



بررسی انواع سیستم های تولید همزمان

خدا دوست رستمی زاده

گروه مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران^۱

rostami2639@gmail.com

چکیده

در سه دهه‌ی اخیر پس از افزایش عمده‌ی قیمت سوخت، اهمیت بحث سوخت جایگزین، افزایش کارایی انرژی و کاهش آلودگی زیست محیطی، تمایل به استفاده از فن‌آوری های جدید از جمله تولید همزمان برق و حرارت افزایش یافته است. در روش‌های معمول برای تامین نیازهای الکتریکی و حرارتی، الکتریسته از شبکه‌ی توزیع سراسری و حرارت بوسیله‌ی سوزاندن سوخت در بویلرها و تجهیزات گرمازا به روش تولید جداگانه تامین می‌گردد. در این روش انرژی قابل توجهی به گونه‌ای متفاوت از طریق گازهای داغ خروجی دودکش، برج های خنک کن، کندانسورها، خنک کننده ها در موتورهای احتراق داخلی و همچنین تلفات توزیع و انتقال الکتریسته در شبکه‌ی سراسری برق به هدر می‌رود که بیش‌تر این حرارت قابل بازیافت است و می‌تواند در تامین انرژی حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی الکتریسته تولیدی به این روش به صورت متمرکز (نیروگاهی) بوده و تلفات انرژی زیادی را در بر دارد. در این مقاله به معرفی انواع سیستم های تولید همزمان خواهیم پرداخت، انواع مزایا و معایب و همچنین کاربردهای آنها را معرفی خواهیم نمود.

کلمات کلیدی: تولید همزمان، زیست محیطی، الکتریسته، گازهای داغ.

¹ Department of Mechanical Engineering (Energy Conversion), National University of Skills, Tehran, Iran

1- مقدمه

در مقابل این سیستم‌های متمرکز، روش‌های تولید غیر متمرکز و مستقل با تولید همزمان برق و حرارت^۲ (CHP) قرار دارد. از لحاظ ترمودینامیکی این روش به معنی تولید همزمان دو شکل معمول انرژی یعنی الکتریکی و حرارتی، با استفاده از یک منبع انرژی اولیه می‌باشد. انرژی گرمایی از بازیافت تلفات حرارتی این مولدهای مستقل بدست می‌آید و این حرارت در بخش‌های مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی بکار گرفته می‌شود. برای آن که از این سیستم‌ها برای مصارف سرمایشی نیز استفاده شود، به یک چیلر تراکمی یا جذبی نیاز دارد که در آن صورت به این نوع سیستم‌ها، سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما^۳ (CCHP) می‌گویند که توانایی تولید همزمان برق، گرما و سرما را دارند. از طرفی الکتریسیته‌ی تولیدی توسط این فن آوری به صورت مستقل و غیر متمرکز بوده که این دو ویژگی در کنار یکدیگر، کارایی مولدهای تولید برق را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. کارایی سیستم‌های معمول به روش متمرکز در حدود 27 تا 55 درصد است که بیشترین کارایی مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد در حالیکه با بهره‌گیری از فن‌آوری تولید همزمان برق و حرارت بصورت مستقل، کارایی انرژی این مولدها به حدود 90 درصد نیز خواهد رسید، تا آنجا که دولت‌های اروپایی، امریکا و حتی در کشورهای آسیایی نظیر ژاپن سیاست‌ها و قوانینی را برای ترغیب به استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت وضع نموده اند. از مزایای سیستم‌های تولید همزمان می‌توان به حرکت به سوی خصوصی‌سازی و تولید غیر متمرکز و مستقل برق و حرارت، جلوگیری از تلفات توزیع و انتقال در شبکه‌ی سراسری، افزایش کارایی تبدیل انرژی و استفاده از آن، کاهش مصرف سوخت و افزایش رقابت در تولید برق و توان نیروگاهی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی بخصوص دی اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای اشاره نمود [1].

سوخت‌های فسیلی علاوه بر انتشار گازهای مضر دارای منابعی محدود می‌باشند، به طوری که در آینده‌ی نزدیک عمر ذخایر آن‌ها به پایان می‌رسد که این واقعیت، جهان را با بحران جدی انرژی در قرن بیست و یکم روبرو خواهد نمود. از سوی دیگر با افزایش دمای کره زمین و جدی شدن بحث گازهای گلخانه‌ای، هزینه‌ی بیشتری را بر صاحبان صنایع و براقصاد کشورهای پرمصرف تحمیل خواهد نمود که از این دست می‌توان به پیمان کیوتو^۴ اشاره نمود. باید توجه داشت در حالی که ایران یکی از امضاء کنندگان این پیمان می‌باشد، تعرفه‌های پایین انرژی سبب افزایش احداث صنایع انرژی بر و عدم تمایل به کاهش مصرف در بخش‌های مختلف گردیده است.

مهم‌ترین علت عدم تمایل در بکارگیری تکنولوژی‌های جدید در افزایش راندمان مصرف سوخت، هزینه پایین قیمت انرژی است تا حدی که احداث واحدهای قدیمی با مصرف انرژی بالا، از جذابیت اقتصادی بیشتری برخوردار است. هرچند که این موضوع با کاهش و یا حذف یارانه‌های دولتی در بخش انرژی تا حد زیادی تعدیل می‌گردد.

تاریخچه استفاده از تولید همزمان برق و حرارت

اولین سابقه‌ی تاریخی استفاده از گرمایش مرکزی به قرن‌های سوم و چهارم پیش از میلاد باز می‌گردد. در آن زمان امپراتوری‌های یونان و روم که از نظر فن آوری پیشرفته بودند، برای اولین بار آب گرم خروجی از لایه‌های آهکی را با حفر کانال به حمام‌های عمومی، ورزشگاه، قصرها و قلعه‌های نظامی منتقل نمودند. پیدایش تولید همزمان به دهه 1880 میلادی در اروپا و آمریکا باز می‌گردد. موتورهای پیستونی در سال 1880 میلادی اولین ژنراتور را به کار انداختند. این سیستم‌ها بخار اتلافی زیاد و بازده پایینی داشتند که تولید کنندگان برق را به فکر انداخت تا علاوه بر تأمین برق مصرفی، حرارت اتلافی را نیز برای

² Combined heating and power system (CHP)

³ Combined cooling, heating and power system (CCHP)

⁴ Kyoto Protocol

گرمایش بکار برند. از حرارت اتلافی موتورهای پیستونی برای اولین بار در سال ۱۸۸۴ میلادی برای تأمین انرژی گرمایی هتل دل کرونادو^۵ در سن دیگو^۶ استفاده شد که می توان از آن به عنوان اولین نمونه عملی سیستم تولید همزمان برق و حرارت نام برد. پس از آن در سال ۱۸۸۸ اولین تولید کننده همزمان برق و حرارت در آلمان شروع بکار نمود. در این سال در شهر هامبورگ از حرارت حاصل از تولید برق به منظور تأمین حرارت تالار شهر^۷ استفاده شد.

در اوایل قرن بیستم بسیاری از کارخانجات این کشورها با بکارگیری توربین های بخار و بویلرهای زغال سوز، برق مورد نیاز خود را مستقلاً تولید می کردند. در این کارخانجات، حرارت مورد نیاز پروسه ها نیز از طریق بازیافت گازهای داغ تأمین می شد. تخمین زده می شود که بیش از ۵۸ درصد برق تولیدی کارخانجات کشور آمریکا در اوایل قرن بیستم، همراه با تولید همزمان بوده است. بین سال های اولیه دهه ۲۰ تا ۷۰ صنعت برق رشد سریعی پیدا کرد که دلیل آن افزایش ارزش قدرت الکتریکی بود. همزمان با این رشد سریع، کاهش عمومی در هزینه های تولید برق به وجود آمد که بیش تر به دلیل مسائل اقتصادی ناشی از رشد فناوری و کاهش هزینه های سوخت بود. با توسعه نیروگاه های متمرکز و نیز شبکه های انتقال و توزیع با قابلیت اطمینان بالا، قیمت برق پایین آمد و بسیاری از صنایع، تولید داخلی برق را متوقف کرده و به تأمین نیاز خود از شبکه سراسری روی آوردند، به گونه ای که تولید داخلی برق توسط صنایع در ایالات متحده تا سال ۱۹۶۰ به ۱۵ درصد و پس از آن تا سال ۱۹۷۴ به ۵ درصد کاهش یافت.

از دیگر عواملی که در این دوره باعث کاهش تمایل صنایع به تولید همزمان شد می توان به قوانین دست و پاگیر در زمینه تولید برق، قیمت پایین انواع سوخت ها و عدم تمایل صاحبان صنعت به بهینه سازی، اعمال محدودیت های زیست محیطی برای تولید کنندگان و بالاخره پیشرفت های تکنولوژیکی در زمینه بویلرها اشاره کرد.

اما روند فوق دوام چندانی نیافت و با اولین شوک نفتی در سال ۱۹۷۳، جریان معکوس آغاز شد به طوری که در اواخر سال ۱۹۷۳ و همچنین در سال ۱۹۷۹ جهان با بحران های انرژی مواجه شد که در اثر کاهش واردات نفت به وقوع پیوست. در ایالات متحده آمریکا بین سال های ۱۹۷۳ تا ۱۹۸۳ قیمت سوخت و نفت ۵ برابر شد. در سال ۱۹۷۸ این کشور قانون انرژی ملی که قانون مصرف سوخت، قانون سیاست گاز طبیعی و قانون سیاست های قانونی نیروگاه ها را شامل می شد، تصویب کرد. هریک از این قوانین، تأثیر مستقیمی بر تولید همزمان داشت. قوانین دیگری نیز که در اواخر به تصویب رسیده بودند، به خصوص قانون دولتی مربوط به مدیریت کیفیت آب و هوا، تأثیر زیادی بر نصب سیستم های تولید همزمان گذاشت.

بدین ترتیب توجه به سیستم های بهینه و با قابلیت کار با انواع سوخت ها افزایش یافت. در مناطقی همچون ایالات متحده، اروپا و ژاپن هم به دلیل بهینه سازی مصرف انرژی و هم به دلیل کاهش آلاینده های زیست محیطی، تولید همزمان بار دیگر مورد توجه قرار گرفت. از آن زمان تا کنون، پیشرفت های قابل توجهی در این زمینه به وجود آمده و بهره گیری از انواع سیستم های تولید همزمان روز به روز در حال افزایش است. به نحوی که انتظار می رود در قرن بیست و یکم، تولید همزمان با صرفه جویی انرژی و اقتصادی، رشد فزاینده ای را تجربه کند [۳].

ویژگی ها و اجزای سیستم های تولید همزمان

سیستم های تولید همزمان فقط از یک پروسه برای تولید الکتریسیته و گرما یا سرما استفاده می نمایند، بنابراین نیازهای گرمایی و الکتریکی باید به خوبی تخمین زده شود و بر اساس آن تجهیزات سیستم به طور مناسب انتخاب شوند. این انتخاب باید با دقت فراوان همراه باشد. در یک سایت ممکن است فقط بخشی از توان حرارتی و یا توان الکتریکی توسط سیستم تولید همزمان تأمین شود و در سایت دیگر ممکن است، توان اضافی به متقاضیان که در نزدیکی آن سایت هستند منتقل شود، ولی در

^۵ Hotel del Coronado

^۶ San Diego

^۷ City hall

هرحال یک سیستم تولید همزمان الزاماً دارای چهار عنصر اساسی می باشد:

- (1) محرک اولیه
- (2) ژنراتور الکتریکی
- (3) تجهیزات بازیابی حرارت
- (4) سیستم های کنترل و مانیتورینگ

اگر سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما مد نظر باشد، یک یا چند سیستم تولید سرمایه نیز علاوه بر موارد فوق نیاز است. همچنین در برخی از سیستم های تولید همزمان از ذخیره سازی انرژی (حرارتی یا الکتریکی) نیز استفاده می شود. محرک اولیه براساس شرایط و موقعیت می تواند یک توربین بخار، توربین گاز، میکروتوربین، موتورهای پیستونی احتراق داخلی (رفت و برگشتی) و یا تکنولوژی های دیگری نظیر موتورهای استرلینگ و پیل سوختی باشد. محرک اصلی، ژنراتور الکتریکی را به حرکت در می آورد و حرارت مناسب توسط تجهیزات بازیافت حرارت، تولید می گردد. به هر حال وجود این چهار عنصر در یک سیستم تولید همزمان ضروری می باشد.

برای مصارف صنعتی، معمولاً از محدوده 1 تا 50 مگاوات استفاده می شود، اگرچه در موارد خاص از تولید توان های خروجی بالاتر نیز استفاده شده است. در مصارف غیرصنعتی از 1 کیلووات برای مصارف خانگی تا حدود 10 مگاوات برای طرح های گرمایشی بزرگ، وجود دارد. در نام گذاری، محدوده 1-10 مگاوات را متوسط، بزرگ تر از 10 مگاوات را بزرگ، کمتر از 1 مگاوات را سایز کوچک، سایزهای کمتر از 500 کیلووات را مینی و کمتر از 20 کیلووات را میکرو تعریف نموده اند [3]. به علت نزدیکی محل تولید برق با محل مصرف در سیستم های تولید همزمان، میزان اتلاف در مسیر انتقال ناچیز است، در حالی که میزان اتلاف در مسیر انتقال شبکه های سراسری در حدود 20 درصد می باشد. با توجه به وابستگی ظرفیت این سیستم ها به نیاز حرارتی هر مجموعه و در نتیجه ظرفیت پایین این سیستم ها، می توان آن ها را در دسته سیستم های پراکنده تولید برق قرار داد.

محرک اولیه

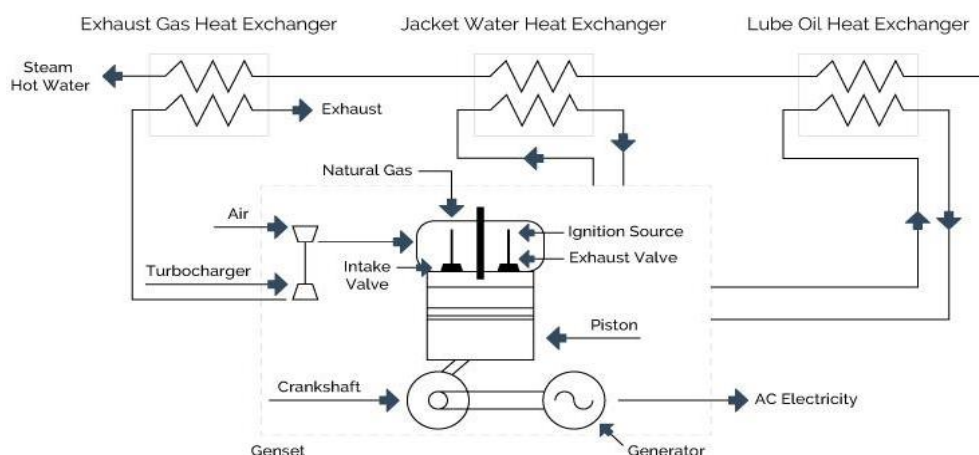
در این قسمت به معرفی انواع محرک های اولیه سیستم های تولید همزمان پرداخته میشود و با توجه به انتخاب توربین گاز و موتور گاز سوز در این تحقیق به عنوان محرک اولیه در سیستم تولید سه گانه بررسی شده، این تکنولوژی ها با تفصیل شرح داده می شود.

موتورهای رفت و برگشتی

موتورهای رفت و برگشتی^۸ رایج ترین موتورهای احتراق داخلی می باشند که در آن ها انرژی شیمیایی سوخت در داخل محفظه سیلندر پس از احتراق به انرژی مکانیکی و انرژی گرمایی تبدیل می گردد. در حال حاضر موتورهای رفت و برگشتی با ظرفیت هایی در محدوده چندین اسب بخار (چندین کیلووات) تا 90000 اسب بخار (67000 کیلووات) در دسترس می باشند. لیکن ظرفیت های رایج برای تولید همزمان برق و گرما معمولاً تا بیش از 5 مگاوات می باشد. موتورهای رفت و برگشتی مخصوص کار سنگین^۹ مورد استفاده برای تولید همزمان برق و گرما بازدهی بسیار خوبی داشته و از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار هستند. این گونه موتورها در میان سایر محرک های اولیه با ظرفیت های مشابه در شرایط بهره برداری بار کامل و یا بار جزئی دارای بیش ترین بازدهی حرارتی می باشند [1].

⁸ Reciprocating engines

⁹ Heavy- duty



استفاده از موتور پیستونی در سیستم تولید همزمان [1].

به طور کلی موتورهای رفت و برگشتی بر دو نوع اصلی دسته بندی می شوند: موتورهای احتراق جرقه‌ای^{۱۰} (SI) و موتورهای احتراق تراکمی^{۱۱} (CI). موتورهای احتراق جرقه‌ای که برای تولید برق به کار می روند ترجیحاً از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می کنند. ولی می توان آن ها را برای کار با سایر سوخت ها مثل پروپان، گازوییل و یا گازهای مخصوص مثل بیوگاز^{۱۲} حاصل از دفن زباله^{۱۳}، گاز فلر^{۱۴} پالایشگاه و گاز گوارنده^{۱۵} تنظیم کرد. موتورهای احتراق تراکمی که معمولاً دیزل نامیده می شوند و معمولاً با سوخت دیزل (گازوئیل) و یا نفت سنگین کار می کنند. می توان اینگونه موتورها را برای کار به صورت دوگانه سوز نیز تنظیم نمود [1].

به طور تاریخی موتورهای دیزل رایج ترین نوع موتورهای رفت و برگشتی برای تولید برق در ظرفیت های کوچک و بزرگ بوده اند. اما امروزه در بسیاری از کشورهای صنعتی، به دلیل ملاحظات زیست محیطی استفاده از موتورهای دیزل به کاربردهای اضطراری و ظرفیت های کوچک محدود شده است و به جای آن موتورهای جرقه‌ای با سوخت گاز طبیعی مورد توجه قرار گرفته اند. نسل موجود موتورهای رفت و برگشتی با سوخت گاز طبیعی دارای مزایایی چون هزینه اولیه نسبتاً کم، راه اندازی سریع، قابلیت اطمینان بالا، مشخصه بسیار خوب در دنباله روی بار^{۱۶} و توانایی بازیافت گرما قابل توجه می باشد [1].

بازده الکتریکی موتورهای گازسوز از ۲۸ درصد (ارزش حرارتی خالص) برای موتورهای کوچک (کوچکتر از ۱۰۰ کیلووات) تا بیش از ۴۳ درصد برای موتورهای احتراقی بزرگ (بزرگتر از ۳ مگاوات) می باشد. حرارت گازهای داغ خروجی و سیستم خنک کاری این موتورها را می توان برای تولید آب داغ یا بخار کم فشار برای کاربرد در سیستم تولید همزمان بازیافت نمود. بازده کلی سیستم تولید همزمان (با در نظر گرفتن برق و انرژی حرارتی مفید) در هنگام استفاده از موتورهای گازسوز معمولاً در

¹⁰ Spark ignition

¹¹ Compression ignition

¹² Biogas

¹³ Land fill

¹⁴ Flare

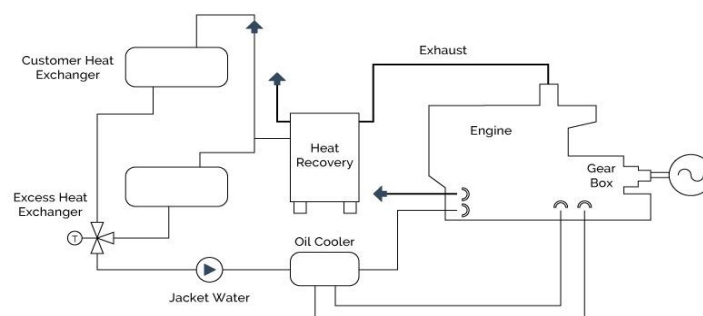
¹⁵ Digester gas

¹⁶ Load- following

حدود 70 تا 80 درصد می باشد. با حساسیت های اقتصادی و زیست محیطی که در طول سه دهه گذشته اعمال شده فن آوری موتورهای پیستونی پیشرفت زیادی کرده و منجر به افزایش بازده سوخت و کاهش آلودگی شده است [1]. در موتورهای پیستونی از چهار منبع می توان حرارت بازیافت نمود: گازهای خروجی، آب استفاده شده برای خنک کاری موتور، آب مورد استفاده برای خنک کاری روغن و خنک کن توربوشارژر^{۱۷}. اما گاز داغ خروجی موتور تنها حاوی نصف انرژی حرارتی موتور می باشد. معمولاً آب داغ و بخار در سیستم تولید همزمان با موتورهای پیستونی برای استفاده در گرمایش محیط، گرمایش آبگرم و چیلرهای جذبی مناسب می باشد. از رایج ترین روش های بازیافت حرارت موتور، سیستم سیکل بسته سرمایش مطابق شکل ذیل می باشد. در این سیستم ها برای سرمایش موتور از جریان اجباری یک مبرد و یک مبدل حرارتی استفاده می شود [1].

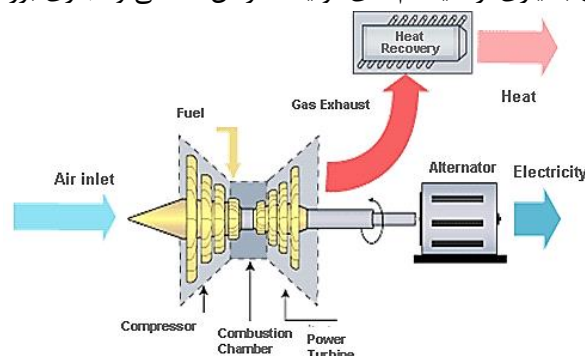
توربین های گازی

توربین های گاز در اوایل سال های 1900 میلادی با توجه به پیشرفت های مهندسی پایه گذاری شد و در اواخر سال های 1930 میلادی نیز استفاده از این توربین ها به منظور تولید توان آغاز گردید. به دلیل استفاده از توربین های گازی در صنایع دفاعی و هوایی، پیشرفت های زیادی در این زمینه حاصل شده است، به طوریکه بازده توربین های گاز به بیش از توربین های بخار رسیده و استفاده از آنها افزایش یافته است.



بازیافت حرارت در سیستم بسته یک موتور پیستونی [1].

توربین های گازی در اندازه های مختلف از چند صد کیلووات تا چند صد مگاوات موجود می باشند. این توربین ها حرارتی با کیفیت بالا (دمای بالا) تولید می نمایند که می تواند برای گرمایش ناحیه ای یا صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ممکن است این حرارت بازیافت شود تا باعث بهبود بازدهی گردد و یا از آن برای تولید بخار استفاده شود و بخار حاصل در یک سیکل ترکیبی توربین بخار را به حرکت درآورد. کم بودن هزینه نگهداری و بالا بودن کیفیت حرارت، اغلب باعث می شود توربین گازی انتخاب مناسبی برای بسیاری از سیستم های تولید همزمان صنعتی و تجاری بزرگ تر از 1 مگاوات باشد [1].



¹⁷ Turbocharger

یک مجموعه تولید همزمان برق و حرارت با توربین گاز [1].

چرخه های ساده ی توربین گازی که تنها برای تولید برق مورد استفاده قرار می گیرند دارای بازدهی نزدیک به 35 درصد بر اساس ارزش حرارتی خالص) هستند.

در اوایل سال های 1980 ، بازدهی و قابلیت اطمینان توربین های گازی کوچک (1 تا 40 مگاواتی) به مقادیری رسیدند که برای کاربرد در سیستم های تولید همزمان صنعتی بزرگ مناسب شناخته شدند. توربین های گازی حرارت خروجی با کیفیت بالا تولید می نمایند که با استفاده در سیستم های تولید همزمان بازدهی کل (برق و انرژی مفید) به 60 تا 80 درصد می رسد [1].

توربین های گازی از کم آلاینده ترین تجهیزات تولید توان می باشد که مقدار NO_x در گاز خروجی آنها بسیار کم است. به دلیل بازدهی بالا و استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت اولیه، مقدار دی اکسید کربن بر واحد کیلووات ساعت که در توربین های گازی تولید می شود کمتر از دیگر فن آوری های فسیلی مورد استفاده می باشد. سیستم توربین گاز بر پایه چرخه ترمودینامیکی برایتون عمل می نماید. در این چرخه هوای اتمسفریک متراکم و گرم می شود و سپس در یک توربین منبسط می گردد و توانی تولید می نماید که مقداری از آن صرف به کار انداختن کمپرسور می شود و باقیمانده آن توان خروجی سیستم می باشد. گاز خروجی از این نوع توربین دارای دمای بالایی است که در صنایع کوچک تا حدود 800 تا 900 درجه فارنهایت و در نیروگاه های جدید بزرگ تا 1100 درجه فارنهایت می باشد. از این دمای دود ممکن است در مولد بخار بازیافت حرارت به منظور تولید حرارت و همچنین به منظور تولید برق در توربین بخار بصورت سیکل ترکیبی استفاده شود [1]. توربین های گازی به تنهایی دارای مزایایی هستند که استفاده از آنها را در صنایع مختلف توجیه پذیر کرده است. چند نمونه دیگر از این مزایا عبارتند از [4] :

- 1) هزینه اولیه تمام شده پایین تر در مقایسه با سایر انواع دستگاه های تولید قدرت
 - 2) امکان نصب و راه اندازی سریع تر در مقایسه با سایر روش ها
 - 3) امکان شروع به کار و رسیدن به بار نامی سریع تر
 - 4) نسبت فضا به توان تولیدی کم تر
 - 5) بهره برداری ساده تر و با استفاده از نفرت کم تر
- اما در مقابل این مزایا، توربین های گازی دارای معایب قابل توجهی نیز می باشند. از آن جمله عبارتند از:

- 1) استهلاک و خوردگی بالا در مقایسه با سایر روش های تولید قدرت
- 2) راندمان عملکرد پایین به دلیل خروج گازهای داغ حاصل از احتراق، بعد از عبور از توربین
- 3) هزینه تعمیرات و نگهداری بالاتر

باتوجه به ویژگی های منحصر به فرد توربین های گازی، عوامل فوق مانع از کاربرد وسیع آن ها در صنایع مختلف نگردیده است. به دلیل کاربرد وسیع این توربین ها در صنایع مختلف، استفاده از روش هایی که این نقاط ضعف را کاهش دهد، توجیه پیدا کرده است.

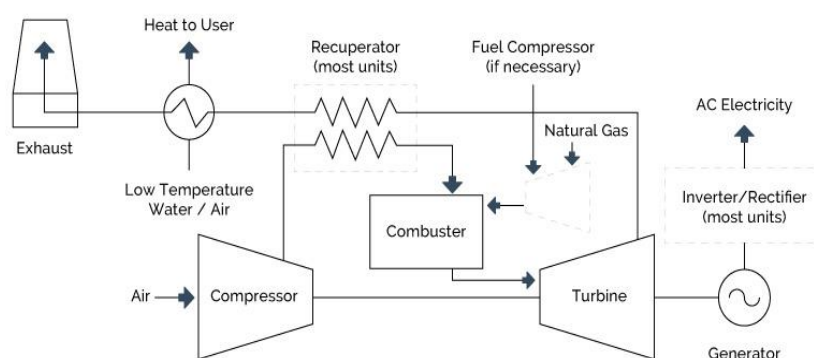
میکروتوربین ها

میکروتوربین ها، توربین های کوچکی هستند که از سوخت های گازی و مایع برای تولید جریان های گازی پرا انرژی استفاده می کنند تا ژنراتور الکتریکی را به گردش در آورند. میکروتوربین ها در حدود سال 1997 میلادی وارد عرصه آزمایش شدند و در سال 2000 به صورت تجاری تولید گردیدند. ظرفیت میکرو توربین ها از حدود 30 تا 500 کیلووات می باشد. میکروتوربین ها مانند توربین های گازی بزرگ می توانند برای تولید برق یا استفاده در سیستم های تولید همزمان بکار روند و قابلیت بهره برداری با طیف وسیعی از سوخت ها را دارند. میکروتوربین ها با سوخت های گوناگونی می توانند کار کنند که شامل گاز طبیعی ، گاز ترش (دارای گوگرد بالا)، و سوخت های مایع همانند بنزین ، نفت و گازوئیل است [1].

در یک سیستم میکروتوربین ، یک کمپرسور شعاعی هوای ورودی را متراکم می کند، سپس هوا با استفاده از حرارت گاز

خروجی توربین، در ریکوپراتور پیشگرم می‌شود. هوای گرم خروجی از ریکوپراتور در محفظه احتراق با سوخت مخلوط شده و گاز داغ حاصل از احتراق، با عبور از توربین انبساطی و توربین قدرت، منبسط می‌گردد. توربین انبساطی، کمپرسور را به راه انداخته و در مدل‌های تک محوره، ژنراتور را نیز به کار می‌اندازد. مدل‌های تک محوره، معمولاً با سرعت 60000 دور در دقیقه و بالاتر کار می‌کنند و توان الکتریکی با فرکانس بالا و متغیر تولید می‌کنند. این توان نخست با یکسوسازی، به جریان مستقیم و سپس به جریان متناوب با فرکانس 60 یا 50 هرتز تبدیل می‌شود.

میکروتوربین‌ها بر اساس سیکل ترمودینامیکی توربین‌های گاز بزرگ که سیکل برایتون نامیده می‌شود، عمل می‌نمایند. در این سیکل هوای اتمسفریک فشرده، گرم و سپس با منبسط شدن، تولید برق می‌کنند. میکروتوربین‌ها از سیکل‌های توربین گازی معمول پیچیده تر می‌باشند، زیرا اضافه شدن ریکوپراتور^{۱۸} در آنها باعث کاهش مصرف سوخت و از طرف دیگر افزایش افت های فشار داخلی می‌شود که توان و بازدهی را کمی کاهش می‌دهند. کارایی میکروتوربین‌ها که بر اساس بازدهی و توان مخصوص سنجیده می‌شوند، وابستگی زیادی به افت های داخلی و کارایی اجزای مختلف سیستم دارند [1].



سیستم تولید همزمان با محرک اولیه میکروتوربین [1].

میزان انتشار آلاینده‌ها در میکروتوربین‌ها بسیار کم می‌باشد. از آنجا که مقدار آلاینده‌های میکروتوربین‌ها با در نظر گرفتن تدابیری داخل میکروتوربین به حد مجاز می‌رسند، نیازی به استفاده از روشهای کنترلی پس احتراقی در این سیستم‌ها نمی‌باشد. اصلی ترین آلاینده میکروتوربین‌ها اکسیدهای نیتروژن، منوکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته می‌باشند. مقدار کمی دی اکسید گوگرد نیز در این سیستم‌ها تولید می‌شود. میکروتوربین‌ها طوری طراحی می‌شوند که در حالت تمام بار کمترین مقدار آلاینده را تولید نمایند و در نیمه بار مقدار آلاینده آنها افزایش می‌یابد [1].

توربین‌های بخار

توربین‌های بخار یکی از متداول ترین و قدیمی ترین فناوری های محرکه اولیه بوده و در حال حاضر نیز به طور گسترده‌ای جهت تولید برق و یا کاربردهای مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تولید برق توسط توربین‌های بخار از حدود صد سال پیش رایج شده است. امروزه در اغلب کشورهای جهان عمده تولید برق توسط توربین‌های بخار صورت می‌پذیرد. ظرفیت توربین‌های بخار تجاری شده در محدوده 50 کیلووات (تولید مقیاس کوچک) تا چند صد مگاوات (تولید نیروگاهی) می‌باشد. در حال حاضر، در کشورهای مختلف توربین‌های بخار به طور گسترده‌ای به منظور تولید همزمان برق و گرما مورد استفاده قرار می‌گیرد [5].

بر خلاف توربین‌های گاز و موتورهای رفت و برگشتی که در آن‌ها گرما به عنوان یک محصول جانبی تولید برق محسوب می‌گردد، در توربین‌های بخار معمولاً تولید برق محصول جانبی تولید گرما (بخار) می‌باشد. اصولاً توربین‌های بخار واسطی بین مولد بخار (بویلر) و مولد (ژنراتور) می‌باشند، لذا می‌توان از انواع سوخت‌های مختلف برای تولید محصول نهایی یعنی برق

¹⁸ Recuperator

استفاده نمود. سبد سوخت های قابل استفاده در این فرآیند شامل گاز طبیعی، سوخت های مایع سبک و سنگین، سوخت های جامد مثل انواع زغال سنگ، چوب و یا ضایعات آن، زباله و یا محصولات جانبی کشاورزی می باشد. کاربردهای تولید هزمان برق و حرارت به صورت زیرکش بخار^{۱۹} با فشار پایین از توربین بخار بوده و بخار گرفته شده به صورت مستقیم در فرآیندهای مختلف صنعتی و یا گرمایش محیط مورد استفاده قرار می گیرد. در برخی موارد نیز بخار دریافت شده از توربین را می توان به صورت های دیگر انرژی گرمایی شامل آب گرم و یا سرد تبدیل نمود [1].

روش های بازیافت حرارت از توربین بخار مبتنی بر بکار گیری بخار خروجی توربین های فشار پشت و یا استفاده از بخار زیرکش شده در فرآیندهای صنعتی و یا کاربردهای گرمایشی می باشد. مقدار و کیفیت گرمای بازیافتی تابعی از شرایط بخار ورودی و پارامترهای طراحی توربین می باشد. همانگونه که ذکر گردید بخار خروجی از توربین را می توان مستقیماً در فرآیندهای صنعتی و یا برای گرمایش محیط استفاده نمود. بعلاوه، انرژی گرمایی بخار خروجی را می توان به سایر صورت های انرژی گرمایی، مثل آب داغ و یا سرد نیز تبدیل نمود. بخار تخلیه شده و یا زیرکش شده از توربین را می توان به عنوان منبع گرم یک چیلر جذبی استفاده نمود. به طور کلی سامانه های تولید همزمان مبتنی بر توربین بخار دارای نسبت برق به حرارت کوچکی (معمولاً در محدوده 0/05 تا 0/02) می باشند. این امر به دلیل آن است که معمولاً تولید برق به عنوان یک محصول جانبی در فرآیند تولید گرما قلمداد می شود و مجموعه سیستم برای تولید بخار بهینه می گردد. بنابراین، علت پایین بودن بازدهی الکتریکی سامانه های تولید همزمان مبتنی بر توربین بخار (نسبت توان الکتریکی تولیدی به مجموع سوخت مصرفی) به دلیل آن است که هدف اصلی از بکارگیری این نوع سامانه ها تولید مقدار زیادی بخار می باشد. اما عموماً، بازدهی کلی سیستم تولید همزمان مبتنی بر توربین بخار بسیار زیاد بوده و تقریباً نزدیک به میزان بازدهی بویلر (نسبت میزان بخار خالص تولیدی به کل سوخت ورودی) می باشد. سامانه های تولید همزمان برق و گرما که مبتنی بر توربین های بخار می باشند عمدتاً در فرآیند های صنعتی و مؤسسات بزرگ با دسترسی به سوخت ارزان مورد استفاده قرار می گیرند [1].

پیل های سوختی

پیل های سوختی فن آوری جدیدی برای تولید انرژی هستند که بدون ایجاد آلودگی های زیست محیطی و صوتی، از ترکیب مستقیم بین سوخت و اکسیدکننده، انرژی الکتریکی با بازدهی بالا تولید می کنند. تولید مستقیم الکتریسیته جایگزینی برای چرخه ی کارنو جهت تبدیل انرژی شیمیایی حاصل از سوخت به انرژی گرمایی و مکانیکی و در نهایت الکتریسیته می باشد که اتلاف انرژی را به حداقل ممکن می رساند و به بازده تئوری دست پیدا می کنیم [7].

پیل های سوختی همانند باتری ها از طریق یک فرآیند الکتروشیمیایی الکتریسیته جریان مستقیم تولید می نمایند. البته توان الکتریکی با تری ها میزان محدودی داشته و با توجه به انرژی ذخیره شده تحویل می گردد، لیکن پیل های سوختی تا زمانی که سوخت اولیه به آن ها برسد به طور نامحدود می توانند تحت بهره برداری قرار داشته باشند. یکی از مهم ترین ویژگی های پیل سوختی آن است که برخلاف بسیاری از محرک های اولیه، تولید الکتریسیته از منبع انرژی توسط پیل سوختی بدون نیاز به فرآیند احتراق صورت می پذیرد. تولید الکتریسیته و گرما در پیل سوختی با استفاده از دو الکترود (آند و کاتد) که یون های شارژ شده را از یک الکترولیت عبور می دهند صورت می پذیرد. این فرآیند با بکار گیری یک کاتالیزت سریع می گردد [1].

پیل های سوختی یکی از فناوری های تولید برق با بازدهی مناسب، تمیز و بدون سروصدا می باشد. از آنجایی که سوخت مورد استفاده توسط پیل سوختی در یک فعل و انفعال الکتروشیمیایی مصرف گردیده و سوزانده نمی شود، لذا استفاده از سوخت موجب آلایندهی هوا نمی شود. توسعه پیل های سوختی به عنوان یکی از گزینه های تولید برق برای آینده حدوداً از چهل سال پیش شروع شده است. لیکن این نوع فناوری به دلایلی مثل گرانی، پیچیدگی، ظرفیت کم و قابلیت اطمینان اثبات نشده هنوز نتوانسته است بازار تجاری عمده ای را به خود اختصاص دهد. البته مزایای پیل های سوختی از جمله منافع زیست

¹⁹Steam extraction

محیطی و بازدهی بالا به گونه‌ای است که در برخی از کشورها این نوع فناوری مورد حمایت و تشویق دولت‌ها قرار گرفته است. ایده اولیه توسعه پیل‌های سوختی توسط ویلیام گرو^{۲۰} در دهه‌ی ۱۸۳۰ میلادی شکل گرفت. او طی آزمایش‌های مختلف موفق شد یک پیل سوختی هیدروژنی را به نمایش گذارد. ایده ویلیام گرو حدوداً یکصد سال بدون کاربرد عملی رها شد. مجدداً این فناوری طی دهه‌ی ۱۹۵۰ در برنامه‌های فضایی آمریکا مورد توجه قرار گرفت. در حال حاضر بخش‌های مختلفی از جمله صنایع نظامی، صنایع حمل و نقل و صنایع نیروگاهی بکارگیری این فناوری را مورد توجه خاص قرار داده‌اند [3].

از مزایای پیل‌های سوختی می‌توان به بازده بالا، سازگاری با محیط زیست، سادگی سیستم از نظر تعمیر و نگهداری، تنوع در سوخت مصرفی، عدم آلودگی صوتی به سبب نداشتن قسمت‌های متحرک، امکان استفاده از سوخت‌های فسیلی و پاک و غیره اشاره نمود.

معایب پیل‌های سوختی عبارتند از:

- به مواد بیشتر و فرآیندهای سریع‌تری نسبت به دیگر پیل‌ها نیاز دارد.
- ممکن است در مدت طولانی کار، گرما مشکلاتی چون ناسازگاری عناصر و افت انرژی را موجب شود.
- در صورت استفاده از سوخت ناخالص، کار و گرمای بیش از حد موجب رسوب کربن و در نهایت مسمومیت پیل می‌گردد.

استفاده از این سامانه در ساختمان‌های مسکونی، تجاری، ادارات و تأسیسات صنعتی و نیز محیط‌های عمومی مثل رستوران‌ها، سوپرمارکت‌ها، دانشگاه‌ها و بیمارستان‌ها از جمله زمینه‌های کاربرد این نوع فناوری تولید پراکنده می‌باشد. کاربردهای تولید پراکنده شامل سیستم‌های تولید همزمان بر پایه‌ی پیل سوختی جهت استفاده در بخش تجاری و صنعتی با ظرفیت‌هایی در محدوده‌ی ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلووات و سامانه‌های تولید همزمان مسکونی و تجاری در محدوده ۳ تا ۱۰ کیلووات می‌باشد. این نوع سامانه‌ها به دلیل بازدهی بالا در شرایط مختلف بارگذاری و آلودگی کم مورد توجه قرار گرفته‌اند.

موتورهای استرلینگ

موتور استرلینگ اولین بار توسط روبرت استرلینگ^{۲۱} در سال ۱۸۱۶ ثبت اختراع شد. کاربرد اولیه این محرکه، پمپاژ آب برای بهره‌برداری از معادن بود. این نوع موتورها گزینه‌ای در کنار محرکه‌های بخاری برای پمپ‌های آب به شمار می‌رفتند. در حال حاضر شرکت‌های متعددی در سطح دنیا این نوع محرکه را تولید می‌نمایند اما این فناوری هنوز از نظر تجاری موفقیت چشم‌گیری را در کاربردهای تولید پراکنده و تولید همزمان کسب ننموده است.

در عمل، میزان بازدهی موتورهای استرلینگ در حدود بازدهی میکروتوربین‌ها و مقداری کم‌تر از موتورهای رفت و برگشتی می‌باشد. از طریق بازیافت انرژی گرمایی سامانه خنک‌کن موتور و سیستم روغنکاری و نیز گازهای داغ خروجی می‌توان به میزان بازدهی کلی در حدود ۸۰ درصد دست یافت. این میزان بازدهی، موتورهای استرلینگ را برای کاربردهای تولید همزمان در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و نیز صنایع کوچک موجه می‌نماید. در حال حاضر این نوع موتورها در محدوده ظرفیت ۱ تا ۵۵ کیلووات در حال توسعه می‌باشند. ظرفیت‌های پایین‌تر در محدوده فوق برای کاربردهای مسکونی و ظرفیت‌های بالاتر برای مراکز تجاری کوچک مناسب می‌باشند.

موتور استرلینگ از یک محفظه احتراق مجزا استفاده می‌نماید که با طراحی مناسب آن می‌توان میزان تولید آلاینده را کاهش داده و نیز می‌توان از سوخت‌های مختلفی مثل گاز طبیعی، پروپان، نفت، زیست توده و سایر سوخت‌های اتلافی هم استفاده نمود. به علاوه، موتورهای استرلینگ می‌توانند از هرگونه منبع گرمای اتلافی نیز استفاده نمایند.

موتورهای استرلینگ بر اساس سرد و گرم شدن یک گاز واسطه کار می‌کنند. گرما در دمای ثابت در یک سمت سیلندر (سمت گرم) تامین گشته و این گرما در دمای ثابت در سمت دیگر سیلندر (سمت خنک) دفع می‌گردد. گاز واسطه بر اثر انبساط به

²⁰ William Grove

²¹ Robert Stirling

پیستون فشار آورده و در نتیجه حرکت پیستون کار ایجاد می گردد. گاز واسطه توسط یک پیستون جابجا کننده بین دو محفظه گرم و سرد جابجا می گردد. معمولاً گاز واسطه در محفظه سرد متراکم و برای تولید کار در محفظه گرم منبسط می گردد. جهت افزایش بازدهی تبدیلی انرژی یک ری ژنراتور^{۲۲} بین دو محفظه سرد و گرم بکار گرفته می شود. معمولاً در موتورهای استرلینگ حدود 30 درصد گرمای ورودی به برق تبدیل شده و 70 درصد مابقی از طریق سامانه خنک کن و گازهای خروجی دفع می گردد. این مقدار گرما پتانسیل خوبی برای گرمایش آب و یا سایر نیازهای گرمایشی دمای پایین می باشد. چون موتورهای استرلینگ با سیال خنک می شوند، بنابراین بازیافت گرما برای کاربردهای تولید همزمان آسان بوده و از طریق مبدل های حرارتی سیال به سیال امکان پذیر می باشد [5].

تجهیزات الکتریکی

تجهیزات الکتریکی برای سیستم های تولید همزمان شامل ژنراتورها^{۲۳}، ترانسفورمرها^{۲۴}، تجهیزات سوئیچینگ^{۲۵}، مدار شکن ها^{۲۶}، رله ها^{۲۷}، کنترل ها، خطوط انتقال و دیگر تجهیزات وابسته می باشد. علاوه بر تجهیزاتی که در تولید توان الکتریکی مورد نیاز است، سیستم های تولید همزمان ممکن است نیاز به تجهیزاتی برای اتصال به سیستم شبکه داشته باشد تا برای بهره برداری اضطراری و نیز فروش برق به شبکه مورد استفاده قرار بگیرد. در این قسمت به طور خلاصه به تشریح برخی از ویژگی های مربوط به ژنراتورهای الکتریکی پرداخته خواهد شد. ژنراتور الکتریکی وسیله ای است که انرژی مکانیکی چرخنده از یک محرک اولیه را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. اصول اساسی در این فرآیند را به نام اثر فارادی^{۲۸} می شناسند که عبارت است از اینکه با حرکت یک جسم هادی برق مثل یک سیم درون یک میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در درون سیم ایجاد می شود. این عمل را به شکل های گوناگون می توان محقق کرد و در نتیجه چندین نوع ژنراتور الکتریکی وجود دارد. فرکانس خروجی ژنراتور بستگی به سرعت چرخشی مجموعه دارد. یک مشخصه مهم ژنراتور این است که آن ها احتیاج به یک میدان مغناطیسی برای عملکرد خود دارند. بسته به منبع انرژی برای این میدان مغناطیسی دو نوع ژنراتور وجود دارد. اگر ژنراتور به یک منبع الکتریکی متصل باشد و از آن برای میدان مغناطیسی استفاده کند، آن را ژنراتور آسنکرون^{۲۹} می نامند. در این حالت ژنراتور بالاتر از سرعت سنکرون کار کرده و اگر جریان خارجی (معمولاً برق شبکه) وجود نداشته باشد، نمی تواند عمل کند. این نوع ژنراتور کم تر بکار برده می شود و نمی توان از آن به عنوان مولد برق اضطراری استفاده کرد. اگر میدان مغناطیسی با استفاده از یک آلترناتور^{۳۰} کوچک از خود سیستم نیرو بگیرد، ژنراتور را سنکرون^{۳۱} می نامند و با سرعت

²² Regenerator

²³ Electric Generator

²⁴ Transformer

²⁵ Switching Equipment

²⁶ Circuit breaker

²⁷ Relay

²⁸ Faraday effect

²⁹ asynchronous generator

³⁰ Alternator

³¹ Synchronous Generator

سنکرون کار می کند. ژنراتورهای سنکرون می توانند مستقل از شبکه برق خارجی نیز عمل کنند یا به عبارت دیگر در زمان قطع برق شبکه به کار خود ادامه دهد. در سیستم های تولید همزمان هر دو نوع ژنراتور سنکرون و آسنکرون بکار برده می شود.

غالباً تولید کنندگان محرک اولیه، ژنراتور و محرک اولیه را به صورت یکجا و در یک مجموعه ارائه می کنند. خصوصیات عملکرد ژنراتورها شامل قدرت، راندمان ولتاژ، ضریب قدرت و مقدار جریان می باشد. در هنگام انتخاب ژنراتور مناسب برای یک کاربرد مشخص بایستی هر یک از این خصوصیات عملکرد در نظر گرفته شوند. ژنراتور های الکتریکی ممکن است راندمان های تبدیل بین 50 تا 98 درصد داشته باشند.

با افزایش اندازه و قدرت ژنراتور، مقدار راندمان ژنراتور نیز افزایش می یابد. فقط بزرگترین ژنراتورهای الکتریکی می توانند راندمان 98 درصد را داشته باشند. در بسیاری از حالات، سیستم تولید همزمان احتیاج به آن دارد که به برق شبکه متصل شود. اگرچه یک سیستم تولید همزمان می تواند از برق شبکه مجزا باشد، ولی دلایل متعددی در مورد اتصال سیستم به برق شبکه، وجود دارد. اتصال به شبکه از جهت دریافت قدرت برق اضطراری لازم است. همچنین اگر از مولد همزمان برای فروش توان مازاد استفاده می شود باز هم اتصال به شبکه مورد نیاز است. تجهیزات اتصال شامل رله ها، قطع کننده های مدار، فیوزها، سوئیچ ها، ترانسفورمرها، سنکرونیزرها^{۳۲} (سنکرون کننده ها) و کنتورها می باشد. عمده ی تجهیزات و طراحی مخصوص برای اتصال، اجباراً توسط سیستم شبکه و به دلایل ایمنی و هماهنگی کنندگی مشخص می شوند. سیستم شبکه مسئولیت های خاصی در قبال یکپارچگی شبکه برق و نگهداشتن کیفیت قدرت برق دارد.

تجهیزات بازیابی حرارت

تجهیزات بازیابی حرارت اولیه که در سیستم های تولید همزمان مورد استفاده قرار می گیرند، انواع تجهیزات تولید کننده بخار و آب گرم را شامل می شود. چندین نوع از تجهیزات بازیابی حرارت وجود دارد. این تجهیزات را می توان به نام تجهیزات تولید بخار از حرارت بازیابی شده نامید. مولدهای بخار بازیاب^{۳۳} غالباً به چند دسته تقسیم می شوند:

(1) بدون احتراق^{۳۴}

(2) احتراق جزئی^{۳۵}

(3) احتراق کامل^{۳۶}

یک سیستم مولد بخار بازیاب بدون احتراق همانند یک مبدل حرارتی کنوکسیون^{۳۷} می باشد.

سیستم مولد بخار بازیاب با احتراق جزئی از یک کانال احتراق تشکیل شده که غالباً برای افزایش درجه حرارت گاز خروجی از یک مشعل گاز در بالادست مولد استفاده می شود.

سیستم مولد بخار بازیاب با احتراق کامل، اساساً یک بویلر است که در آن از گاز خروجی از محرک اولیه به عنوان هوای پیش گرم استفاده می کنند.

در سیستم های تولید همزمان جهت بازیابی حرارتی و تولید بخار، از مولد بازیاب استفاده می شود. این مولدها که نوعی بازیاب

³² Synchronizers

³³ Heat recovery steam generation(HRSG)

³⁴ Unfired

³⁵ Partially fired

³⁶ Fully fired

³⁷ Convection

کننده انرژی حرارتی هستند، انرژی حرارتی گازهای داغ خروجی از محرک اولیه (توربین گاز، موتور احتراق داخلی و یا سایر محرک های اولیه) را به آب داغ، بخار اشباع یا فوق گرم تبدیل می کنند.

سیستم های کنترل و مانیتورینگ^{۳۸}

کنترل روند روشن و خاموش شدن سیستم تولید همزمان، بنا بر برنامه قبلی و یا در حالت های اضطراری و نیز نظارت بر شرایط مکانیکی و الکتریکی آن در مدت عملکرد عادی بر عهده ی واحد کنترل سیستم است که از یک بُرد الکترونیکی تا ریزپردازنده های^{۳۹} پیشرفته با امکان کنترل از راه دور به صورت آنلاین تنوع دارند.

سیستم کنترل به تولید همزمان امکان می دهد تا به شکل خودکار پاسخگوی نیاز سایت باشد و در عین حال مواردی همچون راندمان بالا، کیفیت خوب توان خروجی الکتریکی و حرارتی و شرایط بهینه برای حداقل آلاینده را حفظ کند. در اغلب موارد با توجه به شرایط سیستم، لازم است پیش از به راه افتادن آن بخش هایی مانند سیستم روغنکاری و خنک کن شروع بکار کنند و یا در هنگام خاموش شدن دستگاه، واحد خنک کن همچنان کار کرده و از شوک و تنش های حرارتی و اعوجاج ناشی از آن پیشگیری نماید. از طرفی با نظارت می توان در مواقع اضطراری که یک یا چند پارامتر سیستم، خارج از محدوده تنظیم اولیه شوند، سیستم را توسط واحد کنترل به طور مطمئن و بی خطر از ادامه ی کار بازداشته و از صدمات بیش تر و پیش آمدن خطر جلوگیری نمود.

در سیستم های پیشرفته می توان شرایط سیستم را از طریق مودم همواره در اختیار داشت که علاوه بر نظارت، امکان مطالعه نحوه ی عملکرد و زمان آن را فراهم می آورد که این اطلاعات جهت برنامه ریزی برای تعمیر و ضروری سیستم مفید و کارآمد می باشد.

وظیفه ی دیگر واحد کنترل، پیروی از برنامه زمانبندی شده ای است که مطابق با نیاز عمومی سایت و نیز تعرفه های برق و سوخت منطقه، زمان کار سیستم تولید همزمان را طی 24 ساعت و یا در طول سال تعیین می کند [9].

سیستم تولید سرمایه

سیستم های رایج تولید سرمایه عبارتند از:

- 1) سرمایه توسط سیستم های تبرید تراکمی
- 2) سرمایه توسط سیستم های تبرید جذبی

سرمایش توسط سیستم های تبرید تراکمی

این سیستم فضای تبرید شده را با جذب گرما از آن در دمای پایین نگه می دارد. با توجه به اینکه گرما در جهت کاهش دما جریان می یابد، یعنی از ناحیه دما بالا به ناحیه دما پایین، در طبیعت، این فرآیند بدون احتیاج به وسیله ای روی می دهد. اما انتقال گرما از ناحیه دما پایین به ناحیه دما بالا نیازمند وسیله خاصی به نام یخچال است. سیال عاملی سیکل تبرید مبرد نام دارد.

استفاده از تبرید تراکمی به سال 1834 بر می گردد، یعنی زمانی که ژاکوب پرکینز^{۴۰} انگلیسی اختراع خود را که ماشین یخ ساز با سیکل بسته بود و از اتر یا سایر سیالات فرار به عنوان مبرد استفاده می کرد، به ثبت رساند. در سال 1850 الکساندر توئینگ شروع به طراحی و ساخت ماشین های یخ ساز با سیکل تراکمی کرد، که در آنها از اتیل اتر به عنوان مبرد استفاده می شد. در ابتدا سیستم های تبرید تراکمی بزرگ بودند و عمدتاً برای یخ سازی و نوشابه سازی در سردخانه ها بکار می رفتند و فاقد کنترل اتوماتیک بودند. در دهه 1980 انواعی که مجهز به کنترل اتوماتیک بودند جایگزین وسایل قدیمی گردیدند.

³⁸ Control Panel and Monitoring

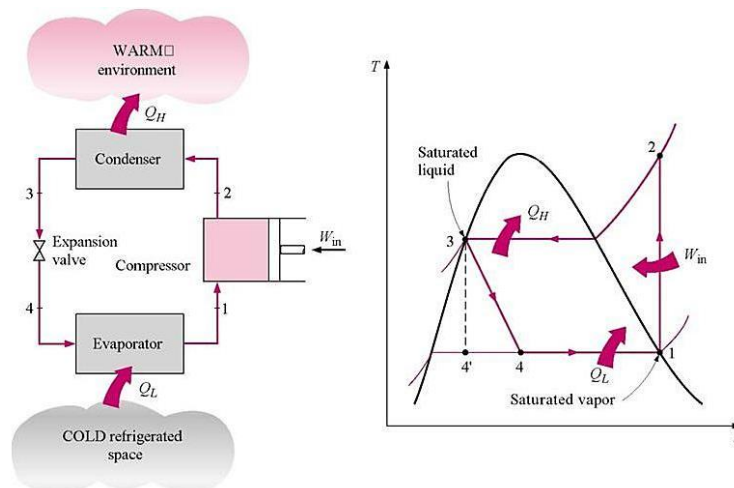
³⁹ Microprocessor

⁴⁰ Jacob Perkins

تاسال ۱۹۳۰ ادامه تغییرات باعث شد سیستم های تبرید نسبتاً کارآمد، مطمئن، کوچک و ارزان تولید شوند. از مهمترین سیکل های سرمایش، سیکل سرمایش تراکمی بخار که در سطوح وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد، سیکل کارنو برگشت پذیر کلی است و شامل دو فرآیند دما ثابت برگشت پذیر و فرآیند آنتروپی ثابت می باشد. بازده گرمایی آن برای حدود دمای مشخص، مقدار ماکزیمم دارد به عنوان استاندارد عمل می کند که بازده سیکل های قدرت واقعی را می توان با آن مقایسه کرد. چون سیکل کارنو یک سیکل برگشت پذیر است، تمام چهار فرآیند تشکیل دهنده آن را می توان معکوس کرد. معکوس کردن سیکل باعث معکوس شدن جهت برهم کنش های کار و گرما می شود. در نتیجه سیکلی بدست می آید که در جهت پاد ساعت گرد کار می کند و به آن سیکل کارنوی معکوس می گویند. یخچال یا پمپ گرمایی را که بر مبنای سیکل کارنوی معکوس کار می کند، یخچال کارنو یا پمپ گرمایی کارنو می گویند. جایگزینی توربین توسط یک وسیله فشار شکن مانند شیر انبساط یا لوله موئین، برای تبخیر کامل مبرد قبل از تراکم آن، می تواند بسیاری از مشکلات عملی مربوط به سیکل کارنوی معکوس را حل کند. سیکل حاصل را سیکل تبرید تراکمی ایده آل می گویند و شماتیک آن در نمودار T-S شکل ۱-۵، نشان داده شده است.

سیکل تبرید تراکمی متداول ترین سیکلی است که در یخچال ها، سیستم های تهویه مطبوع و پمپ گرما به کار می رود. این سیکل از چهار فرآیند تشکیل شده است.

فرآیند ۱-۲ تراکم آنتروپی ثابت در کمپرسور، فرآیند ۲-۳ دفع گرما با فشار ثابت در کندانسور، فرآیند ۳-۴ فشار شکنی در وسیله انبساط و فرآیند ۴-۱ جذب گرما با فشار ثابت در اواپراتور.



شماتیک سیکل تبرید تراکمی ایده آل و دیاگرام T-S مربوط به آن

در سیکل تبرید تراکمی ایده آل در حالت ۱، به صورت بخار اشباع وارد کمپرسور می شود و به صورت آنتروپی ثابت تا فشار کندانسور متراکم می شود. مبرد سپس در حالت ۲، به صورت بخار فوق گرم وارد کندانسور می شود و بر اثر دفع گرما به اطراف، در حالت ۳ به صورت مایع اشباع از کندانسور خارج می شود. دمای مبرد در این حالت هنوز بیشتر از دمای اطراف است.

مبرد مایع در حالت ۳، با عبور از شیر انبساط یا لوله موئین تا فشار اواپراتور دست خوش فشار شکنی می شود. دمای مبرد در این فرآیند به کمتر از دمای محیط سرد شده می رسد. مبرد در حالت ۴، به صورت مخلوط اشباع با کیفیت کم وارد اواپراتور می شود و با جذب گرما از محیط تبرید شده، کاملاً تبخیر می گردد. مبرد به صورت بخار اشباع از اواپراتور خارج و دوباره وارد کمپرسور شده و سیکل تکمیل می شود [۵].

سرمایش توسط سیستم تبرید جذبی

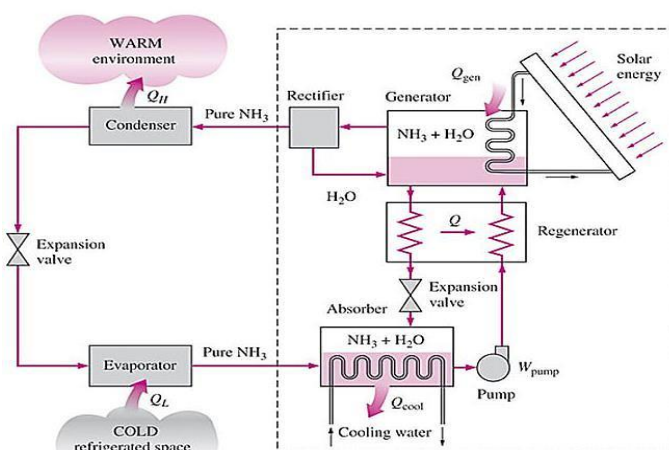
در سیستم های تبرید جذبی همان طور که از نام آن ها بر می آید، با جذب مبرد توسط یک محیط انتقال سروکار داریم. این

سیستم شبیه سیستم تبرید تراکمی است با این تفاوت که به جای کمپرسور از یک مکانیزم جذبی و پیچیده شامل پمپ، مولد، بازایاب، شیر و یکسوکننده استفاده می‌شود [6].

ماشین آمونیاک-آب توسط فردیناند کاری^{۴۱} فرانسوی در سال ۱۸۵۹ میلادی اختراع شد. در عرض چند سال ماشین‌هایی بر مبنای این اصل در ایالات متحده ساخته شدند، که عمدتاً در یخ سازی و نگهداری مواد غذایی بکار می‌رفتند. تبرید جذبی شکل دیگری از تبرید است که از نظر اقتصادی قابل توجه می باشد. انرژی ژئوترمال، انرژی خورشیدی، گرمای دفع شده از نیروگاه های همزایی یا بخاری و حتی گاز طبیعی وقتی با قیمت نسبتاً پایین در دسترس است، از جمله منابع انرژی گرمایی ارزان محسوب می گردند. متداول ترین سیستم تبرید جذبی سیستم آمونیاک آب است، که در آن آمونیاک به عنوان مبرد و آب به عنوان جاذب عمل می کند. سیستم های تبرید جذبی دیگری وجود دارند که با سیستم های آب- لیتیوم بروماید و آب- لیتیوم کلراید به عنوان جاذب و با آب به عنوان مبرد کار می کنند. تفاوت اساسی بین سیکل تبرید تراکمی و تبرید جذبی در نیرو محرکه ای است که مبرد را در سیستم به گردش در می آورد [5].

اجزای اصلی سیستم های جذبی عبارتند از: ابزوربر (جاذب)، ژنراتور، کندانسور و اواپراتور.

سیستم های تهویه مطبوعی را که بر مبنای تبرید جذبی کار می کنند، چیلر جذبی می گویند. برای درک اصول بنیادی تبرید جذبی سیستم آب و آمونیاک را که در شکل ۱-۶ نشان داده شده است، بررسی می کنیم. باتوجه به شکل، این سیستم خیلی شبیه به سیستم تراکمی آب است، با این تفاوت که به جای کمپرسور از یک مکانیزم جذبی و پیچیده شامل پمپ، مولد، بازایاب، شیر و یکسوکننده استفاده می شود. پس از افزایش فشار آمونیاک توسط اجزای نشان داده شده در محدوده خط چین، آمونیاک در کندانسور بادفع گرما به اطراف، خنک و چگالیده می شود و تا فشار اواپراتور منبسط شده و هنگام عبور از اواپراتور از فضای تبرید شده گرما می گیرد. بخار آمونیاک از اواپراتور خارج شده و وارد جاذب می شود. در آن جا در آب حل شده و با آب واکنش می دهد و آب و آمونیاک تشکیل می شود که این واکنش گرمازا می باشد. محلول آب و آمونیاک که سرشار از آمونیاک است، به مولد پمپ می شود. با انتقال گرما از یک منبع به محلول، قسمتی از آن تبخیر می شود. بخار که سرشار از آمونیاک است از یکسوکننده عبور کرده و در آن جا آب گرفته شده به مولد باز می گردد. بخار آمونیاک خالص پرفشار به حرکت خود تا انتهای سیکل ادامه می دهد. محلول داغ آب و آمونیاک که آمونیاک کمی دارد، از بازایاب عبور کرده و در آنجا مقداری از گرمای خود را به محلول سرشار از آمونیاک که از پمپ خارج می شود می دهد و تا فشار جاذب منبسط می گردد.



سیستم تبرید جذبی آب- آمونیاک [6]

نوع دیگری از چیلرهای جذبی، چیلرها با مبرد آب و ماده جاذب لیتیوم بروماید است. چیلرهای جذبی با مبرد آب وجاذب لیتیم

⁴¹ Ferdinand Carre

بروماید، رایج ترین نوع چیلرهای جذبی هستند که در انواع مختلف هم از نظر چرخه تغلیظ و هم از لحاظ منبع گرمایی در تاسیسات تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می گیرند. این چیلرها بنابرخواص فیزیکی و شیمیایی مبرد(آب) امکان سردسازی زیر صفر درجه سانتی گراد را ندارند و به همین دلیل برای سرمایش آب تا ۵ درجه سانتی گراد و بیشتر به کار گرفته می شوند. برای رسیدن به دماهای پایین تر از صفر درجه سانتی گراد می بایست از چیلرهای جذبی با مبرد آمونیاک و جاذب آب استفاده نمود[5].

یکی از اختلافات اساسی بین چرخه جذبی سیستم های لیتیومی نسبت به چرخه سیستم های آمونیاکی، مربوط به کارکرد آب است. در سیستم های لیتیومی آب نقش مبرد را بازی می کند و این در حالی است که در سیستم های آمونیاکی، آب به عنوان جاذب مورد استفاده قرار می گیرد. همین موضوع ممکن است موجب برخی از سردرگمی ها در رابطه با به کارگیری اصطلاحاتی همچون غلیظ و رقیق شود. زیرا به طور کلی عادت کرده ایم که محلولی آب دار رقیق و محلولی بدون آب را غلیظ بدانیم. به عنوان مثال وقتی که آب به عنوان مبرد، جذب لیتیم بروماید می شود، می توان گفت که محلول لیتیم بروماید با عنوان ماده جاذب رقیق شده است، که این رقیق شدن توأم با کاهش توان جذب ماده جاذب یا همان لیتیم بروماید است. از سوی دیگر هنگامی که در ژنراتور، لیتیم بروماید در مجاورت حرارت، آب خود را ازدست می دهد، می توان گفت که محلول جاذب غلیظ شده است. چنانچه غلیظ یا رقیق بودن را منتسب به محلول جاذب بدانیم نمیتوانیم از همین عبارت به طور دقیق در سیستم های آمونیاکی استفاده کنیم، زیرا در این گونه سیستم ها، آب نقش جاذب را بازی می کند و با جذب آمونیاک، محلولی را به وجود می آورد که بخشی از آن آمونیاک است. بنابراین در واحد حجم یا وزن از مقدار آب کاسته و به این ترتیب برمبنای محوریت ماده جاذب بهتر است در سیستم های آمونیاکی به جای استفاده از ماده های غلیظ و رقیق از واژه های قوی و ضعیف استفاده کنیم. بنابراین محلول جاذب ضعیف، محلولی است که ظرفیت کمی برای جذب مبرد داشته باشد و بر عکس محلول جاذب قوی، محلولی است که ظرفیت جذب ماده مبرد آن بالاست.

ذخیره سازی انرژی

مخزن ذخیره ساز انرژی^{۴۲} یکی از فناوری های کلیدی برای محافظت و صرفه جویی انرژی می باشد. از فواید مهم مخزن ذخیره ساز انرژی می توان به مناسب بودن آن برای کاربردهای سرمایش و گرمایش اشاره کرد مخزن ذخیره ساز انرژی میتواند نقش بسیار مهمی برای پاسخگویی به نیاز جوامع برای انرژی تمیز و سازگار با محیط باشد. نگهداری انرژی گرمایی یک بخش کلیدی بسیاری از سیستم های گرمایی موفق می باشد. به طور کلی دو نوع سیستم ذخیره انرژی وجود دارد: 1- محسوس 2- نهان [7].

در ذخیره سازی انرژی محسوس، انرژی حرارتی با افزایش دمای جسم جامد یا مایع ذخیره می شود. میزان انرژی محسوس ذخیره شده در جسم تابعی از دما، ظرفیت گرمایی ویژه و مقدار جسم می باشد، اما انرژی ذخیره شده به روش نهان که با ماده تغییر فاز دهنده^{۴۳} همراه است، به دلیل چگالی بالای ذخیره انرژی گرمایی از اهمیت بیش تری برخوردار است. این مواد انرژی را به صورت گرمای نهان ذوب ذخیره می کنند و انرژی را تقریباً در همان دمایی که جذب می کنند، آزاد می کنند[8]. نگهداری انرژی گرمایی از طریق خنک کردن، گرم کردن، ذوب کردن، انجماد و یا تبخیر یک ماده، با ذخیره سازی انرژی در ارتباط است. انرژی به شکل گرما و یا سرما وقتی که فرایند برعکس می شود، قابل استحصال است. در مورد ماده ذخیره ساز، بسته به نوع استفاده و دامنه دمای، دامنه ی زیادی از انتخاب ها وجود دارد. برای ذخیره سازی گرمای محسوس، آب یک انتخاب عمومی است. زیرا در میان خصوصیات مثبت آن، این سیال در دمای محیط یکی از بالاترین ظرفیت های حرارتی را دارا می باشد. اگرچه گرمای ویژه آب به بزرگی بسیاری از جامدات نیست اما آب از خاصیت سیال بودن برخوردار است بنابراین می تواند به آسانی پمپ شود و انرژی را منتقل کند. علاوه بر آن آب امکان انتقال حرارت با سرعت مناسب را فراهم می کند

⁴² Thermal Energy Storage (TES)

⁴³ Phase change material (PCM)

[7].

یک فرایند کامل ذخیره سازی حداقل شامل سه مرحله ی شارژ کردن، ذخیره سازی و تخلیه کردن می باشد. ذخیره انرژی گرمایی استفاده های زیادی دارد که عمده ی آن در ارتباط با استفاده های سرمایشی یا گرمایشی است. نگهداری انرژی گرمایی یک ارتباط بین منبع گرمایی و استفاده کننده آن ایجاد می کند [7].

مقایسه ی فناوری های مختلف سیستم های تولید همزمان

در بخش های قبل ویژگی های هر یک از فناوری های تولید همزمان مورد بحث قرار گرفت. در این قسمت مزایا و معایب فناوری های مذکور به صورت خلاصه در جدول 1-1 ارائه شده است [1]. همچنین به منظور مقایسه انواع محرکه های اولیه مورد استفاده در کاربردهای تولید همزمان، فناوری های مختلف تجاری شده از دیدگاه های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته اند که نتایج آن در جدول 1-2 ارائه شده است [9].

مزایا و معایب فناوری های مختلف سیستم های تولید همزمان

نوع فناوری	مزایا	معایب	ظرفیت
موتورهای رفت و برگشتی نوع جرقه ای (SI) نوع تراکمی (CI)	- بازدهی بالا همراه با قابلیت بهره برداری در بار جزئی - راه اندازی سریع - سرمایه گذاری نسبتاً کم - امکان اجرای تعمیرات اساسی با استفاده از کارکنان محلی - امکان بهره برداری از سوخت گاز با فشار کم	- هزینه تعمیرات زیاد - کاربردهای CHP محدود به دمای کم - آلایندهی نسبتاً زیاد هوا - نیاز به خنک سازی - نویزهای فرکانس پایین به میزان زیاد	کم تر از 5 مگاوات ----- با سرعت زیاد : کم تر از 4 مگاوات با سرعت کم : بین 4 تا 75 مگاوات
توربین گاز	- قابلیت اطمینان بالا - آلایندهی کم - گرمای قابل دسترس با کیفیت بالا - عدم نیاز به خنک سازی	- نیاز به سوخت گاز با فشار قوی و یا تعبیه کمپرسور گاز در محل - بازدهی کم در بار پایین - کاهش بازدهی در صورت افزایش دمای محیط	500 کیلووات تا 250 مگاوات
توربین بخار	- قابلیت اطمینان بالا - بازدهی کلی بالا - استفاده از انواع سوخت - قابلیت تأمین نیازهای گرمایی با کیفیت های متفاوت - طول عمر زیاد - قابلیت تغییر نسبت تولید برق به گرما	- راه اندازی کند - کم بودن نسبت تولید برق به گرما	50 کیلووات الی 250 مگاوات
میکرو توربین	- قسمت های متحرک کم - ابعاد کوچک و وزن سبک - آلایندهی کم - عدم نیاز به خنک سازی	- هزینه بالا - بازدهی مکانیکی نسبتاً کم - کاربردهای CHP محدود به دمای کم	30 تا 250 کیلووات

پیل سوختی	-آلایندگی کم -سروصدای کم -بازدهی بالا در بارهای مختلف	-هزینه بالا -چگالی توان پایین -نیاز به فرآوری سوخت	5 کیلووات تا 2 مگاوات
-----------	---	--	-----------------------

مقایسه ویژگی های فناوری های مختلف سیستم های تولید همزمان

فناوری	موتور رفت و برگشتی	توربین بخار	توربین گاز	میکروتوربین	پیل سوختی
بازدهی الکتریکی (HHV)	27 تا 41 %	5 تا 40 %	24 تا 36 %	22 تا 28 %	30 تا 63 %
بازدهی کلی (HHV)	77 تا 80 %	نزدیک به 80 %	66 تا 71 %	63 تا 70 %	55 تا 80 %
نسبت تولید برق به گرما	0/5 تا 1/2	0/07 تا 0/1	0/6 تا 1/1	0/5 تا 0/7	1 تا 2
بهره برداری در بار جزئی	می تواند	می تواند	ضعیف	می تواند	خوب
هزینه نصب (دلار بر کیلووات)	1500 تا 2900	670 تا 1100	1200 تا 3300 (5 تا 40 مگاوات)	2500 تا 4300	5000 تا 6500
هزینه تعمیر و نگهداری (دلار بر کیلووات)	0/009 تا 0/025	0/006 تا 0/01	0/009 تا 0/013	0/009 تا 0/013	0/032 تا 0/038
قابلیت دسترسی	96 تا 98 %	72 تا 99 %	93 تا 96 %	98 تا 99 %	بیش تر از 95 %
ساعات بهره برداری تا تعمیرات اساسی	30000 تا 60000	بیش تر از 50000	25000 تا 50000	40000 تا 80000	32000 تا 64000
زمان راه اندازی	10 ثانیه	1 ساعت تا 1 روز	10 دقیقه تا 1 ساعت	60 ثانیه	3 ساعت تا 2 روز
فشار سوخت (psig)	1 تا 75	-	100 تا 500	50 تا 140	0/5 تا 45
انواع سوخت	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان، گازوئیل، گاز زباله	تمامی سوخت ها	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان، گازوئیل	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان، گازوئیل	گاز طبیعی، هیدروژن، پروپان، متانول
سروصدا	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	کم
کاربردهای گرمای خروجی	آب گرم، بخار فشار پایین	بخار فشار پایین و بالا	گرمایش فرآیند، آب گرم، بخار فشار پایین و بالا	گرمایش فرآیند، آب گرم، بخار فشار پایین	آب گرم، بخار فشار پایین و بالا
دانسیته توان (کیلووات بر مترمربع)	35 تا 50	بیش تر از 100	20 تا 500	5 تا 70	5 تا 20
میزان تولید NO_x (پوند بر میلیون بی تی یو) (بدون کاتالیست محدود کننده SCR)	0/013 احتراق غنی (با کاتالیست TWC)	0/1 تا 0/2 (سوخت گاز)	0/036 تا 0/05	0/036 تا 0/15	0/0025 تا 0/0040

				0/17 احتراق رقیق	
0/011 تا 0/016	0/14 تا 0/49	0/52 تا 1/31	0/4 تا 0/8 (سوخت گاز)	0/06 احتراق غنی (با کاتالیزست (TWC 0/8 احتراق رقیق	میزان تولید NO_x (پوند بر مگاوات ساعت کلی خروجی)

دنباله روی بار

یک سیستم Micro-CHP می تواند با چند استراتژی بکار گرفته شود. استراتژی دنباله روی بار الکتریکی با حرارتی، استراتژی تولید بار الکتریکی با حرارتی ثابت و استراتژی پیک بار نمونه هایی از سناریوهای عملکرد سیستم های Micro-CHP است که در این نسبت به شرح آن ها می پردازیم.

دنباله روی بار الکتریکی

وقتی یک سیستم بر اساس دنباله روی بار الکتریکی کار می کند، توان الکتریکی تولید شده از مولد برق دائما مطابق با بار الکتریکی مورد نیاز ساختمان تنظیم می شود. با توجه به دقت مورد نیاز در مدل، زمان تناوب برای هر تنظیم می تواند به اندازه چند ثانیه کوچک یا به اندازه چند ساعت بزرگ باشد. در کل، در تناوب دو ماه مختلف متوسط مصرف بار الکتریکی تغییر قابل توجهی ندارد. دو روش برای دنبال کردن بار الکتریکی، استفاده از محرکه سرعت متغیر یا تنظیم پیوسته دریچه گاز است که میزان سوخت ورودی را تنظیم می کنند. مشکل اصلی در استراتژی دنباله بار الکتریکی روی سیستم این که ممکن است در مقدار توان الکتریکی مورد نیاز، نرخ بازیافت گرمای تلف شده از آگزوز و خنک کن محرکه برای نیازهای گرمایش و سرمایشی ساختمان کافی نباشد. در حالتی که سیستم گرمای بازیابی کافی تولید نمی کنند، یک بویلر کمکی برای تامین نیازهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان مورد نیاز است.

دنباله روی بار حرارتی

وقتی یک سیستم بر اساس دنباله روی بار حرارتی کار می کند، مقدار گرمای بازیافتی از محرکه برای نیازهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان کافی است. مشکل سیستم در حالت دنبال روی بار حرارتی این است که ممکن است مقدار برق اضافی تولید شود که این مقدار اضافی می تواند یا به شبکه مصادر و یا اینکه در باتری ذخیره شود.

تولید توان الکتریکی ثابت

یک سیستم همچنین می تواند طوری کار کند که محرکه توان الکتریکی ثابت تولید کند. در سیستمی که بر این اساس کار می کند، سرعت موتور، دبی سوخت و توان الکتریکی خروجی سیستم همگی ثابت هستند. مقدار گرمای تلف شده نیز ثابت می ماند. هدف راه اندازی سیستم در حالت توان خروجی ثابت، یافتن نقطه کارکرد بهینه به منظور تولید برق کافی و همچنین گرمایش و سرمایش کافی است. با اینکه این روش، مدل سازی و کنترل سیستم را بسیار ساده می کنند ولی برق اضافی تولید می شود و در زمان هایی که بارهای حرارتی کم هستند، گرمای تولیدی محرکه در صورت نبودن تجهیزات ذخیره گرمایی تلف می شود. اگر نمونه های عملی و اقتصادی ذخیره گرما و برق موجود باشند، آنگاه کاربرد این روش امکان پذیر است. بازده انرژی یک موتور عموماً در حالت زیر ۷۵٪ ظرفیت تمام بار شروع به کاهش می کند. بنابراین، برای بیشینه بازده انرژی، محرکه باید طوری تعیین اندازه شود که در بیشینه توان با نزدیک آن کار کنند. برای مصارف خانگی آمریکا، متوسط مقدار ۱۴ kW توان گرمایی برای تهویه مطبوع و گرمایش آب و مقدار ۵ kW برای مصارف بارهای الکتریکی مورد نیاز است.

منابع و مراجع

- [1] پارسا مقدم، محسن، فناوری ها، اصول طراحی و بهره برداری از سامانه های تولید همزمان. سازمان بهره وری انرژی ایران (سایا)، 1391.
- [2] دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو، “ترازنامه انرژی.”
- [3] مقدس تفرشی، سید مسعود، منابع تولید انرژی الکتریکی در قرن بیست و یکم. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، 1384.
- [4] E. Minciuc, O. Le Corre, V. Athanasovici, M. Tazerout, and I. Bitir, “Thermodynamic analysis of tri-generation with absorption chilling machine,” Appl. Therm. Eng., vol. 23, no. 11, pp. 1391–1405, 2003.
- [5] سلطان دوست، محمد رضا، چیلر جذبی. انتشارات یزدا، 1387.
- [6] Y. A. Cengel and M. A. Boles, Thermodynamics: An Engineering Approach 6th Editon (SI Units). The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 2007.
- [7] خراسانی، مهرداد، “طراحی یک واحد آبگرم کن خورشیدی (مخزن ذخیره سازی انرژی (TES) جهت استفاده در سیستم های تهویه مطبوع in “اولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع. ایران، تهران، 1388.
- [8] ب. ب. طلب، بهنام، سالاریان، and ج. الدین، “تحلیل عددی سیستم ذخیره انرژی حرارتی با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده,” مجله فنی مهندسی فناوری های نوین در سیستم های انرژی، vol. 1, no. 2, pp. 38–47, 2015.
- [9] K. Darrow, R. Tidball, J. Wang, and A. Hampson, “Catalog of CHP technologies,” US Environ. Prot. Agency, Washington, DC, pp. 5–6, 2015.
- [10] S. Sanaye and N. Khakpaay, “Simultaneous use of MRM (maximum rectangle method) and optimization methods in determining nominal capacity of gas engines in CCHP (combined cooling, heating and power) systems,” Energy, vol. 72, pp. 145–158, 2014.
- [11] M. Farahnak, M. Farzaneh-Gord, M. Deymi-Dashtebayaz, and F. Dashti, “Optimal sizing of power generation unit capacity in ICE-driven CCHP systems for various residential building sizes,” Appl. Energy, vol. 158, pp. 203–219, 2015.
- [12] S. Khalilarya, F. Mohammadkhani, and M. H. Seyyedvalilu, “A parametric study on exergy and exergoeconomic analysis of a diesel engine based combined heat and power system,” Int. J. Eng., vol. 28, no. 4, pp. 608–617, 2015.
- [13] S. Sanaye, M. M. Ghafurian, and F. T. Dastjerd, “Applying Relative Net Present or Relative Net Future Worth Benefit and exergy efficiency for optimum selection of a natural gas engine based CCHP system for a hotel building,” J. Nat. Gas Sci. Eng., vol. 34, pp. 305–317, 2016.
- [14] M. Maerefat and P. Shafie, “Design of CCHP system for office buildings in Tehran and thermodynamical, environmental and economic evaluation in comparison to conventional system,” Modares Mech. Eng., vol. 14, no. 6, pp. 124–134, 2014.
- [15] ت. دستجردی، غفوریان، م. مصطفی and ش. میم، “ارزیابی نحوه انتخاب ظرفیت موتورگازسوز در بهینه سازی سیستم CCHP با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطالعه موردی: مجتمع ورزشی آبی,” مهندسی مکانیک امیرکبیر (امیرکبیر)، vol. 48, no. 1, pp. 79–92, 2016.
- [16] F. Tavakoli Dastjerd, M. M. Ghafuoryan, and S. Farahat, “Comparison of selection effect environmental optimization and multi-criteria optimizations; energy, economic and environmental in performance of CCHP system,” Modares Mech. Eng., vol. 15, no. 9, pp. 69–77, 2015.
- [17] F. Tavakoli Dastjerd, M. M. Ghafuoryan, and S. E. Shakib, “Tech economical optimization of CCHP system with rely the time value of money, in payback period,” Modares Mech. Eng., vol. 15, no. 5, pp. 254–260, 2015.

- [18] عزیز, "طراحی سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما برای منازل مسکونی در and, ق. زاده, معرفت, عظیمی [18] 2013, vol. 13, no. 2, pp. 109–122, 2013. اقلیم آب و هوایی تهران, "مهندسی مکانیک مدرس (فنی و مهندسی مدرس)
- [19] M. Ebrahimi and A. Keshavarz, "Climate impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building," *Energy Build.*, vol. 54, pp. 283–289, 2012.
- [20] منصوری, علی مراد . خوشخو, رامین حقیقی ., "آنالیز فنی اقتصادی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما بر پایه محرک اولیه موتور گازسوز با استراتژی های مختلف برای مجتمع مسکونی ", in "چهارمین کنفرانس صنعت نیروگاههای حرارتی (گازی, سیکل ترکیبی, بخاری). دانشگاه صنعت آب و برق تهران.
- [21] K. F. Fong and C. K. Lee, "Performance analysis of internal-combustion-engine primed trigeneration systems for use in high-rise office buildings in Hong Kong," *Appl. Energy*, vol. 160, pp. 793–801, 2015.
- [22] D. Haeseldonckx, L. Peeters, L. Helsen, and W. D'haeseleer, "The impact of thermal storage on the operational behaviour of residential CHP facilities and the overall CO2 emissions," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 11, no. 6, pp. 1227–1243, 2007.
- [23] C. Y. Zheng, J. Y. Wu, X. Q. Zhai, and R. Z. Wang, "A novel thermal storage strategy for CCHP system based on energy demands and state of storage tank," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 85, pp. 117–129, 2017.
- [24] S. Qu, F. Ma, X. Ge, and D. Wang, "The contribution of thermal energy storage to the energy efficiency of combined cooling, heating, and power systems," *Procedia Eng.*, vol. 146, pp. 83–88, 2016.
- [25] E. S. Barbieri, F. Melino, and M. Morini, "Influence of the thermal energy storage on the profitability of micro-CHP systems for residential building applications," *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 714–722, 2012.
- [26] S. Magnani, L. Pezzola, and P. Danti, "Design optimization of a heat thermal storage coupled with a micro-CHP for a residential case study," *Energy Procedia*, vol. 101, pp. 830–837, 2016.
- [27] A. Arsalis and A. Alexandrou, "Thermoeconomic modeling and exergy analysis of a decentralized liquefied natural gas-fueled combined-cooling-heating-and-power plant," *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, vol. 21, pp. 209–220, 2014.
- [28] X. Cao, J. Liu, X. Cao, Q. Li, E. Hu, and F. Fan, "Study of the thermal insulation properties of the glass fiber board used for interior building envelope," *Energy Build.*, vol. 107, pp. 49–58, 2015.
- [29] J.-J. Wang, K. Yang, Z.-L. Xu, and C. Fu, "Energy and exergy analyses of an integrated CCHP system with biomass air gasification," *Appl. Energy*, vol. 142, pp. 317–327, 2015.
- [30] D. B. do Espirito Santo and W. L. R. Gallo, "Utilizing primary energy savings and exergy destruction to compare centralized thermal plants and cogeneration/trigeneration systems," *Energy*, vol. 120, pp. 785–795, 2017.
- [31] J. Wang and Y. Yang, "Energy, exergy and environmental analysis of a hybrid combined cooling heating and power system utilizing biomass and solar energy," *Energy Convers. Manag.*, vol. 124, pp. 566–577, 2016.
- [32] X. Q. Kong et al., "Experimental investigation of a micro-combined cooling, heating and power system driven by a gas engine," *Int. J. Refrig.*, vol. 28, no. 7, pp. 977–987, 2005.
- [33] M. Badami, A. Casetti, P. Campanile, and F. Anzioso, "Performance of an innovative 120 kWe natural gas cogeneration system," *Energy*, vol. 32, no. 5, pp. 823–833, 2007.
- [34] H. Ren and W. Gao, "Economic and environmental evaluation of micro CHP systems

- with different operating modes for residential buildings in Japan,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 6, pp. 853–861, 2010.
- [35] J. Y. Wu, J. L. Wang, S. Li, and R. Z. Wang, “Experimental and simulative investigation of a micro-CCHP (micro combined cooling, heating and power) system with thermal management controller,” *Energy*, vol. 68, pp. 444–453, 2014.
- [36] V. Dorer and A. Weber, “Energy and CO₂ emissions performance assessment of residential micro-cogeneration systems with dynamic whole-building simulation programs,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 3, pp. 648–657, 2009.
- [37] E. Entchev et al., “Micro-generation technology assessment for housing technology,” *Energy Build.*, vol. 36, no. 9, pp. 925–931, 2004.
- [38] M. De Paepe, P. D’Herdt, and D. Mertens, “Micro-CHP systems for residential applications,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 18–19, pp. 3435–3446, 2006.
- [39] D. Wu and R. Wang, “Combined cooling, heating and power: A review,” *Prog. energy Combust. Sci.*, vol. 32, no. 5–6, pp. 459–495, 2006.
- [40] A. A. Jalalzadeh-Azar, S. Slayzak, R. Judkoff, T. Schaffhauser, and R. DeBlasio, “Performance Assessment of a Desiccant Cooling System in a CHP Application with an IC Engine,” *Int. J. Distrib. Energy Resour.*, vol. 1, no. NREL/JA-550-36974, 2005.
- [41] D. Perrone, P. Morrone, T. Castiglione, A. Algieri, and S. Bova, “Analysis of a Trigeneration Plant under Transient Operating Conditions,” *Energy Procedia*, vol. 148, pp. 575–582, 2018.
- [42] B. K. Das, Y. M. Al-Abdeli, and G. Kothapalli, “Effect of load following strategies, hardware, and thermal load distribution on stand-alone hybrid CCHP systems,” *Appl. Energy*, vol. 220, pp. 735–753, 2018.
- [43] M. Anatone and V. Panone, “A model for the optimal management of a CCHP plant,” *Energy Procedia*, vol. 81, pp. 399–411, 2015.
- [44] R. Sangi, P. Jahangiri, A. Thamm, and D. Müller, “Dynamic exergy analysis—Modelica®-based tool development: A case study of CHP district heating in Bottrop, Germany,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 4, pp. 231–240, 2017.
- [45] Z. Taie et al., “Detailed thermodynamic investigation of an ICE-driven, natural gas-fueled, 1 kWe micro-CHP generator,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 166, pp. 663–673, 2018.
- [46] G. Rey, C. Ulloa, A. Cacabelos, and B. Barragáns, “Performance analysis, model development and validation with experimental data of an ICE-based micro-CCHP system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 76, pp. 233–244, 2015.
- [47] Q. Gu, H. Ren, W. Gao, and J. Ren, “Integrated assessment of combined cooling heating and power systems under different design and management options for residential buildings in shanghai,” *Energy Build.*, vol. 51, pp. 143–152, 2012.
- [48] J.-J. Wang, Y.-Y. Jing, C.-F. Zhang, and Z. J. Zhai, “Performance comparison of combined cooling heating and power system in different operation modes,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 12, pp. 4621–4631, 2011.
- [49] S. Sanaye and M. R. Ardali, “Estimating the power and number of microturbines in small-scale combined heat and power systems,” *Appl. Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 895–903, 2009.
- [50] F. A. Al-Sulaiman, I. Dincer, and F. Hamdullahpur, “Thermoeconomic optimization of three trigeneration systems using organic Rankine cycles: Part I—Formulations,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 69, pp. 199–208, 2013.
- [51] X. Zhao, L. Fu, F. Li, and H. Liu, “Design and operation of a tri-generation system for a station in China,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 80, pp. 391–397, 2014.

- [52] F. A. Boyaghchi and P. Heidarnajad, "Thermoeconomic assessment and multi objective optimization of a solar micro CCHP based on Organic Rankine Cycle for domestic application," *Energy Convers. Manag.*, vol. 97, pp. 224–234, 2015.
- [53] A. Mostafaeipour, B. Bardel, K. Mohammadi, A. Sedaghat, and Y. Dinpashoh, "Economic evaluation for cooling and ventilation of medicine storage warehouses utilizing wind catchers," *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 38, pp. 12–19, 2014.
- [54] M. Sadeghi, A. Chitsaz, S. M. S. Mahmoudi, and M. A. Rosen, "Thermoeconomic optimization using an evolutionary algorithm of a trigeneration system driven by a solid oxide fuel cell," *Energy*, vol. 89, pp. 191–204, 2015.
- [55] J. Wang, Y. Dai, L. Gao, and S. Ma, "A new combined cooling, heating and power system driven by solar energy," *Renew. Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2780–2788, 2009.
- [56] F. Freschi, L. Giacccone, P. Lazzeroni, and M. Repetto, "Economic and environmental analysis of a trigeneration system for food-industry: A case study," *Appl. Energy*, vol. 107, pp. 157–172, 2013.
- [57] C. Brandoni, M. Renzi, F. Caresana, and F. Polonara, "Simulation of hybrid renewable microgeneration systems for variable electricity prices," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 71, no. 2, pp. 667–676, 2014.
- [58] X. Chen et al., "Multi-criteria assessment and optimization study on 5 kW PEMFC based residential CCHP system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 160, pp. 384–395, 2018.
- [59] J. Wang, Z. J. Zhai, Y. Jing, and C. Zhang, "Influence analysis of building types and climate zones on energetic, economic and environmental performances of BCHP systems," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 9, pp. 3097–3112, 2011.
- [60] E. Yao, H. Wang, L. Wang, G. Xi, and F. Maréchal, "Thermo-economic optimization of a combined cooling, heating and power system based on small-scale compressed air energy storage," *Energy Convers. Manag.*, vol. 118, pp. 377–386, 2016.
- [61] P. J. Mago and A. K. Hueffed, "Evaluation of a turbine driven CCHP system for large office buildings under different operating strategies," *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1628–1636, 2010.
- [62] M. Ebrahimi and A. Keshavarz, "Designing an optimal solar collector (orientation, type and size) for a hybrid-CCHP system in different climates," *Energy Build.*, vol. 108, pp. 10–22, 2015.
- [63] H. Cho, P. J. Mago, R. Luck, and L. M. Chamra, "Evaluation of CCHP systems performance based on operational cost, primary energy consumption, and carbon dioxide emission by utilizing an optimal operation scheme," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 12, pp. 2540–2549, 2009.
- [64] X. Meng, F. Yang, Z. Bao, J. Deng, N. N. Serge, and Z. Zhang, "Theoretical study of a novel solar trigeneration system based on metal hydrides," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 6, pp. 2050–2061, 2010.
- [65] I. B. Askari, M. O. Sadegh, and M. Ameri, "Energy management and economics of a trigeneration system Considering the effect of solar PV, solar collector and fuel price," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 26, pp. 43–55, 2015.
- [66] S. Sanaye and A. Sarrafi, "Optimization of combined cooling, heating and power generation by a solar system," *Renew. Energy*, vol. 80, pp. 699–712, 2015.
- [67] M. Fani and A. Sadreddin, "Solar assisted CCHP system, energetic, economic and environmental analysis, case study: Educational office buildings," *Energy Build.*, vol. 136, pp. 100–109, 2017.
- [68] E. Açikkalp, H. Aras, and A. Hepbasli, "Advanced exergoeconomic analysis of a

- trigeneration system using a diesel-gas engine,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 67, no. 1–2, pp. 388–395, 2014.
- [69] A. Baghernejad, M. Yaghoubi, and K. Jafarpur, “Exergoeconomic optimization and environmental analysis of a novel solar-trigeneration system for heating, cooling and power production purpose,” *Sol. Energy*, vol. 134, pp. 165–179, 2016.
- [70] N. Tonekaboni and N. Tonekabonib, “Energy and exergy analyses on solar heating cooling and power generation systems (solar combined cooling, heat and power (CCHP)),” *Can. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 3, no. 04, pp. 134–143, 2015.
- [71] E. J. C. Cavalcanti, “Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an integrated solar combined cycle system,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 507–519, 2017.
- [72] E. J. C. Cavalcanti, G. F. de Souza, and M. S. R. Lima, “Exergy analysis of a cogeneration power plant,” in *24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*, 2017.
- [73] G. Bonforte, J. Buchgeister, G. Manfrida, and K. Petela, “Exergoeconomic and exergoenvironmental analysis of an integrated solar gas turbine/combined cycle power plant,” *Energy*, vol. 156, pp. 352–359, 2018.
- [74] U. Akbulut, Z. Utlu, and O. Kincay, “Exergoenvironmental and exergoeconomic analyses of a vertical type ground source heat pump integrated wall cooling system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 102, pp. 904–921, 2016.
- [75] P. Ahmadi, I. Dincer, and M. A. Rosen, “Exergy, exergoeconomic and environmental analyses and evolutionary algorithm based multi-objective optimization of combined cycle power plants,” *Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 5886–5898, 2011.
- [76] S. Javan, P. Ahmadi, H. Mansoubi, and M. N. M. Jaafar, “Exergoeconomic based optimization of a gas fired steam power plant using genetic algorithm,” *Heat Transf. Res.*, vol. 44, no. 6, pp. 533–551, 2015.
- [77] A. Aali, N. Pourmahmoud, and V. Zare, “Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel combined flash-binary cycle for Sabalan geothermal power plant in Iran,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 143, pp. 377–390, 2017.
- [78] M. Rahmatian and F. Ahmadi Boyaghchi, “Exergo-environmental and exergo-economic analyses and multi-criteria optimization of a novel solar-driven CCHP based on Kalina cycle,” *Energy Equip. Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 225–244, 2016.
- [79] M. Gorji-Bandpy and H. Goodarzian, “Exergoeconomic optimization of gas turbine power plants operating parameters using genetic algorithms: a case study,” *Therm. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 43–54, 2011.
- [80] M. Taghavi, M. Abdollahi, and G. Salehi, “Thermodynamic and thermo economic optimization of combined cycle power plant,” *Int. J. Mater. Mech. Manuf.*, vol. 1, no. 2, pp. 186–190, 2013.
- [81] S. O. Oyedepo, R. O. Fagbenle, S. S. Adefila, and M. M. Alam, “Exergy costing analysis and performance evaluation of selected gas turbine power plants,” *Cogent Eng.*, vol. 2, no. 1, p. 1101048, 2015.
- [82] A. Mousafarash and M. Ameri, “Exergy and exergo-economic based analysis of a gas turbine power generation system,” *J. Power Technol.*, vol. 93, no. 1, pp. 44–51, 2013.
- [83] A. Baghernejad, M. Yaghoubi, and K. Jafarpur, “Exergoeconomic comparison of three novel trigeneration systems using SOFC, biomass and solar energies,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 104, pp. 534–555, 2016.
- [84] M. Shamoushaki and M. A. Ehyaei, “Exergy, economic and environmental (3E) analysis of a gas turbine power plant and optimization by MOPSO algorithm,” *Therm.*

- Sci., vol. 22, no. 6 Part A, pp. 2641–2651, 2018.
- [85] C. A. Gibson, M. A. Meybodi, and M. Behnia, “Optimisation and selection of a steam turbine for a large scale industrial CHP (combined heat and power) system under Australia’s carbon price,” *Energy*, vol. 61, pp. 291–307, 2013.
- [86] W. Jiang-Jiang, Z. Chun-Fa, and J. You-Yin, “Multi-criteria analysis of combined cooling, heating and power systems in different climate zones in China,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 4, pp. 1247–1259, 2010.
- [87] N. Fumo, P. J. Mago, and L. M. Chamra, “Emission operational strategy for combined cooling, heating, and power systems,” *Appl. Energy*, vol. 86, no. 11, pp. 2344–2350, 2009.
- [88] K. Wark, *Advanced thermodynamics for engineers*. McGraw-Hill New York, 1995.
- [89] T. J. Kotas, *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Butterworths, 1985.
- [90] K. W. Li, *Applied thermodynamics: availability method and energy conversion*. CRC Press, 1995.
- [91] M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, and M. B. Bailey, *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons, 2010.
- [92] A. Bejan, G. Tsatsaronis, and M. J. Moran, *Thermal design and optimization*. John Wiley & Sons, 1995.
- [93] L. Ochoa, C. Hendrickson, and H. S. Matthews, “Economic input-output life-cycle assessment of US residential buildings,” *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 132–138, 2002.
- [94] A. Avadí and P. Fréon, “Life cycle assessment of fisheries: a review for fisheries scientists and managers,” *Fish. Res.*, vol. 143, pp. 21–38, 2013.
- [95] M. Geodkoop and R. Spriensma, “The eco-indicator 99. A damage oriented for life cycle impact assessment. Methodology report and manual for designers,” *Tech. Report*. PRe Consult. Amersfoort, Netherlands, 2001.
- [96] A. Sadollah, H. Eskandar, and J. H. Kim, “Water cycle algorithm for solving constrained multi-objective optimization problems,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 27, pp. 279–298, 2015.
- [97] H. Mokhtari, A. Esmaili, and H. Hajabdollahi, “Thermo-economic analysis and multiobjective optimization of dual pressure combined cycle power plant with supplementary firing,” *Heat Transf. Res.*, vol. 45, no. 1, pp. 59–84, 2016.
- [98] Z. Taie and C. Hagen, “Experimental thermodynamic first and second law analysis of a variable output 1–4.5 kWe, ICE-driven, natural-gas fueled micro-CHP generator,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 180, pp. 292–301, 2019.
- [99] “Transys 16 help, a transient system simulation program, Volume 5, Mathematical Reference.”
- [100] J. Bush, “Modeling of a combined heat and power unit and evaluation of system performance in building applications.” 2010.
- [101] M. A. Ehyaei and M. N. Bahadori, “Selection of micro turbines to meet electrical and thermal energy needs of residential buildings in Iran,” *Energy Build.*, vol. 39, no. 12, pp. 1227–1234, 2007.
- [102] K. Gluesenkamp, “Development and analysis of micro polygeneration systems and adsorption chillers.” 2012.
- [103] A. Valero et al., “CGAM problem: definition and conventional solution,” *Energy*, vol. 19, no. 3, pp. 279–286, 1994.
- [104] A. Bejan and G. Tsatsaronis, *Thermal design and optimization*. John Wiley & Sons, 1996.

- [105] I. Dincer, M. A. Rosen, and P. Ahmadi, Optimization of energy systems. Wiley Online Library, 2017.
- [106] H. Ghaebi, M. H. Saidi, and P. Ahmadi, "Exergoeconomic optimization of a trigeneration system for heating, cooling and power production purpose based on TRR method and using evolutionary algorithm," Appl. Therm. Eng., vol. 36, pp. 113–125, 2012.
- [107] F. A. Boyaghchi and H. Molaie, "Sensitivity analysis of exergy destruction in a real combined cycle power plant based on advanced exergy method," Energy Convers. Manag., vol. 99, pp. 374–386, 2015.
- [108] M. W. Chase, "NIST–JANAF thermochemical tables for the bromine oxides," J. Phys. Chem. Ref. Data, vol. 25, no. 4, pp. 1069–1111, 1996.

A study of various types of cogeneration systems

Khodadoost Rostamizadeh

Department of Mechanical Engineering (Energy Conversion), National University of Skills,
Tehran, Iran
rostami2639@gmail.com

Abstract

In the last three decades, after the significant increase in fuel prices, the importance of alternative fuels, increasing energy efficiency, and reducing environmental pollution, the desire to use new technologies, including cogeneration of electricity and heat, has increased. In conventional methods for meeting electrical and thermal needs, electricity is supplied from the national distribution network and heat is supplied by burning fuel in boilers and heat-generating equipment in a separate production method. In this method, a significant amount of energy is wasted in various ways through hot exhaust gases from chimneys, cooling towers, condensers, coolers in internal combustion engines, and also through losses in the distribution and transmission of electricity in the national electricity grid. Most of this heat can be recovered and can be used to provide thermal energy. On the other hand, the electricity produced in this method is centralized (power plant) and involves a lot of energy losses. [1] In this article, we will introduce the types of cogeneration systems, introduce their advantages and disadvantages, and also introduce their applications.

Keywords: cogeneration, environmental, electricity, hot gases