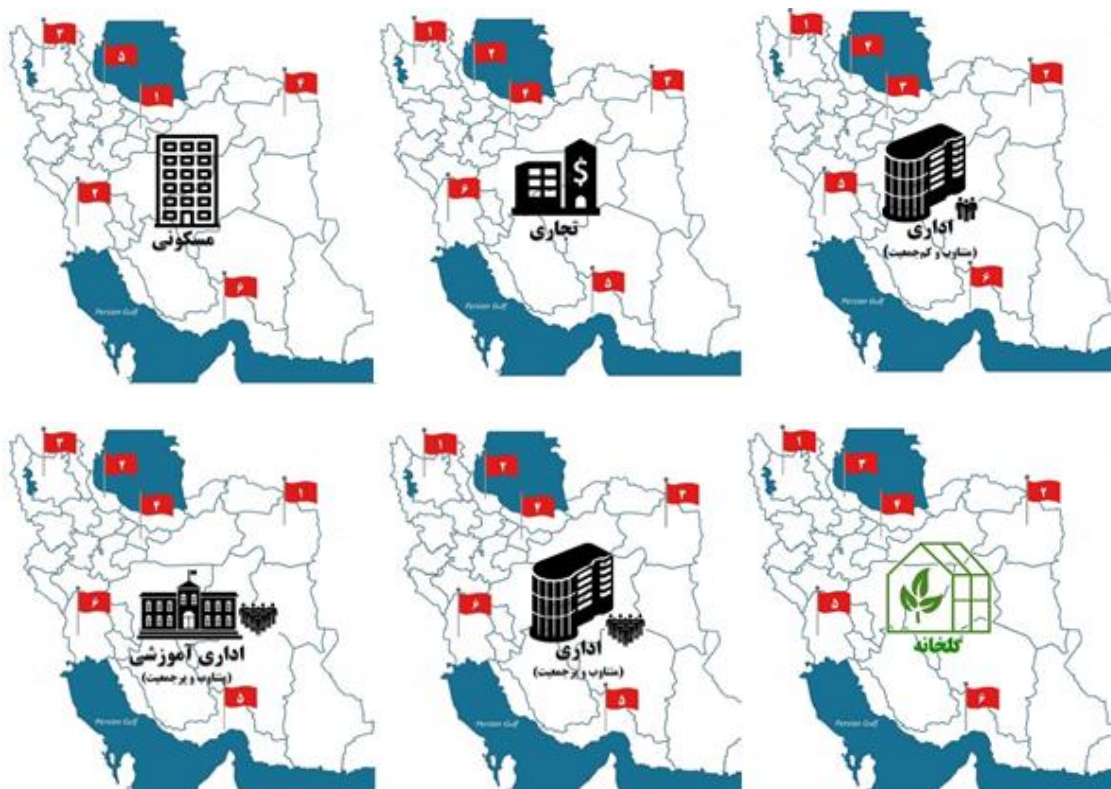


امکان سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP با کاربری مسکونی، اداری، تجاری و گلخانه در کشور ایران



مدیر پروژه: مرتضی حسین پور امام

مجری: شبنم منصوری

بسم الله الرحمن الرحيم

امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP با کاربری مسکونی،

اداری، تجاری و گلخانه در کشور ایران

مدیر پروژه: مرتضی حسین‌پور امام

مجری: شب‌نم منصوری

انتشارات پژوهشگاه نیرو

کد گزارش: NRI-ER-758-PCLPN02-3-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.306

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. مرکز توسعه فناوری بارهای سرمایشی و تهویه مطبوع
امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP با کاربری مسکونی، اداری، تجاری، و گلخانه در کشور
ایران/ مدیر پروژه: مرتضی حسین‌پور امام. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۱۴۹ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. منصوری، شبنم، همکار پروژه. ۲. پیرکندی، جاماسب، همکار پروژه. ۳. نوری، مصطفی،
همکار پروژه. ۴. منصوری، شبنم، مجری



انتشارات پژوهشگاه نیرو
مرکز توسعه فناوری بارهای سرمایشی و تهویه مطبوع

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کد پستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir



فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مرتضی حسین پور متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. شبنم منصوری

۲. جاماسب پیرکندی

۳. مصطفی نوری

پیشگفتار

افزایش روز افزون سطح رفاه زندگی در جوامع بشری به ویژه در شهرهای بزرگ سبب افزایش روز افزون مصرف انرژی به خصوص انرژی الکتریکی شده است. یکی از مصارف عمده انرژی الکتریکی در داخل کشور در حوزه سرمایش بوده که در سالیان اخیر سهم قابل توجهی از بار پیک شبکه را به خود اختصاص داده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نزدیک به ۲۰ گیگاوات از میزان بار الکتریکی شبکه در اوج مصرف مرتبط با سیستم‌های سرمایشی بوده که تأمین این میزان مصرف (تنها برای کمتر از سه ماه) حجم سرمایه‌گذاری‌های سنگینی را بر حوزه نیروگاهی، شبکه انتقال و سیستم توزیع برق کشور تحمیل می‌نماید. از عوامل مهم در این افزایش بی‌رویه مصرف انرژی در حوزه سرمایش می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- تغییر الگوی رفاه جامعه از استفاده از کولرهای سرمایش تبخیری به سیستم‌های تبرید تراکمی با افزایش ۲۰۰ الی ۴۰۰ درصدی مصرف انرژی الکتریکی،
- عدم تولید محصولات سرمایش تراکمی با رده انرژی مناسب در داخل کشور،
- ورود حجم قابل توجهی کالای قاچاق (کولرهای گازی تبرید تراکمی) به داخل کشور که عملاً نظارت خاصی بر میزان مصرف انرژی آن‌ها وجود ندارد،
- عدم تنظیم دمای مناسب محیط‌های عمومی، اداری و حتی منازل در فصل گرم،

با توجه به موارد فوق دو راه حل اساسی به منظور رفع این مشکل تشریح شده پیشنهاد می‌گردد:

الف) صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی با تنظیم مناسب دمای محیط و همچنین بکارگیری تجهیزات با راندمان انرژی بالا

ب) توسعه روش‌های تأمین بروودت به سمت بهره‌برداری از منابع اتلاف انرژی و همچنین استفاده از منابع انرژی که کشور در تأمین آن دارای مزیت نسبی می‌باشد که گاز طبیعی از جمله این موارد می‌باشد.

با توجه به راهکار ارائه شده در بند (ب) در این پروژه به بررسی سامانه‌های تولید همزمان برق، حرارت و بروودت پرداخته شده است. این سیستم‌ها بدلیل مزایای فراوان در کاهش مصرف انرژی و آلودگی در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران مورد توجه قرار گرفته است.

سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و بروودت^۱ (CCHP)، یکی از انواع نیروگاه‌های تولید پراکنده هستند که برای قسمت‌های مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی کاربرد دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های CCHP می‌تواند کاهش حدود ۳۰ درصد در متوسط مصرف سالیانه سوخت را بدنبال داشته باشد و از سوی دیگر تولید آلاینده دی‌اکسید کربن را نیز حدود ۵۰ درصد کاهش دهد. این سیستم همچنین باعث تقویت پدافند غیر عامل می‌شود زیرا چه در حوادث طبیعی مانند زلزله و طوفان و چه در حوادث غیر طبیعی مانند جنگ تعداد زیادی از سیستم‌های CCHP به کار خود ادامه می‌دهند که این امر باعث می‌شود تلاش‌های گروه‌های نجات به افرادی معطوف شود که نیازهای اولیه انرژی آن‌ها از دست رفته است. به عبارت دیگر گروه‌های نجات از انرژی و زمان خود به صورت بهینه‌تری استفاده می‌کنند. از سوی دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر روند رشد مصرف انرژی در کشور تغییر نکند و با نرخ رشد مصرف انرژی فعلی ادامه پیدا کند، ایران تا سال ۱۴۰۴ به وارد کننده انرژی تبدیل خواهد شد. این مسئله لزوم انجام اقداماتی از قبیل استفاده از سیستم‌های CCHP را که تأثیر محسوسی در کاهش مصرف انرژی دارند بیش از پیش نمایان می‌کند.

¹ Combined Cooling, Heat and Power (CCHP)

هدف عمده این گزارش مطالعه سیستم‌های CCHP موجود در دنیا و سیستم‌های CCHP و CHP² موجود در ایران و انتخاب ساختمان‌های نمونه با کاربری‌های مختلف می‌باشد. بررسی نوع محرک‌های استفاده شده در ایران و دنیا از دیگر موارد انجام شده در این تحقیق است. بررسی شرکت‌های خارجی و داخلی فعال در زمینه سیستم‌های تولید همزمان از دیگر موارد انجام شده در این گزارش می‌باشد.

کلمات کلیدی: CCHP، CHP، محرک اولیه^۳، محرک ثانویه^۴

² Combined Heat and Power (CHP)

³ Prime mover

⁴ Secondary mover

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مرحله اول.....
۲	۱ مقدمه.....
۳	۲ مروری بر عملکرد سیستم‌های CHP و CCHP.....
۴	۱.۲ مقدمه.....
۴	۲.۲ اهمیت سیستم‌های متمرکز (تولید همزمان برق، حرارت و برودت).....
۷	۳.۲ سیستم‌های CHP.....
۱۰	۴.۲ سیستم‌های CCHP.....
۱۲	۱.۴.۲ انواع سیستم‌های CCHP.....
۱۲	۲.۱.۴.۲ طبقه بندی بر اساس ظرفیت.....
۱۲	۲.۱.۴.۲ طبقه بندی بر اساس عملکرد.....
۱۳	۲.۱.۴.۲ دسته‌بندی از نظر محرک‌های اولیه.....
۳۳	۲.۱.۴.۲ دسته‌بندی از نظر محرک‌های ثانویه.....
۵۲	۵.۲ سیستم‌های CCHP جدید.....
۵۲	۱.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر چیلرهای جذبی خورشیدی.....
۵۴	۲.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی.....
۵۶	۳.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی میکروتوربین.....
۵۷	۴.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز و توربین بخار.....
۵۸	۵.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز و پیل سوختی.....
۶۰	۶.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز و موتور استرلینگ.....
۶۰	۷.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز، پیل سوختی و موتور استرلینگ.....
۶۱	۸.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز خورشیدی.....
۶۲	۹.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی خورشیدی و ORC.....
۶۳	۱۰.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی ORC و پیل سوختی اکسید جامد.....
۶۴	۱۱.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی خورشیدی و ORC با پیل سوختی اکسید جامد.....
۶۵	۱۲.۵.۲ سیستم‌های CCHP با چیلرهای ترکیبی.....
۶۶	۱۳.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر بیومس.....
۶۶	۱۴.۵.۲ جمع بندی سیستم‌های هیبریدی.....
۶۷	۶.۲ گسترش کاربرد CHP و CCHP در سراسر جهان.....
۷۱	۱۶.۲ آمریکا.....

۷۱	۲.۱.۶ واحدهای صنعتی.....
۷۲	۲.۱.۶ کاربرد در بخش تجاری.....
۷۲	۲.۱.۶ کاربرد در بخش خانگی.....
۸۴	۲.۶ انگلستان.....
۸۴	۲.۱.۶ واحدهای صنعتی.....
۸۵	۲.۶ ژاپن.....
۸۵	۲.۱.۶ واحدهای صنعتی.....
۸۶	۲.۶ چین.....
۸۷	۷.۲ گسترش کاربرد CHP و CCHP در ایران.....
۸۹	۸.۲ وضعیت کنونی سیستم‌های برودتی در جهان.....
۹۳	۹.۲ محتوای پروژه.....
۹۴	منابع و مراجع.....
۹۸	مرحله دوم.....
۹۹	چکیده.....
۱۰۱	۱ مقدمه.....
۱۰۲	۱.۱ مقدمه.....
۱۰۴	۲.۱ انواع گلخانه‌ها.....
۱۰۴	۱.۲.۱ تقسیم‌بندی بر اساس نوع شرایط آب و هوایی.....
۱۰۵	۲.۲.۱ تقسیم‌بندی بر اساس نوع تولید.....
۱۰۵	۳.۲.۱ تقسیم‌بندی بر اساس نوع سازه.....
۱۰۵	۱.۳.۲.۱ گلخانه‌های چوبی.....
۱۰۶	۲.۳.۲.۱ گلخانه‌های فلزی یا مدرن.....
۱۰۷	۴.۲.۱ تقسیم‌بندی بر اساس نوع پوشش.....
۱۰۸	۱.۴.۲.۱ پوشش پلاستیکی.....
۱۰۹	۲.۴.۲.۱ پوشش شیشه‌ای.....
۱۰۹	۳.۴.۲.۱ پوشش پلی کربنات.....
۱۱۱	۳.۱ اصول فنی احداث گلخانه.....
۱۱۱	۱.۳.۱ موارد فنی قبل از احداث گلخانه.....
۱۱۲	۲.۳.۱ موارد فنی در طراحی گلخانه.....
۱۱۵	۱.۲.۳.۱ مساحت گلخانه‌ها.....
۱۱۵	۲.۲.۳.۱ جهت گلخانه‌ها.....
۱۱۵	۳.۲.۳.۱ ارتفاع اسکلت گلخانه.....
۱۱۶	۴.۲.۳.۱ مساحت تهویه‌ای.....
۱۱۶	۵.۲.۳.۱ نسبت‌ها ابعادی گلخانه‌ها.....

۱۱۹	۳.۳.۱ موارد فنی در حین احداث گلخانه.....
۱۲۰	۴.۳.۱ موارد فنی کنترل آب و هوای گلخانه.....
۱۲۲	۵.۳.۱ موارد فنی در ساخت گلخانه‌های پیشرفته.....
۱۲۶	۴.۱ موارد فنی داخل گلخانه (عوامل محیطی در گلخانه).....
۱۲۶	۱.۴.۱ دما.....
۱۲۷	۲.۴.۱ رطوبت نسبی هوا.....
۱۲۷	۳.۴.۱ کربن‌دی‌اکسید.....
۱۲۸	۴.۴.۱ نور (تابش).....
۱۲۹	۵.۴.۱ بارش.....
۱۲۹	۵.۱ موارد فنی تجهیزات و تأسیسات.....
۱۳۰	۶.۱ دستورالعمل و مقررات اجرایی گلخانه‌ها در خصوص منابع انرژی بر اساس نظام گلخانه‌ای کشور.....
۱۳۰	۱.۶ آب.....
۱۳۰	۲.۶ برق.....
۱۳۱	۳.۶ سوخت.....
۱۳۱	۷.۱ معرفی گزارش حاضر.....
۱۳۲	۲ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....
۱۳۳	منابع و مراجع.....

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱.۱ نمایی از خروجی‌ها و ورودی‌های سیستم‌های CHP [۱].....	۶
شکل ۲.۱ بالانس انرژی یک واحد تولید همزمان.....	۶
شکل ۳.۱ شماتیکی از نحوه عملکرد سیستم CCHP.....	۷
شکل ۴.۱ شماتیکی از کارکرد یک سیستم CHP.....	۸
شکل ۵.۱ نمایی از یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP) مقیاس کوچک [۲].....	۹
شکل ۶.۱ نمایی از کاربردهای سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت.....	۱۰
شکل ۷.۱ شماتیکی از یک سیستم CCHP با چیلر جذبی [۳].....	۱۱
شکل ۸.۱ شماتیکی از یک سیستم CCHP با چیلر جذبی [۴].....	۱۱
شکل ۹.۱ توزیع فراوانی محرک‌های به کار رفته در سیستم‌های CHP و CCHP [۵].....	۱۳
شکل ۱۰.۱ شماتیکی از کاربرد موتورهای رفت و برگشتی در سیستم‌های CCHP [۶].....	۱۵
شکل ۱۱.۱ موتور گازسوز ۱۶ سیلندر با توان الکتریکی خروجی ۹۰۰ کیلووات [۷].....	۱۶
شکل ۱۲.۱ سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور احتراق داخلی ۷۷۶ تا ۲۵۳۵ کیلووات [۸].....	۱۶
شکل ۱۳.۱ سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور احتراق داخلی ۳۰۷ تا ۱۰۰۰ کیلووات [۹].....	۱۶
شکل ۱۴.۱ سیستم تولید همزمان با محرک اولیه دیزل [۱۰].....	۱۷
شکل ۱۵.۱ سیستم CCHP با محرک توربین‌گاز [۱۲].....	۱۹
شکل ۱۶.۱ سیستم CCHP با محرک توربین‌گاز.....	۱۹
شکل ۱۷.۱ نمایی از یک میکروتوربین [۱۳].....	۲۱
شکل ۱۸.۱ نمایی از روتور و قسمت داخلی میکروتوربین ساخت شرکت capston [۱۳].....	۲۱
شکل ۱۹.۱ نمایی از بخش‌های مختلف میکروتوربین ساخت شرکت capston [۱۳].....	۲۲
شکل ۲۰.۱ سیستم CCHP مبتنی بر میکروتوربین [۱۲].....	۲۲
شکل ۲۱.۱ سیستم CCHP مبتنی بر میکروتوربین.....	۲۳
شکل ۲۲.۱ سیستم CCHP مبتنی بر میکروتوربین [۱۴].....	۲۳
شکل ۲۳.۱ سیستم تولید همزمان ۱/۵ مگاواتی تشکیل شده از ۲۳ میکروتوربین ۶۵ کیلوواتی [۱۵].....	۲۳
شکل ۲۴.۱ سیستم تولید همزمان ۲ مگاواتی تشکیل شده از ۲ پکیج میکروتوربین ۱ مگاواتی [۱۵].....	۲۴
شکل ۲۵.۱ میکروتوربین‌های ۳۰، ۶۵ و ۲۰۰ کیلوواتی شرکت کپستون [۱۳].....	۲۴
شکل ۲۶.۱ یک پکیج ۱ مگاواتی از میکروتوربین‌های شرکت کپستون (۵ میکروتوربین ۲۰۰ کیلوواتی) [۱۳].....	۲۵
شکل ۲۷.۱ سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار [۱۷].....	۲۶
شکل ۲۸.۱ سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار [۱۲].....	۲۷
شکل ۲۹.۱ سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار Back-pressure [۱۲].....	۲۸
شکل ۳۰.۱ شماتیکی از یک نمونه کاربرد پیل سوختی در سیستم‌های تولید همزمان.....	۲۹
شکل ۳۱.۱ نیروگاه ۱۱۰ کیلوواتی پیل سوختی با راندمان ۴۶ درصد [۱۸].....	۳۰

- شکل ۳۲.۱ نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی پیل سوختی با راندمان ۴۵ درصد [۱۸]..... ۳۰
- شکل ۳۳.۱ نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی پیل سوختی با راندمان ۴۶ درصد [۱۹]..... ۳۱
- شکل ۳۴.۱ شماتیکی از کاربرد موتور استرلینگ در سیستم‌های CCHP [۱۲]..... ۳۲
- شکل ۳۵.۱ نمایی از یک موتور استرلینگ [۲۰]..... ۳۲
- شکل ۳۶.۱ شماتیکی از یک سیستم گرمایش و سرمایش سنتی [۲۱]..... ۳۴
- شکل ۳۷.۱ شماتیکی از یک سیستم CCHP با محرک ثانویه چیلر جذبی [۲۱]..... ۳۵
- شکل ۳۸.۱ شماتیک کارکرد چیلرهای تراکمی آب خنک و هوا خنک..... ۳۶
- شکل ۳۹.۱ نمایی از چیلر تراکمی آب خنک [۲۲]..... ۳۷
- شکل ۴۰.۱ نمایی از چیلر تراکمی هوا خنک یکپارچه..... ۳۷
- شکل ۴۱.۱ نمایی از چیلر تراکمی هوا خنک دو پارچه [۲۳]..... ۳۸
- شکل ۴۲.۱ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور رفت و برگشتی [۲۳]..... ۴۰
- شکل ۴۳.۱ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور سانتریفوژ [۲۴]..... ۴۰
- شکل ۴۴.۱ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور اسکرو..... ۴۱
- شکل ۴۵.۱ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور اسکرال..... ۴۱
- شکل ۴۶.۱ شماتیکی از کارکرد چیلر تراکمی آب خنک با محرک موتور سیلندر پیستونی..... ۴۲
- شکل ۴۷.۱ شماتیکی از نحوه کارکرد چیلر جذبی [۲۵]..... ۴۳
- شکل ۴۸.۱ شماتیکی از سیستم کنترل چیلر جذبی [۲۵]..... ۴۴
- شکل ۴۹.۱ نمایی از بخش‌های مختلف چیلر جذبی [۲۶]..... ۴۵
- شکل ۵۰.۱ نمایی از چیلرهای جذبی..... ۴۶
- شکل ۵۱.۱ شماتیکی از سیستم لوله‌کشی چیلر جذبی [۲۶]..... ۴۷
- شکل ۵۲.۱ شماتیکی از چیلر جذبی شعله مستقیم [۲۷]..... ۴۷
- شکل ۵۳.۱ شماتیکی از یک مبدل حرارتی پوسته و لوله..... ۴۸
- شکل ۵۴.۱ شماتیکی از یک مبدل حرارتی پوسته و لوله..... ۴۸
- شکل ۵۵.۱ شماتیکی از چیلر جذبی دو اثره [۲۶]..... ۵۰
- شکل ۵۶.۱ شماتیکی از یک سیستم CCHP با محرک ثانویه چیلر جذبی..... ۵۱
- شکل ۵۷.۱ شماتیکی از چیلرهای جذبی هوای گرم [۲۸]..... ۵۲
- شکل ۵۸.۱ شماتیکی از چیلر جذبی خورشیدی [۲۹]..... ۵۳
- شکل ۵۹.۱ شماتیکی از چیلر جذبی خورشیدی..... ۵۳
- شکل ۶۰.۱ شماتیک ترکیب پیل سوختی اکسید جامد با انواع سیستم‌های حرارتی [۳۰]..... ۵۴
- شکل ۶۱.۱ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی [۳۰]..... ۵۵
- شکل ۶۲.۱ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی..... ۵۶
- شکل ۶۳.۱ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر توربین گاز..... ۵۶
- شکل ۶۴.۱ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر ترکیب توربین گاز، سیستم تبرید جذبی و سیستم تبرید تراکمی..... ۵۷
- شکل ۶۵.۱ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر ترکیب توربین گاز، توربین بخار و چیلر جذبی [۳۱]..... ۵۸
- شکل ۶۶.۱ شماتیک ترکیب یک سیکل توربین گازی و پیل سوختی [۳۲]..... ۵۹

- شکل ۶۷.۱ مقایسه عملکرد سیستم هیبریدی با پیل سوختی و سیکل توربین گاز [۳۲]..... ۵۹
- شکل ۶۸.۱ سیستم هیبریدی توربین گاز، پیل سوختی و چیلر جذبی..... ۶۰
- شکل ۶۹.۱ سیستم هیبریدی توربین گاز، موتور استرلینگ و چیلر جذبی [۳۳]..... ۶۰
- شکل ۷۰.۱ سیستم هیبریدی توربین گاز، پیل سوختی، موتور استرلینگ و چیلر جذبی [۳۴]..... ۶۱
- شکل ۷۱.۱ سیستم هیبریدی توربین گاز، پیل سوختی، موتور استرلینگ و چیلر جذبی [۳۵]..... ۶۱
- شکل ۷۲.۱ سیستم هیبریدی توربین گاز خورشیدی و چیلر جذبی [۳۶]..... ۶۲
- شکل ۷۳.۱ سیستم CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی خورشیدی و ORC [۳۷]..... ۶۳
- شکل ۷۴.۱ سیستم هیبریدی سیکل ORC، پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی [۳۸]..... ۶۴
- شکل ۷۵.۱ سیستم هیبریدی سیکل ORC، سیکل خورشیدی، پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی [۳۹]..... ۶۵
- شکل ۷۶.۱ سیستم CCHP ترکیبی [۴۰]..... ۶۵
- شکل ۷۷.۱ سیستم CCHP مبتنی بر بیومس [۴۱]..... ۶۶
- شکل ۷۸.۱ مقایسه راندمان سیستم‌های هیبریدی..... ۶۷
- شکل ۷۹.۱ نسبت انرژی برق تولیدی با استفاده از روش تولید همزمان (CHP)..... ۶۸
- شکل ۸۰.۱ سهم انرژی الکتریکی تولید شده با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان نسبت به کل انرژی الکتریکی تولیدی [۴۲]..... ۶۹
- شکل ۸۱.۱ میزان انرژی الکتریکی تولید شده با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان [۴۲]..... ۶۹
- شکل ۸۲.۱ نسبت حرارت باز یافتی از نیروگاه‌های تولید همزمان به کل حرارت تولید شده در ۲۷ کشور اروپایی..... ۷۰
- شکل ۸۳.۱ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸..... ۷۱
- شکل ۸۴.۱ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در صنایع مختلف آمریکا [۴]..... ۷۲
- شکل ۸۵.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۳
- شکل ۸۶.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، توربین بخار و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۳
- شکل ۸۷.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، سیکل ترکیبی و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۴
- شکل ۸۸.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، توربین احتراقی و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۴
- شکل ۸۹.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، پیل سوختی و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۵
- شکل ۹۰.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، میکروتوربین و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۵
- شکل ۹۱.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، موتور رفت و برگشتی و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۶
- شکل ۹۲.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، ORC و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۶
- شکل ۹۳.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، چرخه بخار رنکین و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۷
- شکل ۹۴.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، توربین بخار فشار برگشتی و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۷
- شکل ۹۵.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، بویلر بازیاب حرارت به همراه توربین بخار و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۸
- شکل ۹۶.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، بازیاب‌های دیگر و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۸
- شکل ۹۷.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، محرک‌های دیگر و تمامی کاربردها [۴۴]..... ۷۹

شکل ۹۸.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و ساختمان‌های تجاری	۷۹
شکل ۹۹.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و ساختمان‌های خانگی	۸۰
شکل ۱۰۰.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و مکان‌های نظامی	۸۰
شکل ۱۰۱.۱ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و مکان‌های عمومی	۸۱
شکل ۱۰۲.۱ میزان ظرفیت نصب شده و پتانسیل موجود برای نصب سیستم‌های CHP در آمریکا [۴۵]	۸۱
شکل ۱۰۳.۱ پراکندگی واحدهای CHP در کشور آمریکا [۴۵]	۸۲
شکل ۱۰۴.۱ سهم هر کدام از محرک‌های اصلی واحدهای CHP نصب شده [۴۶]	۸۳
شکل ۱۰۵.۱ سهم سوخت مصرفی هر کدام از محرک‌های اصلی واحدهای CHP نصب شده [۴۶]	۸۳
شکل ۱۰۶.۱ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ [۴۷]	۸۴
شکل ۱۰۷.۱ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در صنایع مختلف انگلستان [۴۷]	۸۵
شکل ۱۰۸.۱ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در چین [۴۹]	۸۷
شکل ۱۰۹.۱ سهم سرمایش در میزان اوج برق مصرفی [۵۲]	۸۹
شکل ۱۱۰.۱ سهم بخش‌های مختلف ساختمان در مصرف انرژی الکتریکی [۵۲]	۹۰
شکل ۱۱۱.۱ میزان درصد بهره‌گیری از سامانه‌های تهویه مطبوع در کشورهای مختلف جهان [۵۲]	۹۱
شکل ۱۱۲.۱ تنوع تکنولوژی و نحوه توزیع سیستم‌های سرمایشی موجود در جهان [۵۲]	۹۱
شکل ۱۱۳.۱ انواع سیستم‌های سرمایشی متداول در جهان [۵۲]	۹۲
شکل ۱.۱ اجزای زنجیره تولید انبوه، پایدار و اقتصادی در محیط‌های گلخانه‌ای [۱]	۱۰۳
شکل ۲.۱ عوامل موثر در انتخاب بهترین مکان ممکن برای ساخت گلخانه‌ها [۱]	۱۰۴
شکل ۳.۱ گلخانه‌های چوبی [۲]	۱۰۶
شکل ۴.۱ گلخانه‌های فلزی [۳]	۱۰۷
شکل ۵.۱ سازه ضعیف گلخانه که بر اثر باد تخریب گشته است [۴]	۱۰۷
شکل ۶.۱ گلخانه پلاستیکی [۵]	۱۰۹
شکل ۷.۱ گلخانه شیشه‌ای [۶]	۱۰۹
شکل ۸.۱ گلخانه پلی کربنات [۷]	۱۱۰
شکل ۹.۱ گلخانه پلی کربنات [۷]	۱۱۱
شکل ۱۰.۱ شکل‌های رایج گلخانه [۴]	۱۱۳
شکل ۱۱.۱ شکل‌های رایج گلخانه	۱۱۴
شکل ۱۲.۱ شکل‌های رایج گلخانه	۱۱۴
شکل ۱۳.۱ شکل‌های رایج گلخانه	۱۱۵
شکل ۱۴.۱ شکل‌های رایج گلخانه	۱۱۷
شکل ۱۵.۱ شکل‌های رایج گلخانه	۱۱۷

شکل ۱۶.۱	شکل‌های رایج گلخانه.....	۱۱۸
شکل ۱۷.۱	شکل‌های رایج گلخانه.....	۱۱۸
شکل ۱۸.۱	شکل‌های رایج گلخانه.....	۱۱۸
شکل ۱۹.۱	عایق‌کاری اجزای فولادی با رنگ سفید پلاستیکی [۴].....	۱۲۱
شکل ۲۰.۱	سقوط قطرات از سطح داخلی و کاهش عبور نور [۴].....	۱۲۱
شکل ۲۱.۱	تأثیر وجود ناودان برای نفوذ آب باران [۴].....	۱۲۲
شکل ۲۲.۱	گلخانه کم‌هزینه [۴].....	۱۲۴
شکل ۲۳.۱	گلخانه مقرون به صرفه [۴].....	۱۲۴
شکل ۲۴.۱	گلخانه مقرون به صرفه [۴].....	۱۲۵
شکل ۲۵.۱	گلخانه چند دهانه [۴].....	۱۲۵
شکل ۲۶.۱	سیستم قدیمی تنظیم دمای داخل گلخانه (کولر و بخاری) [۸].....	۱۲۷
شکل ۲۷.۱	نمای سیستم تولید و تزریق دی اکسید کربن در فضای گلخانه [۸].....	۱۲۸
شکل ۲۸.۱	دستگاه ثبت شدت نور در فضای گلخانه [۸].....	۱۲۹
شکل ۲۹.۱	شماتیک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت در گلخانه.....	۱۳۱

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱.۱ دمای گازهای خروجی از محرک اولیه جهت استفاده در محرک‌های ثانویه سیستم‌های CCHP	۱۴
جدول ۲.۱ عملکرد موتورهای رفت و برگشتی گازسوز با ظرفیت‌های مختلف [۱۱]	۱۷
جدول ۳.۱ عملکرد توربین‌گاز با ظرفیت‌های مختلف [۱۱]	۱۹
جدول ۴.۱ عملکرد چند نمونه میکروتوربین [۱۱]	۲۵
جدول ۵.۱ عملکرد چند نمونه میکروتوربین [۱۶]	۲۵
جدول ۶.۱ عملکرد چند نمونه میکروتوربین [۱۶]	۲۶
جدول ۷.۱ عملکرد توربین بخار با ظرفیت‌های مختلف [۱۱]	۲۸
جدول ۸.۱ مقایسه‌ای بین انواع محرک‌های سیستم‌های تولید همزمان	۳۳
جدول ۹.۱ مقایسه‌ای بین انواع محرک‌های سیستم‌های تولید همزمان	۳۹
جدول ۱۰.۱ ظرفیت CHP‌های نصب شده در برخی کشورهای منتخب [۴۳]	۷۰
جدول ۱۱.۱ اطلاعات واحدهای CHP صنعتی و تجاری ژاپن [۴۸]	۸۶
جدول ۱۲.۱ پیش‌بینی روند بهره‌برداری از ظرفیت‌های جدید نیروگاهی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ [۵۱]	۸۸
جدول ۱۳.۱ پیش‌بینی روند بهره‌برداری از ظرفیت‌های جدید نیروگاهی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ [۵۰]	۸۹
جدول ۱.۱ رعایت حریم برای ساخت گلخانه نسبت به سایر عوارض طبیعی و مصنوعی [۸]	۱۱۲
جدول ۲.۱ سطوح تهویه‌های لازم توصیه شده برای گلخانه‌ها در اقلیم یا عرضهای جغرافیایی مختلف [۱]	۱۱۶
جدول ۳.۱ مساحت بناهای مورد نیاز متناسب با طرح و مساحت گلخانه [۸]	۱۱۹
جدول ۴.۱ دمای مطلوب برای هر محصول گلخانه‌ای در روز [۴]	۱۲۷



مرحله اول

۱ مقدمه

در فصل اول سیستم‌های CHP و CCHP مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است و سیستم‌های CCHP جدید معرفی شده‌اند. در فصل دوم به مطالعه سیستم‌های CHP و CCHP موجود در جهان پرداخته شده است. در این مطالعه ابتدا مروری بر پیشینه علمی و پژوهشی کارهای انجام شده در این زمینه خواهد شد و سپس نمونه پروژه‌های انجام شده در سیستم‌های CHP و CCHP و همچنین شرکت‌های فعال در این حوزه معرفی خواهند شد.

در فصل سوم به مطالعه سیستم‌های CHP و CCHP موجود در ایران پرداخته شده است. در ابتدا مروری بر کارهای علمی انجام شده در این زمینه صورت گرفته و سپس در ادامه نمونه پروژه‌های واقعی انجام شده در سیستم‌های CCHP و CHP معرفی و جزئیات موجود در آن‌ها ارائه می‌گردد. در نهایت هدف فصل چهارم انتخاب ساختمان‌های نمونه در تیپ‌ها، کاربری‌ها و اقلیم‌های مختلف می‌باشد. در فصل پنجم نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲ مروری بر عملکرد سیستم‌های CHP و CCHP

۱.۲ مقدمه

افزایش روز افزون سطح رفاه زندگی در جوامع بشری به ویژه در شهرهای بزرگ سبب افزایش روز افزون مصرف انرژی به خصوص انرژی الکتریکی شده است. یکی از مصارف عمده انرژی الکتریکی در داخل کشور در حوزه سرمایش بوده که در سالیان اخیر سهم قابل توجهی از بار پیک شبکه را به خود اختصاص داده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نزدیک به ۲۰ گیگاوات از میزان بار الکتریکی شبکه در اوج مصرف مرتبط با سیستم‌های سرمایشی بوده که تأمین این میزان مصرف (تنها برای کمتر از سه ماه) حجم سرمایه‌گذاری‌های سنگینی را بر حوزه نیروگاهی، شبکه انتقال و سیستم توزیع برق کشور تحمیل می‌نماید.

سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP)، یکی از انواع نیروگاه‌های تولید پراکنده هستند که برای قسمت‌های مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی کاربرد دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های CCHP می‌تواند کاهش حدود ۳۰ درصد در متوسط مصرف سالیانه سوخت را بدنبال داشته باشد و از سوی دیگر تولید آلاینده دی‌اکسید کربن را نیز حدود ۵۰ درصد کاهش دهد. این سیستم همچنین باعث تقویت پدافند غیر عامل می‌شود زیرا چه در حوادث طبیعی مانند زلزله و طوفان و چه در حوادث غیر طبیعی مانند جنگ تعداد زیادی از سیستم‌های CCHP به کار خود ادامه می‌دهند که این امر باعث می‌شود تلاش‌های گروه‌های نجات به افرادی معطوف شود که نیازهای اولیه انرژی آن‌ها از دست رفته است.

۲.۲ اهمیت سیستم‌های متمرکز (تولید همزمان برق، حرارت و برودت)

انرژی نقش ویژه‌ای در رشد اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت یک جامعه ایفا می‌کند. پژوهش‌های جهانی نشان می‌دهند میان توسعه یک کشور و میزان انرژی مصرفی آن، رابطه مستقیمی برقرار است و از این رو دسترسی کشورهای در حال توسعه به انواع منابع جدید انرژی، به منظور پیشرفت و بهبود وضع اقتصادی آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این میان انرژی الکتریکی از عوامل اصلی و زیربنایی رشد و شکوفایی بخش‌های صنعتی، اقتصادی و اجتماعی است به طوری که می‌توان گفت یکی از شاخص‌های ارزیابی و پیشرفت کشورها، شاخص افزایش ظرفیت تولید و توزیع انرژی الکتریکی است. در سال‌های اخیر نوعی آگاهی و توجه به افزایش بی‌رویه مصرف انرژی و نیز واقعیت فناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی سبب شده است که مطالعات همه جانبه‌ای در سطح جهانی با هدف کاهش میزان مصرف انرژی و نیز کاهش هزینه‌های تولید انرژی، بدون ایجاد لطمه به روند توسعه کشورها، انجام پذیرد. این مطالعات باعث به وجود آمدن برنامه‌ها و استراتژی‌هایی موسوم به «مدیریت انرژی» گردیده است.

تعریف کلی مدیریت انرژی را می‌توان استفاده‌ی صحیح و مؤثر از انرژی برای دستیابی به بیشترین سود با کمترین هزینه جهت افزایش موقعیت رقابتی در بازار دانست که این امر نیازمند تنظیم و بهینه نمودن استراتژی مصرف انرژی، استفاده از سیستم‌ها و دستورالعمل‌ها در جهت کاهش میزان مصرف انرژی بر واحد محصول و کاهش یا ثابت نگه داشتن هزینه‌های کل تولید است. در همین راستا کارکردهای مدیریت انرژی در یک سازمان اقتصادی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- تهیه طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدها و فرآیندهای مختلف سازمان
- کاهش هزینه‌های انرژی و کاهش تلفات انرژی بدون اثرگذاری بر میزان و کیفیت تولید
- کنترل اثرات زیست محیطی تولید و مصرف انرژی

یکی از راه‌کارهایی که امروزه سیاست‌گذاران انرژی در دنیا از آن به عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد در مدیریت انرژی بهره می‌برند، تولید انرژی بر مبنای روش تولید همزمان برق، حرارت و برودت (یا به اختصار تولید همزمان) است. تولید همزمان که نوعی خاص از روش تولید پراکنده است، عبارتست از تولید توأم دو یا چند شکل از انرژی (مانند انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی) از یک منبع ساده‌ی اولیه (مانند انرژی شیمیایی سوخت‌های مختلف).

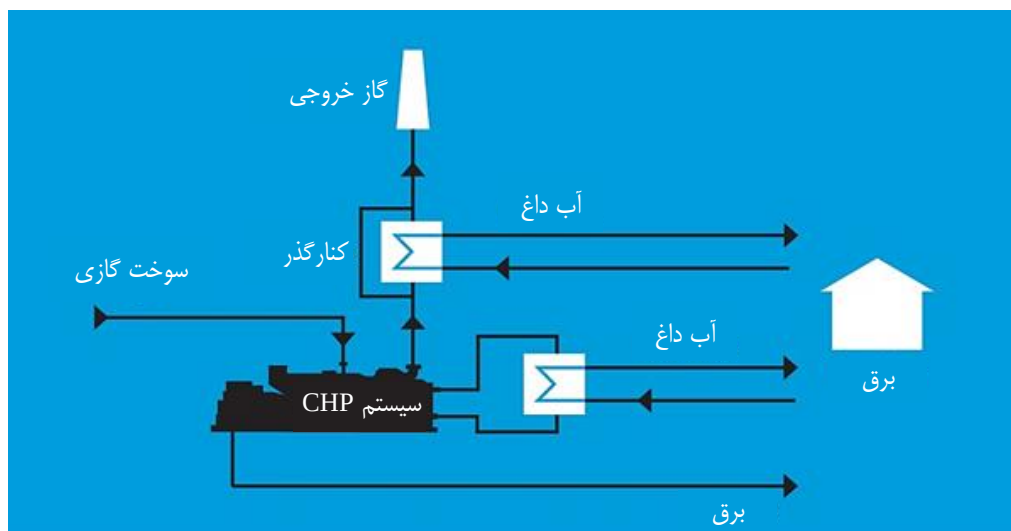
از آنجایی که در الگوی تولید همزمان، انرژی‌های اولیه مصرفی یعنی برق، حرارت و برودت از طریق یک سیستم با سوخت ورودی معین تأمین می‌گردند، در نتیجه هزینه‌های تأمین انرژی به طرز قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در روش‌های رایج، مصرف‌کننده مجبور است برق مورد نیاز خود را از شبکه‌ی سراسری خریداری نموده و از سوی دیگر برای مصارف گرمایشی و سرمایشی خود نیز هزینه‌های جداگان‌های را متحمل شود. در حالی که در شیوه‌ی تولید همزمان که در قالب تولید پراکنده از آن استفاده می‌شود، مصرف‌کننده از شبکه‌ی سراسری برق، مستقل شده و از سوی دیگر چون از محتوای انرژی سوخت ورودی نهایت بهره را می‌برد (تا ۹۰٪)، میزان و هزینه‌ی انرژی‌های مصرفی به شدت کاهش می‌یابد.

سیستم‌های CHP و CCHP غالباً برای تولید همزمان چند نمونه مختلف از انرژی‌های الکتریکی، حرارتی و برودتی استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها از چهار بخش اصلی محرک اولیه، مولد (ژنراتور)، مبدل حرارتی و سیستم کنترل تشکیل شده‌اند. کلیه این سیستم‌ها دارای یک محرک اولیه می‌باشند که انرژی شیمیایی سوخت را آزاد نموده و آن را به توان مکانیکی در محور خروجی تبدیل می‌کند. در این سیستم‌ها محور محرک با یک ژنراتور الکتریکی کوپل بوده و توان الکتریکی مشخصی در آن تولید می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداکثر راندمان موجود برای محرک‌های اولیه و مولدها، کمتر از ۵۰ درصد بوده و به این معنی است که بیش از نیمی از انرژی سوخت به صورت حرارت تلف می‌شود. در این سیستم‌ها انرژی حرارتی گازهای خروجی از محرک اولیه، سیال جاری در سیکل خنک‌کاری محرک و روغن روان‌کننده محرک اولیه، منابع اصلی اتلافات حرارتی بوده و می‌توان با قراردادن مبدل‌های حرارتی گرمای اتلافی را به شکل حرارت با دمای بالا و قابل استفاده بازیافت نمود. با فراهم شدن امکان استحصال حرارت اتلافی در سیستم‌های تولید همزمان، راندمان آن‌ها بالا خواهد رفت و این یک خصوصیت بارز در این نوع سیستم‌ها می‌باشد. سیستم‌های تولید همزمان دارای راندمان بالایی (بیش از ۵۰ درصد) بوده و حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد سوخت کمتری نسبت به سایر سیستم‌های موجود و سنتی مصرف می‌کنند. از دید ملی این صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌تواند چه از طریق صادرات و چه از طریق فراهم آمدن شرایطی برای استفاده‌های سودمندتر از سوخت فسیلی، مزیت محسوب شود. علاوه بر موارد فوق استفاده هرچه کمتر از سوخت‌های فسیلی باعث کاهش آلاینده‌های زیست محیطی نیز خواهد شد. از سوی دیگر این سیستم‌ها از اتلاف ۱۰ الی ۱۵ درصدی انرژی در شبکه انتقال برق جلوگیری می‌کند. توسعه ضریب پدافند غیر عامل (عدم وابستگی به انرژی الکتریکی شبکه) از دیگر مزایای سیستم‌های تولید همزمان می‌باشد.

در

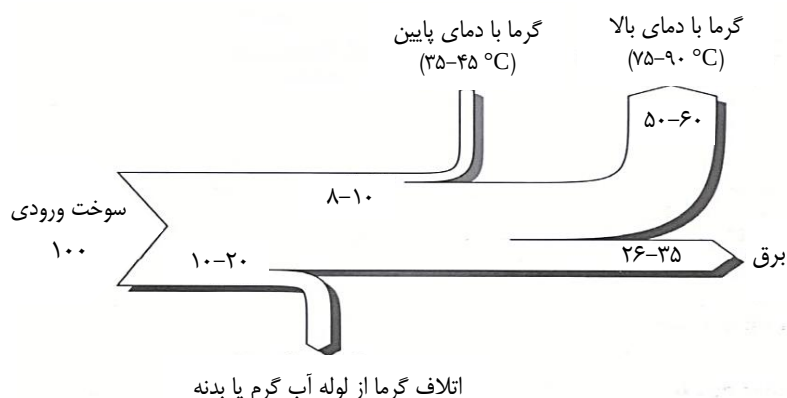
شکل ۱.۲ شماتیک از خروجی‌ها و ورودی‌های سیستم‌های تولید همزمان و در شکل ۲.۲ نیز شماتیک از بالانس انرژی یک واحد تولید همزمان ارائه شده است [۱]. همانطور که در شکل ۲.۲ مشاهده می‌شود ۱۰ تا ۲۰ درصد انرژی ورودی به سیستم به صورت تلفات حرارتی از آن خارج می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۴۵ تا ۶۵ درصد انرژی کل ورودی به سیستم

به صورت انرژی حرارتی قابل بازیافت بوده و می‌توان از آن جهت تولید حرارت و برودت استفاده کرد. استفاده از سیستم‌های تولید همزمان به دلیل کاهش تلفات حرارتی، به شدت تلفات انرژی و بازگشت ناپذیری‌های سیستم را کاهش می‌دهد. این مزیت مهم باعث شده است که در سال‌های اخیر استفاده از این نوع سیستم‌های انرژی مورد توجه اکثر کشورهای پیشرفته دنیا قرار گیرد.

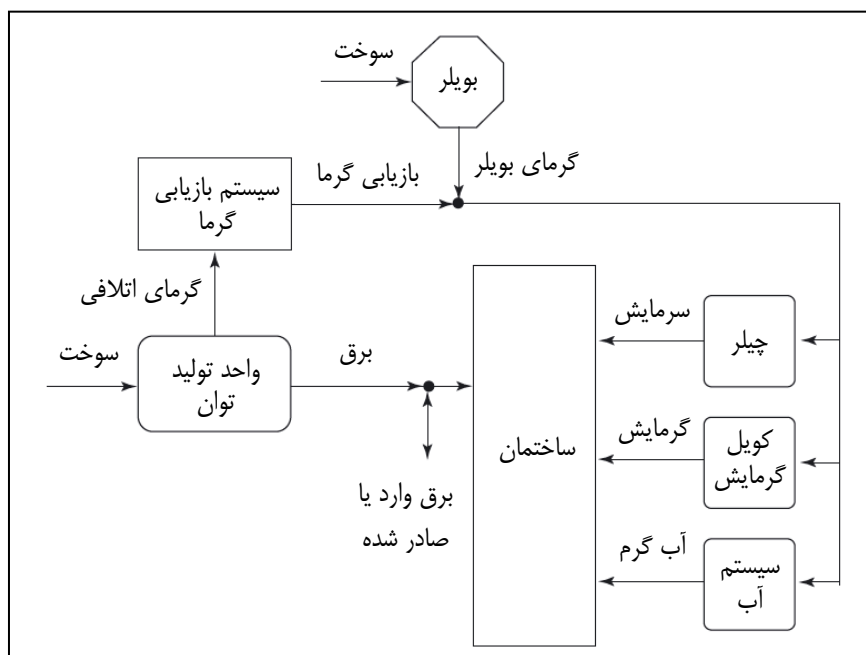


شکل ۱.۲. نمایی از خروجی‌ها و ورودی‌های سیستم‌های CHP [۱]

در این میان سیستم‌های CCHP در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته و استفاده از آن‌ها رو به افزایش است. استفاده از انرژی حرارتی خروجی از محرک‌های اولیه جهت تأمین برودت هدف عمده این نوع سیستم‌های انرژی می‌باشد. تولید برودت در این سیستم‌ها عمدتاً با استفاده از چیلرهای جذبی انجام گرفته و تولید حرارت نیز مشابه سیستم‌های CHP با استفاده از بازیاب‌ها و مبدل‌های حرارتی صورت می‌گیرد. مزیت عمده سیستم‌های CCHP تولید سه گونه انرژی حرارتی، برودتی و الکتریکی به طور همزمان بوده و این قابلیت راندمان سیستم را به طرز قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. در شکل ۳.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP آورده شده است.



شکل ۲.۲ بالانس انرژی یک واحد تولید همزمان



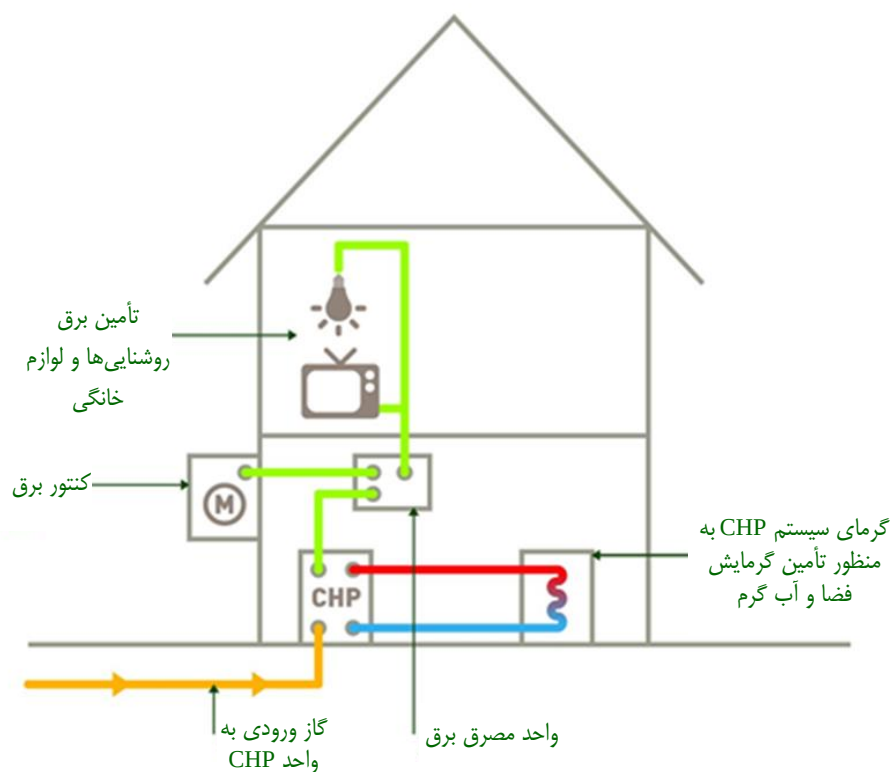
شکل ۳.۲ شماتیکی از نحوه عملکرد سیستم CCHP

۳.۲ سیستم‌های CHP

فناوری CHP برای اولین بار در نیروگاه‌های سیکل بخار به کار گرفته شده و از بخار استخراج شده آن برای مصارف گرمایش کارخانه و واحدهای اطراف آن استفاده گردید. این عمل گرچه باعث کاهش راندمان نیروگاه بود، اما با تأمین حرارت مورد نیاز واحد، از مصرف حجم زیادی سوخت جلوگیری می‌کرد. خوشبختانه این ایده تنها به نیروگاه‌های سیکل بخار محدود نشد و در طول زمان به ویژه در دهه‌های اخیر، فناوری تولید مشترک برق و حرارت که بهره‌وری بالایی را در مصرف انرژی به دنبال دارد، به سایر مولدهای تولید توان گسترش یافت. توربین‌های گازی، موتورهای رفت و برگشتی، موتورهای استرلینگ، پیل‌های سوختی و... از جمله سیستم‌های دیگری بودند که در سامانه‌های تولید همزمان برق و حرارت مورد استفاده قرار گرفتند. در این میان هدف تمام سیستم‌ها استفاده از انرژی حرارتی اتلافی و کاهش تلفات انرژی و انرژی بود. تولید انرژی الکتریکی و حرارتی هدف عمده یک سیستم CHP می‌باشد. انرژی الکتریکی تولید شده می‌تواند جهت مصرف در سیستم‌های الکتریکی و یا جهت فروش به شبکه برق سراسری استفاده شود، این در حالیست که انرژی حرارتی تولید شده در این سیستم‌ها می‌تواند در سیستم‌های گرمایش، تولید آب گرم بهداشتی، تولید آب شیرین و... استفاده گردد.

هسته مرکزی سیستم CHP یک محرک اولیه بوده و این محرک اغلب یک موتور احتراق داخلی یا یک توربین گازی است که با ژنراتوری که به آن کوپل شده است، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. معمولاً حداکثر راندمان موجود برای محرک اولیه و مولد کمتر از ۵۰ درصد است و این به معنای اتلاف بیش از نیمی از انرژی سوخت به صورت حرارت می‌باشد. البته محرک‌هایی مانند پیل‌های سوختی دارای راندمانی برابر ۵۰ الی ۶۰ درصد می‌باشند. در سیستم‌های CHP یک سیکل کاری جدید جهت بازیابی حرارت و استفاده مفید از آن وجود دارد که به واسطه آن راندمان عملکرد مجموعه افزایش خواهد

یافت. در این سیکل گرمای موجود در منابع اتلاف حرارت از جمله گازهای خروجی از آگزوز، آب سیکل خنک‌کننده محرک و انرژی حرارتی روغن جاری در سیستم، با قرار دادن مبدل‌های حرارتی بازیافت می‌شوند. با فراهم شدن امکان استحصال حرارت اتلاقی، همه خصوصیات منحصر به فرد این سیستم‌ها فراهم می‌شود. در شکل ۴.۲ شماتیکی از کارکرد یک سیستم CHP ارائه شده است.



شکل ۴.۲ شماتیکی از کارکرد یک سیستم CHP

بررسی‌ها نشان می‌دهد که متوسط راندمان یک مولد حرارتی که فقط برق تولید می‌کند، حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد است. از سوی دیگر متوسط راندمان یک بویلر نیز که فقط حرارت تولید می‌کند در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد می‌باشد. این در حالی است که یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ۸۵ درصد را دارا است. از طرف دیگر همانطور که در بخش قبل اشاره شد سیستم‌های CHP در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و حرارت مشابه رایج که بصورت مجزا کار می‌کنند، حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد سوخت کمتری مصرف می‌کنند و این به معنای بهره‌وری بالای سوخت در سیستم CHP می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در یک سیستم CHP ۱۰ تا ۲۰ درصد انرژی شیمیایی سوخت ورودی تلف شده و قابل بازیابی نمی‌باشد و ۸۰ تا ۹۰ درصد این انرژی به صورت انرژی الکتریکی و حرارتی قابل استفاده است. در این میان سهم انرژی الکتریکی در حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد و سهم انرژی حرارتی در حدود ۵۵ تا ۶۵ درصد می‌باشد.

پیشرفت برخی از فناوری‌های CHP، کلید توسعه آن در بخش ساختمان و مسکن است. این فناوری‌ها شامل بهره‌گیری از موتورهای رفت و برگشتی، موتورهای استرلینگ، توربین‌های گاز، پیل‌های سوختی، میکروتوربین‌ها و سیستم‌های هیبریدی پیل سوختی است. تقاضای بخش خدمات معمولاً در ظرفیت‌های بین ۵۰ کیلووات تا ۵۰۰ کیلووات برق می‌باشد، در صورتیکه در بخش خانگی تقاضا معمولاً پایین بوده و بین ۱ تا ۳۰ کیلووات برق است. توربین‌های گاز تا اندازه ۲۵۰ مگاوات در دسترس

هستند. پیل‌های سوختی نیز با ظرفیت ۱۰ مگاوات در بازار موجود بوده، و موتورهای رفت و برگشتی و میکروتوربین‌ها نیز از حدود ۲۵ تا ۵۰ کیلووات به صورت تجاری در دسترس هستند.

نکته مهم دیگر که استفاده از سیستم‌های CHP را در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار داده، امکان استفاده از سایر منابع انرژی مانند زیست توده، انرژی خورشیدی، انرژی بادی و... در ساختار این نوع سیستم‌ها می‌باشد. این مسئله سبب کاهش مصرف سوخت و پایین آمدن چشمگیر هزینه‌های آن شده و از طرف دیگر کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی را نیز در پی خواهد داشت. نیاز به فضای کم، قابلیت انعطاف پذیری بالا، قابلیت اطمینان بالا، قابلیت تولید در حالت اتصال به شبکه و منفصل از شبکه، شدت صدای کم و قابلیت استفاده از گاز شهری از مزایای مهم سیستم‌های CHP می‌باشد. اندازه سیستم CHP برحسب توان الکتریکی تولیدی آن بیان شده و در یک طبقه‌بندی رایج در سه طیف عمده تقسیم‌بندی می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عموماً اندازه‌های بیش از چند مگاوات در بخش صنعت، اندازه‌های کمتر از ۱ مگاوات در بخش تجاری و اندازه‌های کوچکتر در مصارف خانگی استفاده می‌شوند (شکل ۵.۲).



شکل ۵.۲. نمایی از یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP) مقیاس کوچک [۲]

حرارت تولیدی در سیستم‌های تولید همزمان به روش‌های مختلف ذیل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

- تولید آب گرم بهداشتی با دمای حداکثر 60°C به منظور مصارف بهداشتی (مانند دوش، سینک و...)
- تولید آب گرم با دمای حداکثر 90°C برای سیستم گرمایشی (مانند رادیاتور، فن کویل، یونیت هیت ریکووری و...)
- تولید آب گرم با دمای حداکثر 90°C برای سیستم‌های سرمایشی (مانند چیلرهای جذبی آب گرم)
- تولید آب داغ با دمای حداکثر 120°C برای سیستم‌های سرمایشی (مانند چیلرهای جذبی آب داغ)
- تولید بخار کم‌فشار برای سیستم‌های سرمایشی (مانند چیلرهای جذبی تک اثره و دو اثره بخار)
- تولید بخار کم‌فشار برای کارخانجات صنعتی
- تولید هوای گرم به منظور گرمایش

از کاربرد سیستم‌های تولید همزمان می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد (شکل ۶.۲):

- تأمین برق و حرارت مورد نیاز واحدهای مسکونی شهری و روستایی

- تأمین برق و حرارت مورد نیاز واحدهای تولید محصولات گلخانه‌ای
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز استخرهای پرورش ماهی
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز مرغداری‌ها
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز در واحدهای صنعتی کوچک مانند تولید قارچ
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز مجموعه‌های ورزشی مانند استخرهای سرپوشیده
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز ارگان‌ها و نهادهای حکومتی و دولتی
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز مراکز آموزشی مانند مدارس و دانشگاه‌ها
- تأمین برق و حرارت مورد نیاز در مناطق زلزله زده به منظور تولید آب گرم و گرمایش چادرها و کانکس‌های امدادی

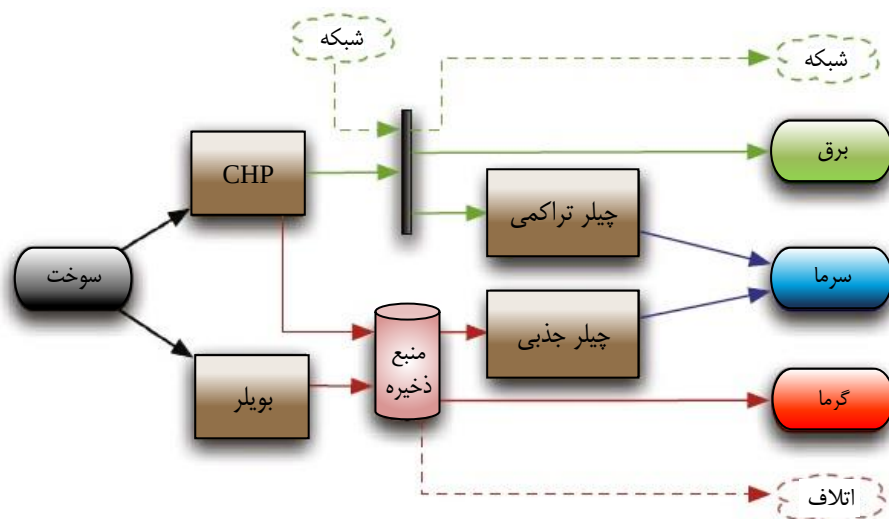


شکل ۶.۲. نمایی از کاربردهای سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت

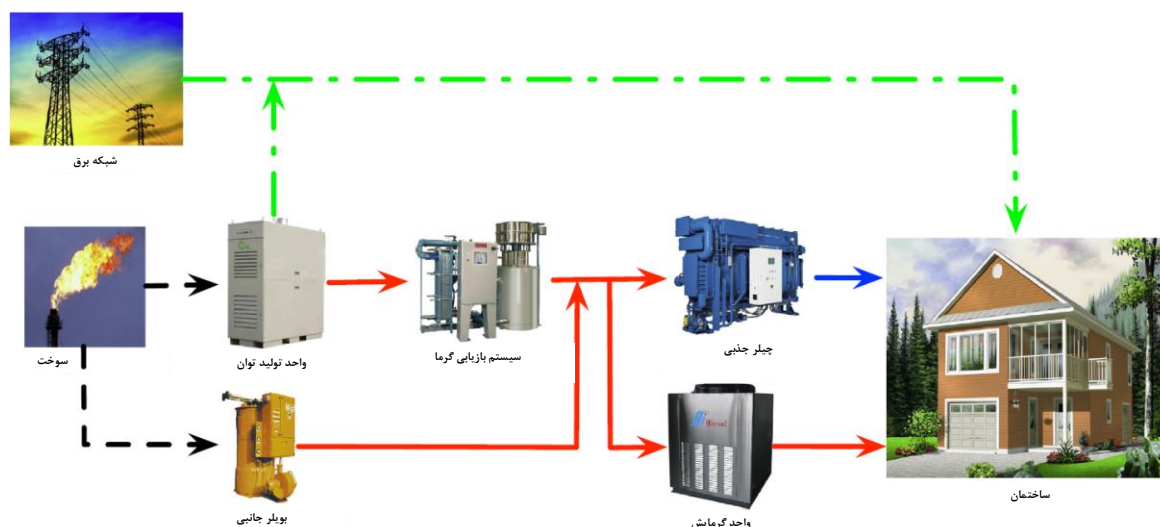
۴.۲ سیستم‌های CCHP

به منظور افزایش بهره‌وری و بالا رفتن راندمان سیستم‌های CHP، این سیستم‌ها می‌توانند به تجهیزات دیگری مانند چیلرها (جذبی یا تراکمی) و پمپ‌های حرارتی مجهز شوند. در این صورت امکان تولید سرما نیز در کنار حرارت و برق فراهم

می‌شود. چنین سیستمی تحت عنوان سیستم CCHP شناخته می‌شود. در شکل ۷.۲ شماتیکی از یک نمونه سیستم CCHP ساده با چیلر جذبی نشان داده شده است [۳]. همانطور که مشاهده می‌شود تولید برودت و بار سرمایشی در این سیستم‌ها می‌تواند توسط انرژی الکتریکی (در چیلرهای تراکمی) و انرژی حرارتی (در چیلرهای جذبی) تأمین شود. در شکل ۸.۲ نمونه‌ای از کاربرد یک سیستم CCHP با محرک چیلر جذبی نشان داده شده است [۴].



شکل ۷.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP با چیلر جذبی [۳]



شکل ۸.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP با چیلر جذبی [۴]

تفاوت مهم بین سیستم‌های CHP و CCHP این است که سیستم‌های CCHP فقط الکتریسیته و حرارت تولید نمی‌کنند، بلکه توانایی تولید بار برودتی را جهت کاربردهای مختلف دارند. در این میان نقش عمده در تولید برودت را چیلرها ایفا می‌کنند و می‌توانند آب سرد ۶ الی ۷ درجه سانتی‌گراد تولید کنند. آب سرد تولید شده توسط چیلرها می‌تواند در دستگاه‌های تهویه مطبوع مانند فن کویل و هواساز جهت سرمایش فضاها استفاده شود. از سوی دیگر می‌توان از این آب سرد در سایر بخش‌های صنعتی جهت خنک‌کاری تجهیزات، رطوبت‌گیری و... استفاده کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در عمده سیستم‌های CCHP سرمایش فضاها در اشغال شده مد نظر بوده و هدف تأمین آسایش حرارتی افراد می‌باشد. سیستم‌های CCHP بر

خلاف سیستم‌های CHP دارای دو نوع محرک اولیه و ثانویه می‌باشند. محرک‌های اولیه اغلب مشابه سیستم‌های CHP بوده و هدف عمده آن‌ها تولید برق و انرژی الکتریکی می‌باشد، این در حالیست که هدف محرک دوم تولید بار سرمایشی و برودتی می‌باشد.

۲.۴.۱ انواع سیستم‌های CCHP

سیستم‌های CCHP بر اساس ظرفیت کاری، نوع عملکرد، محرک‌های اولیه و محرک‌های ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند.

۲.۴.۱.۱ طبقه‌بندی بر اساس ظرفیت

اندازه سیستم CCHP برحسب توان الکتریکی تولیدی آن بیان می‌شود. دانستن نیاز واقعی واحد مصرف‌کننده به انرژی الکتریکی، میزان بار گرمایشی و میزان بار سرمایشی در انتخاب درست ظرفیت یک سیستم CCHP و نحوه‌ی استفاده از آن تأثیر فراوانی دارد. از نقطه نظر اندازه‌های اسمی، سیستم‌های CCHP به انواع با مقیاس میکرو، کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی می‌شوند.

- **میکروسیستم‌ها:** محدوده ظرفیت میکروسیستم‌ها زیر ۲۰ کیلووات می‌باشد. هرچند میکروسیستم‌ها پتانسیل زیادی برای کاربردهای تجاری، اداری و مسکونی را دارند، اما نمونه‌های محدودی از آن‌ها در حال حاضر و در بازار فعلی موجود است. محرک اولیه این نوع سیستم‌ها اغلب از نوع موتورهای رفت و برگشتی، پیل‌های سوختی و موتورهای استرلینگ می‌باشد.
- **سیستم‌های مقیاس کوچک:** ظرفیت این سیستم‌ها در محدوده ۲۰ کیلووات تا ۱ مگاوات بوده و در کاربردهای زیادی از قبیل فروشگاه‌ها، سوپرمارکت‌ها، بیمارستان‌ها، ادارات و صنایع کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع سیستم‌ها نسبت به سایر سیستم‌های CCHP کاربرد بیشتری داشته و میکروتوربین‌ها و موتورهای رفت و برگشتی محرک اصلی آن‌ها می‌باشند.
- **سیستم‌های مقیاس متوسط:** این گروه از سیستم‌های CCHP با ظرفیتی در محدوده ۱ مگاوات تا ۱۰ مگاوات، در کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی، ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **سیستم‌های مقیاس بزرگ:** سیستم‌های CCHP مقیاس بزرگ با ظرفیت بالای ۱۰ مگاوات یک منبع ایده‌آل تأمین انرژی برای کارخانجات و کارگاه‌های بزرگ، شهرک‌ها و همچنین مجموعه‌های تجاری و مسکونی با مساحت بالا می‌باشند.

۲.۴.۱.۲ طبقه‌بندی بر اساس عملکرد

به طور کلی سیستم‌های CCHP به دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم‌هایی که تحت بار الکتریکی^۱ (FEL) عمل نموده و هدف عمده آن‌ها تأمین بار الکتریکی است و همچنین سیستم‌هایی که تحت بار حرارتی^۲ (FTL) عمل نموده و هدف آن‌ها تأمین بار حرارتی است.

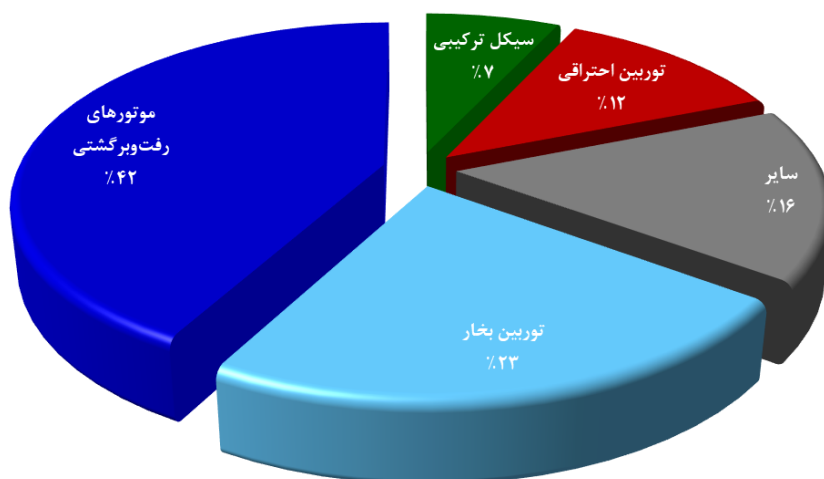
^۱Following Electric Load (FEL)

^۲Following Thermal Load (FTL)

- **روش عملکردی FEL:** در روش عملکردی FEL هدف عمده سیستم تأمین بار الکتریکی است. محرک اولیه و ژنراتور وظیفه تأمین بار الکتریکی را بر عهده دارند. حرارت اتلافی از این نوع سیستم‌ها جهت تأمین بار حرارتی واحد بازیابی می‌شود. در صورتی که انرژی حرارتی بازیافتی برای تأمین بار حرارتی مورد نیاز (گرمایش و سرمایش) کافی نباشد، حرارت اضافی توسط دیگ بخار کمکی تأمین می‌شود.
- **روش عملکردی FTL:** در این روش هدف عمده سیستم تولید بار حرارتی برای تأمین نیاز بارهای گرمایشی و سرمایشی می‌باشد. اگر مقدار الکتریسیته تولیدی برای تأمین نیاز واحد کافی نباشد، الکتریسیته اضافی از شبکه وارد می‌شود.
- **عملکرد مستقل:** در این روش سیستم CCHP به شبکه متصل نبوده و همه نیازهای انرژی آن توسط خود سیستم و به طور مستقل تأمین می‌شود.
- **عملکرد با اتصال به شبکه:** در این روش سیستم CCHP به شبکه متصل بوده و قادر است در صورت کم بودن توان الکتریکی تولیدی نیاز مورد نیاز خود را از شبکه خریداری کند.

۳.۱.۴.۲ دسته‌بندی از نظر محرک‌های اولیه

محرک اولیه جزء اصلی سیستم‌های تولید همزمان بوده و یکی از دغدغه‌های عمده مهندسان و طراحان سیستم‌های انرژی انتخاب یک محرک اولیه مناسب برای سیستم‌های CCHP می‌باشد. از انواع محرک‌های اولیه می‌توان به موتورهای رفت و برگشتی، توربین‌های گاز، میکروتوربین‌ها، توربین‌های بخار، پیل‌های سوختی و موتورهای استرلینگ اشاره کرد. در شکل ۹.۲ توزیع فراوانی درصد استفاده از محرک‌های اولیه به کار رفته در سیستم‌های CHP و CCHP نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود موتورهای رفت و برگشتی بیشترین سهم را در این میان دارا می‌باشند [۵].



شکل ۹.۲ توزیع فراوانی محرک‌های به کار رفته در سیستم‌های CHP و CCHP [۵]

همانطور که مشاهده می‌شود موتورهای رفت و برگشتی بیشترین کاربرد را به عنوان محرک اولیه در سیستم‌های CHP و CCHP دارا می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین محرک‌های اولیه، پیل‌های سوختی و میکروتوربین کمترین میزان آلاینده‌گی را نسبت به سایر محرک‌ها دارند. حرارت و دمای گازهای خروجی از محرک‌های اولیه نقش مهمی در کارایی

محرك‌های ثانویه جهت توليد بار سرمايشی و همچنين در مبدل‌های حرارتی برای توليد بار گرمايشی دارند. در جدول ۱۰۲ دمای گازهای خروجی برخی از محرك‌های اولیه نام برده شده در سيستم CCHP آورده شده است.

جدول ۱۰۲ دمای گازهای خروجی از محرك اولیه جهت استفاده در محرك‌های ثانویه سيستم‌های CCHP	
دمای گازهای خروجی قابل استفاده از محرك اولیه [°C]	محرك
۸۰-۴۸۰	موتور ديزل
۱۵۰-۲۶۰	موتور احتراق داخلی
۴۳۰-۵۴۰	موتور استرلینگ
۶۰-۴۰۰	پيل سوختی
۲۰۰-۳۴۰	ميكرو توربین

در ادامه انواع محرك‌های اولیه مورد استفاده در سيستم‌های توليد همزمان به صورت مختصر مورد بررسی قرار گرفته است.

الف - موتورهای رفت و برگشتی

موتورهای رفت و برگشتی از رایج‌ترین موتورهای احتراق داخلی می‌باشند که در آن‌ها انرژی شیمیایی سوخت در داخل محفظه سیلندر پس از احتراق به انرژی گرمایی و سپس انرژی مکانیکی تبدیل می‌گردد. این گونه موتورها برای کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. موتورهای رفت و برگشتی به دو صورت سيستم احتراق جرقه‌ای و احتراق تراکمی دسته‌بندی می‌شوند. سوخت مصرفی در این نوع موتورها می‌تواند از نوع گازی، مایع و یا دوگانه باشد. با توجه به شرایط کشور و وجود گاز طبیعی فراوان استفاده از موتورهای رفت و برگشتی گاز سوز بیشتر توصیه می‌گردد. با توجه به این مسئله گاز سوز کردن موتورهای رفت و برگشتی و استفاده از آن‌ها در سيستم‌های توليد همزمان در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. در برخی سيستم‌های با ظرفیت بیشتر از ۵۰۰ کیلووات، از موتورهای رفت و برگشتی با قابلیت مصرف سوخت دوگانه (گاز و گازوئیل) استفاده می‌شود. این موتورها در ظرفیت‌های مختلف از ۵ کیلووات تا ۱۰ مگاوات در بازار موجود هستند. راندمان توليد برق بین ۲۵ تا ۴۵ درصد می‌باشد که البته در نوع پیشرفته و گازسوز، راندمان تا ۴۸ درصد نیز رسیده است. راندمان کل موتورهای رفت و برگشتی بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است. موتورهای رفت و برگشتی قابلیت راه اندازی سریع را داشته و تلورانس بهره‌برداری بالایی در وضعیت خاموش/روشن را دارند و همانند موتورهای خودرو، بر حسب نوع سوخت مصرفی دامنه گسترده‌ای از آلاینده‌ها را منتشر می‌کنند.

موتورهای رفت و برگشتی مورد استفاده در سيستم‌های توليد همزمان بازده بسیار خوبی داشته و از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار هستند. این گونه موتورها در میان سایر محرك‌های اولیه با ظرفیت مشابه دارای بیشترین بازده حرارتی می‌باشند. ظرفیت متنوع این موتورها سبب شده است که استفاده از آن‌ها در سيستم‌های CCHP با کاربری‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد. در شکل ۱۰۲ شماتیکی از یک سيستم CCHP با محرك اولیه از نوع موتور رفت و برگشتی و محرك ثانویه از نوع

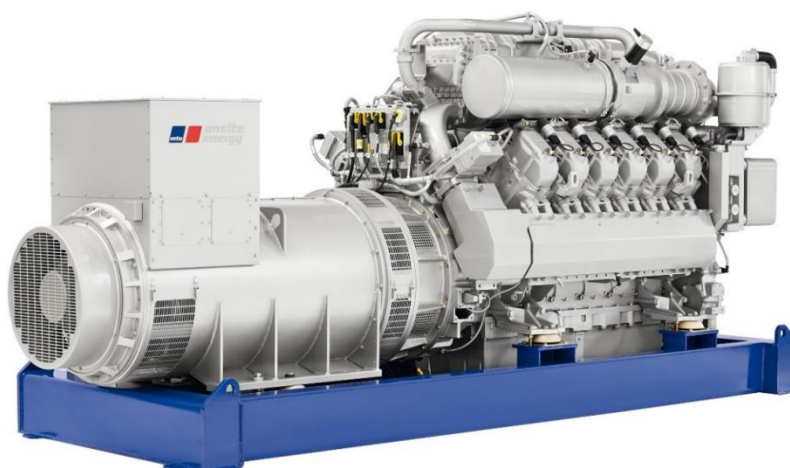
[illegible]

قدرت موتورهای رفت و برگشتی اغلب برای دو حالت کار دائمی و کار متناوب ارائه می‌شود. قدرت اسمی این موتورها اغلب در شرایط استاندارد (درجه حرارت و فشار سطح دریا) ارائه شده و برای محل نصب باید قدرت واقعی دستگاه را محاسبه کرد. به طور مثال بررسی‌ها نشان می‌دهد که به ازای هر ۳۰۰ متر افزایش ارتفاع از سطح دریا راندمان این دستگاه‌ها ۳ الی ۴ درصد کمتر شده و ظرفیت دستگاه باید بیشتر لحاظ گردد. موتورهای رفت و برگشتی جهت کاربرد در سیستم‌های تولید همزمان در ظرفیت‌های مختلف و طرح‌های گوناگون ارائه می‌شوند. برخی از تولیدکننده‌ها حتی در ظرفیت‌های کمتر نیز از این نوع موتورها در سیستم‌های تولید همزمان استفاده می‌کنند. سیستم‌های تولید همزمان با موتور سیلندر پیستونی رایج‌ترین محرک اولیه در سیستم‌های CHP و CCHP و در اندازه‌های ۱ تا ۱۰۰۰ کیلووات می‌باشند. استفاده از این نوع موتور زمینه‌ای مناسب برای سازندگان این سیستم‌ها را فراهم می‌آورد تا هرچه بیشتر به خواسته‌های مصرف‌کنندگان نزدیک شوند. راه‌اندازی سریع، هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً پایین، تعمیر و نگهداری توسط افراد معمولی و بازده بالا در حالت کارکرد نیمه بار از مزایای این نوع محرک‌ها می‌باشد. هزینه نگهداری بالا، انرژی حرارتی نسبتاً پایین در گازهای خروجی و سروصدای بالا از معایب این نوع سیستم‌ها می‌باشد.

15



شکل ۱۱.۱ موتور گازسوز ۱۶ سیلندر با توان الکتریکی خروجی ۹۰۰ کیلووات [۷]



شکل ۱۲.۱ سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور احتراق داخلی ۷۷۶ تا ۲۵۳۵ کیلووات [۸]



شکل ۱۳.۱ سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور احتراق داخلی ۳۰۷ تا ۱۰۰۰ کیلووات [۹]



شکل ۱۴.۱ سیستم تولید همزمان با محرک اولیه دیزل [۱۰]

در جدول ۲.۲ عملکرد موتورهای رفت و برگشتی گازسوز با ظرفیت‌های مختلف نشان داده شده است [۱۱].

جدول ۲.۲ عملکرد موتورهای رفت و برگشتی گازسوز با ظرفیت‌های مختلف [۱۱]

مشخصات	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵
ظرفیت الکتریکی [kW]	۱۰۰	۳۰۰	۸۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰
ظرفیت حرارتی [kW]	۱۲۰۰۰	۹۸۶۶	۹۷۶۰	۹۴۹۲	۸۷۵۸
راندمان الکتریکی [%]	۲۸/۴	۳۴/۶	۳۵	۳۶	۳۹
راندمان کل سیستم [%]	۷۹	۷۸	۷۹	۷۳	۷۴

ب- توربین‌های گاز

توربین‌های گاز ثابت همانند توربین‌های بخار در بسیاری از نیروگاه‌ها به عنوان منبع اصلی تولید انرژی می‌باشند. بسیاری از تجهیزات توربین‌های گاز ثابت مشابه با توربین‌های گاز به کار رفته در هواپیما می‌باشد. درحقیقت، هم توربین‌های ثابت (صنعتی) و هم توربین‌های گاز به کار رفته در هواپیما در سیستم‌های تولید همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. توربین‌های گازی در اندازه‌ها، طرح‌ها و شکل‌های مختلفی وجود دارند. در توربین گاز با سیکل ساده، از هیچ گونه روش خارجی مثل بازیابی حرارت برای بهبود راندمان استفاده نمی‌شود. بنابراین راندمان حرارتی توربین‌های گازی با سیکل ساده را با استفاده از چند روش خارجی می‌توان افزایش داد، اما در این شرایط طراحی و شکل توربین گاز پیچیده خواهد شد. بسیاری از این تغییرات در توربین گاز با سیکل ساده در جهت استفاده از انرژی گازهای خروجی از آگروز است تا توان الکتریکی خروجی و راندمان آن افزایش یابد. استفاده از انرژی حرارتی گازهای خروجی که اغلب دمایی در محدوده ۴۰۰ الی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد دارند سبب کاهش تلفات انرژی و افزایش راندمان سیستم خواهد شد.

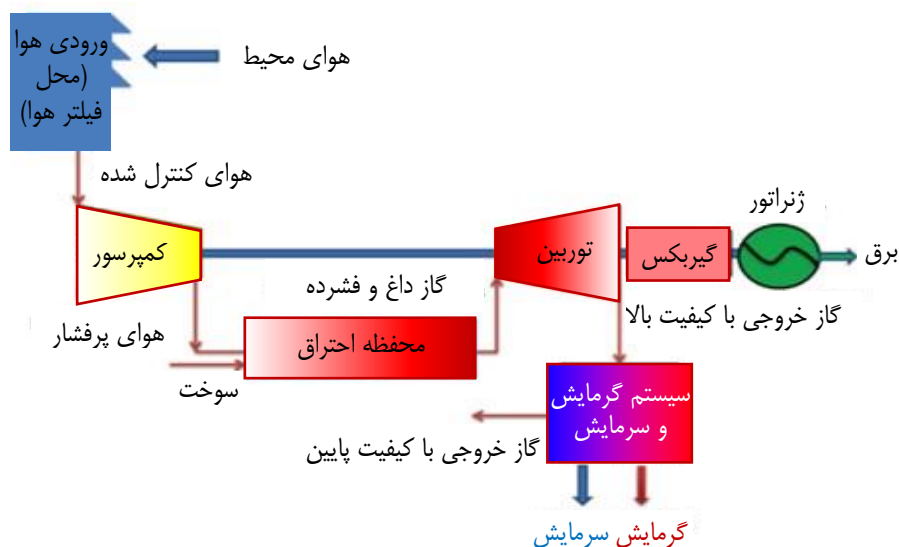
توربین‌های گاز در طیف گسترده‌ای از میزان توان خروجی یعنی از ۱۰۰ کیلووات تا بیش از ۲۵۰ مگاوات وجود دارند. بسته به نوع طراحی نسبت حرارت به توان الکتریکی برای توربین‌های گازی می‌تواند از ۱ تا ۳ تغییر کند. راندمان حرارتی سیکل با اندازه توربین گاز (سطح قدرت) و پیچیدگی آن تغییر کرده و معمولاً از ۲۴ تا ۳۶ درصد متغیر می‌باشد این در حالیکه

که در توربین‌های بخار بالاتر بودن راندمان حرارتی باعث پایین‌تر بودن نسبت حرارت به توان الکتریکی می‌شود. راندمان ارائه شده توربین‌های گاز برای کارکرد در حالت تمام بار (از جهت طراحی) بوده و در حالتی که کارکرد با بخشی از بار (نیمه بار) باشد، راندمان توربین‌های گاز به سرعت کاهش پیدا می‌کند. به علت استفاده از هوای اضافی زیاد در سیکل توربین‌های گاز، در فرآیند احتراق گازهای خروجی دارای غلظت نسبتاً زیادی از نیتروژن و اکسیژن می‌باشند. توربین‌های گاز فاقد سیکل خنک‌کن بوده و تنها منبع حرارتی آن‌ها گازهای خروجی از توربین است که دمایی در حدود ۴۰۰ الی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد دارند. این منبع امکان تولید بخار در واحد HRSG¹ را فراهم می‌سازد که یک بویلر ساده و بدون آتش است. بدین شکل در حدود ۶۰ درصد انرژی سوخت به شکل حرارت بازیافت شده و راندمان کلی سیستم ۸۵ تا ۹۰ درصد قابل دستیابی است. در واحدهای بزرگ‌تر می‌توان با به کارگیری روش احتراق تکمیلی راندمان کلی را تا ۹۵ درصد نیز افزایش داد که با کاهش آلایندگی سیستم نیز همراه است. چرا که به دلیل خنک‌کاری درون توربین مقداری از هوای اضافه مصرف شده و در نتیجه درصد اکسیژن در گازهای خروجی به حدود ۱۲ تا ۱۴ درصد می‌رسد که مقدار قابل ملاحظه‌ای بوده و احتراق مجدد را ممکن می‌سازد.

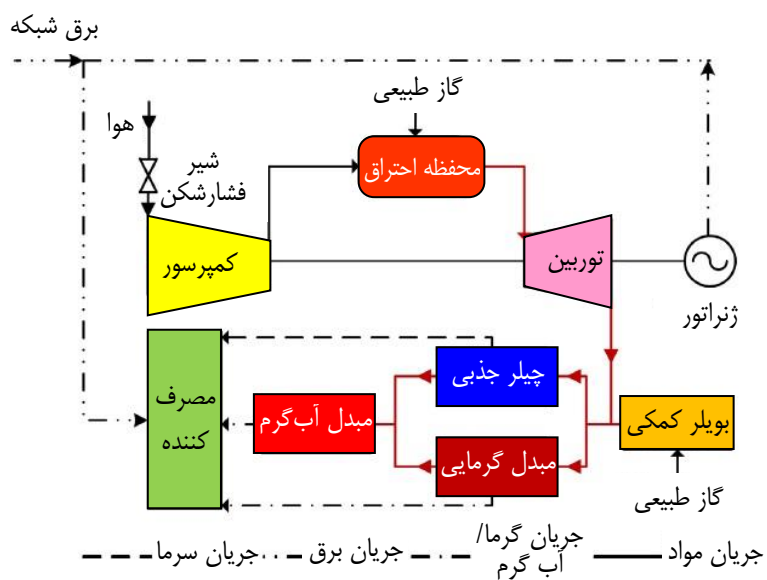
در توربین‌های گاز می‌توان از انواع سوخت‌های موجود مایع یا گازی در محفظه احتراق استفاده کرد. بالاترین عملکرد را می‌توان با استفاده از سوخت‌های مایع بدست آورد اما باید توجه داشت کمترین میزان آلایندگی از کارکردن با گاز طبیعی گزارش شده است. برای سیکل‌های با کارکرد دائمی (پیوسته) و مقطعی (متناوب) مقادیر توان الکتریکی متفاوتی برای توربین‌های گازی تعریف می‌شود. توان الکتریکی تولیدی در حالت دائمی نسبت به حالت کارکرد مقطعی کمتر بوده تا عمر و دوام کارکرد سیستم بیشتر باشد. در هر دو حالت قدرت خروجی برای شرایط کارکرد استاندارد (که شرایط ISO نامیده می‌شود) می‌باشد. شرایط ISO شامل فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در سطح دریا و بدون افت فشار در ورودی و در اگزوز لحاظ می‌شود. برای یک کاربرد به خصوص، می‌بایست شرایط محلی در نظر گرفته شود تا توان نامی تنظیم شده و شرایط کارکرد واقعی مشخص شود. بیشتر تولیدکننده‌ها تنظیمات پیشنهادی را بسته به اختلاف بین شرایط محلی و استاندارد برای مصرف‌کننده ارائه می‌کنند. به خصوص درجه حرارت هوای ورودی در محل که تأثیر زیادی بر خروجی توربین گاز دارد. با افزایش درجه حرارت هوای محیط، عملکرد یک توربین گازی کاهش پیدا می‌کند که علت آن کاهش چگالی می‌باشد. توربین‌های گاز نسبت به توربین‌های بخار، احتیاج به نگهداری بیشتر و تخصصی‌تری دارند. غالب تعمیرات اساسی بعد از ۷۵۰۰ تا ۲۰۰،۰۰۰ ساعت کارکرد بسته به نوع استفاده و تولیدکننده انجام می‌گیرد. توربین‌های گاز صنعتی به نحوی طراحی می‌شوند که تعمیرات اساسی در محل انجام گرفته و در نتیجه عمده عملیات ارزان‌تر می‌باشد.

توربین‌های گازی در محدوده ۱۰۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات مورد استفاده قرار گرفته و از مزایای آن‌ها می‌توان به اعتمادپذیری بالا، آلودگی کم و وجود حرارت با کیفیت بالا در خروجی آن‌ها اشاره کرد. از طرف دیگر نیاز به کمپرسورهای با نسبت فشار بالا، بازده پایین در حالت نیمه‌بار و کاهش بازده با افزایش دمای محیط اشاره کرد. در شکل ۱۵.۲ و شکل ۱۶.۲ شماتیکی از سیستم CCHP با مولد توربین‌های گاز نشان داده شده است [۱۲].

¹ Heat Recovery Steam Generator (HRSG)



شکل ۱۵.۲ سیستم CCHP با محرک توربین گاز [۱۲]



شکل ۱۶.۲ سیستم CCHP با محرک توربین گاز

در جدول ۳.۲ عملکرد چند نمونه توربین گاز با ظرفیت‌های مختلف نشان داده شده است [۱۱].

جدول ۳.۲ عملکرد توربین گاز با ظرفیت‌های مختلف [۱۱]

مشخصات	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵
ظرفیت الکتریکی [kW]	۱۱۵۰	۵۴۵۷	۱۰۲۴۰	۲۵۰۰۰	۴۰۰۰۰
ظرفیت حرارتی [kW]	۱۶۰۴۷	۱۲۳۱۲	۱۲۰۰۱	۹۹۴۵	۹۲۲۰
راندمان الکتریکی [%]	۲۱/۲۷	۲۷/۷۲	۲۸/۴۴	۳۴/۳۰	۳۷
راندمان کل سیستم [%]	۶۶/۳	۶۹/۸	۶۸/۴	۷۰/۷	۷۲/۱

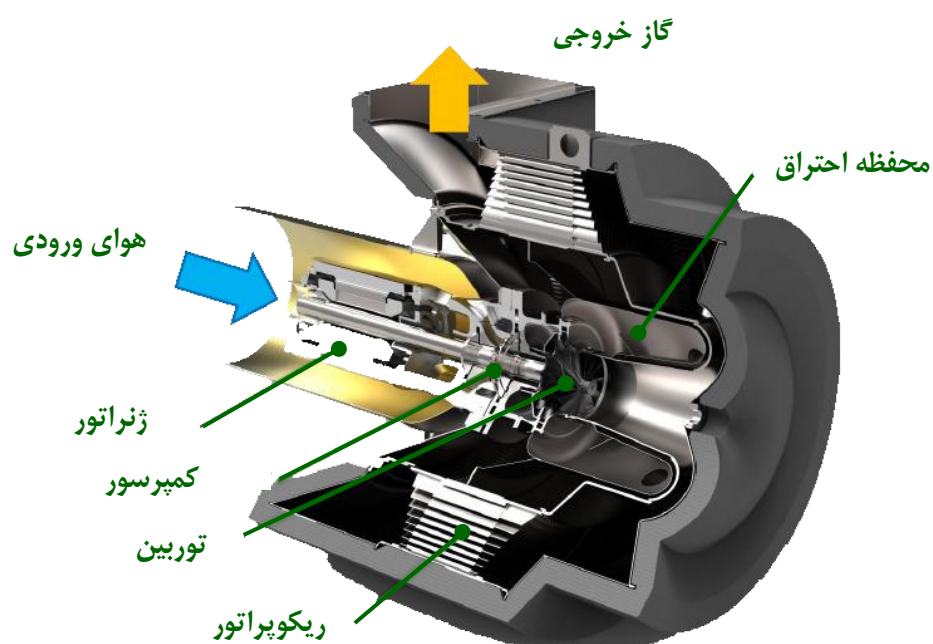
ج- میکروتوربین

میکروتوربین تکنولوژی توربین گازی توسعه یافته در مقیاس کوچک‌تر است. این تکنولوژی اساساً برای کاربرد در بخش حمل و نقل توسعه یافت، اما امروزه به عنوان روشی برای تولید برق نیز در نظر گرفته شده است. این محرک‌ها که از سوخت‌های گازی و مایع استفاده می‌نمایند دارای سرعت دورانی بسیار زیادی می‌باشند. میکروتوربین‌ها در حدود سال ۱۹۹۷ میلادی به صورت آزمایشی مورد بهره‌برداری قرار گرفته و از سال ۲۰۰۰ میلادی به صورت تجاری وارد بازار شدند. محدوده ظرفیت‌های در دسترس و یا در حال توسعه میکروتوربین‌ها از ۱۵ تا ۵۰۰ کیلووات می‌باشد این در حالیست که ظرفیت توربین‌های گاز معمولاً از ۱۰۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات است.

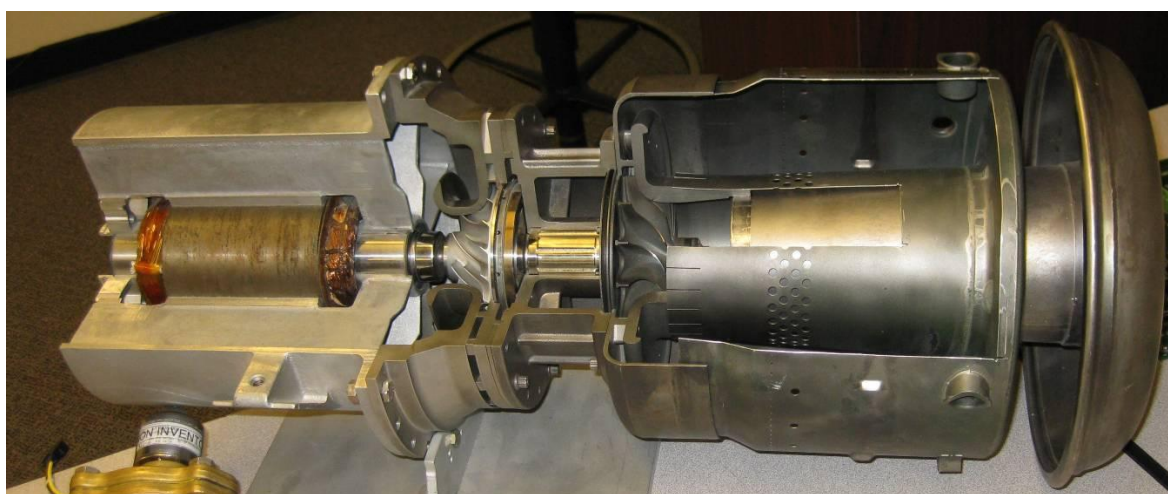
میکروتوربین‌های گازی دارای ژنراتور الکتریکی هستند که می‌توانند از سوخت‌های مختلف گاز و مایع مانند گاز طبیعی، بنزین، گازوئیل، بیوگاز و غیره استفاده کنند. میکروتوربین‌ها در واقع توربین گازهای کوچکی هستند که اکثراً مجهز به یک مبدل حرارتی داخلی تحت عنوان رکوپراتور می‌باشند. در سامانه میکروتوربین یک کمپرسور جریان شعاعی، هوای ورودی را متراکم نموده و با استفاده از گرمای گازهای خروجی، هوای متراکم شده در رکوپراتور گرم می‌گردد. سپس هوای گرم شده در محفظه احتراق با سوخت مخلوط گشته و گازهای داغ حاصل از احتراق در توربین‌های انبساطی و توربین‌های مولد توان منبسط می‌گردد.

اجزای اصلی شامل یک کمپرسور گریز از مرکز، محفظه احتراق، رکوپراتور، ژنراتور فرکانس بالا و خنک‌کننده، یکسوکننده جریان، اینورتر، کمپرسور سوخت برای سوخت‌های گازی با فشار پایین و اکزوز هستند. یاتاقان‌ها باید سرعت چرخشی بالایی را در حدود ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه تحمل کنند. پیش گرمایش هوا در رکوپراتور مصرف سوخت را کاهش داده و دمای گاز خروجی از آن را تا حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهد. در ادامه هوای گرم شده وارد محفظه احتراق شده و با سوخت می‌سوزد. گازهای داغ خروجی از محفظه با دمای حدود ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد وارد توربین شده و پره‌های آن را می‌چرخاند. این چرخش به ژنراتور با فرکانس بالا منتقل شده و باعث تولید الکتریسیته می‌شود. محصولات احتراق پس از عبور از توربین هنوز انرژی زیادی دارند. بخش قابل توجهی از این انرژی در رکوپراتور برای پیش گرم کردن هوا تا دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد و قبل از ورود به محفظه احتراق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

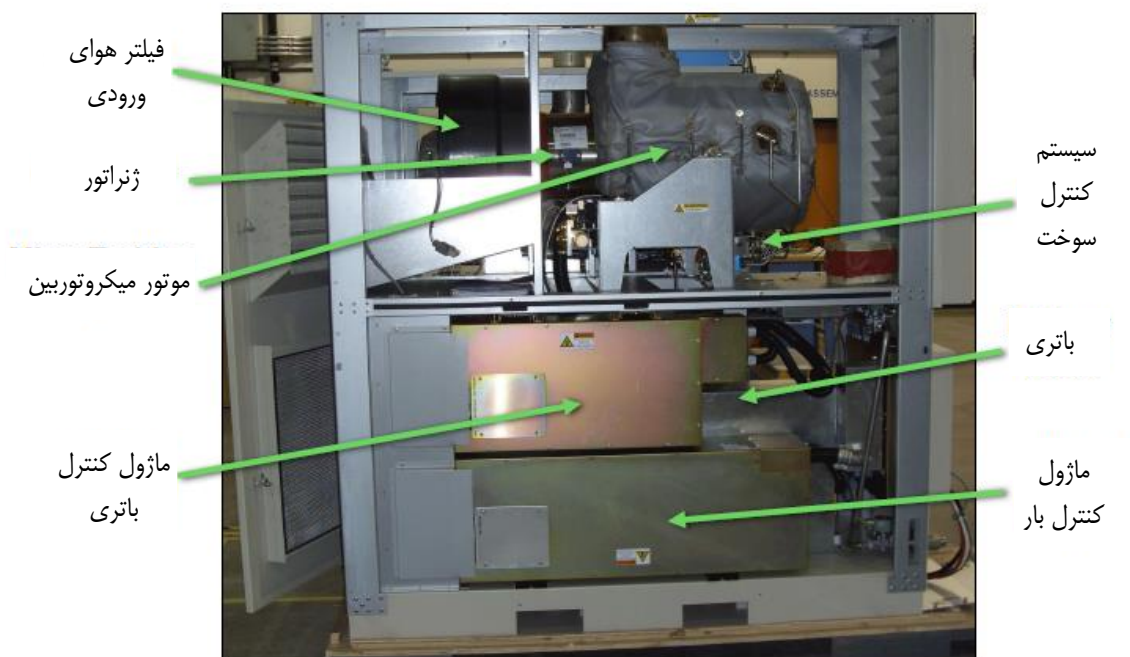
قدرت این محرک‌ها در محدوده ۱۵ تا ۵۰۰ کیلووات بوده و از مزایای آن‌ها می‌توان به اندازه کوچک، وزن کم و آلودگی پایین اشاره کرد. از معایب این سیستم می‌توان به هزینه بالا، بازده پایین و دمای گازهای خروجی پایین آن‌ها اشاره کرد. در شکل ۱۷.۲ تا شکل ۱۹.۲ روتور و قطعات داخلی یک میکروتوربین ساخت شرکت Capstone ارائه شده است [۱۳].



شکل ۱۷.۲ نمایی از یک میکروتوربین [۱۳]

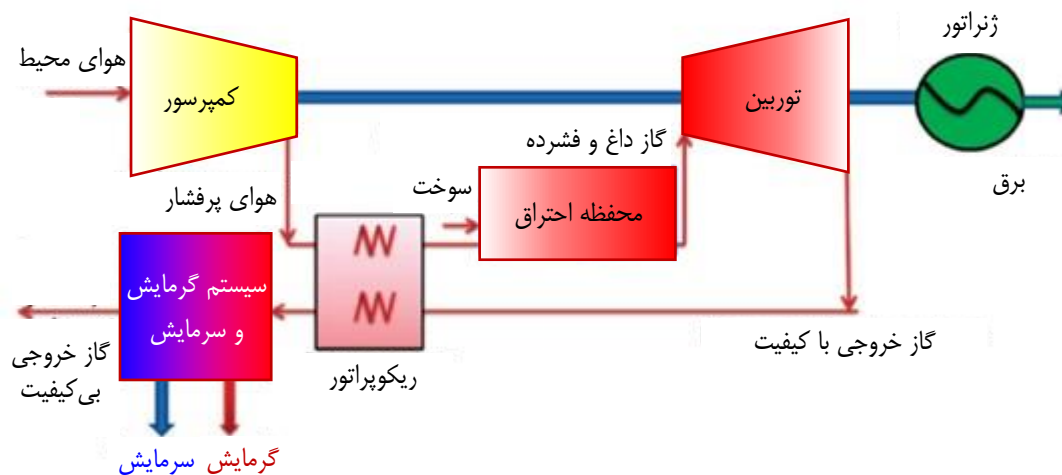


شکل ۱۸.۲ نمایی از روتور و قسمت داخلی میکروتوربین ساخت شرکت capston [۱۳]

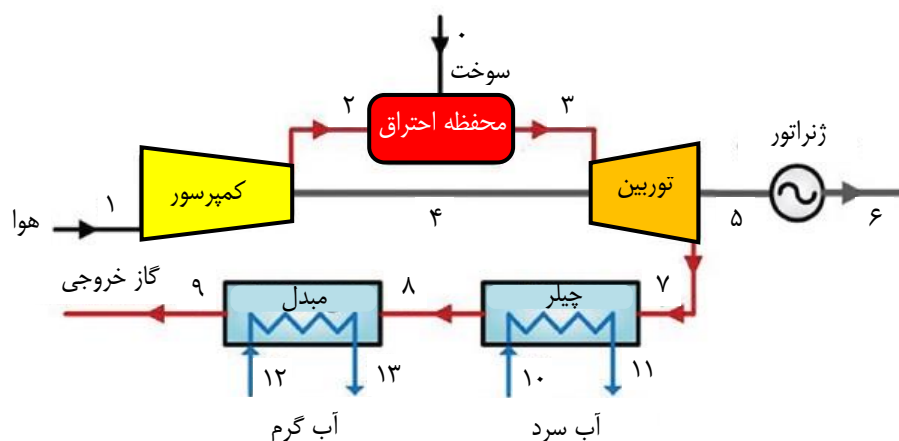


شکل ۱۹.۲ نمایی از بخش‌های مختلف میکروتوربین ساخت شرکت capston [۱۳]

گازهای خروجی از ریکوپراتور می‌توانند در ادامه جهت تولید بار سرمایشی در یک چیلر جذبی مورد استفاده قرار گیرند. در شکل ۲۰.۲ و شکل ۲۱.۲ نمایی از یک میکروتوربین به کار رفته در سیستم CCHP نشان داده شده است. در شکل ۲۲.۲ تا شکل ۲۶.۲ نیز نمایی از انواع میکروتوربین‌ها نشان داده شده است [۱۳-۱۵].



شکل ۲۰.۲ سیستم CCHP مبتنی بر میکروتوربین [۱۲]



شکل ۲۱.۲ سیستم CCHP مبتنی بر میکروتوربین



شکل ۲۲.۲ سیستم CCHP مبتنی بر میکروتوربین [۱۴]



شکل ۲۳.۲ سیستم تولید همزمان ۱/۵ مگاواتی تشکیل شده از ۲۳ میکروتوربین ۶۵ کیلوواتی [۱۵]



شکل ۲۴.۲ سیستم تولید همزمان ۲ مگاواتی تشکیل شده از ۲ پکیج میکروتوربین ۱ مگاواتی [۱۵]



شکل ۲۵.۲ میکروتوربین‌های ۳۰، ۶۵ و ۲۰۰ کیلوواتی شرکت کپستون [۱۳]



شکل ۲۶.۲ یک پکیج ۱ مگاواتی از میکروتوربین‌های شرکت کپستون (۵ میکروتوربین ۲۰۰ کیلوواتی) [۱۳]

سامانه‌های CCHP بر پایه میکروتوربین برای استفاده در مجتمع‌های تجاری، اداری و صنایع کوچک که در آن‌ها بارهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی به طور همزمان مورد مصرف قرار می‌گیرند از جمله مناسب‌ترین گزینه‌ها می‌باشد. از جمله ساختمان‌هایی که برای این کاربرد مناسب می‌باشند می‌توان به دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و خوابگاه‌ها اشاره نمود. با توجه به کم صدا بودن و آلاینده‌گی کم، کاربرد این نوع سیستم‌ها در دفاتر اداری، انبارها و مراکز خدمات بازرگانی نیز می‌تواند از توجیه اقتصادی خوبی برخوردار باشد. در خصوص کاربردهای سرمایشی نیز می‌توان به مواردی مثل رستوران‌ها، سوپرمارکت‌ها، دفاتر اداری و سردخانه‌ها اشاره نمود. در جدول ۴.۲ تا جدول ۶.۲ مشخصات چند نمونه میکروتوربین ارائه داده شده است [۱۱].

جدول ۴.۲ عملکرد چند نمونه میکروتوربین [۱۱]

مشخصات	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
ظرفیت الکتریکی [kW]	۳۰	۶۵	۲۵۰
ظرفیت حرارتی [kW]	۱۵/۰۷۵	۱۳/۸۹۱	۱۳/۰۸۰
راندمان الکتریکی [%]	۲۲/۶	۲۴/۴	۲۶/۰۹
راندمان کل سیستم [%]	۶۳/۸	۷۱/۲	۶۴

جدول ۵.۲ عملکرد چند نمونه میکروتوربین [۱۶]

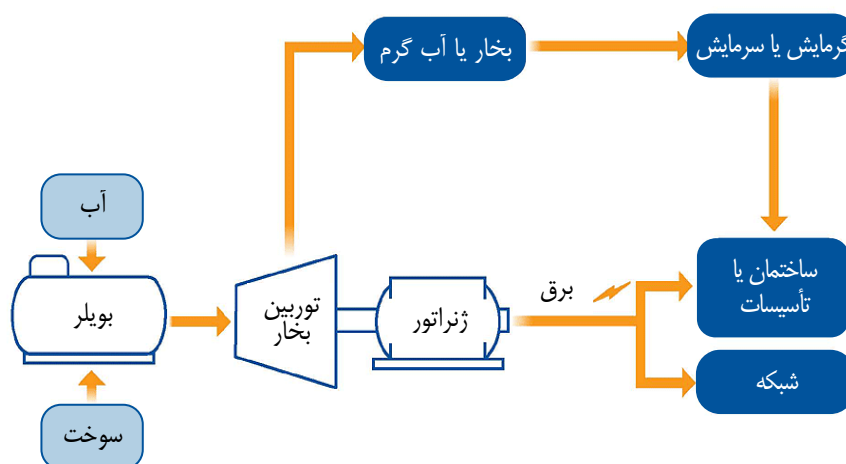
Description	System				
	1	2	3	4	5
Rated Power (kW)	65	200	250	333	1,000
Parasitic Load for Gas Compressor (kW)	4	10	8	10	50
Net Electric Power (kW)	61	190	242	323	950
Fuel Input (MMBtu/hr, HHV) ³	0.84	2.29	3.16	3.85	11.43
Useful Thermal (MMBtu/hr) ⁴	0.39	0.87	1.20	1.60	4.18
Power to Heat Ratio ⁵	0.53	0.75	0.69	0.69	0.77
Electric Efficiency (% , HHV)	24.7%	28.4%	26.1%	28.7%	28.3%
Thermal Efficiency (% , HHV)	46.9%	38.0%	38.0%	41.6%	36.6%
Overall Efficiency (% , HHV)	71.6%	66.3%	64.0%	70.2%	64.9%

جدول ۶.۲ عملکرد چند نمونه میکروتوربین [۱۶]

Description	System				
	1	2	3	4	5
Net Electric Power (kW)	61	190	242	323	950
Complete Microturbine Package ⁷	\$2,120	\$2,120	\$1,830	\$1,750	\$1,710
Construction and Installation	\$1,100	\$1,030	\$870	\$800	\$790
Installed Cost (\$/kW)	\$3,220	\$3,150	\$2,700	\$2,560	\$2,500
O&M, not including fuel (\$/kWh)	1.3	1.6	1.2	0.8	1.2

د- توربین بخار

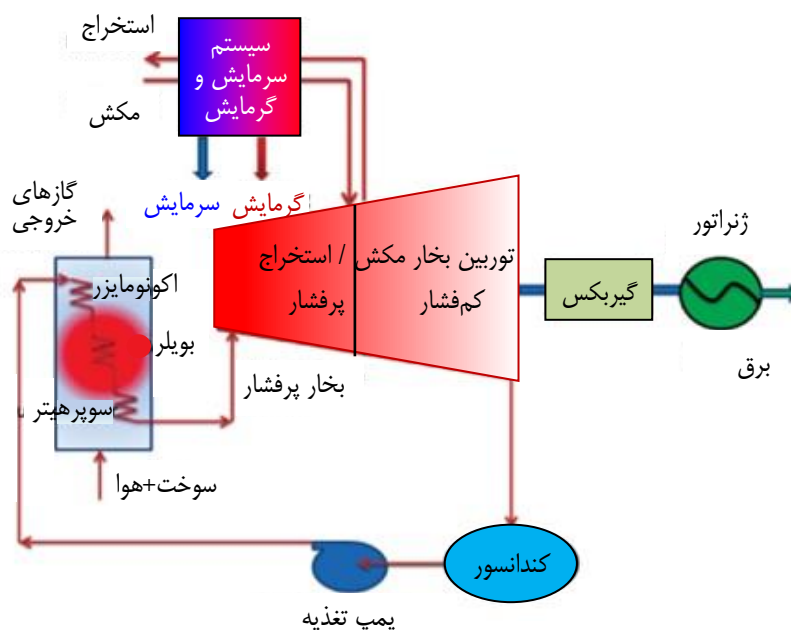
از توربین‌های بخار به طور گسترده در نیروگاه‌ها و صنعت استفاده می‌شود. در توربین‌های بخار از بخار با فشار و درجه حرارت بالای یک بویلر استفاده می‌کنند. بخار تولیدی بویلر درون توربین جریان یافته و توربین را به گردش در می‌آورد. بخار خروجی از توربین در درجه حرارت و فشار پایین می‌باشد. اختلاف عمده توربین بخار نسبت به موتورهای رفت و برگشتی و توربین‌های گاز در نوع احتراق است که در خارج آن و در یک دستگاه مجزا به نام بویلر اتفاق می‌افتد. این کار اجازه می‌دهد تا از طیف گسترده‌ای از سوخت‌ها از جمله سوخت‌های جامد نظیر ذغال سنگ یا مواد ضایعاتی جامد استفاده کرد. البته بخار خروجی می‌تواند برای مصارف گرمایش و یا تأمین انرژی مورد نیاز چیلر جذبی نیز مورد استفاده قرار بگیرد. در شکل ۲۷.۲ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار نشان داده شده است.



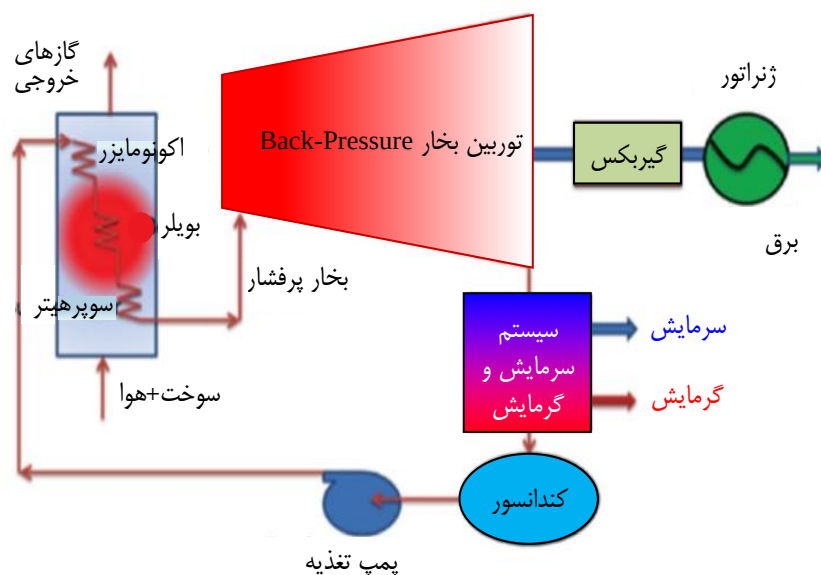
شکل ۲۷.۲ سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار [۱۷]

توربین‌های بخار در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف وجود دارند. برخی از توربین‌ها از نوع تقطیرکننده و برخی دیگر از نوع غیر تقطیرکننده می‌باشند. نحوه کارکرد توربین‌های بخار تقطیرکننده به این صورت است که بخار در فشار پایین (کمتر از فشار اتمسفریک) از توربین خارج شده و در یک کندانسور با درجه حرارت نزدیک به درجه حرارت محیط، تقطیر می‌شود. این نوع

توربین‌ها بیشترین توان الکتریکی را تأمین کرده و بنابراین پر مصرف‌ترین نوع توربین در نیروگاه‌ها و سرویس‌های برقی می‌باشند. از آنجایی که بخار خروجی انرژی در دسترس کمتری را داراست، از کاربرد توربین‌های بخار تقطیری در سیستم‌های تولید همزمان کمتر استفاده می‌شود. توربین‌های بخار غیر تقطیری توربین‌های بخاری هستند که بخار خروجی آن در فشاری بالاتر از فشار اتمسفریک قرار دارند. این توربین‌های بخار را توربین‌های بخار با فشار عقب نیز می‌نامند. بخار خروجی از این نوع توربین‌ها انرژی کافی برای ایجاد گرمایش در فرآیند یا ساختمان را دارا هستند. هر دو نوع توربین بخار را می‌توان به سیستمی که بتواند در آن‌ها بخشی از بخار توربین را در یک یا چند محل و با فشاری بین فشار ورودی و خروجی گرفت، مجهز کرد. بخار حاصل شده را می‌توان برای نیازهای غیر فرایندی یا گرمایش در درجه حرارت‌های بالاتر مورد استفاده قرار داد. توربین‌های غیر تقطیرکننده در طیف گسترده‌ای از توان خروجی (۲۵۰ تا ۲۵۰,۰۰۰ کیلووات) وجود دارند. فشار بخار ورودی از ۱۰ تا ۱۴۰ بار بوده و درجه حرارت ورودی نیز در محدوده ۲۵۰ تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند. بسته به طراحی مشخص و کاربرد بخصوص نسبت حرارت به توان الکتریکی برای توربین‌های بخار از ۴ تا ۱۰ متغیر بوده و راندمان حرارتی با بزرگ‌تر شدن اندازه توربین افزایش یافته و می‌تواند از ۸ تا ۲۰ درصد تغییر کند. اگر چه منبع عمده انرژی حرارتی بخار حاصل شده یا خروجی است، ولی در بعضی موارد اگر بویلر نیز می‌تواند به عنوان منبع ثانویه انرژی حرارتی تلقی گردد. در شکل ۲۸.۲ و شکل ۲۹.۲ دو نمونه از کاربردهای توربین‌های بخار در سیستم‌های CCHP نشان داده شده است [۱۲].



شکل ۲۸.۲ سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار [۱۲]



شکل ۲۹.۲ سیستم CCHP مبتنی بر توربین بخار Back-pressure [۱۲]

توربین‌های بخار بازده بالا داشته و از هر نوع سوخت می‌توان در آن‌ها استفاده کرد. طول عمر طولانی و قابلیت اطمینان بالا از مزایای این محرک‌ها می‌باشد. راه‌اندازی کند و نسبت قدرت به حرارت کم از معایب این سیستم‌ها است. ظرفیت موجود این محرک‌ها در محدوده ۲۵۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات می‌باشد. در

جدول ۷.۲ عملکرد توربین بخار با ظرفیت‌های مختلف نشان داده شده است [۱۱].

جدول ۷.۲ عملکرد توربین بخار با ظرفیت‌های مختلف [۱۱]

مشخصات	نوع ۱	نوع ۲	نوع ۳
ظرفیت الکتریکی [kW]	۵۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰۰
راندمان حرارتی توربین [%]	۵۰	۷۰	۸۰
راندمان بویلر [%]	۸۰	۸۰	۸۰
راندمان الکتریکی [%]	۶/۴	۶/۹	۹/۳
راندمان کل سیستم [%]	۷۹/۶	۷۹/۵	۷۹/۷

۵- پیل سوختی

به طور کلی پنج نوع پیل سوختی برای کاربردهای تولید پراکنده مورد توجه قرار گرفته است. نوع پیل سوختی بر اساس الکترولیت بکار رفته که واسط هدایت‌کننده یون‌ها می‌باشد، تعیین می‌گردد. دو نوع از پیل‌های سوختی یعنی پیل سوختی غشاء مبادله‌کننده پروتون^۱ (PEMFC) و پیل سوختی فسفریک اسید^۲ (PAFC) دارای الکترولیت اسیدی می‌باشند و متکی بر

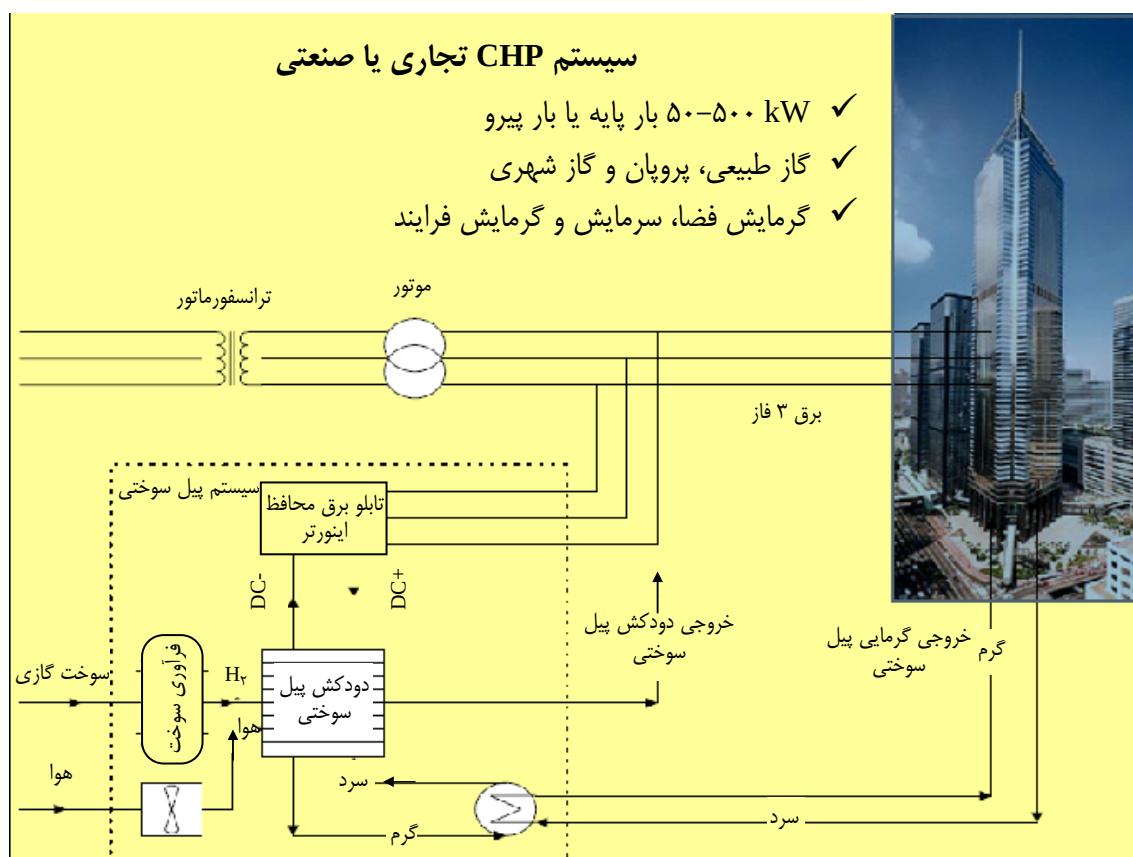
^۱ Proton-Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

^۲ Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

جابه‌جایی یون‌های H^+ هستند. دو نوع دیگر پیل سوختی یعنی پیل سوختی قلیایی^۱ (AFC) و پیل سوختی کربنات مذاب^۲ (MCFC) دارای الکترولیت‌های پایه می‌باشند که براساس جابه‌جایی یون OH^- و CO_3^{2-} کار می‌کنند. نوع پنجم پیل‌های سوختی یعنی پیل سوختی اکسید جامد^۳ (SOFC) براساس الکترولیت سرامیکی (حالت جامد) می‌باشند که متکی بر حرکت یون‌های اکسیژن O^{2-} می‌باشند. اغلب از پیل‌های سوختی دما پایین (مانند پیل‌های سوختی پلیمری) در کاربری‌های مسکونی و از پیل‌های سوختی دما بالا (مانند پیل‌های سوختی اکسید جامد) در کاربری‌های تجاری، اداری و... استفاده می‌شود. در این میان پیل‌های سوختی دما بالا در سیستم‌های CCHP بیشتر کاربرد دارند.

در شکل ۳۰.۲ تا شکل ۳۳.۲ نمونه‌های مختلفی از کاربرد پیل‌های سوختی در سیستم‌های تولید همزمان نشان داده شده

است.



¹ Alkaline Fuel Cell (AFC)

² Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

³ Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)



شکل ۳۱.۲ نیروگاه ۱۱۰ کیلوواتی پیل سوختی با رانندمان ۴۶ درصد [۱۸]



شکل ۳۲.۲ نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی پیل سوختی با رانندمان ۴۵ درصد [۱۸]



شکل ۳۳.۲ نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی پیل سوختی با راندمان ۴۶ درصد [۱۹]

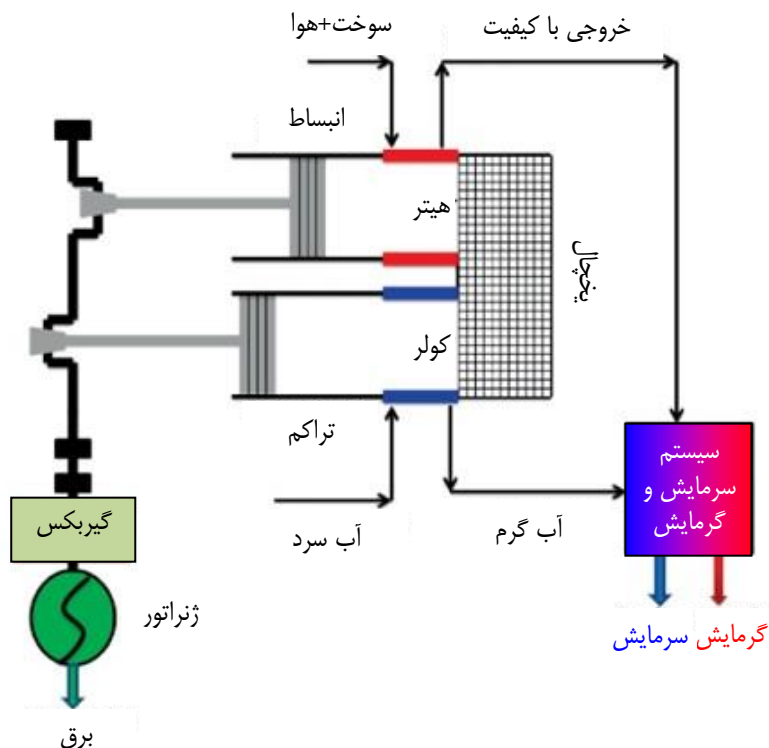
برخلاف سایر محرکه‌های اولیه که بازدهی الکتریکی آن‌ها کم می‌باشد، بازده الکتریکی پیل‌های سوختی به دلیل تبدیل مستقیم انرژی شیمیایی به الکتریکی، بالا و نزدیک ۵۰ درصد می‌باشد. حدود ۲۵ درصد انرژی سوخت ورودی به پیل نیز از گرمای با کیفیت بالا در دودکش و رفورمر قابل بازیافت می‌باشد. ۲۵ درصد دیگر انرژی ورودی به پیل نیز به صورت گرمای نهان در آب تولید شده توسط پیل سوختی ظاهر می‌گردد. معمول‌ترین روش استفاده از این انرژی گرمایی تولید آب گرم و یا بخار فشار پایین برای استفاده در فرآیندها و یا گرمایش هوا می‌باشد.

بطور کلی در پیل‌های سوختی چهار منبع برای بازیافت گرما وجود دارد که شامل گازهای خروجی از آند، هوای داغ خروجی از کاتد، گرمای ریفورمر و گرمای بدنه پیل می‌باشد. کیفیت گرمای قابل بازیافت به نوع پیل سوختی و دمای کارکرد آن بستگی دارد. لازم به ذکر است که چون دمای کارکرد پیل سوختی PEMFC کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، استفاده از این نوع پیل‌ها برای کاربرد CHP مناسب نمی‌باشد. پیل‌های سوختی نوع PAFC دارای بازدهی الکتریکی ۳۶ درصد و بازدهی کلی CHP در حدود ۷۲ درصد می‌باشند. این بدان معنی است که این نوع پیل‌ها دارای ۳۶ درصد بازدهی گرمایی بوده و نسبت تولید برق به گرمای آن برابر یک می‌باشد. پیل‌های سوختی نوع SOFC و MCFC به دلیل دمای بالای گازهای خروجی از آن‌ها قابلیت بالایی برای استفاده در سیستم‌های تولید همزمان انرژی را دارند.

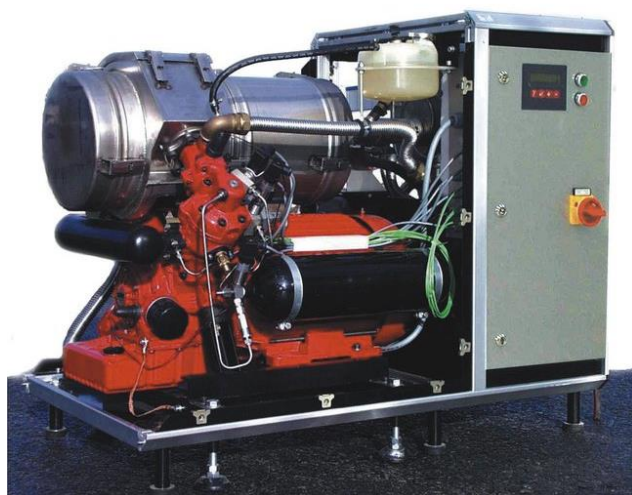
و- موتور استرلینگ

بر خلاف موتورهای احتراق داخلی موتور استرلینگ یک موتور احتراق خارجی می‌باشد که بر پایه یک سیکل بسته کار می‌کنند. در این سیکل سیال کاری به صورت متناوب در یک سیلندر سرد فشرده شده و در یک سیلندر داغ منبسط می‌شود. دو تقسیم‌بندی پایه برای این موتورها وجود دارد. موتوره‌ای استرلینگ سینماتیک و موتوره‌ای استرلینگ پیستون آزاد و در یک تقسیم‌بندی دیگر شامل سه گروه آلفا، بتا و گاما می‌باشند. این موتورها می‌توانند با انواع سوخت‌ها کار کنند و بر خلاف موتورهای احتراق داخلی می‌توانند با یک فرایند احتراقی کنترل شده و پیوسته که منجر به صدور کمتر گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، فعالیت کنند. موتوره‌ای استرلینگ تا توان ۱۵۰ کیلووات مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزایای این موتورها می‌توان به صدای کم و کارکرد بدون لرزش، هزینه نگهداری کم، قابلیت اعتماد پذیری بالا، قابلیت استفاده از سوخت‌های مختلف و طول عمر طولانی

اشاره کرد. مشکل عمده این موتورها هزینه بالا و بازده کم می‌باشد. در شکل ۳۴.۲ نمایی از یک سیستم CCHP با محرک موتور استرلینگ ارائه شده است. در شکل ۳۵.۲ نیز یک موتور استرلینگ نشان داده شده است [۱۲].



شکل ۳۴.۲ شماتیکی از کاربرد موتور استرلینگ در سیستم‌های CCHP [۱۲]



شکل ۳۵.۲ نمایی از یک موتور استرلینگ [۲۰]

ی- مزایا و معایب

برای انتخاب یک محرک اولیه مناسب در یک سیستم تولید همزمان، بیان مزایا و معایب هر کدام می‌تواند کمک زیادی در انتخاب آن‌ها نماید. بر همین اساس در جدول ۸.۲ مقایسه‌ای بین انواع محرک‌های سیستم‌های تولید همزمان انجام شده است.

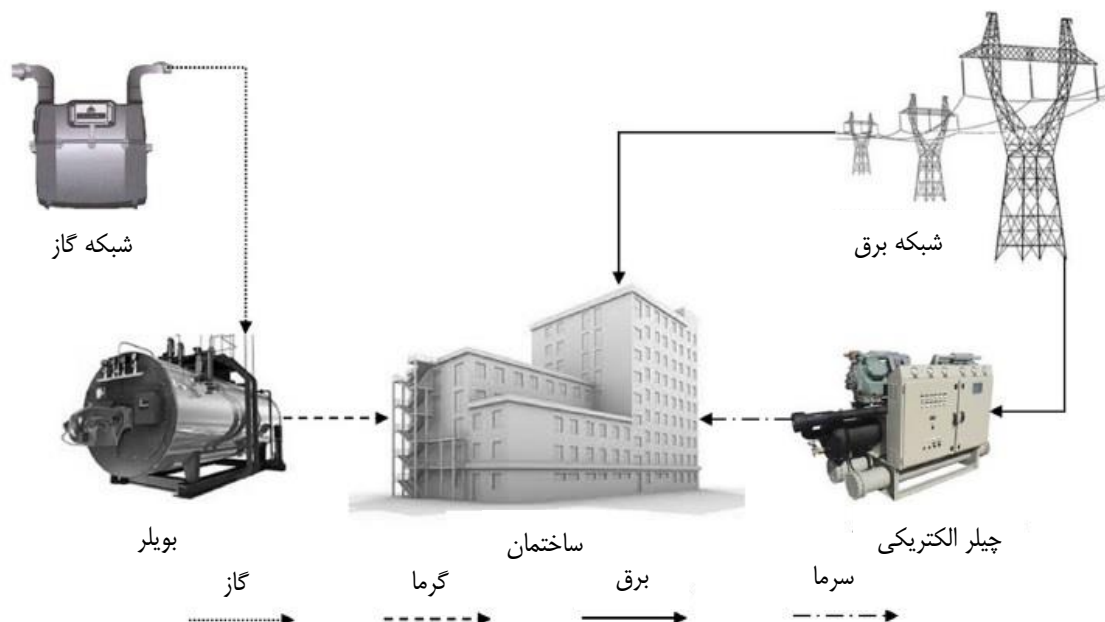
جدول ۸.۲ مقایسه‌ای بین انواع محرک‌های سیستم‌های تولید همزمان

محرک اولیه	مزایا	معایب	ظرفیت و راندمان
توربین گاز	اعتمادپذیری بالا آلایندگی پایین در دسترس بودن حرارت بالا عدم نیاز به سیستم خنک‌کنندگی	نیاز به گاز با فشار بالا و یا کمپرسور در ورودی بازدهی خیلی پایین در ظرفیت‌های کم افت توان خروجی با افزایش دمای محیط	۵۰۰ الی ۲۵۰,۰۰۰ کیلووات راندمان الکتریکی (%): ۳۶-۲۴ راندمان CHP (%): ۶۶-۷۱ نسبت توان الکتریکی به حرارت: ۰/۶ تا ۱/۱
میکروتوربین گازی	قطعات متحرک کمتر ابعاد کوچک و وزن کم آلایندگی پایین عدم نیاز به سیستم خنک‌کنندگی	هزینه بالا بازدهی مکانیکی نسبتاً پایین محدود به کاربردهای تولید همزمان با دمای پایین	۱۵ الی ۵۰۰ کیلووات راندمان الکتریکی (%): ۲۸-۲۲ راندمان CHP (%): ۶۳-۷۰ نسبت توان الکتریکی به حرارت: ۰/۵ تا ۰/۷
موتورهای رفت و برگشتی (جرقه‌ای یا تراکمی)	بازده بالا همراه با انعطاف‌پذیری در شرایط عملیاتی و بارگذاری جزئی راه اندازی سریع هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً پایین امکان اورهال در خود سایت با اپراتورهای معمولی کار کردن با گاز فشار پایین	هزینه تعمیر و نگهداری بالا محدود به کاربردهای تولید همزمان با دمای پایین آلایندگی نسبتاً بالا نیاز به خنک کردن دارد حتی اگر سیستم بازیافت حرارت استفاده نشود میزان بالایی نویز با فرکانس پایین تولید می‌کند	۵ الی ۱۰,۰۰۰ کیلووات راندمان الکتریکی (%): ۴۱-۲۷ راندمان CHP (%): ۷۷-۸۰ نسبت توان الکتریکی به حرارت: ۰/۵ تا ۱/۲
توربین بخار	بازدهی کلی بالا امکان استفاده از هر نوع سوختی اعتمادپذیری بالا طول عمر مفید و بالا	راه اندازی کند نسبت پایین توان الکتریکی به حرارتی	۲۵۰ الی ۲۵۰,۰۰۰ کیلووات راندمان الکتریکی (%): ۴۰-۳۵ راندمان CHP (%): ۷۵-۸۰ نسبت توان الکتریکی به حرارت: ۰/۷ تا ۰/۱
پیل‌های سوختی	آلایندگی و نویز پایین بازدهی بالا در تمام شرایط بارگذاری طراحی مطابق با مقیاس موردنظر	هزینه بالا دوام کم سوخت نیاز به پردازش دارد به جز مواردی که از هیدروژن خالص استفاده می‌شود	۱۰۰ الی ۲۵۰ کیلووات راندمان الکتریکی (%): ۶۰-۵۰ راندمان CHP (%): ۵۵-۸۰ نسبت توان الکتریکی به حرارت: ۱ تا ۲

۴.۱.۴.۲ دسته‌بندی از نظر محرک‌های ثانویه

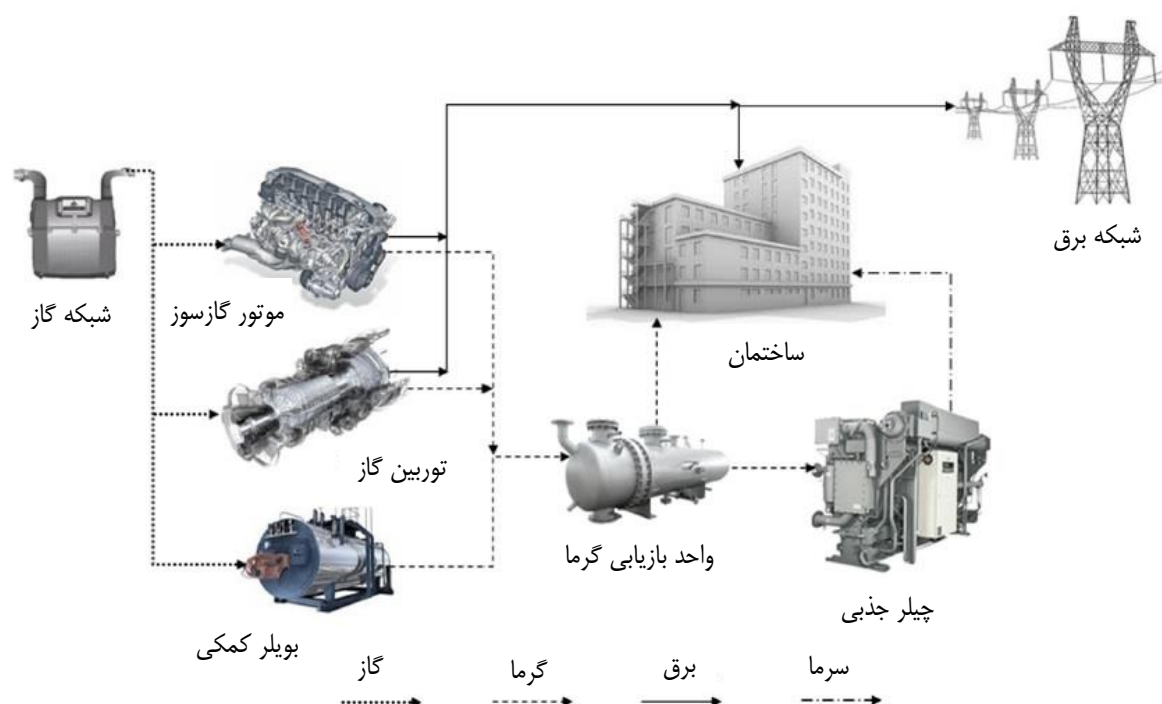
جهت تأمین بار سرمایشی و گرمایشی فضاها اغلب از دو سیستم گرمایشی و سرمایشی مجزا استفاده می‌شود. در این میان اغلب دیگ‌ها و بویلرها عامل تأمین‌کننده بار گرمایشی و چیلرها عامل تأمین بار سرمایشی می‌باشند. در شکل ۳۶.۲ شماتیکی از این نوع سیستم‌های مرسوم نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود اغلب از شبکه برق سراسری جهت تأمین برق چیلرهای تراکمی استفاده شده و از شبکه گاز سراسری نیز گاز مورد نیاز دیگ‌ها و بویلرها تأمین

می‌شود. مصرف برق بالای چیلرهای تراکمی و تلفات بالا در دیگ‌های حرارتی سبب شده است که بخش زیادی از انرژی در این سیستم‌ها از بین برود. سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت یکی از روش‌هایی است که کمک می‌کند تلفاتی از این دست کاهش پیدا کرده و به حداقل برسد [۲۱].



شکل ۳۶.۲ شماتیکی از یک سیستم گرمایش و سرمایش سستی [۲۱]

همانطور که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد سیستم‌های CCHP دارای یک محرک ثانویه می‌باشند که جهت تولید بار سرمایشی از آن‌ها استفاده می‌شود. چیلرهای تراکمی و جذبی دو سیستم برودتی هستند که به عنوان منبع اصلی تولید بار سرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در چیلرهای تراکمی منبع اصلی دستگاه، انرژی الکتریکی بوده و در چیلرهای جذبی انرژی حرارتی به عنوان منبع ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میان با توجه به اینکه هدف عمده سیستم CCHP استفاده از تلفات انرژی حرارتی است، لذا چیلرهای جذبی بیشتر مورد توجه قرار دارد. در شکل ۳۷.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP با محرک ثانویه چیلر جذبی نشان داده شده است [۲۱].

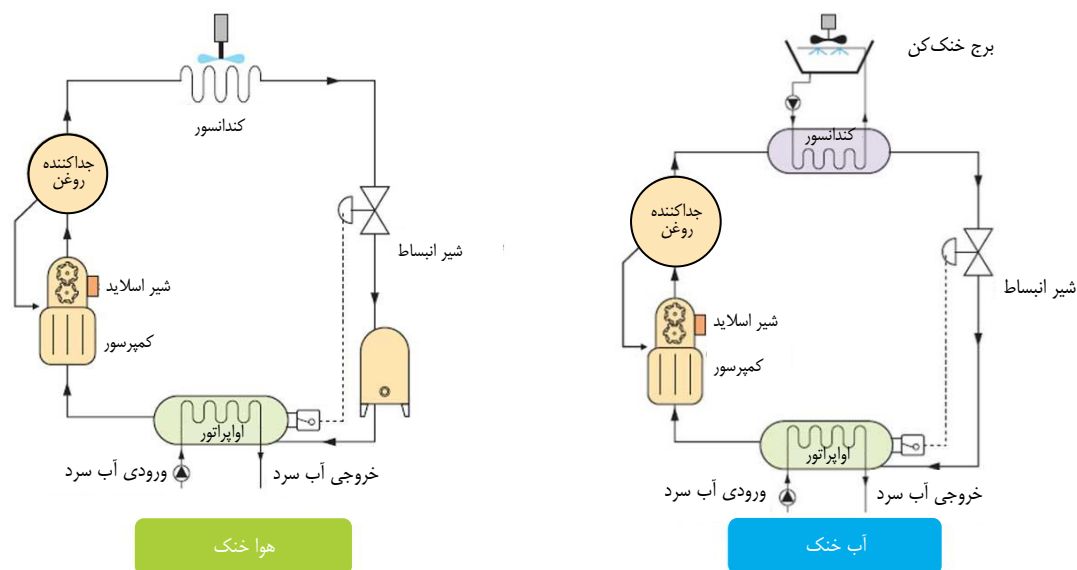


شکل ۳۷.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP با محرک ثانویه چیلر جذبی [۲۱]

در ادامه این بخش دو نوع محرک ثانویه استفاده شده در سیستم‌های CCHP معرفی می‌شوند.

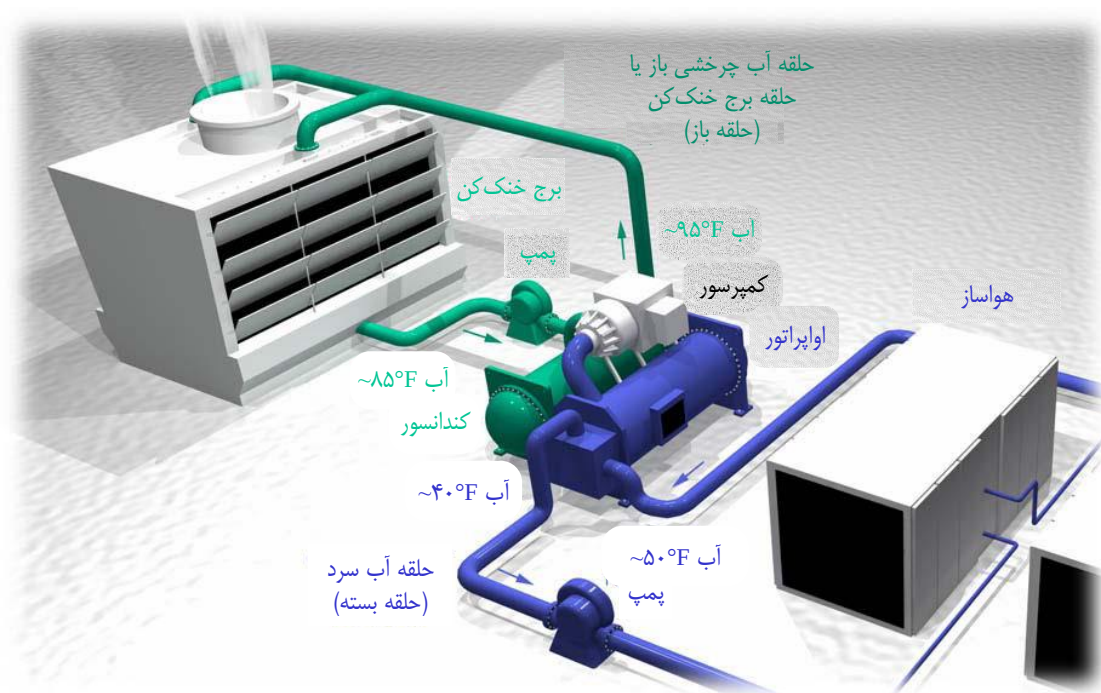
الف - چیلر تراکمی

همه چیلرهای تراکمی دارای چهار بخش اصلی کمپرسور (متراکم‌کننده)، کندانسور (تقطیرکننده)، اواپراتور (تبخیرکننده) و کنترل‌کننده میبرد (شیر انبساط) هستند. در چیلرهای یکپارچه هر چهار جز اصلی در کنار یکدیگر و بر روی یک شاسی و قاب قرار می‌گیرند ولی در چیلرهای دو پارچه اواپراتور و کمپرسور بر روی یک شاسی و در داخل موتورخانه نصب شده و کندانسور هوایی در فضای باز قرار می‌گیرد. یکی از مزایای مهم چیلرهای تراکمی همین تنوع و گوناگونی آنها است که امکان کاربری گسترده‌ای را به آنها داده است. ضریب کارایی نسبتاً خوب این چیلرها از جمله دیگر مزایای مهم آنها محسوب می‌شود. بزرگترین عیب چیلرهای تراکمی مصرف نسبتاً زیاد برق آنهاست که موجب افزایش قابل توجه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های دوره راهبری می‌شود. این تجهیزات اغلب ضمن استهلاک زیاد، تجهیزاتی پرسروصدا محسوب می‌شوند و سیال عامل آنها آسیب‌های زیست محیطی دارد. چیلرهای تراکمی به سه گونه چیلرهای آب خنک، هوا خنک یکپارچه و هوا خنک دو پارچه تقسیم بندی می‌شوند. در چیلرهای آب خنک از آب برای خنک کردن گاز داخل چیلر استفاده شده و در نوع هوا خنک از هوا برای این کار استفاده خواهد شد. در شکل ۳۸.۲ شماتیکی از این دو نوع سیستم آب خنک و هوا خنک ارائه شده است.



شکل ۳۸.۲ شماتیک کارکرد چیلرهای تراکمی آب خنک و هوا خنک

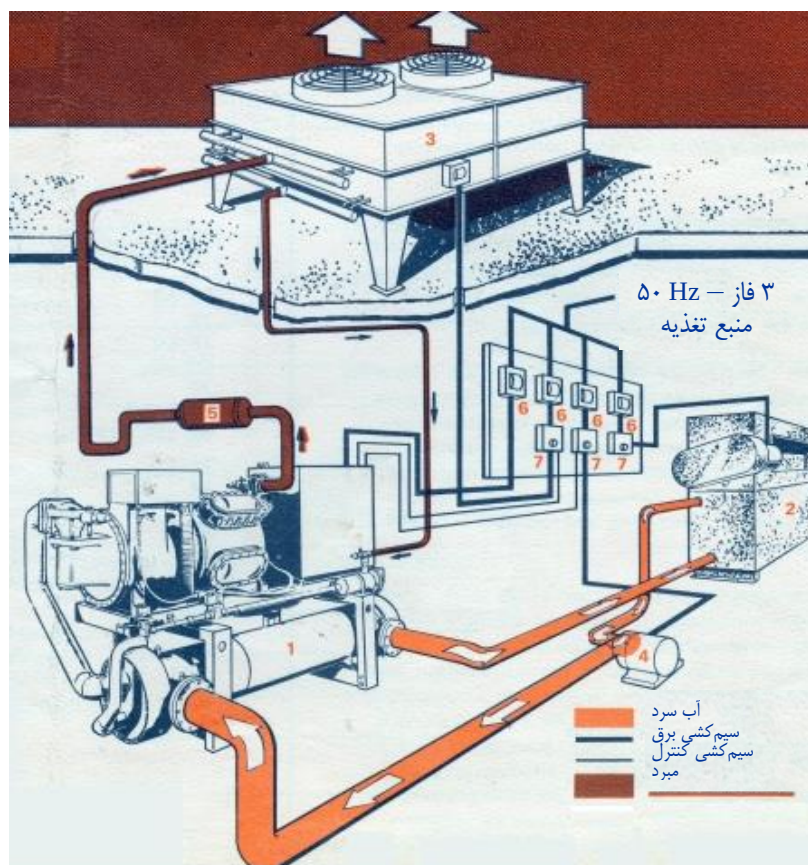
همانطور که مشاهده می‌شود سیستم آب خنک دارای ۳ سیکل بسته و سیستم هوا خنک دارای دو سیکل بسته می‌باشد. مزیت چیلرهای آب خنک مصرف برق پایین می‌باشد، این در حالیست که این نوع چیلرها در مناطق مرطوب کارایی لازم را ندارند. از طرف دیگر چیلرهای هوا خنک به دلیل مصرف برق بالا گزینه مناسبی برای سیستم‌های CCHP نمی‌باشند. در شکل ۳۹.۲ تا شکل ۴۱.۲ نمایی از انواع مختلف چیلرهای تراکمی ارائه شده است.



شکل ۳۹.۲ نمایشی از چیلر تراکمی آب خنک [۲۲]



شکل ۴۰.۲ نمایشی از چیلر تراکمی هوا خنک یکپارچه



شکل ۴۱.۲ نمایش از چیلر تراکمی هوا خنک دو پارچه [۲۳]

خنک‌کن‌های تراکمی دارای کاربری‌های مختلفی بوده و در شرایط ذیل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الف) خنک‌کن‌های تراکمی به دلیل تنوع زیاد، محدودیت چندانی برای کاربری‌های مختلف تحت شرایط اقلیمی متفاوت ندارند مگر این که استفاده از آن‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد.

ب) پروژه‌هایی که دارای تجهیزات تبادل حرارت دو فصلی مانند فن کویل و هواساز هستند و بنا به شرایط اقلیمی نتوان از چیلرهای جذبی در آن‌ها استفاده کرد.

ج) اماکنی که نیازمند تجهیزات سرمایشی مستقل در فصول غیر گرم سال هستند مانند مرکز کامپیوتر، مخابرات و...

د) اماکن کوچکی که بنا به دلایل مختلف مانند شرایط اقلیمی و یا لزوم رطوبت کم، در آن‌ها نتوان از خنک‌کننده‌های تبخیری استفاده کرد.

سیستم‌های تبرید تراکمی بر اساس اجزاء تشکیل دهنده به چند دسته مجزا تقسیم‌بندی می‌شوند. تقسیم‌بندی بر اساس نوع کمپرسور، نوع اواپراتور، نوع کندانسور، نوع شیر انبساط، نوع مبرد و نوع روغن می‌باشد. کمپرسورهای تبرید قلب یک سیستم تبرید هستند زیرا عمل آن‌ها مکش گاز از اواپراتور و رانش به طرف کندانسور می‌باشد. کمپرسور در قسمت مکش تولید فشار ضعیف و در قسمت خروجی تولید فشار زیاد می‌نماید که این گاز به نوبه خود در کندانسور مایع می‌گردد. کمپرسور یا متراکم‌کننده در انواع مختلفی نقش متراکم‌کننده ماده مبرد را در یک چرخه سرمایشی به عهده دارد. کمپرسورها در واقع مصرف‌کننده عمده انرژی الکتریکی بوده و استفاده از کمپرسورهای با مصرف برق پایین در سیستم‌های CCHP باید مد نظر

باشد. گوناگونی کمپرسور می‌تواند وجه تمایزی در انواع سیستم‌های تبرید تراکمی باشد. سیستم‌های تبرید تراکمی از نظر نوع کمپرسور به پنج دسته ذیل دسته بندی می‌شوند:

- سیستم‌های تبرید تراکمی با کمپرسور رفت و برگشتی (پیستونی، ضربه ای)

- سیستم‌های تبرید تراکمی با کمپرسور دوار (روتاری)

- سیستم‌های تبرید تراکمی با کمپرسور گریز از مرکز (سانتریفوژ)

- سیستم‌های تبرید تراکمی با کمپرسور ماریچی (اسکرو)

- سیستم‌های تبرید تراکمی با کمپرسور حلزونی (اسکرال)

در جدول ۹.۲ ظرفیت موجود چیلرها، مصرف برق و ضریب عملکرد کمپرسورها ارائه شده است.

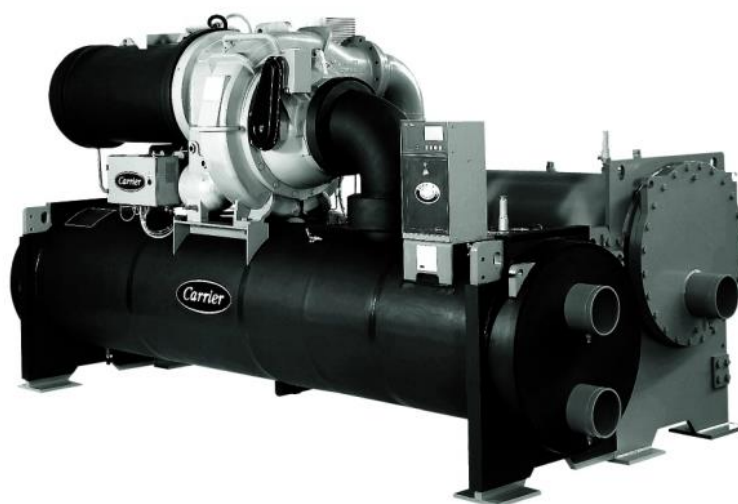
جدول ۹.۲ مقایسه‌ای بین انواع محرک‌های سیستم‌های تولید همزمان

سیستم خنک‌کننده	ضریب عملکرد	مصرف برق (کیلووات به ازای هر تن تبرید)	ظرفیت چیلر (تن تبرید)	نوع کمپرسور چیلر
آب	ضریب عملکرد ۶ تا ۸	۰/۶ - ۰/۷	دور ثابت (چیلر ۱۰۰ تا ۳۰۰۰)	گریز از مرکز
	ضریب عملکرد ۸ تا ۱۲	۰/۴۵ - ۰/۶	دور متغیر (چیلر ۱۰۰ تا ۳۰۰۰)	
آب و هوا	۵/۵ تا ۴/۵	۰/۶ - ۱	۶۵۰ تا ۵۰	ماریچی
آب و هوا	۶/۵ تا ۴/۵	۰/۸ - ۱/۱	۱۰۰ تا ۱۰	حلزونی
آب و هوا	۴ تا ۲/۵	۰/۸ - ۱/۴	۴۰۰ تا ۲۰	رفت و برگشتی

همانطور که مشاهده می‌شود با توجه به اینکه در صورت استفاده از چیلرهای تراکمی در سیستم‌های CCHP انرژی الکتریکی مصرفی در سیستم زیاد خواهد بود لذا استفاده از چیلرهای با کمپرسورهای گریز از مرکز (سانتریفوژ)، کمپرسور ماریچی (اسکرو) و کمپرسور حلزونی (اسکرال) باید مد نظر باشد. از سوی دیگر استفاده از نوع آب خنک مصرف برق پایین داشته و دارای کارایی بالاست. در شکل ۴۲.۲ تا شکل ۴۵.۲ نمایی از انواع کمپرسور و چیلرهای تراکمی آورده شده است.



شکل ۴۲.۲ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور رفت و برگشتی [۲۳]



شکل ۴۳.۲ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور سانتریفوژ [۲۴]

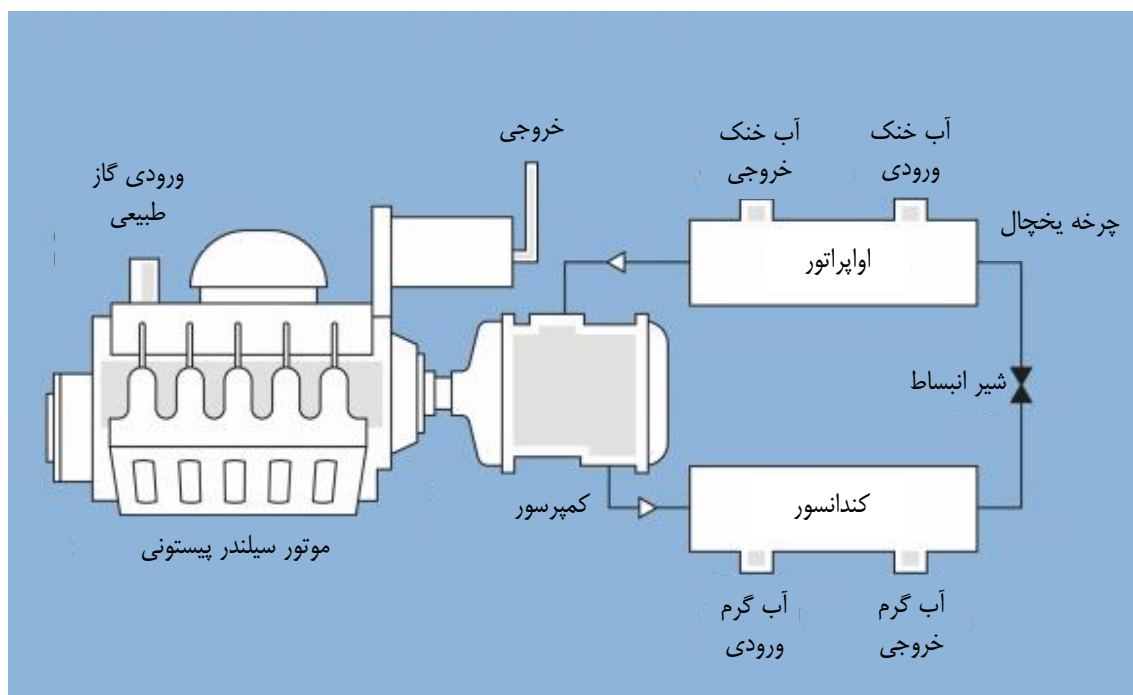


شکل ۴۴.۲ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور اسکرو



شکل ۴۵.۲ نمایی از چیلر تراکمی با کمپرسور اسکرال

همانطور که در بخش قبل به آن اشاره شد در صورت استفاده از چیلر تراکمی در یک سیستم CCHP باید بخش زیادی از جریان الکتریکی تولید شده در محرک اولیه صرف استفاده در کمپرسور چیلر تراکمی گردد. این مسئله سبب خواهد شد در انتخاب چیلر تراکمی، کمپرسورهای با مصرف برق پایین و همچنین چیلرهای آبی در سیستم CCHP استفاده گردد. از سوی دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ظرفیت‌های برودتی بالا این نوع سیستم‌ها مقرون به صرفه نیست. در شکل ۴۶.۲ نمایی از یک سیستم CCHP با محرک اولیه موتور رفت و برگشتی و چیلر تراکمی نشان داده شده است.



شکل ۴۶.۲ شماتیک از کارکرد چیلر تراکمی آب خنک با محرک موتور سیلندر پیستونی

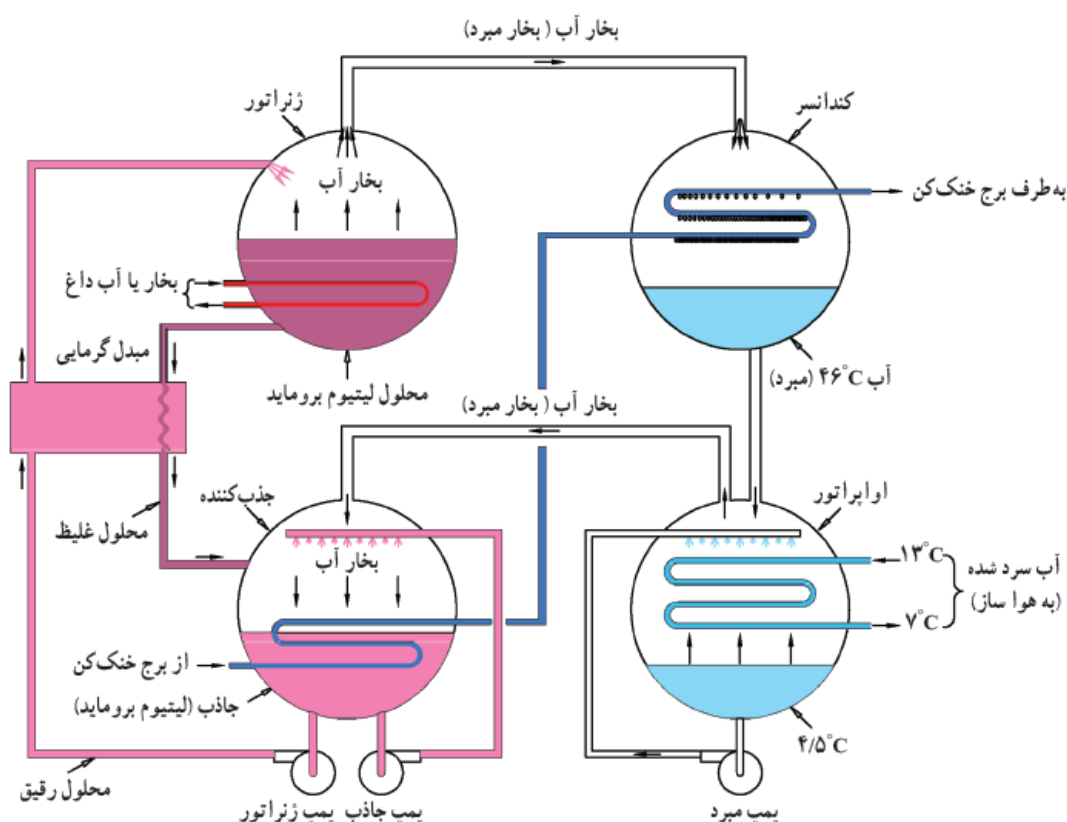
ب - چیلر جذبی

میشل فارادی در سال ۱۸۲۴ در حین یک آزمایش به طور اتفاقی برای اولین بار با سرمایش جذبی آشنا شد. ایده تولید سرما با استفاده از سیستم جذبی در طی سال‌های ۱۸۵۹ تا ۱۸۶۰ متولد شد. اولین دستگاه جذبی را مخترع فرانسوی به نام فردیناند کری با استفاده از ترکیب آب و آمونیاک اختراع کرد. دستگاه تبرید کری در سال ۱۹۲۷ توسط چندین دانشمند بزرگ از جمله آلبرت انیشتین تحت مطالعه و تکمیل قرار گرفت. تا اینکه در سال ۱۹۳۹ اولین چیلر جذبی گازسوز توسط شرکت کریر ساخته شد. پس از سال‌ها تحقیق و بررسی محلول لیتیم بروماید و آب جایگزین آمونیاک و آب شد.

سیستم تبرید جذبی از نظر تقطیر ماده مبرد در فشار و دمای بالا و تبخیر آن در فشار و دمای کم و گرفتن گرما از ماده‌ای که باید سرد شود، شبیه سیکل تبرید تراکمی است. تفاوت عمده و اصلی بین سیستم تبرید جذبی و سیستم تبرید تراکمی در چگونگی انتقال ماده سرمازا از سمت فشار کم به سمت فشار زیاد سیستم است. در سیستم تبرید تراکمی برای این منظور از کمپرسور استفاده می‌شود در حالیکه در سیستم تبرید جذبی برای انتقال بخار کم دما و کم فشار از یک فرایند شیمیایی استفاده می‌شود. دومین تفاوت عمده بین این دو سیستم در نوع مبرد می‌باشد. مبرد استفاده شده در سیستم‌های تراکمی هالوکربن‌ها (در انواع مختلف) و در سیستم جذبی آب است.

چیلر جذبی تک اثره دارای چهار بخش اصلی (اوپراتور (محفظه تبخیر)، ابزوربر (محفظه جاذب)، ژنراتور (مولد یا تغلیظ کننده) و کندانسور (محفظه تقطیر) می‌باشند. در چیلر جذبی مایع مبرد آب می‌باشد. آب در شرایط استاندارد (فشار یک اتمسفر) در ۱۰۰ درجه سلسیوس به جوش می‌آید و در فشار یک دهم اتمسفر در دمای ۴۳ درجه سلسیوس تبخیر می‌شود. با کاهش فشار به یک صدم اتمسفر آب در دمای ۴/۵ درجه سلسیوس تبخیر می‌شود. در این سیستم‌ها از یک مایع دیگری به نام لیتیوم بروماید به عنوان جاذب استفاده می‌شود تا بخار آب را جذب نماید. انتخاب لیتیوم بروماید به عنوان جاذب به دلیل داشتن قدرت جذب عالی بخار آب، غیر سمی بودن، غیر قابل انفجار بودن و نداشتن ترکیبات مضر می‌باشد. همانطور که در شکل ۴۷.۲ نشان

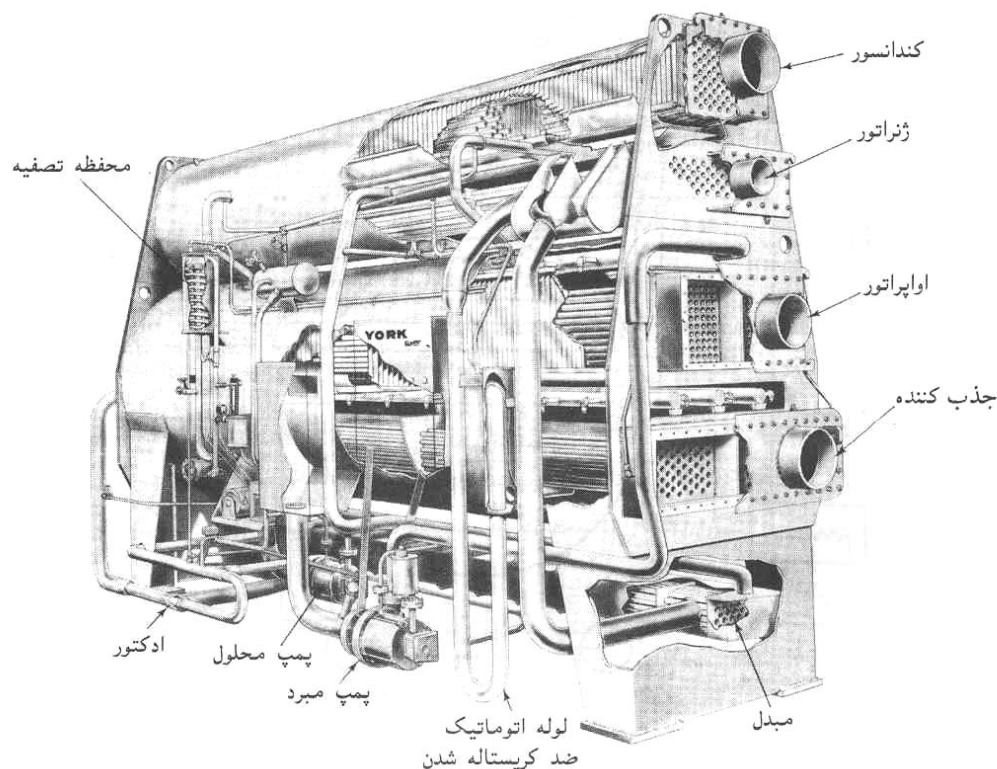
داده شده است، اواپراتور محتوی آب و جذب کننده محتوی لیتیوم بروماید است. با خالی کردن هوای داخل دو ظرف و کاهش فشار تا یک صدم اتمسفر (خلاء کامل) آب داخل اواپراتور در $4/5$ درجه سلسیوس تبخیر می‌شود. با توجه به گرماگیر بودن فرایند تبخیر، تبخیر قسمتی از آب بقیه آب داخل اواپراتور را تا کمتر از $4/5$ درجه سلسیوس سرد می‌کند. بخار تولید شده در اواپراتور به سمت جذب کننده رفته و به وسیله محلول لیتیوم بروماید جذب می‌شود. برای استفاده از سرمای تولید شده در اواپراتور می‌توان یک کویل در داخل آن نصب کرد. با توجه به اینکه در فشار یک صدم اتمسفر آب در $4/5$ درجه سلسیوس می‌جوشد، می‌توان دمای آب سرد سیستم‌های تهویه مطبوع را تا $6/5$ درجه سلسیوس پایین آورد. در اواپراتور باید ساید گلس برای کنترل سطح گذاشته شود. برای بالا بردن راندمان، دو عدد پمپ به عنوان پمپ مایع مبرد و پمپ مایع جاذب به سیستم اضافه می‌شود. پمپ مایع مبرد آب سرد را روی کویل ریخته و شدت تبخیر را افزایش می‌دهد و پمپ جاذب، محلول لیتیوم بروماید را به صورت اسپری در ظرف لیتیوم بروماید می‌پاشد و در نتیجه قدرت جذب بخار آب را بیشتر می‌کند. با اضافه شدن یک دستگاه ژنراتور محلول رقیق لیتیوم بروماید توسط یک پمپ به ژنراتور فرستاده می‌شود و به وسیله بخار، آب داغ یا آب گرم به صورت غیر مستقیم گرما داده می‌شود. در اثر گرما محلول لیتیوم بروماید جوشیده و بخار آب از آن جدا می‌شود. محلول باقیمانده و غلیظ شده لیتیوم بروماید به سمت جذب کننده هدایت می‌شود تا مجدداً بتواند بخار آب بیشماری را جذب کند (غلظت حدود 64 درصد). با اضافه شدن یک دستگاه کندانسور بخار آب خارج شده در ژنراتور وارد کندانسور شده و تقطیر می‌گردد. آب تقطیر شده در ادامه مجدداً به سمت اواپراتور هدایت شده و در نتیجه یک سیکل بسته شکل می‌گیرد. بخار در داخل کندانسور توسط آب ارسالی از سوی برج خنک کننده تقطیر خواهد شد [۲۵].



شکل ۴۷.۲ شماتیکی از نحوه کارکرد چیلر جذبی [۲۵]

برای بالا بردن راندمان اولاً یک مبدل گرمایی بین ژنراتور و ابزوربر قرار می‌دهند تا از طرفی محلول رقیق را که از جذب کننده به ژنراتور می‌رود گرم کند (کاهش بار گرمایی) و از طرف دیگر محلول غلیظ را که از ژنراتور به جذب کننده می‌رود

شکل ۴۸.۲ شماتیکی از سیستم کنترل چیلر جذبی [۲۵]



شکل ۴۹.۲ نمایی از بخش‌های مختلف چیلر جذبی [۲۶]

ضریب عملکرد چیلرهای جذبی ذاتاً از ضریب عملکرد چیلرهای تراکمی پایین‌تر است. علت این امر را می‌توان در تبدیل مستقیم توان گرمایی به سرمایش در چیلرهای جذبی و استفاده از توان الکتریکی برای سرمایش در چیلرهای تراکمی که قبلاً در نیروگاه از تبدیل توان حرارتی به توان الکتریکی حاصل شده، دانست.

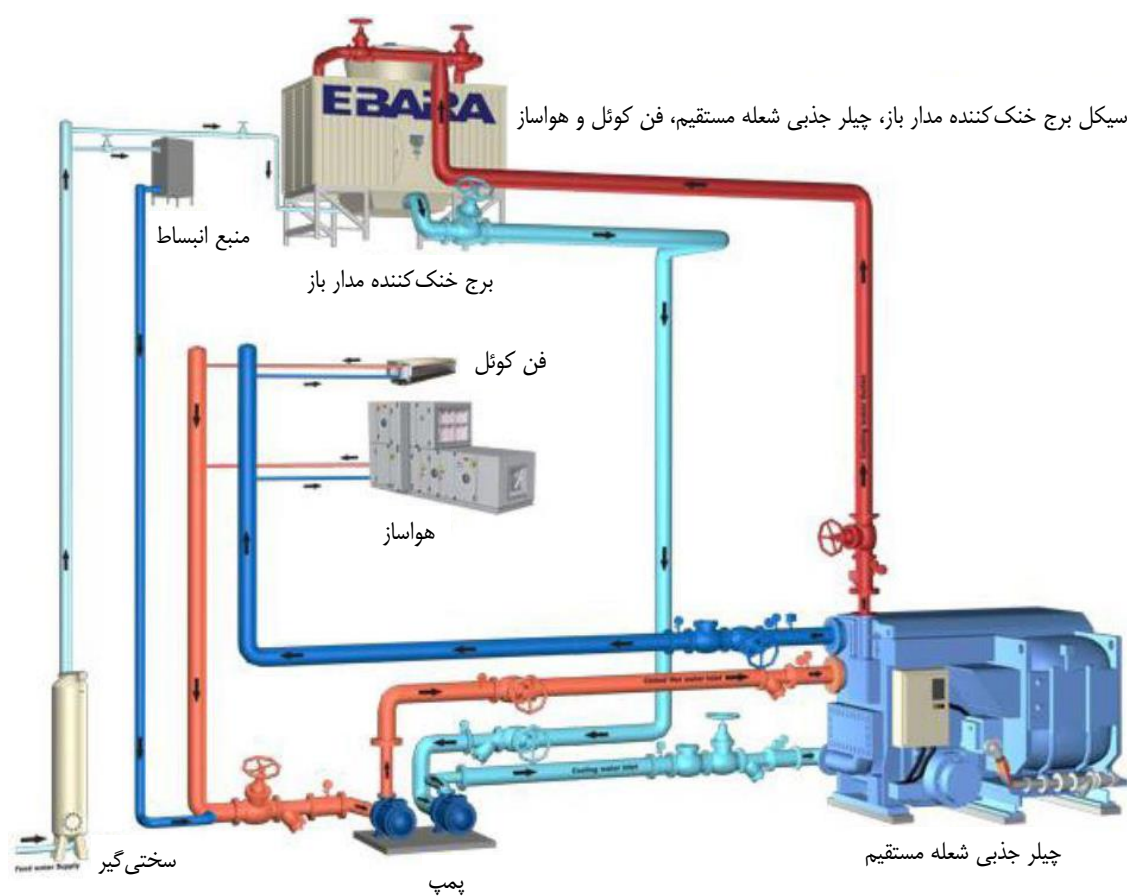
چیلرهای جذبی در مقایسه با چیلرهای تراکمی دارای مزایا و معایبی به شرح ذیل می‌باشند:

- چیلرهای جذبی در مقایسه با چیلرهای تراکمی ضریب کارایی کمتری دارند.
- در ظرفیت‌های پایین چیلرهای جذبی حجیم و غیراقتصادی هستند.
- در ظرفیت‌های بالا چیلرهای جذبی فضای کمتری را اشغال می‌کنند.
- در چیلرهای جذبی اثرات مخرب زیست‌محیطی به مراتب کمتر است.
- مشکلاتی مانند کریستالیزاسیون و رسوبات لوله‌ها در چیلرهای جذبی نگهداری آن‌ها را مشکل‌تر می‌سازد.
- چیلرهای تراکمی به دلیل وجود قطعات مکانیکی پراسته‌لاک مانند کمپرسور، عمر مفید کمتری نسبت به چیلرهای جذبی دارند.
- چیلرهای جذبی ارتعاشات و صدای کمتری نسبت به انواع تراکمی دارند.
- چیلرهای جذبی مصرف برق بسیار ناچیزی نسبت به چیلرهای تراکمی دارند.
- چیلرهای جذبی قابلیت ترکیب با سایر سیستم‌های انرژی را دارند. (توربین گاز، نیروگاه خورشیدی، پیل سوختی و...)

چیلرهای جذبی دارای انواع مختلفی از قبیل چیلر جذبی تک اثره لیتیم بروماید (۳۰ تا ۱۶۰۰ تن با ضریب عملکرد ۰/۵ تا ۰/۷۵)، چیلر جذبی تک اثره آمونیاکی (۰ تا ۴۰ تن با ضریب عملکرد ۰/۴ تا ۰/۶)، چیلر جذبی دو اثره لیتیم بروماید (۵۰ تا ۲۵۰۰ تن با ضریب عملکرد ۰/۸ تا ۱/۳)، چیلر جذبی سه اثره لیتیم بروماید (۵۰ تا ۵۰۰۰ تن با ضریب عملکرد ۱/۲ تا ۱/۷)، چیلر جذبی آمونیاکی (۰ تا ۵ تن) و چیلر جذبی با ژنراتور شعله مستقیم (۴۰ تا ۱۵۰۰ تن با ضریب عملکرد ۰/۹ تا ۱/۱) می‌باشند. در شکل ۵۰.۲ تا شکل ۵۲.۲ نمایی از چیلرهای جذبی ارائه شده است.



شکل ۵۰.۲ نمایی از چیلرهای جذبی



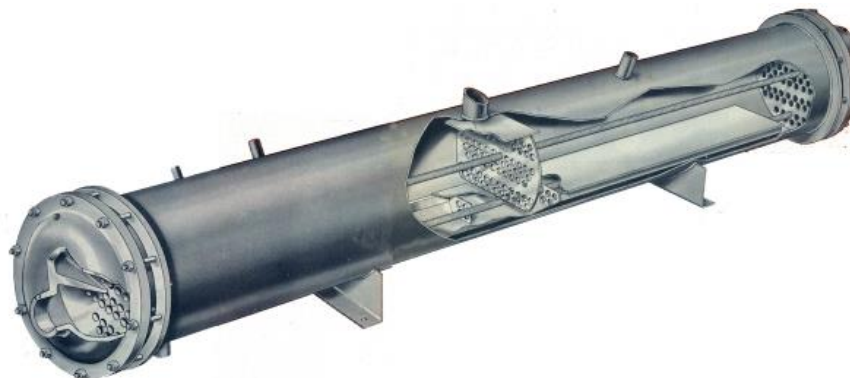
شکل ۵۱.۲ شماتیکی از سیستم لوله‌کشی چیلر جذبی [۲۶]



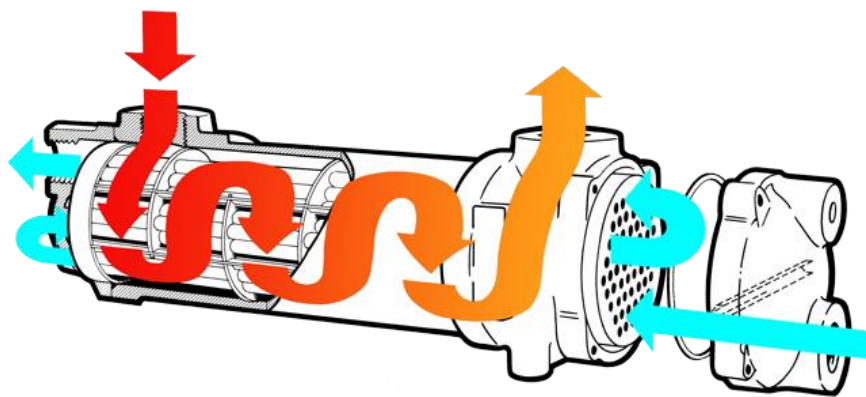
شکل ۵۲.۲ شماتیکی از چیلر جذبی شعله مستقیم [۲۷]

همانطور که در بالا اشاره شد چیلرهای جذبی جهت تولید بار سرمایشی نیاز به یک منبع حرارتی دارند. انرژی حرارتی در بخش ژنراتور وارد چیلر جذبی شده و سبب تغلیظ لیتیم بروماید چیلر خواهد شد. چیلرهای جذبی از نظر منبع گرمایی برای تغلیظ به چهار دسته تغلیظ با آب گرم، آب داغ، بخار و نوع شعله مستقیم دسته‌بندی می‌شوند. در سه نوع اول سیال گرم توسط یک منبع حرارتی دیگر (مانند گازهای داغ خروجی از محرک اولیه، انرژی خورشیدی و...) گرم شده و وارد ژنراتور می‌شود. در نوع شعله مستقیم این انرژی مستقیماً و بدون واسطه وارد ژنراتور چیلر جذبی می‌شود.

ساختمان این ژنراتورها معمولاً از یک مبدل حرارتی پوسته و لوله تشکیل شده و ساختمان آن دقیقاً مشابه کندانسور پوسته و لوله است که داخل پوسته محلول جاذب رقیق و در داخل لوله‌ها آب گرم و یا بخار جریان می‌یابد. در شکل ۵۳.۲ و شکل ۵۴.۲ نمایی از یک مبدل حرارتی پوسته و لوله ارائه شده است.



شکل ۵۳.۲ شماتیکی از یک مبدل حرارتی پوسته و لوله



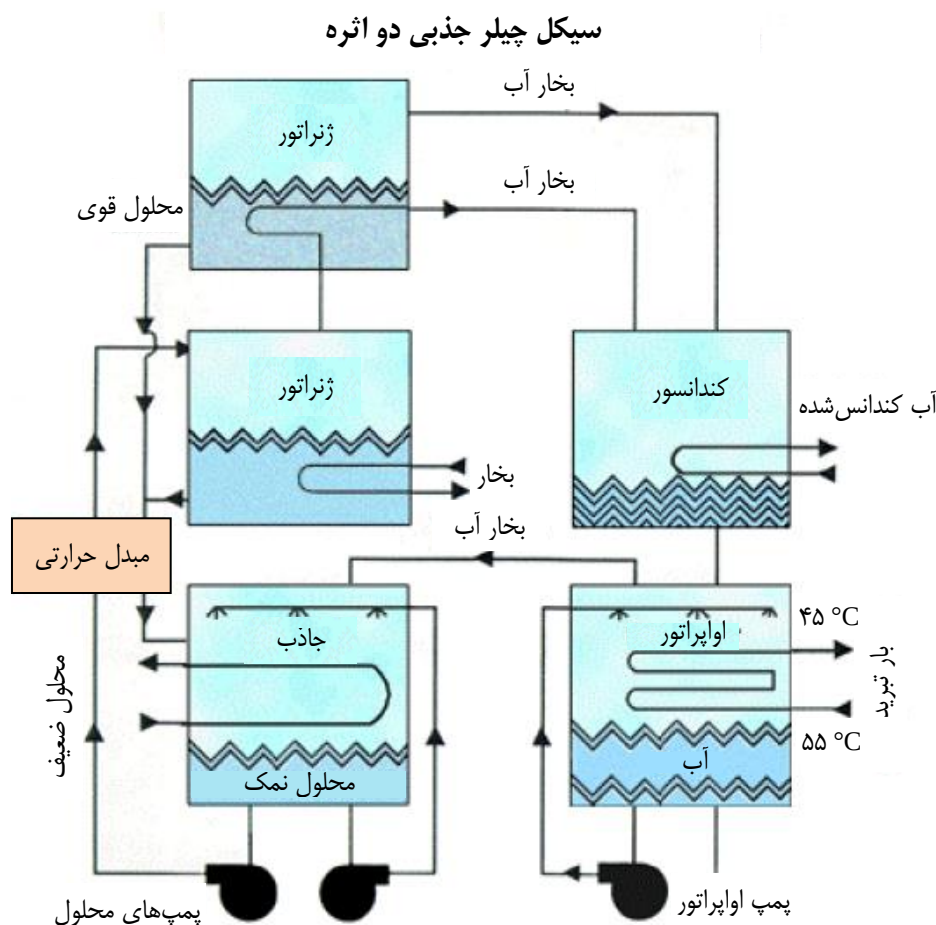
شکل ۵۴.۲ شماتیکی از یک مبدل حرارتی پوسته و لوله

دمای آب گرم یا آب داغ ورودی به ژنراتور بسته به نوع سیستم معمولاً بین ۸۲ تا ۲۰۴ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد. فشار داخلی ژنراتور نیز معمولاً در دستگاه‌های مختلف بین ۱۰۳ تا ۸۶۱ کیلوپاسکال است (۱۵ تا ۱۲۵ psi). در برخی سیستم‌ها، ژنراتور مانند اواپراتور دارای افشانک‌هایی است که تبادل حرارتی بین لوله و محلول را بیشتر می‌کند. در ژنراتورهای شعله مستقیم حرارت لازم از طریق شعله مستقیم یک مشعل تأمین می‌گردد. در این مدل ژنراتورها به دلیل استفاده از شعله مستقیم، نیاز به یک منبع حرارتی مستقل مانند دیگ بخار یا آب گرم نمی‌باشد. ساختمان ژنراتور شعله مستقیم کاملاً مشابه دیگ فولادی لوله آتش (فایر تیوب) است که آتش و هوای گرم ناشی از احتراق از داخل کوره و لوله‌های فولادی حرکت نموده و محلول

رقیق جاذب در فضای پوسته آن جریان می‌یابد. لوله‌های این ژنراتورها بنا به ظرفیت چیلر ممکن است یک پاس یا دو پاس باشند.

در صورتی که عملیات تغلیظ در یک مرحله انجام شود، اینگونه چیلرها را چیلرهای جذبی تک اثره یا یک مرحله‌ای می‌گویند. چیلرهای جذبی تک اثره با بخار اشباع تا فشار حداکثر $1/38$ بار و یا آب داغ از 110 الی 130 درجه سانتی‌گراد قابل بهره‌برداری با راندمان مناسب می‌باشد. این نوع چیلرها جهت عملکرد خود در حالت استاندارد به بخار یک اتمسفر نیاز دارند و تقریباً به ازای هر تن تبرید 8 کیلوگرم بر ساعت بخار مصرف می‌کنند.

چیلرهای جذبی دو اثره نوع پیشرفته و بهینه شده چیلرهای جذبی تک اثره می‌باشند. چیلر جذبی دو اثره یا دو مرحله‌ای از نظر چرخه سرمایش، مشابه چیلرهای تک مرحله‌ای است با این اختلاف که عملیات تغلیظ در دو مرحله و در دو ژنراتور تحت نام‌های ژنراتور دما بالا و ژنراتور دمای پایین صورت می‌گیرد. ژنراتور دما بالا تحت تأثیر گرمای بخار (یا آب داغ و گرم) ارسالی از دیگ، بخش اصلی عملیات تغلیظ را انجام می‌دهد و ژنراتور دما پایین با استفاده از بخار مبرد حاصل از عملیات ژنراتور اول بخش دیگری از فرایند تغلیظ را به عهده دارد. در این چیلرها در ظرفیت یکسان با چیلرهای تک اثره، دارای مصرف بخار نصف می‌باشند (جهت تولید یک تن برودت به میزان $4/5$ کیلوگرم بر ساعت). فشار بخار مصرفی این چیلرها 8 اتمسفر می‌باشد. این مدل چیلرها به علت طراحی بهتر و استفاده بهینه از انرژی حرارتی بخار ورودی به دستگاه از ضریب عملکرد بالاتری نسبت به مدل تک اثره برخوردار هستند. تفاوت ظاهری این مدل چیلر با چیلر تک اثره در تعداد ژنراتورهای آنهاست. چیلرهای دو مرحله‌ای دارای دو ژنراتور اولیه و ثانویه هستند که ژنراتور اولیه با دمای بالاتر کار می‌کند. از آنجاییکه مبردی که توسط بخار بویلر از لیتیم بروماید جدا می‌گردد خود دارای انرژی و در نتیجه دما بالایی می‌باشد، می‌توان از انرژی نهفته در آن استفاده نمود. اساس کار چیلرهای دو مرحله‌ای در همین نکته بوده و در حدود نصف انرژی مورد نیاز چیلر را تأمین می‌نماید. در شکل ۵۵.۲ نمایی از یک چیلر جذبی دو اثره نشان داده شده است.



شکل ۵۵.۲ شماتیکی از چیلر جذبی دو اثره [۲۶]

در چیلرهای دو اثره حرارت داده شده به محیط توسط برج خنک کن در حدود ۷۰ درصد حرارت منتشر شده توسط برج خنک کن چیلر تک اثره خواهد بود. در نتیجه برج‌های خنک کن این سیستم در حدود ۳۰ درصد از برج‌های سیستم تک اثره کوچکتر خواهد بود. همچنین این سیستم نیاز به دیگ بخار کوچکتری نسبت به نوع اول دارد.

این نوع چیلر از نظر قیمت بالاتر از نوع اول بوده اما دارای بازدهی بیشتری می‌باشد و در طول دوره زمانی صرفه اقتصادی آن‌ها بیشتر از نوع اول می‌باشد.

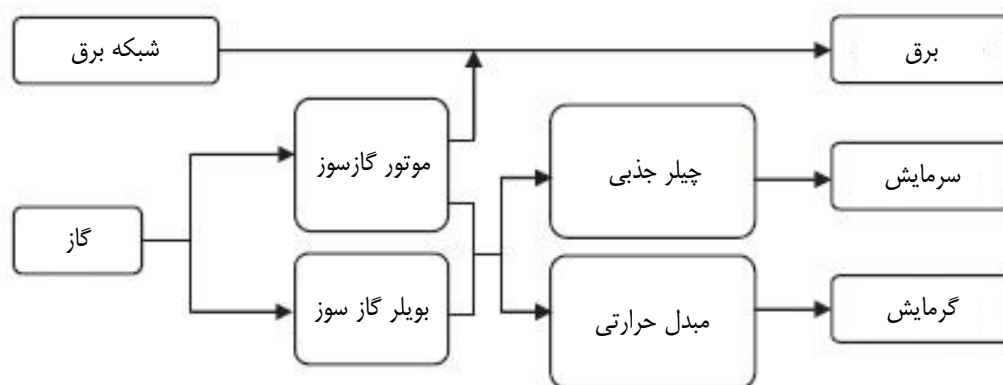
خنک‌کننده‌های جذبی بر خلاف چیلرهای تراکمی از تنوع چندانی برخوردار نیستند و به غیر از موارد معدودی که با ظرفیت کم به صورت محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در اغلب موارد کاربرد مرکزی دارند. چیلرهای جذبی متکی به سوخت فسیلی و دیگ‌های آب گرم یا بخار هستند و مصرف برق آن‌ها بسیار اندک است. استهلاک کم و عمر نسبتاً زیاد از جمله مزایای چیلرهای جذبی محسوب می‌شود. چیلرهای جذبی کم سروصدا و بدون لرزش هستند. ضریب کارایی آن‌ها نسبت به چیلرهای تراکمی کمتر و حجم آن‌ها با ظرفیت مشابه بیشتر است.

بر خلاف چیلرهای تراکمی چیلرهای جذبی دارای محدودیت‌هایی در استفاده می‌باشند.

- پروژه‌های بزرگ در اقلیم گرم و خشک و نیمه‌خشک که امکان استفاده از برج خنک‌کننده در آن‌ها وجود داشته باشد.

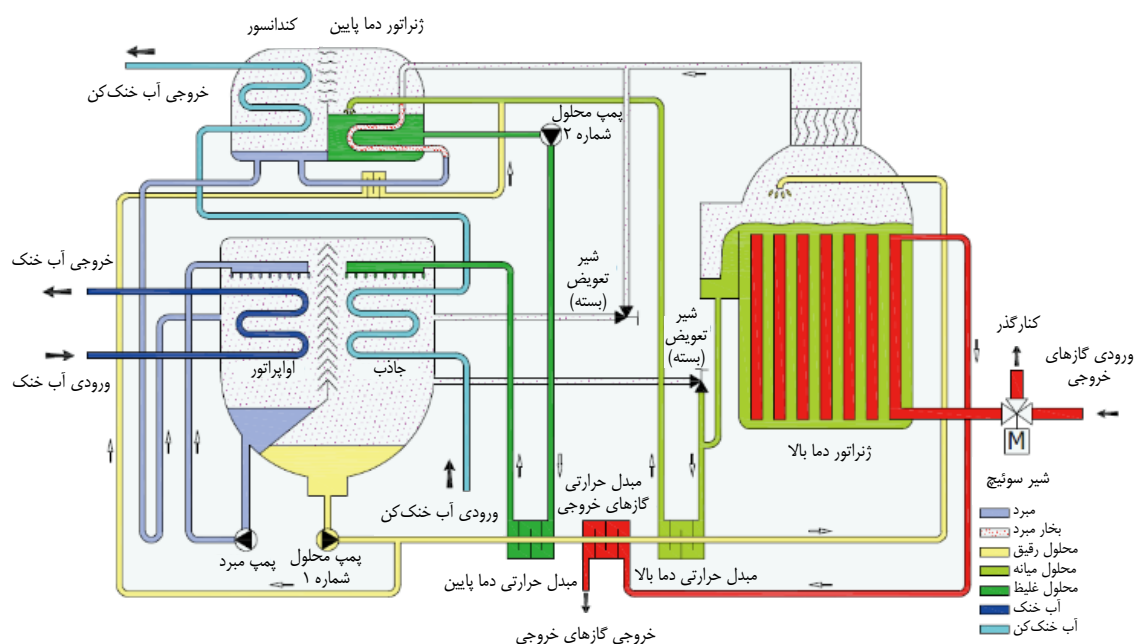
- پروژه‌هایی که در آن‌ها برای گرمایش یا سایر مصارف از سیستم بخار استفاده می‌شود.
- پروژه‌هایی که در آن‌ها استفاده از سیستم های تراکمی به دلیل بالا بودن قیمت برق مقرون به صرفه نباشد.
- پروژه‌هایی که در آن‌ها از سیستم‌های بازیافت انرژی استفاده شده و از تلفات حرارتی سایر سیستم های حرارتی استفاده گردد (میکرو توربین، پیل سوختی و...).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که چیلرهای جذبی قابلیت مناسبی برای ترکیب با انواع محرک‌های اولیه جهت تشکیل یک سیستم CCHP را دارا می‌باشند. تلفات حرارتی در محرک‌های اولیه با تبدیل به یک سیال با انرژی حرارتی بالا گزینه مناسبی برای استفاده در چیلرهای جذبی می‌باشد. با توجه به اینکه چیلر جذبی قابلیت استفاده از آب گرم، آب داغ، بخار و هوای گرم را دارد می‌تواند گزینه مناسبی برای استفاده در سیستم‌های CCHP باشد. پایداری درجه حرارت تحویل داده شده به چیلر جذبی دارای اهمیت بالایی می‌باشد و تغییرات دمایی می‌تواند سبب تغییرات راندمان عملکردی و همچنین کریستاله شدن مبرد در مسیرهای فرآیندی این تجهیز شود. به همین دلیل در اغلب سیکل‌های برودتی که با سامانه‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت ترکیب می‌گردد از مشعل‌های پشتیبان حرارتی استفاده می‌گردد تا حرارت ورودی به چیلر در سطح تقریباً ثابتی حفظ گردد. از دیگر مشکلات چیلرهای جذبی آب خنک بودن آن‌ها و الزام به استفاده از برج خنک‌کن است که استفاده از آن‌ها را در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب دچار محدودیت می‌کند. در شکل ۵۶.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP با محرک ثانویه چیلر جذبی ارائه شده است.



شکل ۵۶.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP با محرک ثانویه چیلر جذبی

در کنار چیلرهای جذبی آب گرم، آب داغ و بخار یکی از چیلرهای جذبی پرکاربرد در سیستم‌های CCHP چیلر جذبی با قابلیت استفاده از گازهای داغ خروجی از سیستم‌های احتراقی می‌باشد. در این نوع چیلر هوای داغ خروجی از سیستم‌های احتراقی مستقیماً وارد ژنراتور چیلر جذبی شده و عملیات تغلیظ را انجام می‌دهد. این در حالیست که در چیلرهای دیگر معمولاً سیال عامل دیگری پس از گرم شدن در مبدل‌های حرارتی وارد ژنراتور می‌گردد. در این چیلرها هوای داغ خروجی از محرک‌های اولیه مستقیماً وارد لوله‌های داخل ژنراتور چیلر شده و سبب گرم شدن لیتیم بروماید رقیق و جدا شدن بخار آب از آن می‌شود. مکانیزم کارکرد این چیلرها مشابه دیگ‌های لوله آتش می‌باشد. به نوعی این چیلرها مشابه چیلرهای شعله مستقیم بوده و عملیات تغلیظ در این چیلرها در دو مرحله انجام می‌گیرد. شماتیکی از این نوع چیلرها در شکل ۵۷.۲ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود برای جریان هوای گرم ورودی به چیلر یک مسیر کنار گذر تعبیه شده تا در صورت لزوم نسبت به کاهش یا افزایش بار برودتی چیلر کنترل لازم صورت گیرد.



شکل ۵۷.۲ شماتیکی از چیلرهای جذبی هوای گرم [۲۸]

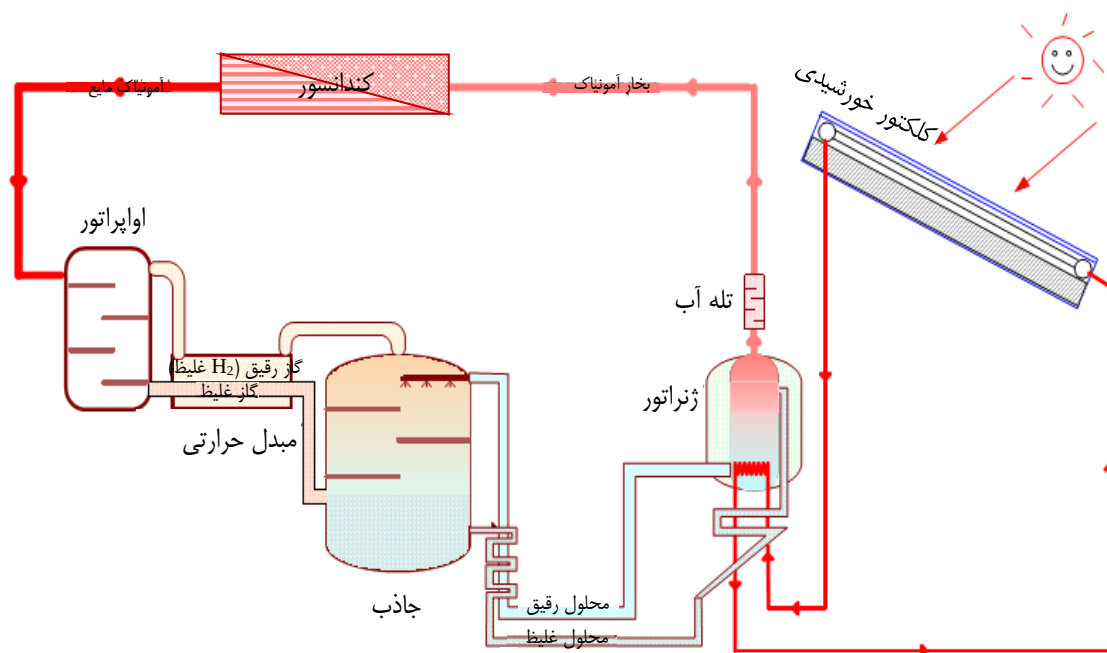
۵.۲ سیستم‌های CCHP جدید

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه سیستم‌های تولید همزمان در این بخش مروری بر چند نمونه از این نوع سیستم‌ها خواهد شد.

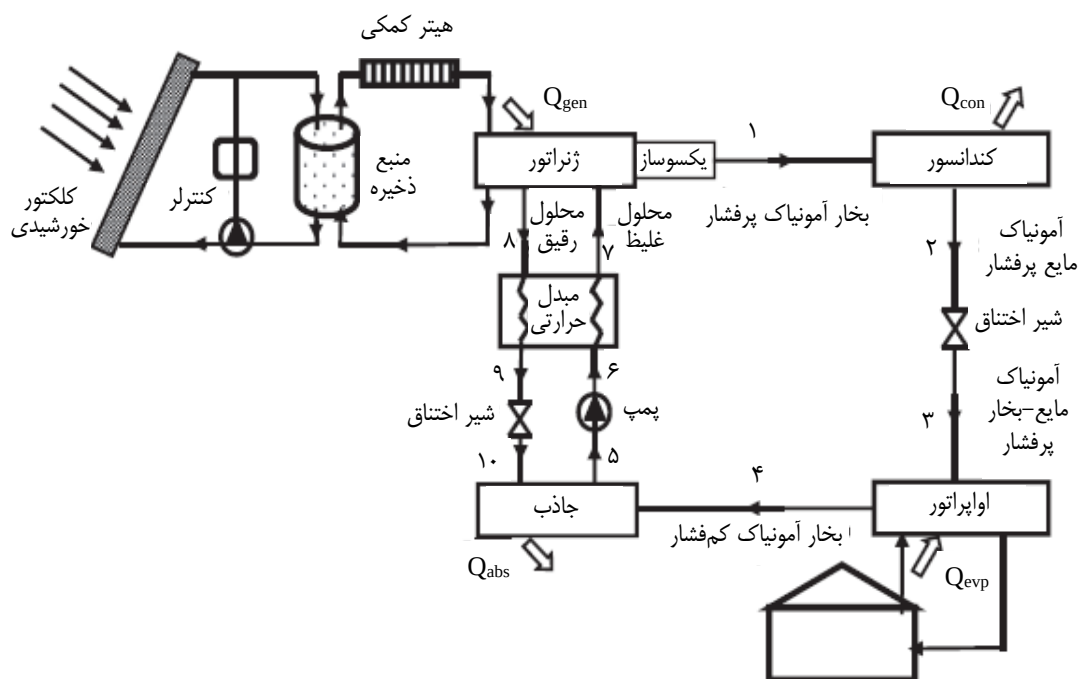
۵.۲.۱ سیستم‌های CCHP مبتنی بر چیلرهای جذبی خورشیدی

امروزه بخش بزرگی از انرژی الکتریکی مصرفی در فصل تابستان به سرمایش اماکن مسکونی و اداری اختصاص دارد و این مسئله منجر به ایجاد بحران انرژی شده است. برای حل این معضل چیلرهای خورشیدی می‌توانند جایگزین مناسبی برای کولرهای آبی و گازی و همچنین چیلرهای تراکمی که مصرف برق بالایی دارند، باشند. سیکل تبرید جذبی اساس کار چیلرهای خورشیدی است که در این سیکل گرمای مورد نیاز ژنراتور از انرژی خورشیدی تأمین می‌شود. از آنجا که استفاده از انرژی خورشیدی یکی از پاک‌ترین و اقتصادی‌ترین انواع انرژی هاست، جهت تأمین حرارت ژنراتور می‌توان از انرژی خورشیدی استفاده نمود که سیستم را بسیار اقتصادی‌تر خواهد کرد. در شکل ۵۸.۲ و شکل ۵۹.۲ نمونه‌ای از چیلرهای جذبی خورشیدی ارائه شده است.

چیلرهای خورشیدی می‌توانند با کوپل شدن به یک محرک اولیه انرژی بروندی ساختمان را تأمین کنند. در واقع انرژی خورشیدی می‌تواند کمک حال انرژی حرارتی ائتلافی از محرک اولیه باشد. در مواقعی که محرک اولیه دچار مشکل شده و یا در حالت نیمه بار کار می‌کند انرژی خورشیدی می‌تواند این مشکل را تا حدودی حل نماید.



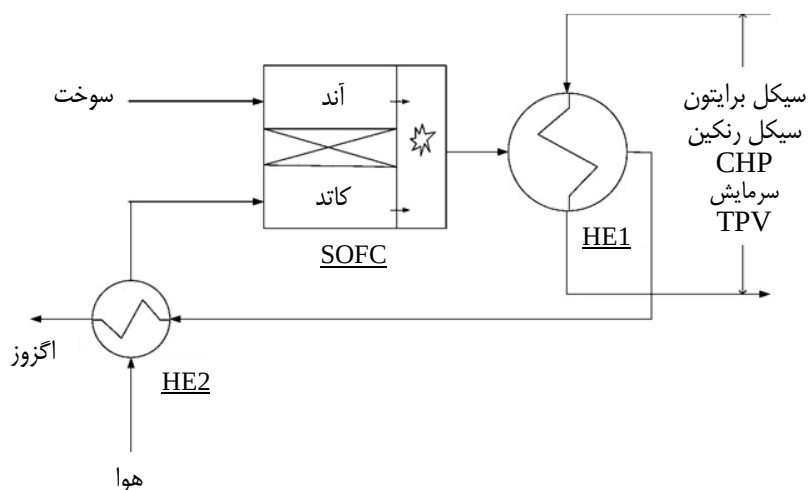
شکل ۵۸.۲ شماتیکی از چیلر جذبی خورشیدی [۲۹]



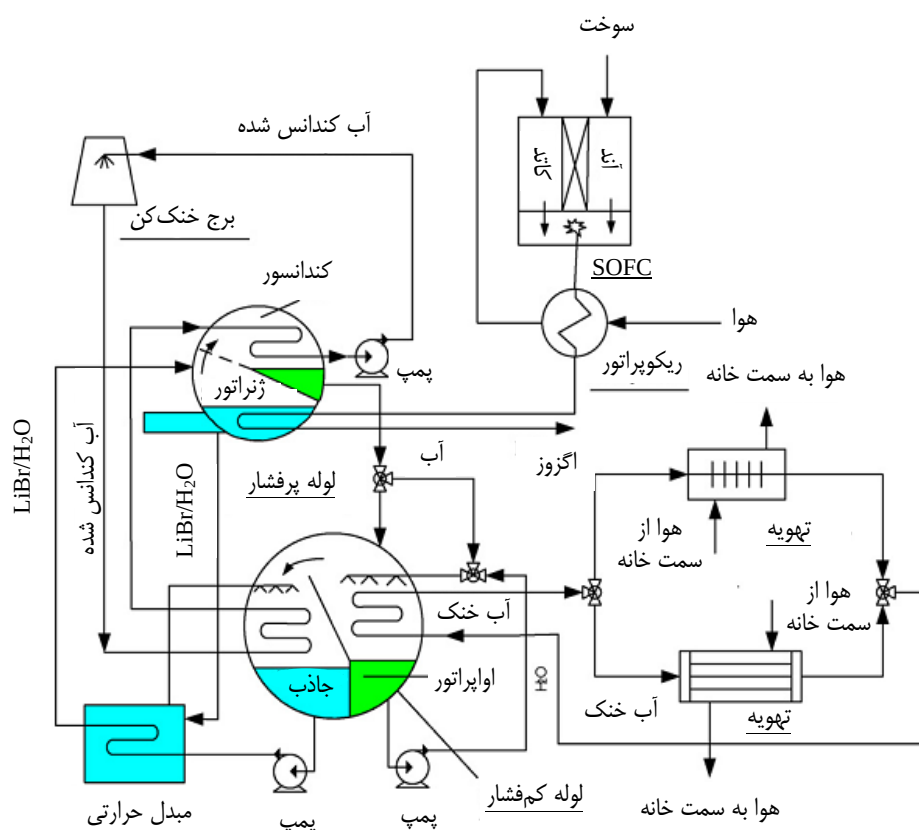
شکل ۵۹.۲ شماتیکی از چیلر جذبی خورشیدی

۲.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی

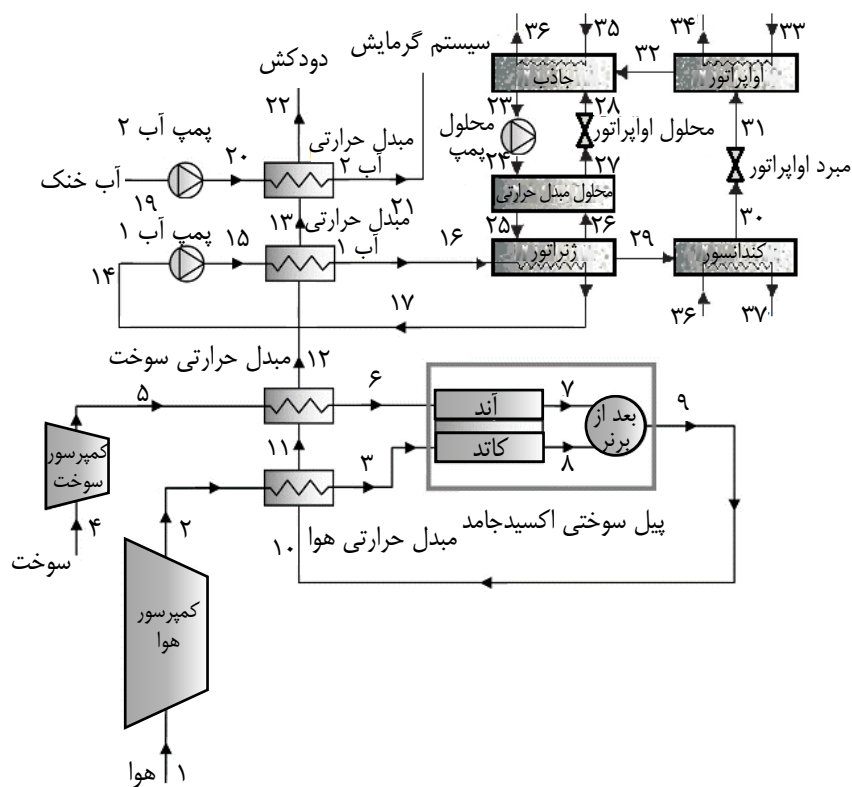
پیل‌های سوختی اکسید جامد دارای دمای کاری بالا بوده (۸۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) و یک گزینه مناسب برای ترکیب با چیلرهای جذبی می‌باشند. هوا و سوخت ورودی به پیل سوختی بعد از انجام واکنش‌های شیمیایی و تولید جریان الکتریکی در ادامه مسیر خود وارد یک پس‌سوز شده و به طور کامل واکنش می‌دهند. محصولات خروجی می‌توانند در ادامه مسیر خود وارد یک مبدل حرارتی شده و سبب تولید آب گرم یا بخار شوند. آب گرم و بخار تولید شده می‌تواند در یک چیلر جذبی مورد استفاده قرار گیرد. پیل سوختی بکار رفته در این نوع از سیستم‌های هیبریدی علاوه بر تأمین گرمای مورد نیاز ژنراتور چیلر، می‌تواند بخشی از توان الکتریکی و حرارتی ساختمان را نیز تأمین کند. در شکل ۶۰.۲ شماتیکی از ترکیب پیل سوختی اکسید جامد با انواع مختلفی از سیستم‌های انرژی (مانند سیستم‌های تبرید) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بخشی از این انرژی حرارتی می‌تواند در یک چیلر جذبی استفاده شده و انرژی حرارتی باقیمانده می‌تواند در یک مبدل حرارتی جهت تأمین انرژی حرارتی استفاده شود. در شکل ۶۱.۲ و شکل ۶۲.۲ شماتیکی از ترکیب یک پیل سوختی اکسید جامد با یک چیلر جذبی تک اثره نشان داده شده است.



شکل ۶۰.۲ شماتیک ترکیب پیل سوختی اکسید جامد با انواع سیستم‌های حرارتی [۳۰]



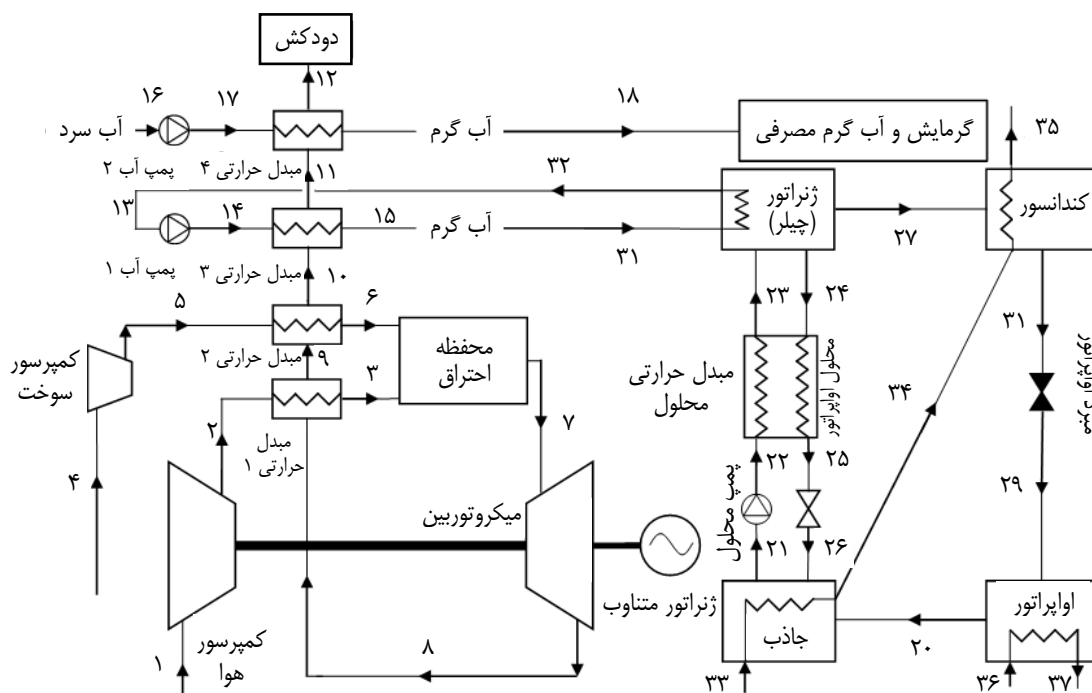
شکل ۶۱.۲ شماتیک از سیستم CCHP مبتنی بر پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی [۳۰]



شکل ۶۲.۲ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی

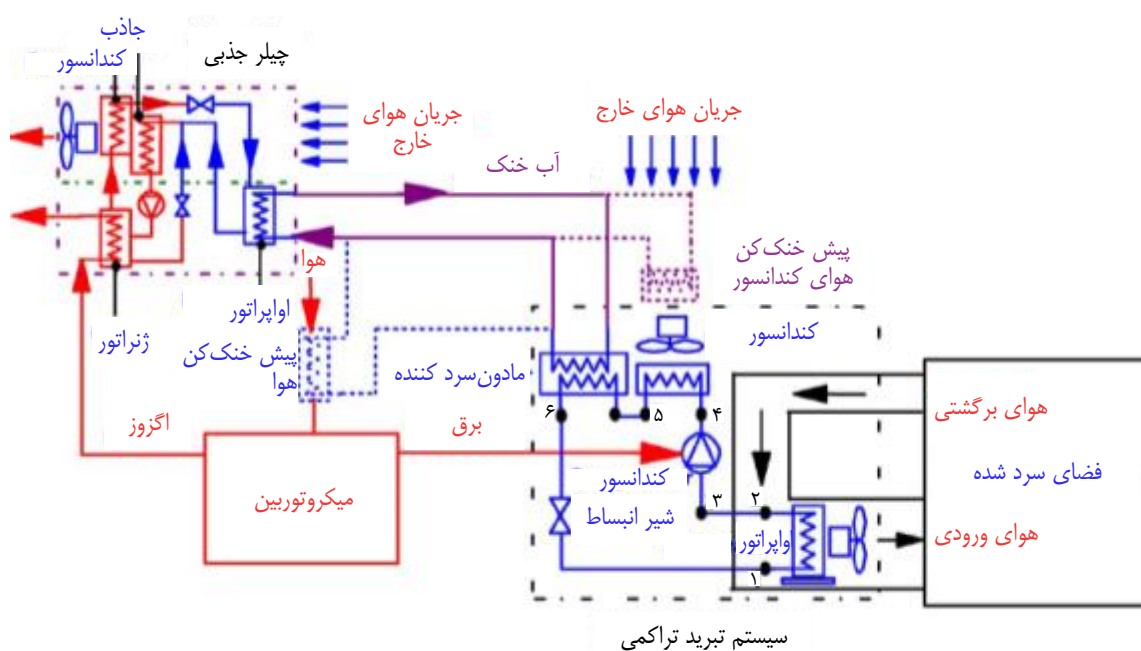
۲.۵.۳ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی میکروتوربین

ترکیب میکروتوربین‌های گازی با چیلرهای جذبی یکی از مرسوم‌ترین سیستم‌های CCHP می‌باشد. هدف عمده در این سیستم‌ها استفاده از دمای گازهای خروجی از توربین جهت تولید یک سیال داغ و استفاده از آن در ژنراتور چیلر جذبی می‌باشد. گازهای خروجی از توربین دارای دمایی در حدود ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و قابلیت بالایی جهت استفاده در سیستم‌های تولید همزمان را دارد. در شکل ۶۳.۲ شماتیکی از یک سیستم CCHP مبتنی بر میکرو توربین گازی نشان داده شده است.



شکل ۶۳.۲ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر توربین گاز

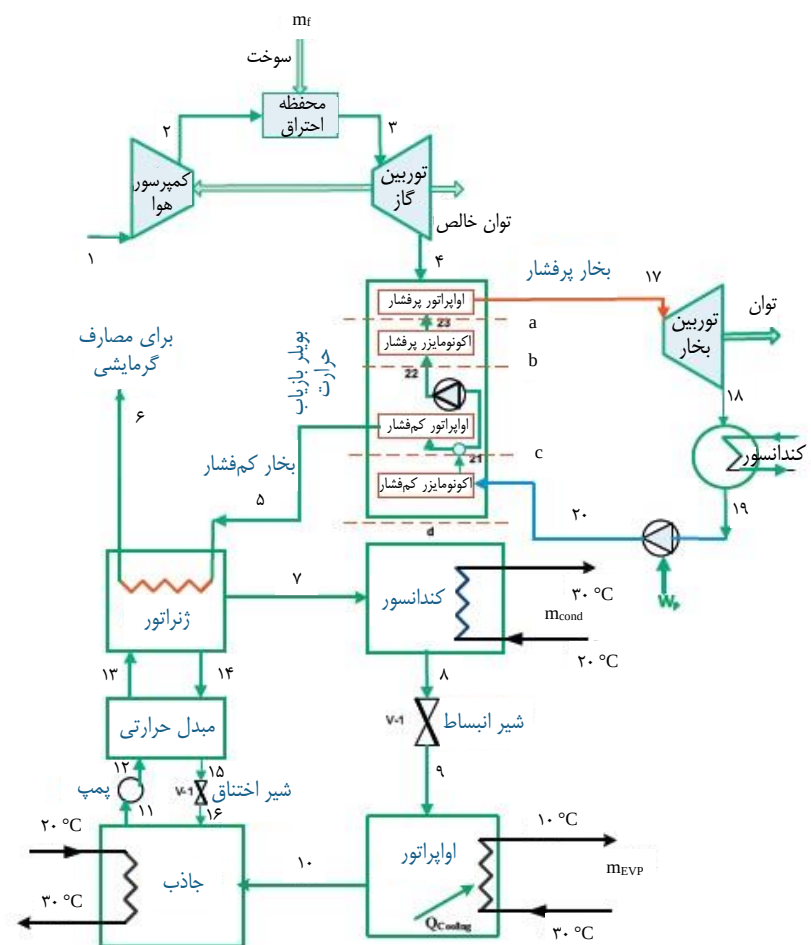
با توجه به قابلیت بالای میکروتوربین‌ها در سیستم‌های هیبریدی در سال‌های اخیر استفاده از ترکیب سیستم‌های تبرید تراکمی و جذبی با میکروتوربین‌ها نیز مورد توجه بوده است. در شکل ۶۴.۲ نمایی از ترکیب سه گانه میکروتوربین، چیلر جذبی و یک سامانه تهویه مطبوع مبتنی بر تبرید تراکمی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود انرژی حرارتی گازهای خروجی از توربین در ژنراتور چیلر جذبی استفاده می‌شود. از سوی دیگر انرژی الکتریکی تولید شده در میکروتوربین در یک سامانه تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق این شکل برق مورد نیاز کمپرسور یک سیستم تهویه مطبوع توسط میکروتوربین تأمین می‌شود. هدف عمده چیلر جذبی در این سیستم، مادن سرد کردن گاز خروجی از کندانسور هوایی سیستم تهویه مطبوع می‌باشد.



شکل ۶۴.۲ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر ترکیب توربین گاز، سیستم تبرید جذبی و سیستم تبرید تراکمی

۴.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز و توربین بخار

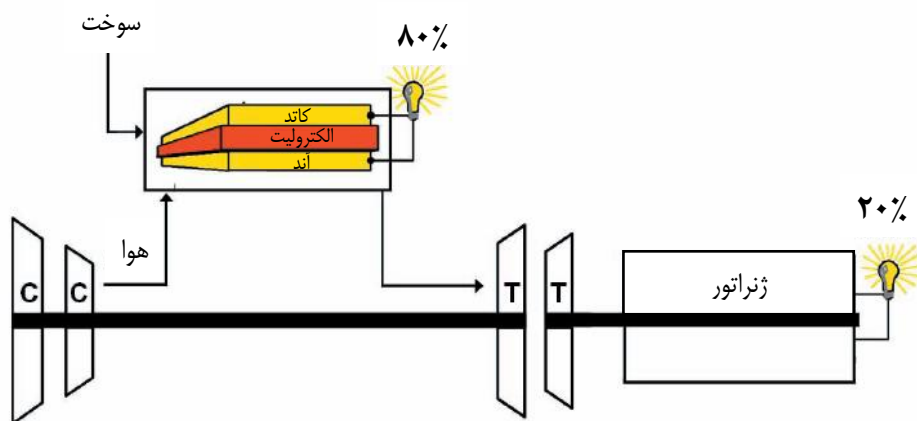
استفاده از مکانیزم سیکل ترکیبی در سیستم‌های CCHP یک روش دیگر در تولید همزمان برق، حرارت و برودت می‌باشد. همانطور که در شکل ۶۵.۲ مشاهده می‌شود گازهای خروجی از توربین گاز وارد مولد بخار شده و پس از تولید بخار سوپر هیت در ادامه وارد ژنراتور یک چیلر جذبی شده و بخش دیگری از حرارت خود را از دست می‌دهند. از باقیمانده انرژی حرارتی گازهای خروجی نیز در سیستم‌های گرمایشی استفاده خواهد شد. در این سیستم‌ها توربین‌های بخار و گاز انرژی الکتریکی تولید کرده و چیلر جذبی نیز بار برودتی سیستم را تأمین می‌کند. مبدل‌های نصب شده در انتهای مسیر نیز سبب تولید بار گرمایشی می‌گردند. با توجه به راندمان بالای سیکل‌های ترکیبی (۴۰ تا ۵۵ درصد) پیش‌بینی می‌شود که راندمان این سیستم مناسب باشد.



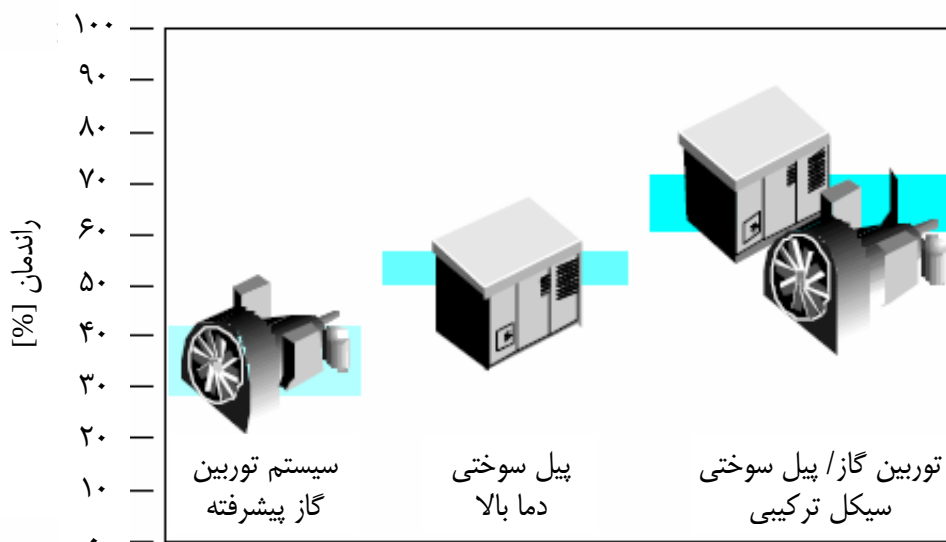
شکل ۶۵.۲ شماتیکی از سیستم CCHP مبتنی بر ترکیب توربین گاز، توربین بخار و چیلر جذبی [۳۱]

۵.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز و پیل سوختی

ترکیب توربین گاز و پیل سوختی اکسید جامد یک سیستم هیبریدی جدیدی است که در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. در این سیستم‌ها حدود ۸۰ درصد بار الکتریکی توسط پیل سوختی و حدود ۲۰ درصد توسط توربین یا میکروتوربین تأمین می‌شود (شکل ۶۶.۲). سیستم هیبریدی حاصل دارای راندمان بالایی نسبت به پیل سوختی و سیکل توربین گاز تنها بوده و پژوهشگران زیادی به همراه شرکت‌های سازنده متعدد در پی تجاری کردن این سیستم و همچنین افزایش توان و بازده آن می‌باشند. در شکل ۶۷.۲ عملکرد سیستم هیبریدی با پیل سوختی و سیکل توربین گاز تنها نشان داده شده است.

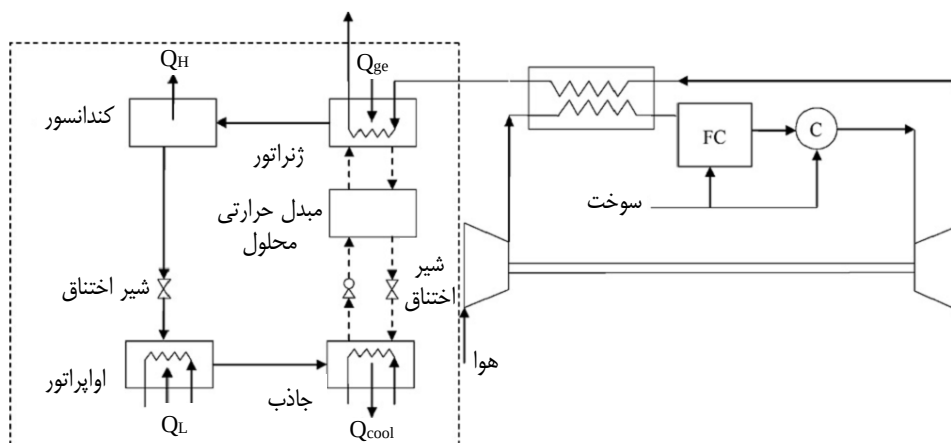


شکل ۶۶.۲ شماتیک ترکیب یک سیکل توربین گازی و پیل سوختی [۳۲]



شکل ۶۷.۲ مقایسه عملکرد سیستم هیبریدی با پیل سوختی و سیکل توربین گاز [۳۲]

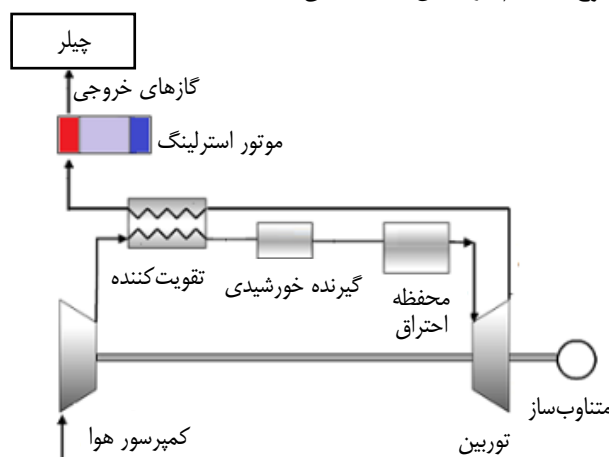
سیستم‌های هیبریدی توربین گاز و پیل سوختی می‌توانند با یک سیستم تولید توان دیگر ترکیب سه‌گانه‌ای با راندمان بالا تشکیل دهند. ترکیب سیستم هیبریدی توربین گاز و پیل سوختی با چیلر جذبی نمونه‌ای از این نوع سیستم‌های هیبریدی سه‌گانه می‌باشد. در این سیستم‌های سه‌گانه اغلب پیل سوختی در بالادست توربین قرار گرفته و گازهای داغ خروجی از توربین در ادامه مسیر خود وارد سیستم تولید توان سوم می‌گردند. در این سیستم گازهای داغ خروجی در ادامه مسیر خود جهت گرم کردن مبرد وارد ژنراتور یک چیلر جذبی می‌شوند. با استفاده از این سیستم می‌توان به طور همزمان برق، حرارت و برودت را تأمین نمود. در شکل ۶۸.۲ شماتیک از این نوع سیستم‌های هیبریدی نشان داده شده است.



شکل ۶۸.۲ سیستم هیبریدی توربین گاز، پیل سوختی و چیلر جذبی

۲.۵.۶ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز و موتور استرلینگ

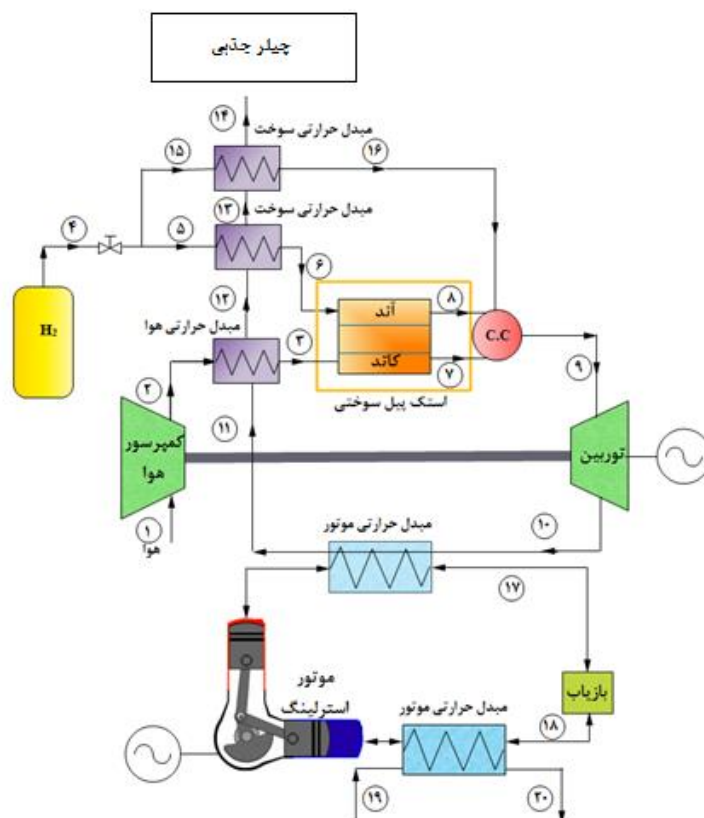
از دیگر سیستم‌های هیبریدی سه‌گانه می‌توان به ترکیب سه‌گانه توربین گاز، موتور استرلینگ و چیلر جذبی اشاره کرد. در این نوع سیستم‌های هیبریدی گازهای خروجی از توربین وارد موتور استرلینگ شده و پس از گرم کردن بازیاب این موتور در ادامه در یک چیلر جذبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم جریان الکتریکی در دو جزء توربین گاز و موتور استرلینگ تولید می‌شود. شماتیکی از این نوع سیستم در شکل ۶۹.۲ نشان داده شده است.



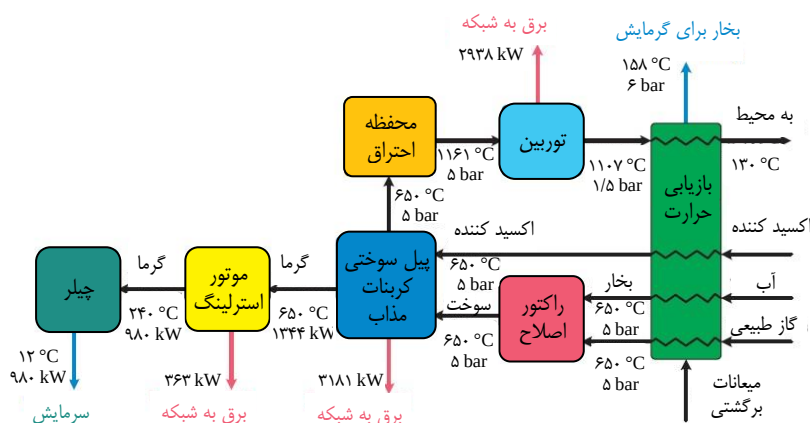
شکل ۶۹.۲ سیستم هیبریدی توربین گاز، موتور استرلینگ و چیلر جذبی [۳۳]

۲.۵.۷ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز، پیل سوختی و موتور استرلینگ

مشابه سیستم قبلی معرفی شده می‌توان از انرژی حرارتی گازهای خروجی از سیستم سه‌گانه توربین گاز، پیل سوختی و موتور استرلینگ در یک چیلر جذبی استفاده کرد و یک سیستم با چهار مولد ایجاد کرد. شماتیکی از این نوع سیستم در شکل ۷۰.۲ و شکل ۷۱.۲ نشان داده شده است.



شکل ۷۰.۲ سیستم هیبریدی توربین گاز، پیل سوختی، موتور استرلینگ و چیلر جذبی [۳۴]

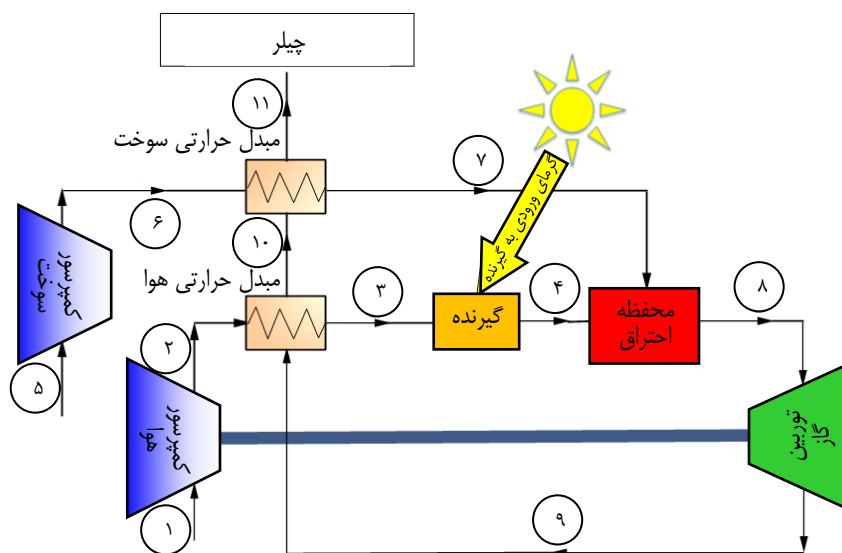


شکل ۷۱.۲ سیستم هیبریدی توربین گاز، پیل سوختی، موتور استرلینگ و چیلر جذبی [۳۵]

۲.۵.۸ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی توربین گاز خورشیدی

از دیگر کاربردهای توربین‌های گاز ترکیب آن‌ها با متمرکز کننده‌های خورشیدی و تشکیل یک سیستم هیبریدی جدید تحت عنوان توربین گاز خورشیدی می‌باشد. در این سیستم هوای ورودی به محفظه احتراق سیکل توربین گاز ابتدا توسط متمرکز کننده خورشیدی پیش گرم شده و در ادامه وارد محفظه احتراق می‌گردد. استفاده از متمرکز کننده خورشیدی سبب کاهش

مصرف سوخت در سیکل خواهد شد. استفاده از انرژی حرارتی گازهای خروجی از سیکل توربین گاز خورشیدی در یک چیلر جذبی می‌تواند یک سیستم CCHP جدیدی را شکل دهد. در شکل ۷۲.۲ شماتیکی از این سیستم هیبریدی سه‌گانه آورده شده است.

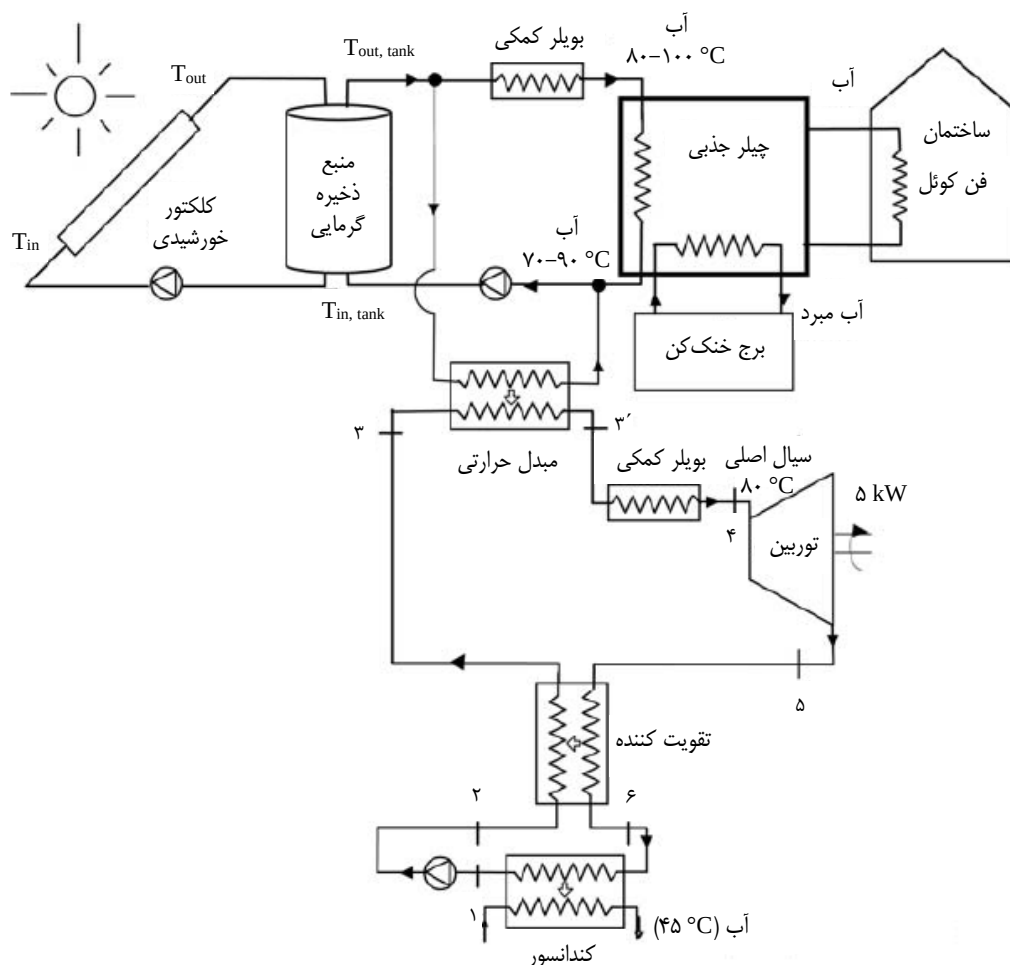


شکل ۷۲.۲ سیستم هیبریدی توربین گاز خورشیدی و چیلر جذبی [۳۶]

۹.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی خورشیدی و ORC

ترکیب سیکل‌های رنکین ارگانیک^۱ (ORC) با انرژی خورشیدی می‌تواند یک محرک مناسب برای چیلرهای جذبی باشد. همانطور که در شکل ۷۳.۲ مشاهده می‌شود سیستم هیبریدی ارائه شده یک سیستم CCHP جدید می‌باشد. انرژی خورشیدی جذب شده در ذخیره سازهای حرارتی می‌تواند هم در سیکل‌های ORC و هم در سیکل چیلر جذبی مورد استفاده قرار گیرد.

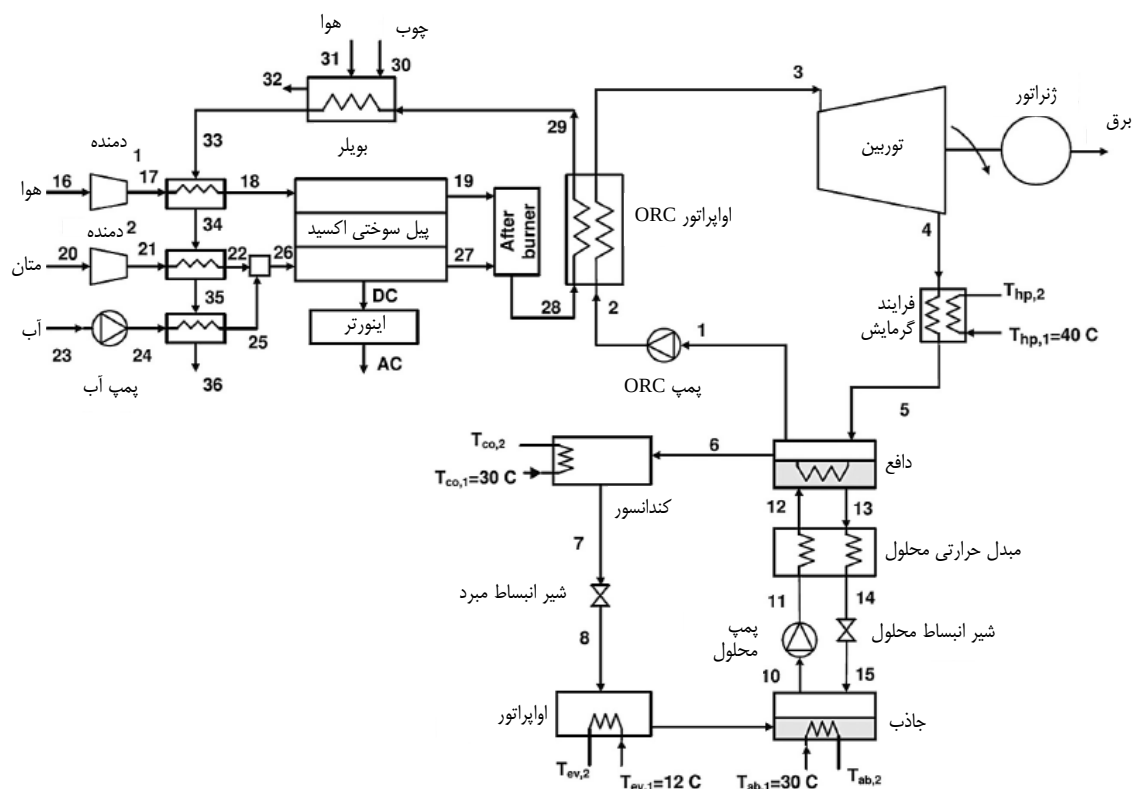
¹ Organic Rankine Cycle (ORC)



شکل ۷۳.۲ سیستم CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی خورشیدی و ORC [۳۷]

۲.۵.۱۰ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی ORC و پیل سوختی اکسید جامد

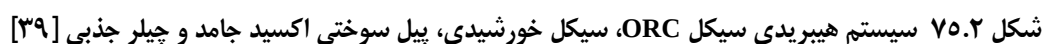
سیستم CCHP دیگری که در این بخش توضیح داده شده است ترکیبی از سیکل ORC، پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی است. همانطور که در شکل ۷۴.۲ مشاهده می‌شود گازهای خروجی از سیکل پیل سوختی اکسید جامد وارد اواپراتور سیکل ORC شده و سبب تبخیر مبرد در آن می‌شوند. بخار تولید شده در ادامه وارد توربین شده و پس از تولید انرژی الکتریکی، در یک مبدل پیش گرم شده و سپس وارد ژنراتور چیلر جذبی می‌شود. مبرد پس از سرد شدن در ژنراتور چیلر به صورت مایع متراکم درآمده و مجدداً وارد اواپراتور می‌گردد و سیکل مجدداً تکرار می‌شود. در این سیستم انرژی الکتریکی توسط پیل سوختی و توربین بخار تأمین شده و انرژی حرارتی نیز توسط گازهای خروجی از پیل سوختی فراهم می‌گردد. بارسرمایشی نیز توسط چیلر جذبی، تعبیه شده در سیکل محیا می‌گردد.



شکل ۷۴.۲ سیستم هیبریدی سیکل ORC، پیل سوختی اکسید جامد و چیلر جذبی [۳۸]

۱۱.۵.۲ سیستم‌های CCHP مبتنی بر سیکل ترکیبی خورشیدی و ORC با پیل سوختی اکسید جامد

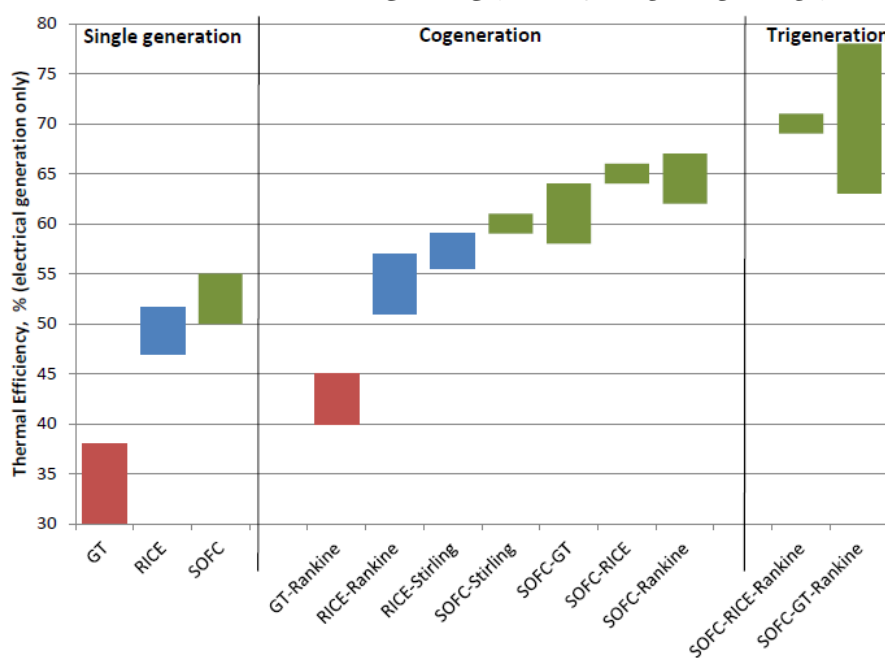
در این سیستم هیبریدی از انرژی حرارتی گازهای خروجی از پیل سوختی در سیکل ORC و سیکل چیلر جذبی استفاده شده است. بخار تولید شده توسط گازهای خروجی از پیل در دو مسیر جداگانه وارد ژنراتور چیلر جذبی و توربین بخار سیکل ORC می‌شود. در این میان کلکتورهای خورشیدی نیز در یک مسیر مجزا از یک طرف سبب گرمایش مجدد بخار خروجی از توربین پر فشار شده و از طرف دیگر سبب پیش گرمایش مایع مبرد ورودی به مولد بخار خواهند شد. شماتیک این سیستم هیبریدی در شکل ۷۵.۲ آورده شده است.



استفاده همزمان از چیلرهای تراکمی و جذبی در ساختار یک سیستم CCHP در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۷۶.۲ مشاهده می‌شود محرک اولیه این نوع سیستم‌ها اغلب از نوع موتورهای گاز سوز رفت و برگشتی می‌باشد. انرژی حرارتی جذب شده در این موتور در چیلرهای جذبی و تأمین سیستم گرمایش ساختمان استفاده شده و انرژی الکتریکی تولید شده توسط موتور نیز در سیستم‌های الکتریکی و همچنین چیلرهای تراکمی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



سیکل رنکین (با راندمانی در حدود ۷۱ درصد) و سیستم هیبریدی پیل سوختی، توربین گاز و سیکل رنکین (با راندمانی در حدود ۷۸ درصد) دارای بالاترین راندمان در بین سیکل‌های معرفی شده می‌باشد.



شکل ۷۸.۲ مقایسه راندمان سیستم‌های هیبریدی

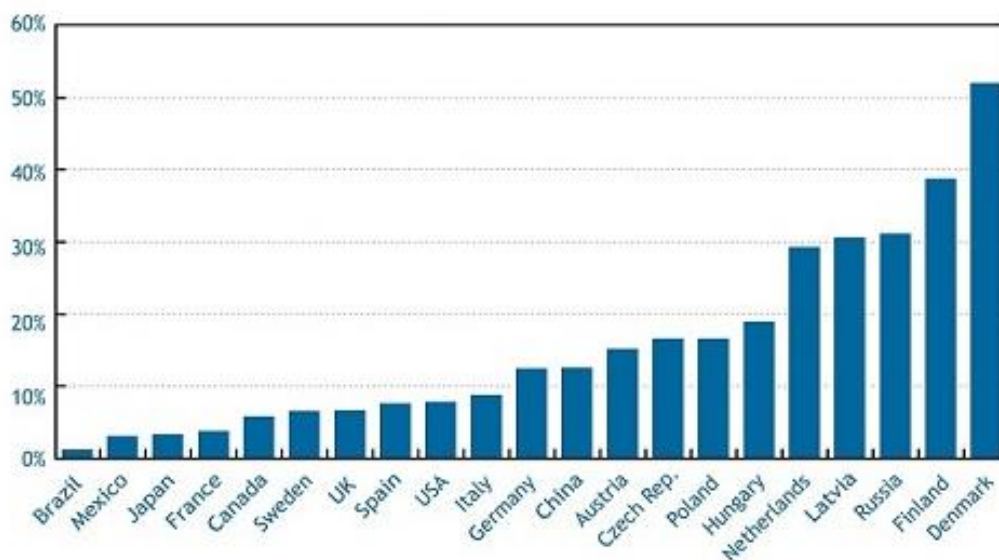
۶.۲ گسترش کاربرد CHP و CCHP در سراسر جهان

در سال ۱۹۷۳ پس از افزایش هنگفت قیمت سوخت‌های فسیلی و متعاقب آن بروز بحران انرژی در اغلب کشورهای جهان، بار دیگر استفاده از سیستم‌های تولید همزمان با روندی رو به رشد همراه گردید. در اثر کاهش منابع سوخت فسیلی و افزایش قیمت‌ها، این سامانه‌ها که بازده انرژی بیشتری داشتند، بسیار مورد توجه قرار گرفتند. امروزه با پیشرفت‌های چشمگیر در فن‌آوری ساخت موتورهای گازسوز، مبدل‌های حرارتی و سیستم‌های کنترلی، شیوه تولید همزمان نه تنها از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر، بلکه به راه کاری مؤثر در مدیریت انرژی کشورها تبدیل شده است. همچنین عوامل متعددی باعث گرایش کشورهای مختلف دنیا به بهره‌گیری از روش تولید همزمان شده است که چند نمونه از آن‌ها عبارتند از:

- ✓ افزایش رشد مصرف برق و خصوصاً افزایش رشد در بار پیک
- ✓ افزایش قیمت حامل‌های انرژی و توجه جدی به بهبود راندمان مصرف انرژی
- ✓ تلفات بالا در شبکه‌های انتقال و توزیع، کیفیت پائین برق، افت‌های شدید فرکانس و خاموشی‌های گسترده و به طور کلی قابلیت اطمینان پائین شبکه سراسری در عرضه برق
- ✓ هزینه‌های سنگین بازسازی تاسیسات قدیمی
- ✓ اعطای تخفیف‌های مالیاتی و طرح‌های تشویقی و حمایتی دولت‌ها به منظور احداث نیروگاه‌های تولید پراکنده

سیستم‌های تولید همزمان انرژی در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه کشورهای مختلف جهان قرار گرفته‌اند. در این میان توجه به سیستم‌های CHP بیشتر از سیستم‌های CCHP می‌باشد و دلیل عمده آن نیاز به بار برودتی کمتر در بیشتر این مناطق می‌باشد.

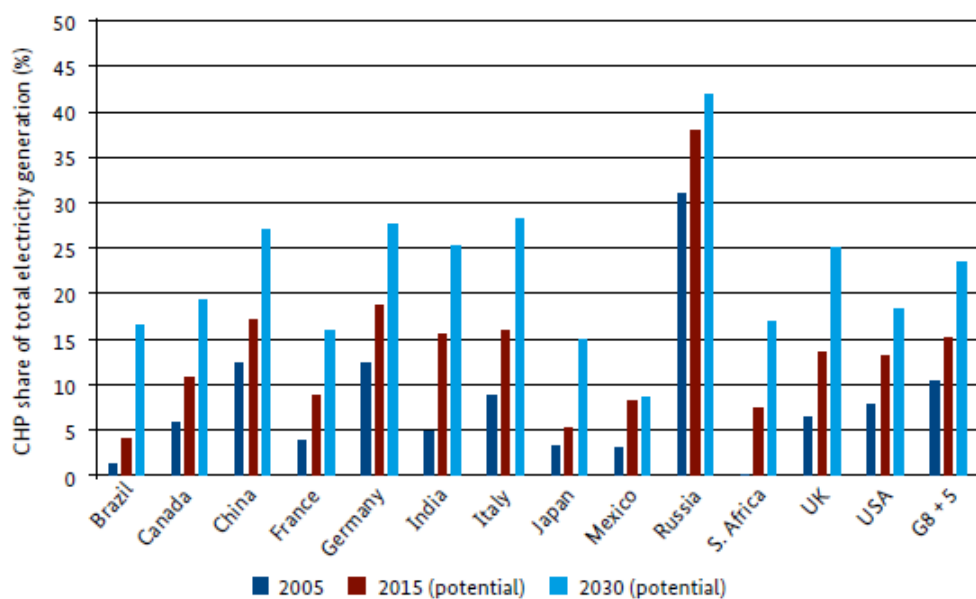
در کشورهای مختلف نگاهی کوتاه به آمار سیستم‌های تولید همزمان در دنیا، به خوبی نشانگر تاثیر مهم این فن‌آوری در مدیریت انرژی جهان امروز است. در سال ۲۰۱۱، سیستم‌های تولید همزمان به تنهایی بیش از ۱۰ درصد ظرفیت تولید برق دنیا را به خود اختصاص داد. میانگین استفاده از تولید همزمان در اتحادیه اروپا به حدود ۱۱ درصد و در برخی از کشورها مانند دانمارک به بیش از ۵۰ درصد کل ظرفیت تولید برق رسیده است. کشورهایی نظیر آمریکا و آلمان بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ رشدی ۲۰ درصدی را در استفاده از فن‌آوری تولید همزمان تجربه کرده‌اند. نسبت انرژی برق تولیدی با استفاده از روش تولید همزمان (CHP) به کل انرژی تولید شده، در برخی از کشورهای توسعه یافته در سال ۲۰۱۱ در شکل ۷۹.۲ ارائه شده است.



شکل ۷۹.۲ نسبت انرژی برق تولیدی با استفاده از روش تولید همزمان (CHP)

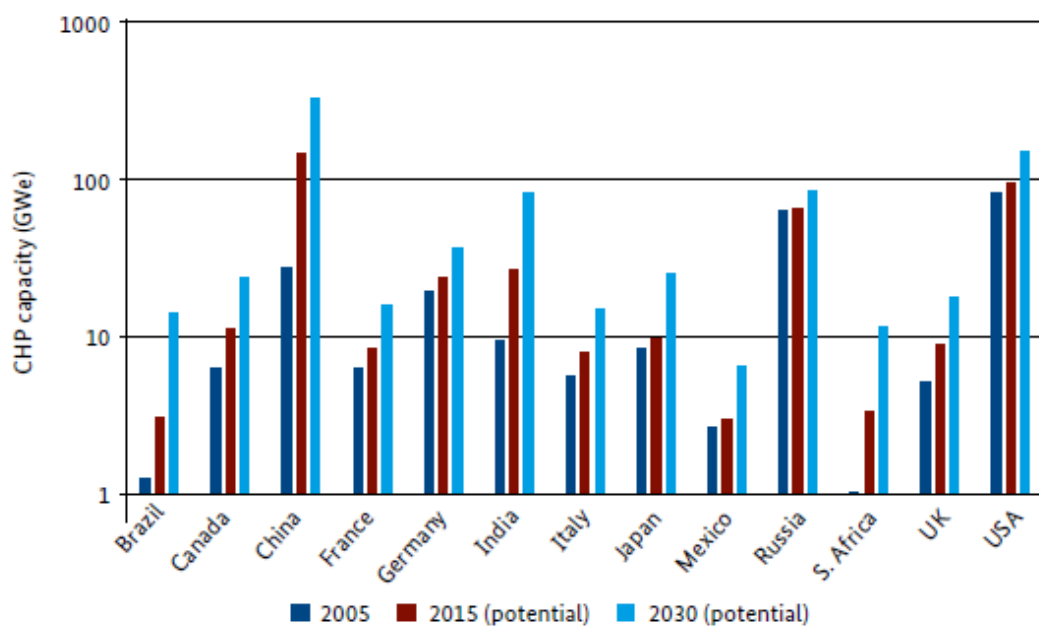
در شکل ۸۰.۲ سهم انرژی الکتریکی تولید شده با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان نسبت به کل انرژی الکتریکی تولیدی، در برخی از کشورهای مهم جهان ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این نمودار میزان انرژی الکتریکی تولید شده در سال ۲۰۰۵ با چشم انداز آن در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۳۰ مقایسه شده است [۴۲]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کشورهایی مثل روسیه، ایتالیا، آلمان، چین، هند و انگلیس در نظر دارند که تا سال ۲۰۳۰، حدود ۲۵ درصد از انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را از سیستم‌های تولید همزمان تامین نمایند. در شکل ۸۱.۲ نیز میزان کل انرژی تولید شده توسط سیستم‌های تولید همزمان در چند کشور مهم ارائه شده است [۴۲]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کشورهای چین، آمریکا، روسیه و هند از سیستم‌های تولید همزمان خود بیشترین برق تولیدی را داشته‌اند. بازیافت انرژی حرارتی در سیستم‌های تولید همزمان مسئله مهمی است که اساس کار این نوع سیستم‌ها بر اساس آن پایه‌ریزی شده است. در شکل ۸۲.۲ نسبت حرارت بازیافتی از نیروگاه‌های تولید همزمان به کل حرارت تولید شده در ۲۷ کشور اروپایی ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر سهم گرمای بازیافت شده متعلق به کشورهای سردسیر اروپایی مانند فنلاند، سوئد، دانمارک و... می‌باشد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که روسیه و چین پیشرفت‌های بالایی در زمینه سیستم‌های تولید همزمان دارند و با توجه به روابط خوب ایران با این دو کشور می‌توان از تجربیات آن‌ها در این زمینه استفاده کرد.

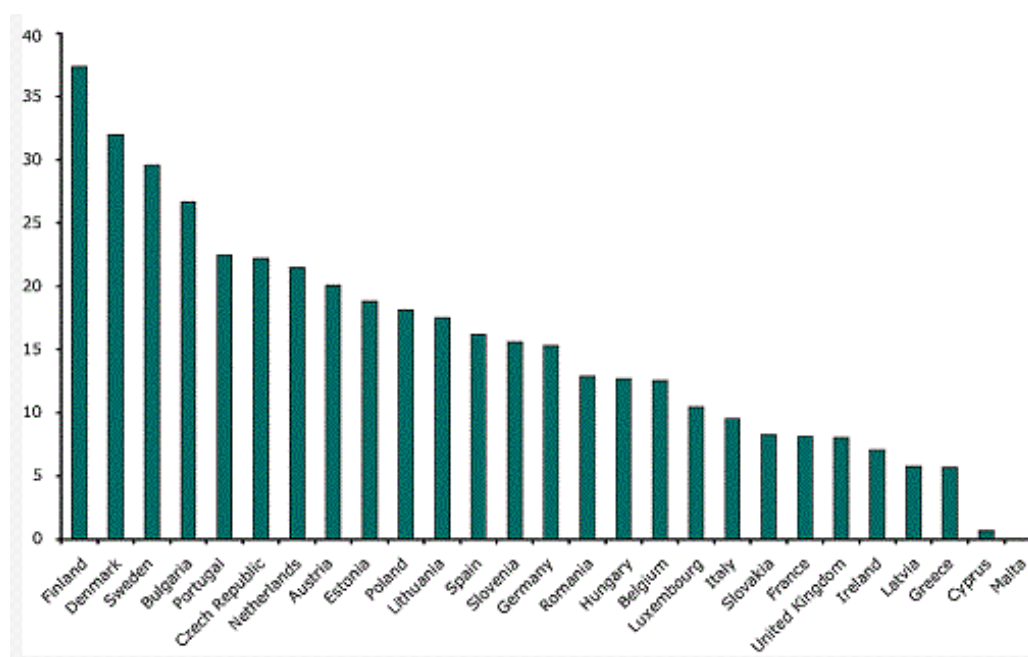


شکل ۸۰.۲ سهم انرژی الکتریکی تولید شده با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان نسبت به کل انرژی الکتریکی

تولیدی [۴۲]



شکل ۸۱.۲ میزان انرژی الکتریکی تولید شده با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان [۴۲]



شکل ۸۲.۲ نسبت حرارت بازیافتی از نیروگاه‌های تولید همزمان به کل حرارت تولید شده در ۲۷ کشور اروپایی

با توجه به موارد فوق ظرفیت CHP‌های نصب شده در برخی کشورهای منتخب که توسط آژانس بین‌المللی انرژی تا سال ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار گرفته است در جدول ۱۰.۲ ارائه شده است.

جدول ۱۰.۲ ظرفیت CHP‌های نصب شده در برخی کشورهای منتخب [۴۳]

ظرفیت [MWe]	کشور	ظرفیت [MWe]	کشور	ظرفیت [MWe]	کشور	ظرفیت [MWe]	کشور
۴۵۲۲	کره	۵۶۹۰	دانمارک	۱۱۰	ایرلند	۲۰۸۴۰	آلمان
۱۰۴۰	لتونی	۵۲۵۰	رمانی	۱۳۱۶	برزیل	۸۴۷۰۷	آمریکا
۸۳۱۰	لهستان	۶۵۱۰۰	روسیه	۱۸۹۰	بلژیک	۳۲۵۰	اتریش
۵۹۰	لیتوانی	۸۷۲۳	ژاپن	۱۱۹۰	بلغارستان	۶۰۴۵	اسپانیا
۲۰۵۰	مجارستان	۱۶۰۲	سنگاپور	۱۰۸۰	پرتغال	۱۸۶۴	استرالیا
۲۸۳۸	مکزیک	۳۴۹۰	سوئد	۷۳۷۸	تایوان	۱۶۰۰	استونی
۷۱۶۰	هلند	۶۶۰۰	فرانسه	۷۹۰	ترکیه	۵۴۱۰	اسلوواکی
۱۰۰۱۲	هند	۵۸۳۰	فنلاند	۵۲۰۰	چک	۱۲۰۳	اندونزی
۲۴۰	یونان	۶۷۶۵	کانادا	۲۸۱۵۳	چین	۵۴۴۰	انگلستان
						۵۸۹۰	ایتالیا

در ادامه به طور خلاصه وضعیت استفاده از سیستم‌های تولید همزمان در چند کشور مهم دنیا مورد بررسی قرار گرفته

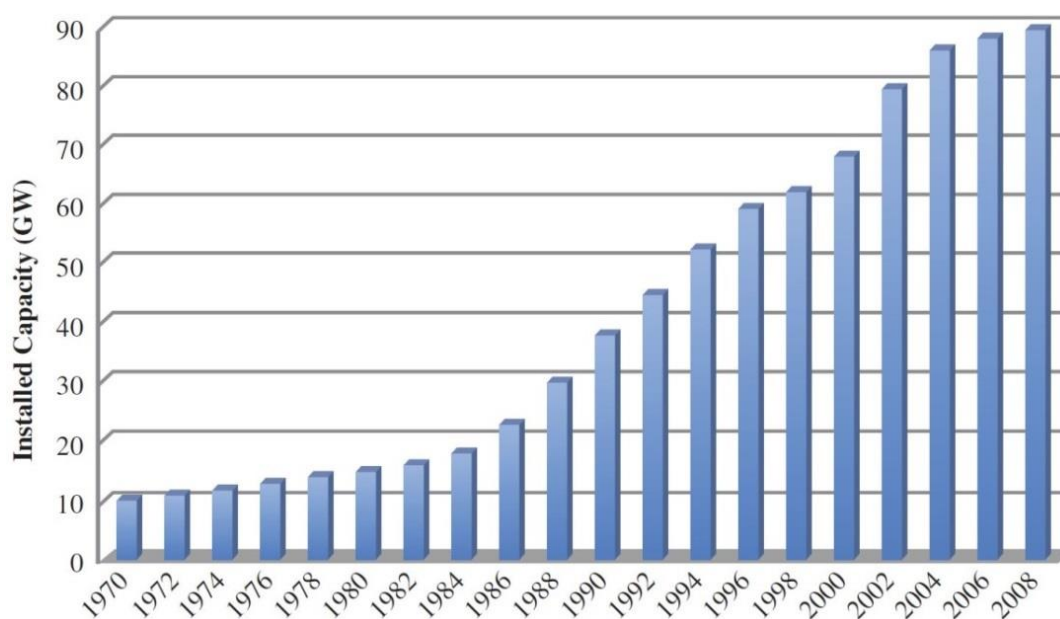
است:

۱.۶.۲ آمریکا

۱.۱.۶.۲ واحدهای صنعتی

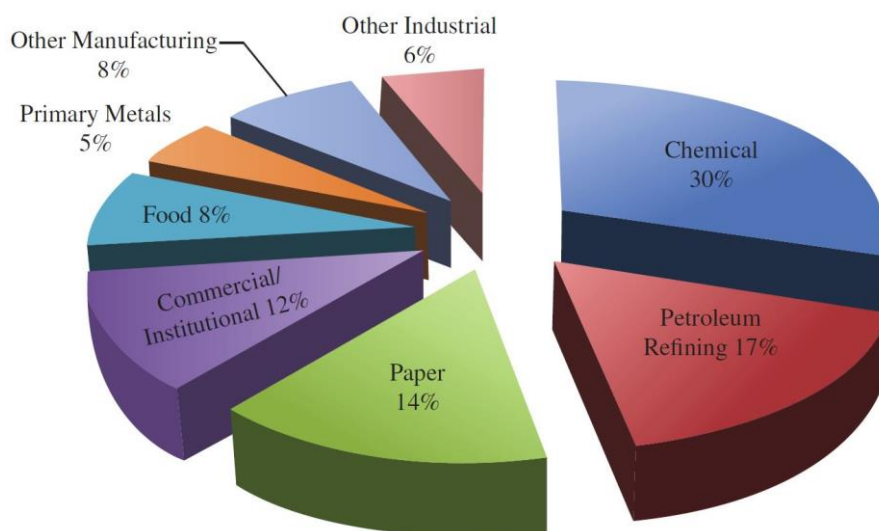
واحدهای صنعتی غالباً به طور پیوسته کار کرده و در آن‌ها نیازهای الکتریکی، حرارتی و سرمایشی همزمان وجود دارد. صنایعی مانند صنایع پتروشیمی، چوب و کاغذ و صنایع غذایی مشخصاً مصرف‌کننده بالای انرژی هستند و بهترین موارد برای کاربرد سیستم‌های CCHP می‌باشند.

به طور مثال در آمریکا چشم انداز سال ۲۰۰۴ برای نصب سیستم‌های CCHP و CHP، ۹۲ گیگاوات در نظر گرفته شده بود که با نصب ۸۰ گیگاوات تا سال ۲۰۰۴ تقریباً آن هدف به دست آمده بود. نمودار روند توسعه ظرفیت‌های CCHP و CHP نصب شده در آمریکا از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ در شکل ۸۳.۲ آمده است



شکل ۸۳.۲ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸

همانطور که در شکل ۸۴.۲ مشاهده می‌شود، بیشترین ظرفیت نصب شده با ۳۰ درصد کل ظرفیت نصب شده در سال ۲۰۱۱ مربوط به صنایع شیمیایی می‌باشد. برای صنایع پالایش نفت این عدد ۱۷ درصد و برای صنایع کاغذ به ۱۴ درصد می‌رسد.



شکل ۸۴.۲ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در صنایع مختلف آمریکا [۴]

در هدف گذاری چشم انداز سال ۲۰۳۰ وزارت انرژی آمریکا قصد دارد استفاده از سیستم‌های CCHP و CHP را از ۹ درصد به ۱۱ درصد افزایش دهد. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته این افزایش باعث ایجاد ۱ میلیون شغل و باعث کاهش ۶۰ درصد انتشار آلاینده‌های کربنی خواهد شد.

۲.۱.۶.۲ کاربرد در بخش تجاری

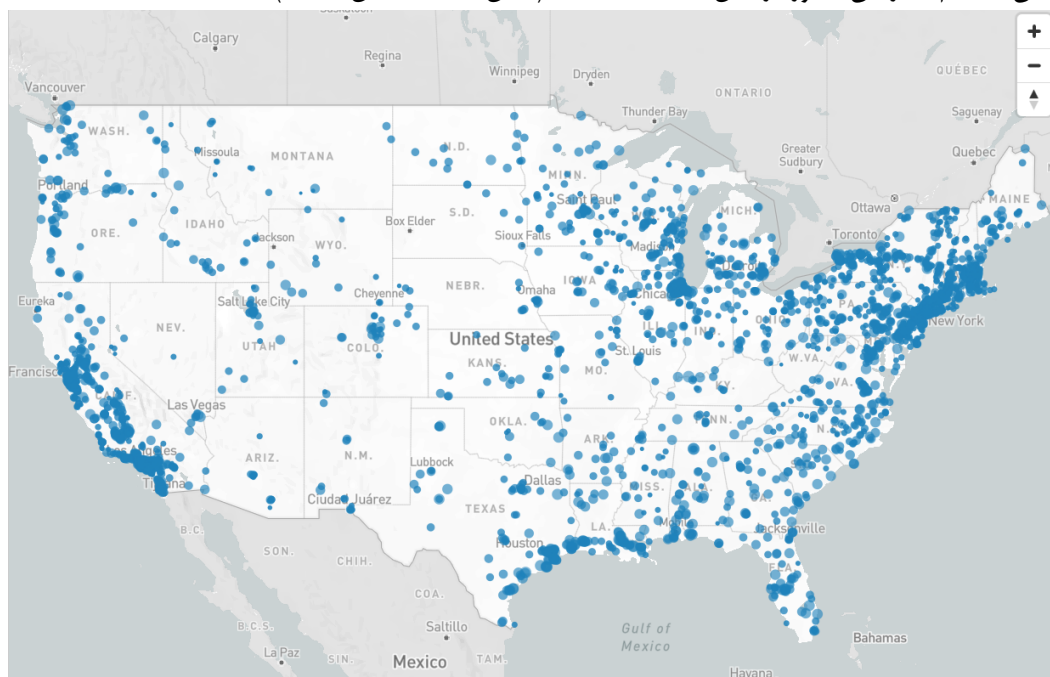
بخش‌های تجاری طیف گسترده‌ای از مراکز غیر انتفاعی شامل دانشگاه‌ها، کالج‌ها، مدارس، ساختمان‌های دولتی بزرگ، بیمارستان‌ها، مراکز دولتی و مراکز انتفاعی شامل مراکز تجاری، هتل‌ها، متل‌ها، رستوران‌ها، مراکز خرید، خشک‌شویی‌های صنعتی و آزمایشگاه‌ها را شامل می‌شود. بسیاری از این مراکز اگر هم بطور پیوسته مورد استفاده قرار نگیرند در ساعات زیادی از روز مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعضی مراکز مانند بیمارستان‌ها ممکن است از قبل برای توان رویارویی با شرایط اضطراری دارای سیستم تولید برق اضطراری که بتوان از آن در سیستم‌های تولید همزمان CHP و CCHP استفاده کرد، باشند.

یکی از مهمترین و آشکار ترین بازارها برای سیستم‌های CCHP ساختمان‌های تجاری و سازمانی است. به عنوان نمونه کاربرد واحدهای CCHP در آمریکا در بخش تجاری ۹ برابر بیشتر از بخش صنعتی است که شامل ساختمان‌های اداری، مدارس، دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و هتل‌ها می‌باشد. بازار CCHP در آمریکا به طور چشمگیری در سال ۲۰۰۲ رشد کرد اما در مواجهه با قیمت بالای گاز طبیعی به شدت کند شد. در سال ۲۰۰۴، ۱۵۴۰ مورد از واحدهای CCHP به ظرفیت ۹۰۲۴ مگاوات در بخش تجاری آمریکا در حال فعالیت بودند.

۳.۱.۶.۲ کاربرد در بخش خانگی

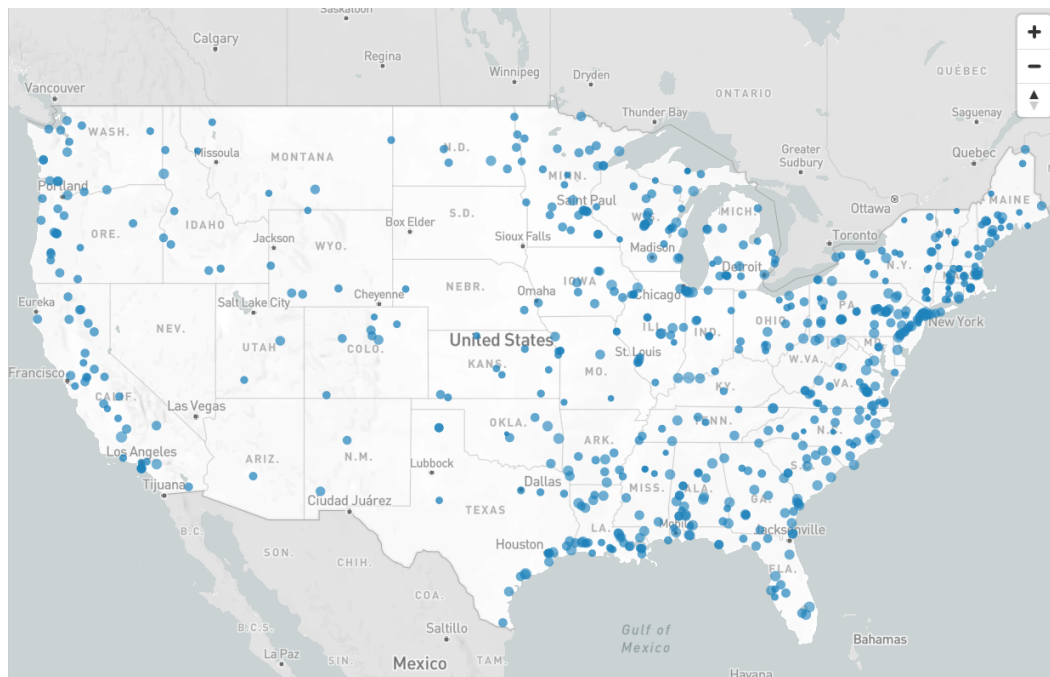
از میان سیستم‌های تولید چندگانه موارد فراوانی از بکار گیری سیستم‌های CCHP در بخش خانگی مشاهده شده است اما کاربرد سیستم‌های CCHP در این بخش غالباً به صورت مدل‌های تحقیقاتی و مواردی بسیار محدود می‌باشد و این سیستم‌ها به صورت عمده در بخش صنعتی و تجاری رشد یافته‌اند. با این حال از سیستم‌های CCHP می‌توان در تأمین برق مورد نیاز و گرمایش و نیز تأمین نیازهای سرمایشی واحدهای مسکونی از قبیل آپارتمان‌ها، برج‌ها و نیز واحدهای مسکونی تک خانوار بهره جست.

با توجه به اینکه کشور آمریکا یکی از کشورهای پیشرو در حوزه سیستم‌های CHP می‌باشد، در این بخش مروری بر وضعیت این سیستم‌ها در این کشور در سال ۲۰۱۸ شده است (شکل ۸۵.۲ تا شکل ۱۰۱.۲).

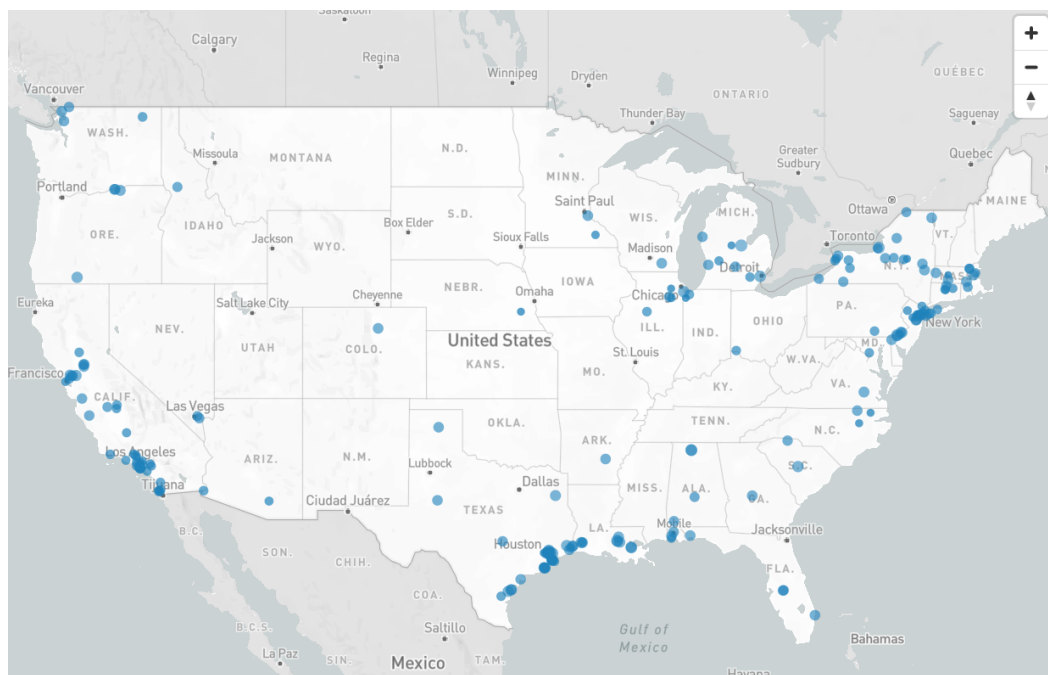


شکل ۸۵.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و تمامی کاربردها

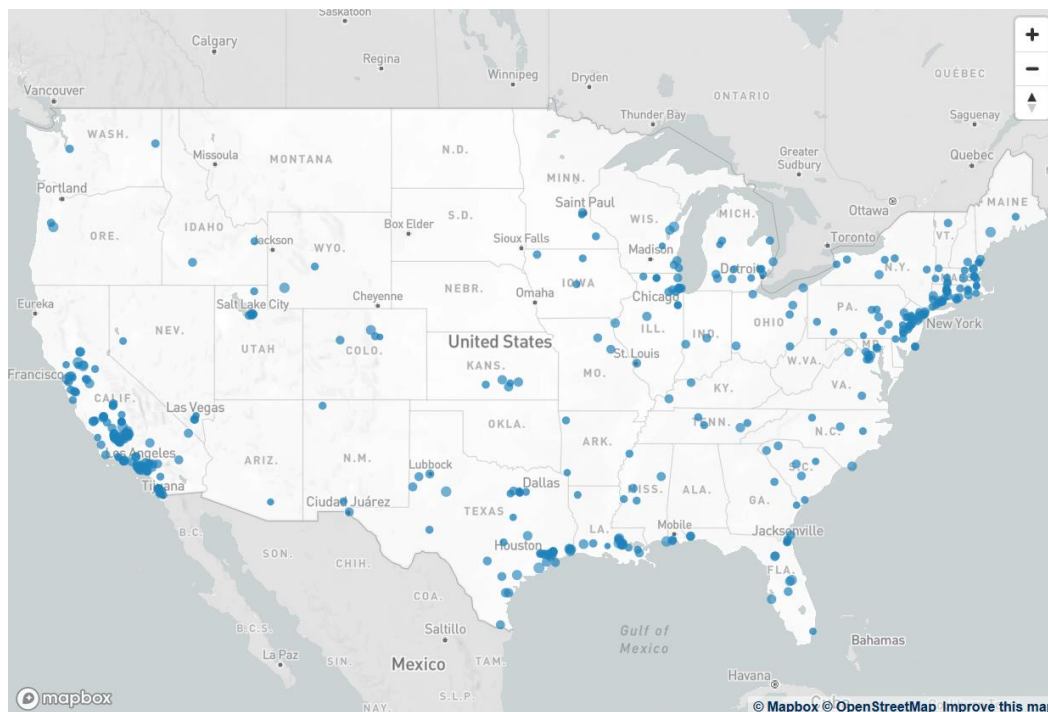
[۴۴]



شکل ۸۶.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، توربین بخار و تمامی کاربردها [۴۴]



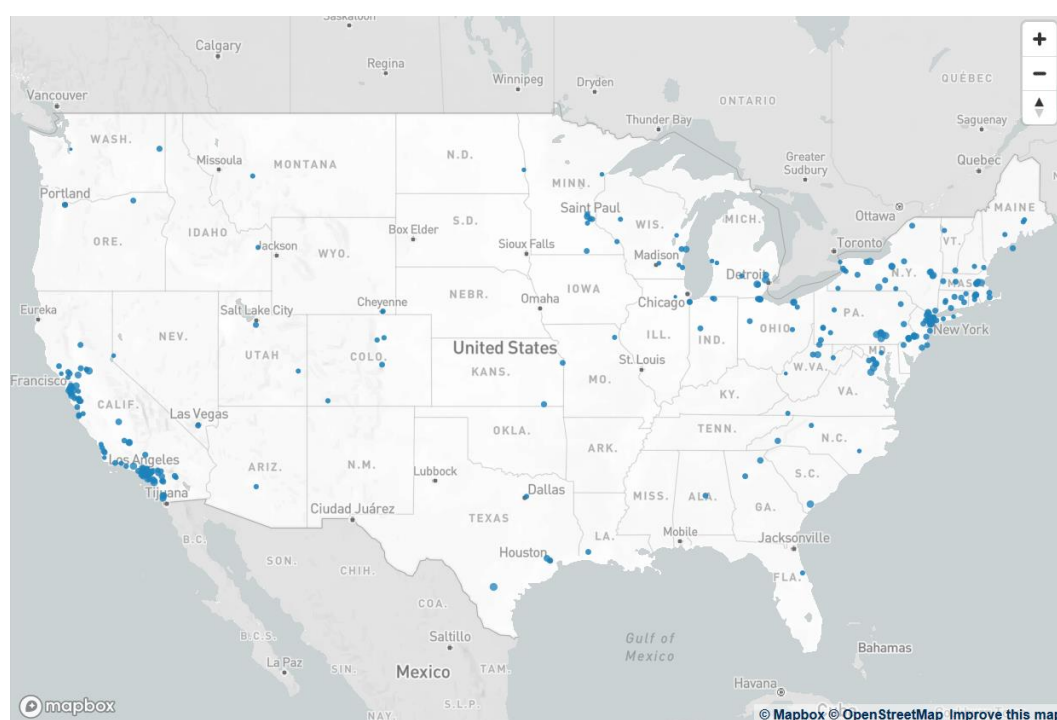
شکل ۸۷.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، سیکل ترکیبی و تمامی کاربردها [۴۴]



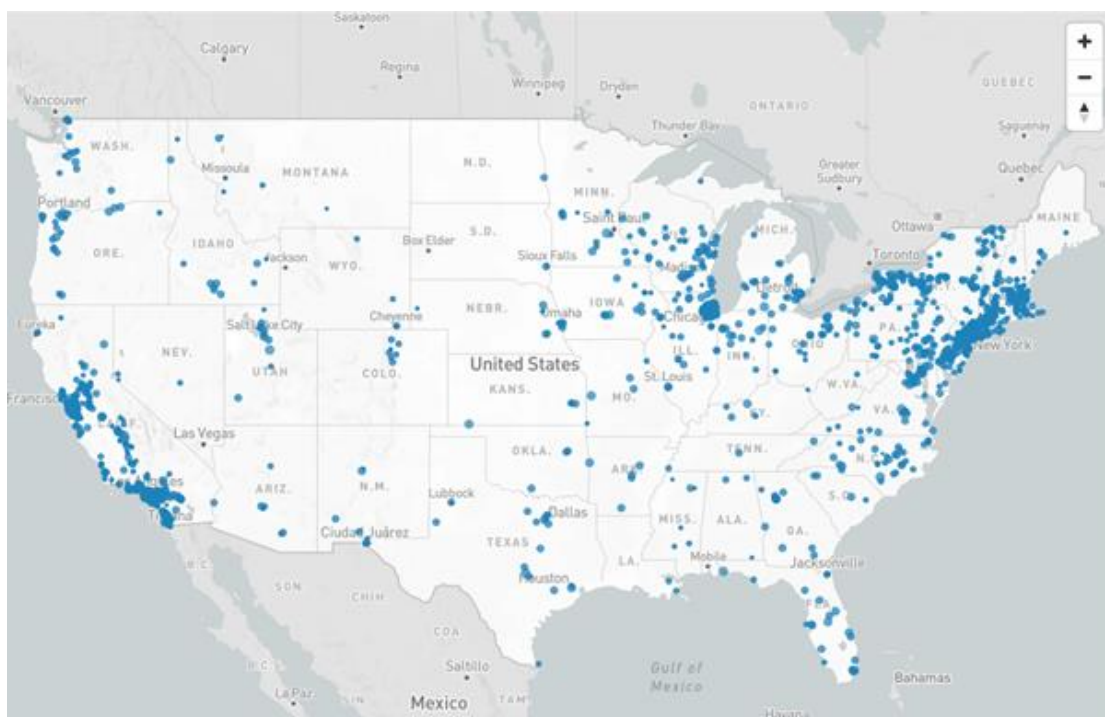
شکل ۸۸.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، توربین احتراقی و تمامی کاربردها [۴۴]



شکل ۸۹.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، پیل سوختی و تمامی کاربردها [۴۴]

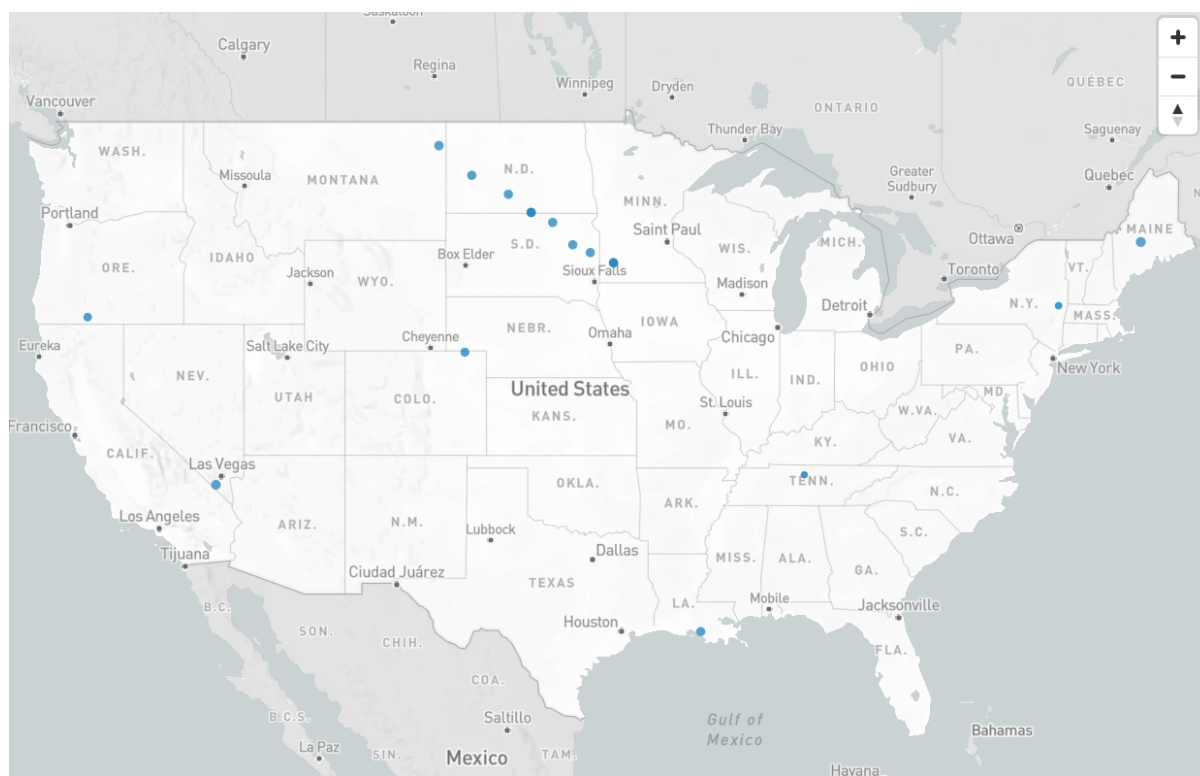


شکل ۹۰.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، میکروتوربین و تمامی کاربردها [۴۴]

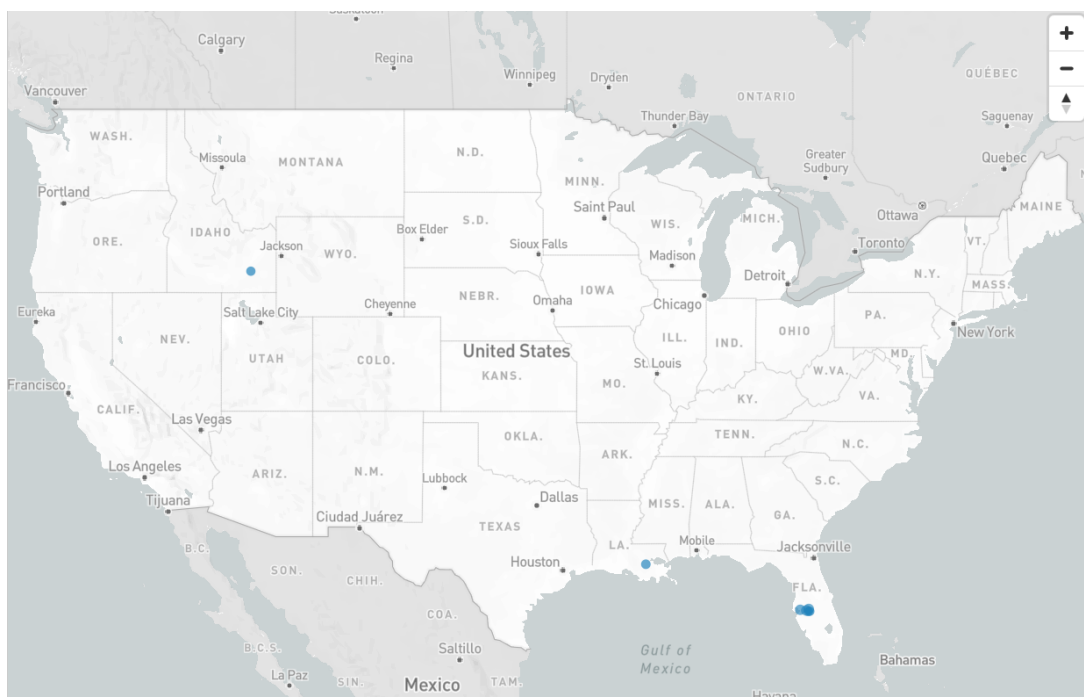


شکل ۹۱.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، موتور رفت‌وبرگشتی و تمامی کاربردها

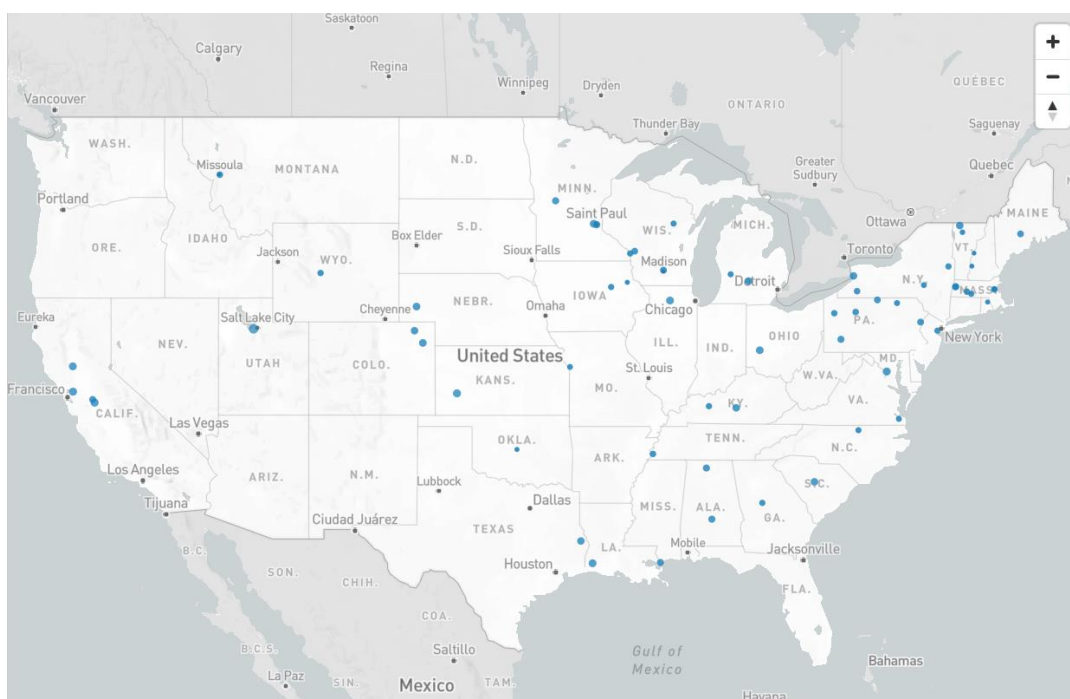
[۴۴]



شکل ۹۲.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، ORC و تمامی کاربردها [۴۴]

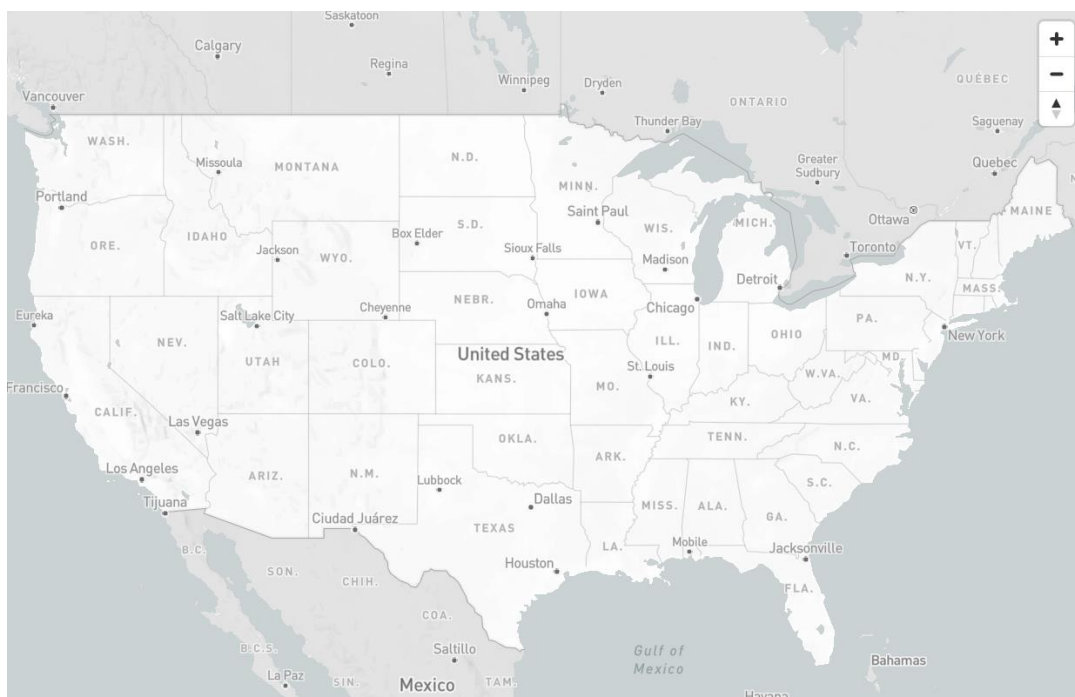


شکل ۹۳.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، چرخه بخار رنکین و تمامی کاربردها [۴۴]



شکل ۹۴.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، توربین بخار فشار برگشتی و تمامی

کاربردها [۴۴]

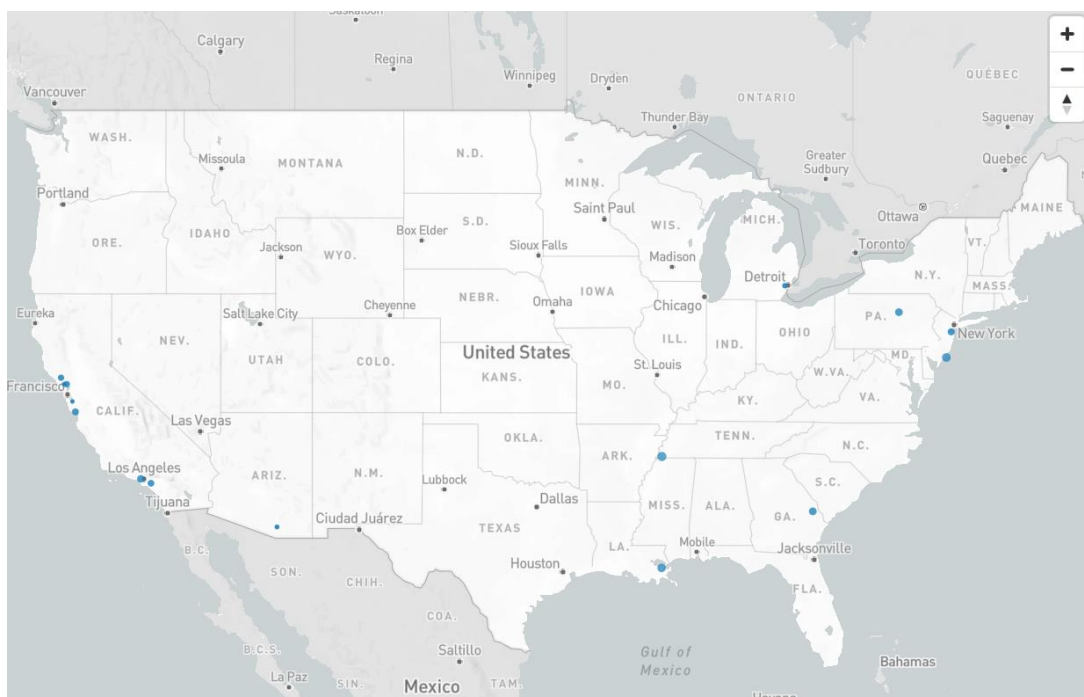


شکل ۹۵.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، بویلر بازایاب حرارت به همراه توربین بخار

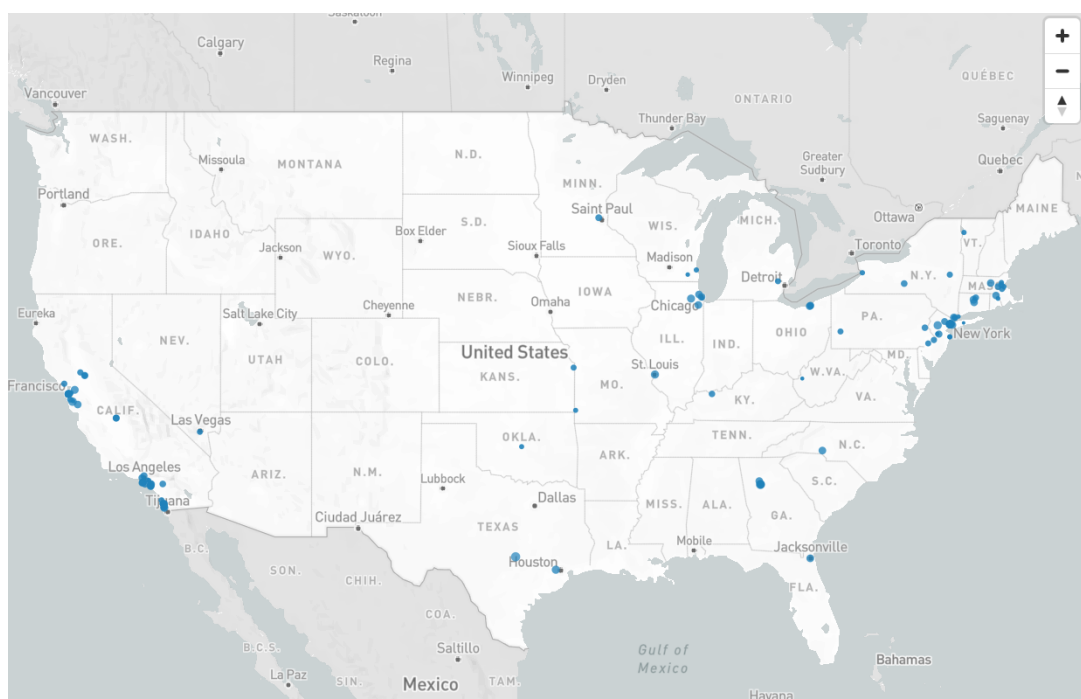
و تمامی کاربردها [۴۴]



شکل ۹۶.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، بازایاب‌های دیگر و تمامی کاربردها [۴۴]

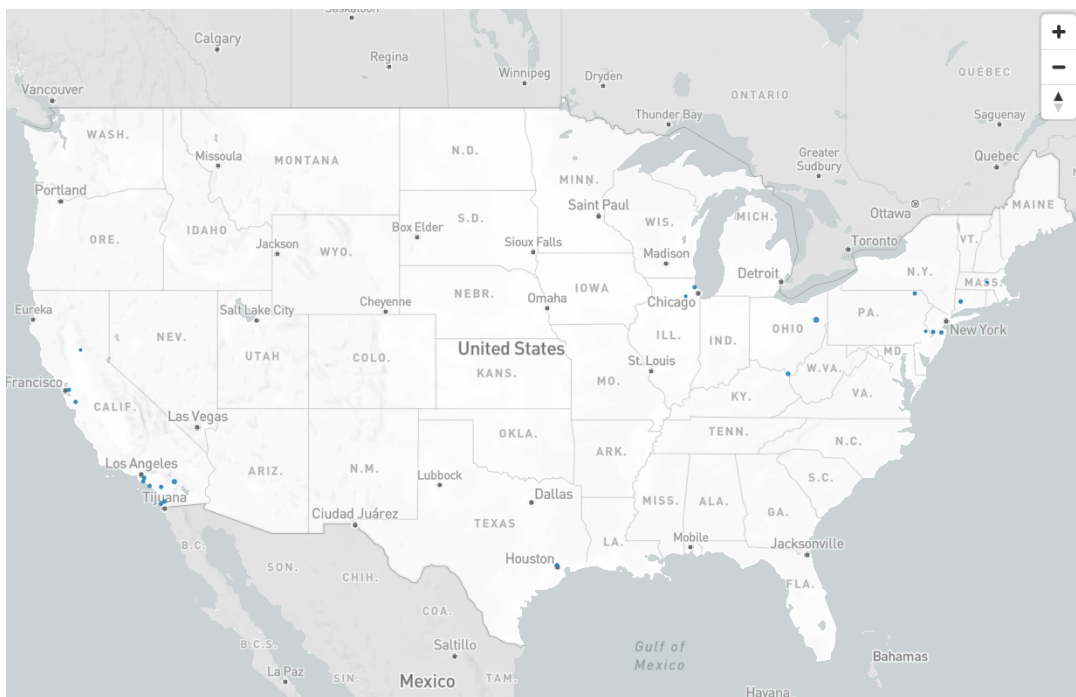


شکل ۹۷.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، محرک‌های دیگر و تمامی کاربردها [۴۴]



شکل ۹۸.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و ساختمان‌های

تجاری [۴۴]



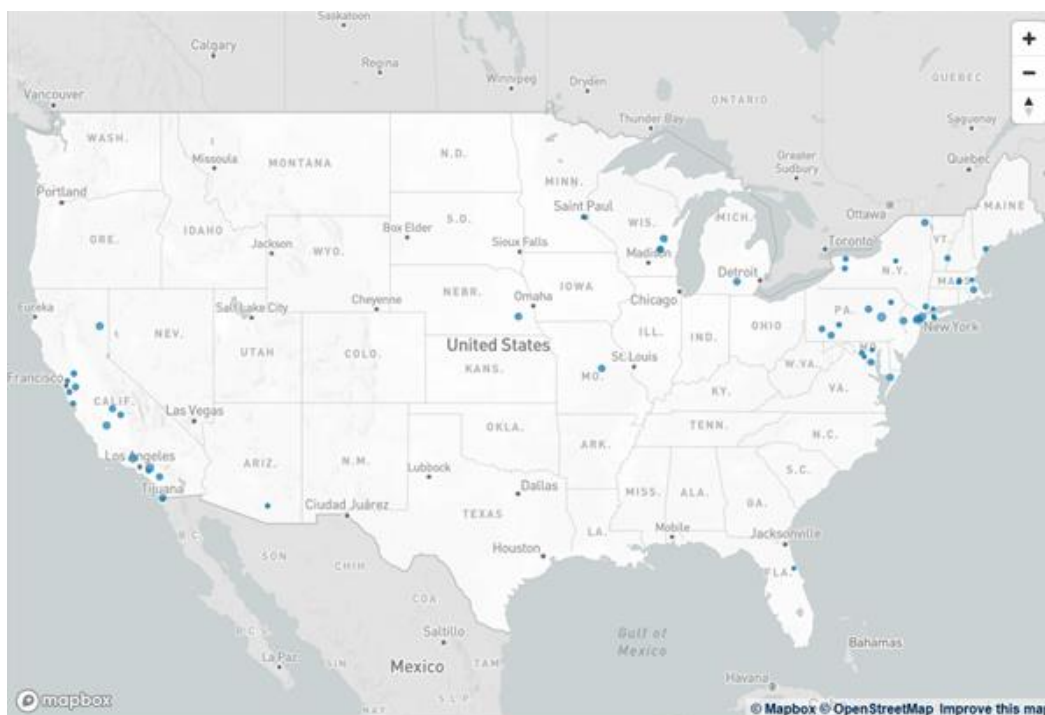
شکل ۹۹.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و ساختمان‌های

خانگی [۴۴]



شکل ۱۰۰.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و مکان‌های

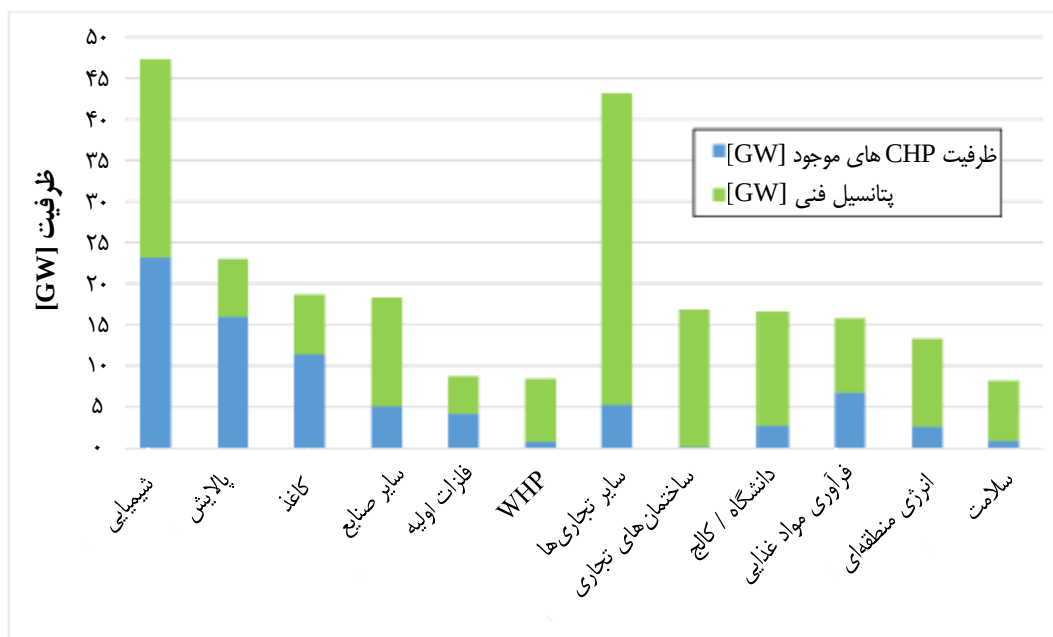
نظامی [۴۴]



شکل ۱۰۱.۲ توزیع مکانی سیستم‌های تولید همزمان در ایالات متحده آمریکا، تمامی محرک‌های اولیه و مکان‌های

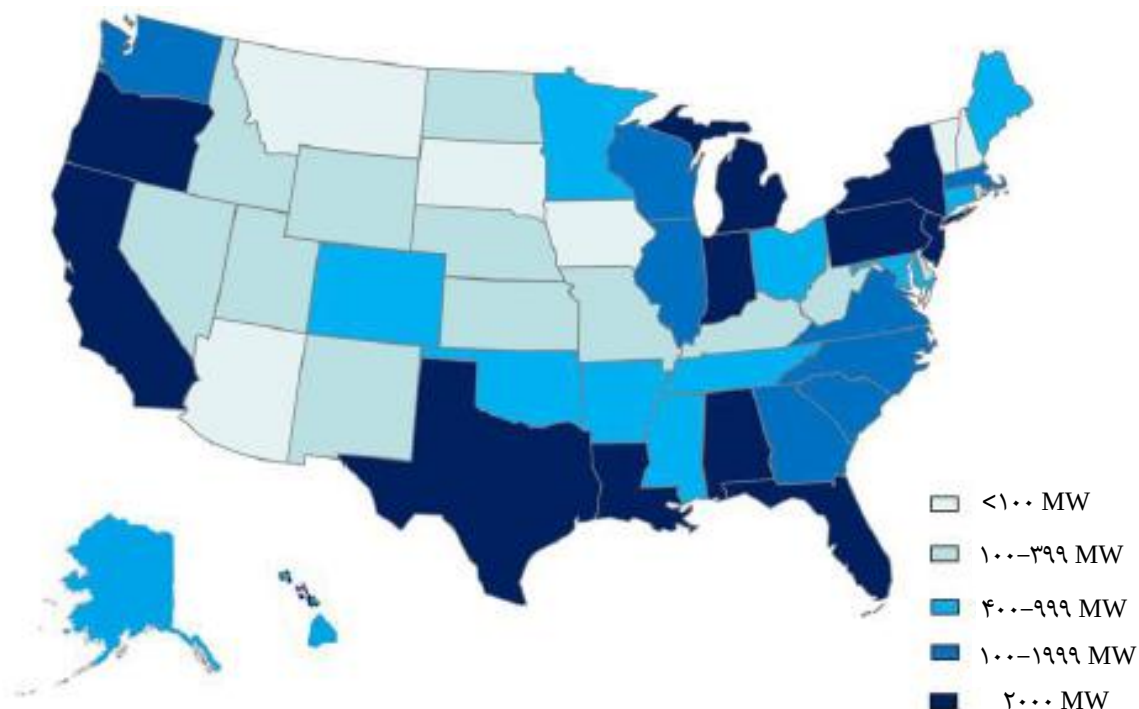
عمومی [۴۴]

در شکل ۱۰۲.۲ میزان ظرفیت واحدهای تولید همزمان برق و حرارت نصب شده در آمریکا در سال ۲۰۱۶ و همچنین پتانسیل نصب این واحدها در این کشور در کاربری‌های مختلف ارائه شده است [۴۵].



شکل ۱۰۲.۲ میزان ظرفیت نصب شده و پتانسیل موجود برای نصب سیستم‌های CHP در آمریکا [۴۵]

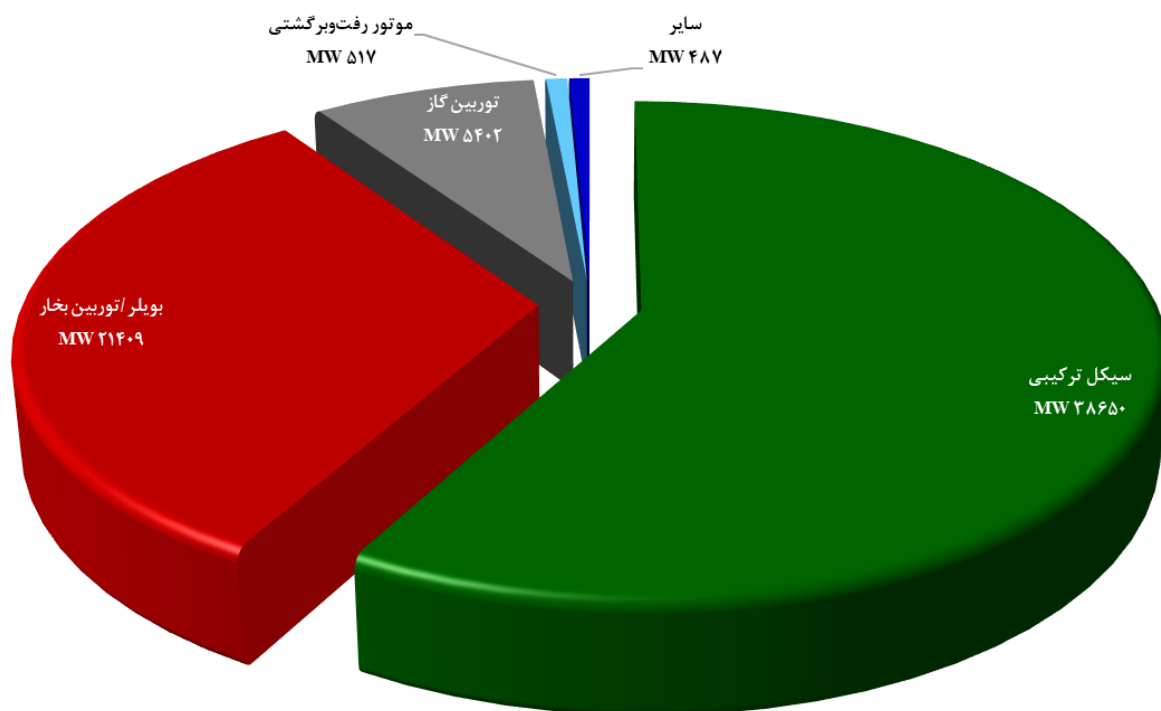
بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که ظرفیت نصب شده واحدهای CHP در ایالات متحده آمریکا در حدود ۸۱ گیگاوات است. این در حالیست که پتانسیل موجود این کشور برای نصب و راه‌اندازی واحدهای مذکور در حدود ۲۴۰ گیگاوات برآورد شده است. شکل ۱۰۳.۲ پراکندگی واحدهای مذکور را در این کشور نشان می‌دهد [۴۵].



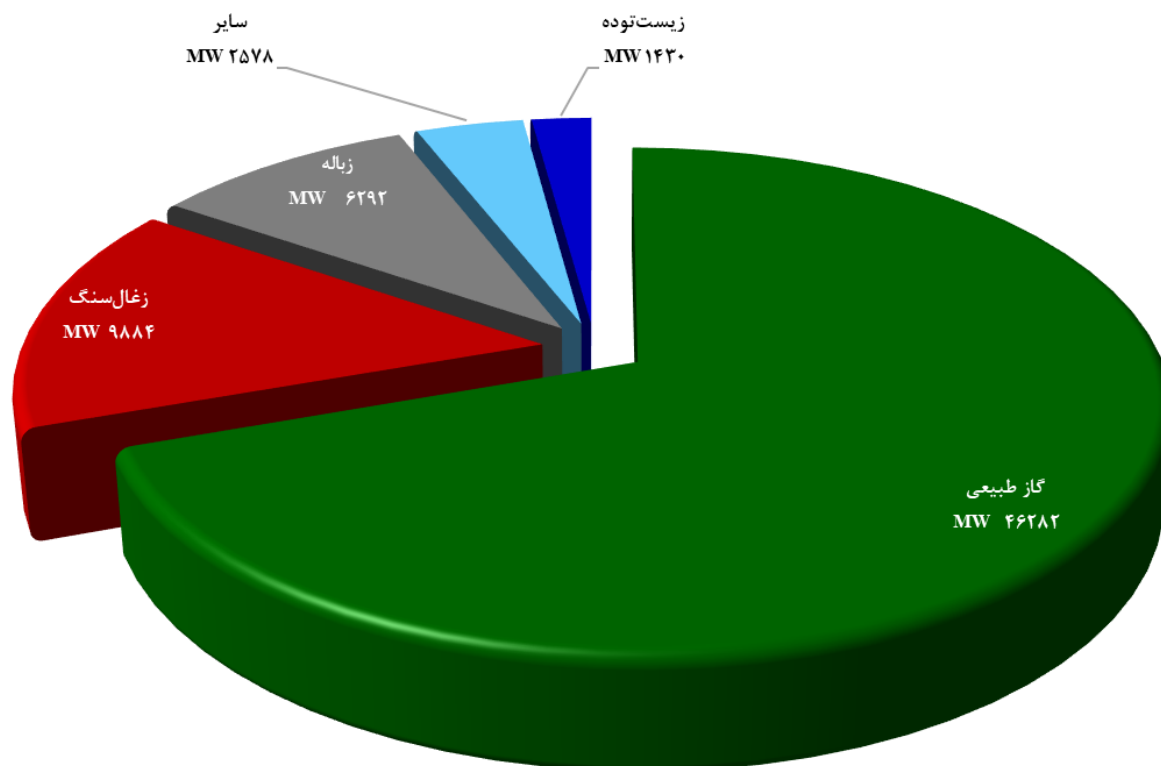
شکل ۱۰۳.۲ پراکندگی واحدهای CHP در کشور آمریکا [۴۵]

در این میان سهم هر کدام از محرک‌های اصلی واحدهای CHP نصب شده در شکل ۱۰۴.۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین سهم محرک‌های اصلی در این کشور متعلق به سیکل‌های ترکیبی و توربین‌های بخار می‌باشد. موتورهای احتراق داخلی نیز در رتبه ماقبل آخر قرار دارند.

شکل ۱۰۵.۲ نیز سهم سوخت مصرفی واحدهای CHP نصب شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود گاز طبیعی در رتبه نخست و زیست توده در رتبه آخر قرار دارد.



شکل ۱۰.۴.۲ سهم هر کدام از محرک‌های اصلی واحدهای CHP نصب شده [۴۶]

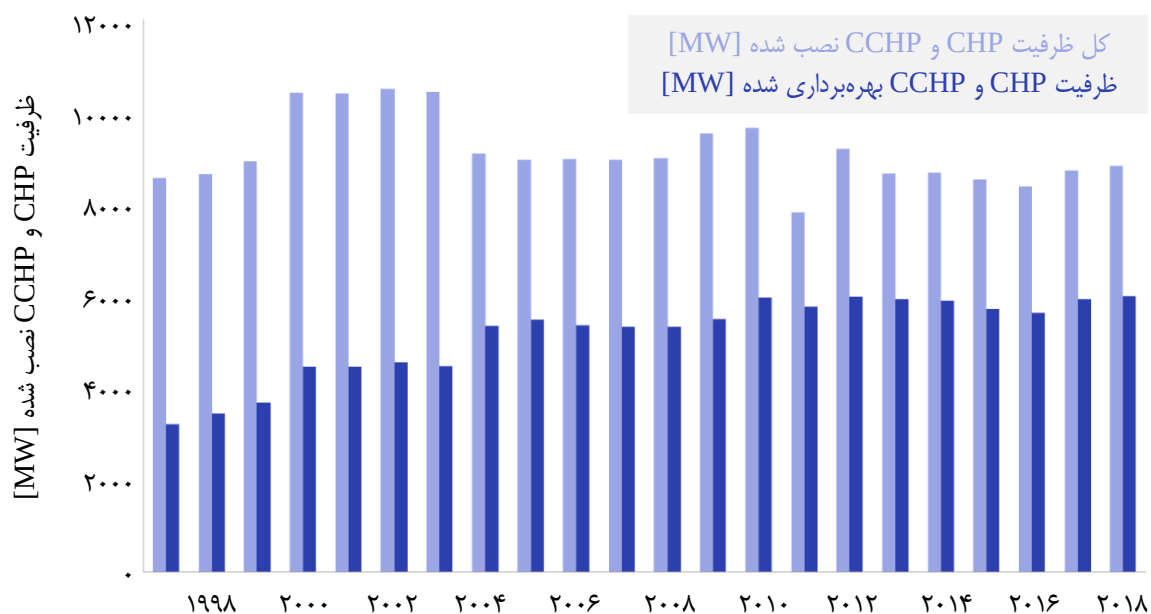


شکل ۱۰.۵.۲ سهم سوخت مصرفی هر کدام از محرک‌های اصلی واحدهای CHP نصب شده [۴۶]

۲.۶.۲ انگلستان

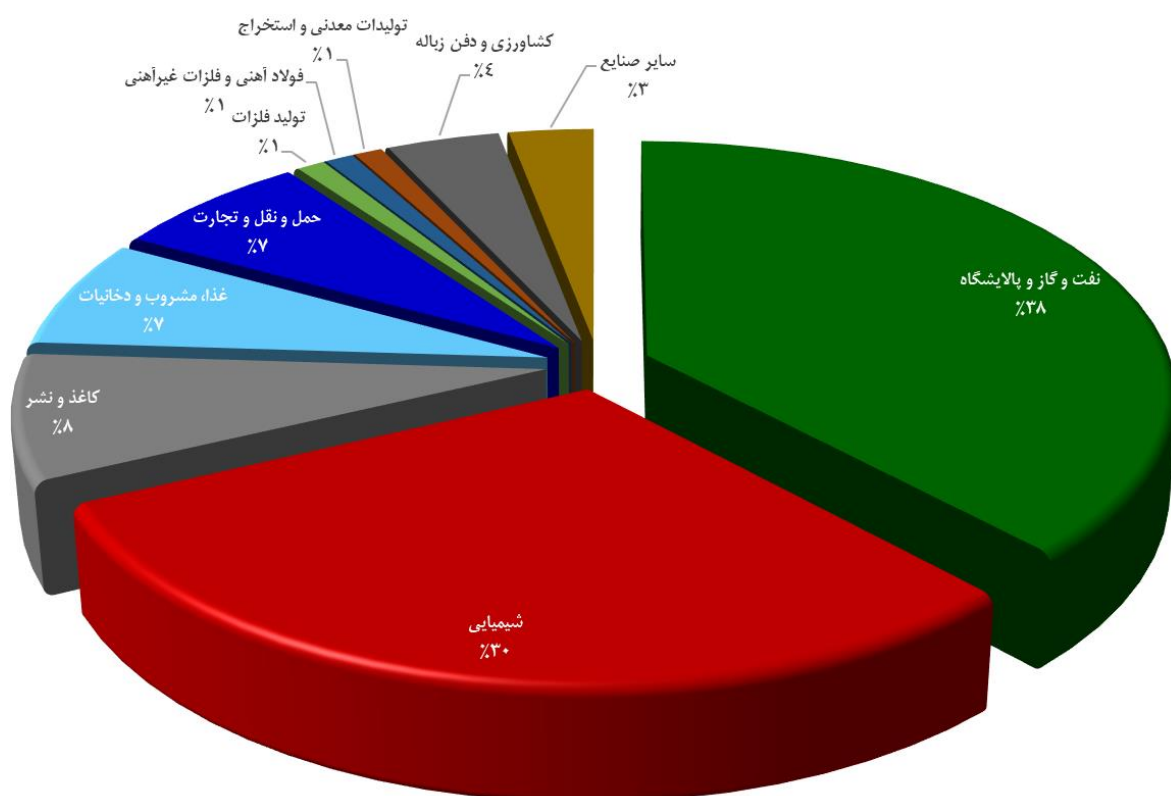
۱.۲.۶.۲ واحدهای صنعتی

در انگلستان طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ تعداد و ظرفیت نصب شده سیستم‌های CCHP و CHP به طور چشمگیری افزایش یافته است. این رشد استفاده از سیستم‌های CCHP و CHP بر اساس حمایت‌های دولت و با در نظر گرفتن مشوق‌های مالی، حمایت مالی، چارچوب قانونی، ارتقاء نوآوری و رهبری و مشارکت دولتی بوده است. قبل از سال ۲۰۰۰ ظرفیت نصب شده ۳/۵ گیگاوات بوده در صورتی که در سال ۲۰۰۰ این عدد به ۴/۵ گیگاوات افزایش یافت. در ادامه دولت انگلیس مجموعه‌ای از سیاست‌ها را برای دستیابی به استفاده سیستم‌های CCHP و CHP تا ظرفیت ۱۰ گیگاوات را به کار بست. در سال ۲۰۱۰ ظرفیت نصب شده به ۶ گیگاوات رسید. روند پیشرفت نصب و استفاده از سیستم‌های CCHP و CHP در کشور انگلستان تا سال ۲۰۱۸ در شکل ۱۰۶.۲ ارائه شده است [۴۷].



شکل ۱۰۶.۲ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ [۴۷]

گسترش کاربرد سیستم‌های CCHP و CHP در صنایع انگلیس در شکل ۱۰۷.۲ ارائه شده است، که بیشترین سهم استفاده با ۳۸ درصد برای پایانه‌های نفت، گاز و پالایشگاه‌ها می‌باشد [۴۷].



شکل ۱۰۷.۲ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در صنایع مختلف انگلستان [۴۷]

۳.۶.۲ ژاپن

۱.۳.۶.۲ واحدهای صنعتی

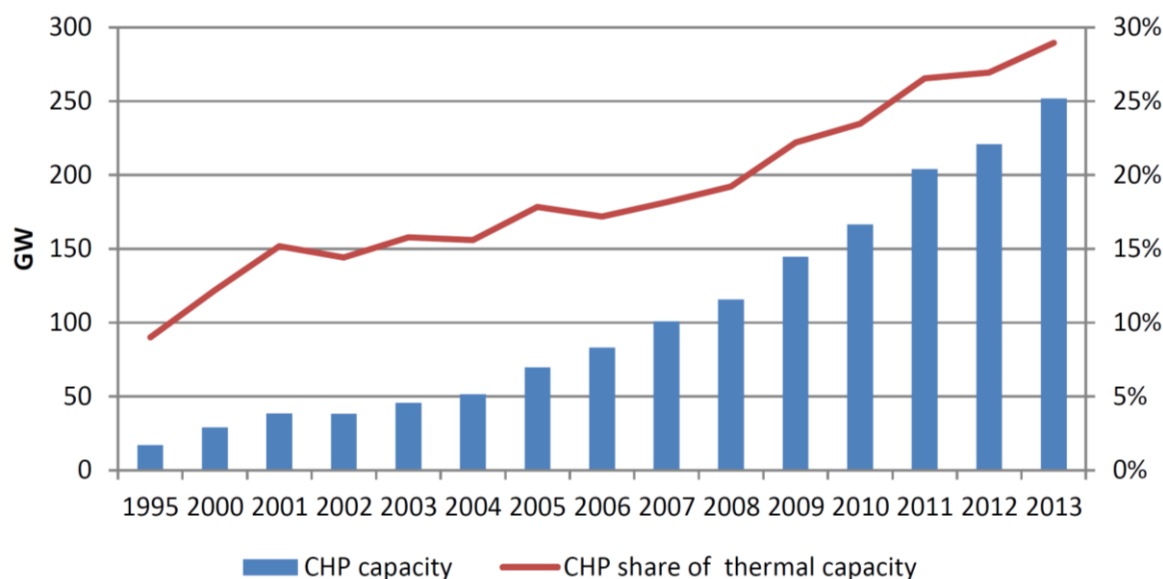
تا پایان مارس ۲۰۱۸، ۴۶۷۳ واحد CHP با ظرفیت ۸۳۶۶ مگاوات، برای استفاده‌های صنعتی و ۱۲۹۳۱ واحد CHP با ظرفیت ۲۲۳۶ مگاوات برای استفاده‌های تجاری در ژاپن مستقر شده بودند. از میان کاربردهای صنعتی، صنایع نفت و گاز بیشترین سهم را دارند. بخش‌های دیگری که ظرفیت‌های بزرگ دارند، شامل صنایع کاغذ، دارو، آهن فلزات، شیشه و سرامیک می‌باشند. جدول ۱۱.۲ اطلاعات واحدهای CHP صنعتی و تجاری ژاپن، شامل نوع فعالیت، تعداد واحدها و ظرفیت‌های تولیدی را نشان می‌دهد [۴۸].

جدول ۱۱.۲ اطلاعات واحدهای CHP صنعتی و تجاری ژاپن [۴۸]

ظرفیت [MW]	تعداد واحدهای نصب شده	واحدهای تجاری	ظرفیت [MW]	تعداد واحدهای نصب شده	واحدهای صنعتی
۴۴۴	۳۵۲۶	بیمارستان	۱۹۶۰	۸۵۱	شیمیایی
۳۷۹	۱۵۴۸	ساختمان‌های تجاری	۱۳۴۴	۷۴۴	ماشین‌سازی
۳۲۰	۱۶۸	گرمایش و سرمایش منطقه‌ای	۷۸۲	۴۴۴	فولاد و فلزات
۲۳۷	۱۴۰۴	هتل	۷۶۵	۴۶۷	الکترونیک
۲۶۰	۱۲۰۸	مدارس و مکان‌های عمومی	۱۱۷۷	۱۹۹	انرژی
۱۵۱	۱۷۵۵	ورزشگاه‌ها و حمام‌های عمومی	۵۷۰	۲۹۵	کاغذ و چاپ
۱۲	۱۷۰۰	رستوران	۷۶۳	۱۰۴۸	غذا
۱۳۷	۸۳۸	اداره‌های خصوصی	۵۲۰	۲۱۷	پارچه
۶	۲۲۱	مجتمع مسکونی	۲۵۵	۱۱۴	سرامیک و سیمان
۲۹۰	۵۶۳	سایر	۲۲۹	۲۹۴	سایر
۲۲۳۶	۱۲۹۳۱	مجموع	۸۳۶۶	۴۶۷۳	مجموع

۲.۶.۴ چین

بررسی‌ها نشان می‌دهد که چین از جمله کشورهایی است که بیشترین پیشرفت در زمینه استفاده از سیستم‌های تولید همزمان در سال‌های اخیر در آن صورت گرفته است. این موضوع در شکل ۸۱.۲ به وضوح مشاهده می‌شود. در شکل ۱۰۸.۲ ظرفیت سیستم‌های تولید همزمان نصب شده در کشور چین و سهم واحدهای CHP از ظرفیت گرمایی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۰.۲ ظرفیت سیستم‌های CHP و CCHP نصب شده در چین [۴۹]

۷.۲ گسترش کاربرد CHP و CCHP در ایران

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه استفاده از سیستم‌های CHP و CCHP در ایران شکل گرفته است. از سوی دیگر با در نظر گرفتن تسهیلات اعطایی و تشویقی دولت به استفاده کنندگان از سیستم‌های تولید پراکنده، بیشتر سازمان‌های دولتی و خصوصی به استفاده از این نوع سیستم‌ها ترغیب شده‌اند. در این میان استفاده از سیستم‌های CHP نسبت به سیستم‌های CCHP بیشتر مد نظر بوده است. محرک‌های اولیه‌ای که بیشتر در ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند، موتورهای پیستونی گاز سوز می‌باشد و دلیل عمده این مسئله نیز ارزان بودن و در دسترس بودن گاز طبیعی و همچنین هزینه‌های بالای سایر محرک‌ها و مشکلات مربوط به تعمیر و نگهداری آن‌ها می‌باشد.

چشم انداز CHP و CCHP در ایران بر اساس مجموعه‌ای از مآخذ قانونی و راهبردی بهینه‌سازی مصرف انرژی کشور بوده که توسط سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) منتشر شده است. بر اساس سند چشم انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ که در مورخ ۱۳۸۲/۰۹/۲۰ توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردید، احداث ۳۰۰۰ مگاوات نیروگاه‌های تولید پراکنده با اولویت تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در نظر گرفته شده است. همچنین در تکلیف ۲۰ گانه مصوبه هیأت دولت مورخ ۸۸/۳/۲ جهت اصلاح الگوی مصرف انرژی در آیت‌های ۷ و ۱۶ تولید پراکنده با اولویت تولید همزمان برق و حرارت مورد توجه قرار گرفته است. در آیت ۷ بسط و توسعه سیستم‌های تولید پراکنده^۱ (CHP و DG) و متمرکز و تضمین خرید برق از تولیدکنندگان بیان شده و در آیت ۱۶ نیز بر موظف شدن شرکت‌ها و موسسات دولتی متقاضی دریافت انشعاب برق بیش از پانصد کیلووات، نسبت به استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP) تأکید شده است.

¹ Distributed Generation (DG)

در جلسه مجمع عمومی عادی شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (شرکت توانیر) در مورخ ۸۸/۱۱/۲۵ بر اجرای طرح‌های CHP و فراهم‌آوری ابزارهای تشویقی مناسب برای جلب متقاضیان سرمایه‌گذاری در این خصوص تأکید گردید.

در نشریه صنعت برق ایران که در سال ۱۳۹۶ به چاپ رسیده بود، به منظور افزایش ظرفیت پست‌های آلتوم و کاهش محدودیت بارگیری از ترانس‌های آلتوم مستقر در این پست طرح پایه‌ای برای یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت مطرح شده بود [۵۰]. در همین نشریه در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در فصل نگاه به آینده به ترتیب به پیش‌بینی روند بهره‌برداری از ظرفیت‌های جدید نیروگاهی در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ (جدول ۱۲.۲) و ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ پرداخته شده است (جدول ۱۳.۲). همانطور که با مقایسه این دو جدول مشاهده می‌شود، پیش‌بینی سیستم‌های CHP در این دو سال با یکدیگر تفاوت دارند.

جدول ۱۲.۲ پیش‌بینی روند بهره‌برداری از ظرفیت‌های جدید نیروگاهی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ [۵۱]

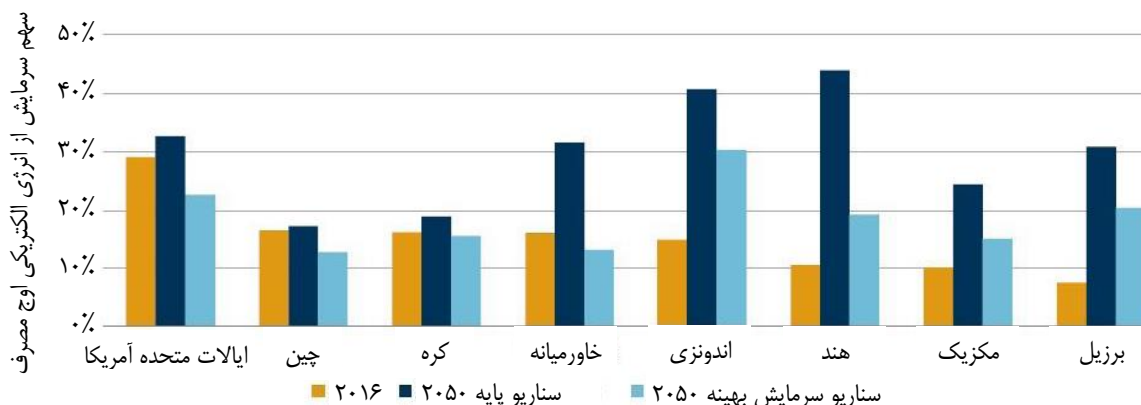
شرح	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
بخاری	۰	۰	۰	۳۵۰
چرخه ترکیبی	۱۱۸۱	۴۳۰۵	۳۸۰۸	۷۱۲۵
گازی	۵۰	۰	۰	۰
برقابی	۴۸۹	۱۵۵	۲۰	۰
بادی و تجدیدپذیر	۶۰۰	۹۶۰	۹۷۷	۹۶۰
CHP و تولید پراکنده	۲۵۰	۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰
جمع سالیانه	۲۵۷۰	۵۹۰۰	۵۲۸۵	۸۹۱۵
جمع تجمعی	۲۵۷۰	۸۴۷۰	۱۳۷۵۵	۲۲۶۷۰

جدول ۱۳.۲ پیش‌بینی روند بهره‌برداری از ظرفیت‌های جدید نیروگاهی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ [۵۰]

شرح	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
بخاری	۰	۰	۰	۳۵۰
چرخه ترکیبی	۲۷۷۲	۵۰۱۶	۲۹۱۷	۵۸۱۳
گازی	۴۲	۰	۰	۰
برقایی	۲۲۰	۱۸۰	۰	۹۱۳
تجدیدپذیر	۴۰۰	۹۶۰	۹۶۰	۹۶۰
خورشیدی	۰	۱۷	۰	۰
CHP, DG	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
جمع سالیانه	۳۶۳۴	۶۳۷۳	۴۰۷۷	۸۲۳۶
جمع تجمعی	۸۲۴۲۸	۸۸۸۰۱	۹۲۸۷۸	۱۰۱۱۱۴

۸.۲ وضعیت کنونی سیستم‌های برودتی در جهان

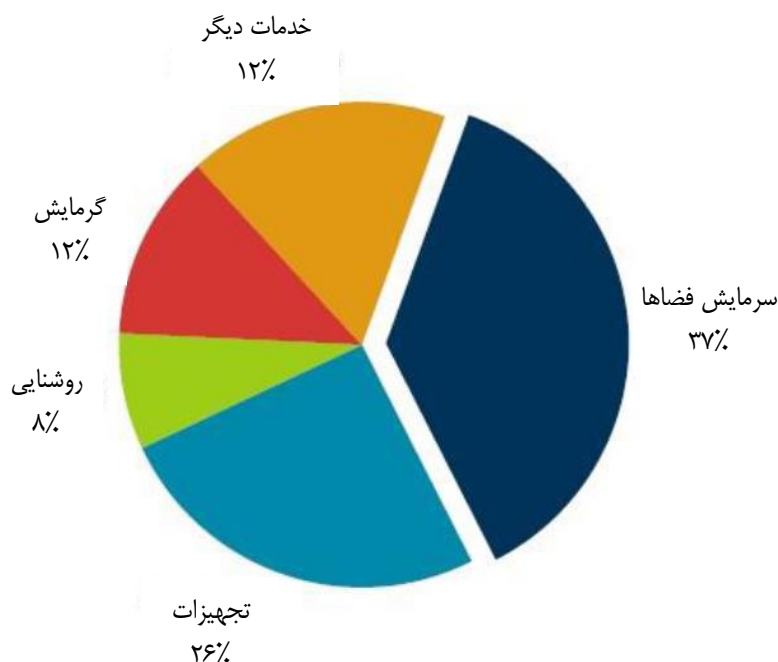
انرژی الکتریکی مورد نیاز به منظور سرمایش، همواره یکی از مصارف عمده انرژی الکتریکی در جهان بوده است. میزان تقریبی بار الکتریکی سرمایشی در ایران، حدود یک سوم (۲۰ گیگاوات) از حداکثر توان الکتریکی مصرفی در اوج مصرف می‌باشد. شکل ۱۰.۹.۲ این شاخص را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد سهم سرمایش از انرژی الکتریکی مصرفی در اوج مصرف، در اغلب کشورها زیر ۲۰ درصد بوده و تنها در ایالات متحده این عدد در حال حاضر در حدود ۲۹ درصد می‌باشد. این در حالیست که سهم سرمایش در کشور چین در حال حاضر ۱۷ درصد و در کشور برزیل در حدود ۷ درصد می‌باشد.



شکل ۱۰.۹.۲ سهم سرمایش در میزان اوج برق مصرفی [۵۲]

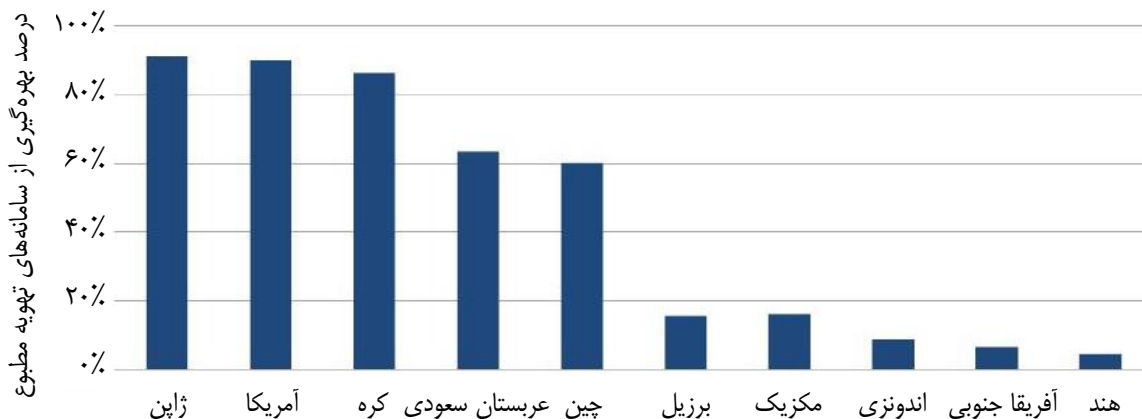
ساختمان‌های مسکونی به عنوان یکی از بخش‌های پرمصرف انرژی الکتریکی می‌باشند. در شکل ۱۱.۰.۲ سهم بخش‌های مختلف ساختمان در مصرف انرژی الکتریکی تا سال ۲۰۵۰ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان سهم انرژی الکتریکی مورد نیاز برای سیستم‌های سرمایش در حدود ۳۷٪ کل انرژی مصرفی می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که در صورت عدم تدوین بسته‌های سیاستی در حوزه سیستم‌های سرمایشی، این بخش در حدود ۳۷ درصد از رشد

مصرف انرژی در بخش ساختمان و همچنین بیش از ۲۰ درصد کل رشد مصرف انرژی را تا سال ۲۰۵۰ شامل می‌گردد، که این عدد قابل توجهی می‌باشد.



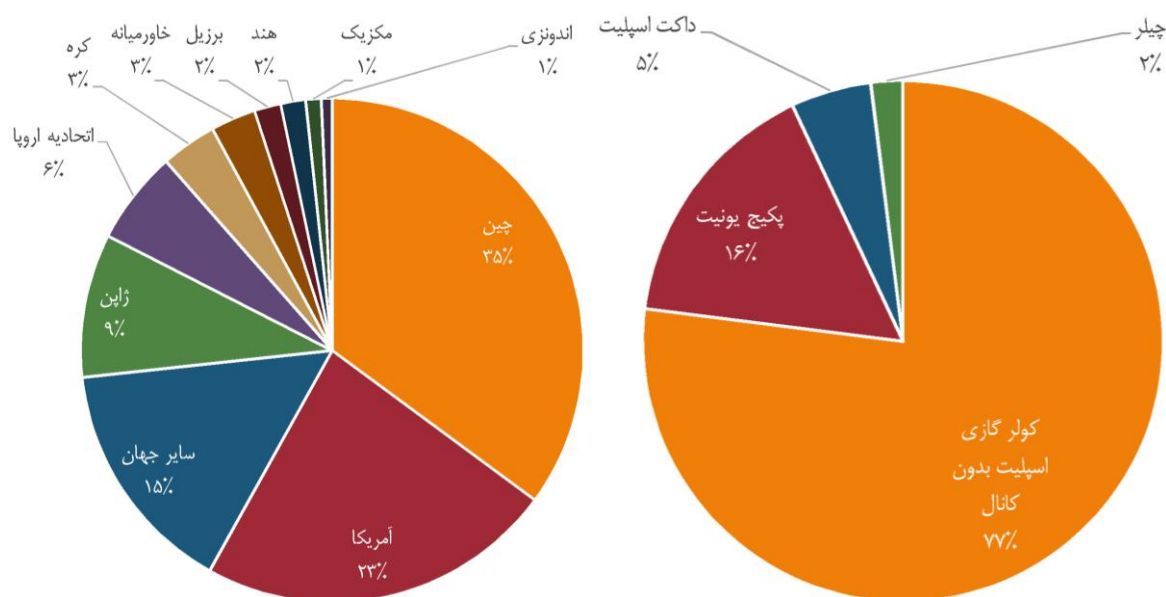
شکل ۱۱۰.۲ سهم بخش‌های مختلف ساختمان در مصرف انرژی الکتریکی [۵۲]

در شکل ۱۱۱.۲ میزان درصد بهره‌گیری از سامانه‌های تهویه مطبوع در کشورهای مختلف جهان ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در کشورهای کره جنوبی، ژاپن و ایالات متحده بیش از ۸۰ درصد واحدهای مسکونی به سیستم تهویه مطبوع مجهز می‌باشد. این در حالی است که در حال حاضر در بسیاری از کشورهای گرم و مرطوب جهان، واحدهای مسکونی فراوانی وجود دارد که حتی دارای یک دستگاه تهویه مطبوع نمی‌باشند. با توجه به توسعه سطح رفاه در این کشورها و شکل‌گیری اقتصادهای نوظهور مانند برزیل و آفریقای جنوبی، به نظر می‌رسد که در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی در این بخش و در این گونه کشورها صورت گیرد.



شکل ۱۱۱.۲ میزان درصد بهره‌گیری از سامانه‌های تهویه مطبوع در کشورهای مختلف جهان [۵۲]

در شکل ۱۱۲.۲ تنوع تکنولوژی و نحوه توزیع سیستم‌های سرمایشی موجود در جهان تا انتهای سال ۲۰۱۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود از مجموع ۱/۶ میلیارد دستگاه تهویه مطبوع موجود در جهان، ۷۷ درصد از نوع کولرهای گازی اسپلیت (بدون کانال) می‌باشند. در این میان ۲ درصد از سیستم‌های سرمایشی چیلر، ۱۶ درصد پکیج یونیت‌ها و ۵ درصد نیز داکت اسپلیت را شامل می‌شود. در شکل ۱۱۳.۲ نمایی از انواع سیستم‌های سرمایشی متداول در جهان ارائه شده است.



ظرفیت کل = ۱۱۶۷۵ GW (۱/۶ میلیارد واحد)

شکل ۱۱۲.۲ تنوع تکنولوژی و نحوه توزیع سیستم‌های سرمایشی موجود در جهان [۵۲]



شکل ۱۱۳.۲ انواع سیستم‌های سرمایشی متداول در جهان [۵۲]

۹.۲ محتوای پروژه

هدف این پروژه امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP با کاربری مسکونی، اداری و تجاری در کشور ایران است. در این پروژه پس از مشخص شدن منطقه مورد نظر، نوع کاربری و مشخصات فضا انتخاب شده و بر اساس آن میزان بارهای حرارتی و برودتی و همچنین مصرف برق پروژه در ماه‌های مختلف سال تخمین زده می‌شود. در ادامه بر اساس محاسبات حاصله و تعیین حداکثر بار گرمایشی و سرمایشی و همچنین بیشترین مقدار برق مورد نیاز ساختمان، تعداد ماه‌هایی که نیاز به گرمایش و سرمایش فضا وجود دارد استخراج می‌گردد. بر اساس محاسبات صورت گرفته دقیقاً مشخص خواهد شد که چند ماه از سال نیاز به سیستم سرمایش و یا سیستم گرمایش وجود دارد. به طور مثال پیش بینی می‌شود در مناطق گرم مرطوب ۱۲ ماه از سال نیاز به سرمایش وجود دارد این در حالیست که در این مناطق نیاز به گرمایش دیده نمی‌شود. در مناطقی سرد و کوهستانی این مسئله عکس بوده و نیاز به بار گرمایش بیشتر است. در سایر مناطق نیز این مقدار متغیر می‌باشد و باید به طور دقیق محاسبه گردد. پیش بینی می‌شود که در اقلیم‌های ایران ۷۵ درصد تا ۱۰۰ درصد از طول کل سال از گرمای بازیافتی موتور محرک سیستم CCHP استفاده خواهد شد.

در ادامه بر اساس تحلیل‌های فنی و اقتصادی محرک‌های مناسبی برای سیستم CCHP انتخاب می‌گردد. هزینه‌های خرید و نصب دستگاه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه زمین و ... از مواردی است که باید در محاسبات اقتصادی این پروژه محاسبه شده و در ادامه قیمت برق تولیدی دستگاه از دیدگاه تولیدکننده، مصرف‌کننده و حاکمیتی با در نظر گرفتن افق‌های زمانی و همچنین زمان بازگشت سرمایه محاسبه گردد. سیستم پیشنهادی باید به گونه‌ای باشد که بتواند با هزینه مناسب کل یا بخشی از بارهای حرارتی و برودتی، بار گرمایشی مربوط به آب گرم مصرفی و همچنین برق مورد نیاز ساختمان را تأمین کند. جهت انجام این کار ضروری است این سیستم پیشنهادی با سایر سیستم‌های عرف موجود نیز مقایسه گردد.

با توجه به هزینه اولیه مورد استفاده در سیستم CCHP، بحث بازگشت سرمایه اولیه بسیار مورد اهمیت می‌باشد. برای سیستم CCHP کاهش ۳۰ درصدی مصرف سوخت سبب خواهد شد دوره بازگشت سرمایه کمتر گردد. بازگشت سرمایه بیشتر وابسته به تجهیزات مورد استفاده در سیستم و اینکه آیا سیستم امکان فروش برق مازاد به شبکه را دارد یا خیر نیز وابسته بوده، زیرا که فروش برق به شبکه یکی از راه‌های جبران سرمایه اولیه می‌باشد. در تعیین سیستم بهینه سعی خواهد شد سیستمی انتخاب گردد که زمان بازگشت سرمایه آن حداکثر ۵ تا ۱۰ سال باشد.

منابع و مراجع

- [1] Clarke Energy, 2019, <https://www.clarke-energy.com/natural-gas/industrial/>.
- [2] TEDOM GROUP, 2019, <http://kogenerace-old.tedom.com/clanek-kogeneracni-jednotka-pro-vscht-praha-119.html>.
- [3] Kavvadias, K., and Maroulis, Z., 2010, "Multi-objective optimization of a trigeneration plant," Energy Policy, 38(2), pp. 945-954.
- [4] Shi, Y., Liu, M., and Fang, F., 2017, Combined Cooling, Heating, and Power Systems: Modeling, Optimization, and Operation, Wiley.
- [5] Liu, M., Shi, Y., and Fang, F., 2014, "Combined cooling, heating and power systems: A survey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 35, pp. 1-22.
- [6] Nazarbeigi Energy Development Industries Co., 2019, <http://nedi-co.com/>.
- [7] Caterpillar, 2019, https://www.cat.com/en_MX.html.
- [8] Rolls-Royce, 2019, "MTU Onsite Energy showcases biogas cogeneration modules at Agritechnica" https://www.rppowersystems.com/rss/?no_cache=1&tx_news_pi1%5Bnews%5D=442&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail.
- [9] Kes-Energy, 2019, <http://www.kes-energy.it/>.
- [10] TEAM ENERGY, 2019, [http://www.teamenergy.gr/%CE%A3%CE%A5%CE%9C%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%A9%CE%93%CE%97%20\(%CE%A3%CE%97%CE%98\).html](http://www.teamenergy.gr/%CE%A3%CE%A5%CE%9C%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%A9%CE%93%CE%97%20(%CE%A3%CE%97%CE%98).html).
- [11] Kolanowski, B. F., 2011, Small-scale Cogeneration Handbook, Fairmont Press.
- [12] Ebrahimi, M., and Keshavarz, A., 2015, "2 - CCHP Technology," Combined Cooling, Heating and Power, M. Ebrahimi, and A. Keshavarz, eds., Elsevier, pp. 35-91.
- [13] 2019, "Capstone Turbine Corporation," <https://www.capstoneturbine.com/>.
- [14] 2019, "Plastics Technology," <https://www.ptonline.com/articles/econo--econo-mics-harbec-plastics-proves-it-pays-to-be-green>.
- [15] VERGENT power solutions, 2019, "Microturbine CHP for Microgrids," https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=23&ved=2ahUKEwj-id_suvjAhXG-KQKHcjYCboQFjAWegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.districtenergy.org%2FHigherLogic%2FSystem%2FDownloadDocumentFile.ashx%3FDocumentFileKey%3D29575c5b-7f61-20d4-1b29-eeac211fc9a8%26forceDialog%3D1&usg=AOvVaw3YoRBY3GBchQOMKvRaLLnf.

- [16] U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2019, "Combined Heat and Power Technology Fact Sheet Series," https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/09/f33/CHP-Microturbines_0.pdf.
- [17] EPA, 2019, "What Is CHP?," <https://www.epa.gov/chp/what-chp>.
- [18] Siemens, 2019, <https://new.siemens.com/global/en.html>.
- [19] 2019, "Fuel cell related web site of Siemens Westinghouse," <http://www.powergeneration.siemens.com/en/fuelcells/index.cfm>.
- [20] NyTeknik, 2019, "Stirlingfabriken klarade finanskrisen," <https://www.nyteknik.se/energi/stirlingfabriken-klarade-finanskrisen-6404442>.
- [21] Abbasi, M., Chahartaghi, M., and Hashemian, S. M., 2018, "Energy, exergy, and economic evaluations of a CCHP system by using the internal combustion engines and gas turbine as prime movers," Energy conversion and management, 173, pp. 359-374.
- [22] COPE, 2019, <http://www.copeasia.com/products-services/air-cooled-chiller-system-water-cooled-chiller-system.html>.
- [23] Saravel, 2019, "Saravel," <http://saravel.com/catalogs.php>.
- [24] Carrier, 2019, <https://www.carrier.com/building-solutions/en/tw/products/commercial-products/chillers/19xr-19xrv-19re/>.
- [25] مرتضوی، ح.، ۱۳۹۷، تأسیسات برودتی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- [26] EBARA, 2019, <https://www.ebara.co.jp/en/>.
- [27] Sari Puya Co, 2019, <https://saripuya.com/index.php?lang=en>.
- [28] World Energy Co., 2019, "High-efficiency exhaust gas absorption chiller-heater cooling cycle," <http://worldenergy.co.kr/en/portfolio-item/chp-2-2/>.
- [29] خدایپرست، ش.، ۲۰۱۹، "تحلیل ترمودینامیکی و اگزرژیکی سیکل تبرید جذبی بر پایه انرژی خورشیدی،" مهندسی مکانیک (3)، دانشگاه تبریز، ۴۹، pp. 91-98.
- [30] Zhang, X., Chan, S., Li, G., Ho, H., Li, J., and Feng, Z., 2010, "A review of integration strategies for solid oxide fuel cells," Journal of Power Sources, 195(3), pp. 685-702.
- [31] Ahmadi, P., Rosen, M. A., and Dincer, I., 2011, "Greenhouse gas emission and exergo-environmental analyses of a trigeneration energy system," International Journal of Greenhouse Gas Control, 5(6), pp. 1540-1549.
- [32] Brouwer, J., 2006, "Hybrid gas turbine fuel cell systems."
- [33] Korlu, M., Pirkandi, J., and Maroufi, A., 2017, "Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle equipped with a non-ideal adiabatic model for a double acting Stirling engine," Energy Conversion and Management, 147, pp. 120-134.
- [34] خدایپرست، ش.، ۲۰۱۷، "مدل سازی و تحلیل عملکرد یک سیستم تولید توان ترکیبی مجهز به سه مولد انرژی نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۴۹ (1)، pp. 185-202.
- [35] Ansarinassab, H., and Mehrpooya, M., 2018, "Investigation of a combined molten carbonate fuel cell, gas turbine and Stirling engine combined cooling heating and power

(CCHP) process by exergy cost sensitivity analysis," Energy conversion and management, 165, pp. 291-303.

[36] Pirkandi, J., Maroufi, A., and Khodaparast, S., 2018, "Parametric simulation and performance analysis of a solar gas turbine power plant from thermodynamic and exergy perspectives," Journal of Mechanical Science and Technology, 32(5), pp. 2365-2375.

[37] Palmero-Marrero, A. I., and Oliveira, A. C., 2011, "Performance simulation of a solar-assisted micro-tri-generation system: hotel case study," International Journal of Low-Carbon Technologies, 6(4), pp. 309-317.

[38] Al-Sulaiman, F. A., Dincer, I., and Hamdullahpur, F., 2010, "Energy analysis of a trigeneration plant based on solid oxide fuel cell and organic Rankine cycle," International Journal of Hydrogen Energy, 35(10), pp. 5104-5113.

[39] Ozcan, H., and Dincer, I., 2013, "Thermodynamic analysis of an integrated sofc, solar orc and absorption chiller for tri-generation applications," Fuel Cells, 13(5), pp. 781-793.

[40] Sanaye, S., Ghafurian, M. M., and Dastjerd, F. T., 2016, "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," Journal of Natural Gas Science and Engineering, 34, pp. 305-317.

[41] Al-Sulaiman, F. A., Dincer, I., and Hamdullahpur, F., 2012, "Energy and exergy analyses of a biomass trigeneration system using an organic Rankine cycle," Energy, 45(1), pp. 975-985.

[42] ACEJ, 2019, https://www.ace.or.jp/web/overseas/overseas_0020.html.

[43] International Energy Agency (IEA), 2008, "Combined Heat and Power: Evaluating the benefits of greater global investment," Paris.

[44] DOE, 2019, "U.S. DOE Combined Heat and Power Installation Database," <https://www.doe.icfwebservices.com/>.

[45] U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2019, "Combined Heat and Power (CHP) as a Compliance Option under the Clean Power Plan," http://www.iipnetwork.org/CHP-Pathway_Full-Report_Final.pdf.

[46] 2019, "Combined Heat and Power (CHP) Technical Potential in the United States," <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/CHP%20Technical%20Potential%20Study%203-31-2016%20Final.pdf>.

[47] 2019, "Digest of UK Energy Statistics (DUKES) 2019 ".

[48] Advanced Cogeneration and Energy Utilization Center JAPAN (ACEJ), 2019, "Current State," https://www.ace.or.jp/web/en/aboutus/aboutus_0010.html.

[49] ThinkChina.dk, 2019, "China's quest for new district heating reforms," https://www.thinkchina.ku.dk/documents/2015-12-01ThinkChina_PolicyBrief_DH_and_CHP_in_China.pdf.

[50] "معاونت تحقیقات و منابع انسانی، ۱۳۹۷، "صنعت برق ایران سال ۱۳۹۶"

[51] "صنعت برق ایران سال ۱۳۹۵، معاونت تحقیقات و منابع انسانی، ۱۳۹۶"

[52] IEA, 2018, "Energy Efficiency Market Report, The Future of Cooling; United for Efficiency (UN Environment)."

مرحله دوم

چکیده

تأمین انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی در گلخانه‌ها موضوع بسیار مهمی می‌باشد. با توجه به راندمان پایین بیشتر سیستم‌های مرسوم در گلخانه‌ها، استفاده از سیستم‌های تولید انرژی جدید در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. در این میان سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) سیستم جدیدی بوده و در سال‌های اخیر گلخانه‌های زیادی تمایل به استفاده از این سیستم‌های نوین دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر سیستم‌های CCHP از موتورهای گاز سوز به عنوان محرک اولیه خود استفاده کرده‌اند. هدف عمده از انجام این بخش از پروژه امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP با کاربری در گلخانه‌ها و برای اقلیم‌های مختلف می‌باشد.

در این پژوهش گلخانه‌ی خیاری به مساحت ۱ هکتار که از دو سازه ۰/۵ هکتاری تشکیل شده، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. بارهای حرارتی و برودتی، مصرف انرژی و مصارف چاه آب برای ۶ اقلیم مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار HAP و Energy Plus محاسبه شده است. به منظور ارزیابی صحت نتایج، بار حرارتی برای شهر تهران به صورت تئوری محاسبه شده و اختلاف کمتر از ۱۳٪ مشاهده گردید که نشانگر صحت نتایج نرم‌افزار می‌باشد.

در ادامه با توجه به گستره وسیعی از پوشش‌ها و سازه‌های مورد استفاده در گلخانه‌ها، تحلیل حساسیت بر اساس ۴ پارامتر جنس پوشش سقف و دیوار گلخانه، دفعات تعویض هوا، عدد تمیزی اتمسفر و ضریب سایه کلی پنجره انجام گردید. طی تحلیل صورت گرفته مشخص گردید جنس پوشش سقف و دیوار گلخانه و دفعات تعویض هوا بر بار حرارتی تأثیر داشته و عدد تمیزی اتمسفر و ضریب سایه کلی پنجره تنها بار برودتی را دستخوش تغییر خواهد نمود.

به منظور تحلیل فنی-اقتصادی محاسبات برای ۴ سناریو شامل سناریو پایه (گلخانه متداول و سنتی) سناریو CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه، CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین و CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین صورت پذیرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده برای هر سناریو و همچنین مقایسه سناریوهای CCHP با سناریو پایه، گلخانه در نظر گرفته شده جهت پیاده‌سازی سیستم CCHP اقتصادی نمی‌باشد. با این وجود در بین اقلیم‌های مختلف، به ترتیب تبریز، مشهد، رشت، تهران، اهواز و بندرعباس از لحاظ اقتصادی وضعیت بهتری دارند.

در نهایت به منظور ارائه راهکار جهت صرفه اقتصادی سیستم CCHP در سناریوهای مختلف کاربری گلخانه، آنالیز حساسیت بر اساس متغیرهای نرخ فروش برق به شبکه، طول خط انتقال و نرخ تورم صورت پذیرفت. در سناریو فروش برق به شبکه به منظور صرفه اقتصادی نیاز است با توجه به اقلیم‌ها نسبت جرقه حداقل ۱۱٪ تا ۲۱٪ افزایش یابد. همچنین در سناریو خودتأمین به همراه چیلر جذبی بایستی طول خط انتقال برای بهترین اقلیم حداقل ۱۶۵ km و برای بدترین اقلیم حداقل ۱۹۰ km باشد. اما در سناریو خودتأمین به همراه چیلر تراکمی طول خط انتقال حدود ۳۰۰ km محاسبه گردید که با توجه به وسعت پوشش خطوط انتقال برق کشور، به هیچ عنوان این سناریو اقتصادی نمی‌باشد. به بیان دیگر اقلیم‌های مرطوب (بندرعباس) که تنها قادر به عملکرد پایدار با چیلر تراکمی هواخنک هستند، اقتصادی نخواهند بود.

این گزارش توسط مرکز توسعه فناوری مدیریت بارهای سرمایشی پژوهشگاه نیرو با همکاری سرکار خانم مهندس شبنم منصوری (معاون مرکز) و آقای دکتر جاماسب پیرکندی (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر) تحت مدیریت آقای دکتر مرتضی حسین پور تهیه شده است. آقای دکتر مهدی معرفت – استاد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس – نیز به عنوان ناظر پروژه بر حسن تهیه این گزارش نظارت داشته اند.

کلمات کلیدی: گلخانه، تحلیل فنی-اقتصادی، CCHP، انرژی الکتریکی، انرژی برودتی، انرژی حرارت

۱ مقدمه

۱.۱ مقدمه

امروزه با رشد فزاینده جمعیت در دنیا و لزوم تامین مواد غذایی برای آن‌ها، استفاده بهینه از منابع طبیعی بیش از گذشته مورد توجه همگان قرار گرفته است. کیمیایی منابع تولید، همواره بشر را به این فکر واداشته است تا به دنبال راه حل‌های کاراتری برای تأمین غذای خود به خصوص از طریق کشاورزی باشد. از سوی دیگر ماهیت تولید فصلی محصولات کشاورزی باعث ایجاد ناهماهنگی در زمان عرضه و تقاضای این محصولات می‌شود. این دو مسئله باعث بوجود آمدن ابعاد تازه‌تری در شیوه‌های تولید شده است. از جمله این شیوه‌ها کشت‌های گلخانه‌ای می‌باشند که با فراهم نمودن شرایط مصنوعی تولید از طریق خنثی کردن عوامل محیطی، زمینه‌های مناسب برای کشت را ایجاد می‌نماید. کشت‌های گلخانه‌ای موجب کاهش هزینه‌های تولید از جمله نیروی انسانی و نهاده، افزایش راندمان عملکرد و تولید خارج از فصل محصولات می‌شوند. توسعه کشت‌های گلخانه‌ای نه تنها به افزایش تولید در واحد سطح کمک می‌کند، بلکه به بهره‌وری بیشتر و استفاده بهینه از آب و خاک به ویژه بهره‌گیری از قطعات کوچک و امکانات موجود در روستاها کمک کرده و این امکان را فراهم می‌کند تا ضمن ایجاد اشتغال در محیط‌های روستایی، محصولات خارج از فصل و با تنوع بسیار در اختیار مصرف کنندگان قرار گیرد. بر این اساس یکی از گزینه‌های مناسب به منظور تجاری و رقابتی شدن بخش کشاورزی و حضور فعال آن در بازارهای جهانی، توسعه واحدهای تجاری بهره برداری گلخانه‌ای می‌باشد.

طی سال‌های اخیر روند رشد روز افزون احداث واحدهای گلخانه‌ای در سراسر کشور پیشرفت زیادی کرده است. گلخانه‌ها مانند یک تکنولوژی جدید به شدت مورد پذیرش کشاورزان قرار گرفته است. در حال حاضر بیش از ۱۲۵۰۰ هکتار گلخانه برای تولید محصولات مختلف در کشور احداث شده است و هر سال بر این مقدار افزوده می‌شود. عمده ترین محصول تولیدی گلخانه‌های ایران خیار گلخانه‌ای است که بازار خوبی هم برای صادرات دارد و به دنبال آن صیفی جات دیگر مانند گوجه فرنگی، طالبی، توت فرنگی، فلفل دلمه‌ای، لوبیا سبز، موز، آناناس و ... نیز تولید می‌شود. از طرف دیگر تولید گل‌های زینتی نیز از دیرباز در گلخانه‌ها رایج بوده است و با توجه به پتانسیل خوب کشور به عنوان یکی از شاخه‌های مهم صادراتی ظاهر خواهد شد. همچنین طی سال‌های اخیر پرورش گیاهان داروئی در برخی نقاط مانند (اطراف کرج، یزد و اصفهان) نیز رواج یافته است. گیاهان داروئی دارای راندمان بالای تولید در گلخانه و سودآوری بالائی است. فعالیت در گلخانه بسیار دقیق و احتیاج به حضور مستمر دارد، افرادی که بخواهند فقط با سرمایه‌گذاری به تولید کافی برسند و خود نظارت بر تولید نداشته باشند موفقیت خود را از دست خواهند داد. برای اجرای یک گلخانه کامل به چند شرط اساسی زیر نیاز است:

- ۱- فعالیت در گلخانه بسیار دقیق و احتیاج به حضور مستمر دارد. افرادی که بخواهند فقط با سرمایه‌گذاری به تولید کافی برسند و خود نظارت بر تولید نداشته باشند موفق نخواهند بود.
- ۲- در اقلیم نیمه سردسیر احتیاج مبرمی به سیستم‌های گرم کننده وجود دارد تا بتوان در فصل مورد نظر به تولید پرداخت ولی در پاره‌ای مناطق گرمسیری کشور بدون این سیستم نیز تولید می‌تواند ادامه داشته باشد.
- ۳- استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در کاهش رطوبت هوای موجود در فضای گلخانه و کنترل دمای خاک اثرات مثبت به جای می‌گذارد.
- ۴- سیستم‌های تهویه جهت خروج رطوبت اضافی نقش عمده‌ای در سلامت محصول خواهد داشت.

افزون بر ویژگی‌های فوق موقعیت جغرافیایی و گوناگونی اقلیم کشورمان همراه با طول روز بلند، روشنایی کامل آفتاب، وجود اقلیم‌های مختلف، نزدیکی به بازارهای مصرف منطقه‌ای، شرایط و ظرفیت بهینه‌ای را برای انتخاب نقاط مستعد از نظر کاهش

هزینه‌های تولید به ویژه کاهش مصرف انرژی و گسترش تولید محصول‌های گلخانه‌ای فراهم کرده است. با توجه به این مسأله هنوز سطح زیر کشت گلخانه‌های کشور از مرز ۱۲۵۰۰ هکتار فراتر نمی‌رود که با توجه به مساحت زمین‌های قابل کشت و گوناگونی محصول‌های زیر کشت بسیار ناچیز است و دلایل آن می‌تواند وجود چالش‌های متعدد در مکان‌یابی، طراحی، ساخت، مدیریت و پرورش محصول‌های گلخانه‌ای باشد [۱].

در اصل گلخانه‌های تجاری با هدف تولید انبوه و پایدار اقتصادی انواع گیاهان زینتی، سبزی‌ها، صیفی‌ها و میوه‌ها ساخته و بهره برداری می‌شوند. مطابق شکل ۱.۱ برای آماده شدن شرایط محیطی مناسب در داخل گلخانه‌ها، گزینش محل مناسب، نوع سازه، پوشش وسیله‌های به کار رفته در آن‌ها، نهاده‌های تولیدی به کار گرفته شده، مدیریت اعمال شده در جریان تولید، چگونگی بهره برداری از گلخانه‌ها و نیز بازرسانی محصول‌های تولید شده اهمیت اساسی دارند [۱].



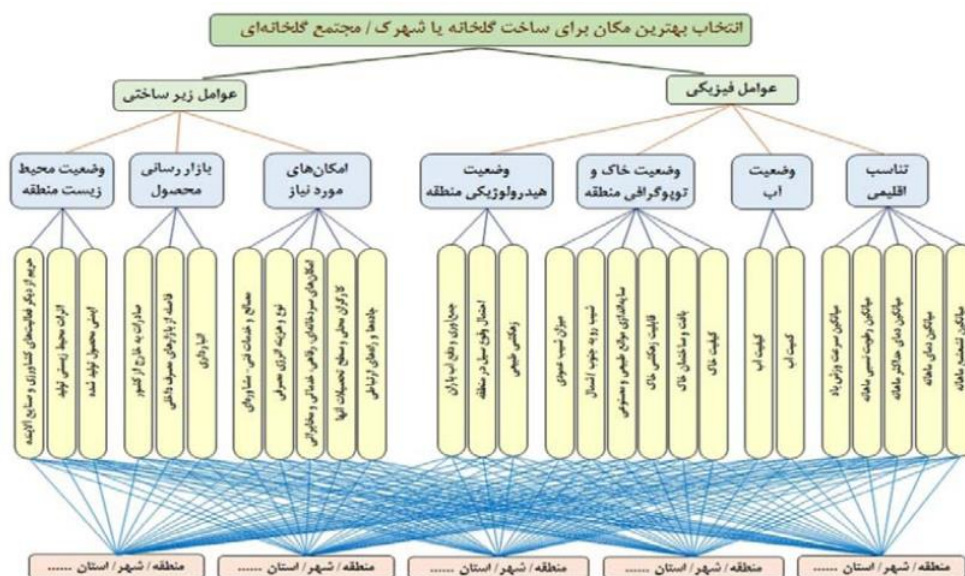
شکل ۱.۱ اجزای زنجیره تولید انبوه، پایدار و اقتصادی در محیط‌های گلخانه‌ای [۱]

نخستین گام در ساخت یک گلخانه تجاری، گزینش محل مناسب برای ساخت آن است. بدیهی است برنامه‌های پیش‌بینی شده برای افزایش کمی و کیفی محصول همراه با کاهش هزینه‌های تولید به گزینش محل صحیح برای ساخت گلخانه بستگی دارد. گزینش بهترین مکان ممکن برای ساخت گلخانه یا تعیین بهترین محل برای ساخت شهرک یا مجتمع‌های گلخانه‌ای یکی از مسائل تصمیم‌گیری چند سنجشی است. این فرایند به طور معمول متأثر از دو عامل زیر است:

۱- عامل‌های فیزیکی مانند تناسب اقلیمی، وضعیت آب، وضعیت خاک و توپوگرافی و نیز وضعیت هیدرولوژیکی منطقه.

۲- عامل‌های زیرساختی مانند فضاها، مورد نیاز و موجود، وضعیت محیط زیست منطقه و تجاری‌سازی

گام بعدی گزینش سازه و وسیله‌های کنترل شرایط محیطی مناسب است. در حال حاضر حدود ۲۰ درصد از سازه‌های گلخانه‌ای کشور که به کشت سبزی و صیفی، میوه و گل و گیاهان زینتی اختصاص دارند، چوبی بوده و بقیه به طور عمده از نوع سازه فلزی با پوشش پلاستیکی از نوع پلی اتیلن می‌باشند. این دو نوع پوشش از نظر فنی دارای فناوری‌های مناسب نبوده و به همین دلیل توان کنترل عوامل محیطی مؤثر در تولید را ندارند. این نوع سازه‌ها چالش‌های مدیریتی زیادی در زمان تولید ایجاد می‌کنند و به طور معمول بهره‌وری نهاده‌ها در آنها پایین است. از سوی دیگر وسیله‌های گلخانه‌ای نقش کنترل شرایط محیطی درون گلخانه را بر عهده دارند. این وسیله‌ها شامل سامانه‌های تهویه مطبوع، سیستم گرمایش، سیستم سرمایش، روشنایی، آبیاری و سایر سیستم‌های لازم است. در شکل ۲.۱ عوامل مؤثر در انتخاب بهترین مکان ممکن برای ساخت گلخانه‌ها ارائه شده است.



شکل ۲.۱ عوامل موثر در انتخاب بهترین مکان ممکن برای ساخت گلخانه‌ها [۱]

گام آخر نهاده‌های تولیدی مدیریت تولید و بازاریابی محصولات تولید شده هستند که از جمله عوامل تأثیر گذار بر کشت‌های گلخانه‌ای به شمار می‌روند. این عوامل شامل نهاده‌های تولید (بذر، سم، آب، انرژی و غیره)، دانش فنی موجود در بین بهره‌برداران، بسترهای کشت، تغذیه گیاهان، هرس گیاهان، زمان کاشت، آفت‌ها و بیماری‌های گیاهان گلخانه‌ای، برنامه ریزی و سامانه‌های آبیاری، برداشت و پس از برداشت محصول، بازار مصرف و قیمت فروش محصول، خطر پذیری تولید، آموزش گلخانه‌دارها و ارائه خدمات مشاوره‌ای و مهندسی مورد نیاز گلخانه‌ای است.

۲.۱ انواع گلخانه‌ها

گلخانه‌ها از نظر شرایط آب و هوایی، نوع تولید و نوع تیپ سازه دارای انواع مختلفی به شرح ذیل می‌باشند:

۱.۲.۱ تقسیم‌بندی بر اساس نوع شرایط آب و هوایی

گلخانه‌ها در شرایط آب و هوایی متفاوتی می‌توانند طراحی شوند.

- آب و هوای مرطوب گرمسیری، زمین‌های پست با حداقل دمای ۱۲ درجه سلسیوس و بیشتر در زمستان
- آب و هوای نیمه گرمسیری و مرتفع با دمای ۱۲ درجه سلسیوس و کمتر
- آب و هوای خشک
- آب و هوای معتدل

۱.۲.۲ تقسیم‌بندی بر اساس نوع تولید

بسته به اقلیم و بازار می‌توان به راحتی برای تولید انواع سبزیجات و گیاهانی مانند خیار، گوجه فرنگی، فلفل، طالبی، توت فرنگی، تربچه و ... در گلخانه‌هایی که با روش‌های متفاوتی تجهیز شده‌اند، اقدام نمود. گلخانه‌ها بر اساس نوع محصول تولیدی به سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]:

۱- گلخانه‌های تولیدی سبزی و صیفی شامل محصولاتمانند خیار، گوجه فرنگی، توت فرنگی، فلفل، بادمجان، طالبی، سبزیجات برگی (ریحان، شاهی و ...) می‌باشد.

۲- گلخانه‌های تولید گل و گیاهان زینتی برای تولید انواع گل‌های شاخه بریده (مانند رز، گلابیول، داودی و ...) و گل‌های آپارتمانی می‌باشد.

۳- سالن‌های گلخانه‌ای تولید قارچ دکمه‌ای و قارچ صدفی.

۱.۲.۳ تقسیم‌بندی بر اساس نوع سازه

از نظر نوع سازه گلخانه‌ها به دو دسته چوبی یا سنتی و مدرن یا فلزی تقسیم‌بندی می‌شوند. گلخانه‌هایی که دوره کاری کوتاه‌تری دارند با چوب ساخته شده و ارزان‌تر هستند اما از خوردگی موربانه‌ها در امان نمی‌باشند. گلخانه‌های با دوره کاری ۴ تا ۶ ساله از لوله‌های فولادی گالوانیزه با پایه‌های چوبی ساخته می‌شوند و طراحی آن‌ها طوری است که برای گیاهان بلندتر مانند موز مناسب باشند [۲].

۱.۳.۲.۱ گلخانه‌های چوبی

اسکلت اصلی این گلخانه‌ها از چوب با پوشش پلاستیک می‌باشد. ارتفاع در این سازه‌ها ۲ تا ۳ متر بوده و سیستم گرمایشی و تهویه مناسبی ندارند. به دلیل ارتفاع پایین برای کشت محصولاتمانند خیار و گوجه فرنگی مناسب نمی‌باشند. مزیت این گلخانه‌ها قیمت ارزان احداث هر واحد آن می‌باشد ولی به دلیل نامناسب بودن محیط داخلی برای رشد گیاه، معمولاً میزان تولید در واحد سطح در مقایسه با گلخانه‌های مدرن بسیار کمتر است. به دلایل ذکر شده این نوع گلخانه‌ها توسعه نیافته و گلخانه‌های قدیمی از این نوع نیز به تدریج به گلخانه‌های مدرن تبدیل می‌شوند [۲].



شکل ۳.۱ گلخانه‌های چوبی [۲]

۲.۳.۲.۱ گلخانه‌های فلزی یا مدرن

اسکلت این گلخانه‌ها از فلز است که معمولاً با پلاستیک‌های ضد اشعه ماوراء بنفش (UV) پوشش داده شده و دارای سیستم گرمایش و تهویه مناسب می‌باشند. ارتفاع این نوع گلخانه‌ها بیش از ۴/۵ متر است و به دلیل شرایط مناسب رشد گیاه در اینگونه سازه، عملکرد در واحد سطح نسبت به گلخانه‌های چوبی افزایش دارد. اتصال قطعات در گلخانه‌های فلزی بوسیله پیچ و مهره (پرتابل) و یا استفاده از جوش می‌باشد. هزینه واحد گلخانه‌های پرتابل نسبت به سیستم جوشی ۱۵ تا ۲۰ درصد بیشتر است ولی نصب آن آسانتر و تغییرات در سازه راحت‌تر است [۲].

اصلی‌ترین بارهای وارده به گلخانه شامل بار مرده، باد و برف می‌باشد. بار مرده یا دائمی که مربوط به وزن خود سازه است. بار باد توسط وزش باد به سازه تحمیل شده و بار برف در مناطق با بارش برف در نظر گرفته می‌شود. گلخانه‌ها باید با هزینه پایین ساخته شوند اما مقاومت لازم در برف و باران را داشته باشند. یعنی باید با استانداردهای موجود بارهای وارد به سازه را محاسبه و طراحی بهینه را انجام داد. حفاظت از بارش و تابش زیاد در تمام طول سال ضروری است که این کار با نصب روکش‌های فلزی یا پلاستیکی به عنوان سقف برای محافظت گیاهان در شرایط جوی انجام می‌شود.



شکل ۴.۱ گلخانه‌های فلزی [۳]



شکل ۵.۱ سازه ضعیف گلخانه که بر اثر باد تخریب گشته است [۴]

۴.۲.۱ تقسیم‌بندی بر اساس نوع پوشش

گلخانه‌ها از لحاظ پوشش به سه دسته پلاستیکی، شیشه‌ای و پلی کربنات دسته بندی می‌شوند.

۱.۴.۲.۱ پوشش پلاستیکی

پوشش‌های پلاستیکی می‌تواند از جنس پلی‌استر، پلیوینیل کلراید (P.V.C) و پلی وینیل فلوراید (P.V.F) باشد. از مزایای این پوشش‌ها عدم نیاز به اسکلت‌های سنگین و کاهش هزینه گرمایش تا حدود ۴۰ درصد نسبت به گلخانه‌های شیشه‌ای تک لایه است. اغلب پوشش‌های پلاستیکی از نوع پلی اتیلن بوده که معمولاً به ماده مقاوم کننده در مقابل UV (اشعه ماورای بنفش) آمیخته شده‌اند که در این صورت طول عمر آن‌ها تا حدود ۳ سال قابل افزایش است. امروزه در کشورهای پیشرفته پلی اتیلن و سایر پوشش‌های پلاستیکی را به مواد نگهدارنده نور مادون قرمز (IR) آمیخته می‌کنند که تلفات دمای گلخانه را در شب ۱۵ تا ۲۵ درصد کاهش می‌دهند. PVF نیز یک نوع پوشش پلاستیکی جدیدی است که تا ده سال دوام داشته و واکنش آن نسبت به نور و قیمت آن تقریباً معادل پوشش شیشه است [۲].

پوشش‌های دوبل پلاستیکی نیز سبب کاهش هزینه سوخت تا یک سوم می‌گردد. امروزه عملاً تمام گلخانه‌های مدرن دارای پوشش پلاستیکی، از سیستم هوای فشرده بین دو لایه استفاده می‌کنند. دو لایه پلاستیک که یکی از آن‌ها مستقیماً روی سطح خارجی ورقه دیگر قرار می‌گیرند، توسط بالشتکی از هوای فشرده از یکدیگر جدا می‌شوند. لایه خارجی پلاستیک جهت کاهش نور ماوراء بنفش (U.V) باید ۰/۱۵۲ میلی‌متر ضخامت داشته باشد در حالیکه لایه درونی فقط نیاز به ۰/۱۰۲ میلی‌متر ضخامت دارد زیرا نور U.V در این محل کمتر است [۲].

امروزه پوشش‌های پلی‌اتیلن (نایلون) گلخانه‌های پیشرفته علاوه بر خصوصیت ضد اشعه ماورای بنفش دارای خاصیت تفرق نور نیز می‌باشند. این بدین معنی است که این پوشش‌ها نه تنها باید قابلیت عبور نور را به خوبی دارا باشند، بلکه نور را متفرق می‌کنند تا در تمام جهات و زوایا به گیاه بتابد. این خصوصیت راندمان گیاه را بالاتر برده و در زمستان که شدت نور کمتر است بسیار مفید واقع می‌گردد (به طور مثال قرمز شدن گوجه فرنگی در زمستان). امروزه جهت عایق نمودن جداره گلخانه‌ها و کاهش تبادل حرارت با محیط بیرون، پوشش پلاستیک دو جداره باد شونده استفاده می‌شود. فاصله دو جداره از هم ۳۰ سانتی‌متر است. این مزیت نه تنها باعث کاهش چشم‌گیر مصرف سوخت و انرژی می‌شود، بلکه خود باعث حذف چکه‌های آب از سقف می‌گردد. گلخانه‌های پلاستیکی اغلب مناسب آب و هوای معتدل هستند و در بسیاری موارد برای حداقل سرمایه طراحی می‌شوند زیرا که هدف سیستم‌های کوچک بهره‌وری بالا با هزینه‌های پایین است.



شکل ۶.۱ گلخانه پلاستیکی [۵]

۲.۴.۲.۱ پوشش شیشه‌ای

گلخانه‌های شیشه‌ای از پرهزینه‌ترین نوع گلخانه‌های صنعتی محسوب می‌شوند. نیاز به اسکلت محکم و نیز استفاده از پوشش شیشه و همچنین مصرف سوخت بالا در این گلخانه‌ها باعث افزایش قیمت این نوع گلخانه‌ها در مقایسه با پلاستیکی و پلی کربنات گردیده است. از مزیت‌های این نوع گلخانه‌ها به قابلیت بالای عبور نور و حرارت آفتاب می‌توان اشاره کرد که در مناطق سردسیر و کم نور دارای کارایی بالایی می‌باشند. همچنین گلخانه‌های شیشه‌ای نسبت به انواع دیگر گلخانه‌ها دارای بیشترین طول عمر می‌باشد که البته به همان نسبت هزینه‌های نگهداری آن نیز نسبت به دیگر انواع گلخانه‌ها بالاتر می‌باشد [۲].



شکل ۷.۱ گلخانه شیشه‌ای [۶]

۳.۴.۲.۱ پوشش پلی کربنات

در انواع گلخانه‌های قدیمی که با پوشش‌های شیشه و پلاستیک محصور می‌شدند، میزان هدر رفتن انرژی و گرما بسیار زیاد بود. قیمت گلخانه پلی کربنات زیاد است اما در سال‌های اخیر با توجه به افزایش قیمت پلاستیک و شیشه استفاده از پلی کربنات به صرفه‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه در ساخت گلخانه پلی کربنات میزان هدر رفتن انرژی کم می‌باشد لذا در مصرف انرژی نیز صرفه جویی بسیار می‌شود و هزینه‌های این مورد نیز تا حد زیادی کاهش می‌یابد. همچنین مقاومت بالای آن نسبت به پلاستیک باعث تقاضای روزافزون آن به عنوان پوشش در صنعت گلخانه گردیده است. پوشش پلی کربنات اغلب جهت پوشش قسمت‌های جلو، عقب و نیم دایره‌های مربوطه و یا کناره‌ها و سقف گلخانه در صورت تقاضای مشتری در نظر گرفته می‌شود. ورق‌های پلی کربنات جایگزین مناسبی برای شیشه بوده و باعث صرفه‌جویی در انرژی می‌شوند. بطوریکه در تابستان از ورود گرما به داخل جلوگیری کرده و در زمستان نیز مانع خروج و هدر رفتن گرمای داخل می‌شوند. پوشش پلی کربنات گلخانه

به جهت استقامت بالا و تبادل حرارتی پایین آن عمدتاً در دیواره‌های جانبی گلخانه‌ها استفاده می‌شود. در مناطق گرمسیری پوشش پلی کربنات کرکره‌ای و در مناطق سردسیر پوشش پلی کربنات دوجداره توصیه می‌گردد. [۲]

در حال حاضر احداث و ساخت گلخانه پلی کربنات رواج بسیار یافته است. هر چند که ممکن است به نظر برسد که قیمت گلخانه پلی کربنات به نسبت سایر انواع گلخانه‌ها بیشتر است اما به دلایل زیر راه اندازی گلخانه‌های پلی کربنات توصیه می‌گردد:

- وزن سبک‌تر ورقه‌های پلی کربنات به نسبت شیشه

- مقاومت بیشتر گلخانه پلی کربنات

- عایق بندی قوی در مقابل گرما، سرما و رطوبت

- قابلیت انعطاف ورقه‌های پلی کربنات

- صرفه جویی در مصرف سوخت

- قابلیت برش زدن و ایجاد سوراخ در ورقه‌های پلی کربنات

ساخت گلخانه پلی کربنات در هزینه گلخانه پلی کربنات بسیار تاثیر دارد. نوع ورقه‌ها، ضخامت و ویژگی‌های آن برای ساخت بسیار مهم می‌باشند. ورقه‌های پلی کربنات در دو نوع مات و شفاف در بازار وجود دارند. این ورقه‌ها در انواع تک جداره، دو جداره و سه جداره یافت می‌شوند. برای ساخت گلخانه پلی کربنات از ورقه‌های روشن استفاده می‌شود تا میزان نور مورد نیاز گیاهان فراهم آورد. یکی از عوامل مهم قیمت گلخانه پلی کربنات نوع جداره ورقه‌ها است. نوع تک جداره تنها در مقابل گرما مقاوم است و ۹۰ درصد از نور خورشید را از خود عبور می‌دهد. در صورتیکه در نوع دو جداره که حدود ۱۰ میلیمتر ضخامت دارد، میزان ورود نور کمتر است. در نوع سه جداره که هم ضخامت بیشتری دارد و هم مات‌تر می‌باشد، در محیط‌هایی که نیاز به عایق‌بندی قوی است در ساخت گلخانه پلی کربنات استفاده می‌شود.

قیمت گلخانه پلی کربنات به نسبت سایر انواع گلخانه‌ها می‌تواند بیشتر باشد ولیکن بازدهی و کارایی بالای آن در مقابل هزینه‌های بعدی منجر می‌شود تا بیشتر کشاورزان و باغبانان ساخت گلخانه پلی کربنات را به سایر انواع گلخانه‌ها ترجیح دهند.



شکل ۸.۱ گلخانه پلی کربنات [۷]



شکل ۹.۱ گلخانه پلی کربنات [۷]

۳.۱ اصول فنی احداث گلخانه

برای انتخاب محل مناسب برای ساخت گلخانه نکات زیر باید در نظر گرفته شود:

- شرایط محیط زیست
- آب و برق
- دسترسی به نیروی کار
- فاصله تا بازار و هزینه‌های حمل و نقل
- جهت گلخانه بستگی به وزش باد و باران دارد.
- دهانه و نتیل‌تورها باید از نفوذ باران جلوگیری کنند و فن‌ها برای تبخیر و خنک‌کاری باید هم جهت باد باشند.
- شرایط طبیعی مانند ساختمان‌های بلند و درختان نباید جلوی هوا را گرفته و سایه ایجاد کنند.
- در اماکنی که سرعت باد بالاست باید بادشکن‌های مصنوعی ایجاد گردد.
- توپوگرافی خاک باید کمی شیب به سمت گلخانه (جهت تخلیه آب باران) داشته باشد.

۱.۳.۱ موارد فنی قبل از احداث گلخانه

برای حصول موفقیت و افزایش کارایی نهاده‌ها و بازگشت سرمایه، لازم است رعایت اصول فنی قبل از احداث گلخانه مد نظر قرار گیرد. موارد زیر نمونه‌هایی از این اصول فنی می‌باشند [۸]:

حداقل مساحت مفید گلخانه (پیوسته و زیر پوشش واحد) ۳۰۰۰ مترمربع است.

بهتر است طول گلخانه‌ها به دلیل امکان مقاوم سازی بیشتر سازه و نیز استفاده از تهویه مناسب نسبت به جهت باد غالب منطقه، عمود باشد.

گلخانه‌ها در عرض‌های جغرافیایی پائین‌تر از ۴۰ درجه شمالی باید در امتداد شمال - جنوب ساخته شوند تا از نور زمستانه به نحو مطلوب استفاده شود. به همین دلیل با توجه به این که ایران در محدوده ۲۷ الی ۳۹/۵ درجه شمالی واقع شده است، احداث گلخانه در کشور باید در جهت شمالی - جنوبی صورت گیرد.

توصیه می‌شود طول گلخانه‌ها نسبت به جهت باد غالب منطقه عمود باشد. این مساله به دلیل امکان مقاوم سازی بیشتر سازه و نیز استفاده از تهویه مناسب در گلخانه است. مهندس مشاور باید بر اساس شرح خدمات مطالعات گلخانه، جهت باد غالب، شدت باد، سرعت باد و ... را بررسی و بر اساس آن طراحی گلخانه را انجام دهد.

لازم است حداقل فاصله محدوده تأسیسات گلخانه‌ها با رودخانه و دریا (عوارض طبیعی)، دامداری‌ها و صنایع آلوده کننده (کارخانه‌های سیمان، آسفالت و ...) رعایت شود (جدول ۱۰.۱).

جدول ۱۰.۱ رعایت حریم برای ساخت گلخانه نسبت به سایر عوارض طبیعی و مصنوعی [۸]

عوارض طبیعی	حریم رودخانه	۵۰ متر
	حریم دریا	۲۰۰ متر
عوارض تاسیساتی	محدوده دامداری‌ها و مرغداری‌ها	۵۰ متر
کارخانه‌های آلوده کننده	کارخانه سیمان، سنگ شکنی، آسفالت، پودر سنگ و ...	۲۰۰۰ متر

۱.۳.۲ موارد فنی در طراحی گلخانه

رعایت اصول فنی احداث گلخانه مطابق طرح مورد تأیید مشاور، توسط پیمانکار واجد شرایط و نیز تهیه آنالیز تحلیلی (استاتیکی) سازه گلخانه پیشنهادی توسط این شرکت‌ها ضروری می‌باشد. بطوری که موارد ذیل رعایت گردد [۹]:

- فونداسیون مناسب با توجه به شرایط اقلیمی منطقه (حداکثر مطلق سرعت باد، جهت باد، حداکثر مطلق میزان بارش و بافت خاک)

- جنس اسکلت گلخانه باید محکم و ضد زنگ باشد (آلومینیومی، فولادی و گالوانیزه)

- استفاده از اتصالات پیچ و مهره‌ای در احداث گلخانه‌ها الزامی می‌باشد.

- سازه باید بر اساس مطالعات اقلیمی بلند مدت منطقه نسبت به میزان باد، بار برف، بار محصول کشت شده در داخل، بار تأسیسات و بار پوشش، مقاومت داشته باشد.

- ارتفاع گلخانه تا زیر ناودانی متناسب با نوع محصول و اقلیم منطقه و بر اساس برآورد مهندس مشاور و طراح و برای کاهش اتلاف حرارتی محاسبه گردد.

- دریچه‌های سقفی و جانبی گلخانه متناسب با نوع محصول و سطح گلخانه به نحوی طراحی گردد که تهویه مناسب گلخانه امکان پذیر باشد.

- در گلخانه‌های پلاستیکی، استفاده از پوشش‌های پلاستیکی UV دار با میزان درصد مورد نیاز بر اساس برآورد مهندس مشاور و طراح در گلخانه پیشنهاد می‌شود.

- نصب سیستم کنترل کننده اقلیمی به منظور کنترل چهار فاکتور دما، رطوبت، نور و دی اکسید کربن توصیه می‌شود.

- به منظور یکنواختی شرایط آب و هوایی داخل گلخانه، فن سیرکوله هوا در داخل گلخانه نصب گردد.

در تکمیل موارد فوق در طراحی صحیح گلخانه باید مواردی از قبیل شکل، جهت، مواد محافظ، فونداسیون، تجهیزات فنی برای کنترل هوای محیط مورد توجه باشد. شکل سازه، ارتفاع تا خط الرأس، جنس مواد، دما، رطوبت، عبور نور و مقدار دی اکسید کربن همگی در ساختمان گلخانه تاثیر دارد. اکثر شکل‌های رایج گلخانه از نوع a (بام هشتی) می‌باشد. سایر سقف‌های مرسوم به شکل زیر می‌باشند:

سقف شیب‌دار (b)

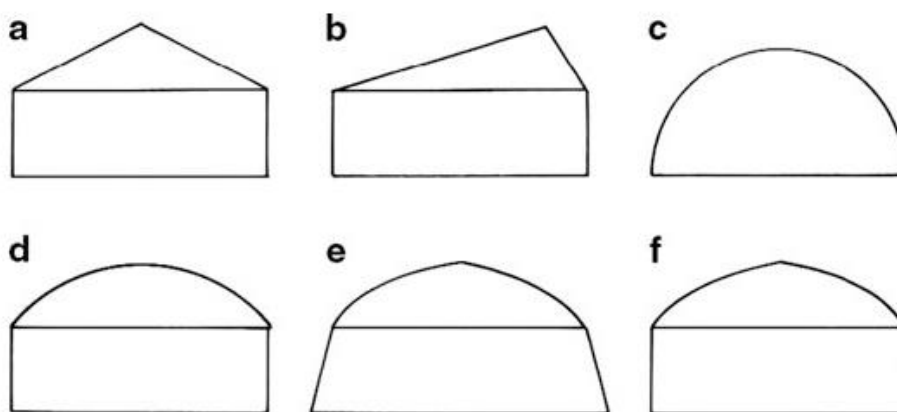
قوس‌دار (c)

قوس‌دار با دیوار عمودی (d)

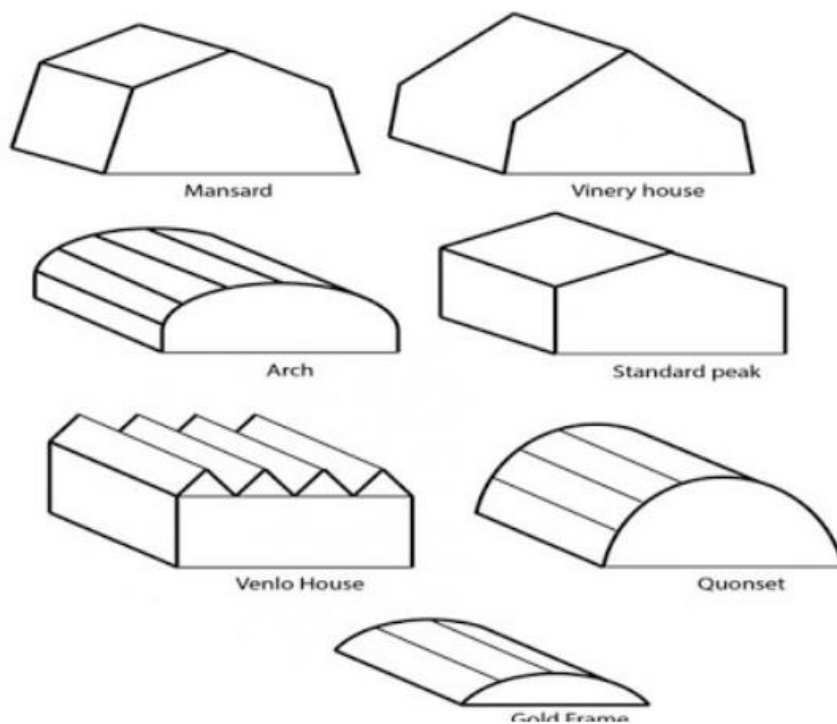
قوس‌دار شکسته با دیوار شیب‌دار (e)

قوس‌دار شکسته با دیوار عمودی (f)

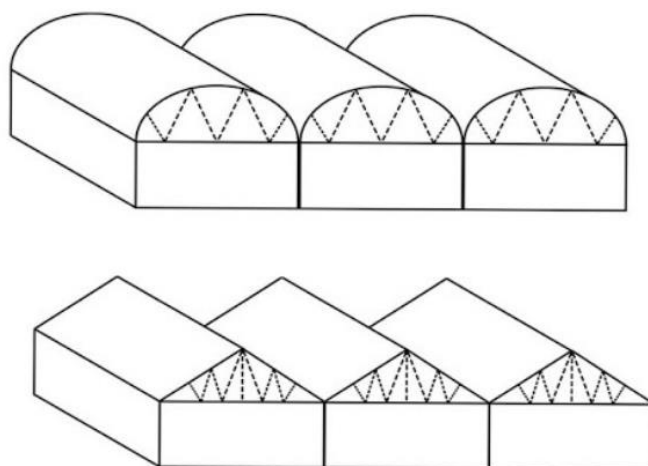
برای سازه‌های پلاستیکی طرح e و f پیشنهاد می‌شود.



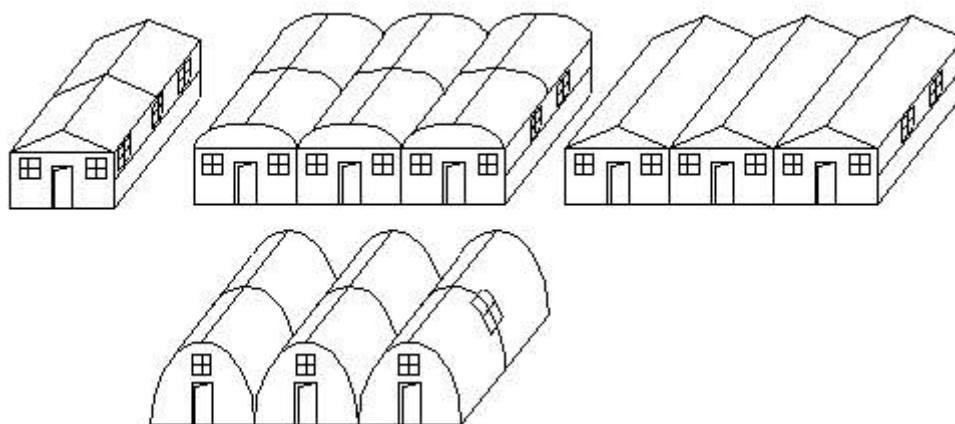
شکل ۱۰.۱ شکل‌های رایج گلخانه [۴]



شکل ۱۱.۱ شکل‌های رایج گلخانه



شکل ۱۲.۱ شکل‌های رایج گلخانه



شکل ۱۳.۱ شکل‌های رایج گلخانه

مساحت، ارتفاع و جهت گلخانه پارامترهای مهم دیگری هستند که در طراحی گلخانه باید مد نظر باشند.

۱.۲.۳.۱ مساحت گلخانه‌ها

در تولید اقتصادی از راه کشت‌های متراکم در نقاط مختلف جهان، مساحت‌های متفاوتی برای گلخانه‌ها تعیین و توصیه شده‌اند. در حالی که میانگین سطح یک واحد گلخانه‌ای در بیشتر کشورهای پیشرفته حدود یک هکتار است، در ایران واحدهای گلخانه‌ای با سطح بین ۸۳۳ تا ۱۲۷۲۷ مترمربع وجود دارند به طوری که میانگین کشوری سطح بهره‌برداری از گلخانه‌های کشور معادل ۲۸۴۴ مترمربع به ازای هر بهره‌بردار است. در بعضی از مناطق جهان یک گلخانه با مساحت کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع اقتصادی است. در ایالات متحده آمریکا گلخانه با مساحت ۷۰۰ تا ۸۰۰۰ مترمربع اقتصادی است. در هلند گلخانه‌ای با مساحت ۸۵۰۰ مترمربع یک واحد تجاری با صرفه اقتصادی تلقی می‌شود. در ایران بر اساس محاسبات و برآوردهای کارشناسی انجام شده، گلخانه‌هایی که مساحت آنها کمتر از ۳۰۰۰ مترمربع باشد، توجیه اقتصادی کافی در تولید سبزی، صیفی و گل و گیاهان زینتی ندارند [۱].

۲.۲.۳.۱ جهت گلخانه‌ها

جهت گلخانه بستگی به موقعیت جغرافیایی و نیز وضعیت اقلیمی (جهت وزش بادهای شدید) منطقه دارد. در صورتی که منطقه بادخیز باشد، برای به وجود آمدن مقاومت کمتر باید گلخانه را در جهت باد چیره بسازند. در عرض‌های جغرافیایی کمتر از ۴۰ درجه شمالی (همانند تمامی مناطق ایران) جهت شمالی - جنوبی برای ساخت گلخانه مناسب‌تر است. ساخت گلخانه‌ها در جهت شرقی - غربی در عرض‌های جغرافیایی بیش از ۴۰ درجه شمالی برای دریافت بیشینه نور خورشید و سایه‌اندازی کمتر سازه‌های گلخانه‌ای در زمستان توصیه می‌شود [۱].

۳.۲.۳.۱ ارتفاع اسکلت گلخانه

از جمله عوامل بسیار مهم در ساخت گلخانه‌ها ارتفاع (H) آن است. در اصل ارتفاع گلخانه تعیین‌کننده حجم و میزان تهویه در آن است. افزایش حجم داخل گلخانه به دلیل بلند بودن ارتفاع آن سبب می‌شود که تغییرات در شرایط درون گلخانه به

هنگام تغییرات در شرایط بیرون گلخانه تدریجی باشد و به همین دلیل دامنه نوسان‌های دمایی، گازی و رطوبتی در آن کمتر رخ دهد. در ساخت گلخانه‌ها در مناطق گرمسیری به منظور تهویه مناسب‌تر تمایل به افزایش ارتفاع وجود دارد [۱].

۴.۲.۳.۱ مساحت تهویه‌ای

در ارتباط با نسبت بین مساحت پنجره‌های سقفی و جانبی به سطح کف گلخانه (a/A) برای انجام تهویه کافی، اعداد مختلفی بسته به اقلیم یا عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر گزارش شده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداقل نسبت سطح تهویه برای کشور آلمان ۱۵ تا ۲۵ درصد و نسبت سطح تهویه برای کشور نیوزلند و کشورهای واقع در حوزه دریای مدیترانه حدود ۳۰ درصد است. بر اساس استاندارد ایالات متحده آمریکا نسبت سطح تهویه برای گلخانه‌های این کشور ۱۵ تا ۲۵ درصد تعیین شده است. نسبت سطح تهویه برای نواحی جنوبی اروپا ۳۰ تا ۳۳ درصد گزارش شده است. حداقل نسبت سطح پنجره‌ها به سطح کف گلخانه را برای نزدیک کردن دمای بیرون و درون گلخانه در کشور استرالیا ۲۰ درصد اعلام شده است. نسبت سطح تهویه برای مناطق نیمه گرمسیری مانند تایوان در حدود ۴۰ تا ۵۵ درصد گزارش شده است. بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که برای انجام تهویه مناسب در گلخانه‌های مناطق گرمسیری نسبت روزنه‌های موجود در توری‌های به کار رفته در دیوارها می‌تواند ۵۳ تا ۶۸ درصد باشد تا افت فشار مجاز هوا و سرعت جریان بین درون و بیرون گلخانه قابل قبول باشد. برخی از پژوهشگران این نسبت را تا کمینه ۶۰ درصد برای مناطق گرمسیر مرطوب نیز گزارش کرده‌اند. در ایران این نسبت ۲۵ درصد توصیه شده است که به ویژه در مناطق جنوبی کشور با اقلیم‌های گرم و خشک یا گرم و مرطوب کمتر از حد استاندارد به نظر می‌رسد [۱].

جدول ۲.۱ سطوح تهویه‌ای لازم توصیه شده برای گلخانه‌ها در اقلیم یا عرض‌های جغرافیایی مختلف [۱]

عرض جغرافیایی یا اقلیم	درصد سطوح تهویه‌ای لازم (a/A)
عرض‌های جغرافیایی حدود ۵۰ درجه (شمال اروپا)	بزرگتر از ۱۰
عرض‌های جغرافیایی میانه (اروپای مرکزی، آمریکا، استرالیا و ..)	۱۵ تا ۲۵
اقلیم‌های معتدل (نواحی مدیترانه‌ای و جنوبی اروپا)	۲۰ تا ۳۵
اقلیم‌های نیمه گرمسیری	۴۰ تا ۵۵
اقلیم‌های گرمسیری	بزرگتر از ۶۰

۵.۲.۳.۱ نسبت‌ها ابعادی گلخانه‌ها

در گلخانه‌های شرقی - غربی در نسبت‌های H/W بزرگتر از ۰/۵ میزان تابش ورودی به این نوع گلخانه‌ها بیشتر می‌گردد. در این رابطه H ارتفاع گلخانه و W عرض دهانه گلخانه است. با زیاد شدن تعداد دهانه‌های گلخانه میزان تابش ورودی به این نوع گلخانه‌ها کمتر می‌شود. از سوی دیگر در گلخانه‌های شمالی - جنوبی در نسبت‌های L/W کمتر از ۵ میزان تابش ورودی به گلخانه کمتر می‌گردد. در این رابطه L طول گلخانه است. در این حالت تعداد دهانه‌های گلخانه تاثیر زیادی بر میزان تابش ورودی به گلخانه ندارند. به طور کلی می‌توان بیان کرد که یکنواختی توزیع تابش خورشیدی در گلخانه‌های شرقی - غربی کمتر از گلخانه‌های شمالی - جنوبی است. همچنین از نظر تابش ورودی حساسیت گلخانه‌های یک دهانه به موقعیت جغرافیایی بیشتر از گلخانه‌های چند دهانه است.

طول گلخانه‌ها (L) از نظر عملکرد و کارایی سامانه‌های سرمایشی پوشال - پنکه نیز اهمیت دارد. در گلخانه‌ها به طور معمول فاصله پوشال از پنکه باید ۳۰ تا ۴۵ متر باشد. در طول‌های کمتر از این دامنه، فرصت کافی برای تبادل گرما بین هوای خنک

عبور کرده از پوشال و هوای گرم درون گلخانه به وجود نمی‌آید. در طول‌های بیشتر از این دامنه حجم و دمای هوای خنک عبور کرده از پوشال، توان خنک‌سازی حجم هوای داخل گلخانه را در طول عبور و خارج شدن بوسیله پنکه نخواهد داشت. در عمل طول گلخانه تعیین کننده این فاصله است. برای گلخانه‌هایی با طول زیاد نصب پنکه‌های سقفی در وسط طول گلخانه و قراردادن پوشال‌ها در دو طرف گلخانه پذیرفتنی است.

نسبت ارتفاع به عرض دهانه گلخانه (H/W) از دیدگاه سنجش میزان تهویه در گلخانه‌ها نیز مهم است. به طور تقریبی نسبت ارتفاع به عرض باید حدود ۳۳ درصد باشد. اگر این نسبت کمتر از ۳۳ درصد باشد، حجم هوای درون گلخانه کافی نبوده و شرایط مناسبی برای گسترش بیماری‌ها فراهم خواهد شد.

تهویه مطبوع در گلخانه فرآیند تعویض هوا و ورود هوای تازه به داخل آن است. درپچه‌های سقفی و جانبی نقش مهمی در تهویه طبیعی گلخانه دارند. کوتاهی در پیش‌بینی سیستم تهویه مناسب در هنگام طراحی و ساخت گلخانه موجب کاهش مطلوبیت عامل‌های محیطی در گلخانه می‌شود. تهویه گلخانه به منظور کاهش دمای آن در روزهای آفتابی، تهویه دی اکسید کربن لازم برای فتوسنتز، خارج کردن هوای گرم و مرطوب گلخانه و جایگزینی آن با هوای خشک و خنک و در نتیجه نامساعد کردن شرایط برای رشد و نمو قارچ‌ها و کاهش بیماری انجام می‌گیرد [۱].



شکل ۱۴.۱ شکل‌های رایج گلخانه



شکل ۱۵.۱ شکل‌های رایج گلخانه



شکل ۱۶.۱ شکل‌های رایج گلخانه



شکل ۱۷.۱ شکل‌های رایج گلخانه



شکل ۱۸.۱ شکل‌های رایج گلخانه

۳.۳.۱ موارد فنی در حین احداث گلخانه

پس از رعایت اصول مربوط به انتخاب مکان احداث گلخانه، جهت گلخانه، حریم ساخت گلخانه نسبت به عوارض موجود و همچنین احداث ابنیه مورد نیاز متناسب با طرح و مساحت گلخانه (جدول ۳.۱)، توجه به اصول فنی زیر در زمان ساخت ضروری می‌باشد [۸].

- جنس اسکلت گلخانه باید محکم و ضد زنگ (فولادی و گالوانیزه) باشد.
- استفاده از اتصالات پیچ و مهره‌ای در ساخت و سازه گلخانه الزامی است.
- سازه باید نسبت به میزان سرعت باد (حداقل ۱۲۰ کیلومتر در ساعت)، بار برف (حداقل ۵۰ کیلوگرم در مترمربع) و بار محصول کشت شده در داخل و بار پوشش مقاومت داشته باشد.
- ارتفاع گلخانه تا زیر ناودانی باید بیش از ۳/۵ متر و تا تاج گلخانه حداقل ۵/۵ متر باشد که بسته به منطقه و نوع کشت متغیر است.
- حداقل ۲۵ درصد از سطح جانبی گلخانه را بدون احتساب فن و پوشال، دریچه‌های سقفی و جانبی تشکیل می‌دهد.
- استفاده از پوشش‌های پلاستیکی دارای خاصیت ضد اشعه فرابنفش (UV) الزامی است.
- بهترین موقع کشیدن پلاستیک در روزهای گرم و آفتابی است که پلاستیک نسبتاً نرم است و بهتر روی بدنه می‌ماند و پس از سرد شدن هوا منقبض شده و کاملاً محکم می‌گردد.
- نصب سیستم کنترل کننده اقلیمی به منظور کنترل حداقل مقدار سه پارامتر دی اکسید کربن، دما و نور ضروری است.

جدول ۳.۱ مساحت بناهای مورد نیاز متناسب با طرح و مساحت گلخانه [۸]

مساحت گلخانه	۳۰۰۰ مترمربع	۵۰۰۰ مترمربع	یک هکتار	بیشتر از یک هکتار تا ۲ هکتار	بیشتر از دو هکتار تا سه هکتار
مساحت تأسیسات، انبار و هانکار ماشین آلات (مترمربع)	حداکثر ۱۵	حداکثر ۲۰	حداکثر ۱۰۰	حداکثر ۱۱۵	حداکثر ۱۳۰
مساحت سردخانه (مترمربع)	حداکثر ۱۵	حداکثر ۲۵	حداکثر ۵۰	حداکثر ۱۰۰	حداکثر ۱۵۰
مساحت دفتر کار و ساختمان مدیریتی (مترمربع)	حداکثر ۱۵	حداکثر ۲۰	حداکثر ۷۰	حداکثر ۹۰	حداکثر ۱۱۰
ساختمان نگهداری و کارگری (مترمربع)	حداکثر ۱۵	حداکثر ۱۰	حداکثر ۷۰	حداکثر ۷۰	حداکثر ۸۰
سالن سورت و بسته بندی (مترمربع)	حداکثر ۱۵	حداکثر ۱۰	حداکثر ۵۰	حداکثر ۶۰	حداکثر ۷۰
سرویس بهداشتی (مترمربع)	حداکثر ۱۵	حداکثر ۵	حداکثر ۱۵	حداکثر ۲۰	حداکثر ۲۵
استخر ذخیره آب (مترمربع)	حداکثر ۱۵۰	حداکثر ۲۵۰	حداکثر ۵۰۰ مترمکعب در سطح حدود ۱۵۰ تا ۵۰۰ مترمربع	حداکثر ۱۰۰۰	حداکثر ۱۵۰۰

۱.۳.۴ موارد فنی کنترل آب و هوای گلخانه

آب و هوای مناسب بسیار در رشد گیاهان مؤثر است. حفظ درجه حرارت محیط در گرمای روز و سرمای شب، وجود دی اکسید کربن و نور کافی همگی از مواردی است که می‌بایست به دقت کنترل شوند. نیازمندی‌های اصلی در یک گلخانه به شرح ذیل می‌باشد [۱۰]:

- ۱- در گلخانه‌ها سیستم تهویه باید راندمان مناسبی داشته باشد. در گلخانه‌های با چند دهانه اگر متوسط درجه حرارت از ۲۷ درجه سلسیوس بیشتر شد می‌بایست سیستم تهویه از سقف نیز نصب شود.
 - ۲- فن‌های قفل شونده باید در مناطقی که دمای هوا از ۱۲ درجه سلسیوس کمتر است نصب شود.
 - ۳- کنترل گلخانه‌های بزرگتر در روزهای گرم شرایط مساعدتری دارد. دیوارهای جانبی باید بیشتر از ۳ متر باشد، این ارتفاع در روزهای سرد که درب‌ها بسته است، دی اکسید کربن و نور کافی را فراهم می‌آورد.
 - ۴- فیلم پلاستیک باید طول موج تابش پائینی داشته باشد تا انتقال حرارت از داخل به بیرون کم شود. موادی که طول موج‌های تابشی بلند را منتقل می‌کنند باعث شده تا حرارت از طریق پوشش‌های سقف خارج شده در نتیجه دمای محیط کمتر از بیرون گشته و وارونگی دما رخ می‌دهد. اگر درجه حرارت گیاهان به زیر نقطه شبنم برسد، کندانس تشکیل شده که برای گیاه خطرناک می‌باشد. برای حفظ دمای محیط در سرمای شب از جاذب‌های گرمایی استفاده می‌شود.
 - ۵- بسیار مهم است که سازه‌ها دارای منافذ نشستی و درز نباشد تا هوای گرم داخل را به بیرون هدر ندهد. منابع اصلی نشت هواکش و درب‌ها می‌باشند. اگر وارونگی دما رخ دهد و رطوبت بیش از حد بالا رود، بهتر است تهویه گلخانه در صبح باشد.
 - ۶- سالن گلخانه در ماه‌های سرد زمستان برای پرورش محصولات کشاورزی نیاز به تجهیزات گرمایشی، گرمایش خورشیدی یا گرمایش از کف دارد.
 - ۷- سیستم آبیاری با راندمان بالا و تبخیر پائین باید استفاده شود.
 - ۸- گلخانه باید شرایط آب و هوایی مطلوب را برای رشد گیاهان فراهم نماید. آن‌ها محافظ گیاهان در برابر دماهای پائین، باد و باران و تگرگ و حشرات و پرندگان می‌باشند.
 - ۹- کندانس‌ها نباید از سطح داخلی روی گیاهان بریزد. سقوط قطرات از سقف عبور نور را ۱۰ الی ۱۵ درصد کاهش می‌دهد.
 - ۱۰- ناودان‌ها یا چاله‌های عمیق برای تخلیه و جمع‌آوری آب باران ضروری است. هیچ آبی نباید از دیوارهای سقف یا کف به داخل گلخانه نفوذ کند.
- راندمان تهویه که به اختلاف فشار مربوط است بستگی به ارتفاع گلخانه تا خط الرأس و فاصله تا دیوارها دارد. هر چه ارتفاع لبه سقف بلندتر و فاصله بین هواده‌های مصنوعی بیشتر باشد، اختلاف فشار بیشتر است. از سوی دیگر بار ناشی از وزش باد و قدرت اجزای سازه در ارتفاع آن تأثیر گذار است. گلخانه‌های بزرگ با حجم بالا شرایط آب و هوایی بهتری برای گیاهان فراهم می‌آورند، اما در زمستان گرم کردن آنها مشکل‌تر است [۴].



شکل ۱۹.۱ عایق‌کاری اجزای فولادی با رنگ سفید پلاستیکی [۴]



شکل ۲۰.۱ سقوط قطرات از سطح داخلی و کاهش عبور نور [۴]



شکل ۲۱.۱ تأثیر وجود ناودان برای نفوذ آب باران [۴]

۱.۳.۵ موارد فنی در ساخت گلخانه‌های پیشرفته

امروزه بارزترین خصوصیت استاندارد گلخانه‌های چند دهانه و پیشرفته دنیا، ارتفاع بلند و عرض زیاد آنهاست. در صورتیکه گلخانه مرتفع‌تر باشد، حجم هوای داخل گلخانه بیشتر خواهد شد و این خود نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی گرمایش و سرمایش گلخانه خواهد شد بلکه باعث کاهش رطوبت اضافی و نیز تجمع هوای نامطلوب در بالای گلخانه و در دسترس قرار گرفتن هوای تازه در کنار گیاه خواهد شد. حجم زیاد هوای گلخانه امکان ثابت نگه داشتن دمای داخل گلخانه را نیز فراهم می‌آورد و در نتیجه خطرات ناشی از تنش‌های وارده بر گیاه در اثر تغییر ناگهانی دمای خارج گلخانه از بین می‌رود. بیشتر بودن عرض گلخانه نیز مزایایی مانند استفاده بهینه و راحت‌تر از فضای بین دو ستون و در نتیجه کثرت بندی بیشتر و امکان اتوماسیون را فراهم می‌آورد. به علاوه عرض بیشتر باعث کاهش تعداد ستون‌ها و ناودانی‌ها می‌شود و این خود نه تنها نور بیشتری را فراهم می‌آورد بلکه باعث کاهش قیمت تمام شده نیز می‌گردد.

از نظر فنی در ساخت گلخانه‌های پیشرفته به موازات افزایش ارتفاع و عرض گلخانه، استحکام و مقاومت سازه در برابر باد، برف و بار آویزان نیز باید محاسبه گردد. در محاسبات مربوطه باید مسأله سبک‌سازی سازه نیز لحاظ شود چرا که هر چه ارتفاع گلخانه افزایش یابد، شدت باد نیز افزایش می‌یابد. همچنین هر چه عرض گلخانه بیشتر شود فشار بار آویزان و بار برف بر روی سقف و احتمال فروریختن سقف افزایش می‌یابد. در کنار یک سازه خوب تجهیزات متناسب با کشت مورد نظر و اقلیم خاص منطقه احداث گلخانه بسیار ضروری و عامل تعیین کننده در موفقیت و یا عدم موفقیت یک پروژه محسوب می‌گردد.

تقسیم‌بندی گلخانه‌ها از نظر میزان استفاده از فناوری‌های روز جهان به صورت زیر است:

الف- گلخانه با فناوری پایین:

اسکلت این گلخانه‌ها سنتی (فلزی ساده یا چوبی) و بیشتر تک دهانه بوده و توسط پلاستیک تک لایه پوشیده می‌شوند. بلندی کف تا زیر ناودانی (h) آنها گاهی از ۲ متر و نیز بلندی کف تا سقف (H) آن‌ها گاهی از ۳ متر بیشتر می‌شود. هزینه ساخت آن‌ها پایین بوده و وسیله‌های کنترل شرایط محیطی (گرمایش، سرمایش و تهویه) را ندارند. سطح اتوماسیون و مکانیزاسیون

به کار رفته در این گلخانه‌ها بسیار پایین بوده و آفت‌ها و بیماری‌ها در آنها بیشتر به روش شیمیایی کنترل می‌شوند. کشت در این گلخانه‌ها خاکی بوده و در بیشتر موارد سبزی‌ها و گیاهان زینتی در آن‌ها کشت می‌شوند [۱].

ب- گلخانه با فناوری میانه:

اسکلت این گلخانه‌ها فلزی بوده و پوشش آنها پلاستیک (پلی‌اتیلن) تک لایه یا دو لایه، پلی‌کربنات یا شیشه است. این نوع گلخانه‌ها بیشتر به صورت چند دهانه ساخته می‌شوند. بلندی کف تا زیر ناودانی در این نوع گلخانه‌ها ۴ متر یا کمتر و بلندی آنها تا سقف ۶ متر یا کمتر می‌باشد. هزینه ساخت این گلخانه‌ها چندین برابر گلخانه‌های با فناوری پایین بوده و وسیله‌های کنترل شرایط محیطی (گرمایش، سرمایش و تهویه) در آن‌ها وجود دارد. سطح استفاده از اتوماسیون و مکانیزاسیون آنها متفاوت و پذیرفتنی است. در این نوع گلخانه‌ها کنترل آفت و بیماری به روش غیرشیمیایی نیز امکان پذیر است. کشت در این گونه از گلخانه‌ها خاکی یا غیر خاکی باز بوده و بیشتر سبزی‌ها، گیاهان زینتی و میوه‌ها در آنها کشت می‌شوند [۱].

ج- گلخانه با فناوری پیشرفته:

اسکلت چند دهانه این گلخانه‌ها از نوع فلزی پیشرفته و بیشتر به شکل طرح هلندی با پوشش شیشه‌ای بود. اسکلت انحنادار این نوع گلخانه‌ها نیز دارای پوشش پلاستیک دو لایه یا پلی‌کربنات است. در این نوع گلخانه‌ها بلندی کف تا زیر ناودان حداقل ۵ متر است و بلندی تا سقف ممکن است به ۹ متر نیز برسد. تبادل هوا و تهویه در این گلخانه‌ها به شکل مناسب و کافی صورت می‌گیرد. سطح استفاده از اتوماسیون و مکانیزاسیون برای کنترل عامل‌های محیطی (گرمایش، سرمایش و تهویه) این نوع گلخانه‌ها پیشرفته بوده و به همین دلیل شرایط برای مدیریت کنترل تلفیقی آفت‌ها و بیماری‌ها فراهم است. کشت در این گلخانه‌ها غیرخاکی بسته بوده و انواع محصول‌های سبزی، گیاهان زینتی، میوه‌ها و غیره در آن‌ها کشت می‌شوند [۱].

در حال حاضر برای ساخت گلخانه‌ها در کشور، بر اساس نظام گلخانه‌ای کشور که از سوی وزارت جهاد کشاورزی به سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها ابلاغ شده است، بلندی از کف تا زیر ناودانی و تا سقف به ترتیب بیش از ۳/۵ متر و حداقل ۵/۵ متر توصیه شده است.

- گلخانه کم هزینه

از گلخانه‌های کم هزینه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه استفاده می‌شود که تناسبی میان آب و هوا و ساختمان گلخانه وجود نداشته و از این رو شرایط مطلوبی ندارند. دمای این گلخانه‌ها بالا و سطح رطوبتشان پایین می‌باشد.

به دلیل شرایط ضعیف محیط این گلخانه‌ها، محصولات کشاورزی را در تمام طول سال نمی‌توان در آن کشت کرد. گلخانه‌های پلاستیکی کم هزینه اغلب در کشورهای نیمه گرمسیری رایج بوده و با حداقل اصول طراحی می‌شوند و ارزانه در حالیکه گلخانه‌های صنعتی و پیشرفته گرانترند.

هدف پیدا کردن راهی برای افزایش تکنولوژی تولید، کنترل هزینه‌ها و رشد اقتصادی می‌باشد. تولید محصول در آب و هوای گرم‌تر نیاز به طراحی خاص سازه و کنترل آب و هوا و تجهیزات دارد که بتوان با رعایت استانداردها در بازار رقابت نمود [۴].



شکل ۲۲.۱ گلخانه کم‌هزینه [۴]

گلخانه‌های مقرون به صرفه در ارتفاع‌های بلندتر و با تهویه و پاشش آب مناسب‌تر، شرایط و عملکرد مطلوب‌تری را فراهم می‌آورد و سازگار با محیط زیست می‌باشد.

تولید کنندگان و محققان در مورد مزایا و معایب پوشش شیشه‌ای و پلاستیکی در مناطق مدیترانه‌ای اختلاف نظر دارند. بسیاری از پوشش شیشه‌ای برای نگهداری راحت‌تر و عبور نور بهتر استفاده می‌کنند. از طرفی سازگاری محیط زیست پوشش‌های پلاستیکی نسبت به شیشه‌ای بیشتر است [۴].



شکل ۲۳.۱ گلخانه مقرون به صرفه [۴]



شکل ۲۴.۱ گلخانه مقرون به صرفه [۴]

د- گلخانه‌های چند دهانه (Multi-Span Greenhouses)

گلخانه‌های چند دهانه پلاستیکی که با رعایت اصول طراحی شوند، دارای مزیت‌های زیر هستند [۴]:

حجم گلخانه بزرگ‌تر شده و شرایط آب و هوایی در طول روز و شب مطلوب‌تر می‌شود. دیوارها تا ارتفاع ۳ متر توان مقابله با باد را خواهند داشت.

اگر عرض کلی دهانه‌ها تا ۱۸ متر باشد، هواده‌های جانبی فضا را پوشش می‌دهد. هواده‌ها می‌تواند مکانیکی باشد.

مساحت زیر کشت بیشتر می‌شود.

سقف‌های قوس‌دار شکسته به منظور کاهش چکیدن آب ساخته می‌شود.



شکل ۲۵.۱ گلخانه چند دهانه [۴]

۴.۱ موارد فنی داخل گلخانه (عوامل محیطی در گلخانه)

تولید محصولات گلخانه‌ای در مناطق روستایی و شهری کشورهای صنعتی و با آب و هوای ملایم و درجه حرارت معتدل و حتی مناطق استوایی روز به روز در حال افزایش است. پرورش میوه‌های مرغوب در زمین‌های حتی کوچک درآمدهای خوبی برای ساکنین فراهم آورده است. گلخانه‌ها امکان کشت در برخی مناطق خشک و گرمسیری و همچنین مناطق غیر قابل کشت را به وجود آورده است.

یکی از اهداف اصلی احداث گلخانه، تولید محصول خارج از فصل می‌باشد. در این راستا کنترل عوامل محیطی مانند دما، نور (تابش)، بارش، رطوبت نسبی، تبخیر و کندانس، آب، تهویه، سرعت باد و ... متناسب با نوع گیاه، شرط تولید محصول با کیفیت می‌باشد. مهمترین عوامل محیطی که نیاز است در محیط گلخانه تحت کنترل باشند به شرح زیر می‌باشند.

۴.۱.۴ دما

عوامل زیادی از جمله تابش خورشید، فصل، ارتفاع از سطح آزاد دریا، باد، وجود ابر در جو و ... بر روی دما تأثیر دارند. از این رو ذکر عباراتی ثابت در این زمینه دشوار است. متوسط اختلاف درجه حرارت در سردترین ماه سال نسبت به گرمترین فصل در مناطق با عرض‌های جغرافیایی مختلف زمین بسیار متفاوت است.

در عرض جغرافیایی ۰ تا ۱۰ درجه متوسط این اختلاف دما در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد، در عرض جغرافیایی ۰ تا ۲۳ درجه متوسط این اختلاف دما در حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد و در عرض جغرافیایی ۲۳ تا ۴۸ درجه متوسط این اختلاف دما در حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد است.

با افزایش ارتفاع از سطح آزاد دریا دما کاهش می‌یابد. در فلات‌های گرم و کوه‌ها دما خیلی در تابستان و زمستان فرق نمی‌کند اما در بین شب و روز اختلاف دما وجود دارد. درجه حرارت بالا در روز به دمای صفر درجه در شب تبدیل می‌شود. با فاصله گرفتن از دریا دامنه دمایی افزایش می‌یابد. شرایط ابری روی طول موج تابش تأثیر گذار است. در فصول بارانی دما به علت وجود ابرها تغییر می‌کند و در نتیجه تابش کمتری به سطح زمین می‌رسد.

با توجه به نقش تعیین کننده دما در فعالیت رویشی و زایشی گیاه و افزایش عملکرد محصول و کنترل آفات و بیماری‌ها، استفاده از پوشش و تجهیزات کنترل کننده دما متناسب با نوع محصول و اقلیم منطقه الزامی است. دامنه دمای مناسب برای تولید تعداد زیادی از محصولات گلخانه‌ای حداقل ۱۵ درجه و حداکثر ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۴.۱). لذا استفاده از تجهیزاتی نظیر دماسنج‌های ماکزیمم و مینیمم جهت کنترل و تامین دمای مناسب ضروری است. در گذشته از سیستم‌های کولر آبی یا بخاری‌ها به صورت موضعی در فضای گلخانه استفاده می‌گردید که کارایی و راندمان آن بسیار پایین و موجب تنظیم یکنواخت سرمایش یا گرمایش داخل گلخانه نمی‌گردید. در مناطقی که بارش برف محتمل می‌باشد، قبل از نصب پوشش، نصب و استفاده از سیستم گرمایشی ضروری است [۸].



شکل ۲۶.۱ سیستم قدیمی تنظیم دمای داخل گلخانه (کولر و بخاری) [۸]

جدول ۴.۱ دمای مطلوب برای هر محصول گلخانه‌ای در روز [۴]

نام محصول	دمای نگهداری در روز (درجه سلسیوس)
گوجه فرنگی	۱۸-۲۱
مرکبات	۲۳
فلفل	۲۳-۲۴
خیار	۲۶
هویج	۱۸-۲۰
کاهو	۲۱-۲۶
گل داوودی	۲۳-۲۶
گل شمعدانی	۲۱-۲۳

۲.۴.۱ رطوبت نسبی هوا

رطوبت داخل گلخانه با توجه به نقش آن در افزایش کمیت و کیفیت محصول و کنترل آفات و بیماری‌ها، باید به نحو مقتضی در حد بهینه کنترل گردد. بهترین میزان رطوبت نسبی در گلخانه‌ها در حدود ۷۵ درصد می‌باشد. رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد توأم با دمای بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، منجر به ریزش غنچه‌ها و میوه‌ها می‌گردد. اگر رطوبت نسبی بالاتر از ۷۵ درصد و دمای کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد همراه با تهویه نامناسب باشد، بیماری‌های قارچی افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از دستگاه رطوبت سنج جهت کنترل نوسانات دما الزامی است [۸].

۳.۴.۱ کربن دی‌اکسید

با توجه به نقش دی اکسید کربن در افزایش فرایند فتوسنتز و نهایتاً افزایش عملکرد و با توجه به این که حداقل تبادلات گازی بین محیط داخل گلخانه با فضای باز اطراف (به خصوص در فصول سرد سال) صورت می‌گیرد، تأمین دی اکسید کربن گلخانه

از طرق مناسب (تهویه مناسب، استفاده از مولدهای دی اکسید کربن با اولویت استفاده از سوخت گازی و ...) بسته به نوع محصول تولیدی ضروری می‌باشد.

معمولاً غلظت معمول دی اکسید کربن موجود در محیط داخل گلخانه ۳۰۰ پی پی ام است. افزایش سطح دی اکسید کربن بسته به نوع محصول تا حد ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ پی پی ام باعث افزایش محصول می‌شود. لذا اندازه‌گیری منظم گاز دی اکسید کربن گلخانه با استفاده از دستگاه سنجش دی اکسید کربن ضروری می‌باشد. نقطه حداقل بحرانی دی اکسید کربن در گلخانه ۲۵ تا ۱۲۵ پی پی ام می‌باشد که باعث توقف فعالیت گیاه می‌گردد.

تزریق دی اکسید کربن در تمام طول روز از طلوع آفتاب تا یک ساعت قبل از غروب صورت می‌گیرد. زمان تزریق به موقعیت گلخانه و عرض جغرافیایی هم بستگی دارد و در فصل‌های پاییز و زمستان صورت می‌گیرد. این عمل معمولاً در اواخر شهریور یا اوایل مهر تا اواسط فروردین یا اواسط اردیبهشت انجام می‌شود. در زمان تزریق باید کلیه دستگاه‌های تهویه و هواساز و خنک کننده خاموش باشد و دریچه تهویه کمتر از ۵ سانتی‌متر باز باشد [۸].



شکل ۲۷.۱ نمای سیستم تولید و تزریق دی اکسید کربن در فضای گلخانه [۸]

۱.۴.۴ نور (تابش)

تابش خورشید در جو زمین بر اثر جذب، بازتابش و انعکاس به تدریج کمتر می‌شود. تابش خورشید در سطح زمین بسته به طول و عرض جغرافیایی، فصل، زمان روز و عوامل موجود در جو مانند ابرها تغییر می‌کند. وجود بخار زیاد در جو تا حد زیادی تابش را کم می‌کند. در مناطق استوایی متوسط تابش خورشید ثابت می‌ماند. برای پرورش محصولات کشاورزی، مهم است بدانیم متوسط ماهانه انرژی تابشی چقدر است. در بیشتر مناطق کره زمین تفاوت قابل توجه تابش روزانه در زمستان و تابستان زیاد است. حداقل مقدار اشعه مورد نیاز برای رشد گیاهان در روز حدود ۲ تا ۲/۳ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌باشد [۸].



شکل ۲۸.۱ دستگاه ثبت شدت نور در فضای گلخانه [۸]

با توجه به نقش تعیین کننده نور در فتوسنتز گیاه و تامین بخشی از دمای گلخانه، تنظیم نور (شدت تابش و نوع منبع روشنایی) درون گلخانه با در نظر گرفتن نوع محصول و اقلیم منطقه صورت گیرد. لازم به ذکر است که شدت نور لازم برای گیاهان گلخانه‌ای بین ۱۰۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ لوکس می‌باشد. استفاده از دستگاه نورسنج (لوکس متر) در گلخانه‌ها با توجه به شرایط اقلیمی منطقه (ابرناکی) الزامی است.

۵.۴.۱ بارش

آب یک عنصر حیاتی برای رشد گیاهان است. در یک ناحیه لازم است که برای حفاظت از رشد گیاهان اطلاعاتی از نرخ بارش، توزیع فصلی، شدت و دوره آن وجود داشته باشد. در مناطق پر بارش گلخانه‌ها باید تجهیزات تخلیه سریع آب باران را داشته باشند تا بارش به داخل نفوذ نکند. از طرفی توانایی ذخیره آب باران برای آبیاری گیاهان حفاظت شده از اهمیت بالایی برخوردار است. باید میزان تبخیر و تعرق گلخانه را به منظور برآورد مصرف آب جهت آبیاری تخمین زد و با مقایسه مقدار بارش مشخص کرد که به چه حجم آب اضافی نیاز است.

بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر مکعب بر ساعت معمولاً نمی‌تواند توسط خاک و گیاهان جذب شود در نتیجه موجب فرسایش خاک می‌شود. در مناطق گرمسیری بارش اغلب با شدت و همراه طوفان رخ می‌دهد و محافظت از خاک زیر کشت باید صورت گیرد.

۵.۱ موارد فنی تجهیزات و تأسیسات

برخی از موارد فنی تجهیزات و تأسیسات داخل گلخانه به شرح ذیل می‌باشد:

- استفاده از سیستم مناسب تهویه بر اساس اقلیم منطقه و نوع محصول
- استفاده از سیستم سایه انداز با توجه به اقلیم منطقه و نوع محصول

- الزامی بودن رعایت شرایط و ضوابط قرنطینه‌ای برای استفاده از پایه‌های وارداتی در گلخانه
- استفاده از بسترهای مناسب با توجه به نوع محصول و نوع کشت
- استفاده از بسترهای مناسب و تعبیه زهکش مناسب بسته به نوع سیستم کاشت
- تسطیح مناسب بستر
- استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری مناسب با نوع محصول و نوع کشت
- استفاده از سیستم‌های گرمایشی مناسب با توجه به اقلیم منطقه و نوع محصول و سطح گلخانه
- استفاده از سیستم‌های سرمایشی مناسب با توجه به اقلیم منطقه و نوع محصول و سطح گلخانه
- مساحت تأسیسات و مکان‌های مورد نیاز برای انبار، اتاق کارگری، دفتر مدیریت، سرویس‌های بهداشتی، محل غذاخوری و ... متناسب با طرح و مساحت واحد گلخانه‌ای توسط مهندس مشاور برآورد و پیشنهاد گردیده و پس از تأیید توسط مراجع بالاتر عمل خواهد شد.

۶.۱ دستورالعمل و مقررات اجرایی گلخانه‌ها در خصوص منابع انرژی بر اساس نظام گلخانه‌ای کشور

۶.۱.۱ آب

آب مورد نیاز جهت فعالیت‌های گلخانه‌ای از نظر کمیت و کیفیت با توجه به نیاز آبی گیاه و مصارف برابر برآورد مهندس مشاور طرح، می‌تواند از منابع مختلف از جمله قنات دائمی، چشمه دائمی، رودخانه دائمی، آب سدهای دائمی و چاه‌های کشاورزی پس از تأیید حق آب از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان یا شهرستان تأمین گردد. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بهداشتی آب پس از آزمون تجزیه توسط آزمایشگاه‌های مجاز به عنوان مدارک قابل وثوق از متقاضی اخذ می‌گردد. استفاده از پساب تصفیه شده در صورت تأیید کیفیت آب توسط مرجع ذیصلاح (وزارت بهداشت و سازمان محیط زیست) برای کشت‌های گلخانه‌ای ترجیحاً محصولات غیرخوراکی، امکان پذیر می‌باشد [۹].

۶.۱.۲ برق

برای انجام فعالیت‌های گلخانه‌ای محاسبه میزان برق مورد نیاز از ضروریات طرح بوده که باید توسط مهندسین مشاور طرح ارائه گردد. میزان برق با توجه به سطح گلخانه و نوع تجهیزات به کار رفته مطابق برآورد مهندس مشاور، پیش‌بینی و محاسبه می‌گردد. ارائه موافقت اداره برق شهرستان برای تأمین برق گلخانه‌ها به جز گلخانه تابع اقلیم و سایبان ضروری است. تعبیه موتور ژنراتور مولد برق به عنوان تأمین کننده برق اضطراری، علاوه بر تأمین برق از شبکه سراسری، ضروری است. اگر محل اجرای گلخانه در مناطق دوردست باشد که امکان دسترسی به شبکه برق سراسری وجود ندارد و یا در مورد گلخانه‌های مقیاس کوچک، استفاده از سایر تجهیزات تأمین برق نظیر ژنراتور برق اضطراری و ... امکان پذیر می‌باشد. ایجاد واحدهای

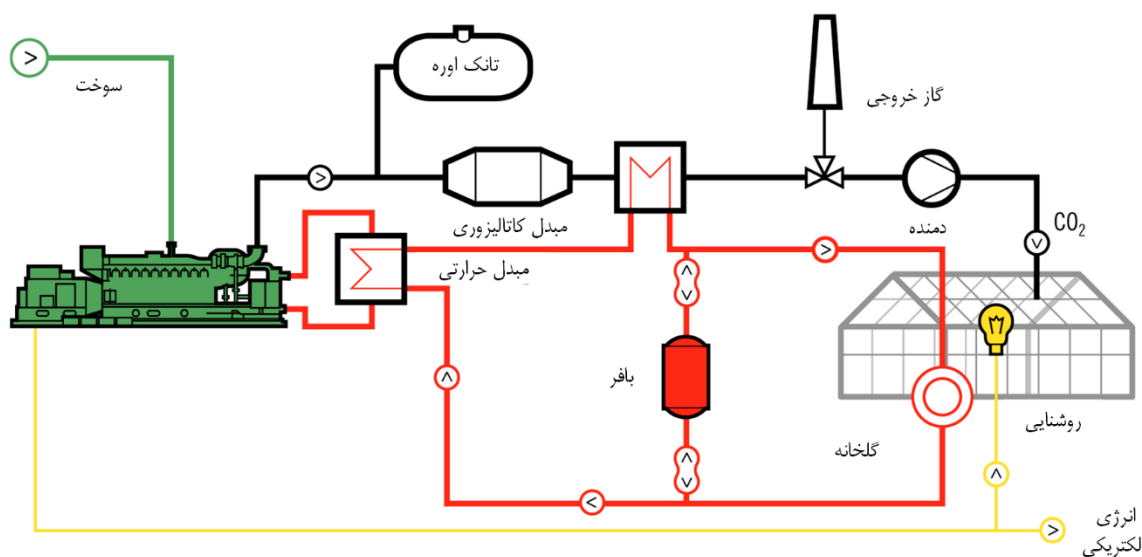
تولید برق به صورت کوچک و پراکنده (CHP) برای طرح‌های گلخانه‌ای که از شبکه سراسری برق دور بوده و یا از نظر برآورد مهندسين مشاور و میزان سطح گلخانه دارای توجیه فنی و اقتصادی باشد، امکان پذیر می‌باشد [۹].

۳.۶.۱ سوخت

رعایت استانداردهای سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور توصیه می‌گردد. دوگانه سوز نمودن واحدهای گلخانه‌ای توصیه می‌گردد. ایجاد منبع ذخیره سوخت دوم (سوخت مایع) متناسب با شرایط اقلیمی و متراژ گلخانه‌های گاز سوز توصیه می‌شود [۹].

۷.۱ معرفی گزارش حاضر

هدف عمده این گزارش بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت در گلخانه می‌باشد. جهت انجام این کار ابتدا گلخانه‌های موجود در کشور و جهان بررسی شده و سپس با انتخاب یک نمونه گلخانه، برای آن میزان انرژی حرارتی، برودتی و انرژی الکتریکی مورد نیاز محاسبه خواهد شد. در ادامه با انتخاب یک سیستم تولید همزمان برای گلخانه مورد نظر کل انرژی آن تأمین شده و سپس سیستم انتخابی از دیدگاه فنی و اقتصادی آنالیز خواهد شد. سیستم انتخابی باید به گونه‌ای باشد که بتواند بار الکتریکی، بار حرارتی، بار سرمایشی و میزان دی‌اکسید کربن گلخانه را تأمین کند.



شکل ۲۹.۱ شماتیک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت در گلخانه

۲ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پروژه امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP با کاربری در گلخانه‌ها و برای اقلیم‌های مختلف می‌باشد. در فصل اول این پژوهش تقسیم‌بندی گلخانه‌ها بر اساس نوع شرایط آب و هوایی، تولید، سازه و پوشش مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه این فصل اصول فنی در مراحل مختلف احداث گلخانه استخراج گردید. نتایج این بخش برای انتخاب گلخانه مورد بررسی بسیار مهم می‌باشد. در انتهای این فصل به بیان مرتبط‌ترین بخش‌های دستورالعمل و مقررات اجرایی گلخانه‌ها بر اساس نظام گلخانه‌ای کشور پرداخته شد.

منابع و مراجع

- [1] زارعی، ق.، ۲۰۱۷، "چالش‌های سازه‌ای گلخانه‌ها در ایران"، مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(2)، pp. 149-162.
- [2] etojihi, 1396, "Introduction of Greenhouse Structures," <https://etojihi.com/introduction-of-greenhouse-structures/>.
- [3] SepidSazeh, https://sepidsazeh.com/content/index/greenhouse_price.
- [4] شرکت پاکمن، ۱۳۹۲، "طراحی گلخانه"، http://www.packmangroup.com/calendar_item/?&id=63.
- [5] پارس گلخانه، "گلخانه پلاستیکی"، <http://parsgolkhaneh.com/%DA%AF%D9%84%D8%AE%D8%A7%D9%86%D9%87-%D9%BE%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%DB%8C%DA%A9%DB%8C/>.
- [6] شرکت گلخانه سازی گل سبز فرداد میثاق، "گلخانه شیشه‌ای"، <http://golesabzemisagh.ir/?p=1558>.
- [7] شرکت گلخانه سازی گل سبز فرداد میثاق، "گلخانه پلی کربنات"، <https://golesabzemisagh.ir/?p=1554>.
- [8] کاوسی، ب.، ۱۳۹۵، "اصول مدیریت گلخانه (نکات فنی سازه و عوامل محیطی)"، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی فارس.
- [9] معاونت امور باغبانی، ۱۳۹۷، "دستورالعمل و مقررات اجرایی گلخانه‌ها"، وزارت جهاد کشاورزی، ed.