جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

مستندات پروژه‌های بهره‌ور CHP

(سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما)

نشریه شماره ۶۲۷

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

Nezamfanni.ir

۱۳۹۲
omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

Email: info@nezamfanni.ir **web: Nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

معاونت نظارت راهبردی در راستای وظایف و مسولیتهای قانونی، بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ ه هیات محترم وزیران) و به منظور ایجاد هماهنگی و یکنواختی در برنامه ریزی و اجرای پروژه‌های صنعت برق با تشکیل گروهی از کارشناسان ذیصلاح در امور نظام فنی اقدام به تدوین ضوابط اجرای پروژه‌های این بخش از فعالیت‌های عمرانی کشور نمود.

در سالهای اخیر واحدهای تولید پراکنده (DG Units) به دلیل مزایایی مانند کاهش تلفات سیستم توزیع(که بالغ بر ۲۰٪ کل ظرفیت توان نصب شده کشور می‌باشد)، آزاد سازی ظرفیت خطوط انتقال، ناچیز بودن هزینه‌های بهره‌برداری، کمک به پایداری شبکه، افزایش رزرو گردان در شبکه قدرت و ... بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهمترین تکنولوژی‌های موجود در این زمینه سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما می‌باشد. اساس کار در این سیستم‌ها مبتنی بر بکارگیری و استفاده از تلفات حرارتی منبع محلی تامین توان به منظور استفاده در سیستم های گرمایشی می‌باشد. در حالت عادی بازدهی سیستم‌های تولید برق، کمتر از ۵۰٪ می‌باشد که با بکارگیری ایده سیستم CHP این مقدار تا بیشتر از ۹۶٪ قابل افزایش است. بهمین دلیل در حال حاضر بسیار مورد استقبال در کشورهای مختلف قرار گرفته است. در ایران نیز چند سالی است که وزارت نیرو با در نظر گرفتن مشوق‌های مختلف تلاش بسیار زیادی در توسعه سیستم‌های CHP داشته است و در مناطق مختلف تصمیم بر به بکارگیری این نیروگاههای کوچک و محلی گرفته است.

با توجه به اهمیت مبحث فوق و به منظور ترویج استفاده از این سامانه‌ها و همچنین تهیه ملاک و ضوابط استفاده از سیستم‌های همزمان تولید برق و گرما (CHP)، امورنظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در فاز اول، انجام پروژه «مستندات پروژه‌های بهره‌ور CHP (سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما)» را در دستورکار قرارداد.

به این‌وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و نماینده مجری محترم و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزدمنان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

زمستان ۱۳۹۲

omoorepeyman.ir

تهیه و کنترل« مستندات پروژه‌های بهره‌ور CHP (سیستم‌های همزمان برق و گرما) » [نشریه شماره ۶۲۷]

مجری: شرکت مهندسین مشاور راه انرژی دنیا

اعضای گروه تهیه‌کننده:

مجتبی نوروزیان	دکترای مهندسی برق
سید بابک مظفری	دکترای مهندسی برق
محمد کریمی	فوق‌لیسانس مهندسی مکانیک

اعضای گروه مدیریت و راهبری:

فرید آدابی	کارشناس امور نظام فنی

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول - کلیات سیستم‌های CHP

۱-۱- سیستم‌های CHP ۴

۱-۲- موارد کاربرد تولید مشترک برق و حرارت ۶

فصل دوم - طبقه بندی سیستم‌های CHP

۲-۱- کلیات تقسیم بندی ۸

۲-۲- تقسیم بندی از دیدگاه مصرف انرژی ۸

۲-۲-۱- چرخه‌ی صعودی ۸

۲-۲-۲- چرخه‌ی نزولی ۹

۲-۳- تقسیم بندی بر حسب تکنولوژی محرک‌ها ۹

۲-۳-۱- توربین بخار ۱۰

۲-۳-۲- توربین گاز ۱۲

۲-۳-۳- میکروتوربین ۱۴

۲-۳-۴- موتورهای رفت و برگشتی (پیستونی) ۱۶

۲-۳-۵- پیل سوختی ۲۱

۲-۴- ظرفیت، کاربری، حوزه نفوذ پروژه و محل جغرافیایی اجرای پروژه ۲۳

فصل سوم - پردازش و تحلیل سیستم‌های CHP

۳-۱- تحلیل عملکرد و بازدهی ۲۶

۳-۲- تحلیل اقتصادی ۲۹

۳-۲-۱- هزینه‌ها و درآمدها ۲۹

۳-۲-۲- سود پروژه ۳۲

۳-۲-۳- قیمت تمام شده هر واحد انرژی ۳۲

۳-۲-۴- صرفه جویی در هر واحد محصول ۳۳

۳-۲-۵- مثال ۳۳

omoorepeyman.ir

فصل چهارم – پروژه‌های انجام شده CHP در کشور

۴-۱- پروژه شماره ۱ ..... ۳۶
۴-۲- پروژه شماره ۲ ..... ۴۴
۴-۳- پروژه شماره ۳ ..... ۵۰
۴-۴- پروژه شماره ۴ ..... ۵۷
۴-۵- پروژه شماره ۵ ..... ۶۴
۴-۶- پروژه شماره ۶ ..... ۷۰
۴-۷- پروژه شماره ۷ ..... ۷۶
۴-۸- پروژه شماره ۸ ..... ۸۳
۴-۹- پروژه شماره ۹ ..... ۸۸
۴-۱۰- پروژه شماره ۱۰ ..... ۹۳
۴-۱۱- پروژه شماره ۱۱ ..... ۹۹

فصل پنجم – پردازش و تحلیل آماری پروژه‌ها

۵-۱- طبقه بندی تکنولوژیک پروژه‌ها ۱۰۶
۵-۲- طبقه بندی بر اساس ظرفیت و حوزه نفوذ پروژه ۱۰۷
۵-۳- طبقه بندی بر اساس کاربری ۱۰۸
۵-۴- طبقه بندی بر اساس محل جغرافیایی اجرای پروژه ۱۰۹
۵-۵- تحلیل عملکرد ۱۱۰
۵-۶- تحلیل هزینه‌های سرمایه گذاری و تعمیر و نگهداری و ارائه قیمت تمام شده هر واحد انرژی ۱۱۱
۵-۷- میزان صرفه جویی در هر واحد محصول ۱۱۲

فصل ششم – جمع بندی

۶-۱- شناسایی و تحلیل حساسیت عوامل و نقاط ضعف و قوت برای هر یک از پروژه‌ها ۱۱۴
۶-۱-۱- نقاط قوت ۱۱۴
۶-۱-۲- نقاط ضعف ۱۱۵
۶-۱-۳- حساسیت سوددهی ۱۱۵
۶-۲- گزارش نهایی ۱۲۰
۶-۳- ارائه راهکار و پیشنهاد جهت پیاده سازی ۱۲۲

منابع و مراجع ۱۳۳

omoorepeyman.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر تولید کنندگان و مصرف کنندگان همواره به دنبال کاهش هزینه‌های مرتبط با انرژی بوده‌اند، رغبت به استفاده از تکنولوژی‌های تولید ترکیبی نیروی الکتریکی و حرارت افزایش یافته است. سیستم CHP[1] یا تولید همزمان قدرت و حرارت، نوعی تولید همزمان انرژی مکانیکی و حرارتی با استفاده از یک منبع سوخت در یک سیستم واحد می‌باشد، که انرژی مکانیکی آن عموماً بوسیله ژنراتور به برق تبدیل می‌شود و اتلاف حرارت در بخش مکانیکی آن مستقیماً مورد استفاده قرار می‌گیرد، که جهت تولید آب گرم، بخار، هوای داغ و یا کاربردهای دیگر بازیافت می‌شود.

مهمترین مزیت استفاده از سیستم‌های CHP نسبت به سیستم‌های تولید جداگانه حرارت و استفاده از برق شبکه برای خود استفاده کننده به شرح زیر است؛

- افزایش راندمان و کاهش قیمت انرژی مصرفی
- دوره‌ی احداث کوتاه با قابلیت انتقال
- در اختیار داشتن منبع تأمین انرژی با ضریب حفاظتی بالا (پدافند غیر عامل)
- افزایش قابلیت اطمینان
- کاهش اثر نوسانات شبکه
- کاهش نگرانی‌های ناشی از نوسانات قیمت برق
- منبع جدید کسب درآمد با فروش مازاد انرژی مصرفی
- بهبود کیفیت توان

همچنین مزیت استفاده از سیستم CHP از دیدگاه ملی شامل موارد زیر می‌باشد؛

- حذف تلفات انتقال و کاهش تلفات توزیع برق در قیاس با نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز
- جلوگیری از افزایش ظرفیت شبکه
- کاهش مصرف سوخت
- کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی
- عدم نیاز به سرمایه گذاری زیاد و امکان جذب مشارکت عمومی و سرمایه‌های متوسط
- تأخیر و کاهش نیاز به سرمایه گذاری برای توسعه شبکه انتقال و توزیع
- تأمین توان راکتیو
- کاهش تراکم انتقال انرژی
- پیک سایی
- کاهش حاشیه رزرو

[1] - Combined Heat and Power

omoorepeyman.ir

این گزارش ابتدا به بررسی انواع سیستم‌های تولید همزمان می‌پردازد. سپس تفاوت‌ها، مزایا و معایب هر یک به تفکیک مقایسه می‌گردد. حوزه نفوذ و کاربری سیستم‌ها و قابلیت هر یک نیز بیان می‌گردد.

در پایان با بررسی بیشتر بر روی پروژه‌های اجرا شده در سطح کشور، ملاک و ضوابط استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما تعیین می‌گردد. این کار با اقدام به جمع آوری و مطالعه مستندات و تحلیل حساسیت عوامل مؤثر در موفقیت پروژه‌های بهره‌ور انجام می‌شود، که با هدف بررسی و آنالیز ضوابط و ملاک بکارگیری تکنولوژی‌های مختلف تولید همزمان برق و حرارت، نقش و عملکرد تکنولوژی CHP در تولید پراکنده به عنوان یک عامل کلیدی و تأثیر گذار در پدافند غیرعامل، کاهش تلفات، افزایش بهره‌وری و بهینه سازی مصرف سوخت می‌باشد. در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر، این پروژه در گام‌های زیر مورد بررسی قرار گرفته است؛

- شناسایی پروژه‌های انجام شده CHP در سطح کشور با استعلام از دستگاه‌های اجرایی مربوطه
- بازدید میدانی از پروژه‌های موجود به همراه عکس برداری صنعتی و تکمیل فرم‌های فنی و مالی هر پروژه
- پردازش و تحلیل آماری برای یافتن معیارهای موفقیت پروژه‌های CHP از نظر فنی و اقتصادی
- جمع بندی و شناسایی و تحلیل حساسیت عوامل و نقاط ضعف و قوت برای هر یک از پروژه‌ها

omoorepeyman.ir

فصل ۱

کلیات سیستم‌های CHP

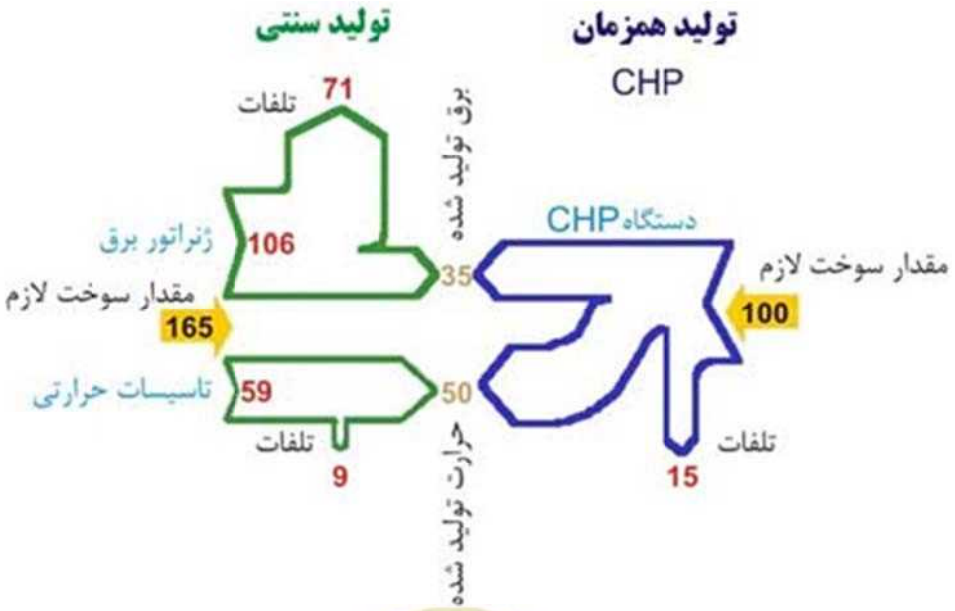
omoorepeyman.ir

۱-۱- سیستم‌های CHP

معمولاً برق مورد نیاز واحدهای صنعتی، ساختمان‌های تجاری و ساختمان‌های مسکونی از نیروگاه‌های عمده کشور تأمین می‌شود. در حالی‌که نیاز حرارتی تمام آنها در همان محل تولید می‌گردد. اما روش دیگری که از دیرباز وجود داشته و امروزه توجه بیشتری را معطوف خود کرده است، عبارتست از تولید مشترک و همزمان برق (یا توان محوری) و حرارت مفید توسط یک سیستم.

به این ترتیب علاوه بر تولید توان الکتریکی یا مکانیکی توسط دستگاه، امکان استحصال حرارت اتلافی مولد یا موتور بصورت انرژی گرماییِ قابل استفاده وجود دارد. در این نوع سیستم، منابع اتلاف این حرارت، که عبارتند از گازهای خروجی از محرک اولیه، سیکل خنک کن و روغن روغنکاری، شناسایی شده و با قرار دادن مبدل‌های حرارتی، گرمای اتلافی بشکل حرارت بازیافت می‌شود.

متوسط راندمان یک مولد برق در حدود ۳۵٪ و متوسط راندمان یک بویلر ۸۰٪ است. در حالیکه یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ۸۵٪ دارد. یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ۳۵٪ و راندمان حرارتی (منظور از راندمان حرارتی در CHP عبارتست از انرژی حرارتی استفاده شده به انرژی سوخت مصرفی) ۵۰٪ است. از طرف دیگر در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و تولید حرارت متشابه رایج که بصورت مجزا هستند، حدود ۳۵٪ سوخت کمتری مصرف می‌کند. این تفاوت در شکل ۱-۱ بخوبی نشان داده شده است.

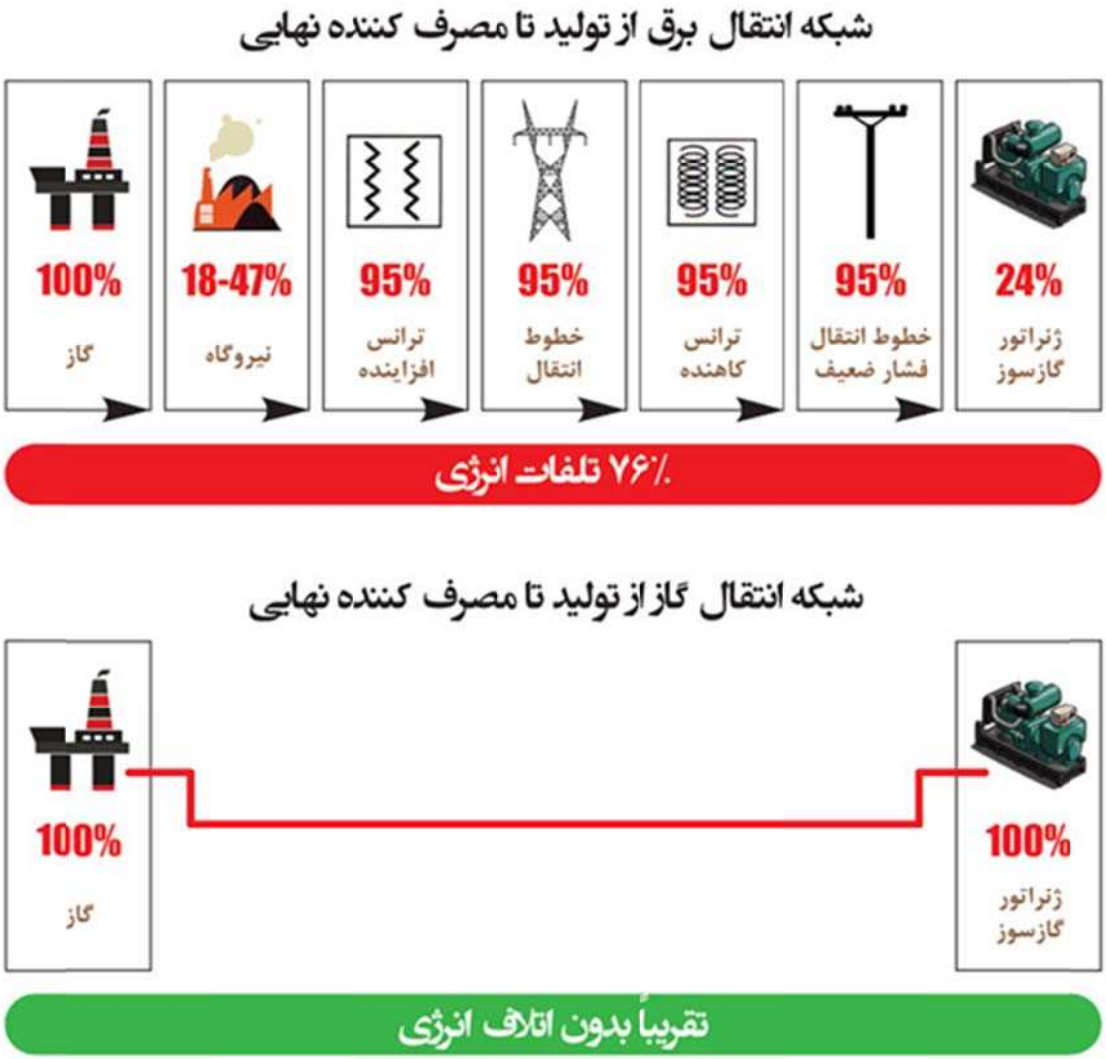


شکل ۱-۱- تفاوت بین تولید همزمان و تولید جداگانه

omoorepeyman.ir

کارآیی نهایی سیستم‌های معمول به روش متمرکز در حدود ۴۰٪ تا ۶۰٪ می‌باشد که بیشترین کارآیی مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد در حالی‌که با بهره گیری از فناوری تولید همزمان برق و حرارت بصورت مستقل، کارآیی انرژی این مولدها به بیش از ۹۰٪ نیز خواهد رسید.

افزایش بازدهی سوخت مصرفی ناشی از تولید همزمان حرارت مفید و انرژی الکتریکی، کاهش تلفات الکتریکی ناشی از انتقال و توزیع بجهت امکان نصب در همان محل مصرف انرژی (شکل ۱-۲) و آلودگی کمتر به سبب کاهش سوخت مصرفی از جمله مزایای سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در مقایسه با سیستم‌های دیگر تولیدی انرژی که فقط حرارت و یا فقط برق تولید می‌کنند (تولید جداگانه) می‌باشد.



شکل ۱-۲- تفاوت بین تلفات انتقال گاز و برق

omoorepeyman.ir

۱-۲- موارد کاربرد تولید مشترک برق و حرارت

در واحدهایی که بطور همزمان به حرارت و توان نیاز دارند، پتانسیل ایجاد تولید مشترک وجود دارد. کیفیت انرژی حرارتی مورد نیاز از نظر دما و فشار تعیین کننده‌ی نوع سیستم تولید همزمان است. هم چنین عواملی چون الگوهای بار، تقاضای برق و حرارت، در دسترس بودن سوخت، قابلیت اعتماد و اعتبار سیستم، بازگشت سرمایه و قوانین زیست محیطی، در انتخاب نوع و اندازه‌ی سیستم تولید همزمان مؤثر می‌باشد.

صنایعی مانند نساجی، مواد غذایی، شیشه، فولاد، سیمان، پتروشیمی، پالایشگاه، آب شیرین کن، پزشکی، کاغذ و چوب قابلیت بکارگیری سیستم‌های CHP را دارا می‌باشند. همچنین قابلیت استفاده از این سیستم‌ها در بخش‌های اداری، تجاری و مجتمع‌های مسکونی که نیاز به سیستم‌های تهویه مطبوع و آب گرم دارند، وجود دارد.

البته در صورتیکه سیستم مصرف انرژی خصوصیات زیر را داشته باشد، صرفه جوئی قابل توجه در هزینه انرژی بدست آمده و سیستم تولید مشترک مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

مشخصات یک سیستم ایده‌آل برای نصب و اجرای تولید مشترک؛

- نیاز حتمی به توان الکتریکی
- افزونی موارد استفاده انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی
- الگوهای بار پایدار و ثابت انرژی حرارتی و الکتریکی
- طولانی بودن ساعات بهره برداری فرآیند
- بالاتر بودن قیمت برق شبکه نسبت به سوخت یا عدم دسترسی به شبکه

omoorepeyman.ir

فصل ۲

طبقه بندی سیستم‌های CHP

omoorepeyman.ir

۲-۱- کلیات تقسیم بندی

سیستم‌های تولید همزمان را به روش‌های متفاوتی می‌توان تقسیم بندی کرد که در این گزارش به چند مورد از آنها اشاره شده است، یکی از دیدگاه ترتیب مصرف انرژی و دیگری بر اساس نوع تکنولوژی محرک تولید کننده انرژی الکتریکی.

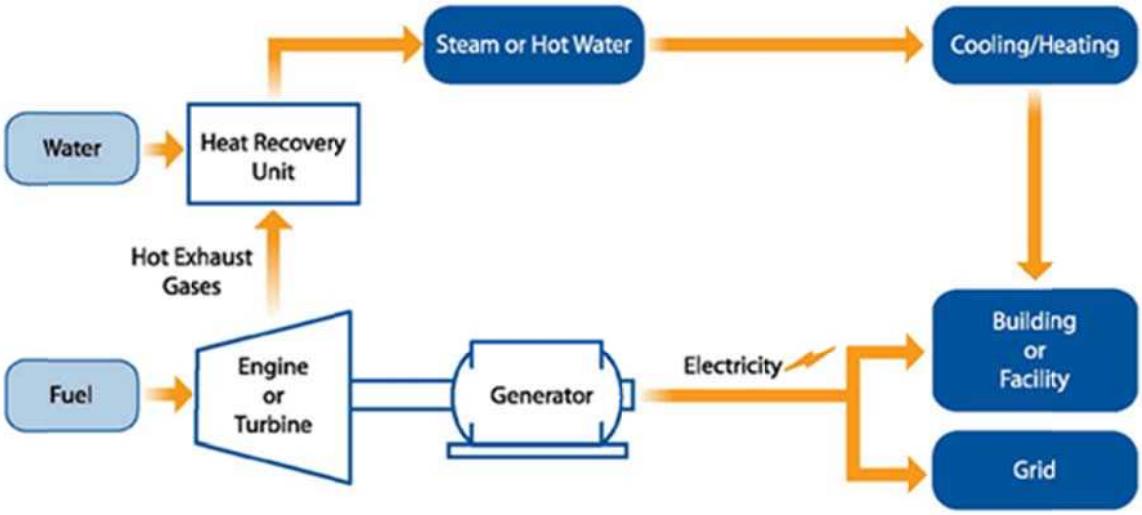
۲-۲- تقسیم بندی از دیدگاه مصرف انرژی

سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت از دیدگاه ترتیب مصرف انرژی که به دو دسته اصلی چرخه صعودی و نزولی [1] تقسیم می‌شوند.

۲-۲-۱- چرخه‌ی صعودی

در سیستم‌های تولید همزمان با چرخه‌ی صعودی انرژی حاصل از احتراق سوخت ابتدا جهت تولید قدرت (مکانیکی یا الکتریکی) بکار برده شده و حرارت خروجی از واحد، صرف حرارت گرمایشی یا فرآیندی می‌گردد که به طور معمول در دما و فشار پایین می‌باشد. سیستم‌های تولید همزمان از نوع چرخه‌ی صعودی به صورت زیر می‌باشند؛

- مولد بخار / توربین بخار
- توربین گازی / مولد بخاری بازیافت حرارت
- موتور احتراق داخلی / مولد بازیافت حرارت



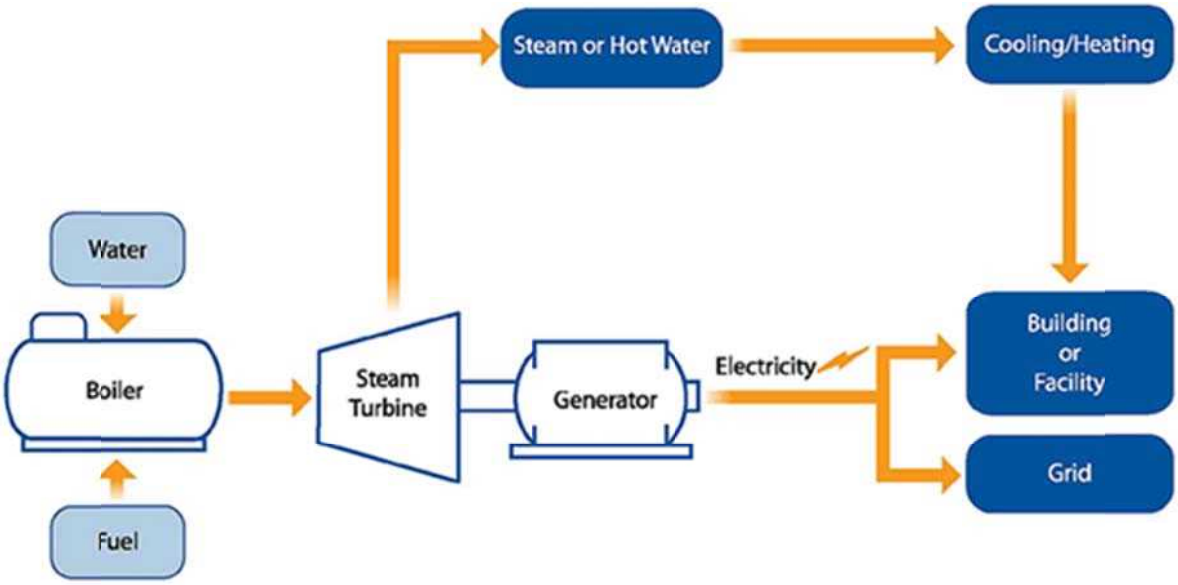
شکل ۲-۱- CHP با چرخه‌ی صعودی

از سیستم‌های مذکور در صنایع غذایی، کاغذ و مقوا، پالایشگاه نفت، صنایع نساجی، صنایع قند و گرمایش متمرکز استفاده می‌شود. تمام موارد مورد بررسی قرار گرفته در این گزاش (۱۰ پروژه بازدید شده) از این دسته می‌باشند.

omoorepeyman.ir

۲-۲-۲- چرخه‌ی نزولی

در سیستم‌های تولید همزمان با چرخه نزولی ابتدا سوخت جهت تأمین حرارت مورد نیاز فرآیند محترق شده و سپس از حرارت محصولات احتراق در دیگ‌های بازیافت گرما، آب تبدیل به بخار شده و از آن برای تولید قدرت استفاده می‌شود. حرارت مصرفی در چرخه‌های نزولی اغلب در دمای بالا بوده و استفاده از این چرخه در فرآیندهایی مناسب است که نیاز به گرما با دمای بالا دارند، تولید قدرت در این چرخه‌ها توسط سیکل بخار یا سیال عامل آلی انجام می‌گیرد. چرخه‌ی نزولی اغلب در صنایع سیمان، فولاد، شیشه و صنایع شیمیائی (صنایع با دمای بالا در خروجی کوره) کاربرد دارد. [2]



شکل ۲-۲- CHP با چرخه‌ی نزولی

۲-۳- تقسیم بندی بر حسب تکنولوژی محرک‌ها [3]

سیستم‌های CHP متشکل از اجزاء جداگانه‌ی محرک اولیه (موتور حرارتی)، مبدل‌های بازیافت حرارت و اتصالات الکتریکی است که در کل یک سیستم واحد را شکل می‌دهند. از آنجا که اساس سیستم‌های تولید همزمان بر پایه تولید برق می‌باشد، این سیستم‌ها را بر اساس نوع مولد الکتریکی آن طبقه بندی می‌کنند. نوع تجهیزاتی که نیروی حرکتی کل سیستم را تأمین می‌کنند نوع سیستم CHP را تعیین می‌کند. که شامل موارد زیر می‌باشند؛

- توربین‌های بخار / Steam Turbine
- توربین‌های گازی / Gas Turbine
- میکرو توربین / Micro Turbine
- موتورهای رفت و برگشتی یا پیستونی / Reciprocating Engines
- پیل سوختی / Fuel Cell

omoorepeyman.ir

۲-۳-۱- توربین بخار [4]

سیستم‌های تولید همزمان با استفاده از دیگ بخار و توربین بخار از مرسوم‌ترین و مؤثرترین سیستم‌های تولید همزمان می‌باشند که در چرخه‌های صعودی و نزولی بطور فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرند. توربین‌های بخار از بخار با فشار و درجه حرارت بالای یک بویلر استفاده می‌کنند. بخار، درون توربین جریان یافته و توربین را به گردش درمی‌آورد. بخار خروجی از توربین در درجه حرارت و فشار پائین می‌باشد. اختلاف عمدهٔ توربین بخار نسبت به موتورهای رفت و برگشتی و توربین‌های گاز در احتراق است که در خارج و در یک دستگاه مجزا به نام بویلر اتفاق می‌افتد. این کار یک امتیاز کلی برای سیستم‌های تولید همزمان با توربین بخار است که اجازه می‌دهد تا از طیف گسترده‌ای از سوخت‌ها از جمله سوخت‌های جامد نظیر زغال سنگ یا مواد ضایعاتی یا باقیمانده‌های گیاهی استفاده کرد.

توربین‌های بخار در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف موجود هستند. یک تفاوت عمده در آنها این است که توربین بخار یا تقطیرکننده[۲] است یا غیر تقطیر کننده[۳] (پس فشاری).

هر دو نوع توربین بخار را می‌توان به سیستمی مجهز کرد که بتوان در آنها بخشی از بخار توربین را در یک یا چند محل و با فشاری بین فشار ورودی و خروجی گرفت. بخار حاصل شده را می‌توان برای نیازهای غیر فرآیندی یا گرمایش در درجه حرارت‌های بالاتر مورد استفاده قرار داد. انتخاب هر یک از این دو نوع بستگی به مقدار برق و حرارت مورد نیاز، کیفیت حرارتی و عوامل اقتصادی دارد.

سیستم‌های تولید همزمان با توربین بخار حرارت بیشتری را به ازای هر واحد انرژی خروجی در مقایسه با سایر سیستم‌های تولید همزمان ارائه می‌کنند. لازم به ذکر است که از توربین بخار اغلب در مواقعی استفاده می‌شود که تقاضای برق به مراتب بیش از یک مگاوات تا حدود صدها مگاوات باشد.

۲-۳-۱-۱- توربین بخار زیر کشدار[۴]

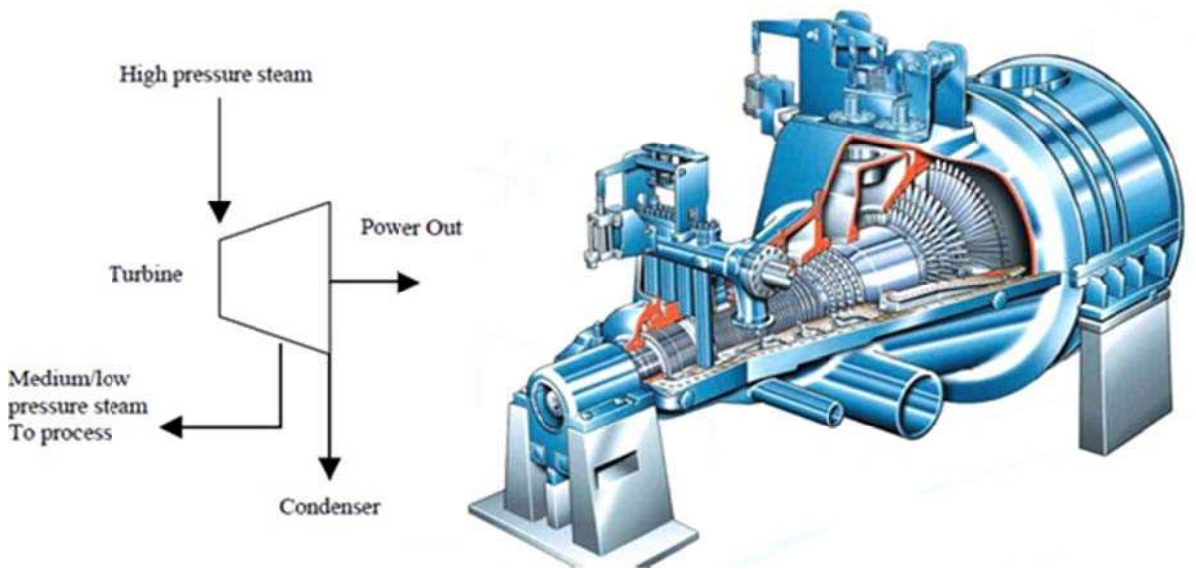
تولید حرارت به روش تولید همزمان می‌تواند در نیروگاه‌های مجهز به توربین بخار زیر کشدار انجام شود. به این طریق که مقداری از بخار قبل از رسیدن به آخرین مرحله توربین از آن خارج شود. گرمایش متمرکز می‌تواند با استفاده از بخار استخراج شده از توربین یا برای مصارف صنعتی مورد استفاده قرار داد.

توربین‌های بخار کندانس شونده، اینگونه هستند که بخار در فشار پائین (کمتر از فشار اتمسفریک) از توربین خارج شده بصورتی که بخار را بتوان در یک کندانسور با درجه حرارت‌هایی نزدیک به درجه حرارت محیط، تقطیر کرد.

[2] - Condensing
[3] - Back Pressure
[4] - Extraction Condensing

omoorepeyman.ir

توربین‌های بخار تقطیری بیشترین قدرت برقی را تأمین کرده و بنابراین پر مصرف‌ترین نوع توربین در نیروگاه‌ها و سرویس‌های برقی می‌باشند. از آنجائیکه بخار خروجی، انرژی در دسترس کمی را داراست، از کاربرد توربین‌های بخار تقطیری برای تولید همزمان صرفنظر می‌گردد.



شکل ۲-۳- شماتیک یک توربین زیر کشدار

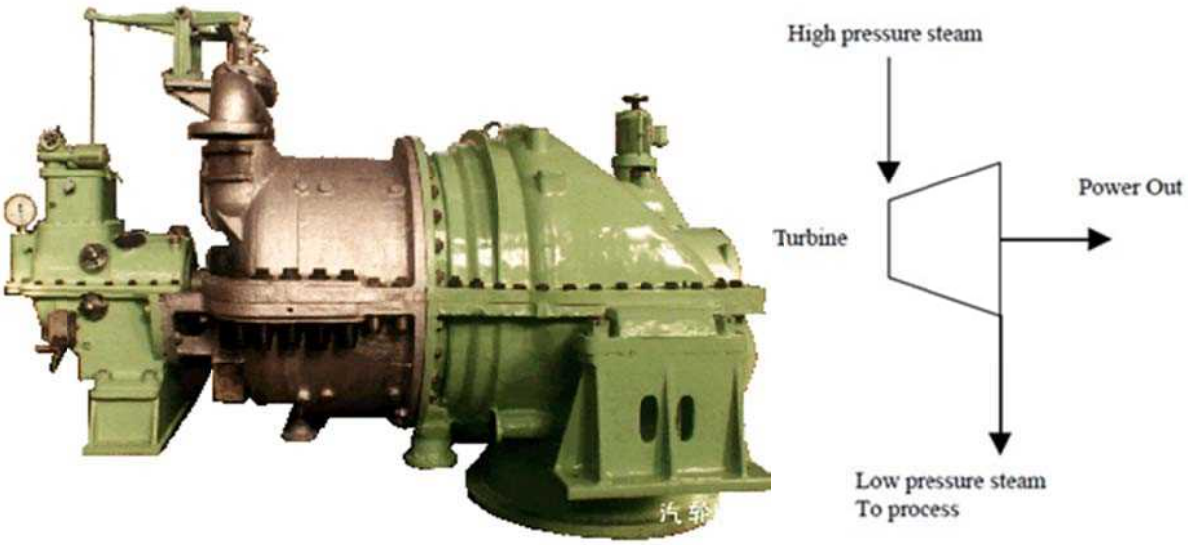
۲-۳-۱-۲- توربین بخار پس فشاری

توربین‌های بخار غیر تقطیری، توربین‌هایی هستند که بخار خروجی آن در فشاری بالاتر از فشار اتمسفریک قرار دارد. این توربین‌های بخار را توربین‌های بخار با فشار عقب یا پس فشاری می‌نامند، که بخار از قسمت‌های میانی توربین و با فشار بالاتر خارج می‌شود و از این بخار به منظور استفاده در مصارف گرمایشی استفاده می‌شود. این بخار می‌تواند مستقیماً به عنوان بخار فرآیند (مثلاً در ماشین‌های کاغذسازی یا صنایع نساجی) یا بعنوان سیال گرم در یک مبدل حرارتی برای گرم کردن آب مورد استفاده در سیستم‌های گرمایشی یا در چیلرهای جذبی مورد استفاد قرار گیرد.

سیستم‌های تولید همزمان با توربین پس فشار هنگامی مناسب هستند که نیاز به انرژی الکتریکی در مقایسه با گرما اندک باشد. سیستم‌های تولید همزمان دارای توربین بخار چگالنده‌دار با بخار زیرکش انعطاف بیشتری نسبت به سیستم-های با توربین پس فشار دارند و برای تأمین محدوده وسیعی از نسبت‌های انرژی الکتریکی به گرمایی مناسب هستند.

در نیروگاه‌های صنعتی با توربین پس فشار معمولاً فشار پشت توربین در بارهای کامل و جزئی و با در نظر گرفتن شرایط فرآیند ثابت نگه داشته می‌شود. همچنین می‌توان از قسمت‌های میانی توربین نیز مقداری از بخار را با کیفیت بالاتر را استخراج نمود. این بخار می‌تواند در فرآیندهای صنعتی استفاده شود یا به مصرف داخلی نیروگاه برسد. در صورتیکه این بخار به مصرف داخلی نیروگاه برسد به آن CHP اطلاق نمی‌شود. هرچه بخار با فشار بالاتر از توربین استخراج شود میزان برق تولیدی کمتر خواهد بود.

omoorepeyman.ir



شکل ۲-۴- توربین پس فشاری

۲-۳-۲- توربین گاز

یک سیستم ساده و کم هزینه تولید ترکیبی برق و حرارت می‌تواند با ترکیب یک توربین گاز و یک بویلر بازیافت حرارت ایجاد شود. توربین‌های گاز قابلیت اطمینان بالا، حرارت قابل استفاده با انرژی بالا، هزینه سرمایه گذاری نسبتاً کم برای تولید واحد توان خروجی می‌باشند. توربین‌های گاز می‌توانند در بارهای کم به طور دائم کار کنند.

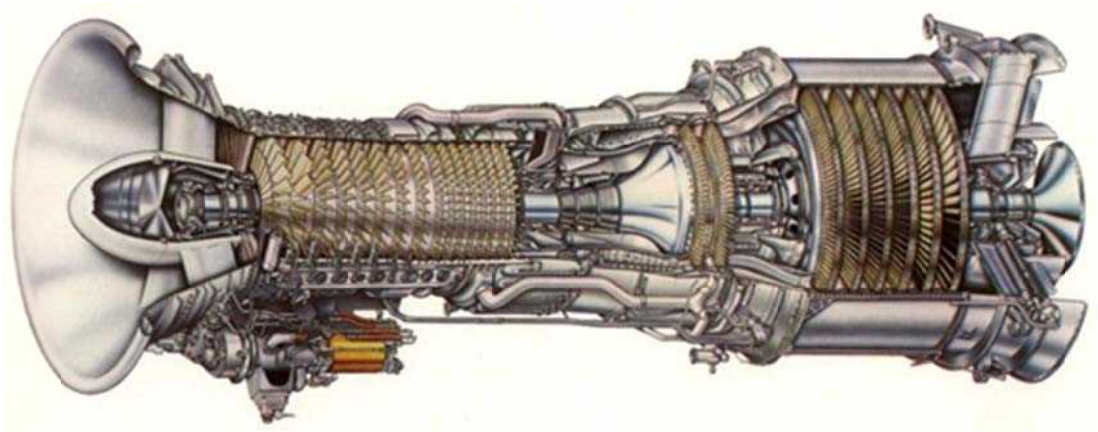
در این نوع نیروگاه‌ها، هوای داغ خروجی از توربین گاز از بویلر بازیافت حرارت عبور کرده و حرارت خود را به سیال حامل (آب) منتقل می‌کند. در بسیاری از مواقع از گاز طبیعی بعنوان سوخت مصرفی استفاده می‌شود. اما گازوئیل یا ترکیبی از گاز و گازوئیل نیز به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توربین‌های گازی برای استفاده در سیستم CHP بسیار مناسب می‌باشند زیرا دمای بالای دود خروجی از آنها که حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد انرژی سوخت ورودی را تشکیل می‌دهد، قابلیت تولید بخار فرایند با فشار و دمای بالایی در حد ۱۲۰۰psig و ۵۰۰ درجه سانتیگراد را دارد و همچنین می‌توان از آن در فرایندهای صنعتی برای گرمایش یا خشک کردن استفاده کرد. گاز خروجی از این نوع توربین دارای دمای بالایی است که در صنایع کوچک تا حدود ۴۳۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد و در نیروگاه‌های جدید بزرگ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

میزان حرارت بازیافت شده به نوع سوخت مصرفی و دمای حرارت بازیافت شده بستگی دارد. اگر از گاز طبیعی بعنوان سوخت توربین گاز استفاده شود، لازم است فشار گاز مورد استفاده بالا باشد. همچنین می‌توان دمای گازهای خروجی از بویلر بازیافت را به حدود ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد کاهش داد ولی در صورتیکه از سوخت‌های مایع استفاده شود بمنظور کاهش ریسک خوردگی گوگرد باید دما بین ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه کنترل شود. در بعضی مواقع نیروگاه به یک مشعل کمکی مجهز می‌شود که از گازهای خروجی از توربین گاز بجای هوای احتراق استفاده می‌کند. طبیعتاً حرارت تولیدی از مشعل‌های کمکی را نباید در محاسبهٔ حرارت تولیدی از CHP منظور نمود.

omoorepeyman.ir

توربین گازی فاقد سیکل خنک کن است و تنها منبع حرارتی گازهای خروجی از توربین است که امکان تولید بخار در واحد HRSG[5] که یک بویلر ساده و بدون آتش است، را فراهم می‌سازد. بدین شکل ۶۰٪ انرژی سوخت بشکل حرارت بازیافت شده و راندمان کلی ۸۵ الی ۹۰ درصد برای CHP قابل دستیابی است.



شکل ۲-۵- مقطعی از یک توربین گاز

در توربین گازی با سیکل ساده از هیچگونه روش خارجی مثل بازیابی حرارت برای بهبود راندمان استفاده نمی‌شود. بنابراین راندمان 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 اگزوز است تا توان الکتریکی خروجی و راندمان افزایش یابد. البته، اینچنین تغییراتی میزان انرژی در دسترس اگزوز را کاهش خواهد داد. بنابراین توربین گاز با بالاترین راندمان برای بکار بردن در سیستم‌های تولید همزمان، ممکن است بهترین انتخاب نباشد.

توربین‌های گازی در طیف گسترده‌ای از میزان خروجی یعنی از ۱۰۰ کیلووات تا بیش از ۲۰۰ مگاوات وجود دارند. منوط به نوع طراحی مخصوص، نسبت حرارت به توان الکتریکی برای توربین‌های گازی می‌تواند از ۰/۵ تا ۳ تغییر کند. در حالت کارکرد با بخشی از بار، راندمان توربین گاز بسرعت کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از Reheating، Intercooling، Regenerating و دیگر تغییرات می‌توان عملکرد کلی توربین گازی را نسبت به سیکل ساده بهبود بخشید. بعلاوه در واحدهای بزرگتر می‌توان با بکارگیری روش احتراق تکمیلی راندمان کلی را تا ۹۵٪ نیز افزایش داد که با کاهش آلایندگی سیستم نیز همراه است، چرا که بدلیل خنک کاری درون توربین مقداری هوای اضافه مصرف می‌شود و لذا درصد اکسیژن در گازهای خروجی حدود ۱۲ تا ۱۴٪ می‌باشد که قابل ملاحظه بوده و احتراق مجدد را ممکن می‌سازد. به این ترتیب به حرارت تولیدی سیستم CHP افزوده می‌شود.

علاوه بر تولید بخار می‌توان از حرارت بازیافتی در اجاق خشک کن نیز استفاده کرد. بنابراین می‌توان اگزوز توربین گاز را بصورت هوای بسیار گرم شده در نظر گرفت و از آن برای مصارف فرآیند یا گرمایش استفاده کرد. در توربین‌های

[5] - Heat Recovery Steam Generator

omoorepeyman.ir

گازی می‌توان از سوخت‌های مایع نظیر سوخت جت یا نفت سفید و یا سوخت‌های گازی نظیر گاز طبیعی یا پروپان استفاده کرد. بالاترین عملکرد را می‌توان با استفاده از سوخت‌های مایع بدست آورد اما باید توجه داشت کمترین میزان آلایندگی از کار کردن با گاز طبیعی گزارش شده است.

شکل ۲-۶- یک نمونه واحد تولید همزمان توربین گاز در کشور آلمان

در بعضی از مواقع نیز اگزوز خروجی از توربین‌های گاز مجهز به یک کنار گذر[۶] خواهد بود که در اینصورت می‌توان فقط در مواقع لازم از بویلر بازیافت استفاده کرد و در مواقع غیر ضروری آنرا از سیستم حذف نمود.

با افزایش درجه حرارت هوای محیط، عملکرد یک توربین گازی کاهش پیدا می‌کند که علت آن کاهش دانسیته هوای ورودی می‌باشد. توربین‌های گاز نسبت به توربین‌های بخار، احتیاج به نگهداری بیشتر و تخصصی‌تری دارند. غالب تعمیرات اساسی بعد از ۷۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ ساعت کارکرد بسته به نوع استفاده و تولید کننده انجام می‌گیرد.

۲-۳-۳- میکروتوربین

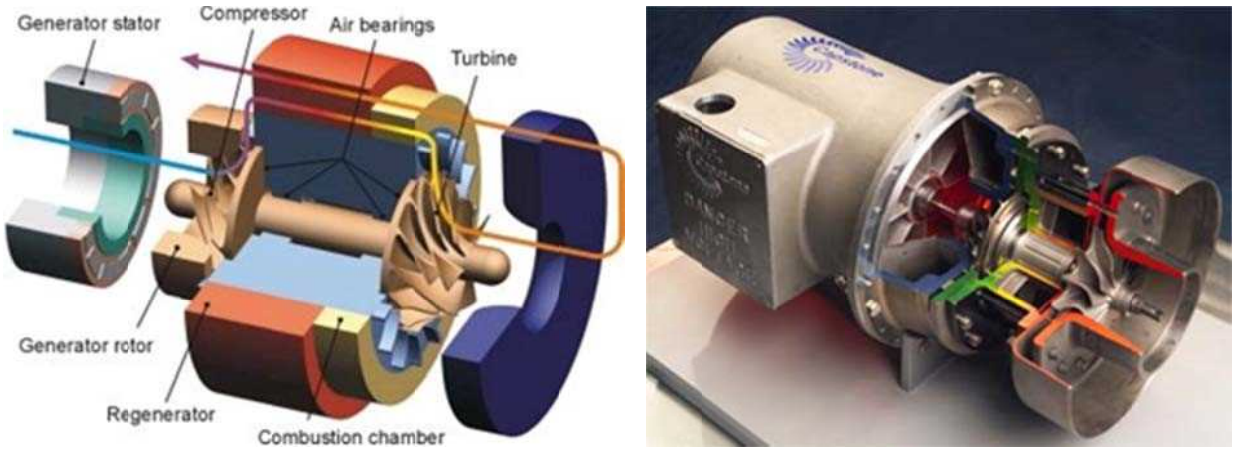
میکروتوربین‌ها اغلب برای مکان‌های تجاری و ساختمان‌های بزرگ مانند هتل‌ها، مراکز آموزشی و اداری مورد استفاده قرار می‌گیرند، و در واقع توربین‌های گازی با مقیاس بسیار کوچک (کوچکتر از موتورهای پیستونی معمولی) و ساده‌تر می‌باشند که در گستره توان ۲۵ الی ۵۰۰ کیلووات قرار دارند. اکثر میکروتوربین‌ها تک مرحله‌ای بوده و از یک ژنراتور مغناطیس دائم سرعت بالا، برای تولید برق متناوب استفاده می‌کنند. سرعت بالای دوران از عمده تفاوت بین میکروتوربین‌ها با توربین‌های گاز می‌باشد. همچنین به دلیل بالا بردن راندمان کلی سیستم و بهینه سازی انرژی می‌توان از گرمای حاصل از احتراق سوخت در این توربین‌ها نیز استفاده نمود.

[6] - By Pass

omoorepeyman.ir

سیستم میکروتوربین‌ها بر اساس مصرف و تولید انرژی شامل ۳ نوع می‌باشد؛

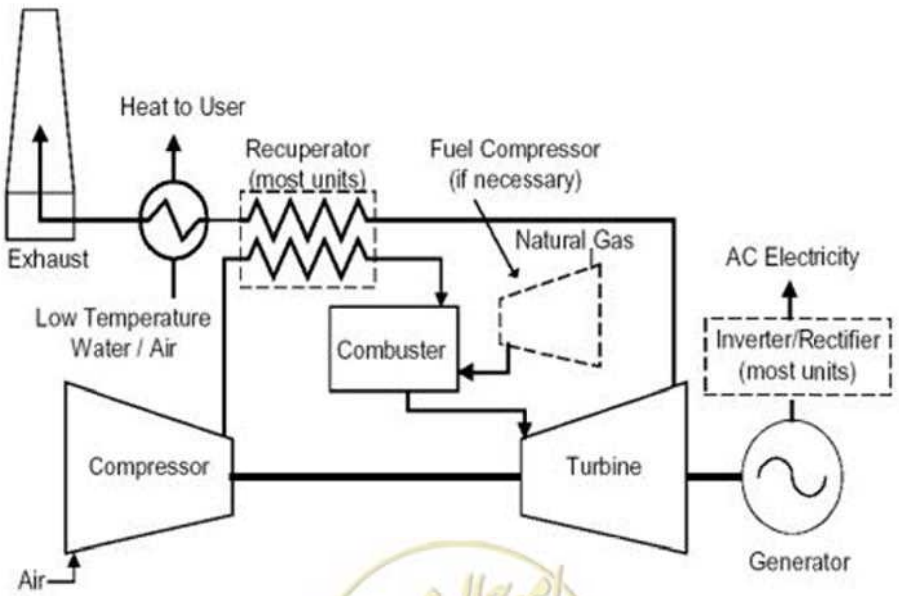
۱- میکروتوربین‌های بدون رکوپراتور[۷] (دارای سیکل ساده) که دارای بازدهی کمتری هستند، اما در مقابل دارای قیمت پایین‌تری نیز می‌باشند.



شکل ۲-۷- میکروتوربین با سیکل ساده

۲- میکروتوربین‌های دارای رکوپراتور، که به دلیل استفاده از گرمای خروجی اگزوز توربین، دارای بازده بیشتری می‌باشند. رکوپراتورها مجموعه‌ای از مبدل‌های حرارتی هستند که جهت انتقال حرارت از گازهای گرم تولید شده در محفظه احتراق به هوای سرد، مورد استفاده در فرآیند احتراق به کار می‌روند.

۳- میکروتوربین‌ها بر اساس سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP).



شکل ۲-۸- سیکل یک میکروتوربین دارای رکوپراتور بر اساس سیستم‌های CHP

[7] - Recuperator

omoorepeyman.ir

علیرغم هزینه سرمایه گذاری بالای و بازدهی کم در حالت تولید جداگانه برق میکروتوربین‌ها دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشند؛

- نیاز به نگهداری کمتر
- اندازه کوچک و وزن کم و سادگی نصب
- تعداد کم قطعات متحرک و کم بودن صدای آنها
- آلاینده‌های کم
- بازدهی خوب در تولید همزمان
- فواصل طولانی تعمیرات و در نتیجه هزینه نگهداری پایین
- عمل در فشارهای کم گاز
- قابلیت اطمینان بالا

۲-۳-۴- موتورهای رفت و برگشتی (پیستونی) [5] , [6] , [7]

موتورهای سیلندر پیستونی (رفت و برگشتی) از نوع احتراق داخلی نسبت به توربین‌های گازی در ابعاد برابر از نقطه نظر توان خروجی، راندمان الکتریکی بالاتری دارند و بنابراین مصرف سوخت کمتر و عملکرد مناسبتری دارند.

شکل ۲-۹- موتور پیستونی (رفت و برگشت)

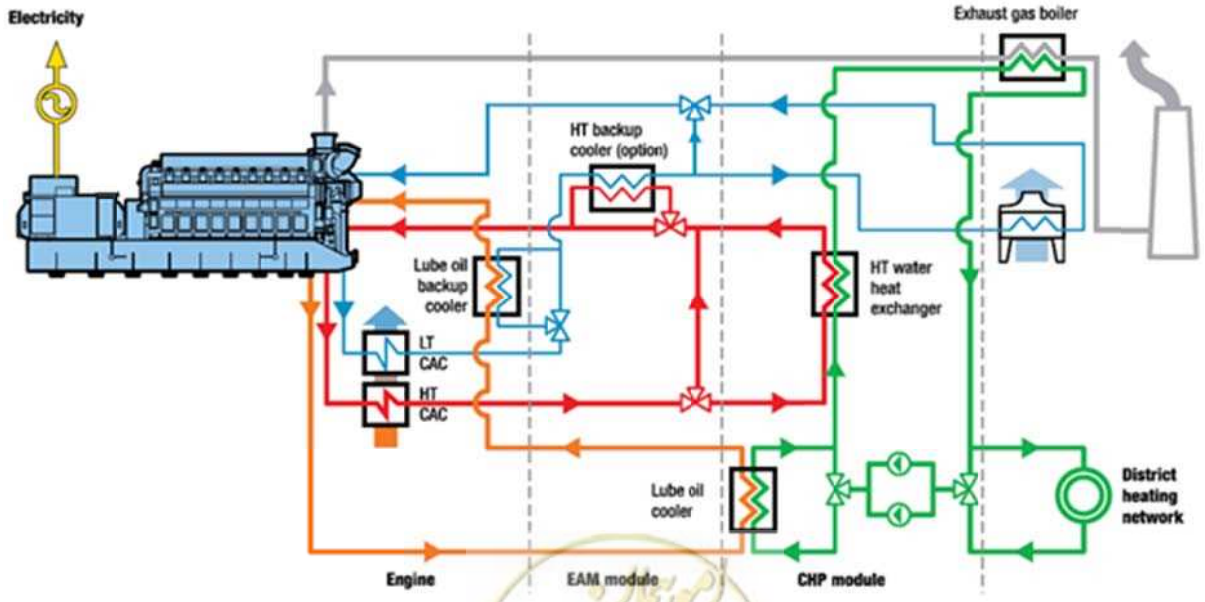
omoorepeyman.ir

استفاده از انرژی حرارتی تولید شده توسط موتورهای رفت و برگشتی دشواتر است. همچنین دارای دمای پایین‌تری می‌باشد زیرا این دما در سیستم روغن کاری و خنک کاری موتور و همچنین گازهای خروجی پراکنده می‌شود. همچنین در محدوده توان ۳ مگاوات الی ۵ مگاوات، هزینه اولیه موتورهای پیستونی از توربین‌های گازی کمتر است. در مورد تعمیر و نگهداری، توربین‌های گازی نسبت به موتورهای رفت و برگشتی، هزینه کمتری دارند. اما توجه به این نکته لازم و ضروری است که همواره متخصصان بومی در هر مکانی جهت تعمیرات و نگهداری از انواع موتورهای رفت و برگشتی حضور دارند. از مزایای این موتورها استارت سریع، راندمان بالا و اقتصادی در بارهای جزیی و قابلیت اعتماد و عمر بالا می‌باشد. قدرت موتورهای رفت و برگشتی همانند توربین‌های گازی و برای دو حالت کار دائم و مقطعی ارائه شده است. قدرت اسمی موتورهای رفت و برگشتی همانند توربین‌های گاز در شرایط استاندارد درجه حرارت محیط، فشار و اختلاف سطح نسبت به دریا بوده و قدرت استاندارد باید برای شرایط محلی نصب دستگاه مزبور، تنظیم گردد.

نسبت توان حرارتی به توان الکتریکی در موتورهای سیلندر پیستونی ۱ الی ۲ است. در این نوع سیستم‌های CHP تا ۹۰٪ اتلاف حرارتی موتور به صورت آب داغ یا بخار کم فشار قابل بازیافت است.

در اینجا منابع حرارت قابل بازیافت بوسیله مبدل‌های حرارتی عبارتند از؛

- بدنه موتور
- روغن سیستم روغنکاری
- گازهای خروجی از موتور
- هوای خروجیِ توربوشارژر



شکل ۲-۱۰- شماتیک سیکل حرارتی از منابع حرارتی مورد استفاده در موتور پیستونی

omoorepeyman.ir

در برخی از انواع طراحی بازیافت حرارت از گازهای خروجی در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحلهٔ اول که در همه انواع طراحی ثابت است، آب داغ یا بخار کم فشار توسط یک مبدل لوله پوسته‌ای[8] تولید می‌شود. در انتخاب این مرحله دمای گازهای خروجی به حدود ۱۲۰°c می‌رسد. بدین ترتیب ۵۰ الی ۶۰ درصد انرژی سوخت ورودی بشکل حرارت بازیافت می‌شود و برای این سیستم CHP راندمان ۸۰ تا ۹۰٪ قابل دسترسی است.

برای موتورهای رفت و برگشتی، احتراق داخلی که توسط مایع (معمولاً آب) خنک کاری می‌شوند، مایع خنک کاری، منبع ثانویه برای انرژی حرارتی می‌باشد. دیگر منابع انرژی برای موتورهای رفت و برگشتی شامل سیستم روغنکاری و خروجی توربوشارژ هستند. این انرژی معمولاً در درجه حرارت‌های زیر ۷۰°c بوده و آنرا تنها می‌توان برای احتیاجات با درجه حرارت پائین بازیابی کرد. دیگر فایده موتور رفت و برگشتی مسئله نگهداری و تعمیرات آن است که در مقایسه با توربین گاز احتیاج به تخصص پائین‌تری دارد. اما از طرف دیگر نگهداری در دفعات و با هزینه‌های بیشتر انجام می‌گیرد.

بازده الکتریکی موتورهای رفت و برگشتی بین ۲۵ تا ۴۵ درصد است و در صورتیکه در اثر قوانین زیست محیطی لازم باشد اکسیدهای نیتروژن به میزان زیادی کاهش پیدا کند این راندمان کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه موتورهای پیشرفته گازهای اگزوز خنک‌تری (حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد) دارند، بازیافت حرارت نمی‌تواند فقط بصورت بخار باشد. مثلاً یک موتور دیزل ۴/۲ مگاواتی می‌تواند ۱/۵ مگاوات انرژی حرارتی برای بخار و ۳/۱ مگاوات برای آبگرم تولید کند. با توجه به اینکه کل مصرف سوخت برای این موتور حدود ۱۰ مگاوات خواهد بود، بازده کل مجموعه حدود ۸۸٪ می‌رسد.

این نوع موتورها دارای انواع گوناگونی می‌باشند. تقسیم بندی آنها نیز بطرق مختلف انجام می‌شود که شامل دو حالت احتراق داخلی و خارجی می‌باشد. معمولترین آنها موتورهای احتراق داخلی می‌باشد، که به چندین صورت وجود دارند. در این گزارش بر اساس سیکل کاری، برخی از آنها بررسی می‌شود.

۲-۳-۴-۱- موتورهای احتراق جرقه‌ای[9]

در این موتور که به موتور خودرو یا بنزینی نیز معروف است، مخلوطی از هوا و سوخت در هر سیلندر فشرده و توسط جرقه مشتعل می‌شود. موتورهای سیکل اتو قابلت سازگاری با انواع سوخت‌ها نظیر بنزین، گاز طبیعی، پروپان، گازهای فاضلاب را دارا بوده که این موتورها اغلب به gas engines معروف می‌باشند، (حتی اگر سوخت‌های بنزینی مصرف کنند). این موتورها عموماً بر اساس سیکل اتو[10] کار می‌کنند که شامل چهار مرحله مکش، تراکم، انبساط (کار) و تخلیه می‌باشند که موتورهای دارای این چهار مرحله را موتورهای چهار زمانه می‌نامند. سیکل دیگری که در این موتورها استفاده می‌شود سیکل میلر[11] یا پنج زمانه می‌باشد، که جدیدترین سیکل ترمودینامیکی مورد استفاده در موتورهای احتراق داخلی است. هدف این سیکل کاستن مقدار توان مصرفی در مرحله تراکم و افزایش نسبت انبساط در برابر نسبت

[8] - Shell & Tube
[9] - SI: Spark Ignition
[10] - Otto Cycle
[11] - Miller Cycle

omoorepeyman.ir

تراکم در نمودار فشار - حجم با تغییر در زمان بسته شدن سوپاپ ورودی مشخصه اصلی این چرخه است. سیکل میلر تقریباً شبیه سیکل اتو می‌باشد، با این تفاوت که در آن سوپاپ هوا کمی بیش از مقدار معمول در اتو باز می‌ماند که آنرا مرحله پنجم سیکل در نظر می‌گیرند. این باز بودن اضافی سوپاپ هوا در ابتدای مرحله تراکم بوده و برای جلوگیری از گریختن هوا از داخل سیلندر از یک سوپر شارژر نوع جابجایی مثبت استفاده شده است. یعنی مقداری از تراکم (۲۰ تا ۳۰ درصد) آن در بیرون از سیلندر و در سوپر شارژر صورت می‌گیرد. این کار به خاطر کم بودن توان مصرفی جهت تراکم در سوپر شارژر در نسبت‌های کمپرس پایین می‌باشد. مرحله دوم تراکم نیز توسط پیستون انجام می‌گیرد که برای مقادیر کمپرس بالاتر کارایی دارد. استفاده از این سیکل باعث صرفه جویی ۱۰ الی ۱۵ درصدی در توان مصرفی تراکم می‌شود. تمامی موتورهای رفت و برگشتی بررسی شده در سطح کشور در این گزارش از این سیکل استفاده می‌کنند که با سوخت گاز طبیعی کار می‌کنند.

احتراق موتورها بر ۲ روش و تکنیک به شرح زیر استوار است؛

- محفظه باز: در این سیستم نوک شمع درست در محل محفظه احتراق قرار دارد و مستقیماً مخلوط فشرده سوخت و هوا را مشتعل می‌کند. این روش بیشتر برای موتورهایی استفاده می‌شود که احتراق در آنها در محدوده نقطه استوکیومتری تا مخلوط رقیق هوا - سوخت قرار دارد.
- محفظه پیش احتراق: در اصل یک فرایند احتراق مرحله‌ای پیش می‌آید که در آن شمع در بالای سرسیلندر نصب می‌شود. در این موتورها مخلوط غنی سوخت و هوا که رابطه مستقیم با سرعت انتقال شعله به محفظه احتراق اصلی را دارد، وارد سرسیلندر می‌گردد. این تکنیک جهت شعله ور کردن مطلوب مخلوط هوا با سوخت‌های سبک و رقیق در موتورهای که قطر سیلندر بزرگی دارند بکار گرفته می‌شوند.

۲-۳-۴-۲- موتورهای احتراق تراکمی[12]

تفاوت اصلی این موتورها که به سیکل دیزل[13] نیز معروفند، با موتورهای بنزینی در نحوه سوخت رسانی و نحوه اشتعال سوخت است. در موتورهای بنزینی سوخت در کاربراتور با هوا مخلوط شده و یا توسط انژکتور به هوا اضافه می‌شود، ولی در موتورهای دیزلی هوای خالص وارد سیلندر شده و به حدی متراکم می‌گردد که با پاشش سوخت در انتهای مرحله تراکم درون محفظه سیلندر احتراق توسط دمای بالای هوای فشرده خود به خود آغاز شود، که به احتراق تراکمی معروف است.

همچنین در موتورهای بنزینی نیاز به تشکیلات جرقه زنی از قبیل کوئل، دلکو، وایرهای فشار قوی، شمع، مگنت، یا سیستم‌های جدیدتر سنسورهای الکترونیکی جهت تعیین زمان جرقه می‌باشد ولی در دیزل احتراق خود به خود بوده و نیاز به موارد فوق نمی‌باشد، (در موتورهای جدید دیزل برای بهبود کیفیت احتراق در کنار انژکتور درون سیلندر یک شمع هم جهت ایجاد به موقع جرقه تعبیه شده است).

[12] - CI: Compression Ignition
[13] - Diesel Cycle

omoorepeyman.ir

موتورهای دیزل در درجات بالاتری از فشار و دما کار می‌کنند و به همین دلیل به سوخت‌های سنگین‌تری مانند گازوئیل نیاز دارند. هر چند هزینه تعمیر و نگهداری در مقایسه با نمونه‌های مشابه بیشتر است. از لحاظ عملکرد نیز نسبت حرارت به توان الکتریکی موتورهای دیزل کمتر از موتورهای جرقه‌ای با سوخت گاز طبیعی می‌باشد.

۲-۳-۴-۳- موتورهای دوگانه‌سوز[۱۴]

این موتورها، موتورهایی هستند که اغلب از تبدیل یک موتور دیزل به گازسوز بدست می‌آید. در این‌گونه موتورها، ابتدا گاز با نسبت ۹۰ تا ۹۵٪ از کل انرژی وارد محفظهٔ احتراق می‌شود. هنگامی‌که مخلوط هوا و سوخت داخل محفظهٔ احتراق تا حد مناسب فشرده و آمادهٔ احتراق شد، مقدار کمی گازوئیل توسط انژکتور پاشیده می‌شود. این فرایند باعث می‌شود تا احتراق، آغاز شده و موتور فعال شود. گازوئیل در اینجا بجای شمع عمل می‌کند و لذا به آن سوخت پیلوت و یا سوخت آتش‌زنه می‌گویند. این موتورها در حقیقیت همان موتورهای دیزل با توان خروجی بالا تا حدود ۶۰۰۰ کیلوات می‌باشند. سوخت اصلی گاز طبیعی بوده که نه بوسیله جرقه بلکه با پاشش گازوئیل در انتهای مرحله تراکم، مشتعل می‌شود. همچنین قابلیت کارکرد با گازوئیل به تنهایی یا سوخت دوگانه مذکور را دارد، اما هزینه نگهداری این موتورها بالا می‌باشد.

چون در این موتورها فرایند احتراق ابتدا به‌صورت اشتعال تراکمی و سپس احتراق شبیه مخلوط پیش‌آمیخته می‌باشد، لذا دو نوع اشتعال و سوختن متفاوت رخ می‌دهد. به‌همین دلیل به این‌گونه موتورها، موتورهای دوگانه‌سوز می‌گویند. لذا نباید آنها را با موتورهای دوسوخته[۱۵] که به اشتباه در کلام عامیانه دوگانه سوز می‌گویند اشتباه گرفت. موتورهای دوگانه سوز دارای دو سیستم جداگانه و مستقل سوخت رسانی (معمولاً بنزینی و گاز) می‌باشد که بصورت اختیاری امکان استفاده از یک سوخت را دارا می‌باشند.

۲-۳-۴-۴- موتور استرلینگ[۱۶]

موتور استرلینگ یک نوع موتور حرارتی است که بر خلاف موتورهایی که تاکنون نامبرده شد، از انواع برون‌سوز یا احتراق خارجی است. گرچه امروزه موتور استرلینگ از موتورهای پرکاربرد محسوب نمی‌شود، اما توانایی آنرا دارد که از بازدهی بیشتری نسبت به موتورهای دیزل برخوردار باشد. مهمترین ویژگی‌های این موتور امکان استفاده از سوخت‌های متنوع از جمله بیوگاز به دلیل خارجی بودن احتراق آن، آلایندگی کم، نیاز اندک به تعمیر و نگهداری و تولید صدای کم در هنگام کار می‌باشد. با این حال دو نقطه ضعف بسیار مهم در موتور استرلینگ وجود دارد که از گسترش آن در بازار مصرف ممانعت می‌کند. اول آنکه این نوع موتورها قبل از راه اندازی و تولید قدرت مفید، نیاز به زمان برای گرم شدن دارند. مورد دوم عدم توانایی انطباق سریع موتور با تغییرات بار است.

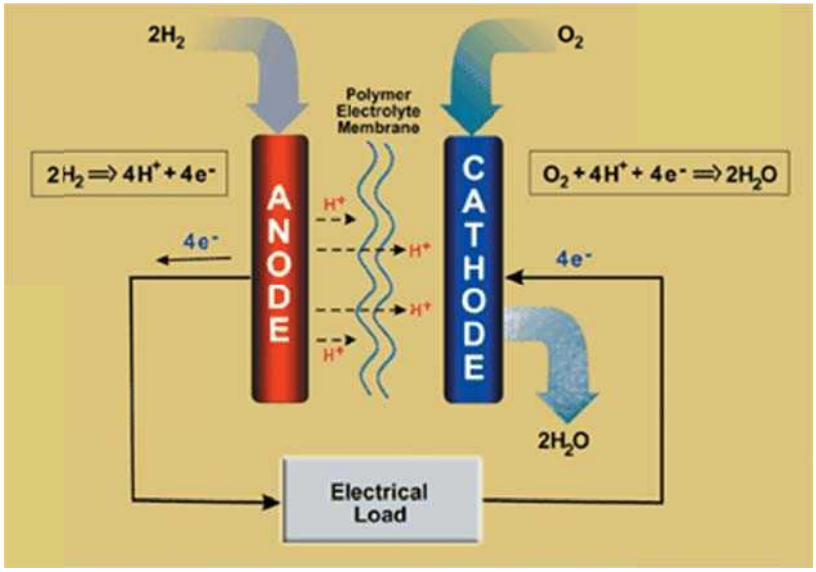
[14] - Dual Fuel
[15] - Bi fuel
[16] - Stirling Engine

omoorepeyman.ir

۲-۳-۵- پیل سوختی [5] , [6] , [8]

پیل یا سلول‌های سوختی برآورده سازی نیازهای حرارتی و نیروی الکتریکی را به گونه‌ای پاکیزه و پربازده امکان‌پذیر می‌سازد. آنها از فرآیندی الکتروشیمیایی مشابه باطری‌ها از عمل عکس الکترولیز آب استفاده می‌گردد، به عبارت دیگر از واکنش بین هیدروژن و اکسیژن، آب، حرارت و الکتریسیته تولید می‌گردد.

این تبدیل مستقیم بوده و بنابراین از بازده بالایی برخوردار است. در واقع می‌توان گفت که پیل سوختی مجموعه‌ای از الکترولیت، الکترودها (آنُد و کاتُد) و صفحات دو قطبی است. در پیل سوختی هیدروژن از آند و اکسیژن از کاتد وارد می‌شوند. هیدروژن الکترون خود را در آند از دست داده و بصورت پروتون از طریق الکترولیت به سمت کاتد حرکت می‌کند. الکترون نیز از طریق مدار خارجی به سوی کاتد هدایت می‌شود. اکسیژن با دریافت الکترون و پروتون به آب تبدیل می شود. حرکت الکترون از آند به کاتد جریان برق مستقیم را به وجود می‌آورد. آب حاصل در کاتد می‌تواند مورد استفاده مجدد قرار گیرد.



شکل ۲-۱۱- نحوه عملکرد پیل سوختی به همراه فرآیند شیمیایی آن

در مصارف CHP در این گونه سلول‌ها معمولاً حرارت بصورت آب داغ و یا بخار فشار پایین (کمتر از ۲ اتمسفر) بازیابی می‌شود و کیفیت حرارت بسته به نوع سلول و دمای عملکرد آن خواهد بود. سلول‌های سوختی از هیدروژنی استفاده می‌کنند که می‌تواند از گاز طبیعی، گاز زغال سنگ، متانول و دیگر سوخت‌های هیدروکربنی بدست آید.

انواع مختلفی از سلول سوختی موجود است، که هرکدام از یک فرآیند شیمیایی متفاوت استفاده می‌کنند. سلول‌های سوختی معمولاً بر حسب نوع الکترولیتی که در آنها استفاده می‌شود، دسته بندی می‌شوند. در حال حاضر سلول‌های سوختی زیر از متداول‌ترین آنها می‌باشد.

omoorepeyman.ir

- اسید فسفریک (PAFC)
- غشای تبادل پروتون (PEMFC)
- کربنات ذوب شده (MCFC)
- اکسید جامد (SOFC)
- آلکالین (AFC)

سیستم‌های PAFC بصورت تجاری با ظرفیت‌های ۲۰۰ تا ۴۰۰ کیلووات و سیستم‌های MCFC با ظرفیت‌های ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلووات وجود دارند. به علت هزینه‌های ثابت بالای سیستم‌های سلول سوختی، مهمترین مصارف آنها برای ژنراتورهای محلی در سیستم‌های CHP خواهد بود.

مزایای پیل‌های سوختی بطور کلی عبارتند از:

- بازده بالا
- سازگاری با محیط زیست
- سادگی سیستم از نظر تعمیر و نگهداری
- تنوع در سوخت مصرفی
- عدم آلودگی صوتی به سبب نداشتن قسمت‌های متحرک
- طراحی و ساخت توان‌های کوچک (میلی وات) تا بزرگ (مگاوات)
- امکان استفاده از سوخت‌های فسیلی و پاک
- قابلیت تولید همزمان حرارت و الکتریسیته و استفاده در کاربردهای تولید غیر متمرکز انرژی
- پاسخ سریع به تغییر بار

معایب پیل‌های سوختی نیز از قرار زیر می‌باشد:

- گران‌تر بودن این نوع فناوری و عدم توسعه یافتگی آن
- نیاز به مواد بیشتر و فرآیندهای سریعتر نسبت به دیگر پیل‌ها
- مشکلاتی چون ناسازگاری عناصر و افت انرژی بر اثر ایجاد گرما در مدت طولانی کار
- رسوب کربن و مسمومیت پیل ناشی از کار و گرمای بیش از حد در صورت استفاده از سوخت ناخالص

omoorepeyman.ir

۲-۴- ظرفیت، کاربری، حوزه نفوذ پروژه و محل جغرافیایی اجرای پروژه

طبقه بندی سیستم‌های CHP را می‌توان در سه رده و بر حسب ظرفیت توان الکتریکی تولیدی بصورت جدول زیر بیان کرد. هر چند بطور قطع نمی‌توان این تقسیم بندی را مطلق عنوان کرد.

جدول ۲-۱- طبقه بندی CHP بر حسب ظرفیت و کاربری

ظرفیت	بازه توان (کیلووات)	کاربری
کوچک / کم	۱ الی ۱۰۰	خانگی - اداری
متوسط	۱۰۰ الی ۱۰۰۰۰	اداری - تجاری - صنعتی
بزرگ / بالا	۱۰۰۰۰ به بالا	صنعتی

همچنین کاربرد و حوزه نفوذ پروژه بیشتر معطوف حرارت مورد نیاز مجموعه به لحاظ کیفی و کمی می‌باشد. در جاییکه تنها نیاز به آب گرم در مقیاس پایین دارد. موتورهای پیستونی تجاری بهترین گزینه هستند. به ازای هر کیلووات ساعت انرژی تولیدی، حرارت مجموعه قابلیت افزایش دمای آب به میزان ۵۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم درجه سانتیگراد را دارد. که معادل افزایش دمای ۱۰ تا ۱۸ کیلوگرم آب به اندازه ۵۰ درجه سانتیگراد است. گرم کردن آب یکی از متداولترین نیازهای تمام کاربری‌ها می‌باشد که تفاوت در کیفیت و کمیت آن می‌باشد.

در صورت نیاز به بخار توربین‌ها بهترین گزینه‌اند. هر چند برای بخار کم فشار در مقیاس کم از موتورهای پیستونی نیز می‌توان استفاده کرد. که این حالت بیشتر برای ترکیب با سیستم چیلرهای جذبی مناسب می‌باشند. میزان نیاز به حرارت جهت استفاده در سیستم‌های تهویه مطبوع، در طول سال بر حسب فصول مختلف و تغییرات دمایی تغییر می‌کند. لذا بهترین مکان‌ها برای پایدار کردن حرارت مصرفی خانگی و اداری، مکان‌هایی است که در طول سال تغییرات دمایی کمتری دارند. همچنین تأثیرات افزایش دما و کاهش فشار بر روی عملکرد توربین‌های گازی بسیار چشمگیر بوده و منجر به کاهش راندمان آنها می‌شود. هر چند در بیشتر شرایط و موقعیت‌ها، مجموعه‌ای از موتورها در کنار هم بازدهی و قابلیت دسترسی را بالا می‌برند. به همین دلیل در بسیاری از نیروگاه‌ها چند نوع مختلف از مولدها کنار هم تولید برق می‌کنند.

بطور خلاصه می‌توان مزایا و معایب انوع CHPها و ظرفیت آنها را در جدول زیر خلاصه کرد.

omoorepeyman.ir

جدول ۲-۲- خلاصه شرح تکنولوژی‌های CHP

نوع سیستم	مزایا	معایب	ظرفیت‌های موجود
توربین گازی	اطمینان بالا آلایندگی کم حرارت با کیفیت بالا بدون نیاز به سرد کننده	نیاز به گاز بالا و یا کمپرسور گاز بازده پایین هنگام تولید با ظرفیت پایین کاهش تولید با افزایش دمای محیط	۵۰۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات
میکروتوربین	قطعات متحرک کم و کوچک سایز فشرده و وزن کم آلایندگی هوا و صوتی کم بدون نیاز به سرد کننده فواصل طولانی تعمیرات	هزینه سرمایه گذاری بالا بازدهی مکانیکی نسبتاً کم محدود به کاربرد در دماهای پایین تر پیچیده تر بودن اتصال به شبکه سراسری برق	۳۰ کیلووات تا ۲۵۰ کیلووات
موتورهای پیستونی	توان بازدهی بالا انعطاف پذیری در هنگام عملکرد بخشی از ظرفیت راه اندازی سریع هزینه سرمایه گذاری نسبتاً کم قابل استفاده بصورت مستقل از شبکه قابلیت تنظیم میزان بار تولیدی کل قابل تنظیم در محل با اپراتورهای عادی کارکرد با گاز فشار پایین	هزینه نگهداری بالا محدود به کاربرد در دماهای پایین تر آلایندگی هوای نسبتاً بالا باید دائماً سرد شود حتی اگر حرارت خروجی مورد استفاده نباشد ایجاد آلودگی صوتی	**احتراق جرقه‌ای** برای مصارف محلی کمتر از ۵ مگاوات - با سرعت بالا ۱۲۰۰ کمتر از ۴ مگاوات **احتراق تراکمی** با سرعت پایین تا ۷۵ مگاوات
توربین بخار	بازده کل بالا تنوع سوخت مصرفی قابلیت حرارت دهی به بیش از یک پایانه قابلیت اطمینان و طول عمر زیاد امکان تغییر در نسبت نیرو به حرارت	راه اندازی طولانی نسبت نیرو به حرارت پایین	۵۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات
سلول سوختی	آلودگی صوتی و آلایندگی کم بازدهی بالا برای بارهای تولیدی مختلف طراحی تفکیکی	قیمت بالا تداوم پایین و چگالی نیرو نیاز به فرایند روی سوخت (غیر از هیدروژن خالص)	۵ کیلووات تا ۲ مگاوات

omoorepeyman.ir

فصل ۳

پردازش و تحلیل سیستم‌های CHP

omoorepeyman.ir

۳-۱- تحلیل عملکرد و بازدهی [9] , [10]

در واحدهایی که بطور همزمان به حرارت و توان نیاز دارند، پتانسیل ایجاد تولید مشترک وجود دارد. سیستم تولید مشترک مقرون به صرفه‌تر خواهد بود در صورت افزونی موارد استفاده انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی، وجود الگوهای بار پایدار و ثابت انرژی حرارتی و الکتریکی، طولانی بودن ساعات بهره برداری فرآیند، قیمت بالای برق شبکه یا عدم دسترسی به شبکه.

برنامه بلندمدت استفاده از واحدهای تولید ترکیبی برق و حرارت، براساس حداقل سازی مجموع هزینه‌های اقتصادی سیستم عرضه انرژی تهیه شده است. در محاسبه هزینه‌های سیستم عرضه انرژی، مؤلفه‌های سرمایه گذاری، هزینه‌های بهره برداری و هزینه‌های سوخت و برق لحاظ شده است.

با توجه به تأثیر پذیری انتخاب روش‌های مختلف تولید ترکیبی برق و حرارت از شرایط محیطی، پیشنهاد می‌شود مطالعات میدانی هر پروژه اجرایی بصورت موردی انجام شود. لازم است در این مطالعات، ساز و کارهای فروش یا استفاده حرارت نیز بدقت مورد بررسی قرار گیرد زیرا بازار مطمئن فروش حرارت تأثیر مهمی بر انتخاب آلترناتیوهای موجود در تولید همزمان دارد ولی آنچه که بدیهی بنظر می‌رسد، استفاده از تولید ترکیبی برق و حرارت بمنظور بالا بردن بازده بخش عرضه انرژی است.

برای انتخاب سیستم CHP موارد زیر باید کاملاً مشخص شود تا سیستم سودآور باشد.

- پروفایل بار الکتریکی و حرارتی مورد نیاز روزانه و سالانه که نشان دهنده حداکثر، حداقل و متوسط توان الکتریکی و حرارتی مورد نیاز باشد.
- امکان خرید و فروش توان الکتریکی و حرارتی همراه قیمت آن. (از آنجا شبکه حرارتی وجود ندارد امکان خرید و فروش حرارت محدود به محل مصرف است)
- قیمت سوخت و هزینه انتقال و نگهداری آن. (در صورتی که برای حرارت تولیدی بیش از نصب CHP از سوختی متفاوت استفاده می‌شده می‌بایست هزینه‌های آن نیز جداگانه محاسبه شود.)
- در صورت نصب CHP از ابتدا بدون وجود هرگونه تجهیزات حرارتی، هزینه‌های مشترک با سیستم حرارتی جداگانه باید از محاسبات سرمایه گذاری حذف شود.

بیشتر مزایای تکنولوژی‌های CHP به علت بازده نسبتاً بالای این سیستم‌ها در مقایسه با دیگر روش‌ها است. به دلیل اینکه سیستم‌های CHP بطور همزمان انرژی‌های حرارتی و الکتریکی تولید می‌کنند، بازدهی CHP به گونه‌های مختلفی اندازه گیری و بیان می‌گردد، که در جدول ۳-۱- اندازه گیری بازدهی سیستم‌های CHPجدول ۳-۱ آمده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۱- اندازه گیری بازدهی سیستم‌های CHP [10]

نوع سیستم تولید		میزان بازده
تولید جداگانه حرارت و نیروی الکتریکی	بازده حرارتی بویلر	$E_Q = \frac{Q}{F}$
	فقط تولید الکتریکی	$E_P = \frac{P}{F}$
	بازده کلی سیستم تولید جداگانه حرارت و نیرو	$E_T = \frac{P+Q}{P/E_P + Q/E_Q}$
تولید ترکیبی نیروی الکتریکی و حرارت CHP	بازده کلی سیستم CHP	$E_T = \frac{P+Q}{F}$
	بازده استاندارد FERC	$E_{FERC} = \frac{P+Q/2}{F}$
	بازده الکتریکی مؤثر (بازده مصرف سوخت FUE)	$FUE = \frac{P}{F - Q/E_{Thermal}}$
مقایسه دو سیستم	درصد صرفه جویی سوخت	$S = 1 - \frac{F}{P/E_P + Q/E_Q}$

- P = توان خالص الکتریکی خروجی
- Q = توان خالص حرارتی خروجی
- F = انرژی سوخت ورودی
- $E_{Thermal}$ = بازده بویلر در حالت تولید حرارت جداگانه که معمولاً ۸۰ درصد درنظر گرفته می‌شود.
- E_{FERC} = روش FERC سعی بر محاسبه‌ی تمایز تولید الکتریسیته نسبت به تولید حرارت دارد.

در سیستم‌های CHP محاسبه بازده نهایی مستلزم درنظر گرفتن همزمان سوخت مصرفی برای تولید همزمان توان الکتریکی و حرارت بوده و برابر است با خروجی خالص توان الکتریکی بعلاوه خروجی حرارت مفید حاصله تقسیم بر ارزش حرارتی سوخت مصرف شده. گرچه بازده نهایی CHP معیاری را برای بدست آوردن میزان سوخت مصرفی برای تولید الکتریسیته و حرارت ارائه می‌دهد، اما واقعیت این است که الکتریسیته و حرارت کیفیت‌های متفاوتی دارند. با توجه به اینکه الکتریسیته قابل انتقال به فواصل دور بوده و قابلیت تبدیل شدن به سایر فرم‌های انرژی را دارد، کیفیت و ارزش الکتریسیه تولیدی بیش از حرارت تولیدی خواهد. بمنظور محاسبه‌ی این تفاوت‌ها سند سیاست گذاری تنظیم صنایع همگانی در سال ۱۹۷۸ نیمی از انرژی حرارتی را در فرمول بازده استاندارد خود کاهش داد.

$$E_{FERC} = \frac{P+\frac{Q}{2}}{F} \qquad (۱-۳)$$

مفهوم دیگری در بازده CHP عبارت بازده الکتریکی مؤثر است که با عنوان تأثیرگذاری مصرف سوخت نیز بیان می-شود. این معیار، بازده CHP را توسط نسبت تولید خالص الکتریکی به مصرف خالص سوخت بیان می‌کند، بطوریکه مصرف خالص سوخت، آن بخش از سوخت را که برای تولید حرارت مفید بکار می‌رود شامل نمی‌شود. سوختی که

omoorepeyman.ir

بمنظور تولید حرارت مفید مصرف می‌شود با فرض بازده معمول بویلر به میزان ۸۰ درصد محاسبه می‌گردد. معیار بازده الکتریکی مؤثر در CHP هر دو مقدار خروجی‌های حرارتی و الکتریکی دستگاه را مورد بررسی قرار می‌دهد. رابطه زیر مقدار FUE[17] را محاسبه می‌کند.

$$\mathrm{FUE} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{F} - \mathrm{Q}/\mathrm{E}_{\mathrm{Thermal}}} \qquad (۲-۳)$$

FUE میزان تولید الکتریکی و حرارتی دستگاه CHP را بطور همزمان مورد بررسی قرار داده و خصوصاً مقدار بازدهی برق را با درنظر گرفتن مصرف سوخت صعودی سیستم CHP اندازه گیری می‌نماید.

مقدار سوخت ذخیره شده، سوخت مصرف شده توسط سیستم CHP را با سیستم تولید جداگانه مقایسه می‌کند. رابطه زیر درصد صرفه جویی سوخت را بیان می‌کند.

$$\mathrm{S} = 1 - \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{P}/\mathrm{E}_{\mathrm{P}} + \mathrm{Q}/\mathrm{E}_{\mathrm{Q}}} \qquad (۳-۳)$$

در معادله فوق، صورت کسر به سوخت مصرف شده در تولید الکتریسیته و حرارت در سیستم CHP اشاره دارد و مخرج کسر مجموع سوخت مصرف شده برای تولید توان الکتریکی و حرارت بصورت جداگانه را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت نشان دهنده‌ی ذخیره‌ی سوخت بوده در حالیکه مقادیر منفی بیانگر آن است که CHP مورد استفاده میزان سوخت بیشتری در مقایسه با مولدهای جداگانه توان و حرارت مصرف خواهد کرد.

مفهوم مهم دیگری در رابطه با بازده CHP عبارت نسبت توان حرارتی به الکتریکی (یا بلعکس؛ نسبت توان الکتریکی به حرارتی) است. این کمیت نشان دهنده نسبت انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی (یا مکانیکی) تولید شده در سیستم CHP است. به دلیل آنکه بازدهی تولید نیرو و حرارت به شکل قابل ملاحظه متفاوتند، این مقدار نقش مهمی بر چگونگی مقایسه بازده کل سیستم CHP با سیستم تولید برق و حرارت بطور جداگانه خواهد داشت.

[17] - Fuel Utilization Effectiveness

omoorepeyman.ir

۳-۲- تحلیل اقتصادی

در امور مالی میزان بازده عبارت است از نسبت پول به دست آمده در سرمایه گذاری به مقدار سرمایه اولیه. مقدار پول به دست آمده ممکن است مربوط به بهره، سود یا درآمد خالص باشد و شامل همه عناصر سودآوری (درآمد، هزینه و سرمایه گذاری) می‌باشد و معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود.

از آنجا که نرخ تورم، ارزش پول ملی، تغییر قیمت‌ها و خیلی از عوامل دیگر اثر گذار در محاسبات یک سرمایه گذاری در ایران بسیار متغیر و غیر قابل پیش بینی است لذا نحوه محاسبات مالی در این گزارش بر اساس سود حاصل از سرمایه گذاری مورد محاسبه قرار می‌گیرد تا با پتانسیل‌های دیگر سرمایه گذاری به لحاظ سودآوری مقایسه شود. این روش در حال حاضر برای شرایط متغیر ایران کاراترین روش می‌باشد. ضمن آنکه حس قابل ملموسی به خواننده از میزان بازدهی سرمایه می‌دهد.

۳-۲-۱- هزینه‌ها و درآمدها

برای بررسی میزان سودآوری پروژه ابتدا پارامترهای مورد نیاز را تعریف کرده تا در ادامه با استفاده از آنها بتوان ساده‌تر مسائل را بیان کرد. در همین راستا در جدول ۳-۲ علائم لازم برای محاسبات معرفی شده است، که با تعیین آنها و بررسی شرایط قبل و بعد از نصب CHP، سود آوری ناشی از این سرمایه گذاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. هزینه‌های مشترک قبل و بعد از نصب سیستم، درنظر گرفته نشده است.

۳-۲-۱-۱- هزینه‌های قبل از نصب CHP

هزینه‌های قبل از نصب CHP که بعد از نصب حذف می‌شود (ریال بر ساعت) عبارتند از؛

- ✓ هزینه بخشی از برق مصرفی مجموعه که توسط CHP تولید می‌شود:

$$a1 = P \times \alpha \times n \quad (۴-۳)$$

- ✓ هزینه حرارت مصرفی مجموعه که توسط CHP تولید می‌شود:

$$a2 = \frac{H \times \beta \times f \times 3600}{Lf \times b} \quad (۵-۳)$$

۳-۲-۱-۲- هزینه‌های پس از نصب CHP

هزینه‌های پس از نصب CHP (ریال بر ساعت) عبارتند از؛

- ✓ هزینه سوخت CHP:

$$a3 = \frac{P \times c \times 3600}{e \times Lc} \quad (۶-۳)$$

- ✓ هزینه تعمیر و نگهداری (می‌توان درصدی از هزینه سرمایه گذاری اولیه درنظر گرفت):

$$a4 = OM \quad (۷-۳)$$

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۲- پارامترهای پروژه

ردیف	پارامتر	واحد	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP	کیلووات	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP	کیلووات	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	-	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه	ریال بر کیلووات ساعت	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه	ریال بر کیلووات ساعت	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه	ریال بر مترمکعب	f
۷	ارزش حرارتی سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه	کیلوژول بر مترمکعب	Lf
۸	قیمت سوخت CHP	ریال بر مترمکعب	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP	کیلوژول بر مترمکعب	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت	ریال بر کیلووات ساعت	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP	ریال	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات	ریال بر کیلووات	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP	ریال	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	-	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	-	e
۱۶	راندمان الکتریکی مؤثر CHP	-	FUE
۱۷	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	-	b
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	-	α
۱۹	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	-	β
۲۰	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال	ساعت	t
۲۱	قیمت هر واحد انرژی	ریال بر کیلووات ساعت	PUE
۲۲	قیمت هر واحد انرژی مؤثر	ریال بر کیلووات ساعت	PUEe

- $0 < e < 1 \quad , \quad 0 < b < 1 \quad , \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad , \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad , \quad 0 < om < 1 \quad , \quad 0 < t < 8760$

omoorepeyman.ir

۳-۲-۱-۳- درآمدهای پس از نصب CHP

درآمدهای پس از نصب CHP (ریال بر ساعت) عبارتند از؛

- ✓ درآمد حاصل از فروش قسمتی از برق تولیدی CHP:

$$a5 = P \times (1-\alpha) \times s \qquad (۸-۳)$$

- ✓ درآمد حاصل از فروش بخشی از حرارت تولیدی CHP:

$$a6 = H \times (1-\beta) \times g \qquad (۹-۳)$$

۳-۲-۱-۴- درآمدهای خالص

درآمدهای پروژه (A) بر حسب ریال بر ساعت، حاصل کم کردن هزینه‌های سیستم نصب شده (الف) از جمع هزینه-هایی است که بر اثر استفاده از CHP دیگر تحمیل نمی‌شود (ب) و درآمدهای ناشی از نصب CHP (ج) است، که برابر است با:

درآمدهای پروژه = الف + ب − ج

$$A = a5 + a6 + a1 + a2 - a3 - a4 \qquad (۱۰-۳)$$

$$A = P \cdot (1-\alpha) \cdot s + H \cdot (1-\beta) \cdot g + P \cdot \alpha \cdot n + H \cdot \beta \cdot f \cdot \frac{3600}{b.Lf} - P \cdot c \cdot \frac{3600}{e.Lc} - OM \qquad (۱۱-۳)$$

البته موارد دیگری نیز می‌باشد که به دلیل کم اهمیت بودن و همچنین نبودن اطلاعات دقیق (مربوط به گزارش‌ها) در این زمینه از بیان آن صرفنظر شده است. بعنوان مثال در هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه، درست آن است که هزینه تعمیر و نگهداری یک سیستم تولید جداگانه از آن کم شود تا بررسی مسئله دقیق‌تر شود. در یک سیستم CHP عمده هزینه تعمیرات برای مولد و ژنراتور صرف می‌شود، هزینه مربوط به مبدل حرارتی بسیار ناچیز می‌باشد. در سیستم جداگانه و به دلیل استفاده از برق شبکه هیچ هزینه‌ای مستقیماً به مصرف کننده تحمیل نمی‌شود و هزینه مربوط به تعمیر و نگهداری بویلر نیز در مقایسه با کل هزینه‌های سالانه CHP قابل اغماض است. همچنین در مورد هزینه‌های سرمایه گذاری صحیح‌تر آن است که هزینه متعلقات مربوط به تولید آب گرم یا بخار (در سیستم جداگانه) از هزینه اولیه سرمایه گذاری CHP کم شود، اما بدلیل آنکه این هزینه در مقایسه با کل CHP کم می‌باشد و همچنین در بسیاری از مراکز نصب CHP سیستم تولید جداگانه حرارت جهت افزایش اطمینان (استفاده در صورت خرابی یا دوره تعمیرات CHP) وجود دارد و یا پیش از اقدام به نصب سیستم همزمان این متعلقات وجود داشته است، از آن صرفنظر می‌شود.

omoorepeyman.ir

۳-۲-۲- سود پروژه

سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه برابر است با تقسیم درآمد سالانه (A×t) (ضرب درآمد محاسبه شده بر حسب ریال بر ساعت طبق رابطه (۳-۱۱) در ساعات کارکرد سالانه CHP) به سرمایه گذاری اولیه:

$$B = A \times \frac{t}{I} \qquad (۱۲-۳)$$

حال اگر صورت و مخرج همزمان بر توان الکتریکی تولیدی CHP بر حسب کیلووات تقسیم شود، رابطه زیر بدست می‌آید؛

$$B = A \times \frac{t/P}{I/P} = \left[(1-\alpha)\cdot s + \frac{H}{P}\cdot(1-\beta)\cdot g + \alpha\cdot n + \frac{H}{P}.\beta\cdot f\cdot\frac{3600}{b.Lf} - c\cdot\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om \qquad (۱۳-۳)$$

۳-۲-۳- قیمت تمام شده هر واحد انرژی

حال برای محاسبه قیمت هر واحد انرژی فقط هزینه‌های جاری مورد محاسبه قرار می‌گیرد، یعنی هزینه سوخت ورودی به CHP. ابتدا هزینه هر کیلووات ساعت برق تولیدی بدون درنظر گرفتن بخش حرارتی مورد محاسبه قرار می-گیرد (برای حالتی که نیاز به حرارت در مجموعه نداریم مثل فصول خاص برای سیستم‌های تهویه مطبوع) در این حالت تنها راندمان الکتریکی CHP مورد توجه می‌باشد. در این حالت از رابطه زیر استفاده می‌شود؛

$$PUE = \frac{c\times 3600}{L_c\times e} \qquad (۱۴-۳)$$

در ادامه فرض می‌شود در نبود CHP برای ایجاد حرارت مورد نیاز، از همان سوخت استفاده شده در CHP برای ایجاد حرارت در یک بویلر با راندمان b استفاده می‌شود. (بطور معمول این راندمان را ۸۰ درصد درنظر می‌گیرند). حال در هنگام استفاده از CHP این حرارت از تلفات بخش الکتریکی حاصل می‌شود، که اگر این میزان حرارت تولیدی را از انرژی سوخت کم کنیم، می‌توان درنظر گرفت مابقی بطور خالص صرف تولید الکتریسیته شده است. که در این حالت راندمان الکتریکی مؤثر (FUE) مورد توجه می‌باشد، در این صورت از رابطه زیر استفاده می‌شود؛

$$FUE = \frac{P}{F-\frac{Q}{E_{Thermal}}} = \frac{P}{\frac{P}{e}-\frac{H}{b}} = \frac{P}{\frac{P}{e}-\frac{H}{0.8}} = \frac{1}{\frac{1}{e}-\frac{H}{0.8\times P}} = \frac{0.8\times e}{0.8-e\times\frac{H}{P}} \qquad (۱۵-۳)$$

$$PUE_e = \frac{c\times 3600}{L_c\times FUE} = \frac{c\times 3600\times\left(b-e\times\frac{H}{P}\right)}{L_c\times b\times e} = \frac{c\times 3600\times\left(0.8-e\times\frac{H}{P}\right)}{L_c\times 0.8\times e} \qquad (۱۶-۳)$$

در واقع از آنجا که ممکن است از حداکثر ظرفیت حرارتی سیستم استفاده نشود. لذا قیمت هر واحد برق تولیدی (بر حسب ریال بر کیلووات ساعت) بدون درنظر گرفتن اینکه چه میزان از حرارت حاصله استفاده می‌شود مابین دو عدد PUEe (حداقل قیمت) و PUE (حداکثر قیمت تولیدی) خواهد بود. از این پس در گزارش منظور از حداقل قیمت هر واحد انرژی PUEe و حداکثر قیمت هر واحد انرژی PUE خواهد بود.

omoorepeyman.ir

۳-۲-۴- صرفه جویی در هر واحد محصول

با درنظر گرفتن انرژی بعنوان محصول سیستم CHP و سوخت بعنوان عامل تولید انرژی، برای محاسبه صرفه جویی در هر واحد محصول باید میزان صرفه جویی در مصرف سوخت محاسبه شود. این محاسبه بین دو حالت CHP و سیستم تولید مجزا و جداگانه تولید برق و حرارت می‌باشد. برای محاسبه درصد صرفه جویی سوخت از رابطه زیر استفاده می‌شود، که F میزان مصرف سوخت CHP و برای E_Q نیز از راندمان معمولی بویلر یعنی ۸۰ درصد استفاده می‌شود. برای E_P می‌توان دو حالت متفاوت به شرح زیر می‌توان درنظر گرفت.

۳-۲-۴-۱- دیدگاه محلی

در این حالت E_P همان راندمان الکتریکی دستگاه (e) منظور شود. در این حالت فرض شده که مجموعه خود دارای مولد برق می‌باشد که از حرارت و تلفات مولد استفاده نمی‌شود. در این حالت درصد صرفه جویی از رابطه زیر حاصل می‌شود؛

$$S_S = 1 - \frac{F}{\frac{P}{E_P}+\frac{Q}{E_Q}} = 1 - \frac{\frac{P}{e}}{\frac{P}{e}+\frac{H}{0.8}} = \frac{\frac{H}{0.8}}{\frac{P}{e}+\frac{H}{0.8}} = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8+\frac{H}{P}.e} \qquad (۱۷-۳)$$

۳-۲-۴-۲- دیدگاه ملی

در صورت استفاده مجموعه پیش از نصب CHP، از برق شبکه، برای محاسبه میزان صرفه جویی، E_P متوسط راندمان الکتریکی نیروگاه‌های کشور بجای راندمان الکتریکی دستگاه در حالت قبل باید مورد استفاده قرار گیرد. که این عدد طبق آخرین اعلام حدود ۳۹/۲۶ درصد گزارش شده است. که بدلیل استاندارد بودن مبنای کار در این گزارش خواهد بود. در این صورت درصد صرفه جویی از رابطه زیر حاصل می‌شود که مبنای کار این گزارش است؛

$$S_N = 1 - \frac{F}{\frac{P}{E_P}+\frac{Q}{E_Q}} = 1 - \frac{\frac{P}{e}}{\frac{P}{0.3926}+\frac{H}{0.8}} = 1 - \frac{0.314}{0.8\times e+0.3926\times\frac{H}{P}\times e} \qquad (۱۸-۳)$$

۳-۲-۵- مثال

حال یک مثال ساده و عملیاتی بصورت زیر فرض می‌شود.

CHP با سوخت گاز و راندمان ۴۰٪ الکتریکی و ۸۰٪ نهایی (یعنی a=0.4 ، H/P=1) که کل برق و حرارت تولیدی، به مصرف مجموعه برسد (یعنی α=1 و β=1) و هزینه تعمیرات و نگهداری مجموعه ۵٪ سرمایه گذاری اولیه باشد (om=0.05). اطلاعات موجود را در رابطه (۳-۱۳) قرار داده می‌شود.

$$B = \left[n + \frac{f \times 3600}{b \times Lf} - \frac{c \times 3600}{e \times Lc}\right] \times \frac{t}{i} - 0.05$$

omoorepeyman.ir

قیمت متوسط برق مصرفی مجموعه (جمع کم، میان و اوج باری) در صورت خرید از شبکه (n) برابر با ۵۰۰ ریال بر کیلووات ساعت، و راندمان بویلر برای ایجاد حرارت لازم در حالت جداگانه (b) ۸۰٪ فرض شود. سوخت CHP با سوخت بویلر یکسان (گاز طبیعی) فرض شده است (f=c). متوسط گاز ایران دارای ارزش حرارتی ۳۶۰۰۰ کیلوژول بر مترمکعب می‌باشد و قیمت گاز مصرفی ۷۰۰ ریال بر متر مکعب است.

حال با فرض کار کردن این CHP (t) به مدت ۸۰۰۰ ساعت در سال (زمان دسترسی ۹۱٪) نتیجه می‌شود:

$$B = \left[500 + \frac{700 \times 3600}{0.8 \times 36000} - \frac{700 \times 3600}{0.4 \times 36000}\right] \times \frac{8000}{i} - 0.05 = \frac{3300000}{i} - 0.05$$

قیمت سرمایه گذاری اولیه ۱۰۰۰ دلار بر کیلووات باشد (این مبلغ بسته به نوع CHP و ظرفیت و ... از ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ دلار بر کیلووات متغیر است)

و برای قیمت دلار ۲۵۰۰۰ ریال سود پروژه برابر است با: $B = 0.082$

و برای قیمت دلار ۱۲۲۶۰ ریال سود پروژه برابر است با: $B = 0.219$

همانطور که می‌بینید سود این سرمایه گذاری با قیمت دلار دولتی ۲۱/۹ درصد است که از سود ۲۰٪ بانکی بیشتر است. دریافت وام نیز زمانی سودمند است که سود بازپرداخت آن کمتر از درصد سود محاسبه شده باشد. از جمله راهکارهای افزایش این سود تلاش برای افزایش زمان دسترسی (به سمت ۱۰۰٪)، کاهش هزینه سرمایه گذاری اولیه، فروش برق و حرارت به قیمتی بیش از قیمت محاسبه شده می‌باشد، که در فصل پنجم بطور کامل بررسی خواهد شد.

آنچه مشخص است قیمت کنونی برق از حرارت بیشتر است، لذا CHP در صورتی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود که راندمان الکتریکی بالاتری داشته باشد. این راندمان حداکثر ۴۲٪ می‌باشد. هرچند برخی از تولید کنندگان آماری بالاتر از این مقدار برای حالت استاندارد داده‌اند، اما بطور تجاری و گسترده رنج کنونی زیر ۴۰٪ است.

قیمت هر واحد انرژی PUE (حداکثر قیمت تولیدی) برای این حالت برابر است با ۱۷۵ ریال بر کیلووات ساعت؛

$$PUE = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36000 \times 0.4} = 175\ \text{Rial/kWh}$$

قیمت هر واحد انرژی مؤثر PUE_e (حداقل قیمت تولیدی) نیز برابر است با ۸۷/۵ ریال بر کیلووات ساعت؛

$$PUE_e = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.4)}{36000 \times 0.8 \times 0.4} = 87.5\ \text{Rial/kWh}$$

درصد صرفه جویی سوخت نیز برابر است با دیدگاه محلی ۳۳ درصد و از نگاه ملی ۳۴ درصد می‌باشد؛

$$S_S = \frac{\frac{H}{P} \times e}{0.8 + \frac{H}{P} \times e} = \frac{0.4}{1.2} = 0.33 \quad , \quad S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 0.342$$

omoorepeyman.ir

فصل ۴

پروژه‌های انجام شده CHP در کشور

omoorepeyman.ir

۴-۱- پروژه شماره ۱

این پروژه مربوط به یک شرکت، جهت تولید محصول نیاز به بخار فرآیندی دارد. لذا جهت بهینه سازی مصرف سوخت، از روش چرخه صعودی و توربین پس فشاری در CHP این شرکت استفاده شده است. بخار تولید شده در بویلر پیش از استفاده در فرآیند وارد توربین بخار شده و در آن انبساط می‌یابد. در نتیجه این عمل ابتدا انرژی الکتریکی تولید شده و سپس بخار خروجی از توربین در فشار پایین‌تر صرف پروسه‌های فرآیندی تولید می‌شود. تمام کارهای طراحی و اجرای این طرح توسط خود کارشناسان کارخانه انجام شده و هزینه‌ای جدا برای مشاور و پیمانکار پرداخت نشده است. هزینه تمام شده انجام این پروژه ۱۵ میلیارد ریال بوده است که مابین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲ انجام شده است.

مزیت‌های این طرح

۱- بدلیل موجود بودن امکانات زیر، بخش قابل توجهی از سرمایه گذاری اولیه قبلاً صورت گرفته و نیازی به سرمایه گذاری مجدد نبوده است.

- دیگ‌های بخار با ظرفیت مورد نیاز، موجود و در حال کار بوده است و با توجه به تعمیرات اساسی انجام شده و پتانسیل موجود نیاز به خرید و نصب دیگ بخار جدید وجود نداشته است.
- محل نصب توربین جدید تقریباً آماده و با توجه به مجتمع و متمرکز بودن نیروگاه نیازی به حجم زیادی کار ساختمانی یا اجرای لوله کشی‌های سنگین نبود.
- نیروی انسانی بهره بردار و تعمیراتی وجود داشت.

۲- در سیکل توربین پس فشار نیازی به تجهیزاتی نظیر کندانسور و برج خنک کننده و نیز سیستم خلاء، اژکتور بخار، کندانسور میانی، پمپ‌های کندانس و تجهیزات کنترلی سطح آب تشت کندانس نیست، لذا سرمایه گذاری اولیه و نیز هزینه‌های جاری مربوط به این موارد وجود ندارد.

۳- بدلایل زیر کار بهره برداری از توربین پس فشار نسبت به توربین چگالنده‌دار آسانتر و راه اندازی آن نیز سریعتر است:

- سوپاپ‌های اکستراکشن و تجهیزات کنترلی آن وجود ندارد. لذا تعمیرات آسانتر بوده و نیز هنگام راه اندازی یا توقف و حتی بهره برداری نیرویی صرف این بخش مهم نخواهد شد.
- یکی از معضلات راه اندازی توربین چگالنده‌دار راه اندازی سیستم خلاء و تأمین خلاء مورد نیاز قبل از دور دادن توربین است که عملاً در توربین پس فشاری وجود ندارد. لذا راه اندازی سریعتر و بهره برداری آسانتر است.
- بخش قابل توجهی از فعالیت‌های تعمیراتی توربین با بخار چگالنده‌دار معطوف به تعمیرات سیستم کندانس و خلاء و جت‌های بخار و تعویض لوله مبدل‌هاست که عملاً حذف خواهد شد.

omoorepeyman.ir

از آنجا که بویلر در این طرح بخار توربین کندانس شونده و پمپ‌ها را نیز تأمین می‌کند، آمار جداگانه برای مصرف گاز و دود خروجی بویلر بطور دقیق نداریم و برخی اعداد به نسبت توان‌ها تخمین زده شده است.

شکل ۴-۱- توربین بخار پس فشاری

جدول ۴-۱- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۱ برای حالت نامی استاندارد

نوع مولد: توربین بخار پس فشاری	نام برند/مدل: Fincantieri / 36 B	توان نامی (kW): ۳۱۰۲
دور نامی موتور (rpm): ۱۲۰۰۰	زمان اورهال (ساعت): ۳۰۰۰۰	مصرف سوخت (m^3/hr): حدود ۶۰۰۰
فشار بخار ورودی توربین (Bar): ۴۲/۴	دمای بخار ورودی توربین (°C): ۳۵۰	دبی بخار (kg/hr): ۵۰۰۰۰
فشار بخار خروجی توربین (Bar): ۱۲	دمای بخار خروجی توربین (°C): ۲۱۶	نوع بویلر: Water Tube

هر چند این پروژه برای استفاده از حداکثر ظرفیت و پیش بینی شرایط آینده طراحی شده بود و قرار بر این بوده است که بخشی از بخار مورد نیاز شرکت مجاور را تأمین کند، اما بدلیل تغییر بار و اعلام عدم نیاز شرکت مجاور در حال حاضر با کمتر از نصف ظرفیت خود کار می‌کند. در حالی که قابلیت تولید توانی در حدود ۲۶۰۰۰ مگاوات ساعت را در

omoorepeyman.ir

طول سال دارد، از آن فقط ۴۵۰۰ مگاوات ساعت الکتریسیته در طول سال بدست می‌آید (کمتر از ۱۸٪). بعنوان مثال در زمان بازدید شرایط توربین به شرح جدول ۴-۲ بود.

شکل ۴-۲- بویلر مربوط به پروژه شماره ۱

جدول ۴-۲- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۱

توان متوسط تولیدی (kW): ۵۴۰	توان لحظه ای تولیدی (kW): ۴۶۵	دور نامی موتور (rpm): ۱۲۱۷۳
فشار بخار ورودی توربین (Bar): ۳۷/۳	دمای بخار ورودی توربین (°C): ۳۳۴/۵	مصرف سوخت (m^3/hr): حدود ۷۷۰
فشار بخار خروجی توربین (Bar): ۱۱	دمای بخار خروجی توربین (°C): ۲۲۹	دبی بخار (kg/hr): ۲۱۷۰۰

همچنین تغییر شرایط کارکرد این توربین از حالت طراحی به حالت کنونی باعث کاهش راندمان الکتریکی نیز می-شود.

البته بدلیل آنکه هیچ نیروی مازادی به مجموعه جهت نگهداری اضافه نشده و برای ایجاد فضا هزینه‌ای پرداخت نشده لذا هزینه تعمیر و نگهداری آن به نسبت حالت استاندارد کمتر می‌باشد. در جدول زیر مشخصات لازم جهت بررسی آمده است.

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۳- ژنراتور دستگاه CHP پروژه شماره ۱

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۳- مشخصات CHP پروژه شماره ۱

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۵۴۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	حدود ۱۵۶۶۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۲۹	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۴۳۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	-	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۱۵.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۲۷۷۷۷۷۷۸	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۰۱	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۰۲۶	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸۰	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۱	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۰۰۰	t

سودآوری پروژه در حال حاضر بر اساس رابطه سودآوری (۳-۱۳) برابر است با؛

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[430 + \frac{29\times700\times3600}{0.8\times36741} - \frac{700\times3600}{0.026\times36741}\right]\times\frac{8000}{27777778} - 0.01 = 0.07$$

سود این پروژه در حال حاضر ۷ درصد است، که رقم بسیار پایینی است. علت آن عدم استفاده از حداکثر ظرفیت موجود و عدم فروش برق به شبکه با قیمت بالاتر می‌باشد.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36741 \times 0.026} = 2638\ \mathrm{Rial/kWh}$$

بالا بودن قیمت هر واحد انرژی (۲۶۳۸ ریال بر کیلووات ساعت) بدلیل آن است که ذات این سیستم جهت تولید حرارت است و برق بعنوان محصول فرعی و جانبی است برای بدست آوردن قیمت واقعی باید از رابطه زیر و بر اساس راندمان الکتریکی مؤثر استفاده نمود. در این صورت قیمت هر واحد انرژی برابر با ۱۵۲ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.026)}{36741 \times 0.8 \times 0.026} = 152\ \mathrm{Rial/kWh}$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P} \times e}{0.8 + \frac{H}{P} \times e} = \frac{29 \times 0.026}{0.8 + 29 \times 0.026} = 0.485$$

بالا بودن درصد میزان صرفه جویی در این حالت بعلت آن است که این سیستم برای تولید برق بطور جداگانه و بدون استفاده از حرارت غیر مفید می‌باشد و عملاً استفاده نمی‌شود به همین علت اختلاف حالت CHP و سیستم جداگانه زیاد است. لذا مقایسه بهتر برای میزان صرفه جویی مقایسه با حالت استاندارد زیر است.

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.026 + 0.3926 \times 29 \times 0.026} = 0.009$$

در این سیستم میزان صرفه جویی در هر واحد محصول نسبت به نیروگاه‌های کشور کمتر از یک درصد است.

omoorepeyman.ir

مقایسه با حالت استاندارد

در صورت استفاده از ظرفیت‌های بالاتر این پروژه، شرایط بصورت زیر تغییر می‌کند؛

جدول ۴-۴- مشخصات پروژه CHP پروژه شماره ۱

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۵۸۹	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۳۸۲۲۵	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۱۴/۷۶	H/P
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۵۷۹۳۷۴۳	i
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۰۵۰	e

$$B = \left[430 + \frac{14.76 \times 700 \times 3600}{0.8 \times 36741} - \frac{700 \times 3600}{0.05 \times 36741}\right] \times \frac{8000}{5793743} - 0.01 = 0.436$$

$$PUE_e = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.05 \times 14.76)}{36741 \times 0.8 \times 0.05} = 106 \text{ Rial/kWh}$$

همانطور که مشاهده می‌شود قیمت هر واحد محصول کمتر از حالت قبل و به ۱۰۶ ریال بر کیلووات ساعت خواهد رسید. همچنین سوددهی پروژه در صورت استفاده از ظرفیت بیشتر افزایش چشم گیری خواهد داشت و به بیش از ۴۳٪ می‌رسد. البته نتایج بالا برای حداکثر ظرفیت تست شده در محل نصب می‌باشد، در حالیکه مشخصات فنی مولد تا ۳۱۰۲ کیلووات ذکر شده است که در صورت استفاده از این ظرفیت میزان سوددهی بیشتر نیز خواهد شد.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۵- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۱

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): از بخار خروجی جهت فرآیند تولید در کارخانه استفاده می‌شود و برق تولیدی نیز جهت استفاده داخلی کارخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۱۵.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۴۳۰	فروخته شده: -
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۷۴۱	CHP: ۳۶۷۴۱
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۱۰۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا بخار با دما و فشار بالا از بویلر وارد توربین بخار شده و با دما و فشار پایین از توربین خارج و برای استفاده در فرایند تولید وارد شبکه بخار کارخانه می‌شود. از این نوع CHP فقط در محل‌هایی که نیاز به بخار فرآیندی دارند استفاده می‌شود.			
مشخصات مولد	نوع: توربین بخار پس فشاری	نام برند: Fincantieri	مدل: 36 B
	توان نامی (kW): ۵۴۰	راندمان (٪): ۲/۶	تولید سالیانه (MWh): ۴۵۰۰
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	بخار خروجی توربین	
	توان نامی (kW): ۱۵۶۶۰	راندمان (٪): ۷۵/۴	تولید سالیانه (GJ): ۴۷۰۰۰۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۵۲	حداکثر: ۲۶۳۸
راندمان کل (٪): ۷۸		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۴۵/۲	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۷		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۰/۹	

omoorepeyman.ir

۴-۲- پروژه شماره ۲

این نیروگاه در زمینی به مساحت حدود ۲۵۰ مترمربع در دو بنای مجزا شامل طرح تأسیسات برودت حرارتی و طرح موتور ژنراتور است. راندمان این نیروگاه حدود ۹۰ درصد است. و شروع ساخت آن از اواخر سال ۸۷ آغاز شد.

نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت و برودت به ظرفیت نامی مولد برق ۱۰۰۰ کیلووات که از موتور گاز سوز ۱۶ سیلندر FGWILSON و مبدل همراه با چیلر جذبی ۲۱۰ تن تبرید تشکیل شده است که برق تولیدی فشار ضعیف ۳۸۰ ولت توسط یک ترانسفورماتور ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر تبدیل به برق فشار متوسط ۲۰ کیلوولت شده و پس از سنکرون شدن با برق شهری وارد شبکه توزیع برق می‌شود و نرخ حرارتی خالص بخش تولید ۹۷۱۶ KJ/KWH بوده که ظرفیت عملی بخش بازیافت حرارت ۱۱۶۸ کیلووات حرارتی می‌باشد که از دود خروجی اگزوز و همچنین آب اطراف سیلندر دریافت می‌گردد که جهت گرمایش و خوراک چیلر جذبی جهت تولید گرمایش استفاده می‌گردد، همچنین از گاز کربنیک تولیدی می‌توان با احداث یک کارگاه جهت پر کردن مخازن گاز کربنی استفاده برد. کل مجموعه بصورت پک کامل و یکپارچه از کشور دیگر وارد شده است و هزینه تمام شده پروژه: ۱۴.۲۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال می‌باشد.

اهداف پروژه (کاربردها):

برق تولیدی CHP به شبکه فروخته شده و از گرمای حاصله جهت تولید آب گرم ۹۰ درجه استفاده می‌شود. که در زمستان برای گرمایش و در تابستان برای تأمین انرژی حرارتی ژنراتور چیلر جذبی جهت ایجاد برودت استفاده می‌شود و در کل انرژی حرارتی تهویه مطبوع ساختمان کناری با مساحت ۵۰۰۰ مترمربع را تأمین می‌نماید.

در ادامه مشخصات فنی و مالی پروژه بیان شده است.

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۴- موتور پیستونی FG WILSON مدل PG1250B به همراه مبدل‌ها

جدول ۴-۶- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۲

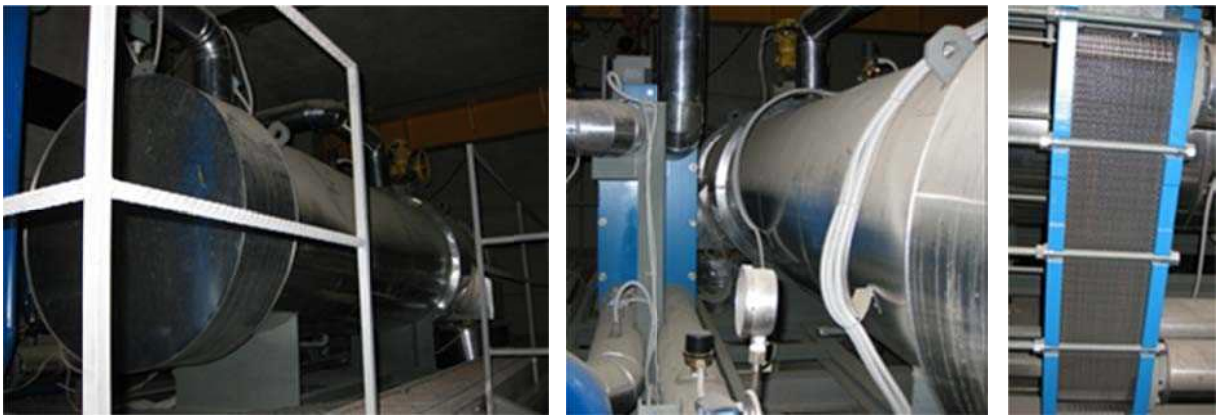
نوع مولد: پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: FG WILSON	مدل: PG1250B
توان نامی (kW): ۱۰۰۰	دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	راندمان الکتریکی CHP (٪): ۳۹/۲
تعداد سیلندر: ۱۶	وزن دستگاه (kg): ۱۳۰۰۰	حجم موتور (لیتر): ۶۱
ضریب تراکم: ۱۲	دمای دود خروجی (°C): ۴۹۷	دبی دود خروجی (m^3/min): ۲۱۲
مصرف سوخت (m^3/hr): ۲۷۳	ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3): ۳۴۵۴۵	
نوع سوخت مصرفی: گاز شهری	ابعاد موتور (mm) طول: ۶۷۶۷	عرض: ۲۱۰۰ ارتفاع: ۲۷۵۰

شکل ۴-۵- موتور پیستونی FG WILSON مدل PG1250B [11]

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۷- مشخصات فنی مبدل حرارتی پروژه CHP پروژه شماره ۲

هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم کاربرد و توضیحات: آب گرم جهت استفاده در چیلر جذبی برای ایجاد برودت ساختمان در تابستان و گرمایش در زمستان منابع حرارتی استفاده شده: گازهای خروجی و بدنه موتور	
توان نامی حرارتی (کیلووات): ۱۱۶۸	راندمان حرارتی CHP (٪): ۴۶/۶۲
دبی آب یا بخار تولیدی: ۶۰ متر مکعب بر ساعت	دبی گاز ورودی به مبدل: ۲۱۲ مترمکعب بر دقیقه
دمای گاز ورودی به مبدل (°C): ۴۹۷	دمای گاز خروجی از مبدل (°C): ۱۳۰
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۷۰	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۹۰



شکل ۴-۶- مبدل‌های پروژه CHP پروژه شماره ۲

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۸- مشخصات CHP پروژه شماره ۲

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۱۰۰۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۱۱۶۸	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۱/۱۶۸	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۲۷۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۴۵۹	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۱۰۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۴۵۴۵	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۴۵۴۵	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۱۴.۲۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۴.۲۰۰.۰۰۰	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۷۱۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۰۵	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۹۲	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸۰	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۰۰۰	t

با توجه به رابطه سوددهی، این مقدار برای ۸۰۰۰ ساعت کار در سال (حدود ۹۱٪ ضریب دسترسی) بدست می‌آید؛

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[459 + \frac{1.168\times1000\times3600}{0.8\times34545} - \frac{700\times3600}{0.392\times34545}\right]\times\frac{8000}{14200000} - 0.05 = 0.189$$

بنابراین برای حالت ظرفیت کامل این پروژه سوددهی حداقل ۱۸/۹ درصدی دارد. با توجه به بالا بودن هزینه سرمایه گذاری اولیه، ناشی از سود پیمانکار و مشاور، در صورت انجام پروژه توسط کارشناسان داخلی سوددهی پروژه افزایش می‌یافت.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{34545 \times 0.392} = 186 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.392 \times 1.168\ )}{34545 \times 0.8 \times 0.392} = 79.6 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین بدون استفاده از حرارت قیمت برق تولیدی حدود ۱۸۶ ریال بر کیلووات ساعت و در صورت در نظر گرفتن راندمان مؤثر حدود ۸۰ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{1.168 \times 0.392}{0.8 + 1.168 \times 0.392} = 0.364$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.392 + 0.3926 \times 1.168 \times 0.392} = 0.3635$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۳۶ درصد است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۹- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۲

نوع کاربری: اداری		نوع جغرافیا: خشک و معتدل	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): از دود خروجی و گرمای بدنه جهت تولید آب گرم برای مصارف تهویه مطبوع ساختمان مرکزی دانشگاه استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۱۴.۲۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۷۱۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۲۷۰	فروخته شده: ۴۵۹
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۴۵۴۵	CHP: ۳۴۵۴۵
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۱۰۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور احتراق داخلی پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای بدنه موتور و محصولات احتراق در مرحله بعد جهت گرم کردن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر خلاف توربین بخار این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: FG WILSON	مدل: PG1250B
	توان نامی (kW): ۱۰۰۰	راندمان (٪): ۳۹/۲	تولید سالیانه (MWh): ۸۰۰۰
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	دودهای خروجی از سیستم و گرمای بدنه موتور	
	توان نامی (kW): ۱۱۶۷۸	راندمان (٪): ۴۵/۸	تولید سالیانه (GJ): ۲۸۸۰۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۷۹/۶	حداکثر: ۱۸۶
راندمان کل (٪): ۸۵		راندمان مؤثر الکتریکی: ۹۱/۷	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۱۸/۹		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۳۶/۴	

omoorepeyman.ir

۴-۳- پروژه شماره ۳

این CHP، وظیفه تولید ۳۸۵۰ کیلووات برق به همراه ۲/۸ تن در ساعت بخار گرم را بعهده دارد. برق مورد نظر در ابتدا با خروجی ۱۱۰۰۰ ولت تولید می‌گردد و پس از آن توسط یک عدد ترانسفورماتور به ۲۰۰۰۰ ولت تبدیل شده و پس از انتقال به پست، مورد استفاده قرار گرفت. با طراحی و تعبیه یک مجموعه بازیافت حرارتی در مسیر دودکش موتور که دمای ۴۷۵ درجه سانتیگراد را تولید می‌نماید علاوه بر جلوگیری از اتلاف انرژی نسبت به تولید ۲/۸ تن بخار در ساعت اقدام می‌گردد که با داشتن این بخار می‌توان بخشی از نیاز گرمایشی ساختمان و بخار مورد نیاز چیلرهای جذبی را در تابستان تأمین نمود. علاوه بر این به منظور افزایش راندمان و جلوگیری از اتلاف حرارت تولید شده توسط خود موتور، با استفاده از ۲ دستگاه مبدل حرارتی طراحی شده در مجموعه، تأمین بخشی از آب گرم حرارتی ساختمان نیز صورت می‌پذیرد. یکی از مبدل‌ها از گرمای آب خنک کن بدنه موتور و دیگری از حرارت روغن موتور استفاده می‌کند.

اهداف پروژه (کاربردها):

بخشی از برق تولیدی CHP به مصرف ساختمان می‌رسد (حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد آن) و مابقی به شبکه فروخته می‌شود و از گرمای حاصله از اگزوز (دود حاصل از محصولات احتراق) جهت تولید بخار ۱۴۰ درجه برای چیلر جذبی یا گرمایش در زمستان و از حرارت روغن (روانکار) و آب خنک کننده بدنه موتور برای تولید آب گرم ۸۵ درجه جهت استفاده در موتورخانه برای آب گرم ساختمان استفاده می‌شود. کل مجموعه بصورت پک کامل و یکپارچه از کشور دیگر وارد شده است و هزینه تمام شده پروژه ۴۱.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال می‌باشد.

جدول ۴-۱۰- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۳

نوع مولد: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: MWM	مدل: TCG 2032
توان عملیاتی (kW): ۳۸۵۰	دور نامی موتور (rpm): ۱۰۰۰	راندمان الکتریکی: ۴۱٪
تعداد سیلندر: ۱۶	وزن دستگاه (kg): ۵۱۴۰۰	حجم موتور (لیتر): ۲۷۲
سوخت مصرفی: گاز طبیعی	دمای دود خروجی (°C): ۴۹۷	دبی دود خروجی (m^3/min): ۲۱۲
ابعاد موتور (mm)	طول: ۹۲۰۰ عرض: ۲۶۹۰	ارتفاع: ۳۳۹۰

البته طبق کاتالوگ این محصول دارای توان نامی ۴۳۰۰ کیلووات و راندمان ۴۴ درصد است. که بعلت شرایط محیطی و استفاده از فیلترهای ایرانی این مقادیر کاهش یافته است.

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۷- موتور پیستونی MWM مدل TCG 2032 [12]

جدول ۴-۱۱- مشخصات فنی مبدل حرارتی پروژه CHP شماره ۳

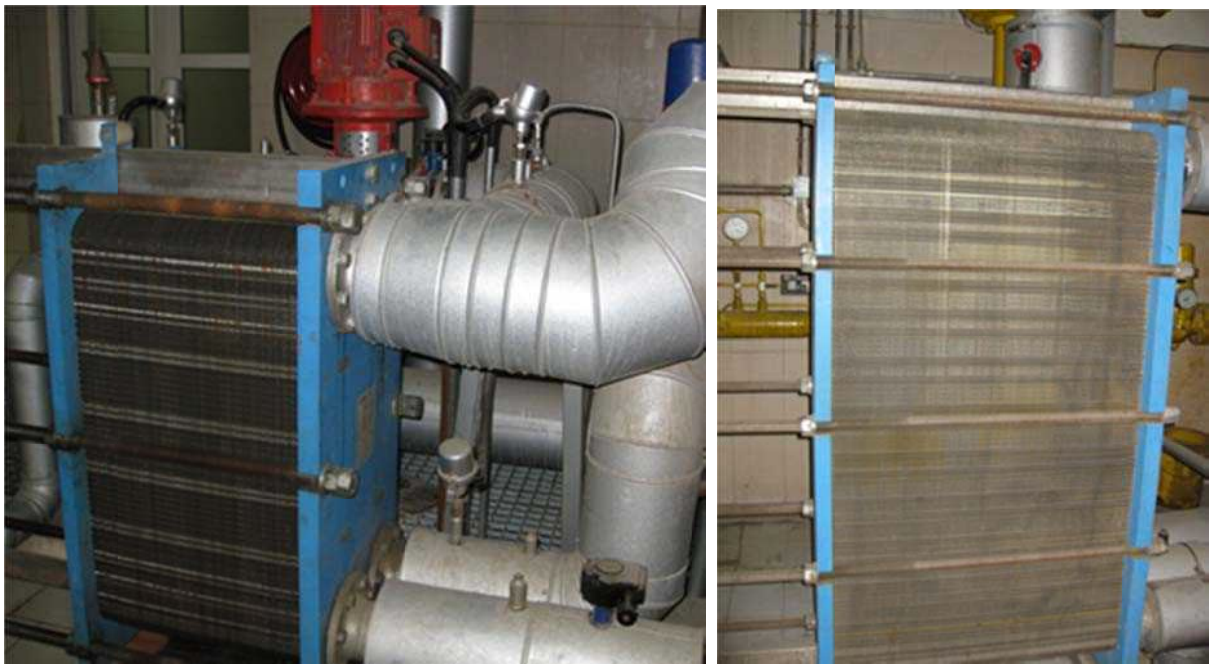
هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم کاربرد و توضیحات: آب گرم جهت استفاده در چیلر جذبی برای ایجاد برودت ساختمان در تابستان و گرمایش در زمستان	
توان نامی حرارتی (کیلووات): ۸٪ ± ۴۱۶۴	راندمان حرارتی (٪): ۴۲ ٪
منابع حرارتی استفاده شده: گازهای خروجی و روغن موتور و بدنه موتور	
دبی آب یا بخار تولیدی: ۶۰ متر مکعب بر ساعت	دبی گاز ورودی به مبدل: ۲۱۲ مترمکعب بر دقیقه
دمای گاز ورودی به مبدل (°C): ۴۷۰	دمای گاز خروجی از مبدل (°C): ۱۷۰
دمای ورودی آب گرم شده (°C): ۷۵	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۸۵
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): آب ۹۵ درجه	دمای خروجی بخار گرم شده (°C): ۱۲۰ و فشار ۱/۷ بار

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۸- مبدل حرارتی جهت تولید بخار از گازهای خروجی موتور

این پروژه درای سه مبدل است. دو مبدل جهت تولید آب گرم می‌باشند که از حرارت بدنه موتور و روغن موتور استفاده می‌کنند. مبدل دیگری نیز جهت تولید بخار برای سیستم تهویه مطبوع از حرارت اگزوز موتور قرار داده شده است که جمعاً قابلیت بکارگیری توان حرارتی در حدود ۴۱۶۴ کیلووات را دارا می‌باشد.

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۹- مبدل حرارتی جهت تولید آب گرم از بدنه موتور (سمت چپ) و روغن موتور (سمت راست)

استفاده از حرارت محصولات احتراق در تمامی فصول انجام نمی‌شود و تنها در زمستان و تابستان استفاده می‌شود. لذا با فرض استفاده از آن در نیمی از سال میزان انرژی حرارتی استفاده شده را می‌توان حدود ۲۸۰۰ کیلووات در نظر گرفت.

همچنین به گفته مسئول CHP میزان خواب دستگاه زیاد بوده و تقریباً ۲ ماه از سال از دستگاه استفاده نمی‌شود. زمان دسترسی تقریباً ۷۳۰۰ ساعت می‌باشد. نبود قطعات به دلیل تحریم از جمله دلایل طولانی شدن زمان تعمیرات می‌باشد.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱۲- مشخصات پروژه CHP پروژه شماره ۳

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۳۸۵۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۸۰۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۰/۷۲	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۱۳۰۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۶۱۰	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۱۰۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۴۱.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۰.۷۷۹.۲۲۱	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۴.۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۴۱	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸۰	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰/۳	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۷۳۰۰	t

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.\,Lf} - c\times\frac{3600}{e.\,Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[0.3\times 1300 + 0.7\times 610 + \frac{0.72\times 1000\times 3600}{0.8\times 36741} - \frac{700\times 3600}{0.41\times 36741}\right]\times\frac{7300}{10779221} - 0.1 = 0.4$$

سوددهی برای ۷۳۰۰ ساعت کار در سال حدود ۴۰ درصد بدست می‌آید. علت سود بالای این پروژه، بالا بودن نرخ برق اداری است که بیش از دو برابر قیمت برقی است که دولت از تولید کنندگان برق می‌خرد. در واقع علیرغم پایین بودن ترم سوددهی حرارتی این CHP، ولی بدلیل بکار رفتن این CHP برای مجموعه اداری بسیار پر بازده می‌باشد.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36741 \times 0.41} = 167.3 \frac{\mathrm{Rial}}{\mathrm{kWh}}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.41 \times 0.72\ )}{36741 \times 0.8 \times 0.41} = 105\ \mathrm{Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۶۷ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۰۵ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{0.72 \times 0.41}{0.8 + 0.72 \times 0.41} = 0.272$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.41 + 0.3926 \times 0.72 \times 0.41} = 0.294$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر است با ۲۹ درصد.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱۳- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۳

نوع کاربری: اداری		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): از دود خروجی جهت تولید بخار برای مصارف تهویه مطبوع ساختمان و و از گرمای گرمای بدنه و روغن موتور جهت تولید آب گرم ساختمان استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۴۱.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۴.۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۱۳۰۰	فروخته شده: ۶۱۰
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۷۴۱	CHP: ۳۶۷۴۱
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۱۰۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۳۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای بدنه و روغن موتور جهت گرم کردن آب ساختمان و محصولات احتراق جهت تولید بخار مورد نیاز سیستم تهویه استفاده می‌شود. این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: MWM	مدل: TCG 2032
	توان نامی (kW): ۳۸۵۰	راندمان (٪): ۴۱	تولید سالیانه (MWh): ۲۸۱۰۵
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	دودهای خروجی از سیستم و گرمای بدنه و روغن موتور	
	توان نامی (kW): ۲۸۰۰	راندمان (٪): ۲۹/۸	تولید سالیانه (GJ): ۷۳۵۸۴
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۰۵	حداکثر: ۱۶۷
راندمان کل (٪):۷۰/۸		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۶۵/۴	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۴۰		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۲۹/۴	

omoorepeyman.ir

۴-۴- پروژه شماره ۴

بدلیل نیاز کارخانه به آب گرم و بخار در پروسه تولید، این مجموعه اقدام به نصب چهار واحد CHP جهت تولید برق و تأمین بخشی از حرارت مورد نیاز فرآیند تولید خود را کرده است. که جهت تأمین آب گرم و پیش گرم اولیه آب جهت تولید بخار از گرمای بدنه موتور استفاده می‌شود.

برق تولیدی CHP به شبکه فروخته شده و از حرارت تولیدی در بدنه موتور جهت گرم کردن آب مورد استفاده مجموعه و پیش گرم آب مورد نیاز برای بخار فرایندی استفاده می‌شود. کل مجموعه بصورت پک کامل و یکپارچه از کشور دیگر وارد شده است. هر واحد مولد GUASCOR/ SFGM560 به قیمت ۳۵۰ هزار یورو خریداری شده است و هزینه تمام شده پروژه جمعاً ۳۰ میلیارد ریال می‌باشد.

جدول ۴-۱۴- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۴

نوع مولد: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGM 560
توان نامی (kW): ۱۰۲۵	دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	راندمان الکتریکی (٪): ۳۹/۶
تعداد سیلندر: ۱۶	وزن دستگاه (kg): ۹۵۱۵	حجم موتور (لیتر): ۵۶/۳
ضریب تراکم: ۱۲	دمای دود خروجی (°C): ۴۹۶	دبی دود خروجی (kg/h): ۵۱۷۳
زمان اورهال (ساعت): ۶۰۰۰۰	مصرف سوخت (m^3/hr): ۲۵۴	سوخت مصرفی: گاز طبیعی
ارزش حرارتی سوخت (KJ/m^3): ۳۴۵۴۷	ابعاد موتور (mm) طول: ۴۳۳۱	عرض: ۱۷۳۶ ارتفاع: ۲۳۴۴

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۱۰- موتور GUASCOR مدل SFGM 560 در پروژه شماره ۴

هر واحد از دستگاه‌های نامبرده سه منبع حرارتی قابل استفاده دارد؛

۱- دود خروجی اگزوز، که در صورت کاهش دمای خروجی دودکش تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد قابلیت بازیافت حرارت از آن تا ۶۲۲ کیلووات مقدور است. با توجه به حداکثر دمای دود، حدوداً قابلیت افزایش دما تا ۴۸۰ درجه را دارا می‌باشد. این بخش در مجموعه کنونی استفاده نمی‌شود.

۲- آب خنک کننده بدنه موتور، که حدود ۵۲۴ کیلووات توان حرارتی دارد و جهت افزایش دمای آب تا ۹۰ درجه در مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

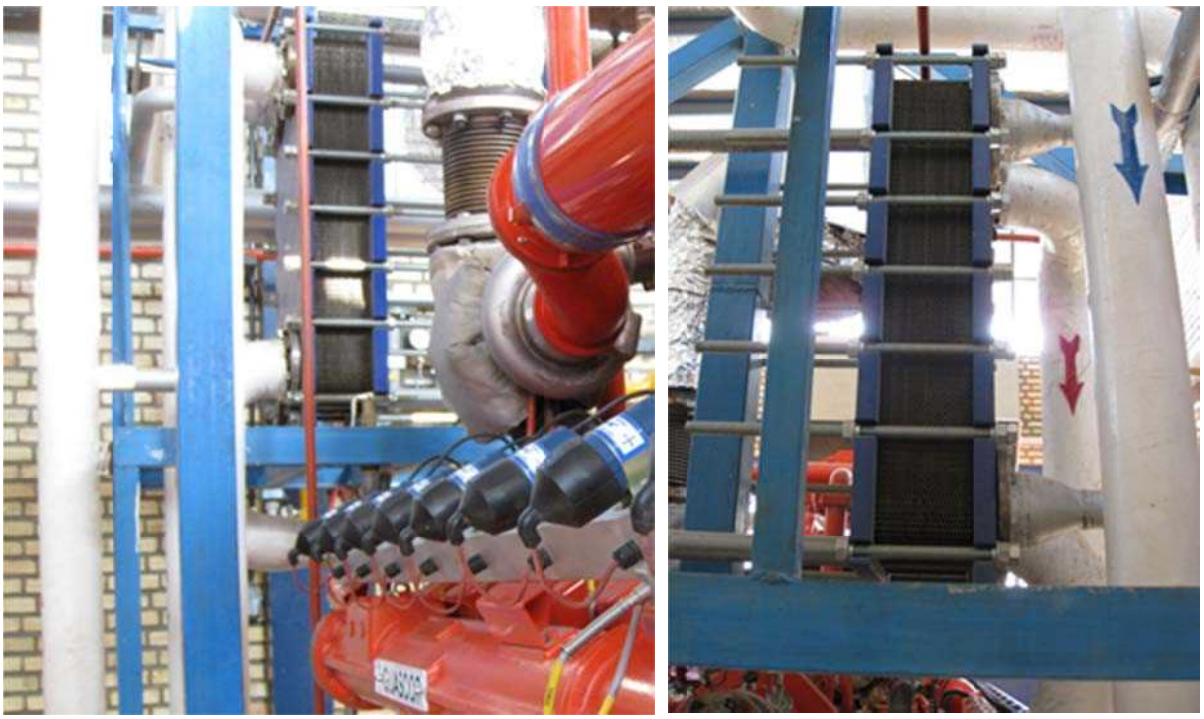
۳- روغن موتور، که به میزان ۱۷۹ کیلووات توان حرارتی دارد و قابلیت گرم کردن سیال تا دمای ۵۵ درجه را دارا می‌باشد و مورد استفاده کنوتی مجموعه قرار نمی‌گیرد.

در واقع از ۱۳۲۵ کیلووات توان حرارتی دستگاه فقط ۵۲۴ کیلووات آن (حدود ۴۰ درصد) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱۵- مشخصات فنی مبدل حرارتی موجود در پروژه شماره ۴

هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم	
توان حرارتی (کیلووات): ۵۲۴	منابع حرارتی استفاده شده: بدنه موتور
دبی آب گرم تولیدی: ۸ مترمکعب بر ساعت	دبی سیال گرم کننده: ۷۰ مترمکعب بر ساعت
دمای سیال گرم کننده ورودی به مبدل (°C): ۹۰	دمای سیال گرم کننده خروجی از مبدل (°C): ۷۰
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۲۳	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۸۰



شکل ۴-۱۱- مبدل حرارتی

امور پیمان
omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱۶- مشخصات CHP پروژه شماره ۴

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۴۱۰۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۰۹۶	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۰/۵۱	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۳۵۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۴۸۷	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۴۵۴۷	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۴۵۴۷	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۳۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۷.۳۱۷.۰۷۳	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۳.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱۱۶۷	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۹۶	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۷۶۸۰	t

برای ۷۶۸۰ ساعت کار در سال سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه برابر است با ۲۵ درصد.

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[487 + \frac{0.51\times700\times3600}{0.8\times34547} - \frac{700\times3600}{0.396\times34547}\right]\times\frac{7680}{7320000} - 0.1167 = 0.25$$

در حال حاضر تنها از حرارت بدنه موتور برای گرمایش استفاده می‌شود که حداکثر دارای ظرفیت ۵۲۴ کیلووات برای هر واحد می‌باشد. در صورت استفاده از تمام ظرفیت حرارتی مجموعه (حرارت روغن و دود اگزوز) حداکثر ظرفیت حرارتی تا ۱۳۶۵ کیلووات افزایش می‌یابد (H/P=1.33)، و سوددهی پروژه از ۲۵ درصد به حدود ۳۳ درصد می‌رسد.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{34547 \times 0.396} = 184.2 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.396 \times 0.51)}{34547 \times 0.8 \times 0.396} = 137.6 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۸۴ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۳۸ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{0.51 \times 0.396}{0.8 + 0.51 \times 0.396} = 0.202$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.396 + 0.3926 \times 0.51 \times 0.396} = 0.207$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۲۱ درصد است.

مقایسه با روش استفاده از توربین پس فشاری

با توجه به نیاز این مجموعه به ۳۰ تن بخار فرآیندی (مصرفی) (۷ بار ۱۵۰ درجه سلسیوس) در هر ساعت، این روش را می‌توان با روش استفاده از توربین پس فشاری مقایسه کرد.

برای تولید ۳۰ تن بخار در ساعت (۸/۳۳ کیلوگرم بر ثانیه) با فشار ۷ بار از آب ۲۳ درجه باید بطور مفید حدود ۲۲۳۱۶ کیلووات انرژی صرف شود. که با فرض راندمان ۸۰ درصد بویلر ۲۹۰۷ متر مکعب گاز در هر ساعت نیاز دارد.

برای تولید ۳۰ تن بخار در ساعت با فشار ۴۰ بار از آب ۲۳ درجه بطور مفید باید بطور مفید حدود ۲۵۷۵۸ کیلووات انرژی صرف شود. که با فرض راندمان ۸۰ درصد بویلر به ۳۳۵۵ متر مکعب گاز در هر ساعت نیاز دارد.

از آنجا که اکثر این میزان انرژی بصورت حرارتی و توسط گاز فراهم می‌شود، در این بخش از انرژی پمپ‌ها (انرژی الکتریکی) بدلیل ناچیز بودن صرفنظر شده است. می‌توان گفت اختلاف دو حالت حدود ۳۴۴۲ کیلووات می‌باشد. که برای

omoorepeyman.ir

توربین با راندمان آیزنتروپیک ۹۰ درصد و ژنراتور با راندمان ۹۷ درصد حدود ۳۰۰۰ کیلووات برق تولید می‌کند و فقط ۴۴۸ مترمکعب گاز اضافی (اختلاف دو حالت) در هر ساعت مصرف شده است (۰/۱۴۹۳ مترمکعب به ازای هر کیلووات ساعت). با فرض قیمت هر مترمکعب گاز ۷۰۰ ریال، قیمت هر کیلووات ساعت برق تولیدی از این روش حدود ۱۰۴ ریال می‌باشد.

در صورت استفاده از یک چنین توربین پس فشاری با قیمت ۱۵ میلیارد ریال، هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات معادل ۵ میلیون ریال بر کیلووات خواهد بود. لذا سود حاصل از این سرمایه گذاری برابر است با؛

$$B = (487 - 700 \times 0.1493) \times \frac{7680}{5000000} - 0.1167 = 0.47$$

حتی با در نظر گرفتن هزینه تعمیرات و نگهداری مشابه با موتور پیستونی، این طرح نسبت به حالت قبل کاملاً اقتصادی‌تر بوده و حداقل سودآوری ۴۷ درصدی در پی دارد. هزینه نگهداری و تعمیرات، (خصوصاً نیاز به قطعه) در توربین بخار نسبت به موتور پیستونی بسیار کمتر است.

مبلغ توربین بر اساس نرخ ارز در زمان خرید دستگاه‌های CHP پروژه شماره ۴ جهت مقایسه می‌باشد. در حال حاضر این مبلغ بیش از دو برابر است. در واقع این کار جهت مقایسه دو روش در یک زمان می‌باشد. همچنین در صورت نیاز به خرید بویلر فشار بالا در مجموعه هزینه بویلر، یا بصورت صحیح‌تر اختلاف آن با یوبلر کنونی نیز اضافه می‌شود. البته بدلیل آنکه در حال حاضر بویلرهای فشار پایین در مجموعه وجود دارد، سرمایه گذاری برای این طرح و بدون استفاده گذاشتن بویلرهای قدیم از لطاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

نکته: همچنین در حال حاضر می‌توان از ۲۴۸۸ کیلووات انرژی حرارتی دودهای حاصل از موتورهای پیستونی نصب شده نیز در بخشی از این پروژه فرضی بهره گرفت که حدود ۱۰ درصد انرژی حرارتی لازم را تأمین می‌کند.

از جمله مشکلاتی که این مجموعه با آن درگیر می‌باشد، یکی عدم پرداخت خرید تضمینی برق است که بدلایل مشکلات اقتصادی دولت موجب دلسرد شدن سرمایه گذاران این بخش می‌شود و دیگری مشکل تأمین بموقع قطعات بدلیل تحریم می‌باشد، که متأسفانه باعث خاموشی‌های ناخواسته بلند مدت و کاهش سود سرمایه گذاری می‌شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱۷- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۴

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: معتدل	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): از گرمای بدنه جهت تولید آب گرم مورد نیاز مجموعه و همچنین پیش گرم بخشی از بخار تولیدی استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۳۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۳.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۴۰۰	فروخته شده: ۴۸۷
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۴۵۴۷	CHP: ۳۴۵۴۷
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور احتراق داخلی پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای بدنه جهت گرم کردن آب و پیش گرم بخشی از آب مورد استفاده در بویلر برای تولید بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGM 560
	توان نامی (kW): ۴۱۰۰	راندمان (٪): ۳۹/۶	تولید سالیانه (MWh): ۳۱۴۸۸
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای بدنه موتور	
	توان نامی (kW): ۲۰۹۶	راندمان (٪): ۲۰/۲	تولید سالیانه (GJ): ۵۸۰۰۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۳۷/۶	حداکثر: ۱۸۴/۲
راندمان کل (٪): ۵۹/۸		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۵۳	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۲۵		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۲۰/۷	

omoorepeyman.ir

۴-۵- پروژه شماره ۵

جهت اجرای این پروژه CHP با کاربری صنعتی در سال ۱۳۸۷چهار واحد genset هر یک به مبلغ ۴۰۰ هزار یورو از شرکت اسپانیایی GUASCOR جهت تولید برق خریداری شد. برق تولیدی CHP به شبکه فروخته شده و از حرارت تولیدی در بدنه موتور ۳ واحد آن جهت گرم کردن آب گرم مورد نیاز مجموعه استفاده می‌شود. برای هر یک از مبدل-های حرارتی نیز مبلغ ۲۰ هزار یورو پرداخت شده است. با توجه به هزینه اجرای پروژه که حدود ۵ میلیارد ریال شده است، جمعاً حدود ۳۰ میلیارد ریال برای انجام آن هزینه شده است (هزینه ۳ واحد آن برابر است با ۲۲/۵ میلیارد ریال). این پروژه در فضایی به مساحت ۲۰۰ متر مربع در سال ۱۳۸۸ به بهره برداری رسید. کل مراحل انجام کار اعم از توسط متخصصین خود شرکت انجام شده است.

جدول ۴-۱۸- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۵

نوع مولد: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGLD 560
توان نامی (kW): ۹۵۰	متوسط توان عملیاتی (kW): ۷۵۰	راندمان الکتریکی (٪): ۳۹
دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	وزن دستگاه (kg): ۹۷۸۰	حجم موتور (لیتر): ۵۶
ضریب تراکم: ۱۱/۸	دمای دود خروجی (°C): ۳۸۰	دبی دود خروجی (kg/h): ۵۰۸۶
زمان اورهال (ساعت): ۶۰۰۰۰	ابعاد موتور (mm) طول: ۳۰۳۳	عرض: ۱۶۶۹ ارتفاع: ۲۲۷۰

هر واحد از دستگاه‌های نامبرده سه منبع حرارتی قابل استفاده دارد که برای حالت استاندارد عبارتند؛

۱- دود خروجی اگزوز، که در صورت کاهش دمای خروجی دودکش تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد قابلیت بازیافت حرارت از آن تا ۴۲۳ کیلووات مقدور است. با توجه به حداکثر دمای دود، حدوداً قابلیت افزایش دما تا ۳۶۰ درجه را دارا می‌باشد. این بخش در مجموعه کنونی استفاده نمی‌شود.

۲- آب خنک کننده بدنه موتور، که حدود ۷۰۹ کیلووات توان حرارتی دارد و جهت افزایش دمای آب تا ۹۰ درجه در مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. که چهار واحد روی هم ۲۸۳۶ کیلووات توان حرارتی برای دارد.

۳- روغن موتور و هوای خروجی توربوشارژر، که به میزان ۱۵۰ کیلووات توان حرارتی دارد و قابلیت گرم کردن سیال تا دمای ۵۵ درجه را دارا می‌باشد و مورد استفاده کنونی مجموعه قرار نمی‌گیرد.

در واقع از میان سه منبع حرارتی فقط حرارت بدنه موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به پایین بودن انرژی حرارتی روغن از آن استفاده نشده است. استفاده از حرارت اگزوز مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به گران قیمت بودن

omoorepeyman.ir

تجهیزات مبدل آن، (با قابلیت محافظت از خوردگی) و همچنین با توجه به وجود بویلرهای بخار پیشتر در مجموعه، استفاده از آن توجیه اقتصادی نداشته است. استفاده از دود اگزوز در بخشی از بویلر نیز بدلیل طولانی شدن مسیر کانال و ایجاد افت فشار منجر به کاهش راندمان الکتریکی موتور گشته و در نهایت مفید قلمداد نشده است.

شکل ۴-۱۲- موتور GUASCOR مدل SFGLD 560 در پروژه شماره ۵

انرژی سالیانه تولید شده توسط CHP حدود ۱۸ میلیون کیلووات ساعت اعلام شده است. که با توجه به توان تولیدی عملیاتی ۲۲۵۰ کیلووات برای ۳ واحد CHP مجموعه، میزان زمان مفید دسترسی مجموعه حدود ۸۰۰۰ ساعت (۹۱٪) در سال می‌باشد. همچنین با در نظر گرفتن ثابت بودن نسبت توان حرارتی به الکتریکی میزان پتانسیل توان حرارتی بدنه موتور، برای ۳ واحد از مجموعه حدوداً ۱۶۸۰ کیلووات خواهد شد، که تقریباً ۵۶۰ کیلووات برای هر واحد می‌باشد.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱۹- مشخصات فنی مبدل حرارتی در پروژه شماره ۵

هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم مصرفی درون شرکت (هواسازها، مبدل ها و ...)		
توان حرارتی نامی (کیلووات): ۷۰۹	توان حرارتی عملیاتی (کیلووات): ۵۶۰	توان متوسط حرارتی (کیلووات): ۲۹۲
منابع حرارتی استفاده شده: بدنه موتور		دبی آب گرم تولیدی: ۶۰ مترمکعب بر ساعت
دمای سیال گرم کننده ورودی به مبدل (°C): ۸۷		دمای سیال گرم کننده خروجی از مبدل (°C): ۷۸
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۵۸		دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۶۶

انرژی حرارتی استفاده شده در طول یک سال از مبدل‌ها حدود ۲۵ گیگاژول (معادل ۷ میلیون کیلووات ساعت) اعلام شده است. یعنی متوسط حدود ۸۷۵ کیلووات از قابلیت ۱۶۸۰ کیلووات حرارت بدنه موتور در طول یک سال استفاده می‌شود که ۵۲ درصد ظرفیت حرارت موجود در بدنه و ۲۹ درصد کل حرارت تولیدی CHP استفاده می‌شود.

شکل ۴-۱۳- مبدل حرارتی جهت تولید آب گرم در پروژه شماره ۵

در ادامه آمار و ارقام عملکردی این پروژه شرح داده شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲۰- مشخصات CHP پروژه شماره ۵

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۲۵۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۸۷۵	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۰/۳۹	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۴۵۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۶۱۰/۰۷	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۰۰۰	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۰۰۰	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۲۲.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۰.۰۰۰.۰۰۰	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱۶	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۹	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۰۰۰	t

برای ۸۰۰۰ ساعت کار در سال سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه برابر است با ۲۱/۲ درصد؛

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[610.07 + \frac{0.39\times700\times3600}{0.8\times36000} - \frac{700\times3600}{0.39\times36000}\right]\times\frac{8000}{10000000} - 0.16 = 0.212$$

همچنین در حال حاضر تنها از حرارت بدنه موتور برای گرمایش استفاده می‌شود. در صورت استفاده از تمام ظرفیت حرارتی، سوددهی پروژه حداقل برابر با ۲۸ درصد می‌شود (البته بدون درنظر گرفتن افزایش هزینه سرمایه گذاری).

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36000 \times 0.39} = 179.5 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.39 \times 0.39)}{36000 \times 0.8 \times 0.39} = 145.5 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۷۹/۵ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۴۵/۵ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{0.39 \times 0.39}{0.8 + 0.39 \times 0.39} = 0.159$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.39 + 0.3926 \times 0.39 \times 0.39} = 0.155$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۱۶ درصد است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲۱- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۵

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): از گرمای بدنه جهت تولید آب گرم مورد نیاز مجموعه استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۲۲.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۴۰۰	فروخته شده: ۶۱۰/۰۷
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۰۰۰	CHP: ۳۶۰۰۰
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور احتراق داخلی پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای بدنه جهت گرم کردن آب مورد نیاز مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGLD 560
	توان نامی (kW): ۲۲۵۰	راندمان (٪): ۳۹	تولید سالیانه (MWh): ۱۸۰۰۰
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای بدنه موتور	
	توان نامی (kW): ۸۷۵	راندمان (٪): ۱۵/۱	تولید سالیانه (GJ): ۲۵۲۰۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۴۵/۵	حداکثر: ۱۷۹/۵
راندمان کل (٪): ۵۴/۱		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۴۸/۱	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۲۱/۲		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۱۵/۵	

omoorepeyman.ir

۴-۶- پروژه شماره ۶

در این پروژه ۴ دستگاه موتور پیستونی شرکت Guascor به توان نامی ۹۵۲ کیلووات موجود است، که در محل نصب حداکثر ۹۰۴ و بطور متوسط ۸۷۵ کیلووات تولید الکتریسیته می‌نماید. مجموعاً حدود ۳۵۰۰ کیلووات توان تولیدی مجموعه را تشکیل می‌دهد. که سالانه حدود ۱۸.۱۹۳.۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌نماید. راندمان دستگاه در محل نصب نیز ۳ درصد کمتر از رقم طراحی بدست آمده است.

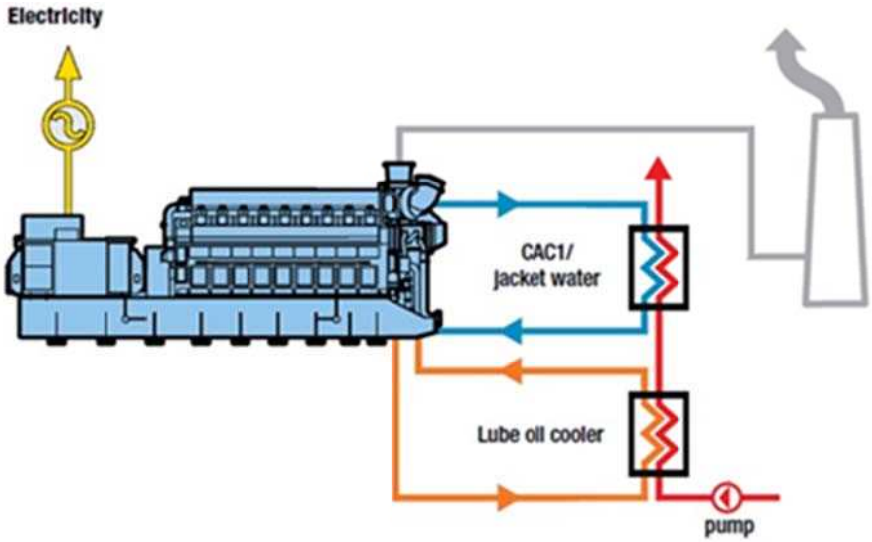
جدول ۴-۲۲- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۶

نوع مولد: پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: Guascor	مدل: SFGLD 560
توان نامی استاندارد (kW): ۹۵۲	حداکثر توان عملیاتی (kW): ۹۰۴	متوسط توان عملیاتی (kW): ۸۷۵
ضریب تراکم: ۱۱/۷	دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	راندمان الکتریکی (٪): ۳۶
حجم موتور: ۵۶/۳ لیتر	وزن دستگاه (kg): ۹۳۰۰	مصرف سوخت (m^3/hr): ۲۳۸
زمان اورهال (ساعت): ۳۰.۰۰۰	دمای دود خروجی (°C): ۳۸۰	دبی دود خروجی (kg/h): ۵۰۸۶
ابعاد (mm)	طول: ۴۵۸۴	عرض: ۱۷۳۶ ارتفاع: ۲۴۷۵

شکل ۴-۱۴- موتور GUASCOR مدل SFGLD 560 در پروژه شماره ۶

omoorepeyman.ir

جهت گرم کردن آب مورد نیاز، ابتدا آب ۱۵ درجه از مبدل توربوشارژر (اینتر کولر) عبور کرده وارد مبدل روغن شده و در مرحله نهایی از مبدل آب خنک کننده بدنه موتور با دمایی در حدود ۷۰ درجه خارج می‌شود. مقدار حرارت خالص روغن و اینتر کولر حدود ۱۵۰ کیلووات، بدنه موتور ۷۰۹ کیلووات و گازهای خروجی در صورت سرد شدن تا دمای ۱۲۰ درجه ۴۲۳ کیلووات می‌باشد که در این مجموعه از حرارت گازهای خروجی استفاده نمی‌شود. متوسط حرارت استفاده شده در این مجموعه از هر دستگاه حدود ۶۱۳ کیلووات می‌باشد. که منجر به گرم کردن سالانه در حدود ۲۰۰ هزار مترمکعب آب به میزان ۵۵ درجه می‌شود. این میزان معادل دبی عبوری از هر واحد حدود ۹/۶ و در کل ۳۸/۵ مترمکعب بر ساعت خواهد بود.



شکل ۴-۱۵- شماتیک CHP مورد استفاده در پروژه شماره ۶

جدول ۴-۲۳- مشخصات فنی مبدل حرارتی در پروژه شماره ۶

هدف نهایی حرارت کسب شده: گرم کردن آب مصرفی مجموعه	
منابع حرارتی استفاده شده: هوای گرم فشرده در خروجی توربوشارژر، روغن موتور، آب خنک کننده بدنه موتور	
توان حرارتی (کیلووات): ۶۱۳	دبی سیال گرم شده (m^3/hr): ۹/۵
دمای ورودی آب بدنه موتور به مبدل (°C): ۹۰	دمای خروجی آب بدنه موتور از مبدل (°C): ۸۲
دمای ورودی روغن موتور به مبدل (°C): ۶۳	دمای خروجی روغن موتور از مبدل (°C): ۵۵
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۱۵	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۷۰

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۱۶- مبدل حرارتی جهت تولید آب گرم در CHP پروژه شماره ۶

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲۴- مشخصات CHP پروژه شماره ۶

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۳۵۰۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۴۵۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۰/۷	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۴۲۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۵۶۰	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۲۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۲۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۳۷.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۰.۵۷۱.۴۲۹	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۵.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱۳۵	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۶	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰/۹	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۵۲۰۰	t

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[0.1\times 560 + 0.9\times 420 + \frac{0.7\times 700\times 3600}{0.8\times 36741} - \frac{700\times 3600}{0.36\times 36741}\right]\times\frac{5200}{10571429} - 0.135 = 0.014$$

برای ۵۲۰۰ ساعت کار در سال سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه تنها ۱/۴ درصد است که علت آن، پایین بودن زمان بهره برداری دستگاه، عدم فروش بخش عمده برق تولیدی به شبکه و بالا بودن هزینه تعمیرات و نگهداری مجموعه می‌باشد.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$PUE = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36741 \times 0.36} = 190.5 \ \frac{Rial}{kWh}$$

$$PUE_e = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.36 \times 0.7\ )}{36741 \times 0.8 \times 0.36} = 130.5 \ \frac{Rial}{kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۹۰ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۳۰ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{0.7 \times 0.36}{0.8 + 0.7 \times 0.36} = 0.24$$

$$S_N = \ 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = \ 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.36 + 0.3926 \times 0.7 \times 0.36} = 0.188$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۱۹ درصد است.

omoorepeyman.ir

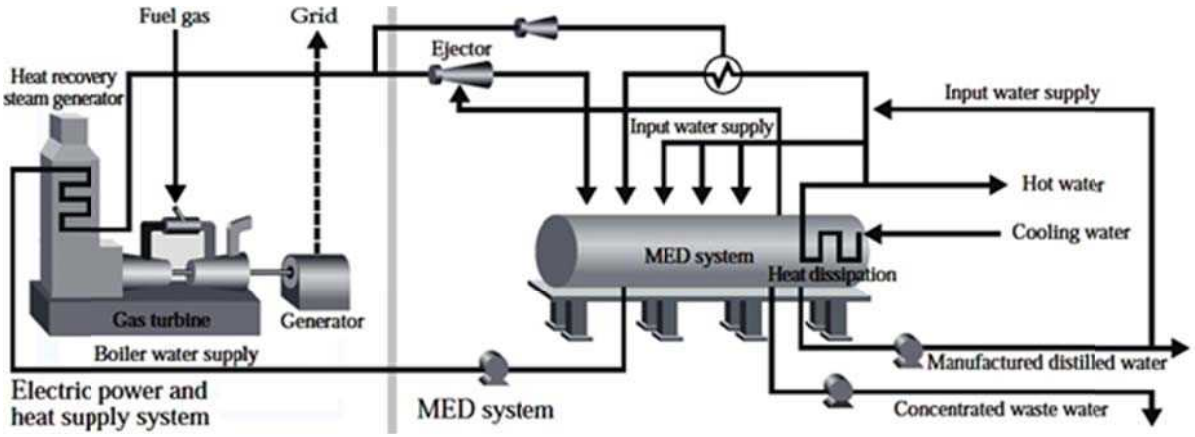
جدول ۴-۲۵- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۶

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): از گرمای بدنه موتور، روغن موتور و هوای خروجی توربو شارژر (در اینتر کولر) جهت تولید آب گرم مورد نیاز مجموعه استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۳۷.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۵.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۴۲۰	فروخته شده: ۵۶۰
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۷۴۱	CHP: ۳۶۷۴۱
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۹۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور احتراق داخلی پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای بدنه، روغن موتور و توربوشارژر جهت گرم کردن آب مورد نیاز مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGLD 560
	توان نامی (kW): ۳۵۰۰	راندمان (٪): ۳۶	تولید سالیانه (MWh): ۱۸۱۹۳
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای بدنه موتور، روغن موتور و هوای خروجی توربو شارژر	
	توان نامی (kW): ۲۴۵۰	راندمان (٪): ۲۵/۲	تولید سالیانه (GJ): ۴۵۸۶۴
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۳۰/۵	حداکثر: ۱۹۰/۵
راندمان کل (٪): ۶۱/۲		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۵۲/۵	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۱/۴		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۱۸/۸	

omoorepeyman.ir

۴-۷- پروژه شماره ۷

در این پروژه دو واحد توربین گاز PG6541 و ژنراتور T600 از شرکت آلستوم[18] فرانسه در سال ۱۳۶۰ به قیمت تقریبی هر واحد ۴۷۷۲۴۰۰ دلار امریکا بعلاوه ۴۸۴۰۲۷۰ پوند انگلیس به ارزش تقریبی ۳/۷ میلیارد ریال در سال ۱۳۶۰ خریداری شد. بعدها در سال ۱۳۷۹ پروژه نصب بویلر بازیافت (HRSG[19]) جهت تولید بخار اشباع مورد نیاز برای آب شیرین کن MED[20] جهت تولید آب شیرین از آب دریا آغاز شد، که در تابستان ۱۳۸۳ به بهره برداری رسید. هزینه ساخت و نصب این بویلر بازیافت، ۳۳/۷ میلیارد ریال شد. از آنجا که این بویلر بخار فوق اشباع تولید نمی‌کند و فقط توان تولید بخار اشباع را دارد، بطور همزمان فقط به یکی از دو توربین می‌تواند متصل باشد. در سیکل ترکیبی معمولاً خروجی دو توربین گاز همزمان حرارت یک بویلر بازیافت با قابلیت تولید بخار فوق اشباع با فشار بالا را تأمین می‌نمایند.



شکل ۴-۱۷- شماتیک عملکرد سیستم CHP متشکل از توربین گاز، بویلر بازیافت و آب شیرین کن MED [14]

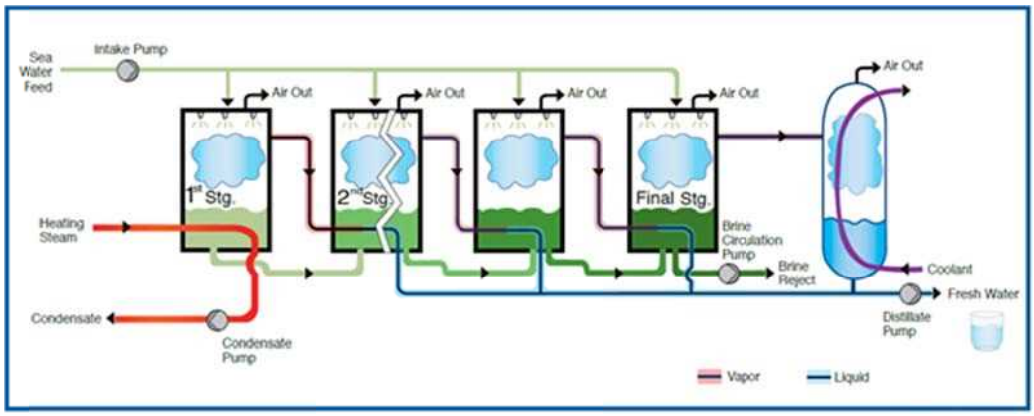
در این مجموعه ۶ واحد توربین گاز وجود دارد که فقط ۲ واحد قابلیت اتصال به بویلر بازیافت را دارد (مانند طرح سیکل ترکیبی). اما از آنجا که نیازی به تولید بخار فوق اشباع وجود ندارد، تنها یکی از واحدها به بویلر بازیافت در زمان واحد می‌تواند متصل باشد. لذا در این مجموعه یک واحد توربین گاز و بویلر بازیافت مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخار تولیدی در بویلر بازیافت به اولین افکت واحد آب شیرین کن چند اثره (MED) وارد می‌شود. افکت‌های بعدی از گرمای بخار تولیدی افکت قبلی جهت تبخیر استفاده می‌کنند، که همزمان باعث میعان بخار تولیدی در مرحله قبل و تولید آب شیرین می‌شود.

امور پیمان
omoorepeyman.ir

[18] - Alsthom
[19] - Heat Recovery Steam Generator
[20] - Multiple-Effect Distillation

جدول ۴-۲۶- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۷

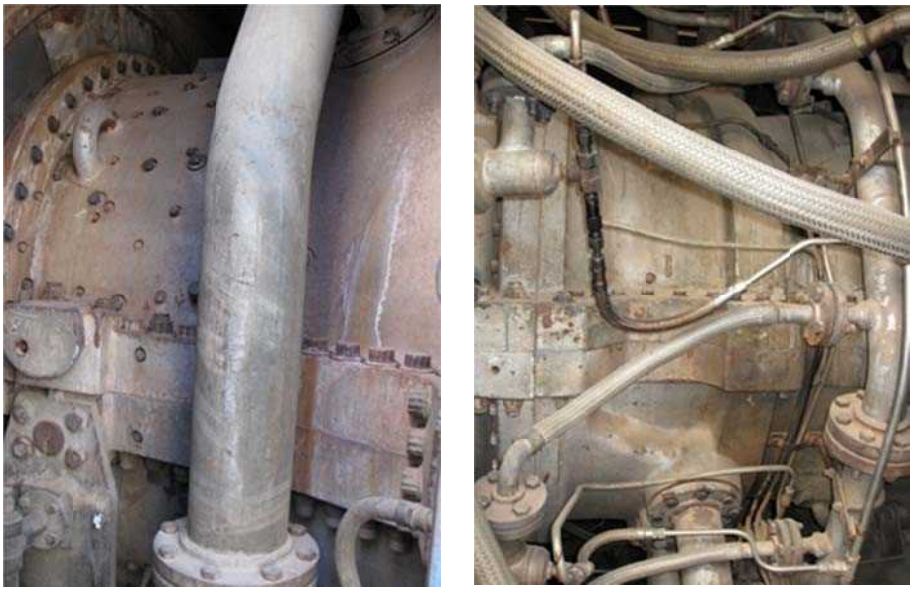
نوع مولد: توربین گاز	نام برند: Alstom	مدل: PG6541
توان نامی (kW): ۳۷۵۰۰	متوسط توان عملیاتی (kW): ۲۷۰۰۰	حداکثر توان عملیاتی (kW): ۳۰۰۰۰
نرخ حرارتی (Mj/kWh): ۱۱/۳	دور نامی موتور (rpm): ۵۱۱۵	راندمان الکتریکی (٪): ۳۱
وزن دستگاه (kg): ۲۰۴۰۰۰	دمای دود خروجی (°C): ۵۰۰	دبی دود خروجی (t/h): ۵۰۲
زمان اورهال (ساعت): ۴۸۰۰۰	ابعاد موتور (mm) طول: ۳۰۰۰۰	عرض: ۶۰۰۰ ارتفاع: ۱۰۰۰۰



شکل ۴-۱۸- شماتیک آب شیرین کن چند اثره (MED)

شکل ۴-۱۹- محل قرار گیری توربین گاز و فیلترهای ورود هوا در CHP پروژه شماره ۷

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۲۰- محل استقرار محفظه احتراق (سمت راست) و توربین (سمت چپ) پروژه شماره ۷

طبق آمار اعلام شده سالانه توسط این توربین معادل ۲۱۸۷۹۰۴۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی و حدود ۵۲۵۶۳۷ تن بخار اشباع با فشار حدود ۱۰ بار و متوسط دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد توسط بویلر تولید می‌گردد. برای تولید این مقدار بخار از آب اشباع تقریباً ۱۲۲۰ ترا[۲۱] ژول انرژی نیاز است.

[21] - ۱۰[۱۲] معادل

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲۷- مشخصات فنی بویلر بازیافت پروژه CHP پروژه شماره ۷

هدف نهایی حرارت کسب شده: تولید بخار اشباع در بویلر بازیافت جهت استفاده در مرحله اول آب شیرین کن MED	
متوسط توان حرارتی عملیاتی (کیلووات): ۴۱۸۵۰	منابع حرارتی استفاده شده: دود خروجی توربین
دبی بخار تولیدی: ۶۵ تن بر ساعت	دبی سیال گرم کننده: ۵۰۲ تن بر ساعت
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۱۱۰	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۱۸۰
دمای دود خروجی از مبدل (°C): ۲۰۰	فشار خروجی سیال گرم شده (Bar): ۱۰

شکل ۴-۲۱- بویلر بازیافت (HRSG) در پروژه شماره ۷

شکل ۴-۲۲- آب شیرین کن MED در پروژه شماره ۷

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲۸- مشخصات CHP پروژه شماره ۷

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۷۰۰۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۴۱۸۵۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۱/۵۵	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	-	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۵۰۰	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۴۰۰۰۰	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۴۰۰۰۰	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۳۷.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱.۳۸۵.۱۸۵	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۷.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱۸۷	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۱	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۱۰۰	t

برای ۸۱۰۰ ساعت کار در سال سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه برابر است با؛

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[500 + \frac{1.55\times700\times3600}{0.8\times40000} - \frac{700\times3600}{0.31\times40000}\right]\times\frac{8100}{1385185} - 0.187 = 2.26$$

سود این پروژه در صورت محاسبه مبلغ ریالی پروژه در زمان سرمایه گذاری ۲۲۶ درصد است که بسیار بالا و نشان دهنده سودآوری این نوع پروژه‌ها در طی زمان است. اگر مبلغ دلاری سرمایه گذاری به امروز و با نرخ مرکز مبادلات محاسبه شود سودآوری پروژه برابر با ۲۹ درصد است، البته بدون تغییر در قیمت بویلر بازیافت.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{40000 \times 0.31} = 203.2 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.31 \times 1.55\ )}{40000 \times 0.8 \times 0.31} = 81.2 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۲۰۳ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۸۱ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{1.55 \times 0.31}{0.8 + 1.55 \times 0.31} = 0.375$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.31 + 0.3926 \times 1.55 \times 0.31} = 0.281$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۲۸ درصد است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲۹- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۷

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: گرم و مرطوب	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): برق تولیدی، برق مورد نیاز شهر را تأمین می‌کند و از حرارت محصولات احتراق جهت تولید بخار آب شرین کن MED استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۳۷.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۷.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: -	فروخته شده: ۵۰۰
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۴۰۰۰۰	CHP: ۴۰۰۰۰
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت در محفظه احتراق محترق شده و با چرخاندن توربین و ژنراتور متصل به آن، تولید نیروی الکتریکی می‌کند و بعد از خروج، وارد بویلر بازیافت شده که حرارت مورد نیاز برای تولید بخار آب شیرین کن MED را تأمین می‌نماید. این نوع CHP برای مصارف حرارتی در مقیاس زیاد و ترجیحاً فشار بالا قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: توربین گاز	نام برند: Alstom	مدل: PG6541
	توان نامی (kW): ۲۷۰۰۰	راندمان (٪): ۳۱	تولید سالیانه (MWh): ۲۱۸.۷۹۰
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای حاصل از محصولات احتراق خروجی از توربین	
	توان نامی (kW): ۴۱۸۵۰	راندمان (٪): ۴۸	تولید سالیانه (GJ): ۱.۲۲۰.۰۰۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۸۱/۲	حداکثر: ۲۰۳/۲
راندمان کل (٪): ۷۹		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۷۷/۶	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۲۲۶		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۲۸/۱	

omoorepeyman.ir

۴-۸- پروژه شماره ۸

در این طرح که از بهمن ماه ۱۳۸۷ در حال بهره برداری می‌باشد، یک مولد گاز سوز FGWilson مدل PG1250B به طور دائم و به صورت همزمان حدود ۱ مگاوات انرژی الکتریکیِ شبکه سراسری برق و ۱/۲ مگاوات انرژی حرارتیِ استخر مجموعه ورزشی را تأمین می‌نماید. حرارت بازیافت شده جهت تولید آب گرم ۹۰ الی ۹۵ درجه با فشار ۳ الی ۶ بار از خروجی محصولات احتراق بکار گرفته می‌شود.

هزینه این مولد حدود ۷۰۰ هزار یورو شده که تقریباً در زمان خرید برابر بود با ۹۱۰۰ میلیون ریال، که با جمع هزینه ۳۰۰ میلیون ریالی مبدل حرارتی جمعاً حدود ۹/۴ میلیارد ریال هزینه پروژه شده است.

جدول ۴-۳۰- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۸

نوع مولد: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: FGWilson	مدل: PG1250B
توان نامی (kW): ۱۰۰۰	متوسط توان عملیاتی (kW): ۹۴۰	راندمان الکتریکی (٪): ۳۸
تعداد سیلندر: ۱۶	دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	حجم موتور (لیتر): ۶۱/۱۲
ضریب تراکم: ۱۲	دمای دود خروجی (°C): ۴۹۷	مصرف سوخت (m^3/hr): ۲۷۳
وزن دستگاه (kg): ۱۳۰۰۰	ابعاد موتور (mm) طول: ۶۷۶۷	عرض: ۲۱۰۰ ارتفاع: ۲۷۵۰

omoorepeyman.ir

شکل ۴-۲۳- شکل موتور FGWilson مدل PG1250B

قابلیت بازیافت حرارت در این دستگاه تا ۶۷۳ کیلووات از دود خروجی اگزوز، و حدود ۵۴۸ کیلووات از طریق آب خنک کننده بدنه موتور مقدور می‌باشد. این میزان حرارت جهت افزایش دمای آب ۳۵ الی ۶۵ درجه تا ۹۵ درجه در استخر جنب نیروگاه استفاده می‌شود. با توجه به آنکه میزان دبی و افزایش درجه حرارت آب مربوطه در فصول مختلف سال متفاوت است، میانگین عملیاتی آن در سال حدود ۵۸۰ کیلووات در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۴-۳۱- مشخصات فنی مبدل حرارتی پروژه CHP پروژه شماره ۸

هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم	منابع حرارتی استفاده شده: دود خروجی (محصولات احتراق)
حداکثر توان حرارتی (کیلووات): ۱۲۲۱	متوسط توان عملیاتی (کیلووات): ۵۸۰
دمای ورودی محصولات احتراق به مبدل (°C): ۴۹۰	دمای خروجی محصولات احتراق از مبدل (°C): ۲۰۰
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۵۰	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۹۵

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۳۲- پارامترهای CHP پروژه شماره ۸

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۹۴۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۵۸۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۰/۶۲	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	-	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۶۱۰	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۹.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۰.۰۰۰.۰۰۰	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۹۴۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۸	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۰۰۰	t

از آنجا که حرارت استفاده شده برای آب استخر بطور رایگان در اختیار مجموعه قرار گرفته است، لذا سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه برابر است با ۲۴ درصد و در صورت استفاده خود دارنده مولد از این حرارت یا فروش آن امکان افزایش تا ۲۸/۶ درصد نیز وجود داشت. که این رقم مبنای کار علمی این گزارش می‌باشد.

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[610 + \frac{0.62\times700\times3600}{0.8\times36741} - \frac{700\times3600}{0.38\times36741}\right]\times\frac{8000}{10000000} - 0.1 = 0.286$$

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36741 \times 0.38} = 180.5 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.38 \times 0.62\ )}{36741 \times 0.8 \times 0.38} = 127.6 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۸۰/۵ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۲۷/۶ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{0.62\ \times 0.38}{0.8 + 0.62\ \times 0.38} = 0.227$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.38 + 0.3926 \times 0.62 \times 0.38} = 0.207$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۲۰/۷ درصد است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۳۳- خلاصه شده نهایی CHP پروژه شماره ۸

نوع کاربری: نیروگاهی		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): برق تولیدی به شبکه فروخته شده و از گرمای اگزوز و بدنه موتور جهت تولید آب گرم مورد نیاز مجموعه استخر ورزشی نیروگاه استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۹.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۹۴۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: -	فروخته شده: ۶۱۰
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۷۴۱	CHP: ۳۶۷۴۱
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۱۰۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور احتراق داخلی پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای محصولات احتراق اگزوز و بدنه موتور جهت گرم کردن آب استخر ورزشی در جنب نیروگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: FGWilson	مدل: PG1250B
	توان نامی (kW): ۹۴۰	راندمان (٪): ۳۸	تولید سالیانه (MWh): ۷۵۲۰
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای محصولات احتراق در خروجی اگزوز و بدنه موتور	
	توان نامی (kW): ۵۸۰	راندمان (٪): ۲۳/۴	تولید سالیانه (GJ): ۱۶۷۰۴
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۲۷/۶	حداکثر: ۱۸۰/۵
راندمان کل (٪): ۶۱/۴		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۵۳/۷	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۲۸/۶		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۲۰/۷	

omoorepeyman.ir

۴-۹- پروژه شماره ۹

برق تولیدی CHP به شبکه فروخته شده و از حرارت بدنه موتور جهت گرم کردن آب مورد استفاده در مجموعه اداری استفاده می‌شود. هزینه متوسط یک واحد ۷۰۰ هزار یورو و قیمت مبدل آن ۱۴۵۰۰ یورو بوده است. کل هزینه در زمان انجام پروژه برای یک واحد یک مگاواتی حدود ۹ میلیارد ریال بوده است.

شکل ۴-۲۴- موتور GUASCOR مدل SFGM 560 در CHP پروژه شماره ۹

این دستگاه علاوه بر حرارت بدنه، که قابلیت بازیافت حرارت از آن تا ۷۰۹ کیلووات مقدور است، و مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند از طریق روغن و دود خروجی که به ترتیب حدود ۱۵۰ و ۴۲۳ کیلووات توان حرارتی دارد، استفاده کند، که در حال حاضر از آن استفاده نمی‌شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۳۴- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۹

نوع مولد: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGM 560
توان نامی (kW): ۱۰۲۵	متوسط توان عملیاتی (kW): ۹۵۰	راندمان الکتریکی (٪): ۳۹
تعداد سیلندر: ۱۶	دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	حجم موتور (لیتر): ۵۶/۳
ضریب تراکم: ۱۲	دمای دود خروجی (°C): ۴۹۶	وزن دستگاه (kg): ۹۳۰۰
ابعاد موتور (mm)	طول: ۴۵۸۴ عرض: ۱۷۳۶	ارتفاع: ۲۴۷۵

جدول ۴-۳۵- مشخصات فنی مبدل حرارتی CHP پروژه شماره ۹

هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم	منابع حرارتی استفاده شده: بدنه موتور
توان حرارتی نامی (کیلووات): ۷۰۹	متوسط توان عملیاتی (کیلووات): ۲۸۵
دمای ورودی سیال گرم کننده (°C): ۹۵	دمای خروجی سیال گرم کننده (°C): ۹۰
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۲۵	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۹۰

در حال حاضر اطلاعات دقیقی از میزان حرارت دریافت شده واقعی از سوی مصرف کننده وجود ندارد و رقم قطعی و دقیق برای پرداخت از مصرف کننده به کارفرمای پروژه مطرح نیست. لذا فرض بر محاسبه گاز مصرفی به نرخ ۱۰۰۰ ریال بر مترمکعب در صورت عدم استفاده از این منبع برای مصرف کننده در نظر گرفته می‌شود. (قیمت گاز برای اماکن و تأسیسات دولتی ۲۰۰۰ ریال بر مترمکعب است) که با درنظر گرفتن ارزش حرارتی گاز به میزان ۳۶۷۴۱ کیلوژول بر مترمکعب و با راندمان ۸۰ درصد مبدل‌های مصرف کننده هزینه حرارت مصرفی برابر با ۱۲۲ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

شکل ۴-۲۵- مبدل حرارتی جهت استفاده از حرارت آب خنک کننده بدنه موتور در CHP پروژه شماره ۹

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۳۶- پارامترهای CHP پروژه شماره ۹

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۹۵۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۲۸۵	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۰/۳	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	-	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۶۱۰	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۷۴۱	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	۱۲۲	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۹.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۹۴۷۳۶۸۴	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۹۰۰.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۳۹	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۰	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۰۰۰	t

سود حاصل از این سرمایه گذاری بصورت سالانه برابر است با ۲۹/۷ درصد.

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[610 + 0.3\times 122 - \frac{700\times 3600}{0.39\times 36741}\right]\times\frac{8000}{9473684} - 0.1 = 0.297$$

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36741 \times 0.39} = 176 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.39 \times 0.3\ )}{36741 \times 0.8 \times 0.39} = 150 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۷۶ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۵۰ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{0.3\ \times 0.39}{0.8 + 0.3\ \times 0.39} = 0.128$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.39 + 0.3926 \times 0.3 \times 0.39} = 0.123$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۱۲ درصد است.

omoorepeyman.ir

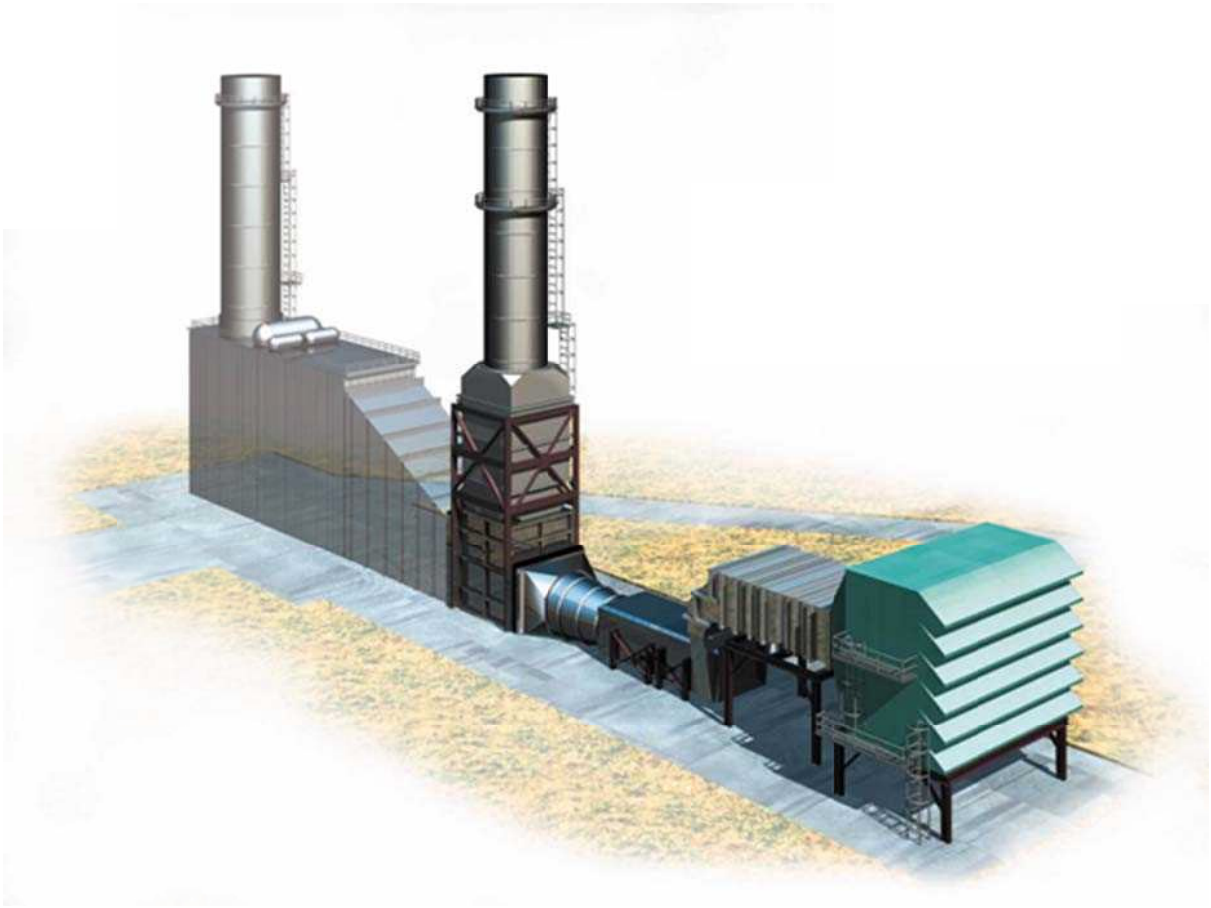
جدول ۴-۳۷- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۹

نوع کاربری: نیروگاهی		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): برق تولیدی به شبکه فروخته شده و از گرمای بدنه موتور جهت تولید آب گرم مورد نیاز مجموعه اداری استفاده می‌شود.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۹.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۹۰۰.۰۰۰.۰۰۰	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: -	فروخته شده: ۶۱۰
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۷۴۱	CHP: ۳۶۷۴۱
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل موتور احتراق داخلی پیستونی محترق شده و تولید نیروی مکانیکی کرده و گرمای بدنه موتور جهت گرم کردن آب ساختمان اداری در جنب نیروگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع CHP در هر مکانی که نیاز به حرارت با فشار پایین داشته باشند قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: موتور پیستونی (رفت و برگشتی)	نام برند: GUASCOR	مدل: SFGM 560
	توان نامی (kW): ۹۵۰	راندمان (٪): ۳۹	تولید سالیانه (MWh): ۷۶۰۰
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای بدنه موتور	
	توان نامی (kW): ۵۸۰	راندمان (٪): ۱۱/۷	تولید سالیانه (GJ): ۸۲۰۸
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۱۲۷/۶	حداکثر: ۱۸۰/۵
راندمان کل (٪): ۵۰/۷		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۴۵/۷	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۲۹/۷		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۱۲/۲	

omoorepeyman.ir

۴-۱۰- پروژه شماره ۱۰

در این پروژه ۸ واحد توربین گاز وجود دارد که ۲ واحد آن جدیدتر می‌باشد و همگی متصل به بویلر بازیافت می‌باشند. علت عدم استفاده از توربین بخار پس فشاری در این مجموعه نیاز به بخار با فشار بالا بوده است که امکان استفاده بهینه از توربین پس فشاری وجود ندارد.



شکل ۴-۲۶- شماتیک عملکرد سیستم CHP متشکل از توربین گاز، بویلر بازیافت

جدول ۴-۳۸- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۱۰

نوع مولد: توربین گاز	نام برند: GE	مدل: PG9171E	
دور نامی موتور (rpm): ۳۰۰۰	دمای دود خروجی (°C): ۵۰۰	دبی دود خروجی (t/h): ۵۰۲	
شرایط نامی	توان (kW): ۱۱۳۲۰۰	راندمان (٪): ۳۳	نرخ حرارتی (kj/kWh): ۱۰۸۹۰
شرایط عملیاتی	توان (kW): ۵۷۵۰۰	راندمان (٪): ۲۷/۲	نرخ حرارتی (kj/kWh): ۱۳۲۴۰

omoorepeyman.ir

کمپرسور این واحدها دارای ۱۷ مرحله و توربین آنها ۳ مرحله‌ای می‌باشند. از آنجا که نیاز به بخار بیش از برق تولیدی است لذا داخل هر HRSG مشعل کمکی نیز قرار دارد. بخار تولیدی از طریق لوله‌های شبکه انتقال جهت فرآیند به سایر مجموعه‌ها ارسال می‌شود.

شکل ۴-۲۷- محل قرار گیری توربین گاز و فیلترهای ورود هوا در پروژه شماره ۱۰

طبق آمار اعلام شده سالانه توسط این توربین‌ها معادل ۴.۰۲۸.۳۳۳ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی و حدود ۹.۵۴۵.۲۹۱ تن بخار فوق اشباع با فشار حدود ۴۳ بار و متوسط دمای ۴۳۰ درجه سانتیگراد توسط بویلر بازیافت و برنرهای داخل آن تولید می‌گردد. متأسفانه در مجموعه اطلاعات دقیقی از مصرف گاز جداگانه دستگاه‌ها وجود نداشت و تعیین میزان بخار تولید شده مربوط به بویلر بازیافت نامعلوم است. اما محاسبات نشان می‌دهد که تقریباً ۷.۲۰۰.۰۰۰ تن بخار تولید شده مربوط به CHP می‌باشد. (که متوسط ۱۰۳ تن بر ساعت برای هر بویلر بازیافت در طول سال می‌شود) برای تولید این مقدار بخار تقریباً ۲۳ پتا[۲۲] ژول انرژی نیاز است.

omoorepeyman.ir

22 - معادل 10^{15}

جدول ۴-۳۹- مشخصات فنی بویلر بازیافت CHP پروژه شماره ۱۰

هدف نهایی حرارت کسب شده: تولید بخار فوق اشباع در بویلر بازیافت از دود خروجی توربین جهت استفاده در فرایندها	
توان حرارتی نامی (کیلووات): ۱۹۰۰۰۰	متوسط توان حرارتی عملیاتی (کیلووات): ۹۲۰۰۰
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۵۹	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۴۳۰
دمای دود ورودی به مبدل (°C): ۵۵۲	دمای دود خروجی از مبدل (°C): ۱۴۱
دبی نامی بخار تولیدی: ۲۲۵ تن بر ساعت	متوسط دبی بخار تولیدی عملیاتی: ۱۰۳ تن بر ساعت

هزینه سرمایه گذاری اولیه این مجموعه برای احداث ۸ واحد تقریباً برابر با ۳۹۱.۳۰۹.۰۰۰ یورو و معادل ۵.۸۳۱.۶۸۰.۰۰۰.۰۰۰ میلیارد ریال (در زمان خرید) بوده است. همچنین هزینه تعمیر و نگهداری سالانه آن مبلغ ۷۳۵.۷۹۳.۰۰۰.۰۰۰ ریال اعلام شده است. هر کیلووات ساعت برق تولیدی حدود ۵۱۰ ریال و هر تن بخار ۱۲۲.۰۰۰ ریال فروخته می‌شود. قیمت حرارت فروخته شده معادل (در تولید بخار) برابر است با ۱۳۶ ریال بر کیلووات ساعت.

شکل ۴-۲۸- بویلر بازیافت (HRSG) در پروژه شماره ۱۰

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۴۰- مشخصات CHP پروژه شماره ۱۰

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۴۶۰۰۰۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۷۳۶۰۰۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۱/۶	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	-	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۵۱۰	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۴۰۰	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۴۰۰	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	۱۳۶	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	۵.۸۳۱.۶۸۰.۰۰۰.۰۰۰	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۲.۶۷۷.۵۶۵	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	۷۳۵.۷۹۳.۰۰۰.۰۰۰	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱۲۶	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۲۷/۲	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۰	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۷۶۰	t

$$B = \left[(1-\alpha)\times s + \frac{H}{P}\times(1-\beta)\times g + \alpha\times n + \frac{H}{P}\times\beta\times f\times\frac{3600}{b.Lf} - c\times\frac{3600}{e.Lc}\right]\times\frac{t}{i} - om$$

$$B = \left[510 + 1.6\times 136 - \frac{700\times 3600}{0.272\times 36400}\right]\times\frac{8760}{12677565} - 0.126 = 0.2$$

سود این پروژه ۲۰٪ است که یکی از عوامل پایین‌تر بودن آن از حد انتظار، کارکرد توربین‌ها در ظرفیت ۵۰٪ (بعلت عدم نیاز) می‌باشد. علت عدم اتصال به شبکه، نوسات بالا و نامطلوب بار از سوی شبکه عنوان شده است. علیرغم نیاز بیشتر بخار فرآیندی امکان افزایش برق تولیدی بدلیل نبودن تقاضا، امکان پذیر نیست. همچنین برای جبران تولید بخار بیشتر، از مشعل‌های کمکی درون بویلربازیافت و بویلرهای مجزا استفاده می‌شود. در صورت استفاده از ۸۰ درصد ظرفیت کل بجای ۵۰ درصد با افزایش راندمان توربین‌ها و میزان فروش درصد سوددهی پروژه تا ۴۴ درصد افزایش می‌یابد.

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$\mathrm{PUE} = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{700 \times 3600}{36400 \times 0.272} = 254.5 \text{ Rial/kWh}$$

$$\mathrm{PUE_e} = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{700 \times 3600 \times (0.8 - 0.272 \times 1.6)}{36400 \times 0.8 \times 0.272} = 116 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۲۵۴/۵ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۱۱۶ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{1.6 \times 0.272}{0.8 + 1.6 \times 0.272} = 0.352$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.272 + 0.3926 \times 1.6 \times 0.272} = 0.192$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۱۹/۲ درصد است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۴۱- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۱۰

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: گرم و مرطوب	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): برق و بخار تولیدی مجموعه به فروش می‌رسد.			
هزینه تمام شده پروژه (ریالی / ارزی):		۵.۸۳۱.۶۸۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال	
هزینه تعمرات و نگهداری سالانه (ریالی / ارزی):		۷۳۵.۷۹۳.۰۰۰.۰۰۰ ریال	
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: -	فروخته شده: ۵۱۰
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گاز	CHP: گاز
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/m^3)		حالت جداگانه: ۳۶۴۰۰	CHP: ۳۶۴۰۰
قیمت خرید سوخت (ریال بر متر مکعب)		حالت جداگانه: ۷۰۰	CHP: ۷۰۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۰	حرارتی: ۰
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت در محفظه احتراق محترق شده و با چرخاندن توربین و ژنراتور متصل به آن، تولید نیروی الکتریکی می‌کند و بعد از خروج، وارد بویلر بازیافت شده که حرارت مورد نیاز برای تولید بخار آب فوق اشباع شبکه بخار را تأمین می‌نماید. این نوع CHP برای مصارف حرارتی در مقیاس زیاد و ترجیحاً فشار بالا قابل استفاده است.			
مشخصات مولد	نوع: توربین گاز	نام برند: GE	مدل: PG9171E
	توان نامی (kW): ۴۶۰۰۰۰	راندمان (٪): ۲۷/۲	تولید سالیانه (MWh): ۴.۰۲۸.۳۳۳
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	گرمای حاصل از محصولات احتراق خروجی از توربین	
	توان نامی (kW): ۷۳۶۰۰۰	راندمان (٪): ۴۳/۵	تولید سالیانه (GJ): ۲۳.۲۰۰.۰۰۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۹۱/۷	حداکثر: ۲۰۱/۱
راندمان کل (٪): ۷۰/۷		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۵۹/۶	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): ۲۰		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۱۹/۲	

omoorepeyman.ir

۴-۱۱- پروژه شماره ۱۱

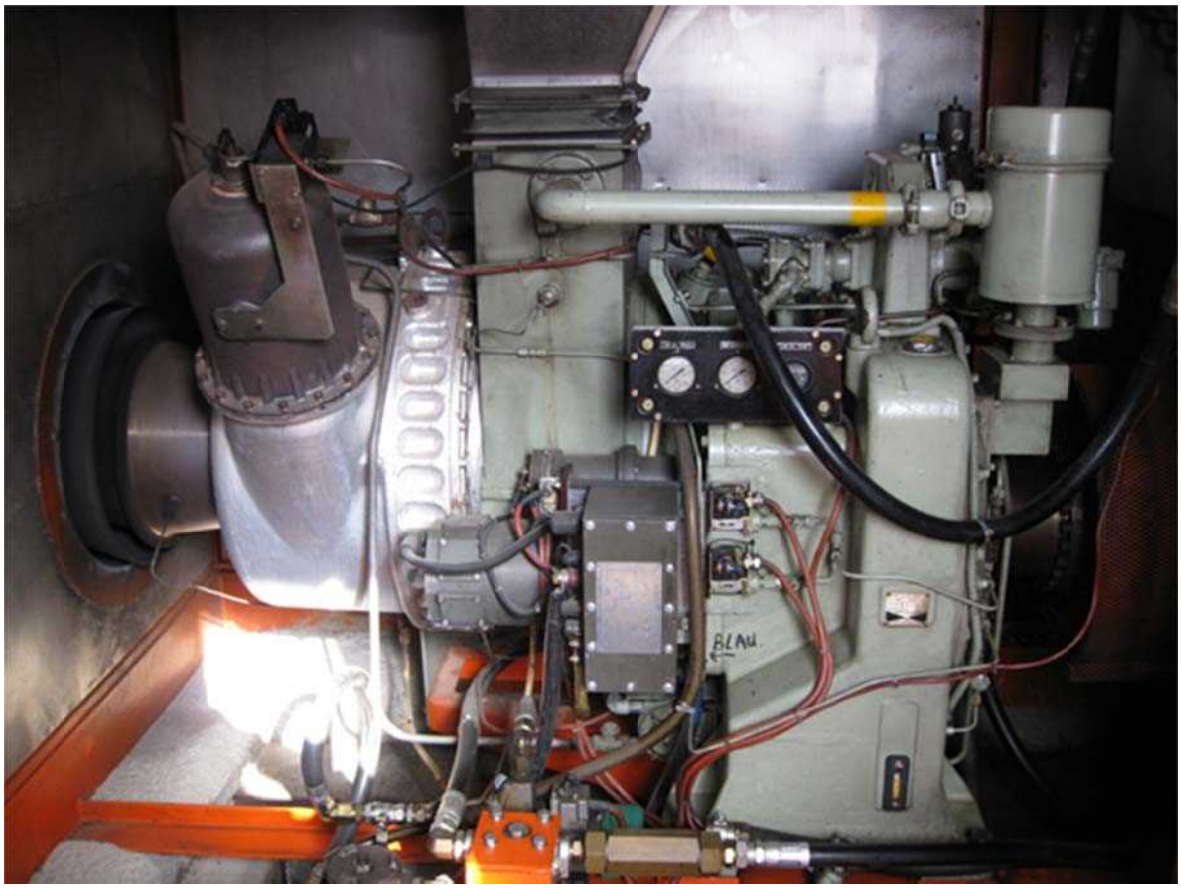
این پروژه CHP از بهمن ۱۳۹۰ آغاز و در حال حاضر مراحل نهایی نصب و تست را پشت سر می‌گذارد و بدلیل کامل نبودن برخی مسائل، خصوصاً بحث اقتصادی، هدف اصلی جهت مقایسه در بین ۱۰ پروژه برگزیده نمی‌باشد، و تنها بدلیل استفاده از میکروتوربین در CHP آن بررسی شده است. در این پروژه از دو واحد میکروتوربین استفاده می‌شود که مشخصات یک واحد آن در جدول زیر آمده است.

جدول ۴-۴۲- مشخصات فنی محرک مکانیکی CHP پروژه شماره ۱۱

نوع مولد: میکروتوربین	نام برند: Yanmar	مدل: AT900s
توان نامی (kW): ۵۶۴	متوسط توان عملیاتی (kW): ۳۸۵	راندمان الکتریکی (٪): ۲۹
ضریب تراکم: ۲۵	دور نامی موتور (rpm): ۱۵۰۰	دمای دود خروجی (°C): ۳۸۰
سوخت: گازوئیل/گاز	وزن کل دستگاه (kg): ۸۰۶۵	مصرف سوخت (kg/s): ۴/۳

کمپرسور این توربین گاز از نوع شعاعی و تک مرحله‌ای و توربین آن از نوع محوری و دو مرحله‌ای می‌باشد.

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۲۹- میکروتوربین مورد استفاده در پروژه شماره ۱۱

هدف نهایی گرمای این توربین، تهویه مطبوع و گرم کردن فضای سالن تولید از طریق آب گرم شده می‌باشد. در مجنمع بدلیل عدم گازکشی از سوخت گازوئیل استفاده می‌شود (به ارزش حرارتی ۳۶۳۰۰ کیلوژول بر لیتر) که هر لیتر آن ۳۵۰۰ ریال می‌باشد، که حدود ۴۰ ریال هزینه انتقال آن به مجموعه نیز می‌باشد. متوسط قیمت برق خریداری شده نیز ۴۳۰ ریال بر کیلووات ساعت می‌باشد. جهت تولید آب گرم دو مبدل حرارتی در انتهای توربین قرار داده شده است، که مشابه یکدیگر بوده و مشخصات آن مطابق زیر می‌باشد.

جدول ۴-۴۳- مشخصات فنی مبدل حرارتی در CHP پروژه شماره ۱۱

هدف نهایی حرارت کسب شده: آب گرم	منابع حرارتی استفاده شده: محصولات احتراق
توان حرارتی نامی (کیلووات): ۶۰۰	متوسط توان عملیاتی (کیلووات): ۳۸۵
دمای ورودی سیال گرم کننده (°C): ۳۸۰	دمای خروجی سیال گرم کننده (°C): ۱۸۵
دمای ورودی سیال گرم شده (°C): ۲۰	دمای خروجی سیال گرم شده (°C): ۸۰

omoorepeyman.ir

این پروژه در مراحل تست می‌باشد و وارد فاز اجرا نشده است، لذا هزینه سرمایه گذاری و تعمیر و نگهداری آن نامشخص است. اما با توجه به پایین بودن راندمان و بالا بودن قیمت گازوئیل مصرفی آن بعنوان سوخت (۵ برابر گاز) بطور قطع می‌توان این پروژه را ضرر‌ده عنوان کرد.

شکل ۴-۳۰- مبدل حرارتی در خروجی توربین در پروژه شماره ۱۱

امور پیمان
omoorepeyman.ir

جدول ۴-۴۴- پارامترهای CHP پروژه شماره ۱۱

ردیف	پارامتر	مقدار	نماد
۱	توان الکتریکی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۷۷۰	P
۲	توان حرارتی قابل تأمین توسط CHP (کیلووات)	۷۷۰	H
۳	نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۱	H/P
۴	قیمت خرید برق از شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	۴۳۰	n
۵	قیمت فروش برق به شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)	-	s
۶	قیمت سوخت جهت تولید حرارت بطور جداگانه (ریال بر مترمکعب)	۳۵۴۰	f
۷	ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۳۰۰	Lf
۸	قیمت سوخت CHP (ریال بر مترمکعب)	۳۵۴۰۰	c
۹	ارزش حرارتی سوخت CHP (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۳۰۰	Lc
۱۰	قیمت فروش حرارت (ریال بر کیلووات ساعت)	-	g
۱۱	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP (ریال)	-	I
۱۲	هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	-	i
۱۳	هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه CHP (ریال)	-	OM
۱۴	نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	-	om
۱۵	راندمان الکتریکی CHP	۰/۲۹	e
۱۶	راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸	b
۱۷	کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۱	α
۱۸	کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱	β
۱۹	مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	-	t

omoorepeyman.ir

قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)

$$PUE = \frac{c \times 3600}{L_c \times e} = \frac{3540 \times 3600}{36300 \times 0.29} = 1210 \text{ Rial/kWh}$$

$$PUE_e = \frac{c \times 3600 \times \left(0.8 - e \times \frac{H}{P}\right)}{L_c \times 0.8 \times e} = \frac{3540 \times 3600 \times (0.8 - 0.29 \times 1)}{36300 \times 0.8 \times 0.29} = 772 \text{ Rial/kWh}$$

بنابراین حداکثر قیمت برق تولیدی حدود ۱۲۱۰ ریال بر کیلووات ساعت و حداقل قیمت حدود ۷۷۲ ریال بر کیلووات ساعت خواهد شد که حتی از قیمت خرید برق نیز بیشتر است. این پروژه بعلت بالا بودن قیمت سوخت و راندمان پایین تحت هیچ شرایط و هزینه سرمایه گذاری (حتی بدون در نظر گرفتن هزینه سرمایه گذاری، یعنی I = 0) سودده نخواهد بود. اما در صورت استفاده از گاز به نرخ ۷۰۰ ریال بر متر مکعب، در صورتی که هزینه اولیه ۶ میلیارد ریال باشد. سوددهی پروژه به حدود ۲۰ درصد خواهد رسید.

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

$$S_S = \frac{\frac{H}{P}.e}{0.8 + \frac{H}{P}.e} = \frac{1 \times 0.29}{0.8 + 1 \times 0.29} = 0.266$$

$$S_N = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times e + 0.3926 \times \frac{H}{P} \times e} = 1 - \frac{0.314}{0.8 \times 0.29 + 0.3926 \times 1 \times 0.29} = 0.092$$

میزان صرفه جویی در هر واحد محصول حدوداً برابر با ۹ درصد است. که میزان کمی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۴۵- خلاصه شده نهایی پروژه شماره ۱۱

نوع کاربری: صنعتی		نوع جغرافیا: معتدل کوهستانی	
اهداف پروژه (کاربردها و محل استفاده برق و حرارت تولیدی): برق تولیدی در مجموعه مصرف می‌شود و از گرمای محصولات احتراق جهت تولید آب گرم مورد در گرمایش سوله تولید استفاده می‌شود.			
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)		خریداری شده: ۴۳۰	فروخته شده: -
نوع سوخت مصرفی		حالت جداگانه: گازوئیل	CHP: گازوئیل
ارزش حرارتی سوخت، LHV (KJ/Lit)		حالت جداگانه: ۳۶۳۰۰	CHP: ۳۶۳۰۰
قیمت خرید سوخت (ریال بر لیتر)		حالت جداگانه: ۳۵۴۰	CHP: ۳۵۴۰
درصد استفاده خود مجموعه تولیدی CHP (٪)		الکتریکی: ۱	حرارتی: ۱
نوع CHP برحسب تکنولوژی و حوزه نفوذ: در این CHP ابتدا سوخت داخل محفظه احتراق محترق شده و منجر به تولید نیروی مکانیکی در توربین و ژنراتور متصل به توربین برق تولید می‌کند و گرمای خروجی از محصولات احتراق برای گرمای سوله تولید استفاده می‌شود. این تکنولوژی برای مکان‌های که حرارت بیشتر و پایدارتری نسبت به برق مورد نیاز باشد مفید است.			
مشخصات مولد	نوع: میکروتوربین	نام برند: Yanmar	مدل: AT900s
	توان نامی (kW): ۷۷۰	راندمان (٪): ۲۹	تولید سالیانه (MWh): -
مشخصات مبدل	منابع حرارتی استفاده شده:	محصولات احتراق خروجی توربین	
	توان نامی (kW): ۷۷۰	راندمان (٪): ۳۵	تولید سالیانه (GJ): -
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلووات ساعت)		حداقل: ۲۲۴	حداکثر: ۱۲۱۰
راندمان کل (٪): ۶۴		راندمان الکتریکی مؤثر (٪): ۴۵	
درصد سودآوری سالانه سرمایه گذاری (٪): -		درصد صرفه‌جویی سوخت در هر واحد محصول (٪): ۹/۲	

omoorepeyman.ir

فصل ۵

پردازش و تحلیل آماری پروژه‌ها

omoorepeyman.ir

در این فصل نتایج بازدیدهای فصل قبل با استفاده از مطالب بیان شده از فصل دوم و سوم بصورت یکجا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۵-۱- طبقه بندی تکنولوژیک پروژه‌ها

انواع تکنولوژی سیستم‌های همزمان در فصل دوم به تفصیل بیان شد که در میان پروژه‌های بازدید شده CHP موتورهای رفت و برگشتی متداول‌تر بود. این امر بدلیل پایین بودن هزینه‌های آن خصوصاً در مقیاس کوچک می‌باشد. نبود سیستم‌های ترکیبی و تکنولوژی‌های جدیدتر مانند پیل سوختی بدلیل بالاتر بوده هزینه سرمایه گذاری اولیه و پیچیده‌تر بودن آن نشان از تازه بودن ورود سیستم‌های CHP در ایران دارد. در جدول زیر فناوری بکار رفته در موارد بازدید نشان داده شده است. در مجموع برای ظرفیت‌های متوسط و کم سیستم پیستونی و برای ظرفیت‌های بالا سیستم‌های توربینی توصیه می‌شود.

جدول ۵-۱- اطلاعات تکنولوژیک پروژه‌ها

شماره پروژه	طبقه بندی تکنولوژیک
۱	توربین بخار پس فشاری
۲	پیستونی (رفت و برگشتی)
۳	پیستونی (رفت و برگشتی)
۴	پیستونی (رفت و برگشتی)
۵	پیستونی (رفت و برگشتی)
۶	پیستونی (رفت و برگشتی)
۷	توربین گاز
۸	پیستونی (رفت و برگشتی)
۹	پیستونی (رفت و برگشتی)
۱۰	توربین گاز

omoorepeyman.ir

۵-۲- طبقه بندی بر اساس ظرفیت و حوزه نفوذ پروژه

هر چند مقیاس مشخص و مدونی برای تقسیم بندی به لحاظ ظرفیت وجود ندارد اما بر طبق جدول ۲-۱ تقسیم بندی برای موارد بازدید شده بصورت زیر می‌باشد. که نشان دهنده برتری عددی در رنج متوسط می‌باشد. که حوزه بیشتری را شامل می‌شود. هر چه مقیاس بزرگتر شود، سوداوری و توجیه استفاده از سیستم CHP افزایش می‌یابد. البته در کنار آن کنترل و بهینه کردن سیستم به لحاظ همزمانی در مصرف برق و حرارت مشکلتر خواهد شد. در حال حاضر مقیاس‌های کوچک صرف اقتصادی ندارد.

جدول ۵-۲- اطلاعات مربوط به ظرفیت پروژه‌ها

شماره پروژه	ظرفیت
۱	متوسط
۲	متوسط
۳	متوسط
۴	متوسط
۵	متوسط
۶	متوسط
۷	بزرگ
۸	متوسط
۹	متوسط
۱۰	بزرگ

omoorepeyman.ir

۵-۳- طبقه بندی بر اساس کاربری

برق تولیدی در بسیاری از این سیستم‌ها ممکن است به شبکه فروخته شود که برای هر کاربردی قابل استفاده است، لذا منظور از کاربری نوع استفاده از حرارت سیستم می‌باشد، که در ادامه برای موارد بازدیدی آورده شده است، که کاربری صنعتی بخش بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. متأسفانه کاربری مسکونی در ایران در حال حاضر موجود نمی‌باشد. تعدادی پروژه دیگر در حوزه‌های بیمارستانی و فروشگاه‌های تجاری (مراکز بزرگ خرید) در حال ساخت است. در مورد پروژه شماره ۷ هر چند محصول نهایی حرارت، آب شیرین برای شهر است، اما از آنجا که حرارت به واحد آب شیرین کن فرستاده می‌شود واحد مصرف کننده صنعتی محسوب می‌شود. ذخیره سازی آب از ذخیره سازی حرارت آسان‌تر می‌باشد، بهمین علت تغییر بار حرارتی در بخش آب شیرین کن کم می‌باشد لذا CHP برای شیرین کردن آب شور بسیار مناسب می‌باشد.

جدول ۵-۳- تقسیم بندی بر حسب کاربری پروژه‌ها

شماره پروژه	کاربری (در بخش حرارت)
۱	صنعتی
۲	اداری
۳	اداری
۴	صنعتی
۵	صنعتی
۶	صنعتی
۷	صنعتی
۸	ورزشی (تجاری)
۹	اداری
۱۰	صنعتی

omoorepeyman.ir

۵-۴- طبقه بندی بر اساس محل جغرافیایی اجرای پروژه

از عوامل مؤثر در عملکرد سیستم‌های CHP آب و هوا می‌باشد. به همین منظور تمام تولید کنندگان عملکرد محصول خود را در شرایط استاندارد آب و هوایی[۲۳] اعلام می‌کنند. البته در کنار آن ضرایب و منحنی‌های لازم برای بررسی شرایط دیگر نیز عنوان می‌شود. از میان تکنولوژه‌های مختلف توربین‌گاز بیشترین حساسیت را دارد. افزایش دمای محیط منجر به کاهش چگالی هوا شده و عملکرد سیستم را کاهش می‌دهد، لذا در صورت نیاز به ظرفیت‌های کم در مناطق گرم استفاده از توربین گاز یا میکرو توربین توصیه نمی‌شود. همچنین افزایش رطوبت هوا و افزایش ارتفاع محیط (کاهش فشار) از عوامل کاهنده راندمان توربین‌های گاز و موتورهای رفت و برگشتی می‌باشد. اما بطور کل محدودیتی برای انتخاب نوع CHP بر اساس شرایط آب و هوایی وجود ندارد. جدول زیر آب و هوای اجرای پروژه (به همراه مکان آن) آورده شده است.

جدول ۵-۴- اطلاعات مربوط به جغرافیای پروژه‌ها

شماره پروژه	محل جغرافیایی اجرای پروژه
۱	کوهستانی و معتدل (مرکز)
۲	خشک و معتدل (مرکز)
۳	کوهستانی و معتدل (مرکز)
۴	خشک و معتدل (شرق)
۵	کوهستانی و معتدل (مرکز)
۶	کوهستانی و معتدل (مرکز)
۷	مرطوب و گرم (جنوب)
۸	کوهستانی و معتدل (مرکز)
۹	کوهستانی و معتدل (مرکز)
۱۰	مرطوب و گرم (جنوب)

omoorepeyman.ir

[23]- منظور از شرایط استاندارد دمای ۱۵ درجه سانتیگراد، فشار یک اتمسفر و رطوبت ۶۰٪ می‌باشد

۵-۵- تحلیل عملکرد

عملکرد هر یک از پروژه‌ها از چند جهت قابل بررسی است یکی به لحاظ راندمان، اعم از الکتریکی، حرارتی و کل و دیگری به لحاظ انعطاف پذیری سیستم. اما آنچه از لحاظ راندمان در این سیستم‌ها اهمیت بیشتری دارد راندمان نهایی سیستم است که به تفکیک در جدول زیر آمده است که نشان دهنده بالاتر بودن راندمان نهایی سیستم‌های توربینی است. هر چند راندمان الکتریکی موتورهای رفت و برگشتی بیشتر است، اما بدلیل پراکندگی حرارت معمولاً نسبت به توربین‌های گاز دارای راندمان حرارتی پایین‌تری هستند. لذا نسبت حرارت به برق مورد نیاز مجموعه می‌تواند در تعیین تکنولوژی سیستم مؤثر باشد. موتورهای رفت و برگشتی برخلاف توربین‌ها می‌توانند در ۵۰٪ یا ۷۵٪ بار نامی کار کنند و تقریباً راندمان خود را حفظ نمایند در حالیکه توربین‌ها در صورت تغییر بار تغییر راندمان محسوسی خواهند داشت که برای مجموعه با تغییر بار زیاد مناسب نیستند. در ادامه عملکرد هر پروژه به تفکیک در جدول بیان شده است.

جدول ۵-۵- راندمان پروژه‌ها

شماره پروژه	راندمان الکتریکی	راندمان حرارتی	راندمان مؤثر الکتریکی	راندمان کل
۱	۲/۶	۴۵/۲	۷۵/۴	۷۸
۲	۳۹/۲	۹۱/۷	۴۵/۸	۸۵
۳	۴۱	۶۵/۴	۲۹/۸	۷۰/۸
۴	۳۹/۶	۵۳	۲۰/۲	۵۹/۸
۵	۳۹	۴۸/۱	۱۵/۱	۵۴/۱
۶	۳۶	۵۲/۶	۲۵/۲	۶۱/۲
۷	۳۱	۷۷/۶	۴۸	۷۹
۸	۳۸	۵۳/۸	۲۳/۴	۶۱/۴
۹	۳۹	۴۵/۷	۱۱/۷	۵۰/۷
۱۰	۲۷/۲	۵۹/۶	۴۳/۵	۷۰/۷

omoorepeyman.ir

۵-۶- تحلیل هزینه‌های سرمایه گذاری و تعمیر و نگهداری و ارائه قیمت تمام شده هر واحد انرژی

هزینه سرمایه گذاری اولیه در سیستم‌های رفت و برگشتی (ظرفیت کم و متوسط) مقبول و به صرفه می‌باشد. اما در ظرفیت‌های بالا این سیستم‌های توربین گاز هستند که هم بدلیل کم حجم بودن و هم بدلیل نصب سریع‌تر گزینه‌های بهتری محسوب می‌شوند. هزینه‌های تعمیر و نگهداری در سیستم‌های توربینی بمراتب کمتر از موتورهای رفت و برگشتی می‌باشد، هر چند در پایان دوره اورهال هزینه‌های بیشتری تحمیل می‌کنند. هزینه‌های سرمایه گذاری، تعمیر و نگهداری و قیمت تمام شده هر واحد انرژی برای هر یک از موارد به تفکیک در جدول زیر آمده است.

جدول ۵-۶- اطلاعات اقتصادی پروژه‌ها

شماره پروژه	هزینه‌های سرمایه گذاری (ریال بر وات)	هزینه‌های تعمیر و نگهداری (ریال بر وات)	قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلوواتساعت)
۱	۲۷۷۷۸	۲۷۸	۱۵۱/۷
۲	۱۴۲۰۰	۷۱۰	۷۹/۶
۳	۱۰۷۷۹	۱۰۳۵	۱۰۵
۴	۷۳۱۷	۸۵۶	۱۳۷/۶
۵	۱۰۰۰۰	۱۶۰۰	۱۴۵/۵
۶	۱۰۵۷۱	۱۴۲۷	۱۳۰/۵
۷	*۱۳۸۵	۲۵۹	۸۱/۲
۸	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۱۲۷/۶
۹	۹۴۷۴	۹۴۷	۱۵۰
۱۰	۱۲۶۷۷	۱۵۹۷	۹۱/۷

* از آنجا که پروژه شماره ۷ در زمان دورتری نسبت به سایر پروژه‌ها انجام شده است، هزینه‌های سرمایه گذاری آن بمراتب کمتر می‌باشد. در صورت تبدیل آن به زمان مشابه سایر پروژه‌ها برابر می‌شود با ۵۶۴۸ ریال بر وات.

omoorepeyman.ir

۵-۷- میزان صرفه جویی در هر واحد محصول

صرفه جویی در این سیستم نسبت به استفاده از برق شبکه (راندمان متوسط نیروگاه‌های کشور) و سیستم حرارتی مستقل سنجیده می‌شود. همچنین سوداوری پروژه بر حسب سرمایه گذاری اولیه نیز برآورد شده است، که در جدول زیر بیان شده است. قطعاً در صورت افزایش میزان صرفه جویی، سوداوری نیز افزایش می‌یابد. کمترین میزان صرفه جویی مربوطه به توربین پس فشاری است که بعلت کارکرد آن در بار غیرنامی (کاهش بار) می‌باشد که حساسیت آن را نسبت به تغییر بار نشان می‌دهد. میزان صرفه جویی رابطه مستقیم با راندمان حرارتی دارد.

جدول ۵-۷- اطلاعات مربوط به صرفه جویی و سوداوری پروژه‌ها

شماره پروژه	درصد صرفه‌جویی سوخت	درصد سودآوری سالانه
۱	۰/۹	۷
۲	۳۶/۴	۱۸/۹
۳	۲۹/۴	۴۰
۴	۲۰/۷	۲۵
۵	۱۵/۵	۲۱/۲
۶	۱۸/۸	۲۴
۷	۲۸	۲۲۶
۸	۲۰/۷	۲۸/۶
۹	۱۲/۲	۲۹/۷
۱۰	۱۹/۲	۲۰

omoorepeyman.ir

فصل ۶

جمع بندی

omoorepeyman.ir

۶-۱- شناسایی و تحلیل حساسیت عوامل و نقاط ضعف و قوت برای هر یک از پروژه‌ها

بطور کلی، پروژه‌های بررسی شده به سه قسمت عمده تقسیم می‌شوند، که جداگانه نقاط ضعف و قدرت آنها بیان می‌گردد. در ادامه جهت شناسایی و بررسی عوامل مؤثر، اثر عوامل مختلف بر راندمان و سوددهی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان اطلاعات جمع آوری شده از تمام پروژه‌های بازدید شده، در یک جدول بطور خلاصه در کنار هم جهت دید بهتر و وسیع‌تر به موضوع نشان داده می‌شود.

۶-۱-۱- نقاط قوت

در ادامه نقاط قوت سه مورد دسته بندی شده یعنی، توربین بخار پس فشاری، توربین گاز و میکروتوربین‌ها با بویلر بازیافت و موتورهای پیستونی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۱-۱-۱- توربین بخار پس فشاری

در صورت بهره برداری بهینه از این روش بالاترین سود سالیانه را دارد و پایین بودن هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه آن نیز محسوس است. کوچکتر بودن ابعاد نسبت به موتور پیستونی و کمتر بودن آلایندگی صوتی و زیست محیطی از دیگر مزایای این طرح است.

۶-۱-۱-۲- توربین گاز و میکروتوربین‌ها

بعلت شباهت ساختاری توربین‌های گاز و میکروتوربین‌ها، آنها را در یک دسته بندی قرار می‌دهیم. در این صورت می‌توان گفت که در طیف گسترده‌ای از میزان خروجی یعنی از ۱۰ کیلووات تا بیش از ۲۰۰ مگاوات وجود دارند. امکان استفاده بصورت سیستم جداگانه در آن نیز وجود دارد که در اینصورت می‌توان فقط در مواقع لازم از بویلر بازیافت استفاده کرد و در مواقع غیر ضروری آنرا از سیستم حذف نمود. بازدهی خوب در تولید همزمان بدلیل کیفیت بالای حرارت تولیدی ناشی از متمرکز بودن حرارت تولیدی در محصولات احتراق خروجی، ابعاد کمتر، فواصل طولانی تعمیرات و در نتیجه هزینه نگهداری پایین به همراه قابلیت اطمینان بالا از مهمترین مزایای توربین‌های گاز و میکروتوربین‌ها می‌باشد.

۶-۱-۱-۳- موتورهای سیلندر پیستونی

موتورهای سیلندر پیستونی (رفت و برگشتی) از نوع احتراق داخلی نسبت به توربین‌های گازی در ابعاد برابر از نقطه نظر توان خروجی، راندمان الکتریکی بالاتری دارند و بنابراین مصرف سوخت کمتر و عملکرد مناسبتری دارند. در محدوده توان ۳ مگاوات الی ۵ مگاوات، هزینه اولیه موتورهای پیستونی از توربین‌های گازی کمتر است. از مزایای این موتورها استارت سریع، راندمان بالا و اقتصادی در بارهای جزیی می‌باشد که برخلاف دو مورد قبلی منجر به کاهش شدید راندمان نمی‌شود.

omoorepeyman.ir

۶-۱-۲- نقاط ضعف

۶-۱-۲-۱- توربین بخار پس فشاری

نیاز به حجم بالای بخار مصرفی در مجموعه و همچنین وابستگی شدید نیروی برق تولیدی به حرارت مورد استفاده از مهمترین معایب این طرح است. بدین معنا که نسبت حرارت به الکتریسیته در این سیستم معمولاً بالا می‌باشد و در صورت کاهش بخار مصرفی مورد نیاز به ناچار توان الکتریکی تولیدی نیز کاهش می‌یابد، در این حالت راندمان به شدت افت می‌کند. در صورت عدم نیاز به بخار این سیستم بطور کل از مدار خارج شده و امکان استفاده (تولید برق) بصورت سیستم جداگانه مقدور نمی‌باشد. همین عدم انعطاف پذیری کاربرد این روش را محدود کرده است.

۶-۱-۲-۲- توربین گاز و میکروتوربین‌ها

هزینه سرمایه گذاری این روش بالاتر می‌باشد. در حالت کارکرد با بخشی از بار، راندمان توربین گاز بسرعت کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش درجه حرارت هوای محیط، عملکرد یک توربین گازی کاهش پیدا می‌کند که علت آن کاهش دانسیته هوای ورودی می‌باشد. توربین‌های گاز نسبت به توربین‌های بخار، احتیاج به نگهداری بیشتر و تخصصی-تری دارند.

۶-۱-۲-۳- موتورهای پیستونی

استفاده از انرژی حرارتی تولید شده توسط موتورهای رفت و برگشتی دشواتر است. همچنین دارای دمای پایین‌تری می‌باشد زیرا این دما در سیستم روغن کاری و خنک کاری بدنه موتور و همچنین گازهای خروجی پراکنده می‌شود. البته در شرایطی خاص و در صورت نیاز به تنها بخشی از این حرارت می‌توان آن را یک مزیت به لحاظ قابلیت کنترل بهتر بشمار آورد. موتورهای رفت و برگشتی، هزینه تعمیر و نگهداری بالاتری دارند. آلایندگی صوتی و زیست محیطی آنها بیشتر و فضای بیشتری نسبت به توان تولیدی اشغال می‌کنند.

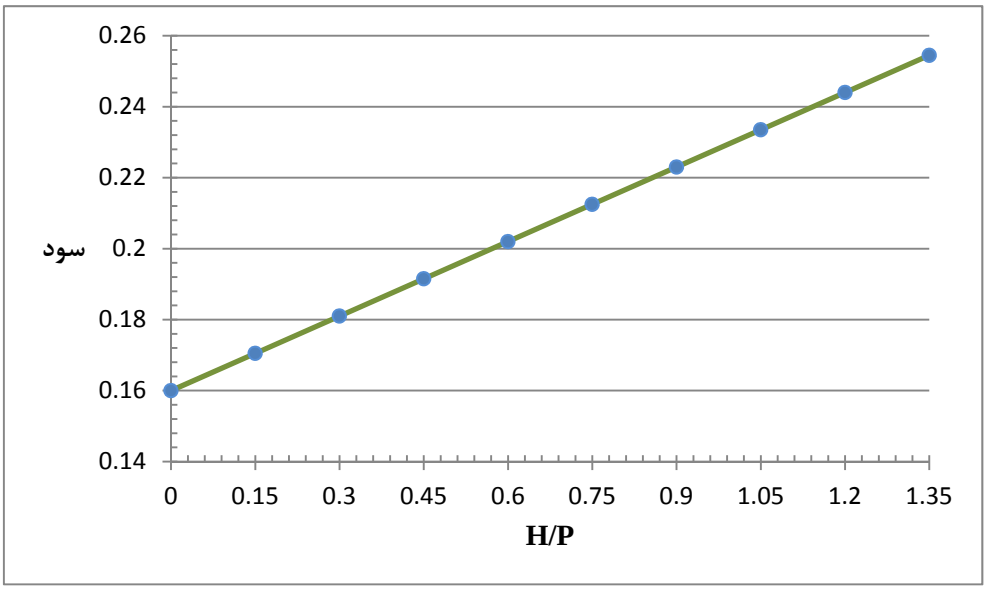
۶-۱-۳- حساسیت سوددهی

با توجه به روابط بدست آمده در فصل سوم اثر تغییر پارامترها در نتیجه نهایی نشان داده می‌شود. اثر برخی پارامترها کاملاً مشخص است، مثل افزایش زمان بهره‌داری که نسبت مستقیم با میزان سوددهی دارد، یا کاهش هزینه تعمیر و نگهداری و یا کم شدن هزینه اولیه سرمایه گذاری. در ادامه اثر تغییر پارامترهای دیگر در میزان سوددهی مورد بررسی قرار گرفته است. موارد پیش فرض در صورت عدم اعلام بصورت زیر در نظر گرفته شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۶-۱- مقادیر پیش فرض پارامترها

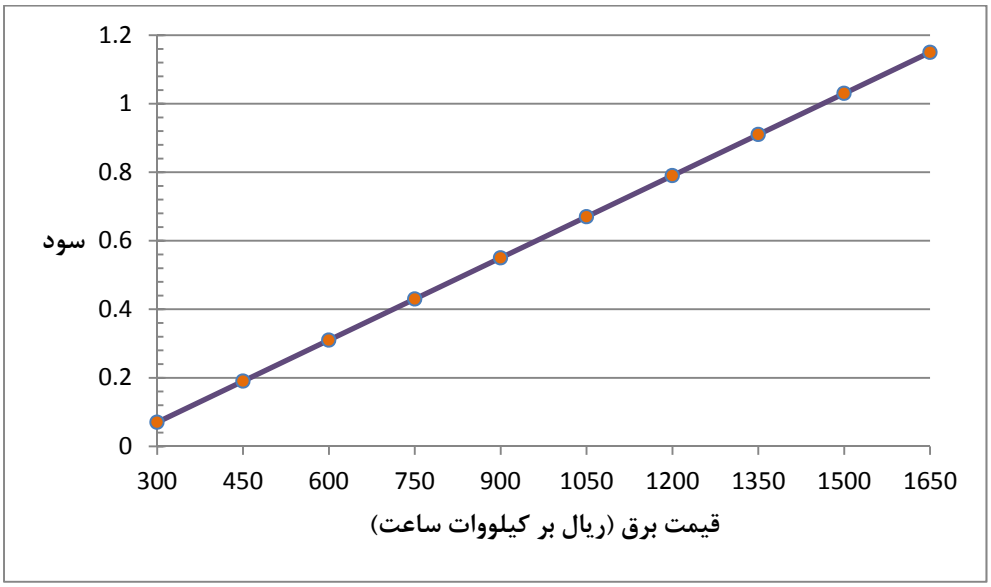
پارامتر	مقدار
نسبت توان حرارتی به الکتریکی CHP	۱
قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)	۵۰۰
قیمت سوخت (ریال بر مترمکعب)	۷۰۰
ارزش حرارتی سوخت در تولید حرارت جداگانه (کیلوژول بر مترمکعب)	۳۶۰۰۰
هزینه سرمایه گذاری اولیه CHP برای هر کیلووات (ریال بر کیلووات)	۱۰.۰۰۰.۰۰۰
نسبت هزینه تعمیرات و نگهداری به سرمایه گذاری اولیه	۰/۱
راندمان الکتریکی CHP	۰/۴
راندمان بویلر برای حالت ایجاد حرارت بصورت جداگانه	۰/۸
کسر مورد استفاده خود مجموعه از برق تولیدی CHP	۰
کسر مورد استفاده خود مجموعه از حرارت تولیدی CHP	۱
مدت زمان بهره برداری (دسترسی) دستگاه در سال (ساعت)	۸۰۰۰



شکل ۶-۱- میزان سود به نسبت حرارت به برق مصرفی

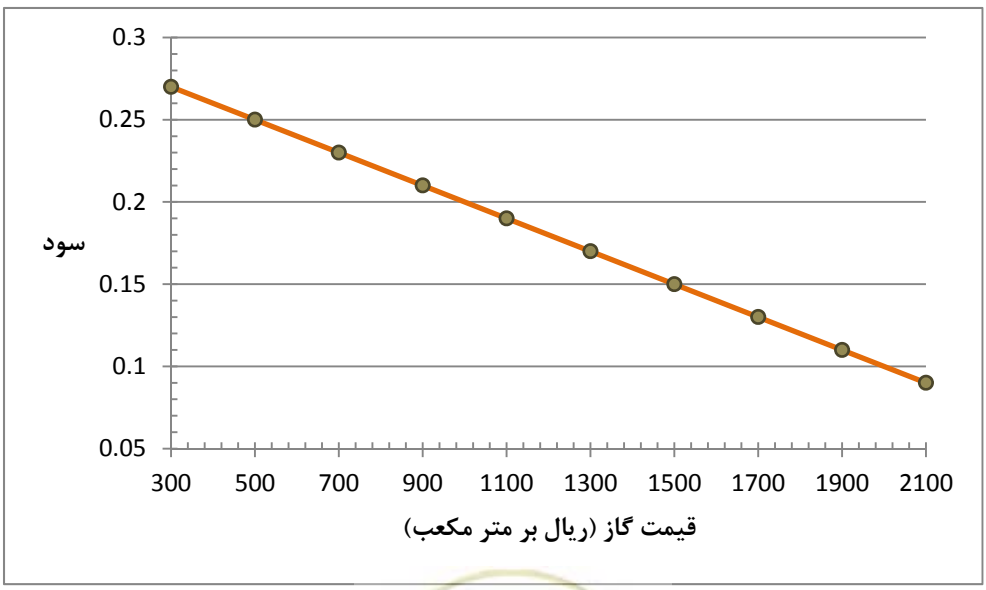
شکل ۶-۱ نشان می‌دهد برای حالت پیش فرض در صورت عدم استفاده از حرارت سوددهی تا ۱۶ درصد افت می‌کند و برای حداکثر حالت ممکن نزدیک ۲۶ درصد خواهد شد که این اختلاف حدود ۱۰ درصد است. با افزایش قیمت برق تغییری در این اختلاف ایجاد نمی‌شود، اما افزایش قیمت سوخت منجر به افزایش این اختلاف می‌شود که سودهی CHP را در مقابل سیستم جداگانه توجیه پذیرتر می‌کند. به نحوی که نصف شدن قیمت سوخت این اختلاف را نصف و دو برابر شدن قیمت سوخت اختلاف سوددهی بین حالت سیستم تولید برق جداگانه و CHP کامل را دو برابر می‌کند.

omoorepeyman.ir



شکل ۶-۲- نسبت سود به قیمت برق

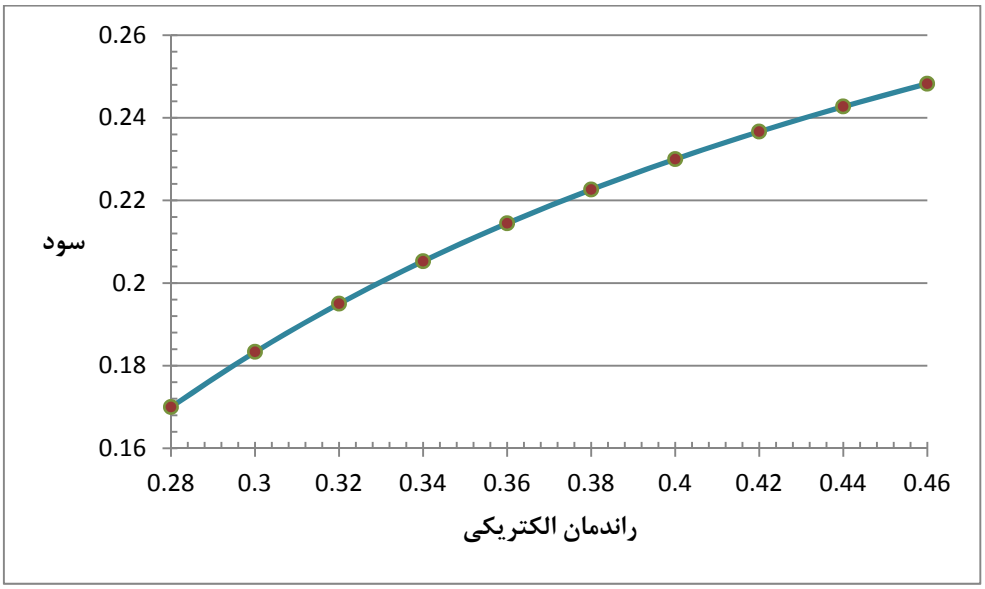
قیمت برق مهمترین پارامتر مؤثر در میزان سوددهی می‌باشد. شکل ۶-۲ این اثر را بخوبی نشان می‌دهد. بنحوی که دو برابر شدن قیمت برق سوددهی پروژه را بیش از دو برابر افزایش می‌دهد. همچنین افزایش قیمت گاز و برق بصورت همزمان و به یک نسبت (مثلاً برق و گاز، دو یا سه برابر شود) نیز منجر به افزایش سوددهی پروژه (با شیب کمتر) می‌گردد، اما منجر به افزایش اختلاف دو حالت سیستم جداگانه و CHP (بعنوان مثال در صورت دو برابر شدن قیمت حامل‌های انرژی این حداکثر اختلاف نیز دو برابر می‌شود) می‌گردد.



شکل ۶-۳- نسبت سود به قیمت گاز

همانگونه که از شکل پیداست افزایش قیمت گاز به تنهایی منجر به کاهش سوددهی پروژه می‌گردد. تغییرات سوددهی بر حسب راندمان الکتریکی نیز در نمودار شکل ۶-۴ نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



شکل ۶-۴- میزان سود به راندمان الکتریکی

جدول ۶-۲ تمام پروژه‌های بررسی شده را در کنار هم نشان می‌دهد. نکته قابل توجه سوداوری سرمایه گذاری برای پروژه‌هایی است هزینه سرمایه گذاری آنها پایین است. این موضوع نشان می‌دهد که با گذشت زمان و افزایش قیمت‌ها سوداوری پروژه‌ها افزایش می‌یابد و موارد حساب شده حداقل سود می‌باشد. این در حالی است که در مقایسه با تأسیس یک کارخانه ضمن زمان‌بر بودن ساخت آن در ابتدای شروع بکار کارخانه سوددهی قابل توجهی ندارد و چند سال طول خواهد کشید تا به سودآوری قابل قبول برسد. سود سپرده گذاری در بانک نیز ثابت است، که با تورم موجود در حالت خوشبینانه ارزش پول را حفظ می‌کند. لذا سرمایه گذاری در CHP یک سرمایه گذاری مطمئن طی زمان خواهد بود.

omoorepeyman.ir

جدول ۶-۲- جدول مقایسه نهایی و خلاصه از کل پروژه‌ها

شماره پروژه		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع مولد		توربین بخار	پیستونی	پیستونی	پیستونی	پیستونی	پیستونی	توربین گاز	پیستونی	پیستونی	توربین گاز
توان عملیاتی (کیلووات)	الکتریکی	۵۴۰	۱۰۰۰	۳۸۵۰	۴۱۰۰	۲۲۵۰	۳۵۰۰	۲۷۰۰۰	۹۴۰	۹۵۰	۴۶۰۰۰۰
	حرارتی	۱۵۶۶۰	۱۱۶۸	۲۸۰۰	۲۰۹۶	۸۷۵	۲۴۵۰	۴۱۸۵۰	۵۸۰	۲۸۵	۷۳۶۰۰۰
نسبت توان حرارتی به الکتریکی		۲۹	۱/۱۶۸	۰/۷۳	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۷	۱/۵۵	۰/۶۱۷	۰/۳	۱/۶
هزینه کل پروژه به ازای هر وات (ریال)		۲۷۷۷۸	۱۴۲۰۰	۱۰۷۷۹	۷۳۱۷	۱۰۰۰۰	۱۰۵۷۱	۱۳۸۵	۱۰۰۰۰	۹۴۷۴	۱۲۶۷۷
نسبت هزینه تعمیرات به سرمایه اولیه		۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۹۶	۰/۱۱۷	۰/۱۶	۰/۱۳۵	۰/۱۸۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱۲۶
راندمان (٪)	الکتریکی	۲/۶	۳۹/۲	۴۱	۳۹/۶	۳۹	۳۶	۳۱	۳۸	۳۹	۲۷/۲
	مؤثر الکتریکی	۴۵/۲	۹۱/۷	۶۵/۴	۵۳	۴۸/۱	۵۲/۶	۷۷/۶	۵۳/۸	۴۵/۷	۵۹/۶
	حرارتی	۷۵/۴	۴۵/۸	۲۹/۸	۲۰/۲	۱۵/۱	۲۵/۲	۴۸	۲۳/۴	۱۱/۷	۴۳/۵
	کل	۷۸	۸۵	۷۰/۸	۵۹/۸	۵۴/۱	۶۱/۲	۷۹	۶۱/۴	۵۰/۷	۷۰/۷
قیمت خرید گاز (مترمکعب بر ریال)		۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰
قیمت برق (ریال بر کیلوواتساعت)	خریداری شده	۴۳۰	۲۷۰	۱۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۲۰	–	–	–	–
	فروخته شده	–	۴۵۹	۶۱۰	۴۸۷	۶۱۰	۵۶۰	۵۰۰	۶۱۰	۶۱۰	۵۱۰
کسر استفاده خود مجموعه از برق تولیدی		۱	۰	۰/۳	۰	۰	۰/۹	۰	۰	۰	۰
زمان دسترسی (ساعت)		۸۰۰۰	۸۰۰۰	۷۳۰۰	۷۶۸۰	۸۰۰۰	۵۲۰۰	۸۱۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۸۷۶۰
قیمت هر واحد انرژی (ریال بر کیلوواتساعت)	حداقل	۱۵۱/۷	۷۹/۶	۱۰۵	۱۳۷/۶	۱۴۵/۵	۱۳۰/۵	۸۱/۲	۱۲۷/۶	۱۵۰	۱۱۶
	حداکثر	۲۶۳۸	۱۸۶	۱۶۷/۳	۱۸۴/۲	۱۷۹/۵	۱۹۰/۵	۲۰۳/۲	۱۸۰/۵	۱۷۶	۲۴۵/۵
صرفه‌جویی سوخت در واحد محصول (٪)		۰/۹	۳۶/۴	۲۹/۴	۲۰/۷	۱۵/۵	۱۸/۸	۲۸/۱	۲۰/۷	۱۲/۳	۱۹/۲
درصد سودآوری سالانه		۷	۱۸/۹	۴۰	۲۵	۲۱/۲	۱/۴	۲۲۶	۲۸/۶	۲۹/۷	۲۰

omoorepeyman.ir

۶-۲- گزارش نهایی

استفاده از سیستم‌های CHP نسبت به سیستم‌های تولید جداگانه حرارت و استفاده از برق شبکه هم برای خود استفاده کننده و هم از دیدگاه ملی دارای مزایای همچون افزایش راندمان، کاهش مصرف سوخت و قیمت انرژی مصرفی، در اختیار داشتن منبع تأمین انرژی با ضریب حفاظتی بالا، حذف تلفات انتقال و کاهش تلفات توزیع برق در قیاس با نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز دارد.

متوسط راندمان یک مولد برق در حدود ۳۵٪ و متوسط راندمان یک بویلر ۸۰٪ است. در حالیکه یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ۸۵٪ دارد. یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ۳۵٪ و راندمان حرارتی ۵۰٪ است. از طرف دیگر در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و تولید حرارت متشابه رایج که بصورت مجزا هستند، حدود ۳۵٪ سوخت کمتری مصرف می‌کند. کارآیی نهایی سیستم‌های معمول به روش متمرکز در حدود ۴۰٪ تا ۶۰٪ می‌باشد که بیشترین کارآیی مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد در حالی‌که با بهره گیری از فناوری تولید همزمان برق و حرارت بصورت مستقل، کارآیی انرژی این مولدها به بیش از ۹۰٪ نیز خواهد رسید.

در واحدهایی که بطور همزمان به حرارت و توان نیاز دارند، پتانسیل ایجاد تولید مشترک وجود دارد. کیفیت انرژی حرارتی مورد نیاز از نظر دما و فشار تعیین کننده‌ی نوع سیستم تولید همزمان است. هم چنین عواملی چون الگوهای بار، تقاضای برق و حرارت، در دسترس بودن سوخت، قابلیت اعتماد و اعتبار سیستم، بازگشت سرمایه و قوانین زیست محیطی، در انتخاب نوع و اندازه‌ی سیستم تولید همزمان مؤثر می‌باشد. صنایعی مانند نساجی، مواد غذایی، شیشه، فولاد، سیمان، پتروشیمی، پالایشگاه، آب شیرین کن، پزشکی، کاغذ و چوب قابلیت بکارگیری سیستم‌های CHP را دارا می‌باشند. همچنین قابلیت استفاده از این سیستم‌ها در بخش‌های اداری، تجاری و مجتمع‌های مسکونی که نیاز به سیستم‌های تهویه مطبوع و آب گرم دارند، وجود دارد. البته در صورتیکه سیستم مصرف انرژی خصوصیات زیر را داشته باشد، صرفه جوئی قابل توجه در هزینه انرژی بدست آمده و سیستم تولید مشترک مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

- نیاز حتمی به توان الکتریکی
- افزونی موارد استفاده انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی
- الگوهای بار پایدار و ثابت انرژی حرارتی و الکتریکی
- طولانی بودن ساعات بهره برداری فرآیند
- بالاتر بودن قیمت برق شبکه نسبت به سوخت یا عدم دسترسی به شبکه

در پایان برای انتخاب اندازهٔ محرک اولیه می‌بایست مناسب‌ترین حالت عملکرد اقتصادی تولید مشترک را مشخص کرد. تحقق این هدف ابتدا با داشتن نیازهای واحد مربوطه به انرژی حرارتی و الکتریکی عملی می‌گردد. سپس حالت‌های کارکرد گوناگون را در جهت برآورده شدن این نیازها می‌بایست در نظر گرفت. با انجام یک تجزیه و تحلیل اقتصادی همه

omoorepeyman.ir

جانبه، اقتصادی‌ترین حالت کارکرد و اندازه محرک اولیه را می‌توان تعیین کرد. سوخت در دسترس در مجموعه نیز در انتخاب نوع سیستم مؤثر است. اگر سوخت انتخابی زغال سنگ یا دیگر سوخت‌های جامد باشد معمولاً از توربین‌های بخار و بویلرها در یک سیستم تولید همزمان استفاده می‌شود. همچنین از توربین‌های بخار و بویلرها در زمانی که نسبت بالای حرارت به توان مورد نیاز است، استفاده می‌شود. توربین‌های بخار ممکن است در حالات خاص برای سیستم تولید همزمان استفاده شوند. برای مثال می‌توان بجای یک شیر فشار شکن بزرگ در سیستم بخار موجود، از یک توربین بخار استفاده کرد و در نتیجه توان الکتریکی و انرژی حرارتی تولید کرد. در بسیاری کاربردها، از توربین‌های بخار برای کارکرد همزمان با یک توربین گاز در یک نیروگاه سیکل ترکیبی استفاده کرده و قدرت خروجی را افزایش می‌دهند.

آنچه مسلم است سیستم‌های CHP از احاظ کاهش مصرف سوخت، بسیار مناسب و مفید می‌باشند. آنچه گاهی آنها را غیر اقتصادی می‌کند، شرایط حاکم بر کشور ایران است. بدلیل نبود تکنولوژی ساخت چنین سیستم‌هایی در ایران سرمایه گذاران باید قیمت واقعی جهانی برای خرید و تجهیز آن را بپردازند و گاهی بدلیل تحریم هزینه‌های مضاعف بر آنها وارد می‌شود، در حالیکه بدلیل ناهمخوانی قیمت انرژی در ایران در مقایسه با قیمت‌های جهانی، سود حاصل از صرفه جویی مصرف سوخت بدلیل وجود تورم زیاد در ایران و سود بالای بانکی برای سرمایه گذاران اشتیاق آور نیست، چرا که در صورت عدم استفاده صحیح و غیر کارشناسانه ممکن است بمراتب کمتر از سود بانکی بازدهی اقتصادی داشته باشد. لذا برای امکان حصول بازدهی مناسب اقتصادی، رعایت موارد زیر لازم است.

- زمان مفید و فعال سیستم (زمان دسترسی)

زمان مفید سیستم با سوددهی رابطه کاملاً مستقیم دارد. در صورت نصف شدن زمان دسترسی، سوددهی نیز نصف می‌شود.

- شناخت صحیح پروفیل بارهای الکتریکی و حرارتی مجموعه

اگر در مجموعه بارهای متغیر موجود است استفاده از سیستم‌های توربینی اشتباه است، مگر آنکه از سیستم ترکیبی استفاده شود و حداقل بار مجموعه، توسط سیستم توربینی تأمین شود. در پروژه شماره یک بدلیل تغییر بار حرارتی سودهی بشدت کاهش یافت. سیستم‌های توربینی نسبت به تغییر بار بسیار حساس‌ترند. لذا برای بارهای متغیر استفاده از سیستم‌های پیستونی بیشتر توصیه می‌شود.

- تعیین صحیح دوره‌های زمانی تعمیر

در سیستم‌های چند واحدی نباید واحدها همپوشانی در دوره تعمیر داشته باشند. همچنین باید این زمان‌ها در بازه کمترین نیاز باشد. بعنوان نمونه با توجه به کاهش راندمان در فصل تابستان و کاهش احتمالی نیاز بار حرارتی، در صورتی که قیمت خرید و فروش برق در این فصل برای مجموعه اثر گذار نباشد، دوره‌های تعمیری باید در فصل تابستان باشد.

omoorepeyman.ir

۶-۳- ارائه راهکار و پیشنهاد جهت پیاده سازی

آنچه برای یک سیستم CHP مهم است و آنرا از یک سیستم تولید جداگانه جدا می‌سازد، انرژی حرارتی مورد نیاز است. برای انتخاب یک سیستم CHP باید در ابتدا موارد زیر در محل مصرف مشخص شود.

- پروفیل بار حرارتی
- کیفیت حرارت مصرفی (دما، فشار و سیال واسط)
- پروفیل بار الکتریکی مصرفی
- ساعات نیاز به برق در طول روز یا سال
- قیمت برق در دسترس (شبکه)
- قیمت برق جهت فروش به شبکه
- قیمت سوخت جهت تأمین حرارت بصورت سیستم جداگانه
- قیمت سوخت سیستم CHP

انتخاب یک محرک اولیه برای یک سیستم تولید همزمان توجه به مسائل فنی و غیر فنی گوناگونی را می‌طلبد. مسائل فنی که غالباً در انتخاب فرآیند مطرح می‌شود، شامل حالات عملکرد و نسبت مورد نیاز حرارت به توان برای واحد مورد نظر، مقدار توان کلی و هرگونه مسائل خاص محلی مثل صدای کم و غیره می‌باشد. دیگر مسائل که در انتخاب فرآیند نقش دارند، استفاده از تجهیزات و مهارت پرسنل موجود در واحد می‌باشد. البته تصمیم گیری نهائی متأثر از مسائل اقتصادی می‌باشد.

برای انتخاب یک CHP بر اساس نسبت مورد نیاز حرارت به توان ابتدا بر اساس پروفایل بار حرارتی مصرفی مجموعه، حداقل و متوسط بار مورد نیاز روزانه محاسبه می‌شود. بر حسب اینکه آیا امکان ذخیره سازی این حرارت در طول روز وجود دارد، می‌توان بار متوسط را ملاک انتخاب قرار داد. مثلاً نیاز به آب گرم که می‌توان آن را در ساعتی از روز در یک مخزن عایق نگهداری و در ساعتی دیگر استفاده کرد (قطعاً هزینه این مخزن عایق باید در هزینه سرمایه گذاری اولیه اضافه شود). در صورت عدم امکان ذخیره سازی می‌توان بار پایه (حداقل) را ملاک انتخاب در نظر گرفته و از روش‌های دیگر اختلاف بار را جبران کرد.

ماکزیمم دمای مورد نظر باید مشخص باشد. این میزان باید کمتر از ماکزیمم دمای منبع حرارتی CHP باشد در غیر اینصورت تفاوت دمایی باید از طریق سیستم دیگر تأمین شود.

در صورت عدم امکان فروش برق به شبکه باید بار الکتریکی مجموعه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد، که در این حالت بار پایه الکتریکی مبنای طراحی می‌باشد. پس از تعیین رقم کمیت توان‌های حرارتی و الکتریکی، نسبت توان حرارتی به توان الکتریکی بدست می‌آید، که در انتخاب نوع CHP انتخابی مؤثر می‌باشد.

omoorepeyman.ir

از آنجا که نیاز به حرارت در یک مجموعه ممکن است دائمی و مستقل از برق تولیدی باشد، جهت بالا بردن قابلیت اطمینان، در بسیاری از مجموعه‌ها سیستم مستقل تولید حرارت بعنوان پشتیبان وجود دارد. این امر بدلیل وجود دوره تعمیر و یا خاموشی ناخواسته می‌باشد. البته در بسیاری از موارد، (تمام پروژه‌های بازدید شده غیر از پروژه شماره ۱۰) خرید CHP زمانی انجام شده است که در مجموعه چنین سیستم مستقلی حضور داشته است. یکی از راه‌های بالا بردن سوددهی پروژه کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه است، لذا برای مجموعه‌های نوپا (بدون سیستم مستقل) باید خرید چنین سیستم‌هایی را حذف کرد و جهت افزایش قابلیت اطمینان باید تعداد واحدهای CHP را با دوره تعمیرهای متفاوت افزایش داد. برای حالت نیاز حرارتی دائم، حداقل ۴ واحد توصیه می‌شود. این حالت برای مولدهای پیستونی بیشتر توصیه می‌شود. هر چند برای هر پروژه باید بصورت جداگانه بررسی شود تا بهترین حالت ممکن و بالاترین سوددهی بدست آید. ممکن است الزامی در سیستم برای دائم کار بودن بخش حرارتی وجود نداشته باشد، یا سیستم‌های پشتیبان وجود داشته باشد، در این صورت تنها مسئله اقتصادی، ملاک کار، جهت انتخاب بین حالت تعداد واحدهای بیشتر با ظرفیت کمتر یا حالت واحدهای کمتر با ظرفیت بیشتر می‌باشد. بعنوان مثال برای مجموعه‌ای با قابلیت فروش برق، جهت تأمین توان حرارتی ۱۲ مگاوات دائم جدول زیر بعنوان موارد پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۶-۳- حالت‌های مختلف برای سیستم حرارتی

ردیف	تعداد واحدهای CHP	توان حرارتی هر واحد CHP	توان حرارتی سیستم جداگانه رزرو	توان حرارتی سیستم جداگانه فعال
۱	۱	۱۲ مگاوات	۱۲ مگاوات	-
۲	۲	۶ مگاوات	۶ مگاوات	-
۳	۳	۴ مگاوات	۴ مگاوات	-
۴	۳	۳ مگاوات	۳ مگاوات	۳ مگاوات
۵	۳	۳ مگاوات	-	۳ الی ۶ مگاوات

در حالت اول علیرغم کاهش هزینه سرمایه گذاری اولیه جهت خرید مولد بدلیل افزایش هزینه سیستم رزرو، گزینه نامناسبی است. تقریباً بهترین حالت گزینه آخر با وجود سیستم جداگانه انعطاف پذیر است. هر چند محاسبه بهترین حالت بر اساس قیمت سرمایه گذاری برای هر پروژه متفاوت است و بر اساس اهمیت در مدار بودن حرارت متفاوت خواهد بود.

در صورت نیاز به بخار مصرفی زیاد در یک بازه ثابت کمیتی، توربین بخار پس فشاری بهترین گزینه خواهد بود. در صورت نیاز به حرارت با کیفیت و کمیت زیاد، توربین گاز گزینه مناسبی است. در صورت نیاز حرارتی کم و دماهای پایین موتورهای پیستونی بهترین گزینه می‌باشند. از توربین‌های گازی در سیستم‌های تولید همزمان که نسبت حرارت به توان الکتریکی مورد نیاز بالا باشد، استفاده می‌شود. همچنین از توربین‌های گازی در جاهائی که ارتعاش کم و نسبت وزن به توان پائین است استفاده می‌شود. موتورهای رفت و برگشتی برای نسبت حرارت به برق نسبتاً کم، درجه حرارت

omoorepeyman.ir

(کیفیت انرژی حرارتی) مورد نیاز پائین و راندمان الکتریکی بالا، استفاده می‌شود. بعلاوه، موتورهای رفت و برگشتی را در واحدی بکار می‌گیرند که پرسنل خبره‌تری از جهت راه اندازی و نگهداری این موتورها بطور دائم در مجموعه برای این کار وجود داشته باشد.

در شبکه تولید ترکیبی برق و حرارت، نیروگاه سیکل ترکیبی معمولی در مقایسه با نیروگاه سیکل ترکیبی با توربین بخار پس فشاری و بویلر بازیافت حرارت دارای هیچگونه اولویت اقتصادی نیست. علت این امر، بالا بودن هزینه تولید انرژی نیروگاه سیکل ترکیبی معمولی نسبت به هزینه تولید انرژی نیروگاه سیکل ترکیبی با توربین بخار پس فشاری و بویلر بازیافت حرارت است.

بعنوان یک تصمیم کلی برای تولید بخار، استفاده از بویلر بازیافت حرارت و توربین بخار پس فشاری در سیستم قدرت کشور توصیه می‌شود. هر چند برای تولید آب گرم در ابعاد حجیم نیز قابل استفاده می‌باشد. در برخی از کشورهای دنیا لوله‌کشی آب گرم وجود دارد، که نیاز هر خانه به سیستم جداگانه حرارت را از بین می‌برد. بدلیل عدم تنظیم صحیح موتورخانه‌ها امروزه بخش اعظمی از آلاینده‌های شهری موتورخانه‌هایی است که احتراق نامناسب و در نتیجه راندمان پایین و آلایندگی زیاد دارند. هر چند امکان استفاده گسترده از لوله کشی آب گرم در کلان شهرها در حال حاضر بعید است، اما در نگاه محلی به این ایده می‌توان از موتورهای پیستونی برای شهرک‌ها و برج‌ها استفاده نمود. بعنوان پیشنهاد این پروژه می‌تواند برای طرح مسکن مهر اجرا شود. جدول زیر یک سیستم پیشنهادی برای مکان‌هایی که امکان فروش برق وجود دارد و سوخت گاز نیز در دسترس می‌باشد، پیشنهاد می‌شود.

جدول ۶-۴- پیشنهاد تعیین سیستم برمبنای کمیت و کیفیت حرارت مورد نیاز

ردیف	توان حرارتی مجموعه مگاوات	دمای مورد نیاز (°C)	سیستم پیشنهادی
۱	تا ۱۰ مگاوات	کمتر از ۹۰	پیستونی
۲	بیش از ۱۰ مگاوات	کمتر از ۹۰	پیستونی / توربین گاز
۳	کمتر از یک مگاوات	بین ۹۰ تا ۳۵۰	پیستونی
۴	یک الی ۱۰ مگاوات	بین ۹۰ تا ۳۵۰	پیستونی / میکروتوربین
۵	بیش از ۱۰ مگاوات	بین ۹۰ تا ۳۵۰	پیستونی / توربینی
۶	کمتر از یک مگاوات	بیش از ۳۵۰	میکروتوربین
۷	یک الی ۱۰ مگاوات	بیش از ۳۵۰	توربینی / پیستونی / ترکیبی
۸	بیش از ۱۰ مگاوات	بیش از ۳۵۰	توربینی / ترکیبی

در پایان برای ادامه این پروژه طراحی کامل با جزئیات دقیق برای یک سیستم مناسب CHP جهت استفاده در مراکز تجاری یا مسکونی (تجمیع با یک آب شیرین کن در مناطق جنوبی کشور) پیشنهاد می‌شود.

omoorepeyman.ir

منابع و مراجع

[1] John A. Jacobs III, Martin Schneider, Cogeneration Application Considerations, (2009) GE Energy

[2] http://www.epa.gov

[3] میری م، بیاتی غ، زربخش م، (۱۳۸۳) *مقدمه‌ای بر سیستم‌های تولید مشترک برق و حرارت*، وزارت نیرو - سازمان بهره‌وری انرژی ایران

[4] http://www.turbinesinfo.com/types-of-steam-turbines

[5] http://www.en.wikipedia.org/wiki

[6] http://www.fa.wikipedia.org/wiki

[7] Cengel Y.A, Boles M.A, Thermodynamics Fifth Edition

[8] http://www.fuelcell.blogfa.com

[9] U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership (2008), "CHP Project Development Handbook"

[10] U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership (2008), "Catalog of CHP Technologies"

[11] http://www.fgwilson.com

[12] http://www.mwm.net

[13] http://www.guascorpower.com

[14] Horitsugi, M., Kuba, s., Hatamiya S. (2011), "Trigeneration Gas Turbine System (Electricity, Heat, and Water Purification)", Hitachi Review Vol. 60, No. 7

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد و پنجاه عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **Nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

این نشریه

به بررسی انواع سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت می‌پردازد. دلیل گرایش به سمت این سیستم‌ها بیان می‌شود. سپس تفاوت‌ها، مزایا و معایب هر یک از انواع آن به تفکیک مقایسه می‌گردد. در ادامه با بررسی بیشتر بر روی پروژه‌های اجرا شده در سطح کشور و با جمع آوری و مطالعه مستندات و تحلیل عوامل مؤثر، بازدهی و سوددهی اقتصادی پروژه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان ملاک و ضوابط استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما تعیین می‌گردد.

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran

Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

Documents of Efficient CHP (Combined Heat and Power) Projects

No.627

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

omoorepeyman.ir