



بررسی تاثیر پارامترهای موثر بر راندمان میکروتوربین‌های تجاری در سامانه‌های تولید سه‌گانه

سید امیر عباس - استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد E-mail: AmirOloomi@iauyazd.ac.ir

عباس مزیدی - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه یزد

حمید فرخ فال - مربی دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر

محمد علی بدری - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی اصفهان

مجید قدیرزاده - پژوهشگر شرکت گاز استان یزد

مجید نادرپور - پژوهشگر شرکت نسوز پارس

چکیده: در اغلب فرآیندهای تولیدی حاکم در برخی صنایع از قبیل شیمیایی، پتروشیمی و غیره نیاز به نیروی برق، گرما و سرما به صورت همزمان می‌باشد. در همچنین مواردی می‌توان با به‌کارگیری یک سامانه تولید سه‌گانه (تولید برق، گرما و سرما)، به‌کمک انرژی گاز تراکم تولیدی در یک میکروتوربین تولید برق نمود، همچنین گرمای اتلافی را به گرمای موردنیاز در فرآیندهای صنعتی و بالاخره توسط چیلرها به سرما تبدیل نمود. از اجزای اصلی یک سامانه تولید سه‌گانه، میکروتوربین می‌باشد که تجارت آن امروزه در حال توسعه بیشتر می‌باشد. در این مطالعه چند نوع میکروتوربین گازی تجاری مورد استفاده در سامانه‌های تولید سه‌گانه از نظر عملکرد و راندمان با یکدیگر مقایسه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که میکروتوربین‌ها دارای راندمان بسیار بالایی به‌ویژه در هنگام استفاده در سیکل‌های تولید همزمان گرما و قدرت می‌باشند. از مزایای میکروتوربین‌ها می‌توان به تعمیرات کم، وزن پایین و خروجی پاک اشاره نمود. نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط دمای هوای محیط 280K ، دمای بیشینه 1350K جهت حصول به راندمان بالا، نسبت تراکم و یا انبساط بین ۳-۴ مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قدرت، گرما، سرما، بازده، میکروتوربین و تولید سه‌گانه

Evaluation of the parametric Effects on the Efficiency of the Commercial Micro Turbines in the CCHP Systems

S. A. A. Olomo, Department of Mech.. Eng., Yazd Islamic Azad University

A. Mazidi, of Mech.. Eng., Yazd University

Abstract: In the most production processes involved some industries such as, chemical, petrochemical, these is a need for co-generation of electricity heat and refergeration. In these cases it is in CCHP system, generate the power at a micro-turbine. Also it is able to convert the heat loss to thermal energy need in industrid processes. In this study the performance of various micro turbines have been avaluated and rhen effeciency are comparied with each other. The results show that micro turbines have a very haigh effeiciency particulary, when they are using in CHP system. Other advantages of micro-turbins are a little need for maintainanse, low weight, and releatively Clem combustion products.

Keywords: Heating, Cooling, Efficiency, and Combined production

۱- مقدمه

استفاده می‌شود. شکل (۱) طرحواره یک سامانه تولید همزمان توربین گاز که حرارت بازیافت آن برای مصارف سرمایشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد. به این قبیل سامانه‌ها که به‌طور همزمان در آنها برق، گرما و سرما تولید می‌شود، تولید سه‌گانه (CCHP) اطلاق می‌شود.

مولد قدرت اولیه در سامانه‌های تولید همزمان عموماً موتور احتراقی، توربین گاز و یا پیل سوختی است. کیفیت گرمای خروجی در هر یک از این فناوری‌ها متفاوت بوده و برحسب نوع کاربردهای مختلف و نیاز گرمایشی می‌توان یکی از این فناوری‌ها را بکار برد. از نظر هزینه‌های اولیه، نصب و راه‌اندازی امروزه موتورهای احتراقی مقرون به‌صرفه بوده و سامانه‌های پیل سوختی با توجه به اینکه در مرحله توسعه بوده و هنوز به مرحله تجاری نرسیده‌اند، لذا هزینه سرمایه اولیه آنها بالا است [۲].

۲- مزایای تولید همزمان

۲-۱- افزایش بازده انرژی

در سامانه‌های تولید همزمان بازده انرژی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد بطوریکه در انواع رایج امروزی معمولاً از کل انرژی ورودی به سامانه تنها یک‌پنجم یعنی معادل ۲۰٪ آن به انرژی مفید تبدیل می‌شود. البته بازده ترمودینامیکی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی پیشرفته تا حدود زیادی افزایش یافته و حتی به ۴۰٪ تا ۵۰٪ نیز می‌رسد. باوجود این تلفات زیادی در خطوط انتقال نیرو و مصارف داخلی نیروگاه‌ها وجود دارد که تقریباً اجتناب‌ناپذیر است. در حالیکه در یک سامانه تولید همزمان در حدود چهار پنجم انرژی ورودی به انرژی مفید تبدیل می‌شود. چنانچه از فناوری‌های نوظهوری مانند پیل سوختی به‌عنوان محرک اولیه استفاده شود بازده انرژی حتی تا ۹۰٪ نیز افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش بازده انرژی در سامانه‌های تولید همزمان یکی از مزایای کاربردهای صنعتی آنها است [۳]. علاوه بر این

عموماً در نیروگاه‌های رایج امروزی از احتراق سوخت‌های فسیلی و گرمای حاصله برای تولید توان محوری و سپس تبدیل آن به نیروی برق استفاده می‌شود. در نیروگاه‌های حرارتی که سهم عمده‌ای در تأمین نیاز برق جوامع مختلف دارند، بطور متوسط تنها یک سوم انرژی سوخت ورودی به انرژی مفید برق تبدیل می‌شود. در کشور ما راندمان معمول نیروگاه‌های حرارتی حسب گزارش وزارت نیرو در حدود ۲۵٪ است [۴]. در این نیروگاه‌ها مقدار زیادی انرژی حرارتی از طرق مختلف مانند چگالنده، دیگ بخار، برج خنک‌کن، پمپ آب و تأسیسات لوله کشی و غیره به‌هدر می‌رود. به‌منظور کاهش این تلفات و افزایش راندمان سیکل، عموماً در نیروگاه‌ها از سیکل‌های بازیافت حرارت جهت پیش‌گرم کردن آب و هوا و استفاده می‌شود که این سیکل‌ها منجر به افزایش بازده نیروگاه‌های بخار تا حدود ۴۰٪ شده‌است.

استفاده هرچه بیشتر از گرمای آزادشده در حین فرآیند احتراق سوخت، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی اولیه می‌گردد. از گرمای اتلافی بازیافت‌شده از این سامانه‌ها می‌توان در مصارف گرمایشی، سرمایشی و بسیاری از فرآیندهای صنعتی استفاده نمود. تولید همزمان برق و گرما، می‌تواند علاوه بر افزایش بازده و کاهش مصرف سوخت، باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده نیز گردد [۱].

یک سامانه CHP از اجزای مختلفی تشکیل شده که می‌توان به مولد قدرت اولیه (Prime mover)، مبدل‌های حرارتی بازیافت گرما، ژنراتور، لوله‌ها، اتصالات و سایر تجهیزات جانبی از قبیل پمپها، عایق‌بندی‌ها و غیره اشاره نمود. همچنین در سامانه‌هایی که از گرمای بازیافت برای مصارف سرمایشی استفاده می‌شود، از یک سردکن تراکم تبخیری یا جذبی نیز همراه با اجزای فوق

محل خریداری می‌شود دارای نوسان پتانسیل یا افت تواتر بسیار زیادی به‌ویژه در نقاط انتهایی شبکه است که این می‌تواند آسیب‌های جدی به تجهیزات برقی وارد آورد. همچنین مقدار زیادی از نیروی برق از طریق خطوط انتقال نیرو به هدر می‌رود که در سامانه‌های تولید همزمان چون برق در محل مصرف تولید می‌شود، عملاً این بخش از تلفات صفر می‌باشد [۱].

۲-۴- امکان فروش برق تولیدشده اضافی به شبکه در سامانه‌های تولید همزمان مصرف‌کنندگان قادر خواهند بود علاوه بر تأمین نیازهای برق خود در ساعات اوج مصرف، برق تولیدی مازاد بر مصرف خود را به شبکه‌های محلی بفروشند. علاوه بر این تولید همزمان برق و حرارت یک روش صرفه‌جویی انرژی است که در آن برق و حرارت بطور همزمان تولید می‌شوند و حرارت حاصل از آن می‌تواند بمنظور گرمایش ناحیه‌ای (District heating) یا در صنایع فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد [۴]. گرمایش ناحیه‌ای شامل سامانه‌ای است که در آن حرارت به‌صورت متمرکز تولید و به تعدادی مشتری فروخته می‌شود. این کار با استفاده از یک شبکه توزیع آب داغ یا بخار بعنوان حامل انرژی حرارتی انجام می‌پذیرد.

۳- میکروتوربین

استفاده از میکروتوربین‌ها در بسیاری از کشورها بعلاوه مزایای زیاد آنها گسترش روزافزونی یافته است. در بسیاری از کاربردهای مسکونی، تجاری و صنعتی، میکروتوربین‌ها جای تغذیه از سوی شرکت‌های برق سراسری یا منطقه‌ای را گرفته‌اند. درحال حاضر بیش از ۶۶ درصد از حرفه‌ها در ایالات متحده دارای نوعی از تولید برق اضطراری یا پشتیبان هستند. بسیاری از این شرکت‌ها اعلام کرده‌اند که به نصب تجهیزات تولید پشتیبان در سال ۲۰۱۰ علاقه‌مندند. میکروتوربین‌ها هم به صورت مستقل و هم در اتصال با شبکه می‌توانند کار کنند. پراکنده شدن توزیع

تولید همزمان برق و حرارت یک روش صرفه‌جویی انرژی است که در آن برق و حرارت بطور همزمان تولید می‌شوند و حرارت حاصل از آن می‌تواند بمنظور گرمایش ناحیه‌ای (District heating) یا در صنایع فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد [۴].

۲-۲- کاهش هزینه‌های تولید انرژی برای مصرف‌کننده

در سامانه‌های تولید همزمان به‌لحاظ اینکه انرژی مصرفی برق و گرما از طریق یک واحد با سوخت ورودی معین تأمین می‌گردد، لذا هزینه تولید انرژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای از سامانه‌های رایج تولید انرژی که در آنها برق و گرما به‌صورت جداگانه تولید می‌شود کمتر است. بدین معنی که در چنین سامانه‌ها، مصرف‌کننده مجبور است برق مورد نیاز خود را از طریق شبکه‌های محلی خریداری کند و از سوی دیگر برای مصارف گرمایشی خود نیز باید گاز طبیعی یا سوخت‌های فسیلی دیگر را به‌طور جداگانه خریداری نماید. ولی در سامانه‌های تولید همزمان مصرف‌کننده از شبکه برق مستقل شده و از سوی دیگر چون از محتوای انرژی سوخت ورودی در حد بالایی استفاده می‌شود لذا هزینه‌های تولید انرژی بسیار کاهش می‌یابد. علاوه بر این، منبع اولیه انرژی نیز شامل دامنه وسیعی است که می‌تواند انواع سوخت‌های فسیلی و تجدیدپذیر از قبیل زیست توده، زمین-گرمایی یا انرژی خورشیدی باشد.

۲-۳- تولید نیروی برق با کیفیت عالی

در سامانه‌های تولید همزمان معمولاً از یک مبدل الکتریکی در خروجی ژنراتور برای تبدیل برق مستقیم به برق متناوب استفاده می‌شود. خروجی این مبدل بسیار یکنواخت و بدون نوسان پتانسیل یا تواتر می‌باشد. از سوی دیگر مولدهای این سامانه‌ها نظیر پیل سوختی دارای فناوری بسیار پیشرفته‌تری نسبت به سامانه‌های رایج هستند و برق را با یکنواختی و کیفیت بسیار بالاتری تولید می‌کنند. علاوه بر این برقی که از شبکه‌های

مصرف، انتقال برق را در کل شبکه متناسب با قدرت نصب شده کاهش می‌دهد و در نتیجه تعویض هادی‌ها، کابل‌ها و سایر تجهیزات به‌ویژه در شبکه توزیع را که با توجه به گسترش آپارتمان‌نشینی و تولید انبوه مسکن معضل بزرگی برای شرکت-های برق می‌باشد، کاهش خواهد داد. از جمله مزایای دیگر استفاده از سامانه‌های تولید سه‌گانه برای مصرف‌کنندگان می‌توان به افزایش قابلیت اعتماد، افزایش بازده کلی سامانه، کاهش هزینه تولید انرژی، کاهش نشر آلاینده‌ها و در نتیجه حفاظت از محیط زیست، ایمنی در برابر نوسانات قیمت سوخت، حق انتخاب سوخت اولیه، دسترسی به گرمایش و سرمایش مورد نیاز حین تولید قدرت، فروش برق اضافی تولیدی به شبکه اصلی توزیع برق و بالاخره امکان استفاده از سوخت و ماده مبرد مورد نیاز مناسب با قوانین حفاظت از محیط زیست اشاره نمود.

۵- معادلات حاکم

سیکل میکروتوربین که در بخش (۳) اشاره شد، به‌صورت فرآیند پایدار و جریان پایدار در نظر گرفته می‌شود، بنابراین از روابط حالت پایدار- جریان پایدار جهت تجزیه و تحلیل این سیکل استفاده می‌شود. معادله بقای انرژی به صورت زیر می‌باشد [۷]:

$$q = (h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2) + w \quad (1)$$

که در رابطه بالا q انتقال حرارت واحد جرم سیال و w کار واحد جرم سیال می‌باشد. همچنین h_1 و C_1 به ترتیب آنتالپی و سرعت سیال ورودی و نیز h_2 و C_2 به ترتیب آنتالپی و سرعت سیال خروجی می‌باشند. با صرف نظر از تغییرات انرژی جنبشی سیال ورودی و خروجی هرکدام از اجزای سیکل، می‌توان معادله بقای انرژی را اعمال نمود. کار مصرفی در کمپرسور از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$w = -(h_2 - h_1) = -C_p(T_2 - T_1) \quad (2)$$

انرژی باعث شده است که میکروتوربین‌ها بعلاوه مزایای آنها از قبیل؛ فناوری پیشرفته، قابلیت اطمینان بالا، بازده بالاتر و نیز نیاز مصرف‌کننده به انرژی با کیفیت بالاتر، انقلابی را در ساختار صنعت برق هم از نظر تغذیه و هم از نظر تقاضا ایجاد کنند.

مشخصات عمومی میکروتوربین‌ها در جدول (۱) درج شده است [۵]. مطابق شکل (۲)، یک میکروتوربین از اجزاء اصلی شامل کمپرسور، توربین شعاعی تک‌مرحله‌ای، ژنراتور مغناطیس دائم با سرعت بالا (بالتر از ۱۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه)، مبدل حرارتی بازیاب، محفظه احتراق و تنظیم‌کننده ولتاژ تولیدی و مبدل‌های الکتریکی تشکیل یافته است.

بطوریکه در طرحواره شکل (۲) مشخص است، هوای ورودی پس از گذر از فیلتر وارد کمپرسور شده و پس از تراکم از بخش مبدل بازیاب عبور می‌کند. در این قسمت دمای هوا در اثر انتقال حرارت با گازهای گرم خروجی از توربین افزایش پیدا می‌کند. هوا پس از گرم شدن وارد محفظه احتراق شده و سبب اشتعال سوخت می‌گردد. گازهای داغ حاصل از احتراق سوخت با سرعت زیاد به توربین وارد شده و پس از برخورد به پره‌های متحرک آن باعث چرخش محور توربین می‌شود. سپس در انتها گازهای داغ از خروجی توربین وارد مبدل بازیاب شده و پس از آن سیکل به‌طور پیوسته تکرار می‌گردد. بخشی از نیروی تولیدی توربین صرف چرخاندن کمپرسور شده و باقیمانده از طریق محور رابط به ژنراتور منتقل می‌شود و برق تولیدی در ژنراتور پس از تنظیم پتانسیل به مصرف‌کننده می‌رسد.

۴- مزایای استفاده از سامانه‌های تولید سه‌گانه

نصب تولید پراکنده در تنظیم و پایدار نگهداشتن ولتاژ، اصلاح و تزریق توان الکتریکی فعال، حفظ توان و بالاخره بهبود کیفیت برق شبکه تأثیر مثبت دارد. نصب تولید پراکنده در محل‌های

$$t = \frac{T_3}{T_1} \quad (9)$$

۶- پارامترهای موثر بر بازده

با بررسی رابطه (۸) می‌توان دریافت که پارامترهای موثر بر بازده یک میکروتوربین، دمای هوای ورودی به کمپرسور، دمای گازهای ورودی به توربین و نسبت فشار فرآیند تراکم یا انبساط می‌باشند. حدود تغییرات هر یک از پارامترهای فوق در جدول (۲) درج شده‌است.

به‌منظور بررسی اثر هر یک از پارامترهای فوق بر بازده یک میکروتوربین در سامانه‌های تولید سه‌گانه، عملکرد ۵ نوع میکروتوربین تجاری با مشخصات مختلف مطابق جدول (۳) مطالعه شده‌است [۸]. شکل (۳) تأثیر دمای هوای ورودی به کمپرسور بر توان تولیدی سامانه تولید سه‌گانه را برای پنج میکروتوربین فوق را نشان می‌دهد. با بررسی این شکل ملاحظه می‌شود، با افزایش دمای هوای ورودی به کمپرسور توان تولیدی کاهش می‌یابد.

شکل‌های (۴) و (۵) تأثیر دمای گازهای ورودی به توربین گاز بر توان تولیدی و بازده سامانه تولید سه‌گانه را برای پنج میکروتوربین فوق را نشان می‌دهد. با بررسی دقیق این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، با افزایش دمای گازهای ورودی به توربین گاز، بازده سیکل به‌صورت محسوسی بهبود می‌یابد و توان تولیدی نیز افزایش می‌یابد.

با بررسی رابطه (۸)، مشخص می‌شود که نسبت فشار تراکم یا انبساط، γ ، نسبت به دو پارامتر فوق، تأثیر محسوسی در بهبود بازده سیکل می‌باشد. در شکل‌های (۶) و (۷) تأثیر نسبت فشار را به‌ترتیب بر توان تولیدی و بازده سامانه تولید سه‌گانه را برای پنج میکروتوربین فوق را نشان می‌دهد. با بررسی این شکل‌ها

T_1 و T_2 به‌ترتیب، دمای هوا در ورود و خروج از کمپرسور می‌باشند. مقدار انتقال حرارت نیز از معادله (۳) قابل محاسبه است.

$$q = (h_3 - h_2) = C_p(T_3 - T_2) \quad (3)$$

بالاخره کار خروجی توربین از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$w = (h_3 - h_4) = C_p(T_3 - T_4) \quad (4)$$

T_3 و T_4 به‌ترتیب، دمای ورودی و خروجی گازها از توربین می‌باشند. راندمان سیکل از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\eta = \frac{W_{net}}{q} \quad (5)$$

در رابطه فوق، W_{net} کار خالص سیکل می‌باشد که از اختلاف کار تولیدی توربین و کار مصرفی کمپرسور محاسبه می‌گردد. با جاگذاری معادلات (۲) تا (۴) در معادله (۵) و با فرض اینکه فرایندهای انبساط و تراکم آدیاباتیک باشند، می‌توان رابطه بازده را به صورت زیر بیان نمود:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (6)$$

که r نسبت تراکم یا انبساط می‌باشد:

$$r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \quad (7)$$

رابطه (۶) نشان می‌دهد که بازده سیکل به نسبت تراکم یا انبساط بستگی دارد و نیز متاثر از نوع گاز عامل می‌باشد. γ نسبت دو گرمای ویژه گاز است و برای هوا برابر با ۱/۴ می‌باشد.

کار خالص سیکل نیز به نسبت فشار (تراکم یا انبساط) و همچنین به دمای بیشینه سیکل بستگی دارد:

(۸)

$$\frac{w}{C_p T_1} = t \left(1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)/\gamma}} \right) - (r^{(\gamma-1)/\gamma} - 1)$$

که در رابطه بالا t برابر است با:

می‌یابد. همچنین، با افزایش دمای گازهای ورودی به توربین‌گاز، بازده سیکل به صورت محسوسی بهبود می‌یابد و توان تولیدی نیز تقریباً با روند یکنواختی افزایش می‌یابد. ولی تحلیل اثر نسبت فشار تراکم یا انبساط نشان می‌دهد که نه تنها این پارامتر نسبت به دو پارامتر فوق، تأثیر محسوسی در بهبود بازده و توان تولیدی دارد بلکه تغییر آن روند کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در نسبت فشارهای پایین، بازده و توان تولیدی ناچیز می‌باشد ولی به تدریج که نسبت فشار افزایش می‌یابد، این کمیت‌ها سریعاً افزایش می‌یابند. پس از افزایش نسبت فشار بیشتر از مقدار بهینه، توان تولیدی هنوز هم بطور بطنی افزایش می‌یابد ولی بازده توربین کاهش می‌یابد. نسبت فشار بهینه در حدود ۴ الی ۵ می‌باشد.

۸- مراجع و منابع

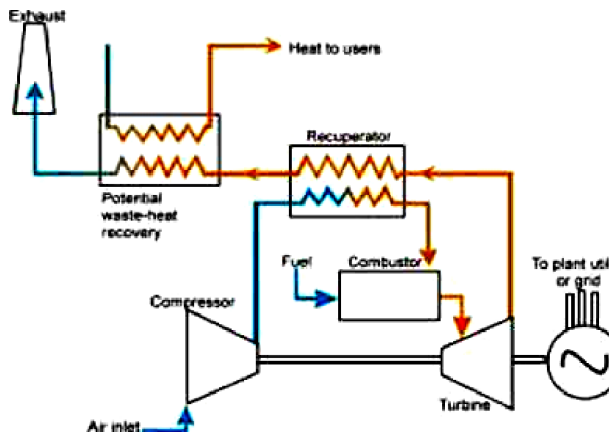
- [1] Casten, S., "Free Electricity Making the Most of a CHP System Design", *the World Energy Engineering Congress*, Atlanta, GA, 2003.
- [2] Rekha. T., Jagaduri, "Modeling/Simulation of Combined Pem Fule Cell And Microturbine Distrubted Generation Plant", *Department of Electrical and Computer Engineering, Tennessee Technological University*, 2000.
- [3] P. J., Mago, N., Fumo, and L. M., Chamra, "Performance Analysis of CCHP and CHP Systems Operating Following the Thermal and Electric Load", *J. of Energy Research*, 33(9), 852-864, 2009.
- [4] K., Tina and R. N. Elliott, "Combined Heat and Power: Saving Energy and the Environment", *Northeast-Midwest Economic Review*, 4-10, 1998.
- [5] "Gas Turbine World Handbook", *Requat Publishing Inc.*, 654 Hillside Road, Fairfield, CT 06430, USA, 1995.
- [6] H. Santoyo, and S. Cifuentes, "Trigeneration:

مشاهده می‌شود که بازده سیکل و نیز توان تولیدی در نسبت فشارهای پایین، ناچیز می‌باشد، ولی به تدریج که نسبت فشار افزایش می‌یابد، هر دو کمیت‌های بازده سیکل و توان تولیدی سریعاً افزایش می‌یابند. پس از افزایش نسبت فشار بیشتر از مقدار بهینه، توان تولیدی هنوز هم بطور بطنی افزایش می‌یابد ولی بازده توربین کاهش می‌یابد. نسبت فشار بهینه در حدود ۴ الی ۵ می‌باشد.

۷- نتیجه گیری

بطوریکه اشاره رفت، هزینه شبکه‌های انتقال و توزیع سهم عمده‌ای از هزینه تولید انرژی را شامل می‌شود و بنابراین چنانچه از سامانه‌های تولید پراکنده شود هزینه تولید نیروی برق به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت. یکی از گزینه‌های مولدهای اولیه در سامانه‌های تولید پراکنده، بدلیل نیاز به فضای نصب کمتر، کوتاه‌بودن برگشت سرمایه، کاهش نشر آلاینده‌های زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری در مقایسه با مولدهای دیگر میکروتوربین‌ها می‌باشند. علاوه براین، تجهیز سامانه‌های تولید سه‌گانه قدرت، گرما و سرما در اماکن مسکونی و تجاری با تراکم بالا و شهرک‌های صنعتی به علاوه بر کاهش مصرف سوخت و بهینه‌سازی مصرف انرژی، در زمان‌های اوج مصرف نیز بسیار مفید است.

در این مطالعه اثر پارامترهای مهم بر روی بازده و توان تولیدی میکروتوربین در سامانه‌های تولید سه‌گانه بررسی شد که این پارامترها می‌توان در دمای هوای ورودی به کمپرسور، دمای گازهای ورودی به توربین و نسبت فشار فرآیند تراکم یا انبساط خلاصه نمود. به منظور بررسی اثر هر یک از پارامترهای فوق بر بازده یک میکروتوربین در سامانه‌های تولید سه‌گانه، عملکرد ۵ نوع میکروتوربین تجاری مطالعه شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوای ورودی به کمپرسور توان تولیدی کاهش



شکل (۲): طرحواره سیکل یک میکروتوربین و اجزاء اصلی آن

جدول (۲): حدود تغییر پارامترهای موثر در عملکرد میکروتوربین‌ها

نسبت فشار تراکم یا انبساط	دمای گازهای ورودی به توربین (K)	دمای هوای ورودی به کمپرسور (K)
۱/۵	۸۷۳	۲۷۳
۲	۹۲۳	۲۷۸
۲/۵	۹۷۳	۲۸۳
۳	۱۰۲۳	۲۸۸
۳/۵	۱۰۷۳	۲۹۳
۴	۱۱۲۳	۲۹۸
۴/۵	۱۱۷۳	۳۰۳
۵	۱۲۲۳	۳۰۸
۵/۵	۱۲۷۳	۳۱۳
۶	۱۳۲۳	۳۱۸

جدول (۳): مشخصات عمومی پنج نوع میکروتوربین تجاری [۸]

ردیف	نام تجاری	توان (Kw)	کاربرد
۱	Turbec T100	۱۰۰	همزمان
۲	Bowman TG80CG	۸۰	سه گانه
۳	IR PowerWorks	۷۰	سه گانه
۴	Capstone C30	۳۰	سه گانه
۵	Elliott TA-80R	۸۰	سه گانه

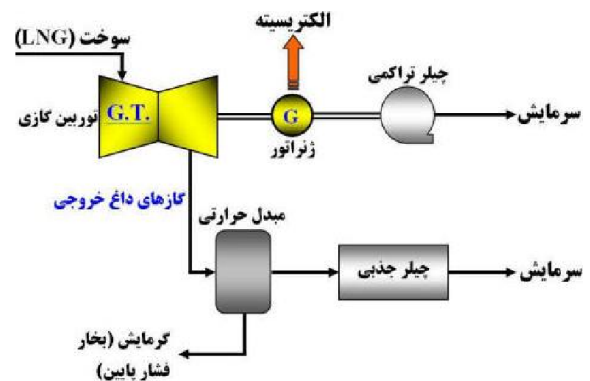
an Alternative for Energy Savings”, *Applied Energy* 76, 219-227, 2003.

[7] H., Cohen and, G. F. C. Rogers, “Gas Turbine Theory”, *Longman Group*, London, 2000.

[8] PA., Pilavachi, “Mini- and Micro-Gas Turbines for Combined Heat and Power”, *Applied Thermal Engineering*, 14, 2003.

تشکر و قدردانی

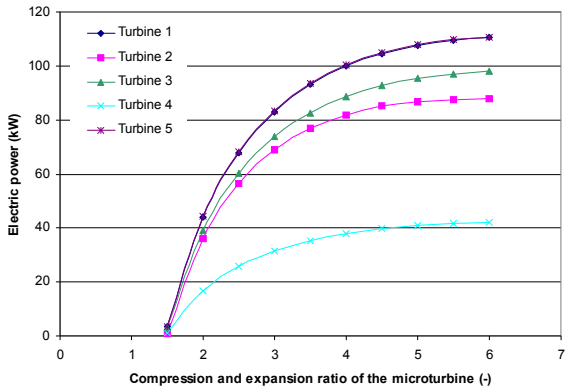
این مقاله حاصل طرح پژوهشی با عنوان مقایسه میکروتوربین‌های تجاری در سامانه‌های تولید سه‌گانه و بررسی چگونگی تأثیر پارامترهای موثر بر بازده آنها می‌باشد که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد انجام پذیرفته است. بدینوسیله نویسندگان این مقاله از معاونت محترم پژوهشی و شورای پژوهشی این واحد دانشگاهی که موجبات انجام این طرح را فراهم آورده‌اند کمال تشکر و قدردانی را تقدیم می‌دارند.



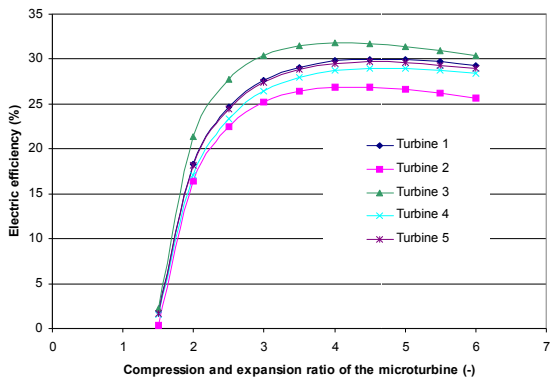
شکل (۱): طرحواره یک سامانه CHP با مولد توربین گاز

جدول (۱): ویژگی‌های کلی میکروتوربین‌ها

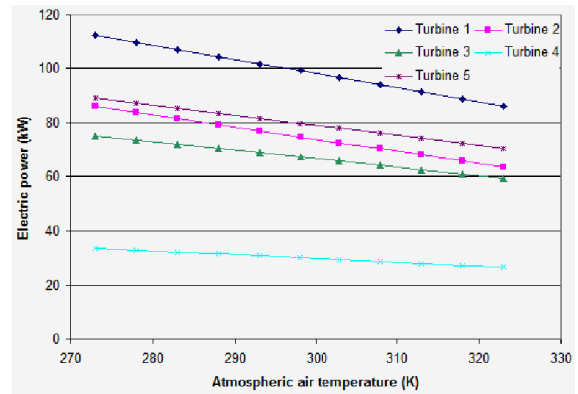
دسترسی پذیری از نظر تجاری	قابل دسترسی ولی محدود
گستره توان	۲۵ الی ۵۰۰ کیلو وات
سوخت	دیزل، پروپان، هیدروژن و گاز طبیعی
بازدهی الکتریکی	۲۰ تا ۳۰ درصد



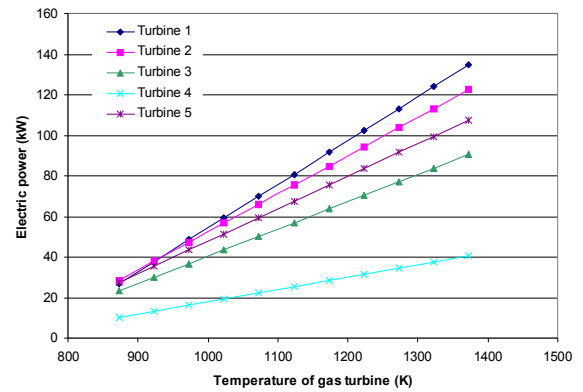
شکل (۶): تاثیر نسبت فشار بر روی توان تولیدی پنج نوع میکروتوربین در یک سامانه تولید سه گانه



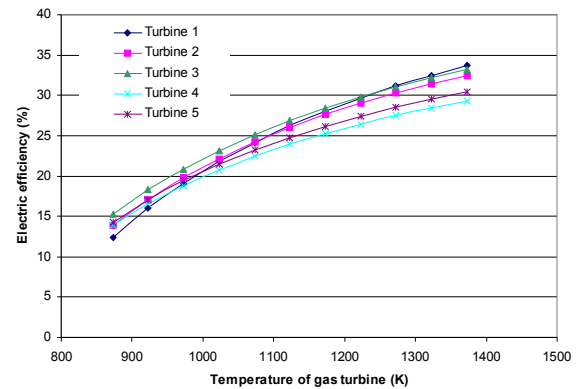
شکل (۷): تاثیر نسبت فشار بر روی بازده پنج نوع میکروتوربین در یک سامانه تولید سه گانه



شکل (۳): تاثیر دمای هوای محیط بر توان تولیدی در یک سامانه تولید سه گانه برای پنج نوع میکروتوربین



شکل (۴): تاثیر دمای گازهای ورودی به توربین بر روی توان تولیدی پنج نوع میکروتوربین در یک سامانه تولید سه گانه



شکل (۵): تاثیر دمای گازهای ورودی به توربین بر روی بازده پنج نوع میکروتوربین در یک سامانه تولید سه گانه