دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش تبدیل انرژی

بهینه سازی سیستم ترکیبی تولید آب شیرین و تبرید (سرمایش) به همراه تحلیل اگزرژی

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین حامدی

استاد مشاور:

دکتر مجید عمید پور

تهیه کننده:

محمد جواد رحیمی

بهمن ماه 1389

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**تأییدیه هیأت داوران**	**شماره:** **تاریخ:**

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان :

بهینه سازی سیکل ترکیبی تولید آب شیرین وتبرید (سرمایش) به همراه تحلیل اگزرژی

توسط آقای **محمد جواد رحیمی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **تبدیل انرژی** در تاریخ 89.11.30 مورد تأیید قرار می‌دهند.

1- **استاد راهنمای اول**	جناب آقای دکتر **محمد حسین حامدی**	امضاء
2- **استاد مشاور**	جناب آقای دکتر **مجید عمید پور**	امضاء
3- **ممتحن داخلی**	جناب آقای دکتر **محمد رضا شاه نظری**	امضاء
4- **ممتحن داخلی**	جناب آقای دکتر **فرشاد ترابی**	امضاء
5- **نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده**	جناب آقای دکتر **محمد رضا شاه نظری**	امضاء

بسمه تعالی

تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**اظهارنامه دانشجو**	**شماره:** **تاریخ:**

اینجانب **محمد جواد رحیمی** دانشجوی **کارشناسی‌ارشد** رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **تبدیل انرژی** دانشکده **مهندسی مکانیک** دانشگاه **صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی** گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

بهینه سازی سیکل ترکیبی تولید آب شیرین وتبرید (سرمایش) به همراه تحلیل اگزرژی

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای **دکتر محمد حسین حامدی** و با مشاوره استاد محترم جناب آقای **دکتر مجید عمید پور** توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

بسمه تعالی

تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**حق طبع و نشر و مالکیت نتایج**	**شماره:** **تاریخ:**

1- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

پدر و مادر عزیزم

اینک که در سایه‌ی پروردگار و به لطف ایثار و مهربانی‌های شما ، مرحله‌ای دیگر از گذرگاه پرفراز و نشیب زندگی را پشت سر می‌گذارم خداوند بزرگ را شاکرم و بوسه‌ی سپاس بردستان گرمتان می‌زنم و این تحفه ناچیز را به پاس زحمات بیکرانی که در این راه به جان خریدید تقدیم وجود پر مهرتان می‌کنم. امید است که ایزد یکتا یاری‌ام کند تا شما را فرزندی شایسته و میهنم را خدمتگزاری صادق باشم.

اسفند ماه سال هزار و سیصد و هشتاد و نه هجری شمسی

سپاس از لطف بی پایان الهی که مرا توفیق علم آموزی عطا کرد و هدایتگر درونی را شوق آموختن هدیه نمود.

سپاس از کمک‌ها و دلگرمی‌های اعضای خانواده

سپاس از حمایت‌ها و پشتیبانی‌های استاد راهنمای گرانقدر آقای دکتر حامدی و استاد مشاور ارجمند آقای دکتر عمید پور

سپاس از راهنمایی‌های استاد گرامی آقای دکتر شاه نظری

سپاس از آقای مهندس خوش گفتار منش از گروه صنعتی مپنا که این پایان نامه تحت حمایت آن شرکت قرار گرفت.

چکیده

پایان نامه حاضر با هدف تحلیل و بهینه سازی سیکل ترکیبی تولید توان، آب شیرین و سرمایش به بررسی و مقایسه سناریوهای مختلف تولید همزمان توان و آب شیرین به همراه سرمایش هوای ورودی به کمپرسور می‌پردازد.

این پایان نامه در 6 فصل ارائه می‌شود. فصول اول تا سوم به ترتیب به آشنایی با سیکل‌های ترکیبی و تولید همزمان، سیستم‌های شیرین سازی آب دریا و سیستم‌های خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور می‌پردازد. در فصل چهارم، 5 سناریو برای نیل به هدف تولید همزمان توان و آب شیرین مورد مطالعه قرار می‌گیرد و قیمت تولید توان و آب شیرین در هرکدام از سناریوها در دو حالت بررسی می‌شوند: 1- بدون سرمایش هوای ورودی 2- به همراه سرمایش هوای ورودی. در این فصل همچنین با در نظر گرفتن قیمت‌های مشخصی برای فروش آب و برق به محاسبه سود سالانه حاصل از هریک از سناریوها پرداخته شده است. نتیجه نهایی این است که، سناریوی پنجم به همراه سرمایش هوای ورودی که در آن، بخار کم فشار تولیدی در بویلر بازیاب با بخار خروجی توربین بخار مخلوط شده و به عنوان بخار محرک وارد آب شیرین‌کن می‌شود، دارای سود سالانه بیشتر نسبت به بقیه سناریوها بوده و از لحاظ مقدار توان و آب تولید شده و بازدهی CHP نیز وضعیت مناسبی دارد. بنابراین سناریوی پنجم به همراه سرمایش هوای ورودی، برای انجام عملیات بهینه سازی انتخاب می‌شود. بهینه سازی از دیدگاه اقتصادی در فصل پنجم و بهینه سازی از دیدگاه اگزرژتیکی به همراه تحلیل اگزرژی در فصل ششم انجام خواهد گرفت. در انجام بهینه سازی از جعبه ابزار ژنتیک الگوریتم نرم افزار متلب بهره گرفته شده است.

فهرست مطالب

چکیده ..... و
فهرست مطالب ..... ز
فهرست اشکال ..... ی
فهرست جداول ..... ک
فهرست علائم ..... ل
فهرست اختصارات ..... م
فصل اول 1
کلیاتی راجع به سیکل‌های تولید همزمان 1
1-1- مقدمه 2
1-2- سیکل‌های ترکیبی تولید توان 2
1-2-1- اصول کلی سیکل ترکیبی 3
1-2-2- بویلر بازیاب حرارت 4
1-2-2-1- محاسبات بویلر بازیاب 5
1-2-2-2- ساختمان بویلر بازیاب 7
1-3- پیشینه مباحث در رابطه با تحلیل و بهینه سازی سیکل‌های ترکیبی و تولید همزمان 10
فصل دوم 12
انواع سیستم‌های شیرین سازی آب دریا و کاربردهای هریک 12
2-1- مقدمه و تاریخچه فرایند شیرین کردن آب دریا 13
2-2- بررسی وضعیت تکنولوژی شیرین کردن آب دریا در منطقه خاورمیانه و جهان 13
2-3- روشهای متداول نمک زدایی 14
2-3- 1- کلیاتی راجع به روش‌ها 16
2-3-2- فرآیندهای حرارتی 18
2-3-2-1- روش تبخیر ناگهانی چند مرحله ای 18
2-3-2-2- روش تقطیر چند مرحله ای 21
2-3-2-3- روش متراکم سازی بخار 22
2-3-3 فرآیندهای غشایی 23
2-3-4- روش‌های ترکیبی 24
2-3-5- پیشینه مباحث در رابطه با بهینه سازی فرآیندهای حرارتی نمک زدائی 25
فصل سوم 27
انواع روش‌های خنک کردن هوای ورودی به کمپرسور 27
3-1- مقدمه 28
3-2- سیستمهای خنک کننده تبخیری 28
3-2-1- سیستم سرمایش هواشوی 29
3-2-2- سیستم خنک کننده مدیا 30
3-2-3- سیستم خنک کننده مه فشار قوی 32

3-3- سیستم چیلر 34
3-3-1- چیلرهای تراکمی 34
3-3-2- چیلرهای جذبی 37
3-4- سیستمهای ذخیره سازی سرما 39
3-4-1- سیکل باز 39
3-4-2- سیکل بسته 40
فصل چهارم 42
بررسی سناریوهای ممکن برای سیکل ترکیبی تولید توان، آب شیرین و سرمایش 42
4-1- مقدمه 43
4-2- کلیات 43
4-3- نحوه بدست آوردن قیمت تولید برق 44
4-3-1- قیمت تولید برق ناشی از هزینه سرمایه گذاری اولیه 44
4-3-2- قیمت تولید برق ناشی از هزینه تعمیر و نگهداری ثابت سالیانه 46
4-3-3- قیمت تولید برق ناشی از هزینه تعمیر و نگهداری متغیر 47
4-3-4- قیمت تولید برق ناشی از مصرف سوخت 47
4-4- نحوه بدست آوردن قیمت تولید آب شیرین 48
4-5- یافتن سود کلی سالانه حاصل از فروش آب و برق 49
4-6- ارزیابی ترمودینامیکی و اقتصادی سناریوهای مختلف 50
4-6-1- سناریوی اول – حالت 1 (بدون سرمایش هوای ورودی) 50
4-6-2- سناریوی اول – حالت 2 (به هراه سرمایش هوای ورودی) 57
4-6-3- سناریوی دوم – حالت1 (بدون سرمایش هوای ورودی) 60
4-6-4- سناریوی دوم – حالت2 (با سرمایش هوای ورودی) 63
4-6-5- سناریوی سوم 65
4-6-6- سناریوی چهارم 68
4-6-7- سناریوی پنجم 71
4-6-8- مقایسه و نتیجه گیری 74
فصل پنجم 75
بهینه سازی سناریوی انتخابی از دیدگاه اقتصادی 75
5-1- مقدمه 76
5-2- روند مدل‌سازی سناریوی پنجم در محیط برنامه نویسی متلب 76
5-3- انواع متغیرهای مسئله 77
5-3-1- پارامترها 77
5-3-2- متغیرهای تصمیم‌گیری 78
5-3-3- متغیرهای وابسته (خروجی‌ها) 79
5-4- مدل‌سازی بخش‌های مختلف مجموعه 80
5-4-1- مدل سازی توربین گاز 80

5-4-2- آنالیز فشار سمت بخار 81
5-4-3- یافتن آنتالپی و آنتروپی جریان‌های سمت بخار 82
5-4-4- یافتن دبی بخار پر فشار و کم فشار 83
5-4-5- یافتن کار تولیدی توربین بخار و کار مصرفی پمپ‌ها 84
5-5- بهینه سازی طرح پایه از دیدگاه اقتصادی 84
5-6- نتایج خروجی 85
5-7- آنالیز حساسیت سناریوی انتخابی در وضعیت بهینه نسبت به قیمت سوخت 86
فصل ششم 88
آنالیز اگزرژی سناریوی انتخابی و بهینه سازی آن از دیدگاه اگزرژتیکی 88
6-1- مقدمه 89
6-2- کلیات بحث اگزرژی 89
6-2-1- حالت تعادل (حالت مرده) 89
6-2-2- بخش‌های تشکیل دهنده اگزرژی 90
6-2-3- اگزرژی فیزیکی 90
6-2-4- اگزرژی‌شیمیایی 90
6-3- آنالیز اگزرژی طرح پایه 90
6-4- بهینه سازی طرح پایه با هدف حداقل سازی اگزرژی نابود شده کل 91
فصل هفتم 93
نتیجه گیری و پیشنهادات 93
7-1- نتیجه گیری 94
7-2- پیشنهاداتی برای کارهای آتی 94
مراجع 96
خلاصه انگلیسی 98

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 1-1- شکل شماتیک یک سیکل ترکیبی تک فشاره 3
شکل 1-2- پروفیل دما وگاز در یک بویلر بازیاب تک فشاره 6
شکل 2-1- نحوه پخش تکنولوژی‌های نمک زدایی در سطح دنیا 17
شکل 2-2- شماتیک یک دستگاه ***MSF*** 20
شکل 2-3- مقطعی از یک مرحله ***MSF*** 20
شکل 2-4- شماتیک یک واحد ***MED*** 22
شکل 3-1- شماتیک ساده سیستم هواشوی به عنوان خنک کننده هوای ورودی توربین گازی 29
شکل 3-2- شماتیک ساده سیستم خنک کننده تبخیری مدیا 31
شکل 3-3- نازل مه در حال پاشش آب 32
شکل 3-4- فلودیاگرام سیستم چیلر تراکمی 34
شکل 3-5- شماتیک چیلر جذبی بکار گرفته شده برای خنک کردن هوای ورودی توربین گازی..... 38
شکل 4-1- دیاگرام سناریوی اول – حالت 1..... 52
شکل 4-2- دیاگرام سناریوی اول – حالت 2..... 58
شکل 4-3- دیاگرام سناریوی دوم – حالت 1 61
شکل 4-4- دیاگرام سناریوی دوم – حالت 2 63
شکل 4-5- دیاگرام سناریوی سوم 65
شکل 4-6- دیاگرام سناریوی چهارم 68
شکل 4-7- دیاگرام سناریوی پنجم..... 71
شکل 5-1- نمایش مجدد دیاگرام سناریوی پنجم 81
شکل 5-2- نحوه تغیرات قیمت توان تولیدی با قیمت سوخت 87
شکل 5-3- نحوه تغیرات سود کل سالانه با قیمت سوخت 87

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول 2-1- انواع فرایندهای شیرین سازی آب دریا 15
جدول 4-1- مقادیر متغیرهای اقتصادی مورد استفاده در محاسبات 46
جدول 4-2- ورودی‌های سناریوی اول – حالت 1 52
جدول 4-3- خروجی‌های سناریوی اول – حالت 1 53
جدول 4-4- مقایسه 3 وضعیت از سناریوی اول با دماهای پینچ و میل مختلف 55
جدول 4-5- ورودی‌های سناریوی اول – حالت2 58
جدول 4-6- خروجی‌های سناریوی اول – حالت 2 59
جدول 4-7- ورودی‌های سناریوی دوم – حالت 1 61
جدول 4-8- خروجی‌های سناریوی دوم – حالت 1 62
جدول 4-9- خروجی‌های سناریوی دوم – حالت 2 64
جدول 4-10- ورودی‌های سناریوی سوم 66
جدول 4-11- خروجی‌های سناریوی سوم 67
جدول 4-12- ورودی‌های سناریوی چهارم 69
جدول 4-13- خروجی‌های سناریوی چهارم 70
جدول 4-14- ورودی‌های سناریوی پنجم 72
جدول 4-15- خروجی‌های سناریوی پنجم 73
جدول 4-16- مقایسه کلی 10 حالت باهم 74
جدول 5-1- مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیری طرح پایه 79
جدول 5-2- محدوده متغیرهای تصمیم‌گیری 85
جدول 5-3- مقایسه طرح بهینه با طرح پایه 85
جدول 5-4- تغیر قیمت خروجی‌های اصلی با قیمت سوخت 86
جدول 6-1- اگزرژی فیزیکی، شیمیایی و کل جریان‌ها 91
جدول 6-2- اگزرژی نابود شده طرح پایه و طرح بهینه اقتصادی 91
جدول 6-3- مقادیر اگزرژی نابود شده طرح بهینه اگزرژتیکی 92
جدول 6-4- مقادیر متغیرهای تصمیم گیری مربوط به طرح بهینه اگزرژتیکی 92

فهرست علائم

$\emptyset$	فاکتور پرداخت سالانه
P	توان خالص تولیدی بر حسب مگاوات
$avai$	درصد در دسترس پذیری
i	شاخص بهره
n	دوره بهره برداری
LHV	ارزش حرارتی پایین سوخت
$capital$	هزینه سرمایه گذاری کل اولیه تولید برق بر حسب ملیون دلار
$cost_{capital}$	قیمت تولید برق ناشی از هزینه سرمایه گذاری اولیه
FOM	هزینه تعمیر و نگهداری ثابت
$cost_{FOM}$	قیمت تولید برق ناشی از هزینه تعمیر و نگهداری ثابت سالیانه
VOM	هزینه تعمیر و نگهداری متغیر
$cost_{VOM}$	قیمت تولید برق ناشی از هزینه تعمیر و نگهداری متغیر
$capital_d$	هزینه سرمایه‌گذاری کل خرید یا ساخت آب شیرین‌کن و تجهیزات جانبی آن
$cost_{capital_d}$	قیمت تولید آب شیرین ناشی از سرمایه گذاری اولیه
$cost_p$	قیمت کل برق تولیدی
$cost_d$	قیمت کل آب شیرین تولیدی
$profit_p$	سود کل حاصل از فروش برق
$profit_d$	سود کل حاصل از فروش آب شیرین
HR	نرخ حرارتی
V	حجم آب شیرین تولیدی در یک سال
$\dot{m}_{fuel}$	دبی جرمی سوخت بر حسب کیلوگرم بر ثانیه
$\dot{m}_{steam}$	دبی جرمی بخار محرک ورودی به آب‌شیرین‌کن بر حسب کیلوگرم بر ثانیه
$\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{p}}$	دبی جرمی گازهای خروجی از توربین گاز
CHP_{eff}	بازدهی سیکل ترکیبی
h_{in}	آنتالپی بخار محرک ورودی به آب‌شیرین‌کن
h_{out}	آنتالپی کندانس خروجی از آب‌شیرین‌کن
ΔP_{sh}	افت فشار سمت بخار سوپرهیتر
ΔP_{eco}	افت فشار سمت آب اکونومایزر
η_{sp}	بازدهی ایزونتروپیک پمپ

η_{st}	بازدهی ایزونتروپیک توربین بخار
C_p	گرمای ویژه گازهای خروجی از توربین گاز
$\dot{W}_{st}$	کار تولیدی توربین بخار
$\dot{W}_p$	کار مصرفی یک پمپ
η_{mst}	بازده مکانیکی توربین بخار
η_{mp}	بازده مکانیکی یک پمپ
e_{ph}	اگزرژی فیزیکی ویژه یک جریان بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم
E_{ph}	اگزرژی فیزیکی یک جریان بر حسب کیلوژول بر ثانیه (کیلووات)
E_{ch}	اگزرژی شیمیایی یک جریان بر حسب کیلوژول بر ثانیه (کیلووات)
E_{total}	اگزرژی کل یک جریان بر حسب کیلوژول بر ثانیه (کیلووات)

فهرست اختصارات

HRSG	Heat Recovery Steam Generator
PPM	Particle Per Million
MSF	Multi Stage Flash distillation
VC	Vapor Compression
RO	Reverse Osmosis
WB	Wet Bulb
DB	Dry Bulb
BTU	British Thermal Unit
MIGD	Million Imperial Gallon per Day
HGS	Heat Regenerative Section
HRS	Heat Recovery Section
TTD_h	Terminal Temperature Difference of brine Heater

فصل اول

کلیاتی راجع به سیکل‌های تولید همزمان

1-1- مقدمه

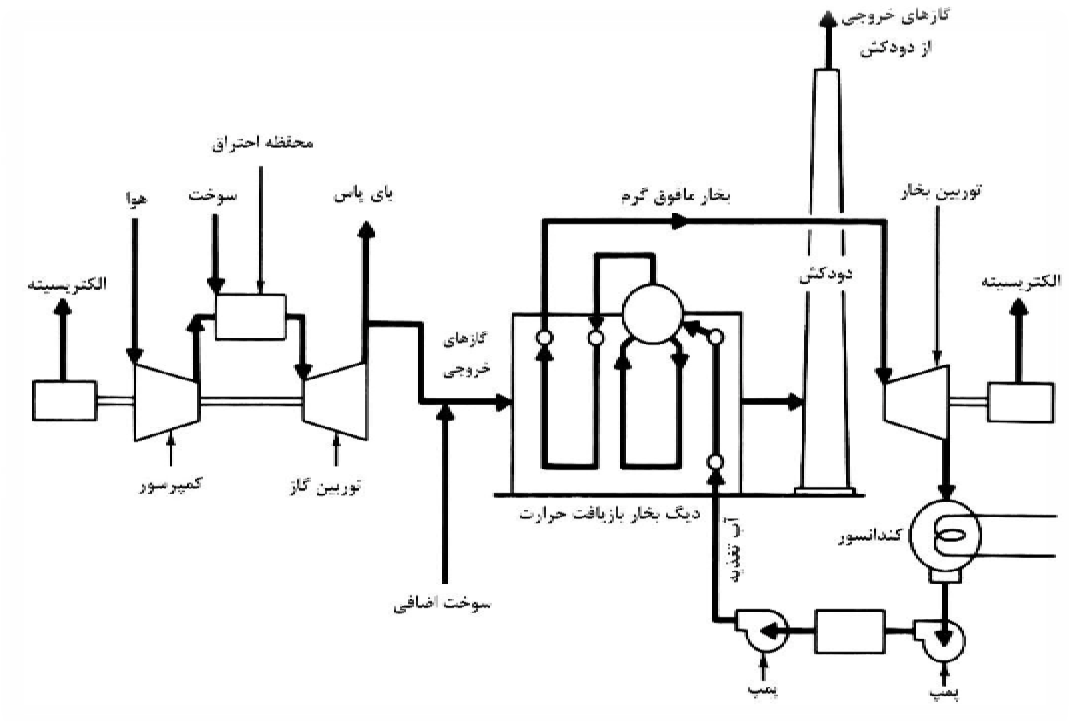
سیکل‌های تولید همزمان نیروگاهی به سیکل‌هایی اطلاق می‌شود که در آنها دو یا چند محصول مفید خروجی تولید می‌شود. در همگی این سیکل‌ها، یکی از محصولات خروجی برق بوده و محصولات دیگر می‌توانند بخار (با سطوح فشار مختلف)، آب شیرین و یا سرمایش باشند.

انگیزه اصلی استفاده از سیکل‌های تولید همزمان، هدر نرفتن گازهای داغ خروجی از توربین گاز می‌باشد. در واقع با قرار دادن یک بویلر بازیاب در مسیر گازهای داغ خروجی از توربین گاز، مبادرت به تولید بخار می‌نمایند. بنابراین جزء ثابت سیکل‌های تولید همزمان، توربین گاز و بویلر بازیاب می‌باشد.

بخار تولیدی در بویلر بازیاب می‌تواند در یک، دو و یا سه سطح فشار تولید شود که به آن به ترتیب بویلر بازیاب تک فشاره، دو فشاره و سه فشاره گفته می‌شود. بخار تولیدی بسته به فشار آن می‌تواند به مصارف مختلفی برسد. مثلا بخار کم فشار (که فشار آن بین 1.5 تا 3 بار است) در صورتی که نیروگاه نزدیک دریا واقع شده باشد، می‌تواند به عنوان بخار محرک مورد نیاز برای سیستم‌های شیرین سازی آب دریا استفاده شود، یا در صورت نیاز به تولید سرمایش در مجموعه، بخار کم فشار می‌تواند به عنوان بخار محرک چیلر جذبی تک اثره بکار رود. بخار فشار متوسط (که فشار آن بین 3 تا 8 بار است) می‌تواند برای تولید توان در توربین بخار یا به‌عنوان بخار محرک در چیلر جذبی دو اثره بکار رود. بخار فشار بالا نیز اصولا برای تولید توان در توربین بخار بکار می‌رود.

1-2- سیکل‌های ترکیبی تولید توان

نیروگاه سیکل ترکیبی به نیروگاهی گفته می‌شود که در آن هم در توربین گاز و هم در توربین بخار، توان تولید می‌شود. ایده سیکل ترکیبی به منظور بهبود بازده چرخه ساده برایتون، از طریق بهره‌گیری از انرژی و اگزرژی گازهای خروجی از مجموعه توربین گاز، مطرح شد. در شکل 1-1 طرحی از یک سیکل ترکیبی تک فشاره مشاهده می‌شود.



شکل 1-1- شکل شماتیک یک سیکل ترکیبی تک فشاره

1-2-1- اصول کلی سیکل ترکیبی

تلاش برای افزایش بازدهی حرارتی در نیروگاه‌های بخار که مطابق سیکل رانکین کار می‌کنند و نیروگاه‌های گازی که مطابق سیکل برایتون عمل می‌کنند منجر به ایجاد اصلاحات گسترده‌ای در این مجموعه‌ها شده است. یکی از این اصلاحات متداول به کارگیری سیکل ترکیبی گاز- بخار می‌باشد. با توجه به مزیت‌های سیکل ترکیبی، تعداد این نوع نیروگاه‌ها در حال پیشی گرفتن از سایر انواع نیروگاه‌ها است.

در معمولترین این سیکل‌ها، سیکل توربین گاز برایتون، سیکل فوقانی بوده و سیکل توربین بخار رانکین، سیکل تحتانی می‌باشد. سیکل ترکیبی حاصل دارای بازدهی حرارتی بالاتری نسبت به هر یک از سیکل‌ها، به تنهایی می‌باشد. سیکل‌های رانکین دارای این مزیت هستند که نسبت کار برگشتی آنها بسیار کمتر از نسبت کار برگشتی در سیکل‌های برایتون است. دلیل این امر آن است که در نیروگاه‌های بخار، مایعی که پمپ جابجا می کند حجم مخصوص کمی دارد در حالیکه حجم مخصوص بخاری که در توربین جریان دارد چند برابر بزرگتر است از این‌رو کار خروجی از توربین بخار بسیار بیشتر از کار ورودی به پمپ است و نسبت کار

برگشتی بسیار کوچک است، اما در نیروگاه‌های گازی، سیال عامل (معمولا هوا) در حالت گازی متراکم می‌شود که حجم مخصوص آن بالا است در نتیجه بخش قابل ملاحظه‌ای از کار خروجی توربین گاز به وسیله کمپرسور مصرف می‌شود و نیروگاه گازی کار کمتری را تولید می‌کند . در مقابل، محدودیت ماکزیمم دمای مجاز متالورژیکی در نیروگاه‌های بخار سبب شده است که سیکل‌های توربین گاز در دماهای بسیار بالاتری نسبت به سیکل‌های بخار کار کنند[1].

بیشترین دمای سیال عامل در ورودی توربین برای نیروگاههای بخار، 540 تا 650 درجه سانتیگراد می‌باشد. در حالیکه همین دما در نیروگاه‌های گازی در حدود 1100 درجه سانتیگراد می‌باشد. بنابراین سیکلهای توربین گازی به دلیل دمای میانگین بالاتر در فرآیند ورود گرما، قابلیت ایجاد بازده حرارتی بالاتری را دارند. نقطه ضعف این سیکل‌ها در آن است که گازهای خروجی، توربین گازی را در دماهای بسیار بالایی ترک می کند (در حدود 500 تا 600 درجه سانتیگراد)، این عیب باعث می‌شود که از پتانسیل این گازهای خروجی به درستی استفاده نشود و بازده این سیکل‌ها از سیکل‌های بخار پایین‌تر باشد. برای بهره‌گیری از انرژی گازهای خروجی، بهترین راهکار استفاده از بویلر بازیاب می‌باشد. گازهای داغ ورودی به بویلر بازیاب پس از مبادله حرارت با آب عبوری از بویلر بازیاب و تبدیل کردن آن به بخار، با دمایی بسیار پائین‌تر بویلر بازیاب را ترک می‌کنند.

1-2-2- بویلر بازیاب حرارت

در بسیاری از صنایع مانند صنعت تولید برق، صنعت سیمان، صنعت فولاد، صنعت سرامیک و ...، حرارت موجود در گازهای خروجی از فرایند، قابل بازیافت و مورد استفاده در سیستمهای تولید همزمان است. این سیستم‌ها، سیستمهای نزولی[1] تولید همزمان می‌باشند. به منظور بازیافت حرارت از گازهای داغ خروجی از فرایندهای صنعتی، از بویلر بازیاب حرارت استفاده می‌شود. در این موارد بخار تولید شده در بویلر بازیاب می‌تواند برای تولید برق به کار می‌رود. در صنایعی که دارای تقاضای حرارت به شکل بخار هستند، بخار خروجی از بویلر بازیاب، در فرایند استفاده می‌شود.

[1] - Bottoming Cycle

بویلر بازیاب سیستمی است که با مبادله حرارت بین گازهای داغ حاصل از احتراق و لوله‌های آب درون آن، بخار اشباع یا سوپر هیت تولید می‌نماید. بطور معمول جریان گاز داغ تنها یک بار از میان لوله‌ها و از ورودی تا خروجی جریان پیدا می‌کند. یک بویلر بازیاب می‌تواند در یک یا چند سطح فشار متفاوت بخار تولید کند. تولید بخار در سطوح متفاوت، بازیافت حرارت را از گاز داغ به نحو موثری افزایش می‌دهد. بویلرهای بازیاب نیروگاه‌های سیکل ترکیبی معمولا در دو یا سه سطح فشار متفاوت، بخار تولید می‌کنند. هر کدام از این سطوح فشار ممکن است خود شامل بخش‌های اکونومایزر، اواپراتور و یا سوپر هیتر باشند.

بخار فشار بالا برای توربین‌های بخار، بخار فشار متوسط در صورت نیاز برای تزریق در محظه احتراق و یا برای تولید توان در توربین بخار و بخار کم فشار برای هوازدا و یا مصارفی از قبیل بخار محرک برای سیستم‌های شیرین سازی آب دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بویلرهای بازیاب انواع مختلفی می‌توانند داشته باشند. به‌عنوان مثال بویلرهای بازیاب فایرتیوب (لوله دودی) یا واترتیوب (لوله آبی) و بویلرهای جریان طبیعی یا اجباری. در بویلرهای لوله دودی، گازهای ورودی به بویلر بازیاب از درون لوله‌ها عبور می‌کنند درصورتیکه در نوع لوله آبی، این گازها از خارج لوله‌ها عبور می‌کنند. اگر فشار گازهای ورودی به بویلر بازیاب حرارت زیاد باشد، ترجیحا بویلرهای فایرتیوب استفاده می‌گردد، اما اگر دبی گازهای داغ زیاد باشد و بویلر دارای چندین سطح فشار باشد، بویلرهای واترتیوب مناسب تر می‌باشند.

1-2-2-1- محاسبات بویلر بازیاب[1]

نقطه شروع محاسبات فنی در HRSG، ارزیابی ظرفیت تولید بخار و پروفیل دمای گازهای داغ و بخار است. شکل 1-2 یک نمونه پروفیل دمای بخار و گاز را در یک HRSG شامل اکونومایزر، اواپراتور و سوپرهیتر نشان می‌دهد. این شکل مربوط به یک HRSG تک فشاره است. در طراحی‌های مدرن، بویلر بازیاب با قابلیت عملکرد در چند فشار نیز طراحی شده است. دو متغیر مهم در یک بویلر بازیاب دماهای پینچ[2] و میل[3] هستند. این دو دما، متغیرهایی هستند که مستقیماً روی ظرفیت تولید بخار و پروفیل دمای گاز و بخار تاثیر می‌گذارند. دمای پینچ تفاوت میان دمای گاز خروجی از اواپراتور و دمای بخار اشباع (در فشار

[1] - HRSG(Heat Recovery Steam Generator)
[2] - Pinch Point
[3] - Approach Point