع اسمز ۲۰

شکل(۱-۱۳): سیکل رانکین با سیال آلی برای تولید توان در اب شیرین کن اسمز معکوس اجرا شده در مقیاس ازمایشگاهی ۲۱

شکل(۱-۱۴): طرحواره سیکل ترکیبی موتور احتراق داخلی با سیکل رانکین با سیال الی ۲۲

شکل(۱-۱۵): تصویر انبساط دهنده اسکرول ۲۲

شکل(۱-۱۶): نمایی از سیکـل ترکیبی توربین گاز-راکتور هسته‌ای با دو سیـکل رانکـین و سیـال عامل آلی ۲۳

شکل(۱-۱۷): برای سیستم های حجم ثابت، کارهای مفید کلی و واقعی با هم برابرند $(W_u = W)$ ۲۸

شکل(۱-۱۸): کـار برگشت‌پذیر و قابلیت کاردهی در صورتی که حالـت نهایی سیستم حالت مـرده باشد با هم برابرند ۲۹

شکل(۱-۱۹): اختلاف بین کـار برگشت‌پذیر و کـار مفید واقعی مـعـادل برگشت‌ناپذیری سیـسـتـم می‌باشد ۳۰

شکل(۱-۲۰): کـارایی کارنو $\left(\eta_c = 1 - \frac{T_0}{T}\right)$ بیانگر کسـری از انرژی یک منبـع گـرمایی در دمای T می‌باشد که در یک محیط با دمای T_0 می‌تواند به کار تبدیل گردد ۳۱

شکل(۱-۲۱): انتقال و از بین رفتن قابلیت کاردهی (انرژی) در یک فرایند انتقال گرما در اثر وجود اختلاف دمای معین ۳۳

شکل(۱-۲۲): وقتی که فشار سیستم در حد فشار اتمسفر ثابت نگه داشته شود، هیچ انتقال کار مفیدی مربوط به کار جداره وجود ندارد ۳۳

شکل(۱-۲۳): دو موتور گرمایی که دارای راندمان گرمایی یکسان بوده اما راندمان گرمایی ماکزیمم آن‌ها متفاوت است ۳۴

شکل(۲-۱): سیستم بسته‌ای که فقط با محیط خود تبادل گرمایی دارد ۴۱
شکل(۲-۲): عموما یک سیستم بسته شامل کار محیط می‌باشد. این کار برای مقاصد دیگر قابل استفاده نیست ۴۱
شکل (۲-۳): کار برگشت‌پذیر همان تغییر در قابلیت کاردهی می‌باشد ۴۳
شکل(۲-۴): کار برگشت‌پذیر با میل کردن حالت نهایی سیستم به حالت مرگ، به قابلیت کاردهی نزدیک می‌شود ۴۳
شکل (۲-۵): بازگشت‌ناپذیری عبارت است از اختلاف بین کار برگشت‌پذیر و کار مفید واقعی ۴۳
شکل(۲-۶): انتقال گرما با اعضای غیر از محیط را می‌توان با استفاده از قضیه جمع اثار در نظر گرفت ۴۴
شکل(۲-۷): یک وسیله جریان دائم که گرما را فقط با محیط خود مبادله می‌نماید ۴۵
شکل(۲-۸): کل کار و کار مفید آلات جریان دائم به خاطر صفر بودن کار محیط با هم برابر می‌باشند ۴۶
شکل(۲-۹): طرحواره سیکل میکروتوربین ۵۶
شکل(۲-۱۰): طرحواره برای سیکل ترکیبی میکروتوربین و سیکل ساده رانکین با سیال آلی ۵۹
شکل(۲-۱۱): طرحواره برای سیکل ترکیبی میکروتوربین و سیکل رانکین با مبدل داخلی ۶۰
شکل(۲-۱۲): طرحواره برای سیکل ترکیبی میکروتوربین و سیکل رانکین با بازیاب باز ۶۱
شکل(۲-۱۳): پروفیل دما در اواپراتور ۶۳
شکل (۳-۱): مدل گراف سیکل ترکیبی میکروتوربین و سیکل رانکین با بازیاب ۷۴
شکل (۳-۲): مدل گراف جریان اکسرژی سیکل ترکیبی رانکین ساده (سمت چپ) و سیکل ترکیبی رانکین با مبدل حرارتی داخلی(سمت راست) ۷۵
شکل(۳-۳): نمایش اختلاف دمای سوپرهیت در دیاگرام یک سیکل نیروگاهی ۷۹
شکل(۳-۴): مقایسه راندمان انرژی سیکل های ترکیبی ۹۰
شکل(۳-۵): مقایسه کار خالص سیکل های ترکیبی ۹۰
شکل(۳-۶): مقایسه راندمان قانون دوم در سیکل رانکین با سیال آلی ۹۱
شکل(۳-۷): مقایسه افت اکسرژی در سیکل رانکین با سیال آلی ۹۱
شکل(۳-۸): مقایسه راندمان قانون اول در سیکل رانکین با سیال آلی ۹۲
شکل(۳-۹): تاثیر فشار ورودی توربین بر پارامترهای مختلف ۹۴
شکل(۳-۱۰): تاثیر دمای ورودی به توربین بر پارامترهای مختلف ۹۵
شکل(۳-۱۱): تاثیر اختلاف دمای پینچ پوینت بر پارامترهای مختلف ۹۷
شکل(۳-۱۲): تاثیر نسبت فشار کمپرسور بر پارامترهای مختلف ۹۸

فهرست جداول

جدول (۱-۱): میزان آلاینده‌های تولیدی ۱۵

جدول (۲-۱): انواع اجزاء سیستم‌های تولید توان ۵۴

جدول (۳-۱): پارامترهای استفاده شده در مدلسازی سیکل رانکین با ماده آلی ۷۰

جدول (۳-۲): مقایسه نتایج حاصل ازکار حاضر با نتایج ماگو و همکاران(۲۰۰۸) حالت سیکل ساده رانکین با سیال آلی ۷۰

جدول (۳-۳): مقایسه نتایج حاصل ازکار حاضر با نتایج ماگو و همکاران(۲۰۰۸) حالت سیکل رانکین با سیال آلی دارای بازیاب ۷۱

جدول (۳-۴): مقایسه نتایج حاصل ازکار حاضر با نتایج تچانچ و همکاران(۲۰۱۰) حالت سیکل ساده رانکین با سیال آلی و سیکل با مبدل داخلی و سیکل با بازیاب ۷۱

جدول (۳-۵): پارامترهای استفاده شده در مدل‌سازی سیکل میکروتوربین ۷۲

جدول (۳-۶): مقایسه نتایج حاصل ازکار حاضر با نتایج برونو و همکاران (۲۰۰۵) در مدل‌سازی سیکل میکروتوربین ۷۲

جدول (۳-۷): خواص سیالات آلی خشک مورد استفاده در این مطالعه (نرم افزار EES) ۷۳

جدول (۳-۸): اجزای تشکیل دهنده سیکل‌های ترکیبی ۷۴

جدول(۳-۹): ماتریس متناظر با گرافهای جریان اکسرژی سیکل ترکیبی رانکین ساده ۷۶

جدول(۳-۱۰): ماتریس متناظر با گرافهای جریان اکسرژی سیکل ترکیبی رانکین با مبدل حرارتی داخلی ۷۷

جدول(۳-۱۱): ماتریس متناظر با گرافهای جریان اکسرژی سیکل ترکیبی رانکین با بازیاب ۷۸

جدول (۳-۱۲): پارامترهای سیکل ترکیبی بهینه شده رانکین ساده با سیال آلی ۸۰

جدول (۳-۱۳): پارامترهای سیکل ترکیبی بهینه شده رانکین با سیال آلی با مبدل داخلی ۸۰

جدول (۳-۱۴): پارامترهای سیکل ترکیبی بهینه شده رانکین با سیال آلی با بازیاب ۸۰

جدول(۳-۱۵): خواص سیکل میکروتوربین ۸۰

جدول(۳-۱۶): خواص نقاط مختلف سیکل بهینه شده رانکین ساده با سیال آلی ۸۱

جدول(۳-۱۷): خواص نقاط مختلف سیکل بهینه شده رانکین با سیال آلی با مبدل داخلی ۸۲

جدول(۳-۱۸): خواص نقاط مختلف سیکل بهینه شده رانکین رانکین با سیال آلی با بازیاب ۸۳

جدول (۳-۱۹): پارامترهای مرتبط با اکسرژی در سیکل میکروتوربین ۸۵

جدول (۳-۲۰): پارامترهای مرتبط با اکسرژی سیکل بهینه شده رانکین ساده با سیال آلی ۸۵

جدول (۳-۲۱): مقادیر مرتبط با اکسرژی سیکل بهینه شده رانکین با سیال آلی با مبدل داخلی ۸۷

جدول (۳-۲۲): مقادیر مرتبط با اکسرژی سیکل بهینه شده رانکین با سیال آلی با بازیاب ۸۸

فهرست علائم

T	دما
P	فشار
S	آنتروپی ویژه
h	آنتالپی ویژه
Q	نرخ انتقال حرارت
W	نرخ انتقال کار
LHV	کمترین ارزش حرارتی سوخت
U	انرژی داخلی
ORC	سیکل رانکین با سیال آلی
IHE	سیکل با مبدل داخلی
ν	درجه تصحیح ترمودینامیکی
Π	اتلاف اکسرژی
η	راندمان
β	ضریب تاثیر
E^a	اکسرژی موجود
E^u	اکسرژی استفاده شده
Φ	قابلیت کاردهی سیستم بسته
Ψ	قابلیت کاردهی در حجم کنترل

m	نرخ انتقال جرم
e	اکسرژی ویژه
ΔT_E	اختلاف دمای پینچ پوینت
r_c	نسبت تراکم کمپرسور
PES	ذخیره انرژی اولیه

زیرنویس‌ها

ex	اکسرژی
th	حرارتی
i	شماره هر جزء سیستم
el	الکتریکی
I	قانون اول
II	قانون دوم
s	ایزنتروپیک
rev	برگشت پذیر

فصل اول

مقدمه و مروری بر

تحقیقات گذشته

۱-۱- مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، محدودیت این منابع، ازدیاد روز افزون بهای انرژی، آلودگی زیست محیطی ناشی از انتشار دی‌اکسیدکربن و گازهای گلخانه‌ای و ... ما را به استفاده بهینه از انرژی‌های موجود و صرفه‌جویی در مصرف انرژی ترغیب می‌کند. برای استفاده بهینه از انرژی، ارتقا تکنولوژی تجهیزات مورد استفاده در سیستم‌های تبدیل انرژی یا اضافه کردن دستگاه‌های جدید به این سیستم‌ها لازم است، همچنین می‌توان از انرژی‌های تلف شده در صنایع مختلف، انرژی موجود در گازهای خروجی موتورهای احتراق داخلی، توربین‌های گازی، نیروگاهای بخار، انرژی زمین گرمایی و انرژی خورشید استفاده کرد.

امروزه بخشی از انرژی در نیروگاه‌ها و بخصوص نیروگاه‌های گازی مصرف می‌شود که با ارائه راهکارهایی برای افزایش راندمان آنها، می‌توانیم استفاده بیشتری از انرژی مصرفی داشته باشیم. یکی از راه‌ها ترکیب آن با سیکل‌های دیگر است.

تولید توزیع شده انرژی الکتریکی یکی از اهدافی است که مدت‌ها مورد توجه بوده است. امروزه با گسترش سیستم‌های مختلف تولید انرژی الکتریکی در اماکن اداری و یا ساختمان‌ها و مجتمع‌های بزرگ و متوسط، روش‌های گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما هر روشی دارای مزیت ها و معایب مخصوص به خود می‌باشد. داشتن یک سیستم تولید انرژی قابل اعتماد، کم هزینه و همیشه در دسترس، استفاده از توربین‌های گازی کوچک را به عنوان کاندید مهمی معرفی نموده است . میکروتوربین‌های گازی در واقع توربین‌های گازی با مقیاس بسیار کوچک و ساده‌تر می‌باشند. این توربین‌ها دارای ساختار و اندازه ساده‌ای بوده و به راحتی با استفاده از انواع سوخت‌ها می‌توانند به تولید انرژی الکتریکی با استفاده از ژنراتورهای ترکیب شده با خود بپردازند.

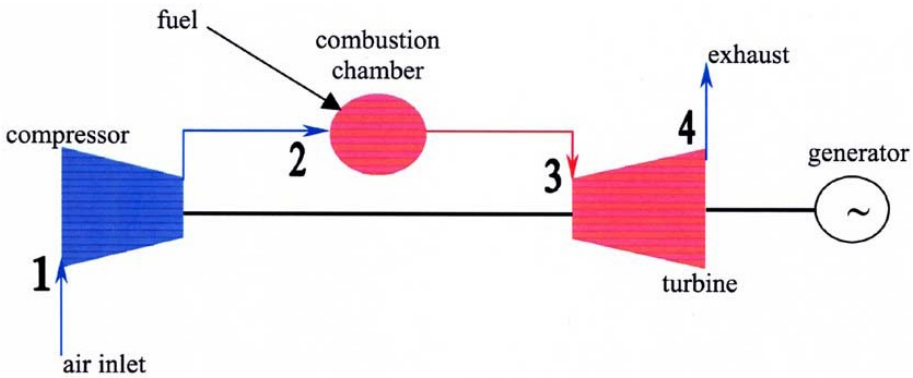
اصلاح راندمان سیستم‌های مکانیکی هدف تعداد زیادی از مهندسان و دانشمندان می‌باشد. به طور معمول حل این نوع مسائل با تحلیل و بهینه سازی ترمودینامیکی انجام می‌شود، یک روش جدید، بررسی

اکسرژی است که در زمینه‌های قدرت، گرما، شیمی و حوزه های دیگر مطرح شده است(موران[1]، ۱۹۹۸؛ بیجان[2]، ۱۹۹۷؛ بیجان و همکاران ۱۹۹۶).

در این تحقیق با استفاده از روش اکسرژی-توپولوژیکال[3] به بررسی سیکل‌های ترکیبی مختلف که سیکل پایین دستی از انرژی گازهای خروجی میکروتوربین تغذیه می‌شوند پرداخته شده است، این روش خلاقانه برای تحلیل ترمودینامیکی سیستم‌های پیچیده با یک ساختار دلخواه است.

۱-۲- توربین گازی:

توربین‌های گازی یکی از مهمترین موضوعات علوم مهندسی به شمار می‌رود. اگر چه بیشترین ارتباط آن با مهندسی مکانیک است، ولی در مسایل مهندسی برق، نفت، هسته‌ای، شیمی، صنایع هواپیمایی، صنایع نظامی، حمل و نقل دریایی و زمینی کاربردهای زیادی دارد، لذا فناوری واحدهای گازی و بهبود عملکرد آنها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.



شکل (۱-۱): نمایی از توربین گازی(پولیکاس[4]، ۲۰۰۴)

۱-۲-۱-کاربرد توربین گازی

کاربردهای توربین گازی در صنعت، به طور کلی به دو شاخه اصلی تقسیم می‌شود:

الف- توربین‌هایی که در صنعت هواپیمایی استفاده می‌شود.

ب- توربین‌هایی که در سایر صنایع استفاده می‌شود.

---

[1] -Moran 2-Bejan 3-Exergy- topological 4-Poullikkas

این دو گروه به دلیل متفاوت بودن از نظر کاربری، نکات متمایزی را در طراحی توربین گازی به وجود می‌آورند. موارد زیر را به عنوان شاخص‌های اصلی می‌توان نام برد:

۱- اجزای توربین‌های گازی صنعتی معمولاً برای حدود یکصد هزار ساعت کار طراحی می‌شود در حالی که برای توربین‌های صنایع هواپیمایی شاخص‌های دیگری مطرح است.

۲- ابعاد هندسی و وزن برای توربین‌های گازی صنعتی اهمیت زیادی ندارد، اما توجه به این دو مشخصه در طراحی توربین‌های گازی مورد استفاده در صنایع هوایی حائز اهمیت است.

۳- از انرژی جنبشی دود خروجی توربین‌های صنایع هوایی استفاده می‌شود، در حالی که در توربین‌های صنعتی این انرژی تلف می‌شود، لذا لازم است انرژی جنبشی تولید شده در توربین-های گازی صنعتی تا حد ممکن کاهش یافته و کنترل گردد.

موارد کاربرد توربین گازی در سایر صنایع :

۱- استفاده از توربین گازی در صنایع نفت و گاز

۲- استفاده از توربین گازی در صنایع حمل و نقل

۳- کاربرد توربین گاز در تولید انرژی الکتریکی

۴- استفاده از توربین گازی در سیکل‌های ترکیبی

۱-۲-۲- اجزای اصلی توربین گازی

۱- کمپرسور:

کمپرسورها انواع مختلفی دارند اما با توجه ظرفیت توربین‌های گازی و افزایش توان آنها در سال‌های اخیر کمپرسور نوع دینامیکی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. در هر مرحله از این کمپرسور، سرعت سیال عامل افزایش می‌یابد و سپس این افزایش سرعت (انرژی جنبشی) کاهش می یابد تا سیال عامل فشار بگیرد.

۲- محفظه احتراق:

محفظه احتراق در توربین گازی پس از کمپرسور و پیش از توربین قرار می‌گیرد. در این قسمت درجه حرارت هوای ورودی از طریق احتراق سوخت افزایش می یابد.

۳- توربین:

توربین‌های گازی به کار رفته در سیکل توربین گازی، دو نوع شعاعی و محوری است. توربین شعاعی شبیه کمپرسور گریز از مرکز است با این تفاوت که جهت جریان معکوس شده است. توربین گازی با توان بالا، اغلب به توربینی از نوع محوری مجهز است. تحلیل جریان سیال در داخل توربین گازی به دلیل شکل پیچیده آن آسان نیست و اغلب برای مطالعه موضوع یا مدلسازی آن شرایط ساده‌تری انتخاب می-شود.(انصاری، ۱۳۸۰)

۱-۲-۳-تاریخچه توربین گازی

نخستین بار ۱۵۰ سال پیش از میلاد الکساندریا[1] از توربین گازی[2] استفاده کرد. وی با استفاده از دود حاصل از آتش، توربین را به حرکت درآورد. در همان زمان چینی‌ها از آسیاب‌های بادی استفاده می-کردند. تا سال ۱۷۹۱ میلادی در این روش و مدل تغییر چندانی صورت نگرفت، تا اینکه جان باربر[3] طرح توربین گازی را که دارای کمپرسور پیستونی، محفظه احتراق و توربین ضربه‌ای بود، ارائه داد. در سال ۱۸۰۸ اولین نوع توربین گازی انفجاری که در مراحل بعدی شیرهایی در ورودی سوخت و خروجی محفظه احتراق آن، برای کنترل انفجار در فضای بسته نصب شده بود معرفی گردید. فشار حاصل از گاز، توربین را به طور موفقیت‌آمیز اما با کارایی بسیار پایینی به حرکت درآورد. خط تولید این توربین گازی در سال ۱۹۳۹ به دلیل طراحی مدل جدیدی از توربین گازی توسط براون باوری[2] برچیده شد.

در فاصله زمانی بیش از یک قرن، توسعه توربین‌هایی با جریان پیوسته، به دلیل کمبود اطلاعات علمی، همیشه دچار مشکل بوده‌است و پیشرفت چندانی ملاحظه نمی‌شود. محققان این رشته، بیشتر از روش-هایی مانند سعی و خطا بدون داشتن پایه‌ای علمی استفاده می‌کردند. به عنوان مثال استالز[2] در سال ۱۸۷۲ توربین گازی با کمپرسور جریان محوری[3] هفت مرحله‌ای را طراحی کرد. بدین ترتیب که انتقال حرارت از طریق نوعی مبدل (جایگزین محفظه احتراق) و توربین عکس العملی ده ردیفه انجام می‌شد. این نوع توربین گازی در سال ۱۹۰۰ به مرحله آزمایش و بهره‌برداری رسید و تا سال ۱۹۰۴ آزمایش‌های لازم روی آن انجام شد، اما به دلیل داشتن کمپرسوری با کارایی پایین از ادامه کار آن جلوگیری شد.

---

[1]-Alexandria 2-Gas turbine 3-Jhon Barber 4- Brown Boveri 5- Stolze 6- Axial flow compressor

پارسونز[1] نیز در سال ۱۸۸۴ به همان دلیل موفق نبود. وی سعی کرد توربین عکس العملی را در جهت عکس به عنوان کمپرسور به حرکت در آورد. تمامی این شکست‌ها نتیجه‌ی عدم آگاهی از علم آیرودینامیک[2] سیستم‌های به کار رفته بود.

اولین کمپرسور از نوع گریز از مرکز را که به طور موفقیت‌آمیزی از سال ۱۹۰۵ شروع به کار کرد براون باری ساخت. این کمپرسور ۲۵ پره داشت که می‌توانست نسبت فشار ۴ برابر را تولید کند. دود خروجی، صرف تولید بخار با فشار پایین و این بخار، صرف خنک کردن پره‌ها و افزایش قدرت تولید می‌شد.این نوع توربین دارای کارایی پایین ۳ درصد و دمای شعله‌ای برابر ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌شد. کوشش برای افزایش کارایی توربین گازی ادامه یافت تا اینکه در سال ۱۹۳۹ توربین گازی صنعتی پا به عرصه وجود گذاشت. با توجه به دمای دود خروجی، موارد استفاده توربین گازی در رشته‌های مختلف صنعت توسعه بیشتری یافت. برای مثال در موتور یوگسلاوی جندنسک[3] با کمپرسور جریان محوری، با استفاده از مبدل‌ها در توربین موفق به دستیابی به کارایی ۲۱ درصد شدند. همچنین شرکت آمریکایی سان اویل توربین گازی را به منظور بهبود فرآیند

شیمیایی در پالایشگاه‌ها به کار برد. از سال ۱۹۳۰ با افزایش کارایی، توربین گازی به عنوان موتور هواپیما مورد استفاده قرار گرفت و اولین نمونه آن را در سال ۱۹۳۷ تمسون یستون[4] انگلیسی ساخت.

هنکل[5] موتور جت آزمایشی خود را در سال ۱۹۳۹ و جنرال الکتریک مدل w1 را در سال ۱۹۴۱ به پرواز درآوردند. چند نوع دیگر از موتورهای جت تا پایان جنگ جهانی دوم ساخته و بهره‌برداری شد، اما تا سال ۱۹۵۳ نوع اقتصادی آن هنوز وارد بازار نشده بود. گروه توربوی رولزوریس[6] مدل توربوجت را در سال ۱۹۵۴ آزمایش کردند. این نوع موتور جت در بیشتر کشورها در دسترس بود و به همین دلیل رشد سریعی را از نظر ساخت و فناوری داشت.

توربین گازی در زمینه‌ی حمل و نقل زمینی نیز سابقه‌ی زیادی دارد، طوری که سوییسی‌ها در سال ۱۹۴۱ اولین قطار با لوکوموتیو مجهز به توربین گازی را ابداع کردند. مولد الکتریکی این قطار با موتور ساخت براون باری به حرکت درآمده و موتورهای الکتریکی، چرخ‌های قطار را به حرکت در می‌آورد. کارایی این موتور ۱۹ درصد بود. تا سال ۱۹۵۰ انواع مختلفی از سیستم‌های توربوالکتریک با سیستم‌های

---

[1] - Parsons 2- Aerodynamics 3- Jendrassik 4- British Thomson-Houston 5- Heinke 6- Turbo Roll-Royce Group

انتقال متنوع ساخته‌شد که بعضی از آنها قطارهای پرسرعت یا مسافربری بودند. همچنین استفاده از این موتورها در جاده‌ها در اتومبیل رور از سال ۱۹۵۰ آغاز شد و بعدها از سوی کرایسلر[1] ادامه یافت. نوع اقتصادی این موتورها را فورد به ویژه برای کامیون‌های سنگین به کار برد. لازم بذکر است که توربین‌های به کار رفته در اتومبیل‌ها با توربین‌های گازی صنعتی تفاوت داشته و در بیشتر کشورها توسط سازندگان اتومبیل، آزمایش یا به بازار عرضه شد. در سال ۱۹۶۳ برای اولین بار در انگلستان، از توربین گازی به کار برده شده در موتور هواپیما در موتور هاورکرافت[2] استفاده شد(انصاری، ۱۳۸۰).

علم و فناوری در صنعت توربین گاز در سال‌های بعد توسعه فراوانی یافت.

۱-۲-۴- انواع سیکل‌های توربین گازی

به منظور تولید الکتریسیته با توربین گازی از هوای داغ حاصل از محفظه احتراق یا از گاز خنک‌کننده-ی راکتور اتمی به عنوان سیال عامل به طور مستقیم می‌توان استفاده کرد. در این حالت، سیال عامل در توربین گازی منبسط می‌شود یا به طور غیر مستقیم، سیال عامل دومی را از طریق مبدل حرارتی گرم می‌کند و این سیال عامل دوم، توربین گازی را به حرکت درمی‌آورد. از هر دو حالت مستقیم و غیر مستقیم، به صورت سیکل باز یا بسته استفاده می‌شود. انواع سیکل‌های توربین گازی به کار رفته در تولید انرژی الکتریکی به این صورت است(انصاری، ۱۳۸۰):

۱- سیکل باز مستقیم:

در این حالت هوا در نقطه۱ وارد کمپرسور شده و پس از تراکم در نقطه‌ی ۲، به محفظه احتراق یا راکتور اتمی وارد می‌شود، در این محل، هوا انرژی حرارتی جذب می‌کند. سپس گاز داغ در نقطه‌ی ۳ به توربین وارد شده و پس از انبساط در نقطه‌ی ۴ از توربین خارج می‌شود. به دلیل آنکه سیکل باز است تنها سیال عامل هوا قابل استفاده می‌باشد. شکل (۱-۲) سیکل باز مستقیم را نشان می‌دهد.

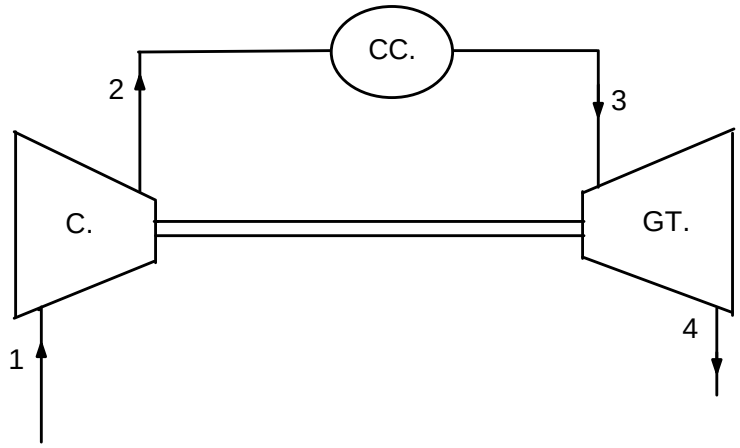
۲- سیکل باز غیر مستقیم:

این سیکل شبیه سیکل باز مستقیم است. هوا به عنوان سیال عامل ثانویه که حرارت خود را از مبدل حرارتی جذب کرده عمل می‌کند. سیال قسمت اولیه این مبدل، حرارت را از راکتور اتمی جذب کرده و

---

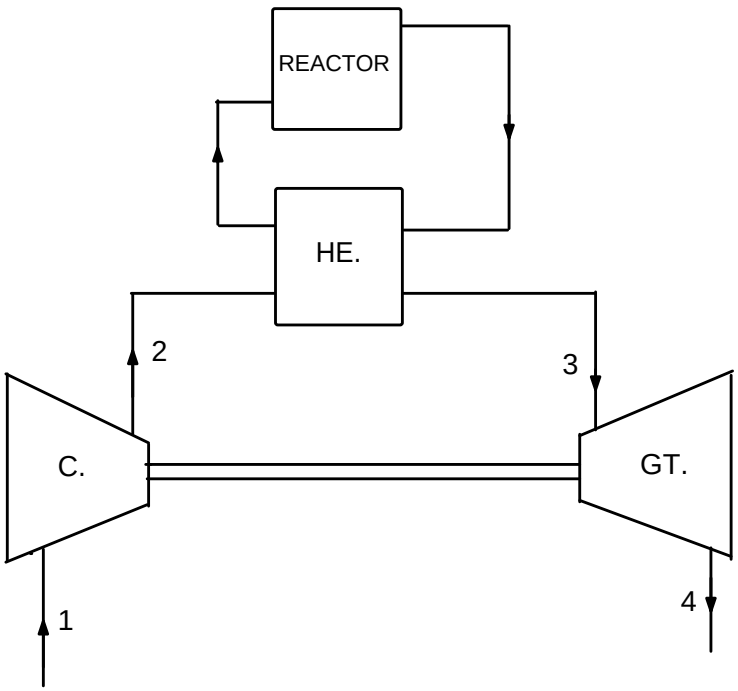
[1] - Chrysler 2- Hovercraft

در نتیجه راکتور اتمی را خنک می‌کند. حرارت جذب شده از راکتور اتمی به توربین گازی منتقل شـده و انرژی الکتریکی تولید می‌نماید. شکل (۱-۳) سیکل باز غیر مستقیم را نشان می‌دهد.



$GT.$: توربوژنراتور $CC.$: محفظه احتراق $C.$: کمپرسور

شکل(۱-۲): سیکل باز مستقیم



شکل(۱-۳): سیکل باز غیر مستقیم