

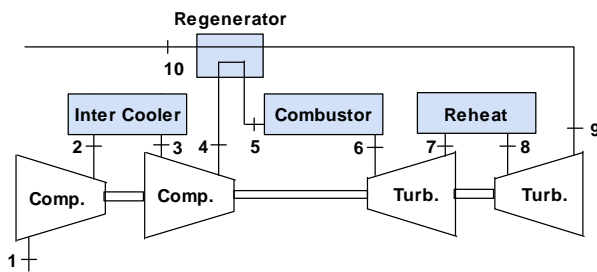
بررسی تاثیر فشار خنک کننده میانی کمپرسور و فشار بازیاب توربین در بازده سیکل برایتون

مرتضی یاری^۱، حامد منصف^۲

^۱استادیار، دانشگاه محقق اردبیلی؛ myari@uma.ac.ir

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی؛ hm@hamedmonsef.com

82%، بازده توربین‌ها 85%، کارایی تقویت کننده 70%، نسبت فشار بالا به فشار پایین سیکل برابر 10، دما و فشار هوای ورودی به ترتیب $25^{\circ}C$ و 101 KPa و دمای ورودی هوا به توربین $1100^{\circ}C$ در نظر گرفته شده و همچنین دمای خروجی خنک کننده برابر دمای محیط و دمای خروجی بازیاب برابر دمای خروجی از محفظه احتراق فرض شده است. تصویر این سیکل در شکل (۱) دیده می‌شود. اگر از معادله (۱) برای بدست آوردن فشار مرحله میانی کمپرسور و توربین استفاده شود بازده سیکل برابر 43.92% خواهد شد.



شکل ۱: نمایی از سیکل گازی مدل شده

برای بررسی تاثیر فشار میانی کمپرسور و توربین، معادلات زیر را

تعریف می‌کنیم:

$$P_{x-comp} = (P_1 \cdot P_4)^n \quad (2)$$

$$P_{x-turb} = (P_6 \cdot P_9)^m \quad (3)$$

در مرحله اول، فشار میانی توربین به ازای $m = 0.5$ ثابت در نظر گرفته شد و تغییرات بازده حرارتی سیکل به ازای تغییرات n در فشار میانی کمپرسور بدست آمد. نتایج نشان می‌دهد بازده ماکزیمم به ازای $n = 0.4782$ بدست می‌آید. این مقدار معادل فشار میانی $P_{x-comp} = 248.4\text{ kPa}$ برای کمپرسور است. در این حالت نسبت فشار برای مرحله اول کمپرسور 2.46 و برای مرحله دوم آن برابر 4.06 است. با این فشار میانی برای کمپرسور بازده حرارتی سیکل برابر 44.19% خواهد شد. در مرحله بعد با ثابت نگاه داشتن فشار میانی کمپرسور به ازای $n = 0.5$ ، تاثیر فشار میانی توربین بر بازده سیکل بررسی شد. نتایج مدلسازی نشان داد به ازای $m = 0.5377$ بازده سیکل ماکزیمم خواهد شد. در این حالت فشار میانی توربین برابر $P_{x-turb} = 540.7\text{ kPa}$ است که معادل نسبت فشار 2.03 برای مرحله اول و نسبت فشار 4.91 برای مرحله دوم توربین می‌باشد. تاثیر تغییرات n و m در بازده سیکل برای فشار میانی کمپرسور و توربین در شکل (۲) نمایش داده شده است.

چکیده

در مطالعه حاضر سیکل برایتون یک توربین گازی با خنک کننده میانی برای کمپرسور و بازیاب برای توربین توسط روابط ریاضی حاکم، مدلسازی و تاثیر فشار خنک کننده و بازیاب بر بازده سیکل بررسی شده است. نتایج نشان میدهد برخلاف تصور، بازده ماکزیمم در فشار میانی حاصل از جذر حاصلضرب فشار بالا و فشار پایین سیکل بدست نمی‌آید و می‌توان با استفاده از کمپرسورها و توربین‌هایی با نسبت تراکم و انبساط خاص بازده را افزایش داد.

کلمات کلیدی: خنک کننده میانی، بازیاب، فشار بهینه، سیکل برایتون، مدلسازی ریاضی

مقدمه:

برای افزایش بازده سیکل برایتون می‌توان کار کمپرسور را با کاهش دمای سیال عامل (هوا) در مرحله میانی کاهش و همچنین کار خروجی توربین را با گرمایش مجدد سیال عامل در مرحله میانی افزایش داد. در سیکلهایی که از خنک کننده میانی در کمپرسور استفاده می‌کنند، وجود یک تقویت کننده^۱ برای افزایش دمای ورودی به محفظه احتراق اجتناب‌ناپذیر است. این تقویت کننده غالباً یک مبدل حرارتی برای انتقال حرارت از گازهای خروجی توربین به گاز ورودی به محفظه احتراق است. لف [1] دریافت بازده یک سیکل برایتون ساده برگشت‌پذیر در ماکزیمم کار خروجی برابر $\eta = 1 - \sqrt{T_L/T_H}$ است. چنگ و چن [2] نیز یک مدل از سیکل برایتون برگشت‌ناپذیر ساختند تا بتوانند تاثیر خنک کننده میانی بر کار خروجی و بازده سیکل مرتبط با خروجی را ارزیابی کنند. در مدلسازی کمپرسورهای چند مرحله‌ای با خنک کننده میانی و همچنین توربین‌های چند مرحله‌ای با بازیاب به ترتیب کمترین کار مصرفی کمپرسورها و بیشترین کار خروجی توربین‌ها در حالتی اتفاق می‌افتد که فشار میانی آنها از رابطه زیر بدست آید [3]:

$$P_x = \sqrt{P_{low} \cdot P_{high}} \quad (1)$$

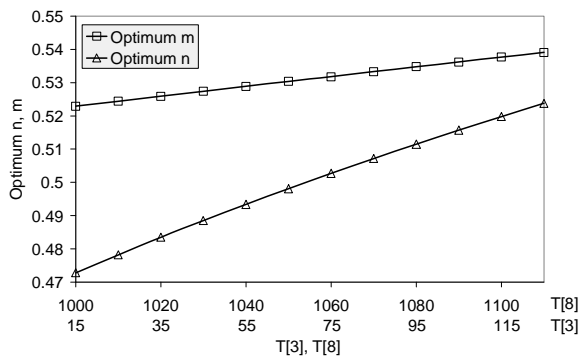
مدلسازی:

در مطالعه حاضر یک سیکل توربین گازی به همراه کمپرسور دو مرحله‌ای با خنک کننده میانی^۲ و توربین دو مرحله‌ای با بازیاب^۳ و همچنین وجود یک تقویت کننده توسط روابط ریاضی حاکم بر سیکل برایتون مدلسازی شده است. در این مدل بازده کمپرسورها

Regenerator
 Intercooler
 Reheat

نتایج نشان می‌دهد با افزایش بازده کمپرسور، مقدار n بهینه برای فشار خنک کننده کاهش می‌یابد یعنی فشار بهینه مرحله میانی کمپرسور به ازای افزایش بازده آن، کمتر می‌شود. برای توربین عکس این اتفاق صادق است یعنی به ازای افزایش بازده توربین، مقدار m و فشار بهینه برای بازیاب افزایش می‌یابد.

بررسی دیگری بر روی این سیکل نشان داد تغییر دمای خروجی خنک کننده (T_3) و دمای خروجی بازیاب (T_8) در مقدار n و m بهینه تاثیر گذار است. این تاثیر در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: تاثیر دمای T_3 و T_8 در مقدار m و n بهینه

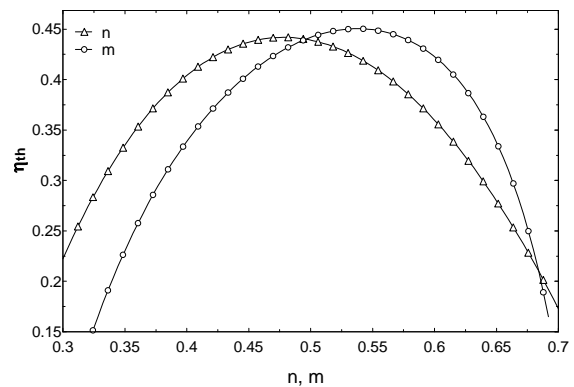
افزایش دمای خروجی خنک کننده و دمای خروجی بازیاب باعث افزایش مقادیر n و m بهینه می‌شوند که این افزایش در مقدار n ملموس تر است.

نتیجه گیری:

در مطالعه حاضر با مدلسازی سیکل یک توربین گازی، تاثیر فشار خنک کننده میانی و بازیاب بر بازده کلی سیکل بررسی شده است. تغییر در مقادیر n و m باعث تغییر مساحت نمودار T-s سیکل (کار خالص) می‌شود. در نتیجه می‌توان بازده بهینه را با توجه به مقادیر متفاوت n و m یافت. نتایج نشان داد بر خلاف تصور، فشار بهینه برای این تجهیزات به ازای $n, m = 0.5$ بدست نمی‌آید و این مقدار برای کمپرسور و توربین متفاوت است. همچنین بررسی‌ها نشان داد بازده کمپرسور و توربین و دمای خروجی خنک کننده و بازیاب بر مقادیر n و m بهینه تاثیر گزار است اما نسبت فشار کل سیستم تاثیر چندانی بر این مقادیر ندارد. در نتیجه بهینه‌سازی مقادیر n و m به عنوان یک پارامتر تاثیر گزار برای افزایش بازده سیکل برایتون باید مورد توجه قرار گیرد.

مراجع:

- [1] Leff HS. "Thermal efficiency at maximum work output: new results for old engines" Am JPhys; 55(7):602-10, 1987.
- [2] Cheng CY, Chen CK. "Maximum power of an endoreversible intercooled Brayton cycle" Int JEnergy Res; 24(6):485-94, 2000.
- [3] Kenneth Wark. JR, Donald E. Richard Thermodynamics. McGraw-hill. 1999.
- [4] Bejan A. "Theory of heat transfer for irreversible power-plants" Int JHeat Mass Transfer; 31(6):1211-9, 1998



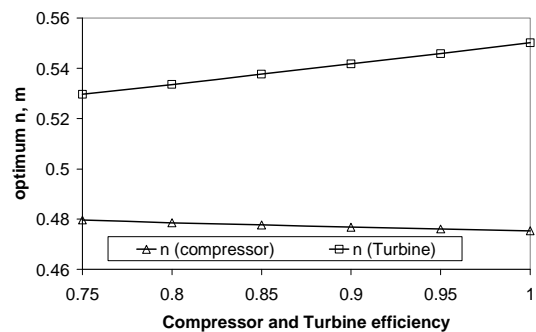
شکل ۲: تاثیر n و m در بازده سیکل برایتون

مدلسازی سیکل به ازای فشار میانی بهینه کمپرسور و توربین که در مرحله قبل بدست آمده، نشان می‌دهد بازده سیکل برابر 45.05% خواهد شد. مقادیر فشار، دما، آنتالپی و آنتروپی هوا در نقاط مختلف سیکل در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول ۱: خصوصیات هوا در نقاط مختلف سیکل

point	T [°C]	S [kJ/kg.k]	P [KPa]	h [kJ/kg]
1	25	5.696	101	298.6
2	131.2	5.745	248.4	405.6
3	25	5.438	248.4	298.6
4	202.8	5.508	1010	478.5
5	572.5	6.118	1010	872.4
6	1100	6.678	1010	1483
7	915	6.711	495.6	1264
8	1100	6.882	495.6	1483
9	722.6	6.963	101	1041

مدلسازی سیکل برای نسبت‌های فشار متفاوت نشان داد نسبت فشار کل تاثیری بر n و m بهینه ندارد. بیجان [4] ثابت کرد تولید آنتروپی باعث کاهش کارایی در سیکل برایتون برگشت ناپذیر خواهد شد و کار خروجی ماکزیمم وقتی حاصل می‌شود که تولید آنتروپی مینیمم باشد. بررسی‌ها نشان داد بازده کمپرسور و توربین بر مقدار n و m بهینه تاثیر گذار است. به ازای بازده ثابت توربین، تاثیر تغییرات بازده کمپرسور بر مقدار n بهینه معین شد و در مدلسازی مجدد با ثابت نگه داشتن بازده کمپرسور، تاثیر تغییرات بازده توربین بر مقدار m بهینه بدست آمد. نتایج این بررسی در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۳: تاثیر بازده کمپرسور و توربین در مقدار n و m بهینه