بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی مکانیک
گروه مکانیک حرارت و سیالات

عنوان پایان نامه:

بکارگیری سیستم تولید یکپارچه برق و پیش گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار بیرجند

دانشجو : محسن خطیب

اساتید راهنما:
دکتر محمود فرزانه گرد
دکتر محمد محسن شاه مردان

استاد مشاور :
مهندس مهدی دیمی دشت بیاض

ارائه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه 1390

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی مکانیک

گروه : مکانیک حرارت و سیالات

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن خطیب

تحت عنوان:

بکارگیری سیستم تولید یکپارچه برق و پیش گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار بیرجند

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر محمود فرزانه گرد		مهندس مهدی دیمی دشت بیاض	
دکتر محمد محسن شاه مردان			

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر سید مجید هاشمیان		دکتر پوریا اکبرزاده	
دکتر علی عباس نژاد			

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت

تقدیم به:

مادرم صبورم، که زندگی ام میوه ایثار اوست و دست نوازشش اگرچه بر سرم نیست، اما یاد و خاطرش همواره در دلم زنده و تازه

تقدیم به:

خانواده عزیزم، که همچون مادر مرا در بالین خود گرفتند. آنان که به من رسم خوب زندگی کردن آموختند، و دست مهربانشان همواره مددکار من بوده و است.

تقدیم به:

دکتر محمود فرزانه گرد، که عشق به کردار او مرا شیفته تحقیق و پژوهش نمود و راهنمایی هایشان راه گشای کارهای من بوده است.

تقدیم به:

همه دوستان و اساتید، که همراهی و همدلی آنها امید بخش من بوده است

اللهم عجل لولیک الفرج

با تشکر و قدردانی فراوان از:

دکتر محمود فرزانه گرد، بدلیل زحمات بی شائبه ایشان و راهنمایی های بسیار مفید و مؤثر شان

دکتر محمد محسن شاه مردان که از ایشان درسها آموختم و همواره مدیون راهنمایی هایشان هستم.

دکتر مهدی دیمی دشت بیاض، که با صبر و حوصله بسیار زیاد خود، و با رویی همواره گشاده کمک یار و راهنمایم در این مسیر بوده است.

و ***مهندس کوروش اخلاقی،*** بدلیل راهنماییها و حمایتهای ارزنده ایشان در شرکت گاز خراسان جنوبی

تعهد نامه

اینجانب **محسن خطیب** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **رشته مهندسی مکانیک – گرایش تبدیل انرژی** دانشکده **مهندسی مکانیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بکارگیری سیستم تولید یکپارچه برق و پیش گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار بیرجند** تحت راهنمائی **دکتر محمود فرزانه گرد، دکتر محمد محسن شاه مردان و مهندس مهدی دیمی دشت بیاض** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ : 1390/10/26

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

*** متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .**

فرم چکیده پایان نامه تحصیلی دوره تحصیلات تکمیلی	مدیریت تحصیلات تکمیلی
نام خانوادگی دانشجو : خطیب	نام : محسن
اساتید راهنما : دکتر محمود فرزانه گرد – دکتر محمد محسن شاه مردان	
استاد مشاور : مهندس مهدی دیمی دشت بیاض	
دانشکده : مهندسی مکانیک گرایش : تبدیل انرژی	مقطع : کارشناسی ارشد
تاریخ دفاع : بهمن ماه 1390	تعداد صفحات : .....
واژه های کلیدی : سیستم تولید همزمان برق و گرما، توربواکسپندر، ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی	

چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستمهای تولید همزمان برق و گرما و توربین های انبساطی در ایستگاه های تقلیل فشار گاز طبیعی پرداخته شده است. به طور معمول گاز طبیعی پر فشار قبل از استفاده در محلهای مصرف، می بایست در نقاطی از مسیر انتقال در ایستگاههای تقلیل فشار، به فشاری به مراتب پایین تر و قابل استفاده برای مصرف کننده برسد. معمولا این افت فشار توسط شیرهای انبساطی صورت می پذیرد. بدین ترتیب بخش اعظمی از انرژی موجود در گاز که بصورت اگزرژی فشاری، در آن موجود است، هدر خواهد رفت. استفاده از توربینهای انبساطی راهی مفید برای تبدیل اگزرژی فشاری گاز به انرژی الکتریکی می باشد. میزان افت دما در این تجهیز نسبت به شیرهای انبساطی بیشتر خواهد بود، لذا نیاز حرارتی ایستگاه بیش از وضعیت بدون توربواکسپندر است. بدین منظور پیشنهاد گردید که بجای تأمین نیاز حرارتی از طریق هیترهای موجود در ایستگاه، از سیستمهای تولید همزمان برق و گرما به عنوان تأمین کننده این حرارت استفاده گردد. ضمن آنکه انرژی الکتریکی تولیدی توسط این سیستم، نیز به عنوان یک محصول ثانویه، مفید و قابل توجه خواهد بود. سه طرح کلی پیشنهاد شده است، که عبارتند از سیستمی شامل توربواکسپندر تنها، سیستمی شامل تنها تجهیزات تولید همزمان برای تأمین نیاز حرارتی و تولید برق و در نهایت سیستمی که مجموعه ای کامل از تمام این فناوریها را در کنار یکدیگر داراست. در این برنامه، با استفاده از الگوریتمی ابتکاری، به انتخاب و تعیین سایز و اندازه فنی ترین سیستم با بیشترین میزان تولید مبادرت شد. این الگوریتم چهار مرحله ای، با طی مسیری منطقی، مجموعه ای از سناریوها را برای هرکدام از سه طرح پیشنهادی در اختیار قرار خواهد داد که سایز و اندازه تجهیزات منتخب خود آن سناریوها نیز هر کدام از نظر فنی و اقتصادی بهترین گزینه برای آن سناریو هستند. ایستگاه تقلیل فشار گاز بیرجند به همراه چندین ایستگاه دیگر مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان از غیر اقتصادی بودن تمامی طرحها برای ایستگاه تقلیل فشار بیرجند داشت. با بررسی نتایج ایستگاهها و با تعریف پارامتری به نام فاکتور قابلیت، امکان پیش بینی عملکرد فنی و اقتصادی هر ایستگاهی در مواجهه با هرکدام از طرحهای پیشنهادی و با توجه به دبی متوسط عبوری از آن ایستگاه مشخص می شود.

با توجه به مصرف روزانه گاز در ایران که معادل 387 میلیون متر مکعب می باشد، و با فرض شرایط ایستگاه غرب مشهد برای سایر نقاط کشور، پتانسیل تولید هرکدام از طرحهای پیشنهادی شامل سیستم توربواکسپندر تنها، طرح استفاده از سیستم تولید همزمان تنها و نهایتا طرحی شامل هر دوی این تجهیزات در ایستگاه، بترتیب پتانسیل تولید برقی در حدود 24MW، 285MW و 562MW خواهد بود.

لیست مقالات ارائه شده

Journals:

[1] Farzaneh-Gord M., Khatib M., Eftekhari H. and Akhlaghi K., (2011), "A Feasibility Study of Employing an Internal Combustion Engine and a Turbo-expander in a CGS", *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, Vol.2, Issue 5, pp. 343-349

[2] Farzaneh-Gord M., Shahmardan M., Khatib M. and Deimi-Dashtebayaz M., "Producing electrical power in addition of heat in natural gas pressure drop stations by ICE", *Journal of Energy, Exploration & Exploitation*, submitted in October 2011

Conferences:

[3] Farzaneh-Gord M., Shahmardan M.M., Khatib M., Deimi-Dashtebayaz M., Hashemian S.M., "Simultaneous power generation in natural gas pressure station using Turbo-expanders and ICEs", 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering, Thailand, Bangkok, 2011

[3] فرزانه گرد م، خطیب م، شاه مردان م، دیمی دشت بیاض م و اخلاقی ک، " طراحی سیستمهای بازیافت انرژی در ایستگاههای تقلیل فشار با استفاده از توربواکسپندر و سیستم CHP با محرک اولیه موتور احتراق داخلی"، ارسال شده برای بیستمین همایش بین المللی مهندسی مکانیک ایران، شیراز، 26 تا 28 اردیبهشت 1391

فهرست عناوین

فصل اول: مقدمه	صفحه
1-1- مقدمه	1
1-2- بررسی کارهای پیشین	3
1-3- اهداف و فعالیت های انجام گرفته در پایان نامه	8
فصل دوم: اصول عملکرد سیستم CHP، توربواکسپندر و ایستگاه CGS	
2-1- مقدمه	13
2-2- اجزاء اصلی تشکیل دهنده سیستم CHP	15
2-3 تاریخچه فناوریهای تولید همزمان برق و گرما	16
2-4- مروری بر فناوریهای تولید همزمان	19
2-4-1- موتورهای احتراق داخلی	20
2-4-2- توربین بخار	25
2-4-3- توربین گاز	26
2-4-4- میکروتوربین	27
2-4-5- سلول سوختی	29
2-5- توربینهای انبساطی	32
2-6- ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی	36
2-6-1- مقدمه	36
2-6-2- اجزاء اصلی ایستگاه تقلیل فشار	37
2-6-3- شیرهای تنظیم فشار	38
2-6-4- رگولاتورهای ناظر	41
2-6-5- افت دما در شیرهای تنظیم فشار	41
2-6-6- بویلر گاز سوز	42
فصل سوم: شبیه سازی سیستم	
3-1- مقدمه	44
3-2- محیط شبیه سازی	45
3-3- مدلسازی اجزاء سیستم	46
3-3-1- ورودیهای مسئله	47
3-3-2- شبیه سازی شیرهای انبساطی	49
3-3-3- شبیه سازی توربواکسپندرها	50
3-3-4- طراحی پیش گرم کن و تعیین نیاز حرارتی ایستگاه	56
3-3-5- طراحی و شبیه سازی سیستم CHP	57

فهرست عناوین

... ادامه فصل سوم	صفحه
3-4- پارامترها و مفاهیم اقتصادی	63
3-4-1- دوره بازگشت سرمایه	63
3-4-1-1- دوره بازگشت ساده (SPB)	64
3-4-1-2- دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده (DPB)	65
3-4-2- ارزش خالص فعلی سرمایه گذاری (NPV)	66
3-4-3- نرخ بازده داخلی (IRR)	67
3-5- انواع طرحهای قابل بررسی در ایستگاههای تقلیل فشار گاز	67
3-6- تعیین سایز و اندازه بهینه سیستم	70
3-6-1- الگوریتم طراحی و تعیین سایز و اندازه تجهیزات	71
3-7- ایستگاه های مورد مطالعه	76
3-7-1- ایستگاه تقلیل فشار گاز بیرجند	76
3-7-2- سایر ایستگاههای تقلیل فشار گاز مورد مطالعه	78
فصل چهارم: بحث و بررسی نتایج	
4-1- مقدمه	80
4-2- اطلاعات ورودی ایستگاههای تقلیل فشار مورد بررسی	80
4-2-1- اطلاعات ورودی ایستگاه CGS بیرجند	81
4-2-2- اطلاعات ورودی ایستگاه CGS غرب مشهد	83
4-2-3- اطلاعات ورودی ایستگاه CGS قدیم مشهد	85
4-3- بررسی نتایج طرحهای پیشنهادی برای ایستگاههای CGS مورد مطالعه	87
4-3-1- سیستم شیر انبساطی (بدون توربواکسپندر و CHP)	87
4-3-2- سیستم CHP با محرک اولیه موتور احتراق داخلی (بدون اکسپندر)	92
4-3-2-1- ایستگاه CGS بیرجند	94
4-3-2-2- ایستگاه CGS غرب مشهد	100
4-3-2-3- ایستگاه CGS قدیم مشهد	104
4-3-3- طرح استفاده از توربواکسپندر در ایستگاه CGS (بدون CHP)	104
4-3-3-1- ایستگاه CGS بیرجند	104
4-3-3-2- ایستگاه CGS قدیم مشهد	111
4-3-3-3- ایستگاه CGS غرب مشهد	115
4-3-4- طرح بکارگیری توربواکسپندر و سیستم CHP در ایستگاه تقلیل فشار	119
4-3-4-1- ایستگاه CGS بیرجند	120
... ادامه فصل چهارم	**صفحه**

4-3-4-2- ایستگاه CGS قدیم مشهد	122
4-3-4-3- ایستگاه CGS غرب مشهد	124
4-4- طراحی ایستگاه بیرجند در مود mix-match	128
4-5- پتانسیل تولید برق طرحهای پیشنهادی در ایران	131
4-5-1- مقدمه	131
4-5-2- طرح بکارگیری سیستم CHP در ایستگاههای CGS	131
4-5-3- طرح بکارگیری توربواکسپندر در ایستگاههای CGS	132
4-5-4- بکارگیری توربواکسپندر و سیستم CHP در ایستگاههای CGS	132
4-6- پیش بینی عملکرد اقتصادی سیستمهای تولید انرژی در ایستگاههای CGS	133
فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات	
5-1- جمع بندی و نتیجه گیری	137
5-2- ارائه پیشنهادات برای پژوهشهای آینده	142
مراجع	143
پیوست ها	146

فهرست اشکال

شکل 2-1	مقایسه بین راندمان سیستم تولید همزمان با سیستم مجزای تولید برق و حرارت	15
شکل 2-2	محدوده های دمایی دو نوع سیستم تولید همزمان برق و حرارت	20
شکل 2-3	دیاگرام شماتیک یک سیستم تولید همزمان با موتور احتراق داخلی رفت و برگشتی	23
شکل 2-4	منحنی عملکرد موتور در بارهای مختلف (Caterpillar G3616)	24
شکل 2-5	شمای شماتیک یک سیستم CHP مبتنی بر میکروتوربین	29
شکل 2-6	نمای شماتیک توربین انبساطی	33
شکل 2-7	ساختار کلی ایستگاه تقلیل فشار	38
شکل 2-8	شیر تنظیم فشار از نوع فنری عملکرد مستقیم	39
شکل 2-9	شیر تنظیم فشار از نوع Pilot-Operated	40
شکل 3-1	طرح شماتیک سیستم پیشنهادی در ایستگاه تقلیل فشار گاز دارای CHP و توربواکسپندر	46
شکل 3-2	منحنی عملکرد توربواکسپندر برحسب دبی حجمی عبوری از آن	51
شکل 3-3	توزیع جریان بین توربینهای انبساطی بر مبنای دبی طراحی توربواکسپندرها	53
شکل 3-4	توزیع جریان بین توربینهای انبساطی بر مبنای دبی حداکثر قابل عبور از توربواکسپندرها	53
شکل 3-5	نمونه ای از عملکرد یک موتور گاز سوز در شرایط بار جزئی	59
شکل 3-6	طرح شماتیک ایستگاه تقلیل فشار معمول بدون سیستمهای بازیافت و تولید انرژی	68
شکل 3-7	طرح پیشنهادی دوم دارای سیستم بازیافت انرژی و دارای توربواکسپندر	68
شکل 3-8	طرح شماتیک ایستگاه تقلیل فشار گاز دارای سیستم CHP	69
شکل 3-9	طرح ایستگاه تقلیل فشار دارای توربواکسپندر و سیستم CHP	70
شکل 3-10	الگوریتم طراحی و تعیین سایز بهینه سیستم پیشنهادی	75
شکل 4-1	دمای گاز ورودی به ایستگاه تقلیل فشار بیرجند در روزهای مختلف سال	81
شکل 4-2	فشار گاز ورودی و خروجی ایستگاه CGS بیرجند در روزهای مختلف سال	82
شکل 4-3	دبی حجمی گاز عبوری از ایستگاه CGS بیرجند در روزهای مختلف سال	82
شکل 4-4	دمای گاز ورودی به ایستگاه CGS غرب مشهد در روزهای مختلف سال	83
شکل 4-5	فشار گاز ورودی و خروجی ایستگاه CGS غرب مشهد در روزهای مختلف سال	84
شکل 4-6	دبی حجمی گاز عبوری از ایستگاه CGS غرب مشهد در روزهای مختلف سال	84
شکل 4-7	دمای گاز ورودی به ایستگاه CGS قدیم مشهد برای روزهای مختلف سال	85
شکل 4-8	فشار گاز ورودی و خروجی ایستگاه CGS قدیم مشهد در روزهای مختلف سال	86
شکل 4-9	دبی حجمی گاز عبوری از ایستگاه CGS قدیم مشهد در روزهای مختلف سال	86
شکل 4-10	میزان مصرف سوخت سه ایستگاه مورد مطالعه بدون توربواکسپندر و CHP	88
شکل 4-11	تأثیر دبی حجمی گاز ایستگاه CGS بیرجند برمیزان مصرف سوخت سیستم شیرانبساطی	89

... ادامه فهرست اشکال		
شکل 4-12	تأثیر دمای گاز ورودی به ایستگاه CGS بیرجند بر مصرف سوخت سیستم شیر انبساطی	89
شکل 4-13	تأثیر دبی حجمی گاز ایستگاه CGS غرب مشهد برمصرف سوخت سیستم شیرانبساطی	90
شکل 4-14	تأثیر دمای گاز ورودی به ایستگاه CGS غرب مشهد بر مصرف سوخت سیستم شیر انبساطی	90
شکل 4-15	تأثیر دبی حجمی گاز ایستگاه CGS قدیم مشهد برمصرف سوخت سیستم شیرانبساطی	91
شکل 4-16	تأثیر دمای گاز ورودی به ایستگاه CGS قدیم مشهد بر مصرف سوخت سیستم شیر انبساطی	91
شکل 4-17	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS بیرجند برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با یک موتور احتراق داخلی	95
شکل 4-18	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS بیرجند برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با دو موتور احتراق داخلی	95
شکل 4-19	توان الکتریکی تولیدی ایستگاه بیرجند دارای سیستم CHP در روزهای مختلف سال	97
شکل 4-20	راندمان کلی ایستگاه CGS بیرجند دارای سیستم CHP در روزهای مختلف سال	97
شکل 4-21	هزینه سرمایه گذاری سیستمهای CHP با محرک اولیه موتور احتراق داخلی	99
شکل 4-22	هزینه های تعمیر و نگهداری سیستمهای CHP با محرک اولیه موتور احتراق داخلی	99
شکل 4-23	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS غرب مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با یک موتور احتراق داخلی	100
شکل 4-24	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS غرب مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با دو موتور احتراق داخلی	101
شکل 4-25	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS غرب مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با سه موتور احتراق داخلی	101
شکل 4-26	توان الکتریکی تولیدی ایستگاه غرب مشهد دارای سیستم CHP در روزهای مختلف سال	102
شکل 4-27	منحنی توان تولیدی ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندر، بر حسب سایز توربواکسپندر	106
شکل 4-28	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS بیرجند برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با یک توربواکسپندر	107
شکل 4-29	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS بیرجند برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با دو توربواکسپندر	107
شکل 4-30	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS بیرجند برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با سه توربواکسپندر	108
شکل 4-31	توان الکتریکی تولیدی ایستگاه بیرجند دارای توربواکسپندر در روزهای مختلف سال	109
شکل 4-32	هزینه سرمایه گذاری توربواکسپندرهای دارای سایزهای مختلف	110
شکل 4-33	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS قدیم مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با یک توربواکسپندر	111
شکل 4-34	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS قدیم مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با دو توربواکسپندر	112

... ادامه فهرست اشکال		
شکل 4-35	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS قدیم مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با سه توربواکسپندر	112
شکل 4-36	توان الکتریکی تولیدی ایستگاه قدیم مشهد دارای توربواکسپندر در روزهای مختلف سال	113
شکل 4-37	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS غرب مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با یک توربواکسپندر	115
شکل 4-38	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS غرب مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با دو توربواکسپندر	116
شکل 4-39	متوسط توان تولیدی ایستگاه CGS غرب مشهد برای درصدهای مختلفی از ماکزیمم دبی سالیانه برای سیستمی با سه توربواکسپندر	116
شکل 4-40	توان الکتریکی تولیدی ایستگاه غرب مشهد دارای توربواکسپندر در روزهای مختلف سال	117
شکل 4-41	متوسط ماهیانه تولید برق ایستگاه بیرجند دارای توربواکسپندر و سیستم CHP	126
شکل 4-42	متوسط ماهیانه تولید برق ایستگاه قدیم مشهد دارای توربواکسپندر و سیستم CHP	127
شکل 4-43	متوسط ماهیانه تولید برق ایستگاه غرب مشهد دارای توربواکسپندر و سیستم CHP	127

فهرست جداول

فهرست جداول

جدول 2-1	هزینه های تعمیر و نگهداری موتورهای احتراق داخلی گاز سوز	2
جدول 2-2	مقایسه فناوریهای مختلف تولید همزمان	31
جدول 2-3	محدوده فشار گاز طبیعی در نقاط گوناگون خط انتقال لوله	37
جدول 3-1	درصد ترکیبات گاز طبیعی پالایشگاه خانگیران	76
جدول 3-2	متوسط شرایط ورودی و خروجی ایستگاه CGS بیرجند در ماههای مختلف سال 1389	77
جدول 4-1	میزان مصرف سوخت و هزینه آن برای ایستگاههای مورد مطالعه	92
جدول 4-2	خلاصه نتایج مربوط به سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS بیرجند دارای سیستم CHP	96
جدول 4-3	درآمدها و هزینه های مرتبط با ایستگاه CGS بیرجند دارای سیستم CHP	98
جدول 4-4	نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS بیرجند	100
جدول 4-5	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS غرب مشهد دارای سیستم CHP	102
جدول 4-6	درآمدها و هزینه های مرتبط با ایستگاه CGS غرب مشهد دارای سیستم CHP	103
جدول 4-7	نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS غرب مشهد	103
جدول 4-8	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندر	108
جدول 4-9	درآمدها و هزینه های مرتبط با ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندر	109
جدول 4-10	نتایج آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندر	110
جدول 4-11	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS قدیم مشهد دارای توربواکسپندر	113
جدول 4-12	درآمدها و هزینه های مرتبط با ایستگاه CGS قدیم مشهد دارای توربواکسپندر	114
جدول 4-13	نتایج آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS قدیم مشهد دارای توربواکسپندر	114
جدول 4-14	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS غرب مشهد دارای توربواکسپندر	117
جدول 4-15	درآمدها و هزینه های مرتبط با ایستگاه CGS غرب مشهد دارای توربواکسپندر	118
جدول 4-16	نتایج آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGSغرب مشهد دارای توربواکسپندر	118
جدول 4-17	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندرو سیستم CHP	120
جدول 4-18	نتایج آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندرو سیستم CHP	121
جدول 4-19	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS قدیم مشهد دارای توربواکسپندرو سیستم CHP	122

فهرست جداول

... ادامه فهرست جداول		
جدول 4-20	نتایج آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS قدیم مشهد دارای توربواکسپندرو سیستم CHP	123
جدول 4-21	خلاصه نتایج سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS غرب مشهد دارای توربواکسپندرو سیستم CHP	124
جدول 4-22	نتایج آنالیز اقتصادی سناریوهای مختلف برای ایستگاه CGS غرب مشهد دارای توربواکسپندرو سیستم CHP	125
جدول 4-23	نتایج آنالیز اقتصادی طراحی ایستگاه بیرجند با روش mix-match	129
جدول 4-24	نتایج آنالیز اقتصادی برای ایستگاه CGS بیرجند دارای توربواکسپندرو سیستم CHP به روش mix-match	130
جدول 4-25	پتانسیل تولید برق طرحهای مختلف تولید انرژی در ایستگاههای تقلیل فشار در ایران	133
جدول 4-26	مقدار CF ایستگاههای CGS برای سه طرح تولید و بازیافت انرژی	134
جدول 4-27	محدوده قابل اجرای سیستمهای مختلف از نظر اقتصادی	135

فهرست نمادها

نمادها	
فاکتور قابلیت	CF
نرخ بهره (%)	d
دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده (year)	DPB
تعداد سناریوهای اقتصادی	ESN
سود خالص سالیانه ($)	F,F_t
سرمایه گذاری اولیه ($)	F_0
آنتالپی	h
نرخ بازده داخلی (%)	IRR
ارزش حرارتی پایین گاز طبیعی (kJ/kg)	LHV
ارزش حرارتی پایین گاز طبیعی (kJ/m^3)	LHV_f
تعداد موتور احتراق داخلی سیستم تولید همزمان	m
دبی جرمی گاز عبوری از ایستگاه (kg/sec)	$\dot{m}$
دبی جرمی سوخت مصرفی موتور احتراق داخلی (kg/sec)	$\dot{m}_{fe}$
تعداد توربواکسپندر	n
تعداد سناریوهای غیر اقتصادی	NESN
ارزش خالص کنونی ($)	NPV
فشار (kPa)	p
توان الکتریکی (kW)	P_{elec}
درصد بار جزئی موتور (%)	PL
محتوای سوخت مصرفی موتورهای Full load (kW)	$\dot{Q}_{fe1}$
محتوای سوخت مصرفی موتور part load (kW)	$\dot{Q}_{fe2}$
توان حرارتی نامی موتور احتراق داخلی (kW)	$\dot{Q}_{max,eng}$
نیاز حرارتی ایستگاه تقلیل فشار گاز (kW)	$\dot{Q}_{req}$
دوره بازگشت ساده (year)	SPB
دوره (year)	t
دما (°C)	T

علائم یونانی	
η	راندمان کلی سیستم
η_e	راندمان الکتریکی
η_{th}	راندمان حرارتی
$\dot{v}$	دبی حجمی گاز
$\dot{v}_{max}$	حداکثر دبی حجمی قابل عبور از توربواکسپندر
زیرنویسها	
1	ورودی ایستگاه تقلیل فشار گاز
2	گاز پس از عبور از پیش گرم کن
2v	گاز خروجی از شیر انبساطی
2s	گاز خروجی از توربواکسپندر با فرض فرایند آیزنتروپیک
2ex(i)	گاز خروجی از توربواکسپندر شماره i
am	هوای محیط
CHP	سیستم تولید همزمان برق و گرما
EX	گازهای حاصل از احتراق موتور احتراق داخلی
ex	توربواکسپندر
des	شرایط طراحی توربواکسپندر
h	هیتر
fb	سوخت مصرفی هیتر (بویلر)
gearbox	سیستم انتقال قدرت از توربواکسپندر به ژنراتور
generator	ژنراتور
i	گاز ورودی به ایستگاه فشار
JW	آب خنک کن
nom	نامی
out	خروجی ایستگاه تقلیل فشار
PL	بار جزئی
v	شیر انبساطی

علائم اختصاری	
CAC	خنک کننده هوای موتور (Charge Air Cooler)
CHP	تولید همزمان برق و گرما (Combined Heat and Power)
CGS	ایستگاه تقلیل فشار گاز (City Gate Station)
EES	نرم افزار تحلیل معادلات مهندسی (Engineering Equation Solver)
HRSG	مبدل حرارتی بازیافت بخار (Heat Recovery Steam Generator)
IEA	آژانس بین المللی انرژی (International Energy Agency)
JWC	خنک کننده آب موتور (Jacket Water Cooler)
LOC	خنک کننده روغن (Lubricating Oil Cooler)
MCFC	سلول سوختی کربنات مذاب (Molten Carbonate Fuel Cell)
PAFC	سلول سوختی اسید فسفریک (Phosphoric Acid Fuel Cell)
PEAFC	سلول سوختی نوع غشاء تبادل پروتون (Proton Exchange membrane Fuel Cell)
SOFC	سلول سوختی اکسید جامد (Solid Oxide Fuel Cell)

فصل اول

مقدمه