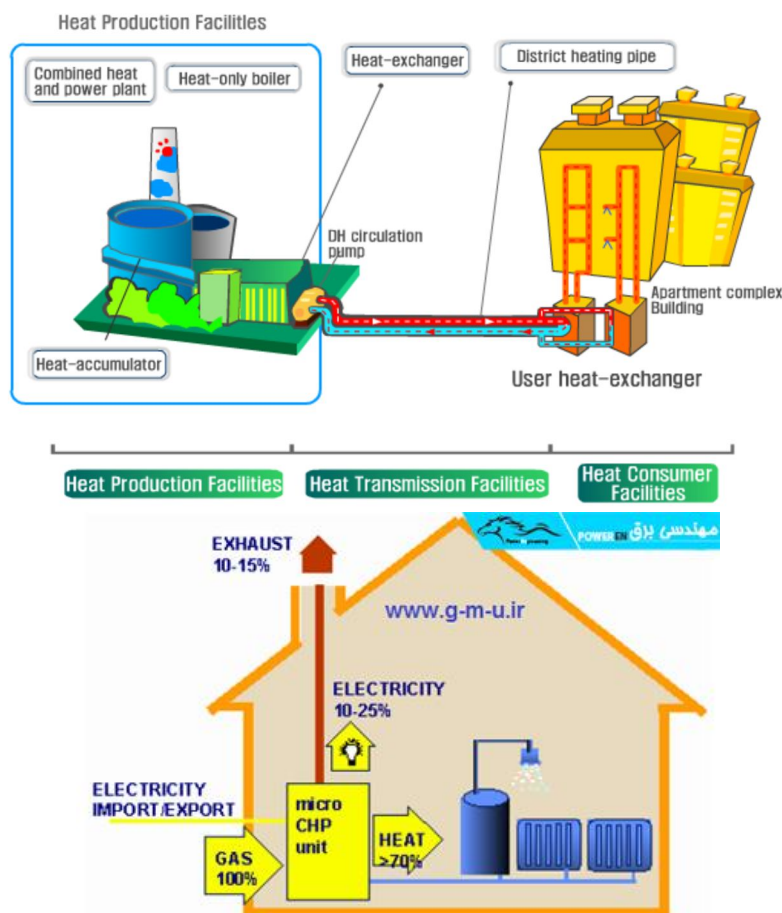


نیروگاههای سیکل ترکیبی CHP

ایمان الیاسیان-دانشجوی دکتری عمران سازه

وقتی که برق یک شبکه به صورت نیروگاه های کوچک در نقاط مختلف کشور تامین شود مزایای بسیاری با خود به همراه دارد، در ابتدا تلفات الکتریکی که در خطوط انتقال اتفاق می افتاد از بین می رود یا بسیار کم می شود سپس قابلیت اطمینان شبکه بالا می رود چون برق از نقاط مختلفی تامین می شود در نتیجه قطعی هم کم تر خواهد شد. پس CHP معمولا در نیروگاه های DG یا تولید پراکنده برای تولید همزمان برق و حرارت در محل مصرف ایجاد می شود. در ادامه چند تصویر برای توضیح بهتر این موضوع می آوریم.



همانطور که در تصویر بالا مشاهده می نمایید یک واحد CHP کوچک با عنوان micro chp unit در خانه وجود دارد، در این مدل از نیروگاه ۱۰ تا ۲۵ درصد از انرژی ورودی به تولید برق اختصاص می یابد، در ادامه ۷۰٪ از انرژی ورودی نیز برای تولید گرما در نظر گرفته می شود، باقی مانده که حدودا ۱۰ تا ۱۵ درصد می باشد برای تلفات استفاده می شود.



واحد CCHP چیست

CCHP مخفف Combined Cooling Heat and Power بوده و به معنای تولید همزمان برق، سرما و حرارت است. به این مدل از سیستم ها که به طور همزمان برق، گرما و سرما تولید می کنند، اصطلاحاً Trigeration یا CCHP گفته می شود. مولد قدرت اولیه در سیستم های CHP، معمولاً؛ موتورهای احتراقی، توربین گازی، میکروتوربین یا پیل سوختی می باشد. کیفیت گرمای خروجی هر یک از این فناوری ها، متفاوت بوده و بسته به کاربردهای مختلف و نیاز گرمایشی، می توان یکی از آنها را به کاربرد. امروزه از نظر هزینه نصب و راه اندازی، موتورهای احتراقی دارای پایین ترین قیمت و سیستم های پیل سوختی با توجه به اینکه هنوز به مرحله تجاری شدن نرسیده اند، بالاترین هزینه را دارند.

مزایای استفاده از سیستم CHP

- بازده نسبتاً خوب
- کاهش هزینه انرژی اولیه برای مصرف کنندگان
- ولتاژ یکنواخت و بدون نوسان و امکان تنظیم فرکانس دلخواه

نیروگاه سیکل ترکیبی (به انگلیسی) Combined cycle power plant: نیروگاهی است که شامل شماری توربین

گاز و توربین بخار می شود. در این گونه نیروگاه، با استفاده از بویلر بازپای، از حرارت موجود در گازهای خروجی از توربین های گاز، برای تولید بخار آب مورد نیاز در توربین های بخار استفاده می شود. اگر توربین گاز به صورت سیکل ترکیبی نباشد، گازهای خروجی آن، که می توانند تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد دما داشته باشند، مستقیماً وارد هوا شده و انرژی باقی مانده در آنها هدر می رود. در حالی که در نیروگاه سیکل ترکیبی، از این انرژی استفاده می شود و بویلر توربین بخار بدون نیاز به سوخت، بخار آب تولید می کند؛ بنابراین، با استفاده از این روش، راندمان (بازده) سیکل افزایش می یابد. نیروگاه های سیکل ترکیبی (Combined cycle power plant) راه حل بسیار کارآمد، انعطاف پذیر، قابل اعتماد، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای تولید برق است. نیروگاه سیکل ترکیبی در واقع ترکیبی از توربین بخار و توربین گازی می باشد به نحوی که ژنراتور توربین گازی برق را تولید می کند، در عین حال انرژی حرارتی تلف شده از توربین گاز (توسط محصولات احتراق) برای تولید بخار مورد نیاز توربین بخار مورد استفاده قرار می گیرد و به این طریق برق اضافی تولید می شود. با ترکیب کردن این دو سیکل بهره بری از نیروگاه افزایش پیدا می کند. بازده الکتریکی از یک چرخه ساده کارخانه نیروگاه برق بدون استفاده از اتلاف گرما به طور معمول راندمانی بین ۲۵ تا ۴۰ درصد دارد، در حالی که همان نیروگاه با سیکل ترکیبی راندمان الکتریکی حدود ۶۰ درصد را دارد. همان طور که گفته شد این نیروگاه ها از ترکیب توربین های بخار و گاز ساخته می شوند و بسته به نوع توربین ها، دیگ های باز یافت گرما، و دستگاه های باز یابی انواع متعددی دارند. با به کار گیری توربین های بخار در چرخه های ترکیبی می توان پایین بودن بازده آن را بر طرف کرد و در نتیجه آن را برای تأمین بار پایه به کار گرفت، در عین حال از مزایای دیگر آن نیز مانند راه اندازی سریع و انعطاف پذیری آن در محدوده گسترده ای از بار بهره مند شد. به صورت تئوریک، انرژی قابل باز یابی از اگزوز توربین های گازی حدود نصف انرژی تولید شده توسط خود توربین گاز است؛ بنابراین، توان توربین بخار حدود نصف توربین گاز خواهد بود. در برخی از طراحی ها، دو توربین گاز، انرژی مورد نیاز برای یک توربین بخار را ایجاد می کنند و در نتیجه، توان تولیدی توربین های بخار در حدود توربین های گاز می شود.

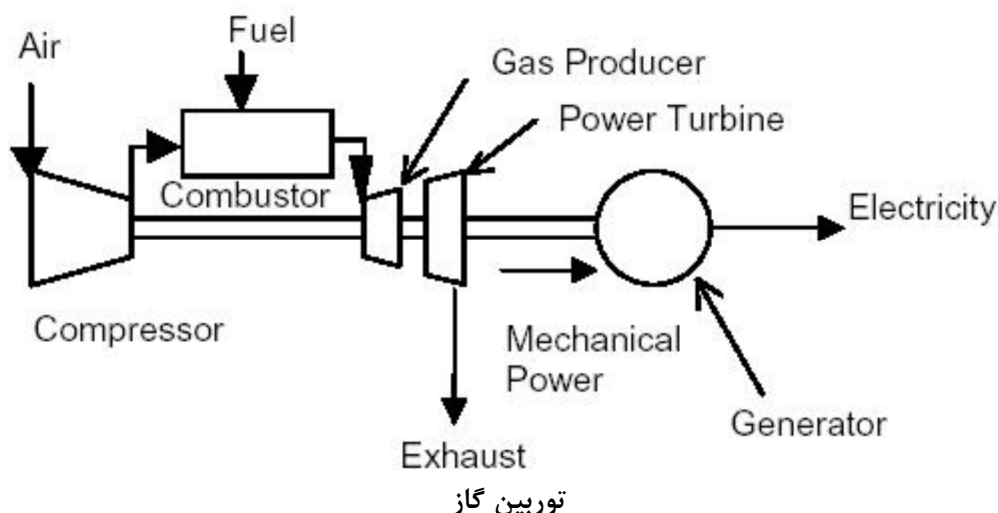
در ابتدا مهمترین سیستم های مولد تولید پراکنده برق مورد بررسی قرار می دهیم که مشتمل بر سه سیستم عبارتند از:

1-توربین های گازی 2-موتورهای پیستونی 3-میکرو توربین ها

توربین های گازی

توربین های گاز در اوایل سال های 1900 میلادی با توجه به پیشرفتهای مهندسی پایه گذاری شد و در اواخر سالهای 1930 میلادی نیز استفاده از این توربین ها به منظور تولید توان آغاز گردید . به دلیل استفاده از توربین های گازی در صنایع دفاعی و هوایی، پیشرفت های زیادی در این زمینه حاصل شده، به طوریکه بازده توربین های گاز به بیش از توربین های بخار رسیده و استفاده از آنها افزایش یافته است . توربین های گازی در اندازه های مختلف از چند صد کیلووات تا چند صد مگاوات موجود می باشند . این توربین ها حرارتی با کیفیت بالا (دمای بالا) تولید می نماید که می تواند برای

گرمایش ناحیه ای یا صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ممکن است این حرارت بازیافت شود تا باعث بهبود بازدهی گردد و یا از آن برای تولید بخار استفاده شود و بخار حاصل در یک سیکل ترکیبی توربین بخار را به حرکت درآورد. کم بودن هزینه نگهداری و بالا بودن کیفیت حرارتاغلب باعث می شود، توربین گازی انتخاب مناسبی برای بسیاری از CHP های صنعتی و تجاری بزرگتر از 1 مگاوات باشد طرح واره ای از یک مجموعه CHP. بر پایه توربین گاز در شکل یک نشان داده شده است



توربین های گازی ممکن است به صورتهای مختلفی مورد استفاده قرار گیرند:

- 1) عملکرد در چرخه ساده ای که از یک توربین گاز تشکیل می شود و تنها برق تولید می کند. وضعیت فعلی در صنعت برق کشور نیز از همین نوع است که از توربین گاز فقط برای تولید برق استفاده میشود.
- 2) عملکرد در CHP که از یک چرخه ساده توربین گاز به همراه یک مبدل بازیافت حرارتی که علاوه بر تولید برق انرژی یک حرارتی گازهای خروجی را به آبگرم یا بخار تبدیل می نماید و این وضعیتی است که ما آنرا در این تحقیق برای استفاده درآینده مورد بررسی قرار میدهم.
- 3) عملکرد در چرخه ترکیبی که در آن با استفاده از حرارت گازهای خروجی توربین، بخار پر فشار تولید می گردد و از آن در یک توربین بخار، به منظور تولید توان بیشتر استفاده می شود. در برخی از چرخه های ترکیبی از مراحل میانی بخار برداشت می گردد استفاده میشود CHP. که از آن در فرآیندهای صنعتی و مجموعه های چرخه های ساده توربین گازی که تنها برای تولید برق مورد استفاده قرار می گیرند دارای بازدهی نزدیک به 35 درصد (بر اساس ارزش حرارتی خالص) هستند. توربین های گازی به طور گسترده در نیروگاهها برای تأمین توان در زمانهای اوج مصرف مورد استفاده قرار گرفته اند.

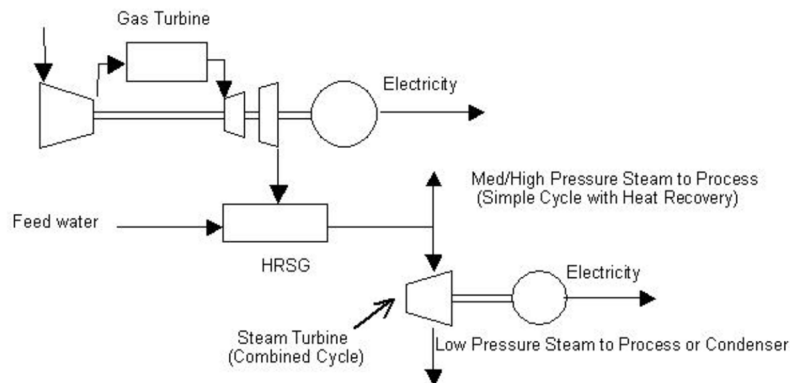
در اوایل سالهای 1980، بازدهی و قابلیت اطمینان توربین های گازی کوچک (1 تا 40 مگاواتی) (به مقادیری رسیدند که برای صنعتی بزرگ مناسب شناخته شدند. توربین های گازی حرارت خروجی با کیفیت بالا تولید می نمایند CHP کاربرد در سیستم های بازدهی کل) برق و انرژی مفید (به 60 تا 80 درصد می رسد CHP. که با استفاده در سیستمهای در گاز خروجی آنها بسیار کم است. بدلیل NOx توربین های گازی از کم آلاینده ترین تجهیزات تولید توان می باشد که مقدار بر واحد کیلووات ساعت که در توربین CO بازدهی بالا و استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت اولیه، مقدار دی اکسید کربن 2 های گازی تولید می شود کمتر از دیگر فن آوریهای فسیلی مورد استفاده میباشد.

انواع توربین گاز

یکی از انواع توربین گاز توربین های ایرودریوتیو 1 می باشند که بازدهی حرارتی بالایی دارند، اما قیمت آنها نیز نسبتاً زیاد می باشد. معمولاً حداکثر ظرفیت این توربین ها 40 تا 50 مگاوات است. با توسعه سیستم های پیشرفته، توربین های ایرودریوتیو بزرگ) بزرگتر از 40 مگاوات (بازدهی حدود 40 درصد ایجاد می کنند.

توربین های گازی صنعتی یا فریم 2 نوع دیگر توربین های گاز هستند که تنها برای تولید مورد استفاده قرار می گیرند و در ظرفیتهای یک تا 250 مگاوات موجود می باشند. معمولاً این نوع توربین ها ارزانه تر از توربینهای ائرودریوتیو هستند، فاصله بین تعمیر کلی آنها بیشتر است و از آنها بیشتر در تولید برق استفاده می شود، اما وزن آنها بیشتر و بازدهی آنها کمتر از نوع دیگر توربین گاز است. توربین های صنعتی بزرگ (بزرگتر از 100 مگاوات) (در چرخه ای ساده بازدهی حدود 35 درصد ایجاد می نمایند. در صناعی همچون صنایع شیمیایی، پالایشی، کاغذ، فولاد و مراکز تجاری بزرگ توربین ها برای تولید همزمان برق و حرارت به منظور استفاده در محل مصرف مورد استفاده قرار می گیرند.

بازیافت حرارت

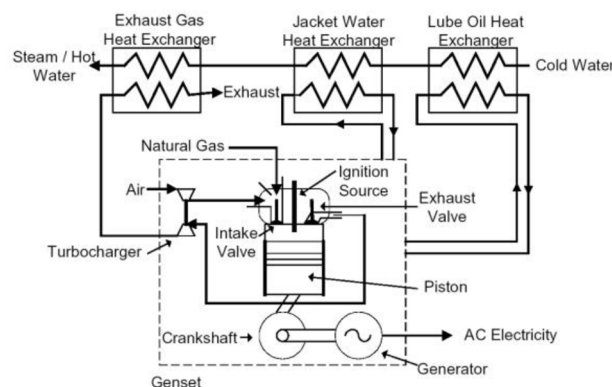


CHP بازیافت سیستم

تابعی از مقدار انرژی بازیافت شده از خروجی سیستم می باشد. مهمترین فاکتورهای مؤثر بر روی CHP بازیافتی کل سیستم مقدار انرژی قابل دسترس برای تولید بخار، دمای گاز خروجی از توربین و دمای دود خروجی از دودکش مولد بخار بازیافت حرارت می باشد. دمای ورودی به توربین و نسبت فشار، تعیین کننده دمای خروجی از توربین گاز هستند. معمولاً توربین های گاز ائرودریوتیو دمای ورودی بالاتری نسبت به توربین های گاز صنعتی دارند، اما با توجه به بالاتر بودن نسبت فشار در این نوع توربین ها، دمای گاز خروجی از هر دو نوع توربین تقریباً مشابه می باشد و محدوده آن 850 تا 950 درجه فارنهایت است.

موتورهای پیستونی

موتورهای احتراق داخلی پیستونی امروزه از فن آوریهای شناخته شده هستند. در آمریکای شمالی در هر سال بیش از 35 میلیون واحد از این موتورها برای استفاده در تولید برق و قدرت، اتومبیل ها، کامیونها، تجهیزات ساختمان سازی و معدن، پیشران زیر دریایی ها و غیره تولید می شوند. انواع موتورهای ساکن برای تولید بازده گسترده ای از توان برای نیازهای بازار از جمله تأمین برق شبکه، برق اضطراری و همچنین برای تولید همزمان برق و حرارت در دسترس می باشند. بازده ظرفیت موتورهای پیستونی مورد استفاده در تولید توان از چندین کیلووات تا بیش از 7 مگاوات می باشد. شماتیکی از موتورهای پیستونی مورد استفاده در سیستم CHP در شکل زیر نشان داده شده است.



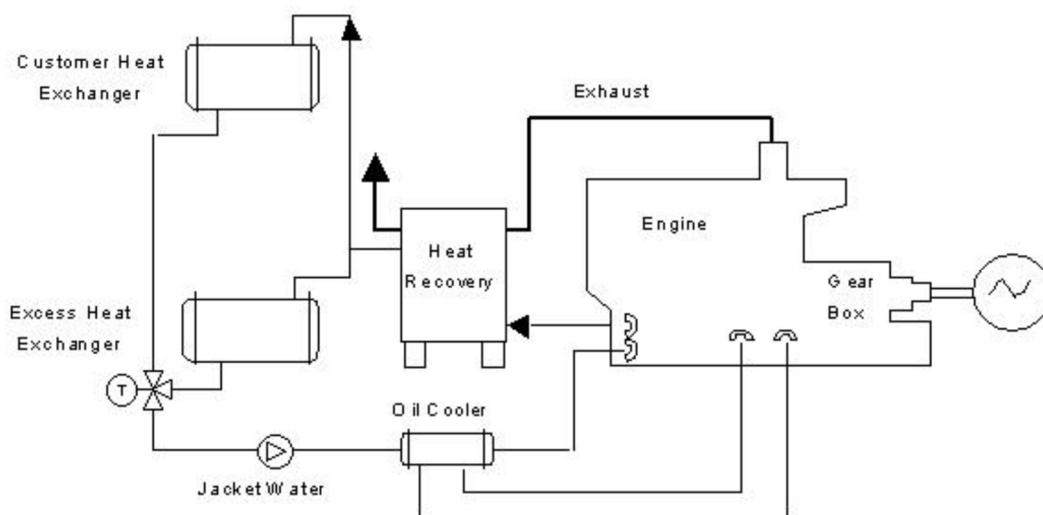
سیستم موتور پیستونی

موتورهای پیستونی مورد استفاده برای تولید قدرت ساکن در حالت نصب شده و ثابت و نه در اتومبیلها و متحرک به دو گروه احتراق جرقه ای با سیکل اتو و احتراق تراکمی با سیکل دیزل تقسیم می شوند. اجزای مکانیکی اصلی سیکل اتو و سیکل دیزل یکسان می باشند. هر دو از یک عنصر احتراق استوانه ای استفاده می نمایند که پیستونی در طول آن حرکت می کند. پیستون به میل لنگی متصل است که حرکت خطی پیستون را به حرکت چرخشی تبدیل مینماید.

سیکل کاری دو زمانه یا چهار زمانه (و استفاده یا عدم استفاده از توربوشارژر در rpm) موتورهای براساس سرعت میل لنگ آنها تقسیم بندی می گردند. مدلهای زیادی از انواع این موتورها در وسایل نقلیه و برای تولید برق و حرارت و چیلرها استفاده می شوند.

موتورهای چهارزمانه دیزل و احتراق جرقه ای که برای تولید قدرت بکار می روند، هر دو طی چهار مرحله زیر یک سیکل تولید قدرت را تکمیل می کنند:

- 1- مکش: مکش هوا (یا مخلوط هوا و سوخت) احتراق جرقه ای (به داخل سیلندر
- 2- تراکم: تراکم کردن هوا یا مخلوط هوا و سوخت در سیلندر
- 3- قدرت: ایجاد شتاب در پیستون در اثر انبساط گازهای داغ و پرفشار
- 4- تخلیه: خروج محصولات احتراق از محفظه خروجی سیلندر

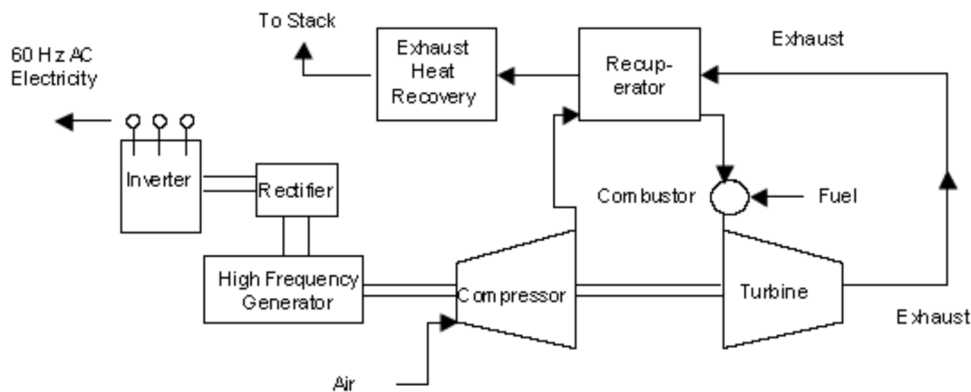


بازیافت حرارت در سیستم بسته

میکروتوربین ها

میکروتوربینها مولدهای کوچک برق هستند که سوخت گازی یا مایع می سوزانند و یک ژنراتور الکتریکی را با سرعت بالا به چرخش در می آورند. تست میکروتوربینها از سال 1997 آغاز گردید و در سال 2000 به صورت تجاری، سرویسدهی اولیه این فناوری شروع شد. متأسفانه هنوز این سیستم در ایران مورد استفاده قرار نگرفته است.

دامنه تولید توان توسط میکروتوربینهای موجود و در حال توسعه، از 30 تا 500 کیلووات می باشد، در حالیکه توان تولیدی توربینهای گازی سنتی از 500 کیلووات تا 350 مگاوات می باشد. میکروتوربینها در سرعتهای بالا عمل می کنند و همانند مورد استفاده قرار می گیرند CHP. توربین های گازی می توانند تنها در تولید قدرت به کار روند و یا در سیکلهای ترکیبی میکروتوربینها، با سوختهای گوناگونی می توانند کار کنند که شامل گاز طبیعی، گاز ترش) دارای گوگرد بالا (، و سوختهای مایع همانند بنزین، نفت و گازوئیل است و در کاربردهای منابع بازیافت، گازهای اتلافی را که قبلاً به اتمسفر رها می شدند، می سوزانند



CHP با میکروتوربین

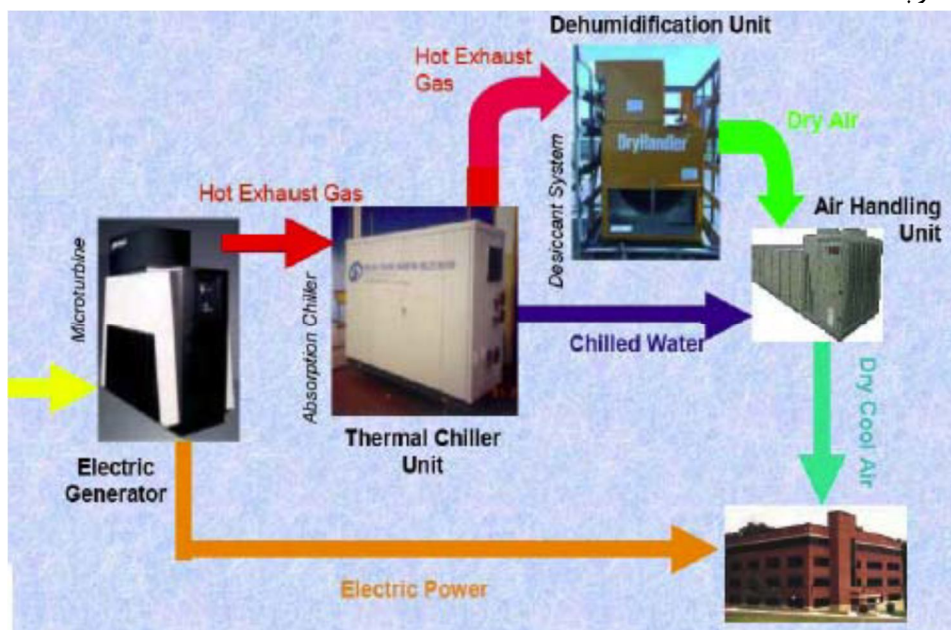
۱- پیک سایی و تأمین توان بار پایه

۲- تولید همزمان برق و حرارت

۳- تولید تنها برق

۴- تولید برق پشتیبانی و اضطراری

۵- شبکه های کوچک



روند تولید همزمان برق و حرارت در سائز کوچک برای استفاده برای واحد های مسکونی

نیروگاه تولید همزمان بر پایه سیکل بخار با توربینهای زیرکش دار ۵ و توربینهای پس فشاری

نیروگاه تولید همزمان برپایه توربین گازی

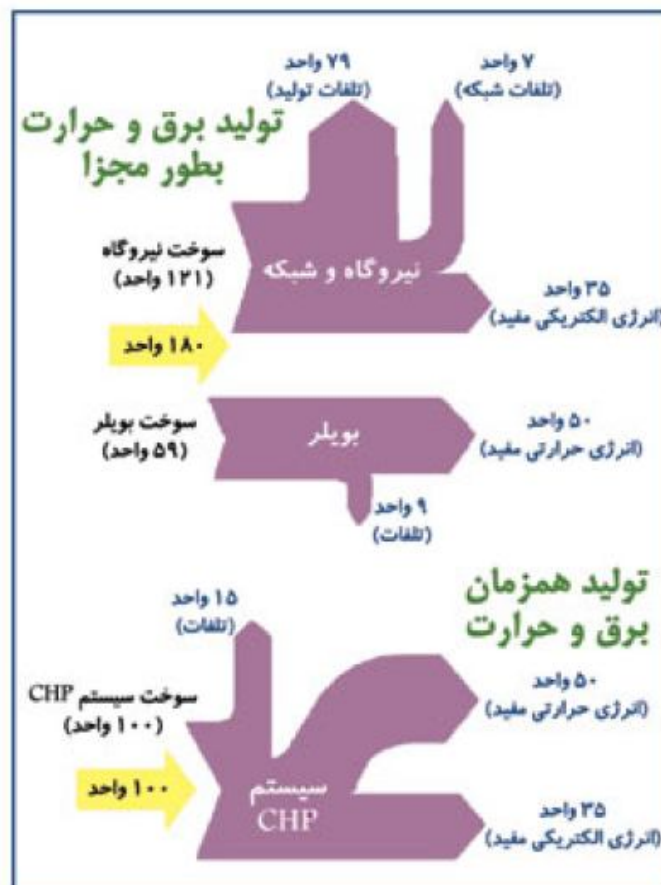
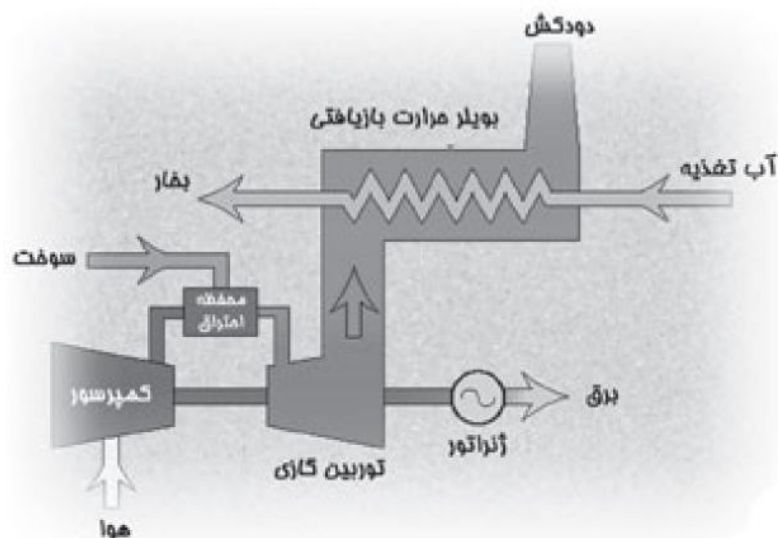
نیروگاه تولید همزمان برپایه سیکل ترکیبی گاز و بخار

نیروگاه تولید همزمان برپایه موتورهای رفت و برگشتی (احتراق داخلی و خارجی)

نیروگاه تولید همزمان بر مبنای حرارت مرکزی زمین

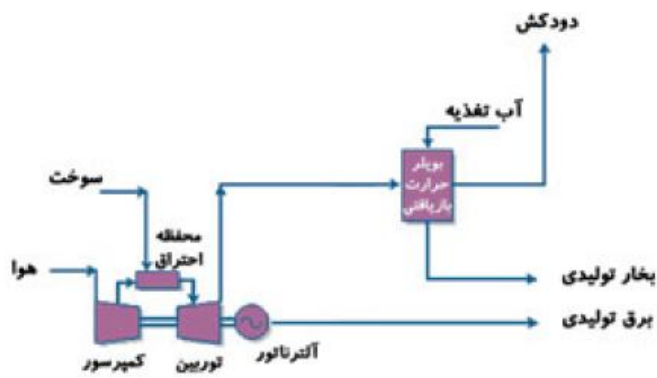
نیروگاه تولید همزمان بر پایه میکروتوربین

نیروگاه تولید همزمان بر پایه پیل های سوختی

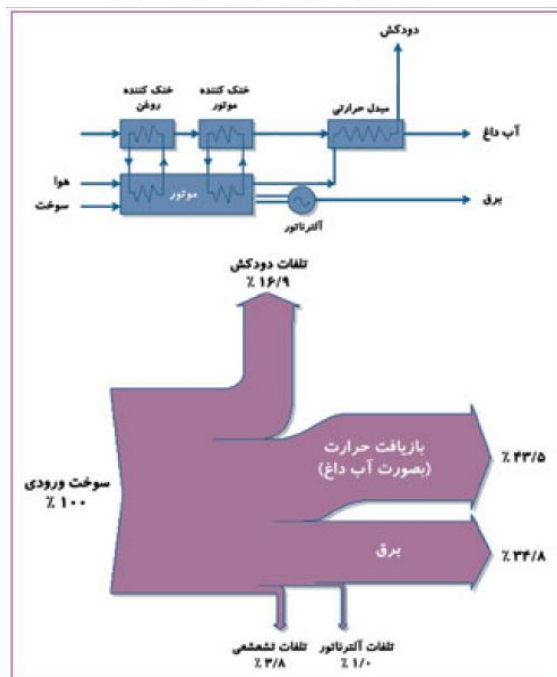
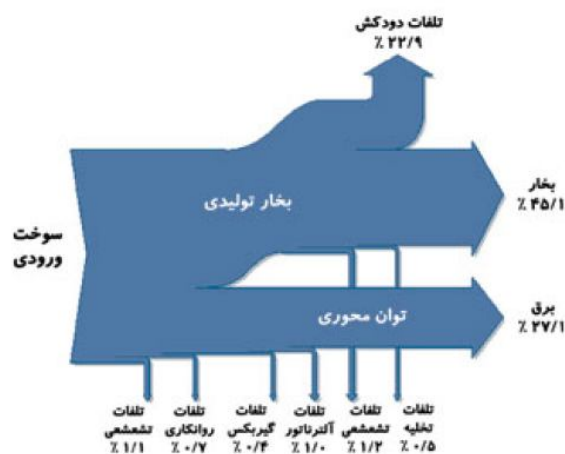


بررسی و تحلیل استفاده از تولید همزمان برق و حرارت بر اساس سه روش زیر قابل انجام است:

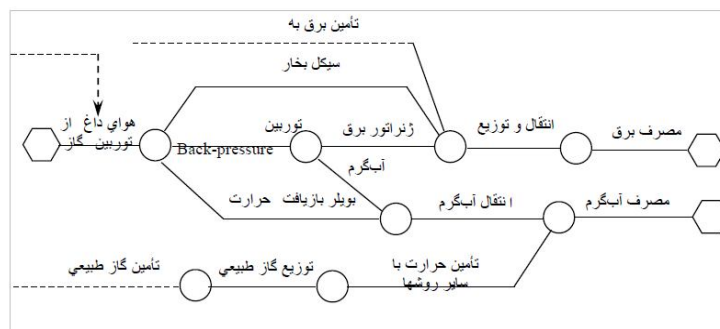
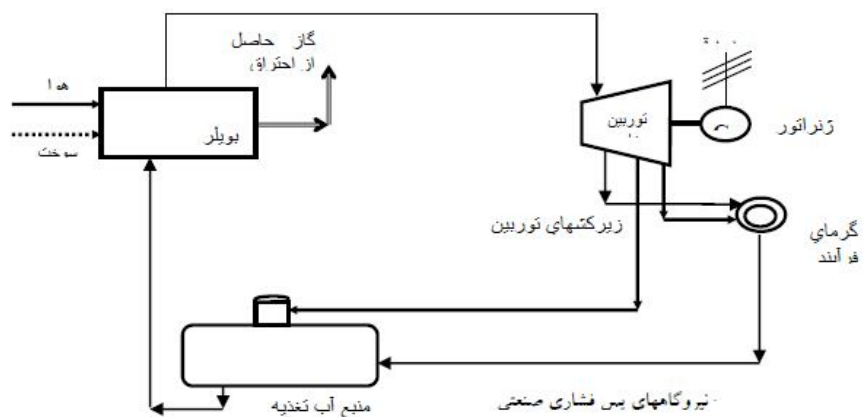
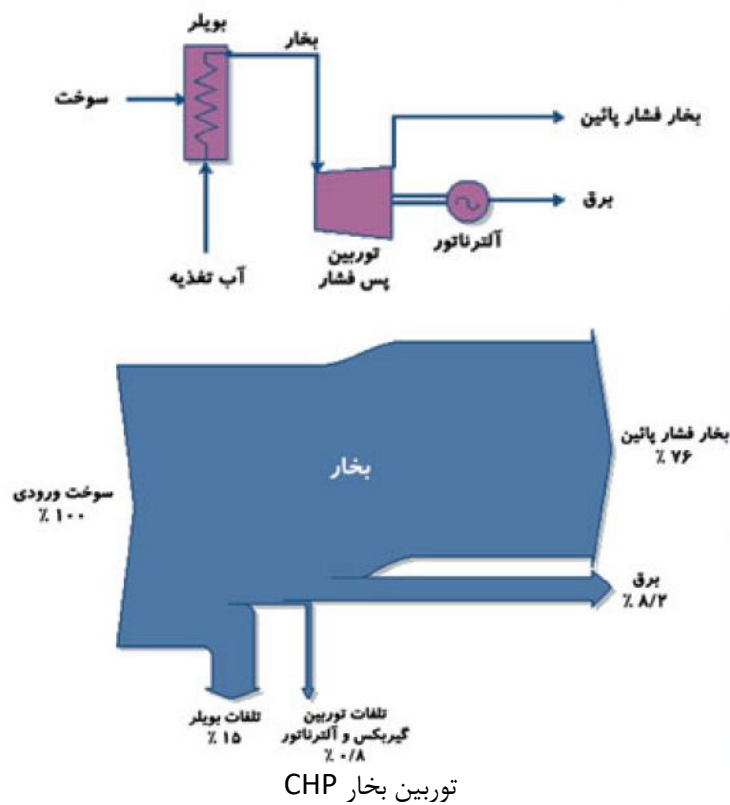
- 1 - برنامه ریزی با محوریت تأمین حرارت مورد نیاز (Heat - oriented)
- 2 - برنامه ریزی با محوریت تأمین برق مورد نیاز (Power - oriented)
- 3 - برنامه ریزی با محوریت حداقل سازی هزینه کل سیستم عرضه انرژی (Cost-oriented)



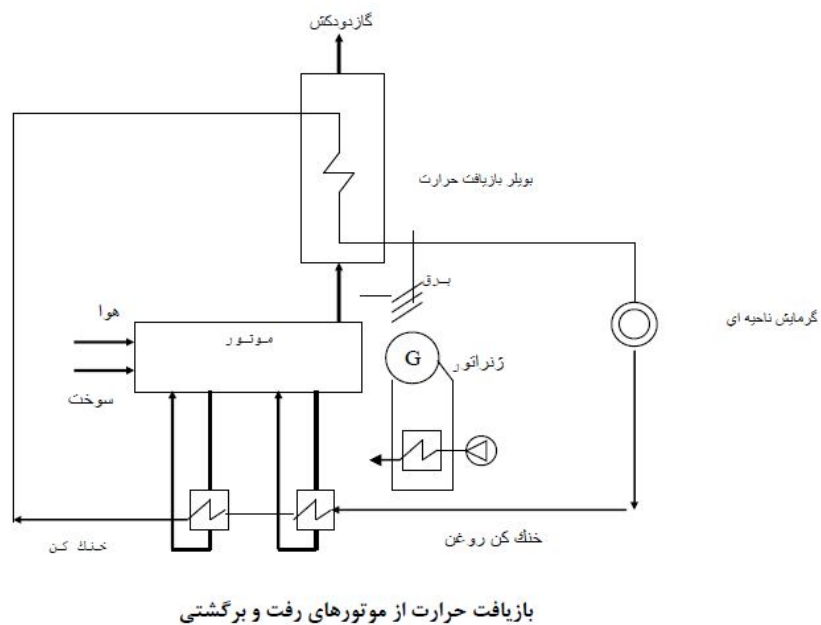
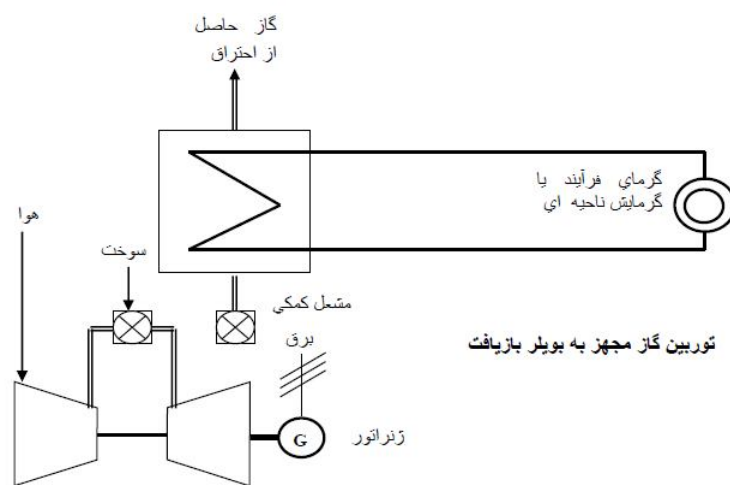
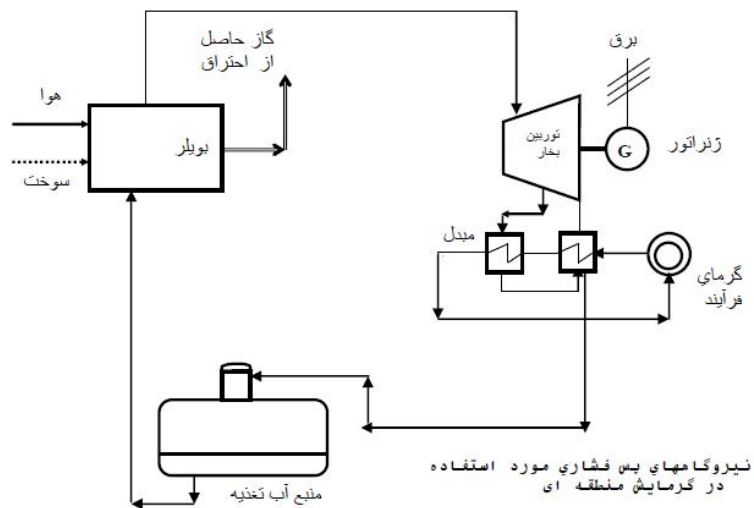
توربین گازی CHP



موتورگشتی CHP



مدل شبکه انرژی تولید همزمان برق و حرارت

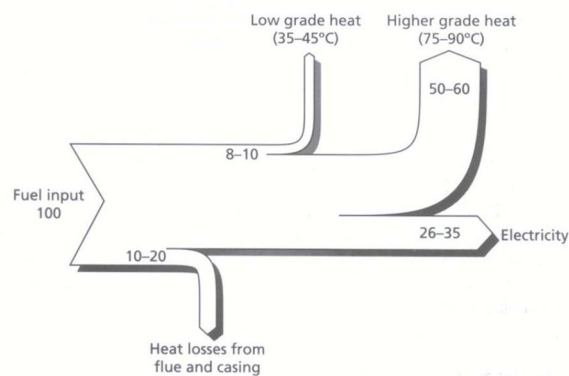
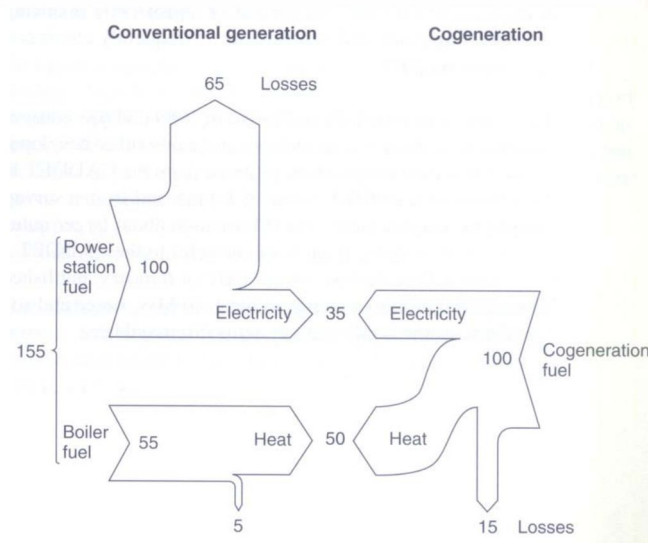
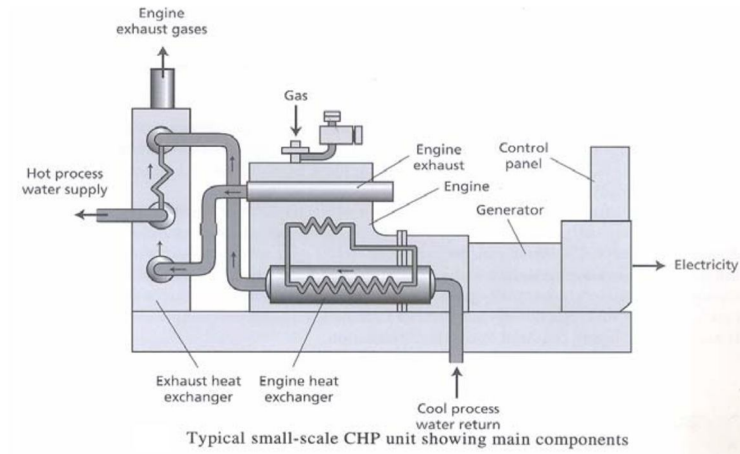


-بازیافت از توربینهای زیرکشی دار (Extraction condensing)

-بازیافت از توربینهای پس فشاری (Back – Pressure)

-بازیافت حرارت از توربین های گازی (Gas turbine heat recovery)

بازیافت از سیکل ترکیبی (Combined Cycle)
 بازیافت از موتورهای رفت و برگشتی (Reciprocating Engines)



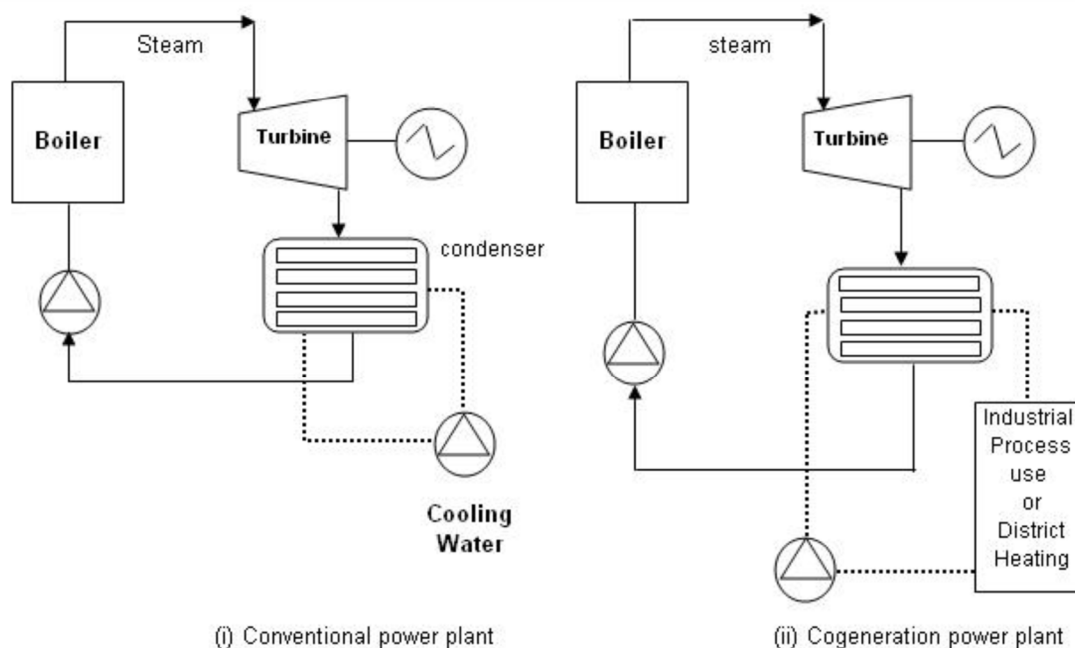
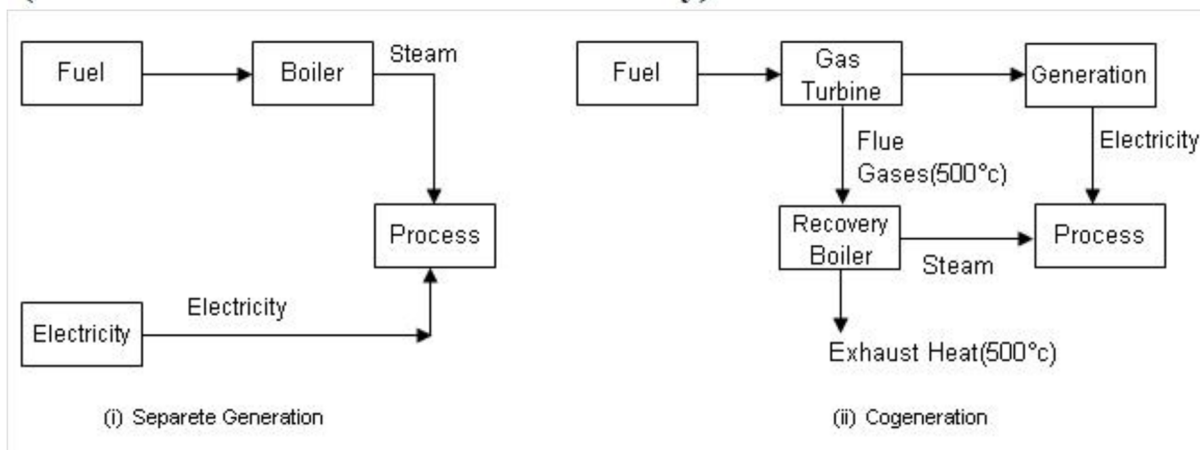
Larg-Scale CHP	> 1 Mwe
Small-Scale CHP	> 1 Mwe
Mini-Scale CHP	> 30 Mwe

۱- گرمایش ناحیه یا بخش خاص (تجاری، مسکونی) (CHP/DH)

(Combined Heat and Power / District Heating)

۲- استفاده در صنعت جهت فرآیندها (CHP/IND)

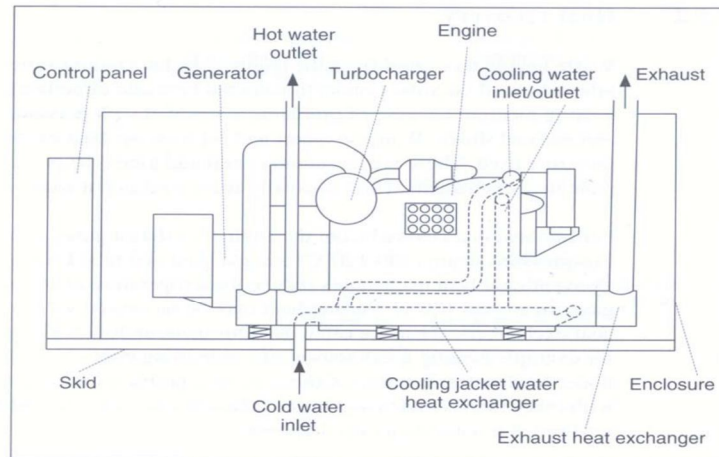
(Combined Heat and Power / for Industry)



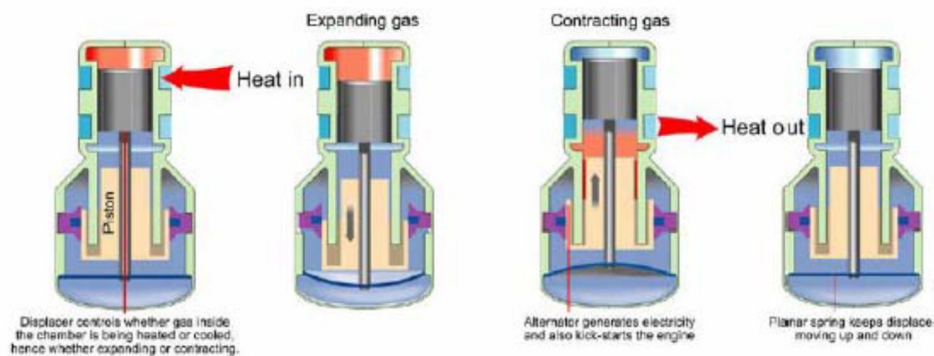
مزایای تولید مشترک

- مصرف انرژی اولیه کمتر
- کاهش هزینه انرژی
- عدم اتلاف انتقال و توزیع
- کاهش مسئولیت دولت جهت ساخت نیروگاه و حتی فروش برق به شبکه
- کاهش آلودگی های زیست محیطی

- موتور صنعتی (Industrial Engine)
- موتور خودرو (Automotive Derived Engine)
- موتور دیزل (Diesel Engine)
- موتور گازی (Gas Engine)
- موتور استرلینگ (Stirling Engine)



Typical packaged cogeneration system with a turbo-charged gas engine.



سپیکل موتور استرلینگ

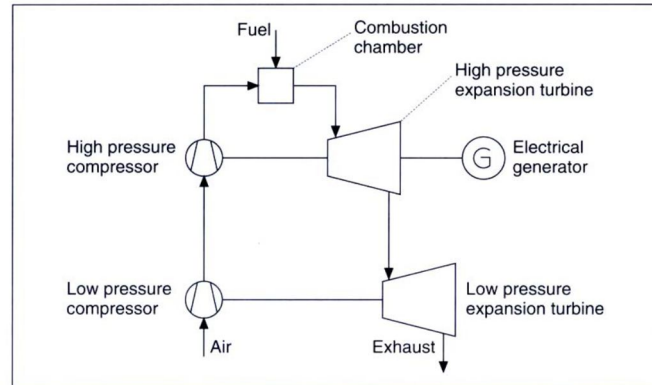
ویژگی های موتور استرلینگ عبارتند از:

- امکان استفاده از سوخت های متنوع از جمله بیوگاز
- آلایندگی کم
- نیاز اندک به تعمیر و نگهداری
- تولید صدای کم در هنگام کار

- آب خنک کن پوسته موتور
- سیستم روغنکاری
- گازهای خروجی از موتور

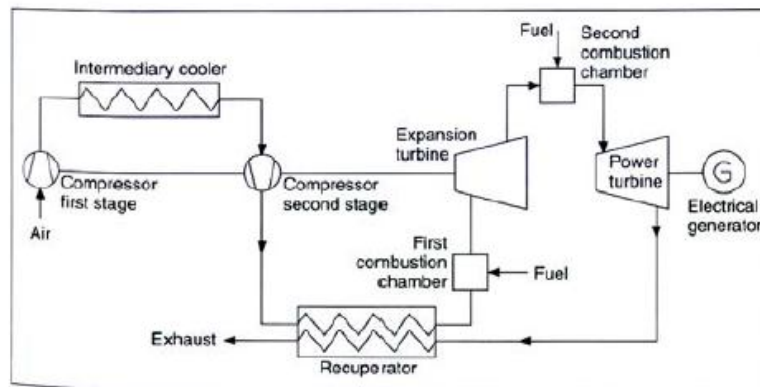
Heat recovery sources for a turbo-charged gas engine.

	Source temperature (°C)	Recovered heat temperature (°C)	Recovered heat as % of fuel input
Water and oil cooling	95	85-90	30
Exhaust	550	100-120	25
Exhaust - latent heat	120	35-40	8



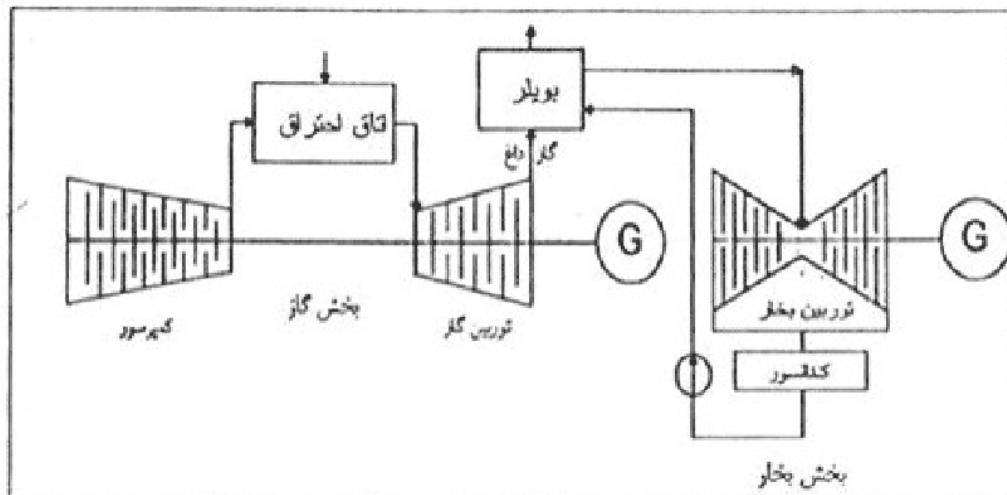
The Opra turbine cycle.

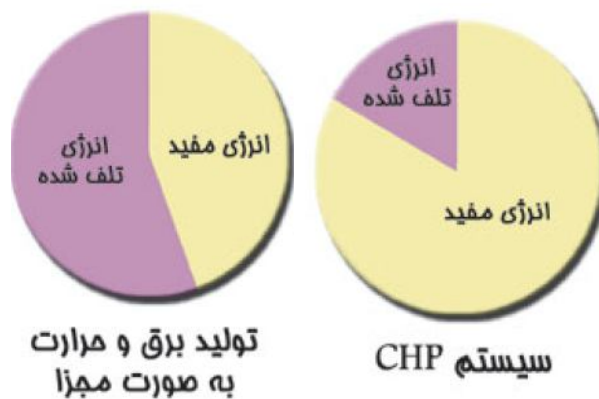
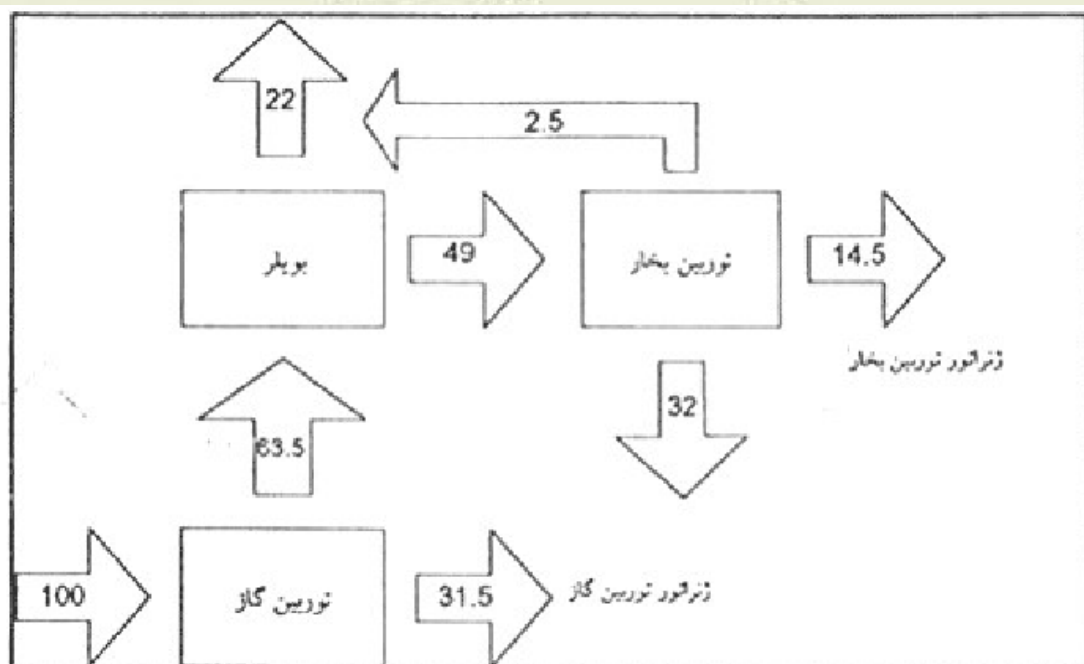
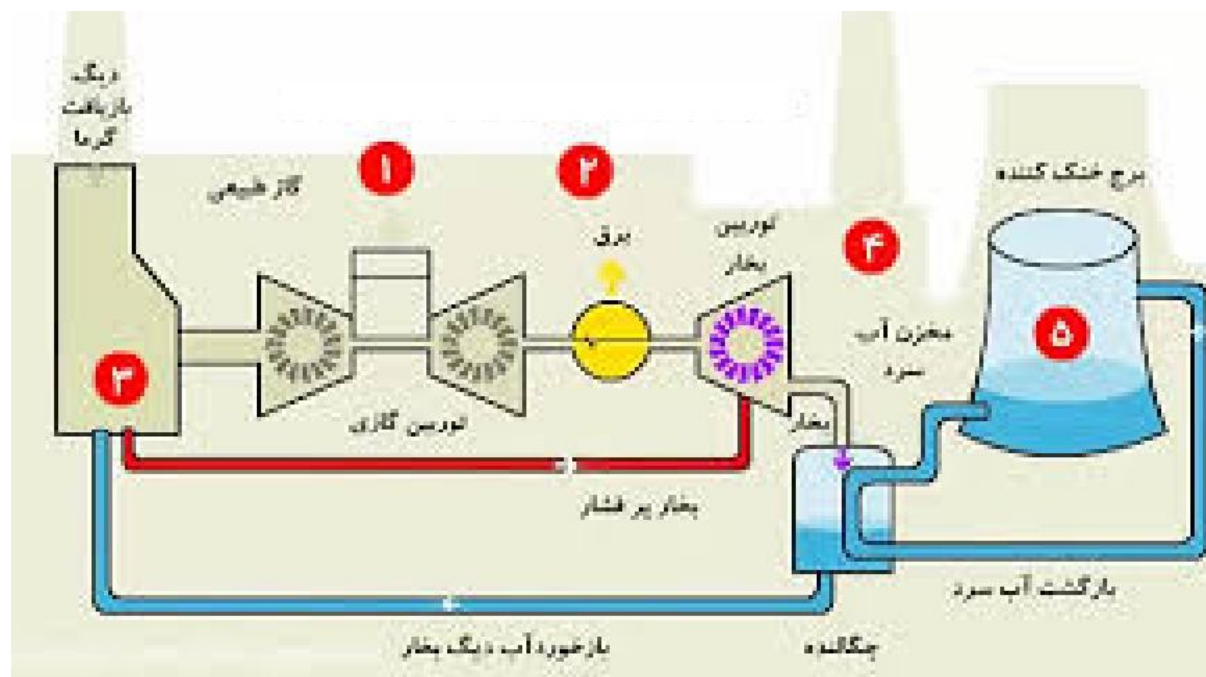
سیکل توربین Opra



The Heron turbine cycle.

سیکل توربین Heron





مقدمه ای بر سیستم های تولید مشترک برق و حرارت (CHP) کاری از وزارت نیرو (سازمان بهره‌وری انرژی ایران - سابا)