

# برآورد کاهش انتشار آلاینده ها در عملکرد یک سیستم هیبرید CCHP و آب شیرین کن اسمز معکوس نسبت به سیستم های مجزای سنتی

محمد مصطفی غفوریان  
حمید نیازمند\*

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

## چکیده

در پژوهش حاضر به مدل سازی و بهینه سازی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) در ترکیب با آب شیرین کن اسمز معکوس (W)، برای یک هتل پرداخته شده است. در گام اول استراتژی عملکرد دو چیدمان مختلف برای سیستم CCHP و آب شیرین کن اسمز معکوس (W) به منظور تامین بارهای مورد نیاز ساختمان ارایه می شود و عملکرد این دو سیستم نسبت به سیستم های سنتی موجود توسط الگوریتم ژنتیک بهینه می شود. در فرآیند بهینه سازی از تابعی چند معیاره (انرژی، اقتصادی و زیست محیطی) تحت عنوان درصد سود سالیانه نسبی (PRAB) و موتور گازسوز (با قابلیت عملکرد در بار جزئی) به عنوان محرک اولیه، استفاده شده است. سپس رویکرد زیست محیطی این دو سیستم نسبت به سیستم های متداول مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می دهد، که در هر دو چیدمان، انتشار هر سه آلاینده  $CO_2$ ،  $CO$  و  $NO_x$  در محدوده ی گسترده ای از ظرفیت های نامی موتور گازسوز، کاهش می یابد. این در حالی است که در سیستم CCHPW (چیدمان اول) با انتخاب موتور گازسوزی با ظرفیت ۳۲۵۰ کیلووات، عملکرد بهتری از نظر اقتصادی و زیست محیطی مشاهده می شود به طوری که علاوه بر داشتن بیشترین سود سالیانه با مقدار  $5/21 \times 10^6$  دلار بر سال، تولید آلاینده های  $CO_2$ ،  $CO$  و  $NO_x$  را به ترتیب ۶۱٪، ۷۹٪ و ۸۶٪ کاهش می دهد.

واژه های کلیدی: سیستم تولید همزمان برق حرارت و برودت (CCHP)، سیستم آب شیرین کن اسمز معکوس (W)، سیستم متداول.

## Investigating the Pollutants Reduction of a CCHP System Coupled with Reverse Osmosis Desalination in Comparison to Traditional System

M. M. Ghafoorian  
H. Niazmand

Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

## Abstract

In present paper, the modeling and optimizing of the combined cooling, heating and power (CCHP) system coupled with the reverse osmosis desalination are performed for a hotel. At the first step, operation strategy of two different configurations of combined cooling, heating and power system and reverse osmosis desalination is presented to provide the building demands, and the operation of these systems in comparison with traditional system will be optimized by genetic algorithm. In optimization process, multi criteria objective function (energetic, economic and environmental), called the Percent of Relative Annual Benefit (PRAB), and gas engine as prime mover (with in partial load), were used. Then, the environmental performance of these systems in comparison with traditional system is examined. Present results show that pollutant emission of  $CO_2$ ,  $CO$  and  $NO_x$  reduce in an extensive range of nominal power of gas engine in both configurations. However, in CCHPW configuration system, by selecting 3250 kW nominal power for gas engine, a better performance is observed in relation with economic and environmental considerations, such that the highest annual benefit of  $5.21 \times 10^6$  \$/year is obtained, while the emission of  $CO_2$ ,  $CO$  and  $NO_x$  pollutants reduces by 61%, 79% and 86%, respectively.

**Keywords:** Combined cooling heating and power generation system (CCHP), Reversal osmosis desalination system (w), traditional system.

## ۱- مقدمه

رشد جمعیت و پیشرفت تکنولوژی در قرن اخیر منجر به رشد میزان تقاضای حامل های انرژی شده است. ادامه ی روند افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی باعث تولید آلاینده هایی نظیر کربن دی اکسید و تشدید پدیده ی گلخانه ای می شود. بنابراین کاهش منابع سوخت های فسیلی و افزایش آلودگی محیط زیست، دو عامل مهم در توجه به استفاده از سیستم هایی با راندمان بالا شده است. سیستم تولید همزمان یکی از سیستم هایی است که در این زمینه پیشرفت چشمگیری داشته است، که علاوه بر بازده بالا و کاهش مصرف سوخت، باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده می گردد [۲۰].

تولید همزمان حرارت و توان<sup>۱</sup> (CHP) که گاهی اوقات تحت عنوان تولید مشترک<sup>۲</sup> نیز نامیده می شود در حقیقت تولید متوالی دو صورت مفید انرژی، یعنی حرارت و توان، از یک منبع سوخت، می باشد. در اغلب کاربردهای این سیستم ها، انرژی شیمیایی سوخت به انرژی مکانیکی و گرمایی تبدیل می گردد. معمولاً انرژی مکانیکی برای تولید برق و انرژی گرمایی برای تولید بخار، آب گرم و یا هوای گرم مورد استفاده قرار می گیرد و در صورتی که از انرژی های واحد تولید توان برای تولید سرمایش، با

<sup>1</sup> Combined Heat and power

<sup>2</sup> Cogeneration

استفاده از تجهیزات سرمایشی استفاده شود، به اختصار  $CCHP^1$  نامیده می شوند [۳].

تا کنون مطالعات زیادی در زمینه سیستم های تولید همزمان انجام شده است، که در بیشتر مطالعات به مدل سازی و بهینه سازی [۴ و ۵] و ارزیابی اقتصادی [۶ و ۷] بدون در نظر گرفتن آنالیز زیست محیطی پرداخته شده است.

در برخی دیگر از تحقیقات علاوه بر معیارهای اقتصادی و انرژی، معیار زیست محیطی نیز در نظر گرفته شده، اما تنها یک نوع آلاینده مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفت و همکاران به طراحی و ارزیابی [۸-۹] سیستم تولید همزمان با استفاده از دو آنالیز اقتصادی و زیست محیطی پرداختند. آنالیز اقتصادی بر اساس نرخ بازگشت سرمایه و آنالیز زیست محیطی آن ها فقط بر مبنای انتشار آلاینده ی کربن دی اکسید  $CO_2$  بوده است. نتایج آن ها نشان داد که استفاده از سیستم تولید همزمان منجر به ۵۹ درصد کاهش انتشار این آلاینده می شود.

وانگ و همکاران جریان انرژی سیستم تولید سه گانه و تولید مجزا را تجزیه و تحلیل کردند. آنها سه شاخص صرفه جویی در انرژی اولیه، راندمان اکزرژی و کاهش انتشار  $CO_2$ ، را برای سیستم تولید سه گانه یک ساختمان تجاری در پکن ارزیابی کردند. تجزیه و تحلیل امکان سنجی ها و آنالیز حساسیت نشان داد که ضریب عملکرد خنک کننده و راندمان تولید برق متغیرهای حساسی در عملکرد زیست محیطی سیستم تولید سه گانه می باشند و تاثیر زیادی در کاهش آلاینده ی کربن دی اکسید دارند [۱۰].

فومو و همکارانش استفاده از استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده را برای سیستم تولید همزمان سه گانه به منظور کاهش انتشار آلاینده ها پیشنهاد دادند. کاهش مصرف انرژی اولیه و کاهش انتشار دی اکسید کربن به دست آمده با استفاده از استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده پیشنهادی، با نتایج به دست آمده از استراتژی مصرف انرژی اولیه مقایسه گردید [۱۱]. نتایج آن ها نشان داد که در استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده، انتشار کمتری از دی اکسید کربن در مقایسه با مصرف انرژی اولیه به دست می آید به طوری که برای شهر مینیاپولیس ۱۸/۷ درصد کاهش این آلاینده به دست آمد، که اثبات می کند استفاده از استراتژی عملیاتی انتشار آلاینده برای طراحی سیستم های تولید همزمان سه گانه به منظور کاهش تولید گازهای گلخانه ای ارجحیت دارد.

تحقیقات اخیر نشان می دهند که اگر معیار زیست محیطی به طور کامل در توابع هدف پیاده سازی نشود، نتایج بهینه سازی اعتماد پذیری کامل را ندارند. به عنوان مثال توکلی دستجرد و همکاران در تحقیقات اخیر، به بررسی عملکرد سیستم تولید همزمان  $CCHP$  در انتشار آلاینده های  $CO_2$ ،  $NO_x$  و  $CO$  برای یک هتل پرداختند. نتایج آن ها نشان داد بهینه سازی سیستم  $CCHP$  در صورت کامل بودن معیار زیست محیطی (در تابع هدف) می تواند نقش بسزای در کاهش انتشار آلاینده های داشته باشد [۱۲].

همانطور که از مرور کارهای پیشین مشاهده می شود در بیشتر مطالعات انجام شده به بهینه سازی و مدل سازی سیستم  $CCHP$  پرداخته شده است و معیار زیست محیطی یا سه آلاینده  $CO_2$ ،  $NO_x$  و  $CO$ ، کمتر به عنوان هدف اصلی مورد ارزیابی قرار گرفته و هیچ گونه مقایسه و ارزیابی زیست محیطی برای سیستم های تولید همزمان  $CCHP$  در ترکیب با آب شیرین

کن اسمز معکوس ( $W$ ) انجام نشده است. در این مقاله ابتدا به ارائه دو چیدمان سیستم تولید همزمان برق، حرارت، برودت با آب شیرین کن اسمز معکوس (سیستم تولید همزمان برق، حرارت، برودت و آب شرب  $CCHPW$  و سیستم تامین آب شرب به همراه سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت  $W+CCHP$ ) پرداخته می شود. سپس با پیشنهاد معیاری جدید، تحت عنوان درصد سود سالیانه نسبی که مبنی بر تکنیک اقتصادی یکنواخت سالیانه است، به بهینه سازی این سیستم با در نظر گرفتن سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست محیطی و مقایسه هزینه های این سیستم نسبت به سیستم تولید جدا گانه می پردازد. در نهایت عملکرد این سیستم از نقطه نظر زیست محیطی و اقتصادی ارزیابی خواهد شد.

## ۲- استراتژی عملکرد سیستم

شکل ۱ طرحواره، سیستم تولید همزمان برق، حرارت، برودت و آب شرب ( $CCHPW$ ) را به همراه سیستم متداول ( $trad$ ) نشان می دهد. در واقع این سیستم ها از واحد تولید توان، واحد گرمایش، واحد سرمایش و واحد تولید آب شرب، تشکیل شده که با توجه به نحوه تامین آب شرب مصرفی ساختمان می توانند به دو سیستم تولید همزمان برق، حرارت، برودت و آب  $CCHPW$  و سیستم تامین آب شرب به همراه سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت  $W+CCHP$  تقسیم شود. در ادامه استراتژی عملکرد این دو سیستم به همراه سیستم متداول توضیح داده می شود.

### ۲-۱- سیستم متداول ( $trad$ )

در این سیستم الکتریسیته ی مورد نیاز در محل مصرف، که شامل الکتریسیته ی مورد نیاز روشنایی ( $E_{dem}$ )، الکتریسیته ی مورد نیاز سرمایش (در صورت استفاده از چیلر تراکمی ( $E_C$ )) و الکتریسیته مورد نیاز برای تامین آب شرب مصرفی ( $E_W$ ) است، از شبکه سراسری برق خریداری ( $E_b$ ) می شود و گرمایش مورد نیاز ( $H_{dem}$ )، با مصرف سوخت، توسط واحد گرمایش (بویلر) تامین خواهد شد در این حالت بیشینه مقدار مورد نیاز سرمایش و گرمایش، به ترتیب تعیین کننده ظرفیت نامی چیلر الکتریکی و بویلر می باشند. استراتژی عملکرد این سیستم توسط رابطه (۱) ارزیابی می شود.

$$\begin{cases} H_b = H_{dem} & \text{if } C_{ab} = 0 \\ E_b = E_{dem} + C_{dem} \times COP_c + E_W \\ C_c = C_{dem} \end{cases} \quad (1)$$

در صورت استفاده از چیلر جذبی (عدم استفاده از چیلر تراکمی)، واحد گرمایش وظیفه تامین گرمای مورد نیاز برای تامین سرمایش ( $C_{dem}$ ) را نیز بر عهده خواهد داشت که در این حالت بیشینه مقدار مورد نیاز سرمایش، تعیین کننده ظرفیت نامی چیلر جذبی و مجموع گرمایش مورد نیاز ساختمان و گرمای مورد نیاز چیلر جذبی تعیین کننده ظرفیت نامی بویلر خواهند بود. که توسط رابطه (۲) فرمول بندی شده است.

$$\begin{cases} H_b = H_{dem} + C_{dem} \times COP_{ab} \\ E_b = E_{dem} + E_W \\ C_{ab} = C_{dem} & \text{if } E_C = 0 \end{cases} \quad (2)$$

آب بهداشتی ساختمان نیز از شبکه سراسری آب تامین شده و از این آب جهت تامین آب شرب (توسط سیستم آب شیرین کن اسمز معکوس) استفاده خواهد شد.

<sup>2</sup> traditional system

<sup>1</sup> Combined Cooling, Heating and Power

ساختمان باشد، مابقی گرما توسط بویلر پشتیبان تامین شده و بخش سرمایش مورد نیاز، توسط چیلر تراکمی ( $C_c$ ) تامین می‌شود. رابطه‌ی (۶) مربوط به این قسمت را نشان می‌دهد.

$$\begin{cases} \text{if } H_G < H_{\text{dem}} \\ H_b = H_{\text{dem}} - H_G \\ C_{\text{ab}} = 0 \\ C_c = C_{\text{dem}} \end{cases} \quad (6)$$

## ۲-۳- سیستم تولید همزمان برق، حرارت، برودت و آب شرب (CCHPW)

استراتژی عملکرد این سیستم مشابه استراتژی عملکرد بخش ۲-۲ می‌باشد، با این تفاوت که واحد تولید توان وظیفه تامین الکتریسیته مورد نیاز واحد تولید آب شرب مصرفی ( $E_W$ ) را نیز برعهده خواهد داشت. بنابراین در این حالت اگر الکتریسیته‌ی تولیدی ( $E_G$ ) به وسیله‌ی محرک اولیه، کمتر از میزان الکتریسیته‌ی مورد نیاز ساختمان (که شامل سه بخش روشنایی، سرمایش (توسط چیلر تراکمی) و آب شرب است) باشد، کمبود الکتریسیته با خرید برق از شبکه سراسری تامین خواهد شد و میزان الکتریسیته فروخته شده ( $E_s$ ) به شبکه مطابق با روابط زیر ارزیابی می‌گردد.

$$\begin{cases} \text{if } E_G < (E_{\text{dem}} + E_C + E_W) \\ E_s = 0 \\ E_b = E_W + E_{\text{dem}} + E_C - E_G \end{cases} \quad (7)$$

در صورتی که الکتریسیته‌ی تولیدی بیشتر از میزان مورد نیاز باشد سیستم قادر خواهد بود تا الکتریسیته اضافی را مطابق رابطه‌ی (۸) به شبکه سراسری برق بفروشد.

$$\begin{cases} \text{if } E_G > (E_{\text{dem}} + E_C + E_W) \\ E_s = E_G - E_{\text{dem}} - E_C - E_W \\ E_b = 0 \end{cases} \quad (8)$$

استراتژی مربوط به بخش گرمایش و سرمایش مطابق حالت قبل ارزیابی می‌گردد و آب بهداشتی ساختمان نیز در این سیستم و دو سیستم قبل با فرض خریداری از شبکه سراسری آب تامین می‌شود.

## ۳- آنالیز انرژی و اقتصادی

دست‌یابی به تراز بالای انرژی یکی از اهداف مهم در طراحی سیستم‌های انرژی می‌باشد. از طرفی تحلیل اقتصادی بر اساس شرایط مطلوب، دارای اهمیت اساسی است، زیرا علاوه بر نزدیک‌تر شدن میزان سود یا ضرر حاصل

## ۲-۲- سیستم تامین آب شرب به همراه سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (W+CCHP)

در این سیستم موتور گازی به عنوان واحد تولید توان (محرک اولیه)، وظیفه‌ی تامین الکتریسیته مورد نیاز ساختمان را که شامل الکتریسیته روشنایی ( $E_{\text{dem}}$ ) و الکتریسیته مورد نیاز چیلر تراکمی ( $E_C$ ) می‌باشد، بر عهده دارد. الکتریسیته مورد نیاز واحد تولید آب شرب ( $E_W$ ) به طور مجزا از شبکه سراسری خریداری ( $E_W$ ) خواهد شد.

در پژوهش پیش رو تداخل سیستم CCHP با شبکه از نوع بهره‌برداری موازی می‌باشد یعنی امکان خرید و فروش الکتریسیته از شبکه سراسری برق وجود دارد.

اگر الکتریسیته‌ی تولیدی ( $E_G$ ) به وسیله‌ی محرک اولیه، کمتر از میزان الکتریسیته‌ی مورد نیاز ساختمان باشد، کمبود الکتریسیته با خرید برق از شبکه سراسری تامین خواهد شد. بنابراین در این حالت میزان الکتریسیته فروخته شده ( $E_s$ ) به شبکه مطابق با روابط زیر صفر می‌گردد.

$$\begin{cases} \text{if } E_G < (E_{\text{dem}} + E_C) \\ E_s = 0 \\ E_b = E_W + E_{\text{dem}} + E_C - E_G \end{cases} \quad (3)$$

در صورتی که الکتریسیته‌ی تولیدی بیشتر از میزان مورد نیاز باشد سیستم قادر خواهد بود تا الکتریسیته اضافی را مطابق رابطه‌ی (۴) به شبکه سراسری برق بفروشد.

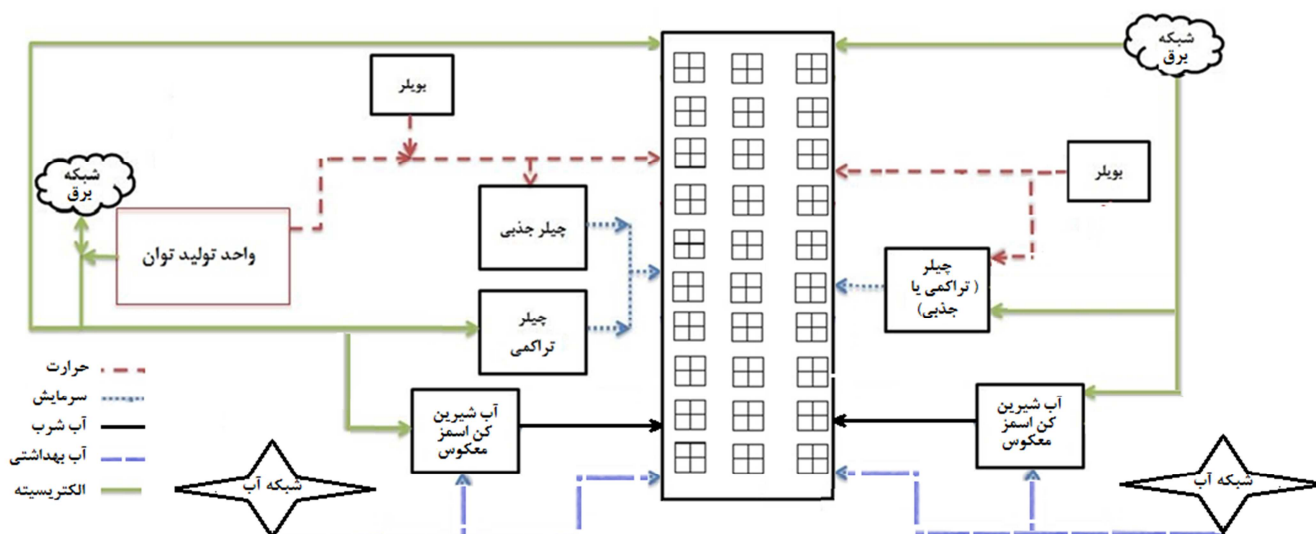
$$\begin{cases} \text{if } E_G > (E_{\text{dem}} + E_C) \\ E_s = E_G - E_{\text{dem}} - E_C \\ E_b = E_W \end{cases} \quad (4)$$

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

این استراتژی توسط روابط زیر فرمول‌بندی شده است:

$$\begin{cases} \text{if } H_G > H_{\text{dem}} \\ H_b = 0 \\ C_{\text{ab}} = (H_G - H_{\text{dem}}) / \text{COP}_{\text{ab}} \\ C_c = C_{\text{dem}} - C_{\text{ab}} \end{cases} \quad (5)$$

اگر گرمای تولیدی توسط محرک اولیه کمتر از میزان گرمای مورد نیاز



شکل ۱- طرحواره‌ای از سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت در ترکیب با آب شیرین کن اسمز معکوس (CCHP+W یا CCHPW) و سیستم متداول (trad)

$$\frac{COP_{PL,c}}{COP_{nom,c}} = 1.1819(PL) - 0.819(PL)^2 \quad (12)$$

$$\frac{COP_{PL,ab}}{COP_{nom,ab}} = \frac{PL}{0.75(PL)^2 + 0.0195(PL)} \quad (13)$$

$$E_w(kW) = 9.009 \times q_w(m^3/hr) \quad (14)$$

که در کار حاضر مقدار  $COP_{PL,ab}$  برای چیلر جذبی ۰/۷ و  $COP_{PL,c}$  برای چیلر تراکمی ۳ و نیز بازده نامی بویلر  $\eta_{nom,B}$  ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است.

از طرفی به منظور اعمال شرایط واقعی برای موتورگازسوز در بار جزئی کمتر از ۲۰ درصد به علت پایین بودن بازده حرارتی و دمای گاز خروجی، موتور خاموش فرض می شود و به ازای هر ۳۰۳ متر (۱۰۰۰ فوت) افزایش ارتفاع، حدود ۰/۰۳ کاهش برای بازده و به ازای هر  $\Delta 50C$  (۱۰۰F) افزایش در دمای محیط (اشاره شده در پیوست) ۱٪ کاهش در قدرت خروجی در نظر گرفته شده است [۱۴].

### ۳-۲- آنالیز اقتصادی

تحلیل اقتصادی سیستم های تولید هم زمان شامل هزینه های سرمایه گذاری اولیه ی تجهیزات، هزینه های عملکردی، اسقاطی و تعمیرات و هزینه مصرف سوخت است که به منظور مقایسه این هزینه ها، از تکنیک اقتصادی یکنواخت سالیانه استفاده شده است. در این تکنیک کلیه هزینه ها و درآمدها به صورت سالیانه ارزیابی می شوند.

هزینه اولیه توسط رابطه زیر، سالیانه می شود:

$$R = \beta \times C \quad (15)$$

$\beta$  ضریب سالیانه کننده می باشد و توسط رابطه ی (۱۶) ارزیابی می شود.

$$\beta = \frac{i(1+i)^k}{(1+i)^k - 1} \quad (16)$$

$i$  و  $k$  به ترتیب نرخ بهره و تعداد سال بهره برداری از سیستم می باشند. هزینه سالیانه یکنواخت را می توان با در نظر گرفتن هزینه اولیه و هزینه اسقاطی به صورت زیر تعریف کرد:

$$EUAC = R - A \quad (17)$$

به طوری که  $A$  هزینه سالانه اسقاطی است و توسط رابطه (۱۸) زیر ارزیابی می شود:

$$A = SV \times \left[ \frac{i}{(1+i)^k - 1} \right] \quad (18)$$

که  $SV$  هزینه اسقاطی در سال جاری بوده و معمولاً به صورت درصدی از هزینه اولیه یک سیستم در نظر گرفته می شود [۵ و ۸ و ۱۴].

در این مطالعه به منظور اعمال هزینه های اولیه، تعمیر و نگهداری و هزینه اسقاطی تجهیزات از اطلاعات هزینه ای مندرج در جدول ۱ منبع [۱۵] استفاده شده و در مورد هزینه های مربوط به آب شیرین کن از اطلاعات درج شده در منبع [۱۷] استفاده می شود.

### ۴- آنالیز زیست محیطی

معیار زیست محیطی در نظر گرفته شده در این مقاله بر اساس انتشار آلاینده های  $CO_2$ ،  $CO$  و  $NO_x$  می باشد که بر اساس تولید نوع انرژی

از کیفیت راه حل خاص انتخاب شده، بستگی به استفاده ی بجا از این تکنیک دارد. در ادامه به دو آنالیز انرژی و اقتصادی برای سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت در ترکیب با آب شیرین کن اسمز معکوس پرداخته می شود.

### ۳-۱- آنالیز انرژی

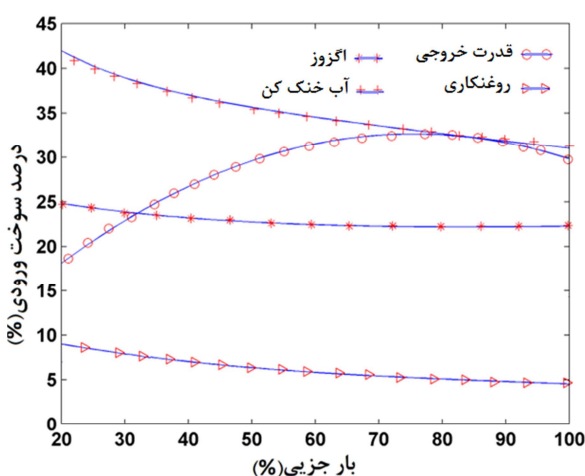
به دلیل متغیر بودن بارهای الکتریکی، گرمایشی، سرمایشی و آب مورد نیاز با زمان در محل مصرف، تجهیزات سیستم تولید همزمان باید خروجی متفاوتی را نسبت به زمان داشته باشند، به همین دلیل نیاز است تا تجهیزات در بعضی ساعات در باری کمتر از بار نامی خود و به اصطلاح در بار جزئی کار کنند. با تغییر نقطه ی کارکرد تجهیزات بر روی بار جزئی، شاخص های فنی تجهیزات همچون بازده، مصرف سوخت، اتلاف حرارتی تغییر می کنند. در این مطالعه کلیه مشخصات تجهیزات نامبرده نسبت به بار جزئی در نظر گرفته شده است. شکل ۲ مشخصات فنی موتورگازسوز را که شامل قدرت خروجی، سوخت مصرفی و حرارت های دریافتی است [۱۳] نشان می دهد. همانطور که از این شکل مشاهده می شود حرارت دریافتی از موتورگازسوز شامل سه بخش حرارت ناشی از آگزوز، حرارت حاصل از روغن کاری و حرارت حاصل از آب خنک کن می باشد، که مجموع این سه حرارت، کل گرمایش تولیدی واحد تولید توان ( $H_G$ ) را تشکیل خواهند داد. محاسبه ی شاخص های فنی موتورگازسوز که تابعی از بار جزئی و مقدار نامی هر پارامتر می باشد، نیازمند بازده و مقدار سوخت مصرف نامی خواهد بود که توسط روابط (۹) و (۱۰)، به صورت تابعی از ظرفیت نامی موتورگازسوز ارائه شده است [۱۴].

$$m_{f,nom} = \frac{E_{nom}}{\eta_{nom} \times LHV} \quad (9)$$

$$\eta_{nom} = 1.22 \times \frac{0.0007973 \times E_{nom} + 30.75}{100} \quad (10)$$

مشخصات فنی مربوط به بویلر، چیلرهای تراکمی، جذبی و آب شیرین کن اسمز معکوس توسط چهار رابطه ی (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) به دست می آیند [۱۵-۱۶].

$$\frac{\eta_{th,PL}}{\eta_{nom,B}} = 0.0951 + 1.525(PL) - 0.6249(PL)^2 \quad (11)$$



شکل ۲- شاخص های فنی موتورگازسوز بر حسب بار جزئی [۱۵]

این دو حالت، مقدار هزینه‌ی کمتری داشته باشند، سیستم انتخابی خواهد بود.

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

این هزینه‌ها شامل کلیه‌ی هزینه‌های تعمیرات (M)، اسقاطی (SV)، سرمایه‌گذاری اولیه (R)، مصرف سوخت ( $\rho_f$ ) و خرید الکتریسیته ( $\rho_{e,b}$ ) است. در این رابطه  $r$  شمارنده نوع تجهیزات و  $n$  تعداد آن‌ها و  $\varepsilon$  فاکتور جریمه انتشار آلاینده می‌باشد که مقدار آن در جدول ۲ بر حسب نوع آلاینده ارائه شده است.

همچنین هزینه‌ی سالانه سیستم تولید همزمان در ترکیب با آب شیرین کن اسمز معکوس ( $TAC_{system}$ ) به صورت زیر تعریف شده که مشابه رابطه سیستم‌های تولید متداول است، اما تفاوت آن در فروش الکتریسیته و تجهیزات سس‌سیستم می‌باشد.

$$TAC_{system} = \sum_{j=1}^T [E_b \times \rho_{e,b} - E_s \times \rho_{e,s} + (Q_{hw} + q_w) \times \rho_{w,b} + m_f \times \rho_f + \sum_{k=1}^3 (m_{CCHP}^k \times \varepsilon_k)] \times \tau \sum_{r=1}^P [M + EUAC]_r \times Nc_r \times n_r \quad (25)$$

$\rho_{e,b}$  و  $\rho_{e,s}$  به ترتیب بهای فروش و خرید الکتریسیته و  $\rho_{w,b}$  و  $\rho_f$  بهای سوخت گازی و آب بهداشتی می‌باشد که مقدار آنها در مراجع [۲۵ و ۲۷] به صورت جداگانه بر حسب نوع کاربری و مقدار مصرف درج شده است.

## ۶- مطالعه موردی

مطالعه موردی در مقاله پیش رو یک هتل در شهر زاهدان، با چهار طبقه و هر طبقه دارای ۲۰ اتاق به مساحت ۱۸ متر مربع می‌باشد. منحنی بارهای الکتریکی، گرمایشی، سرمایشی و آب شرب و بهداشتی مورد نیاز ساختمان در طول سال، در شکل ۳ ارائه شده است.

(برق، حرارت و سرمایش) توسط روابط (۱۹) تا (۲۲) ارائه شده است [۱۹ و ۱۸].

$$m_{k,E} = \sum_{j=1}^T (\xi_{k,E} \times E_j) \times \tau_j \quad (19)$$

$$m_{k,H} = \sum_{j=1}^T (\xi_{k,H} \times H_j) \times \tau_j \quad (20)$$

$$m_{k,C_{ab}} = \sum_{j=1}^T (\xi_{k,H} \times C_{ab,j}) \times \tau_j \quad (21)$$

$$m_{k,C_c} = \sum_{j=1}^T \left( \frac{\xi_{k,E} \times C_{c,j}}{COP_c} \right) \times \tau_j \quad (22)$$

که  $k$  نوع آلاینده ( $CO_2$ ،  $CO$ ،  $NO_x$ )،  $j$  شمارنده ماه،  $m$  مقدار آلاینده تولید شده برحسب کیلوگرم و  $\xi$  فاکتور انتشار آلاینده‌ها برای هر نوع انرژی می‌باشد که در جدول ۱ داده‌های مربوط به این فاکتور برای دو سیستم  $W+CCHP$  ( $CCHPW$ ) و سیستم سنتی ( $trad$ ) آورده شده است [۲۰ و ۲۱].

## ۵- تابع هدف

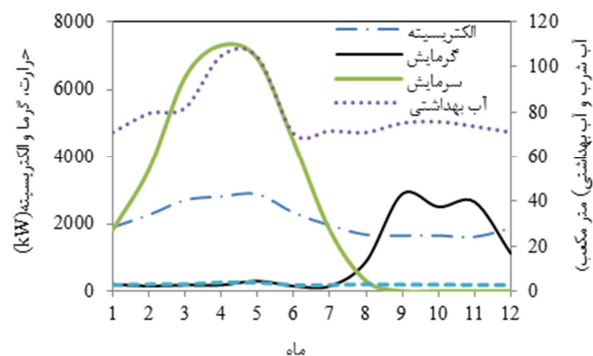
به منظور بهینه‌سازی سیستم با در نظر گرفتن سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی از تابع هدف درصد سود سالیانه نسبی PRAB استفاده شده است. این تابع با معرفی شاخصی مبتنی بر سود سالانه سیستم تولید همزمان ( $CCHP+W$  یا  $CCHPW$ ) نسبت به سیستم‌های متداول، ظرفیت بهینه تجهیزات را تعیین می‌کند. در این تابع با توجه به منحنی بارهای 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، آب شیرین کن، چیلرها و عواملی از قبیل قیمت فروش برق به شبکه و خرید از آن، خرید سوخت، قیمت آب بهداشتی، نرخ بهره سالانه و عمر مفید دستگاه، به تعیین توان نامی و تعداد تجهیزات، بار جزئی به منظور دستیابی به بیشینه درصد سود سالیانه نسبی می‌پردازد [۲۲-۲۴]. رابطه‌ی (۲۳) جزئیات مربوط به این تابع هدف را نشان می‌دهد.

$$PRAB = \frac{TAC_{trad} - TAC_{system}}{TAC_{trad}} \quad (23)$$

که  $TAC_{trad}$  هزینه‌ها و درآمدهای سیستم متداول را نشان می‌دهد که برای تولید گرمایش، سرمایش، الکتریسیته و آب شرب با رابطه‌ی (۲۴) تخمین زده می‌شود به طوری که برای انتخاب ظرفیت چیلر در این سیستم، دو حالت هزینه‌ای بررسی می‌شود، حالت اول تامین سرمایش فقط با چیلر تراکمی و حالت دوم تامین سرمایش فقط با چیلر جذبی است که هر کدام از

جدول ۱- فاکتور انتشار آلاینده‌ها ( $\xi$ ) برای هر نوع انرژی و دو سیستم  $trad$ ,  $CCHPW(W+CCHP)$  [۲۰ و ۲۱]

| سیستم                    | نوع آلاینده | الکتریسیته<br>( $\xi_{ke}$ (kg/MWh) | گرمایش<br>( $\xi_{kh}$ (kg/MWh) | سرمایش الکتریکی<br>( $\xi_{kc}$ (kg/MWh) | سرمایش جذبی<br>( $\xi_{cab}$ (kg/MWh) |
|--------------------------|-------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| $CCHPW$<br>( $W+CCHPW$ ) | $CO_2$      | 430                                 | 182.04                          | $430/COP_{ele}$                          | $182.04/COP_{ab}$                     |
|                          | $CO$        | 0.8                                 | 0.1274                          | $0.8/COP_{ele}$                          | $0.1274/COP_{ab}$                     |
|                          | $NO_x$      | 0.7                                 | 0.1532                          | $0.7/COP_{ele}$                          | $0.1532/COP_{ab}$                     |
| $trad$                   | $CO_2$      | 700                                 | 182.04                          | $700/COP_{ele}$                          | $182.04/COP_{ab}$                     |
|                          | $CO$        | 4                                   | 0.1274                          | $4/COP_{ele}$                            | $0.1274/COP_{ab}$                     |
|                          | $NO_x$      | 300                                 | 0.1532                          | $300/COP_{ele}$                          | $0.1532/COP_{ab}$                     |



شکل ۳- منحنی بار الکتریسیته، گرمایی و سرمایشی ساختمان در طول سال شمسی

جدول ۲- فاکتور جریمه انتشار آلاینده های CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>x</sub>

| پارامتر                                       | علامت            | مقدار   |
|-----------------------------------------------|------------------|---------|
| فاکتور انتشار آلاینده NO <sub>x</sub> (\$/kg) | $\epsilon_{NOx}$ | 6.853   |
| فاکتور انتشار آلاینده CO (\$/kg)              | $\epsilon_{CO}$  | 0.02086 |
| فاکتور انتشار آلاینده CO <sub>2</sub> (\$/kg) | $\epsilon_{CO2}$ | 0.024   |

## ۷- پارامترهای ارزیابی

از پارامترهای مورد ارزیابی در این پژوهش پارامتر صرفه جویی در مصرف سوخت و کاهش انتشار آلاینده های CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>x</sub> می باشد که توسط روابط (۲۶) و (۲۷) ارزیابی می شوند [۲۳]:

$$FESR = \frac{fuel_{trad} - fuel_{system}}{fuel_{trad}} \quad (26)$$

$$R_k = \frac{m_{trad}^k - m_{system}^k}{m_{trad}^k} \quad (27)$$

که  $fuel_{system}$  و  $fuel_{trad}$  به ترتیب سوخت مصرفی سیستم متداول (سنتی) و سیستم تولید همزمان (CCHP+W یا CCHPW) می باشند و  $m_{trad}^k$  برابر مجموع آلاینده های تولیدی (CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>x</sub>) ناشی از الکتریسیته، حرارت و برودت و آب شرب مورد نیاز برای سیستم متداول (سنتی) می باشد که با رابطه (۲۹) به دست می آید:

$$m_{trad}^k = \{m_{k,E}|E_j = E_{dem,t}\}_{trad} + \{m_{k,H}|H_j = H_{dem,t}\}_{trad} + Min \left\{ \begin{aligned} &\{m_{k,Cab}|C_j = C_{dem,t}\}_{trad} \\ &\{m_{k,Cc}|C_j = C_{dem,t}\}_{trad} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

و  $m_{system}^k$  برابر مجموع آلاینده های تولیدی (CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>x</sub>) ناشی از الکتریسیته، حرارت، برودت و آب شرب برای سیستم تولید همزمان است که می تواند در هر ارزیابی برای یکی از دو سیستم تولید همزمان مطابق رابطه (۲۹) معرفی شود.

$$m_{system}^k = \{m_{k,E}|E_j = E_G\}_{system} + \{m_{k,E}|E_j = E_{buy}\}_{system} + \{m_{k,H}|H_j = H_b\}_{system} + \{m_{k,Cab}|C_j = C_{ab}\}_{system} + \{m_{k,Cc}|C_j = C_c\}_{system} \quad (29)$$

## ۸- کنترل فرآیند بهینه سازی

در بین روش های بهینه سازی، روش الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم وراثتی، الهام گرفته از طبیعت، از تکامل یافته ترین روش ها با متغیرهای گسسته

شمار می رود. اصول اولیه این الگوریتم توسط هلندی و همکارانش در دانشگاه میشیگان ایالات متحده در سال ۱۹۶۲ ارائه شد. هرچا انجام کاری با قدرت لازم است، طبیعت آن را بهتر انجام می دهد و رازهای سازش پذیری و بقا، بهترین آموزنده ایست که می توان از مطالعه دقیقی روی مثال های زیست شناسی به آن رسید [۲۸-۲۹].

در این پژوهش کنترل فرآیند بهینه سازی پارامترهای طراحی توسط الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب انجام شده است که در جدول ۳ محدوده ی تغییرات پارامترهای طراحی و جدول ۴ قیود بهینه سازی آورده شده است.

جدول ۳- پارامترهای طراحی در الگوریتم ژنتیک

| پارامترها                                   | مقادیر     |
|---------------------------------------------|------------|
| تغییرات ظرفیت نامی محرک اولیه (کیلووات)     | 50 تا 5000 |
| 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  |

جدول ۴- قیود و شرایط بهینه سازی در الگوریتم ژنتیک

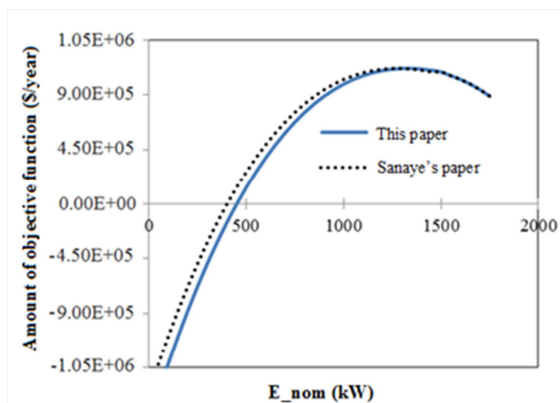
| پارامترها                            | مقادیر           | علت محدودیت           |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|
| دمای خروجی از آگروز محرک اولیه       | $T < 148.8$      | محدودیت زیست محیطی    |
| دمای خروجی از آگروز بویلر            | $T < 121.2$      | محدودیت زیست محیطی    |
| بار جزئی                             | $PL > 20$        | محدودیت بازده         |
| ظرفیت موتور گازسوز                   | $E_{nom} < 5000$ | محدودیت هزینه و بازده |
| تغییرات دمای زاهدان در فصل های مختلف | شکل ۹ (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     |
| کمینه نرخ جهش                        | 0.0005           | محدودیت نوع جهش       |
| نرخ جهش اولیه                        | 0.005            | محدودیت نوع جهش       |
| معیار توقف                           | $10^{-6}$        | شرط همگرایی           |

مطابق با شکل (۴) که فلوچارت فرآیند بهینه سازی را نشان می دهد، تابع هدف PRAB با توجه به پارامترهای طراحی برای ظرفیت ها و بارهای جزئی متفاوت محرک اولیه، بر اساس بار مورد نیاز ساختمان در طول سال به دست می آید. و بر اساس بیشینه مقدار تابع هدف در رابطه ی (۳۰) مقدار بهینه ی پارامترهای طراحی به دست می آید.

$$Max\{PRAB\} = (E_{nom})^{optimum} \quad (30)$$

## ۹- بحث و نتایج

### ۹-۱- اعتبارسنجی



شکل ۵- منحنی اعتبار سنجی تابع سود سالیانه واقعی

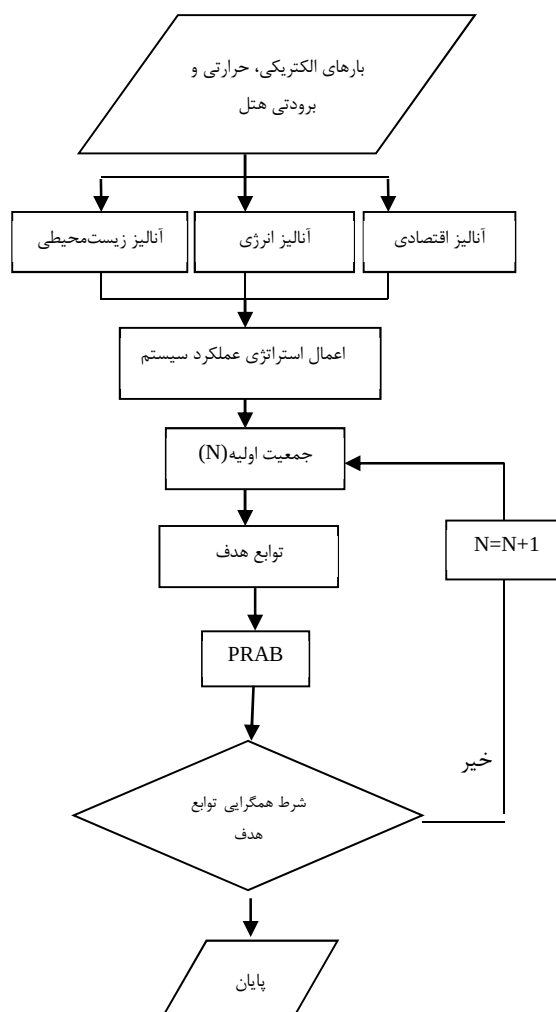
## ۹-۲- نتایج

در این بخش به نتایج بهینه متغیرهای طراحی برای دو سیستم  $W+CCHP$  و  $CCHPW$  با تابع هدف PRAB پرداخته می‌شود. جدول (۵) مقدار بهینه مربوط به ظرفیت نامی موتورهای گازسوز و دیگر پارامترهای طراحی به همراه سود سالیانه نسبی را برای دو سیستم  $W+CCHP$  و  $CCHPW$  نشان می‌دهد. همانطور که قبلاً بیان شد، در هیچ کدام از این دو سیستم ظرفیت نامی آب شیرین کن جز پارامترهای طراحی نبوده اما در سیستم  $CCHPW$  میزان الکتریسیته مهیا شده توسط واحد تولید توان (به صورت غیر مستقیم) جز پارامترهای طراحی محسوب می‌شود زیرا در این سیستم سهم الکتریسیته داده شده به آب شیرین کن جهت مهیا کردن آب شرب، نقش مهمی را در فرایند بهینه‌سازی ایفا می‌کند.

از طرفی همانطور که مشاهده می‌شود فرآیند بهینه‌سازی در سیستم  $CCHPW$  ظرفیت نامی ۳۲۵۰ کیلووات برای موتور گازسوز پیشنهاد می‌دهد که در این حالت نیازی به استفاده از بویلر پشتیبان نخواهد بود. مقدار تابع هدف سود سالیانه نسبی دو سیستم نشان می‌دهد که سیستم  $CCHPW$  سود بیشتری، به مقدار ۱۳/۵ درصد، نسبت به سیستم  $W+CCHP$  خواهد داشت. زیرا علاوه بر کاهش هزینه‌های اولیه بویلر و چیلر الکتریکی، بخش اعظمی از هزینه‌های خرید الکتریسیته از شبکه (که برای تامین آب شرب توسط آب شیرین کن مصرف می‌شود) را کاهش می‌دهد.

شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات درصدی کاهش انتشار آلاینده‌های  $NO_x$ ،  $CO_2$  و  $CO$  به همراه درصد سود سالیانه نسبی PRAB، بر حسب ظرفیت نامی موتور گازسوز را برای دو سیستم  $CCHPW$  و  $W+CCHP$  نشان می‌دهند. با بررسی دقیق‌تر این دو شکل مشاهده می‌شود که با افزایش توان نامی محرک اولیه، میزان کاهش انتشار آلاینده‌های  $CO$  و  $CO_2$  ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند.

به منظور اعتبارسنجی پژوهش پیش رو از پژوهش‌های صنایع و همکاران [۵]، که فرآیند بهینه‌سازی را با دو تحلیل اقتصادی و انرژی، با تابع هدف سود سالیانه واقعی (AAB) انجام داده‌اند، استفاده شده است. سه نوع محرک اولیه موتور گازسوز، موتور دیزل و توربین گاز به همراه بویلر کمکی تجهیزات سیستم فرضی آن‌ها بود که به منظور اعتبارسنجی کار حاضر، از محرک اولیه موتور گازسوز، با فرض شرایط اقتصادی برای سیستم استفاده شده است و فرآیند بهینه‌سازی، با تابع هدف سود سالیانه واقعی، برای مطالعه موردی آن‌ها انجام گردید. نتایج مربوط به مطالعه انجام شده و کار صنایع و همکاران [۵]، با تابع هدف سود سالیانه واقعی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۴- فلوچارت فرایند بهینه‌سازی

همانطور که مشاهده می‌شود، تطابق بسیار خوبی بین نتایج مقدار تابع هدف در ظرفیت‌های بالای موتور گازسوز وجود دارد.

جدول ۵- نتایج مربوط به سیستم های  $CCHPW$  و  $W+CCHP$  با معیار انتخاب بر اساس بیشینه کاهش انتشار آلاینده  $R_K$  و  $PRAB$

| سیستم    | ظرفیت نامی<br>موتورگازسوز (kW) | ظرفیت گرمایشی<br>بویلر (kW) | ظرفیت سرمایش<br>چیلر الکتریکی (kW) | ظرفیت سرمایش<br>چیلر جذبی (kW) | سود سالیانه نسبی<br>$\times 10^6$ (دلار بر سال) |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| $W+CCHP$ | 2150 (بارجزی در پیوست)         | 6.1                         | 5597                               | 1836                           | 4.59                                            |
| $CCHPW$  | 3250 (بارجزی در پیوست)         | عدم نیاز                    | 3050                               | 4250                           | 5.21                                            |

استراتژی اعمال شده دانست. زیرا دمای بالا احتراق برای تولید الکتریسیته در نیروگاهها عامل اصلی انتشار این آلاینده است، اما سیستمهای واحد تولید توان همزمان در دمای احتراق پایینتری نسبت به نیروگاهها، الکتریسیته مورد نیاز را تامین می کنند، پس با افزایش توان نامی محرک و کاهش مقدار خرید برق از شبکه می توان انتشار آن را به طور چشمگیری، کاهش داد.

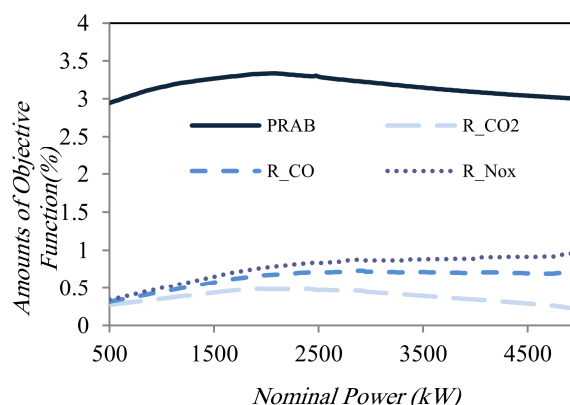
روند تغییرات تابع هدف سود سالیانه نسبی با ظرفیت نامی موتورگازسوز به سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست محیطی وابسته می باشد. همان طور که از نمودار مربوط به این تابع در شکل ۶ و ۷ مشخص است در ابتدا مقادیر  $PRAB$  افزایش و سپس کاهش می یابد. چون در ظرفیت های پایین، هزینه دلار بر کیلو وات نصب شده ی این سیستم ها بالا می باشد در نتیجه مقدار تابع هدف در رنج های پایین، با افزایش ظرفیت نامی افزایش می یابد تا به نقطه ی بهینه ی خود که ظرفیت نامی بهینه  $2150 \text{ kW}$  برای سیستم  $W+CCHP$  و  $3250 \text{ kW}$  برای سیستم  $CCHPW$  برسد. با افزایش ظرفیت نامی بیشتر از مقدار بهینه مذکور به علت بالا رفتن کل هزینه ی اولیه موتورهای گازسوز (دلار) درصد سود سالیانه نسبی روند کاهشی را دنبال خواهد کرد.

### ۹-۳- نتایج زیست محیطی دو سیستم $W+CCHP$ و $CCHPW$ در مدت زمان یک سال

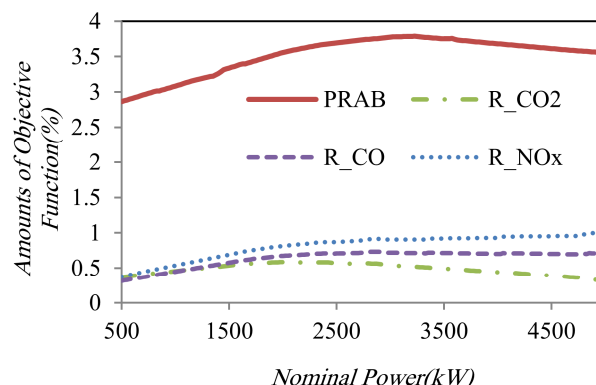
شکل ۸ مقدار کاهش انتشار آلاینده های  $NO_x$ ،  $CO_2$  و  $CO$  به همراه درصد صرفه جویی در سوخت مصرفی، برای دو سیستم  $W+CCHP$  و  $CCHPW$  نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود سیستم  $CCHPW$  عملکرد بهتری در کاهش انتشار آلاینده ها و صرفه جویی مصرف سوخت (FESR) دارد. که علت اصلی آن در مورد پارامتر FESR استفاده از انرژی های اتلافی واحد تولید توان به منظور تامین بخش گرمایش و سرمایش است. زیرا با افزایش ظرفیت نامی محرک اولیه در سیستم  $CCHPW$  نسبت به سیستم  $W+CCHP$  میزان الکتریسیته بیشتری تولید شده، در نتیجه گرمای اتلافی بیشتر به همراه خواهد داشت که با استفاده از این گرمای اتلافی در بخش سرمایش توسط چیلر جذبی، نیاز الکتریکی بخش سرمایش (توسط چیلر تراکمی) کاهش می یابد. از طرفی با تولید الکتریسیته بیشتر میزان وابستگی به الکتریسیته شبکه کمتر شده و باعث کاهش سوخت مصرفی خواهد شد.

از طرفی انتشار آلاینده های هیدروکربنی رابطه مستقیمی با سوخت مصرفی دارند پس می توان دلیل اصلی کاهش انتشار این آلاینده ها را همان دلیل کاهش مصرف سوخت دانست.

دلیل این امر را می توان رابطه مستقیم انتشار آلاینده های هیدروکربنی با



شکل ۶- مقادیر تابع هدف و پارامترهای کاهش انتشار آلاینده با تغییر توان نامی در سیستم  $W+CCHP$

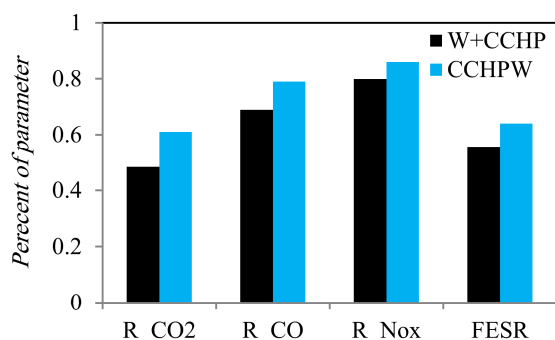


شکل ۷- مقادیر تابع هدف و پارامترهای کاهش انتشار آلاینده با تغییر توان نامی در سیستم  $CCHPW$

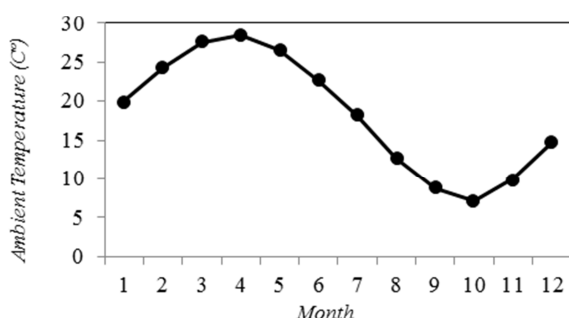
سوخت مصرفی دانست به طوری که با افزایش ظرفیت نامی، انرژی های تولیدی سیستم تولید همزمان (برق، حرارت و برودت و آب) افزایش می یابد این روند تا نقطه بهینه، با کاهش انتشار آلاینده های مربوطه همراه خواهد بود. اما با افزایش بیشتر ظرفیت نامی محرک اولیه، انرژی بیش از نیاز ساختمان تولید خواهد شد که متناسب با افزایش مصرف بی رویه سوخت را به همراه خواهد داشت. در نتیجه افزایش انتشار این دو آلاینده را نتیجه خواهد داد.

از طرفی کاهش انتشار آلاینده ی  $NO_x$  با افزایش ظرفیت نامی محرک افزایش می یابد که دلیل آن را می توان شرایط خاص تولید این آلاینده و





شکل ۸- مقدار کاهش انتشار آلاینده‌ها به همراه پارامتر FESR برای دو سیستم W+CCHP و CCHPW در کل سال



شکل ۱۰- تغییرات دمای متوسط زاهدان در فصل‌های مختلف سال [۲۰]

## ۱۱- فهرست علائم

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| A    | هزینه سالانه اسقاطی (\$/year)        |
| AP   | سود سالانه، (\$/year)                |
| C    | سرمایش، (kW)                         |
| CCHP | سیستم تولید همزمان برق حرارت و برودت |
| COP  | ضریب عملکرد، (%)                     |
| E    | الکتریسیته، (kW)                     |
| EUAC | هزینه‌ی 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 محرک اولیه                     |
| NC   | ظرفیت نامی، (kW)                     |
| PL   | بار جزئی، (%)                        |
| PRAB | درصد سود سالیانه نسبی، (%)           |
| q    | آب شرب                               |
| Q    | آب بهداشتی                           |
| R    | کاهش انتشار آلاینده، (%)             |
| SV   | هزینه‌ی اسقاطی در سال جاری، (\$/kWh) |

اما در مورد آلاینده  $NO_x$  همانطور که قبلاً توضیح داده بود، عامل اصلی تولید آن 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 بیشتر بودن ظرفیت نامی محرک اولیه در این سیستم (CCHPW) الکتریسیته تولیدی بیشتر خواهد بود و این باعث کاهش انتشار آلاینده  $NO_x$  می‌شود. از طرفی گرمای دریافتی از واحد تولید توان که با پوشش‌دهی بیشتر بخش سرمایه‌ش همراه است، انتشار این آلاینده را، کاهش می‌دهد.

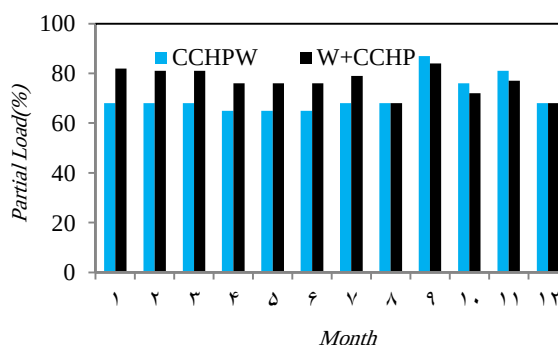
## ۹- نتیجه‌گیری

بررسی رویکرد زیست‌محیطی سیستم‌های تولید همزمان در ترکیب با آب شیرین کن اسمز معکوس هدف اصلی این پژوهش بود. برای این منظور به مدل‌سازی و بهینه‌سازی چیدمان‌های مختلف سیستم CCHP با محرک اولیه موتور گازسوز و آب شیرین کن اسمز معکوس پرداخته شد. در چیدمان اول (CCHPW) فرض شد سیستم تولید همزمان وظیفه تامین الکتریسیته‌ی کلیه‌ی تجهیزات الکتریکی را بر عهده دارد. اما در چیدمان دوم (CCHP+W) سیستم آب شیرین کن، الکتریسیته‌ی مورد نیاز خود را تنها از شبکه سراسری برق تامین می‌کرد. فرایند بهینه‌سازی این دو سیستم با مقایسه‌ی سه آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی با سیستم‌های متداول توسط تابع هدف چند معیاره PRAB انجام گردید. در چیدمان اول محرک اولیه ای با توان نامی ۳۲۵۰ kW و در چیدمان دوم محرک اولیه با توان نامی ۲۱۵۰ kW پیشنهاد شد.

بررسی‌ها نشان داد که در محدوده‌ی گسترده‌ای از ظرفیت‌های نامی موتور گازسوز، درصد کاهش انتشار هر سه آلاینده مثبت به دست می‌آیند. و اگر سیستم آب شیرین کن اسمز معکوس الکتریسیته مورد نیاز خود را از واحد تولید توان تامین نماید عملکرد اقتصادی و زیست محیطی سیستم CCHPW، نسبت به سیستمی W+CCHP (که الکتریسیته مورد نیاز آب شرب را از شبکه خریداری می‌کند) بهتر خواهد بود.

## ۱۰- پیوست

شکل ۹ نشان‌دهنده‌ی بار جزئی مربوط به کارکرد موتور گازسوز در فصل‌های مختلف سال می‌باشد که در جدول ۴ به آن اشاره شده است.



شکل ۹- بار جزئی محرک‌های اولیه برای ترکیب‌های متفاوت CCHPW و W+CCHP

شکل ۱۰ تغییرات دمای زاهدان در فصل‌های مختلف سال را نشان می‌دهد که در جدول ۵ به آن اشاره شده است.

trad

سیستم متداول (سنتی)

TAC

کل هزینه سالانه، (\$/year)

علائم یونانی

$\beta$

ضریب سالیانه کننده

$\epsilon$

جریمه انتشار آلاینده ها، (\$/kg)

$\xi$

فاکتور انتشار آلاینده، (kg/MWh)

$\eta$

بازده، (%)

$\rho$

هزینه حامل های انرژی، (\$/kWh)

$\tau$

بازه زمانی، ساعت

زیر نویس

ab

جذبی

b

بوئیلر / خرید

buy

خرید

bw

خرید آب بهداشتی

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 ی تجهیزات

nom

اسمی، نامی

PL

بار جزئی

PM

محرك اولیه

S

فروش

sell

فروش

trad

سیستم متداول (سنتی)

w

آب

## ۱۲- منابع

- [6] Wu J., Wang J., Li, S., Multi-objective optimal operation strategy study of micro-CCHP system, Energy, 48(1), pp.472-483, 2012.
- [7] Sanaye S., Ardali M., Estimating the power and number of micro turbines in small-scale combine heat and power systems, Apply Thermal Energy, 86(6), pp. 895-903, 2009.
- [8] Maerefat M., Shafie P., Design of CCHP system for office buildings inTehran and thermodynamical, environmental and economic evaluationin comparison to conventional system, Modares Mechanical Engineering, 14(6), pp. 124-134, 2014.
- [9] Maerefat M., Shafie P., Multi-criteria evaluation of CCHP system under different operating strategies for an office building in Tehran using AHP method, Modares Mechanical Engineering, 14(8), pp. 37-48, 2014.
- [10] Wang J.J., Jing Y.Y., Zhang C.F., Zhai Z., Performances comparison of combined cooling heating and power system in different operation modes, Applied Energy, 88(12), pp. 4621-46, 2011.
- [11] Fumo N., Mago P.J., Chamra, M., Emission operational strategy for combined cooling, heating, and power systems, Applied Energy 86, pp.2344-2350, 2009.
- [12] Tavakoli Dastjerd F., Tavakoli Dastjerd M., Farahat S., Investigated of the performance of CCHP system in reducing pollutants emission NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> and CO, in the 23rd annual international mechanical engineering conferenc, Tehran, IRAN, 2015.
- [13] Ashrae Handbook, Chapter S7, Cogeneration systems and engine and turbine drives, pp. 7-46. 1999.
- [14] Sanaye S., Hajabdollahi H., 4E analysis and Multi-objective optimization of CCHP using MOPSOA, Proceedings of the institution of MechanicalEngineers, Part E, 228(1), pp.43-60, 2014.
- [15] TavakoliDastjerd F., Ghafooryan M.M., Shakib E., Tech economic optimization of CCHP system with rely the time value of money, in payback period, Modares Mechanical Engineering, 15(5), pp. 254-260, 2015.
- [16] El-Dessouky H.T., Ettouney, H.M., Fundamentals of Salt Water Desalination", Elsevier Amsterdam, 2002.
- [17] Rensonnet T., Uche J., Serra L. Simulation and thermoeconomic analysis of different configurations of gas turbine (GT)-based dual-purpose power and desalination plants (DPPDP) and hybrid plants (HP), Energy, 32(6), pp. 1012-102, 2007.
- [18] Ebrahimi M., Keshavarz A., Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system, Energy, 54(1), pp. 291-301, 2013.
- [19] Economic data in worth, U.S. Energy Information Administration (EIA), Accessed in February, 2015.
- [20] <http://www.eia.gov>, Accessed in February, 2015.
- [21] <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/related/c01s04.html>, Accessed in February, 2015
- [22] Ahmadi P., Exergo-environmental analysis of an integrated organic Rankine cycle fortrigeneration, Energy Conversion and Management, 64. pp. 447-453, 2012.
- [23] Ebrahimi M., Keshavarz A., Climat impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building, Journal of Energy and Building, 54, pp. 283-289, 2012.
- [24] Hajabdollahi H., Ganjehkaviri A., Mohammad Nazri Mohd J., Assessment of new operational strategy in optimization of CCHP plant for different climates using evolutionary algorithms, Applied Thermal Engineering 75, pp. 468-480, 2015.
- [25] [http://bahaye\\_bargh.tavanir.org.ir/](http://bahaye_bargh.tavanir.org.ir/) Accessed inFebruary,2015.
- [26] <http://www.nigc-mpgc.ir/> Accessed in February, 2015.
- [27] <http://www.abfasb.ir/main.asp?id=778/> Accessed in February, 2015.
- [28] Goldberg D.E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [29] Haupt R.L., Haupt S.E., Practical Genetic Algorithms, John Wiley and Sons Inc, USA, 2004.
- [30] <http://www.chaharmahalmet.ir/> Accessed in February, 2015.

- [1] Moghaddam P., Technology, Designing principles and Operation of Combined heating and power generation systems, Science, 321(5895), pp. 1457-1461, 2008.
- [2] Ghafooryan M., TavakoliDastjerd F., Shafiee Mayam M. H., 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] Ghafooryan M., Tavakoli Dastjerd F., shakib E., Techno-economic Evaluation of a CCHP system Integrated with Reverse Osmosis Plant for Domestic uses for a Residential building in Bandar Abbas, 4th Annual Clean Energy Conference, Kerman, IRAN, 2014.
- [4] Haghifam M.R., Manbachi M., Reliability and availability modelling of combined heat and power (CHP) systems, Electrical Power and Energy Systems, 33(3), pp. 385-393, 2011.
- [5] Sanaye S., Meybodi Aghaei M., Shokrollahi S., Selecting the prime movers and nominal powers in combined heat and power systems, Applied Thermal Engineering, Elsevier, 28(10), pp.1177-1188, 2008.