سال دوم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۴، ص ص ۱- ۱۰
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
renemag.ir
مقاله کامل
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۳۱

سیستم‌های هیبریدی تولید توان بر پایه انرژی خورشیدی

جاماسب پیرکندی[۱*]، ابراهیم افشاری[۲]، شبنم منصوری[۳]

۱- استادیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان
۳- دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، گروه سیکل و مبدل های حرارتی، پژوهشگاه نیرو، تهران
* تهران، کدپستی ۳۱۵۹۹۱۶۱۱۱، jpirkandi@mut.ac.ir

چکیده

در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، خورشید به عنوان یک منبع بی‌پایان انرژی در کانون توجهات پژوهشگران زیادی در سطح جهان قرار گرفته است. استفاده از انرژی تابشی خورشید در سیستم‌های تولید توان رایج مانند موتور استرلینگ، توربین‌های گاز و بخار می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت و آلایندگی زیست محیطی داشته باشد. از سوی دیگر این مساله سبب خواهد شد که راندمان سیکل‌های اشاره شده افزایش یافته و عملکرد آنها بهتر شود. کشور جمهوری اسلامی ایران به لحاظ دارا بودن مناطق آفتاب‌خیز فراوان از قابلیت بالایی جهت استفاده از انرژی خورشیدی در سیستم‌های تولید توان خود برخوردار است. هدف عمده این مقاله بررسی انواع روش‌های نوین در استفاده از انرژی خورشیدی در سیستم‌های حرارتی برای تولید توان الکتریکی و حرارتی می‌باشد. استفاده از این نوع سیستم‌های هیبریدی می‌تواند تا حدود زیادی باعث افزایش راندمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی و کاهش هزینه‌های مرتبط با تولید انرژی گردد.

کلیدواژگان: دودکش خورشیدی، توربین گاز خورشیدی، موتور استرلینگ، پیل سوختی تجدیدپذیر

Hybrid Power Generating Systems Based on Solar energy

Jamasb Pirkandi[1*], Ebrahim Afshari[2], Shabnam Mansouri[3]

1- Department of Aerospace Engineering, Malek Ashtar University, Tehran, Iran*
2- Department of Mechanical Engineering, Isfahan University, Isfahan, Iran
3- Department of Thermal Cycles and Heat Exchangers, Niroo Research Institute, Tehran, Iran
* P.O.B. 3159916111 Tehran, Iran, jpirkandi@mut.ac.ir
Received: 23 July 2015 Accepted: 22 September 2015

Abstract

The sun provides a tremendous resource for energy. Usage of solar energy in order to run stirling engines, gas or steam turbines reduce fuel consumption and environmental impacts of fossil fuel power generation. Hybrid energy which offers greater benefits by blending together the attributes of many diverse renewable energy sources and fossil fuels provide increased system efficiency as well as higher performance. Many regions of Islamic Republic of Iran have high potential to use solar energy in power generation systems and are proper to consider hybrid solar systems. The main purpose of this paper is to investigate novel methods of relating solar power in thermal systems to generate electrical and thermal power. Hybrid power may cause efficiency augmentation, fuel consumption conservation, decrease impact of fossil fuels and lowering energy generation cost.

Keywords: Solar Chimney, Solar Turbine, Stirling Engine, Renewable Fuel Cell

۱- مقدمه

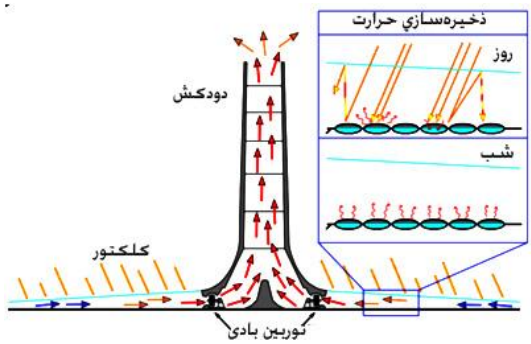
زندگی روزمره مردم در جهان منوط به تولید و مصرف انرژی می‌باشد و لذا عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری دائماً رو به افزایش نهاده است. از سوی دیگر توزیع ناعادلانه انرژی نیز اختلاف طبقاتی شدیدی را به بار آورده است. کشورهای صاحب منابع خدادادی نیز تحت هجوم زورگویانه ابرقدرت‌های جهان قرار گرفته‌اند و ابعاد اقتصادی موضوع مناقشات سیاسی جهان را دگرگون کرده است. در حال حاضر ۷۷٪ کل انرژی مصرفی جهان را سوخت‌های فسیلی که در کره خاکی به وفور یافت شده و استفاده از آنها نیز ساده و آسان می‌باشد، تشکیل می‌دهند[۱]. منابع فسیلی از نظر جغرافیایی بسیار محدود بوده و بیشتر در منطقه خلیج‌فارس و دریای خزر به ودیعه نهاده شده است. متاسفانه مصرف انرژی‌های فسیلی خطر افزایش گازهای گلخانه‌ای را به دنبال دارد که بر اثر این پدیده کره زمین گرمتر شده و اثرات نامطلوب بر آب و هوا و شرایط زیست محیطی وارد می‌سازد. به همین علت کشورهای جهان شیوه‌های اجرائی جهت کاهش آلودگی رو به فزاینده جو زمین از گاز کربنیک را مطرح و در حال اجرا دارند. امروزه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با سرعت زیادی در حال پیشرفت می‌باشد. محققین در جهان معتقدند که باید پایه انرژی از نفت خارج شده و تامین آن از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی‌های آبی، بادی و خورشیدی صورت گیرد. در میان انرژی‌های تجدید پذیر، خورشید به عنوان یک منبع بی‌پایان انرژی در کانون توجهات پژوهشگران در سطح جهان قرار گرفته است. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که تقریباً کل منابع انرژی در کره زمین از خورشید سرچشمه می‌گیرد. میانگین انرژی خورشیدی که به جو زمین می‌رسد، ۳۵۳/۱ کیلووات بر هر مترمربع می‌باشد که از این مقدار فقط مقدار اندکی از آن قابل بهره‌برداری می‌باشد. بالاترین رقم انرژی قابل دریافت از خورشید در حدود یک کیلووات بر مترمربع می‌باشد که آن هم فقط طی دو ساعت و در ظهر روزهای گرم تابستان صورت می‌گیرد. در بیشتر نواحی کره زمین این رقم اعلام شده به ۲۰۰ وات بر مترمربع تنزل می‌یابد[۱].

استفاده از انرژی خورشیدی در کنار سایر سیستم‌های تولید توان موضوع جدیدی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. دودکش‌های خورشیدی[1] توربین گاز خورشیدی[2] توربین بخار خورشیدی[3] موتور استرلینگ خورشیدی[4] و ... از جمله سیستم‌های هیبریدی می‌باشند که برای کاهش مصرف سوخت از انرژی خورشیدی بهره می‌برند. هدف عمده این مقاله معرفی انواع مختلفی از این نمونه سیستم‌های تولید توان نوین بر پایه انرژی خورشیدی می‌باشد.

1. Solar chimneys
2. solar gas turbine
3. solar steam turbine
4. Solar stirling engine

۲- دودکش خورشیدی

تکنولوژی دودکش خورشیدی یک روش جدید برای تولید انرژی الکتریکی می‌باشد که در چند دهه اخیر گسترش یافته است. این سیستم تکنولوژی پیچیده‌ای نداشته و ساخت آن به مراتب ساده‌تر از سایر واحدهای تولید توان می‌باشد. اجرای این سیستم احتیاج به سطح وسیعی داشته و اغلب برای کشورهایی مناسب است که دارای زمین‌های بیابانی زیاد با شدت تابش بالا می‌باشند. این نمونه از واحدهای تولید توان برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط اشلایش[5] مطرح و در سال ۱۹۷۸ یک نمونه آزمایشی آن با ظرفیت ۵۰ کیلووات در مانزنارس[6] اسپانیا ساخته شد[۲]. دودکش این واحد ۲۰۰ متر ارتفاع و ۱۰ متر قطر داشت و شعاع کلکتور آن ۱۲۲ متر بود. کلکتور جمع کننده هوا، برج (دودکش) و توربین‌های بادی سه بخش اصلی یک دودکش خورشیدی هستند. در سال‌های اخیر جهت ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، از کیسه‌ها و لوله‌های آب در زیر سقف جمع‌کننده هوا استفاده می‌شود. در شکل ۱ نمونه‌ای از یک دودکش خورشیدی با سیستم ذخیره‌ساز انرژی نشان داده شده است.



شکل ۱ بخش‌های اصلی و نحوه کارکرد دودکش خورشیدی

این دودکش‌ها انرژی خورشیدی را به انرژی حرارتی در یک فضای محبوس تبدیل کرده و در ادامه آن را به انرژی مکانیکی و سپس الکتریکی تبدیل می‌کنند. این دودکش‌ها دارای تجمیع کننده نور شفاف (مانند شیشه، پلاستیک و ...) و یک دودکش با ارتفاعی حدود ۲۰۰ متر می‌باشند. این دودکش زمانی برای تولید برق مقرون به صرفه است که ارتفاع آن زیاد باشد.کشور استرالیا در این زمینه در جهان پیشرو بوده و دودکش‌هایی با ارتفاع ۱۰۰۰ متر ساخته است[۳].

نحوه کارکرد این سیستم به گونه‌ای می‌باشد که ابتدا هوای جمع شده در زیر کلکتور جمع کننده، در اثر انرژی تابشی خورشید گرم می‌شود. کلکتور جمع کننده باید شفاف بوده و بخش اعظمی از انرژی خورشید را از خود عبور دهد. در وسط کلکتور

5. Schlaich
6. Manzanares

جمع کننده یک دودکش یا برج عمودی وجود دارد که هوای زیادی از پایین به آن وارد می‌شود. باید محل اتصال کلکتور جمع کننده و این برج به صورتی باشد که منفذی نداشته و اصطلاحاً هوابند شده باشد. هوای گرم مورد نیاز برای دودکش خورشیدی توسط پدیده گلخانه‌ای در یک محوطه‌ای که با پلاستیک یا شیشه پوشانده شده و حدوداً چند متری از زمین فاصله دارد، ایجاد می‌شود. با نزدیک شدن به پایه برج، ارتفاع ناحیه پوشانده شده نیز افزایش می‌یابد تا تغییر مسیر حرکت جریان هوا به صورت عمودی و با کمترین اصطکاک انجام پذیرد. هوای گرم چون سبکتر از هوای سرد است به سمت بالای برج حرکت می‌کند. این حرکت باعث ایجاد مکش در پایین برج می‌شود تا هوای گرم بیشتری را به درون بکشد. مکش برج سبب می‌شود که هوای سرد اطراف وارد کلکتور جمع کننده شود.

همانطور که اشاره شد، برای اینکه بتوان این فناوری را به صورت ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار داد می‌توان از لوله‌ها یا کیسه‌های سیاه پر شده از آب در زیر سقف استفاده کرد. این مساله سبب می‌شود که در طول روز آب حرارت اضافی ناشی از تابش خورشیدی را جذب کند. در هنگام شب و با کاهش دمای هوای داخل کلکتور، آب داخل لوله‌ها حرارت ذخیره شده در طول روز را آزاد می‌کنند. ذخیره حرارت به کمک آب بسیار موثرتر از ذخیره در خاک می‌باشد. دلیل این مساله بالا بودن ظرفیت حرارتی آب نسبت به خاک است (حدود پنج برابر بیشتر). لوله‌ها و کیسه‌های حامل آب در این سیستم نیازی به پرکردن مجدد نداشته و در یک سیستم بسته قرار دارند (شکل ۱). استفاده از مواد تغییر فاز دهنده با گرمای نهان بالا، ایده جدیدی است که در سال‌های اخیر جهت ذخیره حرارت مطرح شده است. جایگزینی این مواد با آب عملکرد دودکش خورشیدی را بهبود می‌بخشد.

برج به خودی خود نقش موتور حرارتی نیروگاه را بازی می‌کند و همانند یک لوله تحت فشار است که به دلیل دارا بودن نسبت مناسب سطح به حجم از اتلاف اصطکاکی کمی برخوردار است. در این برج سرعت مکش به سمت بالای هوا تقریباً متناسب با افزایش دمای هوا در کلکتور و ارتفاع برج است. در یک دودکش خورشیدی چند مگاواتی، کلکتور باعث می‌شود که دمای هوا بین ۳۰-۳۵ درجه سلسیوس افزایش یابد و این به معنی سرعتی معادل ۱۵ متر بر ثانیه است که باعث حرکت شتابدار هوا نخواهد شد و بنابراین برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری می‌توان به راحتی وارد آن شد و ریسک سرعت بالای هوا وجود ندارد[۲]. در شکل ۲ نمایی از یک دودکش خورشیدی و کلکتور جمع‌کننده آن نشان داده شده است.

انرژی حاصل از مکش برج توسط چند مرحله توربین تعبیه شده در آن به انرژی مکانیکی و سپس انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با به کارگیری توربین‌ها، انرژی موجود در جریان هوا به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می‌شود. توربین‌های موجود در دودکش خورشیدی شبیه توربین‌های بادی نیستند و بیشتر شبیه توربین‌های نیروگاه‌های برق آبی هستند که با استفاده از توربین‌های محفظه‌دار، فشار استاتیک را به انرژی دورانی تبدیل می‌کنند.

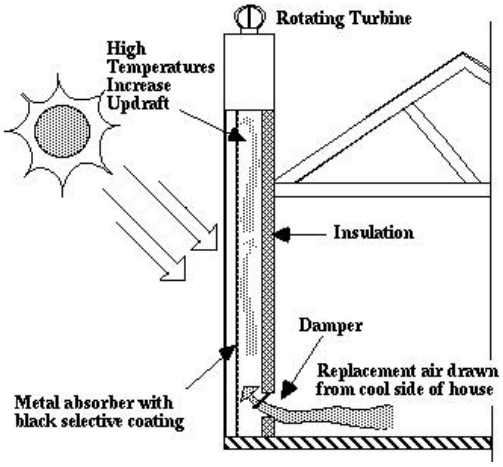
شکل ۲ نمایی از برج و کلکتور جمع کننده یک دودکش خورشیدی

سرعت هوا در قبل و بعد از توربین تقریباً یکسان است. توان قابل حصول در این سیستم متناسب با حاصلضرب جریان حجم هوا در واحد زمان و اختلاف فشار در توربین است[۴]. از نقطه نظر بهره‌وری بیشتر از انرژی، هدف سیستم کنترل توربین به حداکثر رساندن این حاصلضرب در تمام شرایط عملیاتی است. در شکل ۳ نمایی از توربین دودکش خورشیدی نشان داده شده است.

شکل ۳ نمایی از توربین یک دودکش خورشیدی

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان اینگونه بیان کرد که اختلاف دانسیته هوا که ناشی از افزایش دما در کلکتور جمع کننده است، به عنوان نیروی محرکه دودکش خورشیدی عمل می‌کند. گرم شدن هوای زیر کلکتورهای جمع کننده باعث کاهش چگالی و فشار آن نسبت به هوای بیرون می‌گردد. در یک چنین حالتی یک اختلاف فشار بین قسمت پایین برج (خروجی کلکتور) و قسمت بالای برج (محیط اطراف) ایجاد شده و این مساله سبب بالا رفتن هوای گرم از دودکش و جایگزینی آن توسط هوای سرد بیرون در داخل کلکتورهای جمع کننده می‌گردد (شکل ۱). توان الکتریکی تولید شده در یک دودکش خورشیدی متناسب با حجم حاصل از ارتفاع برج و سطح کلکتور جمع کننده می‌باشد. این بدین معنی است که با صرفنظر از اتلاف اصطکاکی می‌توان با یک برج بلند با سطح کم و یا یک برج کوتاه با سطح وسیع به یک میزان برق تولید کرد[۴].

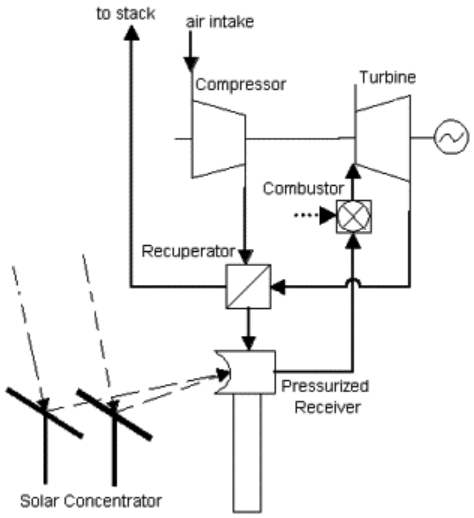
دودکش‌های خورشیدی علاوه بر استفاده در نیروگاه‌های بزرگ، در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و ... نیز به عنوان یک واحد تولید توان الکتریکی استفاده می‌گردد. در ساختمان‌های اشاره شده اغلب دودکش خورشیدی در یکی از جداره‌های خارجی ساختمان اجرا شده در اثر تابش خورشید هوای داخل آن گرم می‌گردد. با افزایش دمای هوای داخل دودکش به دلیل اختلاف چگالی هوای داخل و خارج دودکش، هوای گرم به سمت بالا حرکت کرده و هوای سرد داخل ساختمان جایگزین آن می‌گردد. هوای گرم در انتهای خروجی دودکش یک توربین را به حرکت درمی‌آورد. با استفاده از این توربین انرژی حرارتی هوای داخل دودکش به انرژی مکانیکی تبدیل شده و سپس این انرژی توسط یک ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. انرژی الکتریکی تولید شده می‌تواند کل یا بخشی از برق مصرفی یک ساختمان را تامین نماید. از مزایای دیگر این سیستم می‌توان کمک به تهویه طبیعی ساختمان و تامین هوای تازه مورد نیاز ساکنین در فصول گرم اشاره کرد. از سوی دیگر در بیشتر سیستم‌های تهویه مطبوع (مانند کولر آبی، ایرواشر و ...) نیاز می‌باشد که بخشی از هوای داخل ساختمان خارج شده و فشار داخل فضا بیش از حد بالا نرود. دودکش نصب شده در جداره ساختمان می‌تواند فشار داخل فضا را تا حد ممکن کاهش دهد. مهمترین ایراد این سیستم نیز عدم کارایی آن در زمستان و تلفات حرارتی ناشی از آن می‌باشد. برای رفع این عیب نیز می‌توان تحت شرایط خاصی هوای خروجی دودکش خورشیدی را به کانال برگشت دستگاه‌های تهویه مطبوع متصل نمود. با توجه به موارد فوق می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که استفاده از دودکش خورشیدی در ساختمان در مناطق گرم و خشک بسیار مناسب بوده و علاوه بر تامین برق مصرفی ساختمان به تهویه هوای داخل آن نیز کمک شایانی می‌کند. نمایی از دودکش خورشیدی به‌کار رفته در یک ساختمان در شکل ۴ نشان داده شده است.



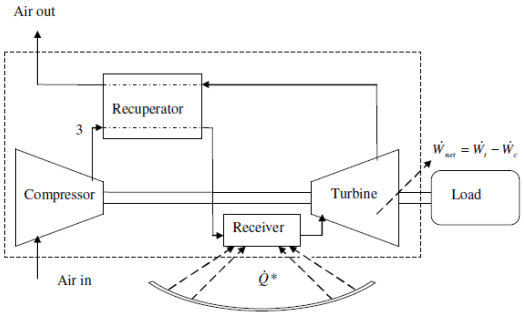
شکل ۴ شماتیک کارکرد دودکش خورشیدی در ساختمان

۳- توربین‌گاز خورشیدی

استفاده از انرژی تابشی خورشید در سیکل توربین گاز از روش‌های نوین در افزایش راندمان این سیکل می‌باشد. قرار دادن یک دریافت کننده خورشیدی قبل از محفظه احتراق می‌تواند سبب بالا رفتن دمای هوای ورودی به محفظه احتراق و کاهش مصرف سوخت در آن گردد (شکل ۵). کاهش تزریق سوخت به محفظه احتراق به نوبه خود سبب افزایش راندمان، کاهش آلایندگی و کاهش نرخ بازگشت‌ناپذیری در سیکل خواهد شد. در صورت وجود شدت تابش بالا می‌توان محفظه احتراق را به طور کلی حذف نموده و یک دریافت کننده خورشیدی را جایگزین آن نمود (شکل ۶). در این حالت راندمان سیستم به طرز چشمگیری بالا رفته و نرخ بازگشت‌ناپذیری در آن به حداقل مقدار ممکن خواهد رسید. ترکیب این نوع دریافت کننده‌های خورشیدی و سیکل توربین گاز اصطلاحاً توربین گاز خورشیدی نامیده می‌شود[۵].

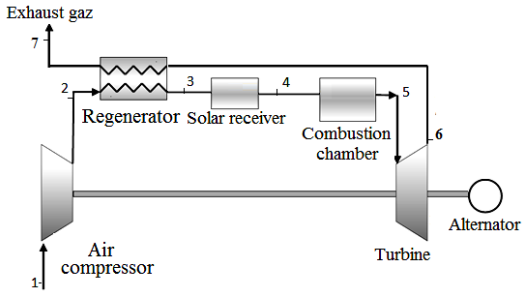


شکل ۵ شماتیک طرح یک توربین‌گاز خورشیدی[۶]

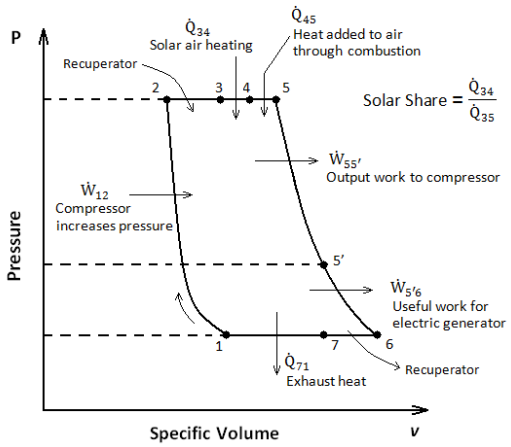


شکل ۶شماتیک سیکل یک توربین گاز خورشیدی بدون محفظه احتراق[۷]

سیکل ترمودینامیکی و دیاگرام p-v یک توربین گاز خورشیدی ایده‌ال در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است[۵]. در نقاط ۲ تا ۵ حرارت در فشار ثابت به هوای خروجی از کمپرسور داده می‌شود. استفاده از بازیاب حرارتی و متمرکز کننده خورشیدی سبب می‌شود که حرارت منتقل شده در محفظه احتراق کاهش یافته (کاهش تزریق سوخت مصرفی) و این مساله سبب افزایش راندمان سیکل و کاهش نرخ اگزرژی تخریب شده در آن خواهد شد.

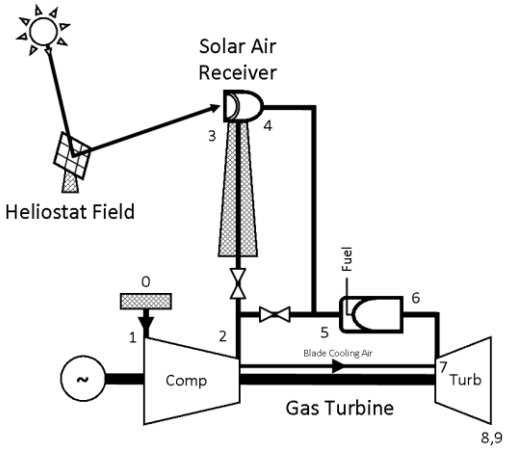


شکل ۷شماتیک اجزاء یک سیکل توربین‌گاز خورشیدی[۵]

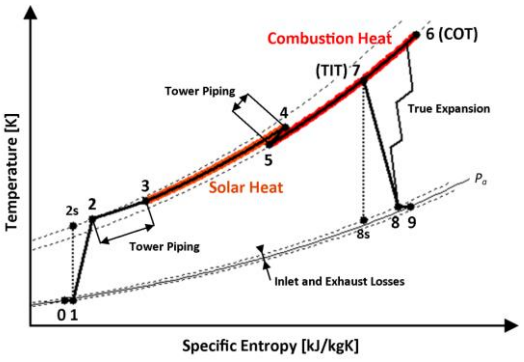


شکل ۸ نمودار p-v سیکل توربین‌گاز خورشیدی ایده‌ال

در شکل‌های ۹ و ۱۰ یک نمونه دیگر از سیکل توربین‌گاز خورشیدی و دیاگرام T-s آن در حالت واقعی نشان داده شده است[۶]. در این سیستم جمع کننده خورشیدی در بالای یک برج نصب شده و انرژی صادره از صفحات خورشیدی نصب شده در روی سطح زمین را جذب می‌کند. هوای فشرده شده از طریق لوله‌هایی به بالای برج ارسال شده و پس از گرم شدن در این جمع کننده‌ها به سمت محفظه احتراق ارسال می‌گردد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، در مسیر بین کمپرسور و جمع کننده خورشیدی دمای هوا افزایش و فشار آن کاهش می‌یابد. در مسیر خروجی جمع کننده‌ها تا محفظه احتراق دما و فشار کاهش ناچیزی دارد که این مساله تاثیر زیادی در عملکرد سیستم ندارد. عایق‌کاری لوله‌های هوای برگشت برج می‌تواند تا حد امکان این کاهش دما را جبران کند.



شکل ۹ شماتیک یک سیکل توربین‌گاز خورشیدی با دریافت کننده مرکزی[۶]

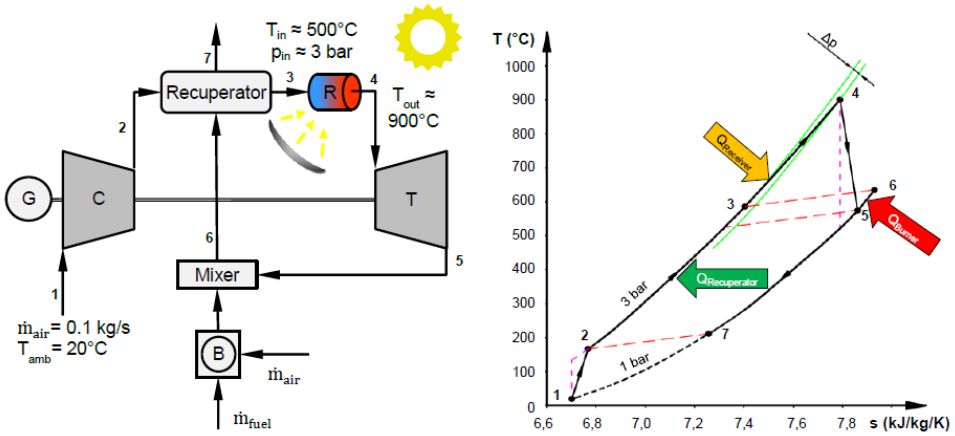


شکل ۱۰ نمودار تغییرات دما و آنتروپی سیکل توربین‌گاز خورشیدی واقعی

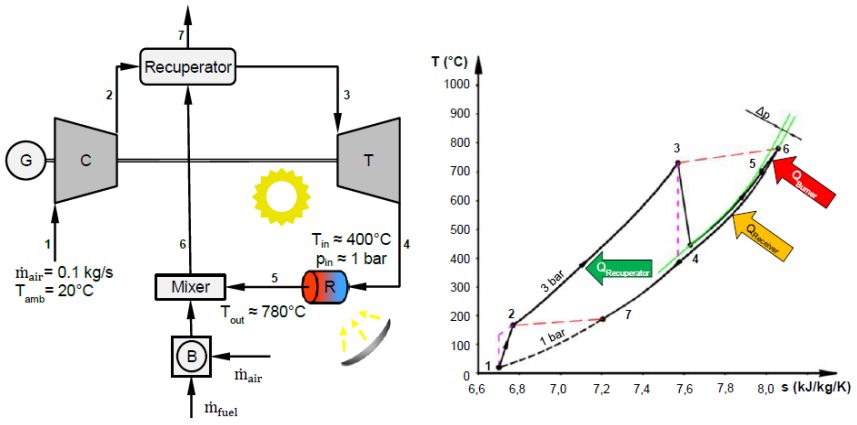
در شکل ۱۱ یک نمونه واقعی از سیکل توربین‌گاز خورشیدی نشان داده شده است.

شکل ۱۱ نیروگاه توربین‌گاز خورشیدی[۶]

در این نمونه از سیکل‌های توربین گاز می‌توان محفظه احتراق را از بخش بالادست توربین حذف نمود. حذف محفظه احتراق از بالادست توربین و منطقه پرفشار و استفاده از یک محفظه احتراق در پایین دست توربین و با فشار کاری کمتر سبب افزایش راندمان سیکل خواهد شد. از سوی دیگر با قرار گرفتن محفظه احتراق در محل کم فشار سبب افزایش عمر کاری آن و خرابی کمتر خواهد شد. دو نمونه از سیکل‌های توربین گاز خورشیدی جدید در شکل-های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. این دو شکل به ترتیب دو نمونه از سیکل‌های توربین‌گاز خورشیدی با متمرکز کننده تحت فشار و اتمسفریک می‌باشند. در نوع تحت فشار همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، دریافت کننده خورشیدی در بالادست توربین قرار داشته و هوای ورودی به آن در فشار و دمای بالا وارد می‌گردد. هوای خروجی از توربین در ادامه مسیر خود با فشار اتمسفریک وارد یک محفظه اختلاط شده و با محصولات احتراق خروجی از یک محفظه احتراق کوچک مخلوط می‌گردد. مخلوط حاصل در ادامه جهت پیش گرم کردن هوای ورودی به دریافت کننده وارد یک بازیاب حرارتی می‌گردد. در شکل ۱۳ نیز یک سیکل توربین گاز خورشیدی با دریافت کننده اتمسفریک نشان داده شده است. در این سیکل دریافت کننده در پایین دست توربین قرار دارد و هوای خروجی از توربین با دما و فشار کمتری وارد آن می‌گردد.



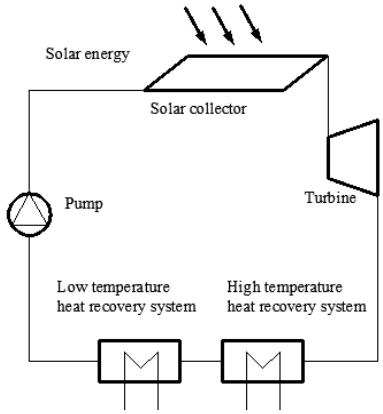
شکل ۱۲سیکل توربین گاز خورشیدی با دریافت‌کننده تحت فشار[۸]



شکل ۱۳ سیکل توربین گاز خورشیدی با دریافت‌کننده اتمسفریک[۸]

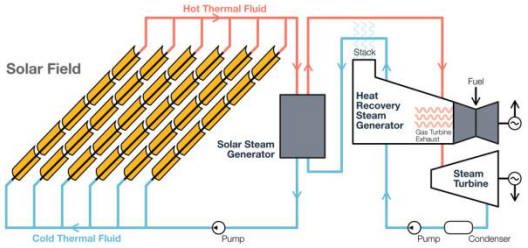
۴- توربین بخار خورشیدی

کاربرد دیگر انرژی خورشیدی در سیستم‌های هیبریدی تولید توان، استفاده از آن در سیکل رانکین و نیروگاه بخار می‌باشد. حذف دیگ بخار و جایگزینی آن با جمع کننده خورشیدی می‌تواند یک روش نوین در افزایش راندمان سیکل گردد. در این نوع سیستم‌های هیبریدی آب می‌تواند به صورت مستقیم و غیر مستقیم تبدیل به بخار سوپرهیت شده و به سمت توربین بخار حرکت کند. در شکل ۱۴ نمونه‌ای از شماتیک یک نیروگاه بخاری با مولد خورشیدی مستقیم آورده شده است[۹]. همانطور که مشاهده می‌شود آب پس از خروج از پمپ به صورت مایع متراکم وارد جمع کننده‌های خورشیدی شده و در اثر تماس مستقیم انرژی تابشی خورشید به بخار سوپرهیت تبدیل شده و به سمت توربین بخار حرکت می‌کند. از معایب این سیستم می‌توان به عدم کنترل مناسب دمای بخار آب داخل سیستم اشاره کرد. برای حل این مشکل می‌توان از جمع کننده‌های خورشیدی به عنوان یک واحد پیش‌گرمایش آب استفاده نموده و دیگ بخار را حذف نکرد.



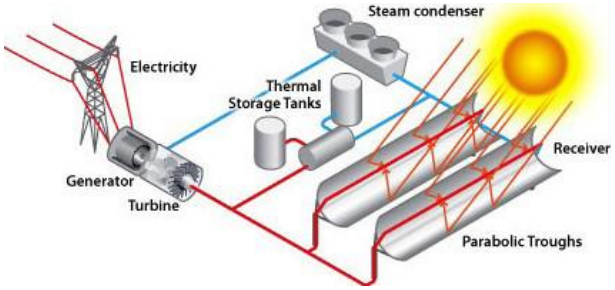
شکل ۱۴ سیکل نیروگاه بخار خورشیدی مستقیم [۹]

در برخی دیگر از این گونه سیستم‌های تولید توان، سیال عامل سیکل به صورت غیرمستقیم در جمع کننده‌های خورشیدی گرم می‌گردد. این کار اغلب از طریق یک مبدل حرارتی صورت گرفته و با استفاده از این روش کنترل مناسبی بر دمای بخار آب خارج شده صورت می‌گیرد. در شکل ۱۵ یک نیروگاه بخار خورشیدی غیرمستقیم مجهز به منعکس‌کننده با آینه‌های سهموی نشان داده شده است[۶]. در این نیروگاه پرتوهای خورشید در خط کانونی جمع شده و گیرنده آن به صورت لوله‌ای می‌باشد. در داخل لوله‌ها روغن مخصوصی وجود دارد که در اثر تابش خورشید گرم شده و به سمت مبدل حرارتی ارسال می‌گردد.



شکل ۱۵سیکل نیروگاه بخار خورشیدی غیرمستقیم [۶]

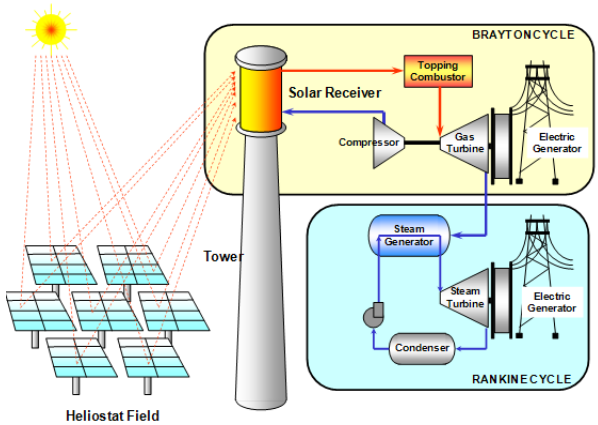
در اینگونه سیستم‌های هیبریدی گرمای اضافی خورشید می‌تواند در طی روز در ذخیره‌کننده‌های انرژی جمع شده و در هنگام شب یا روزهای ابری مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۱۶ نمونه‌ای از نحوه ذخیره‌سازی انرژی تابشی خورشید در ساعات آفتابی نشان داده شده است[۶]. جهت ذخیره‌سازی انرژی تابشی خورشید می‌توان از مخازن ذخیره کننده حاوی مواد تغییر فاز دهنده با گرمای نهان بالا استفاده نمود.



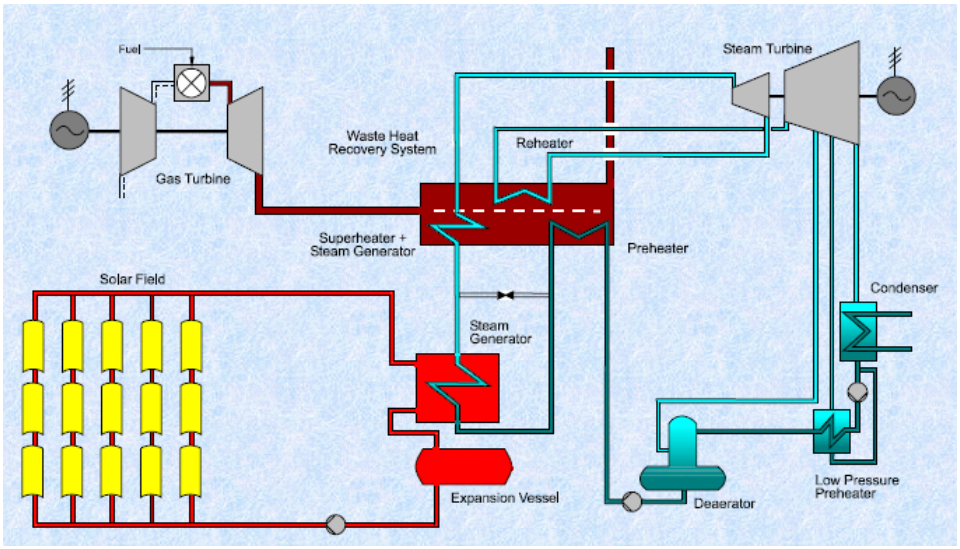
شکل ۱۶ سیکل نیروگاه بخار خورشیدی مستقیم معمولی و ذخیره‌کننده انرژی [۶]

۵- سیکل ترکیبی خورشیدی

استفاده از سیکل‌های ترکیبی نیروگاهی که شامل ترکیب دو سیکل رانکین و برایتون می‌باشد، در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. سیکل اشاره شده دارای راندمان بالاتری نسبت به سیکل توربین گاز و بخار تنها می‌باشد. استفاده از انرژی خورشید در این سیکل ترکیبی می‌تواند سبب افزایش مجدد راندمان آن و کاهش آلایندگی‌های زیست محیطی گردد. در این سیکل انرژی خورشیدی اغلب در سیکل توربین گاز و مشابه توربین گاز خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دریافت کننده خورشیدی در بالادست توربین قرار گرفته و گازهای خروجی از توربین نیز وارد یک مبدل حرارتی شده و جهت تولید بخار در سیکل رانکین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ چند نمونه مختلف از سیکل‌های ترکیبی توربین گاز، توربین بخار و دریافت کننده‌های خورشیدی نشان داده شده است[۶].



شکل ۱۷ شماتیک یک سیکل ترکیبی خورشیدی با دریافت کننده‌های مرکزی [۶]



شکل ۱۸ شماتیک یک سیکل ترکیبی خورشید [۱۰]

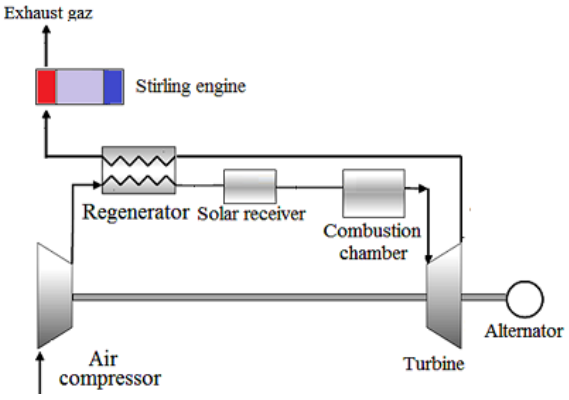
۶- موتور استرلینگ خورشیدی

موتور استرلینگ از جمله ایده‌هایی است که در سال‌های اخیر علاقه‌مندان زیادی را به خود جلب کرده است. این موتور اولین بار توسط روبرت استرلینگ در سال ۱۸۱۶ اختراع شد[۱۱]. از کاربردهای عمده این موتور استفاده در صفحات متمرکز کننده خورشیدی، محرک‌های زیردریایی و سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت می‌باشد. موتور استرلینگ بر اساس چرخه کارنو کار می‌کند. از نظر تئوری چرخه کارنو پربازده ترین چرخه برای یک موتور حرارتی می‌باشد. مقدار بازده موتورهای استرلینگ در حدود بازده میکروتوربین‌ها و مقداری کمتر از موتورهای رفت و برگشتی می‌باشد. با استفاده از بازیافت انرژی گرمایی سامانه خنک‌کن موتور و سیستم روغن‌کاری و همچنین گازهای داغ خروجی می‌توان به بازدهی کلی در حدود ۸۰ درصد دست یافت. در حال حاضر این نوع موتورها در محدوده ظرفیت یک تا ۵۰ کیلووات در حال توسعه می‌باشند[۱۱]. ظرفیت‌های پایین‌تر در محدوده فوق برای کاربردهای مسکونی و ظرفیت‌های بالاتر برای مراکز تجاری کوچک مناسب می‌باشند. با استفاده از چندین واحد به صورت موازی می‌توان به ظرفیت‌های بالاتری هم دست یافت.

به لحاظ فیزیکی موتور استرلینگ یک موتور احتراق خارجی است و می‌تواند از هر نوع منبع حرارتی خارجی برای تولید انرژی مکانیکی استفاده کند. از جمله مهمترین دستاوردهای بدست آمده در موتورهای استرلینگ، پیشبرد فنآوری آنها در زمینه ساخت موتورهای استرلینگ خورشیدی است. در سال‌های اخیر محققان در طراحی و استفاده از این نمونه موتورهای استرلینگ به نتایج بسیار خوبی دست یافته‌اند. با توجه به سهم آفتاب در کشورهایی مانند ایران، تولید انرژی با استفاده از این فنآوری، بسیار قابل ملاحظه است. در شکل ۱۹ نمایی از موتورهای استرلینگ با منبع حرارتی خورشیدی آورده شده است[۶].

در نمونه‌ای دیگر از سیستم‌های هیبریدی موتور استرلینگ را می‌توان با سیکل توربین‌گاز خورشیدی ترکیب نمود. در این گونه سیستم‌ها موتور استرلینگ در پایین‌دست توربین قرار گرفته و گازهای داغ خروجی از توربین وارد بخش گرمکن موتور استرلینگ می‌گردند (شکل ۲۰).

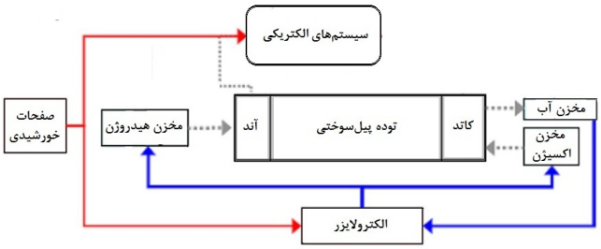
شکل ۱۹ نمایی از یک موتور استرلینگ خورشیدی [۶]



شکل ۲۰ ترکیب موتور استرلینگ و توربین‌گاز خورشیدی

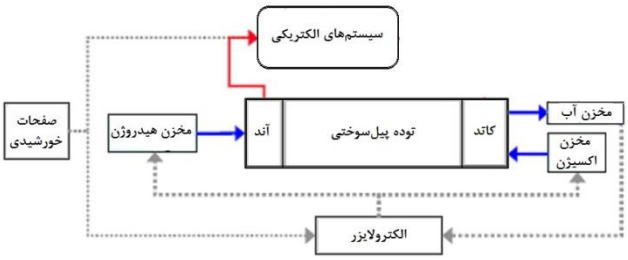
۷- پیل‌سوختی تجدیدپذیر

ترکیب پیل‌سوختی و صفحات خورشیدی مناسب‌ترین سیستم برای تامین توان الکتریکی با مداومت بالا می‌باشد. استفاده از این سیستم باعث می‌شود که توان الکتریکی مورد نیاز یک مجموعه بدون نیاز به سوخت، چندین روز یا ماه تامین گردد. این نوع سیستم‌های هیبریدی اغلب برای مناطقی که امکان سوخت‌رسانی برای آنها همواره وجود ندارد بسیار مفید می‌باشد. این سیستم-ها شامل صفحات خورشیدی، پیل‌سوختی پلیمری، باتری، الکترولایزر و سه مخزن هیدروژن، اکسیژن و آب می‌باشند[۱۲]. نحوه عملکرد این سیستم اینگونه است که در طی روز صفحات خورشیدی طبق اثر فتوولتائیک، انرژی تشعشعی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و بدین صورت توان موردنیازسیستم‌های الکتریکی مجموعه را تامین می‌کنند. در طی همین فرآیند بخشی از اضافه توان تولید شده از صفحات خورشیدی به مصرف الکترولایزر رسیده و بخشی نیز در باتری‌های موجود ذخیره می‌شود. در الکترولایزر آب ارسالی از مخزن ذخیره آب، الکترولیز شده و پس از تبدیل به هیدروژن و اکسیژن در مخازن تعبیه شده موجود در سیستم ذخیره می‌گردد. در شکل ۲۱ نمایی از کارکرد این سیستم هیبریدی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در طی روز پیل‌سوختی در مدار تولید توان قرار ندارد.



شکل ۲۲ کارکرد سیستم هیبریدی در روز

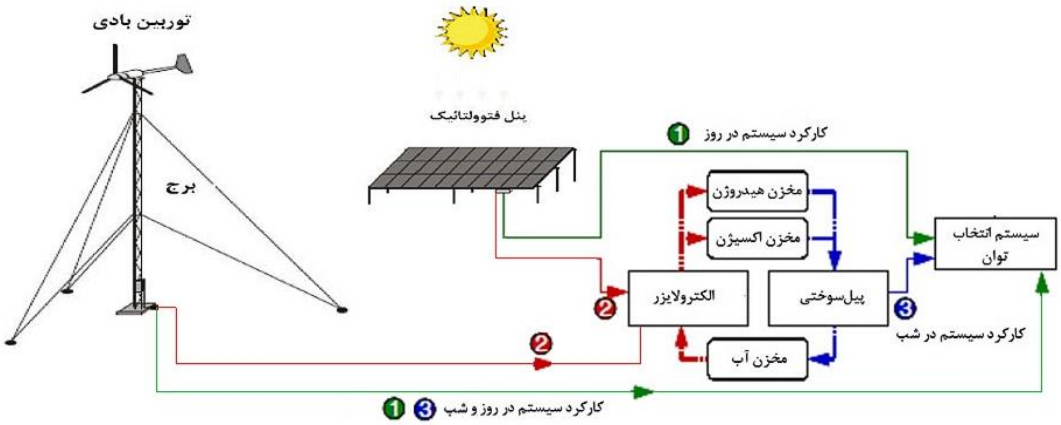
پس از اتمام روز و کاهش انرژی تشعشعی خورشید درهنگام شب، از باتری‌ها و پیل‌سوختی پلیمری جهت تامین توان سیستم‌های الکتریکی استفاده می‌شود. سوخت پیل‌سوختی هیدروژن و اکسیژن تولید شده در طی روز می‌باشد. همانطور که در بالا بیان شد هیدروژن و اکسیژن در طی روز در اثر الکترولیز آب تولید شده و در مخازن مربوطه نگهداری می‌شود. نمایی از نحوه کارکرد این سیستم هیبریدی در طی شب در شکل ۲۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کارکرد پیل‌سوختی در طی شب سبب تولید توان الکتریکی و حرارتی و همچنین تولید آب در آن می‌گردد. آب تولید شده در طی شب در یک مخزن ذخیره شده و در هنگام روز جهت الکترولیز به سمت الکترولایزر هدایت می‌گردد.



شکل ۲۲ کارکرد سیستم هیبریدی در شب

در میان انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی باد نسبت به سایر منابع انرژی دارای رشد سریعتری می‌باشد. بزرگترین مشکل در استفاده از انرژی باد، متغیر بودن سرعت باد و در پی آن متغیر بودن توان تولیدی توربین‌های بادی است. این در حالیست که ترکیب توربین‌های باد با سایر منابع انرژی، سبب افزایش قابلیت اطمینان سیستم تولید انرژی شده و انرژی الکتریکی خروجی از سیستم را تقریباً مستقل از زمان می‌نماید. در نمونه دیگر از این نوع سیستم هیبریدی خورشیدی، توربین باد در کنار صفحات خورشیدی و پیل‌سوختی قرار داده می‌شود. با استفاده از این سیستم می‌توان از انرژی باد جهت تولید انرژی الکتریکی استفاده نمود. با توجه به اینکه انرژی خورشیدی در ساعات پر تابش آفتاب قابل استفاده می‌باشد، استفاده از توربین باد سبب می‌شود که در طی روز و شب که از انرژی باد موجود در منطقه استفاده شود. انرژی الکتریکی مازاد تولید شده در صفحات خورشیدی و توربین بادی می‌تواند در باتری‌های مناسب ذخیره‌سازی گردد.

شماتیک ترکیب سه گانه توربین باد، صفحات خورشیدی و پیل‌سوختی در شکل ۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۴ ترکیب سه‌گانه صفحات خورشیدی، توربین باد و پیل‌سوختی

۸- جمع‌بندی

یکی از سیاست‌های مهم بخش انرژی در کشور جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع تجدیدپذیر و استفاده از سوخت‌های با صرفه و مطابق با استانداردهای زیست محیطی است. در این راستا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همانند انرژی خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی مدنظر سازمان بهینه‌سازی‌مصرف‌سوخت قرار دارد. کشور جمهوری‌اسلامی‌ایران نیز به لحاظ دارا بودن مناطق آفتاب‌خیز فراوان از قابلیت بالایی جهت استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است. مناسبترین مناطق جهت استفاده از این انرژی واقع در جنوب و مرکز کشور شامل استان‌های یزد، فارس، اصفهان و کرمان می‌باشند. با توجه به تغییرات آب و هوایی زیاد در کشور استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند تا حدود زیادی باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی و کاهش هزینه‌های سیستم‌های حرارتی و برودتی بکار رفته در کشور باشد.

۹- مراجع

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

[2] W. Haff, K.Friedrich, G.Mayer, J.Schlaich, Solar Chimneys Part I: principle and construction of the pilot plant in Mazanares, *International Journal of Solar Energy*, Vol. 2, pp 3–20, 1983.

[3] E.Bilgen, J.Pheault, Solar Chimney Power Plant for high latitudes, Renew able energy magazine 2003.

[۴] م.نجمی، س.ج.منصوری، غ.زاهدی، امکان‌سنجی بهینه‌سازی یک نمونه نیروگاه خورشیدی، *شانزدهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک*، دانشگاه شهید باهنر کرمان، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[5] I.E. Meriche, 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.

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

[7] , J.P.Meyer, 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.

[8] L.Aichmayer, 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

[9] T.Paanu, S.Niemi, P.Rantanen, *Waste heat recovery bottoming cycle alternatives, Proceeding of the university of VAASA*, Reports 175, 2012.

[10] B.Kelly, U.Herrmann, M.J. Hale, , *Optimization Studies for Integrated Solar Combined Cycle Systems,* ASME Forum, 2001.

[11] G.Schmidt, The theory of Lehmann's Calorimetric Machine, Z.ver.Dtsch.ing, 15, part 1, 1871.

[۱۲] ج.پیرکندی، م.محمودی، نقش پیل‌های سوختی تجدیدپذیر در افزایش مداومت پروازی سیستم‌های پیشرانش هوایی، *مجله علمی ترویجی مهندسی مکانیک*، سال بیست و دوم، شماره ۹۰، شهریور ۱۳۹۲.