

بسمه تعالی

وزارت نیرو

دفتر بهبود بهره وری و اقتصاد برق و انرژی

راهنمای جامع تولید همزمان برق و حرارت

سال ۱۳۸۸

فهرست مندرجات

پیش گفتار

فصل اول : معرفی فن آوری های تولید همزمان برق و حرارت

۱-۱- توربین های گازی

۱-۲- موتورهای پیستونی

۱-۳- میکروتوربین ها

فصل دوم: مکان های مناسب برای نصب و اجرای تولید همزمان برق و حرارت

فصل سوم: قیمت های تمام شده برق

فصل چهارم: قیمت تضمینی خرید برق مطابق دستورالعمل ابلاغی معاونت محترم برق و انرژی

فصل پنجم: قیمت فروش سوخت از سوی شرکت گاز و شرکت پخش فرآورده بر اساس ابلاغ وزارت نفت و پرداخت

مابه التفاوت قیمت خرید سوخت بر اساس دستورالعمل ابلاغ شده معاون برق و انرژی

فصل ششم: میزان انتشار آلودگی هوا و صوت موتور ژنراتورهای گازسوز و توربین های گازی و محدودیت انتشار

آلودگی در شهرکهای صنعتی و شهرهای مسکونی و روشهای تقلیل آنها

۱-۶- استانداردهای نشر

۱-۱-۶- توربین گازی

۱-۲-۶- موتور ژنراتور گازسوز

۲-۶- کنترل آلاینده های گازهای خروجی

۱-۲-۶- تزریق رقیق کننده

۲-۲-۶- احتراق از پیش مخلوط شده رقیق (DLN)

۳-۲-۶- کاهش کاتالیتیک انتخابی (SCR)

۴-۲-۶- کاتالیست های اکسیداسیون منوکسید کربن

۵-۲-۶- احتراق کاتالیکی

۶-۲-۶- سیستم های جذبی کاتالیکی

۳-۶- استاندارد آلودگی صوتی

فصل هفتم : مراحل اخذ مجوز احداث و بهره برداری مولد

فصل هشتم: انشعاب پشتیبان

فصل نهم: اجرای پروژه نمونه سیستم تولید همزمان برق و حرارت در وزارت نیرو

پیوست یک : لیست آدرس اینترنتی تولیدکنندگان

پیوست دو: مجموعه قوانین ، دستورالعمل ها ، آیین نامه ها و مقررات مربوط

پیوست سوم: تحلیل حساسیت نسبت به سایز و هزینه سرمایه گذاری و قیمت سوخت

پیوست چهارم: بخشنامه

پیش گفتار

تداوم رشد مصرف انرژی در کشور به همراه بهره‌وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی سبب گردیده است تا آینده نامطلوبی برای این بخش در حال وقوع باشد، به گونه‌ای که حتی در صورت تحقق کلیه برنامه‌های توسعه بالادستی ظرف مدت ده سال آینده، مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه از جمله نفت و گاز فراتر رفته و کشور به واردکننده انرژی تبدیل خواهد گردید. این امر قطعاً اثرات اقتصادی و اجتماعی بسیار نامطلوبی را به همراه خواهد داشت. این در حالی است که با اجرای برنامه و سیاست‌های اجرایی مدیریت و افزایش بازده و همچنین ارتقاء بهره‌وری در عرضه و ایضاً تقاضای انرژی با هدف جلوگیری از اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف عرضه و تقاضا بازیافت آن به منظور ارتقاء کارایی انرژی در بخش‌های یاد شده و مدیریت بهینه منابع سوخت و انرژی کشور و صیانت از محیط زیست می‌توان انتظار داشت اقدامی عملی و اجرایی برای مقابله با بحران پیش رو در کشور محقق گردد.

مدیریت کارایی انرژی به تنهایی و تحت تأثیر تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی به وجود نخواهد آمد و لازم است دولتها و مراجع سیاست‌گذار و تصمیم‌گیر از راهکارهای مناسب برای نیل به آن استفاده کنند. از جمله راهکارهای در حال استفاده در کشورهایی که پیشرفتهای بسیاری را در این زمینه برای آن جوامع به همراه آورده است، تولید همزمان برق و حرارت در محل مصرف است. از سال ۱۹۷۳ میلادی، مصادف با وقوع اولین شوک نفتی در جهان مسئله کارایی انرژی در کشور مطرح، اما هیچگاه در برنامه ریزی‌ها به صورت جدی مورد توجه قرار نگرفته است متأسفانه ایران در حال حاضر در استفاده از روش تولید همزمان برق و حرارت برای تولید انرژی هیچ سهمی ندارد.

کشورهایی نظیر فنلاند، استرالیا و سوئد تمام ظرفیت تولید نیروگاههای حرارتی خود را با روش تولید همزمان برق و حرارت استفاده می‌نمایند.

همچنین کشورهای دانمارک، هلند، آلمان، روسیه، اتریش، ژاپن، انگلستان و آمریکا حداکثر ظرفیت تولید برق حرارتی خود را به استفاده از روش مذکور اختصاص داده‌اند و کشورهای کانادا، هندوستان، آفریقای جنوبی، ایرلند، کره جنوبی، مکزیک و یونان نیز به میزان قابل توجهی به این روش روی آورده‌اند.

مزایای تولید همزمان برق و حرارت در محل مصرف:

- ۱- افزایش بازده سوخت دریافتی به برق تحویلی از کمتر از ۳۰ درصد به ۸۰ تا ۹۵ درصد
- ۲- امکان حضور طیف گسترده بخش خصوصی بدلیل سهولت تامین مالی (از ۱ تا ۴۰ میلیارد ریال برای هر واحد)
- ۳- حذف تلفات توان پیک ۳۰ درصدی و تلفات انرژی ۱۸ درصدی
- ۴- توسعه پدافند غیرعامل و افزایش ۵ برابری امنیت صنعت برق در مقابل حملات نظامی و تروریستی
- ۵- کاهش پرباری شبکه (congestion) و کاهش نیاز به احداث ظرفیت‌های جدید انتقال و توزیع
- ۶- تملک کمتر زمین برای توسعه شبکه و کاهش تبعات مالی، اجتماعی و زیست محیطی
- ۷- افزایش پایداری و امنیت فنی سیستم قدرت
- ۸- در روش متمرکز، افزایش ۳۰ درصدی بار پیک نسبت به متوسط بار شبکه، تلفات انتقال و توزیع را ۶۹/۱ برابر می‌سازد در حالی که در روش تولید همزمان در محل مصرف این تلفات نزدیک به صفر است.
- ۹- اگر تلفات انرژی شبکه انتقال و توزیع ۱۸٪ باشد تلفات توان زمان پیک ۶۹/۱ برابر آن یعنی ۳۰٪ خواهد بود. به عبارت دیگر از ۴۰ هزار مگاوات تولیدی در زمان پیک ۲۸ هزار مگاوات توان به بار می‌رسد.
- ۱۰- امنیت شبکه تولید متمرکز با ۲۵٪ ذخیره چرخان تامین می‌شود، در حالی که در تولید همزمان در محل مصرف نیاز به ذخیره چرخان نیست. با احتساب ذخیره چرخان برای تامین ۲۸ هزار مگاوات بار نیاز به ۵۰ هزار مگاوات ظرفیت سازی تولید است.

ارزش اقتصادی توسعه تولید همزمان برق و حرارت:

نسبت سود به هزینه تولید همزمان برق و حرارت در محل مصرف نسبت به روش فعلی تولید برق در کشور به بیش از ۹ برابر برآورد می گردد و با احتساب نرخ صادراتی هر بشکه نفت خام برابر ۵۰ دلار ، ارزش صادرات انرژی قابل صرفه جوئی در طول برنامه پنجم توسعه به میزان ۲۱۰۰ هزار میلیارد ریال و سهم صنعت برق از آن مبلغ ۶۸۰ هزار میلیارد ریال برآورد می شود.

فصل اول

معرفی فن آوری های تولید همزمان برق و حرارت

در سه دهه اخیر پس از افزایش عمده بهای سوخت، اهمیت بحث سوخت جایگزین، افزایش کارایی انرژی و کاهش آلودگی زیست محیطی، تمایل به استفاده از فن آوری های جدید از جمله تولید همزمان برق و حرارت (CHP)¹ افزایش یافته است. در روشهای معمول برای تامین نیازهای الکتریکی و حرارتی، الکتریسته از شبکه توزیع سراسری و حرارت بوسیله سوزاندن سوخت در بویلرها و تجهیزات گرمازا به روش تولید جداگانه تامین میگردد. در این روش انرژی قابل توجهی به گونه ای متفاوت از طریق گازهای داغ خروجی دودکش، برجهای خنک کن، کندانسورها، خنک کننده ها در موتورهای احتراق داخلی و همچنین تلفات توزیع و انتقال الکتریسته در شبکه سراسری به هدر می رود، که بیشتر این حرارت قابل بازیافت است و می تواند در تامین انرژی حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی الکتریسته تولیدی به این روش به صورت متمرکز (نیروگاهی) بوده و تلفات انرژی زیادی را در بردارد.

در مقابل این سیستم های متمرکز، روشهای تولید غیر متمرکز و مستقل با استفاده از فن آوری (CHP) با ترکیبی از تولید همزمان برق و حرارت قرار دارد. از لحاظ ترمودینامیکی این روش به معنی تولید همزمان دو شکل معمول انرژی یعنی الکتریکی و حرارتی، با استفاده از یک منبع انرژی اولیه میباشد. انرژی گرمایی از بازیافت تلفات حرارتی این مولدهای مستقل بدست می آید و این حرارت در بخشهای مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی بکار گرفته میشود. از طرفی الکتریسته تولیدی توسط این فن آوری به صورت محلی و مستقل و غیر متمرکز بوده که این دو ویژگی در کنار یکدیگر، کارایی مولد های تولید برق را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. کارایی سیستم های معمول به روش متمرکز در حدود ۲۷ تا ۵۵ درصد میباشد که بیشترین کارایی مربوط به نیروگاههای سیکل ترکیبی می باشد در حالیکه با بهره گیری از فن آوری تولید همزمان برق و حرارت بصورت مستقل، کارایی انرژی این مولد ها به حدود ۹۰ درصد نیز خواهد رسید، تا آنجا که دولتهای اروپائی، امریکا و حتی در کشورهای آسیائی نظیر ژاپن سیاستها و قوانینی را برای ترغیب به استفاده از سیستم های تولید همزمان برق و حرارت وضع نموده اند. از مزایای سیستم های تولید همزمان میتوان به حرکت به سوی خصوصی سازی و تولید غیر متمرکز و مستقل برق و حرارت، جلوگیری از تلفات توزیع و انتقال در شبکه سراسری، افزایش کارایی تبدیل انرژی و استفاده از آن، کاهش مصرف سوخت و افزایش رقابت در تولید برق و توان نیروگاهی و کاهش آلاینده های زیست محیطی بخصوص دی اکسید کربن و گازهای گلخانه ائی اشاره نمود. از مهمترین این سیستم ها میتوان به توربین های گاز، موتور های پیستونی و میکرو توربین ها که همگی مجهز به سیستم بازیافت حرارت هستند اشاره نمود.

توربین های گاز قابلیت اطمینان بالا، حرارت قابل استفاده با انرژی بالا، هزینه سرمایه گذاری نسبتاً کم برای تولید واحد توان خروجی می باشند. توربین های گاز می توانند در بارهای کم به طور دائم کار کنند. در این سیستم ها امکان استفاده از سوختهای مختلف وجود دارد و حتی ممکن است یک واحد با چند سوخت کار کند اما در صورتی که واحد گاز سوز باشد لازم است فشار گاز مورد استفاده بالا باشد. از دیگر معایب این سیستمها محدود بودن ظرفیت تولیدی آنها و امکان نیاز به دوره های تعمیرات اساسی طولانی می باشد.

موتورهای پیستونی در این موتورها مقداری از حرارت تولید شده در احتراق سوخت را به حرکت مکانیکی تبدیل و با استفاده از یک ژنراتور توان الکتریکی تولید می گردد. همچنین این موتورها دارای مزیت هایی از قبیل امکان کار با گازهای فشار پایین، عمل کردن یک واحد با چند نوع سوخت می باشند.

میکروتوربین ها، سیستم های تولید توان با سرعت بالایی هستند که دارای توربین، کمپرسور و ژنراتور می باشند. میکروتوربین ها از موتورهای پیستونی معمولی کوچکتر می باشند و هزینه نگهداری آنها نیز پایین تر می باشد. قابلیت اطمینان در آنها زیاد است. از

¹-Combined heat and power

دیگر مزایای این سیستم‌ها سادگی نصب، نیاز به نگهداری کمتر، اندازه کوچک، کم بودن صدای آنها و آلاینده‌های کم ولی قیمت نسبتاً بالا می‌باشند.

مهمترین سیستم‌های تولید همزمان:

در ابتدا مهمترین سیستم‌های مولد تولید پراکنده برق مورد بررسی قرار می‌دهیم که مشتمل بر سه سیستم عبارتند از:

۱- توربین‌های گازی

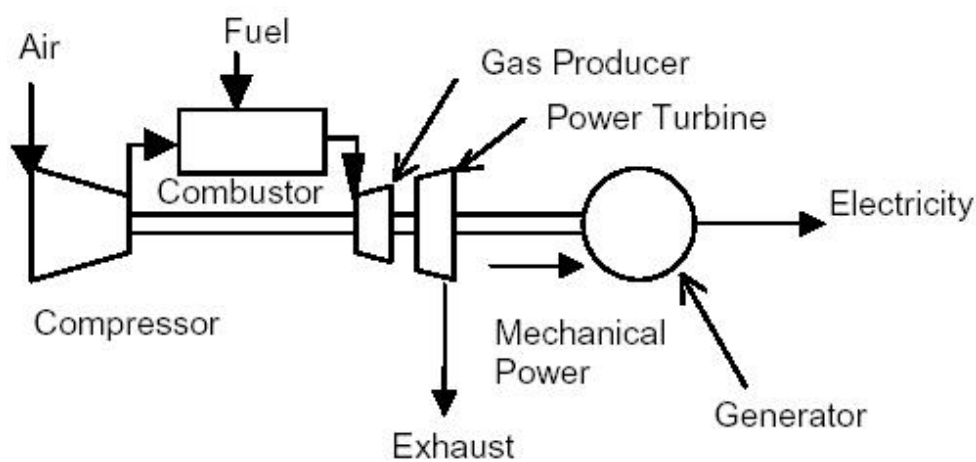
۲- موتورهای پیستونی

۳- میکرو توربین‌ها

۱-۱- توربین‌های گازی

مقدمه

توربین‌های گاز در اوایل سال‌های ۱۹۰۰ میلادی با توجه به پیشرفت‌های مهندسی پایه‌گذاری شد و در اواخر سال‌های ۱۹۳۰ میلادی نیز استفاده از این توربین‌ها به منظور تولید توان آغاز گردید. به دلیل استفاده از توربین‌های گازی در صنایع دفاعی و هوایی، پیشرفت‌های زیادی در این زمینه حاصل شده، به طوری که بازده توربین‌های گاز به بیش از توربین‌های بخار رسیده و استفاده از آنها افزایش یافته است. توربین‌های گازی در اندازه‌های مختلف از چند صد کیلووات تا چند صد مگاوات موجود می‌باشند. این توربین‌ها حرارتی با کیفیت بالا (دمای بالا) تولید می‌نمایند که می‌تواند برای گرمایش ناحیه‌ای یا صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ممکن است این حرارت بازیافت شود تا باعث بهبود بازدهی گردد و یا از آن برای تولید بخار استفاده شود و بخار حاصل در یک سیکل ترکیبی توربین بخار را به حرکت درآورد. کم بودن هزینه نگهداری و بالا بودن کیفیت حرارت، اغلب باعث می‌شود توربین‌های گازی انتخاب مناسبی برای بسیاری از CHP‌های صنعتی و تجاری بزرگتر از ۱ مگاوات باشد. طرح‌واره‌ای از یک مجموعه توربین‌های گاز در شکل یک نشان داده شده است.



شکل یک مجموعه توربین‌های گاز

توربین‌های گازی ممکن است به صورت‌های مختلفی مورد استفاده قرار گیرند:

۱) عملکرد در چرخه ساده‌ای که از یک توربین گاز تشکیل می‌شود و تنها برق تولید می‌کند. وضعیت فعلی در صنعت برق کشور

نیز از همین نوع است که از توربین‌های گاز فقط برای تولید برق استفاده می‌شود.

۲) عملکرد در یک CHP که از یک چرخه ساده توربین‌های گاز به همراه یک مبدل بازیافت حرارتی که علاوه بر تولید برق انرژی

حرارتی گازهای خروجی را به آبگرم یا بخار تبدیل می‌نماید و این وضعیتی است که ما آنرا در این تحقیق برای استفاده در

آینده مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۳) عملکرد در چرخه ترکیبی که در آن با استفاده از حرارت گازهای خروجی توربین، بخار پر فشار تولید می‌گردد و از آن در یک توربین بخار، به منظور تولید توان بیشتر استفاده می‌شود. در برخی از چرخه‌های ترکیبی از مراحل میانی بخار برداشت می‌گردد که از آن در فرآیندهای صنعتی و مجموعه‌های CHP استفاده می‌شود.

چرخه‌های ساده توربین گازی که تنها برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای بازدهی نزدیک به ۳۵ درصد (بر اساس ارزش حرارتی خالص) هستند. توربین‌های گازی به طور گسترده در نیروگاهها برای تأمین توان در زمانهای اوج مصرف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در اوایل سالهای ۱۹۸۰، بازدهی و قابلیت اطمینان توربین‌های گازی کوچک (۱ تا ۴۰ مگاواتی) به مقادیری رسیدند که برای کاربرد در سیستم‌های CHP صنعتی بزرگ مناسب شناخته شدند. توربین‌های گازی حرارت خروجی با کیفیت بالا تولید می‌نمایند که با استفاده در سیستم‌های CHP بازدهی کل (برق و انرژی مفید) به ۶۰ تا ۸۰ درصد می‌رسد.

توربین‌های گازی از کم‌آلاینده‌ترین تجهیزات تولید توان می‌باشد که مقدار NO_x در گاز خروجی آنها بسیار کم است. بدلیل بازدهی بالا و استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت اولیه، مقدار دی‌اکسید کربن CO_2 بر واحد کیلووات ساعت که در توربین‌های گازی تولید می‌شود کمتر از دیگر فن‌آوریهای فسیلی مورد استفاده میباشد.

– موارد کاربرد

توربین‌های گازی در صنایع نفت و گاز به طور متداول برای به کار انداختن پمپها و کمپرسورها، در فرآیندهای صنعتی برای بکار انداختن کمپرسورها و تجهیزات مکانیکی بزرگ دیگر، و برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواقعی که توربین گاز برای تولید برق به کار می‌رود، معمولاً حرارت نیز از آن گرفته می‌شود. به این ترتیب که گازهای خروجی از توربین برای تولید حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

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 ۱۲۰۰ و ۹۰۰ درجه فارنهایت را دارد و همچنین می‌توان از آن در فرآیندهای صنعتی برای گرمایش یا خشک کردن استفاده کرد. از CHP‌های با سیکل ساده توربین گاز بیشتر در تاسیسات کوچک، کمتر از ۴۰ مگاوات، استفاده می‌گردد.

نمونه متداولی از کاربرد توربین گاز در مجموعه‌های CHP تجاری و غیرصنعتی، دانشگاهی یا چرخه ساده توربین گاز ۵ مگاواتی می‌باشد که در آن حدود ۸ مگاوات حرارتی، بخار (یا آب گرم) با فشار ۱۵۰ تا ۴۰۰ psi در یک مولد بخار بازیافت حرارت تولید می‌شود و به یک سیستم حرارتی مرکزی برای تأمین گرما در زمستان و یا به چیلر جذبی برای سرد کردن محیط در تابستان منتقل می‌شود.

شرح فناوری توربین‌های گاز

سیستم توربین بخار بر پایه چرخه ترمودینامیکی برایتون عمل می‌نماید. در این چرخه هوای اتمسفریک متراکم و گرم می‌شود و سپس در یک توربین منبسط می‌گردد و توانی تولید می‌نماید که مقداری از آن صرف به کار انداختن کمپرسور می‌شود و باقیمانده آن توان خروجی سیستم می‌باشد.

گاز خروجی از این نوع توربین دارای دمای بالایی است که در صنایع کوچک تا حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه فارنهایت و در نیروگاههای جدید بزرگ تا ۱۱۰۰ درجه فارنهایت می‌باشد. از این دمای دود ممکن است در مولد بخار بازیافت حرارت به منظور تولید حرارت و همچنین به منظور تولید برق در توربین بخار بصورت سیکل ترکیبی استفاده شود.

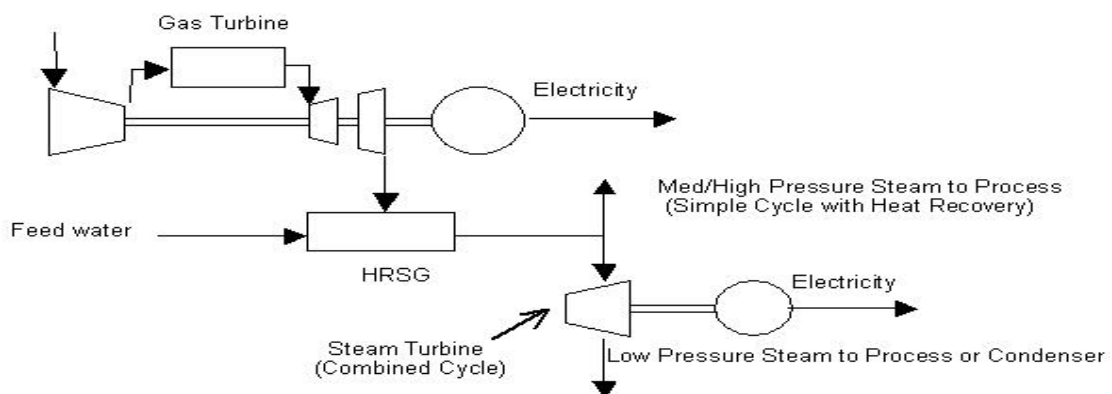
انواع توربین گاز

یکی از انواع توربین گاز توربین‌های ایرودریوتیو^۱ می‌باشند که بازدهی حرارتی بالایی دارند، اما قیمت آنها نیز نسبتاً زیاد می‌باشد. معمولاً حداکثر ظرفیت این توربین‌ها ۴۰ تا ۵۰ مگاوات است. با توسعه سیستم‌های پیشرفته، توربین‌های ایرودریوتیو بزرگ (بزرگتر از ۴۰ مگاوات) بازدهی حدود ۴۰ درصد ایجاد می‌کنند.

توربین‌های گازی صنعتی یا فریم^۲ نوع دیگر توربین‌های گاز هستند که تنها برای تولید توان مورد استفاده قرار می‌گیرند و در ظرفیتهای یک تا ۲۵۰ مگاوات موجود می‌باشند. معمولاً این نوع توربین‌ها ارزانتر از توربینهای ایرودریوتیو هستند، فاصله بین تعمیر کلی آنها بیشتر است و از آنها بیشتر در تولید برق استفاده می‌شود، اما وزن آنها بیشتر و بازدهی آنها کمتر از نوع دیگر توربین گاز است. توربین‌های صنعتی بزرگ (بزرگتر از ۱۰۰ مگاوات) در چرخه‌های ساده بازدهی حدود ۳۵ درصد ایجاد می‌نمایند. در صنایعی همچون صنایع شیمیایی، پالایشی، کاغذ، فولاد و مراکز تجاری بزرگ توربین‌ها برای تولید همزمان برق و حرارت به منظور استفاده در محل مصرف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بازیافت حرارت

اقتصادی بودن توربین‌های گازی در کاربردهای فرایندی وابسته به استفاده مفید از انرژی حرارتی موجود در گازهای خروجی است که معمولاً ۶۰ تا ۷۰ درصد انرژی سوخت ورودی را تشکیل می‌دهند. شکل معمول ترکیب توربین گاز و مولد بخار بازیافت حرارت در شکل ۲ نشان داده شده است. استفاده از مولد بخار بازیافت حرارت بدون احتراق با توربین گاز ساده ترین شکل CHP با تولید بخار است و بخاری با فشار ۱۵۰ psig تا حدود ۱۲۰۰ psig تولید می‌نماید.



شکل دو سیستم بازیافت حرارت از توربین گاز

مشخصات عملکردی

بازدهی الکتریکی

توربین‌هایی که به منظور تامین برق اضطراری به کار می‌روند دارای بازدهی کم و در عوض قیمت پایین می‌باشند، در صورتیکه توربین‌هایی که برای کاربردهایی با فاکتور توان سالیانه بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای بازدهی و قیمت بالا می‌باشند.

در جدول ذیل مشخصات عملکردی سیستم‌های CHP با توربین گاز که در بازار امریکا قابل تهیه می‌باشند با ظرفیتهای ۱ تا ۴۰ مگاوات آورده شده است.

مشخصه‌های کارکردی یک مجموعه CHP با توربین گاز

| سیستم | سیستم | سیستم | سیستم | سیستم | مشخصه‌های کارکرد و هزینه ^۱ |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|
|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|

1- Aeroderivative

2- frame

| ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | |
|-------|-------|-------|------|------|--|
| ۴۰۰۰۰ | ۲۵۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۵۰۰۰ | ۱۰۰۰ | توان الکتریکی (کیلو وات) |
| ۷۸۵ | ۸۶۰ | ۹۷۰ | ۱۰۱۰ | ۱۷۸۰ | قیمت کل سیستم نصب شده (دلار بر کیلو وات ظرفیت) |
| %۳۷ | %۳۴ | %۲۹ | %۲۸ | %۲۵ | بازدهی الکتریکی (درصد) |
| %۷۴ | %۷۳ | %۷۱ | %۶۹ | %۶۸ | بازدهی کل CHP (درصد) |

بازدهی سیستم CHP

بازدهی کل سیستم CHP تابعی از مقدار انرژی بازیافت شده از خروجی سیستم می‌باشد. مهمترین فاکتورهای مؤثر بر روی مقدار انرژی قابل دسترس برای تولید بخار، دمای گاز خروجی از توربین و دمای دود خروجی از دودکش مولد بخار بازیافت حرارت می‌باشد. دمای ورودی به توربین و نسبت فشار، تعیین کننده دمای خروجی از توربین گاز هستند. معمولاً توربین های گاز ائرودریوتیو دمای ورودی بالاتری نسبت به توربین های گاز صنعتی دارند، اما با توجه به بالاتر بودن نسبت فشار در این نوع توربین ها، دمای گاز خروجی از هر دو نوع توربین تقریباً مشابه می‌باشد و محدوده آن ۸۵۰ تا ۹۵۰ درجه فارنهایت است.



یک نمونه واحد تولید همزمان توربین گاز در کشور آلمان

قیمت کل

قسمت های اصلی یک سیستم CHP با توربین گاز عبارتند از توربین گاز، گیربکس، ژنراتور الکتریکی، لوله های ورودی و خروجی، دستگاه فیلتر کردن هوای ورودی، سیستم های روغنکاری و خنک کاری، سیستم روشن کردن استاندارد و وسایل کم کردن صدای خروجی، قیمت مجموعه پایه شامل وسایل اضافی از جمله کمپرسور سوخت، سیستم بازیافت حرارت، سیستم تصفیه آب و سیستم های کنترل آلودگی نمی‌شود.

تمام تجهیزات نامبرده در تمام سایتها لازم نمی‌باشند. قیمت کل تجهیزات مجموع قیمت تجهیزات پایه و لوازم اضافی مورد نیاز است. قیمت کل تاسیسات نیز شامل قیمت کل تجهیزات، وسایل و کار لازم برای نصب، مدیریت پروژه و تامین مالی طی ۶ تا ۱۸ ماه مدت ساخت می‌باشد.

در جدول قیمت کل تخمینی (قیمت تجهیزات و نصب) برای ۵ سیستم نمونه آورده شده است. این قیمتها، میزان معمول و متوسط قیمتها را نشان می‌دهند. قیمت های ارائه شده در این قسمت برای سیستم هایی است که دارای کنترلر آلودگی، مولد

بخار بازیافت حرارتی بدون احتراق، تراکم سوخت و تصفیه آب برای آب تغذیه مولد بخار می‌باشد. سیستم احتراق اضافی و ساخت ساختمان در نظر گرفته نشده است.

قیمت تخمینی کل برای سیستم‌های CHP با پایه توربین گازی

| سیستم ۵ | سیستم ۴ | سیستم ۳ | سیستم ۲ | سیستم ۱ | هزینه‌ها به تفکیک ^۱ |
|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------------|
| ۴۰ | ۲۵ | ۱۰ | ۵ | ۱ | توان نامی توربین (MW) |
| | | | | | تجهیزات (هزار دلار) |
| ۱۵/۱۰۰\$ | ۱۱/۵۰۰\$ | ۴/۱۰۰\$ | ۱/۲۰۰\$ | ۶۷۵\$ | توربین |
| ۱/۶۵۵\$ | ۱/۰۲۰\$ | ۵۹۰\$ | ۴۵۰\$ | ۲۵۰\$ | مولد بخار بازیافت حرارت |
| ۲۲۵\$ | ۲۰۰\$ | ۱۵۰\$ | ۱۰۰\$ | ۳۰\$ | سیستم تصفیه آب |
| ۱/۵۰۰\$ | ۹۹۰\$ | ۶۲۵۰\$ | ۳۷۵\$ | ۱۵۰\$ | تجهیزات الکتریکی |
| ۱/۸۷۵\$ | ۱/۱۵۰\$ | ۵۷۵\$ | ۳۱۵\$ | ۱۴۵\$ | تجهیزات دیگر |
| ۲۱/۰۵۵\$ | ۱۴/۸۶۰\$ | ۵/۹۴۰\$ | ۳/۰۴۰\$ | ۱/۲۵۰\$ | کل تجهیزات |
| ۲/۰۵۴\$ | ۱/۴۹۰\$ | ۶۸۹\$ | ۳۴۶\$ | ۱۴۴\$ | مصالح |
| ۴/۷۲۳\$ | ۳/۷۱۵\$ | ۱/۷۵۲\$ | ۸۷۹\$ | ۳۴۸\$ | کارگر |
| ۲۷/۸۳۲\$ | ۲۰/۰۶۵\$ | ۸/۳۸۱\$ | ۴/۲۶۵\$ | ۱/۷۴۲\$ | کل فرایند |
| ۲/۱۰۵\$ | ۱/۴۸۶\$ | ۵۹۴\$ | ۳۰۴\$ | ۱۲۵\$ | مدیریت پروژه/ساخت |
| ۶۷۲\$ | ۵۳۷\$ | ۲۶۰\$ | ۱۵۳\$ | ۶۳\$ | مهندسی |
| ۱/۳۹۲\$ | ۱/۰۰۵\$ | ۴۱۹\$ | ۲۱۵\$ | ۸۷\$ | تعیین ریسک پروژه ^۲ |
| ۲/۰۴۸\$ | ۱/۴۸۳\$ | ۶۱۸\$ | ۳۱۶\$ | ۱۲۹\$ | تامین مالی پروژه |
| ۳۳/۳۴۹\$ | ۲۴/۵۷۶\$ | ۹/۵۷۲\$ | ۴/۶۵۳\$ | ۲/۱۴۶\$ | قیمت کل سیستم |
| ۴۳/۴۰۰ | ۲۸/۶۰۰ | ۱۰/۶۰۰ | ۵/۲۰۰ | ۱/۲۱۰ | توان حقیقی توربین (kW) |
| ۷۸۵\$ | ۸۵۹\$ | ۹۶۹\$ | ۱/۰۱۰\$ | ۱/۷۸۱\$ | قیمت کل مجموعه بر واحد کیلووات خالص |

۱- جزئی از تخمین قیمت کلی سیستم نصب شده بر اساس قیمت زمین و مدل انتخاب شده می‌باشد. قیمت‌ها ممکن است به طور گسترده‌ای تغییر کنند و به شرایط و نیازهای سایت، تغییرات قیمت منطقه‌ای و نیازهای زیست محیطی محلی بستگی دارند.

۲- ریسک‌هایی که در پروژه‌ها مطرح می‌شوند ریسک‌های طراحی، ساخت و نگهداری می‌باشند. ریسک طراحی ممکن است از نظر مفهومی و یا فنی باشد، ریسک ساخت در تغییر قیمت‌ها، تاخیر پروژه، ضعف مدیریت و اجرای نامناسب ممکن است باشد و ریسک نگهداری نامناسب نیز تأثیر گذار است.

قیمت‌ها بر اساس گزارش یک موسسه معتبر تحقیقاتی امریکائی توسط گروه صنعتی نگزوس بر اساس استعلام از چند کارخانه مشهور امریکائی در سال ۲۰۰۱ گرفته شده است. شاید فکر شود که آنالیز قیمت‌ها بدین صورت زیاد و اغراق است ولی در عمل مشاهده می‌شود که بسیاری از موارد ذکر شده واقعی است و ما معمولاً آنان را در پروژه‌ها در نظر نمی‌گیریم و در کل بنوعی این هزینه‌ها را نادیده می‌گیریم. البته برای اجرا این سیستم‌ها در کشور این قیمت‌ها در حال حاضر برای نمونه‌های اروپائی و بخصوص روسی می‌تواند تا میزان بیش از پنجاه درصد بسته به تجهیزات تکمیلی کاهش داشته باشد.

تعمیر و نگهداری

قیمت عملکرد و نگهداری بدون در نظر گرفتن سوخت در جدول نشان داده شده است و بر اساس تخمین‌های سازندگان توربین بخار برای قراردادهای سرویس، که از بازرسی‌های دوره‌ای و تعمیرات اساسی برنامه‌ریزی شده برای مجموعه توربین و ژنراتور تشکیل شده اند، می‌باشد.

لازم است هر ۴۰۰۰ ساعت بازرسی دوره‌ای صورت گیرد تا توربین دارای ارتعاشات اضافی نباشد. فاصله بین تعمیرات اساسی توربین گاز حدود ۲۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ ساعت است و طی آنها بازرسی و بازسازی کامل تمام اجزاء به منظور رسیدن به کارایی استاندارد اولیه یا فعلی (به روز شده) صورت می‌گیرد.

ممکن است از توربین‌های گاز به صورت دوره‌ای استفاده شود، اما هزینه نگهداری توربینی که در هر ساعت به طور دوره‌ای بهره برداری می‌شود، ۳ برابر حالتی است که توربین برای مدت زمان هزار ساعت یا بیشتر به طور مداوم کار می‌کند.

هزینه های عملکرد و نگهداری توربین گاز بدون در نظر گرفتن مصرف سوخت

| سیستم ۵ | سیستم ۴ | سیستم ۳ | سیستم ۲ | سیستم ۱ | هزینه‌های عملکرد و نگهداری ^۱ |
|------------|------------|------------|------------|------------|---|
| ۴۰,۰۰۰ | ۲۵,۰۰۰ | ۱۰,۰۰۰ | ۵,۰۰۰ | ۱,۰۰۰ | ظرفیت الکتریکی kW |
| ۰/۰۰۳۵ | ۰/۰۰۴۰ | ۰/۰۰۴۵ | ۰/۰۰۴۵ | ۰/۰۰۴۵ | متغیر (قرارداد سرویس تجهیزات) \$/kWh |
| ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | متغیر (تامین مواد مصرف شدن) \$/kWh |
| ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۰۰۹ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۰۵۰ | ثابت \$/kWh با ۸۰۰۰ ساعت در سال |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۰۰۹ | ۰/۰۰۱ | هزینه کل عملکرد و نگهداری |

۱- هزینه های عملکرد و نگهداری بر اساس ۸۰ ساعت عملکرد که به صورت تولید برق سالیانه مشخص می‌شود، می‌باشند. قیمت‌های ثابت بر اساس میانبایی در اعداد تخمینی سازندگان می‌باشد. قسمت متغیر هزینه های فوق مربوط به بازرسی و تعمیرات اساسی می‌باشد که معمولاً توسط سازندگان طی توافقی بر اساس تعداد ساعات کارکرد انجام می‌شوند.

تنوع سوختها

محفظه احتراق اغلب توربین‌های گازی مورد استفاده در تولید توان برای استفاده از گاز طبیعی طراحی شده اند. ارزش حرارتی سوخت‌های گازی قابل استفاده در توربین‌های گازی ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ BTU بر فوت مکعب استاندارد می‌باشد که شامل گاز طبیعی می‌شود. سوخت‌های مایع تمیز نیز برای استفاده در توربین‌های گاز مناسب می‌باشد.

در بسیاری از توربین‌های گازی امکان استفاده از هر کدام از سوخت‌های مایع و گازی وجود دارد. به طور کلی سوخت مورد استفاده در توربین‌های گاز را می‌توان به راحتی تغییر داد، امروزه توربین‌های گازی طراحی شده اند که دوگانه سوز هستند و می‌توان سوخت مورد استفاده در آنها را با کمترین زمان تغییر داد و اختلاف زیادی میان کارایی توربین در هنگام استفاده از سوخت گازی و مایع وجود ندارد.

فشار محفظه احتراق توربین‌های گاز از ۷۵ تا ۳۵۰ psig می‌باشد که فشار خط لوله گاز طبیعی همیشه از این مقدار بالاتر است، اما هنگام اندازه گیری در ورود به شهر، عبور از سیستم توزیع و اندازه گیری برای تحویل به مصرف کننده کاهش می‌یابد. بسته به محل قرار گیری مجموعه توربین گاز در سیستم توزیع گاز، ممکن است به کمپرسور گاز نیاز باشد تا فشار سوخت را با

توجه به سیستم احتراق و کنترل جریان توربین تنظیم نماید. قیمت چنین کمپرسوری باعث افزایش قیمت کل مجموعه می گردد.

قابلیت دسترسی در کشور

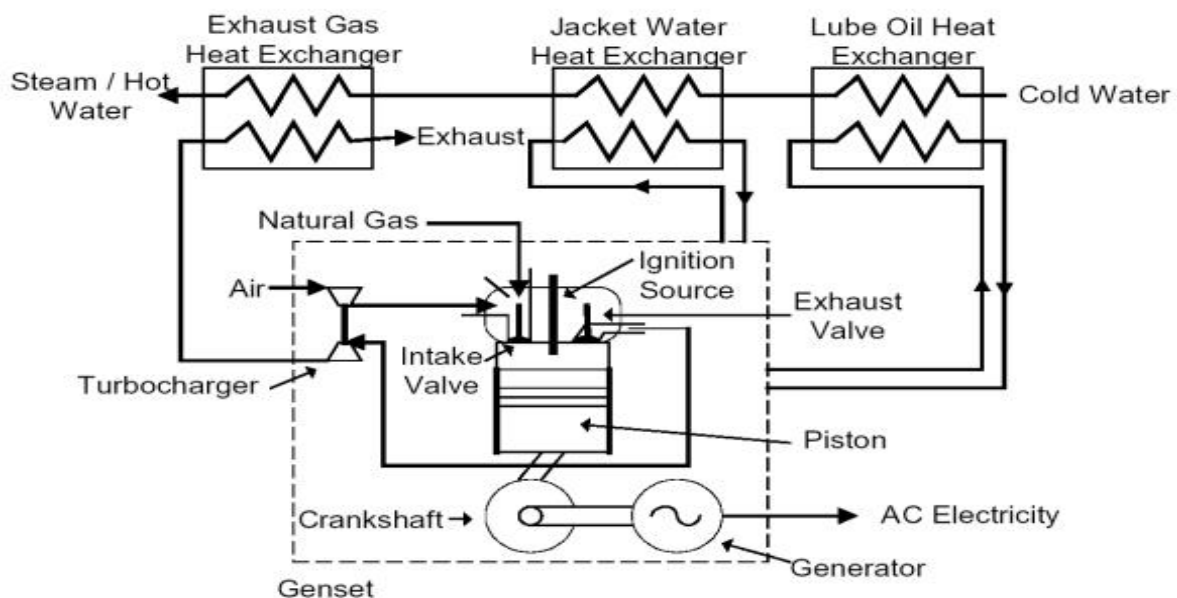
توربین های گازی توسط واردات و یا مونتاژ در کشور قابل دسترسی هستند. هم اکنون کارخانه ای در کشور به تولید و مونتاژ توربین گاز مشغول است. اما توربین های کوچک در ایران ساخته نمی شود و باید وارد شود. علاوه بر کشورهای اروپایی، روسها دارای تکنولوژی بالا و ارزان قیمت تر در این زمینه هستند. نام چند سازنده این تجهیزات در پیوست یک آمده است.

نصب این سیستم ها با توجه به آنکه در ظرفیت های پائین بصورت کانتیرلایز می باشد بسیار آسان است ولی برای ظرفیتهای بالاتر و غیر کانتیرلایز حداقل توسط دو شرکت نصب آذر آب و نصب نیرو قابل انجام میباشد.

۱-۲- موتورهای پیستونی^۱

مقدمه

موتورهای احتراق داخلی پیستونی امروزه از فن آوریهای شناخته شده هستند. در آمریکای شمالی در هر سال بیش از ۳۵ میلیون واحد از این موتورها برای استفاده در تولید برق و قدرت، اتومبیلها، کامیونها، تجهیزات ساختمان سازی و معدن، پیشران زیر دریاییها و غیره تولید می شوند. انواع موتورهای ساکن برای تولید بازده گسترده ای از توان برای نیازهای بازار از جمله تأمین برق شبکه، برق اضطراری و همچنین برای تولید همزمان برق و حرارت در دسترس می باشند. بازده ظرفیت موتورهای پیستونی مورد استفاده در تولید توان از چندین کیلووات تا بیش از ۷ مگاوات می باشد. شماتیکی از موتورهای پیستونی مورد استفاده در سیستم CHP در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل یک سیستم موتور پیستونی

موتورهای پیستونی به دو گروه عمده احتراق جرقه‌ای و احتراق تراکمی تقسیم می‌شوند. موتورهای احتراق جرقه‌ای با گاز طبیعی کار می‌کنند ولی می‌توان آنها را برای کار با پروپان، گازوئیل یا گازهای بازیافتی نیز تنظیم نمود. موتورهای احتراق تراکمی که اغلب موتورهای دیزلی نامیده می‌شوند با سوخت دیزل یا مازوت کار می‌کنند و می‌توان آنها را برای کار به صورت دو گانه سوز نیز تنظیم نمود. در این صورت در محفظه احتراق موتور، گاز طبیعی و مقدار کمی سوخت دیزل می‌سوزاند. موتورهای دیزلی در گذشته از پرکاربردترین موتورهای پیستونی برای تولید قدرت کم و زیاد بوده‌اند اما در حال حاضر در کشورهای صنعتی موتورهای دیزلی به علت آلودگی زیست محیطی که تولید می‌کنند به کاربردهای اضطراری یا کم ظرفیت محدود شده‌اند و در نتیجه موتورهایی که گاز طبیعی می‌سوزانند اکنون برای تولید برق در مدت طولانی (بیش از ۵۰۰ ساعت در سال) انتخاب مناسبتری می‌باشند.

در نسل جدید موتورهای با سوخت گاز طبیعی، هزینه اولیه کم و راه‌اندازی سریع بوده و در صورت نگهداری مناسب قابلیت اطمینان بالا می‌باشد. همچنین پتانسیل بازیافت حرارت در آنها بالا می‌باشد. بازده الکتریکی موتورهای گازسوز (NG) از ۲۸ درصد (ارزش حرارتی خالص) برای موتورهای کوچک (کوچکتر از ۱۰۰ مگاوات) تا بیش از ۴۳ درصد برای موتورهای احتراقی بزرگ (بزرگتر از ۳ مگاوات) می‌باشد. حرارت گازهای داغ خروجی و سیستم خنک کاری این موتورها را می‌توان برای تولید آب داغ یا بخار کم فشار برای کاربرد در CHP بازیافت نمود. بازده کلی سیستم CHP (با در نظر گرفتن برق و انرژی حرارتی مفید) در هنگام استفاده از موتورهای گازسوز معمولاً در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد.

با حساسیتهای اقتصادی و زیست محیطی که در طول سه دهه گذشته اعمال شده فن آوری موتورهای پیستونی پیشرفت زیادی کرده و منجر به افزایش بازده سوخت و کاهش آلودگی شده است. در موتورهای گازسوز پیشرفته با بهبود طراحی کنترل احتراق سطح تولید NO_x به ۵۰ ppmv رسیده است.

موارد کاربرد

کاربرد موتورهای پیستونی برای تولید برق در تأمین بار کمکی، بار پیک، تقویت شبکه یا کاربردهای تولید همزمان برق و حرارت که نیاز به آب داغ، بخار کم فشار یا چیلرهای جذبی دارند، می‌باشند. وقتی این موتورها برای سرمایه‌ش مورد استفاده قرار می‌گیرند، خروجی حرارتی موتور پیستونی می‌تواند در یک چیلر جذبی تک مرحله‌ای استفاده شود. اندازه موتورهای پیستونی در محدود ۵۰ کیلووات تا ۸۰۰۰ کیلووات بوده و برای کاربردهای تجاری و اداری و همچنین در واحدهای صنعتی کوچک مناسب می‌باشند.

شرح فناوری موتورهای پیستونی

موتورهای پیستونی مورد استفاده برای تولید قدرت ساکن در حالت نصب شده و ثابت و نه در اتومبیلها و متحرک به دو گروه احتراق جرقه‌ای با سیکل اتو و احتراق تراکمی با سیکل دیزل تقسیم می‌شوند. اجزای مکانیکی اصلی سیکل اتو و سیکل دیزل یکسان می‌باشند. هر دو از یک عنصر احتراق استوانه‌ای استفاده می‌نمایند که پیستونی در طول آن حرکت می‌کند. پیستون به میل لنگی متصل است که حرکت خطی پیستون را به حرکت چرخشی تبدیل می‌نماید.

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

موتورهای چهارزمانه دیزل و احتراق جرقه‌ای که برای تولید قدرت بکار می‌روند، هر دو طی چهار مرحله زیر یک سیکل تولید قدرت را تکمیل می‌کنند:

۱- مکش: مکش هوا (دیزلی) یا مخلوط هوا و سوخت (احتراق جرقه‌ای) به داخل سیلندر

- ۲- تراکم: متراکم کردن هوا یا مخلوط هوا و سوخت در سیلندر
- ۳- قدرت: ایجاد شتاب در پیستون در اثر انبساط گازهای داغ و پرفشار
- ۴- تخلیه: خروج محصولات احتراق از محفظه خروجی سیلندر

مشخصه های عملکردی

در جدول مشخصه های عملکردی سیستم تولید همزمان برق و حرارت با موتورهای احتراق جرقه ای که از سوخت گاز طبیعی استفاده می نمایند در محدوده ۱۰۰ کیلووات تا ۵ مگاوات ارائه شده است. این محدوده اکثر CHP هایی که با موتور کار می کنند و در بازار کاربرد دارند را شامل می شود. نرخ حرارتی و بازدهها براساس داده های تولید کنندگان و کاربردهای صنعتی تنظیم شده اند.

همانطور که در جدول دیده می شود ۵۰ تا ۶۰ درصد حرارت اتلافی در موتور از آب مورد نیاز برای خنک کاری بدنه و سیستم های خنک کاری روغن روانکاری در دماهایی پائین تر از دمای مورد نیاز برای تولید بخار، بازیافت می شود. با افزایش بازده الکتریکی مقدار انرژی حرارتی در دسترس برای تولید انرژی حرارتی مفید بر واحد توان خروجی کاهش یافته و نسبت توان به حرارت در سیستم CHP افزایش می یابد.

تولید همزمان برق و حرارت در موتورهای پیستونی

| سیستم ۵ | سیستم ۴ | سیستم ۳ | سیستم ۲ | سیستم ۱ | قیمت و مشخصه های عملکردی ^۱ |
|---------|---------|---------|---------|---------|---|
| ۵۰۰۰ | ۳۰۰۰ | ۸۰۰ | ۳۰۰ | ۱۰۰ | ظرفیت الکتریکی پایه (کیلو وات) |
| ۹۰۰ | ۹۳۵ | ۹۴۵ | ۱۱۶۰ | ۱۳۵۰ | قیمت کلی سیستم نصب شده در سال ۲۰۰۵ (دلار بر کیلو وات ظرفیت) |
| %۳۹ | %۳۶ | %۳۳/۳ | %۳۱ | %۳۰ | بازده الکتریکی (درصد) |
| %۷۴ | %۷۵ | %۷۶ | %۷۷ | %۸۱ | بازده کلی (درصد) |

- ۱- مشخصات برای موتورهای گاز سوز تجاری در سال ۲۰۰۵ می باشند .
- ۲- اطلاعات مربوط به بازده با توجه به پیشرفتهای سریع در تکنولوژی امکان دارد افزایش پیدا کرده باشد و همچنین متوسط بازده نشان داده شده است .

بازده

بازده الکتریکی موتورهای پیستونی ۴۵٪ تا ۲۵٪ بوده و در بین پر بازده ترین محرکهای تجاری می باشند. حد پائین محدوده بازده مربوط به موتورهای کوچکتری است که نیاز به تجهیزات کنترل آلودگی دارند.

هزینه سرمایه گذاری

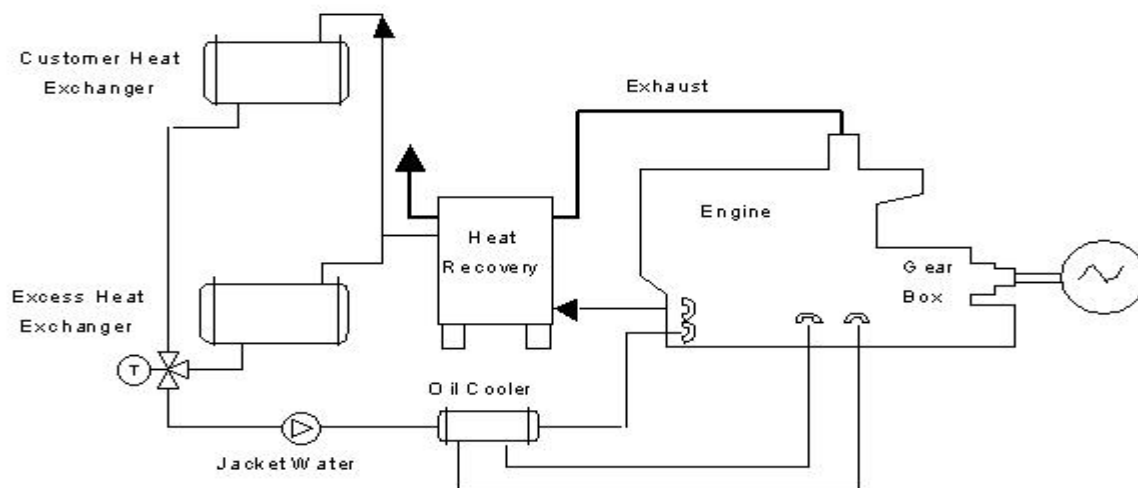
هزینه کلی سیستم نصب شده ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار بر کیلو وات می باشد. بالاترین هزینه ها مربوط به سیستم های کم ظرفیت می باشند و این افزایش هزینه به هزینه های ساخت وسایلی از قبیل تجهیزات تأمین سوخت و جداره های موتور و همچنین قیمت مهندسی و محدود بودن تولید آنها بستگی خواهد داشت . البته باید توجه داشت که با اضافه نمودن تجهیزات اضافی نظیر خفه کننده های صدا در دودکش و یا عایق های صوتی به منزله ایزوله کردن اطراف موتور قیمت آنها افزایش خواهد یافت .

نگهداری

نگهداری این موتورها شامل بازبینی‌ها و تنظیم نمودن دوره‌ای، تعویض به موقع روغن موتور، مبرد و شمع‌ها در هر ۲۰۰۰-۵۰۰۰ ساعت است. قیمت‌های نگهداری با در نظر گرفتن تعمیرات اساسی معمولاً ۰/۰۱۸-۰/۰۰۹ دلار بر کیلو وات ساعت کارکرد می‌باشد.

تولید انرژی حرارتی

در موتورهای پیستونی از چهار منبع می‌توان حرارت بازیافت نمود: گازهای خروجی، آب استفاده شده برای خنک کاری موتور، آب مورد استفاده برای خنک کاری روغن و خنک کن توربوشارژر. اما گاز داغ خروجی موتور تنها حاوی نصف انرژی حرارتی موتور می‌باشد. در بعضی از موارد کاربرد CHP در صنعت گازهای خروجی مستقیماً برای خشک کردن (Process drying) استفاده می‌شوند. معمولاً آب داغ و بخار در سیستم CHP با موتورهای پیستونی برای استفاده در فرایندها، گرمایش محیط، گرمایش آبگرم و چیلرهای جذبی مناسب می‌باشد. از رایج‌ترین روش‌های بازیافت حرارت موتور سیستم سیکل بسته سرمایش مطابق شکل ذیل می‌باشد. در این سیستم‌ها برای سرمایش موتور از جریان اجباری یک مبرد و یک مبدل حرارتی استفاده می‌شود.



شکل بازیافت حرارت در سیستم بسته

در سیستم‌های سرمایش جوشان جریان طبیعی یک مبرد جوشنده، موتور را خنک می‌کند. این نوع سیستم سرمایش معمولاً به صورت ترکیبی با بازیافت حرارت خروجی برای تولید بخار کم فشار استفاده می‌شود.

پتانسیل CHP در موتورهای پیستونی

بررسی اقتصادی استفاده از موتورهای پیستونی (که ظرفیتشان در تأمین توان در حد 50 کیلو وات تا 8000 کیلو وات می‌باشد) بستگی به میزان استفاده از انرژی حرارتی موجود در گاز خروجی و خروجی سیستم‌های خنک کاری آنها دارد. این انرژی معمولاً ۶۰ تا ۷۰ درصد انرژی سوخت ورودی می‌باشد. بیشتر حرارت از گازهای خروجی و از خنک کاری پوسته بازیافت می‌شود و بازیافت حرارت از خنک کاری روغن و توربو شارژر کم است. حرارت بازیافت شده موتور برای تولید آب داغ یا بخار کم فشار برای استفاده در فرایندها و یا برای گرمایش فضا و تولید آب گرم و یا سرمایش جذبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حرارت مبرد خنک کاری پوسته موتور تا ۳۰ درصد انرژی ورودی است و قابلیت تولید آب داغ ۲۰۰ تا ۲۱۰ درجه فارنهایت را دارد. بعضی موتورها مثل موتورهای دارای سیستم سرمایش جوشان یا پرفشار با آب خنک کاری پوسته که دمای آن تا ۲۵۶ درجه فارنهایت می‌باشد نیز عمل می‌کند. حرارت گازهای داغ خروجی موتور ۳۰ تا ۵۰ درصد اتلاف حرارت را شامل می‌شود. دمای

گازهای خروجی معمولاً ۸۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه فارنهایت می‌باشد. با بازیافت حرارت، تقریباً ۶۰ تا ۷۰ درصد انرژی سوخت برای تولید برق و انرژی حرارتی مفید استفاده می‌شود.

قابلیت دسترسی در کشور

هم اکنون حداقل بیش از پنج نمایندگی از سازندگان بزرگ این تجهیزات در کشور موجود است. اما بعلت وضع تحریم‌ها چندین سازنده این تجهیزات در این زمینه فعالیتی در کشورمان ندارند، که مهمترین آنها شرکت کاترپیلار آمریکا و ین باخر اتریش هستند. وضعیت مونتاژ این موتورها هم در کشور رونقی ندارد و بطور کلی تجهیزات بازیافت تولید همزمان در این موتورها فعلاً در ایران ساخته نمی‌شود. فقط بعضی از شرکتهای ایرانی موتور را بصورت آماده از خارج وارد نموده و سپس با ژنراتور که آن نیز خارجی است کوپله میکنند. در کشورهای خارجی نیز اغلب شرکتهای بزرگ در حال خرید شرکتهای کوچکترند و چه بسا کارخانجاتی در چند سال قبل وجود داشته اند ولی حالا توسط شرکتهای بزرگ و معروف خریداری شده و دیگر با مارک تجاری آنان تولیداتی در بازار وجود ندارد. البته باید ذکر کرد که ساخت قسمت بازیافت پیچیدگی خاصی ندارد و براحتی قابل ساخت حداقل در کارخانجاتی نظیر شرکت آذر آب و یا ماشین سازی اراک می باشد. فهرست چند شرکت که تولید کننده این تجهیزات میباشند برای اطلاع سرمایه گذاران این سیستم ها در پیوست یک آورده شده است :

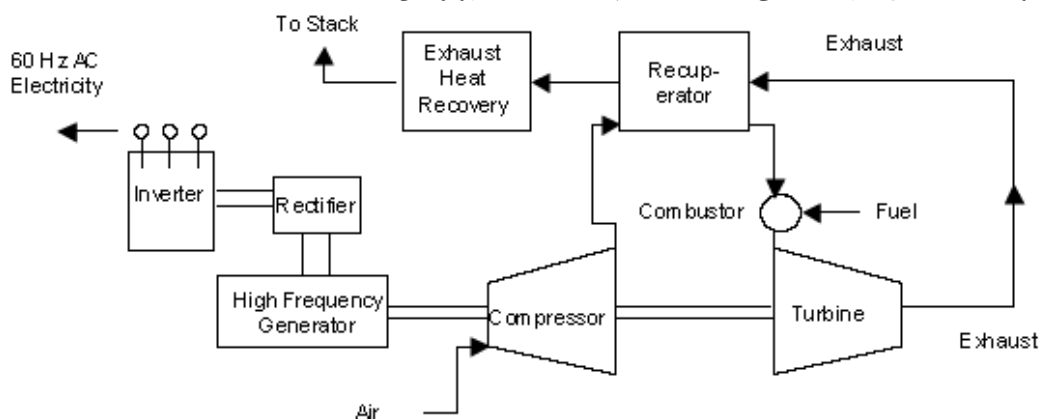
برای نصب این سیستم ها بهتر است از همان نمایندگی که آن را خرید می کنید بصورت کلید روشن (Turn Key) خریداری نمائید ، چون نصب سیستمهای همزمان توسط پیمانکاران متفرقه با توجه به روش خاص خود که تلفیقی از نصب موتور و بویلر بازیافت و بالانس ایندو می باشد ممکن است آسیب های به سیستم وارد و یا زمان انجام پروژه را افزایش دهد. با اینحال شرکت دیزل سنگین ایران که وابسته به سازمان گسترش است در زمینه نصب موتور دارای تجاری در این زمینه می باشد .

۱-۳- میکروتوربین ها

مقدمه

میکروتوربینها مولدهای کوچک برق هستند که سوخت گازی یا مایع می سوزانند و یک ژنراتور الکتریکی را با سرعت بالا به چرخش در می آورند. تست میکروتوربینها از سال ۱۹۹۷ آغاز گردید و در سال ۲۰۰۰ به صورت تجاری ، سرویسدهی اولیه این فناوری شروع شد. متأسفانه هنوز این سیستم در ایران مورد استفاده قرار نگرفته است .

دامنه تولید توان توسط میکروتوربینهای موجود و در حال توسعه ، از ۳۰ تا ۵۰۰ کیلووات می باشد، در حالیکه توان تولیدی توربینهای گازی سستی از ۵۰۰ کیلووات تا ۳۵۰ مگاوات می باشد . میکروتوربینها در سرعتهای بالا عمل می کنند و همانند توربین های گازی می توانند تنها در تولید قدرت به کار روند و یا در سیکلهای ترکیبی CHP مورد استفاده قرار می گیرند . میکروتوربینها ، با سوختههای گوناگونی می توانند کار کنند که شامل گاز طبیعی ، گاز ترش (دارای گوگرد بالا) ، و سوختههای مایع همانند بنزین ، نفت و گازوئیل است و در کاربردهای منابع بازیافت ، گازهای اتلافی را که قبلاً به اتمسفر رها می شدند، می سوزانند. در شکل زیر شماتیکی از یک سیستم CHP با میکروتوربین آمده است :



شکل سیستم CHP با میکروتوربین

در بسیاری از نمونه ها یک توربین سرعت بالا (100 000 RPM) ، یک ژنراتور سرعت بالا را به راه می‌اندازد که تولید جریان DC می کند و می توان آن را با یک اینورتر به جریان AC با فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز تبدیل نمود. در سیستمهای موجود هوا خنک می شود. پتانسیل کاهش تعمیرات و قابلیت اطمینان و دوام بالا ، هم اکنون در کاربردهای عملی مشاهده شده است. میکروتوربینها برای کاربردهای گوناگون تولید و توزیع در محل مناسب هستند، زیرا دارای انعطاف پذیری در روشهای مختلف اتصال و همچنین قابلیت چیده شدن بطور موازی برای تأمین بارهای بزرگ می باشد .

انواع کاربردهای آن شامل :

- ۱- پیک سایه و تأمین توان بار پایه
- ۲- تولید همزمان برق و حرارت
- ۳- تولید تنها برق
- ۴- تولید برق پشتیبانی و اضطراری
- ۵- شبکه های کوچک

مصرف کنندگان مورد نظر شامل مراکز مخابرات ، رستورانها ، ساختمانهای مسکونی، ساختمانهای اداری و دیگر بخشهای اداری می باشند . از میکروتوربینها ، هم اکنون در عملیات بازیافت منابع در حوضه های نفت و گاز و معادن ذغال سنگ بهره برداری می شود، که در آنها گاز محصول جانبی می باشد و بعنوان سوخت استفاده میشود. در کاربردهای CHP از گرمای اتلافی میکروتوربین برای تهیه آب داغ، گرم کردن فضای ساختمان، به کار انداختن چیلر جذبی و همچنین تأمین نیازهای حرارتی ساختمانها و فرآیندهای صنعتی استفاده می شوند.

موارد کاربرد

در هنگام استفاده از میکروتوربینها به صورت CHP، یک مبدل حرارتی ثانویه انرژی باقیمانده در خروجی میکروتوربین را برای تهیه آب گرم منتقل می نماید. حرارت خروجی ممکن است در مواردی مانند گرمایش آب آشامیدنی، به کار انداختن چیلرهای جذبی ، گرمایش محیط، تأمین حرارت فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد. بیشتر موارد استفاده CHP ها برای تأمین آب گرم و گرمایش محیط می باشد. ساده ترین کاربرد CHP ، تأمین آب گرم می باشد،

شرح فناوری میکروتوربینها

در یک سیستم میکروتوربین ، یک کمپرسور شعاعی هوای ورودی را متراکم می کند، سپس هوا با استفاده از حرارت گاز خروجی توربین ، در ریکوپراتور پیشگرم می شود. هوای گرم خروجی از ریکوپراتور در محفظه احتراق با سوخت مخلوط شده و گاز داغ حاصل از احتراق، با عبور از توربین انبساطی و توربین قدرت، منبسط می گردد . توربین انبساطی ، کمپرسور را به راه انداخته و در مدل های تک محوره ، ژنراتور را نیز به کار می اندازد . مدل های تک محوره ، معمولاً با سرعت ۶۰۰۰۰ دور در دقیقه و بالاتر کار می کنند و توان الکتریکی با فرکانس بالا و متغیر تولید می کنند . این توان نخست با یکسوسازی ، به جریان DC و سپس به جریان متناوب با فرکانس ۶۰ یا ۵۰ هرتز تبدیل می شود.

میکروتوربینها بر اساس سیکل ترمودینامیکی توربین های گاز بزرگ که سیکل برایتون نامیده می شود، عمل می نمایند. در این سیکل هوای اتمسفریک ، فشرده ، گرم و سپس با منبسط شدن، تولید برق می کنند .



مشخصه های عملکردی

میکروتوربین ها از سیکل های توربین گازی معمول پیچیده تر می باشند، زیرا اضافه شدن ریکوپراتور در آنها باعث کاهش مصرف سوخت و از طرف دیگر افزایش افت های فشار داخلی می شود که توان و بازدهی را کمی کاهش می دهند. کارایی میکروتوربین ها که بر اساس بازدهی و توان مخصوص سنجیده می شوند، وابستگی زیادی به افت های داخلی و کارایی اجزای مختلف سیستم دارند.

بازدهی موثر الکتریکی با فرض اینکه یک گرمکن آب انرژی حرارتی مفید CHP را با بازدهی ۸۰ درصد تولید می نماید، محاسبه می گردد. به این ترتیب که در محاسبه بازدهی موثر الکتریکی مقدار سوخت مصرفی گرمکن آب فرضی از مقدار کل سوخت ورودی کاسته می شود. داده های جدول نشان می دهد که با افزایش ظرفیت میکروتوربین بازدهی الکتریکی آن نیز افزایش می یابد.

در جدول زیر مشخصات عملکردی سیستم های میکروتوربین تجاری خلاصه شده است. نرخ حرارتی و انرژی حرارتی قابل استفاده نیز بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط سازندگان در مورد دبی و دمای جریان خروجی از توربین محاسبه شده اند. داده های جدول نشان می دهد که با افزایش ظرفیت میکروتوربین بازدهی الکتریکی آن نیز افزایش می یابد.

تولید همزمان برق و حرارت در میکروتوربینها

| سیستم ۳ | سیستم ۲ | سیستم ۱ | قیمت و مشخصه های عملکردی ^۱ |
|---------|---------|---------|---------------------------------------|
| ۱۰۰ | ۷۰ | ۳۰ | ظرفیت الکتریکی پایه (kW) |
| ۸۰۰ | ۹۵۰ | ۱۰۰۰ | قیمت پکیج (\$/kW) |
| ۱۵۶۰ | ۲۰۰۰ | ۲۵۰۰ | قیمت کلی سیستم نصب شده (\$/kW) |
| ۲۷/۰ | ۲۵/۲ | ۲۳/۴ | بازده الکتریکی (%) |
| ۷۱ | ۶۴ | ۷۳ | بازده کلی (%) ^۲ |

۱- اطلاعات از انتشارات صنایع و تولید کنندگان آورده شده اند. تولید کنندگان عبارتند از: 80kW, **Capstone Model 330-30 kW**, IR Energy Systems 70LM-70kW(two-shaft), **Bowman TG80-Turbec T100-100kW**, اطلاعات برای دمای محیط ۵۹ درجه فارنهایت ارائه شده اند.

۲- بازدهی کل CHP نیز برابر است با مجموع توان الکتریکی خالص و آب داغ تولید شده برای تامین نیازهای حرارتی تقسیم بر کل سوخت ورودی به سیستم.

۳- اطلاعات مربوط به حداقل بازده بوده و امکان افزایش در زمان حاضر را دارد .

ممکن است میکروتوربین در حالت نیمه بار کار کند که در این حالت با تغییر دبی جریان و دمای ورودی مقدار توان مورد نظر حاصل می شود. لازم به ذکر است که شرایط محیط اثر قابل ملاحظه بر روی توان خروجی و بازدهی میکروتوربین ها دارند. یکی از اقداماتی که ممکن است برای بهبود کارایی میکروتوربین ها مورد استفاده قرار گیرد، خنک کردن هوای ورودی می باشد. تجهیزات مورد نیاز برای این اقدام تا کنون بر روی میکروتوربین های موجود نصب نشده اند اما انتظار می رود که روش های مورد استفاده در خنک کردن هوا که در توربین های گازی بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند، در میکروتوربین ها نیز به کار روند.

پتانسیلهای موجود برای CHP

ساده ترین ترکیب CHP با میکروتوربین ، در بخشهای تجاری ، صنعتی موارد زیر را در بر می گیرد :

- بارهای گرمایی و الکتریکی همزمان
 - انرژی گرمایی به شکل آب داغ
 - مصرف الکتریکی با نسبتهای تقاضای حرارت در دامنه ۰/۵ تا ۲/۵
 - دارای ساعات کاری بیش از ۳۰۰۰ ساعت در سال
- خروجی میکروتوربینها برای تولید گرما مورد استفاده قرار می گیرد که می توان مستقیما با استفاده از مبدل گرمایی آنرا به خشک کن یا فرایندهای پیش گرمایش فرستاد . این خروجی همچنین برای پیش گرمایش هوای احتراق بکار می رود .

آلایندههای گازهای خروجی

میزان انتشار آلایندهها در میکروتوربینها بسیار کم می باشد. از آنجا که مقدار آلایندههای میکروتوربینها با در نظر گرفتن تدابیری داخل میکروتوربین به حد مجاز می رسند، نیازی به استفاده از روشهای کنترلی پس احتراقی در این سیستمها نمی باشد. اصلی ترین آلاینده میکروتوربینها اکسیدهای نیتروژن (NO_x) ، منوکسید کربن و هیدروکربن های نسوخته می باشند. مقدار کمی دی اکسید گوگرد نیز در این سیستمها تولید می شود. میکروتوربینها طوری طراحی می شوند که در حالت تمام بار کمترین مقدار آلاینده را تولید نمایند و در نیمه بار مقدار آلاینده آنها افزایش می یابد.

قابلیت دسترسی در کشور

چون عمده تکنولوژی این تجهیزات در اختیار امریکا و چند کشور اروپایی است ، تاکنون امکان تهیه این تجهیزات در کشور میسر نشده است . مشخصات چند سازنده معروف این سیستم ها در در پیوست یک بخش سازندگان تجهیزات قابل دسترسی برای علاقمندان است .

فصل دوم

مکان های مناسب برای نصب و اجرای تولید همزمان برق و حرارت

مکان هایی که در اولویت نصب سیستم های همزمان هستند عبارت از واحد های صنعتی و کارخانجات بخصوص کارخانجات صنایع شیمیائی، غذایی، چوب و کاغذ، صنایع فلزی و غیره است. در بخش تجاری، عمومی و اداری نیز بیشتر در مکانهای آموزشی، بیمارستانها، فرودگاه ها و ساختمانهای اداری و غیره مورد استفاده قرار میگیرند. (توضیح تفصیلی پیوست شماره دو) دو نمونه اجرا شده از این سیستم ها بررسی می شوند :

نمونه اجرا شده در بخش تجاری :

فرودگاه بین المللی پودونگ شانگهای چین موردی از سیستم تولید همزمان برای ساعات اوج مصرف استفاده می نماید تا برق و گرمایش و سرمایش ترمینال این فرودگاه را تأمین نماید.

مشخصات فنی و اقتصادی سیستم :

| | |
|--------------------------|---|
| ظرفیت تولید برق | توربین گاز با ظرفیت ۴۶۰۰ کیلووات |
| ظرفیت تولید بخار | توان بازیافت حرارت ۱۱ تن در ساعت بخار با فشار ۸ بار و دمای ۱۸۵ درجه سانتیگراد |
| سوخت مصرفی | گاز طبیعی |
| بازده الکتریکی | ۲۹ درصد |
| بازده کل | ۷۴ درصد |
| طول عمر | ۲۵ سال |
| دوره بازگشت سرمایه گذاری | کمتر از ۶ سال |

این سیستم ۱۶ ساعت در روز در این فرودگاه بکار گرفته می شود و بدینوسیله ضمن اطمینان از تأمین انرژی لازم مستقل برای فرودگاه در هزینه های انرژی صرفه جویی انجام خواهد شد .
این فرودگاه برای تأمین برق مصرفی کل خود به حدود ۲۸ مگا وات برق و برای گرمایش و سرمایش به ۲۰ تا ۶۵ تن در ساعت بخار نیازمند است . با استفاده از این سیستم تولید همزمان قادر است با توجه به فصول سال بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از نیاز برق مصرفی و ۱۵ تا ۵۰ درصد از نیاز گرمایش و سرمایش خود را تأمین نماید .
با توجه به اینکه بازده کل این سیستم در این فرودگاه بالاتر از بازده شبکه است ، بنابراین ضمن کاهش هزینه ها ، انتشار دی اکسید کربن نیز کاهش می یابد . [آژانس بین المللی انرژی]

نمونه اجرا شده در صنعت :

در کارخانجات گروه تولیدی آپار در انکلیشوار گجرات هندوستان که تولید کننده محصولات پلیمری و لاستیک مصنوعی است ، هزینه انرژی برق و بخار سهم عمده ای در هزینه های تولید دارد . این کارخانه اولین پروژه تولید همزمان خود را در سال ۲۰۰۰ به اجرا در آورد . اطلاعات فنی و اقتصادی این پروژه در ذیل میاید :

مشخصات سیستم :

| | |
|------------------|---|
| ظرفیت تولید برق | توربین گاز با ظرفیت ۱,۵ مگاوات |
| ظرفیت تولید بخار | توان بازیافت حرارت ۴ تن در ساعت بخار با فشار ۱۰ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع |
| سوخت مصرفی | گاز طبیعی |

Source : Thermax India Ltd : **مشخصات اقتصادی سیستم**

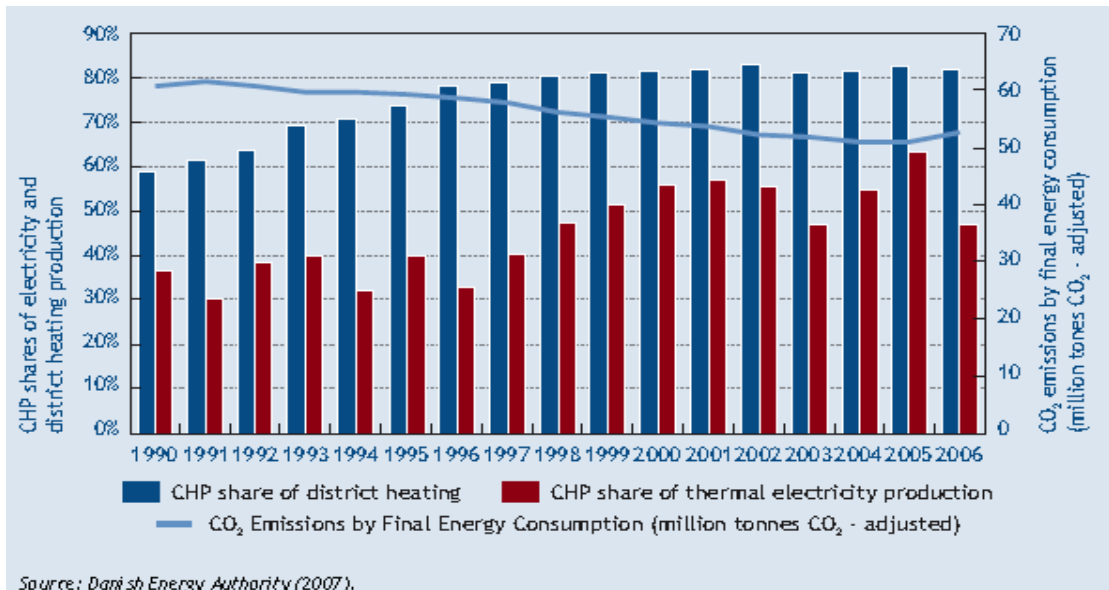
| | |
|---|---------------------|
| کل هزینه های انجام پروژه | ۱۷۶۰۰۰۰ دلار آمریکا |
| هزینه های بهره برداری سیستم | ۷۰۵۰۰۰ دلار در سال |
| هزینه تامین برق و بخار در صورت عدم استفاده از این سیستم | ۱۲۲۰۰۰۰ دلار در سال |
| صرفه جوئی سالیانه | ۵۱۵۰۰۰ دلار در سال |
| دوره بازگشت سرمایه گذاری | ۳,۴ سال |

بعنوان یک نمونه جالب در کشور دانمارک که یکی از پیشروان در تولید همزمان برق و حرارت میباشد تولید برق از حالت متمرکز با نیروگاه های بزرگ در فاصله ۲۵ سال از ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ همواره در حال کاهش بوده و ۹۹,۴ درصد رشد منفی داشته است ، همینطور واحدهای بزرگ تولید همزمان برق و حرارت نیز کاهش رشدی به میزان ۷,۱۹ درصد در این دوره را دارد . در عوض واحدهای کوچک تولید همزمان برق و حرارت به میزان ۲۰۶۸ درصد یعنی بیش از بیست برابر در این دوره رشد داشته است . همینطور تولید کنندگان برق و حرارت که به خود وابسته اند و انرژی برق یا حرارت تولیدی را خودشان مصرف میکنند ۳۹۲ درصد رشد داشته است .

جدول مقایسه روش تولید برق و بخار در کشور دانمارک از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۵**Electricity Production by Type of Producer**

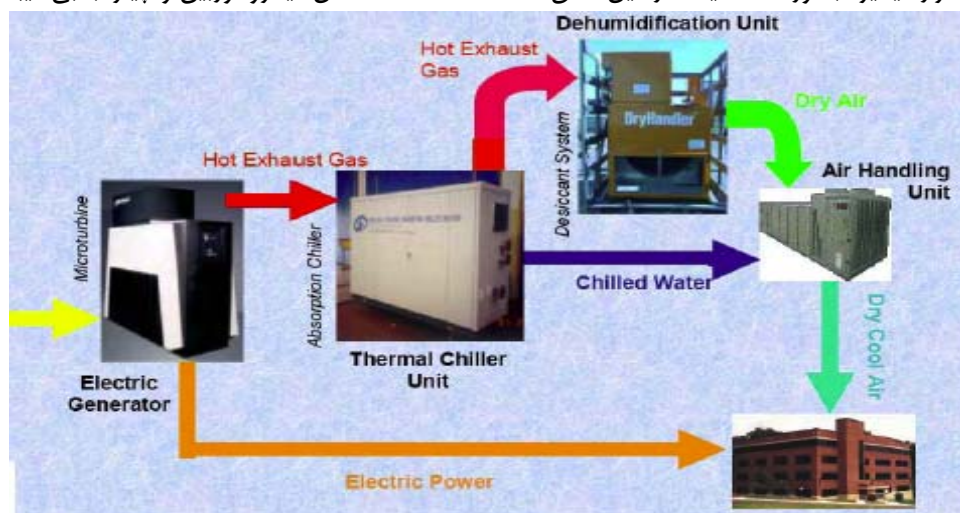
| | | | | | | | | | Change |
|---|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Direct Energy Content [TJ] | 1980 | 1990 | 1995 | 2000 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 90 - '05 |
| Total Gross Electricity Production | 97 508 | 93 518 | 131 987 | 129 776 | 141 418 | 166 246 | 145 583 | 130 640 | 39.7% |
| Large-scale Power Units | 44 155 | 7 494 | 15 119 | 8 871 | 4 469 | 479 | 175 | 49 | -4.4% |
| Large-scale CHP Units | 52 056 | 80 639 | 96 216 | 73 809 | 86 462 | 112 828 | 88 501 | 74 932 | -7.1% |
| - Electricity Production | 36 026 | 50 157 | 61 383 | 41 584 | 50 840 | 77 273 | 55 002 | 39 230 | -21.8% |
| Small-scale CHP Units | 18 | 988 | 11 869 | 21 547 | 23 223 | 22 904 | 23 265 | 21 423 | 2.0% |
| Autoproducers ¹⁾ | 1 118 | 2 099 | 4 436 | 10 172 | 9 592 | 9 941 | 9 848 | 10 346 | 39.3% |
| - Electricity Production | - | - | 17 | 14 | 7 | 14 | 14 | 15 | ■ |
| - CHP | 1 118 | 2 099 | 4 419 | 10 158 | 9 585 | 9 926 | 9 834 | 10 330 | 39.2% |
| Wind Turbines ¹⁾ | 38 | 2 197 | 4 238 | 15 268 | 17 557 | 20 019 | 23 699 | 23 810 | 98.4% |
| Hydro Power Units ²⁾ | 123 | 101 | 109 | 109 | 114 | 76 | 95 | 81 | -20% |

در همین راستا در نمودار پائین سهم رشد سیستم تولید همزمان در گرمایش و سرمایش متمرکز و همچنین کاهش در آلاینده‌گی گاز دی اکسید کربن ناشی از این اقدامات در کشور دانمارک نشان داده شده است :



نمودار مقایسه رشد تولید همزمان و کاهش آلاینده‌گی زیست محیطی در کشور دانمارک

نمونه ای از واحدهای تولید همزمان برق و حرارت با سایز کوچک که برای واحدهای تجاری و اداری هم اکنون مورد توجه و استفاده در دنیا قرار میگیرد بصورت شماتیک در ذیل نشان داده شده است که شامل میکرو توربین و چیلر جذبی میباشد:



رشد تولید همزمان برق و حرارت در سایز کوچک برای استفاده برای واحدهای مسکونی

سهام روشهای مختلف تولید برق و تولید همزمان و ظرفیت نصب شده این سیستم ها در چند کشور در پائین آورده شده

است

| در صد سهم روشهای تولید برق در سال ۲۰۰۵ | | | | | | |
|--|--------|-----|-------|------------|--------------|------------------------------|
| نام کشور | حرارتی | آبی | اتمی | تجدید پذیر | تولید همزمان | مگا وات نصب شده تولید همزمان |
| دانمارک | ۷۰/۵۰ | ۰ | ۰ | ۲۹ | ۵۰ | ۵۶۹۰ |
| هلند | ۸۶/۷۳ | ۰ | ۴ | ۹ | ۳۰ | ۷۱۶۰ |
| فنلاند | ۳۲/۸ | ۲۰ | ۳۳ | ۱۴ | ۳۴ | ۵۸۳۰ |
| لتونی | ۲۹/۳۲ | ۶۹ | ۰ | ۲ | ۳۲ | ۵۹۰ |
| روسیه | ۶۵/۰۶ | ۱۹ | ۱۶ | ۰ | * ۳۱ | ۶۵۱۰۰ |
| اتریش | ۳۵/۶۸ | ۵۸ | ۰ | ۶ | ۱۶ | ۳۲۵۰ |
| چک | ۶۵/۶۶ | ۳ | ۳۰ | ۱ | ۱۶ | ۵۲۰۰ |
| مجارستان | ۵۵/۵ | ۱ | ۳۹ | ۵ | ۱۸ | ۲۰۵۰ |
| آلمان | ۶۲/۵۳ | ۳ | ۴۲,۸۵ | ۷ | * ۱۳ | ۲۰۸۴۰ |
| لهستان | ۹۷/۱۸ | ۱ | ۰ | ۱ | ۱۷ | ۸۳۱۰ |
| اسلوانی | ۳۵/۹۶ | ۲۴ | ۳۹ | ۱ | ۸ | |
| ترکیه | ۷۴/۴۴ | ۲۵ | ۰ | ۰ | ۵ | ۷۹۰ |
| ایتالیا | ۸۲/۹۵ | ۱۲ | ۰ | ۵ | * ۹ | ۵۸۹۰ |
| ژاپن | ۶۳ | ۸ | ۲۷ | ۲ | | ۸۷۲۳ |
| پرتقال | ۸۰/۹۴ | ۱۱ | ۰ | ۸ | ۱۱ | ۱۰۸۰ |
| اسپانیا | ۶۴/۰۵ | ۷ | ۲۰ | ۹ | * ۱۱ | ۶۰۴۵ |
| ایالات متحده | ۷۱/۶۴ | ۷ | ۱۹ | ۲ | * ۸ | ۸۴۷۰۷ |
| چین | ۸۱/۰۴ | ۱۷ | ۲ | ۰ | * ۱۳ | ۲۸۱۵۳ |
| استونی | ۹۸/۸۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱۰ | ۱۶۰۰ |
| کانادا | ۲۴/۹۷ | ۵۹ | ۱۴ | ۲ | * ۶ | ۶۷۶۵ |
| هند | ۸۱/۵۰ | ۱۵ | ۲ | ۱ | * ۵ | ۱۰۰۱۲ |
| کره جنوبی | ۶۰/۸۲ | ۱ | ۳۸ | ۰ | | ۴۵۲۲ |
| لیتوانی | ۲۳/۸۵ | ۳ | ۷۳ | ۰ | ۱۲ | ۱۰۴۰ |
| انگستان | ۷۴/۴۸ | ۱ | ۲۰ | ۴ | * ۷ | ۵۴۴۰ |
| بلژیک | ۴۰/۷۹ | ۰ | ۵۶ | ۳ | ۹ | ۱۸۹۰ |
| یونان | ۸۸/۶۳ | ۹ | ۰ | ۳ | ۲ | ۲۴۰ |
| مکزیک | ۷۸/۷۹ | ۱۲ | ۵ | ۴ | * ۳ | ۲۸۳۸ |
| سوئد | ۲/۳۹ | ۴۷ | ۴۵ | ۶ | ۹ | ۳۴۹۰ |
| اندونزی | ۸۵/۹۳ | ۹ | ۰ | ۵ | | ۱۲۰۳ |
| ایرلند | ۹۲/۵۲ | ۳ | ۰ | ۵ | ۳ | ۱۱۰ |
| برزیل | ۸/۵۹ | ۸۴ | ۲ | ۵ | * ۱ | ۱۳۱۶ |
| فرانسه | ۱۰/۵۲ | ۹ | ۷۹ | ۱ | * ۴ | ۶۶۰۰ |
| ایران | ۹۰/۶۴ | ۹ | ۰ | ۰ | | |

- لازم به توضیح است که چهار ستون اول این جدول بر اساس اطلاعات اداره انرژی امریکا و برای سال ۲۰۰۵ تهیه شده است و در ستون پنجم که با علامت * است از اطلاعات آژانس بین المللی انرژی استفاده شده و برای سال ۲۰۰۶ میباشد. با توجه به اطلاعات از دو منبع مختلف احتمال خطای جزئی وجود دارد.
 - در ستون ششم نیز ظرفیت نصب شده تولید همزمان در چند کشور با استفاده از اطلاعات آژانس بین المللی انرژی آورده شده است.
 - در ستون پنجم با غیر از علامت * از اطلاعات آژانس محیط زیست اروپا در سال ۲۰۰۴ استفاده شده است.
 - واضح است که اطلاعات ستون پنجم میتواند جزئی از ستون اول باشد.
- هدف گذاری هشت کشور صنعتی برای سال ۲۰۱۵ رسیدن به ۱۵ درصد و در ۲۰۳۰ رسیدن به ۲۴ درصد تولید همزمان میباشد.

فصل سوم

قیمت های تمام شده برق

قیمت تمام شده برق و حرارت به تفکیک برای یک واحد موتور ژنراتور گاز سوز و یک واحد توربین گازی مجهز به بویلر بازیافت به تفکیک مؤلفه استهلاک سرمایه + تعمیر و نگهداری و هزینه سوخت (برای یک واحد ۵ مگاوات) عبارتند از:

الف - موتور ژنراتور گازسوز:

- قیمت تمام شده برق مربوط به استهلاک سرمایه + تعمیر و نگهداری: ۱۲۹ (ریال بر کیلووات ساعت)
- قیمت تمام شده برق مربوط به هزینه سوخت: ۲۱۸ (ریال بر کیلووات ساعت)
- کل قیمت تمام شده برق: ۳۴۷ (ریال بر کیلووات ساعت)

- هزینه تبدیل انرژی به حرارت (استهلاک سرمایه + تعمیر و نگه داری): ۰,۰۳۳ (ریال بر کیلوکالری)

ب - توربین گاز با بویلر بازیافت:

- قیمت تمام شده برق مربوط به استهلاک سرمایه + تعمیر و نگهداری: ۱۲۷ (ریال بر کیلووات ساعت)
- قیمت تمام شده برق مربوط به هزینه سوخت: ۲۷۰ (ریال بر کیلووات ساعت)
- کل قیمت تمام شده برق: ۳۹۷ (ریال بر کیلووات ساعت)

- هزینه تبدیل انرژی به حرارت (مربوط به استهلاک سرمایه + تعمیر و نگهداری): ۰,۰۱۹ (ریال بر کیلوکالری)

در این محاسبات نرخ تنزیل ۱۲ درصد و قیمت‌های آزاد سوخت سال ۱۳۸۷ در نظر گرفته شده است. طول عمر فنی موتور ژنراتور گازسوز برابر ۱۵ سال و توربین گاز برابر ۲۵ سال لحاظ گردیده است.

تحلیل حساسیت نسبت به سایز و هزینه سرمایه گذاری و قیمت سوخت در پیوست شماره ۳ آورده شده است.

اطلاعات فنی و اقتصادی و قیمت تمام شده برق و حرارت به تفکیک ظرفیت واحدهای ژنراتور گازسوز و توربین گاز با بویلر بازیافت در جداول ۱-۳ و ۲-۳ آورده شده است. همچنین تحلیل حساسیت قیمت تمام شده برق و حرارت نسبت به هزینه سرمایه گذاری در جداول ۳-۳، ۴-۳، ۵-۳ و ۶-۳ به تفکیک ظرفیت واحد‌ها نشان داده شده است. و تحلیل حساسیت قیمت تمام شده برق و حرارت نسبت به هزینه سوخت در جداول ۷-۳، ۸-۳، ۹-۳ و ۱۰-۳ به تفکیک ظرفیت واحد‌ها آورده شده است.

جهت بدست آوردن قیمت تمام شده برق و حرارت، قیمت‌های آزاد سوخت در سال ۱۳۸۷ در محاسبات لحاظ گردیده است. نرخ تسعیر دلار برابر ۹۸۰۰ و نرخ تنزیل ۰/۱۲ در نظر گرفته شده است. هزینه سرمایه گذاری شامل هزینه خرید، حمل و نصب تجهیزات می باشد.

جدول ۱-۳: اطلاعات و هزینه های تبدیل و تولید به تفکیک هزینه تمام شده برق و حرارت برای ژنراتور گاز سوز

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------------------------------|
| 5 MW | 3 MW | 800kW | 300kW | 100kW | ظرفیت الکتریکی |
| ۸۷۱ | ۹۵۸ | ۱۰۴۱ | ۱۱۳۶ | ۱۴۳۴ | هزینه سرمایه گذاری (\$/kW) |
| ۴۱/۸ | ۴۱/۵ | ۴۱ | ۴۰/۵ | ۴۰ | بازده الکتریکی (%) |
| ۷۴ | ۷۵ | ۷۶ | ۷۷ | ۸۱ | بازده کلی (%) |
| ۸۸ | ۸۸ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۱۸ | هزینه تعمیر و نگهداری (Rls/kWh) |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | طول عمر فنی (سال) |
| ۰/۹۲ | ۰/۹۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ضریب بهره برداری |
| ۰/۱۴۶۸۲۴ | ۰/۱۴۶۸۲۴۲ | ۰/۱۴۶۸۲۴۲ | ۰/۱۴۶۸۲۴ | ۰/۱۴۶۸۲۴ | ضریب ارزش حال هزینه ها |
| 4508 | 3259 | 1025 | 243 | 167 | خروجی بخار معادل (kW) |
| 129 | 140 | 151 | 163 | 321 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۲۱۸ | ۲۲۰ | ۲۲۳ | ۲۲۵ | ۲۲۸ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 347 | 360 | 374 | 388 | 432 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 356 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 0.034 | 0.031 | 0.028 | 0.048 | 0.029 | هزینه تبدیل حرارت (Rls/kcal) |

جدول ۳-۲: اطلاعات و هزینه های تبدیل و تولید به تفکیک هزینه تمام شده برق و حرارت برای توربین گاز با بویلر بازیافت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|------------|-----------------------------------|
| 40MW | 25 MW | 10 MW | 5 MW | 1 MW | ظرفیت الکتریکی |
| ۷۴۳ | 814 | ۹۱۸ | ۹۵۶ | ۱۶۸۵ | هزینه سرمایه گذاری (\$/kW) |
| ۳۷ | 34.3 | ۲۹ | ۲۷/۱ | ۱۲/۹ | بازده الکتریکی (%) |
| ۷۴ | 73 | ۶۶ | ۶۱ | ۵۱ | بازده کلی (%) |
| ۶۹ | ۷۸ | ۸۳ | ۸۸ | ۸۸ | هزینه تعمیر و نگهداری (Rls/kWh) |
| ۲۵ | 25 | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ | طول عمر فنی (سال) |
| ۰/۸۵ | ۰/۸۶ | ۰/۸۸ | ۰/۸۹ | ۰/۹ | ضریب بهره برداری |
| ۰/۱۲۷۵ | ۰/۱۲۷۵ | ۰/۱۲۷۵ | ۰/۱۲۷۵ | ۰/۱۲۷۴۹۹۹۷ | ضریب ارزش حال هزینه ها |
| 40100 | 28020 | 14540 | 7800 | 2080 | خروجی بخار معادل (kW) |
| 104 | 112 | 124 | 127 | 222 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۹۷ | ۲۱۳ | ۲۵۲ | ۲۶۹ | ۳۳۳ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 301 | 325 | 375 | 397 | 555 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 326 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 0.025 | 0.024 | 0.020 | 0.019 | 0.025 | هزینه تبدیل حرارت (Rls/kcal) |

جدول ۳-۳: نتایج قیمت تمام شده برق و حرارت به ازای ۲۰٪ افزایش هزینه سرمایه گذاری مربوط به ژنراتور گاز سوز

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 5 MW | 3 MW | 800kW | 300kW | 100kW | ظرفیت الکتریکی |
| 155 | 169 | 181 | 196 | 362 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۷۵ | ۱۷۶ | ۱۷۸ | ۱۸۰ | ۱۸۲ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 330 | 344 | 359 | 376 | 427 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 340 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 0.041 | 0.037 | 0.034 | 0.058 | 0.035 | هزینه تبدیل حرارت (Rls/kcal) |

جدول ۳-۴: نتایج قیمت تمام شده برق و حرارت به ازای ۲۰٪ افزایش هزینه سرمایه گذاری مربوط به توربین گاز با بویلر بازیافت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 40MW | 25 MW | 10 MW | 5 MW | 1 MW | ظرفیت الکتریکی |
| 124 | 134 | 148 | 153 | 266 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۹۷ | ۲۱۳ | ۲۵۲ | ۲۶۹ | ۳۳۳ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 321 | 347 | 400 | 422 | 599 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 349 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 0.030 | 0.029 | 0.024 | 0.023 | 0.030 | هزینه تبدیل حرارت (Rls/kcal) |

جدول ۳-۵: نتایج قیمت تمام شده برق و حرارت به ازای ۲۰٪ کاهش هزینه سرمایه گذاری مربوط به ژنراتور

گاز سوز بر حسب ظرفیت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 5 MW | 3 MW | 800kW | 300kW | 100kW | ظرفیت الکتریکی |
| 103 | 112 | 121 | 130 | 281 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۷۵ | ۱۷۶ | ۱۷۸ | ۱۸۰ | ۱۸۲ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 278 | 288 | 299 | 311 | 345 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 285 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 0.027 | 0.025 | 0.022 | 0.038 | 0.023 | هزینه تبدیل حرارت (Rls/kcal) |

جدول ۳-۶: نتایج قیمت تمام شده برق و حرارت به ازای ۲۰٪ کاهش هزینه سرمایه گذاری مربوط به توربین گاز با بویلر

بازیافت بر حسب ظرفیت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 40MW | 25 MW | 10 MW | 5 MW | 1 MW | ظرفیت الکتریکی |
| 83 | 90 | 99 | 102 | 177 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۹۷ | ۲۱۳ | ۲۵۲ | ۲۶۹ | ۳۳۳ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 280 | 302 | 351 | 371 | 511 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 7 | 304 | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 0.020 | 0.019 | 0.016 | 0.016 | 0.020 | هزینه تبدیل حرارت (Rls/kcal) |

جدول ۳-۷: نتایج قیمت تمام شده برق به ازای ۲۵٪ کاهش هزینه سوخت مربوط به ژنراتور گاز سوز بر حسب ظرفیت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 5 MW | 3 MW | 800kW | 300kW | 100kW | ظرفیت الکتریکی |
| 129 | 140 | 151 | 163 | 321 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۳۱ | ۱۳۲ | ۱۳۴ | ۱۳۵ | ۱۳۷ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 260 | 272 | 285 | 298 | 341 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 268 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |

جدول ۳-۸: نتایج قیمت تمام شده برق به ازای ۲۵٪ کاهش هزینه سوخت مربوط به توربین گاز با بویلر بازیافت بر حسب ظرفیت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 40MW | 25 MW | 10 MW | 5 MW | 1 MW | ظرفیت الکتریکی |
| 104 | 112 | 124 | 127 | 222 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۱۴۸ | ۱۶۰ | ۱۸۹ | ۲۰۲ | ۲۵۰ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 251 | 272 | 312 | 329 | 472 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 273 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |

جدول ۳-۹: نتایج قیمت تمام شده برق به ازای ۲۵٪ افزایش هزینه سوخت مربوط به ژنراتور گاز سوز بر حسب ظرفیت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 5 MW | 3 MW | 800kW | 300kW | 100kW | ظرفیت الکتریکی |
| 129 | 140 | 151 | 163 | 321 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۲۱۸ | ۲۲۰ | ۲۲۳ | ۲۲۵ | ۲۲۸ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 347 | 360 | 374 | 388 | 432 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 356 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |

جدول ۱۰-۳: نتایج قیمت تمام شده برق به ازای ۲۵٪ افزایش هزینه سوخت مربوط به توربین گاز با بویلر بازیافت بر حسب ظرفیت

| واحد ۵ | واحد ۴ | واحد ۳ | واحد ۲ | واحد ۱ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| 40MW | 25 MW | 10 MW | 5 MW | 1 MW | ظرفیت الکتریکی |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------|
| 104 | 112 | 124 | 127 | 222 | هزینه تبدیل برق (Rls/kWh) |
| ۲۴۷ | ۲۶۶ | ۳۱۵ | ۳۳۷ | ۴۱۷ | هزینه سوخت (تولید) برق (Rls/kWh) |
| 350 | 378 | 438 | 464 | 638 | هزینه تمام شده برق (Rls/kWh) |
| 380 | | | | | متوسط قیمت تمام شده برق (Rls/kWh) |

فصل چهارم

قیمت تضمینی خرید برق مطابق دستورالعمل ابلاغی معاونت محترم برق و انرژی

قیمت تضمینی خرید برق مطابق دستورالعمل ابلاغی معاونت محترم برق و انرژی با مفروضات و داده های زیر:

- بازده تولید برق ۴۰ درصد.
- کل تلفات شبکه برق از محل تولید تا تحویل به شبکه برابر ۳ درصد.
- بازده متوسط نیروگاههای حرارتی (η_{ave}) برابر ۳۷,۲ درصد.
- نرخ تنزیل ۱۲ درصد.
- هزینه متوسط تولید برق در واحدهای تولید پراکنده برابر ۱۷۵,۵۹ (ریال بر کیلووات ساعت) و هزینه متوسط تبدیل برق برابر ۱۳۷,۸۸ (ریال بر کیلووات ساعت).
- نرخ های آزاد سوخت: گاز طبیعی برابر ۶۹۰ (ریال بر متر مکعب)، نفت گاز برابر ۵۰۷۱ (ریال بر لیتر) و نفت کوره برابر ۳۴۰۱ (ریال بر لیتر).
- نرخ های یارانه ای سوخت: گاز طبیعی برابر ۲۹,۲۸ (ریال بر متر مکعب)، نفت گاز برابر ۵۸,۵۶ (ریال بر لیتر) و نفت کوره برابر ۳۰,۷۴ (ریال بر لیتر).
- برای یک واحد تولید همزمان با سوخت گاز طبیعی و با کارآییهای حرارتی ۲۰ درصد، ۳۰ درصد و ۴۰ درصد نرخهای خرید برق عبارتند از:

۱- بازده حرارتی مولد (η_t) برابر ۲۰ درصد:

متوسط نرخ تبدیل انرژی (تعدیل شده) برابر ۲۲۸/۲۶ (ریال بر کیلووات ساعت) و متوسط نرخ تولید انرژی (تعدیل شده) برابر ۳۹۲,۵۷ (ریال بر کیلووات ساعت).

۲- بازده حرارتی مولد (η_t) برابر ۳۰ درصد:

متوسط نرخ تبدیل انرژی (تعدیل شده) برابر ۲۴۴/۹۲ (ریال بر کیلووات ساعت) و متوسط نرخ تولید انرژی (تعدیل شده) برابر ۳۹۲,۵۷ (ریال بر کیلووات ساعت).

۳- بازده حرارتی مولد (η_t) برابر ۴۰ درصد:

متوسط نرخ تبدیل انرژی (تعدیل شده) برابر ۲۶۸/۵۱ (ریال بر کیلووات ساعت) و متوسط نرخ تولید انرژی (تعدیل شده) برابر ۳۹۲,۵۷ (ریال بر کیلووات ساعت).

ضریب تعدیل قراردادهای بلند مدت برای قرار داد ۵ ساله با فرض های زیر:

- CPI در ابتدای سال عقد قرارداد برابر ۱۹۰/۲ و در سال شروع پرداخت (با فرض نرخ تورم ۱۸ درصد و فاصله یک سال میان عقد قرارداد و پرداخت) برابر ۲۲۴/۴۴.

- ضریب a برابر ۰,۵

- نرخ تسعیر یورو برابر ۱۲۷۹۳ ریال در سال عقد قرار داد و برابر ۱۳۵۰۰ ریال در سال پرداخت.

ضریب تعدیل نرخ خرید قرار دادهای بلند مدت پنج ساله در سال اول برابر 1.03844902، در سال دوم برابر 1.105925858، در سال سوم برابر 1.177787239، در سال چهارم برابر 1.254318063 و در سال پنجم برابر 1.335821744 خواهد بود.

در پیوست شماره ۴ تفصیل محاسبات تضمین خرید برق و روابط مربوطه ذکر گردیده است.

فصل پنجم - قیمت فروش سوخت از سوی شرکت گاز و شرکت پخش فرآورده بر اساس ابلاغ وزارت نفت و پرداخت مابه التفاوت قیمت خرید سوخت بر اساس دستورالعمل ابلاغ شده معاون برق و انرژی

بازگشت به نامه شماره ۸۰۵۱۶/۳۰/۱۰۰ مورخ ۸۷/۷/۲۹ مقام عالی وزارت جناب آقای مهندس فتاح به وزیر محترم نفت در خصوص اعلام نرخ سوخت برای واحدهای همزمان پراکنده برق و حرارت (علی الخصوص بخش خصوصی) و پاسخ آن وزارت خانه در نامه شماره ۲۹۵۱۳۹-۳۰/۱۹ مورخ ۸۷/۱۰/۲۱ و همچنین اطلاعیه مدیرعامل محترم شرکت توانیر جناب آقای مهندس بهزاد در نامه شماره ۱۱/۳۰۳۵/۲۵۵ مورخ ۸۷/۸/۲۲ در خصوص اعلام نرخ آزاد و یارانه ای فروش سوخت (گاز طبیعی، نفت گاز و نفت کوره) از سوی شرکت پخش فرآورده در سال ۱۳۸۷ در جدول یک آورده شده است.

جدول ۱: نرخ آزاد و یارانه ای فروش سوخت برحسب ریال به ازای هر مترمکعب

| نوع سوخت | گاز | نفت گاز (گازوییل) | نفت کوره (مازوت) |
|---------------|-------|-------------------|------------------|
| نرخ آزاد | ۶۹۰ | ۵۰۷۱ | ۳۴۰۱ |
| نرخ یارانه ای | ۲۹/۲۸ | ۵۸/۵۶ | ۳۰/۷۴ |

- پرداختی بابت مابه التفاوت نرخ گاز در طول دوره صورتحساب

با فرض اینکه بازده نیروگاه ۴۰ درصد و ارزش حرارتی یک متر مکعب گاز طبیعی ۸۱۲۴ کیلو کالری بر متر مکعب و $E=1Kwh$ (انرژی الکتریکی تحویلی نیروگاه به شبکه در طول دوره صورتحساب) باشد.

[ارزش حرارتی یک متر مکعب گاز × متوسط بازده] ÷ $(E \times ۸۶۰)$ × (نرخ نیروگاهی گاز - نرخ آزاد گاز)

$$۶۹۰ - ۲۹/۲۸ = ۶۶۰/۷۲$$

$$= ۰/۲۶۴۶ \text{ (} ۰/۴ \times ۸۹۰۵ \text{)} \div (۱ \times ۸۶۰)$$

$$۶۶۰/۷۲ \times ۰/۲۶۴۶ = \underline{۱۷۴/۸}$$

فصل ششم

میزان انتشار آلودگی هوا و صوت موتور ژنراتورهای گازسوز و توربین های گازی و محدودیت انتشار آلودگی در شهرکهای صنعتی و شهرهای مسکونی و روشهای تقلیل آنها

۶-۱- استانداردهای نشر

از منافع تولید همزمان برق و حرارت می توان به صرفه جویی در مصرف سوخت، کاهش آلاینده ها و در نتیجه کاهش هزینه های زیست محیطی اشاره نمود. صرفه جویی سوخت که ناشی از عدم نیاز به یک مولد حرارتی دیگر (مثل دیگ بخار در تولید جداگانه) می باشد و همچنین استفاده از سوختهای تمیز مثل گاز طبیعی از عوامل اساسی در کاهش آلاینده های اینگونه سیستم ها می باشد. مزیت زیست محیطی تولید همزمان برق و حرارت در استفاده از سوخت کمتر با بازدهی بالاتر و در نتیجه آلاینده های کمتر می باشد. در جداول (۱) و (۲) میزان آلاینده های گاز طبیعی و بازده و میزان آلاینده های موتور ژنراتورهای گازسوز و توربین گازی جهت تولید همزمان برق و حرارت را نشان می دهد.

جدول (۱): میزان آلاینده های سوخت گاز طبیعی [http://www.oit.doe.gov]

| Radioactivity (kBq/kWh) | PM (1b/MWh) | SO ₂ (1b/MWh) | NO _x (1b/MWh) | Carbon/Energy (Mtc/Q) | نوع سوخت |
|-------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|
| ۹/۳ | ۰/۴ | ۰/۶۶ | ۳/۳ | ۱۵ | گاز طبیعی |

جدول (۲): بازده و میزان آلاینده های موتور ژنراتورهای گازسوز و توربین گازی

[http://www.oit.doe.gov]

| NO _x (1b/MWh) | بازده کلی (درصد) | بازده الکتریکی (درصد) | فناوری |
|--------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| ۴-۱ | ۸۵> | ۴۰-۲۵ | توربین گاز |
| ۲۸-۲/۲ | ۸۵> | ۴۵-۲۵ | موتور ژنراتورهای گازسوز |

۶-۱-۱- توربین گازی

فرآیند احتراق در یک توربین گازی با مقدار زیاد هوای اضافی انجام میشود، زیرا توان خروجی به دست آمده به میزان جریان جرمی توربین بستگی دارد.

توربین گازی از کم آلاینده ترین تجهیزات تولید توان با استفاده از سوخت فسیلی محسوب می گردد. آلاینده های اصلی توربین های گازی شامل اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، منو اکسید کربن (CO) و ترکیبات آلی فرار (VOC) می باشد.

لازم به ذکر است که مقدار NO_x در گاز خروجی توربین های گازی بسیار کم است. بدلیل بازدهی بالا و استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت اولیه، مقدار دی اکسید کربن CO₂ بر واحد کیلووات ساعت که در توربین های گازی تولید می شود کمتر از دیگر تکنولوژیهای فسیلی مورد استفاده می باشد. آلاینده های دیگری از قبیل اکسیدهای گوگرد (SO_x) و ذرات معلق نیز بسته به نوع سوخت مصرفی تولید شوند.

استفاده از سوخته‌های گوگرد دار موجب تولید ترکیبات گوگردار مخصوصاً SO_2 می‌شوند. مقدار SO_x تولید شده در توربین‌های گازی از گاز طبیعی که گوگرد آن استخراج شده و یا نفت تقطیر شده استفاده می‌نمایند، نسبتاً کم می‌باشد. به طور کلی انتشار SO_x در هنگام استفاده از سوخته‌های سنگین بیشتر است. خاکستر و ترکیبات فلزی موجود در سوخت ممکن است موجب ایجاد ذرات معلق در گازهای خروجی شود.

جدول (۳). حد مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده را از توربین‌های گازی نشان می‌دهد.

جدول (۳): حد مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده از توربین‌های گازی [ETSU Web site, 2000]

| SO_2 g/kwh | CO_2 g/kwh | NO_x g/kwh | |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| ناچیز | ۶۱۰ | ۱/۱ | احتراق گاز طبیعی |
| ۱/۴ | ۸۰۰ | ۱/۶ | احتراق نفت گاز |

• میزان NO_x

مقدار NO_x تولید شده تابعی از دمای شعله می‌باشد به طوری که در دماهای شعله پایینتر مقدار NO_x کمتری تولید می‌شود. در گذشته برای کنترل میزان NO_x ، از تزریق آب یا بخار و یا استفاده از نسبت سوخت به هوای همگن و کمتر به منظور ایجاد شعله‌ای با دمایی کمتر از دمای آدیاباتیک استوکیومتریک استفاده می‌شد. در سیستم‌های احتراق قدیمی، مخلوط کردن سوخت و هوا و احتراق در یک محفظه مشترک صورت می‌گرفت و باعث ایجاد نقاطی با دمای بالا می‌شد که محل اصلی تشکیل NO_x می‌باشد. در سیستم‌های جدید، هوا و سوخت قبل از ورود به محفظه احتراق با نسبت سوخت به هوای رقیقی با یکدیگر مخلوط می‌شوند که این اقدام حداکثر دمای شعله را در مقدار متوسطی نگه می‌دارد.

لازم به ذکر است که انتشار NO_x بر اساس هماهنگی توربین‌ها با محدودیت‌های جریان برای سوخت گازی ۶۰ppm و سوخت نفتی ۸۰ppm می‌باشد.

• CO و VOC

CO و VOC ها از احتراق ناقص سوخت تولید می‌شوند. به دلایل ایمنی و سلامتی لازم است مقدار CO کمتر از PPM ۵۰ باشد. این مقدار در گذشته به راحتی قابل دسترس بود اما در حال حاضر به دلیل استفاده از روش‌های کنترل NO_x که موجب افزایش CO می‌شوند، رسیدن به حد مورد نظر مشکل تر شده است.

• دی اکسید کربن (CO_2)

دی اکسید کربن به دلیل تأثیری که بر روی افزایش دمای اتمسفر ایجاد می‌نماید جزء گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. میزان CO_2 تولید شده تابعی از میزان کربن موجود در سوخت و بازدهی سیستم می‌باشد. مقدار کربن در گاز طبیعی ۳۴ پوند بر MMBTU، در نفت ۴۸ پوند بر MMBTU و در ذغال (بدون خاکستر) ۶۶ پوند بر MMBTU می‌باشد.

– مشخصات آلاینده‌های خروجی توربین گاز

در جدول زیر آلاینده‌های موجود در گازهای حاصل از احتراق ۵ سیستم نمونه نشان داده شده است. مقدار آلاینده‌های نشان داده شده بدون استفاده از تصفیه گاز خروجی از توربین بوده و مقادیر تضمینی سازندگان می‌باشند. به دلیل خاص بودن سیستم احتراق هر مدل توربین گاز، لازم است در هنگام بحث در مورد فناوریهای کنترل آلاینده‌ها و میزان انتشار آلاینده آنها تمایز انجام شود. این تمایز بین فناوری که تجاری شده، فناوری که از نظر تکنیکی به اثبات رسیده ولی هنوز تجاری نشده و فناوری که از نظر فنی امکان پذیر است اما به صورت تجاری قابل دسترس نمی‌باشد صورت می‌گیرد.

اضافه کردن کنترلرها ممکن است میزان NO_x و CO را ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش دهد. برای بسیاری از سیستم‌های توربین گاز تامین کننده برق محلی، از تصفیه گازهای خروجی اجتناب می‌شود زیرا بر روی هزینه اولیه و عملکرد تاثیر می‌گذارند.

جدول (۳): مشخصات آلاینده‌های توربین گاز بدون مولد بخار بازیافت حرارت و کنترل جریان خروجی
[www.epa.gov/chp]

| سیستم ۵ | سیستم ۴ | سیستم ۳ | سیستم ۲ | سیستم ۱ | هزینه‌های عملکرد و نگهداری |
|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| ۴۰,۰۰۰ | ۲۵,۰۰۰ | ۱۰,۰۰۰ | ۵,۰۰۰ | ۱,۰۰۰ | ظرفیت الکتریکی kW |
| %۳۷ | %۳۴ | %۲۹ | %۲۷ | %۲۲ | بازدهی الکتریکی، HHV |
| ۲۵۳ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵۲ | ۴۲۱ | (ppm) NO_x |
| ۰/۳۱ | ۰/۹۲ | ۱/۰۸ | ۱/۱۶ | ۲/۴۳ | ۴ (lb/MWh) NO_x |
| ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۲۰ | $\Delta(\text{ppmv})\text{CO}$ |
| ۰/۸۵ | ۰/۴۵ | ۰/۵۳ | ۰/۵۶ | ۰/۷۱ | (lb/MWh)CO |
| ۱/۱۰۶ | ۱/۱۹۳ | ۱/۴۱۱ | ۱/۵۱۰ | ۱/۸۸۷ | (lb/MWh)CO ₂ |
| ۳۰۲ | ۳۲۶ | ۳۸۵ | ۴۱۲ | ۵۱۵ | کربن (lb/MWh) |

۱- ۴۲ ppm نشان دهنده مقدار تضمینی برای سیستم توربین گاز یک مگاواتی است. بسیاری از مدلها در این محدوده اندازه نمی‌توانند دارای DLN باشند و هنوز از سیستم احتراق قدیمی استفاده می‌کنند.

۲- توربین‌های solar انتشار NO_x به میزان ۱۵ ppm را در یک توربین ۵ مگاواتی تضمین کرده‌اند. این سیستم توربین گاز خاص دارای پوشش سرمایی در محفظه احتراق می‌باشد که استفاده از آن در خطوط تولید معمول نیست.

۳- ۹ ppm در سیستم‌های صنعتی (مانند GE6B و ALSTOMGT10) که دارای دمای احتراق و نسبت فشار پایینتر (که موجب کاهش بازدهی می‌شود) هستند قابل دسترس می‌باشند.

۴- تبدیل از واحد حجمی (ppm در ۱۵ درصد اکسیژن) به نرخ بر اساس خروجی (پوند بر مگاوات ساعت) برای NO_x و CO بر اساس ضرایب تبدیل ارائه شده توسط Catalytica Energy Systems می‌باشد.

۵- نصب کنترلرهای اکسیداسیون کاتالیک CO بر روی سیستم توربین‌های گازی حدود ۹۰ درصد CO را کاهش می‌دهد. اخیراً استفاده از کاتالیست‌های CO برای دستیابی به CO کمتر از ۵ ppm ممکن شده است.

۶-۱-۲- موتور ژنراتور گازسوز

با حساسیت‌های اقتصادی و زیست محیطی که در طول سه دهه گذشته اعمال شده این نوع تکنولوژی پیشرفت زیادی کرده و منجر به افزایش بازده سوخت و کاهش آلودگی شده است. در موتورهای گازسوز پیشرفته با بهبود طراحی کنترل احتراق سطح تولید NO_x به ۵۰ ppmv در ۱۵ درصد اکسیژن (بر پایه گاز خشک) رسیده است.

مهمترین مسئله موتورهای پیستونی آلاینده‌ها می‌باشد. عناصر اصلی گازهای آلاینده خروجی این موتورهای اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، منواکسید کربن (CO) و ترکیبات الی فرار (VOCها و هیدروکربنهای نسوخته) می‌باشند. وجود آلاینده‌های دیگر مثل اکسیدهای گوگرد (SO_x) و ذرات جامد معلق (PM) به سوخت مورد استفاده بستگی دارد. انتشار ترکیبات گوگرد به خصوص SO_2 به مقدار گوگرد سوخت وابسته است. انتشار SO_x در موتورهایی که گاز طبیعی یا نفت تقطیر شده می‌سوزانند که در پالایشگاه گوگردشان استخراج شده ناچیز است. معمولاً انتشار SO_x تنها در موتورهای دیزلی کم سرعت و بزرگ با سوخت مازوت زیاد است. ذرات جامد معلق (PM) از آلاینده‌های مهم موتورهایی که از سوخت مایع استفاده می‌کنند، می‌باشند.

انتشار NO_x مساله اصلی در استفاده از موتورهای است که گاز طبیعی می‌سوزاند و اغلب ترکیبی از NO و NO_2 با نسبت های مختلف می‌باشد. مقدار NO_x در اندازه‌گیرها با واحد PPMV گزارش می‌شود. در موتورهای پیستونی این مقدار با gm/hp-hr نیز بیان می‌شوند. در بین موتورها، موتورهای که گاز طبیعی رقیق می‌سوزاند کمترین NO_x و موتورهای دیزل بیشترین NO_x را انتشار می‌دهند.

کنترل حداکثر دمای شعله با احتراق گاز رقیق یکی از راههای محدود نمودن NO_x در موتورهای گازسوز است. موتورهای دیزل دمای احتراق بالاتر و در نتیجه NO_x بیشتری تولید می‌کنند.

در موتورها معمولاً برای کاهش انتشار NO_x و افزایش بازده بررسی‌های بسیاری انجام شده تا راه حل مناسب انتخاب گردد. این مسئله در مورد کاهش انتشار محصولات نیم سوخته احتراق (CO و هیدروکربنهای نسوخته) نیز وجود داشته است. برای نهایی نمودن این موازنه سه راه وجود دارد که مقررات زیست محیطی و اقتصاد پروژه تعیین کننده بهترین روش است. اولین راه کنترل مقدار NO_x و رساندن آن به کمترین حد قابل قبول در ازای مقداری کاهش بازده و بیشترین انتشار CO و هیدروکربن می‌باشد. دومین راه یافتن یک بالانس بهینه بین انتشار آلاینده‌ها و بازده است. سومین راه طراحی موتور برای بالاترین بازده و استفاده از کنترلرهای مجهز گاز خروجی می‌باشد.

جدول (۴). حد مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده را از توربین های گازی نشان می دهد.

جدول (۴) : حد مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده از موتور ژنراتور گازسوز
[ETSU Web site,2000]

| SO_2 g/kwh | CO g/kwh | NO_x g/kwh | CO_2 g/kwh | |
|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| ناچیز | ۱-۲ | ۱۵-۲۵ | ۵۸۰ | با سوخت گاز طبیعی |

۶-۲- کنترل آلاینده های گازهای خروجی

کنترل میزان NO_x هدف اولیه مراکز تحقیقاتی کنترل آلاینده می باشد. روشهای کنترل آلاینده های اصلی به طور مختصر در این قسمت توضیح داده شده اند .

۶-۲-۱- تزریق رقیق کننده

اولین روشی که برای کاهش مقدار NO_x مورد استفاده قرار گرفت تزریق آب یا بخار در ناحیه‌های دما بالای شعله بود. آب و بخار رقیق کننده های قوی می باشند که باعث سرد شدن مناطق گرم شعله و بنابراین کاهش مقدار NO_x تولید شده می شوند. اما تعیین محل دقیق تزریق امکان پذیر نمی باشد و مقداری NO_x تولید می شود . بسته به مقدار NO_x منتشر شده در صورت عدم استفاده از کنترلر ، تزریق بخار یا آب مقدار NO_x را به میزان ۶۰ درصد یا بیشتر کاهش می دهد. مقدار NO_x تولید شده در هنگام استفاده از گاز طبیعی، با تزریق آب یا بخار حدود PPM ۲۵ (در ۱۵ درصد اکسیژن) است. اما در هنگام استفاده از نفت تقطیر شده مقدار NO_x فقط تا ۴۲ تا ۷۵ PPM کاهش می یابد. آب و بخار جریان جرمی عبوری از توربین را افزایش می دهند و باعث تولید توان بیشتری می شوند . در صورتی که از حرارت خروجی برای گرم کردن بخار استفاده شود، بازدهی کل کمی افزایش می یابد . برای جلوگیری از تشکیل رسوب در توربین لازم است مواد معدنی آب مورد استفاده سختی گیری شود، هر چند این اقدام باعث افزایش پیچیدگی و قیمت کل مجموعه می شود. همچنین تزریق رقیق کننده باعث کاهش دما در ناحیه احتراق شده و بنابراین مقدار CO تولید شده را افزایش می دهد .

۶-۲-۲- احتراق از پیش مخلوط شده رقیق ^۱(DLN)

^۱-Lean Premixed Combustion

احتراق رقیق نسبت سوخت به هوا در نواحی که NO_x تولید می شوند را کاهش می دهد، طوری که حداکثر دمای شعله کمتر از دمای شعله آدیباتیک استکیومتریکی می شود و میزان NO_x تولیدی کاهش می یابد. در احتراق از پیش مخلوط شده رقیق، هوای تراکم و سوخت گازی قبل از ورود به محفظه احتراق مخلوط می شوند و بدین ترتیب ناحیه های گرمی که در آنها NO_x زیادی ایجاد می شد از بین می روند. در هنگام استفاده از DLN لازم است محفظه مخلوط کننده و قسمت ورودی محفظه احتراق طوری طراحی شوند که شعله بر نگردد. برای استفاده بهینه از DLN لازم است طراحی توربین و محفظه احتراق با هم انجام شود. به کارگیری روش نامبرده میزان NO_x تا 9 ppm قابل دستیابی است. تمام سازندگان توربین گاز، حداقل در بخشی از خطوط تولیدشان از محفظه های احتراق DLN استفاده می نمایند. سازندگان توربین معمولاً مقدار 15 تا 42 ppm NO_x را با استفاده از این فناوری تضمین می نماید. در هنگام استفاده از نفت تقطیر شده معمولاً NO_x منتشر شده تا مقدار 42 ppm تضمین می شود که با DLN و یا ترکیب آن با تزریق آب حاصل می گردد.

۶-۲-۳- کاهش کاتالیتیک انتخابی (SCR)^۲

اصلی ترین روش کنترل NO_x پس از احتراق کاهش کاتالیتیک انتخابی است. در این روش آمونیم به دود تزریق می شود و با NO_x ترکیب می شود تا گاز نیتروژن و آب تولید نماید. سیستم SCR در مسیر خروجی، معمولاً در جایی از مولد بخار بازیافت حرارت قرار می گیرد که دمای گازهای خروجی با دمای عملکرد SCR مطابقت داشته باشند. محدوده دمایی عملکرد SCR از 400 تا 800 درجه فارنهایت می باشد.

هنگام استفاده از SCR و DLN به صورت سری مقدار NO_x بین 2 تا 5 ppm می باشد. سیستم های SCR گران می باشند و در قیمت سیستم های کوچک تاثیر بسیار زیادی دارند. برای بکار گیری این روش لازم است آمونیاک که ماده شیمیایی خطرناکی است در سایت ذخیره شود. به علاوه ممکن است آمونیاک بدون انجام واکنش از سیستم خارج گردد که بر خلاف مقررات محیط زیست می باشد.

۶-۲-۴- کاتالیست های اکسیداسیون منوکسید کربن

کاتالیست های اکسیداسیون منوکسید کربن به منظور کنترل مقدار CO در خروجی توربین مورد نظر مورد استفاده قرار می گیرند. تعدادی از سیستم های SCR دارای قسمتهایی برای اکسید کردن CO می باشند که باعث کاهش NO_x و CO به طور همزمان می شود. کاتالیست CO موجب اکسیده شدن CO و ترکیبات هیدروکربنی و تبدیل آن به آب و CO_2 می شود. کاتالیست معمولاً از فلزهای گران قیمت مانند پلاتین، پالادیم و رودیم ساخته می شود. این کاتالیست ها مقدار VOC ها و نیز آلاینده های خطرناک آلی را نیز کاهش می دهند. کاتالیست های CO مقدار CO را به میزان 90 درصد و فرمالدئید را 85 تا 90 درصد کاهش می دهد.

۶-۲-۵- احتراق کاتالیکی

در احتراق کاتالیکی، سوختها در شرایط رقیق در حضور کاتالیست اکسید می شوند. در هنگام استفاده از این روش نیز به منظور بهینه سازی لازم است طراحی توربین و محفظه احتراق تماماً انجام شود.

۶-۲-۶- سیستم های جذبی کاتالیکی

¹-Dry Low NO_x

²- Selective Catalytic Reduction

SCR جایگزینی برای $SCNO_x$ می‌باشد که انتشار NO_x را به کمتر از ۲/۵ ppm میرساند و CO را ۱۰۰٪ حذف می‌نماید. $SCNO_x$ تبدیل کاتالیکی CO و NO_x را با یک فرایند جذبی ترکیب می‌نماید تا آمونوم به کار رفته در فناوری SCR حذف شود.

فناوری $SCNO_x$ در مراحل اولیه وارد شدن به بازار می‌باشد. نکاتی که ممکن است بر روی میزان کاربرد آن اثر بگذارد شامل بالا بودن قیمت اولیه آن، پیچیدگی سیستم، زیاد بودن هزینه و نیازهای (بخار، گاز طبیعی، هوای متراکم و برق مورد نیاز می‌باشند) تجهیزات جانبی آن و افزایش میزان انتشار NO_x با گذشت زمان است که نیاز به خاموش کردن واحد به مدت ۱ تا ۲ روز در هر ۶ تا ۱۲ ماه دارد.

۶-۳- استاندارد آلودگی صوتی

تمام سیستم های تولید همزمان برق و حرارت دارای یک محرک اصلی هستند که صدا را در سطوح اتصال و جریان داخل دودکش انتشار میدهند. اکثر این سیستم ها یکسری تجهیزات جانبی دارند که صدای پیوسته و متناوب تولید می کنند. کلیه ی مولدها تولید همزمان برق و حرارت موظف به رعایت حدود مجاز آلودگی صوتی به استناد ماده ۲ آیین نامه اجرایی نحوه جلوگیری از آلودگی صوتی موضوع تصویب نامه شماره ۶۰۷۴۲/ت/۱۶۵۲۵ ه مورخ ۷۸/۴/۱ هیئت وزیران و با رعایت جزء ۳ بند ج مصوبه شماره ۱۹۰۱/۵۶۰۶۱ مورخ ۸۶/۴/۲۴ شورای عالی اداری میباشند. حد مجاز آلودگی صوتی در جدول (۵) با توجه به نوع منطقه و زمان بهره برداری آورده شده است.

جدول (۵) : حدود مجاز آلودگی صوتی موضوع ماده (۲) آیین نامه اجرایی نحوه جلوگیری از آلودگی صوتی

| ردیف | نوع پهنه | تراز متوسط روز (۷ صبح تا ۱۰ شب) | تراز متوسط شب (۱۰ شب تا ۷ صبح) |
|------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| ۱ | مسکونی | ۵۵ | ۴۵ |
| ۲ | تجاری-مسکونی | ۶۰ | ۵۰ |
| ۳ | تجاری-اداری | ۶۵ | ۶۰ |
| ۴ | مسکونی-صنعتی | ۷۰ | ۶۰ |
| ۵ | صنعتی | ۷۵ | ۶۵ |

۳-۲- روشهای تقلیل آلودگی صوتی

تجهیزات سیستم های تولید همزمان برق و حرارت به طور پیوسته بهره برداری می شوند و برای حفاظت در برابر منابع صدا متناوب مانند تهویه ها، پمپ ها و کمپرسورها باید توجه کافی مبذول شود. موتورها و توربینهای گازی جهت کاهش صدای خروجی اغلب نیاز به یک صدا خفه کن در دودکش دارند که توسط یک بویلر بازیافت حرارتی صداگیر این مسئله را می توان برطرف نمود. به دلیل ارتفاع دودکش، نوع موتور یا توربین و طراحی سیستم بازیافت حرارت یا سایر عوامل ممکن است که صداگیری در خروجی لازم باشد. مقادیر خروجی برای توربینهای گازی و موتور ژنراتورهای گازسوز در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶) : میزان صدا از محرک های اصلی [CHP ETSU Web site,2000]

| فرکانس (هرتز) | ۱۲۵ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۴۰۰۰ | ۸۰۰۰ |
|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| توربین گازی (dB) | ۱۲۰ | ۱۲۰ | ۱۱۶ | ۱۱۲ | ۱۱۰ | ۱۰۵ | ۹۵ |
| موتور ژنراتور گازسوز | ۱۲۵ | ۱۲۶ | ۱۲۰ | ۱۱۲ | ۱۰۰ | ۹۲ | ۸۲ |

جهت تحقق استانداردهای آلودگی صوتی طراحی صدا خفه کن (Silencer) برای محرک اصلی باید بر اساس نمودار میزان صدا انجام گیرد. صدا خفه کن هایی قابل استفاده اند که صدای خروجی را تا حدود ۸۰ دسی بل کاهش دهند.

صدا خفه کن خروجی باید میزان صدا را بدون ایجاد یک فشار مضاعف روی صدا خفه کن کاهش دهد و همچنین بر روی عملکرد و بازده محرک اصلی تاثیری نداشته باشد. اغلب سیستم های تولید همزمان برق و حرارت دارای یک مجرای فرعی (by-pass) خروجی می باشند به طوری که محرک اصلی می تواند برای زمانهای کوتاه بدون بازیافت حرارتی کار کند. یک صدا خفه کن باید به گونه ای در مجرای فرعی قرار گیرد تا میزان صدا در خروجی مخزن مجاز باشد. یک محدود کننده صوتی معمولاً در اطراف محرک اصلی CHP به منظور کاهش صدای محیطی نصب میشود. مدخل هواکش و مجاری خروجی این سیستم ها نیازمند صدا خفه کن های کوچک می باشند. سیستم های تولید همزمان برق و حرارت دارای تعدادی تجهیزات جانبی مانند: فن ها، پمپ ها و موتورهایست که احتمالاً تضعیف صدای آنها ضروری است. به ویژه سیستم های کمپرس هوا یا سوخت، نیاز به کاهش صوت یا محصور کردن صوت جهت حذف صدای تولیدیشان را دارند. از آنجا که موتور ژنراتورهای گازسوز صدای بیشتری از توربین های گازی در فرکانس پائین ایجاد می کنند، این مسئله در طراحی حفاظ صوتی آنها باید لحاظ شود. فونداسیون و پایه های موتور نیاز به کنترل ارتعاشات موتور دارند، به ویژه این مسئله برای ماشینهای بزرگتر با سرعت کم، اهمیت بیشتری دارد.

توربین های گازی نوسان زیادی ندارند، اما طراحی یک توربین با احتراق داخلی، کنترل صوتی نیاز دارد.

فصل هفتم: مراحل اخذ مجوز احداث و بهره برداری مولد

کلیه شرایط، تعاریف، مراحل اداری اخذ مجوز برای احداث و بهره برداری از مولد در دستورالعمل مورخ ۸۷/۷/۳۰ ابلاغی از سوی معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو تشریح گردیده است.

۱- طرح و اجرای احداث و اقداماتی نظیر تهیه زمین ساختگاه، انعقاد قراردادهای خرید، نصب و راه اندازی مولد و احداث شبکه اختصاصی بر عهده سرمایه گذار است (واحد جلب مشارکت در شرکتهای توزیع برق آماده هرگونه راهنمایی، مساعدت و همکاری لازم است).

۲- به منظور صدور پروانه احداث، سرمایه گذار می تواند با تکمیل فرم درخواست و ارائه گزارش فنی و تأمین مالی به واحد جلب مشارکت و یا کمیته ارزیابی درخواست پروانه احداث نماید. (کلیه شرایط لازم در این زمینه در دستورالعمل فوق آورده شده است).

۳- هر شخص (حقوقی - حقیقی) میتواند با رعایت شرایط پیش گفته فرم درخواست در خصوص یک ساختگاه معین و یا محدوده خاص را تکمیل و به واحد جلب مشارکت ارایه نماید. (واحد جلب مشارکت با انجام بررسی لازم، حداکثر ظرف دو روز کاری نسبت به صدور مجوز اقدام می کند).

۴- درخواست برای احداث و اتصال مولد با ظرفیت کمتر از ۷ مگاوات توسط واحد جلب مشارکت شرکت توزیع نیرو ظرف ۵ روز بررسی و در صورت تأیید، ظرف ۲ روز کاری به سرمایه گذار تسلیم می گردد.

۵- درخواست برای احداث و اتصال مولد با ظرفیت کمتر از ۱۵ مگاوات توسط واحد جلب مشارکت شرکت برق منطقه ای ظرف ۵ روز بررسی و در صورت تأیید، ظرف ۲ روز کاری به سرمایه گذار تسلیم می گردد.

۶- واحدهای جلب مشارکت، درخواست پروانه احداث برای ظرفیت های بالاتر را به کمیته ی ارزیابی ارسال و مراتب به سرمایه گذار اعلام می شود و کمیته ارزیابی موارد واصله را بررسی و ظرف حداکثر ۱۰ روز کاری پروانه احداث را به سرمایه گذار ارایه می نماید.

فصل هشتم

انشعاب پشتیبان

۱- سرمایه‌گذار احداث مولد مقیاس کوچک می‌تواند، نسبت به تقلیل قدرت قراردادی انشعاب برق خود اقدام نماید و شرکت‌های برق منطقه‌ای و یا توزیع نیروی برق موظفند مطابق با آیین‌نامه تکمیلی تعرفه‌های برق هزینه‌های انشعاب قدرت تقلیل یافته را به قیمت‌های روز به سرمایه‌گذار پرداخت نمایند.

۱-۱ شرکت توانیر موظف است معادل میزان پیش‌بینی شده برای هزینه اجرای این ماده را در بودجه سنواتی (و یا اصلاحیه بودجه) شرکت‌های برق منطقه‌ای و توزیع نیروی برق منظور نماید.

۱-۲ سرمایه‌گذار می‌تواند پس از تأدیه یک جای هزینه انشعاب قدرت تقلیل یافته - تا مدت ۲ ماه - با عودت عین مبالغ دریافت شده، قدرت قراردادی را از قدرت تقلیل یافته به قدرت قبل (تا سقف قدرت تقلیل یافته) درخواست نماید.

۲- سرمایه‌گذار می‌تواند تا سقف قدرت تقلیل یافته و یا ظرفیت مطمئن مولد، تقاضای «انشعاب نوع دوم» به صورت معاف از پرداخت هزینه انشعاب نماید.

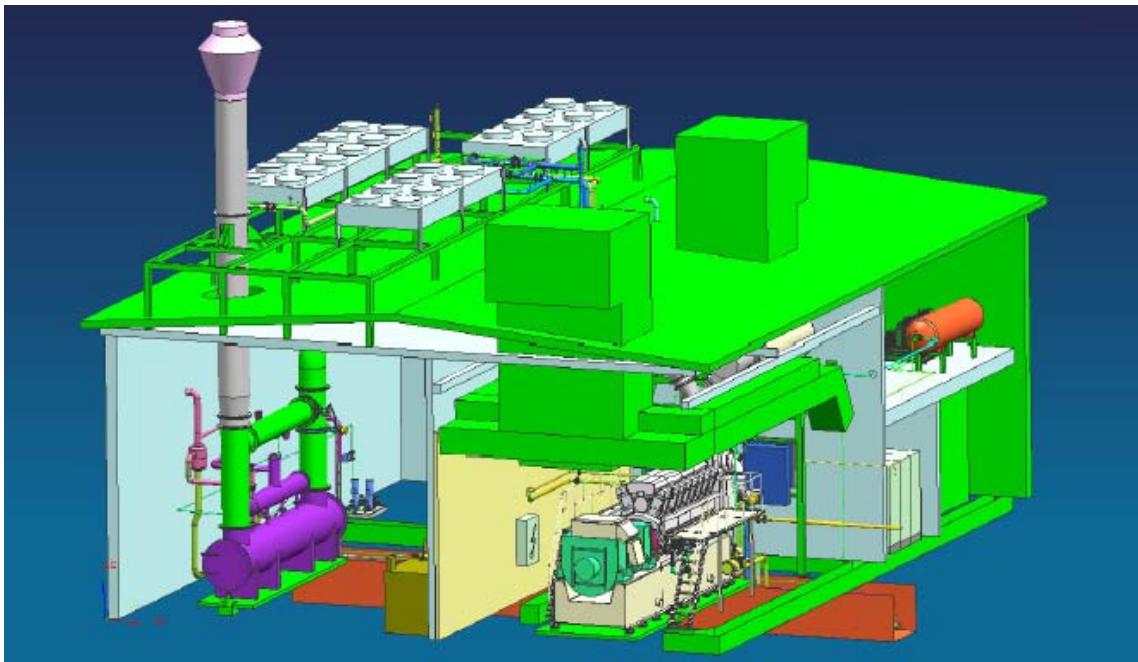
۲-۱ بهای برق مصرفی «انشعاب نوع دوم» براساس تعرفه عادی مربوطه (حسب نوع مصرف) محاسبه و دریافت می‌گردد، مأخذ محاسبه بهای دیمانده، قدرت قرائت شده (مصرفی) خواهد بود. مشترک ملزم به رعایت قدرت قراردادی می‌باشد و قدرت قرائت شده می‌تواند حداکثر با قدرت قراردادی برابر گردد. در سه ماهه تابستان حداکثر میزان استفاده مجاز ۲۵۰ ساعت می‌باشد. بدیهی است سایر شرایط عمومی تعرفه‌های برق برای محاسبه بهای برق مصرفی مورد نظر قرار خواهد گرفت.

۲-۲ بهای برق مصارف مازاد (قدرت و انرژی) با تعرفه‌های آزاد محاسبه و دریافت می‌شود.

فصل نهم

اجرای پروژه نمونه سیستم تولید همزمان برق و حرارت در وزارت نیرو

معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو در جهت فرهنگ سازی توسعه استفاده از چنین سیستم هائی اقدام به خرید یک واحد نمونه موتور ژنراتور گاز سوز مجهز به سیستم بازیافت حرارت و نصب آن در ساختمان مرکزی وزارت نیرو نموده است. از آنجائیکه برای سیستم های گرمایشی ساختمان موجود از بخار آب استفاده میشود بخار تولیدی (باز یافت) از این سیستم که حدود ۲۸۰۰ کیلو گرم در ساعت است می تواند باعث عدم استفاده از یکی از دو دیگ بخار مورد استفاده در موتور خانه شود و علاوه بر آن در تابستان از این بخار برای استفاده در چیلر های جذبی موجود در این ساختمان استفاده خواهد شد. کارایی الکتریکی سیستم خریداری شده حدود ۴۱ درصد و کارایی کل این سیستم در حدود ۸۲ درصد میباشد. ظرفیت تولید انرژی الکتریکی سیستم خریداری شده در شرایط سایت در حدود ۳۵۰۰ کیلو وات میباشد. از این مقدار حدود کمتر از ۱۰۰۰ کیلو وات در حال استفاده کامل (Full Load) از تجهیزات برقی برای ساختمان موجود در ساعات اداری در نظر گرفته شده است و الباقی ظرفیت تولید شده انرژی الکتریکی به شبکه سراسری برق انتقال خواهد یافت. بخصوص در بعد از ساعات اداری که دیماندر مصرفی در ساختمان مرکزی کاهش شدید می یابد، برق تولیدی به شبکه سراسری انتقال یافته که می تواند مقارن با پیک بار شبکه کمک موثری به تأمین برق در یکی از نقاط مرکزی و تجاری در شهر تهران باشد.



شکل شبیه سازی شده موتور ژنراتور گاز سوز نصب شده در ساختمان مرکزی وزارت نیرو در تهران

پیوست یک
لیست آدرس اینترنتی تولیدکنندگان

الف) تولیدکنندگان توربین گازی

| نام تولید کننده | آدرس اینترنتی |
|-----------------|---------------------------------|
| Generalelectric | www.gepower.com |
| Hitachi | www.power-hitachi.com |
| kawasaki | www.kawasakigasturbines.com/ |
| Rollsroyce | www.rolls-royce.com |
| Siemens | www.powergeneration.siemens.com |
| Solar | Mysolar.cat.com |

ب) تولیدکنندگان موتورهای پیستونی

| نام تولید کننده | آدرس اینترنتی |
|------------------|----------------------------|
| Caterpillar | www.cat.com |
| Cummins | www.Cumminspower.com |
| Daihatsu | www.dhtd.co.jp |
| Deutz | www.deutzpoersystems.com |
| Generalelectric | www.gepower.com |
| Guascor | www.guascor.com |
| Perkins | www.perkins.com |
| Peterbrotherhood | www.peterbrotherhood.co.uk |
| MAN | www.manbw.com |
| Mitsubishi | www.mhi.co.jp |

| | |
|--|----------|
| www.wartsila.com | Wartsila |
|--|----------|

ج) تولیدکنندگان میکروتوربین ها

| نام تولید کننده | آدرس اینترنتی |
|-----------------|--|
| Bowmen | www.bowmanpower.co.uk |
| Capstone | www.capstoneturbine.com |
| Ingersoll rand | energy.ingersollrand.com |

پیوست دو

مجموعه قوانین ، دستورالعمل ها ، آیین نامه ها و مقررات مربوطه

- ۱- قانون اجرای سیاستهای کلی اصل چهل و چهار قانون اساسی به شماره ۶۸۰/۲۵۲۷۴ مورخ ۸۷/۴/۳۱ مجلس شورای اسلامی
- ۲- بند " الف " ماده ۵ قانون برنامه چهارم توسعه کشور در خصوص الزام دستگاههای دولتی برای ارتقاء بهره وری کل عوامل تولید و رساندن سهم آن به رشد تولید ناخالص داخلی به رقم حداقل ۳۱/۳ درصد
- ۳- ماده ۶ قانون برنامه چهارم که دولت را ملزم به تداوم برنامه خصوصی سازی و توانمند نمودن بخش غیردولتی در راستای توسعه کشور نموده است.
- ۴- بند "ب" ماده ۲۵ قانون برنامه چهارم توسعه کشور در مورد تکلیف دولت برای ترغیب مؤسسات داخلی برای تولید برق از طریق نیروگاههای بخش خصوصی
- ۵- آیین نامه اجرایی بند "ب" تبصره (۴) قانون بودجه ۱۳۸۶ کل کشور در خصوص فراهم نمودن زمینه و بستر سازی به منظور تشویق بخش خصوصی برای احداث نیروگاه
- ۶- آیین نامه اجرایی شرایط و تضمین خرید برق موضوع بند "ب" ماده (۲۵) قانون برنامه چهارم
- ۷- دستورالعمل توسعه ی مولد مقیاس کوچک مورخ ۸۷/۷/۳۰ معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو
- ۸- ابلاغ تعیین شرایط و روش خرید و فروش برق در شبکه برق کشور به شماره ۳۲۲۵۱/۲۰/۱۰۰ مورخ ۸۴/۵/۲۵ از سوی وزیر نیرو
- ۹- ابلاغ اساسنامه شرکتهای توزیع نیروی برق به شماره ۳۲۶۲۳/۳۰/۱۰۰ مورخ ۸۶/۵/۱۴ وزیر نیرو

بیوست سوم

تحلیل حساسیت نسبت به سائز و هزینه سرمایه گذاری و قیمت سوخت

$$\eta_E = \eta_e / (I - \eta_i \times \mu)$$

بازده الکتریکی موثر:

که با فرض استفاده کامل توانیر از حرارت بازیافتی ($\mu=1$) و بازدهی الکتریکی $\eta_e = 40\%$ برای مولد، برای بازدهی های حرارتی (η_i) ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد بازده الکتریکی موثر به ترتیب برابر 50٪، ۵۷،۱۱۴۲٪ و ۶۶،۶۷٪ خواهد بود.

بازده متوسط نیروگاههای حرارتی برابر $\eta_{ave} = 0.372$ و ارزش حرارتی گاز طبیعی برابر $HV_g = 8905 \text{ kCal/m}^3$ میباشد. داریم:

که برابر ۱۷۱،۵۲۹۶ است.

با فرض تلفات شبکه برق از محل مصرف تا تحویل به شبکه برابر $L = 3\%$:

$$\eta_{eff} = \left\{ \frac{100}{\eta_{ave}(1-L)} - \frac{100}{\eta_e} \right\} \times \left(\frac{100}{HV_g} \right)$$

به ترتیب برابر 0.074489، 0.098633 و 0.122777 (مترمکعب به ازای یک کیلووات ساعت برق تولیدی) برای بازدهی های حرارتی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد می باشد.

(نرخ آزاد گاز طبیعی) × (میزان سوخت گاز صرفه جویی شده به ازای یک کیلووات ساعت برق تولیدی) = تعدیل ناشی از بازده الکتریکی موثر

که برای بازدهی های حرارتی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد به ترتیب برابر 51.39766، 68.05684 و 84.71602 (ریال بر کیلووات ساعت) خواهد بود.

با اعمال متوسط بهای خدمات انتقال برابر ۳۴،۷۱ (ریال بر کیلووات ساعت) داریم:

تعدیل ناشی از بازده الکتریکی موثر + متوسط بهای خدمات انتقال + (متوسط نرخ تبدیل انرژی) = متوسط نرخ تبدیل انرژی

به ترتیب برابر ۲۲۸،۲۶، ۲۴۴،۹۲ و ۲۶۸،۵۱ (ریال بر کیلووات ساعت) برای بازدهی های حرارتی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد میباشد.

متوسط بهای خدمات انتقال + (متوسط نرخ تولید انرژی + مابه التفاوت نرخ گاز معادل) = متوسط نرخ تولید انرژی

برابر ۳۹۲،۵۷ (ریال بر کیلووات ساعت) خواهد بود.

ضریب تعدیل نرخهای مندرج در قراردادهای بلند مدت عبارتست از:

$$\times \left(\frac{CPI}{CPI} \right)^a \text{ در ابتدای سال عقد قرار } / \text{ در ابتدای سال پرداخت } = \text{ضریب تعدیل نرخها}$$

$$\div (1.02)^b \text{ (متوسط نرخ تسعیر ارز/یورو) در یکماهه قبل از موعد پرداخت / متوسط نرخ تسعیر ارز/یورو) در یکماهه قبل از موعد پرداخت (}$$

که در آن ضریب a بین ۰،۲۵ تا ۰،۷۵ و ضریب b برابر است با سال پرداخت منهای سال عقد قرارداد.

با در نظر گرفتن قرارداد پنج ساله ($b=5$)، $a=0.5$ ، CPI شروع قرارداد برابر ۱۹۰،۲، نرخ تورم ۱۸ درصد، نرخ تسعیر یورو درسال شروع برابر ۱۲۷۹۳ و در سالهای بعد برابر ۱۳۵۰۰، ضریب تعدیل برای سالهای اول تا پنجم به ترتیب برابر 1.03844902، 1.105925858، 1.177787239 و 1.254318063 و 1.335821744 خواهد بود.

پیوست چهار



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو

شماره: ۱۰۵۱۹/۳۰۱
تاریخ: ۸۷/۷/۲۹
پیوست:

دفتر وزیر

بسمه تعالی

جناب آقای مهندس نوذری
وزیر محترم نفت

باسلام،

همانگونه که مستحضرید ادامه روند فعلی مصرف و چشم انداز انرژی در آینده حاکی از کمبود انرژی در کشور می باشد و ضروری است که برای استفاده بهینه از منابع سوخت، تدابیر جدی اندیشید. بدین منظور نامه ای به شماره ۵۱۲۸۸/۳۵۰ مورخ ۸۷/۵/۲۹ از سوی معاونت امور برق و انرژی این وزارت به معاونت امور برنامه ریزی و نظارت بر منابع هیدروکربوری آن وزارتخانه جهت حمایت از ترویج و توسعه واحدهای تولید همزمان پراکنده برق و حرارت در کشور ارسال گردید. هدف از این درخواست افزایش بازده تولید انرژی از احتراق سوخت تا بازده کلی ۷۵ تا ۹۰ درصد بوده که در نتیجه آن در مصرف سوخت این واحدها در مقایسه با واحدهای جداگانه گرما و برق صرفه جویی بسیار قابل ملاحظه ای صورت خواهد پذیرفت. از آنجائی که مطابق ماده ۹ قانون اصلاح بعضی مواد قانون برنامه چهارم و سیاستهای اصل ۴۴، قیمت فروش سوخت به واحدهای خصوصی تولید انرژی همچون تولید همزمان پراکنده برق و حرارت می بایستی برابر قیمت فروش سوخت به نیروگاه های دولتی باشد و همچنین بکارگیری این واحدها تاثیر گسترده ای در کاهش تقاضای سوخت با توجه به افزایش بازده تولید انرژی در بر خواهد داشت، خواهشمند است دستور فرمایید تا اقدامات لازم درخصوص تضمین تأمین سوخت این واحدها با نرخ سوخت نیروگاهی و علاوه بر آن لحاظ تخفیف ۲۰ درصدی نرخ مذکور جهت واحدهای همزمان پراکنده برق و حرارت صورت پذیرد که موجب امتنان خواهد بود.

سید پرویز فتاح

وزیر نیرو

رونوشت:

- معاونت امور برق و انرژی برای پیگیری.
- دفتر وزارتی و ارتباطات مردمی.

مراجع:

- ۱- شرکت توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ۱۳۸۶.
- ۲- اطلاعات قیمت سوخت سال ۱۳۸۷ اعلامی توسط شرکت توانیر.
- ۳- سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (www.cbi.ir)
- ۴- وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۵.
- 5- Dieter Dueblin and Angelika Steinhauser, "Utilization of biogas for the generation of electric power and heat" WILEY-VHC 2008
- 6- D. W. Wu, R.Z. Wang, "Combined cooling, heating and power: A review " , Elsevier Ltd 2006
- 7- Electricity and Energy Reliability (http://www.eere.energy.gov/de/conf-05_chp_roadmap_wkshp.html)
- 8- Environmental Protection Agency, " Technology Characterization: Reciprocating Engines " 2008 (<http://www.epa.gov/chp/basic/catalog.html>)
- 9- Environmental Protection Agency, " Technology Characterization: Gas Turbines" 2008
- 10- <http://energy.ca.gov/distgen/equipment/chp/cost.html>