



عنوان:

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

مشاور:

دانشگاه صنعتی شریف

فروردین 1390

آدرس: تهران - خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف - معاونت پژوهش و فناوری

تلفن: 66005618 و 66164026 فکس: 66016516

www.research.sharif.ir



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



خلاصه طرح

نام محصول		سیستم های تولید همزمان برق و حرارت
موارد کاربرد		واحدهایی که به طور همزمان به حرارت و برق نیاز دارند
ظرفیت پیشنهادی طرح	(کیلو وات)	22500
عمده مواد اولیه مصرفی		میکروتوربین، تجهیزات حرارتی، کمپرسور، تجهیزات جانبی الکتریکی
میزان مصرف سالیانه مواد اولیه	(تن)	---
کمبود محصول در سال 1390	(تن)	
اشتغال زایی	(نفر)	16
سرمایه گذاری ثابت طرح	ارزی (یورو)	---
	ریالی (میلیون ریال)	16633
	مجموع (میلیون ریال)	16633
سرمایه در گردش طرح	ارزی (دلار)	---
	ریالی (میلیون ریال)	6625
	مجموع (میلیون ریال)	6625
زمین مورد نیاز		3000 (متر مربع)
زیربنا	تولیدی (متر مربع)	2000
	انبار (متر مربع)	500
	خدماتی (متر مربع)	500
مصرف سالیانه آب، برق و سوخت	آب (متر مکعب)	292
	برق (کیلو وات ساعت)	525600
	گازوئیل (لیتر)	---
	گاز (مترمکعب)	292000
محل های پیشنهادی برای احداث واحد صنعتی		تهران و البرز، خراسان، اصفهان، مرکزی، قزوین و گیلان

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (1)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



فهرست مطالب

صفحه	عناوین
4	1- معرفی محصول.....
7	1-1 نام و کد آیسیک محصول.....
7	1-2 شماره تعرفه گمرکی.....
8	1-3 شرایط واردات.....
8	1-4 بررسی و ارائه استاندارد.....
8	1-5 بررسی و ارائه اطلاعات لازم در زمینه قیمت تولید داخلی و جهانی محصول.....
9	1-6 توضیح موارد مصرف و کاربرد.....
13	1-7 بررسی کالاهای جایگزینی و تجزیه و تحلیل اثرات آن بر مصرف محصول.....
14	1-8 اهمیت استراتژیکی کالا در دنیای امروز.....
16	1-9 کشورهای عمده تولید کننده و مصرف کننده محصول.....
19	1-10 شرایط صادرات.....
19	2- وضعیت عرضه و تقاضا.....
19	2-1 بررسی ظرفیت بهره‌برداری و روند تولید از آغاز برنامه سوم تا کنون و محل واحدها و تعداد آنها و سطح تکنولوژی واحدهای موجود، ظرفیت اسمی، ظرفیت عملی، علل عدم بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌ها، نام کشورها و شرکت‌های سازنده ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید محصول.....
20	2-2 بررسی وضعیت طرح‌های جدید و طرح‌های توسعه در دست اجرا (از نظر تعداد، ظرفیت، محل اجراء، میزان پیشرفت فیزیکی و سطح تکنولوژی آنها و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده اعم از ارزی و ریالی و مابقی مورد نیاز).....
20	2-3 بررسی روند واردات محصول در طی پنج سال گذشته.....
34	2-4 بررسی روند مصرف در طی پنج سال گذشته.....
37	2-5 بررسی روند صادرات محصول در طی پنج سال گذشته و امکان توسعه آن.....
40	2-6 بررسی نیاز به محصول با اولویت صادرات تا پایان برنامه چهارم.....



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شهر صنعتی گلشن
شرکت

صفحه	عناوین
41	3- بررسی اجمالی تکنولوژی و روش‌های تولید و عرضه محصول در کشور و مقایسه آن با دیگر کشورها.....
47	4- تعیین نقاط قوت و ضعف تکنولوژی‌های مرسوم در فرآیند تولید محصول....
52	5- بررسی و تعیین حداقل ظرفیت اقتصادی شامل برآورد حجم سرمایه‌گذاری ثابت به تفکیک ریالی و ارزی (با استفاده از اطلاعات واحدهای موجود، در دست اجراء، UNIDO و اینترنت و بانک‌های اطلاعاتی جهانی، شرکت‌های فروشنده تکنولوژی و تجهیزات و ...).....
65	6- میزان مواد اولیه عمده مورد نیاز سالانه و محل تأمین آن از خارج یا داخل کشور قیمت ارزی و ریالی آن و بررسی تحولات اساسی در روند تأمین اقلام عمده مورد نیاز در گذشته و آینده.....
66	7- پیشنهاد منطقه مناسب برای اجرای طرح.....
67	8- وضعیت تأمین نیروی انسانی و تعداد اشتغال.....
67	9- بررسی و تعیین میزان تأمین آب، برق، سوخت، امکانات مخابراتی و ارتباطی (راه - راه‌آهن - فرودگاه - بندر ...) و چگونگی امکان تأمین آنها در منطقه مناسب برای اجرای طرح.....
68	10- وضعیت حمایت‌های اقتصادی و بازرگانی.....
68	11- تجزیه و تحلیل و ارائه جمع‌بندی و پیشنهاد نهایی در مورد احداث واحدهای جدید.....
69	12- منابع و مآخذ.....



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



1- معرفی محصول

سیستم‌های تولید همزمان شامل چندین دستگاه عمده و بسیاری اجزاء کوچکتر می‌باشند. این دستگاه‌ها عبارتند از:

- محرک‌های اولیه
- تجهیزات الکتریکی
- دستگاه‌های بازیابی حرارت
- چیلرهای جذبی

محرک‌های اولیه شامل دستگاه‌هایی هستند که انرژی سوخت را به قدرت محور چرخنده تبدیل کرده تا ژنراتورهای برقی را به حرکت درآورند.

محرک‌های اولیه که غالباً در سیستم‌های تولید همزمان استفاده می‌شوند عبارتند از: توربین‌های بخاری، توربین‌های گازی و موتورهای رفت و برگشتی. تفاوت عمده بین محرک‌های اولیه (الف) ابتدا در سوخت‌هایی است که آنها استفاده می‌کنند، و دیگر اینکه (ب) در فرآیند احتراق آنها و راندمان حرارت کلی، نوع، مقدار و درجه حرارت انرژی دفع شده می‌باشد.

سیستم‌های CHP در سه دسته کلی بر اساس نوع محرک اولیه آن تقسیم‌بندی می‌شوند که هر دسته شامل مجموعه‌هایی می‌باشد.

- سیلندر پیستونی
- توربینی
- پیل سوختی

در جدول (1) اطلاعات جامعی از انواع سیستم‌های CHP آورده شده است.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (4)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



جدول (1): انواع سیستم های مختلف CHP

سیستم CHP	مزایا	معایب	ابعاد موجود
توربین گازی	اعتمادپذیری بالا آلایندگی پایین در دسترس بودن حرارت بالا عدم نیاز به سیستم خنک- کنندگی	نیاز به گاز با فشار بالا و یا کمپرسور در ورودی گاز دارد در بارگذاری کم بازدهی خیلی پایینی دارد با افزایش دمای محیط توان خروجی کم می شود	500 کیلووات تا 40 مگاوات
میکروتوربین گازی	قطعات متحرک کمتر ابعاد کوچک و وزن کم آلایندگی پایین عدم نیاز به سیستم خنک- کنندگی	هزینه بالا بازدهی مکانیکی نسبتا پایین محدود به کاربردهای تولید همزمان با دمای پایین می باشد	30 تا 350 کیلووات
موتورهای رفت و برگشتی جرقه ای	بازده بالا همراه با انعطاف پذیری در شرایط عملیاتی بارگذاری جزئی راه اندازی سریع هزینه سرمایه گذاری نسبتا پایین	هزینه تعمیر و نگهداری بالا محدود به کاربردهای تولید همزمان با دمای پایین می باشد آلایندگی نسبتا بالا نیاز به خنک کردن دارد حتی اگر سیستم بازیافت حرارت استفاده نشود	کمتر از 5 مگاوات
موتورهای رفت و برگشتی احتراق فشرده/ گازوئیلی	امکان اورهال در خود سایت با اپراتورهای معمولی کار کردن با گاز فشار پایین	نیاز به خنک کردن دارد حتی اگر سیستم بازیافت حرارت استفاده نشود میزان بالایی نویز با فرکانس پایین تولید می کند	دور بالا (rpm) 1200 (کمتر از 4 مگاوات دور پایین (rpm) 60 تا 275 (کمتر از 65 مگاوات
توربین بخار	بازدهی کلی بالا امکان استفاده از هر نوع سوختی اعتمادپذیری بالا و طول عمر مفید زیاد نسبت توان حرارتی به الکتریکی متغیر است	راه اندازی کند نسبت پایین توان الکتریکی به حرارت	50 کیلووات تا 250 مگاوات
پیل های سوختی	آلایندگی و نویز پایین بازدهی بالا در تمام شرایط بارگذاری طراحی مطابق با مقیاس مورد نظر	هزینه بالا تراکم توان و دوام پایین سوخت نیاز به پردازش دارد به جز مواردی که از هیدروژن خالص استفاده می شود	200 تا 250 کیلووات



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



در کاربردهای تولید همزمان، یک پارامتر عمده برای هر یک از محرک‌های اولیه، نسبت مربوط به نرخ انرژی حرارتی تأمین و توان الکتریکی خروجی می‌باشد. این نسبت به نسبت حرارت به توان الکتریکی معروف است و بدون بعد (KW/KW یا $Btu/hr/Btu/hr$) می‌باشد. مشخص بودن مقدار نسبت حرارت به توان الکتریکی در انتخاب نوع مناسب محرک اولیه برای یک کاربرد خاص مهم می‌باشد.

تجهیزات الکتریکی برای سیستم‌های تولید همزمان شامل ژنراتورها، ترانسفورمرها، تجهیزات سوئیچینگ، مدار شکن‌ها ($Circuit Breakers$)، رله‌ها، کنتورها، کنترل‌ها، خطوط انتقال و دیگر تجهیزات وابسته می‌باشد.

علاوه بر تجهیزاتی که در تولید توان الکتریکی برقی مورد نیاز است، سیستم‌های تولید همزمان ممکن است نیاز به تجهیزاتی برای اتصال به سیستم شبکه داشته باشند تا برای بهره‌برداری اضطراری و نیز فروش نیروی برق به شبکه، مورد استفاده قرار بگیرد.

تجهیزات بازیابی حرارت اولیه که در سیستم‌های تولید همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، انواع تجهیزات تولید کننده بخار و آب گرم را شامل می‌شود. به علاوه چیلرهای جذبی را نیز در این قسمت می‌توان در نظر گرفت. چندین نوع از تجهیزات بازیابی حرارت وجود دارد. همانطور که قبلاً توضیح داده شد این تجهیزات را می‌توان به نام تجهیزات تولید بخار از حرارت بازیابی شده یا " $HRSG$ " ($Heat Recovery Steam Generation$) نامید. تجهیزات مزبور غالباً به چند دسته تقسیم می‌شوند:

- بدون احتراق ($Unfired$)
- احتراق جزئی ($Partially Fired$)
- احتراق کامل ($Fully Fired$)

یک سیستم $HRSG$ بدون احتراق همانند یک مبدل حرارتی کنوکسیون می‌باشد.

یک سیستم $HRSG$ با احتراق جزئی از یک کانال احتراق تشکیل شده که غالباً برای افزایش درجه حرارت گاز خروجی از یک مشعل گاز در بالادست $HRSG$ استفاده می‌شود.

یک سیستم $HRSG$ با احتراق کامل اساساً یک بویلر است که در آن از گاز خروجی بصورت هوای پیش‌گرم استفاده می‌کنند.

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (6)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



در اکثر این تجهیزات، گاز خروجی از دستگاه عبور کرده و از بالای دستگاه خارج می‌شود. انرژی گاز خروجی برای گرم کردن و تبخیر آب و سوپرهیت کردن بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1-1 نام و کد آیسیک محصول

متداول‌ترین طبقه‌بندی و دسته‌بندی در فعالیت‌های اقتصادی همان تقسیم‌بندی آیسیک است. تقسیم‌بندی آیسیک طبق تعریف عبارت است از: طبقه‌بندی و دسته‌بندی استاندارد بین‌المللی فعالیت‌های اقتصادی. این دسته‌بندی با توجه به نوع صنعت و محصول تولید شده به هریک کدهایی دو، چهار و هشت رقمی اختصاص داده می‌شود. محصول این مطالعه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی می‌باشد. کد آیسیک 3 در جدول (1) ارائه شده است.

جدول (1): کد آیسیک 3 محصول

ردیف	شرح محصول	کد محصول
1	توربین گازی	29111230
2	توربین گازی نیروگاهی	29111231
3	قطعات توربین	29111280

1-2 شماره تعرفه گمرکی

در داد و ستدهای بین‌المللی جهت کدبندی کالا در امر صادرات و واردات و مبادلات تجاری و همچنین تعیین حقوق گمرکی و غیره از دو نوع طبقه‌بندی استفاده می‌شود که عبارت است از طبقه‌بندی و نامگذاری براساس بروکسل و طبقه‌بندی مرکز استاندارد و تجارت بین‌المللی. بر همین اساس در مبادلات بازرگانی خارجی ایران طبقه‌بندی بروکسل جهت طبقه‌بندی کالاها استفاده می‌شود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (7)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است. در کتاب "آمار صادرات و واردات گمرک جمهوری اسلامی ایران" کد تعرفه گمرکی برای توربین‌های گازی با قدرت حداکثر 5000 کیلووات، 84118100 و برای اجزا و قطعات توربین گازی 84119900 می‌باشد.

3-1- شرایط واردات

طبق اطلاعات موجود در کتاب "آمار صادرات و واردات گمرک جمهوری اسلامی ایران"، حقوق ورودی توربین‌های گازی با قدرت حداکثر 5000 کیلووات، 4 می‌باشد.

4-1- بررسی و ارائه استاندارد

استاندارد بین‌المللی برای توربین‌های گازی، ISO 3977 می‌باشد. این استاندارد یک استاندارد بین‌المللی می‌باشد که در برگیرنده طراحی و خرید سیستم توربین گازی می‌باشد. استاندارد محیطی طراحی هر سیستم توربین گازی دمای 15 درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی 60 درصد و ارتفاع برابر سطح دریا می‌باشد. استاندارد به 9 زیربخش تقسیم شده است و خرید، الزامات طراحی، نصب و اطمینان‌پذیری سیستم را پوشش می‌دهد.

5-1- بررسی و ارائه اطلاعات لازم در زمینه قیمت تولید داخلی و جهانی محصول

گستره هزینه سرمایه‌گذاری میکروتوربین‌ها از $700\$/kW$ برای واحدهای بزرگ تا $1100\$/kW$ برای واحدهای کوچکتر می‌باشد. این هزینه شامل نرم‌افزار، سخت‌افزار و آموزش‌های اولیه می‌باشد. با اضافه کردن یک سیستم بازیافت گرما، $350\$/kW$ - 75 هزینه نیز اضافه می‌شود. هزینه‌های آماده‌سازی جایگاه و نصب تأسیسات معمولاً 30 الی 70 درصد به هزینه سرمایه‌گذاری کلی اضافه می‌کنند. سازندگان میکروتوربین‌ها در نظر دارند که هزینه سرمایه‌گذاری میکروتوربین‌ها را تا زیر $650\$/kW$ کاهش دهند. به نظر می‌رسد این امر با توسعه بازار و افزایش میزان فروش امکان‌پذیر باشد.

به دلیل قطعات متحرک کمتر، تولیدکنندگان میکروتوربین‌ها امیدوارند که واحدهای خود را به قابلیت اطمینان بالاتر و نیاز کمتر به تعمیرات نسبت به سیستم‌های موجود تولید برق محلی ارتقا دهند. اکثر

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (8)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



سازندگان در نظر دارند که فواصل زمانی تعمیرات را به 5000-8000 ساعت کاری برسانند. فواصل زمانی و هزینه‌های تعمیرات واقعی برای میکروتوربین‌های کامل کمتر از میکروتوربین‌های شناخته شده است. در ضمن هزینه‌های آینده‌نگری (Forecasts) کیلووات از \$ 0/016 - 0/005 است، که در مقایسه با هزینه مربوط به سیستم‌های موتور رفت و برگشتی کوچک است.

6-1- توضیح موارد مصرف و کاربرد

در واحدهایی که به طور همزمان به حرارت و توان نیاز دارند، پتانسیل ایجاد تولید همزمان وجود دارد. البته در صورتی که سیستم مصرف انرژی دارای خصوصیتی باشد که در زیر به آنها اشاره شده است، صرفه-جویی قابل توجهی در هزینه انرژی بدست می‌آید و سیستم تولید همزمان جذاب‌تر و مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

مشخصات یک سیستم ایده‌آل برای نصب و اجرای تولید همزمان:

- 0 نیاز حتمی به توان الکتریکی
 - 0 افزونی موارد استفاده از انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی
 - 0 الگوهای بار پایدار و ثابت انرژی الکتریکی و حرارتی
 - 0 طولانی بودن ساعات بهره‌برداری فرآیند
 - 0 قیمت بالای برق شبکه یا عدم دسترسی به شبکه
- انرژی حرارتی تولیدی در سیستم تولید همزمان در موارد زیر قابل استفاده می‌باشد:
- خشک کردن، پیش گرم نمودن، تولید بخار فرآیند، محرک تجهیزات بازیافت حرارت و تولید آب سرد، آب گرم، سیال داغ و غیره.

بعضی از دامنه‌های کاربرد کاملاً مؤثر سیستم تولید همزمان عبارتند از:

الف- تولید همزمان در *Utility*

0 سرمایش و گرمایش منطقه‌ای

ب- تولید همزمان در صنعت

0 صنایع غذایی

0 صنایع داروسازی

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (9)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



0 صنایع کاغذ و مقوا

0 پالایشگاه و پتروشیمی

0 صنایع نساجی

0 صنایع فولاد

0 صنایع سیمان

0 صنعت شیشه

0 صنعت سرامیک

ج- تولید همزمان در مؤسسات خانگی و تجاری

0 بیمارستان

0 دانشگاه

0 هتل

0 مجتمع‌های تجاری

0 مجتمع‌های رفاهی

0 مجتمع‌های ورزشی

موارد فوق‌الذکر در جدول (2) به طور طبقه‌بندی شده نشان داده شده است.

دانشتن نیاز واقعی واحد مصرف‌کننده به برق و حرارت در انتخاب درست اندازه *CHP* و نحوه استفاده از آن تأثیر فراوانی دارد. یک سیستم مطلوب به گونه‌ای است که حداقل 4500 ساعت در سال فعال باشد و تا جایی که ممکن است روشن بودن آن مداوم باشد و پی در پی قطع و وصل نشود. این انتخاب اندازه *CHP* به گونه‌ای است که عدم رعایت آن هزینه‌های مضاعفی را چه برای خرید دستگاه و چه برای تعمیر و نگهداری بر کاربر تحمیل می‌کند.

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (10)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



جدول (2): مواردی از کاربرد سیستم CHP در صنعت و بخش‌های عمومی

بخش صنعت	
تولید آب شیرین، صنایع موتوری، صنایع آهن و فولاد، فرایندهای	صنایع سرامیک‌سازی، صنایع آجرسازی،
تولید مواد غذایی و مخمرسازی، صنایع سیمان، صنایع کاغذسازی و	صنایع نساجی، فرایندهای کانی و معدنی
تخته، صنایع داروسازی، فرایندهای چوبی	صنایع پالایش نفت، صنایع گلخانه‌ای و باغی
بخش عمومی	
بخش گرمایش و سرمایش ساختمان، هتل‌ها، بیمارستان‌ها،	زندان‌ها، سربازخانه‌ها و ایستگاه‌های پلیس
استخرهای شنا و مراکز تفریحی، دانشگاه‌ها و مدارس، فرودگاه‌ها	فروشگاه‌های بزرگ، ساختمان‌های اداری، خانه‌های مسکونی

معمولاً سیستم CHP به تنهایی کاربرد ندارد، یعنی برای تأمین تمام نیاز واحد تنها CHP در نظر گرفته نمی‌شود. از نظر تولید برق در زمان‌هایی از CHP استفاده می‌شود که هزینه برق تولیدی در مقایسه با برق خریداری شده از شبکه مقرون به صرفه باشد.

عمده دلایل استفاده از توربین‌های گازی در CHP

- اعتمادپذیری بالا در کارکرد مداوم
- دوگانه‌سوز بودن توربین‌ها: توربین‌ها دوگانه‌سوز بوده و می‌توانند با سوخت‌های گازوئیل و گاز، به تولید انرژی بپردازند.
- هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتر و زمان اورهال طولانی‌تر
- بهترین تطبیق برای ایجاد سیستم‌های تولید برق و حرارت (CHP)
- حجم و وزن کمتر
- اپراتوری ساده‌تر
- اعتمادپذیری بسیار بالا در اولین استارت
- قابلیت بالا در پذیرش تغییرات بار
- قابلیت پشتیبانی بارهای متغیر و بزرگ

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (11)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



- قابلیت کنترل دقیق ولتاژ و فرکانس
 - سهولت تست و بارگیری آزمایشی
 - قابلیت خنک شدن با هوا
 - آلودگی‌های بسیار کم آگزوز و بحث آلاینده‌گی زیست محیطی
 - هزینه‌های نصب و راه‌اندازی پایین
- هزینه جهانی اجرای طرح CHP با استفاده از توربین‌های گازی بین 700 الی 1200 دلار به ازای هر کیلووات است.

تعمیر و نگهداری

در ارتباط با تعمیرات، تجربه نشان داده که توربین‌ها نیاز به تعمیرات بسیار کمی دارند. به صورت کلی توربین‌های گازی به دلیل آنکه دارای قطعات مکانیکی و متحرک کمتری نسبت به موتورهای هستند، دارای زمان اورهال طولانی‌تری نسبت به موتورهای می‌باشند. آمارهای رسمی حاکی از آن است که هزینه تعمیر و نگهداری بر حسب کیلووات ساعت تولیدی، حداقل یک‌سوم موتورهای می‌باشد؛ ضمن آنکه موتورهای در دوره‌های 600 الی 1000 ساعته باید حتماً بازبینی شوند.

بازیابی حرارت اتلافی در توربین‌های گازی با فناوری CHP

راندمان توربین‌های گازی در صورت استفاده به صورت سیستم‌های CHP، 70 تا 90 درصد است. با استفاده از توربین‌های بخار و ایجاد نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، بازده الکتریکی خالص 42 تا 52 درصد خواهد بود. لازم به ذکر است امکان احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از توان 5 مگاوات به بالا و سیستم‌های CHP از 200 کیلووات به بالا وجود دارد.

حرارت بازیافت شده از آگزوز می‌تواند برای تهیه آب گرم و یا بخار پرفشار (30 bar) استفاده گردد. در مجموع با اجرای CHP روی آگزوز توربین گازی حدود 80 درصد از کل انرژی سوخت ورودی بازیافت می‌گردد. همچنین لازم به یادآوری می‌باشد که میکروتوربین‌ها مانند توربین‌ها در زمینه CHP مورد استفاده قرار می‌گیرند و تمامی موارد مطرح شده در بالا برای توربین‌ها، برای میکروتوربین‌ها نیز کاربرد دارد.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (12)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



7-1- بررسی کالاهای جایگزینی و تجزیه و تحلیل اثرات آن بر مصرف محصول

محرك‌های اولیه‌ای که می‌تواند به عنوان جایگزین میکروتوربین‌ها در سیستم‌های تولید همزمان استفاده شوند عبارتند از: موتورهای رفت و برگشتی دیزلی و گازسوز، تفاوت عمده بین محرك‌های اولیه (الف) ابتدا در سوخت‌هایی است که آنها استفاده می‌کنند، و دیگر اینکه (ب) در فرآیند احتراق آنها و راندمان حرارت کلی، نوع، مقدار و درجه حرارت انرژی دفع شده می‌باشد.

از موتورهای رفت و برگشتی دیزلی معمولاً برای تولید برق به صورت اضطراری استفاده می‌شود و کاربرد خاصی برای این موتورها در زمینه CHP نمی‌توان در نظر گرفت. در واقع رقیب اصلی میکروتوربین‌ها در زمینه CHP موتورهای گازی رفت و برگشتی می‌باشد. این موتورها در کشور شناخته شده‌تر از میکروتوربین‌ها برای تولید برق می‌باشند و بازار گسترده‌تری در حال حاضر نسبت به میکروتوربین‌ها دارند. دلیل این موضوع عدم وجود میکروتوربین تا سال‌های اخیر در ایران و راندمان الکتریکی بالای موتورها می‌باشد. با توجه به ارزشمند شدن انرژی در ایران، سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت که تا کنون نقش کمرنگی در کشور داشتند، نقش پررنگی پیدا می‌کنند و می‌توان با تبلیغات استفاده از سیستم‌های تولید همزمان بر پایه میکروتوربین گازی را گسترش داد. از مزایایی که میکروتوربین‌ها در سیستم تولید همزمان نسبت به موتورها دارند این است که:

- در استفاده از حرارت خروجی موتورها محدودیت‌هایی وجود دارد و نمی‌توان از تمام حرارت خروجی موتور با استفاده از یک تجهیز حرارتی استفاده نمود در حالیکه امکان بازیافت 80 درصد حرارت خروجی از میکروتوربین با استفاده از یک تجهیز حرارتی وجود دارد. در موتورها در صورتیکه از یک تجهیزات حرارتی استفاده شود امکان بازیافت 35 تا 50 درصد حرارت خروجی وجود دارد.

- حرارت خروجی از موتورها کم می‌باشد و امکان تولید بخار فشار بالا که متناسب با فرآیندهای موجود در صنایع باشد وجود ندارد و فقط می‌توان از آن برای تولید آب گرم و یا فشار بخار پایین برای استفاده در چیلرهای جذبی و برخی از فرآیندها استفاده نمود. در صورتیکه از حرارت خروجی از میکروتوربین می‌توان علاوه بر آب گرم و بخار فشار پایین، بخار فشار بالا نیز مناسب با نیاز صنعت تولید نمود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (13)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



1-8 اهمیت استراتژیکی کالا در دنیای امروز

از زمان تولد توربین‌های گازی امروزی در مقایسه با سایر تجهیزات تولید قدرت، زمان زیادی نمی‌گذرد. با این وجود امروزه این تجهیزات به عنوان سامانه‌های مهمی در امر تولید قدرت مکانیکی مطرح می‌باشند. از تولید انرژی برق گرفته تا پرواز هواپیماهای مافوق صوت همگی مرهون استفاده از این وسیله سودمند می‌باشند. ظهور توربین‌های گازی باعث پیشرفت زیادی در رشته‌های مهندسی مکانیک، متالورژی و سایر علوم مربوطه گشته است. بطوری که پیدایش سوپرآلیاژهای پایه نیکل و تیتانیوم به خاطر استفاده آنها در ساخت پره‌های ثابت و متحرک توربین‌ها که دماهای بالایی در حدود 1500 درجه سانتیگراد و یا بیشتر را متحمل می‌شوند، از سرعت بیشتری برخوردار شد. به همین خاطر امروزه به تکنولوژی توربین‌های گازی تکنولوژی مادر گفته می‌شود و کشوری که بتواند توربین‌های گازی را طراحی کند و بسازد، هر چیز دیگری را هم می‌تواند تولید کند.

در تولید پراکنده و نیز سیستم‌های CHP توربین‌ها حاکم بلامنازع نیروگاه‌های نصب شده می‌باشند. کما اینکه بنا بر آمار بانک اطلاعاتی CHP های نصب شده در آمریکا، توربین‌های گازی، سیکل ترکیبی و توربین‌های بخار 98 درصد از ظرفیت توان CHP نصب شده در آمریکا را تشکیل می‌دهند و موتورهای گازی تنها 2 درصد از این ظرفیت را تشکیل می‌دهند.

اهمیت استراتژیک توسعه سیستم تولید پراکنده برق و بالتبع سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت را می‌توان در مواردی از قبیل پدافند غیرعامل، بهره‌وری انرژی، حفظ منابع انرژی، توسعه زیرساخت‌های اصولی، صرفه‌جویی در هزینه‌ها، توسعه‌های پایدار و ... دانست. در واقع با احداث نیروگاه‌های کوچک می‌توان اطمینان‌پذیری و اعتمادپذیری را افزایش داد و در عین حال بسیاری از هزینه‌ها و تلفات را کاهش داد. استفاده از سیستم تولید همزمان علاوه بر موارد فوق‌الذکر، باعث افزایش بهره‌وری انرژی و حفظ منابع انرژی نیز می‌گردد. نقش احداث مولدهای مقیاس کوچک را در توسعه و افزایش پایدار شبکه و همچنین افزایش قدرت پدافند غیرعامل نمی‌توان انکار نمود. در شرایط بحرانی و اضطراری در صورتیکه استفاده از مولدهای مقیاس کوچک در کشور توسعه یافته باشد، مدیریت بحران به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد.

در زیر توضیحاتی درباره موارد بیان شده در بالا ارائه می‌شود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (14)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



1. افزایش قابلیت اطمینان بالا برای تولید الکتریسیته و سیستم‌های گرمایی هواساز و آب گرم: به گونه‌ای که با کاهش عوامل مؤثر مانند شبکه‌های انتقال و توزیع و نیروگاه‌های بزرگ، خطای این عوامل کمتر به مشترک منتقل می‌گردد و مشترک از خاموشی‌های ناخواسته، آزاد می‌شود. استفاده از مولدهای پراکنده برای تولید برق اضطراری مهمترین کاربرد برای مصرف‌کنندگان خاص مانند بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها و حتی هتل‌ها می‌باشد که برای آنها مسائل اقتصادی در مقابل مسائلی چون عدم قطعی برق، در درجه دوم اهمیت قرار دارد. این مولدها کیفیت توان را بهبود می‌بخشد و قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد. IEA تهیه توان قابل اطمینان را به عنوان مهمترین مزیت آینده‌ی بازار برق برای مولدهای پراکنده نام برده است. زیرا این مولدها از شبکه انتقال استفاده نمی‌کنند و بنابراین از حوادثی که در شبکه انتقال می‌تواند موجب قطع برق مشترک شود در امان هستند. چنانچه این واحدها مستقیماً به مشترک وصل شده باشند در صورت قطع برق شبکه توزیع نیز می‌توانند برق مشترک را به صورت جزیره‌ای تأمین نمایند.

2. افزایش راندمان تولید انرژی: در نیروگاه‌های کوچک، بازیافت حرارت و استفاده از آن در تولید آب گرم و یا استفاده از چیلرهای جذبی در تولید آب سرد، بخار و ... امکان‌پذیر می‌گردد که این موضوع راندمان انرژی را تا 85 درصد افزایش می‌دهد. افزایش قابل توجه راندمان در کشورهایی که انرژی (برق و سوخت) دارای قیمت واقعی می‌باشد، انگیزه‌ای بسیار قوی برای استقرار واحدهای تولید پراکنده در محل مصرف می‌باشد. اضافه کردن مبدل حرارتی به واحد مولد برق قیمت مجموعه را بالا می‌برد اما در عوض همراه با هر کیلووات انرژی الکتریکی تولیدی حدود دو کیلووات انرژی حرارتی برای مصارف گرمایشی و سرمایشی برداشت می‌شود و این خود هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و نیز هزینه سوخت و نگهداری واحدهای سنتی تأسیسات حرارتی و تهویه مطبوع را کاهش می‌دهد. ضمناً همراه با گازهای خروجی از میکروتوربین‌ها، مقداری گاز CO_2 به محیط زیست آزاد می‌شود که می‌توان به صورت مستقیم وارد گلخانه‌ها کرده و از گاز تولیدی توسط این مولدها نیز استفاده نمود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (15)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



3. کاهش حجم سرمایه ی مورد نیاز برای تولید انرژی الکتریکی: با کوچک شدن ظرفیت تولید انرژی الکتریکی، میزان سرمایه ی مورد نیاز نیز به میزان قابل توجهی کاهش می یابد و امکان تأمین مالی آن افزایش می یابد.
4. کاهش هزینه های سرمایه گذاری بر روی شبکه های انتقال و توزیع: با تولید انرژی در محل، نیاز به ایجاد شبکه های انتقال و توزیع و سرمایه گذاری بر روی آن کاهش می یابد. کاهش این هزینه ها می تواند منافع قابل توجهی برای شرکت های برق منطقه ای و شرکت توزیع به وجود آورد.
5. کاهش تلفات انرژی الکتریکی: با حذف شبکه های انتقال و توزیع و عدم نیاز به استفاده از این سبترها، تلفات انرژی الکتریکی حاصل از این شبکه ها از بین می رود. این تلفات نزدیک به 20 درصد کل انرژی تولیدی را در بر می گیرد که میزان بسیار قابل توجهی است و با ایجاد این سیستم ها، انرژی الکتریکی بدون نیاز به شبکه ی واسطه، به مصرف کننده منتقل می گردد.

1-9- کشورهای عمده تولید کننده و مصرف کننده محصول

فهرست بعضی از شرکت های سازنده و فروشنده میکروتوربین به شرح زیر می باشد:

Honeywell from USA

GE Power system from USA

Bowman Power Systems from United Kingdom (UK)

Capstone Turbine Corporation from USA

Elliott Energy Systems from USA and Japan

Ingersoll-Rand Energy Systems of Portsmouth from USA

Turbec AB from Italy

در میان شرکت *Capstone* دارای شهرت فراوانی در زمینه تولید میکروتوربین ها و سیستم تولید همزمان برق و حرارت می باشد که در زیر به دو نمونه از نمونه های اجرا شده توسط این شرکت اشاره می شود.

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (16)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



روستای ماس الیزابت تاون در ایالت پنسیلوانیا

در سال 2002 مقامات رسمی روستای ماس در ایالت پنسیلوانیا که به شدت از سیستم ناکارآمد و آلاینده‌ی تولید بخار با استفاده از سوخت زغال‌سنگ به تنگ آمده بودند، روی به تکنولوژی جدیدی آوردند تا نیازهای حرارتی و الکتریکی خود را تأمین کنند.

این تکنولوژی عبارت بود از نصب و بهره‌برداری از 5 میکروتوربین گازی که پستون با آلاینده‌ی پایین مدل C60 که 300 کیلووات توان الکتریکی را تأمین می‌کرد.

محاسبات انجام شده نشان داده است که روستای ماس 47 درصد افزایش در حرارت بازیافت‌شده داشته و به راندمان کل تقریبی 83 درصد دست یافته است. وقتی این نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت با نمونه‌ی نیروگاه زغال سنگ‌سوز محلی که به مدت 90 سال در روستای ماس استفاده می‌شد مقایسه می‌شود، این نتیجه به وضوح دیده می‌شود که آلاینده‌ی ناشی از کارکرد میکروتوربین‌ها به قدری پایین می‌باشد که گویی 642 ماشین را از جاده‌ها خارج نموده‌اند و یا اینکه حدود 1000 هکتار جنگل در هر سال کاشته شده است.



شکل (1): روستای ماس با مساحت 567 هکتار و جمعیت 1737 نفر

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (17)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



مناطق مسکونی در شمال سنت پترزبورگ روسیه

نمونه‌ای دیگر نیروگاه تولید پراکنده که به وسیله‌ای این میکروتوربین‌ها در یک منطقه‌ای مسکونی در شمال سنت پترزبورگ روسیه نصب شده، یک نیروگاه $2/3$ مگاواتی است که متشکل از 30 میکروتوربین مدل C60 و هشت میکروتوربین مدل C65 می‌باشد.

تکنولوژی به کار رفته در این نیروگاه تولید پراکنده به این صورت می‌باشد:

1. 30 میکروتوربین مدل C60 و هشت میکروتوربین مدل C65 به کاررفته در نیروگاه، تمامی توان مورد نیاز منطقه سورت در روسیه را تأمین می‌نماید و علاوه بر آن انرژی حرارتی خروجی از میکروتوربین‌ها ساختمان‌ها را گرم نموده و آب گرم را در قالب طرح تولید همزمان برق و حرارت فراهم می‌کند.
2. سیستم از یک مبدل حرارتی ساخت روسیه بهره می‌برد.



شکل (2): سی و هشت میکروتوربین کپستون روشنایی منطقه اسکی رسورت، مرکز ورزشی ای‌گورا در روسیه و 54 کیلومتر از نزدیک‌ترین خط برق را به همراه تمام نیاز آن‌ها به کاربرد CHP را فراهم می‌کند.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (18)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



10-1- شرایط صادرات

این محصول جزو فهرست کالاهای مشمول اجرای استاندارد اجباری جهت صادرات نبوده و لذا دارای هیچ محدودیتی در این زمینه نمی باشد.

2- وضعیت عرضه و تقاضا

2-1- بررسی ظرفیت بهره برداری و روند تولید از آغاز برنامه سوم تا کنون و محل واحدها و تعداد آنها و سطح تکنولوژی واحدهای موجود، ظرفیت اسمی، ظرفیت عملی، علل عدم بهره برداری کامل از ظرفیت ها، نام کشورها و شرکت های سازنده ماشین آلات مورد استفاده در تولید محصول

طبق اطلاعات دفتر آمار و اطلاع رسانی معاونت توسعه صنعتی وزارت صنایع و معدن، واحد تولیدی فعال در کشور در جدول (3) ارائه شده است.

جدول (3): واحدهای فعال در زمینه توربین های گازی

ردیف	نام شرکت	محصول	محل استقرار	تاریخ مجوز	ظرفیت
1	توربو کمپرسور نفت	توربین گازی	تهران	1386	20 (دستگاه)
2	مهندسی و ساخت پره توربین پرتو	پره توربین	البرز - کرج	1382	6650 (عدد)
3	فن آور نوین نیرو	تجهیزات توربین گازی	آذربایجان شرقی - آذرشهر	1375	10 (دستگاه)
4	نصب و تعمیرات نیروی خراسان	توربین گازی	خراسان رضوی - مشهد	1386	20 (دستگاه)
5	تجهیزات انرژی ایمن رسا	توربین گازی نیروگاهی	مرکزی - اراک	1382	10 (دستگاه)
6	تامین گرمای اصفهان	تجهیزات توربین گازی	اصفهان - شهرک صنعتی مورچه خورت	1385	9 (دستگاه)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



2-2- بررسی وضعیت طرح های جدید و طرح های توسعه در دست اجرا (از نظر تعداد، ظرفیت، محل اجراء، میزان پیشرفت فیزیکی و سطح تکنولوژی آنها و سرمایه گذاری های انجام شده اعم از ارزی و ریالی و مابقی مورد نیاز)

طبق اطلاعات دفتر آمار و اطلاع رسانی معاونت توسعه صنعتی وزارت صنایع و معدن، وضعیت طرح ها در کشور در جدول (4) ارائه شده است.

جدول (4): طرح های در دست اجرا در زمینه توربین گازی

ردیف	نام شرکت	محصول	محل استقرار	تاریخ مجوز	ظرفیت
1	خدمات فنی بهینه سازان برق	توربین گازی	تهران - ساوه	1386	
2	مهندسی مواد کاران جاهدنوآور	پره توربین گازی	تهران - جاده قدیم کرج	1377	5 (دستگاه)
3	سداد ماشین	توربین گازی	مرکزی - زرندیه	1386	
4	آجین سازه	توربین گازی نیروگاهی	اصفهان - شهرک صنعتی مورچه خورت	1385	8 (دستگاه)
5	صنایع پتروشیمای گستر	توربین گازی نیروگاهی	قزوین - قزوین	1382	20 (دستگاه)

3-2- بررسی روند واردات محصول در طی پنج سال گذشته

میزان واردات توربین های گازی با قدرت حداکثر 5000 کیلووات و قطعات و اجزای آن در سال های مختلف در جداول (5) تا (14) ارائه شده است.

جدول (5): توربین های گازی با قدرت حداکثر 5000 کیلووات در سال 88

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	چین	84118100	1657047	48040546527	4826646
2	ژاپن	84118100	280500	246761592450	24847608

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (20)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شکر شکر صنعتی

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
3	آلمان	84118100	21555	2967243325	298339
4	امارات متحده عربی	84118100	431254	64976165920	6556890
5	ایتالیا	84118100	138108	27494984545	2763886
6	بلژیک	84118100	535310	13778000000	1377800
7	جمهوری کره	84118100	1636821	54745554120	5474101
8	سوئیس	84118100	7	24023087	2435
9	فرانسه	84118100	43500	234393638	23569
10	هند	84118100	6931	749000000	75481
جمع کل				459771503612	46246755

جدول (6): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 88

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	چین	82119900	66835	8190659764	823135
2	ژاپن	82119900	230744	74073702289	7485346
3	آفریقای جنوبی	82119900	1588049	32313889477	3246322
4	آلمان	82119900	599559	900741806854	90981319
5	آندورا	82119900	23360	4708278410	471111
6	اتریش	82119900	4596	3623592139	363164
7	اسپانیا	82119900	13399	5799145614	579785
8	استرالیا	82119900	67820	18126465315	1829035
9	امارات متحده عربی	82119900	34461847	5678033924487	571714699



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شرکت صنعتی شریف

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
10	انگلستان	82119900	158120	356575116794	35981067
11	اوکراین	82119900	90730	10121154036	1015851
12	ایالات متحده آمریکا	82119900	899	5335968435	538635
13	ایتالیا	82119900	866621	600980906120	60604350
14	ایرلند	82119900	12330	3893223675	397999
15	بحرین	82119900	16049	19694082846	1978494
16	بلژیک	82119900	224382	61019108614	6117738
17	تایلند	82119900	143	4937788	496
18	تایوان	82119900	37187	2654100000	264590
19	ترکیه	82119900	31820	2375944744	239616
20	جمهوری چک	82119900	64	38085135	3863
21	جمهوری کره	82119900	6185694	174443224483	17556251
22	سوئد	82119900	10982	74132112766	7457818
23	سوئیس	82119900	66148	142451889393	14362488
24	فدراسیون روسیه	82119900	1605	3916372531	396572
25	فرانسه	82119900	26314	15516364703	1571322
26	فنلاند	82119900	371	2488511840	251390
27	کانادا	82119900	77	775245438	78264
28	مالزی	82119900	518	265757932	26871
29	منطقه آزاد قشم	82119900	15	25153967	2605
30	منطقه آزاد کیش	82119900	2910	5300703569	530610



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شیرازی
شرکت

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
31	منطقه آزاد بندرانزلی	82119900	13500	642183644	64020
32	هلند	82119900	6578	25935029329	2601217
33	هنگ کنگ	82119900	4195	1450985812	146304
34	هند	82119900	4119	405303137	40530
جمع کل				8236052931080	829722877

جدول (7): توربین های گازی با قدرت حدا کثر 5000 کیلووات در سال 86

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	ترکیه	84118100	900	72461832	7818
2	امارات متحده عربی	84118100	2700	193061530	20872
3	چین	84118100	560	221704714	23874
4	آلمان	84118100	47564	3426157018	368861
5	انگلستان	84118100	130754	40211229910	4326580
6	اسپانیا	84118100	286	212826222	22821
7	اتریش	84118100	351	421869980	45050
8	هلند	84118100	3635	543943320	58682
9	انگلستان	84118100	3627	733527243	79153
10	تایلند	84118100	1120	1009247591	109108
11	ایالات متحده آمریکا	84118100	54456	6341473960	680927
12	سوئد	84118100	15130	9383572224	1010610
13	فرانسه	84118100	146148	15459235995	1658744



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شکرین صنعتی

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
14	سوئیس	84118100	143805	28329451971	3037420
15	اوکراین	84118100	14674	32392242496	3476682
16	بلژیک	84118100	357736	43155011750	4628511
17	ایتالیا	84118100	634000	76250739418	8194497
18	آلمان	84118100	180470	164870374562	17780430
19	امارات متحده عربی	84118100	2851212	182823753859	19664369
20	ژاپن	84118100	808709	239675517322	25716257
	جمع کل			845727402917	90911266

جدول (8): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 86

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	عربستان سعودی	82119900	112	38361422	4122
2	فنلاند	82119900	212	78799530	8559
3	قبرس	82119900	900	88081737	9528
4	لهستان	82119900	5800	491243050	54281
5	اسپانیا	82119900	21102	1957061460	210230
6	منطقه آزاد کیش	82119900	1633	2506605000	269882
7	تایلند	82119900	4313	2852035826	307067
8	ایرلند	82119900	9876	3058017887	327902
9	استرالیا	82119900	904	3160345496	339542
10	فدراسیون روسیه	82119900	3585	3263854720	350717



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شیرازی
شرکت مهندسی

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
11	ترکیه	82119900	69486	5787205655	625484
12	اتریش	82119900	30343	6672082488	719638
13	ایالات متحده آمریکا	82119900	194338	10435833869	1120544
14	اوکراین	82119900	4221	13949152528	1495963
15	بلژیک	82119900	12789	18941331598	2035133
16	چین	82119900	457359	20699377796	2221233
17	ژاپن	82119900	172972	34726587375	3736134
18	هلند	82119900	12054	42992441135	4620779
19	فرانسه	82119900	56523	45507406198	4913383
20	جمهوری کره	82119900	2162712	66721090066	7154309
21	سوئیس	82119900	172897	152425149276	16388560
22	سوئد	82119900	563993	278274476847	29935547
23	انگلستان	82119900	67628	315736747988	33923235
24	ایتالیا	82119900	1007899	344002436708	37010908
25	آلمان	82119900	1296567	383828418493	41349876
26	امارات متحده عربی	82119900	8684997	1991781854823	214155864
جمع کل			3749975998971	403288420	

جدول (9): توربین های گازی با قدرت حدا کثر 5000 کیلووات در سال 85

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	چین	84118100	700	323254468	35090



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شیرازی
شرکت

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
2	ایتالیا	84118100	2584	2459107463	268052
3	آلمان	84118100	662	3770857841	412071
4	انگلستان	84118100	1415	7129281743	773661
5	امارات متحده عربی	84118100	290119	8037725916	875297
6	ترکیه	84118100	30	14603219	1581
7	فرانسه	84118100	200	17999020	1954
8	اسپانیا	84118100	10	24409207	2660
9	اتریش	84118100	344	107229954	11635
10	ژاپن	84118100	38536	253247583	27548
11	هلند	84118100	619	253324125	27578
12	تایلند	84118100	4421	3517277669	381632
13	سوئیس	84118100	76616	30144317836	3277288
14	منطقه آزاد کیش	84118100	86080	48194009646	5247606
15	اوکراین	84118100	85994	73285090834	7952540
16	انگلستان	84118100	165275	98251712450	10723991
17	امارات متحده عربی	84118100	903590	163921665897	17855281
18	ایتالیا	84118100	1486221	225249573977	24481760
19	آلمان	84118100	733857	264506741005	28847349
20	سوئد	84118100	221889	430785813597	46816218
	جمع کل				148020792
					1360247243450



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



جدول (10): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 85

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	فدراسیون روسیه	82119900	290	172457715	18711
2	چین	82119900	976	415768769	45099
3	فنلاند	82119900	2660	548003930	59449
4	دانمارک	82119900	3080	1111505740	121078
5	هند	82119900	3089	1120625890	122286
6	تایلند	82119900	2232	2774931900	302099
7	لهستان	82119900	45295	3537037247	383734
8	اسپانیا	82119900	8499	3616994121	395257
9	جمهوری کره	82119900	720924	6078053189	664341
10	کانادا	82119900	2152	6129701971	664760
11	اتریش	82119900	65489	6667642852	722820
12	سنگاپور	82119900	78864	6687700865	730976
13	بحرین	82119900	200000	6767064092	740298
14	ترکیه	82119900	2310	11302010160	1223032
15	ژاپن	82119900	7180	11344319387	1233791
16	فرانسه	82119900	9842	11681593687	1267614
17	ایالات متحده آمریکا	82119900	750	12089831477	1315165
18	اوکراین	82119900	21564	16272597757	1767696
19	هلند	82119900	11000	35478925090	3854470
20	بلژیک	82119900	143718	42462912283	4612865



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شرکت صنعتی شریف

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
21	سوئیس	82119900	77499	89807467654	9758010
22	انگلستان	82119900	230952	338517315844	36854173
23	سوئد	82119900	463811	503302176221	54834342
24	امارات متحده عربی	82119900	1811218	512795651940	55795965
25	ایتالیا	82119900	2327093	641339329478	69931153
26	آلمان	82119900	1671338	1317121108889	143371239
جمع کل			3589142728148	390790423	

جدول (11): توربین های گازی با قدرت حدا کثر 5000 کیلووات در سال 84

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	ترکیه	84118100	360	6722800	754
2	چین	84118100	240	68165300	7470
3	امارات متحده عربی	84118100	2826	103124977	11552
4	ایالات متحده آمریکا	84118100	8080	166770639	18534
5	آلمان	84118100	1347	749285106	84303
6	فرانسه	84118100	400	41765166	4602
7	هلند	84118100	14	52589113	5821
8	اتریش	84118100	10	62357166	7019
9	فنلاند	84118100	32	167465908	18814
10	چین	84118100	714	503414963	55781
11	سوئیس	84118100	94723	15248771583	1701513



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شهر صنعتی شریف

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
12	انگلستان	84118100	60410	18631207891	2054515
13	سوئد	84118100	105636	167382609812	18551282
14	اوکراین	84118100	2032011	296232174209	33177137
15	آلمان	84118100	1680209	446327718047	49323346
16	امارات متحده عربی	84118100	11503526	986981008213	109798443
17	ایتالیا	84118100	4104850	1749938935183	193330452
	جمع کل			3682664086076	408151338

جدول (12): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 84

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	مکزیک	82119900	63	105655003	11630
2	فدراسیون روسیه	82119900	127	234600738	26342
3	اتریش	82119900	83	347248563	38084
4	گرجستان	82119900	29	486073650	53583
5	فنلاند	82119900	15050	542765980	59493
6	کویت	82119900	238	917832566	100816
7	اوکراین	82119900	520	974905838	108342
8	منطقه آزاد قشم	82119900	180	1003187724	109999
9	تایلند	82119900	2650	1230995975	135609
10	کرواسی	82119900	12200	1243246587	136937
11	چین	82119900	33625	3835409170	430896

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (29)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شیرازی
شرکت

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
12	ایالات متحده آمریکا	82119900	3986	4770050158	528958
13	مجارستان	82119900	49930	5671396000	622000
14	دانمارک	82119900	92865	7166902700	808540
15	کانادا	82119900	3840	7915553300	875084
16	ترکیه	82119900	41363	12880060209	1426681
17	اسپانیا	82119900	512044	15645455606	1722709
18	فرانسه	82119900	8578	29165115325	3228792
19	هلند	82119900	35469	31188474107	3452107
20	سوئیس	82119900	96587	88088407755	9733547
21	بلژیک	82119900	794074	234790938246	25899924
22	انگلستان	82119900	205620	245199190198	27070845
23	امارات متحده عربی	82119900	1409660	421167352921	46521823
24	سوئد	82119900	564533	497802922196	54891517
25	ژاپن	82119900	1413484	554170731228	62217815
26	ایتالیا	82119900	1990440	612749722663	67850917
27	آلمان	82119900	2688776	1346476810900	149776412
	جمع کل			4125771005306	457839402



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



جدول (13): توربین‌های گازی با قدرت حداکثر 5000 کیلووات در سال 83

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	امارات متحده عربی	84118100	442	731087557	86010
2	آلمان	84118100	9756	38392654832	4516783
3	دانمارک	84118100	4535	105273663	12385
4	اسپانیا	84118100	19633	1001416260	117814
5	ژاپن	84118100	1120	1306559570	153713
6	انگلستان	84118100	2347	2326038018	273652
7	ایالات متحده آمریکا	84118100	612	2983623342	351015
8	هلند	84118100	10108	3431244089	403676
9	استرالیا	84118100	122851	3555888985	418340
10	سوئیس	84118100	12531	12944858224	1522925
11	بلژیک	84118100	266875	17544356715	2064042
12	تایلند	84118100	50000	26026310970	3061919
13	آلمان	84118100	428677	55820878346	6567162
14	اوکراین	84118100	613674	81768280549	9619798
15	سوئد	84118100	1171265	354110157912	41660019
16	امارات متحده عربی	84118100	2083649	472613055069	55601536
17	ایتالیا	84118100	8036683	3297156668970	387900785
	جمع کل			4371818353071	514331574



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



جدول (14): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 83

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	چین	82119900	2840	113651931	13371
2	منطقه آزاد قشم	82119900	210	314113741	36955
3	ایالات متحده آمریکا	82119900	644	548205420	64495
4	ترکیه	82119900	987	1539212161	181084
5	فنلاند	82119900	19587	2676012888	314825
6	اوکراین	82119900	15978	5616573227	660773
7	ژاپن	82119900	3600	9323299711	1096859
8	بلژیک	82119900	233730	38710763758	4554208
9	فرانسه	82119900	3834	46693698815	5493376
10	هلند	82119900	56757	52049192339	6123434
11	سوئد	82119900	1165679	53184089307	6256952
12	سوئیس	82119900	19141	64269171662	7561079
13	آلمان	82119900	97021	85671836642	10079040
14	انگلستان	82119900	23136	158818646861	18684547
15	امارات متحده عربی	82119900	1702652	368465224828	43348850
16	ایتالیا	82119900	14904855	1593544535808	187475828
جمع کل				2481538229099	291945676

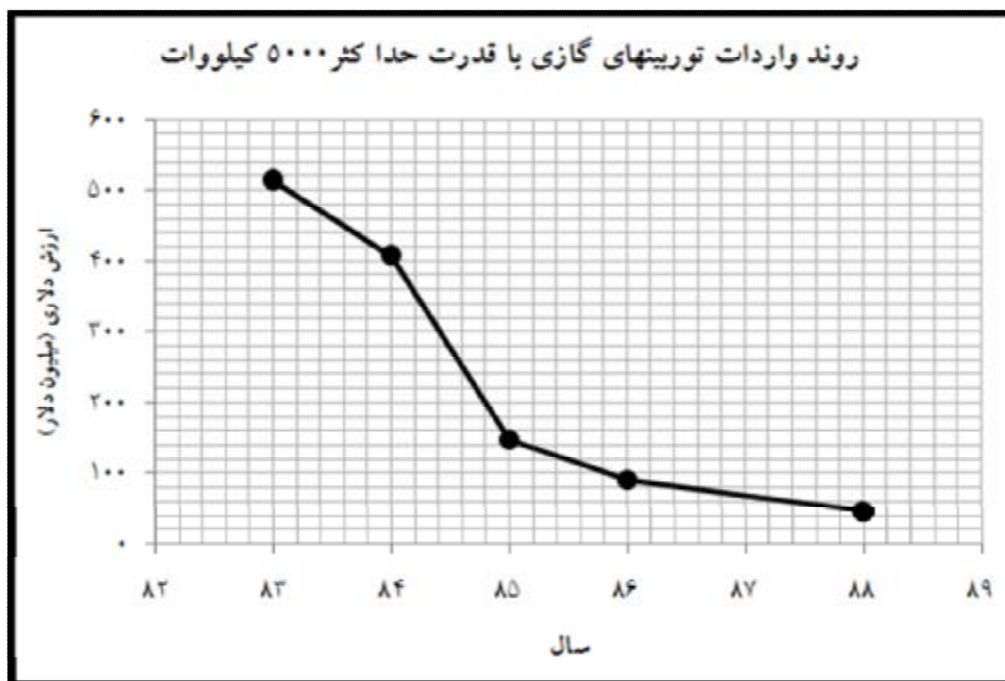
جمع کل ارزش دلاری برای پنج سال در شکل های (1) و (2) نشان داده شده است.

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (32)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف

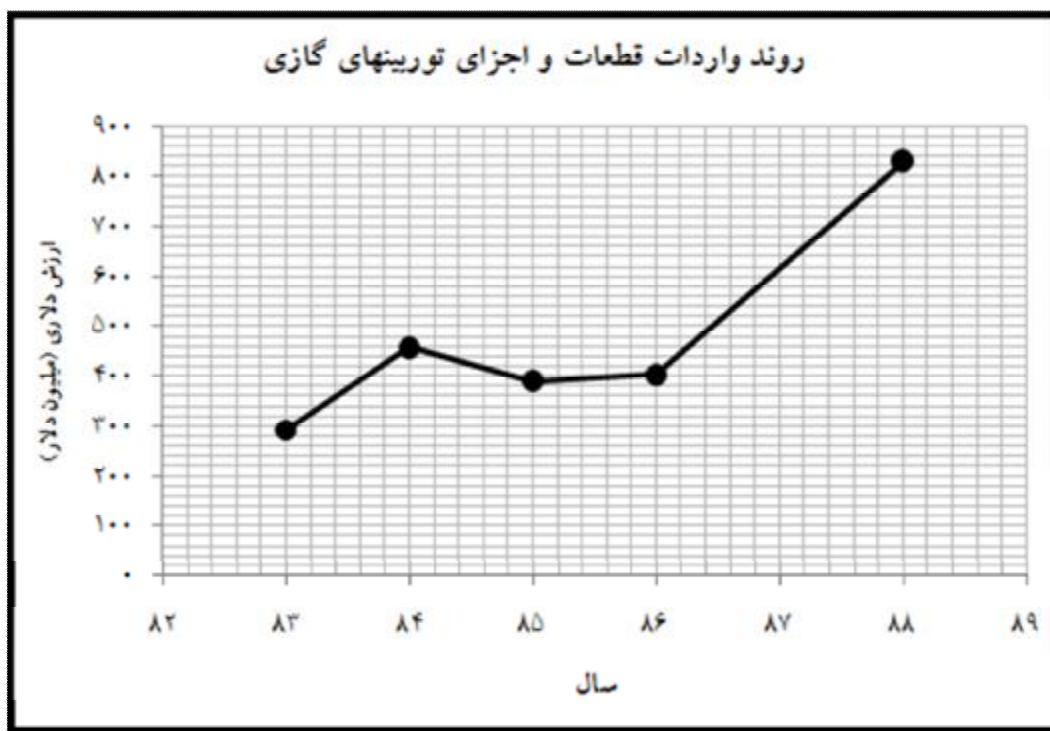


مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شکر شریفی



شکل (۱): روند واردات توربین‌های گازی با قدرت حداکثر ۵۰۰۰ کیلووات



شکل (۲): روند واردات قطعات و اجزای توربین‌های گازی

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین ۱۳۹۰
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (۳۳)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



4-2- بررسی روند مصرف

برای بررسی روند مصرف این سیستم‌ها و پیش‌بینی بازار بالقوه و بالفعل این تکنولوژی، میزان برق تولیدی توسط این مجموعه را 150 تا 500 کیلووات در نظر می‌گیریم. به طور متوسط بازده الکتریکی این توربین‌ها برابر با 18 درصد می‌باشد. میزان 3 درصد تلفات حرارتی برای بدنه توربین در نظر گرفته می‌شود. بنابراین بازده حرارتی این مولدها برابر 79 درصد می‌باشد که البته تمام این مقدار قابل بازیافت نمی‌باشد. تقریباً بر اساس محاسبات انجام شده، 75 درصد از حرارت خروجی از توربین قابل بازیافت می‌باشد که این مقدار تقریباً معادل با 60 درصد انرژی ورودی به توربین می‌باشد. بنابراین به طور میانگین هر میکروتوربین دارای 18 درصد بازده الکتریکی و 60 درصد بازده حرارتی می‌باشد که بازدهی کل میکروتوربین برابر 78 درصد می‌باشد. در سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، مهمترین مصرف‌کنندگان بخشهای صنعتی و عمومی می‌باشند که جهت گرمایش و سرمایش گاز مصرف می‌کنند. بنابراین مشتریان بالقوه و بالفعل طرح مصرف‌کنندگان گاز می‌باشند و مصرف‌کنندگان برقی که مصرف گاز ندارند از این سیستم استقبال نمی‌کنند و به سمت کالاهای جایگزین مانند موتورهای رفت و برگشتی که بازده الکتریکی بالایی دارند می‌روند. برای اینکه تمامی مشتریان احتمالی این سیستم شناسایی شوند، به مصرف‌کنندگان برق نیز در این مطالعه توجه می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده روی شهرک صنعتی شمس‌آباد استان تهران، مشخص گردید که در این شرکت 888 کارخانه فعال وجود دارد. از میان این کارخانه‌های فعال، تقریباً 290 کارخانه دارای دیماندر برق با قدرت بین 150 کیلووات تا 500 کیلووات می‌باشند که معادل 32 درصد کل کارخانه‌های شهرک است. همچنین 150 کارخانه در شهرک دارای مصرف برق بین 150 تا 500 کیلووات می‌باشند که معادل 17 درصد کل کارخانه‌های شهرک است. بنابراین 32 درصد کارخانه‌های شهرک بالقوه می‌توانند مشتریان میکروتوربین باشند و 17 درصد کارخانه‌های شهرک بالفعل می‌توانند جزمشتریان میکروتوربین باشند. هرچند جامعه آماری به دلیل پایین بودن احتمال جذب این مشتریان کوچک می‌باشد، اما می‌توان با بسط این جامعه نتیجه گرفت که می‌توانند روی تعدادی زیادی کارخانه در سطح کشور فقط جهت استفاده از میکروتوربین با ایجاد جذابیت‌هایی مانند کاهش قیمت میکروتوربین و ... بازاریابی نمود. همانطور که گفته شد، مشتریان اصلی طرح مصرف‌کنندگان گاز می‌باشند. با توجه به بازده الکتریکی و حرارتی بیان شده در بالا درباره میکروتوربین، می‌توان گفت میکروتوربین‌هایی که برای مصرف‌کنندگان 150 کیلوواتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند به اندازه 500 کیلووات انرژی حرارتی قابل بازیافت و

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (34)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف

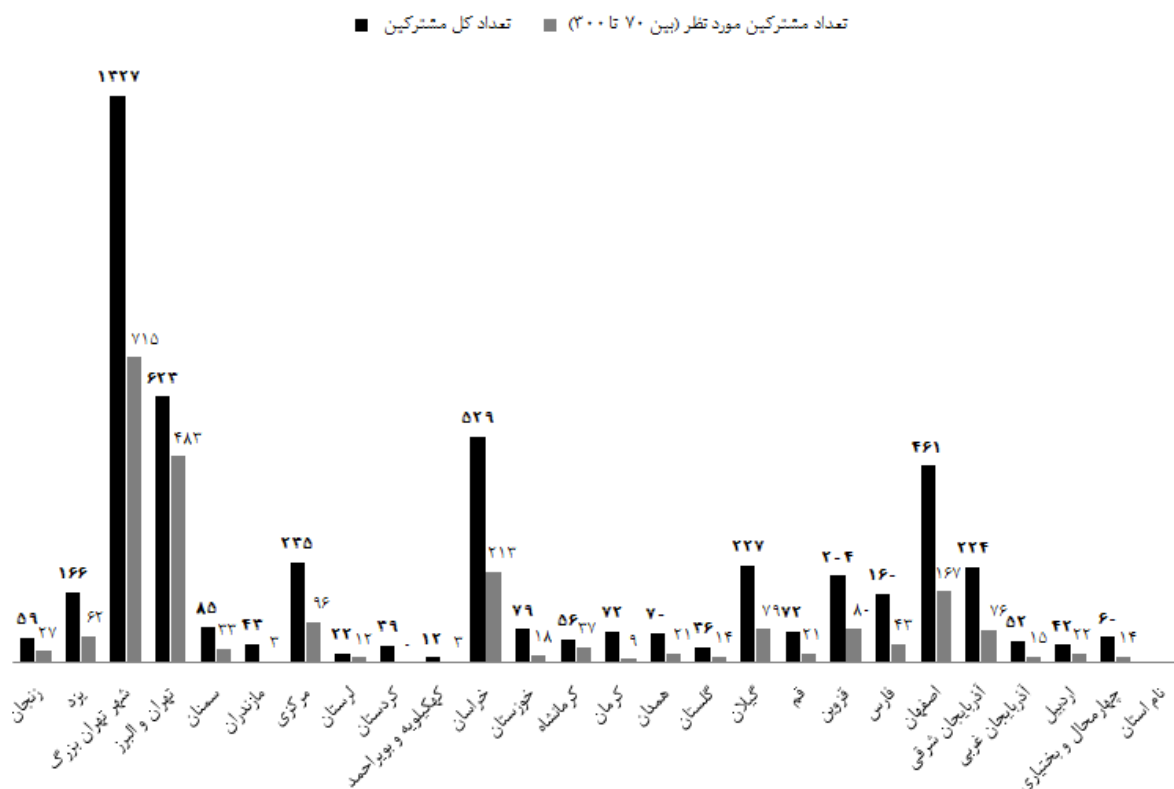


مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



میکروتوربین هایی که برای مصرف کنندگان 500 کیلوواتی به کار می روند، می توانند به اندازه 1665 کیلووات انرژی حرارتی قابل بازیافت تولید کنند. با در نظر گرفتن بازده متوسط 75 درصد برای کارخانه های کشور و ارزش حرارتی 8200 kcal/m^3 برای گاز طبیعی کشور، مشترکینی که مصرف گازشان بین $70 \text{ m}^3/\text{hr}$ تا $240 \text{ m}^3/\text{hr}$ (با توجه به اینکه ممکن است تمامی مصرف گاز یک کارخانه برای سرمایه و گرمایش نباشد مانع استفاده برای کوره ها، مشترکین که مصرف آنها تا $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ است به عنوان مصرف کنندگان این سیستم در نظر گرفته می شوند) می باشد، به عنوان مصرف کنندگان این سیستم در نظر گرفته می شوند. بر اساس اطلاعات بدست آمده از شرکت ملی گاز ایران، 4955 مشترک عمده گاز در کل کشور وجود دارد که با بررسی این مشترکین تعداد 2263 که معادل 45/67 درصد از کل مشترکین را تشکیل می دهند، به عنوان مصرف کنندگان این طرح شناخته شدند. در شکل (3) میزان کل مشترکین و مشترکین مورد نظر به تفکیک هر استان نشان داده شده است.

مشتریان بالقوه سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی



شکل (3): مشتریان بالقوه سیستم تولید همزمان برق و حرارت

فروردین ۱۳۹۰	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (35)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



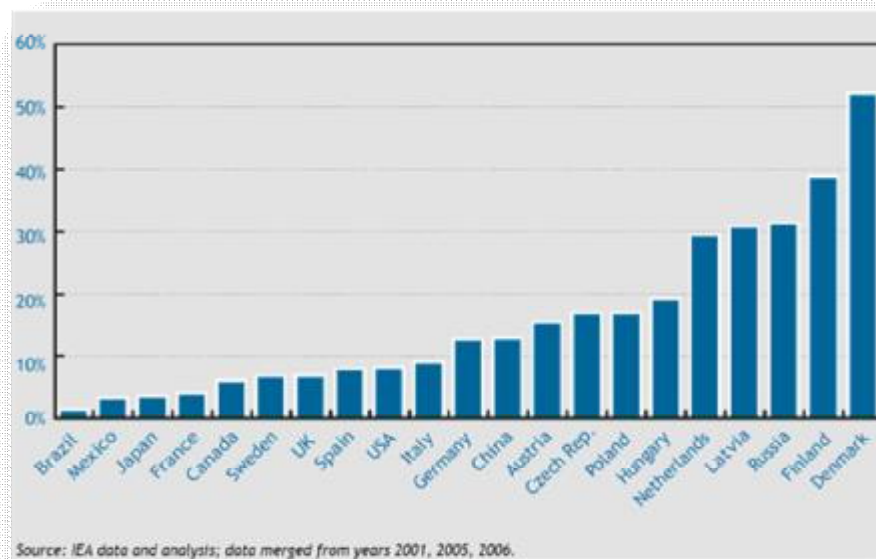
با توجه به بررسی‌های انجام شده، با واقعی شدن قیمت حامل‌های انرژی در کشور، میزان رغبت مشترکین به استفاده از این سیستم‌ها افزایش یافته است و بر اساس شکل بالا مشتریان این طرح در کشور زیاد می‌باشد. در صورتیکه بتوان 30 درصد از مشتریان بالقوه این سیستم را جذب طرح نمود، تقریباً می‌توان تصور نمود که تعداد مشتریان بالفعل طرح 700 نفر می‌باشد. به طور متوسط اگر مصرف حرارت هر مشتری طرح را 1100 کیلووات در نظر بگیریم، مجموعاً 770 مگاوات حرارت توسط این سیستم‌ها تولید می‌شود که همزمان با آن تقریباً 231 مگاوات برق نیز تولید می‌شود. با توجه به اینکه متوسط برق تولیدی در کشور 53 گیگاوات می‌باشد، این مقدار برق تولیدی توسط این سیستم در حدود 0/5 درصد از برق کل کشور است که تا مرز 1 درصد نیز می‌توان آن را افزایش داد. سهم *CHP* از کل تولیدات داخلی برق در کشورهای مهم جهان در شکل (4) ارائه شده است. همانطور که از شکل مشخص است، کشورهای دانمارک، فنلاند و روسیه بیشترین سهم *CHP* را از تولیدات داخلی برق خود دارند. البته لازم به توضیح می‌باشد که این شکل ظرفیت *CHP* از برق تولید داخلی را نشان نمی‌دهد؛ زیرا کشوری مانند آمریکا با اینکه 8 درصد از ظرفیت تولیدی خود را برای *CHP* مورد استفاده قرار می‌دهد اما ظرفیت کلی برق تولیدی این کشور بالا می‌باشد و چه بسا بر اساس ظرفیت از کشورهای دیگر برتر باشد. شرکت *Capstone* که یکی از مطرح‌ترین شرکت‌ها در زمینه میکروتوربین و *CHP* می‌باشد، در سال 2010 مجموعاً 96/4 مگاوات (تعداد 726 میکروتوربین) میکروتوربین فروخته است و در سال 2009 مجموعاً 72 مگاوات (تعداد 605 میکروتوربین) میکروتوربین فروخته است. بنابراین نرخ رشد فروش میکروتوربین برای این شرکت در سال 2010 نسبت به سال 2009 افزایش 34 درصدی داشته است. با توجه به روند مصرف پیش‌بینی شده در کشور، در صورت بازاریابی مناسب می‌توان رکورد فروش جهانی این شرکت را شکست.

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (36)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شکر شکر شکر



شکل (4): سهم CHP از کل تولید داخلی برق کشورهای مهم جهان

امید است با راه‌اندازی سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای موتور گازی، توربین گازی و میکروتوربین گازی، ایران نیز سهم قابل توجهی در تولید داخلی برق از طریق CHP پیدا کند.

5-2- بررسی روند صادرات محصول در طی پنج سال گذشته و امکان توسعه آن

صادرات توربین‌های گازی با قدرت حداکثر 5000 کیلووات وجود ندارد. صادرات قطعات و اجزای آن در سال‌های مختلف در جداول (15) تا (19) ارائه شده است.

جدول (15): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 88

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	آلمان	82119900	1448	4934553956	502544
2	انگلستان	82119900	4449	18642986010	1905530
3	ایتالیا	82119900	23025	4924303096	494837

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (37)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی

شکرین صنعتی

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
4	بحرین	82119900	1291	7116740776	714244
5	ترکیه	82119900	20463	456086835	46028
6	جمهوری عربی سوریه	82119900	4139258	688004502533	69311957
7	عراق	82119900	150960	2968883698	297826
8	فرانسه	82119900	455	791058240	79462
9	هلند	82119900	98	551044800	57062
جمع کل				728390159944	73409490

جدول (16): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 86

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	ایتالیا	82119900	16770	249174800	26764
2	آلمان	82119900	175	1165413702	125787
3	انگلستان	82119900	70971	1406249205	150837
4	افغانستان	82119900	177395	3510936496	376996
5	فرانسه	82119900	3400	4033326380	433225
6	هلند	82119900	4113	4481925744	480748
جمع کل				14847026327	1594357

جدول (17): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 85

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	عراق	82119900	3040	46090000	4998
2	انگلستان	82119900	2434	51518531	5610



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
3	ایتالیا	82119900	11411	95846400	10400
4	سوئیس	82119900	370	1111779958	120505
5	آلمان	82119900	5101	4951683111	537220
جمع کل				6256918000	678733

جدول (18): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 84

ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	امارات متحده عربی	82119900	530	17812000	2000
2	ایتالیا	82119900	24136	159351024	17556
3	هلند	82119900	2339	197356000	21726
جمع کل				374519024	41282

جدول (19): قطعات و اجزای توربین گازی در سال 83

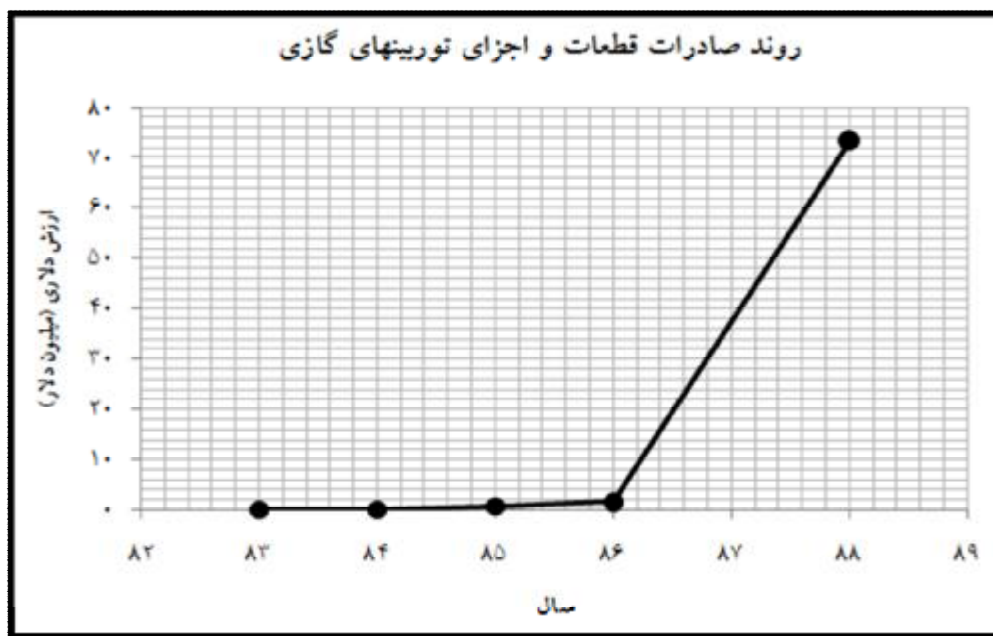
ردیف	کشور طرف معامله	تعرفه	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی	ارزش دلاری
1	ایتالیا	82119900	9122	43074350	5068
جمع کل				43074350	5068

جمع کل ارزش دلاری برای پنج سال در زمینه قطعات و اجزای توربین گازی در شکل (5) نشان داده شده است.



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شیرازی
شریف



شکل (5): روند صادرات در زمینه قطعات و اجزای توربین‌های گازی

6-2- بررسی نیاز به محصول با اولویت صادرات تا پایان برنامه چهارم

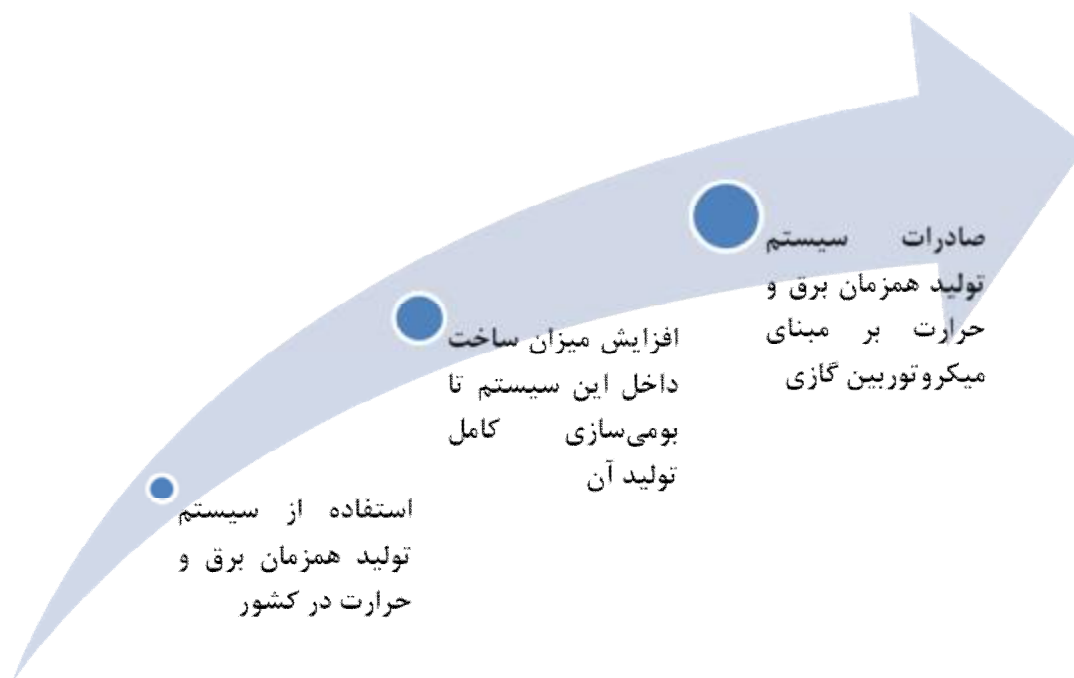
توجه به اینکه در حال حاضر تکنولوژی ساخت میکروتوربین در کشور وجود ندارد و سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی به طور کامل ساخت داخل نمی‌باشد، اولویتی در صادرات این سیستم وجود ندارد و اولویت اصلی در راه‌اندازی این سیستم، استفاده از آن در داخل کشور با اولویت افزایش تولید برق و حرارت با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت و افزایش بهره‌وری انرژی می‌باشد. بنابراین مسیری که برای رسیدن به صادرات این سیستم می‌توان در نظر گرفت در شکل (6) نشان داده شده است.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (40)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شرکت صنعتی شریف



شکل (6): روند پیشرفت در عرصه تولید سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی تا رسیدن به صادرات

3- بررسی اجمالی تکنولوژی و روش‌های تولید و عرضه محصول در کشور و

مقایسه آن با دیگر کشورها

یکی از محرک‌های اولیه که در سیستم‌های تولید همزمان استفاده می‌شوند، میکروتوربین‌های گازی می‌باشند. میکروتوربین‌ها در واقع توربین‌های گازی کوچکی هستند که معمولاً ظرفیت آنها بین 30 تا 500 کیلووات می‌باشد. اجزای اصلی یک میکروتوربین در شکل (7) نشان داده شده است. در یک میکروتوربین هوا توسط یک کمپرسور جریان شعاعی (سانتریفوژ) متراکم شده و سپس در یک مبدل حرارتی رکوپراتور، توسط گازهای گرم خروجی از توربین، پیش‌گرم می‌شود. هوای گرم‌شده در محفظه احتراق با سوخت مخلوط شده و محترق می‌گردد. گازهای داغ حاصل از احتراق که فشار و دمای بالایی دارند، در یک توربین منبسط شده و از این طریق روی توربین کار انجام می‌دهند. سپس این کار توسط یک ژنراتور به توان الکتریسیته تبدیل می‌شود. کار حاصل از انبساط با چرخاندن توربین، باعث حرکت دادن کمپرسور نیز می‌شود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (41)

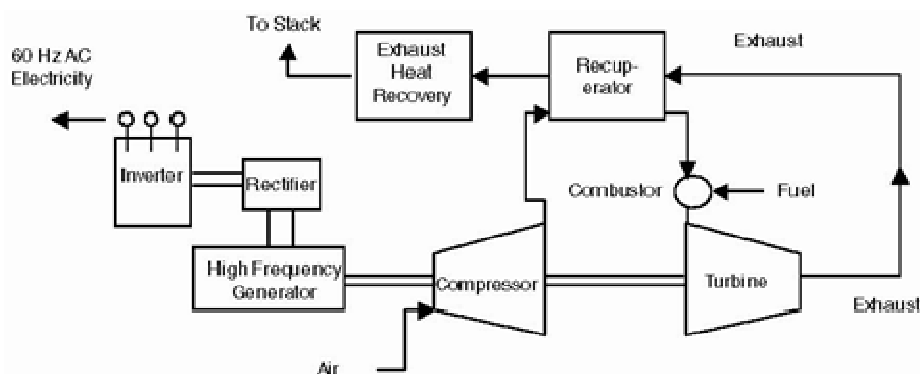


مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



شود. سرانجام گازهای خروجی از توربین انبساط به مبدل حرارتی رکوپراتور رفته و باعث پیش گرم شدن هوای خروجی از کمپرسور می‌شود.

اکثر طرح‌های میکروتوربین‌ها تک محوره می‌باشند که از یک ژنراتور مغناطیس دائم سرعت بالا، برای تولید ولتاژ و فرکانس متغیر جریان متناوب (AC) استفاده می‌شود. بیشتر واحدهای میکروتوربین‌ها برای مصارف دائمی طراحی می‌شوند که می‌توان برای افزایش راندمان، گرما را نیز بازیافت کرد.



شکل (7) اجزای اصلی یک میکروتوربین که برای مصارف CHP بکار می‌رود

مشخصات عمومی میکروتوربین‌ها در جدول (20) آورده شده است.

جدول (20): ویژگی‌های کلی میکروتوربین‌ها

دسترس‌پذیری از نظر تجاری	قابل دسترس ولی محدود
گستره توان	25 الی 500 کیلووات
سوخت	دیزل، پروپان، هیدورژن و گاز طبیعی
بازدهی الکتریکی و اثرات محیطی	بین 20 تا 30 درصد انتشار کم $NO_x (< 50-9 ppm)$

همان‌طور که ذکر گردید یکی از مهمترین مزیت‌های میکروتوربین‌ها سادگی ساختار و کوچکی ابعاد آنها می‌باشد. میکروتوربین‌ها اغلب برای مکان‌های تجاری و ساختمان‌های بزرگ مانند هتل‌ها، مراکز آموزشی و

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (42)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



اداری و صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم میکروتوربین‌ها بر اساس مصرف و تولید انرژی شامل سه نوع می‌باشد که بطور خلاصه در زیر شرح داده شده‌اند:

1- میکروتوربین‌های دارای رکوپراتور، به دلیل استفاده از گرمای خروجی اگزوز توربین، دارای بازده بیشتری می‌باشند که با استفاده از رکوپراتور بازده آنها می‌تواند تا 30 درصد نیز افزایش یابد.

اجزای اصلی این میکروتوربین‌ها عبارتست از:

1. کمپرسور و توربین شعاعی تک مرحله‌ای
2. ژنراتور مغناطیسی دائمی سرعت بالا (بالا تر از 120000 دور بر دقیقه)
3. رکوپراتور
4. محفظه احتراق
5. تجهیزات رگولاتور ولتاژ تولیدی و مبدل‌ها

2- میکروتوربین‌های بدون رکوپراتور (دارای سیکل ساده)، دارای بازدهی کمتری هستند اما در مقابل دارای قیمت پایین‌تری نیز می‌باشند. بازده این میکروتوربین‌ها 18 تا 22 درصد می‌باشد.

3- میکروتوربین‌ها بر اساس سیستم‌های تولید همزمان (CHP)

سیستم عملکرد در میکروتوربین‌ها بدین ترتیب است که هوای ورودی پس از گذر از فیلتر وارد کمپرسور و پس از فشرده شدن، از قسمت رکوپراتور عبور می‌کند. در این قسمت دمای هوا به واسطه دمای گاز خروجی از توربین افزایش پیدا می‌کند. هوا پس از گرم شدن وارد محفظه احتراق و پس از ترکیب با سوخت، مشتعل می‌گردد. هوای مشتعل و داغ با سرعت زیاد به توربین وارد شده و پس از برخورد به پره‌های توربین باعث به گردش در آوردن پره‌های توربین می‌شود. سپس در انتها گازهای داغ از اگزوز وارد قسمت رکوپراتور شده و سیکل به طور پیوسته تکرار می‌گردد. بخشی از نیروی تولید شده توسط توربین صرف چرخاندن کمپرسور هوا و باقی مانده از طریق یک شفت رابط به ژنراتور منتقل می‌شود. برق تولیدی توسط ژنراتور پس از تنظیم شدن به مصرف می‌رسد. بنابراین میکروتوربین‌ها دارای سیستم‌های بسیار ساده‌ای

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (43)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



هستند که معمولاً تنها دارای یک جزء متحرک می‌باشند. این جزء متحرک یک شفت سرعت بالاست که کمپرسور، چرخ توربین و ژنراتور را تحمل می‌کند. این شفت به جای سوار شدن بر روی یاتاقان روغن‌کاری شده که در اکثر توربین‌های احتراقی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر روی یاتاقان هوایی سوار شده است. این امر باعث کاهش هزینه تعمیرات و پیچیدگی فنی می‌گردد. البته میکروتوربین‌ها بطور کلی شامل دو نوع تک شافتی و دو شافتی می‌باشند. در مدل تک شافتی، یک توربین، کمپرسور و ژنراتور را می‌چرخاند در حالی که در مدل‌های دو شافتی، توربین گرداننده کمپرسور بر روی یک شافت و توربین گرداننده ژنراتور بر روی شافت دیگر واقع شده است. در مدل‌های دو شافتی می‌توان با استفاده از یک توربین جداگانه برای ژنراتور و استفاده از جعبه دنده و به کاربردن ژنراتورهای سنکرون معمولی (مثلاً با سرعت گردش 3600 دور بر دقیقه) فرکانس مناسب برای مصرف‌کننده را مستقیماً تولید نمود. در این نوع میکروتوربین‌ها فشارها کمتر و عمر ماشین طولانی‌تر خواهد بود. البته معمولاً هزینه این نوع میکروتوربین‌ها بیشتر از نوع تک‌شافتی می‌باشد. مدل‌های تک‌شافتی معمولاً برای بهره‌برداری در سرعت چرخش بالا (در برخی مدل‌ها بیش از 100000 دور بر دقیقه) طراحی می‌گردند و جریان متناوب تولید شده توسط ژنراتور آنها دارای فرکانس بسیار بالایی می‌باشد. در ژنراتورهای سرعت بالای مدل‌های تک‌شافتی، معمولاً یک مغناطیس دائم (Samarium-Cobalt) به کار می‌رود و لازم است که خروجی فرکانس بالای آن (در بازه 1000 تا 3000 هرتز) به فرکانس مطلوب (50 یا 60 هرتز) تبدیل شود. لازم به ذکر است که در اکثر میکروتوربین‌ها از نوع تک‌شافتی می‌باشند و ژنراتورهای فرکانس بالا که تکنولوژی جدیدتری هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

همانطور که گفته شد بازده الکتریکی میکروتوربین‌ها پایین می‌باشد و در حدود 18 درصد است که در صورت استفاده از رکوپراتور می‌توان آن را به 30 درصد رساند که قابل مقایسه با بازده موتورهای رفت-وبرگشتی در چنین سائیزی (بازده این موتورها در چنین سائیزی تقریباً 35 درصد می‌باشد) است. برای افزایش بازده میکروتوربین‌ها، دو راه مختلف وجود دارد:

1- افزایش قابل توجه دمای ورودی توربین که در توربین‌های کوچک نیازمند توسعه اجزای سرامیکی در بخش‌های گرم توربین می‌باشد.

2- ایجاد و توسعه یک سیکل ترمودینامیکی جدید که کاملاً با سیستم توربین‌های گازی تولید همزمان مطابقت داشته باشد.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (44)

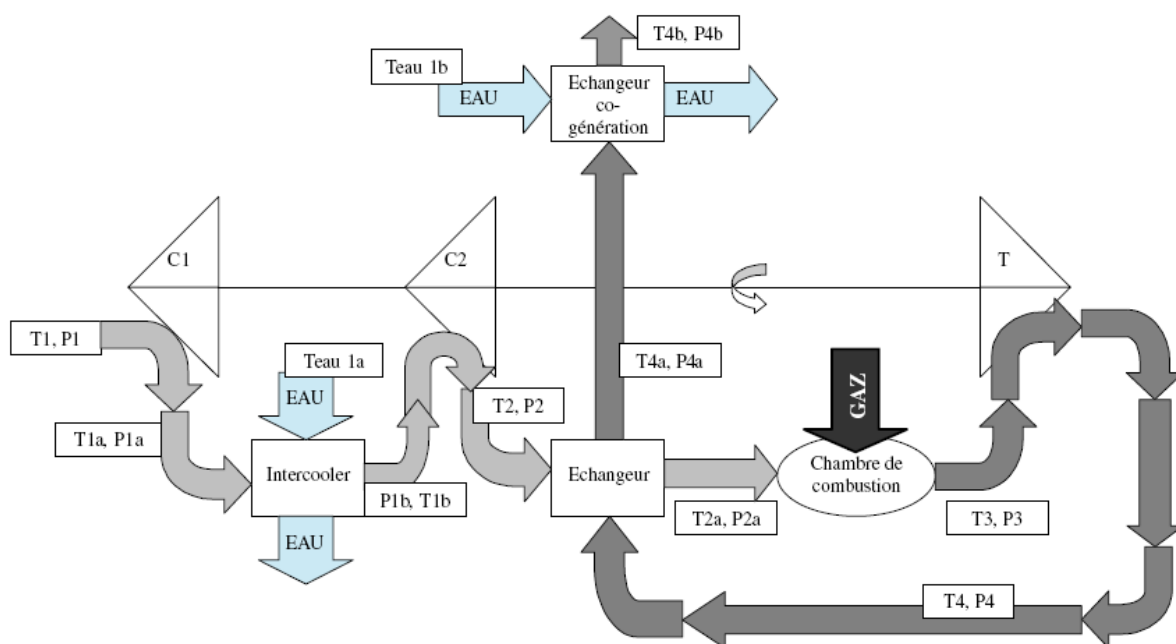


مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شهرک صنعتی گلشن

مورد اول که تکنولوژی سرامیک در توربین‌ها می‌باشد، متأسفانه هنوز این تکنولوژی موجود نیست. بنابراین تقاضا برای داشتن یک واحد با بازدهی بالا که در حال حاضر امکان رسیدن به آن وجود داشته باشد، با استفاده از یک سیکل پربازده‌تر که در آن امکان‌سنجی اجزای اصلی سیکل برای ارضای دقیق الزاماتی مانند انتشار آلاینده‌ها، هزینه‌های تولید و نگهداری، و اعتمادپذیری صورت پذیرفته باشد، امکان‌پذیر است.

همانطور که پیشتر گفته شد، میکروتوربین‌های دارای رکوپراتور ساده دارای بازده الکتریکی تقریباً 30 درصد می‌باشند. تکنولوژی‌های دیگری نیز در حال حاضر وجود دارند که در آنها بازده الکتریکی میکروتوربین‌ها بیش از 30 درصد می‌باشد. این تکنولوژی‌ها، بر اساس مطالب بیان شده در بالا، با تغییر و اصلاح سیکل ترمودینامیکی میکروتوربین‌ها موجود هستند. در صورتیکه هدف فقط بازده الکتریکی بالاتر میکروتوربین باشد، بهترین تکنولوژی استفاده از سیکلی است که در آن هوای ورودی ابتدا در یک کمپرسور فشرده گردد، سپس توسط یک مایع خنک‌کننده مانند آب خنک شود و مجدداً وارد کمپرسور شود و بعد از رسیدن به فشار مطلوب نهایی از رکوپراتور گذشته و با پیش‌گرم شدن وارد محفظه احتراق گردد. این سیکل که به سیکل رکوپراتور با کولرداخلی معروف است در شکل (8) نشان داده شده است.



شکل (8): سیکل رکوپراتور با کولرداخلی

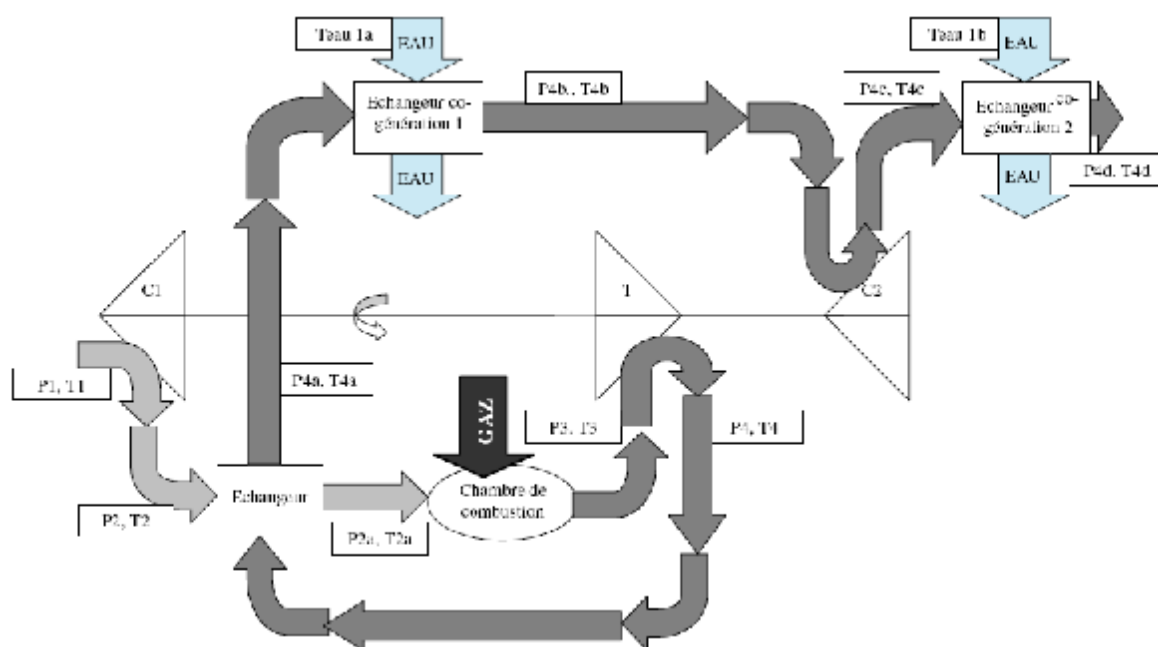
مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (45)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی

شهرت شریف

اما در صورتیکه هدف بالاترین بازده کل می‌باشد، استفاده از سیکل رکوپراتور تحت فشار مناسب می‌باشد. این سیکل مانند یک سیکل با رکوپراتور ساده که در شکل (7) نشان داده شده است می‌باشد که تنها تفاوت آن در انتهای سیکل است. در انتهای سیکل بعد از اینکه هوای خروجی از محفظه احتراق از رکوپراتور گذشت و یک مرحله نیز مورد بازیافت قرار گرفت، مجدداً از یک کمپرسور عبور می‌کند و برای بار دوم مورد بازیافت قرار می‌گیرد. در شکل (9) این سیکل نشان داده شده است.



شکل (9): سیکل رکوپراتور تحت فشار

مشخصات فنی این دو سیکل همراه با سیکل رکوپراتور ساده برای یک میکروتوربین با توان 350 کیلووات جهت مقایسه در جدول (21) ارائه شده است.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (46)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



جدول (21): مشخصات سیکل‌های ترمودینامیکی تکنولوژی‌های مختلف میکروتوربین

سیکل	رکوپراتور ساده	رکوپراتور با کولر داخلی	رکوپراتور تحت فشار
توان شفت (kW)	350	350	350
دمای ورودی توربین ($^{\circ}C$)	950	950	950
بازده رکوپراتور (%)	85	85	85
نسبت تراکم (در کمپرسور)	4	6	6/25
نسبت انبساط (در توربین)	3/43	5/05	5/26
دبی جرمی هوا (kg/s)	2/49	1/97	1/97
دمای ورودی به رکوپراتور ($^{\circ}C$)	676	604	597
بازده شفت قدرت (%)	33/60	35/83	34/62
دمای آب بازگشتی ($^{\circ}C$)	40	40	40
بازده حرارتی برای تولید همزمان (%)	46/30	47/60	51/10
بازده کل (%)	80	83/43	85/7
بازده الکتریکی (با بازده تقریباً 92 درصدی ژنراتور)	31	33	32

4- تعیین نقاط قوت و ضعف تکنولوژی‌های مرسوم (به شکل اجمالی) در فرآیند تولید محصول

میکروتوربین‌های گازی از سال 2003 به صورت جدی وارد بازار تجاری شده‌اند و در این مدت اغلب دولت‌ها، برنامه‌های ویژه‌ای برای حمایت از توسعه‌ی میکروتوربین‌ها اختصاص داده‌اند. شرکت Capstone به عنوان یکی از مشهورترین شرکت‌های تولیدکننده‌ی میکروتوربین، به صورت متوسط بازدهی مالی 34 درصدی داشته است که نشان‌دهنده‌ی رشد قابل توجه بازار این میکروتوربین‌ها است. میکروتوربین‌ها مزایای قابل توجهی نسبت به موتورهای گازسوز دارند که عبارتند از:

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (47)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



1- دوگانه‌سوز بودن میکروتوربین‌ها: میکروتوربین‌ها دوگانه‌سوز بوده و می‌توانند با سوخت‌های گازوییل و گاز، به تولید انرژی بپردازند. تغییر سوخت آنها از سوخت گاز به سوخت مایع به سهولت امکان‌پذیر است و در کارکرد آنها تأثیر اندکی به جای می‌گذارد. این در شرایطی است که موتورهای پایه‌گاز سوز و یا پایه گازوییل‌سوز هستند و تغییر سوخت مصرفی، راندمان آنها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد و میزان استهلاک آنها را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

2- هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتر و زمان اورهال طولانی‌تر: در ارتباط با تعمیرات، تجربه نشان داده که میکروتوربین‌ها نیاز به تعمیرات بسیار کمی دارند. به صورت کلی توربین‌های گازی به دلیل آنکه دارای قطعات مکانیکی و متحرک کمتری نسبت به موتورهای هستند، دارای زمان اورهال طولانی‌تری نسبت به موتورهای می‌باشند. آمارهای رسمی حاکی از آن است که هزینه‌ی تعمیر و نگهداری بر حسب کیلووات ساعت تولیدی، حداقل یک سوم موتورهای می‌باشد، ضمن آنکه موتورهای در دوره‌های 600 الی 1000 ساعته باید حتماً بازرینی شوند.

3- بهترین تطبیق برای ایجاد سیستم‌های تولید برق و حرارت (CHP): با توجه به آلودگی کم میکروتوربین‌ها و استفاده اندک از روغن، امکان استفاده از محصولات خروجی توربین در بعضی فرآیندهای صنعتی وجود دارد و می‌توان از این واحدها در سیستم‌های تولید همزمان قدرت و حرارت به صورت مناسب استفاده کرد. در عین حال امکان نصب سیستم به صورت CHP برای تجاری و مسکونی (با استفاده از آگروز توربین) وجود دارد.

4- حجم و وزن کمتر: میکروتوربین‌های گازی کم حجم و سبک وزن می‌باشند که در نتیجه، فضای مورد نیاز آن در مجتمع‌های صنعتی، تجاری، اداری و مسکونی کاهش می‌یابد. در مقایسه با موتورهای با توان مشابه، حجم و وزنی نزدیک به یک پنجم دارند که در بسیاری از فضاها، می‌توان آنها را جانمایی نمود.

5- اپراتوری ساده‌تر: راه اندازی و کاربری میکروتوربین‌ها پس از نصب، بسیار آسان می‌باشد. از آنجا که در میکروتوربین‌های گازی تنها در بیرینگ و چرخ‌دهنده‌های گیربکس، نیاز به استفاده از روغن است، برخلاف موتورهای مصرف روغن بسیار اندک است (تا یک دهم موتورهای مشابه). از سوی دیگر به دلیل خنک‌کاری به وسیله‌ی هوا و حذف رادیاتور، نیاز به پایش مداوم آب رادیاتور نیز از بین

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (48)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



می‌رود. از سوی دیگر قطعات در معرض استهلاک میکروتوربین‌های گازی بسیار کمتر است که می‌توان به صورت دوره‌ای آنها را بازرسی و تعمیر نمود.

6- **اعتماد پذیری بسیار بالا در اولین استارت:** اگر شرایط اولیه‌ی استارت زدن فراهم باشد، میکروتوربین‌های گازی اعتماد پذیری بسیار بالایی در اولین استارت دارند و با اولین استارت روشن می‌شوند، حال آنکه موتورهای حتی در صورت فراهم بودن شرایط راه‌اندازی، به خصوص در هوای سرد، به چندین بار تلاش برای راه‌اندازی نیاز دارند که این موضوع ممکن است تبعات غیرقابل جبرانی به ویژه برای بارهای اضطراری به وجود آورد.

7- **قابلیت بالا در پذیرش تغییرات بار:** پس از فراهم شدن ولتاژ و فرکانس در خروجی ژنراتور، میکروتوربین‌های یک محوره این قابلیت را دارند که تا 100 درصد بار نامی خود را در یک مرحله بپذیرند. در حالی که موتورهای با توان مشابه تا 75 درصد توان نامی خود را می‌توانند به یکباره بپذیرند و باقیمانده‌ی توان باید به تدریج بر روی موتور گذاشته شود تا موتور فرصت گرم شدن داشته باشد. در مورد موتورهای با سوخت گاز، شرایط به مراتب بدتر است. بنابراین در مقایسه برای پشتیبانی غیرمنتظره‌ی بارها، توان بالاتری از موتورهای مورد نیاز می‌باشد که بتوانند تغییرات یکباره‌ی بارها را پشتیبانی نماید و این به معنای بالا رفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری است. این در شرایطی است که میکروتوربین‌های گازی می‌توانند به صورت مداوم از صفر تا صد درصد بار نامی خود را بدون آسیب دیدن، افزایش میزان تعمیرات، کاهش عمر و یا افزایش دود خروجی بپذیرند.

8- **قابلیت کنترل دقیق ولتاژ و فرکانس:** سرعت بالای گردش روتور و اینرسی قابل توجهی که محور میکروتوربین دارد، موجب می‌شود که قابلیت *Fly Wheel* در این محور افزایش یابد و انرژی پتانسیل ذخیره شده موجب می‌شود که با نوسانات بار، سرعت همچنان ثابت بماند. علاوه بر این موضوع، احتراق پیوسته‌ای که در محفظه‌ی احتراق رخ می‌دهد، موجب می‌شود که فاصله‌ی زمانی بسیار اندکی مابین تغییرات بار و تغییر سوخت ورودی وجود داشته باشد که تغییر بالادرنج توان خروجی را ایجاد می‌کند. این موارد به کنترل پایدار فرکانس در خروجی منجر می‌شود که البته این موضوع به رگولاتور ولتاژ، قابلیت تثبیت ولتاژ خروجی را نیز می‌دهد. به این ترتیب رگولاتور ولتاژ می‌تواند یک ولتاژ تثبیت شده در خروجی ایجاد نماید که نوسانات آن به کمترین حد برسد و زمان جبران افت ولتاژ، کمترین حد ممکن باشد. در حالیکه موتورهای پاسخ‌گویی برای تغییرات بار دارند و به

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (49)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



دلیل تغییرات قابل توجه، معمولاً نمی‌توان خروجی آنها را مستقیماً برای کامپیوترها، تجهیزات الکترونیکی، PLCها و یا منابع تغذیه پشتیبان رادارها بدون استفاده از استایلیزرها استفاده نمود که هزینه‌های مضاعف دیگری تحمیل می‌کند.

9- **سهولت تست و بارگیری آزمایشی:** مولدهایی که به عنوان پشتیبان استفاده می‌شوند، در فواصل زمانی (مثلاً یک ماهه) باید برای حدود 10 دقیقه روشن شوند تا کارایی آنها اثبات گردد. در میکروتوربین‌های گازی این موضوع می‌تواند بدون نیاز به یک بار مصرفی انجام پذیرد، حال آنکه در موتورهای این بارگیری آزمایشی حتماً باید همراه با یک بار مصرفی انجام شود. این موضوع احتمال آسیب‌دیدگی و نیز سوخت مصرفی موتورهای را افزایش می‌دهد که منجر به کاهش کارایی خواهد شد.

10- **قابلیت خنک شدن با هوا:** موتورهای گازی و دیزلی بزرگ، نیاز به رادیاتور و آب برای خنک نمودن دارند که فضای قابل توجهی اشغال می‌نماید، این در شرایطی است که توربین‌های گازی به وسیله‌ی هوا خنک می‌شوند. علاوه بر این، وجود رادیاتور مشکلات جانبی مانند نیاز به آب‌بندی، استفاده از ضد یخ، مقابله با خوردگی لوله‌ها، رسوب‌زدایی و نیاز به تعمیر و نگهداری نیز به دنبال خود دارد که با حذف رادیاتور، این مشکلات نیز حذف می‌شود.

11- **آلودگی‌های آگزوز و آلاینده‌ی زیست محیطی:** فرآیند احتراق در میکروتوربین‌های گازی، فرآیندی مداوم است و اگر چه با 25 درصد هوای اضافی اتفاق می‌افتد، اما با اضافه شدن هوایی که برای خنک‌کاری بخش‌های داغ مورد نیاز است، هوای اضافه شده به سوخت، در حدود 300 درصد می‌باشد. بنابراین آلودگی آگزوز خروجی کاملاً بدون ضرر و تنها دربرگیرنده‌ی مقادیر اندکی اکسید نیتروژن و مونوکسید کربن است که بسیار کمتر از موتورهای می‌باشد. در جدول (22) مقادیر تولیدی NO_x , CO , THC (هیدروکربورها) برای چند نمونه از مولدها مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میزان ذرات اشاره شده در محصولات خروجی میکروتوربین کمترین است.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (50)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



جدول (22): میزان آلاینده های تولیدی در واحدهای مختلف (PPM)

THC	CO	NOx	نوع مولد
150	340	100	موتور دیزلی 500 کیلووات
10	50	25	توربین گازی 4/5 مگاوات
		200	توربین بخار با سوخت زغال سنگ 500 مگاوات
9<	25<	9<	میکروتوربین

میزان دود خروجی توربین های گازی در تمام سطوح بارگیری پایین است در حالی که در دیزل ها، میزان آلاینده های و دود تولیدی می تواند به میزان قابل توجهی با تغییرات بار و چگونگی تعمیرات تغییر نماید و در صورت تعمیر نامناسب، میزان این آلاینده های می تواند بسیار قابل توجه باشد. به ویژه در مورد کاربرد این تجهیزات در ساختمان، می تواند مشکلاتی مانند کمبود اکسیژن و یا بوی نامطبوع ایجاد نماید.

12- هزینه های نصب و راه اندازی پایین: به دلیل وزن سبک (تا یک پنجم موتورهای با توان مشابه) و ارتعاشات اندکی که میکروتوربین گازی دارد، فونداسیون مورد نیاز و هزینه های زیرسازی بسیار کمتری نسبت به موتورهای نیاز دارند. به عبارت دیگر می توان به سادگی توربین های گازی کوچک را بر روی یک سطح ساده و بدون بتون مسلح نصب نمود. در عین حال هزینه های جابه جایی و انتقال نیز به مراتب بسیار کمتر از موتورهای مشابه است.

13- آلودگی صوتی و سروصدای تولید شده: از آنجا که قسمت اعظمی از صدای تولید شده توسط توربین ها، فرکانس بالایی دارد، به سادگی و با هزینه ای اندک، می توان این سر و صدا را حذف نمود. در عین حال به دلیل ارتعاشات اندک، انتقال نویز به تجهیزات جانبی بسیار کم خواهد بود. این در شرایطی است که ایزوله نمودن صدای موتورهای به دلیل آنکه صدای تولید شده، فرکانس پایینی دارد، سخت تر و با هزینه ای بالاتر امکان پذیر است.

14- قابلیت درآمدزایی و بازگرداندن سرمایه: میکروتوربین های گازی می توانند به صورت دائم کار فعالیت کنند و از طریق فروش انرژی الکتریکی، جبران هزینه های قبض برق مصرفی مشترک و

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (51)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



کاهش زیان‌های ناشی از قطعی‌های برق، هزینه‌های صرف شده برای خود را برگردانند. این در شرایطی است که برای موتورهای دیزلی، به دلیل هزینه‌های بالای سوخت، سختی نگهداری و هزینه‌های تعمیرات بالا، توجیه اقتصادی در کارکرد مداوم وجود ندارد.

5- بررسی و تعیین حداقل ظرفیت اقتصادی شامل برآورد حجم سرمایه‌گذاری ثابت به تفکیک ریالی و ارزی (با استفاده از اطلاعات واحدهای موجود، در دست اجراء، UNIDO و اینترنت و بانک‌های اطلاعاتی جهانی، شرکت‌های فروشنده تکنولوژی و تجهیزات و ...)

با توجه به اینکه سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی و یا هر نوع محرک دیگر مانند توربین گازی، موتورهای رفت‌وبرگشتی و ... متناسب با نیاز هر مشتری باید به طور جداگانه طراحی شود، بنابراین طراحی خط تولید پیوسته برای این سیستم امکان‌پذیر نمی‌باشد و ظرفیت تولیدی کارخانه مورد نظر باید به طور سالانه مشخص گردد. توجه به این نکته لازم است که از زمان سفارش تا تحویل به مشتری باید زمان محدودی در نظر گرفته شود.

برای محاسبه حداقل ظرفیت اقتصادی کارخانه و بدست آوردن حجم اولیه سرمایه‌گذاری، لازم است تا هزینه‌های سالانه کارخانه محاسبه شود و با در نظر گرفتن مقداری حاشیه سود، میزان ظرفیت کارخانه محاسبه گردد. سپس با تعیین حجم سرمایه‌گذاری اولیه، دوره بازگشت سرمایه تخمین زده شود و در صورتیکه دوره بازگشت سرمایه مناسب باشد، ظرفیت محاسبه شده به عنوان حداقل ظرفیت کارخانه در نظر گرفته می‌شود و در صورتیکه مدت دوره بازگشت سرمایه زیاد باشد، باید محاسبات از ابتدا انجام شود و ظرفیت جدیدی در نظر گرفته شود تا دوره بازگشت سرمایه به دوره مناسبی کاهش یابد. برای محاسبه و تخمین حداقل ظرفیت کارخانه و حجم اولیه سرمایه‌گذاری طرح لازم است تا ابتدا تعدادی فرضیات برای انجام محاسبات در نظر گرفته شود. فرضیات محاسبات به شرح زیر می‌باشند:

- زمین کارخانه خریداری می‌شود و سالانه هزینه‌ای بابت اجاره زمین و یا سوله پرداخت نمی‌شود.
- تجهیزات حرارتی متناسب با نیاز مشتری طراحی می‌شود و توسط شرکت‌های سازنده تجهیزات حرارتی ساخته می‌شود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (52)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



- تجهیزات جانبی الکتریکی مانند تابلوها، کلیدها و غیره از سازندگان، تولیدکنندگان و نمایندگی‌ها خریداری می‌شود.
- کارخانه در دوشیفت 8 ساعته صبح و عصر فعالیت می‌کند، که در شیفت عصر فقط بخش عملیاتی فعال است و بخشهای اداری تعطیل می‌باشند.
- هزینه‌های سالانه احداث کارخانه شامل موارد زیر می‌باشد:
 1. هزینه پرسنل
 2. هزینه آب، برق، گاز و تلفن
 3. هزینه خرید میکروتوربین
 4. هزینه خرید تجهیزات سیستم تولید همزمان برق و حرارت از سازندگان (تجهیزات حرارتی و تجهیزات جانبی الکتریکی)
 5. هزینه خدمات فروش (از قبیل حمل، نصب و راه‌اندازی)
 6. هزینه خدمات پس از فروش

محاسبه هزینه‌های سالانه

هزینه‌های پرسنلی

برای محاسبه هزینه‌های سالانه پرسنل ابتدا باید تعداد پرسنل (اعم از اداری، عملیاتی، لجستیک و ...) به همراه تخصص هر یک مشخص گردد. در جدول (23) تعداد پرسنل کارخانه به همراه تخصص هر یک نشان داده شده است.

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (53)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



جدول (23): تعداد و تخصص پرسنل مورد نیاز برای کارخانه به همراه حقوق و مزایای در نظر گرفته شده برای هر یک

ردیف	سمت	میزان تحصیلات	تعداد	تخصص مورد نیاز	شیفت	حقوق پایه برای هر نفر *	بیمه برای هر نفر *	خالص پرداختی بر اساس تعداد *
1	مدیرعامل	کارشناسی ارشد و بالاتر	1	MBA	صبح	15000	3450	18450
2	مدیر کارخانه	کارشناسی و بالاتر	2	مهندسی برق و مهندسی مکانیک (یا مهندسی شیمی)	صبح و عصر	13000	2990	31980
3	کارشناس ارشد	مهندس برق	1	برق قدرت	صبح	10000	2300	12300
4	کارشناس ارشد	مهندس شیمی یا مکانیک	1	طراحی سیستم های CHP و CCHP	صبح	10000	2300	12300
5	کارشناس	مهندس برق، مکانیک یا شیمی	2	نیروگاه	صبح	8000	1840	19680
6	تکنسین	برق	2	توربین	صبح	7000	1610	17220
7	تکنسین	برق	2	توربین	عصر	7000	1610	17220
8	تکنسین	مکانیک	1	اتصال تجهیزات حرارتی	صبح	7000	1610	8610
9	تکنسین	مکانیک	1	اتصال تجهیزات حرارتی	عصر	7000	1610	8610
10	مدیر مالی	کارشناسی ارشد	1	مدیریت مالی	صبح	10000	2300	12300
11	مدیر فروش	کارشناسی و بالاتر	1	بازاریابی و فروش	صبح	8000	1840	9840
12	معاون حقوقی	کارشناسی ارشد	1	امور قراردادها	صبح	10000	2300	12300



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



ردیف	سمت	میزان تحصیلات	تعداد	تخصص مورد نیاز	شیفت	حقوق پایه برای هر نفر *	بیمه برای هر نفر *	خالص پرداختی بر اساس تعداد *
13	حسابدار	کارشناسی	1	حسابداری	صبح	7000	1610	8610
14	کارشناس فروش و خدمات پس از فروش	کارشناسی	2	ارتباط با مشتری	صبح	6000	1380	14760
15	منشی	فوق دیپلم یا کارشناسی	1	منشی	صبح	5000	1150	6150
16	لجستیک	دیپلم	1	رانندگی	صبح	4000	920	4920
17	آبدارچی	دیپلم	1	آبدارچی	صبح	4000	92	4920
18	جمع کارکنان		22	مجموع حقوق ماهیانه پرسنل				220170
19	مجموع ماه های در نظر گرفته شده در سال برای احتساب پاداش، عیدی و ... سالانه		16	مجموع حقوق سالانه پرسنل				3522720

* مبالغ به هزار ریال می باشد

هزینه های آب، برق، گاز و تلفن

هزینه برق کارخانه عمدتاً مربوط به سیستم های روشنایی و دستگاه های موجود در خط تولید کارخانه می باشد. میزان مساحت تقریبی کارخانه 3000 متر در نظر گرفته می شود. دیماندر در نظر گرفته شده برای برق 90 کیلووات می باشد. مقدار دیماندر بر اساس اطلاعات بدست آمده از یکی از شرکت های معتبر در زمینه تأمین تجهیزات نیروگاهی، در نظر گرفته شده است. همچنین فرض می شود که کارخانه به یک ایستگاه گاز با ظرفیت 100 مترمکعب بر ساعت نیاز دارد تا بتواند با آن مصارف گاز خود را اعم از مصارف سرمایشی، گرمایشی، انجام تست ها و ... تأمین نماید. آب مصرفی کارخانه صرفاً جهت مصرف بهداشتی می باشد. فرض می شود متوسط سرانه مصرف هر نفر 1/2 لیتر بر ساعت می باشد. بنابراین میزان مصرف آب کارخانه L/hr 26/4 محاسبه می شود که در محاسبات جهت در نظر گرفتن تمامی مصارف آب در کارخانه این مقدار L/hr

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (55)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



50 در نظر گرفته می شود. برای کارخانه 4 خط تلفن، 2 خط نمابر در نظر گرفته می شود. هزینه های سالانه آب، برق، گاز و تلفن کارخانه در جدول (24) ارائه شده است.

جدول (24) هزینه های سالانه آب، برق، گاز و تلفن

ردیف	عنوان هزینه	میزان مصرف	واحد	هزینه ریالی به ازای واحد	متوسط ساعات دسترسی سالانه	مبلغ سالانه (هزار ریال)
1	آب	50	L/hr	4	5840	1168
2	برق	90	kW	425	5840	223380
3	گاز	100	m ³ /hr	700	2920	204400
4	تلفن	6	خط	800	5840	28032
5	مجموع					456980

هزینه خرید تجهیزات سیستم تولید همزمان برق و حرارت از سازندگان (تجهیزات حرارتی و تجهیزات جانبی الکتریکی)

تجهیزات مورد نیاز برای طراحی و ساخت سیستم تولید همزمان برق حرارت عبارتست از (بدون در نظر گرفتن هزینه میکروتوربین):

- ترانس
- تجهیزات کنترل و اتصال
- کمپرسور
- تجهیزات حرارتی

در جدول (25) قیمت های استعلام شده برای هر یک از تجهیزات بالا ارائه شده است.

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (56)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



جدول (25): قیمت تجهیزات مورد نیاز برای ساخت یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت (بدون در نظر گرفتن قیمت مولد)

ردیف	نام تجهیز	تعداد مورد نیاز	قیمت (هزار ریال)	واحد قیمت	قیمت کل به ازای واحد (هزار ریال)
1	ترانس 400 ولت به 20 کیلوولت	1	250	Rial/kWe	250
2	تجهیزات کنترل و اتصال	1	700	Rial/kWe	700
3	کمپرسور	1	80	Rial/kWe	80
4	تجهیزات حرارتی	1	650	Rial/kWe	650
5	مجموع تجهیزات	4	مجموع قیمت به ازای هر کیلووات		1680

هزینه خدمات فروش (از قبیل حمل، نصب و راه اندازی)

هزینه خدمات فروش شامل حمل محصول کارخانه (سیستم تولید همزمان برق و حرارت)، ارسال نیرو جهت نصب و راه اندازی سیستم تولید همزمان برق و حرارت می باشد. با توجه به اینکه می توان از پرسنل کارخانه در این امر استفاده نمود، هزینه ای از بابت نصب و راه اندازی متوجه کارخانه نمی باشد و فقط هزینه حمل محصول به عهده کارخانه می باشد. در صورتیکه محل تحویل در قراردادهای منعقد شده در کارخانه باشد، هیچگونه هزینه ای از این بابت نیز به کارخانه تحمیل نمی شود. بنابراین هزینه خدمات فروش را می توان صفر در نظر گرفت.

هزینه خدمات پس از فروش

هزینه خدمات پس از فروش، شامل هزینه هایی است که در دوره گارانتی تجهیزات ممکن است به کارخانه تحمیل گردد. با توجه به اینکه در محاسبه هزینه های پرسنل، هزینه های مربوط به پرسنل این بخش نیز در نظر گرفته شده است باید هزینه خدمات پس از فروش را فقط در تعویض قطعات دید. چون ماهیت این هزینه بر مبنای ریسک تعریف می گردد، نمی توان هزینه دقیقی را برای آن متصور شد. بنابراین به صورت تقریبی هزینه خدمات پس از فروش 20 درصد از قیمت تمام شده دستگاه (سیستم تولید همزمان

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (57)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



برق و حرارت) در نظر گرفته می شود. با تعیین قیمت میکروتوربین و با استفاده از جدول (25) می توان مقدار این هزینه را تخمین زد.

هزینه خرید میکروتوربین

با توجه به اینکه در حال حاضر در کشور میکروتوربین هایی با توان 200 و 360 کیلوواتی با قیمتی بین 2500000 Rial/kW تا 3500000 Rial/kW موجود می باشد، به دلیل مسائل تحریم و مشکلات واردات این تجهیزات فرض می شود که از میکروتوربین های موجود در کشور برای تأمین میکروتوربین های کارخانه استفاده می شود. بنابراین هزینه خرید هر میکروتوربین را در بدترین شرایط یعنی 3500000 Rial/kW در محاسبات در نظر می گیریم.

در جدول (26) هزینه های سالانه احداث کارخانه برای سال های عمر کارخانه نشان داده شده است.

جدول (26): هزینه های سالانه احداث کارخانه

ردیف	عنوان هزینه	مبلغ سالانه هزینه	واحد هزینه
1	پرسنلی	3522720	هزار ریال
2	آب، برق، گاز و تلفن	456980	هزار ریال
3	خرید تجهیزات سیستم تولید همزمان برق و حرارت (تجهیزات حرارتی و تجهیزات جانبی الکتریکی)	1680	هزار ریال به ازای هر کیلووات
4	خدمات فروش	0	هزار ریال به ازای هر کیلووات
5	خرید میکروتوربین	3500	هزار ریال به ازای هر کیلووات
6	خدمات پس از فروش	y (مقدار دقیق بعد از تخمین ظرفیت کارخانه)	هزار ریال



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



برای محاسبه حداقل ظرفیت کارخانه، با توجه به وابسته بودن متغیرهای مربوط به هزینه‌های سالانه از روش‌های ریاضی استفاده می‌گردد. بدین منظور با در نظر گرفتن متغیر x به عنوان حداقل ظرفیت کارخانه، رابطه بین هزینه‌های سالانه با متغیر در نظر گرفته شده در غالب یک فرمول ریاضی استخراج می‌شود. این فرمول به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{هزار ریال } (3979700) + \text{هزار ریال } (5180) \times x + y \text{ (هزار ریال)} = \text{هزینه‌های سالانه کارخانه}$$

که در معادله بالا y (هزینه خدمات پس از فروش) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$y = 0/2 \times \text{هزار ریال } (3979700) + \text{هزار ریال } (5180) \times x = y \text{ (هزار ریال)}$$

بنابراین هزینه‌های سالانه کارخانه به صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$1/2 \times \text{هزار ریال } (3979700) + \text{هزار ریال } (5180) \times x = \text{هزینه‌های سالانه کارخانه}$$

با مشخص شدن هزینه‌های سالانه کارخانه، لازم است تا هزینه اولیه احداث کارخانه و درآمدهای سالانه نیز مشخص گردد تا بتوان محاسبات را تکمیل و ظرفیت کارخانه را مشخص نمود. برای تعیین هزینه‌های اولیه احداث کارخانه باید ابتدا ملزومات اولیه احداث کارخانه مشخص شود و پس از آن با تعیین مقدار هزینه هر یک از ملزومات، هزینه اولیه احداث کارخانه تعیین گردد.

ملزومات احداث کارخانه به شرح زیر می‌باشد:

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (59)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



- خرید زمین: فرض می شود که محل احداث کارخانه در شهرک صنعتی می باشد و با توجه به محل پیشنهادی احداث کارخانه که در قسمت های بعد درباره آن توضیح داده می شود، هزینه هر متر زمین در شهرک های صنعتی استان تهران به طور متوسط 450000 ریال در نظر گرفته می شود. بنابراین اگر فرض کنیم مساحت زمین مورد نیاز 3000 متر می باشد، هزینه خرید زمین 1350 میلیون ریال بدست می آید.
- عملیات عمرانی و احداث کارخانه: برای محاسبه هزینه عملیات عمرانی و احداث کارخانه که شامل هزینه ساخت سوله، بخش اداری، انبار، فضای سبز، کانال کشی و جدول بندی، خیابان کشی، تأمین سیستم گرمایشی و سرمایشی، تأمین سیستم روشنایی و ... می باشد، فرض می شود هزینه هر متر 1000000 ریال می باشد. بنابراین هزینه عملیات عمرانی و احداث کارخانه 3000 میلیون ریال بدست می آید.
- تأمین آب، برق، گاز و تلفن مورد نیاز کارخانه: هزینه تأمین آب، برق، گاز و تلفن در جدول (27) نشان داده شده است.

جدول (27): هزینه برق انشعاب آب، برق، گاز و تلفن مورد نیاز کارخانه

ردیف	عنوان انشعاب مورد نیاز	هزینه برقراری انشعاب (هزار ریال)	تعداد	هزینه کل (هزار ریال)
1	آب	350	1	350
2	برق	8000	1	8000
3	گاز	132000	1	132000
4	تلفن	500	6	3000
5	جمع کل			143350



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



- تأمین تجهیزات خط تولید: با توجه به اینکه در این مرحله تجهیزات دقیق مورد استفاده دقیقاً مشخص نمی‌باشد، هزینه تأمین تجهیزات خط تولید، 10 درصد هزینه تمام شده محصول کارخانه که سیستم تولید همزمان برق و حرارت می‌باشد در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هزینه تأمین تجهیزات خط تولید برابر با $(518 \times x)$ هزار ریال می‌باشد که وابسته است به ظرفیت کارخانه است.
 - سایر هزینه‌ها: برای در نظر گرفتن سایر هزینه‌های پیش‌بینی نشده در طول دوره احداث کارخانه، مبلغ 3 درصد به هزینه اولیه احداث کارخانه اضافه می‌گردد.
- هزینه‌های اولیه احداث کارخانه در جدول (28) نشان داده شده است.

جدول (28): هزینه‌های اولیه احداث کارخانه

ردیف	عنوان هزینه سرمایه‌گذاری	مبلغ هزینه	واحد مبلغ
1	خرید زمین کارخانه	1350000	هزار ریال
2	عملیات عمرانی و احداث کارخانه	3000000	هزار ریال
3	انشعاب و اختصاص آب، برق، گاز و تلفن	143350	هزار ریال
4	تجهیزات خط تولید	$x \times 518$	هزار ریال
5	سایر هزینه‌ها	3 درصد هزینه‌های ردیف 1 تا 4 جدول	هزار ریال

بنابراین هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری برای احداث کارخانه در قالب یک فرمول ریاضی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{مجموع هزینه‌های اولیه احداث کارخانه} = \frac{1}{03} \times (\text{هزار ریال } 4493350) + (\text{هزار ریال } 518) \times x$$



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



در مرحله آخر از محاسبات اقتصادی احداث کارخانه برای تعیین حداقل ظرفیت کارخانه، لازم است تا درآمدهای سالانه کارخانه نیز محاسبه گردد. درآمد کارخانه مد نظر فقط از طریق فروش سیستم تولید همزمان برق و حرارت به مشتریان و انعقاد قرارداد تعمیر و نگهداری با آنها حاصل می گردد. با توجه به اینکه ممکن است بعضی از مشتریان نخواهند تعمیر و نگهداری سیستم خریداری شده را به کارخانه واگذار نمایند، درصدی از میزان فروش را در محاسبات درآمد از طریق تعمیر و نگهداری سیستم فروخته شده به حساب آورده می شود. درصد در نظر گرفته شده برای هر سال 30 درصد می باشد. زیرا با توجه به اینکه جلب اطمینان مشتری برای انعقاد قرارداد تعمیر و نگهداری توسط کارخانه فروشنده کار ساده و رایجی می باشد، در نظر گرفتن حداقل 30 درصد کاملاً قابل دستیابی است و بسیار محتاطانه می باشد. در جدول (29) درآمدهای سالانه کارخانه ارائه شده است. قیمت فروش هر دستگاه با سود 30 درصدی هزینه تمام شده آن (شامل هزینه میکروتوربین، تجهیزات جانبی الکتریکی و تجهیزات حرارتی) در نظر گرفته شده است. هزینه تعمیر و نگهداری 50 Rial/kW.hr و متوسط ساعات کاری هر سیستم 5000 ساعت در نظر گرفته شده است.

جدول (29): درآمدهای سالانه کارخانه

ردیف	عنوان درآمد	مبلغ درآمد	واحد مبلغ
1	درآمد ناشی از فروش سیستم تولید همزمان برق و حرارت	$x \times 6734$	هزار ریال
2	درآمد ناشی از انعقاد قرارداد تعمیر و نگهداری سیستم تولید همزمان	$x \times 75$	هزار ریال

بنابراین درآمدهای سالانه کارخانه در قالب فرمول ریاضی به شرح زیر می باشد:

$$\text{هزار ریال } (6809) \times x = \text{درآمدهای سالانه کارخانه (هزار ریال)}$$



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



در نهایت لازم است تا استهلاك ساختمان‌ها و تجهیزات کارخانه محاسبه گردد. بر اساس اطلاعات کتاب مجموعه قوانین مالیات‌های مستقیم میزان استهلاك تجهیزات و ساختمان‌های کارخانه تعیین می‌شود. به طور متوسط استهلاك تجهیزات و ساختمان‌ها 20 سال در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هزینه استهلاك از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$\text{هزار ریال } (217500) + \text{هزار ریال } (25/9) \times x = \text{هزار ریال } (\text{هزینه‌های استهلاك کارخانه})$$

با کامل شدن محاسبات اقتصادی احداث کارخانه، در مرحله بعد با کم کردن هزینه‌های سالانه و استهلاك کارخانه از درآمدهای سالانه کارخانه، سود ناخالص محاسبه می‌شود. 25 درصد سود ناخالص به عنوان مالیات از درآمدها کسر شده و سود خالص محاسبه می‌شود. با تعیین سود خالص سالانه، در مرحله بعد دوره بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود. با توجه به مطالب فوق‌الذکر سود خالص سالانه از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{هزار ریال } (3744855) - \text{هزار ریال } (425/325) \times x = \text{سود خالص سالانه کارخانه}$$

برای محاسبه دوره بازگشت سرمایه دو فرمول مورد نیاز است که این دو فرمول عبارتند از:

فرمول شماره 1:

$$\text{هزار ریال } (3744855) - \text{هزار ریال } (425/325) \times x = \text{سود خالص سالانه کارخانه}$$

فرمول شماره 2:

$$\text{هزار ریال } (4628150/5) + \text{هزار ریال } (533/54) \times x = \text{هزینه‌های اولیه احداث کارخانه}$$

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه (63)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان سنجی مقدماتی
تولید سیستم های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



بر اساس فرمول شماره 1، برای اینکه سود خالص سالانه کارخانه مثبت باشد، حداقل ظرفیت سالانه مورد نیاز کارخانه 8805 کیلووات می باشد. با توجه به اینکه بازه استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی بین 35 تا 500 کیلووات می باشد و در کشور میکروتوربین های 200 و 360 کیلوواتی موجود می باشد، متوسط ظرفیت هر سیستم را بر محاسبه ظرفیت کارخانه بر اساس تعداد سیستم های مورد نیاز برای فروش 300 کیلووات در نظر می گیریم. بنابراین حداقل تعداد سیستم هایی که در سال باید فروخته شود، برابر 30 دستگاه می باشد.

در جدول (30) نحوه انتخاب ظرفیت بهینه کارخانه نشان داده شده است.

جدول (30): انتخاب ظرفیت بهینه کارخانه

ردیف	ظرفیت انتخابی (کیلووات)	تعداد دستگاه بر اساس متوسط ظرفیت 300 کیلووات	سود خالص سالانه (میلیون ریال)	هزینه اولیه سرمایه - گذاری (میلیون ریال)	دوره بازگشت (سرمایه سال)
1	10000	34	508/395	9963/550	19/60
2	12500	42	1571/707	11297/400	7/19
3	15000	50	2635/020	12631/250	4/79
4	17500	59	3698/332	13965/100	3/78
5	20000	67	4761/645	15298/950	3/21
6	22500	75	5824/957	16632/800	2/86
7	25000	84	6888/270	17966/650	2/61
8	27500	92	7951/582	19300/500	2/43
9	30000	100	9014/895	20634/350	2/29
10	32500	109	10078/207	21968/200	2/18
11	35000	117	11141/520	23302/050	2/90



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



بر اساس اعداد و ارقام محاسبه شده در جدول (30)، ظرفیت بهینه کارخانه در ردیف شماره 6 واقع شده است زیرا که دارای دوره بازگشت سرمایه مناسبی می‌باشد. در واقع بر اساس محاسبات ردیف 6 از جدول (30)، ظرفیت مورد نیاز برای احداث کارخانه 22/5 مگاوات فروش در سال می‌باشد که بر این مبنا هزینه اولیه احداث کارخانه قریب به هفده میلیارد ریال (معادل 1/7 میلیارد تومان) می‌باشد و دوره بازگشت سرمایه کمتر از 3 سال است.

6- میزان مواد اولیه عمده مورد نیاز سالانه و محل تأمین آن از خارج یا داخل کشور قیمت ارزی و ریالی آن و بررسی تحولات اساسی در روند تأمین اقلام عمده مورد نیاز در گذشته و آینده

مواد اولیه مورد نیاز شامل تجهیزاتی است که پس از سفارش مشتری و طراحی مشخصات فنی هر یک مشخص می‌شود. اما به طور کلی مواد اولیه تشکیل‌دهنده سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی عبارتند از:

- میکروتوربین: با توجه به اینکه تکنولوژی تولید میکروتوربین در حال حاضر در کشور وجود ندارد، این مولد باید از کشورهای دیگر وارد کشور گردد. از آنجاکه بیشتر سازندگان میکروتوربین در اطلاعات متحده آمریکا و انگلستان مستقر هستند، خرید و واردات این مولد کاری بسیار سخت است، ضمن اینکه اساساً توربین و میکروتوربین به دلیل کاربرد هسته‌ای و نظامی در شرایط سخت تحریم قرار دارد. با توجه به اینکه تعدادی میکروتوربین در حال حاضر در کشور وجود دارند، بهتر است این مولدها به عنوان مواد اولیه سیستم تولید همزمان مورد استفاده قرار گیرند و همزمان اقدام به واردات میکروتوربین نیز صورت گیرد تا راه‌های مختلف دور زدن تحریم‌ها امتحان گردد و راه حلی برای وارد نمودن آنها پیدا شود. وجود تعدادی میکروتوربین در کشور کمک شایانی است به راه‌اندازی کارخانه مورد نظر و کم کردن ریسک واردات محصول در سالهای پیش رو. گروه بین‌المللی پویا انرژی شرکتی است که در حال حاضر قریب به دویست عدد میکروتوربین خریداری کرده، وارد کشور نموده و در انبار خود از آنها نگهداری می‌کند.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (65)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



- تجهیزات حرارتی: تجهیزات حرارتی مورد نیاز در سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین گازی شامل مبدل ها و بویلرها می باشد. مبدل های حرارتی می تواند جهت گرمایش آب و یا هر مایع دیگر و گرمایش هوا برای خشک کن ها مورد استفاده قرار گیرد. بویلرها نیز می توانند بخار فشار بالا یا فشار پایین تولید کنند که برای فرآیندهای کارخانه و یا سیستم چیلر جذبی مناسب هستند. خوشبختانه توانایی ساخت تجهیزات حرارتی فوق الذکر در کشور وجود دارد و شرکت های سرشناسی از قبیل شرکت ماشین سازی اراک، شرکت گرماگستر، صنایع بخار وستوی و ... قادر به طراحی و ساخت سیستم های حرارتی می باشند.
- تجهیزات جانبی الکتریکی مانند تابلوهای کنترل، سنکرون و غیره: توانایی ساخت این تجهیزات نیز در کشور وجود دارد و تعداد بسیار زیادی شرکت در سطح کشور وجود دارند که قادر به تولید این دستگاه ها می باشند. بنابراین تأمین این تجهیزات به هیچ وجه نمی تواند دغدغه ای برای کارخانه باشد و به راحتی در دسترس است.
- ترانس: در حال حاضر شرکت ایران ترانسفو قادر به تأمین ترانسو فرماتورهای 400 ولت به 20 کیلوولت و 11 کیلوولت به 20 کیلوولت می باشد. با توجه به اینکه خروجی میکروتوربین ها 400 ولت است و ورودی به شبکه برق 20 کیلوولت می باشد، بنابراین شرکت ایران ترانسفو قادر به ساخت ترانس مورد نیاز برای اتصال به شبکه می باشد.
- کمپرسور: با توجه به اطلاعات کسب شده، گروه بین المللی پویا انرژی کمپرسورهای لازم برای میکروتوربین ها را نیز تأمین نموده است. همچنین در صورتیکه ایستگاه گاز کارخانه ای که متقاضی سیستم تولید همزمان است دارای فشار 250 psi باشد، نیازی به کمپرسور وجود ندارد و فشار گاز برای ورود به محفظه احتراق مناسب می باشد.

7- پیشنهاد منطقه مناسب برای اجرای طرح

با توجه به شکل (3) استان های تهران و البرز، خراسان، اصفهان، مرکزی، قزوین، گیلان و آذربایجان شرقی دارای بیشترین پتانسیل برای احداث کارخانه نسبت به بقیه استان های کشور می باشند. بنابراین

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (66)



مطالعات امکان سنجی مقدماتی تولید سیستم های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین های گازی



توصیه می شود مکان احداث کارخانه یکی از استان های فوق باشد. در جدول (31) اولویت هر استان همراه با ظرفیت بالقوه استان جهت احداث کارخانه ارائه شده است.

جدول (31): اولویت بندی استان های منتخب بر اساس بالاترین پتانسیل مشتری

اولویت	نام استان	تعداد مشتریان بالقوه استان
1	تهران و البرز	1198
2	خراسان	213
3	اصفهان	167
4	مرکزی	96
5	قزوین	80
6	گیلان	79
7	آذربایجان شرقی	76

8- وضعیت تأمین نیروی انسانی و تعداد اشتغال

از نظر تأمین نیروی انسانی کارخانه مشکلی وجود ندارد و مطابق جدول (23) باید تخصص های مورد نیاز جذب کارخانه شود. تخصص های مورد نیاز به راحتی در کشور وجود دارد و به راحتی نیروهای با تجربه و متخصص جذب کارخانه می شوند.

9- بررسی و تعیین میزان تأمین آب، برق، سوخت، امکانات مخابراتی و ارتباطی (راه

– راه آهن – فرودگاه – بندر ...) و چگونگی امکان تأمین آنها در منطقه مناسب برای

اجرای طرح

میزان مصرف آب، برق و گاز کارخانه پیشتر مشخص شد. بر اساس میزان مصرف کارخانه های مشابه که در کشور وجود دارند و به تولید تجهیزات الکتریکی مانند توربین های بخار و ... می پردازند، میزان مصرف

فروردین 1390	گزارش نهایی	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه (67)		مجری: دانشگاه صنعتی شریف



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



کارخانه تخمین زده شده است. در واقع لازم است تا انشعاب برق با توان 90 کیلووات، ایستگاه گاز با ظرفیت $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ و یک انشعاب آب با قطر 1 تا 2 اینچ دریافت نماید.

10- وضعیت حمایت‌های اقتصادی و بازرگانی

با توجه به اینکه تکنولوژی میکروتوربین‌ها جز تکنولوژی‌های *Hi-Tech* محسوب می‌شود، تمام حمایت‌هایی که از این تکنولوژی‌ها در کشور توسط دولت انجام می‌شود شامل میکروتوربین‌ها نیز می‌گردد. با توجه به بهره‌وری انرژی در سیستم تولید همزمان برق و حرارت، حمایت‌های وزارت صنایع نیز شامل این طرح می‌گردد و مشتریان این طرح نیز می‌توانند از حمایت‌های وزارت صنایع، توانیر و بانک استفاده نمایند.

11- تجزیه و تحلیل و ارائه جمع‌بندی و پیشنهاد نهایی در مورد احداث واحدهای

جدید

با توجه به بررسی‌های انجام شده، استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در راستای اهداف و برنامه‌های کلان کشور می‌باشد. با توجه به اینکه در حال حاضر بهره‌وری انرژی در کشور پایین می‌باشد، استفاده از چنین سیستم‌هایی امری لازم و ضروری است تا با افزایش بهره‌وری انرژی از هدر رفت منابع خدادادی جلوگیری گردد. به دلیل آزاد شدن قیمت حامل‌های انرژی به‌ویژه برق و گاز مشتریان این طرح روز به روز بیشتر می‌شوند و اقبال مختلف کشور برای افزایش بهره‌وری در مصرف انرژی و کاهش بهای پرداختی بابت انرژی به سمت خرید این سیستم‌ها هدایت می‌شوند. همچنین محاسبات اقتصادی نشان داده است که احداث این کارخانه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و مشکلات پیش‌رو در جهت احداث کارخانه کم می‌باشد و در واقع مشکل جدی در مسیر احداث کارخانه و بهره‌برداری از آن وجود ندارد. ضمن آنکه مشتریان طرح نیز زیاد هستند و با بازاریابی درست می‌توان به راحتی مشتریان زیادی را جذب نمود. نکته مثبت دیگری که در احداث این کارخانه وجود دارد، عدم وجود کارخانه‌های رقیب می‌باشد. بنابراین احداث این کارخانه توصیه می‌شود.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (68)



مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی
تولید سیستم‌های تولید همزمان برق و
حرارت بر مبنای میکروتوربین‌های گازی



12- منابع و مآخذ

1. Combined Heat and Power Installation Database, <http://www.eea-inc.com/chpdata/index.html>.
2. Resource Dynamics Corporation, "Assessment of Distributed Generation Technology Applications", 2001.
3. "Aero-Derivative Gas Turbine: the Advantages for Energy Production, Power and Energy", Asia Pacific Development.
4. Joel Bluestei, Energy and Environmental Analysis, Inc., "Overview of Distributed Generation Technologies", June 16, 2003.
5. Paul Bautista, "Distributed Generation Technologies for Commercial and Industrial Applications: Today's Options and Potential Advancements", NEMS/Annual Energy Outlook Conference, March 27, 2001.

6- معاونت توسعه صنعتی وزارت صنایع و معدن، دفتر آمار و اطلاع رسانی

7- گمرک جمهوری اسلامی ایران، دفتر آمار و اطلاع رسانی

8- مجموعه قوانین مالیات‌های مستقیم، موسسه حسابرسی و خدمات مالی دایارایان، به اهتمام غلامحسین

دوانی

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	گزارش نهایی	فروردین 1390
مجری: دانشگاه صنعتی شریف		صفحه (69)