بسم ا الرحمن الرحیم

بارگذاری واحدهای گازی و سیکل ترکیبی نیروگاه فارس به منظور کاهش هزینهٔ قطعات داغ و عملکرد بهینه

بوسیلهٔ

صمد غفوری

016260

پایان نامه

ارائه شده به دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

از

دانشگاه شیراز

شیراز ، ایران

ارزیابی وتصویب شده توسط کمیتهٔ پایان نامه با درجه : عالی

امضاء اعضاء کمیتهٔ پایان نامه :

دکتر منوچهر رشیدی، دانشیار بخش مهندسی مکانیک (رییس کمیته).....

دکتر محمد مهدی علیشاهی، استاد بخش مهندسی مکانیک .....

دکتر جعفر زرین چنگ، دانشیار بخش مهندسی مکانیک .....

شهریور ۱۳۸۰

۳۹٤۸۶

تقدیم به

روح پاک مادرم ، یگانه معلم مهر و محبتم

پدر بزرگوارم ، بهترین همراه زندگیم

خواهر عزیزم ، مشعل امید بخش همیشگیم

و

خالهٔ مهربانم ، غمخوار و دلسوز زندگیم

۳۹٤۸۶

سپاسگزاری

منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. اکنون که به یاری خداوند متعال این پژوهش به پایان رسیده است، بر خود واجب می دانم از تمامی بزرگوارانی که در راه فراگیری علم و دانش مرا یاری نموده اند قدر دانی نمایم. در ابتدا از استاد ارجمند آقای دکتر رشیدی که در انجام این تحقیق از نقطه نظرات، همکاری و مساعدت ایشان بهره مند شدم کمال تشکر را دارم. همچنین مراتب تشکر و قدردانی خود را از آقایان دکتر جعفر زرین چنگ و دکتر محمد مهدی علیشاهی که در اتمام این تحقیق مرا یاری نموده اند، ابراز می دارم.

در انتها نیز از همکاری مسؤولین نیروگاه فارس به ویژه مهندس ضیغمی و مهندس فاضلی قدردانی می نمایم.

۱۳۸۰ /۱۱/ ۲۵

چکیده

بارگذاری واحدهای گازی و سیکل ترکیبی نیروگاه فارس به منظور کاهش هزینهٔ قطعات داغ و عملکرد بهینه

توسط

صمد غفوری

پژوهش مزبور در راستای دستیابی به یک روش مناسب برای بارگذاری واحدهای نیروگاه گازی و سیکل ترکیبی در حالت بار جزیی انجام شده است. به همین منظور هزینهٔ سوخت و هزینهٔ تعمیر و تعویض قطعات به عنوان مهمترین عوامل هزینه ساز در نیروگاه مد نظر قرار گرفته و روشهای مختلف بارگذاری برای حداقل کردن این هزینه ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای به دست آوردن مشخصات و عملکرد سیکل گازی در بار جزیی، نرم افزار کامپیوتری مناسبی تهیه شده است که مبنای محاسبات آن بر اساس حلقه های تودرتو استوار است. در مورد سیکل ترکیبی نیز روشهای مختلف کنترل نیروگاه که امروزه استفاده می گردد ارائه شده و در نهایت روش بار گذاری نیروگاه با استفاده از کنترل سوخت واحدهای گازی به عنوان مبنای محاسبات قرار گرفته است. در این مورد نیز سیکل نیروگاه ترکیبی در حالت بار جزیی شبیه سازی شده و عملیات توسط یک برنامهٔ محاسباتی کامپیوتری انجام می گردد.

در انتهای هر قسمت نتایج سیکل گازی و ترکیبی به صورت مجزا ارائه شده و بهترین راه حل برای کاهش هزینه پیشنهاد گردیده است. در هر دو مورد بار گذاری بهینه بستگی زیادی به سیکل بار مورد تقاضا دارد. در بررسی انجام شده بر روی واحدهای گازی نیروگاه سیکل ترکیبی فارس، خارج کردن هر واحد گازی از مدار تولید، هنگامی به صرفه خواهد بود که مدت زمان تولید قدرت با واحدهای کمتر، تقریباً بیش از ۱۲ ساعت باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	ح
فهرست اشکال	ط
فهرست علائم اختصاری	م
فصل اول : مقدمه	۱
مقدمه	۱
سیستمهای CHP (سیستمهای ترکیبی قدرت و گرما)	۴
کاربرد توربین گازی در تولید برق شبکه	۵
فصل دوم : بررسی سیکل گازی و ترکیبی در نقطهٔ طراحی	۸
مقدمه	۸
پارامترهای عملکرد نقطهٔ طراحی	۸
پارامترهای طراحی سیکل	۱۰
پارامترهای طراحی مکانیکی	۱۰
پارامترهای عمر	۱۱
نمودارهای نقطهٔ طراحی	۱۲
۱- سیکل ساده	۱۲
۲- سیکل ترکیبی	۱۳
فصل سوم : مبانی محاسبات سیکل گازی در خارج از نقطهٔ طراحی	۲۰
مقدمه	۲۰
مدلهای پیش بینی عملکرد سیکل گازی در خارج از نقطهٔ طراحی	۲۲
مبانی محاسبات	۲۴

عنوان	صفحه

اندازه گیری	۳۰
فصل چهارم : نتایج محاسبات سیکل گازی	۳۵
مقدمه	۳۵
نتایج	۳۵
فصل پنجم : سیکل های ترکیبی	۵۱
مقدمه	۵۱
رفتار نیروگاههای سیکل ترکیبی در خارج از نقطهٔ طراحی	۵۵
روشهای کنترل نیروگاه سیکل ترکیبی	۶۰
سیکل بخار در نیروگاه سیکل ترکیبی	۶۵
فصل ششم : مبانی محاسبات سیکل ترکیبی در خارج از نقطهٔ طراحی	۶۹
مقدمه	۶۹
نیروگاه سیکل ترکیبی فارس	۷۰
مبانی محاسبات	۷۱
فصل هفتم : نتایج محاسبات سیکل ترکیبی	۸۳
مقدمه	۸۳
نتایج	۸۳
فصل هشتم : نظرات و پیشنهادات	۹۱
۱- نیروگاه گازی	۹۱
۲- نیروگاه سیکل ترکیبی	۹۳
پیوستها	۹۴
پیوست ۱	۹۴
پیوست ۲	۹۵

عنوان	صفحه
پیوست ۳	۹۶
مراجع	۹۸
چکیده و صفحه عنوان به انگلیسی	

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول(۱-۱): انواع سیستمهای تولید نیرو و کاربرد آنها	۷
جدول(۲-۱): پارامترهای عمر در کاربردهای مختلف	۱۲
جدول(۳-۱): جدول مشخصهٔ کمپرسور	۳۱
جدول(۳-۲): جدول مشخصهٔ توربین	۳۲
جدول(۳-۳): مشخصات یکی از واحدهای گازی نیروگاه در بار پایه	۳۴
جدول(۴-۱): بررسی هزینهٔ روشهای مختلف بارگذاری در روز ۱۶ اسفندماه	۴۹
جدول(۷-۱): بررسی هزینهٔ بارگذاری در دو روش مختلف با توجه به سیکل بار مورد تقاضا	۸۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل(۱-۱): روند استفاده از توربینهای گازی در آمریکا و جهان ۳

شکل(۲-۱ الف): نمودار راندمان- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۱۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۴

شکل(۲-۱ ب): نمودار راندمان- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۲۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۵

شکل(۲-۱ پ): نمودار راندمان- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۴۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۵

شکل(۲-۱ ت): نمودار راندمان- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۶۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۶

شکل(۲-۱ ث): نمودار راندمان- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۸۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۶

شکل(۲-۲ الف): نمودار قدرت مخصوص- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۱۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۷

شکل(۲-۲ ب): نمودار قدرت مخصوص- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۴۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۷

شکل(۲-۲ پ): نمودار قدرت مخصوص- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۶۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۸

شکل(۲-۲ ت): نمودار قدرت مخصوص- نسبت فشار در سیکل گازی ساده و سیکل ترکیبی در دمای ورودی به توربین ۱۸۰۰ درجهٔ کلوین،[۲] ۱۸

شکل(۲-۳): نمودار تغییرات SOT و دمای ورودی به محفظه احتراق در نسبت

عنوان **صفحه**

فشارهای مختلف در سیکل ساده ۱۹

شکل(۳-۱): منحنی مشخصهٔ یک کمپرسور محوری ۲۰

شکل(۳-۲): منحنی مشخصهٔ توربین ۲۲

شکل(۳-۳): روند محاسبات سیکل توربین گاز ۲۵

شکل(۳-۴): سیکل سادهٔ توربین گاز ۲۶

شکل(۳-۵): تغییرات نسبت فشار در مقابل تغییرات دبی جرمی شبه بی بعد کمپرسور ۳۲

شکل(۳-۶): تغییرات راندمان کمپرسور در مقابل تغییرات دبی جرمی شبه بی بعد ۳۳

شکل(۳-۷): تغییرات دبی جرمی شبه بی بعد در مقابل تغییرات نسبت اختلاف انتالپی دو سر توربین به دمای ورودی توربین در سرعتهای مختلف شبه بی بعد ۳۳

شکل(۴-۱): تغییرات راندمان بر حسب تغییرات قدرت خروجی ۳۶

شکل(۴-۲): تغییرات مصرف سوخت در مقابل تغییرات قدرت خروجی ۳۶

شکل(۴-۳): تغییرات نسبت سوخت به هوا در مقابل تغییرات قدرت خروجی ۳۷

شکل(۴-۴): تغییرات مصرف مخصوص سوخت در مقابل تغییرات قدرت خروجی ۳۷

شکل(۴-۵): تغییرات نسبت کار کمپرسور به کار ناخالص خروجی از توربین ۳۸

شکل(۴-۶):تغییرات دمای خروجی از محفظهٔ احتراق در مقابل قدرت خروجی ۳۹

شکل(۴-۷): تغییرات دمای خروجی از توربین در مقابل تغییرات قدرت خروجی ۳۹

شکل(۴-۸): نتایج معادلات (۴-۲) الی (۴-۴) برای فولاد $\frac{1}{2}\mathrm{Cr}\frac{1}{2}\mathrm{Mo}\frac{1}{4}\mathrm{V}$ ۴۱

شکل(۴-۹): تغییرات بار مورد تقاضا از نیروگاه در زمانهای مختلف ۴۳

شکل(۴-۱۰): نمونه ای از سیکل بار مورد تقاضا از نیروگاه بر حسب ساعت ۴۴

شکل(۴-۱۱): منحنی تقسیم بار بین ۶ واحد گازی یکسان که فقط با در نظر

عنوان **صفحه**

گرفتن عامل سوخت به دست آمده است ۴۷

شکل(۴-۱۲): تغییرات بار مورد تقاضا از نیروگاه سیکل ترکیبی فارس در روز ۱۶ اسفند ماه ۴۷

شکل(۴-۱۳): تغییرات بار مورد تقاضا در روز ۱۶ اسفند ماه به همراه روشهای بارگذاری ۴۸

شکل(۴-۱۴): مقایسهٔ هزینهٔ هر مگاوات ساعت خروجی برای تعداد واحدهای گازی مختلف بر حسب زمان افزایش یافته بین دو اوج مصرف ۵۰

شکل(۵-۱): نمودار دما-انتروپی برای سیستمهای HRSG بدون احتراق ثانویه ۵۱

شکل(۵-۲): نمونه ای از سیکل ترکیبی بدون احتراق ثانویه ۵۲

شکل(۵-۳): نمودار دما- انتروپی در یک سیکل ترکیبی با احتراق ثانویه کمکی ۵۳

شکل(۵-۴): سیکل ترکیبی با احتراق ثانویه کمکی در کرنوبرگ استرالیا ۵۳

شکل(۵-۵): نمودار دما-انتروپی سیکل ترکیبی با احتراق ثانویهٔ کامل ۵۴

شکل(۵-۶): یک نمونهٔ واقعی از سیکل ترکیبی با احتراق ثانویهٔ کامل ۵۴

شکل(۵-۷): مقایسه راندمان بار جزیی در نیروگاه توربین گاز و نیروگاه سیکل ترکیبی ۵۶

شکل(۵-۸): کنترل بار جزیی در یک نیروگاه سیکل ترکیبی توسط VIGVs ۵۸

شکل(۵-۹): راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی در صورت استفاده از پیش گرمکن هوای ورودی ۵۹

شکل(۵-۱۰): کنترل بار نیروگاه سیکل ترکیبی با تقسیم بار بر روی توربینهای گازی ۵۹

شکل(۵-۱۱): روشهای کنترل سیکل ترکیبی ۶۱

شکل(۵-۱۲): نمودار تغییرات راندمان بر حسب تغییرات دمای توربین و دبی بخار ۶۲

شکل(۵-۱۳): نتایج کنترل نیروگاه در حالت بار جزیی توسط کنترل سوخت ۶۳

عنوان **صفحه**

شکل(۵-۱۴): یک نوع HRSG سه فشارهٔ افقی ۶۵

شکل(۵-۱۵): چند نوع سیکل ترکیبی ۶۶

شکل(۶-۱): واحد سیکل ترکیبی نیروگاه فارس ۷۲

شکل(۶-۲): نمودار دما-انتقال حرارت در HRSG ۷۴

شکل(۶-۳): نمای شماتیک HRSG مورد استفاده در نیروگاه ۷۴

شکل(۶-۴): روند محاسبات گرمکن فوق اشباع،تبخیر کننده و پیش گرمکن اول در خط بخار فشار بالا ۷۸

شکل(۶-۵): روند محاسبات پیش گرمکن دوم فشار بالا ، گرمکن فوق اشباع، تبخیر کننده و پیش گرمکن فشار پایین ۸۰

شکل(۷-۱): راندمان واحد گازی همراه با HRSG و بدون آن ۸۴

شکل(۷-۲): تغییرات دمای خروجی از محفظهٔ احتراق و توربین گاز در مقابل تغییرات قدرت خروجی توربین گاز ۸۴

شکل(۷-۳): تغییرات راندمان کل در برابر تغییرات قدرت خروجی ۸۵

شکل(۷-۴): تغییرات راندمان کل در مقابل تغییرات قدرت خروجی کل ۸۵

شکل(۷-۵): تغییرات راندمان سیکل بخار در مقابل تغییرات قدرت خروجی توربین گاز ۸۶

شکل(۷-۶): تغییرات مصرف سوخت در برابر تغییرات قدرت خروجی کل ۸۷

شکل(۷-۷): بارگذاری بهینهٔ واحدهای گازی و سیکل ترکیبی صرفاً با در نظر گرفتن مصرف سوخت ۸۸

شکل(۷-۸): سیکل بار مورد تقاضا از نیروگاه در روز شانزدهم اسفندماه ۸۹

شکل(۷-۹): هزینهٔ هر مگاوات ساعت خروجی بر حسب فاصلهٔ بین دو اوج مصرف ۹۰

فهرست علائم اختصاری

توضیح	علامت
مساحت سطح مقطع	A
هزینهٔ سوخت	C_f
ثابت لارسون - میلر	C_l
هزینهٔ تعمیرات و نگهداری قطعات	C_M
ضریب گرمای ویژه در فشار ثابت	c_p
هزینهٔ قطعات داغ در ساعت	C_P
اختلاف انتالپی دو سر توربین	DH
نسبت سوخت به هوا	$\frac{F}{A}$
انتالپی جزء، انتالپی بخار، ضریب انتقال حرارت	h
انتالپی کل، انتالپی گازهای خروجی	H
نرخ حرارتی	Heat-Rate
ارزش حرارتی پایین سوخت	LHV
دبی جرمی	$\dot{m}$
وزن مولکولی	M
سرعت چرخشی روتور	N
فشار	P
نسبت فشار	PR
قدرت خروجی	PW
انتقال حرارت	Q
ثابت عمومی گازها	$\overline{R}$

توضیح	علامت
انتروپی جزء	s
انتروپی کل، مساحت سطح	S
مصرف مخصوص سوخت	SFC
عمر، دما	t
دما	T
دمای اشباع	T_s
حجم مخصوص	v
کار	W
مدت زمان	ΔH
افت فشار	ΔP
اختلاف دمای لگاریتمی	ΔT_{ln}
ضریب هوا به سوخت نظری	ε
نسبت سوخت به هوای واقعی به سوخت به هوای نظری	φ
راندمان	η
تنش	σ
نسبت نیتروژن به اکسیژن در هوا	ψ

اندیسها:

هوا	air
به دست آمده از محاسبه	cal
کندانسور	con
نقطهٔ طراحی	D

ec	پیش گرمکن
ev	تبخیر کننده
fuel	سوخت
gt	توربین گاز
h	مربوط به خط فشار بالا
heater	گرمکن
i	ورودی
l	مربوط به خط فشار پایین
map	به دست آمده از منحنی
net	خالص
o	خروجی
p	پمپ
pro	بعد از احتراق
rea	قبل از احتراق
s	هم انتروپی
st	توربین بخار
su	گرمکن مافوق اشباع
t	توربین
tot	کلی
v	بخار