



## مقایسه تأثیر انتخاب بهینه‌سازی زیست‌محیطی و بهینه‌سازی چند معیاره؛ انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی بر عملکرد سیستم CCHP

فاطمه توکلی دستجرد<sup>1</sup>، محمد مصطفی غفوریان<sup>2</sup>، سعید فراحت<sup>3\*</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

2- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

\* زاهدان، صندوق پستی 98167-44975، farahat@hamoon.usb.ac.ir

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 02 خرداد 1394

پذیرش: 13 تیر 1394

ارائه در سایت: 07 مرداد 1394

کلید واژگان:

کاهش انتشار آلاینده

سیستم تولید همزمان برق

حرارت و برودت (CCHP)

موتورگازسوز

سیستم تولید جداگانه برق

حرارت و برودت (SCHP)

### چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP)، در کاهش انتشار آلاینده‌ها پرداخته شده است. مطالعه موردی، یک هتل 80 اتاقی واقع در شهر زاهدان در نظر گرفته شده و در طراحی سیستم تولید همزمان برای این هتل، از موتورگازسوز (با قابلیت عملکرد در بار جزئی) به عنوان محرک اولیه استفاده شده است. در گام اول، فرایند بهینه‌سازی به منظور دستیابی به بیشینه کاهش انتشار آلاینده‌ها در حالت امکان فروش برق به شبکه انجام شده است. سپس با معرفی تابعی چند معیاره تحت عنوان درصد سود سالیانه نسبی (PRAB) به طراحی سیستم تولید همزمان پرداخته شده و نتایج مربوط به این دو مرحله با هم مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد سیستم‌های CCHP تأثیر چشمگیری در کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی  $CO_2$ ،  $CO$  و  $NO_x$  دارند. به طوری که در محدوده گسترده‌ای از ظرفیت‌های نامی موتورگازسوز، درصد کاهش انتشار هر سه آلاینده مثبت بدست می‌آید. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که دستیابی به ماکزیمم کاهش انتشار آلاینده‌های نامبرده نیازمند انتخاب محرک‌هایی با ظرفیت‌های  $E_{nom,max}(RNO_x) = 4975$ ،  $E_{nom,max}(RCO) = 2875$  و  $E_{nom,max}(RCO_2) = 1975$  کیلووات است. درحالی که با پیاده‌سازی تابع چند معیاره (PRAB)، ظرفیت  $E_{nom,max}(PRAB) = 2150kW$  با بیشترین سود و تأثیر بالایی از کاهش انتشار آلاینده‌ها بدست می‌آید. در نهایت با افزایش تعداد محرک اولیه از یکی به دو الی سه محرک، تأثیر تعداد محرک اولیه به عنوان پارامتر طراحی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، که با افزایش تعداد محرک اولیه سود سالیانه نسبی و کاهش انتشار آلاینده‌ها به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند.

## Comparison of selection effect environmental optimization and multi-criteria optimizations; energy, economic and environmental in performance of CCHP system

Fateme Tavakoli Dastjerd<sup>1</sup>, Mohammad Mustafa Ghafuoryan<sup>2</sup>, Said Farahat<sup>1\*</sup>

1-Department of Mechanical Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2-Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

\* P.O.B. 98167-44975, Zahedan, Iran, farahat@hamoon.usb.ac.ir

### ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 23 May 2015

Accepted 04 July 2015

Available Online 29 July 2015

#### Keywords:

Reduce pollutants Emission

Combined Cooling

Heating And Power Generation System

(CCHP)

Gas Engine

Separation Cooling

Heating And Power Generation System

(SCHP)

### ABSTRACT

In the present paper, the effect of combined cooling, heating and power generation systems (CCHP) in the reduction of pollutants emission has been investigated and a hotel with 80 rooms in Zahedan has been selected as case study, also gas engine (with part-load operation) as prime mover for designed CCHP system. In this work it is assumed that selling electricity to grid is possible. In the first phase, optimization for access to maximum reduction of pollutant emissions has been done. In the next phase, a multi-criteria function has been introduced and the optimization process, with Percentage of Relative Annual Benefit (PRAB) has been investigated and the results of these two phases have been compared. Results show CCHP systems have significant effect in reducing environmental pollutants emissions of  $CO$ ,  $CO_2$  and  $NO_x$ , as the percentage of reduced pollutants emission is positive in an extensive range of nominal power of gas engine. Also, results show that, for access to maximum reduction of pollutant emissions  $CO_2$ ,  $CO$  and  $NO_x$ ,  $E_{nom,max}(RCO_2) = 1975kW$ ,  $E_{nom,max}(RCO) = 2875kW$  and  $E_{nom,max}(RNO_x) = 4975kW$  are needed. However, for annual benefit, as multi-criteria objective function, a gas engine with nominal power  $E_{nom,max}(PRAB) = 2050kW$  is needed. In this case, in addition to the most annual benefit also have a good effect for reducing emission of pollutants. In the end, the effect of the number of prime mover as designing parameter assessed with increase from one into two and three numbers. Results show increasing prime mover causes Relative Annual Benefit and emission of pollutants to decrease.

Please cite this article using:

F. Tavakoli Dastjerd, M. M. Ghafuoryan, S. Farahat, Comparison of selection effect environmental optimization and multi-criteria optimizations; energy, economic and environmental in performance of CCHP system, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 9, pp. 69-77, 2015 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## 1- مقدمه

بحران انرژی بزرگترین معضلی است که جهان صنعتی با آن مواجه خواهد شد. تصرف کشورها و کشمکش‌های منطقه‌ای علتی جز تأمین امنیت انرژی دنیای صنعتی ندارد. رشد جمعیت و پیشرفت تکنولوژی در قرن اخیر منجر به رشد میزان تقاضای حامل‌های انرژی شده است. ادامه روند افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی باعث تولید آلاینده‌هایی نظیر کربن‌دی‌اکسید و تشدید پدیده گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی محیط‌زیست، دو عامل مهم در توجه به استفاده از سیستم‌هایی با راندمان بالا شده است. سیستم تولید همزمان یکی از سیستم‌هایی است که در این زمینه پیشرفت چشمگیری داشته است، که علاوه بر بازده بالا و کاهش مصرف سوخت، باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده می‌شود [1,2].

تولید همزمان حرارت و توان<sup>1</sup> (CHP) که گاهی اوقات تحت عنوان تولید مشترک<sup>2</sup> نیز نامیده می‌شود، در حقیقت تولید متوالی دو صورت مفید انرژی، یعنی حرارت و توان، از یک منبع سوخت، است. در اغلب کاربردهای این سیستم‌ها، انرژی شیمیایی سوخت به انرژی مکانیکی و گرمایی تبدیل می‌شود. معمولاً انرژی مکانیکی برای تولید برق و انرژی گرمایی برای تولید بخار، آب گرم و یا هوای گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صورتی که از انرژی‌های واحد تولید توان برای تولید سرمایش، با استفاده از تجهیزات سرمایشی استفاده شود، به اختصار CCHP<sup>3</sup> نامیده می‌شوند [3].

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه سیستم‌های تولید همزمان انجام شده است، که در بیشتر مطالعات به مدل‌سازی و بهینه‌سازی [4,5] و ارزیابی اقتصادی [6,7] بدون در نظر گرفتن آنالیز زیست‌محیطی پرداخته شده است. در برخی دیگر از تحقیقات علاوه بر معیارهای اقتصادی و انرژی، معیار زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته شده، اما تنها یک نوع آلاینده مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفت و همکاران به طراحی [8] و ارزیابی [9] سیستم تولید همزمان با استفاده از دو آنالیز اقتصادی و زیست محیطی پرداختند. آنالیز اقتصادی بر اساس نرخ بازگشت سرمایه و آنالیز زیست‌محیطی آن‌ها فقط بر مبنای انتشار آلاینده‌ی کربن‌دی‌اکسید CO<sub>2</sub> بوده است. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از سیستم تولید همزمان منجر به 59 درصد کاهش انتشار این آلاینده می‌شود. وانگ و همکاران جریان انرژی سیستم تولید سه‌گانه و تولید مجزا را تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها سه شاخص صرفه‌جویی در انرژی اولیه، راندمان اکسرژی و کاهش انتشار CO<sub>2</sub>، را برای سیستم تولید سه‌گانه یک ساختمان تجاری در پکن ارزیابی کردند. تجزیه و تحلیل امکان‌سنجی‌ها و آنالیز حساسیت نشان داد که ضریب عملکرد خنک‌کننده و راندمان تولید برق متغیرهای حساسی در عملکرد زیست‌محیطی سیستم تولید سه‌گانه می‌باشند و تأثیر زیادی در کاهش آلاینده کربن‌دی‌اکسید دارند [10].

فومو و همکارانش استفاده از استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده را برای سیستم تولید همزمان سه‌گانه به منظور کاهش انتشار آلاینده‌ها پیشنهاد دادند. کاهش مصرف انرژی اولیه و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به دست آمده با استفاده از استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده پیشنهادی، با نتایج به دست آمده از استراتژی مصرف انرژی اولیه مقایسه شد [11]. نتایج آن‌ها نشان داد که در استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده، انتشار کمتری از دی‌اکسیدکربن در مقایسه با مصرف انرژی اولیه بدست می‌آید به طوری که برای شهر

مینیاپولیس 18/7 درصد کاهش این آلاینده بدست آمد، که اثبات می‌کند استفاده از استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده برای طراحی سیستم‌های تولید همزمان سه‌گانه به منظور کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ارجحیت دارد.

همان‌طور که از مرور کارهای پیشین مشاهده می‌شود بیشتر مطالعات انجام شده بدون در نظر گرفتن انتشار آلاینده‌ها بوده و یا تنها یک نوع آلاینده مورد ارزیابی قرار گرفته و هیچ‌گونه مقایسه و ارزیابی نتایج بهینه تابع هدف چند معیاره؛ اقتصادی، انرژی و زیست محیطی با سه آلاینده CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>x</sub> سیستم‌های تولید همزمان با بهینه‌سازی زیست‌محیطی انجام نشده است. در این مقاله ابتدا به ارزیابی عملکرد سیستم CCHP در کاهش انتشار آلاینده‌های CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>x</sub> و ظرفیت مناسب به منظور دستیابی به بیشینه کاهش انتشار این آلاینده‌ها، پرداخته می‌شود. سپس با ارایه معیاری جدید، تحت عنوان درصد سود سالیانه نسبی که مبنی بر تکنیک اقتصادی یکنواخت سالیانه است، به بهینه‌سازی این سیستم (با عملکرد در بار جزئی) با اعمال کامل سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست محیطی و مقایسه هزینه‌های سیستم CCHP نسبت به سیستم تولید جداگانه پرداخته و در انتها با قرار دادن تعداد محرک اولیه به عنوان پارامتر طراحی، حساسیت سنجی این پارامتر در مقادیر تابع هدف بررسی می‌شود.

## 2- استراتژی عملکرد سیستم CCHP

شکل 1 شماتیک یک سیستم تولید همزمان برق حرارت و برودت (CCHP) را به همراه سیستم تولید جداگانه برق، حرارت و سرمایش (SCHP<sup>4</sup>) نشان می‌دهد. در واقع این سیستم‌ها از واحد تولید توان، واحد گرمایش و سرمایش تشکیل شده که به ترتیب تأمین الکتریسیته، گرمایش و سرمایش هتل را بر عهده دارند.

چگونگی تداخل با شبکه سیستم تولید همزمان در این پژوهش، از نوع بهره‌برداری موازی با شبکه است. به‌طوری که موتور گازسوز به عنوان واحد تولید توان، وظیفه تأمین الکتریسیته مورد نیاز ساختمان را که شامل الکتریسیته روشنایی و الکتریسیته مورد نیاز چیلر تراکمی می‌باشد، بر عهده دارد. اگر الکتریسیته تولیدی ( $E_G$ ) به وسیله محرک اولیه، کمتر از میزان الکتریسیته مورد نیاز ساختمان ( $E_{dem}$ ) باشد، کمبود الکتریسیته با خرید برق ( $E_b$ ) از شبکه سراسری تأمین خواهد شد. در این حالت میزان الکتریسیته فروخته شده ( $E_s$ ) به شبکه مطابق با روابط (1) صفر می‌شود.

$$\begin{cases} E_s = 0 & \text{اگر } E_G < E_{dem} \\ E_b = E_{dem} - E_G \end{cases} \quad (1)$$

در صورتی که الکتریسیته تولیدی بیشتر از میزان مورد نیاز باشد سیستم قادر خواهد بود تا الکتریسیته اضافی را مطابق رابطه (2) به شبکه سراسری برق بفروشد.

$$\begin{cases} E_s = E_G - E_{dem} & \text{اگر } E_G > E_{dem} \\ E_b = 0 \end{cases} \quad (2)$$

برای تأمین گرمایش مورد نیاز ساختمان ( $H_{dem}$ ) از حرارت‌های اتلافی واحد تولید توان ( $H_G$ ) استفاده می‌شود و در صورت بیشتر بودن گرمای تولیدی از میزان تقاضا، گرمای اضافی برای تأمین سرمایش توسط چیلر جذبی ( $C_{ab}$ ) مصرف خواهد شد و اگر چیلر جذبی به تنهایی نتواند سرمایش مورد نیاز ( $C_{dem}$ ) را تأمین کند، چیلر تراکمی ( $C_c$ ) کمبود را جبران خواهد کرد.

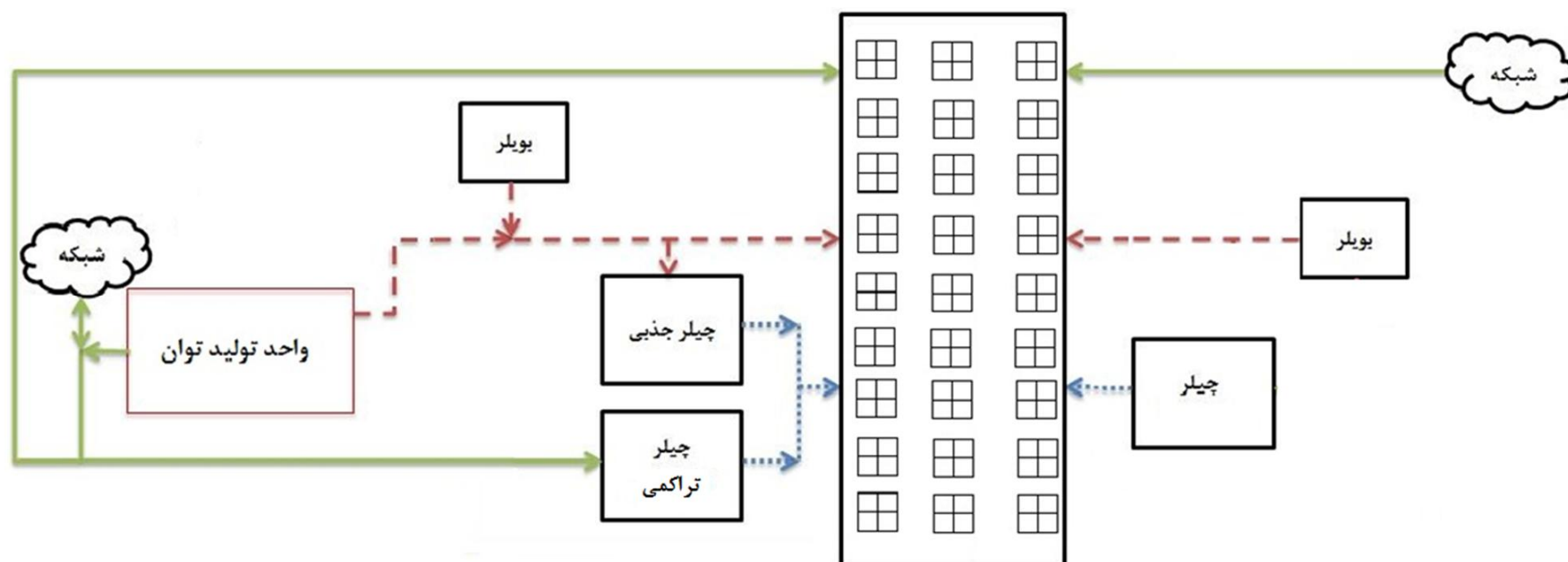
این استراتژی با روابط (3) فرمول‌بندی می‌شود:

1- Combined Heat and power

2- Cogeneration

3- Combined Cooling, Heating and Power

4- Separation Cooling, Heating And Power Generation System



شکل 1 شماتیک از سیستم تولید هزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) و سیستم تولید جداگانه برق، حرارت و برودت (SCHP)

محاسبه شاخص‌های فنی موتورگازسوز که تابعی از بار جزئی و مقدار نامی هر پارامتر می‌باشد، نیازمند بازده و مقدار سوخت مصرف نامی است که توسط روابط (5) و (6)، به صورت تابعی از ظرفیت نامی موتورگازسوز ارائه شده است [13].

$$m_{f,nom} = \frac{E_{nom}}{\eta_{nom} \times LHV} \quad (5)$$

$$\eta_{nom} = 1.22 \times \frac{0.0007973 \times E_{nom} + 30.75}{100} \quad (6)$$

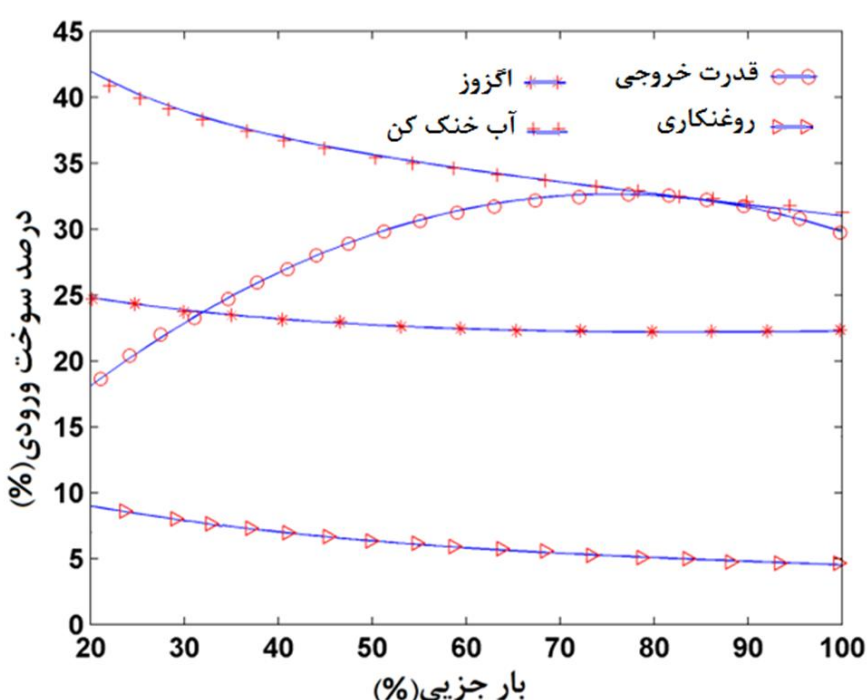
مشخصات فنی مربوط به بویلر، چیلرهای تراکمی و جذبی توسط روابط (7) تا (9) بدست می‌آیند [14].

$$\frac{\eta_{th,PL}}{\eta_{nom,B}} = 0.0951 + 1.525(PL) - 0.6249(PL)^2 \quad (7)$$

$$\frac{COP_{PL,c}}{COP_{nom,c}} = 1.1819(PL) - 0.819(PL)^2 \quad (8)$$

$$\frac{COP_{PL,ab}}{COP_{nom,ab}} = \frac{PL}{0.75(PL)^2 + 0.0195(PL)} \quad (9)$$

که در کار حاضر مقدار  $COP_{PL,ab}$  برای چیلر جذبی 0/7 و  $COP_{PL,c}$  برای چیلر تراکمی 3 و نیز بازده نامی بویلر  $\eta_{nom,B}$  90 درصد فرض شده است.



شکل 2 شاخص‌های فنی موتورگازسوز بر حسب بار جزئی [12]

$$\begin{cases} H_b = 0 & \text{اگر } H_G > H_{dem} \\ C_{ab} = (H_G - H_{dem}) / COP_{ab} \\ C_c = C_{dem} - C_{ab} \end{cases} \quad (3)$$

اگر گرمای تولیدی توسط محرک اولیه کمتر از میزان گرمای مورد نیاز ساختمان باشد، مابقی گرما توسط بویلر پشتیبان تأمین خواهد شد و بخش سرمایش مورد نیاز، توسط چیلر تراکمی ( $C_c$ ) تأمین می‌شود که توسط روابط (4) ارزیابی می‌شوند.

$$\begin{cases} H_b = H_{dem} - H_G & \text{اگر } H_G < H_{dem} \\ C_{ab} = 0 \\ C_c = C_{dem} \end{cases} \quad (4)$$

### 3- آنالیز انرژی و اقتصادی

از مستلزمات طراحی هر سیستم تولید همزمان، پیاده‌سازی قوانین انرژی است. از طرفی تحلیل اقتصادی بر اساس شرایط مطلوب، دارای اهمیت اساسی است، زیرا علاوه بر نزدیک‌تر شدن میزان سود یا ضرر حاصل از کیفیت راه حل خاص انتخاب شده، بستگی به استفاده بجا از این تکنیک دارد. در ادامه به دو آنالیز نامبرده برای سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت مطابق با شکل 1 پرداخته می‌شود.

#### 3-1 آنالیز انرژی

به دلیل متغیر بودن بارهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز مصرف‌کنندگان با زمان، تجهیزات سیستم تولید همزمان باید خروجی متفاوتی را نسبت به زمان داشته باشد، به همین دلیل نیاز است تا تجهیزات در بعضی ساعات در باری کمتر از بار نامی خود و به اصطلاح در بار جزئی کار کنند. با تغییر نقطه کارکرد تجهیزات بر روی بار جزئی، شاخص‌های فنی تجهیزات همچون بازده، مصرف سوخت، اتلاف حرارتی تغییر می‌کنند. در این مطالعه تمام مشخصات تجهیزات نامبرده نسبت به بار جزئی در نظر گرفته شده است. شکل 2 مشخصات فنی موتورگازسوز (قدرت خروجی، سوخت مصرفی و حرارت‌های دریافتی) که در منبع [12] درج شده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست حرارت دریافتی از موتور گازسوز شامل سه بخش حرارت ناشی از آگزوز، حرارت حاصل از روغن‌کاری و آب خنک‌کن است، که مجموع این سه حرارت، کل گرمایش تولیدی واحد تولید توان ( $H_G$ ) را تشکیل می‌دهند.

## 3-2- آنالیز اقتصادی

تحلیل اقتصادی سیستم‌های تولید هم‌زمان شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه تجهیزات، هزینه‌های عملکردی، اسقاطی و تعمیرات و هزینه مصرف سوخت است که به منظور مقایسه این هزینه‌ها، از تکنیک اقتصادی یکنواخت سالیانه استفاده شده است که بدین منظور تمامی هزینه‌ها و درآمدها سالیانه خواهند شد.

هزینه اولیه توسط رابطه (10)، سالیانه می‌شود:

$$R = \beta \times C \quad (10)$$

که  $\beta$  ضریب سالیانه‌کننده است و به دو پارامتر نرخ بهره  $i$  و تعداد سالیانی که قصد استفاده از سیستم را داریم یعنی  $k$  بستگی دارد. این پارامتر با رابطه (11) ارزیابی می‌شود:

$$\beta = \frac{i(1+i)^k}{(1+i)^k - 1} \quad (11)$$

هزینه سالیانه یکنواخت را می‌توان با در نظر گرفتن هزینه اولیه و هزینه اسقاطی به صورت رابطه (12) تعریف کرد:

$$EUAC = R - A \quad (12)$$

به طوری که  $A$  هزینه سالانه اسقاطی است و با رابطه (13) ارزیابی می‌شود:

$$A = SV \times \left[ \frac{i}{(1+i)^k - 1} \right] \quad (13)$$

که  $SV$  هزینه اسقاطی در سال جاری بوده و معمولاً به صورت درصدی از هزینه اولیه یک سیستم در نظر گرفته می‌شود [5,8,13].

در این مطالعه به منظور اعمال هزینه‌های اولیه، تعمیر و نگهداری و هزینه اسقاطی تجهیزات از اطلاعات هزینه‌ای مندرج در جدول 1 مقاله [14] استفاده شده است.

## 4- آنالیز محیط‌زیست

آنالیز محیط‌زیست انجام شده در این مقاله، بر اساس تولید نوع انرژی (برق، حرارت و سرمایش) و مقدار  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CO}$  و  $\text{NO}_x$  ناشی از فرایند احتراق سوخت گازی می‌باشد که با روابط (14) تا (17) ارزیابی می‌شود. اثر این آلودگی‌ها به صورت یک جریمه از هزینه کل سیستم کم خواهد شد [15,16].

$$m_{k,E} = \sum_{j=1}^T (\xi_{k,E} \times E_j) \times \tau_j \quad (14)$$

$$m_{k,H} = \sum_{j=1}^T (\xi_{k,H} \times H_j) \times \tau_j \quad (15)$$

$$m_{k,Cab} = \sum_{j=1}^T (\xi_{k,H} \times C_{ab,j}) \times \tau_j \quad (16)$$

جدول 1 فاکتور انتشار آلاینده‌ها ( $\xi$ ) برای هر نوع انرژی و دو سیستم CCHP، SCHP [18,17]

سیستم	نوع آلاینده	الکتریسیته (kg/MWh) $\xi_{k,e}$	گرمایش (kg/MWh) $\xi_{k,H}$	سرمایش الکتریکی (kg/MWh) $\xi_{k,Cc}$	سرمایش جذبی (kg/MWh) $\xi_{k,Cab}$
CCHP	CO <sub>2</sub>	430	182/04	430/ $COP_c$	182/04/ $COP_{ab}$
	CO	0/8	0/1274	0/8/ $COP_c$	0/1274/ $COP_{ab}$
	NO <sub>x</sub>	0/7	0/1532	0/7/ $COP_c$	0/1532/ $COP_{ab}$
SCHP	CO <sub>2</sub>	700	182/04	700/ $COP_c$	182/04/ $COP_{ab}$
	CO	4	0/1274	4/ $COP_c$	0/1274/ $COP_{ab}$
	NO <sub>x</sub>	300	0/1532	300/ $COP_c$	0/1532/ $COP_{ab}$

$$m_{k,Cc} = \sum_{j=1}^T \left( \frac{\xi_{k,E} \times C_{c,j}}{COP_c} \right) \times \tau_j \quad (17)$$

که  $k$  نوع آلاینده ( $\text{CO}$ ،  $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}_2$ )،  $j$  شمارنده ماه،  $m$  مقدار آلاینده تولید شده برحسب کیلوگرم و  $\xi$  فاکتور انتشار آلاینده‌ها برای هر نوع انرژی می‌باشد که در جدول 1 داده‌های مربوط به این فاکتور برای دو سیستم CCHP و SCHP آورده شده است [17,18].

## 5-توابع هدف

در این قسمت مطابق با آنالیزهای بیان شده، به معرفی معیارهای انتخاب تجهیزات سیستم CCHP پرداخته و روابط مربوط به هر معیار ارائه شده است.

5-1- معیار انتخاب بر اساس ماکزیمم کاهش انتشار آلاینده  $R_k$ 

در این روش معیار انتخاب تجهیزات و شرایط عملکردی، کاهش انتشار آلاینده‌ها در سیستم CCHP نسبت به سیستم تولید جداگانه (سیستم سنتی) در نظر گرفته می‌شود که مطابق رابطه (18) تعریف می‌شود [15,19,20].

$$R_k = \frac{m_{SCHP}^k - m_{CCHP}^k}{m_{SCHP}^k} \quad (18)$$

که  $m_{SCHP}^k$  برابر مجموع آلاینده‌های تولیدی ( $\text{CO}_2$ ،  $\text{CO}$  و  $\text{NO}_x$ ) ناشی از الکتریسیته، حرارت و برودت مورد نیاز برای سیستم تولید جداگانه (سنتی) می‌باشد و با رابطه (19) ارزیابی می‌شود:

$$m_{SCHP}^k = \{m_{k,E}|E_j = E_{dem,t}\}_{SCHP} + \{m_{k,H}|H_j = H_{dem,t}\}_{SCHP} + Min\{\{m_{k,Cab}|C_j = C_{dem,t}\}_{SCHP}, \{m_{k,Cc}|C_j = C_{dem,t}\}_{trad}\} \quad (19)$$

و  $m_{CCHP}^k$  برابر مجموع آلاینده‌های تولیدی ( $\text{CO}_2$ ،  $\text{CO}$  و  $\text{NO}_x$ ) ناشی از الکتریسیته، حرارت و برودت برای سیستم CCHP است و با رابطه (20) ارزیابی می‌شود.

$$m_{CCHP}^k = \{m_{k,E}|E_j = E_G\}_{CCHP} + \{m_{k,E}|E_j = E_{buy}\}_{SCHP} + \{m_{k,H}|H_j = H_b\}_{CCHP} + \{m_{k,Cab}|C_j = C_{ab}\}_{CCHP} + \{m_{k,Cc}|C_j = C_c\}_{CCHP} \quad (20)$$

به طوری که ماکزیمم  $R_k$  تعیین‌کننده ظرفیت تجهیزات خواهد بود.

$$Max\{R_k\} = (E_{nom,k})^{optimum} \quad (21)$$

سیستم تولید جداگانه (سنتی) فرض شده در این مقاله، با فرض انتخاب ظرفیت گرمایشی بویلر و سرمایشی چیلر با بیشینه پیک گرمایشی و سرمایشی انجام شده تا کل تقاضای مربوطه را پوشش دهد. برای انتخاب ظرفیت چیلر در این سیستم، دو حالت بررسی می‌شود، حالت اول ترکیب سیستم CHP با چیلر تراکمی و حالت دوم ترکیب سیستم CHP با چیلر جذبی،



هر یک از این دو حالت که مقدار آلاینده کمتری داشته باشد، انتخاب خواهد شد. برای تقاضای الکتریسیته هم، فرض شده است که کل الکتریسیته مورد نیاز از شبکه خریداری شود.

## 5-2- معیار انتخاب ماکزیمم درصد سود سالانه نسبی PRAB

تابع هدف درصد سود سالانه نسبی با معرفی شاخصی مبتنی بر سود سالانه سیستم CCHP نسبت به سیستم SCHP، ظرفیت بهینه تجهیزات سیستم تولید هم‌زمان را تعیین می‌کند. در این تابع با توجه به منحنی بارهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز در طول سال و در نظر گرفتن عواملی چون شرایط محیطی، کارکرد سیستم در بار جزئی، خرید، تعمیر و نگهداری محرک اولیه، بویلر کمکی و چیلرها و عواملی از قبیل قیمت فروش برق به شبکه و خرید از آن، خرید سوخت، نرخ بهره سالانه و عمر مفید دستگاه، به تعیین توان نامی تجهیزات و استراتژی عملکردی محرک اولیه به منظور دستیابی به ماکزیمم درصد سود سالیانه نسبی می‌پردازد (رابطه (22) [21,20]).

$$PRAB = \frac{TAC_{SCHP} - TAC_{CCHP}}{TAC_{SCHP}} \quad (22)$$

هزینه‌های سیستم تولید جداگانه ( $TAC_{SCHP}$ ) برای تولید گرمایش، سرمایش و الکتریسیته به صورت زیر تخمین زده می‌شود که برای انتخاب ظرفیت چیلر در این سیستم، دو حالت هزینه‌ها بررسی می‌شود، حالت اول ترکیب سیستم CHP با چیلر تراکمی و حالت دوم ترکیب سیستم CHP با چیلر جذبی و هر کدام از این دو حالت که مقدار هزینه‌ی کمتری داشته باشد، انتخاب خواهد شد.

$$TAC_{SCHP} = \sum_{j=1}^T \left[ E_b \times \rho_{e,b} + m_f \times \rho_f + \sum_{k=1}^3 (m_{SCHP}^k \times \varepsilon_k) \right] \times \tau + \sum_{r=1}^P [M + EUAC]_r \times Nc_r \times n_r \quad (23)$$

این هزینه‌ها شامل تمام هزینه‌های تعمیرات، اسقاطی، سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های مربوط به جریمه انتشار آلاینده، مصرف سوخت و خرید الکتریسیته است. در این رابطه  $r$  شمارنده نوع تجهیزات و  $n$  تعداد آن‌ها است.

همچنین هزینه سالانه سیستم تولید هم‌زمان ( $TAC_{CCHP}$ ) به صورت رابطه (24) تعریف شده که همانند رابطه سیستم تولید جداگانه است، اما تفاوت آن در فروش الکتریسیته و تجهیزات سیستم می‌باشد.

$$TAC_{CCHP} = \sum_{j=1}^T [E_b \times \rho_{e,b} - E_s \times \rho_{e,s} + m_f \times \rho_f + \sum_{k=1}^3 (m_{CCHP}^k \times \varepsilon_k)] \times \tau + \sum_{r=1}^P [M + EUAC]_r \times Nc_r \times n_r \quad (24)$$

که  $\rho_{e,b}$  و  $\rho_{e,s}$  بهای انرژی الکتریسیته و  $\rho_f$  بهای سوخت گازی می‌باشد که مقدار آنها در منابع [23,22] به صورت جدولی بر حسب نوع کاربری و مقدار مصرف درج شده است.

در این روش تابع PRAB با توجه به پارامترهای طراحی برای ظرفیت‌ها و بارهای جزئی متفاوت، بر اساس بار مورد نیاز ساختمان در طول سال بدست آمده و ظرفیت محرک، تعداد، بار جزئی، ظرفیت بویلر پشتیبان و چیلرها نیز براساس حداکثر سود سالیانه بدست می‌آید.

$$\text{Max}\{PRAB\} = (E_{nom})^{\text{optimum}} \quad (25)$$

## 6- پارامترهای ارزیابی

از پارامترهای مورد ارزیابی در این پژوهش پارامتر صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌باشد که توسط رابطه (26) ارزیابی می‌شود [20]:

$$FESR = \frac{fuel_{SCHP} - fuel_{CCHP}}{fuel_{SCHP}} \quad (26)$$

که  $fuel_{CCHP}$  و  $fuel_{SCHP}$  به ترتیب سوخت مصرفی سیستم تولید جداگانه و سیستم تولید هم‌زمان می‌باشند.

## 7- مطالعه موردی

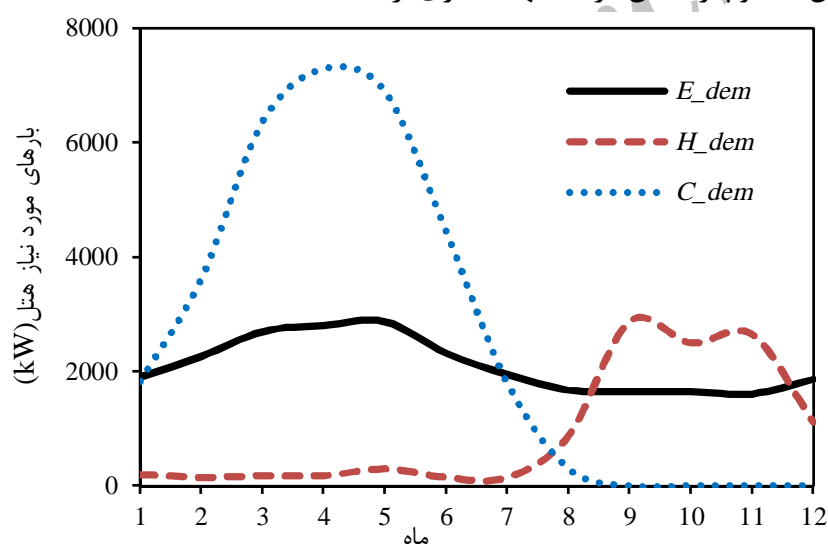
مطالعه موردی در مقاله پیش رو یک هتل در شهر زاهدان، با چهار طبقه و هر طبقه دارای 20 اتاق به مساحت 18 متر مربع می‌باشد. منحنی بارهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز ساختمان در طول سال، در شکل 3 ارایه شده است.

## 8- کنترل فرایند بهینه‌سازی

در بین روش‌های بهینه‌سازی، روش الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم وراثتی، الهام گرفته از طبیعت، از تکامل یافته‌ترین روش‌ها با متغیرهای گسسته بشمار می‌رود. اصول اولیه این الگوریتم توسط هلندی و همکارانش در دانشگاه میشیگان ایالات متحده در سال 1962 ارائه شد. هرچا انجام کاری با قدرت لازم است، طبیعت آن را بهتر انجام می‌دهد و رازهای سازش‌پذیری و بقا، بهترین آموزنده‌ایست که می‌توان از مطالعه دقیقی روی مثال‌های زیست-شناسی به آن رسید [25,24].

در این پژوهش کنترل فرایند بهینه‌سازی پارامترهای طراحی توسط الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب انجام شده است که در جدول 2 محدوده تغییرات پارامترهای طراحی و جدول 3 قیود بهینه‌سازی آورده شده است.

در واقع توابع هدف با توجه به پارامترهای طراحی برای ظرفیت‌ها و بارهای جزئی متفاوت محرک اولیه، براساس بار مورد نیاز ساختمان در طول سال بدست آمده و براساس ماکزیمم مقدار تابع هدف، بهینه می‌شوند که در شکل 4 فلوچارت این فرایند بهینه‌سازی ارائه شده است.

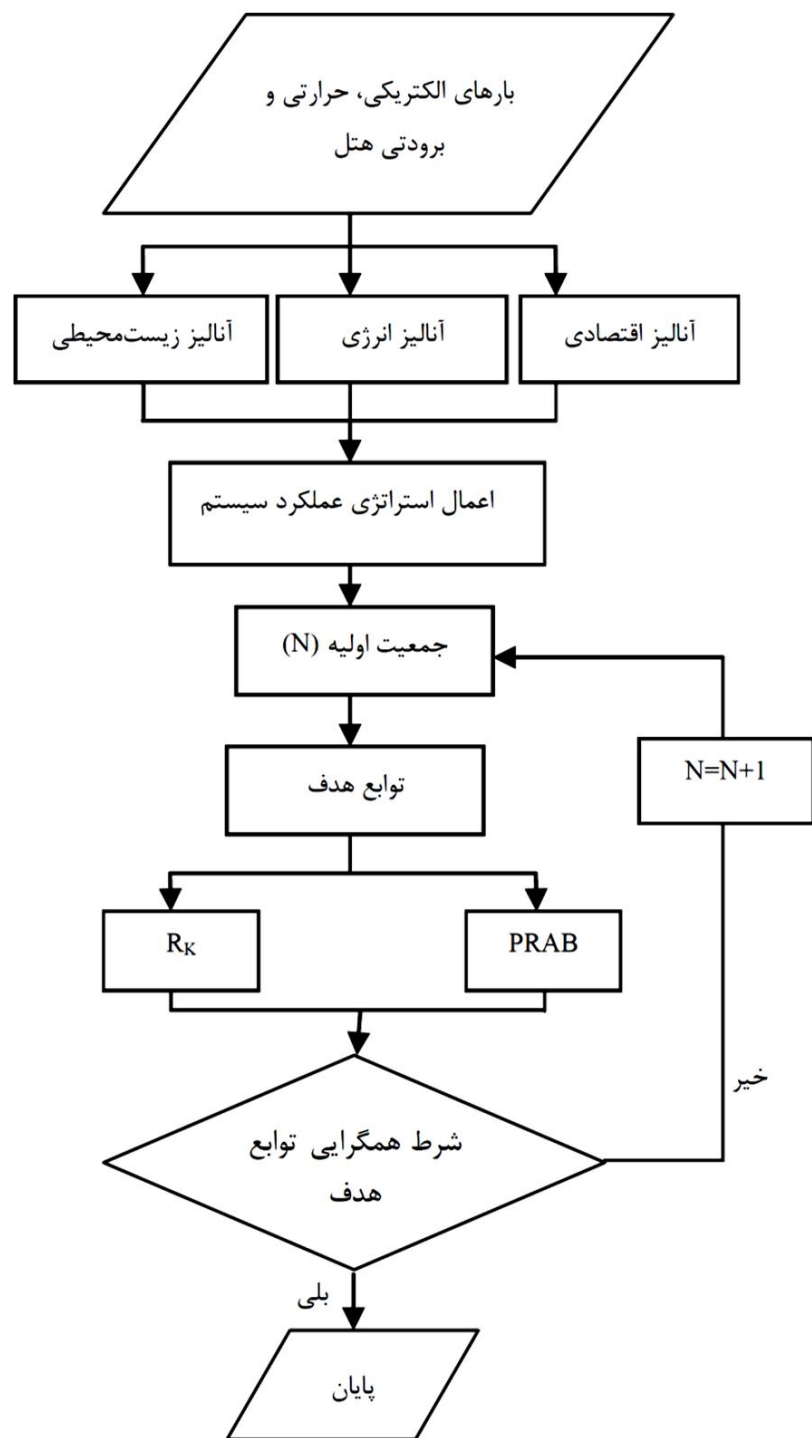


شکل 3 منحنی بار الکتریسیته، گرمایی و سرمایشی ساختمان در طول سال

جدول 2 پارامترهای طراحی در الگوریتم ژنتیک

پارامترها	مقادیر
تغییرات ظرفیت نامی محرک اولیه (کیلووات)	50 تا 5000
تعداد محرک اولیه	1 تا 3
میزان تغییرات بار جزئی محرک اولیه (درصد)	20 تا 100
تغییرات ظرفیت گرمایشی بویلر (کیلووات)	0 تا 1000
تغییرات ظرفیت سرمایشی چیلر تراکمی (کیلووات)	0 تا 1000
تغییرات ظرفیت سرمایشی چیلر جذبی (کیلووات)	0 تا 1000

با بررسی دقیق‌تر شکل 5 مشاهده می‌شود که با افزایش توان نامی محرک اولیه، میزان کاهش انتشار آلاینده‌های CO و CO<sub>2</sub> ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند. دلیل این امر را می‌توان رابطه مستقیم انتشار آلاینده‌های هیدروکربنی با سوخت مصرفی دانست به طوری که با افزایش ظرفیت نامی، انرژی‌های تولیدی سیستم تولید همزمان (برق، حرارت و برودت) افزایش می‌یابد این روند تا نقطه بهینه، با کاهش انتشار آلاینده‌های مربوطه همراه خواهد بود. اما با افزایش بیشتر ظرفیت نامی محرک اولیه، انرژی بیش از نیاز ساختمان تولید خواهد شد که متناسباً افزایش مصرف بی‌رویه سوخت را به همراه خواهد داشت. در نتیجه افزایش انتشار این دو آلاینده را نتیجه خواهد داد.



شکل 4 فلوچارت فرایند بهینه‌سازی

جدول 3 قیود و شرایط بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک

پارامترها	مقادیر	علت محدودیت
دمای خروجی از اگزوز محرک اولیه	$T < 148/8$	محدودیت زیست محیطی
دمای خروجی از اگزوز بویلر	$T < 121/2$	محدودیت زیست محیطی
بار جزیی	$PL > 20$	محدودیت بازده
ظرفیت موتورگازسوز	$E_{nom} < 5000$	محدودیت هزینه و بازده
تغییرات دمای زاهدان در فصل‌های مختلف	شکل 10 (در پیوست)	محدودیت اقلیمی
ارتفاع از سطح دریا زاهدان	1385	محدودیت اقلیمی
تعداد جمعیت	94	شرط همگرایی
نحوه انتخاب	یکنواخت	شرط همگرایی
تناسب مقیاس	رندم	شرط همگرایی
احتمال ترکیب ژنی	0/85	شرط همگرایی
نوع جهش	-	وابسته به محدودیت
مینیمم نرخ جهش	0/0005	محدودیت نوع جهش
نرخ جهش اولیه	0/005	محدودیت نوع جهش
معیار توقف	$10^{-6}$	شرط همگرایی

## 9- بحث و نتایج

در این بخش به نتایج بهینه متغیرهای طراحی برای سیستم CCHP با توابع هدف پرداخته می‌شود. این نتایج به منظور ماکزیمم کردن مقادیر توابع و حفظ قیود، با الگوریتم ژنتیک بهینه شده‌اند.

جدول 4 مقدار بهینه مربوط به ظرفیت نامی موتورهای گازسوز و دیگر پارامترهای طراحی، با توجه به معیارهای انتخابی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای رسیدن به حداکثر کاهش انتشار آلاینده‌های NO<sub>x</sub>، CO<sub>2</sub> و CO و درصد سود سالیانه نسبی به ترتیب نیازمند محرک‌هایی باتوان نامی  $E_{nom,max(RCO)} = 2875$ ،  $E_{nom,max(RCO_2)} = 197$ ،  $E_{nom,max(RNO_x)} = 4975$  و  $E_{nom,max(PRAB)} = 2150$  کیلووات می‌باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالات دستیابی به بیشینه کاهش انتشار آلاینده NO<sub>x</sub> و CO نیازی به بویلر پشتیبان نیست زیرا ظرفیت انتخاب شده برای موتورگازسوز به حدی بالا بوده که می‌تواند پیک گرمایشی مورد نیاز هتل را پوشش دهد.

شکل 5 تغییرات درصدی کاهش انتشار آلاینده‌های NO<sub>x</sub>، CO<sub>2</sub> و CO به همراه درصد سود سالیانه نسبی، بر حسب ظرفیت نامی موتور گازسوز را نشان می‌دهد، بیشینه هر منحنی نشان‌دهنده مقدار بهینه تابع مربوطه می‌باشد، که به همراه مقادیر مربوط به دیگر پارامترهای طراحی در جدول 4 ارائه شده است.

جدول 4 نتایج مربوط به سیستم CCHP با معیار انتخاب بر اساس ماکزیمم کاهش انتشار آلاینده R<sub>k</sub> و PRAB

توابع هدف (%)	ظرفیت نامی موتورگازسوز (kW)	ظرفیت گرمایشی بویلر (kW)	ظرفیت سرمایش چیلر الکتریکی (kW)	ظرفیت سرمایش چیلر جذبی (kW)
R <sub>NO<sub>x</sub></sub>	4975 (بارجزیی در پیوست)	عدم نیاز	2078	5578
R <sub>CO<sub>2</sub></sub>	1975 (بارجزیی در پیوست)	138	5745	1826
R <sub>CO</sub>	2875 (بارجزیی در پیوست)	عدم نیاز	5143	3191
PRAB	2150 (بارجزیی در پیوست)	6/1	5597	1836

با بررسی نتایج انتشار آلاینده‌ها برای روش PRAB مشاهده می‌شود این روش با وجودی که بر اساس بیشینه معیار کاهش انتشار آلاینده‌ها انتخاب نشده است ولی توانسته تولید آلاینده‌های  $\text{CO}_2$ ،  $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}$  به ترتیب 79%، 69% و 48% کاهش دهد. که نسبت به مقادیر ماکزیمم هر آلاینده (به عنوان تابع هدف) مقدار قابل توجهی می‌باشد.

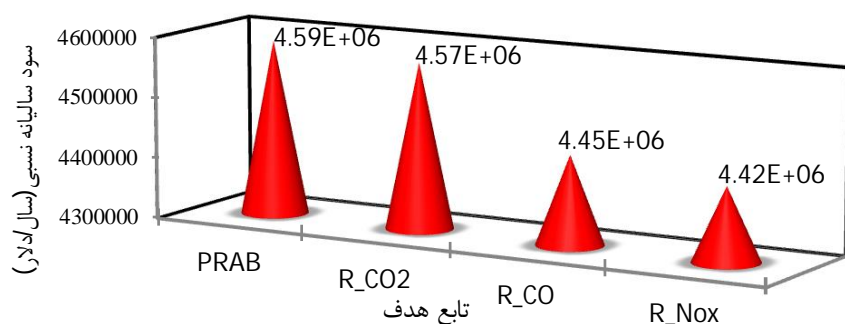
### 9-2- نتایج اقتصادی مربوط به سیستم CCHP

شکل 7 مقدار سود سالیانه سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت نسبت به سیستم تولید جداگانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش PRAB بیشترین سود سالیانه نسبی با مقدار  $4/59 \times 10^6$  سال/دلار بدست آمده است زیرا معیار انتخاب بر اساس ماکزیمم درصد سود سالیانه نسبی بوده، از طرفی کمترین سود سالیانه نسبی در معیار انتخاب بر اساس کاهش انتشار آلاینده  $\text{NO}_x$  رخ داده است زیرا با انتخاب ظرفیت بالا هزینه اولیه موتور گازسوز افزایش می‌یابد.

### 9-3- آنالیز تعداد محرک اولیه در مقدار توابع هدف

در این قسمت به آنالیز حساسیت تعداد محرک اولیه با استفاده از روش PRAB در درصد سود سالیانه نسبی و تأثیر آن بر انتشار آلاینده‌ها پرداخته می‌شود. جدول 5 آنالیز حساسیت نام برده را برای تعداد یک محرک اولیه تا سه محرک اولیه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش تعداد محرک اولیه سود سالیانه را کاهش و کاهش انتشار آلاینده‌های  $\text{CO}_2$ ،  $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}$  را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال با تغییر (افزایش تعداد محرک اولیه) یک ظرفیت 2150 کیلوواتی موتور گازسوز به دو ظرفیت 1075 کیلوواتی، سود سالیانه 5/7 درصد کاهش می‌یابد و کاهش انتشار آلاینده‌های  $\text{CO}_2$ ،  $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}$  به ترتیب 10/1، 16/1 و 11/7 درصد افزایش می‌یابد.

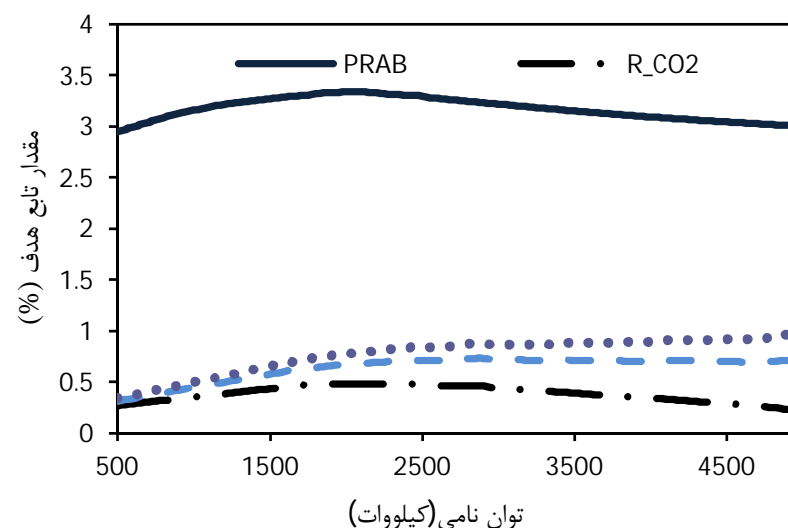
با افزایش تعداد محرک اولیه ظرفیت نامی موتور گازسوز کاهش می‌یابد در نتیجه میزان هزینه نصب شده (کیلووات/دلار) آنها افزایش خواهد یافت که این علت اصلی کاهش سود سالیانه می‌باشد. اما در مورد کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌توان بیان کرد که با افزایش تعداد محرک اولیه میزان گرمای دریافتی از واحدهای تولید توان افزایش می‌یابد که این باعث پوشش‌دهی



شکل 7 مقدار سود سالیانه نسبی برای معیارهای انتخاب

جدول 5 مقدار توابع هدف در یک، دو و سه محرک اولیه

تعداد محرک اولیه	یک موتور گازسوز	دو موتور گازسوز	سه موتور گازسوز
ظرفیت نامی (kW)	2150	1075	725
سود سالیانه نسبی (سال/دلار $\times 10^6$ )	1/094	1/032	0/914
کاهش انتشار آلاینده $\text{CO}$ (%)	0/689	0/78	0/832
کاهش انتشار آلاینده $\text{CO}_2$ (%)	0/483	0/576	0/622
کاهش انتشار آلاینده $\text{NO}_x$ (%)	0/799	0/889	0/942



شکل 5 تغییرات توابع هدف بر حسب توان نامی

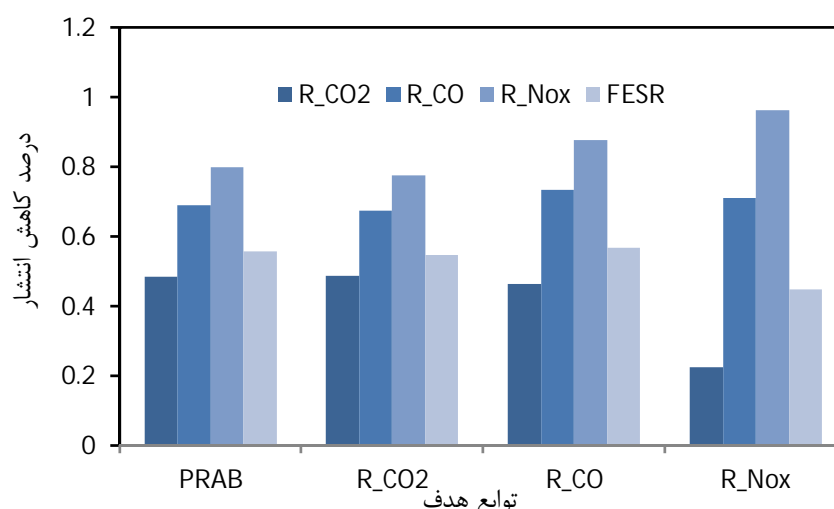
از طرفی کاهش انتشار آلاینده  $\text{NO}_x$  با افزایش ظرفیت نامی محرک افزایش می‌یابد که دلیل آن را می‌توان شرایط خاص تولید این آلاینده و استراتژی اعمال شده دانست. زیرا دمای بالا احتراق برای تولید الکتریسیته در نیروگاه‌ها عامل اصلی انتشار این آلاینده است، اما سیستم‌های تولید واحد تولید توان همزمان در دمای احتراق پایین‌تری نسبت به نیروگاه‌ها، الکتریسیته مورد نیاز را تأمین می‌کنند، پس با افزایش توان نامی محرک و کاهش مقدار خرید برق از شبکه می‌توان انتشار آن را به طور چشمگیری، کاهش داد.

روند تغییرات تابع هدف سود سالیانه نسبی با ظرفیت نامی موتور گازسوز به سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی وابسته می‌باشد. همان‌طور که از نمودار مربوط به این تابع در شکل 5 مشخص است ابتدا این تابع افزایش و سپس کاهش می‌یابد. چون در ظرفیت‌های پایین، هزینه دلار بر کیلو وات نصب شده‌ی این سیستم‌ها بالا می‌باشد در نتیجه مقدار تابع هدف در رنج-های پایین، با افزایش ظرفیت نامی افزایش می‌یابد تا به نقطه بهینه خود که ظرفیت نامی بهینه 2150kW برسد. با افزایش ظرفیت نامی بیشتر از مقدار بهینه مذکور به علت بالا رفتن کل هزینه‌ی اولیه موتورهای گازسوز (دلار) درصد سود سالیانه نسبی روند کاهشی را دنبال خواهد کرد.

### 9-1- مقایسه نتایج زیست‌محیطی مربوط به سیستم CCHP در چهار

#### تابع هدف

شکل 6 مقدار کاهش انتشار آلاینده‌های  $\text{NO}_x$ ،  $\text{CO}_2$  و  $\text{CO}$  به همراه درصد صرفه‌جویی در سوخت مصرفی، در انتخاب بهینه هر معیار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین صرفه‌جویی مصرف سوخت مربوط به معیار انتخاب بر اساس کاهش انتشار آلاینده  $\text{NO}_x$  می‌باشد زیرا در این حالت با انتخاب ظرفیت بالا به منظور بیشترین تولید الکتریسیته توسط سیستم باعث مصرف سوخت بالایی خواهد شد. در صورتی که در سه روش دیگر صرفه‌جویی در مصرف سوخت، تقریباً اعداد مشابهی را کسب می‌کنند.



شکل 6 مقدار کاهش انتشار آلاینده‌ها به همراه پارامتر FESR

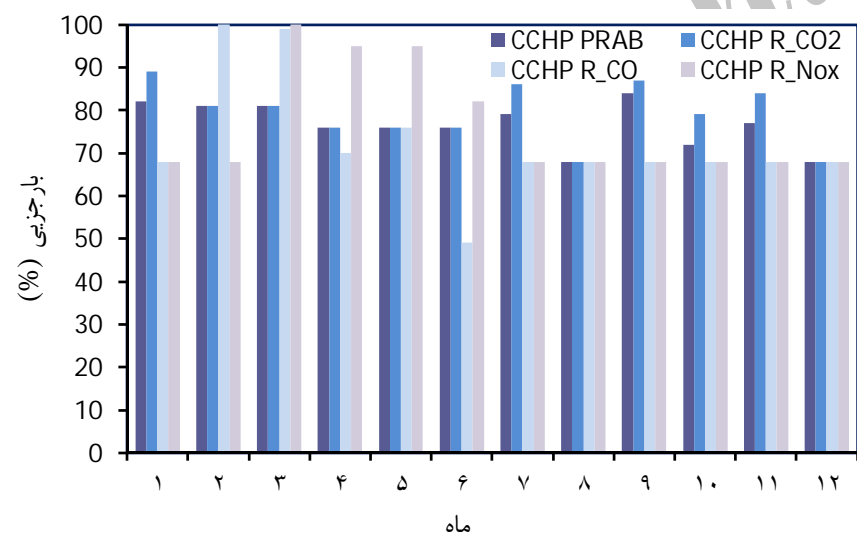


پرداخته شده است. محرک اولیه سیستم، موتور گازسوز بوده و عملکرد آن و دیگر تجهیزات سیستم در بار جزئی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت علاوه بر توجیه اقتصادی نقش بسزایی در کاهش انتشار آلاینده‌ها دارند، بطوری که در محدوده گسترده‌ای از ظرفیت‌های نامی موتور گازسوز مقادیر کاهش انتشار آلاینده‌ها و سود سالیانه نسبی، نسبت به سیستم تولید جداگانه، مثبت بدست می‌آید. با انتخاب معیار ماکزیمم درصد سود سالیانه نسبی PRAB که شامل سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد، ظرفیت 2150 کیلووات با بیشترین سود سالیانه بدست آمد که با مقایسه مقدار کاهش انتشار آلاینده‌ها در این روش با روش بیشینه کاهش انتشار آلاینده‌ها، مشاهده می‌شود که روش PRAB روشی مناسب به منظور بهینه‌سازی سیستم‌های تولید همزمان است، زیرا علاوه بر داشتن بیشترین سود سالیانه، میزان انتشار آلاینده‌ها را به مقدار چشمگیری کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت تعداد محرک اولیه نشان داد که با افزایش تعداد محرک اولیه درصد سود سالیانه نسبی کاهش یافته اما مقدار کاهش انتشار آلاینده‌ها، افزایش می‌یابد به طوری که با تغییر (افزایش تعداد محرک اولیه) یک ظرفیت 2150 کیلوواتی موتور گازسوز به دو ظرفیت 1075 کیلوواتی، سود سالیانه 5/7 درصد کاهش می‌یابد و کاهش انتشار آلاینده‌های  $\text{CO}_2$  و  $\text{CO}$  به ترتیب 10/1، 16/1 و 11/7 درصد افزایش می‌یابند.

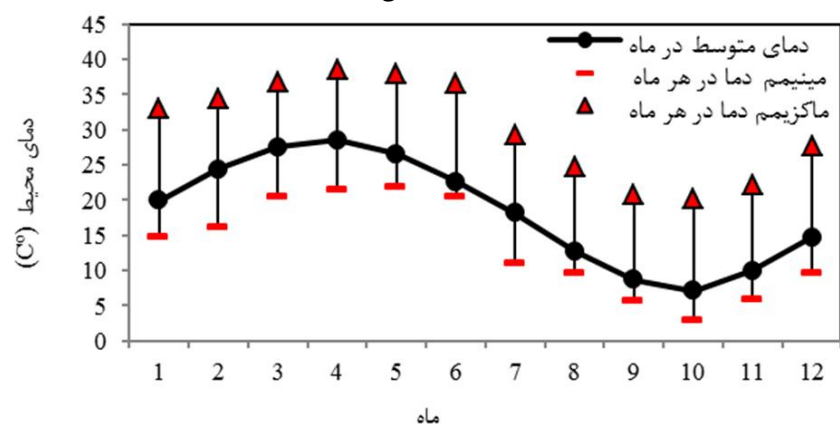
#### 11- پیوست

شکل 9 نشان‌دهنده بار جزئی مربوط به کارکرد موتور گازسوز در فصل‌های مختلف سال می‌باشد که در جدول 4 به آن اشاره شده است.

شکل 10 تغییرات دمای زاهدان در فصل‌های مختلف سال را نشان می‌دهد که شامل دمای متوسط ماهیانه و بیشینه و کمینه دمای هر ماه است. که در جدول 3 به آن اشاره شده است.



شکل 9 بارهای جزئی کارکرد محرک اولیه برای توابع هدف در ماه‌های مختلف سال



شکل 10 تغییرات دمای زاهدان در فصل‌های مختلف سال

بیشتر منحنی‌های بار گرمایی (و در صورت اضافه بودن، بار سرمایشی) شده و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده‌ها را به دنبال خواهد داشت.

شکل 8 درصد کاهش انتشار آلاینده‌ها را با تغییر تعداد موتور گازسوز از یک ظرفیت به دو الی سه نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد کاهش انتشار آلاینده  $\text{NO}_x$  با تغییر یک ظرفیت به دو الی سه ظرفیت کمتر از دیگر آلاینده‌ها بدست می‌آید، که در ادامه دلیل این موضوع توضیح داده خواهد شد.

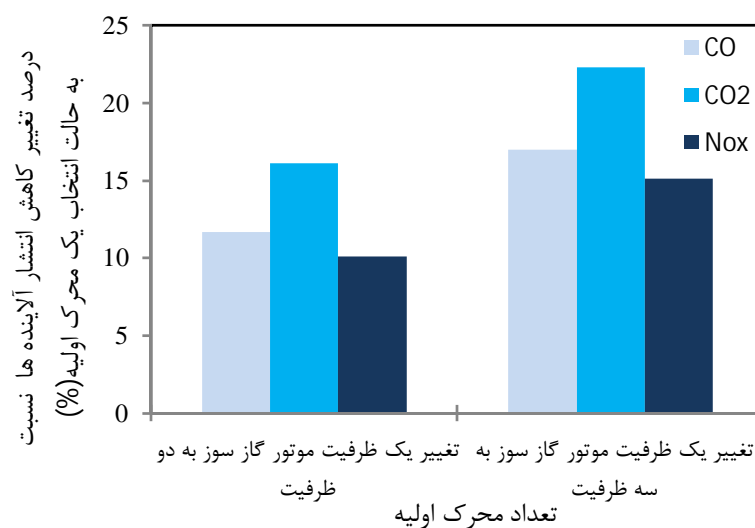
همان‌طور که قبلاً بیان شده بود عامل اصلی تولید آلاینده  $\text{NO}_x$  نیروگاه‌های تولید برق می‌باشند که می‌توان با کاهش دادن خرید الکتریسیته از شبکه (کاهش الکتریسیته تولیدی در نیروگاه‌ها) انتشار این آلاینده را کاهش داد. از طرفی با افزایش تعداد محرک اولیه میزان الکتریسیته تولیدی (با توجه به رابطه (6) که بازده با کاهش ظرفیت نامی کاهش می‌یابد) کاهش می‌یابد و این باعث افزایش انتشار آلاینده  $\text{NO}_x$  خواهد شد. اما گرمای دریافتی از واحد تولید توان که با پوشش‌دهی بیشتر بخش سرمایش همراه خواهد بود، انتشار این آلاینده را به صورت موثرتر از تولید الکتریسیته، کاهش می‌دهد که در کل نتیجه نامبرده حاصل می‌شود.

#### 9-4- اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی کار حاضر، نتایج حاصل از بهینه‌سازی معیار درصد ماکزیمم سود سالیانه نسبی PRAB با نتایج حاصل از سود سالیانه AP در کار توکلی دستجرد و همکاران [14] برای مورد مطالعاتی آن‌ها، مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه نتایج نشان‌دهنده تطابق بسیار خوب این دو روش می‌باشد، که در جدول 6 ارائه شده است.

#### 10- نتیجه‌گیری

در این مقاله به مطالعه و مقایسه دو فرایند بهینه‌سازی زیست‌محیطی و بهینه‌سازی چند معیاره در عملکرد سیستم تولید همزمان برای یک هتل



شکل 8 درصد تغییر کاهش انتشار آلاینده‌ها با افزایش محرک اولیه نسبت به یک محرک

جدول 6 اعتبارسنجی مقادیر تابع هدف PRAB با مقادیر مقاله توکلی دستجرد و همکاران [14]

پارامتر	مقادیر		
تعداد محرک اولیه (موتور گازسوز)	3	2	1
ظرفیت نامی موتور گازسوز (kW)	750	1150	2550
سود سالیانه توکلی دستجرد و همکاران [14]	40/6	44/7	45/4
AP، $\times 10^5$ (سال/دلار)			
سود سالیانه نسبی کار حاضر PRAB، $\times 10^5$ (سال/دلار)	40/2	43/8	44/9



## 12- فهرست علائم

PL	بار جزئی	A	هزینه سالانه اسقاطی (\$/year)
PM	محرك اولیه	AP	سود سالیانه (\$/year)
S	فروش	C	سرمایش، (kW)
sell	فروش	CCHP	سیستم تولید همزمان برق حرارت و برودت
SCHP	سیستم تولید جداگانه (سنتی)	COP	ضریب عملکرد (%)
		E	الکتریسیته (kW)
		EUAC	هزینه سالیانه (\$/year)
		FESR	نسبت صرفه‌جویی در انرژی سوخت، (%)
		H	گرمایش (kW)
		i	نرخ بهره (%)
		j	شمارنده ماه
		k	عمر تجهیزات (year)
		LHV	ارزش حرارتی سوخت (kJ/kg)
		m	جرم (Kg)
		M	هزینه تعمیر و نگهداری (\$/kWh)
		n	تعداد محرك اولیه
		NC	ظرفیت نامی (kW)
		PL	بار جزئی (%)
		PRAB	درصد سود سالیانه نسبی (%)
		R	کاهش انتشار آلاینده (%)
		SV	هزینه‌ی اسقاطی در سال جاری (\$/kWh)
		SCHP	سیستم تولید متمرکز
		TAC	کل هزینه سالیانه (\$/year)
		علائم یونانی	
		$\eta$	بازده (%)
		$\beta$	ضریب سالیانه کننده
		$\xi$	فاکتور انتشار آلاینده (kg/MWh)
		$\rho$	هزینه حامل‌های انرژی (\$/kWh)
		$\epsilon$	جریمه‌ی انتشار آلاینده‌ها (\$/kg)
		$\tau$	بازه زمانی، (ساعت)
		زیرنویس‌ها	
		ab	جذبی
		b	بویلر/ خرید
		buy	خرید
		C	چیلر (تراکمی یا جذبی)
		CCHP	سیستم تولید همزمان برق حرارت و برودت
		dem	مورد نیاز
		E	الکتریسیته
		e	الکتریسیته
		c	تراکمی
		f	سوخت
		G	تولید شده
		H	گرمایش
		j	تعداد تجهیزات
		k	نوع آلاینده/شمارنده تجهیزات
		nom	اسمی، نامی

## 13- مراجع

- [1] M. Ghafooryan, F. Tavakoli Dastjerd, E. shakib, Techno-economic Evaluation of a CCHP system Integrated with Reverse Osmosis Plant for Domestic uses for a Residential building in Bandar Abbas, in the 4th Annual Clean Energy Conference, Kerman, IRAN, 2014 (In Persian).
- [2] M. Ghafooryan, F. TavakoliDastjerd, M. H. Shafiee Mayam, Comparison three methods in designing CCHP system for an Industrial of case study, in the second National Application Researches in Electrical, Mechanical and Mechatronic Conference, Tehran, IRAN, 2015
- [3] P. Moghaddam. *Technology, Designing principles and Operation of Combined heating and power generation systems*, pp. 45-46, 2013 (In Persian).
- [4] M.R. Haghighat, M. Manbachi. Reliability and availability modelling of combined heat and power (CHP) systems, *Electrical Power and Energy Systems* 33, pp. 385-393, 2011.
- [5] S. Sanaye, M.Aghaei Meybodi, S. Shokrollahi, Selecting the prime movers and nominal powers in combined heat and power systems, *Applied Thermal Engineering, Elsevier*, 28; pp.1177-1188, 2008.
- [6] J. Wu, J. Wang, S. Li, Multi-objective optimal operation strategy study of micro-CCHP system, *Energy* 48, pp.472-483, 2012.
- [7] S. Sanaye, M. Ardali, Estimating the power and number of micro turbines in small-scale combine heat and power systems, *Apply Thermal Energy* 86, pp. 895-903, 2009.
- [8] M. Maerefat, P. Shafie. Design of CCHP system for office buildings in Tehran and thermodynamical, environmental and economic evaluation in comparison to conventional system, *Moadares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 6, pp. 124-134, 2014 (In Persian).
- [9] M. Maerefat, P. Shafie, Multi-criteria evaluation of CCHP system under different operating strategies for an office building in Tehran using AHP method, *Moadares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 8, pp. 37-48, 2014 (In Persian).
- [10] J.J. Wang, Y.Y. Jing, C.F. Zhang, Z. Zhai, Performances comparison of combined cooling heating and power system in different operation modes, *Applied Energy* 88, pp. 4621-46, 2011.
- [11] N. Fumo, P.J. Mago, M. Chamra, Emission operational strategy for combined cooling, heating, and power systems, *Applied Energy* 86, pp.2344-2350, 2009.
- [12] *Ashrae Handbook*, Chapter S7, Cogeneration systems and engine and turbine drives, pp. 7-46, 1999
- [13] S.Sanaye, H.Hajabdollahi, 4E analysis and Multi-objective optimization of CCHP using MOPSOA, *Proceedings of the institution of Mechanical Engineers*, Part E, 228,1, pp.43-60, 2014.
- [14] F.Tavakoli Dastjerd, M.M.Ghafooryan, E. Shakib. Tech economic optimization of CCHP system with rely the time value of money, in payback period, *Moadares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 5, pp. 254-260, 2015.
- [15] M. Ebrahimi, A. Keshavarz. Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system, *Energy*, Volume 54, 1; pp. 291-301, 2013
- [16] Economic data in worth, U.S. Energy Information Administration (EIA), Accessed in February, 2015.
- [17] <http://www.eia.gov>, Accessed in February, 2015.
- [18] <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/related/c01s04.html>, Accessed in February, 2015
- [19] P. Ahmadi, et al. Exergo-environmental analysis of an integrated organic Rankine cycle for trigeneration, *Energy Conversion and Management*, 64; pp. 447-453, 2012.
- [20] M. Ebrahimi, A. Keshavarz, Climat impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building, *Journal of Energy and Buildings, Elsevier*, 54, pp. 283-289, 2012.
- [21] H. Hajabdollahi, A. Ganjehkaviri, J. Mohammad Nazri Mohd, Assessment of new operational strategy in optimization of CCHP plant for different climates using evolutionary algorithms, *Applied Thermal Engineering* 75, pp. 468-480, 2015.
- [22] [http://bahaye\\_bargh.tavanir.org.ir/](http://bahaye_bargh.tavanir.org.ir/) Accessed in February, 2015.
- [23] <http://www.nigc-mpgc.ir/> Accessed in February, 2015.
- [24] D.E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, *Addison-Wesley*, Reading, MA, 1989.
- [25] R.L. Haupt, S.E. Haupt, Practical Genetic Algorithms, *John Wiley and Sons Inc*, USA, 2004.