بیست وششمین
همایش سالانه بین المللی
انجمن مهندسان مکانیک ایران
26th Annual International
Conference of
Iranian Society of
Mechanical Engineers
ISME 2018

۴ الی ۶ اردیبهشت ۱۳۹۷

دانشگاه سمنان

انجمن مهندسان مکانیک ایران

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می شود که مقاله با عنوان

بررسی عملکرد فنی اقتصادی واحد تولید توان سیستم CCHP با تغییر در شرایط محیطی (دما و فشار)

توسط نویسندگان

سید سروش ساداتی فر، محمد مصطفی غفوریان، حمید نیازمند

در بیست و ششمین همایش سالانه بین المللی انجمن مهندسان مکانیک ایران

که در دانشگاه سمنان برگزار گردید، ارائه شده است.

دکتر سیف ا... سعدالدین
دبیر همایش

بیست وششمین
همایش سالانه بین المللی
انجمن مهندسان مکانیک ایران
26th Annual International
Conference of
Iranian Society of
Mechanical Engineers
ISME 2018

دبیرخانه همایش:
سمنان، روبروی پارک سوکان، پردیس شماره یک
دانشکده مهندسی مکانیک تلفن: ۳۹ ۴۳ ۶۵ ۳۳-۰۲۳
گدپستی: ۱۹۱۱۱-۳۵۱۳۱ فکس: ۱۱ ۳۴ ۵۳ ۳۱-۰۲۳
ارسال مقالات از طریق وب سایت:
http//isme2018.semnan.ac.ir
Email:isme2018@semnan.ac.ir

26th Annual International
Conference of
Iranian Society of
Mechanical Engineers

ISC
Islamic World Science Citation Center

ISME2018-1066

بررسی عملکرد فنی اقتصادی واحد تولید توان سیستم CCHP با تغییر در شرایط محیطی (دما و فشار)

سید سروش ساداتی فر[۱]، محمد مصطفی غفوریان[۲]، حمید نیازمند[۳]*

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، soroush.sadatifar@gmail.com
[۲] دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، m.m.ghafoorian@mail.um.ac.ir
[۳] استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد niazmand@um.ac.ir(نویسنده مخاطب)

چکیده

در این پژوهش به بر رسی عملکرد فنی اقتصادی واحد تولید توان یک سیستم CCHP با تغییر در شرایط محیطی(دما و فشار) پرداخته می شود. برای این منظور دو حالت واقعی و ایده‌آل برای موتورگاز سوز به عنوان محرک اولیه سیستم CCHP بررسی خواهد شد. در شرایط واقعی با تغییر فشار و دمای محیط، پارامترهای عملکردی موتورگازسوز (الکتریسیته و حرارت تولیدی) تغییر خواهند کرد. درحالی که در شرایط ایده‌آل، تغییرات دما و فشار محیط هیچگونه تاثیری در نتایج نخواهند داشت. نتایج نشان می‌دهد که اگر عملکرد واقعی برای یک موتورگاز سوز با ظرفیت ۲۴۴۰ کیلو وات در سیستم CCHP در نظر گرفته نشود، هزینه‌های سیستم ۳/۳۳ درصد کمتر نسبت به عملکرد در حالت واقعی گزارش می شود و این نتیجه برای زمانی که دو موتورگازسوز به عنوان واحد تولید توان انتخاب شوند ۳/۲۸ درصد خواهد شد.

واژه های کلیدی

سیستم‌های CCHP، موتورگاز سوز، چیلر جذبی، بویلر

مقدمه

کاهش منابع انرژی فسیلی از یک سو و افزایش خطر زیست محیطی این نوع از سوخت از سوی دیگر، سبب شده است دانشمندان به دنبال راه‌کارهای اقتصادی باشند که بتوانند با استفاده از آنها هم مصرف سوخت‌های فسیلی را بکاهند و هم آلاینده کمتری وارد محیط زیست کنند. یکی از راه‌کارهایی که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته، تولید همزمان سرما، گرما و برق است. در این سیستم با تولید الکتریسیته مورد نیاز در محل مصرف، بخش عمده حرارت دفعی برای تامین نیازهای گرمایشی و سرمایشی مصرف کننده بازیافت می‌شود. بنابراین راندمان کلی، به مقدار قابل توجهی بهبود خواهد یافت [2-1]. تا کنون تحقیقات زیادی بر روی این سیستم های انجام شده است[5-2]، به عنوان نمونه اخیرا غفوریان [4]و همکاران [5] به بهینه سازی و بررسی عمکرد سیستم‌های CCHP ظرفیت تجهیزات آنها پرداختند. مدل سازی آنها در این دو پژوهش شامل آنالیز انرژی، اقتصادی و زیست محیطی بود که با تعریف توابع جدید به نام‌های REUAB[۱] و RNFWB[۲] و استفاده از الگوریتم ژنتیک، ظرفیت تجهیزات سیستم را بهینه می‌کرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که راندمان سیستم تولید همزمان وابسته به دما و فشار محیط است و ثابت نبودن راندمان در طول کل سال با توجه به تغییرات دمایی ماه‌های مختلف، باعث ایجاد خطا در نتایج طراحی سیستم‌های CCHP می‌شود. از این‌رو در این پژوهش سعی شده به بررسی تغییرات نتایج، با در نظر گرفتن شرایط محیطی واحد تولید توان یک سیستم CCHP پرداخته شود و در نهایت اثر افزایش تعداد محرک اولیه بر این تغییرات بررسی می‌شود.

استراتژی عملکرد

موتور گاز سوز به عنوان واحد تولید توان، وظیفه تامین الکتریسیته مورد نیاز ساختمان را که شامل الکتریسیته روشنایی و الکتریسیته مورد نیاز دیگر تجهیزات الکتریکی می‌باشد، بر عهده دارد. اگر الکتریسیته تولیدی (E_{gen}) به وسیله محرک اولیه، کمتر از میزان الکتریسیته مورد نیاز ساختمان (E_{dem}) باشد، کمبود الکتریسیته با خرید برق (E_b) از شبکه سراسری تامین خواهد شد. در این حالت میزان الکتریسیته فروخته شده (E_s) به شبکه، مطابق روابط (۱) صفر می‌شود.

$$E_s = 0 \qquad E_{gen} < E_{dem} \quad (۱)$$
$$E_b = E_{dem} - E_{gen}$$

در صورتی که الکتریسیته تولیدی بیشتر از میزان مورد نیاز باشد، سیستم قادر خواهد بود، مطابق روابط (۲)، مقدار اضافی را به شبکه سراسری برق بفروشد و نیازی به خرید الکتریسیته از شبکه سراسری را نخواهد داشت.

$$E_s = E_{gen} - E_{dem} \qquad E_{gen} > E_{dem} \quad (۲)$$
$$E_b = 0$$

برای تامین گرمایش مورد نیاز ساختمان (H_{dem}) از حرارت‌های اتلافی واحد تولید توان (H_{gen}) استفاده می‌شود و در صورت بیشتر بودن گرمای تولیدی از میزان تقاضا، گرمای اضافی (H_{exa}) برای تامین سرمایش چیلر جذبی (C_{cchp}) مصرف می‌شود. این استراتژی مطابق روابط (۳) ارزیابی می‌شود.

$$H_{exa} = H_{gen} - H_{dem} \qquad H_{gen} > H_{dem} \quad (۳)$$
$$H_b = 0$$

[۱] Relative Equivalent Uniform Annual Benefit
[۲] Relative Net Future Worth Benefit

اگر گرمای تولیدی توسط محرک اولیه کمتر از میزان گرمای مورد نیاز باشد، مابقی گرما توسط بویلر پشتیبان تامین خواهد شد که توسط روابط (۴) ارزیابی می‌شوند.

$$H_b=H_{dem}-H_{gen} \qquad H_{gen} < H_{dem} \quad (۴)$$
$$H_{exa}= 0$$

در صورتی که گرمای اضافی جهت تولید سرما از طریق چیلر جذبی (C_{cchp})، به مقداری نباشد که سرمای مورد نیاز (C_{dem}) را پوشش دهد، از بویلر کمکی جهت تولید حرارت بیشتر برای چیلر استفاده می‌شود که طبق روابط (۵) محاسبه می‌شود.

$$C_{shortage} = C_{dem} - C_{cchp} \qquad C_{dem} > C_{cchp} \quad (۵)$$
$$H_{b-chiller} = C_{shortage}/eta_{chiller}$$
$$C_{exa} = 0$$

روش حل و فرضیه ها

مطالعه موردی در مقاله پیش‌رو، مربوط به یک هتل در شهر تهران با ارتفاع ۱۱۶۸ متر از سطح دریا می‌باشد. ظرفیت بهینه تجهیزات سیستم CCHP، با روش یکنواخت سود سالیانه نسبی و الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شود. روش یکنواخت سود سالیانه نسبی، مبتنی بر تکنیک یکنواخت سالیانه می‌باشد، که یکی از تکنیک‌های با ارزش تحلیل‌های اقتصادی است. در این روش، درآمدها و هزینه‌های سیستم به دریافت و پرداخت سالیانه تبدیل می‌شوند. از مزایای این تکنیک نسبت به دیگر تکنیک‌های اقتصادی، نتیجه یکسان محاسبات پروژه‌ها، با عمر متفاوت است. جزییات این روش، در مرجع [8]، توسط نویسندگان ارایه شده است. به منظور بررسی عملکرد واحد تولید توان یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت، از اطلاعات اقتصادی، انرژی و زیست محیطی موجود در مراجع [4,6,7] استفاده می‌شود و در دو شرایط ایده‌آل و واقعی بررسی خواهد شد. در گام نخست فرآیند بهینه سازی سیستم CCHP در شرایط ایده‌آل با استفاده از تکنیک یکنواخت سالیانه انجام می‌شود تا اعتبارسنجی طرح انجام گردد. نتایج اعتبار سنجی با مرجع [8] در جدول ۱ ارایه شده است. مشاهده می‌شود که نتایج کار حاضر با مرجع مورد نظربه خوبی تطابق دارد.

جدول۱: اعتبار سنجی کار حاضر با مرجع [8]

	یک موتورگازسوز		دو موتورگازسوز	
	کار حاضر	مرجع [8]	کار حاضر	مرجع [8]
موتور گازسوز	۱۲۰	۱۲۰	۱۳۰ ۱۵۰	۱۳۰ ۱۵۰
مقدار تابع هدف	۱۸۰/۶۵	۱۸۰/۶۵	۲۴۹/۸۱	۲۴۹/۸۱

با توجه به اینکه شرایط واقعی (فشار و دما محیط)، پارامترهای عملکردی موتورگازسوز را (به عنوان واحد تولید توان) تغییر خواهد داد، عملکرد واحد تولید توان سیستم CCHP با تغییر در شرایط محیطی (در گام بعدی) بررسی می‌شود.

در حالت ایده‌آل بازده موتور گازسوز (eta_{nom}) از رابطه‌ی (۷) بدست می‌آید[9].

$$eta_{nom}(E_{nom}) = \frac{E_{nom}}{2.65 \times E_{nom} + 21.4} \quad (۷)$$

که E_{nom} ظرفیت نامی و eta_{nom} بازده نامی موتور گازسوز می‌باشد.

در حالت واقعی با در نظر گرفتن فشار و دمای محیط که در هر ماه متغییر است، بازده موتور برای ماه های مختلف طبق رابطه (۸) تامین خواهد شد[10,11].

$$eta_{nom}(T.P.E_{nom}) = \left(\frac{E_{nom}}{2.65\times E_{nom}+21.44}\right) \times \quad (۸)$$
$$(1 - 0.01 \times \frac{T_{sur} - 25}{5.5}) \times (1 - 0.03 \times \frac{Z_{sur}}{303})$$

T_{sur} دمای محیط و Z_{sur} ارتفاع از سطح دریاست. در واقع این رابطه عملکرد خارج از طراحی واحد تولید توان با تغییر در شرایط محیطی را نشان می‌دهد.

شاخص‌های فنی موتور گازسوز از قبیل مقدار الکتریسیته تولیدی (E_{gen}) و گرمای تولیدی (H_{gen}) که تابع راندمان هستند و از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$E_{gen}(T.P.E_{nom}) = E_{nom} \times eta_{nom}(T.P.E_{nom}) \quad (۹)$$

$$H_{gen}(T.P.E_{nom}) = \frac{E_{nom}}{eta_{nom}} \times \quad (۱۰)$$
$$\left(1 - eta_{nom}(T.P.E_{nom})\right)$$

همانطور که مشاهده می شود گرما و الکتریسیته تولیدی از واحد تولید توان به علت وابسته بودن به راندمان، متاثر از شرایط محیطی تغییر خواهند کرد.

همچنین با در نظر گرفتن این تغییرات در ضریب عملکرد چیلر جذبی(مطابق مرجع [7])، مقدار سرمای تولیدی توسط رابطه زیر ارزیابی می‌شود.

$$C_{cchp}(C_{nom}.T.P.E_{nom}) = COP_{chiller}(C_{nom}) \times H_{exaust} \quad (۱۱)$$

$$COP_{chiller}(C_{nom}) = 10^{-8} \times {C_{nom}}^2 + \quad (۱۲)$$
$$7 \times 10^{-58} \times C_{nom} + 0.6493$$

H_{exaust} حرارت تولیدی مازاد بر مصرف، $COP_{chiller}$ ضریب عملکرد چیلر جذبی و C_{cchp} سرمای تولیدی است.

به منظور تحلیل اقتصادی سیستم که شامل محاسبه مقدار هزینه راه اندازی موتور، بویلر، چیلر و هزینه های مربوط به خرید سوخت و برق یا فروش آن است، از روابط و اطلاعات موجود در مراجع [8,12,13] استفاده شده است.

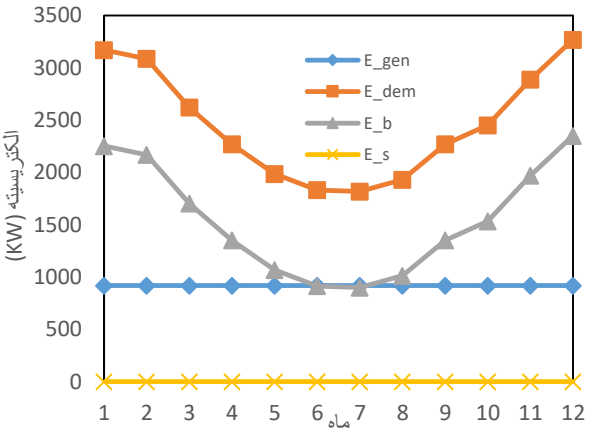
بحث و نتایج

عملکرد واحد تولید توان سیستم CCHP با تغییر در شرایط محیطی برای دو حالت انتخابی یک موتورگاز سوز ۲۴۴۰ کیلو واتی و دو موتورگاز سوز ۱۲۲۰ کیلو واتی ارزیابی و نتایج در جدول (۲) ارایه شده است.

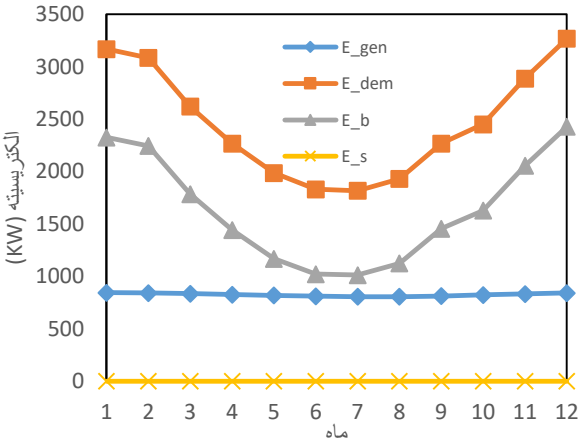
جدول۲: ظرفیت اجزای سیستم تولید همزمان بر حسب kW

	یک موتورگازسوز		دو موتورگازسوز	
	ایده‌آل	واقعی	ایده‌آل	واقعی
موتور گازسوز	۲۴۴۰	۲۴۴۰	۱۲۲۰	۱۲۲۰
بویلر	۲۶۰۵	۱۲۷۷	۲۵۲۲	۱۲۴۷
چیلر جذبی	۱۸۰۸	۱۸۰۸	۱۸۰۸	۱۸۰۸

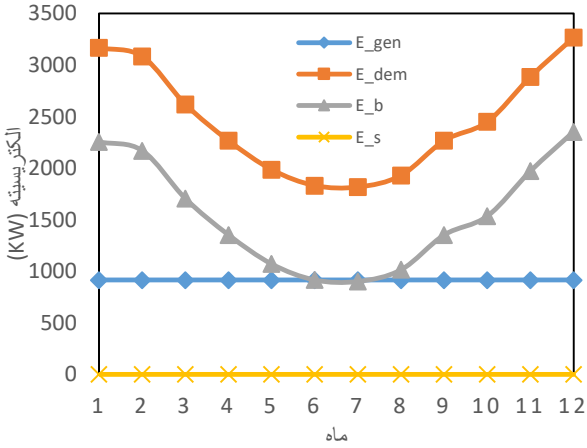
نتایج نشان می‌دهد که اگر در فرآیند بهینه سازی، شرایط محیطی (تغییرات دما و فشار) در نظر گرفته نشود میزان الکتریسیته تولیدی مطابق شکل‌های (۱) و (۲) برای واحد تولید توان ۲۴۴۰ کیلو واتی وشکل های (۳) و (۴) برای واحد تولید توان ۱۲۲۰ کیلو واتی، متفاوت خواهد بود، به گونه‌ای که در حالت ایده‌آل میزان الکتریسیته تولیدی نسبت به حالت واقعی برای هر دو حالت تک موتوره و دو موتوره بیشتر است و این باعث می‌گردد که نتایج اقتصادی اعتمادپذیری کافی را نداشته باشند، زیرا همانطور که در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود، در حالت تک ظرفیتی برای موتورگازسوز و با فرض شرایط ایده‌آل سیستم تولید همزمان باعث کاهش ۲۷/۳ درصد و در شرایط واقعی ۲۴/۸ درصد هزینه نسبت به سیستم سنتی[۳]خواهد شد و در سیستم دو ظرفیتی و شرایط ایده‌آل ۲۶ درصد و در شرایط واقعی ۲۳/۵ درصد کاهش در هزینه نسبت به سیستم سنتی را در پی خواهد داشت.



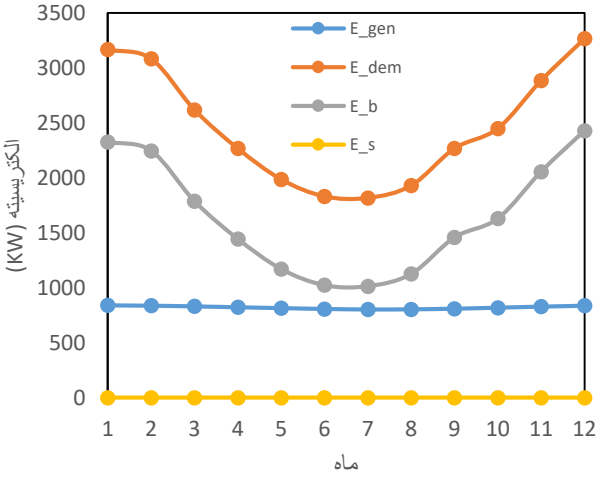
شکل۱: مقایسه الکتریسیته تولیدی، مورد نیاز، خریداری شده و فروخته شده در شرایط ایده‌آل و برای انتخاب تک ظرفیت موتور گازسوز



شکل۲: مقایسه الکتریسیته تولیدی، مورد نیاز، خریداری شده و فروخته شده در شرایط واقعی و برای انتخاب تک ظرفیت موتور گازسوز



شکل۳: مقایسه الکتریسیته تولیدی، مورد نیاز، خریداری شده و فروخته شده در شرایط ایده‌آل و برای انتخاب دو ظرفیت موتور گازسوز

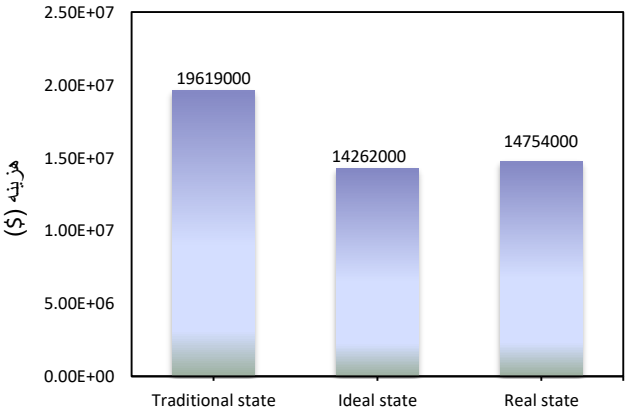


شکل۴: الکتریسیته تولیدی، مورد نیاز، خریداری شده و فروخته شده در شرایط واقعی و برای انتخاب دو ظرفیت موتور گازسوز

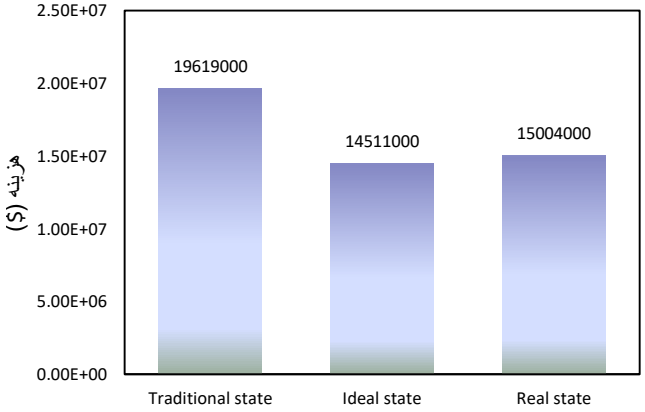
[۳] سیستم سنتی سیستمی است که الکتریسته مورد نیاز خود را با خرید از شبکه، حرارت مورد نیاز را با مصرف سوخت و توسط بویلر و نیزسرمایش مورد نیاز را با چیلر جذبی تامین می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی تاثیر شرایط محیطی بر عملکرد واحد تولید توان سیستم CCHP و نیز نتایج اقتصادی آن پرداخته شد. برای این منظور دو حالت ظرفیتی موتورگازسوز برای سیستم CCHP (سیستمی با یک و دو موتورگازسوز) فرض شد. نتایج نشان داد که استفاده از سیستم تولید همزمان در حالت یک موتور گازسوز و شرایط ایده‌ال، کاهش ۲۷/۳ درصدی در هزینه های سیستم، نسبت به سیستم سنتی ایجاد می‌شود. در حالت دو موتور گازسوز این کاهش هزینه، نسبت به سیستم سنتی ۲۶ درصد مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که اگر در طراحی سیستم‌های CCHP اثر شرایط محیطی (که اکثر محققان در نظر نمی‌گیرند) در نظر گرفته نشود، نتایج اقتصادی ۳/۳۳ درصد کمتر گزارش خواهد شد که در ظرفیت های بالا مقدارخطای قابل توجهی را ایجاد خواهد کرد. همچنین آنالیز تعداد محرک اولیه نشان داد که در شرایط مشابه با انتخاب دو محرک اولیه، میزان خطا کاهش می‌یابد و حدود ۳/۲۸ درصد می‌شود.



شکل۵: مقایسه مجموع کل هزینه‌های سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم سنتی در شرایط ایده‌آل و واقعی برای انتخاب یک ظرفیت موتور گازسوز



شکل۶: مقایسه مجموع کل هزینه‌های سیستم تولید همزمان را نسبت به سیستم سنتی در شرایط ایده‌آل و واقعی برای انتخاب دو ظرفیت موتور گازسوز

فهرست علائم

علایم انگلیسی	
C	سرما
CCHP	سیستم تولید همزمان برق, حرارت و برودت
C_{CCHP}	سرمای چیلر جذبی توسط سیستم CCHP
COP	ضریب عملکرد
Traditional	سیستم سنتی
E	الکتریسیته
eta	راندمان
H	حرارت
COST	هزینه

زیرنویس	
ab	جذبی
b	خریداری شده
boiler	بویلر پشتیبان
boiler-chiller	تولیدی توسط بویلر پشتیبان برای ایجاد سرمایش با چیلر جذبی
dem	مورد نیاز
exa	اضافی(خروجی)
Gen	تولیدی
nom	اسمی
s	فروخته شده
shortage	کمبود

مراجع

[1] Sanaye, S., Ghafurian, M.M. and Dastjerdi F.T., "Applying Relative Net Present or Relative Net Future Worth Benefit and Exergy Efficiency for Optimum Selection of a Natural Gas Engine Based CCHP System for a Hotel building", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol.34, pp.305-317, (2016)

[2] B. J. Kaldehi, A. Keshavarz, A. A. Safaei Pirooz, A. Batooei, and M. Ebrahimi, "Designing a micro Stirling engine for cleaner production of combined cooling heating and power in residential sector of different climates", *Journal of Cleaner Production*, vol. 154, pp. 502-516, (2017)

[3] Y. Li and R. Hu, "Exergy-analysis based comparative study of absorption refrigeration and electric compression refrigeration in CCHP systems", *Applied Thermal Engineering*, vol. 93, pp. 1228-1237, (2016)

[4] Sanaye, S. and Ghafurian, M.M., "Applying Relative Equivalent Uniform Annual Benefit for Optimum Selection of a Gas Engine Combined Cooling, Heating and Power System for Residential Buildings". *Energy and building*, Vol.128,pp.809-818, (2016)

[5] M. M. Ghafurian and H. Niazmand, "New approach for estimating the cooling capacity of the absorption and compression chillers in a trigeneration system",

International Journal of Refrigeration, vol. 86, pp. 89-106, (2018)

[6] Ghafuoryan, M M., Shakib, S. E. and Tavakoli Dastjerd, F., "Modeling and optimizing of a combined CHP system, compression chiller and reverse osmosis plant (CHP + C + W) in two strategies of connections with grid", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol.37, pp.1751-1763, (2015).

[7] Sanaye, S., Khakpaay, N., 2014. Simultaneous use of MRM (maximum rectangle method) and optimization methods in determining nominal capacity of gas engines in CCHP (combined cooling, heating and power) systems. Energy. 72, 145-158

[8] Tavakoli Dastjerd, F., Ghafoorian, M. M. and Shafiei Mayam, M.H., "Investigation of how to choose capacity of gas engine in optimization CCHP systems with GA; Case study: water sports complex, *AmirKabir Jounrnal of Science & Research Mechanical Engineering - ASJR-ME*, Vo. 48, pp.79-92, (2016)

[9] Ebrahimi, M. and A. Keshavarz, "Climate impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building." *Energy and Buildings, Vol.* 54, pp 283-289,(2012).

[10] Catalogue of CHP Technologies, US Environmental Protection Agency, February, (2014).

[11] ASHRAE HANDBOOK, Cogeneration Systems and Engine and Turbine Drives, Chapter S7(1999).

[12] Ebrahimi, M. and Keshavarz, A., "Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system by multi-criteria sizing method for different climates", *Energy, Vol.* 54, pp. 291–301, (2013).

[13] Oskoonejad, M. M., "Engineering Economy". *Amirkabir University, Tehran, Iran, Amirkabir Publishing*, 4th ed. PP. 179–417, (2007) (In Persian)