

# الگوریتم بهینه سازی فنی-اقتصادی سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق با موتور احتراق داخلی در یک ساختمان خانگی نمونه

کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شهرود، شهرود، ایران

استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شهرود، شهرود، ایران

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

مهردی فرهنگ\*

محمود فرزانه گرد

مهردی دیمی دشت بیاض

## چکیده

در این تحقیق بر حسب میزان نیاز حرارتی، بودتی و توان مورد استفاده یک ساختمان نمونه خانگی اقدام به طراحی یک سیستم تولید همزمان توان، گرمایش و سرمایش (CCHP) شده است. با توجه به تغییر پارامترهای موثر در طراحی سیستم از جمله شرایط محیطی، تغییرات در بارهای گرمایش، سرمایش و برق در طی روزهای مختلف سال و ... تعیین شرایط بهینه عملکرد سیستم تولید همزمان از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. بر این اساس، یک الگوریتم بهینه سازی برای پیدا کردن بهینه ترین عملکرد سیستم تولید همزمان براساس راندمان الکتریکی موتور (محرك اولیه) پیشنهاد شده بنحویکه هزینه سوخت مصرفی سیستم تولید همزمان به عنوان تابع هدف، در هر گام زمانی کمترین باشد. این الگوریتم برای ظرفیت‌های مختلف واحد تولید توان از ۱ کیلووات تا ۲۰ کیلووات به کار گرفته شد. نتایج الگوریتم پیشنهادی مشخص نمود که واحد تولید توان با ظرفیت ۱۲ کیلووات، با ۳/۳ سال کمترین بازگشت سرمایش و واحد تولید توان با ظرفیت ۵ کیلووات، با ۵/۷٪ بیشترین نسبت صرفه جویی در هزینه سوخت مصرفی را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم بهینه سازی، سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق، موتور احتراق داخلی، ساختمان خانگی.

## Techno-economic Optimization Algorithm of the Combined Cooling, Heating and Power System by Internal Combustion Engine for a Residential Apartment

M. Farahnak

Department of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

M. Farzaneh-Gord

Department of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

M. Deymi-Dashtebayaz

Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

### Abstract

In this study, the cooling, heating and electrical energy demands of a sample residential apartment in Mashhad region (Iran) has been estimated hourly during a year. By employing a CCHP system for this apartment compared to the separate production system, hourly and monthly amounts of optimal consumption of NG as prime fuel and electrical energy imported from/sold back to grid during a year and cost saving ratio and payback ratio has been investigated. For this purpose an optimization algorithm was proposed to find the best optimized operation of the cogeneration system based on operation of the power generation unit (PGU) according to nonlinear relationship of electrical efficiency of the engine (Prime Mover) so that the cost of the energy in CCHP system, as an objective function, be least amount in each time step during a year. The results of proposed algorithm, specifying the best operation, show that PGU with 12 kW capacities has the lowest payback ratio of 3.3 years and that PGU with 5 kW capacities has the lowest energy cost saving ratio of 57%.

**Keywords:** Optimization algorithm, CCHP system, Internal combustion engine, Residential apartment.

برای تولید سرمایش مصرف می‌کنند. یعنی حرارت اتلافی که در فرآیند تولید برق (توان) ایجاد می‌شود به عنوان نیروی محرك برای راندن یک دستگاه سرمایشی جذبی به کار گرفته می‌شود و در نتیجه مصرف انرژی اولیه کاهش پیدا می‌کند. پتانسیل اصلی کاربرد سرمایش جذبی در سیستم‌های تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق برای ساختمان‌های عمومی، مانند بیمارستان‌ها هتل‌ها، ساختمان‌های اداری و فروشگاه‌های مواد غذایی می‌باشد [۱].

میزان صرفه جویی انرژی در سیستم‌های تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که در هر کدام این میزان صرفه جویی نسبت به شرایط مرجع خاصی و برای مدت زمان مشخصی تعریف شده است.

در یک تحقیق Cho و همکاران [۲-۴] با توسعه یک مدل شبکه‌ای جریان برای یک سیستم تولید همزمان گرمایش و برق نمونه،

### ۱- مقدمه

کم شدن منابع انرژی فسیلی، گرم شدن کره زمین، گران شدن هزینه تمام شده تولید انرژی و افزایش تقاضای مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و برق، باعث جهت دهی تحقیقات بیشتر به سمت روش‌های کارامدتر برای تبدیل انرژی و طراحی سیستم‌های با راندمان بالاتر نسبت به سیستم‌های تولید انرژی متداول می‌شود. یک روش برای توسعه پایدار، اتخاذ تکنولوژی تولید ترکیبی سرمایش، گرمایش و برق است. سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق، تولید همزمان توان مکانیکی که اغلب به الکتریسیته تبدیل می‌شود و گرمایش و یا سرمایش، از یک منبع سوخت است. این سیستم یک توسعه از سیستم تولید همزمان گرمایش و برق می‌باشد که با تکنولوژی‌های سرمایشی حرارت-فعال کوپل شده و حرارت اتلافی از سیستم تولید همزمان را

\*نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: farahnak.mehdi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۰۱  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۲

تولید همزمان با کاربری مسکونی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و زیست محیطی به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در هزینه و کاهش انتشارات آلاینده در اقلیم‌های مختلف ایران رسیدند.

از مطالعات صورت گرفته در داخل کشور می‌توان به تحقیقات صورت گرفته توسط مهدی معرفت و پیام شفیعی [۹ و ۱۰] اشاره نمود. آنها در مقالات خود به بررسی عملکرد سیستم‌های تولید همزمان در ساختمان‌های اداری تهران با توجه به پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی پرداختند. همچنین نتایج بدست آمده را با در نظر گرفتن استراتژی‌های مختلف با سیستم تولید جداگانه مقایسه نمودند. فاطمه توکلی دستجرد و همکاران [۱۱] به مطالعه انتخاب ظرفیت بهینه واحد تولید توان در سیستم‌های تولید همزمان در یک هتل در ناحیه جنوب شرقی ایران با در نظر گرفتن تابعی چند معیاره پرداختند.

هادی جعفری و همکاران [۱۲] با استفاده از یک تابع دو هدفه هزینه توان و حرارت تولیدی اقدام به بهینه سازی یک نیروگاه سیکل ترکیبی نمودند. آنها برای تعیین نقطه بهینه عملکردی، سیستم مور نظر را از لحاظ ترمودینامیکی، اگزرزیتیکی و ترمواکونومیکی مورد تحلیل قرار دادند. محدود رضا عصاری و همکاران [۱۳] با استفاده از الگوریتم ژنتیک، سیستم تولید همزمان برق و حرارت را مورد مدلسازی و بهینه سازی قرار دادند. نتایج تحلیل بدست آمده آنها تطابق خوبی با نتایج تجربی سیکل دانشگاه بیلکلت داشت و همچنین بهینه سازی باعث بهبود قابل توجهی در عملکرد سیستم شد.

در این تحقیق نیازهای انرژی سرمایشی، گرمایشی و برق به صورت کاملاً دینامیکی با گام زمانی یک ساعت برای یک سال در یک ساختمان مسکونی محاسبه شده است و با استفاده از سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق، میزان صرفه‌جویی در انرژی و هزینه در برآورده کردن تقاضاهای انرژی سرمایشی، گرمایشی و برق ساختمان در مقایسه با سیستم تولید مجزا با ارائه یک الگوریتم بهینه سازی پیشنهادی مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- الگوریتم بهینه سازی

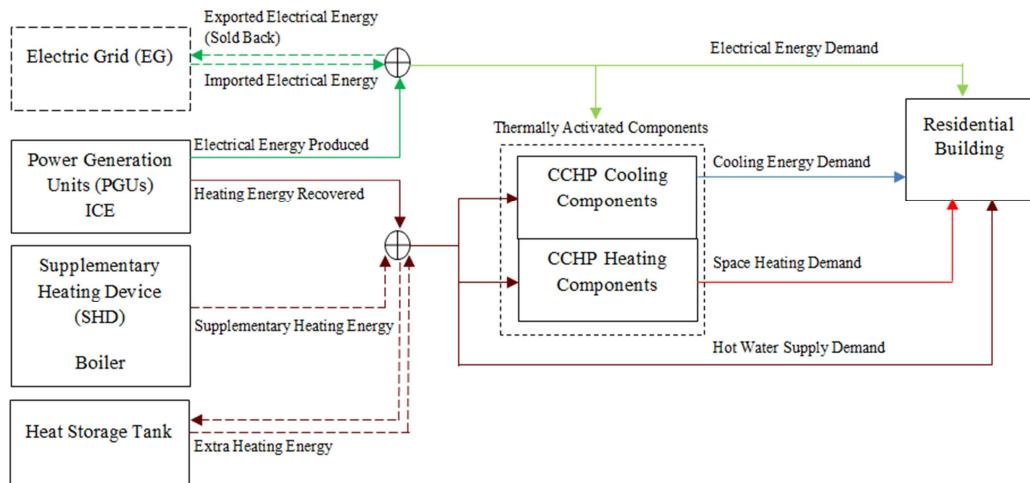
طرحواره سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق و سیستم تولید مجزای مور مطالعه در این تحقیق در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نشان داده می‌شود. برای بررسی صرفه‌جویی در انرژی و هزینه، به سیستم تولید مجزا یک واحد تولید توان اضافه شده است که تقاضای برق ساختمان را تأمین کرده و در صورت کمبود یا مازاد بودن برق، به ترتیب امکان خرید یا فروش برق به شبکه سراسری را بوجود آورد. همچنین حرارت بازیافت شده از واحد تولید توان از طریق تجهیزات حرارت-فعال برای برآورده کردن نیاز سرمایش و گرمایش و آب گرم مصرفی ساختمان استفاده می‌شود و یک بویلر به عنوان تجهیزات گرمایشی تکمیلی در موقع کسری حرارت بازیافتی از واحد تولید توان و یا خاموش بودن آن، فعال می‌شود. همچنین یک مخزن برای ذخیره سازی حرارت مازاد بازیافت شده در صورت لزوم استفاده می‌شود که در موقع کمبود انرژی حرارتی، سیستم را تغذیه می‌کند (شکل ۱).

یک الگوریتم توزیع انرژی با هدف کمینه کردن هزینه انرژی بر مبنای قیدهای راندمان انرژی در هر جزء سیستم را ارائه می‌دهد. این الگوریتم برای شبیه سازی عملکرد یک سیستم تولید همزمان مقیاس کوچک موجود (آزمایشگاه دانشگاه ایالت CCP) بر روی یک نمونه مطالعاتی استفاده شد. نتایج بهینه سازی برای مدت زمان شبیه سازی ۲۴ ساعت با سه وضعیت عملکرد خط مبدأ مور م مقایسه قرار گرفت. مقایسه نتایج بهینه سازی و خط مبدأها که بیانگر شرایط مختلف ممکن فعالیت سیستم می‌باشند، پتانسیل بهره اقتصادی بهینه سازی عملکرد سیستم تولید همزمان را نشان می‌دهد.

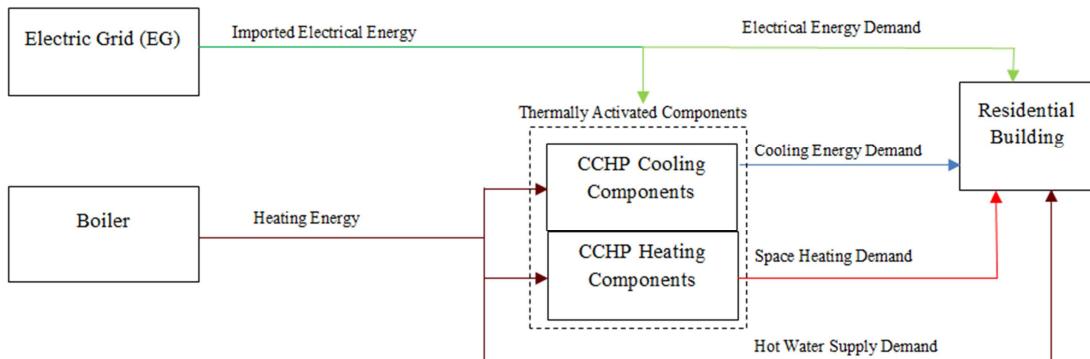
در تحقیقی دیگر Hui Li و همکاران [۵] از موتورهای و توربین-های گازی به عنوان محرك اولیه در سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق و از یک سیستم تولید مجزای مشخص (نیروگاه سیکل ترکیبی) به عنوان وضعیت مرجع برای مقایسه و بررسی میزان صرفه جویی در سوخت سیستم تولید همزمان استفاده نمود. آنها در یک روش استاتیک، برای یک میزان تقاضای مصرف مشخص، ظرفیت الکتریکی و حرارتی محرك اولیه را برای اینکه سیستم تولید همزمان صرفه جویی در سوخت داشته باشد، مشخص کردند. در این تحقیق با بررسی عملکرد سیستم در مدهای گرمایش و سرمایش این نتیجه حاصل شد که خاصیت صرفه جویی در انرژی در سیستم‌های تولید همزمان، یک ویژگی و خاصیت مشروط در این سیستم‌ها می‌باشد و سیستم‌های با ظرفیت الکتریکی بیشتر، پتانسیل صرفه جویی در انرژی بالاتری دارند.

Hongbo Ren و همکاران [۶] با در نظر گرفتن دو سیستم تولید همزمان گرمایش و برق مقیاس کوچک نمونه با محرك اولیه موتور گاز و پیل سوختی و ارائه یک ابرساختار برای این سیستم در ساختمان‌های خانگی و برنامه ریزی دو مد عملکرد متفاوت، حداقل نمودن هزینه/حداقل نمودن انتشار گازهای آلاینده، به ارزیابی نسبت صرفه جویی در هزینه و نسبت کاهش انتشار پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پیل سوختی برای ساختمان‌های خانگی هم از دیدگاه اقتصادی و هم زیست محیطی گزینه بهتری می‌باشد.

I Hycient و همکاران [۷] با ارائه زیرمدل‌های ژنراتور و موتور احتراق داخلی، سیستم ذخیره سازی الکتروشیمیابی (باتری) و سیستم ذخیره سازی آب گرم (مخزن آب گرم) به مدل سازی فنی-اقتصادی سیستم تولید همزمان برای کاربرد مسکونی پرداخت. در این مقاله دو سناریوی عملکرد برای سیستم تولید همزمان در نظر گرفته شد، سناریوی "کنترل کننده اولویت الکتریکی" که مستلزم فعالیت موتور احتراق داخلی به منظور دنبال کردن تقاضای الکتریکی ساختمان است و سناریوی "کنترل کننده خروجی ثابت" که مستلزم فعالیت موتور احتراق داخلی در حداکثر راندمان الکتریکی و ذخیره سازی برق در باطری است. نتایج آنها اهمیت انتخاب مناسب سایز موتور احتراق داخلی، انتخاب مناسب ظرفیت سیستم‌های ذخیره سازی برق و حرارت، و انتخاب صحیح سناریوی فعالیت در عملکرد پویای کل سیستم را نشان داد. انتخاب سایز محرک اولیه همواره یکی از مهمترین چالش‌ها در طراحی سیستم‌های تولید همزمان بوده است. در این زمینه، A. Keshavarz و M. Ebrahimi [۸] با پیشنهاد یک تابع چند معیاره، استراتژی کارکردی و سایز بهینه محرک اولیه در یک سیستم



شکل ۱- دیاگرام جریان سیستم CCHP



شکل ۲- دیاگرام جریان سیستم تولید مجزا

در شکل ۳، ابتدا تقاضاهای انرژی سرمایش، گرمایش، آب گرم مصرفی و برق ساختمان در هر گام زمانی به صورت ورودی دریافت می‌شود، سپس طبق رابطه (۱) کهتابع "راندمان تبدیل انرژی سوخت به الکتریسیته" [۱۴] هر واحد تولید توان در سیستم تولید همزمان می‌باشد، در هر گام زمانی  $j$ ، درصد بار از کمترین مقدار ( $j=0$ ) تا بیشترین مقدار ( $j=100$ ) تغییر می‌کند (متناسب با آن راندمان از  $0\%$  تا  $100\%$  بیشترین مقدار که  $25\%$  فرض شده است، تغییر می‌کند).

$$\eta_{e}^{\max} = -0.0001591j^2 + 0.24j + 0.1904 \quad (1)$$

انرژی الکتریکی و حرارتی تولید شده توسط واحد تولید توان و درصد بار به ترتیب به صورت روابط (۲) و (۳) و (۴) بیان می‌گردد:

$$E_{PGU}(j,t) = E_{PGU}(j,t) \times \eta_e \quad (2)$$

$$Q_{PGU}(j,t) = E_{PGU}(j,t) \times \eta_{th} \quad (3)$$

$$j = \frac{E_{PGU}(j,t)}{E_{nom,PGU}} \quad (4)$$

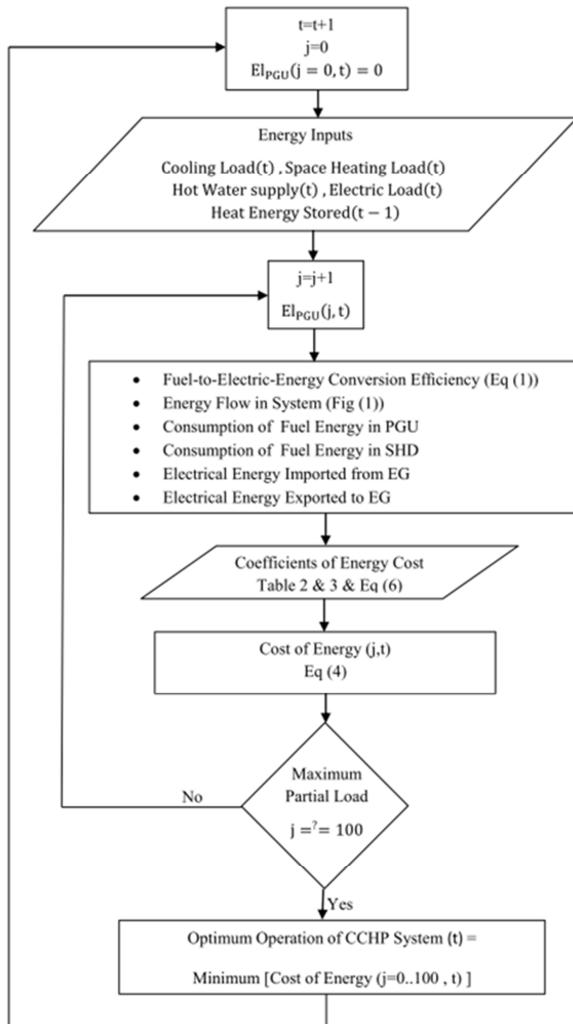
که (۱) ارزی سوخت مصرف شده در واحد تولید توان و راندمان حرارتی واحد تولید توان و  $E_{nom,PGU}$  ظرفیت نامی واحد تولید توان می‌باشد.

در هر درصد بار ( $j=0.100$ ) برای هر گام زمانی، با توجه به

در سیستم تولید مجزا، واحد تولید توان حذف شده و نیاز برق ساختمان همواره مستقیماً از شبکه برق تامین می‌شود و بویلر نیز حرارت مورد نیاز برای تجهیزات حرارت-فعال را برآورده کردن نیاز سرمایش و گرمایش و آب گرم مصرفی ساختمان فراهم می‌سازد (شکل ۲).

هدف این الگوریتم کمینه کردن هزینه‌های مصرف سوخت (گاز) مصرفی توسط موتور و بویلر و برق خردباری شده از شبکه در هر گام زمانی می‌باشد، به صورتی که در فلوچارت الگوریتم نشان داده شده در شکل ۳ دیده می‌شود. همان طور که قبل اگفته شد، اقتصادی بودن سیستم‌های تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق تا حد بسیار زیادی وابسته به عملکرد اجزای سیستم مخصوصاً واحد تولید توان و اتخاذ رویکردی مناسب نسبت به انتخاب وضعیت مرجع (سیستم تولید مجزا) جهت مقایسه می‌باشد. این بدان معناست که باید وضعیت برای واحد تولید توان، بویلر، مخزن ذخیره سازی حرارت و شبکه برق انتخاب نمود که هزینه سوخت مصرفی سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق در هر گام زمانی نسبت به سیستم تولید مجزا کمتر باشد.

همچنین برای پیدا کردن ظرفیت بهینه واحد تولید توان، واحدهایی با ظرفیت‌های نامی متفاوت از ۱ کیلووات تا ۲۰ کیلووات در این الگوریتم استفاده شده‌اند. طبق فلوچارت الگوریتم نشان داده شده



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم بهینه سازی

صورت ساعت به ساعت برای یک سال به ترتیب به صورت زیر محاسبه شده اند:

[۱] تقاضای آب گرم مصرفی = آب گرم مصرفی توسط توالت و دستشویی + آب گرم مصرفی توسط وان حمام + آب گرم مصرفی توسط دوش + آب گرم مصرفی توسط سینک ظرفشویی + آب گرم مصرفی توسط ماشین رختشویی.

که دمای آب گرم مصرفی ساختمان ۶۰ درجه سلسیوس (۱۴۰ درجه فارنهایت) [۱۵] و دمای آب شهر ورودی به ساختمان Farzaneh-Gord M به صورت رابطه تحری (۸) پیشنهادی توسط M و همکاران [۱۷]، برابر دمای خاک در نظر گرفته شده است. دمای خاک را برای اعماق بیشتر از یک متر در ایران به صورت تابعی از دمای محیط (دمای طرح خارج ساختمان) مطابق رابطه (۷) پیشنهاد می کند:

$$T_i = 0.0084 \times T_0^2 + 0.3182 \times T_0 + 11.403 \quad (8)$$

که  $T_i$  دمای آب ورودی شهر به ساختمان و  $T_0$  دمای محیط می باشد که به صورت ساعت به ساعت برای منطقه موردنظر استخراج شده است [۱۸].

تقاضاهای انرژی ساختمان، عملکرد سیستم تولید همزمان بررسی شده و مقدار تابع هزینه انرژی در سیستم تولید همزمان در هر گام زمانی  $t$  برای هر درصد بار ( $j, t$ ) ( $j=0..100$ ) طبق رابطه (۵) محاسبه می شود:

$$EC_{CCHP}(j,t) = C_{iElec}(t) \times E_{iElec}(j,t) + C_{Gas}(t) \times E_{PGU}(j,t) + C_{Gas}(t) \times E_{Boiler}(j,t) - CEE(j,t) \quad (5)$$

که  $C_{iElec}(t)$  ضریب هزینه برق وارد شده از شبکه در گام زمانی  $t$  ام و  $E_{iElec}(j,t)$  مقدار انرژی الکتریکی وارد شده از شبکه در گام زمانی  $t$  ام و درصد بار  $j$  ام واحد تولید توان می باشد و  $C_{Gas}(t)$  ضریب هزینه سوخت گاز وارد شده به واحد تولید توان در گام زمانی  $t$  ام و  $E_{PGU}(j,t)$  مقدار انرژی سوخت گاز وارد شده به واحد تولید توان در گام زمانی  $t$  ام واحد تولید توان می باشد و  $C_{Gas}(t)$  ضریب هزینه سوخت گاز وارد شده به بویلر در گام زمانی  $t$  ام و  $E_{Boiler}(j,t)$  مقدار انرژی سوخت وارد شده به بویلر در گام زمانی  $t$  ام و درصد بار  $j$  ام واحد تولید توان می باشد و  $CEE(j,t)$  نیز هزینه فروش برق به شبکه برق می باشد (رابطه (۹)). همچنین هزینه انرژی در سیستم تولید مجزا در هر گام زمانی  $t$  (طبق شکل شماره ۲) به صورت رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$EC_{CONV}(t) = C_{iElec}(t) \times E_{iElec}(t) + C_{Gas}(t) \times E_{Boiler}(t) \quad (6)$$

که  $C_{iElec}(t)$  ضریب هزینه برق وارد شده از شبکه و  $E_{iElec}(t)$  مقدار انرژی الکتریکی وارد شده از شبکه در گام زمانی  $t$  ام و  $C_{Gas}(t)$  ضریب هزینه سوخت گاز وارد شده به بویلر در گام زمانی  $t$  ام و  $E_{Boiler}(t)$  مقدار انرژی سوخت وارد شده به بویلر در گام زمانی  $t$  ام در سیستم تولید مجزا می باشد. جزئیات بیشتر در مورد نحوه محاسبه هزینه های گاز و برق در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد. بدین صورت در هر گام زمانی شبیه سازی بهینه ترین درصد بار یا توان خروجی واحد تولید توان و متناسب با آن بهینه ترین راندمان واحد تولید توان (رابطه (۱)) و بهینه ترین جریان انرژی در بویلر و مخزن ذخیره سازی حرارت و شبکه برق بر اساس کمترین مقدار هزینه انرژی طبق رابطه (۷) بدست می آید. این شبیه سازی به صورت ساعت به ساعت برای یک سال (۸۷۶۰ ساعت) برای ظرفیت های نامی متفاوت واحد تولید توان ۱ کیلووات تا ۲۰ کیلووات، در یک ساختمان خانگی مدل سازی شده است.

$$OEC_{CCHP}(t) = \min_{j=0...100} (EC_{CCHP}(j,t)) \quad (7)$$

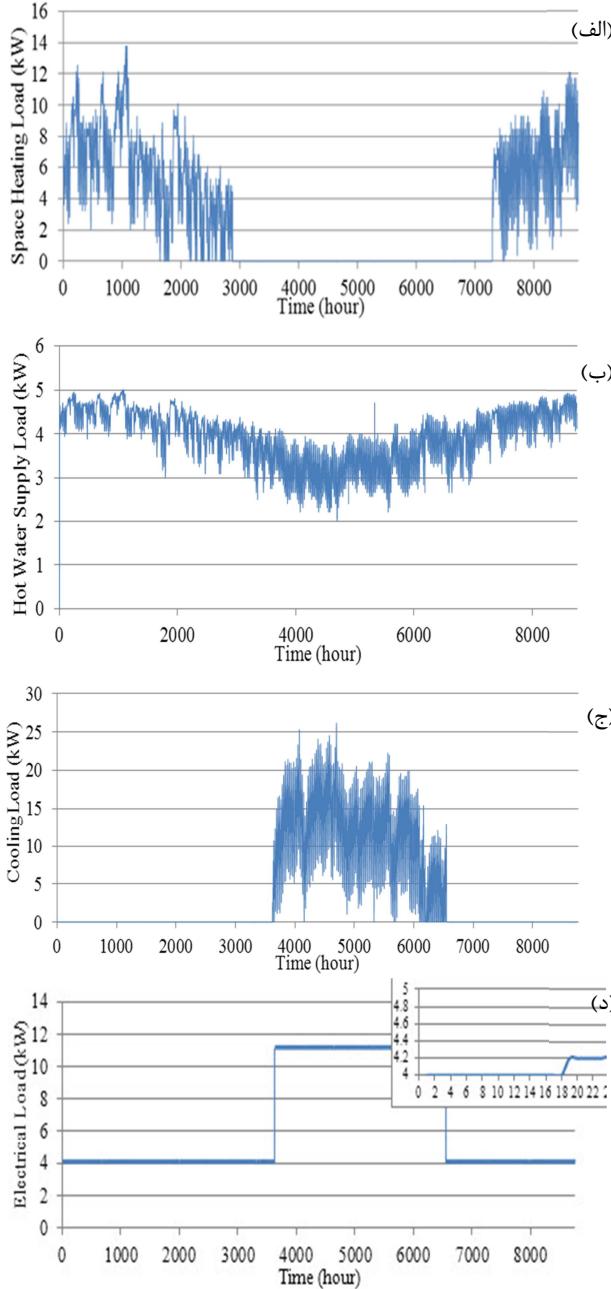
### ۳- مشخصات نمونه مطالعاتی

#### ۳-۱- مشخصات ساختمان خانگی نمونه

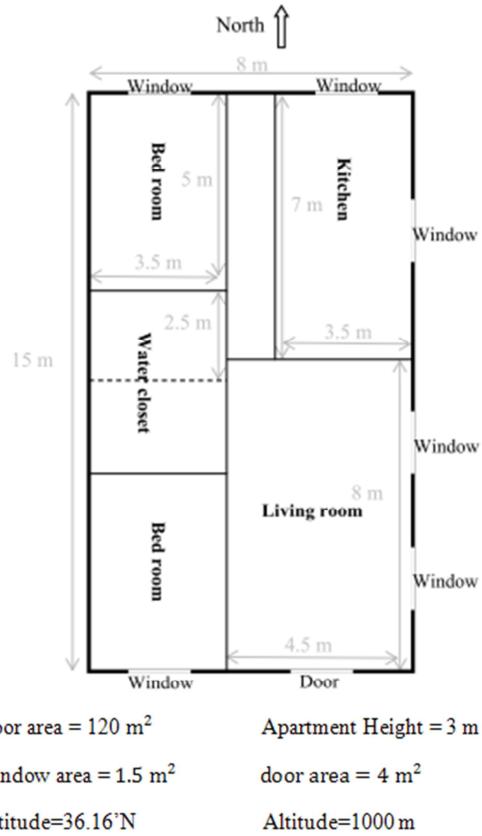
در این تحقیق از یک ساختمان خانگی نمونه برای یک خانواده ۴ نفره در ناحیه کویری ایران (مشهد) مطابق نقشه شکل (۴) استفاده شده که شامل ۶ پنجره دو جداره و یک درب فلزی در جهات نشان داده شده با مساحت کف ۱۲۰ متر مربع و ارتفاع ۳ متر می باشد. این ساختمان مبنای برای مصرف انرژی یک خانواده متوسط در نظر گرفته شده است.

تقاضاهای آب گرم مصرفی و گرمایش فضای ساختمان و سرمایش و برق ساختمان توسط مراجع تاسیسات مکانیکی و برقی [۱۵] و [۱۶] به

سرمایشی ساختمان + بار الکتریکی تجهیزات گرمایشی ساختمان.  
نمودارهای تقاضاهای بارهای گرمایش، آب گرم مصرفی، سرمایش و برق در شکل‌های (۵-الف)، (۵-ب)، (۵-ج) و (۵-د) به ترتیب نشان داده می‌شوند که بوسیله نرم افزار MATLAB کدنویسی شده است.



شکل‌های ۵-(الف)-(ب)-(ج)-(د)- به ترتیب تقاضاهای بارهای گرمایش فضای ساختمان، آب گرم مصرفی، سرمایش و برق ساختمان خانگی نمونه مورد مطالعه در طول یک سال (از ژانویه تا دسامبر) را نمایش می‌دهد. نمودار کوچک در شکل ۵-(د) تقاضای بار برق را در بازه زمانی ۲۴ ساعت نشان می‌دهد.



شکل ۴- ساختمان خانگی مورد مطالعه

[۲] تقاضای بار سرمایش ساختمان = بار سرمایشی تابشی از طریق پنجره‌های ساختمان + بار سرمایشی رسانشی از طریق پنجره‌های ساختمان + بار سرمایشی تابشی و رسانشی از طریق دیوارهای داخلی ساختمان + بار سرمایشی محسوس ناشی از تهویه اتاق‌ها + بار سرمایشی محسوس ناشی از ساکنین و لوازم گرمایزی ساختمان + بار سرمایشی نهان ساختمان + بار سرمایشی محسوس بقیه هوای خارج + بار سرمایشی نهان بقیه هوای خارج.

[۳] تقاضای بار سرمایش ساختمان = بار سرمایشی تابشی از طریق پنجره‌های ساختمان + بار سرمایشی رسانشی از طریق پنجره‌های ساختمان + بار سرمایشی تابشی و رسانشی از طریق درها و پنجره‌های داخلی ساختمان + بار سرمایشی محسوس ناشی از تهویه اتاق‌ها + بار سرمایشی محسوس ناشی از ساکنین و لوازم گرمایزی ساختمان + بار سرمایشی نهان ساختمان + بار سرمایشی محسوس بقیه هوای خارج + بار سرمایشی نهان بقیه هوای خارج.

دماه طرح داخل ساختمان در تابستان برابر ۲۵ درجه سلسیوس (۷۷ درجه فارنهایت) و رطوبت نسبی هوای داخل ساختمان در تابستان برابر ۱۵٪ [۱۵] و دماه نقطه شبنم و دماه طرح خارج، به صورت ساعت به ساعت برای منطقه موردنظر استخراج شده است [۱۸].

[۴] تقاضای برق ساختمان = بار الکتریکی روشنایی ساختمان + بار الکتریکی لوازم الکتریکی ساختمان + بار الکتریکی تجهیزات

## ۲-۳- مشخصات سیستم تولید همزمان سرمایش،

### گرمایش و برق

سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق مورد مطالعه در این تحقیق شامل پکیج ژنراتور-موتور اختراق داخلی با سوخت گاز طبیعی می‌باشد که به عنوان واحد تولید توان برای تولید انرژی الکتریکی و حرارتی عمل می‌کند.

ظرفیت‌های نامی متفاوت از ۱ کیلووات تا ۲۰ کیلووات برای انتخاب مناسب‌ترین ظرفیت واحد تولید توان، در نظر گرفته شده اند.

راندمان تبدیل انرژی سوخت به برق به صورت رابطه (۱) بر حسب درصد بار، فرض شده است. حرارت انتالفی از موتور از طریق دو مبدل حرارتی خنکسازی بدن و لوله خروجی موتور، بازیافت می‌شود و از طریق چیلر جذبی ۱۰ تن سرمایش و دستگاه هواساز برای سرمایش و گرمایش فضای ساختمان به کار می‌رود. و یک بویلر به عنوان تجهیزات گرمایشی تکمیلی زمانی که حرارت بازیافت شده کافی نباشد، شروع به فعالیت می‌کند. انرژی الکتریکی مصرفی تجهیزات سرمایشی و گرمایشی سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق به ترتیب ۷/۳ کیلووات و ۳/۴۵ کیلووات می‌باشد. جزئیات مربوط به راندمان تجهیزات سیستم تولید همزمان در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱- قیدهای راندمان تجهیزات سیستم تولید همزمان و سیستم تولید مجزا به کار رفته در الگوریتم بهینه سازی

%	قیدهای راندمان
۱۰ رابطه (۱)	راندمان تبدیل انرژی سوخت به برق موتور گازسوز
۲۵ بیشینه	راندمان تبدیل انرژی سوخت به حرارت موتور گازسوز
۵۱	راندمان بویلر
۹۰	راندمان کلی تجهیزات سرمایشی
۶۰	راندمان کلی تجهیزات گرمایشی
۸۵	راندمان کلی تجهیزات گرمایشی

### ۳-۳- قیدهای هزینه در الگوریتم بهینه سازی

تعرفه برق برای مصارف خانگی برای منطقه نمونه مطالعاتی (مشهد) برای ۷ دامنه مصرف برای هر دوره به صورت جدول ۲ محاسبه می‌شود که در هر دامنه مصرف، قیمت برای هر کیلووات ساعت برق بر حسب ریال مشخص شده است که به صورت پلکانی با مقدار پلکانی با مقدار مصرف تغییر می‌کند (ضریب  $C_{iElec}(t)$ ). همچنین قیمت برق فروخته شده به شبکه برق طبق رابطه (۹). ۳۳۸ ریال به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی به علاوه یک چهارم گار مصرفی استفاده شده در سیستم تولید همزمان برای تولید هر کیلووات ساعت برق، محاسبه می‌شود (CEE(j,t) در رابطه (۵)).

$$\text{CEE}(j,t) = 338 \left[ \frac{\text{IRR}}{\text{kWh}} \right] \times E_{eElec}(j,t) + \frac{1}{4} C_{Gas}(t) \times E_{PGU}(j,t) \quad (9)$$

که  $E_{eElec}(j,t)$  مقدار انرژی الکتریکی صادر شده (فروخته شده) به شبکه در گام زمانی  $t$  رام و درصد بار زام واحد تولید توان می‌باشد.

### ۴- نتایج بهینه سازی

الگوریتم ذکر شده در بخش ۲ برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق بر روی ساختمان مسکونی نمونه توصیف شده در بخش ۱-۳ برای مدت زمان یک سال (از ژانویه تا دسامبر) با گام زمانی یک ساعت برای درصد بارهای مختلف با در نظر گرفتن تابع هدف به کار گرفته شد. شکل ۶ درصد بهینه فعال بودن واحد تولید توان در طول یک سال را برای ظرفیت‌های نامی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۲- تعریف برق برای مصارف مسکونی در منطقه مشهد

ضریب هزینه (ریال به ازای هر کیلووات ساعت)	دامنه مصرف (کیلووات ساعت)
۳۰۰	۰-۱۰۰
۳۵۰	۱۰۰-۲۰۰
۷۵۰	۲۰۰-۳۰۰
۱۳۵۰	۳۰۰-۴۰۰
۱۵۵۰	۴۰۰-۵۰۰
۱۹۵۰	۵۰۰-۶۰۰
۲۱۵۰	۶۰۰
بیشتر از	۶۰۰

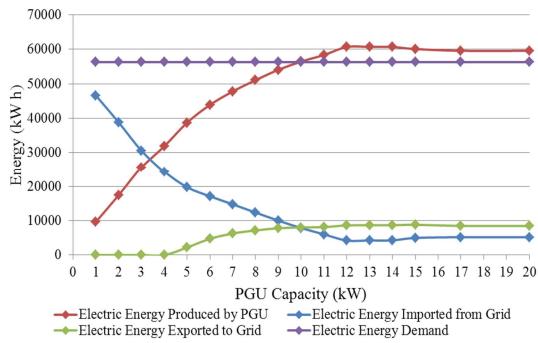
هزینه گاز برای مصارف مسکونی برای اقلیم ۳ (مشهد) برای ۱۲ دامنه مصرف در هفت ماه اول سال و پنج ماه آخر سال برای هر دوره، به ترتیب به صورت جداول ۳ و ۴ محاسبه می‌شود. که در هر دامنه مصرف، قیمت برای هر متر مکعب گاز طبیعی بر حسب ریال مشخص شده است که به صورت پلکانی با مقدار مصرف تغییر می‌کند (ضریب  $C_{Gas}(t)$  در رابطه (۵)). هر متر مکعب گاز طبیعی با در نظر گرفتن ارزش حرارتی بالا، تقریباً ۳۳۲۹۷/۶ کیلوژول انرژی به عنوان سوخت دارد. جزئیات بیشتر در مورد تعریف‌ها و هزینه‌ها در مراجع [۲۱-۱۹] قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳- تعریف گاز طبیعی برای مصارف مسکونی در اقلیم ۳ (مشهد)  
در هفت ماه اول سال

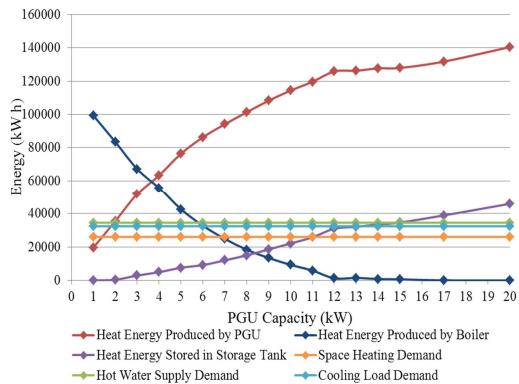
ضریب هزینه (ریال به ازای هر کیلووات ساعت)	دامنه مصرف (متر مکعب)
۷۰۰	۰-۴۵
۹۰۰	۴۶-۹۵
۱۲۰۰	۹۶-۱۴۵
۱۶۰۰	۱۴۶-۱۹۵
۲۰۰۰	۱۹۶-۲۴۵
۲۲۰۰	۲۴۶-۲۹۵
۲۵۰۰	۲۹۶-۳۴۵
۲۸۰۰	۳۴۶-۳۹۵
۳۰۰۰	۳۹۶-۴۴۵
۳۲۰۰	۴۴۶-۴۹۵
۳۴۰۰	۴۹۶-۵۴۵
۳۵۰۰	۵۴۵
بیشتر از	۵۴۵

در شکل ۸ نمودار برق بهینه تولید شده در یک سال توسط ظرفیت های مختلف واحد تولید نوان رسم شده است. با افزایش ظرفیت، میزان برق بهینه تولید شده نیز افزایش می‌یابد و تقریباً بعد از ظرفیت ۱۲ کیلووات میزان تولید ثابت شده و واحدهای تولید نوان با ظرفیت بالاتر در بهینه ترین حالت نیز همان مقدار برق مشخص را تولید می‌کنند. همچنین میزان برق بهینه وارد شده از شبکه برق با افزایش ظرفیت به شدت افت کرده و بعد از ظرفیت ۴ کیلووات ثابت می‌ماند. میزان فروش به شبکه برق تا ظرفیت ۴ کیلووات برابر صفر است و سپس به تدریج افزایش یافته و به مقدار ثابتی میل می‌کند.

مقدار حرارت بهینه تولید شده (بازیافت شده) توسط واحدهای تولید نوان در یک سال، با افزایش ظرفیت افزایش می‌یابد و شیب این افزایش، بعد از ظرفیت ۱۲ کیلووات کاهش می‌یابد، همان طور که در شکل ۹ نشان داده می‌شود. همچنین میزان حرارت بهینه تولید شده توسط بویلر بعد از ظرفیت نامی ۱۲ کیلووات واحد تولید نوان، تقریباً برابر صفر است و دیگر نیاز به بویلر برای این ظرفیت واحد تولید نوان نمی‌باشد. در این شکل می‌توان اهمیت ذخیره‌سازی حرارت تولیدی مازاد بر نیاز را مشاهده نمود، که با در نظر گرفتن مخزنی برای ذخیره‌سازی آن به عنوان آب گرم، برای استفاده مجدد در گام زمانی بعدی (ساعت بعد)، مقدار زیادی در انرژی و هزینه صرفه‌جویی نمود. و باعث کاهش میزان حرارت تولید شده توسط واحد تولید نوان و بویلر و در نتیجه کاهش مصرف انرژی شد.



شکل ۸- انرژی الکتریکی بهینه تولید شده توسط واحدهای تولید نوان مختلف، برق وارد شده از شبکه برق، برق صادر شده به شبکه برق و تقاضای برق، در طول یک سال بر حسب ظرفیت نامی واحد تولید نوان

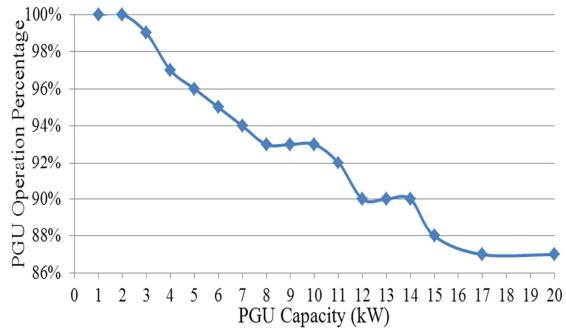


شکل ۹- انرژی حرارتی بهینه تولید شده توسط واحدهای تولید نوان مختلف و بویلر و انرژی حرارتی ذخیره شده، تقاضای بار گرمایش ساختمان، تقاضای آب گرم مصرفی و تقاضای سرمایش ساختمان در طول یک سال بر حسب ظرفیت نامی واحد تولید نوان

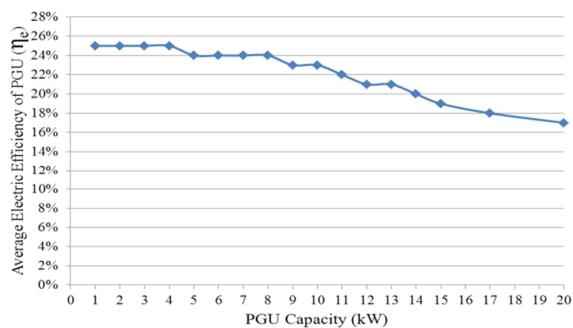
جدول ۴- گاز طبیعی برای مصارف مسکونی در اقلیم ۳ (مشهد) در پنج ماه آخر سال

ضریب هزینه (ریال بهاری هر کیلووات ساعت) (متر مکعب)	دامنه مصرف
۳۰۰	۰-۲۰۰
۵۰۰	۲۰۱-۳۰۰
۷۰۰	۳۰۱-۴۰۰
۹۰۰	۴۰۱-۵۰۰
۱۱۰۰	۵۰۱-۶۰۰
۱۶۰۰	۶۰۱-۷۰۰
۱۹۰۰	۷۰۱-۸۰۰
۲۲۰۰	۸۰۱-۹۰۰
۲۵۰۰	۹۰۱-۱۰۰۰
۲۸۰۰	۱۰۰۱-۱۱۰۰
۳۲۰۰	۱۱۰۱-۱۲۰۰
۳۵۰۰	۱۲۰۰
بیشتر از	

همان طور که مشخص است با افزایش ظرفیت، درصد فعالیت واحد تولید نوان کاهش می‌یابد و همچنین عدم فعالیت ظرفیت های بالاتر، در طول سال بهینه‌تر است. شکل ۷ متوسط راندمان الکتریکی بهینه واحد تولید نوان در طول یک سال را نشان می‌دهد که تا ظرفیت نامی ۸ کیلووات، سیستم در حد اکثر توان راندمان الکتریکی خود فعالیت می‌کند و پس از آن راندمان با افزایش ظرفیت تا مقدار ۱۷٪، برای ظرفیت ۲۰ کیلووات، کاهش می‌یابد.



شکل ۶- درصد فعالیت بهینه واحدهای تولید نوان مختلف در سال بر حسب ظرفیت نامی واحد تولید نوان



شکل ۷- متوسط راندمان الکتریکی بهینه واحدهای تولید نوان مختلف در سال بر حسب ظرفیت نامی واحد تولید نوان

اولیه واحد تولید توان، هزینه تعمیرات و نگهداری واحد تولید توان، هزینه اولیه مبدل‌های حرارتی، اختلاف هزینه اولیه بویلرها و اختلاف هزینه تعمیرات و نگهداری بویلرها (به دلیل تفاوت ظرفیت بویلرها در سیستم تولید همزمان و تولید مجزا) می‌باشد، پس رابطه (۱۴) به صورت رابطه (۱۵) بازنویسی می‌شود:

$$F_t = [C_{PGU} + C_{BoilerCCHP} + C_{HE} - C_{BoilerCONV}] + [MC_{CCHP} + MC_{BoilerCCHP} - MC_{BoilerCONV}] + [-ECD(t)] + [C_{Other}] \quad (15)$$

که  $ECD(t)$  طبق رابطه (۹)،  $C_{PGU}$  هزینه اولیه واحد تولید توان از رابطه (۱۶) [۱۴]،  $C_{BoilerCONV}$  هزینه اولیه بویلرها از رابطه (۱۷) [۱۴]،  $C_{HE}$  هزینه اولیه مبدل‌های حرارتی طبق مرجع [۲۳]،  $MC_{CCHP}$  هزینه تعمیرات و نگهداری واحد تولید توان از رابطه (۱۸) [۱۴]،  $MC_{BoilerCONV}$  هزینه  $MC_{BoilerCCHP}$  و  $MC_{BoilerCONV}$  هزینه تعمیرات و نگهداری بویلرها از رابطه (۱۹) [۱۴] بدست می‌آیند. همچنین سایر هزینه‌ها مانند هزینه مخزن برای ذخیره کردن حرارت به صورت آب گرم برای استفاده در گام زمانی بعدی بین ۰/۵ تا ۱ میلیون تومان در نظر گرفته شده و هزینه پست برق برای فروش برق به شبکه بین ۱ تا ۱۰ میلیون تومان فرض شده‌اند.

$$C_{PGU} = (-138.7 \times \ln(EI_{nom,PGU}) + 1727.1) \times EI_{nom,PGU} \quad (16)$$

$$C_{BoilerCCHP} = C_{BoilerCONV} = 205 \times Q_{Boiler}^{0.87} \quad (17)$$

$$MC_{PGU} = 0.1696 \times EI_{nom,PGU}^{0.8} \times (1 - 0.6875 \times j) \quad (18)$$

$$MC_{BoilerCCHP} = MC_{BoilerCONV} = 0.0027 \times Q_{Boiler} \quad (19)$$

در روابط بالا  $EI_{nom,PGU}$  ظرفیت حرارتی بویلر می‌باشد.

حال با فرض سود سالیانه  $AECS$  و هزینه سالیانه تعمیرات و نگهداری  $AMC$  به ترتیب به صورت روابط (۲۰) و (۲۱) خواهیم داشت:

$$\sum_{t=0}^{8760} ECD(t) = AECS \left[ \frac{IRR}{Year} \right] \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \sum_{t=0}^{8760} (MC_{PGU} + MC_{BoilerCCHP} - MC_{BoilerCONV}) \\ = AMC \left[ \frac{IRR}{Year} \right] \end{aligned} \quad (21)$$

و با جاگذاری روابط (۱۵) تا (۲۱) در رابطه (۱۲) و برابر صفر قرار دادن آن، به رابطه (۲۲) خواهیم رسید:

$$C_{PGU} + C_{BoilerCCHP} + C_{HE} - C_{BoilerCONV} + SPB \times (AMC - AECS) + C_{Other} = 0 \quad (22)$$

با ساده‌سازی روابط (۲۲)، بازگشت سرمایه ساده به صورت رابطه (۲۳) بدست خواهد آمد:

$$SPB = \frac{(C_{PGU} + C_{BoilerCCHP} + C_{HE} - C_{BoilerCONV} + C_{Other})}{(AECS - AMC)} \quad (23)$$

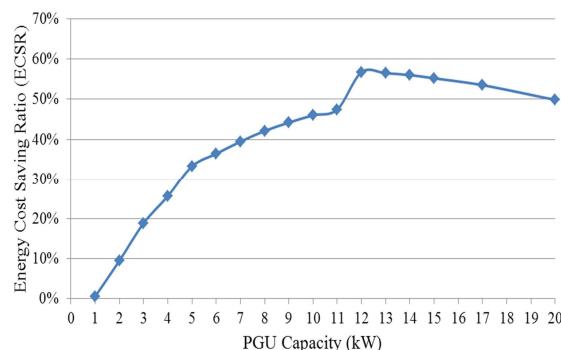
شکل (۱۱) بازگشت سرمایه را برای ظرفیت‌های مختلف واحد تولید توان نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود برای یک ساختمان خانگی نمونه، سیستم ۵ کیلووات با ۲/۳ سال، بهترین بازگشت سرمایه را دارد و نقطه کمینه نموداری سهموی می‌باشد. بنابراین همانطور که مشخص شد، سیستم ۱۲ کیلووات بیشترین

میزان صرفه‌جویی در هزینه انرژی ( $t$ ) ECD و نسبت صرفه‌جویی در هزینه انرژی ( $t$ ) ECDR به ترتیب به صورت روابط (۱۰) و (۱۱) بیان می‌گردد. این نسبت به صورت اختلاف هزینه انرژی در سیستم تولید همزمان و سیستم تولید مجزا، به هزینه انرژی در سیستم تولید مجزا تعريف می‌شود:

$$ECD(t) = EC_{CONV}(t) - OEC_{CCHP}(t) \quad (10)$$

$$ECDR(t) = \frac{ECD(t)}{EC_{CONV}(t)} \times 100 \quad (11)$$

در شکل (۱۰) نمودار نسبت صرفه‌جویی در هزینه انرژی برای ظرفیت‌های مختلف واحد تولید توان در طول یک سال رسم گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ظرفیت، ابتدا نمودار روند صعودی داشته و سپس روند نزولی پیدا می‌کند. واحد تولید توان ۱۲ کیلووات با ۵۷٪، بیشترین مقدار صرفه‌جویی در هزینه انرژی را دارد.



شکل ۱۰- نمودار نسبت صرفه‌جویی در هزینه انرژی در طول یک سال بر حسب ظرفیت نامی واحد تولید توان

بازگشت سرمایه ساده سیستم تولید همزمان طبق رابطه (۱۲) محاسبه شده است [۲۲]:

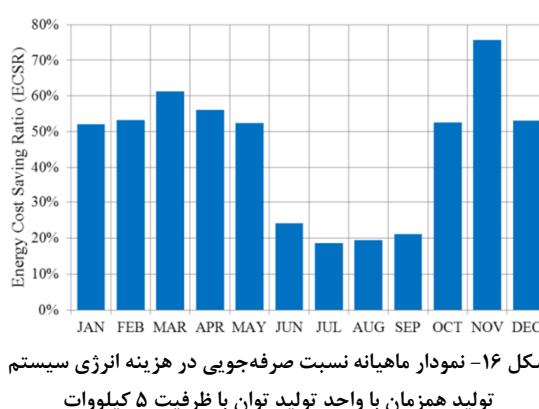
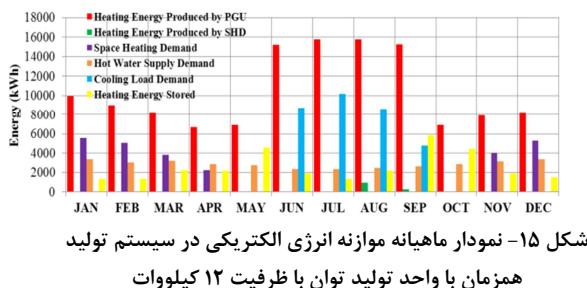
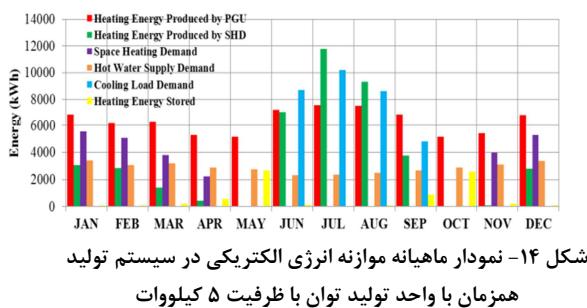
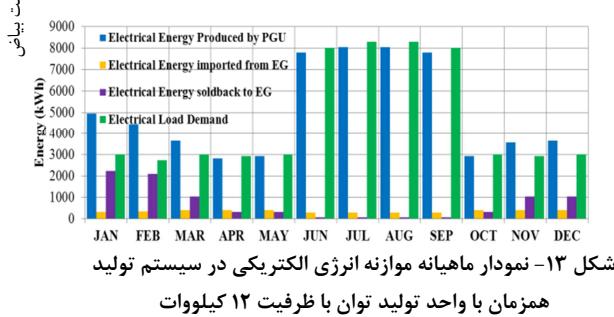
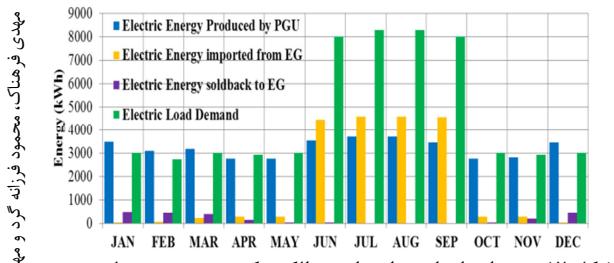
$$\sum_{t=0}^{t_{min}} F_t = SPB \sum_{t=0}^{t_{min}} F_t \geq 0 \quad (12)$$

که  $F_t$  جریان خالص هزینه در هر گام زمانی است که شامل هزینه انرژی، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه تعمیرات و نگهداری می‌باشد.  $SPB$  مقدار دوره بازگشت سرمایه ساده بوده که حداقل زمان لازم برای صفر شدن رابطه (۱۲) می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت:

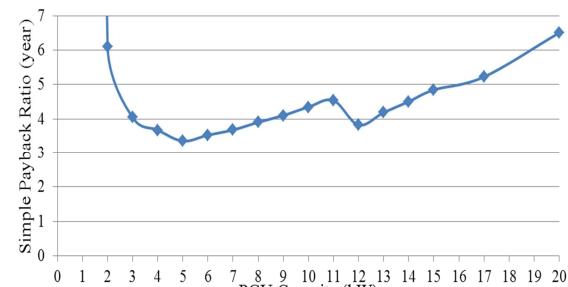
$$F_t = [IC_{CCHP} + MC_{CCHP} + OEC_{CCHP}(t)] - [IC_{CONV} + MC_{CONV} + EC_{CONV}(t)] \quad (13)$$

$$F_t = [IC_{CCHP} - IC_{CONV}] + [MC_{CCHP} - MC_{CONV}] + [OEC_{CCHP}(t) - EC_{CONV}(t)] \quad (14)$$

که  $IC_{CONV}$ ،  $MC_{CCHP}$  و  $OEC_{CCHP}(t)$  به ترتیب هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم تولید همزمان، هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم تولید همزمان، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم تولید مجزا و هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم تولید مجزا می‌باشد. از آنجا که سیستم تولید همزمان و بهینه‌سازی آن بر روی یک سیستم تولید مجزای موجود، نصب شده است بنابراین اختلاف هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بین سیستم تولید همزمان و تولید مجزا، شامل هزینه



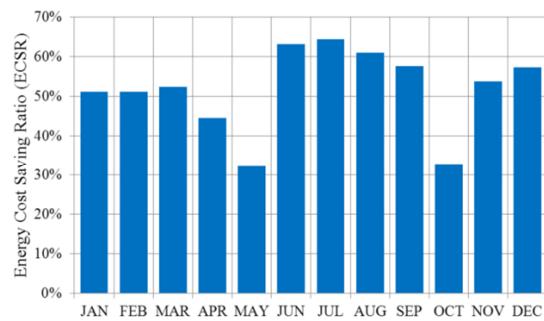
مقدار صرفه‌جویی در هزینه انرژی را داشته و همچنین بهترین ظرفیت در نمودار انرژی الکتریکی و حرارتی (شکل‌های ۸ و ۹) می‌باشد که به نوعی استقلال سیستم از شبکه برق و بویلر را نشان می‌دهد. همچنین سیستم ۵ کیلووات کمترین مقدار بازگشت سرمایه را دارد.



برای بررسی دقیق‌تر، نمودارهای ماهیانه بالا نسخه انرژی الکتریکی، انرژی حرارتی و نسبت صرفه‌جویی در هزینه انرژی برای ظرفیت‌های ۵ و ۱۲ کیلووات، به ترتیب در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ نشان داده شده است. نمودار ماهیانه بالا نسخه انرژی الکتریکی شامل مقدار برق تولید شده توسط واحد تولید توان، برق وارد شده از / صادر شده به شبکه برق و تقاضای برق ساختمان می‌باشد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). نمودار ماهیانه بالا نسخه انرژی حرارتی شامل مقدار انرژی حرارتی تولید شده توسط واحد تولید توان و بویلر، انرژی حرارتی ذخیره شده و تقاضاهای سرمایش، گرمایش و آب گرم مصرفی می‌باشد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). همان طور که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ دیده می‌شود، سیستم ۵ کیلووات در ماههای غیرگرم به خوبی تقاضای برق را پوشش می‌دهد و بهینه‌تر این است که در ماههای غیرگرم فقط کسری از برق از شبکه وارد شود. در حالی که سیستم ۱۲ کیلووات در تمامی ماهها تقاضای برق را بخوبی پوشش می‌دهد و نیازی به وارد کردن برق تقریباً در هیچ ماهی نیست.

از نمودارهای موازنۀ انرژی حرارتی می‌توان دریافت که میزان ذخیره‌سازی انرژی در سیستم‌های با ظرفیت بیشتر، در اکثر ماههای سال بیشتر است. همچنین در سیستم ۱۲ کیلووات در هیچ ماهی نیازی به استفاده از بویلر برای پشتیبانی نمی‌باشد در حالی که در سیستم ۵ کیلووات، بویلر سهم بیشتری در تولید انرژی در ماههای گرم دارد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

همچنین با توجه به شکل‌های ۱۶ و ۱۷ می‌توان دریافت که میزان نسبت صرفه‌جویی در هزینه انرژی در سیستم ۵ کیلووات در ماههای گرم به کمترین مقدار خود می‌رسد ولی سیستم ۱۲ کیلووات تقریباً در تمامی ماههای سال به غیر ماههای نه گرم نه سرد (می و اکتبر) تقریباً مقدار متناظر بیشتری نسبت به سیستم ۵ کیلووات دارد.



شکل ۱۷- نمودار ماهیانه نسبت صرفه‌جویی در هزینه انرژی سیستم تولید همزمان با واحد تولید توان با ظرفیت ۱۲ کیلووات

- residential applications, Applied Thermal Engineering, Vol. 27, pp. 848–861, 2007.
- [8] Masood Ebrahimi , Ali Keshavarz, Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system by multi-criteria sizing method for different climates, Volume 54, 1 June 2013, Pages 291–301.
- [۹] مهدی معرفت، پیام شفیعی، طراحی سیستم CCHP برای ساختمان های اداری در تهران و ارزیابی ترمودینامیکی، زیست محیطی و اقتصادی آن نسبت به سیستم مرسوم، مجله مهندسی مکانیک مدرس، شهریور ۱۳۹۳، دوره ۱۴، شماره ۶، ص ص ۱۲۴-۱۳۴.
- [۱۰] معرفت، پیام شفیعی، ارزیابی چند معیاره سیستم CCHP تحت استراتژی های عملکرد مختلف برای یک ساختمان اداری در تهران با تکنیک AHP، مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۳، دوره ۱۴، شماره ۸، ص ص ۴۸-۳۷.
- [۱۱] فاطمه توکلی دستجرد، محمد مصطفی غفوریان، سعید فراحت، مقایسه تاثیر انتخاب بهینه سازی زیست محیطی و بهینه سازی چند معیاره؛ انرژی، اقتصادی و زیست محیطی بر عملکرد سیستم CCHP ، مجله مهندسی مکانیک مدرس، آذر ۱۳۹۴، دوره ۱۵، شماره ۹، ص ص ۶۹-۷۷.
- [۱۲] هادی جعفری، علی بهبهانی نیا، امین انگارنویس، بهینه سازی دوهدفه تولید گرمایش از تلقان نیروگاه های سیکل ترکیبی، مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۱، دوره ۱۲، شماره ۴، ص ص ۱۲۰-۱۳۲.
- [۱۳] محمدرضا عصاری، افشین قنبرزاده، سید سجاد موسوی اصل، احسان طاهری پور، بهینه سازی ترمودینامیکی پارامترهای عملکردی سیکل تولید همزمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک، شریه تدبیل انرژی، پاییز ۱۳۸۹، دوره ۱، شماره ۲، ص ص ۱۷-۲۳.
- [14] Sanaye S., Mohammadi Nasab A., Modeling and optimizing a CHP system for natural gas pressure reduction plant, Energy, Vol. 40, pp. 358–369, 2012.
- [۱۵] طباطبائی، مهندس سید مجتبی، محاسبات تاسیسات ساختمان، چاپ دوم، انتشارات روزبهاران، تهران، ۱۳۷۱.
- [۱۶] شایقی، حسین، خلاصه مباحث تأسیسات برقی به انضمام مجموعه سوالات آزمونهای تأسیسات برقی نظام مهندسی ساختمان (با پاسخ تشریحی) از اولین دوره تا سال ۸۲، چاپ اول، موسسه فرهنگی یاوریان (انتشارات)، ۱۳۸۳.
- [17] Farzaneh-Gord M., Arabkoohsar A., Feasibility of employing solar energy in natural gas pressure drop stations, Journal of the Energy Institute, Vol. 84, pp. 165-173, 2011.
- [18] Weather Forecast & Reports - Long Range & Local, <http://www.wunderground.com>.
- [۱۹] شرکت ملی گاز ایران. [www.nigc.ir](http://www.nigc.ir)
- [۲۰] شرکت گاز استان خراسان رضوی <http://www.nigc-khrz.ir>
- [۲۱] پورتال وزارت نیرو. [www.moe.org.ir](http://www.moe.org.ir)
- [22] Educogen, The European educational tool on cogeneration, University of Dundee, December 2001.
- [23] <http://www.blueridgecompany.com/hydronic/heat-exchangers/flat-plate-exchangers/101>.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی، عملکرد سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق با موتور گازسوز با ایجاد تغییر ساختار در یک سیستم تولید مجزا، در یک ساختمان مسکونی نمونه، از لحاظ اقتصادی با آن مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. الگوریتم در هر گام زمانی بهینه‌ترین شرایط عملکرد را برای سیستم تولید همزمان تعریف می کند به طوری که کمترین هزینه انرژی ممکن را در آن گام زمانی، با توجه به تقاضاهای بار سرمایش، گرمایش، آب گرم مصرفی و برق، داشته باشد. همچنین برای یافتن طرفیت بهینه واحد تولید توان، این الگوریتم برای طرفیت های مختلف واحد تولید توان بین ۱ کیلووات تا ۲۰ کیلووات به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که از لحاظ نسبت صرفه جویی در هزینه انرژی، سیستم تولید همزمان ۱۲ کیلووات، با بیشترین مقدار نسبت صرفه‌جویی در انرژی را دارد و از لحاظ بازگشت سرمایه، سیستم تولید همزمان ۵ کیلووات، با ۳/۲ سال کمترین اندازه بازگشت سرمایه را دارد.

#### ۵- مراجع

- [1] Deng J., Wang R.Z., A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 37, pp. 172-203, 2011.
- [2] Heejin Cho, Rogelio Luck, Cost-optimized real-time operation of CHP systems, Energy and Buildings, Vol. 41, pp. 445–451, 2009.
- [3] Mississippi Micro-CHP and Bio-fuel Center, Cooling, Heating, and Power for Buildings (CHP-B) Instructional Module, Mississippi State, MS, USA, 2005, <http://microchp.msstate.edu/index.php>, [http://microchp.msstate.edu/pdf/chp-b\\_instructional\\_module.pdf](http://microchp.msstate.edu/pdf/chp-b_instructional_module.pdf).
- [4] Mississippi Micro-CHP and Bio-fuel Center, Micro-Cooling, Heating, and Power Instructional Module, Mississippi State, MS, USA, 2005, [http://www.chpcenterse.org/pdfs/CHP\\_Brochure.pdf](http://www.chpcenterse.org/pdfs/CHP_Brochure.pdf), <http://microchp.msstate.edu/pdf/m-CHP%20Instructional%20Module.pdf>.
- [5] Hui Li, Lin Fu, Energy utilization evaluation of CCHP systems, Energy and Buildings, 38, 2006, pp. 253–257.
- [6] Hongbo Ren., Weijun Gao., Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan, Energy and Buildings, Vol. 42, pp. 853–861, 2010.
- [7] Hyacinth I., Onovwiona V., Ismet Ugursal, Modeling of internal combustion engine based cogeneration systems for