مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 109-112

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395
مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

# بررسی تجربی تاثیر دمای محیط بر کارکرد مولد موتور گازسوز تولید همزمان برق و حرارت در اقلیم گرم وخشک

احسان باقری[1*]، مهدی معرفت[2]، عسگر مینایی[1]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی 14115-111، e.bagheri@modares.ac.ir

## چکیده

در پژوهش حاضر تاثیر دمای محیط بر عملکرد یک مولد موتور احتراقی گازسوز تولید پراکنده در اقلیم گرم وخشک شهر یزد بررسی شده است. موتور احتراقی یک موتور احتراقی درون‌سوز گازی می‌باشد که به یک ژنراتور با توان یک مگاوات برای تولید برق کوپل شده است و سیستم خنک‌کاری مولد گازسوز به‌صورت فن کولری می‌باشد. شرایط محیطی از جمله ارتفاع از سطح دریا، دمای محیط و رطوبت بر کارکرد موتور گازسوز بسیار تاثیرگذار می‌باشند و در نتیجه بر میزان برق تولیدی از این موتورها نیز تاثیر می‌گذارند. در این مقاله تاثیر تغییرات دمای محیط بر عملکرد مولد گازسوز احتراق داخلی و همچنین توان و حرارت تولیدی در شرایط آب و هوایی تابستان و زمستان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بررسی ها نشان می‌دهد که در کارکرد موتور در فصل تابستان، دمای محیط تاثیر به‌سزایی در عملکرد سیستم دارد به طوری‌که در دمای بالای 40 °C محیط به ازای هر 5 °C افزایش دمای محیط، به طور تقریبی توانایی تولید مولد 12 درصد کاهش می‌یابد. در فصل زمستان و در دماهای پایین محیط(15 °C) تاثیر دمای محیط بر توانایی تولید برق مولد کمتر از فصل تابستان می‌باشد که در موارد استفاده از تولید همزمان برق و حرارت بسیار بر روی میزان تولید حرارت تاثیرگذار می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در ارزیابی‌های فنی و اقتصادی این‌گونه سیستم‌ها می‌بایست اثر دمای محیط بر میزان تولید برق و حرارت در نظر گرفته شده و با توجه به آن ارزیابی صورت گیرد و در صورت نیاز از پشتیبان برای تولید برق یا حرارت استفاده شود.

***کلید واژگان:*** تولید پراکنده، مولد گازسوز، تولید همزمان برق و حرارت

# An experimental study of the effect of ambient temperature on CHP gas engine performance in hot and dry climate

**Ehsan Bagheri*, Mehdi Maerefat, Asgar Minaei**

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O.B. 14115-111, Tehran, Iran, e.bagheri@modares.ac.ir

## ABSTRACT

In the present research, the effect of ambient temperature on a distributed generation (D.G.) gas engine generator performance in hot and dry climate of Yazd province is studied. The gas engine is an internal combustion engine which is coupled with a 1 MW generator and engine cooling system is performed by a fan cooler. Ambient conditions such as altitude above the sea level, temperature and humidity are strongly effective on the gas engine performance and as a result affect the system electrical power output. In this paper, the effect of changes in ambient temperature on gas engine performance and heat and electricity generation in summer and winter weather conditions is studied. Results show that in summer the ambient temperature highly affects the system performance such that, in the ambient temperatures higher than 40 °C, the electrical power output decreases approximately 12% for every 5 °C increase in ambient temperature. In winter and ambient temperatures lower than 15 °C, the effect of ambient temperature on the system output is less significant than summer season. In combined heat and power (CHP) cases, these changes are effective on generated heat rate. According to results, in economic and technical evaluation of these systems the effect of ambient temperature on power and heat generation must be considered and backup must be provided if needed.

***Keywords:*** Distributed generation (D.G.), Gas engine, Combined heat and power (CHP)

## 1- مقدمه

امروزه در اکثر کشورها در زمینه صنعت برق، تحول عظیمی در سیستم‌های تولید و انتقال انرژی به وجود آمده است، یکی از سیستم‌های نوین تولید صنعت انرژی، تولید پراکنده[1] انرژی می‌باشد. سیستم‌های پراکنده برق و حرارت با هدف بهینه‌سازی در مصرف انرژی، کاهش اتلافات ناشی از انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در شبکه و نیز کاهش آلودگی های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های بزرگ به کار گرفته می‌شوند و همچنین در این‌گونه سیستم‌ها قابلیت استفاده از گرمای بدنه و اگزوز مولد وجود دارد. در روش سنتی، تامین انرژی الکتریکی در واحدهای بزرگ نیروگاهی و به صورت مجزا انجام شده و انرژی الکتریکی حاصل، از طریق خطوط شبکه سراسری توزیع می‌گردد .در این روش اتلافات ناشی از توزیع و انتقال برق، همچنین هزینه‌های انتقال و توزیع مبلغ هنگفتی به شبکه توزیع برق تحمیل می‌نماید. بدین منظور و با هدف تامین امنیت بیشتر شبکه، به‌کارگیری سیستم‌های تولید پراکنده توصیه می‌شود. در این سیستم‌ها، انرژی الکتریکی در مقیاس‌های کوچکتر و غالبا توسط محرک‌های اولیه نظیر موتورهای احتراقی

[1] Distributed Generation

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
E.Bagheri, M.Maerefat, A.Minaei, An experimental study of the effect of ambient temperature on CHP gas engine performance in hot and dry climate, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 109-112, 2016 (in Persian فارسی)

[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.27.4 ]

پیستونی، توربین‌ها و میکروتوربین‌های گازسوز و یا دیگر تکنولوژی‌ها نظیر پیل های سوختی، تولید و به مصرف می‌رسد. در این صورت اتلافات ناشی از توزیع برق در شبکه کاهش یافته و به دلیل به‌کارگیری سیستم‌های نوین‌تر و با به‌کارگیری حرارت سیستم، راندمان افزایش می‌یابد که این خود موجب کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی های زیست محیطی شده ضمن این‌که به دلیل مستقل بودن تولید الکتریسیته، امنیت تامین برق در شبکه افزایش یافته و خسارات ناشی از قطعی برق کاهش می یابد. این مهم در به کارگیری سیاست تولید پراکنده در مراکز نظامی و دفاعی، همچنین مراکز بیمارستانی نقش بسزایی دارد. همچنین مناطق دور افتاده و دور از شبکه سراسری نیز از جمله گزینه های مناسب جهت استفاده از توزیع پراکنده می‌باشد [1].

از پر کاربردترین محرک‌های اولیه در تولید پراکنده، موتورهای احتراق داخلی می‌باشند. در موتورهای احتراق داخلی، شرایط محیطی از جمله ارتفاع از سطح دریا، دمای محیط و رطوبت بسیار تاثیرگذار بر کارکرد موتور می‌باشد و بنابراین بر میزان تولید برق و به تبع آن تولید حرارت اثر مستقیم دارند. روند تاثیر این پارامترها در منحنی‌ها یا جداولی به نام جداول انحراف از شرایط استاندارد[1] از طرف سازنده در اختیار مصرف کننده قرار می‌گیرد و با توجه به سازنده و نوع موتور میزان این تاثیرات متفاوت می باشد.

در کارهای انجام شده ارزیابی فنی و اقتصادی تاکنون برای سیستم‌های مقیاس کوچک تولید همزمان برق و حرارت اثر دمای محیط بر تولید میزان برق و حرارت (دمای ورودی و خروجی مولد و مبدل حرارت) لحاظ نشده و ظرفیت نامی مولد لحاظ شده است که این امر موجب بروز خطا در تحلیل‌های صورت گرفته می‌شود [3,2].

در این مقاله بررسی عملی کارکرد یک سیستم موتور گازسوز کوپل شده با ژنراتور (مولد گازسوز) با قدرت یک مگاوات که با یک فن کولر ساخت داخل در حال بهره‌برداری می باشد بررسی شده است. اثر تاثیر دمای محیط بر میزان تولید برق مولد در شرایط آب‌وهوایی تابستانی و همچنین مقایسه آن با شرایط زمستانی در اقلیم گرم و خشک انجام شده است.

## 2- موتور احتراق داخلی مورد مطالعه

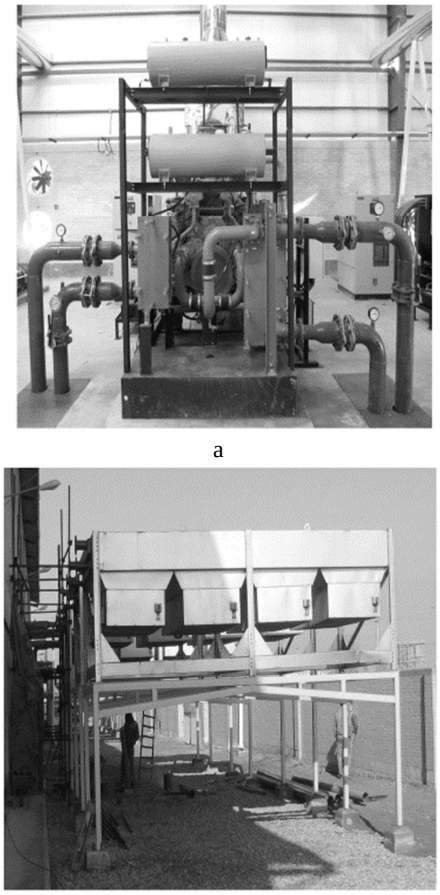
موتور احتراق داخلی استفاده شده در مقاله حاضر یک موتور گازسوز شرکت پرکینز مدل 4016-61TRS2 می‌باشد. این موتور برای تولید برق به یک ژنراتور با قدرت 1MW کوپل شده است. سیستم خنک کاری مولد گازسوز به صورت فن کولر می باشد. "شکل 1" سیستم مولد و فن کولر مورد آزمایش در نیروگاه را که در شهر یزد (اقلیم گرم و خشک) نصب و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است را نشان می دهد.

شماتیک فن کولر در "شکل 2" نشان داده است. در سیستم خنک‌کاری "شکل 2"، از مبدل حرارتی صفحه ای[2] برای تبادل حرارت مدار موتور و مدار فن کولر استفاده شده است و در مدار دما بالا (چون دامنه دمای آن بالا است) یک مسیر برای استفاده از آب گرم موتور به‌منظور تولید همزمان برق و حرارت وجود دارد. استفاده از آب گرم موتور از طریق مبدل حرارتی صفحه ای به صورت رابطه (1) می باشد.

$$Q = \dot{m} c_p (T_2 - T_1) \quad (1)$$

که در آن $Q$ مقدار توان گرمایی قابل حصول از مولد می‌باشد که محدوده دمای ورودی و خروجی از مولد وابسته به میزان برق تولیدی بوده و میزان تولید برق نیز وابسته به دمای محیط می‌باشد. $\dot{m}$ دبی جرمی آب موتور در مدار دما بالا می‌باشد. $c_p$ ظرفیت حرارتی خنک کننده (آب) می‌باشد و $T_2$ و $T_1$ به‌ترتیب دمای ورودی و خروجی از مبدل حرارتی صفحه‌ای می‌باشد که در حین کارکرد مولد اندازه‌گیری می شود.

مولد مورد مطالعه در این پژوهش، یک موتور گازسوز کوپل با یک ژنراتور می‌باشد که توان خروجی آن در شرایط استاندارد یک مگاوات می‌باشد و مشخصات عملکردی سیستم خنک‌کاری این مولد در جدول 1 آمده است.



a

b

**Fig. 1** a) Internal combustion motor and b) and fan cooler.

**شکل 1** a) شمایی از مولد مورد آزمایش و b) فن کولر

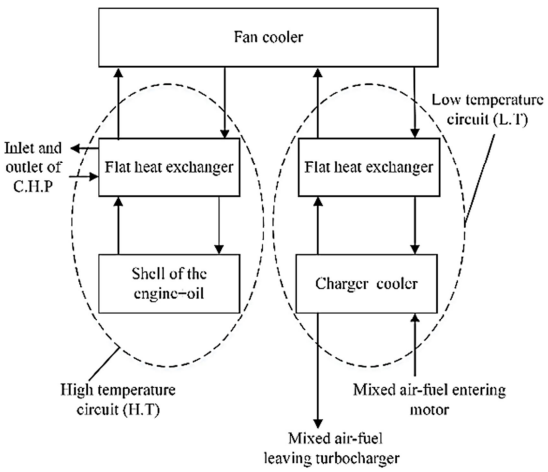



**Fig. 2** Schematic presentation of cooling system

**شکل2** دیاگرام جریانی سیستم خنک کن موتور

[1] Derate Chart
[2] Plate Heat Exchanger (P.H.E.)



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.27.4 ]

**Table 1** Operating condition of cooling system

**جدول** 1 مشخصات عملکردی سیستم خنک کاری موتور

| | مدار آب دما بالا (H.T.) | مدار آب دما پایین (L.T.) |
|---|---|---|
| دبی آب خنک کننده (Litr/min) | 950 | 600 |
| دمای آب ورودی به موتور (℃) | 81 | 36 |
| دمای آب خروجی از موتور (℃) | 96 | 40 |

قدرت خنک‌کاری فن کولر به شدت وابسته به دمای محیط بوده به‌طوری که در فصل‌های گرم نسبت به فصل‌های سرد تولید برق مولد در شرایط یکسان دمایی مولد پایین‌تر می باشد.

یکی از پارامترهای کلیدی دمایی در کارکرد موتور که دمای محیط بر آن مستقیماً اثرگذار می‌باشد، دمای مخلوط هوا و سوخت ورودی به سیلندر می باشد. در صورت بالا بودن بیش از حد این دما، در موتور پدیده ناک[1] بوجود آمده و یا به مرور زمان موجب ذوب شدن تاج پیستون می‌شود، بنابراین کنترل این دما برای کارکرد موتور حائز اهمیت می‌باشد. برای مولد مورد مطالعه در پژوهش حاضر، به‌منظور کارکرد در حالت مطلوب این دما نمی‌بایست از 55 ℃ تجاوز نماید. دمای مخلوط هوا و سوخت ورودی به سیلندر توسط آب خنک‌کننده مدار LT تنظیم می شود. پارامتر مهم دیگر دمای آب خنک‌کننده موتور می‌باشد که این دما تا 99 ℃ ایجاد مشکل نخواهد کرد و با توجه به عملکرد فن کولر مورد استفاده در سیستم، دمای مخلوط سوخت و هوای ورودی به موتور زودتر به مقدار بحرانی خود می‌رسد و بنابراین پارامتر تحت کنترل برای کارکرد موتور دمای مخلوط سوخت و هوای ورودی به سیلندر خواهد بود و این پارامتر بر توان قابل حصول از مولد بسیار تاثیرگذار می باشد.

"شکل 3" منحنی انحراف از تولید را براساس دمای محیط و دمای مخلوط ورودی به سیلندر نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می شود با افزایش دمای محیط و ثابت بودن دمای مخلوط ورودی در دمای حداکثر (55 ℃) مقدار انحراف از تولید افزایش می‌یابد. همچنین این منحنی پیش‌بینی انحراف از تولید را تا دمای محیط حداکثر 40 ℃ انجام می‌دهد و در دماهای بالاتر محیط اطلاعاتی در اختیار قرار نمی‌دهد.

در این پژوهش مولد ذکر شده با یک فن کولر ساخت داخل مورد بهره‌برداری قرار گرفته و بررسی توان تولیدی توسط مولد بصورت تابعی از دمای محیط (فصل سرد و گرم) انجام شده است. به‌منظور این بررسی، در دماهای مختلف محیط با ثابت نگه داشتن دمای مخلوط سوخت و هوای ورودی به منیفولد در حداکثر خود، 55 ℃، که در این حالت توان حداکثر نیز تولید خواهد شد، اثر دمای محیط بر عملکرد سیستم بررسی شده است.

## 3- بحث و نتایج

در ابتدا کارکرد مولد در فصل تابستان مورد بررسی قرار گرفته است. با ثابت نگه داشتن دمای مخلوط سوخت و هوای ورودی به سیلندر در دمای 55 ℃ (با تلورانس 0.5 ℃) اثر دمای محیط بر توان تولیدی مولد مطابق "شکل 4" می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می شود در دمای بالای 40 ℃ محیط به ازای 5 ℃ افزایش دما تقریبا 12 درصد توانایی تولید مولد کاهش می‌یابد که نشانگر وابستگی بالای کارکرد سیستم به دمای محیط در درجه حرارت‌های بالا دارد.

در فصل سرد سال (پاییز) نیز در بار ثابت 75 درصد اثر دمای محیط بر دمای ورودی مخلوط سوخت و هوا به منیفولد مطابق "شکل 5" بررسی شده است. این شکل بیانگر آن می‌باشد که در دمای پایین محیط وابستگی دمای مخلوط ورودی نسبت به دمای محیط پایین می باشد به طوری که با افزایش 15 ℃ دمای محیط، دمای مخلوط ورودی تقریباً 5 ℃ افزایش داشته است.

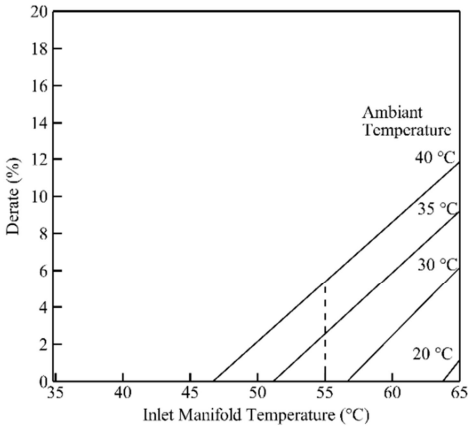



**Fig. 3** Effect of ambient and mixed air-fuel temperatures on derate factor presented by manufacturer

**شکل 3** منحنی اثر دمای محیط و دمای مخلوط سوخت و هوا بر انحراف از تولید مولد، ارائه شده توسط سازنده

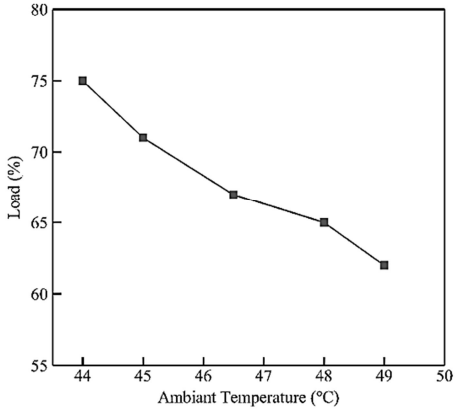



**Fig. 4** Effect of ambient temperature on the generator performance in high ambient temperature

**شکل 4** اثر دمای محیط بر کارکرد مولد در دمای محیط بالا (دمای ورودی مخلوط سوخت و هوا ثابت)

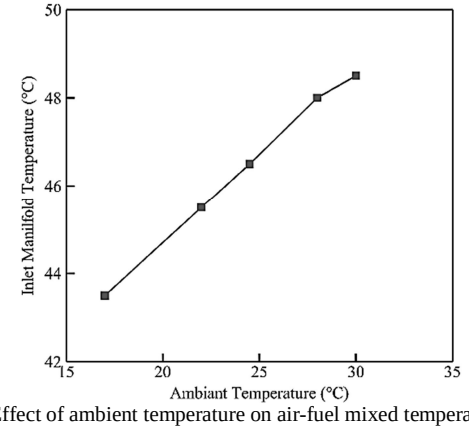



**Fig. 5** Effect of ambient temperature on air-fuel mixed temperature at high ambient temperature

**شکل 5** اثر دمای محیط بر دمای مخلوط سوخت و هوا در دمای محیط پایین (بار مولد ثابت)

**Table 2** Minimum and maximum inlet temperatures to engine in cold and hot season

[1] Knock



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.27.4 ]

**جدول 2** حداقل دمای ورودی و خروجی به موتور در مدار دما بالا در فصل گرم و سرد

| | حداقل دمای $T_1$ | حداقل دمای $T_2$ |
|---|---|---|
| فصل گرم | 55 | 74 |
| فصل سرد | 46 | 70 |

برای محاسبات چگونگی استفاده از گرمای موتور به‌منظور گرمایش در سیستم تولید همزمان اندازه‌گیری دمای ورودی و خروجی آب موتور به مولد حرارتی صفحه‌ای در مدار دما بالا انجام شده است. با توجه به اندازه‌گیری های انجام شده، حداقل دمای $T_1$ و $T_2$ در بارهای مختلف در فصول سرد و گرم مطابق جدول 2 می‌باشد، همان‌طور که مشخص است، با توجه به کارایی مناسب مبدل حرارتی صفحه‌ای، حداقل دمای 60 ℃ را به‌منظور گرمایش تامین نمود، ولی میزان دبی آب با توجه به بار مولد متغیر می‌باشد.

## 4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش بررسی عملی کارکرد موتور ژنراتور گازسوز در شرایط مختلف دمایی محیط بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده آن است که در دمای بالای 40 ℃ محیط به‌ازای 5 ℃ افزایش دما تقریبا 12 درصد توانایی تولید مولد کاهش می‌یابد، ولی در دمای پایین محیط (15 ℃) اثر افزایش دمای محیط کمتر می‌باشد. لذا با توجه به تاثیر بسزای دمای محیط بر کارکرد موتور در فصل گرم در اقلیم گرم و خشک، خنک‌کاری سالن مولد بسیار حائز اهمیت می باشد.

همچنین در کلیه دماهای محیط با توجه به رنج بالای آب مدار خنک کن دما بالا در صورت استفاده از حرارت آب می‌توان به دمای حداقل 60 ℃ دست یافت ولی میزان دبی آن با توجه به بار موتور متغیر می باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده، در ارزیابی‌های فنی و اقتصادی این‌گونه سیستم‌ها می‌بایست اثر دمای محیط بر میزان تولید برق و حرارت در نظر گرفته شده و با توجه به آن ارزیابی صورت گیرد و در صورت نیاز از پشتیبان برای تولید برق یا حرارت استفاده شود.

## 5- مراجع


[1] S. Karimi, S. A. Behbahaninia, M. Amidpour, K. Rezapour Javaani, A. Ansari, H. Moradian, Technical and economic evaluation of gas-fueled combustion engine systems in distributed generation of electricity and heat, *Proceeding of the first conference of the industry of the powerplants*, Tehran, Iran, April, 2009.(in Persian فارسی)

[2] A. Badri, A. Moradgholi, Multi purpose utilization of combined heat and power distributed generation systems, *Iran Energy*, Vol.17, No.1, pp. 41-64, 2014. (in Persian فارسی)

[3] S. Karimi, K. Rezapoor, R. Karami, Utilization of absorption chiller in combined cooling, heat and power (CCHP) systems, *Proceeding of the first international conference of chillers and cooling towers* , 2010.(in Persian فارسی)


[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.27.4 ]