بسم الله الرحمن الرحيم

٢٠١١٨٥٤ - ١٣٣٩٨١

دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

عنوان

تحلیل اگزرژی خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی به روش مه زنی

استاد راهنما

دکتر سید محمد سید محمودی

استاد مشاور

دکتر فرامرز رنجبر

پژوهشگر

سعید سلطانی

دی ۱۳۸۸

۱۳۸۸/۱۲/۲۶

۱۳۳۹۵۱

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوار

و

خواهر مهربانم

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس خداوند عز و جل را شایسته است که داده هایش نعمت است و نداده‌هایش حکمت.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید محمد سید محمودی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده در مسیر پیشبرد این رساله تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از استاد محترم جناب آقای دکتر فرامرز رنجبر به خاطر مساعدت و مشاورت‌های مفیدشان در انجام این پایان نامه صمیمانه سپاسگزارم.

از خانواده عزیزم به خاطر زحمات بی دریغ و همیشگی تقدیر کرده و زحمات آنان را ارج می‌نهم.

شایسته است از آقای دکتر فرامرز طلعتی و کلیه اساتید و مسئولین محترم دانشکده مکانیک که در طول تحصیل اینجانب را مورد لطف و مساعدت خویش قرار داده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

نام خانوادگی دانشجو : سلطانی **نام :** سعید

عنوان پایان نامه : تحلیل اگزرژی خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی به روش مه زنی

استاد راهنما : دکتر سید محمد سید محمودی

استاد مشاور : دکتر فرامرز رنجبر

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** مهندسی مکانیک **گرایش :** تبدیل انرژی **دانشگاه :** تبریز

دانشکده : فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی :** دی ۸۸ **تعداد صفحه :** ۱۱۰

واژه های کلیدی : توربین گازی، خنک کاری مه پاشی، تزریق بخار، تحلیل اگزرژی

چکیده :

استفاده اززروش مه زنی در خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است زیرا در مقایسه با سایر روشهای خنک کاری هوای ورودی دارای مزیت نصب آسان و هزینه اولیه و نگهداری پایین می باشد، همچنین توان خروجی و بازده گرمایی را به صورت قابل توجهی بهبود می بخشد.

از طرف دیگر استفاده از سیکل توربین گازی با تزریق بخار هم به دلیل مزایایی که در افزایش کار ویژه و راندمان حرارتی و کاهش آلاینده های زیست محیطی دارد، از دودهه اخیر مدنظر قرار گرفته است. در این پایان نامه ابتدا سیکل های توربین گازی با خنک کاری هوای ورودی به روش مه پاشی و ترکیب این سیکل با روش تزریق بخار، مورد تحلیل ترمودینامیکی قرار گرفته اند.

در قسمت اول این پایان نامه، سیکل توربین گازی با خنک کاری هوای ورودی به روش مه پاشی با استفاده از قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد بررسی قرار گرفته است که در بیشتر کارهای انجام شده این روش با استفاده از قانون اول ترمودینامیک مورد بررسی قرار گرفته است و برای اولین بار این روش با استفاده از قانون دوم ترمودینامیک بررسی شده و بازگشت ناپذیریها در اجزای مختلف سیکل محاسبه شده است. در قسمت دوم مطالعه، سیکل توربین گازی با تزریق بخار و مجهز به سیستم مه سرمایی با استفاده از قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد بررسی قرار گرفته است. این سیکل برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج حاصل با سیکل توربین گازی با تزریق بخار مقایسه شده است. نتایج حاصل بیانگر افزایش توان خروجی و بازده گرمایی و بازده قانون دوم سیکل FGT نسبت به سیکل SGT می باشد، همچنین توان خروجی سیکل FSTIG نسبت به سیکل STIG افزایش قابل ملاحظه دارد، اما بازده گرمایی و بازده قانون دوم به صورت جزئی کاهش پیدا می کند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاثیر دمای محیط بر عملکرد توربین گازی ۳

۱-۳- روش های سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور ۵

۱-٤- روش مه زنی ۷

۱-۵- تاثیر دما بر روی توان خروجی توربین گاز و بازده آن ۹

۱-٦- نرم افزار EES ۱۲

۱-۷- پیشینه پژوهش ۱۳

فصل دوم : مواد و روشها

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- توصیف کلی سیکل توربین گاز با خنک کن مه زنی ۲۱

۲-۳- تحلیل انرژی اجزای سیکل توربین گازی با خنک کن مه زنی ۲۲

۲-۳-۱ خنک کن مه زنی ۲۲

۲-۳-۲ کمپرسور ۲۳

۲-۳-۳- اتاق احتراق ۲٤

۲-۳-٤- توربین ۲۵

۲-٤- تحلیل کلی سیکل از دیدگاه قانون اول ۲٦

۲-۵- تحلیل اگزرژی اجزای سیکل توربین گازی با خنک کن مه زنی ۲۷
۲-۵-۱- خنک کن مه زنی ۲۸
۲-۵-۲- کمپرسور ۲۸
۲-۵-۳- اتاق احتراق ۲۹
۲-۵-٤ توربین ۲۹
۲-٦- تحلیل کلی سیکل از نظر قانون دوم ترمودینامیک ۲
۲-۷- فرضیات کلی برای تحلیل سیکل ۳۰
۲-۸- توصیف کلی سیکل توربین گاز با تزریق بخار توسط خنک کن مه‌زنی ۳۱
۲-۹- تحلیل انرژی اجزای سیکل ۳۳
۲-۹-۱ خنک کن مه زنی ۳۳
۲-۹-۲ کمپرسور ۳٤
۲-۹-۳- اتاق احتراق ۳٤
۲-۹-٤- توربین ۳۵
۲-۹-۵- بویلر بازیافت گرما ۳٦
۲-۹-٦- پمپ آب تغذیه ۳۸
۲-۱۰- تحلیل کلی سیکل از دیدگاه قانون اول ۳۹
۲-۱۱- تحلیل اگزرژی اجزای سیکل ٤۰
۲-۱۱-۱- خنک کن مه زن ٤۰
۲-۱۱-۲- کمپرسور ٤۰
۲-۱۱-۳- اتاق احتراق ٤۱

۲-۱۱-٤- توربین ٤١

۲-۱۱-٥- بویلر بازیافت گرما ٤١

۲-۱۲- تحلیل کلی سیکل از نظر قانون دوم ترمودینامیک ٤۲

۲-۱۳- فرضیات کلی برای تحلیل سیکل ٤۳

فصل سوم : نتیجه‌گیری و بحث

۳-۱- اعتبار دهی مدل سازی ٤٦

۳-۲- بررسی نتایج حاصل از تحلیل قانون اول ترمودینامیک برای سیکل توربین گاز با خنک کاری هوای ورودی ٤٨

۳-۳- بررسی نتایج حاصل از تحلیل قانون دوم ترمودینامیک برای سیکل توربین گاز با خنک کاری هوای ورودی ٥٨

۳-٤- بررسی نتایج حاصل از تحلیل قانون اول ترمودینامیک برای سیکل توربین گاز با استفاده همزمان تزریق بخار و خنک کن مه زنی ۷۱

۳-٥- بررسی نتایج حاصل از تحلیل قانون دوم ترمودینامیک برای سیکل توربین گازبا استفاده همزمان تزریق بخار و خنک کن مه زنی ۸٤

۳-٦- بحث ۱۰۰

۳-٦-۱- مقایسه سیکل های مختلف از نظر قانون اول ترمودینامیک ۱۰۰

۳-٦-۲- مقایسه سیکل های مختلف از نظر قانون دوم ترمودینامیک ۱۰۲

۳- ۷- پیشنهاد برای ادامه کار ۱۰۸

مراجع ۱۰۹

علائم و اختصارات

A	سطح
C_p	گرمای ویژه فشار ثابت
Ex	اگزرژی
Far	نسبت جرم سوخت به هوای ورودی سیکل
h	آنتالپی ویژه
h^0_f	آنتالپی تشکیل
I	بازگشت ناپذیری
$I_{,rel}$	بازگشت ناپذیری نسبی
LHV	ارزش حرارتی پایین سوخت
$\dot{m}$	دبی جرمی
M	جرم مولکولی
n	تعداد مولها
p	فشار
Q	حرارت
r	نسبت فشار
R	ثابت عمومی گازها
S	آنتروپی
sar	نسبت جرم بخار به هوای ورودی سیکل
T	دما
TIT	دمای ورودی توربین
TOT	دمای خروجی توربین
vel	سرعت
v	حجم ویژه
$\dot{V}$	دبی حجمی
w	کار ویژه
W	کار
x	کسر مولی
γ	نسبت گرمای ویژه فشار ثابت به گرمای ویژه حجم ثابت
η	بازده
φ	رطوبت نسبی
μ	پتانسیل شیمیایی
λ	ضریب هوای اضافی

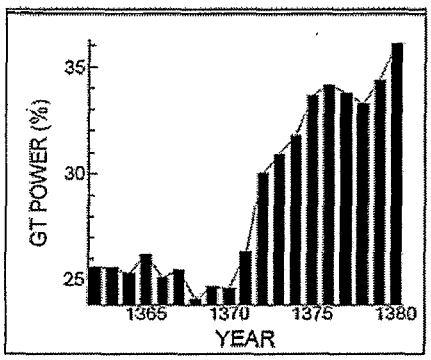
ρ	چگالی
ω	نسبت رطوبت
ψ	اگزرژی ویژه
air	هوا
amb	محیط
cc	اتاق احتراق
ch	شیمیایی
comp	کمپرسور
cycle	سیکل
di	دیفیوژنی
fog cooler	خنک کن مه پاشی
far	نسبت جرم سوخت به هوای ورودی سیکل
g	گاز
gen	تولیدی
k	جنبشی
net	خالص
pump	پمپ
ph	فیزیکی
pp	نقطه پینچ
product	محصولات
reactent	واکنش دهنده‌ها
s	شرایط استاندارد
sat	حالت اشباع
stack	دودکش
steam	بخار
turb	توربین
water	آب
∞	پلی تروپیک
00	حالت مرده
II	مربوط به قانون ذوم ترمودینامیک

فصل اول

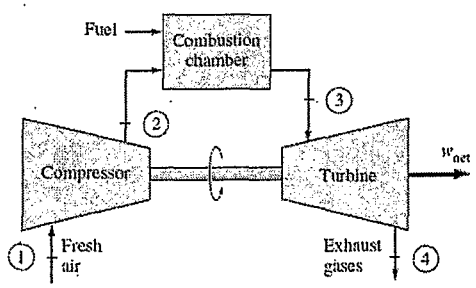
مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱- مقدمه

کاربرد توربین های گازی در سیکلهای تولید قدرت روز به روز در حال افزایش است و همان طور که در شکل (۱-۱) دیده می شود سهم توربین های گازی در تولید برق کشور از ۲۳٪ در سال ۱۳٦۸ به ۳٦٪ در سال ۱۳۸۰ رسیده است .[۱] کوچک بودن ابعاد ،سادگی در نصب ،نسبت بالای توان به وزن قابلیت خارج شدن یا وارد شدن سریع به مدار از مزایای اینگونه سیستمها محسوب می شود. علاوه بر این استفاده از توربین های گازی در سیکلهای ترکیبی از بازده بالایی بر خور دار است .



شکل(۱-۱) سهم نیروگاههای گازی در تولید برق کشور[۱]



شکل(۱-۲) سیکل توربین گازی ساده

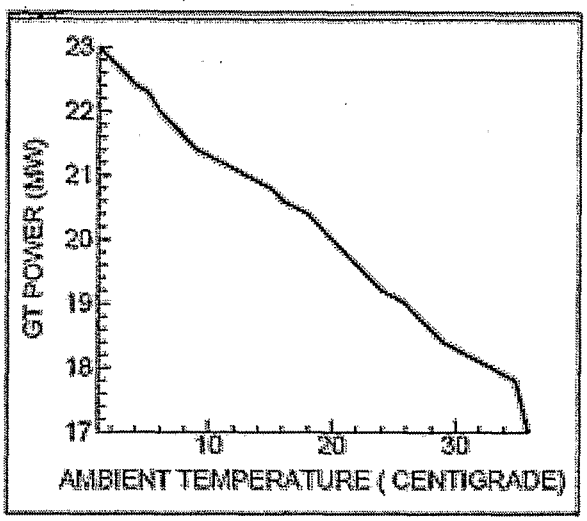
۱-۲- تاثیر دمای محیط بر عملکرد توربین گازی

یکی از معایب این نیروگاهها پایین بودن بازده انهاست ، به طوری که بازده متوسط این نیروگاه ها در ایران حدودا ۲۶٪ است.[۱] تا کنون روش های زیادی برای رفع این مشکل و افزایش بازده توربین های گازی پیشنهاد و اجرا شده است.

یکی از معایب توربین های گازی اثرات شدید جوی بر توان خروجی است. ال هادیک [۲] پس از بررسی اثرات دما ، فشار و رطوبت نسبی هوای ورودی به توربین بر توان و بازده ان به این نتیجه رسیده است که دمای هوای محیط بیشترین اثر را بر کارایی توربین گازی دارد.

افزایش دمای هوای محیط باعث اندکی کاهش در بازده و کاهش شدیدی در توان نیروگاه می گردد. دلیل اصلی کاهش توان نیروگاه ، کاهش چگالی هوا است که جریان جرمی عبوری از کمپرسور و در نتیجه توان نیروگاه را به شدت کاهش می دهد.[۳] هر ۱ درجه سانتیگراد افزایش دمای هوای محیط تقریبا باعث ۰,۷٪ کاهش در توان خروجی نیروگاه می گردد. براساس مطالعات McCracken [٤] توربین گاز در فصل تابستان نسبت به زمستان ٪۳۵-۲۵ توان کمتری تولید می کند و ٪۱۰-۵ افزایش heat rate دارد (به طور متوسط ٪٦ افزایش مصرف سوخت)

در شکل شماره (۱-۳) تغییرات توان توربین های گازی هیتاچی در نیروگاه گازی شهر ری بر اثر تغییر دمای ورودی به کمپرسور اورده شده است.

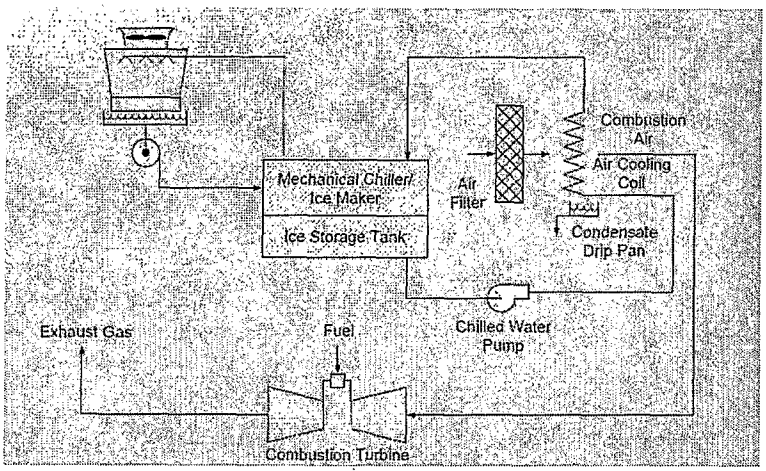


شکل(۱-۳) تغییر توان واحدهای هیتاچی نیروگاه گازی شهر ری در اثر تغییر دمای محیط[۱]

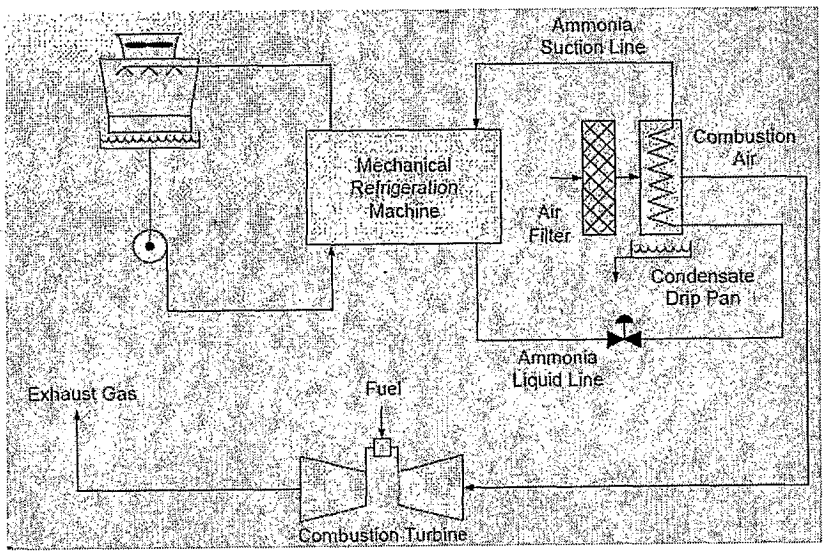
توجه به این نکته ضروری است که طبق گزارشات وزارت نیرو زمان اوج مصرف برق مصادف با گرم ترین ماه های سال می باشد و بنابراین درست در زمانی که بیشترین نیاز به انرژی برق وجود دارد، نیروگاه های گازی کمترین توان تولید را دارا می باشند.[۱] از انجاییکه نیروگاههای گازی عمدتا برای کار در ساعت های اوج مصرف طراحی شده اند این مشکل چشمگیر تر است. برای رفع این مشکل روش های زیادی برای سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور توربین های گازی پیشنهاد و یا اجرا شده است.

۱-۳- روش های سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور

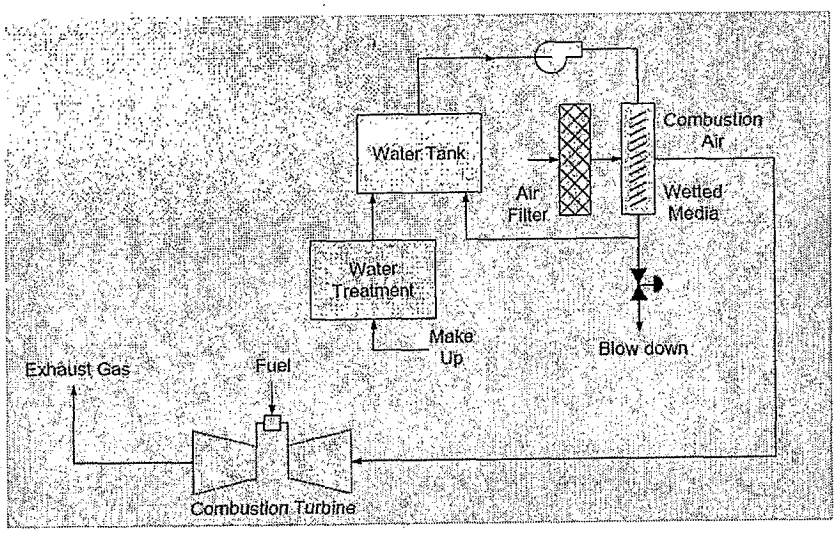
روش های مختلفی برای خنک کردن هوای ورودی به کمپرسور پیشنهاد شده است. در گروه اول از تبخیر آب برای سرمایش هوا استفاده می شود.خنک کننده های تبخیری و خنک کننده های مه زن در این گروه قرار می گیرند.این روشها ساده و ارزان و سریع می باشند و دما به دمای حباب تر هوا می رسد ، در گروه دوم سیستم های تبرید مکانیکی[۵] و یا جذبی قرار دارند این دو روش به دمای حباب تر هوا وابسته نیستند ولی گران قیمت می باشند و مسایل اقتصادی استفاده از انها را محدود می کند. سیستم تبرید تراکمی بخش زیادی از انرژی تولید شده در نیروگاه را مصرف می نماید و در عمل مورد استفاده قرار نمی گیرد. سیستم تبرید جذبی از حرارت گازهای خروجی استفاده می کند و انرژی تولید شده در نیروگاه را مصرف نمی کند، اما استفاده از آن در سیکل های ترکیبی محدود است.[۶و۷]



شکل (۱-٤) سیستم تبرید جذبی[۵]



شکل (۱-۵) سیستم تبرید مکانیکی[۵]



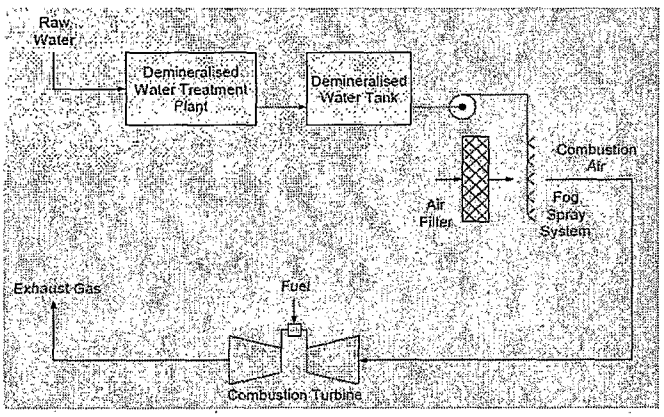
شکل (۱-۶) شکل شماتیک روش تبخیری[۵]

۱-٤- روش مه زنی :

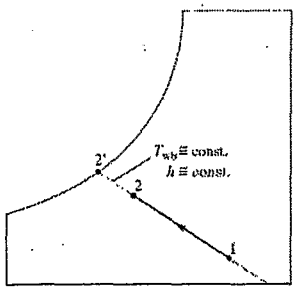
روش مه پاشی یک روش موثر بوده که به طور روز افزون مورد استفاده قرار گرفته است. یک سری نازل ذرات آب را در فشار بالا (Mpa ۲۵ -۱٤) می پاشد.. با این روش آب به صورت ذراتی با مقیاس میکرون به هوای ورودی پاشیده می شود . به خاطر اندازه کوچک (µm ۱۰ -۵) و توزیع در فضای وسیع، ذرات آب سریع بخار می شود و هوا را خنک می کند. برخلاف روش تبخیری که می تواند هوا را تا ٪۹۰ اشباع کند، روش مه زنی می تواند باعث اشباع کامل هوا و کاهش دمای آن به دمای حباب تر شود.

تفاوت این روش با روش تبخیری در ان است که در روش تبخیری هوا در معرض محیط تر قرار میگیرد و گرمای نهان تبخیر باعث کاهش دمای هوا می شود. مه زنی روشی است که طی آن ذرات آب به صورت ذرات مه ریز به ورودی کمپرسور پاشیده می شود و اجازه می دهد همراه هوا وارد کمپرسور شود. ذرات آب در مرحله ورودی کمپرسور بخار می شود و دمای هوا را پایین می آورد و بنابراین کار لازم برای کمپرسور کاهش می یابد. همچنین اهنگ گذر جرمی هوا افزایش می یابد و از این نظر نیز باعث افزایش توان توربین می شود علاوه بر خنک کردن هوای ورودی این روش با استفاده از intercooling در داخل کمپرسور، کار مصرفی کمپرسور را کاهش داده و باعث می شود توان خروجی افزایش پیدا کند. به این صورت که در روش مه زنی می توان هوا را به حالت فوق اشباع دراورد که این حالت overspray نام دارد و مقداری از ذرات اب وارد کمپرسور می شود ودر طبقات کمپرسور بخار می شود و باعث کاهش دمای هوا می شود که این روش intercooling نام دارد. معمولا سیستم طوری

طراحی می شود که ذرات آب در طبقات کمپرسور رسوب نکند. در روش مه زنی دمای هوا از دمای حباب خشک به دمای حباب تر کاهش می یابد و این اختلاف دما به رطوبت نسبی هوا و دما بستگی داردبه طوری که در مناطق گرم وخشک این اختلاف بیشتر است و استفاده از این روش کارایی بالایی دارد در مناطق مرطوب این اختلاف کم می باشد و قابلیت جذب اب توسط هوا کم می باشد و روش تبخیری در این مناطق کاربرد ندارد اما روش مه زنی به علت پا شش مستقیم اب و امکان به وجود اوردن intercooling در این مناطق نیز کاربرد دارد. این روش همچنین باعث کاهش NO_X هوا می شود.



شکل (۱-۷) شکل شماتیک روش مه زنی[۵]

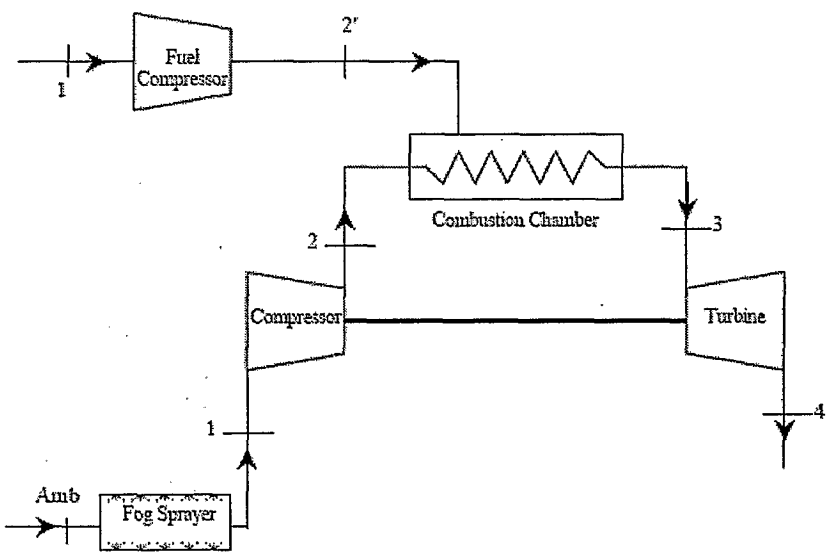


شکل (۱-۸) روش مه زنی در نمودار سایکرومتریک

فرایند سرد سازی به روش فوق در نمودار سایکرومتریک با خط انتالپی ثابت نشان داده می شود به طوری که در نهایت به هوای اشباع می رسیم. مطابق شکل (۱-۸) در نمودار سایکرو متریک هوای ورودی به کمپرسور به نقطه ۲′ می رسد و دما نسبت به روش تبخیری یعنی نقطه ۲ کمتر می شود.

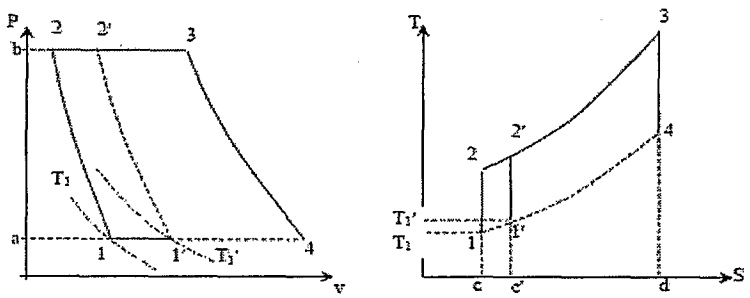
۱-۵- تاثیر دما بر روی توان خروجی توربین گاز و بازده آن :

شکل (۱-۹) یک سیکل توربین گاز با روش مه زنی را نشان می دهد. تاثیر دما بر روی توان خروجی توربین گاز و بازده آن می تواند بر روی نمودار p-v و T-s بررسی شود.



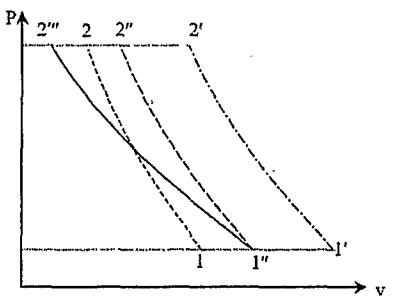
شکل (۱-۹) سیکل توربین گازی با روش مه زنی

مسیر ٤-۳-۲-۱ در شکل (۱-۱۰) سیکل ایده آل برایتون در شرایط ISo (۵۹°f و ٦۰٪ رطوبت نسبی) را نشان می دهد و مسیر ٤-۳-۲′-۱′ فرایند را در یک روز گرم نشان می دهد.



شکل (۱-۱۰) نمودار p-v و T-s

در شرایط ISo توان مورد نیاز برای کمپرسور سطح ۲-a-b-۱ می باشد و در شرایط دمای بالای محیط توان مورد نیاز برای کمپرسور سطح ۲′-a-b-۱′ می باشد که بیشتر از مقدار آن برای شرایط ISo است . توان خروجی توربین در هر دو حالت یکسان است بنابراین توان خروجی مفید کاهش می یابد. افزایش منحنی هم فشار (۳-۲و٤-۱) در دیاگرام T-s نشان می دهد که گرمای منتقل شده به محفظه احتراق در دمای پایین باعث تلف شدن بیشتری از انرژی مفید می شود.



شکل(۱ -۱۱)