مقاله

توربین گاز خورشیدی و نقش آن در آیندهٔ نیروگاه‌های حرارتی

جاماسب پیرکندی*
استادیار مجتمع دانشگاهی هوافضا
دانشگاه صنعتی مالک اشتر
jamasb_p@yahoo.com

مهران نصرت‌الهی
استادیار مجتمع دانشگاهی هوافضا
دانشگاه صنعتی مالک اشتر
mnosratollahi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۷

چکیده

در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، خورشید به‌عنوان منبع بی‌پایان انرژی، همواره در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته است. استفاده از انرژی تابشی خورشید در سیستم‌های تولید توان رایج مانند توربین‌های گاز می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت و میزان آلایندگی محیط زیست داشته باشد. از طرفی، این مسئله سبب می‌شود بازده سیکل‌های مورد نظر افزایش و عملکردشان بهبود یابد. کشور جمهوری اسلامی ایران به‌لحاظ دارابودن مناطق آفتاب‌خیز فراوان از قابلیت بالایی به‌منظور استفاده از انرژی خورشیدی در سیستم‌های تولید توان برخوردار است. توربین گاز خورشیدی از جمله سیستم‌های تولید توان است که طی سالیان اخیر به‌شدت مورد توجه محققان و پژوهشگران قرار گرفته است. هدف این مقاله بررسی عملکرد سیکل توربین گاز خورشیدی و معرفی انواع پیکربندی‌های آن می‌باشد. در این سیستم‌ها، از انرژی حرارتی خورشید جهت پیش‌گرم کردن هوا و سوخت ورودی به محفظهٔ احتراق سیکل توربین گاز استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند سبب افزایش بازده، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی و نهایتاً کاهش هزینه‌های مرتبط با تولید انرژی شود.

واژگان کلیدی: توربین‌گاز، متمرکزکنندهٔ خورشیدی، افزایش بازده، کاهش آلایندگی

۱. مقدمه

زندگی بشر منوط به تولید و مصرف روزانهٔ انرژی است، لذا عرضه و تقاضای آن در جوامع گناگون دائماً روبه افزایش بوده است. این در حالی است که توزیع ناعادلانهٔ انرژی عامل ایجاد اختلافات طبقاتی شدید بوده است. کشورهای دارندهٔ منابع خدادادی همواره تحت هجوم ابرقدرت‌ها قرار گرفته‌اند و ابعاد اقتصادی موضوع مناقشات سیاسی جهان را نیز دگرگون کرده است. در حال حاضر، ۷۷ درصد کل انرژی مصرفی جهان را سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهد

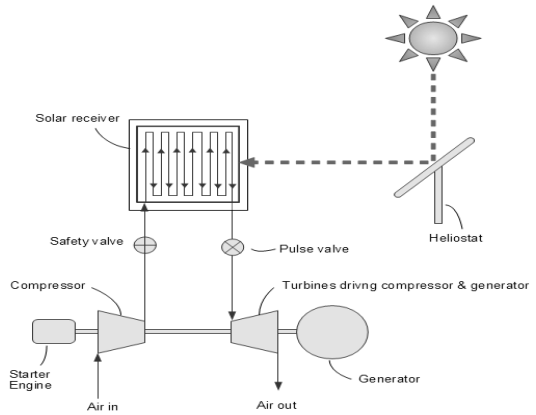
[۱]. منابع فسیلی از نظر جغرافیایی بسیار محدودند و بیشتر در منطقهٔ خلیج‌فارس و دریای خزر یافت می‌شوند. متأسفانه مصرف انرژی‌های فسیلی خطر افزایش گازهای گلخانه‌ای را به‌دنبال دارد که بر اثر آن زمین گرمتر شده و آثار نامطلوبی بر آب‌وهوا و شرایط زیست محیطی وارد می‌سازد و به‌همین دلیل کشورهای جهان روش‌های اجرائی متنوعی جهت کاهش آلودگی فزایندهٔ جو زمین از گاز کربنیک مطرح کرده‌اند.

امروزه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر با سرعت چشمگیری در حال پیشرفت است. پژوهشگران معتقدند باید پایهٔ انرژی از نفت خارج شود و تأمین آن از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی آب، باد و خورشید صورت پذیرد. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، خورشید به‌عنوان منبع بی‌پایان انرژی در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تقریباً کل منابع انرژی زمین از خورشید سرچشمه می‌گیرند. میانگین انرژی خورشیدی که به جو زمین می‌رسد، ۳۵۳/۱ کیلووات بر هر متر مربع است که از این مقدار تنها مقدار اندکی از آن قابل بهره‌برداری است. بالاترین رقم انرژی قابل دریافت از خورشید در حدود یک کیلووات بر متر مربع است که آن‌هم تنها طی دو ساعت از ظهر روزهای گرم تابستان صورت می‌گیرد. ذکر این نکته ضروری است که در بیشتر نواحی زمین این رقم اعلام‌شده به ۲۰۰ وات بر متر مربع تنزل می‌یابد [۱]. استفاده از انرژی خورشیدی در کنار سایر سیستم‌های تولید توان موضوع جدیدی است که طی سالیان گذشته به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. دودکش‌های خورشیدی[۱]، توربین‌های گاز خورشیدی[۲]، توربین بخار خورشیدی[۳]، موتور استرلینگ خورشیدی[۴] و جز این‌ها، همگی از جمله سیستم‌های هیبریدی‌اند که برای کاهش مصرف سوخت از انرژی خورشیدی بهره می‌برند. در این میان با توجه به کاربرد بیشتر توربین گاز در سیستم‌های تولید توان، استفاده از انرژی خورشیدی در این سیکل در سال‌های اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. هدف این مقاله بررسی نحوهٔ کارکرد و معرفی انواع پیکربندی‌های سیکل توربین گاز خورشیدی می‌باشد.

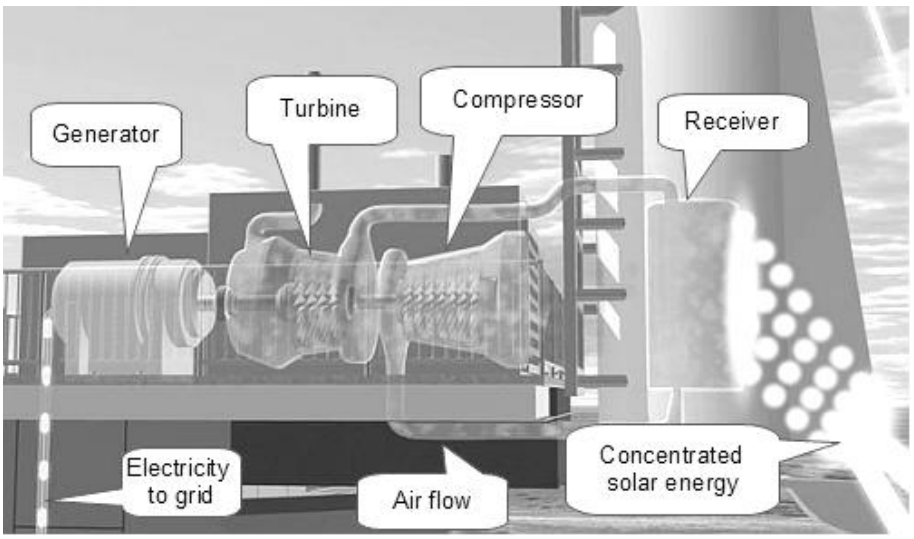
۲. معرفی توربین گاز خورشیدی

استفاده از انرژی تابشی خورشید در سیکل توربین گاز از جمله روش‌های نوین در افزایش بازده این سیکل می‌باشد. استفاده از منعکس‌کننده‌های خورشیدی هیلیوستات و جانمایی یک دریافت‌کنندهٔ خورشیدی قبل از محفظهٔ احتراق می‌تواند سبب بالارفتن دمای هوای ورودی به محفظهٔ احتراق و کاهش مصرف سوخت گردد (شکل ۱).

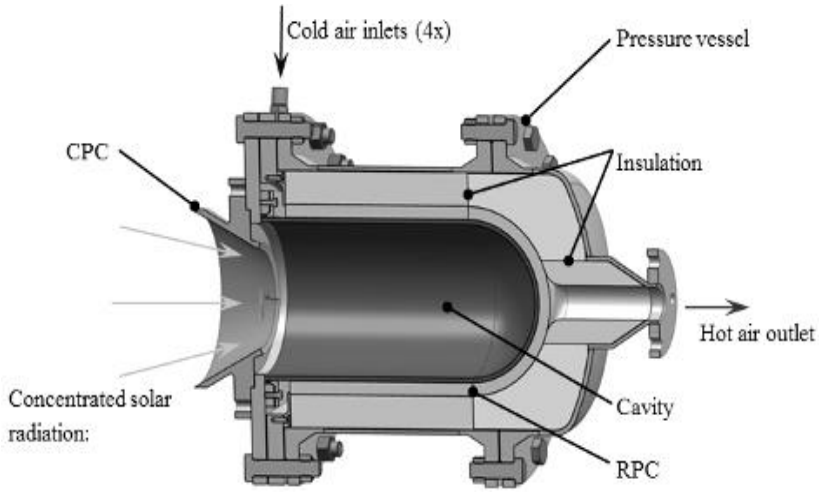


شکل ۱. نمایی شماتیک از یک توربین گاز خورشیدی [۲]

همان‌گونه که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود، توربین گاز خورشیدی دارای چهار بخش اصلی است: کمپرسور، توربین، ژنراتور و دریافت‌کنندهٔ خورشیدی از جمله اجزای اصلی این سیکل می‌باشند. متمرکزکننده یکی از اجزای اصلی سیکل توربین گاز خورشیدی است. انرژی خورشیدی تابیده‌شده از طریق آینه‌های نصب‌شده در سطح زمین بر روی آن منعکس شده و استوانهٔ داخلی آن را داغ می‌کند. در ادامه، هوای خروجی از کمپرسور با عبور از اطراف این استوانه و از طریق انتقال حرارت تابشی و جابه‌جایی گرم شده و به‌سمت محفظهٔ احتراق حرکت می‌کند. در شکل ۳ نمایی شماتیک از یک متمرکزکنندهٔ خورشیدی نمایش داده شده است.



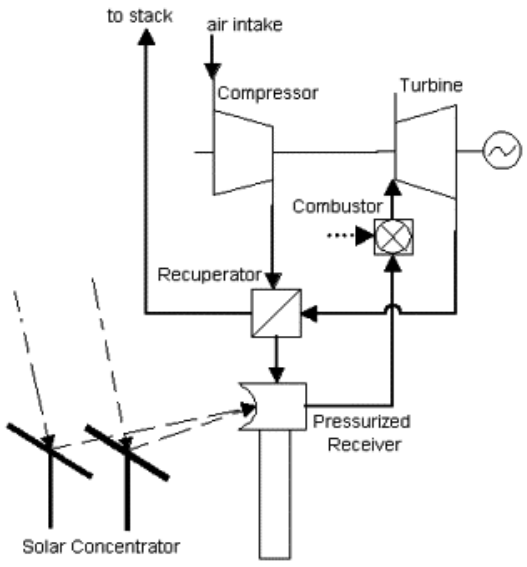
شکل ۲. اجزای سیکل توربین گاز خورشیدی [۲]



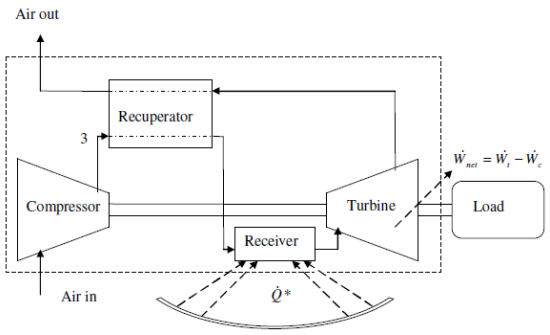
شکل ۳. نمایی شماتیک از یک متمرکزکنندهٔ خورشیدی [۳]

در شکل ۴ نمایی دیگر از این سیکل نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، هوای ورودی به محفظهٔ احتراق طی دو مرحله پیش‌گرم می‌شود. هوای خروجی از کمپرسور ابتدا در یک بازیاب حرارتی توسط گازهای خروجی از توربین پیش‌گرم و در ادامه توسط متمرکزکنندهٔ خورشیدی مجدداً گرم می‌شود. افزایش دمای هوای ورودی به محفظهٔ احتراق سبب کاهش تزریق سوخت شده و این مسئله به نوبهٔ خود سبب افزایش بازده، کاهش آلایندگی و کاهش نرخ بازگشت ناپذیری در سیکل می‌گردد. با توجه به اینکه در یک سیکل توربین گاز بیشترین میزان نرخ بازگشت‌ناپذیری و تلفات حرارتی در محفظهٔ احتراق صورت می‌گیرد، می‌توان در صورت وجود شدت تابش بالا این محفظه را به‌طور کلی حذف نمود و یک دریافت‌کنندهٔ خورشیدی را جایگزین آن کرد (شکل ۵). در این حالت بازده سیستم به‌طور چشمگیری بالا می‌رود و نرخ بازگشت‌ناپذیری در آن به حداقل مقدار ممکن می‌رسد. این سیستم در مناطق با شدت تابش بالا بسیار کارآمد است و میزان مصرف سوخت آن بسیار پایین می‌باشد. نکتهٔ مهم دیگر کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگـه‌داری آن است.

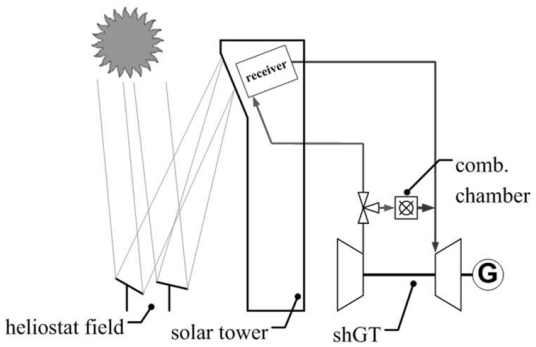
مشکل عمدهٔ حذف محفظهٔ احتراق در این سیکل‌ها عدم کنترل مناسب دمای گازهای ورودی به توربین است. با توجه به اینکه پره‌های توربین تا حد مشخصی از دما را تحمل می‌کنند، افزایش شدت تابش خورشیدی سبب بالارفتن بیش از حد دما در خروجی متمرکزکننده شده و سبب آسیب‌دیدن پره‌های توربین می‌شود. در صورت استفاده از این روش لازم است یک سیستم کنترل مناسب روی سیکل نصب شود. از سوی دیگر، کاهش شدت تابش در برخی از ساعات شبانه‌روز می‌تواند عملکرد این سیستم‌ها را مختل کند و کارایی آنها را پایین آورد. در این حالت می‌توان از دو مسیر متفاوت برای گرم‌کردن هوای خروجی از کمپرسور استفاده کرد: در ساعات پُرتابش، بدون نیاز به محفظهٔ احتراق هوا را گرم کرد و در ساعات با شدت تابش کم از مسیر شامل محفظهٔ احتراق بهره برد.



شکل ۴. نمایی شماتیک از طرح یک توربین گاز خورشیدی با دو مرحله پیش‌گرمایش [۳]



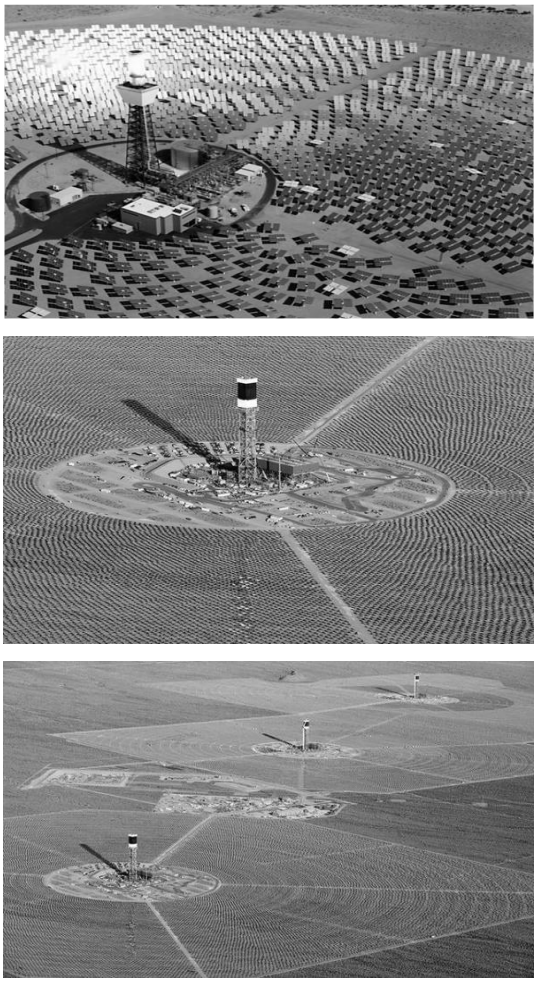
شکل ۵. نمایی شماتیک از سیکل یک توربین گاز خورشیدی بدون محفظهٔ احتراق [۴]



شکل ۶. نمایی شماتیک از طرح دو مسیره برای سیکل توربین گاز خورشیدی [۴]

در شکل ۷ سه نمونهٔ واقعی از نیروگاه‌های توربین گاز خورشیدی نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، مشکل این دسته از نیروگاه‌ها نیاز به منطقه‌ای وسیع جهت نصب منعکس‌کننده‌های

خورشیدی است. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که احداث این نوع نیروگاه‌ها باید خارج از مناطق شهری و در محدوده‌های کویری و زمین‌های فاقد کارایی صورت گیرد.



شکل ۷. نیروگاه توربین گاز خورشیدی [۳]

۳. سیکل ترمودینامیکی توربین گاز خورشیدی

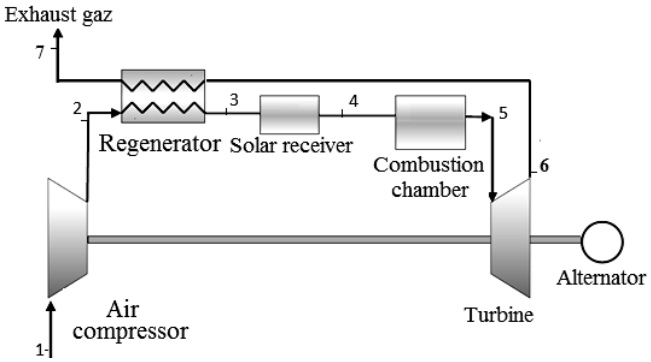
در شکل‌های ۸ و ۹، سیکل ترمودینـامیکی و دیـاگرام تغییرات فشار و حجم یک توربین گاز خورشیدی ایده‌ال نمایش داده شده است [۲]. در نقاط ۲ تا ۵، حرارت در فشار ثابت به هوای خروجی از کمپرسور داده می‌شود. استفاده از بازیاب حرارتی و متمرکزکنندهٔ خورشیدی سبب می‌شود که حرارت منتقل‌شده در محفظهٔ احتراق کاهش یابد و این مسئله باعث افزایش بازده سیکل و کاهش نرخ اگزرژی[۵] تخریب‌شده در آن خواهد شد.

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نیز نمونه‌ای دیگر از سیکل توربین گاز خورشیدی و دیاگرام تغییرات دما و آنتروپی آن در حالت واقعی نمایش داده شده است [۳]. در این سیستم متمرکزکنندهٔ خورشیدی در بالای یک برج[۶] نصب شده و انرژی صادره از صفحات خورشیدی نصب‌شده روی سطح زمین را جذب می‌کند. هوای فشرده‌شده از طریق لوله‌هایی به بالای برج ارسال شده و پس از گرم‌شدن در این متمرکزکننده‌ها به‌سمت محفظهٔ احتراق ارسال می‌گردد. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، در مسیر بین کمپرسور و متمرکزکنندهٔ خورشیدی دمای هوا افزایش و فشار آن کاهش می‌یابد. در مسیر خروجی متمرکزکننده‌ها تا محفظهٔ احتراق دما و فشار کاهش ناچیزی دارد که این مسئله تأثیر زیادی بر عملکرد سیستم ندارد. عایق‌کاری لوله‌های هوای برگشت برج می‌تواند تا حد امکان این کاهش دما را جبران کند.

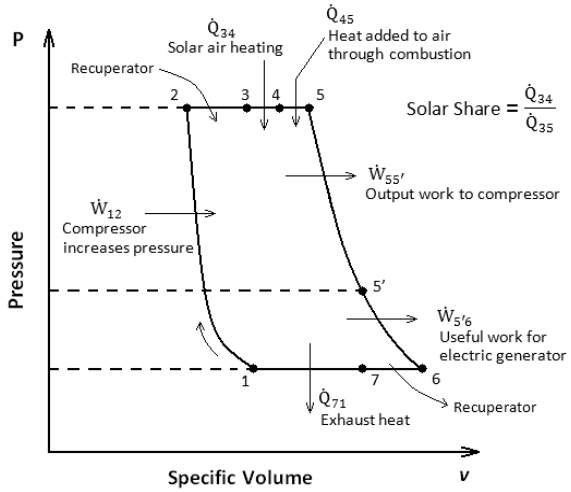
۴. پیکربندی‌های متنوع توربین گاز خورشیدی

سیکل‌های توربین گاز خورشیدی به‌دلیل قابلیت بالا می‌توانند در پیکربندی‌های مختلف، عملکرد بالایی از خود نشان دهند. تعیین یک پیکربندی بهینه با کمترین نرخ بازگشت‌ناپذیری از جمله اهداف مهم طراحان این‌گونه از سیستم‌های انرژی می‌باشد. در این بخش دو نمونه از پیکربندی‌های بهینهٔ سیکل‌های توربین گاز خورشیدی ارائه شده است. در سیکل‌های توربین گاز خورشیدی می‌توان محفظهٔ احتراق را از بخش بالادست توربین حذف کرد. حذف محفظهٔ احتراق از بالادست توربین و منطقهٔ پرفشار و استفاده از یک محفظهٔ احتراق در پایین‌دست توربین و با فشار کاری کمتر، سبب افزایش بازده سیکل می‌شود. از سوی دیگر قرارگرفتن محفظهٔ احتراق در محل کم‌فشار سبب افزایش عمر کاری و خرابی کمتر آن می‌شود. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ دو نمونه از سیکل‌های توربین گاز خورشیدی جدید نمایش داده شده است. این شکل‌ها به‌ترتیب دو نمونه از سیکل‌های توربین گاز خورشیدی با

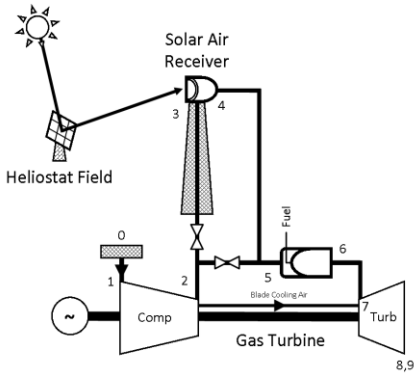
متمرکزکنندهٔ تحت فشار[۷] و اتمسفریک[۸] می‌باشند. در نوع تحت فشار، همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، دریافت‌کنندهٔ خورشیدی در بالادست توربین قرار دارد و هوای ورودی به آن در فشار و دمای بالا وارد می‌شود. هوای خروجی از توربین در ادامهٔ مسیر خود با فشار اتمسفریک وارد یک محفظهٔ اختلاط شده و با محصولات احتراق خروجی از یک محفظهٔ احتراق کوچک مخلوط می‌گردد. مخلوط حاصل در ادامه جهت پیش‌گرم کردن هوای ورودی به دریافت‌کننده وارد یک بازیاب حرارتی می‌گردد.



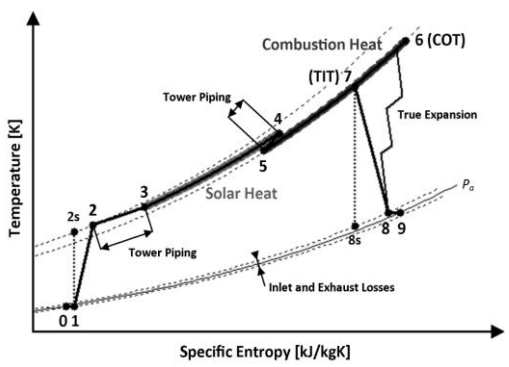
شکل ۸ نمایی شماتیک از سیکل یک توربین گاز خورشیدی [۲]



شکل ۹. نمودار تغییرات فشار و حجم سیکل توربین گاز خورشیدی ایده‌ال



شکل ۱۰. نمایی شماتیک از سیکل یک توربین گاز خورشیدی [۳]



شکل ۱۱. نمودار دما و آنتروپی سیکل توربین گاز خورشیدی واقعی

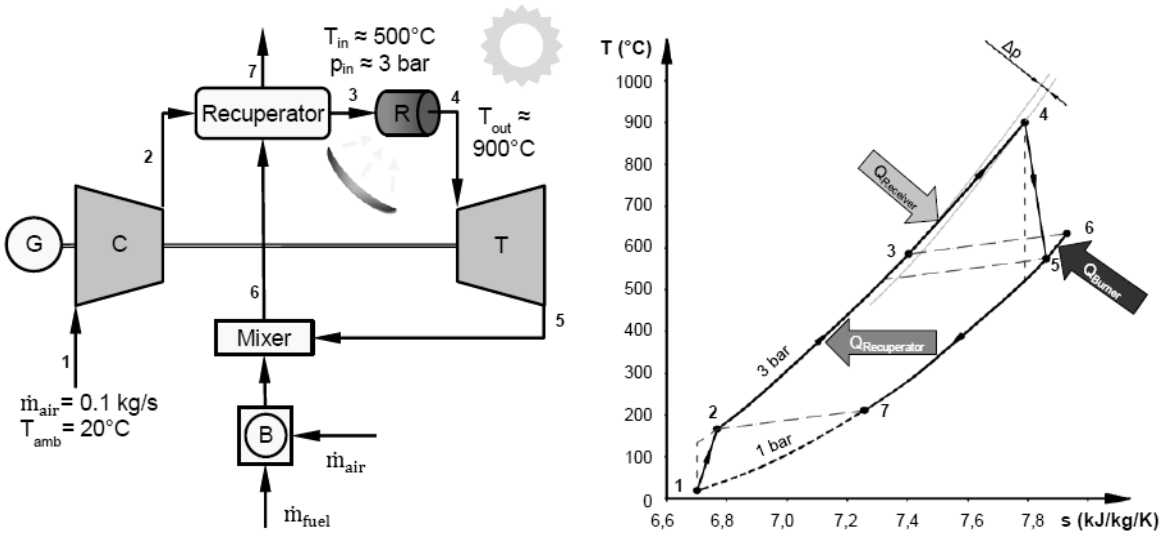
در شکل ۱۳ نیز یک سیکل توربین گاز خورشیدی با دریافت‌کنندهٔ اتمسفریک نمایش داده شده است. در این سیکل دریافت‌کننده در پایین‌دست توربین قرار داشته و هوای خروجی از توربین با دما و فشار کمتری وارد آن می‌شود. دیاگرام تغییرات دما و آنتروپی برای هر دو سیکل در شکل‌های مربوطه نمایش داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که توان خالص تولیدی طرح اول بیشتر بوده و استفاده از متمرکزکنندهٔ خورشیدی در بالادست توربین کارایی بیشتری نسبت به پایین‌دست دارد.

۵. سیکل توربین گاز خورشیدی ترکیبی

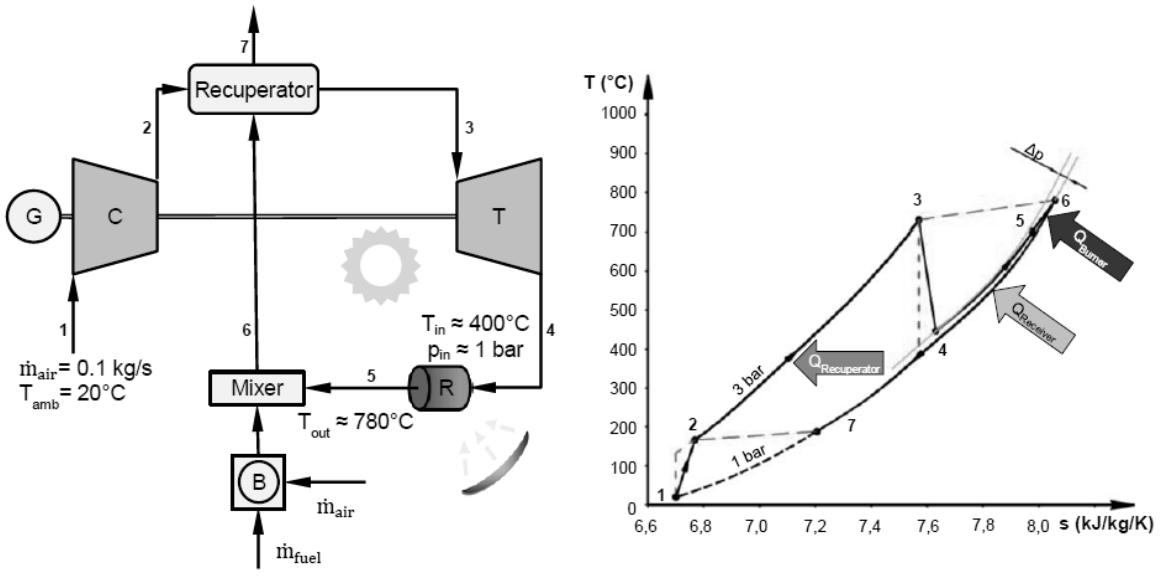
در سال‌های اخیر استفاده از سیکل‌های ترکیبی نیروگاهی، که شامل ترکیب دو سیکل رانکین[۹] و برایتون[۱۰] می‌باشند، به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. سیکل اشاره‌شده دارای بازده بالاتری نسبت به سیکل توربین گاز و بخار تنها می‌باشد. با توجه به این مسئله ترکیب توربین گاز خورشیدی و سیکل رانکین ایدهٔ جدیدی است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این سیکل ترکیبی، متمرکزکنندهٔ خورشیدی در بالادست توربین گاز قرار گرفته است. گازهای داغ خروجی از سیکل توربین گاز خورشیدی در ادامه وارد یک مبدل حرارتی شده و جهت تولید بخار در سیکل رانکین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۱۴ نمایی شماتیکی از یک سیکل ترکیبی توربین گاز خورشیدی نمایش داده شده است [۳].

۶. جمع‌بندی

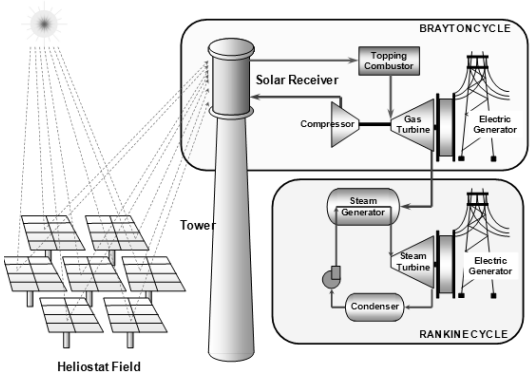
از جمله سیاست‌های مهم بخش انرژی در کشور جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر است. توربین گاز خورشیدی یک سیستم تولید توان جدید است که در آن از انرژی حرارتی خورشید جهت پیش‌گرم کردن هوای ورودی به محفظهٔ احتراق استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این سیکل می‌تواند سبب افزایش بازده، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی و پایین‌آمدن هزینه‌های مرتبط با تولید انرژی گردد. مشکل عمدهٔ این نوع نیروگاه‌ها نیاز به منطقه‌ای وسیع جهت نصب منعکس‌کننده‌های خورشیدی است؛ این نوع نیروگاه‌ها باید خارج از شهرها و در مناطق کویری یا زمین‌های بایر احداث شوند.



شکل ۱۲. سیکل توربین گاز خورشیدی با دریافت‌کننده تحت فشار [۱۵]



شکل ۱۳. سیکل توربین گاز خورشیدی با دریافت‌کنندهٔ اتمسفریک [۱۵]



شکل ۱۴. نمایی از سیکل توربین گاز خورشیدی ترکیبی [۳]

۷. مآخذ

[۱] انجمن انرژی خورشیدی ایران. "حفظ محیط زیست با تولید انرژی از تابش خورشید"، *خبرنامهٔ انجمن انرژی خورشیدی*، سال هشتم، شمارهٔ ۲۹.

[2] Meriche, I.E., A. Baghidja, T. Boukelia. "Design and performance evaluation of solar gas turbine power plant in south western algeria." *International journal of renewable energy research*, Vol. 4, No. 1, 2014.

[3] Fernandez, A.C. "Economic Study of Solar Thermal Plant based on Gas Turbines", Master Thesis, Department of Energy Sciences Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden, 2013.

[4] Meyer, J.P., T. Bello-Ochende. "Solar thermal power generation using the Brayton cycle", German South African Research Lecture Series, Thermofluids Research Group, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Pretoria, 2013.

[5] Aichmayer, L., J. Spelling, W. Wang, B. Laumert. “Design and Analysis of a Solar Receiver for Micro Gas Turbine based Solar Dish Systems.” *KTH Royal Institute of Technology*, SE 100 44, Stockholm, Sweden.

پی‌نوشت

1. solar chimneys
2. solar gas turbine
3. solar steam turbine
4. solar stirling engine
5. exergy
6. tower
7. pressurized receiver configuration
8. atmospheric receiver configuration
9. rankine
10. Brayton