دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان

تحلیل اگزرژی سرمایش هوای ورودی به توربین گازی با استفاده از سیستم‌های تبرید دسیکنت(Desiccant)

اساتید راهنما

دکتر مرتضی یاری

دکتر بهروز میرزایی

پژوهشگر

چنگیز عبداللهی آتشگاه

زمستان ۱۳۸۸

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

تحلیل اگزرژی سرمایش هوای ورودی به توربین گازی با استفاده از سیستم‌های تبرید دسیکنت(Desiccant)

توسط:

چنگیز عبداللهی آتشگاه

پایان‌نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل – ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر مرتضی یاری(استاد راهنمای اول رئیس کمیته).....استادیار

دکتر بهروز میرزایی ضیاپور(استاد راهنمای دوم).....استادیار

دکتر مصطفی رحیمی(داور داخلی).....استادیار

دکتر سید محمد سید محمودی (داورخارجی).....استادیار

اسفند ماه ۱۳۸۸

نام خانوادگی دانشجو: عبداللهی آتشگاه **نام**: چنگیز

عنوان پایان نامه: تحلیل اگزرژی سرمایش هوای ورودی به توربین گازی با استفاده از سیستم‌های تبرید دسیکنت**(Desiccant)**

استادان راهنما: دکتر مرتضی یاری و دکتر بهروز میرزایی ضیا پور

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی مکانیک **گرایش**: تبدیل انرژی **دانشگاه**: محقق اردبیلی **دانشکده**: فنی ومهندسی **تاریخ فارغ التحصیلی**: ۱۳۸۸/۱۲/۱ **تعداد صفحه**: ۹۲

واژه‌های کلیدی:

سیکل تولید همزمان توربین گازی، اسپری‌کولر، دسیکنت، کویل خنک‌کننده، اگزرژی، بازده قانون دوم

چکیده:

گازهای خروجی توربین‌های گازی دارای مقدار زیادی انرژی حرارتی می‌باشند که اگر مورد استفاده قرار نگیرند و به اتمسفر تخلیه شوند به هدر خواهند رفت. این انرژی حرارتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر کار ویژه و بازده توربین‌های گازی، وابستگی شدیدی به دمای هوای ورودی دارد و خروجی توربین‌های گازی در شرایط دمای بالا به شدت افت می‌کند. این اثر منفی از دو جهت اتفاق می‌افتد: با افزایش دما، چگالی هوا و در نتیجه دبی جرمی هوا کاهش می‌یابد و این امر باعث کاهش قدرت خروجی و کارآیی توربین گازی می‌گردد. همچنین با افزایش دمای هوای ورودی، کار مورد نیاز کمپرسور افزایش یافته و قدرت خروجی توربین باز هم کاهش می‌یابد.

در این پایان‌نامه، ابتدا تاثیر خنک‌کاری هوای ورودی روی کار و بازده چرخه مورد مطالعه قرار گرفته و سپس تحلیل اگزرژی خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور سیکل تولید همزمان توربین گازی ، سیکل تولید همزمان توربین گازی با خنک کننده اسپری، سیکل تولید همزمان توربین گازی با کویل خنک کننده و سیکل تولید همزمان توربین گازی با سیکل تبرید دسیکنت بررسی می‌گردد. در ادامه کار با فرض دماهای ورودی مختلف، تأثیر این دماها روی کار خالص، بازده قوانین اول و دوم، نرخ از بین رفتن اگزرژی برای اجزاء مختلف و فاکتور مصرف انرژی(EUF) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد استفاده از خنک‌کننده‌ها برای خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی باعث افزایش قدرت خالص تولیدی، افزایش بازده حرارتی و بازده اگزرژتیک، کاهش نرخ از بین رفتن اگزرژی و افزایش فاکتور مصرف انرژی می‌شود. با افزایش دمای هوای ورودی، قدرت خالص تولیدی، بازده حرارتی و بازده اگزرژتیک کاهش می‌یابند. در مقابل فاکتور مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

در پایان مقایسه‌ای ما بین استفاده از خنک‌کاری توسط سیستم‌های خنک‌کننده اسپری، کویل خنک‌کننده و دسیکنت صورت گرفته، نتایج تحلیل نشان می‌دهد برای کمیت‌های مطالعه شده دسیکنت بهتر از سایر خنک‌کننده‌ها عمل می‌کند.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته ۱

۱-۱ پیشگفتار ۲

۱-۲- روش‌های بهبود عملکرد چرخه‌های توربین گازی ۳

۱-۲-۱- بکار بردن مبادله‌کن گرمایی ٤

۱-۲-۲- استفاده از خنک‌کن میانی در بین طبقات کمپرسور ٤

۱-۲-۳- بازگرمایش ٥

۱-۲-٤- بکار بردن مبادله‌کن گرمایی و خنک‌کن میانی ٥

۱-۲-٥- بکاربردن مبادله‌کن گرمایی و بازگرمایش ٦

۱-۲-٦- بکار بردن مبادله‌کن گرمایی به همراه خنک‌کن میانی و بازگرمایش ۷

۱-۲-۷- تزریق بخار ۷

۱-۲-۸- چرخه تبخیری ۸

۱-۲-۹- چرخه توربین گازی با بازیاب شیمیایی ۹

۱-۲-۱۰- چرخه ترکیبی ۱۰

۱-۲-۱۱- چرخه توربین گازی با اکسیداسیون جزئی ۱۱

۱-۲-۱۲- خنک‌کاری پره‌های توربین ۱۱

۱-۲-۱۳- چرخه توربین هوای مرطوب ۱۲

۱-۲-۱٤- خنک‌کاری هوای ورودی کمپرسور ۱۳

۱-۲-۱٤-۱- سرمایش تبخیری ۱٦
۱-۲-۱٤-۲- سیستم مه‌سازی ۱۸
۱-۲-۱٤-۳- سیستم تبرید مکانیکی ۱۹
۱-۲-۱٤-٤- تبرید مکانیکی با ذخیره یخ یا آب خنک ۲۰
۱-۲-۱٤-٥- چیلر جذبی ۲۲
۱-۲-۱٤-٦- دسیکنت ۲٤
۱-۲-۱٤-٦-۱- اصول سرمایش دسیکنتی ۲٤
۱-۲-۱٤-٦-۲- مواد جاذب (دسیکنت) ۲٥
۱-۲-۱٤-٦-۳- قسمت سرد کننده ۲۷
۱-۲-۱٤-٦-٤- منبع حرارتی احیاء کننده ۲۷
فصل ۲: تحلیل ترمودینامیکی سیکل تولید همزمان توربین گازی همراه با خنک‌کننده‌های هوا ۲۸
۲-۱- پیشگفتار ۲۹
۲-۲- مدل‌سازی سیکل تولید همزمان توربین گازی ۲۹
۲-۲-۱- تحلیل ترمودینامیکی کمپرسور ۳۲
۲-۲-۲- تحلیل ترمودینامیکی پیش‌گرم‌کن هوا ۳۲
۲-۲-۳- تحلیل ترمودینامیکی محفظه احتراق ۳۳
۲-۲-٤- تحلیل ترمودینامیکی توربین ۳٤
۲-۲-٥- تحلیل ترمودینامیکی تولید کننده بخار ۳٥
۲-۲-٦- تحلیل کلی سیکل ۳٦
۲-۳- تحلیل ترمودینامیکی خنک‌کننده‌های هوا ۳٦
۲-۳-۱- اسپری کولر ۳٦
۲-۳-۲- کویل سرمایشی ۳۷
۲-۳-۳- دسیکنت ۳۸
۲-٤- روش تحلیل اگزرژی ٤۱

۲-٤-۱- اگزرژی ٤١
۲-٤-۲- تعریف اگزرژی ٤٢
۲-٤-۳- مؤلفه‌های اگزرژی ٤٢
۲-۵- مدلسازی با نرم افزار ٤۵
فصل۳: بحث و بررسی نتایج ٤٧
۳-۱- بررسی صحت مدل‌سازی ٤٨
۳-۲- فرضیات ٤٩
۳-۳- بررسی نتایج سیکل تولید همزمان توربین گازی ۵۰
۳-۳-۱- تحلیل انرژی سیکل ۵۰
۳-۳-۲- تحلیل اگزرژی سیکل ۵۲
۳-٤- توصیف کلی سیکل تولید همزمان توربین گازی با خنک‌کننده اسپری کولر ۵۸
۳-٤-۱- بررسی نتایج سیکل تولید همزمان با اسپری کولر از دیدگاه قانون اول ۵۹
۳-٤-۲- بررسی نتایج سیکل تولید همزمان با اسپری کولر از دیدگاه قانون دوم ٦١
۳-۵- توصیف کلی سیکل تولید همزمان توربین گازی با کویل سرمایشی ٦٦
۳-۵-۱-تحلیل نتایج سیکل تولید همزمان با کویل سرمایشی از دیدگاه قانون اول ٦٧
۳-۵-۲- تحلیل نتایج سیکل تولید همزمان با کویل سرمایشی از دیدگاه قانون دوم ٦٩
۳-٦- توصیف کلی سیکل تولید همزمان با دسیکنت ٧٤
۳-٦-۱- تحلیل نتایج سیکل تولید همزمان با دسیکنت از دیدگاه قانون اول ٧۵
۳-٦-۲- تحلیل نتایج سیکل تولید همزمان با دسیکنت از دیدگاه قانون دوم ٧٨
۳-٧- مقایسه سیکل‌ها ٨١
فصل ٤: ارزیابی و پیشنهادات ٨٦
٤-۱- جمع‌بندی کلی ٨٧
٤-۲- پیشنهادات ٨٨
منابع ٨٩

فهرست علائم و نمادها

فشار ورودی	In Pressure	P_i
فشار خروجی	Out Pressure	P_e
دما	Tempreture	T
کمپرسور	Compressor	com
توربین	Turbine	Tur
محفظه احتراق	Combustion Chamber	CC
توربین فشار بالا	High Pressure Turbine	HPT
توربین فشار پایین	Low Pressure Turbine	LPT
پیش‌گرم‌کن هوا	Air Preheater	AP
تولید کننده بخار	Heat Recovery Steam Generator	HRSG
دمای پینچ‌پوینت	Pinch Point Tempreture	T_{PP}
ارزش حرارتی پایین	Low Heat Value	$\overline{LHV}$
اختلاف دمای نزدیکی	Approch Tempreture Difference	ΔT_{app}
آنتالپی مولی	Molar Enthalpy	$\overline{h}$
آنتروپی مولی	Molar Entropy	$\overline{s}$
فاکتور مصرف انرژی	Energy Ultilization Factor	EUF
دمای احیاء	Regeneration Tempreture	$T_{\mathrm{Re}g}$

فصل ۱

مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته

۱-۱ پیشگفتار

توربین‌های گازی اولیه در سال ۱۹۰۰ میلادی به وجود آمدند و از سال ۱۹۳۰ استفاده از آنها به منظور تولید جریان الکتریکی آغاز شد. طولانی بودن زمان راه‌اندازی توربین بخار و همچنین هزینه اولیه زیاد آن سبب به وجود آمدن توربین گازی گردید. توربین گازی به خاطر داشتن هزینه اولیه و زمان راه-اندازی پایین و نسبت انرژی به اندازه و نسبت انرژی به وزن بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. توربین گازی بر اساس چرخه برایتون کار می‌کند، از سه قسمت اصلی توربین، کمپرسور و محفظه احتراق تشکیل می‌شود. و سیال عامل آن هوا است. مزیت دیگر توربین گازی عدم وابستگی آن به آب است و با ظرفیت‌های مختلفی تولید می‌شود. امروزه توربین‌های گازی با ظرفیت‌های ۵۰۰ کیلووات تا ۳۰۰ مگاوات تولید می‌شوند[۳]. بازده آنها بین ۳۰٪ – ٤۲ ٪ و نسبت فشار کمپرسور بین ۱۰ تا ٤۰ متغیر است. دمای ورودی توربین ۹۰۰ تا ۱٤۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. یکی از معایب توربین گازی، بازده کم توربین گازی بخصوص در بارهای نسبی است[۲]. راندمان حرارتی و کار خروجی ویژه خالص توربین گازی ساده شدیداً تحت تأثیر نسبت فشار کمپرسور و دمای ورودی به توربین است. همچنین عملکرد توربین گازی تحت تأثیر شرایط محیطی (دما، فشار و رطوبت نسبی هوای محیط) و بخصوص دما است. برای بالا بردن راندمان توربین گازی می‌توان از چرخه با مبادله‌کن گرمایی برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه احتراق، بازگرمایش و خنک‌کن‌میانی استفاده نمود. بنابرین یکی از دلایل اصلی پایین بودن راندمان چرخه ساده توربین گازی، اتلاف انرژی در گازهای گرم خروجی از توربین می‌باشد.

به علت محدودیت‌هایی که در انتخاب دمای بیشینه چرخه و نسبت فشار مناسب وجود دارد، می‌توان از انرژی گازهای خروجی در یک چرخه جدید استفاده کرده و کارآیی چرخه توربین گازی را بالا برد. گازهای خروجی دمایی حدود ۵۰۰ تا ٦۰۰ درجه سانتیگراد دارند که سبب می‌شود چرخه توربین گازی به عنوان سیستم فوقانی در بسیاری از چرخه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

توربین‌های گازی کاربردهای متفاوتی دارند که می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱) سیکل ساده توربین گازی جهت تولید قدرت

۲) سیکل ساده توربین گازی با مبادله‌کن بازیافت گرما جهت تولید حرارت و قدرت که در این حالت از گرمای گازهای خروجی توربین جهت تولید بخار یا آب گرم استفاده می‌شود.

۳) سیکل ترکیبی که در آن بخار فشار بالای حاصل از حرارت بازیافت شده گازهای خروجی توربین گازی جهت تولید قدرت بیشتر در یک توربین بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

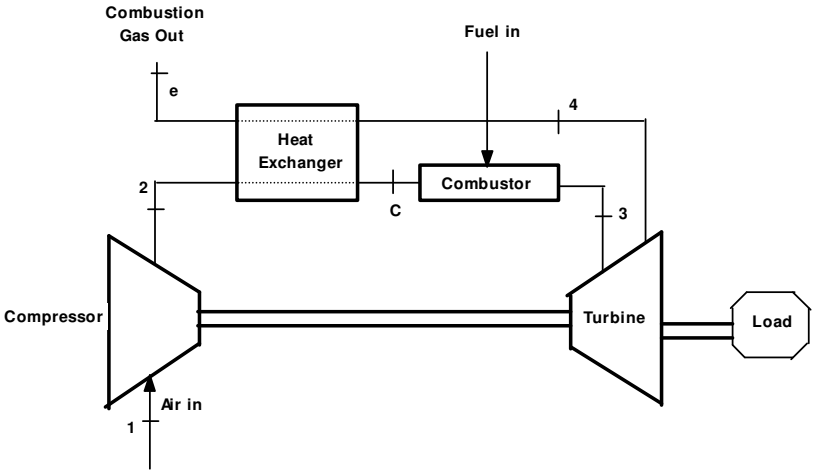
این توربین‌ها به دلیل بالا بودن ظرفیت و سرعت راه‌اندازی بالا مورد توجه بوده و یکی از کم آلاینده‌ترین ابزارهای تولید جریان الکتریکی می‌باشند. توربین‌های گازی به دلیل داشتن بازده پایین، معمولاً برای یک فاصله زمانی کوتاه که پیک بار است و یا هنگام بالا رفتن غیر عادی مصرف به عنوان مولد کمکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از روش‌های ساده ولی موثر قادر است بازده و قدرت توربین‌های گازی را بالا برده و سبب گسترش مصرف آنها گردد. مورد دیگری که در رابطه با توربین-های گازی باید مدنظر قرار گیرد، تأثیر دمای هوای ورودی در عملکرد چرخه می‌باشد. بالا بودن دمای محیط باعث محدودیت جرم هوای ورودی به کمپرسور شده و در نتیجه کاهش توان خروجی توربین را به دنبال خواهد داشت. به عنوان مثال ۱ درجه سانتیگراد افزایش در دمای محیط تقریباً ۱٪ کاهش توان تولیدی را در پی خواهد داشت[۲]. بررسی‌هایی که اثرات دما، فشار، رطوبت نسبی و دمای ورودی توربین را بر توان و بازده توربین گازی مورد بررسی قرار داده‌اند، نشان می‌دهند که دمای هوای محیط بیشترین تأثیر را بر بازده توربین گازی دارد. با سرد کردن هوای ورودی، نوسانات توان ویژه و بازده کاهش می‌یابد. یکی از این روش‌های کاهش دمای هوای ورودی بخصوص در مناطق گرم و مرطوب، سیکل تبرید دسیکنت است.

۱-۲ روش‌های بهبود عملکرد چرخه‌های توربین گازی

جهت بهبود عملکرد چرخه‌های توربین گازی روشهای مختلفی وجود دارد که در برخی از این روشها با افزودن یک جزء به چرخه، عملکرد را بهبود می‌بخشند و در برخی دیگر، از چرخه دیگری به عنوان چرخه تحتانی استفاده می‌شود. این روشها عبارتند از:

۱-۲-۱ بکار بردن مبادله‌کن گرمایی

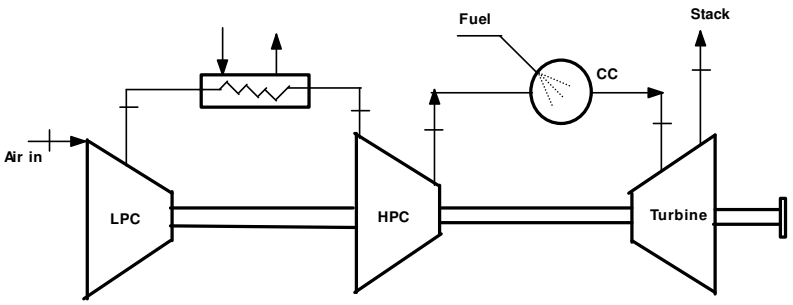
همانطوری‌که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود. در این روش هوای خارج شده از کمپرسور از داخل یک مبادله‌کن گرمایی که با گاز خارج شده از توربین گرم می‌شود، عبور می‌کند. هوای گرم وارد اتاق احتراق می‌گردد و مقداری از آن برای سوختن سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نظر به اینکه به هوای ورودی اتاق احتراق در داخل مبادله‌کن گرمایی مقداری حرارت داده می‌شود، در اتاق احتراق با مصرف سوخت کمتری گاز به دمایی می‌رسد که در یک توربین بدون مبادله‌کن گرمایی با صرف سوخت بیشتر ممکن است به آن دما برسد. با کم شدن مصرف سوخت، بازده حرارتی افزایش می‌یابد[۱].



شکل ۱-۱ توربین گازی با بازیاب حرارتی [۱]

۱-۲-۲ استفاده از خنک‌کن میانی در بین طبقات کمپرسور

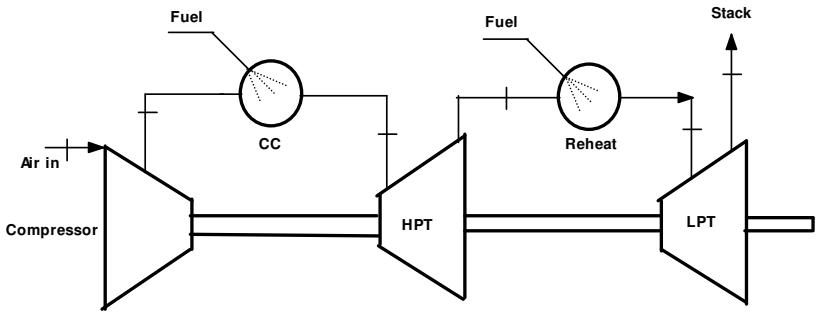
کار خالص چرخه توربین گازی را می‌توان با کاهش کار کمپرسور، افزایش داد. این کاهش با بکار بردن چند کمپرسور و خنک کردن هوا در بین طبقات مختلف عملی می‌گردد. هوای کمپرسور مرحله اول در داخل خنک‌کن میانی، تقریباً تا دمای اولیه خنک می‌شود و بعد وارد کمپرسور بعدی می‌شود. تأثیر خنک‌کن میانی، افزایش کار خالص و کاهش بازده در مقایسه با چرخه بدون خنک‌کن میانی می‌باشد[۱]. استفاده از خنک‌کن بدلیل حجم زیاد و نیاز به مقدار آب خنک‌کاری زیاد کاربرد کمی دارد و سادگی توربین گازی را از بین می‌برد[٤]، (شکل ۱-۲).



شکل۱-۲ توربین گازی با خنک‌کن میانی [۱]

۱-۲-۳ بازگرمایش

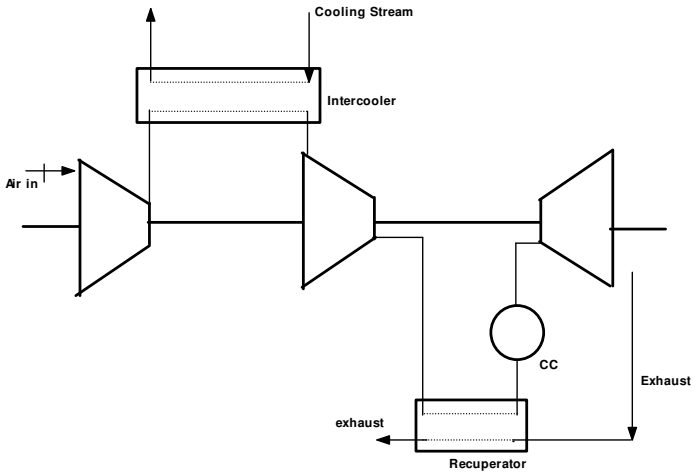
با گرم کردن مجدد گازها پس از خارج شدن آن از توربین اول در یک اتاق احتراق می‌توان کار بیشتری بدست آورد. در قسمت بازگرمایش یا اتاق احتراق ثانوی دمای گاز که در اثر انبساط در توربین اول کاهش یافته است، دوباره تقریباً به دمای اولیه (دمایی که گاز هنگام ورود به توربین اول داشت) می‌رسد و وارد توربین دوم می‌گردد. نظر به اینکه گاز خارج شده از توربین اول دارای هوای اضافی می‌باشد، می‌توان مقدار دیگری سوخت به داخل آن تزریق و توسط آن محترق نمود، بدون اینکه نیازی به هوارسانی جدید باشد با استفاده از بازگرمایش بازده کاهش یافته اما کار خالص افزایش می‌یابد[۱]، شکل (۱-۳).



شکل۱-۳ توربین گازی با اتاق احتراق ثانویه [۱]

۱-۲-٤ بکار بردن مبادله‌کن گرمایی و خنک‌کن میانی

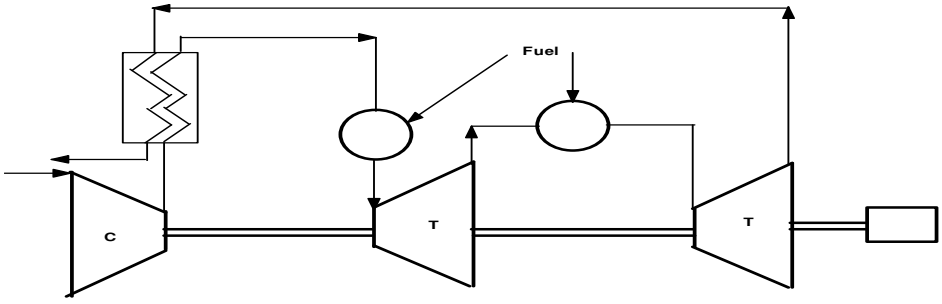
در این روش کاهش راندمان بر اثر خنک‌کن میانی با اضافه نمودن یک مبادله‌کن گرمایی به چرخه جبران می‌شود[٤]،(شکل ۱-٤).



شکل۱-٤ توربین گازی با بازیاب حرارتی و خنک‌کن میانی [٥]

۱-۲-٥ بکاربردن مبادله‌کن گرمایی و بازگرمایش

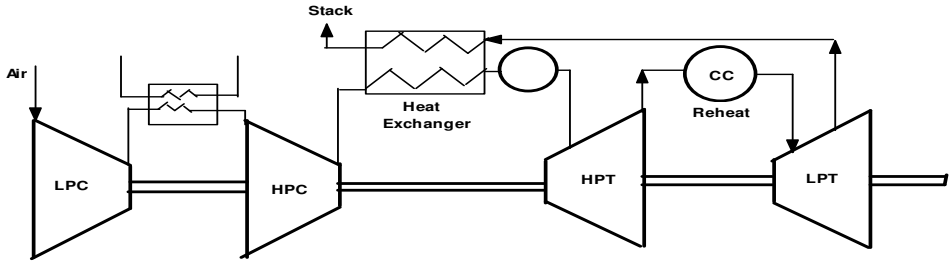
همانطور که در شکل (۱-٥) نشان داده شده است. در این روش کاهش راندمان بر اثر بازگرمایش با اضافه نمودن یک مبادله‌کن گرمایی به چرخه جبران می‌شود. با این کار از درجه حرارت بالای گاز خروجی، در یک مبادله‌کن گرمایی بطور کامل بهره‌برداری می‌شود و همچنین افزایش حرارت داده شده به چرخه مزیت ازدیاد کار خروجی را از بین نمی‌برد. در حقیقت به هنگام استفاده از مبادله‌کن گرمایی همراه بازگرمایش، راندمان بالاتر از زمانی است که از بازگرمایش استفاده نشود[٤].



شکل ۱-٥ توربین گازی با بازیاب حرارتی و بازگرمایش [۱]

۱-۲-٦ بکار بردن مبادله‌کن گرمایی به همراه خنک‌کن میانی و بازگرمایش

در این روش قدرت خروجی در اثر خنک‌کن میانی و اتاق احتراق ثانوی (بازگرمایش) افزایش می‌یابد و بازده حرارتی نیز توسط بازیاب حرارتی زیاد می‌شود و حداکثر مقدار بازده حرارتی به طرف نسبت فشار کمتر در مقایسه با چرخه ساده، انتقال پیدا می‌کند. اما باید توجه کرد که به کار بردن این اجزاء در توربین گازی سادگی آنها را از بین می‌برد و حجم زیاد و نیاز به آب سرد نیز موارد دیگری است که در اثر اضافه شدن خنک‌کن میانی به وجود می‌آید[٤]، (شکل ۱-٦).

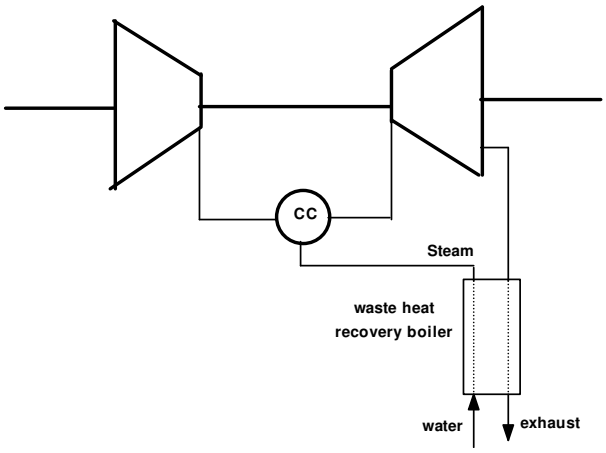


شکل ۱-٦ توربین گازی با بازیاب حرارتی، خنک‌کن میانی و بازگرمایش [۱]

۱-۲-۷ تزریق بخار[1]

در این روش از انرژی حرارتی گازهای گرم خروجی برای تولید بخار و سپس تزریق آن به چرخه استفاده می‌شود. اهمیت این روش در آن است که تزریق بخار ضمن افزایش جریان جرمی گذرنده از توربین، باعث افزایش گرمای ویژه گازهای گرم نیز می‌گردد. این دو عامل سبب افزایش کار توربین شده و بهبود عملکرد را به همراه خواهند داشت. مسأله مهمی که در این روش مطرح است مصرف آب است. مصرف آب معمولاً بین ۱/۱ تا ۱/٦ کیلوگرم آب با میزان خلوص بالا به ازاء هر KWh خروجی الکتریسیته است. سیستم خالص‌سازی آب برای یک واحد بزرگ حدوداً ۵٪ کل هزینه واحد است و هزینه عملیاتی آن حدود ۵٪ هزینه سوخت می‌باشد[۵]، (شکل ۱-۷).

1- Steam Injected gas Turbine(STIG)

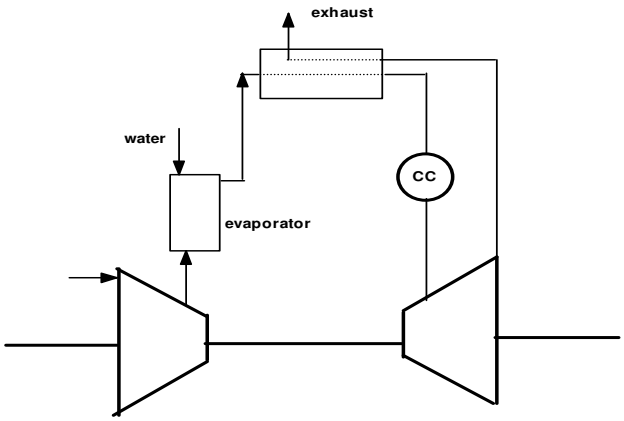


شکل ۱-۷ توربین گازی با تزریق بخار [۵]

۱-۲-۸ چرخه تبخیری[۲]

مزیت عمده چرخه تبخیری عدم نیاز آن به بویلر می‌باشد. یعنی آب به صورت مایع داخل جریان هوای خروجی کمپرسور می‌شود. گرمای هوای فشرده توسط آب جذب شده و آب بخار می‌شود. سپس ترکیب تک فاز توسط گازهای خروجی توربین در یک مبادله‌کن گرمایی مناسب گرم شده و بعد وارد اتاق احتراق می‌گردد. مزایای این چرخه همانند چرخه‌ی دارای تزریق بخار است یعنی دبی جرمی در توربین افزایش یافته و گرمای ویژه سیال عامل بیشتر می‌شود. این تغییر در چرخه سبب افزایش بازده و کار چرخه می‌شود اما کار ویژه حدود ۲۰٪ از کار ویژه مربوط به چرخه مشابه دارای تزریق بخار کمتر است. همانند چرخه تزریق بخار تأمین آب مصرفی مسأله‌ای است که باید در نظر گرفته شود. اما باید توجه شود که میزان آب مورد نیاز آن تقریباً $\frac{1}{3}$ آب مورد نیاز چرخه مشابه با تزریق بخار می‌باشد[۵]، شکل (۱-۸).

2- Evaporation Cycle

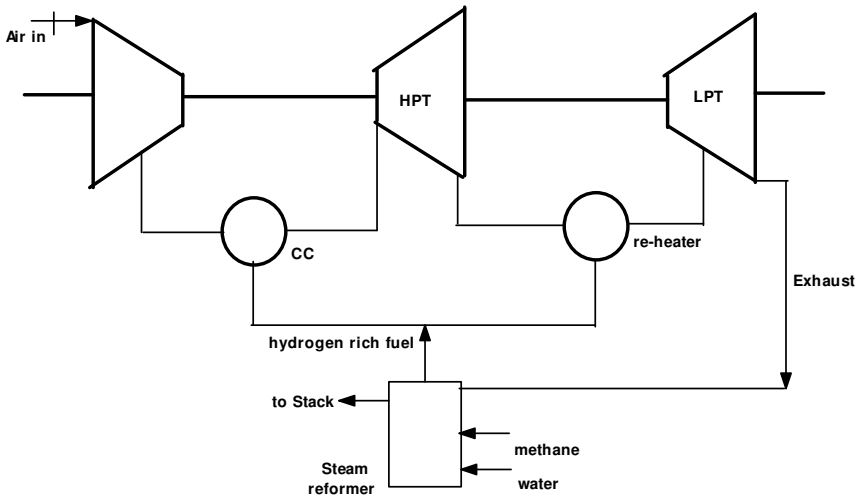


شکل ۱-۸ چرخه تبخیری [۵]

۱-۲-۹ چرخه توربین گازی با بازیاب شیمیایی[۳]

این چرخه با استفاده از گرمای گازهای خروجی، مخلوطی از بخار آب و گاز طبیعی را به هیدروژن و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌کند. هرچه دمای گازهای خروجی بالاتر باشد، راندمان این چرخه افزایش می-یابد. گاز طبیعی که عمدتاً متان است، با بخار آب واکنش انجام داده و به هیدروژن و مونواکسیدکربن تبدیل می‌شود. مونواکسیدکربن دوباره با آب ترکیب شده و دی‌اکسیدکربن و هیدروژن تولید می‌گردد. سپس مخلوط هیدروژن و دی‌اکسیدکربن وارد محفظه‌ی احتراق شده و یک جریان جرمی بزرگتر عبوری از توربین را ایجاد می‌کند. مزیت اصلی این چرخه، حذف واحدهای پرهزینه در چرخه ترکیبی مانند توربین بخار، کندانسور و ... می‌باشد. همچنین دمای آدیاباتیک شعله را کاهش می‌دهد که باعث کاهش NO_X تولیدی می‌گردد. این چرخه دارای محدودیت‌های شیمیایی می‌باشد و تجزیه و تحلیل آن به خاطر واکنش‌های شیمیایی موجود، بسیار مشکل است. بازده تخمینی این چرخه برای حالت ایده‌آل حدود ۶۰٪ است. این بازده و کاهش آلایندگی دلیل اصلی جذابیت این سیستم است. سوخت حاوی هیدروژن زیاد می‌تواند در دمای پایین‌تری نسبت به گاز متان بسوزد و به همین دلیل NO_X تولیدی بسیار کاهش می‌یابد[۵]، شکل (۱-۹).

3- Chemical Recuperation

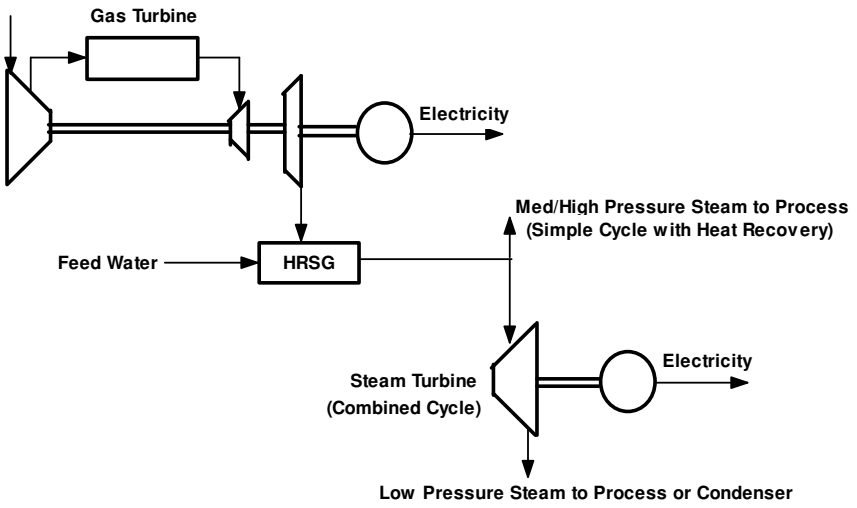


شکل ۱-۹ توربین گازی با بازیاب شیمیایی [۵]

۱-۲-۱۰ چرخه ترکیبی [۴]

در شکل (۱-۱۰) اجزای اساسی یک چرخه ترکیبی که شامل یک توربین گازی به عنوان چرخه بالایی، یک مولد بخار با حرارت بازیافتی و یک واحد توربین بخار به عنوان چرخه پایینی نشان داده شده است. در این چرخه، گاز خروجی از توربین گازی، ضمن عبور از بویلر بازیافت گرما[۵] گرمای خود را از دست می‌دهد و در دمایی بالاتر از دمای شبنم محصولات احتراق از بویلر خارج می‌گردند. راندمان این چرخه در حدود ۵۵ تا ۷۵ درصد است[۵].

4 - Combined Cycle
5 - Heat Recovery Steam Generation(HRSG)

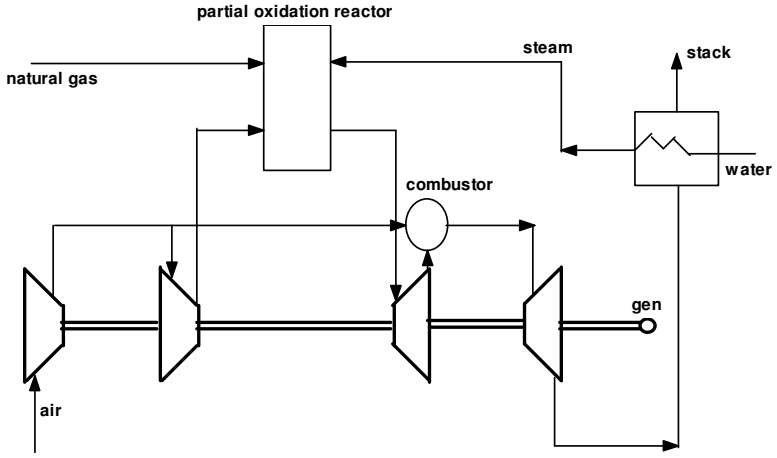


شکل ۱-۱۰ چرخه ترکیبی [۵]

۱-۲-۱۱ چرخه توربین گازی با اکسیداسیون جزئی[۶]

در این چرخه گاز طبیعی به طور جزئی در یک راکتور اکسید شده و به یک مخلوط گازی CO/H_2 تبدیل می‌شود. بخار آب که توسط گازهای خروجی از توربین گرم شده است، با گاز طبیعی وارد واکنش شده و مقداری هوای متراکم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون واکنش در فشار ۷۰ بار اتفاق می‌افتد، گاز طبیعی با فشار بالا مورد نیاز است. محصولات واکنش در یک توربین با قدرت معمولی تا فشار ٤۰ بار که فشار محفظه احتراق است، منبسط می‌گردد. سرانجام، گاز طبیعی با محصولات واکنش و قسمت دیگر هوای متراکم (بدون منبسط شدن در توربین اول) در محفظه احتراق سوخته و جریان عبوری از توربین گازی اصلی را تشکیل می‌دهد. عملکرد چرخه به دلیل بالا بودن ظرفیت گرمایی ویژه گاز مخلوط، کاهش تولید NO_X و کم شدن هوای لازم برای احتراق بهبود می‌یابد[٦]، شکل (۱-۱۱).

6 - Partial Oxidation Gas Turbine Cycle(POGT)



شکل ۱-۱۱ توربین گازی با اکسیداسیون جزئی [٦]

۱-۲-۱۲ خنک‌کاری پره‌های توربین

استفاده از توربین‌های با دمای ورودی بالاتر، منجر به بهبود عملکرد چرخه خواهد شد که نتیجه آن افزایش مؤثر در کار و بازده چرخه خواهد بود. برای این منظور لازم است از یک طرف توسعه قابل قبولی در جنس مواد ساختاری اجزاء چرخه برای تحمل دما و تنش‌های حرارتی بالا به وجود آید و از طرف دیگر تکنولوژی خنک‌کاری اجزایی که در معرض گازهای گرم قرار دارند بهبود یابد. در چنین شرایطی است که اجزاء مختلف سیستم ضمن آنکه در دمای عملکرد بالایی قرار دارند، از لحاظ تحمل تنش‌های حرارتی و خوردگی مورد اطمینان قرار خواهند گرفت[۷].

۱-۲-۱۳ چرخه توربین هوای مرطوب[۷]

چرخه توربین هوای مرطوب بر پایه افزایش کار خروجی توربین گازی با استفاده از هوای مرطوب به عنوان سیال عامل شکل یافته است. که حرارت ناشی از خنک‌کاری هوای کمپرسور و گازهای خروجی توربین برای تولید بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این هوای مرطوب دوباره برای ورود به توربین گرم می‌شود. جریان هوایی که مرحله اول تراکم را ترک نموده است و در خنک‌کن میانی سرد می‌شود، مقداری گرما برای تبخیر آب تأمین می‌کند. خنک‌کن پسین[۸] نیز یک مبادله‌کن گرمایی گاز-آب می‌باشد

7 - Humid Air Turbine Cycle(HAT)
8 - After Cooling