مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 131-134

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

# ارائه یک استراتژی نوین به‌منظور تعیین ظرفیت محرک اولیه یک سیستم تولید توان به کمک بهینه‌سازی چند هدفه

**علی سوهانی[1*]، سحر رضاپور[2]، حسین صیادی[3]، یعقوب خسروانی فرد[4]**

1-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
2- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، تهران
3- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، تهران
4- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
* تهران، صندوق پستی 1999-19395، asohani@mail.kntu.ac.ir

## چکیده

استفاده از سیستم‌های تولید همزمان توان و حرارت و برودت یکی از موثرترین راه کارها در بالا بردن راندمان سیستم‌هایی می‌باشد که برای کارکرد از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. یکی از گام‌های مهم و اولیه در استفاده از سیستم‌های تولید همزمان، تعیین ظرفیت محرک اولیه و ابعاد اجزای تشکیل‌دهنده آن است که به طور معمول این کار برمبنای حداکثر توان موردنیاز مجموعه صورت می‌گیرد. با در نظر گرفتن مجموع هزینه‌های چرخه عمر، مجموع دی‌اکسیدکربن تولیدی سالانه و میانگین سالانه بازدهی و استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه، استراتژی نوینی به‌منظور تعیین ظرفیت محرک و ابعاد یک سیستم تولید همزمان در شهر رشت شامل 72 ساختمان 7 طبقه مشابه معرفی شده است. یافتن نقاط بهینه و انتخاب نقطه نهایی از آن‌ها به ترتیب به کمک روش‌های NSGA-II و TOPSIS صورت گرفته است. طبق نتایج به‌دست آمده حالت بهینه حالتی است که تعیین ظرفیت محرک برمبنای 86.6% بیشینه بار الکتریکی موردنیاز سیستم انجام شود که در این حالت، مقدار توابع هدف مجموع دی اکسیدکربن تولیدی سالانه و میانگین سالانه بازدهی نسبت به حالت معمول تعیین ظرفیت محرک به ترتیب 14.3 و 0.37% بهبود می‌یابند؛ در حالی که مقدار مجموع هزینه‌های چرخه عمر با 15.4% افزایش روبه‌رو می‌گردد.

***کلید واژگان:*** سیستم‌های تولید همزمان توان و حرارت و برودت، استراتژی نوین تعیین ظرفیت محرک، بهینه‌سازی چندهدفه، مجموع هزینه‌های چرخه عمر

# Introducing a novel strategy for sizing the prime mover of a CCHP system by multi-objective optimization

**Ali Sohani*, Sahar Rezapour, Hoseyn Sayyaadi, Yaghoob Khosravanifard**

Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasir. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
* P.O.B. 19395-1999, Tehran, Iran, asohani@mail.kntu.ac.ir

## ABSTRACT

Using the combined cooling, heating and power generation (CCHP) systems is one of the most efficient ways to improve the performance of the systems which operate by combustion of fossil fuels. One of the first and important steps in implementation of CCHP system is the sizing of its prime mover. It is usually done based on the maximum power demand. Considering life cycle costs (LCC), annual carbon dioxide emission (ACDE) and annual average of efficiency (AAE) as the objective functions, a novel strategy for sizing the prime mover of a CCHP system was introduced for a residential complex including 72 same buildings each consisting of 7 same units. Pareto optimal frontier (POF) and final optimum solution were found by Non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II) method and TOPSIS. The results showed that the best strategy for sizing the prime mover was based on 86.6% of maximum required electrical power, which in this case, the ACDE and AAE improved up to 14.3 and 0.37%, respectively, while LCC increased 15.4%.

***Keywords:*** Combined cooling, heating and power generation (CCHP) systems, Novel strategy for sizing the prime mover, Multi-objective optimization, Total life cycle costs

## 1- مقدمه

از یک سو، منابع سوخت‌های فسیلی، رو به زوال‌اند و از سوی دیگر، میزان نیاز به انرژی با آهنگ فزاینده‌ای رو به افزایش است؛ به همین دلیل، بهبود کارآیی تمام سیستم‌های انرژی، به ویژه سیستم‌هایی که از این منابع استفاده می‌کنند، از اهمیت بالایی برخوردار است که بهره‌گیری از سیستم‌های تولید همزمان حرارت، برودت و توان (CCHP[1]) به‌عنوان یکی از موثرترین این راه‌کارها مطرح می‌باشد.

در طول سالیان اخیر، نظر به اهمیت سیستم‌های تولید همزمان و افزایش جایگاه آن‌ها به ویژه در بخش‌های مسکونی، مطالعات گسترده‌ای بر روی آن‌ها انجام شده است. بخش غالب این پژوهش‌ها به بهینه‌سازی یک سیستم تولید همزمان که محرک و در نتیجه ابعاد آن برمبنای بار الکتریکی بیشینه تعیین شده بوده است براساس توابع هدف مختلف اختصاص یافته است. به عنوان نمونه، چو و همکاران، یک سیستم تولید همزمان را در شرایط آب و هوایی مختلف، براساس هزینه، میزان تولید دی‌اکسید کربن[2] و مصرف

[1] Combined Cooling, Heating and Power

[2] Carbon Dioxide Emission

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

A.Sohani, S.Rezapour, H.Sayyaadi, Y.Khosravanifard, Introducing a novel strategy for sizing the prime mover of a CCHP system by multi-objective Optimization, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 131-134, 2016 (in Persian فارسی)

[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.13.0 ]

اولیه انرژی[1]، بهینه کردند. نتایج حاصل نشان داد که کمترین میزان افزایش در مصرف انرژی برای شهرهای کلمبوس، میناپولیس، بوستون و میامی در حالت بهینه‌سازی براساس کربن‌دی‌اکسید بوده است. البته برای شهر سانفرانسیسکو نتیجه بر عکس بود و بیشترین میزان افزایش مصرف انرژی به حالت بهینه‌سازی براساس هزینه اختصاص داشت [1].

چنان که اشاره گردید، تعیین ابعاد و مشخصات سیستم‌های تولید همزمان در کاربردهای مسکونی با توجه به شرایط، برمبنای بار الکتریکی بیشینه صورت می‌گیرد، حال آن که به‌دلیل تنوع شرایط اقلیمی، شرایط اقتصادی، وجود یا عدم وجود منابع کمکی و نیازهای دیگر مسئله، شرایط بهینه در حالتی به غیر از این حالت اشاره شده قابل دست‌یابی می‌باشد. در این پژوهش، یافتن مقدار بهینه براساس روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه برای تعیین ابعاد و مشخصات سیستم برای مجموعه 72 ساختمان 7 واحدی در شهر رشت انجام گرفته است. سیستم تولید همزمان موردنظر شامل موتور ملی ایرانی گازسوز EF7 به‌عنوان محرک اولیه و یک چیلر جذبی به‌عنوان سیستم سرمایش می‌باشد. برای گرمایش نیز از آب گرم استفاده شده است.

## 2- توصیف سیستم

طرحواره انتخاب شده برای این سیستم در "شکل 1" نشان داده شده است. ابتدا گاز طبیعی وارد موتور می‌شود و توان مکانیکی در فرکانس 50 هرتز (3000 دور بر دقیقه) تولید می‌شود و سپس توسط ژنراتور سنکرون[2] به توان الکتریکی تبدیل می‌شود. سپس گازهای داغ حاصل از احتراق موتور ابتدا به سمت مبدل بازیاب اول رفته و گرمای موردنیاز برای راهبری سیستم تبرید جذبی با مشخصات معلوم را تامین می‌کنند، سپس به سمت مبدل بازیاب دوم رفته و گرمای موردنیاز برای تامین نیازهای حرارتی سیستم گرمایش و آب گرم را تامین می‌کنند. سپس دود خروجی به اتمسفر تخلیه می‌شود. در صورت کافی نبودن گرمای تبادل شده در هر یک از مبدل‌های بازیاب از یک مشعل کمکی برای آن استفاده می‌شود.

## 3- مدل‌سازی

### 3-1- مدل‌سازی ترمودینامیکی

برای مدل‌سازی ترمودینامیکی موتور ملی از اطلاعات ارائه شده توسط برجانه و صیادی [2] استفاده گردیده است که مطابق با آن توان خروجی و دمای گازهای داغ حاصل از احتراق خروجی از موتور ملی گازسوز در دور مورد

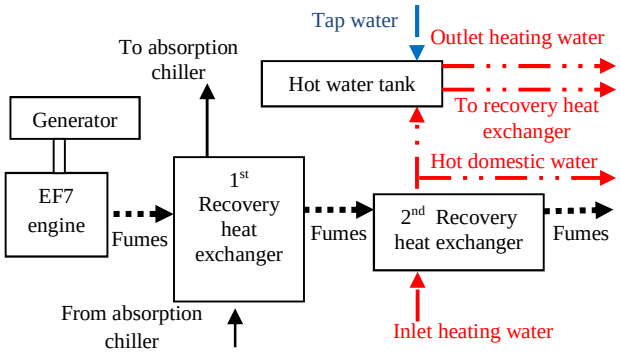


**Fig. 1** The schematic of system

**شکل 1** طرحواره سیستم

بررسی به ترتیب 45.9 کیلووات و 1200 کلوین استخراج می‌گردند. همچنین ترکیب گازهای داغ حاصل از احتراق گاز شهری ایران مطابق با آن چه در پژوهش کرمی و صیادی [3] گزارش شده است، در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به این‌که بار الکتریکی مصرفی ساختمان متغیر می‌باشد، فرض می‌شود که همواره موتور در یک دور ثابت کار کرده و توان مازاد تولیدی به شبکه فروخته می‌شود که این موضوع در محاسبات این پژوهش از جمله محاسبه بازده لحاظ گردیده است.

برای مبدل‌های حرارتی نیز که در آن‌ها تغییر فاز رخ نمی‌دهد، رابطه (1) برقرار است.

$$Q = \dot{m}\, c_p \Delta T \tag{1}$$

### 3-2- مدل‌سازی اقتصادی

مدل‌سازی اقتصادی با استفاده از روش چرخه عمر انجام شده است. در روش چرخه عمر، همه هزینه‌ها و درآمدهای سیستم در طول چرخه عمر آن، به زمان حال آورده می‌شوند. ارزش کنونی هزینه یا درآمد A که در سال $j$-ام پرداخت یا دریافت شده است برابر است با:

$$PW = \frac{A(1 + \text{inflation})^{j-1}}{(1 + \text{discount})^{j}} \tag{2}$$

قیمت اولیه تجهیزات با استفاده از رابطه (3) (فرمول 0.6) به‌دست آمده است. مشخصات حالت‌های پایه در نظر گرفته شده برای هر تجهیز در جدول 1 آمده است. همچنین مقدار 10 درصد مجموع هزینه‌های اولیه به‌عنوان هزینه‌های دیگر از جمله لوله‌کشی‌ها و غیره در نظر گرفته شده است [4].

$$C_I = C_{I,\text{base}} \left(\frac{\text{sizparam}}{\text{sizparam}_{\text{base}}}\right)^{0.6} \tag{3}$$

هزینه‌های جاری نیز شامل هزینه‌های گاز و هزینه‌های احتمالی برق خریداری شده و همچنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری که برابر 5 درصد هزینه‌های اولیه است، می‌باشد. مقادیر موردنیاز به‌منظور محاسبه هزینه‌های جاری در جدول 2 آورده شده است. به منظور محاسبه هزینه‌ها برحسب دلار، نرخ هر دلار برابر 3500 تومان فرض گردیده است. مقدار سود و تورم نیز به ترتیب 17.2 و 14.0% فرض شده اند.

**جدول 1** مشخصات حالت‌های پایه در نظر گرفته شده برای هر تجهیز [5]

**Table 1** The specifications and cost of each component in the base condition [5]

| تجهیز | ظرفیت | قیمت (دلار) |
|---|---|---|
| مبدل حرارتی | توان حرارتی $40000\ \text{kCal.hr}^{-1}$ | 160 |
| موتور | موتور ملی گازسوز | 1200 |
| منبع آب گرم | 400 لیتر | 310 |
| دیگ | 267 کیلو وات | 1300 |
| ژنراتور برق | 3000 دور بر دقیقه | 2130 |
| پمپ در گردش | هد 15 ft و دبی 1.1 GPM | 200 |
| پمپ بهداشتی | هد 34 m و دبی $20\ \text{m}^3.\text{hr}^{-1}$ | 320 |
| تبرید جذبی | 64000 بی تی یو بر ساعت | 7200 |

**جدول 2** نرخ‌های گاز و برق سالانه برحسب دلار [5]

**Table 2** The natural gas and electricity tariffs in dollars [5]

| شرح | قیمت (دلار) |
|---|---|
| خرید برق از شبکه | 0.01 |
| گاز طبیعی (ماه‌های سرد سال) | 0.03 |
| گاز طبیعی (ماه‌های گرم سال) | 0.04 |

[1] Primary Energy Consumption
[2] Synchronous generator



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.13.0 ]

## 4- مطالعه موردی

مجموعه 72 ساختمان 7 واحدی مسکونی مشابه واقع در شهر رشت با مساحت هر طبقه $97.1\ m^2$ به منظور مطالعه انتخاب شده است. شرایط طرح خارج شهر رشت و مشخصات این ساختمان به ترتیب در جدول‌های 3 و 4 آورده شده است.

در جدول 5 مقدار بیشینه بارهای حرارتی و برودتی که به کمک نرم‌افزار کریر هپ 4.50 [1] محاسبه شده، گزارش گردیده است. همچنین با توجه به میزان مصرف آب گرم بهداشتی هر طبقه که در جدول 6 آورده شده است و فرض دمای آب سرد ورودی برابر با دمای زمین و دمای آب گرم بهداشتی مصرفی برابر $60\ ^0C$، مقدار بار آب گرم مورد نیاز طبقات نیز از رابطه (4) قابل محاسبه است.

$$Q = \dot{m}_{\mathrm{HDW}}\, c_{p,\mathrm{HDW}} \Delta T \qquad (4)$$

مقدار بار الکتریکی مورد نیاز ماهانه هر واحد نیز مطابق با میانگین قبض‌های برق موجود، به صورت ارائه شده در "شکل 2" می‌باشد.

**جدول 3** شرایط طرح خارج شهر رشت [6]

**Table 3** Rasht outdoor design conditions [6]

| پارامتر | مقدار |
|---|---|
| ارتفاع از سطح دریا (m) | -4 |
| دمای حباب‌خشک ($^0C$) | 31.9 |
| رطوبت نسبی هوا (%) | 61.3 |
| طول جغرافیایی ($^0E$) | 49.7 |
| عرض جغرافیایی ($^0N$) | 37.3 |

**جدول 4** مشخصات ساختمان نمونه مورد بررسی [6]

**Table 4** The specification of the benchmark residential unit [6]

| پارامتر | مقدار |
|---|---|
| ارتفاع سقف (متر) | 3 |
| ضریب انتقال حرارت دیوارهای خارجی (وات بر متر مربع بر کلوین) | 1.278 |
| ضریب انتقال حرارت دیوارهای در مجاورت فضای تهویه نشده (وات بر متر مربع بر کلوین) | 1.204 |
| ضریب انتقال حرارتی کلی پنجره (وات بر متر مربع بر کلوین) | 3.095 |
| میانگین وزن بر واحد سطح جداره‌های هر طبقه (کیلوگرم بر متر مربع) | 341.8 |
| تعداد پنجره‌ها | 7 |
| مساحت هر پنجره (متر مربع) | 1.68 |
| حداکثر تعداد افراد حاضر در هر طبقه (نفر) | 5 |

**جدول 5** مقدار بیشینه بارهای حرارتی و برودتی به دست آمده توسط Carrier HAP 4.50

**Table 5** The maximum cooling and heating load obtained by Carrier HAP 4.50

| طبقه | بیشینه بار برودتی (W) | بیشینه بار حرارتی (W) |
|---|---|---|
| اول | 4327.8 | 5470.2 |
| میانی | 3934.3 | 5315.0 |
| آخر | 5508.2 | 7740.8 |

[1] Carrier HAP 4.50

**جدول 6** میزان مصرف آب گرم بهداشتی هر طبقه [3]

**Table 6** The amount of required hot domestic water in each floor [3]

| مصرف کننده‌های آب گرم بهداشتی | تعداد در هر طبقه | میزان استاندارد آب گرم مصرفی ($L.hr^{-1}$) |
|---|---|---|
| حمام | 1 | 114 |
| دستشویی | 1 | 7.6 |
| توالت | 1 | 7.6 |
| آشپزخانه | 1 | 38 |

توجه: ضریب همزمانی مصرف برابر 0.3 در نظر گرفته شده است.

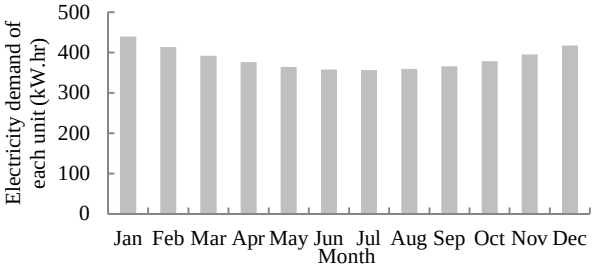


**Fig. 2** The amount of required electricity of each unit starts in January

**شکل 2** مقدار بار الکتریکی مورد نیاز ماهانه هر واحد با شروع از ماه ژانویه

## 5- نتایج

بهینه‌سازی با استفاده از کدهای توسعه یافته شده در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. از روش NSGA-II برای یافتن جبهه بهینه پارتو و روش TOPSIS برای انتخاب پاسخ بهینه نهایی از مجموعه نقاط جبهه پارتو بهره گرفته شده است (این دو روش در مرجع [7] معرفی شده‌اند.).

مجموع هزینه‌های چرخه عمر، میانگین ماهانه بازده سیستم که مطابق رابطه (5) قابل محاسبه است و دی‌اکسیدکربن تولیدی سیستم در یک سال که آن را می‌توان مطابق با رابطه (6) به‌دست آورد به‌عنوان توابع هدف انتخاب شده اند. مقدار ضرایب $D_1$ و $D_2$ در معادله (6) برابر 0.598 و 0.185 کیلوگرم بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده‌اند [6].

$$\eta = \frac{E_{EF} + Q_{\mathrm{hearing}} + Q_{\mathrm{cooling}} + Q_{\mathrm{HDW}}}{\dot{m}_{\mathrm{fuel}} LHV} \qquad (5)$$

$$CDE = D_1 E_{\mathrm{purchased}} + D_2 \dot{m}_{\mathrm{fuel}} LHV \qquad (6)$$

همچنین کسر توان تولیدی موتور به حداکثر توان مورد نیاز ساختمان به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است که برای آن بازه تغییرات بین 0 تا 10 در نظر گرفته شده است.

جبهه بهینه پارتو برای مسئله مورد بررسی یک نمودار سه بعدی می‌باشد که برای وضوح بیشتر و فهم بهتر تصویر آن در فضای دو بعدی توابع هدف مطابق با "شکل‌های 3 الی 5" آورده شده است.. همچنین مقدار توابع هدف در حالت بهینه نهایی که بر روی شکل‌ها نیز مشخص می‌باشد (انتخاب شده توسط روش TOPSIS) و نتایج در حالت پایه (تعیین ظرفیت براساس صد در صد بار الکتریکی) در جدول 7 مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با استفاده از استراتژی نوین ارائه شده به‌منظور تعیین ظرفیت محرک اولیه مقدار توابع هدف میانگین بازدهی و دی‌اکسید کربن تولیدی سالانه به ترتیب به میزان 0.37 و 14.3 درصد افزایش یافته‌اند، در حالی که مقدار تابع هدف هزینه‌های چرخه عمر 15.4 درصد افزایش یافته است که در صورتی که در کشور ایران نیز مالیات‌های تولید دی‌اکسید کرین در بخش خانگی اعمال شود با در نظر گرفتن سود ناشی از کاهش آن، مقدار تابع هدف مجموع هزینه‌های چرخه عمر یا بهبود یافته یا با افزایش به مراتب کمتری مواجه



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.13.0 ]

خواهد شد که بدین ترتیب توجیه‌پذیری استفاده از چنین استراتژی بالاتر نیز خواهد رفت و استفاده از این استراتژی به صرفه‌تر خواهد بود. مقدار بهینه به ازای همچنین کسر توان تولیدی موتور به حداکثر توان موردنیاز ساختمان 0.866 به‌دست آمده است.

## 6- جمع‌بندی

بهترین استراتژی تعیین ظرفیت محرک اولیه یک سیستم تولید همزمان با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه برای مجموعه 72 ساختمان 7 طبقه مشابه

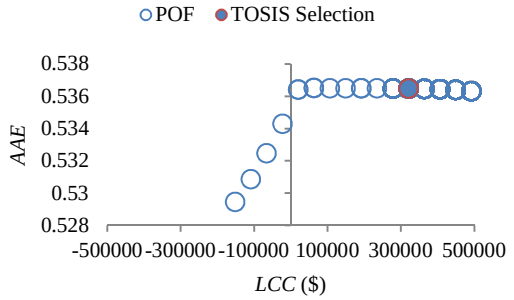


**Fig. 3** The POF in the space of LCC and AAE

**شکل 3** جبهه بهینه پارتو در فضای هزینه‌های چرخه عمر و میانگین بازدهی سالانه

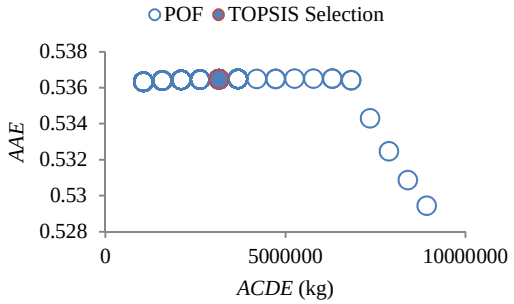


**Fig. 4** The POF in the space of ACDE and AAE

**شکل 4** جبهه بهینه پارتو در فضای آلودگی و میانگین بازدهی سالانه

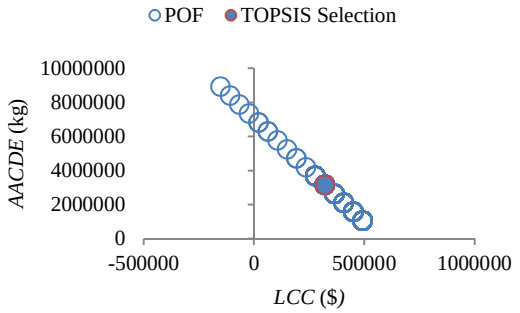


**Fig. 5** The POF in the space of LCC and ACDE

**شکل 5** جبهه بهینه پارتو در فضای هزینه‌های چرخه عمر و آلودگی سالانه

**جدول 7** مقایسه حالت بهینه و حالت پایه با یکدیگر

**Table 7** Comparison of final optimum solution with the base condition

| حالت | مجموعه هزینه‌های چرخه عمر (دلار) | دی‌اکسیدکربن تولیدی (کیلوگرم در سال) | میانگین بازدهی سالانه |
|---|---|---|---|
| پایه | 277910.6 | 3672533.1 | 0.5345 |
| بهینه | 320821.0 | 3147105.6 | 0.5365 |
| بهبود (%) | -15.4 | 14.3 | 0.37 |

به‌دست آورده شد و مشاهده گردید که با تعیین ظرفیت محرک‌ها برمبنای 86.6% حداکثر توان موردنیاز، مقدار دی‌اکسیدکربن و میانگین بازدهی سیستم 14.3 و 0.37 درصد افزایش می‌یابند، در حالی که مجموع هزینه‌های چرخه عمر با افزایش 15.4 درصد مواجه می‌شود که با وضع مالیات دی‌اکسیدکربن در کشور ایران مانند سایر کشورهای جهان، مقدار افزایش این تابع کاهش یافته و استراتژی مورد نظر توجیه‌پذیری بالاتری خواهد داشت.

## 7- فهرست علائم

| | |
|---|---|
| $A$ | هزینه یا درآمد ($) |
| $c_p$ | ظرفیت گرمایی در فشار ثابت ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$) |
| $C$ | هزینه ($) |
| $CDE$ | آلودگی دی اکسید کربن تولیدی (kg) |
| discount | سود بانکی |
| $D$ | ثابت |
| $E$ | توان الکتریکی (kW) |
| inflation | نرخ تورم |
| $LHV$ | ارزش حرارتی پایین سوخت ($kJ.kg^{-1}$) |
| $m$ | دبی جرمی ($kg.s^{-1}$) |
| $PW$ | ارزش کنونی پول ($) |
| $Q$ | توان حرارتی (kW) |
| sizparam | پارامتر تعیین کننده قیمت سیستم |
| $T$ | دما ($^0C$) |

**علائم یونانی**

| | |
|---|---|
| $\eta$ | بازدهی سیستم |

**زیرنویس‌ها**

| | |
|---|---|
| base | حالت پایه |
| cooling | سرمایش |
| heating | گرمایش |
| HDW | آب گرم بهداشتی |

## 8- مراجع


[1] Heejin Cho, Pedro J.Mago, Rogelio Luck, Louay M.Chamra, Evaluation of CCHP Systems Performance based on operational cost, primary energy consumption, and carbon dioxide emission by utilizing an optimal operation scheme, *Applied Energy*, Vol.86, pp. 2540-2549, 2009.

[2] A. Barjaneh and H. Sayyaadi, A new closed-form thermodynamic model for thermal simulation of spark ignition internal combustion engines, *Energy Conversion and Management*, Vol. 105, pp. 607-616, 2015.

[3] R. Karami, H. Sayyaadi, Optimal sizing of Stirling-CCHP systems for residential buildings at diverse climatic conditions, Applied Thermal Engineering, Vol. 89, pp. 377-393, 2015.

[4] S. A. Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*: Academic Press, 2013.

[5] N. Mohammadhoseini, *Analysis of a residential CCHP system with gas engine and desiccant enhanced indirect evaporative cooler*, B.Sc. Thesis, Department of mechanical engineering, K.N.Toosi university of technology, 2015. (in Persian فارسی)

[6] H. H. Balyani, A. Sohani, H. Sayyaadi, and R. Karami, Acquiring the best cooling strategy based on thermal comfort and 3E analyses for small scale residential buildings at diverse climatic conditions, *international journal of refrigeration*, Vol. 57, pp. 112-137, 2015.

[7] A. Sohani, H. Sayyaadi, S. Hoseinpoori, Modeling and multi-objective optimization of an M-cycle cross-flow indirect evaporative cooler using the GMDH type neural network, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 69, pp. 186-204, 2016.




[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.13.0 ]