



ارزیابی چندمعیاره سیستم CCHP تحت استراتژی‌های عملکرد مختلف برای یک ساختمان اداری در تهران با تکنیک AHP

مهدی معرفت^{*}، پیام شفیع^۲

۱- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* maerefat@modares.ac.ir، ۱۴۱۵-۱۴۳، صندوق پستی

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۱۵ دی ۱۳۹۲

پذیرش: ۰۳ اسفند ۱۳۹۲

ارائه در سایت: ۰۸ شهریور ۱۳۹۳

کلید واژگان:

تولید همزمان

ساختمان اداری

ارزیابی جامع

استراتژی تأمین بار الکتریکی

استراتژی تأمین بار حرارتی

چکیده

در این مقاله، به ارزیابی چند معیاره سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما تحت دو استراتژی تأمین بار الکتریکی و تأمین بار حرارتی نسبت به سیستم تولید جداگانه، برای یک ساختمان اداری در تهران پرداخته شده است. در استراتژی تأمین بار حرارتی، دو حالت عدم فروش و فروش برق به شبکه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. معیارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی اولیه، کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن، کاهش هزینه عملکرد و نرخ بازگشت سرمایه، به منظور ارزیابی سیستم تولید همزمان، برای یک ساختمان اداری نمونه دارای ویژگی‌های عموم ساختمان‌های اداری کشور، به کار گرفته شده‌اند. نهایتاً به منظور انتخاب مناسب‌ترین حالت عملکرد سیستم تولید همزمان با در نظر گرفتن تمام معیارها، از تکنیک AHP استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که، از لحاظ انرژی و زیست محیطی، بهترین حالت عملکرد سیستم تولید همزمان، استراتژی تأمین بار حرارتی با فروش برق به شبکه می‌باشد در حالی که بیشترین مقدار نرخ بازگشت سرمایه، مربوط به استراتژی تأمین بار الکتریکی می‌باشد. برای تمامی حالت‌های عملکرد، سیستم تولید همزمان در تمامی ماه‌های سال دارای هزینه‌های عملکرد کمتری نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌باشد. همچنین ارزیابی چندمعیاره به وسیله تکنیک AHP نشان می‌دهد که، بهترین استراتژی عملکرد سیستم تولید همزمان، استراتژی تأمین بار حرارتی با فروش برق به شبکه می‌باشد. اما اگر شرایط فروش برق به شبکه مهیا نباشد، استراتژی تأمین بار الکتریکی در اولویت است.

Multi-criteria evaluation of CCHP system under different operating strategies for an office building in Tehran using AHP method

Mehdi Maerefat*, Payam Shafie

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

* P.O.B. 14115-143, Tehran, Iran, maerefat@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 05 January 2014
Accepted 22 February 2014
Available Online 30 August 2014

Keywords:
CCHP
Office Building
Multi-Criteria Analysis
Thermal Demand Management
Electrical Demand Management

ABSTRACT

In this article, a mathematical analysis of a CCHP system following electrical demand management and thermal demand management in comparison to separate heat and power system for an office building in Tehran is presented. In the thermal demand management, two modes including with selling electricity to grid and without selling electricity to grid are investigated. In order to have a comprehensive evaluation of the performance of the CCHP system, four criteria including primary energy saving, CO₂ emission reduction, operational cost reduction and rate of return are employed for a typical office building in Iran. Also the AHP method is used to specify the best operation mode of the CCHP system when all of the criteria are involved. Results show that from the energy and environmental viewpoints, the CCHP system following thermal demand management with selling electricity to the grid is the best operation mode. But the CCHP system following electrical demand management has the maximum rate of return. For the all of the operation modes, the CCHP system has lower operational cost than SHP system throughout the year. From an integrated view point, the CCHP system following thermal demand management with selling electricity to the grid is the most attractive option.

۱- مقدمه

سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما، سیستم تأمین کننده انرژی است که در آن انرژی الکتریکی مورد نیاز در محل، به وسیله یک محرک اولیه^۲ تولید می‌شود و حرارت اتلافی از محرک اولیه به منظور تأمین گرمایش، آب گرم مصرفی و سرمایش بازیاب می‌شود. از طریق بازیاب حرارت

استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و سرما^۱، یکی از مهم‌ترین راهکارهای شناخته شده در جهان در حل مشکلات مرتبط با انرژی شامل افزایش تقاضای انرژی، افزایش هزینه‌های انرژی و نگرانی‌های زیست محیطی می‌باشد [۱].

2- Prime mover

1- Combined Cooling Heating and Power (CCHP)

Please cite this article using:

M. Maerefat, P. Shafie, Multi-criteria evaluation of CCHP system under different operating strategies for an office building in Tehran using AHP method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 8, pp. 37-48, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

AHP^۵ استفاده شده است. در استراتژی تأمین بار حرارتی، دو حالت فروش و عدم فروش برق به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور محاسبات تقاضای انرژی در ساختمان، شرایط آب و هوایی شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- مدل سیستم تولید همزمان و سیستم تولید جداگانه

در این بخش، روابط حاکم به منظور مدل‌سازی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما و سیستم تولید جداگانه ارائه شده است.

۲-۱- سیستم تولید جداگانه

شکل ۱ دیاگرام جریان انرژی را در سیستم تولید همزمان نشان می‌دهد. در سیستم تولید جداگانه (سیستم تأمین انرژی متداول)، انرژی الکتریکی مورد نیاز ساختمان، E_{grid}^{shp} ، از طریق برق شبکه تأمین می‌شود. بار حرارتی ساختمان، Q_h ، از طریق بویلر گازسوز تأمین شده و به وسیله کویل حرارتی^۶ به مصرف کنندگان انتقال می‌یابد. فرض شده است که بار سرمایشی، Q_c ، از طریق چیلر تراکمی تأمین می‌شود.

$$E_{grid}^{shp} = E_{req} + E_c \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، E_c انرژی الکتریکی مورد نیاز برای چیلر تراکمی است که از رابطه (۲) قابل محاسبه می‌باشد.

$$E_c = \frac{Q_c}{COP_e} \quad (۲)$$

حرارت مورد نیاز برای کویل حرارتی، به منظور تأمین بار حرارتی ساختمان از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$Q_{hc} = \frac{Q_h}{\eta_{hc}} \quad (۳)$$

بنابراین سوخت مصرفی در بویلر، که حرارت مورد نیاز کویل حرارتی را تأمین می‌کند از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$F_b^{shp} = \frac{Q_{hc}}{\eta_b} \quad (۴)$$

۲-۲- سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما

شکل ۲ دیاگرام جریان انرژی را در سیستم تولید همزمان نشان می‌دهد. در سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما، سوخت در محرک اولیه مصرف شده تا تقاضای انرژی الکتریکی ساختمان را برآورده کند. حرارت بازیاب شده از محرک اولیه نیز برای تأمین گرمایش توسط کویل حرارتی و یا تأمین سرمایش توسط چیلر جذبی، استفاده می‌شود. با توجه به این که پرکاربردترین محرک اولیه سیستم‌های تولید همزمان مورد استفاده در کاربردهای بخش ساختمان، موتورهای گازسوز^۷ هستند [۱۱]، در این مطالعه، موتور گازسوز به عنوان محرک اولیه در نظر گرفته شده است.

عملکرد سیستم‌های تولید همزمان بسیار تحت تأثیر بار الکتریکی و بار گرمایشی ساختمان می‌باشد. طراحان سیستم‌های تولید همزمان، از استراتژی‌های عملکرد مختلفی به منظور تأمین تقاضای انرژی در ساختمان استفاده می‌کنند. دو استراتژی عملکرد اصلی سیستم‌های تولید همزمان عبارتند از استراتژی تأمین بار الکتریکی و استراتژی تأمین بار حرارتی [۴]. در ادامه، روابط حاکم به منظور مدل‌سازی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما تحت این دو استراتژی ارائه شده است.

اتلافی، سیستم CCHP می‌تواند به راندمان کل حدود ۶۰٪ تا ۹۰٪ برسد [۲]. یکی از بخش‌های کاربرد سیستم تولید همزمان، بخش ساختمان است، که این بخش در کشور ایران بیشترین سهم مصرف انرژی اولیه را به خود اختصاص داده است [۳]. برای سیستم‌های تولید همزمان، استراتژی‌های عملکرد مختلفی به منظور تأمین تقاضای انرژی در ساختمان وجود دارد. دو استراتژی اصلی سیستم‌های تولید همزمان عبارتند از استراتژی تأمین بار حرارتی^۱ و استراتژی تأمین بار الکتریکی^۲ [۴].

استفاده از سیستم تولید همزمان برای بخش ساختمان در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. دسته‌ای از محققان به طراحی سیستم تولید همزمان برای یک کاربرد خاص پرداختند. کاردونا و همکارانش [۵] به ارائه یک روش ابداعی برای محاسبه ظرفیت محرک اولیه بر مبنای تأمین بار حرارتی ساختمان، برای هتل‌های اروپا پرداختند.

دسته‌ای دیگر از محققان به ارزیابی سیستم تولید همزمان بر مبنای یک معیار ارزیابی خاص پرداختند. مانسولا و همکارانش [۶] به مقایسه سیستم تولید همزمان برپایه موتور گازسوز و توربین گاز بر مبنای معیار انتشار آلاینده دی اکسید کربن پرداختند.

ارزیابی سیستم تولید همزمان بر مبنای چند معیار مختلف بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. وانگ و همکارانش [۱] به ارزیابی فنی و زیست‌محیطی سیستم تولید همزمان بر پایه محرک اولیه میکروتوربین‌گازی تحت دو استراتژی اصلی، برای یک هتل در شهر پکن پرداختند.

دسته‌ای دیگر از مطالعات، علاوه بر ارزیابی چند معیار عملکرد سیستم تولید همزمان، به انتخاب مناسب‌ترین گزینه با در نظر گرفتن تمام معیارهای ارزیابی پرداختند. یکی از جامع‌ترین تکنیک‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای چندگانه، تکنیک AHP^۳ یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. از جمله مزایای این تکنیک می‌توان به امکان در نظر گرفتن معیارهای کیفی و کمی و همچنین امکان در نظر گرفتن ارزش متفاوت برای معیارهای ارزیابی، اشاره کرد [۷]. در مرجع [۸] با استفاده از تکنیک AHP، به تعیین سایز بهینه محرک اولیه در سیستم تولید همزمان برای ساختمان‌های مسکونی در ایران پرداخته شده است. در برخی دیگر از مقالات، از روش‌هایی ساده‌تر اما با قابلیت‌هایی کمتر نسبت به روش AHP، به منظور آنالیز چندمعیاره سیستم تولید همزمان استفاده شده است. به نحوی که در مرجع [۲]، ارزش تمامی معیارهای ارزیابی یکسان فرض شده و تنها با محاسبه مجموع مقادیر بی‌بعد شده گزینه‌های مورد ارزیابی، به انتخاب مناسب‌ترین محرک اولیه برای ساختمان‌های مسکونی در شانگهای پرداخته شده است.

براساس تحقیقات نگارنده، در کشور ایران مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی چندمعیاره سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما برای ساختمان‌های اداری گزارش نشده و اکثر مطالعات انجام شده در کشور، بر روی ساختمان‌های مسکونی صورت گرفته است [۸-۱۰].

در این مقاله، به ارزیابی چند معیاره سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما تحت دو استراتژی تأمین بار حرارتی و تأمین بار الکتریکی نسبت به سیستم تولید جداگانه^۴، برای ساختمان‌های اداری به عنوان ساختمان‌هایی با استفاده منقطع، پرداخته شده است. ارزیابی چند معیاره از نقطه نظر انرژی، زیست محیطی و اقتصادی انجام گرفته است. به منظور انتخاب مناسب‌ترین حالت عملکرد سیستم CCHP بر مبنای تمام معیارهای ارزیابی، از تکنیک

1- Thermal Demand Management (TDM)

2- Electrical Demand Management (EDM)

3- Analytic Hierarchy Process

4- Separate Heat and Power (SHP)

5- Analytic Hierarchy Process

6- Heating coil

7- Gas Engines

رابطه (۱۰) قابل محاسبه است.

$$Q_b = \begin{cases} Q_{\text{req}} - Q_{\text{rec}} & Q_{\text{req}} > Q_{\text{rec}} \\ 0 & Q_{\text{req}} \leq Q_{\text{rec}} \end{cases} \quad (10)$$

سوخت مصرفی بویلر کمکی، F_b^{cchp} ، از رابطه (۱۱) بدست می‌آید. رابطه (۱۲) کل سوخت مصرفی سیستم تولید همزمان را نشان می‌دهد.

$$F_b^{\text{cchp}} = \frac{Q_b}{\eta_b} \quad (11)$$

$$F_{\text{on-site}} = F_b^{\text{cchp}} + F_{\text{pgu}} \quad (12)$$

۲-۲-۲- سیستم CCHP تحت استراتژی تأمین بار حرارتی

در این استراتژی، حرارت بازایی از محرک اولیه با بار حرارتی مورد نیاز ساختمان تطبیق داده می‌شود و ممکن است انرژی الکتریکی تأمین شده توسط محرک اولیه برابر با انرژی الکتریکی مورد نیاز ساختمان نباشد. لذا در این استراتژی، امکان خرید برق از شبکه و یا فروش برق به شبکه وجود دارد. برای سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما تحت استراتژی تأمین بار حرارتی روابط زیر حاکم است:

در استراتژی تأمین بار حرارتی، مقدار حرارت بازایی از محرک اولیه نمی‌تواند از مقدار حداکثر حرارت قابل بازیاب از محرک اولیه $Q_{\text{rec}}^{\text{max}}$ بیشتر باشد (نحوه محاسبه حداکثر حرارت قابل بازیاب از محرک اولیه در بخش ۴ ارائه شده است). بنابراین حرارت اضافی مورد نیاز، می‌بایست توسط بویلر کمکی تأمین شود. رابطه (۱۳) تعادل انرژی حرارتی را نشان می‌دهد.

$$Q_b = \begin{cases} Q_{\text{req}} - Q_{\text{rec}}^{\text{max}} & Q_{\text{req}} > Q_{\text{rec}}^{\text{max}} \\ 0 & Q_{\text{req}} \leq Q_{\text{rec}}^{\text{max}} \end{cases} \quad (13)$$

بنابراین سوخت مصرفی در محرک اولیه، از رابطه (۱۴) قابل محاسبه است.

$$F_{\text{pgu}} = \frac{Q_{\text{rec}}}{\eta_{\text{rec}}(1 - \eta_{\text{pgu}})} \quad (14)$$

انرژی الکتریکی تأمین شده توسط موتور گازسوز از رابطه (۱۵) بدست می‌آید.

$$E_{\text{pgu}} = F_{\text{pgu}} \eta_{\text{pgu}} \quad (15)$$

سوخت مصرفی بویلر کمکی از رابطه (۱۱) و کل سوخت مصرفی سیستم تولید همزمان نیز از رابطه (۱۲) قابل محاسبه‌اند.

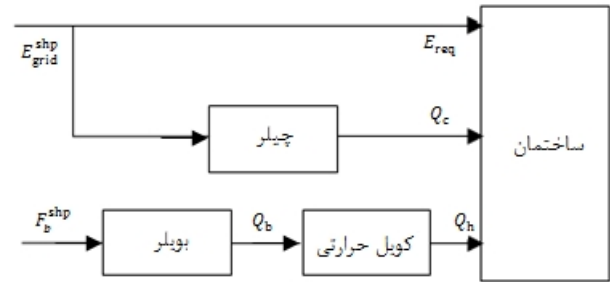
در استراتژی تأمین بار حرارتی، انرژی الکتریکی تأمین شده توسط محرک اولیه ممکن است برای تأمین تقاضای انرژی الکتریکی ساختمان اداری مبنا کافی نباشد و یا بیش از بار الکتریکی ساختمان باشد، لذا انرژی الکتریکی اضافی مورد نیاز، باید از طریق برق شبکه تأمین شود و می‌توان انرژی الکتریکی اضافی تولید شده، E_{exp} ، را به شبکه انتقال داد که از روابط (۱۶) و (۱۷) قابل محاسبه‌اند.

$$E_{\text{grid}}^{\text{cchp}} = \begin{cases} E_{\text{req}} - E_{\text{pgu}} & E_{\text{req}} > E_{\text{pgu}} \\ 0 & E_{\text{req}} \leq E_{\text{pgu}} \end{cases} \quad (16)$$

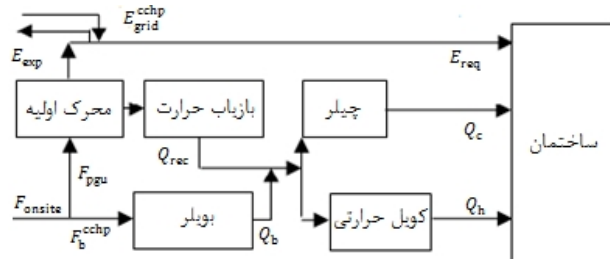
$$E_{\text{exp}} = \begin{cases} E_{\text{req}} - E_{\text{pgu}} & E_{\text{req}} > E_{\text{pgu}} \\ 0 & E_{\text{req}} \leq E_{\text{pgu}} \end{cases} \quad (17)$$

۳- ساختمان مبنا و محاسبات تقاضای انرژی

طراحی و عملکرد سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و سرما بسیار تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و تقاضای انرژی در ساختمان است. همان‌طور که در بخش ۱ اشاره شد، در این مقاله به منظور محاسبات تقاضای انرژی در ساختمان، شرایط آب و هوایی شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱- دیاگرام جریان انرژی در سیستم تولید جداگانه



شکل ۲- دیاگرام جریان انرژی در سیستم تولید همزمان

۲-۲-۱- سیستم CCHP تحت استراتژی تأمین بار الکتریکی

در این استراتژی عملکرد، تأمین بار الکتریکی ساختمان در اولویت است. بدین مفهوم که انرژی الکتریکی تولیدی توسط محرک اولیه، E_{pgu} ، با بار الکتریکی ساختمان، E_{req} ، تطبیق داده می‌شود و لذا ممکن است انرژی حرارتی بازیاب شده از محرک اولیه، Q_{rec} ، برابر با انرژی حرارتی مورد نیاز ساختمان، Q_{req} ، نباشد. امکان فروش برق به شبکه در این استراتژی وجود ندارد. لذا برای سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما تحت استراتژی تأمین بار الکتریکی روابط زیر حاکم است:

انرژی حرارتی مورد نیاز در ساختمان از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$Q_{\text{req}} = Q_{\text{hc}} + Q_{\text{ch}} \quad (5)$$

$$Q_{\text{ch}} = \frac{Q_c}{COP_{\text{ch}}} \quad (6)$$

نحوه محاسبه حداکثر توان الکتریکی محرک اولیه، $E_{\text{pgu}}^{\text{max}}$ ، در سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار الکتریکی، در بخش ۴ ارائه شده است. در این استراتژی، توان الکتریکی تولیدی توسط محرک اولیه نمی‌تواند از مقدار حداکثر محاسبه شده بیشتر باشد. لذا بار الکتریکی اضافی مورد نیاز، $E_{\text{grid}}^{\text{cchp}}$ ، طبق رابطه (۷) از طریق برق شبکه تأمین می‌شود.

$$E_{\text{grid}}^{\text{cchp}} = \begin{cases} E_{\text{req}} - E_{\text{pgu}}^{\text{max}} & E_{\text{req}} > E_{\text{pgu}}^{\text{max}} \\ 0 & E_{\text{req}} \leq E_{\text{pgu}}^{\text{max}} \end{cases} \quad (7)$$

سوخت مصرفی در محرک اولیه، F_{pgu} ، از رابطه (۸) قابل محاسبه می‌باشد.

$$F_{\text{pgu}} = \frac{E_{\text{pgu}}}{\eta_{\text{pgu}}} \quad (8)$$

بنابراین انرژی حرارتی قابل بازیاب از موتور گازسوز، Q_{rec} ، از رابطه (۹) بدست می‌آید.

$$Q_{\text{rec}} = \frac{E_{\text{pgu}} \eta_{\text{rec}} (1 - \eta_{\text{pgu}})}{\eta_{\text{pgu}}} \quad (9)$$

انرژی حرارتی بازیاب شده از محرک اولیه، ممکن است برای تأمین بار حرارتی ساختمان اداری مبنا کافی نباشد و یا بیش از آن باشد. لذا انرژی حرارتی اضافی مورد نیاز، Q_b ، باید از طریق بویلر کمکی تأمین شود که از

افراد حاضر در ساختمان اداری مبنا ۱۰۵ نفر در نظر گرفته شده است. ساعات اداری از ۸ تا ۱۷ در نظر گرفته شده است. ضریب انتقال حرارت برای دیوارهای خارجی و بام ساختمان به ترتیب برابر $1/9W/m^2K$ و $1/1W/m^2K$ می‌باشد. نسبت مساحت سطوح نورگذر به سطح دیوارهای خارجی برابر ۳۰٪، پنجره‌های ساختمان از جنس آلومینیوم و شیشه‌ها دوجداره در نظر گرفته شده‌اند.

تقاضای انرژی در یک ساختمان اداری شامل بار حرارتی گرمایش، بارحرارتی آب گرم مصرفی، بار سرمایش و بار الکتریکی می‌شود. به منظور محاسبه بار حرارتی آب گرم مصرفی در ساختمان، از رابطه (۱۸) استفاده شده است.

$$Q_{hw} = \rho_w C_w \dot{V} (T_2 - T_1) \quad (18)$$

که در رابطه (۱۸)، $\dot{V}$ ، میزان مصرف آب گرم بوده و برابر مقدار متوسط روزانه ۵ لیتر به ازای هر نفر برای ساختمان‌های اداری در نظر گرفته شده است [۱۳]. دمای آب گرم مورد نیاز، T_2 ، برابر $52^\circ C$ و دمای آب سرد، T_1 ، برابر با متوسط دمای هوای روزانه فرض شده و مصرف آب گرم به طور یکنواخت در ساعات اداری در نظر گرفته شده است.

به منظور محاسبه بارحرارتی و سرمایشی ساختمان اداری مبنا، از نرم‌افزار HAP4.5 استفاده شده است که بر این اساس، بارهای گرمایش و سرمایش در پانزدهمین روز از هر ماه در طی ۲۴ ساعت محاسبه و پانزدهمین روز هر ماه بیانگر مقادیر بار در دیگر روزهای ماه نیز می‌باشد.

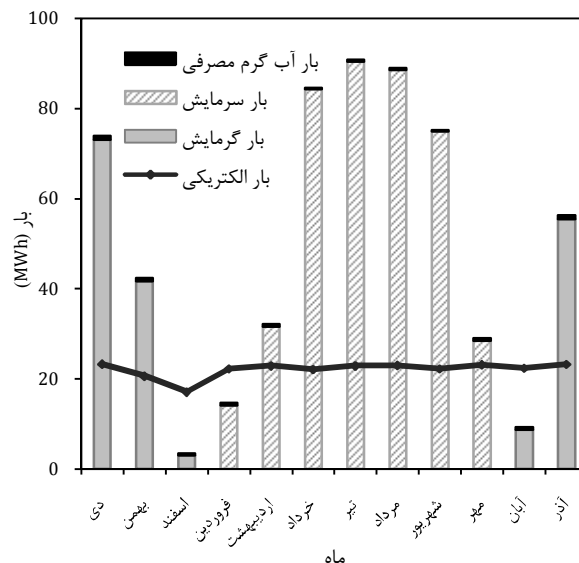
اصلی‌ترین تجهیزات الکتریکی در یک ساختمان اداری عبارتند از: روشنایی، کامپیوتر، پرینتر، فتوکپی، فاکس، اسکنر، یخچال و آب سردکن. توان مصرفی، ضریب همزمانی و تعداد هر یک از تجهیزات فوق، براساس شاخص‌های بدست آمده از مرجع [۱۴] در نظر گرفته شده‌اند. همچنین به منظور محاسبه توان پمپ سیرکولاسیون از رابطه (۱۹) استفاده شده است [۸]. در این رابطه H_{dem} و C_{dem} به ترتیب حداکثر بار حرارتی و سرمایشی را نشان می‌دهند.

$$w = 0.005 \max(H_{dem}, C_{dem}) \quad (19)$$

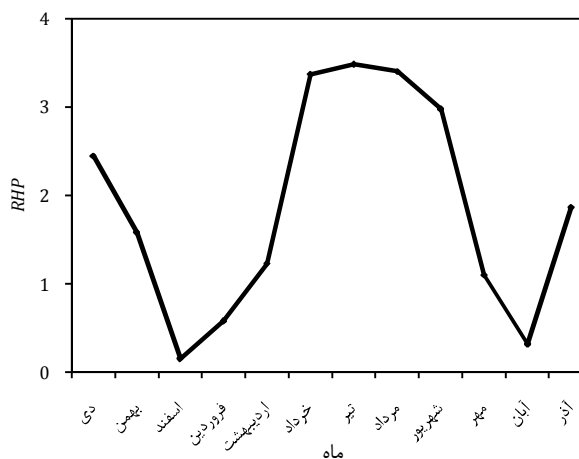
جدول ۱ توان مصرفی، تعداد و ضرایب همزمانی در نظر گرفته شده برای هر کدام از تجهیزات الکتریکی را نشان می‌دهد. پروفایل روزانه استفاده از تجهیزات الکتریکی برای ساختمان اداری طبق مرجع [۱۵] در نظر گرفته شده و همچنین به منظور محاسبه بار الکتریکی سالیانه، میزان روشنایی براساس ساعات طلوع و غروب خورشید در پانزدهمین روز از هر ماه برای شهر تهران تطبیق داده شده است [۱۶، ۹]. بدین ترتیب، شاخص مصرف انرژی الکتریکی سالانه ساختمان اداری مبنا برابر $66 kWh/m^2$ محاسبه شد. از آنجایی که طبق مرجع [۱۷] متوسط شاخص مصرف انرژی الکتریکی سالانه ساختمان‌های اداری در شهرهایی با نیاز انرژی متوسط مانند تهران برابر با $63 kWh/m^2$ می‌باشد، لذا محاسبات بار الکتریکی ساختمان از دقت مناسبی برخوردار است.

شکل ۳ مقادیر بار حرارتی گرمایش، آب گرم مصرفی، بار سرمایش و بار الکتریکی ساختمان را نشان می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین عوامل که مزایای سیستم تولید همزمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، نسبت حرارت به توان^۱ می‌باشد. نسبت حرارت به توان موتور گازسوز برابر $1/625$ می‌باشد. شکل ۴ نسبت حرارت به توان ساختمان به موتور گازسوز را، RHP، در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد که این مقادیر در بازه $0/15$ تا $3/5$ می‌باشند.



شکل ۳ بارهای الکتریکی، گرمایش، سرمایش و آب گرم مصرفی ساختمان در ماه‌های مختلف



شکل ۴ نسبت حرارت به توان ساختمان به موتور گازسوز

جدول ۱ مشخصات تجهیزات الکتریکی ساختمان اداری مبنا

نوع تجهیزات	توان مصرفی (W)	تعداد	ضریب همزمانی
روشنایی	۴۵	۱۰۰۰	۰/۹
کامپیوتر	۱۲۰	۸۲	۰/۷۵
پرینتر	۱۷۰	۴۰	۰/۵
اسکنر	۶۰	۸	۰/۵
فاکس	۲۰	۱۰	۱
فتوکپی	۴۱۰	۱۲	۰/۸
یخچال	۲۰۵	۲۰	۱
آب سردکن	۶۱۰	۱۰	۱

به منظور انتخاب یک ساختمان اداری مبنا با ویژگی‌های عموم ساختمان‌های اداری کشور، از اطلاعات مندرج در مرجع [۱۲] استفاده شده است که در آن، جامعه نمونه مناسبی از ساختمان‌های اداری کشور (۳۵۰ عدد) انتخاب و به ممیزی انرژی آنها پرداخته شده است. بر این اساس در این مقاله، محاسبات برای یک ساختمان اداری ۴ طبقه با زیربنای ۴۰۰۰ متر مربع انجام شده است. براساس اطلاعات مرجع [۱۲]، متوسط سرنانه خالص زیربنا برای ساختمان‌های اداری کشور، ۳۸ متر مربع به ازاء هر نفر می‌باشد. لذا تعداد

محرك اولیه بر اساس روش بزرگ‌ترین مستطیل، محاسبه شده است. با این تفاوت که در این استراتژی، منحنی تجمعی بار حرارتی مجموع^۲، که مجموعی است از بار حرارتی ساختمان و بار حرارتی مورد نیاز چیلر جذبی، برحسب تعداد ساعات سالانه رسم می‌شود. با مشخص کردن حداکثر مساحت تشکیل شده زیر منحنی (بزرگ‌ترین مستطیل)، حداکثر بار حرارتی که می‌بایست توسط محرك اولیه تأمین گردد، مشخص می‌شود. چنین مساحتی نشان دهنده حداکثر انرژی حرارتی است که سیستم می‌تواند سالانه در بار کامل تأمین کند. بار حرارتی مجموع ساختمان، ATL ، از رابطه (۲۰) قابل محاسبه است.

$$ATL = Q_h + Q_{hw} + \frac{Q_c}{COP_{ch}} \quad (20)$$

شکل ۶ منحنی تجمعی بار حرارتی مجموع را برای ساختمان اداری مبنا نشان می‌دهد.

مشخصات محرك اولیه که حاصل از طراحی به این روش می‌باشد، در بخش ۷-۱ ارائه شده است.

۵- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما نسبت به سیستم تولید جداگانه از نقطه نظر انرژی، زیست محیطی و اقتصادی، معیارهای ارزیابی به شرح زیر در نظر گرفته شده است.

۵-۱- معیارهای ارزیابی اقتصادی

عموماً به منظور ارزیابی اقتصادی سیستم‌های تولید همزمان، دو روش به کار گرفته می‌شود. این دو روش عبارتند از: ارزیابی استاتیکی^۳ و ارزیابی دینامیکی^۴. [۲]. ارزیابی استاتیکی، بر پایه معیارهایی است که در برگیرنده عمر مفید سیستم و نرخ بهره^۵ نمی‌باشند. ارزیابی دینامیکی، بر پایه معیارهایی است که در برگیرنده این دو عامل می‌باشند.

در این مطالعه، به منظور ارزیابی اقتصادی سیستم تولید همزمان، دو معیار درصد کاهش هزینه عملکرد و نرخ بازگشت سرمایه به ترتیب برای ارزیابی استاتیکی و دینامیکی به کار گرفته شده اند.

۵-۱-۱- درصد کاهش هزینه عملکرد^۶

درصد کاهش هزینه عملکرد از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود.

$$CR = \frac{Cost^{shp} - Cost^{cchp}}{Cost^{shp}} \quad (21)$$

هزینه عملکرد شامل خرید گاز طبیعی و برق از شبکه برای دو سیستم تولید همزمان و سیستم تولید جداگانه می‌شود. همچنین درحالت فروش برق به شبکه برای سیستم تولید همزمان، درآمد حاصل از فروش برق به شبکه نیز لحاظ شده است. هزینه عملکرد سیستم تولید جداگانه از رابطه (۲۲) بدست می‌آید.

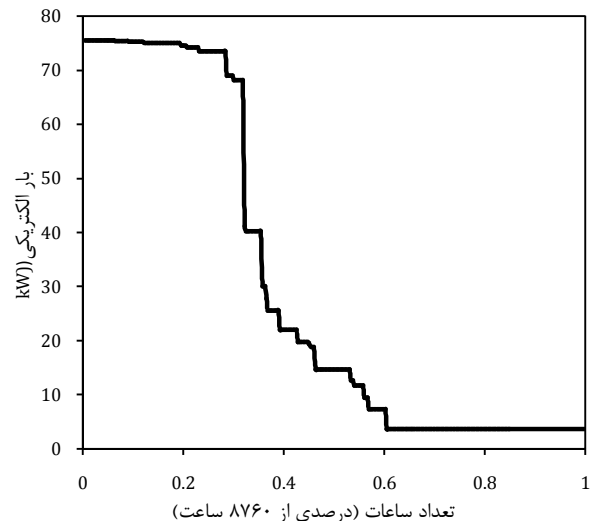
$$Cost^{shp} = Cost_e^{shp} F_b + Cost_f^{shp} F_b \quad (22)$$

هزینه عملکرد سیستم تولید همزمان در حالت عدم فروش برق به شبکه و حالت فروش برق به شبکه به ترتیب از روابط (۲۳) و (۲۴) قابل محاسبه است.

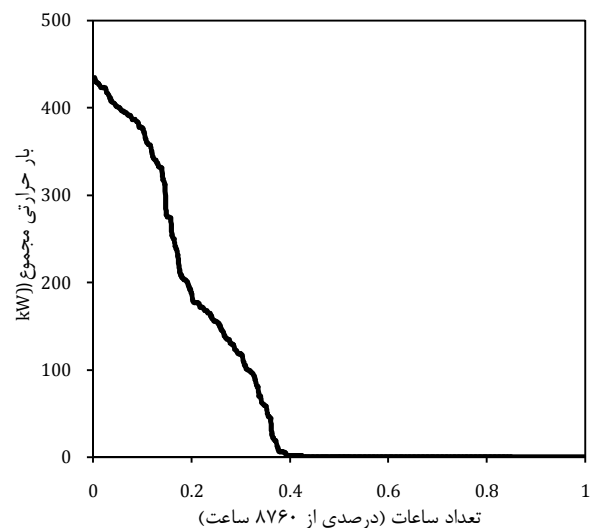
$$Cost^{cchp} = Cost_e^{cchp} F_{on-site} + Cost_f^{cchp} F_{on-site} \quad (23)$$

$$Cost^{cchp} = Cost_e^{cchp} F_{on-site} + Cost_f^{cchp} F_{on-site} - Cost_{exp}^{cchp} \quad (24)$$

براساس قوانین سال ۱۳۹۱ وزارت نیرو، نرخ پرداختی به ازاء هر کیلووات



شکل ۵ منحنی تجمعی بار الکتریکی برحسب تعداد ساعات



شکل ۶ منحنی تجمعی بار حرارتی مجموع برحسب تعداد ساعات

۴- روش محاسبه ظرفیت محرك اولیه

در این پژوهش، به منظور محاسبه ظرفیت تولید توان محرك اولیه در سیستم تولید همزمان، از یک روش بهینه استفاده شده است. این روش تحت عنوان روش بزرگ‌ترین مستطیل^۱ شناخته شده و در سال ۲۰۰۳ توسط کاردونا [۵] ارائه شده است. این روش از بزرگ یا کوچک بودن بیش از حد ظرفیت محرك اولیه جلوگیری می‌کند [۵].

برای سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار الکتریکی، در این روش به منظور طراحی ظرفیت محرك اولیه، منحنی تجمعی بار الکتریکی ساختمان برحسب تعداد ساعات سالانه رسم می‌شود. طوری که مقادیر بار الکتریکی از بیشینه به کمینه مرتب شده باشد. مساحت بزرگ‌ترین مستطیل زیر نمودار، مشخص کننده بیشینه انرژی الکتریکی تأمین شده در بار کامل توسط محرك اولیه است. عرض و طول بزرگ‌ترین مستطیل، به ترتیب مشخص کننده ظرفیت محرك اولیه و مدت زمان عملکرد سیستم تولید همزمان در بار کامل می‌باشند. شکل ۵ منحنی تجمعی بار الکتریکی ساختمان اداری مبنا را نشان می‌دهد.

برای سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار حرارتی نیز، ظرفیت

1- Maximum Rectangular Method (MRM)

2- Aggregated Thermal Load (ATL)

3- Static Analysis

4- Dynamic Analysis

5- Interest Rate

6- Operational Cost Reduction (CR)

۳-۵- معیار ارزیابی زیست محیطی

ارزیابی زیست محیطی سیستم تولید همزمان با استفاده از معیار درصد کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن^۴ انجام شده است، که این معیار از رابطه (۳۰) قابل محاسبه می‌باشد.

$$CDER = \frac{CDE^{shp} - CDE^{cchp}}{CDE^{shp}} \quad (30)$$

$$CDE^{shp} = \mu_e E_{grid}^{shp} + \mu_f F_b \quad (31)$$

$$CDE^{cchp} = \mu_e E_{grid}^{cchp} + \mu_f F_{on-site} \quad (32)$$

لازم به ذکر است که، در استراتژی تأمین بار حرارتی در حالت فروش برق به شبکه، در محاسبه PEC و CDE نیز انرژی الکتریکی خالص تأمین شده از شبکه لحاظ شده است. زیرا انرژی الکتریکی فروخته شده به شبکه جایگزین انرژی می‌شود که می‌بایست از طریق نیروگاه‌های کشور تولید شود [۴]. لذا به منظور محاسبه PEC و CDE برای سیستم تولید همزمان، در این حالت از روابط (۳۳) و (۳۴) استفاده شده است.

$$PEC^{cchp} = \frac{(E_{grid}^{cchp} - E_{exp})}{\eta_e^{shp} \eta_{grid}} + F_{on-site} \quad (33)$$

$$CDE^{cchp} = \mu_e (E_{grid}^{cchp} - E_{exp}) + \mu_f F_{on-site} \quad (34)$$

۶- ارزیابی چندمعیاره با تکنیک AHP

تکنیک AHP یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از جامع‌ترین تکنیک‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری براساس معیارهای چندگانه است. اساس این روش تصمیم‌گیری، بر پایه مقایسات زوجی نهفته است [۷]. در این مقاله، به منظور انتخاب مناسب‌ترین حالت عملکرد سیستم تولید همزمان برای تأمین انرژی ساختمان اداری مینا، از تکنیک AHP استفاده شده است. از جمله مزایای این تکنیک می‌توان به امکان در نظر گرفتن معیارهای کیفی و کمی و همچنین امکان در نظر گرفتن ارزش متفاوت برای معیارهای ارزیابی، اشاره کرد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل ۴ مرحله به شرح زیر می‌باشد.

۶-۱- ایجاد سلسله مراتبی

اولین مرحله در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد سلسله مراتبی مسئله است که از سطوح مختلفی تشکیل می‌شود. این سطوح به ترتیب عبارتند از: هدف، معیارها، زیرمعیارها^۵ و گزینه‌ها^۶. شکل ۷ شماتیکی از سلسله مراتبی مورد نظر در این پژوهش را نشان می‌دهد.

۶-۲- تعیین اهمیت معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، کلیه مقایسه‌ها به صورت زوجی (دوبه‌دویی) صورت می‌گیرد. میزان اهمیت هر کدام از معیارها نسبت به دیگر معیارها در ماتریس مقایسات زوجی به صورت رابطه (۳۵) نشان داده می‌شود.

$$PC = [PC_{ij}]_{n \times n} \quad (35)$$

در رابطه (۳۵)، PC_{ij} عبارت است از درجه اهمیت معیار i ام به معیار j ام. به منظور تعیین درجه اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر از جدول ۲ استفاده می‌شود [۲۲]. در ماتریس مقایسات زوجی، اهمیت معیار i ام به معیار j ام عکس اهمیت معیار j ام به معیار i ام می‌باشد.

از آنجا که به هنگام مقایسه گزینه‌ها، معیارهای مختلف دارای مقادیر

ساعت انرژی الکتریکی تولیدی توسط سیستم تولید همزمان که به شبکه فروخته می‌شود، برابر حداقل ۳۷۳ Rials/kWh می‌باشد [۱۸]. به علاوه، در محاسبه هزینه‌های مربوط به گاز طبیعی برای سیستم تولید همزمان، ۸۰٪ مصرف گاز با نرخ گاز طبیعی برای نیروگاه‌های دولتی کشور در نظر گرفته می‌شود [۱۸، ۸].

۵-۱-۲- نرخ بازگشت سرمایه^۱

نرخ بازگشت سرمایه، ROR ، نرخ سودی است که از طریق سرمایه گذاری در یک پروژه بدست می‌آید. با استفاده از این معیار، می‌توان توجیه پذیری اقتصادی یک طرح را در مقایسه با شرایط معمول سرمایه گذاری در کشور بدست آورد. به منظور توجیه پذیری اقتصادی یک طرح، می‌بایست نرخ بازگشت سرمایه بیش از نرخ بهره شود.

نرخ بازگشت سرمایه، نرخ سودی است که به ازای آن، شاخص ارزش فعلی خالص^۲ برابر صفر می‌شود و لذا از رابطه (۲۵) قابل محاسبه است.

$$\sum_{t=1}^n \frac{cf_t(1+j)^{t-1}}{(1+ROR)^t} - I_0 = 0 \quad (25)$$

جریان نقدینگی، طبق رابطه (۲۶) برابر با اختلاف درآمدها و هزینه‌های یک سال است.

$$cf_t = er_t - ex_t \quad (26)$$

هزینه سرمایه‌گذاری موتور گازسوز با در نظر گرفتن واحد بازیاب حرارت، برابر با ۹۵۰ \$/kW فرض شده است [۸]. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای بویلر، چیلر الکتریکی و چیلر جذبی به ترتیب برابر ۴۵ \$/kW، ۱۴۵ \$/kW و ۱۷۵ \$/kW در نظر گرفته شده است [۱۹]. هزینه‌های تعمیر و نگهداری محرک اولیه در سیستم‌های تولید همزمان، شامل مواردی همچون تعمیرات اساسی، تعویض قطعاتی مانند فیلتر هوا، بازرسی‌های متداول و نیروی کار انسانی می‌شود، براساس مرجع [۱۱] برای موتورهای گازسوز، هزینه تعمیر و نگهداری ۰/۰۱ \$/kWh در نظر گرفته شده است. براساس مراجع [۲۰، ۲۱] هزینه تعمیر و نگهداری برای بویلر ۰/۰۲۷ \$/kWh و برای چیلر تراکمی و چیلر جذبی ۱/۲ \$/kW و ۱/۷ \$/kW در ماه در نظر گرفته شده است. به منظور انجام محاسبات اقتصادی قیمت دلار برابر ۱۳۰۰۰ ریال فرض شده است [۲۲].

۵-۲- معیار ارزیابی از لحاظ انرژی

در این مطالعه، به منظور ارزیابی سیستم تولید همزمان از لحاظ مصرف انرژی، از معیار صرفه‌جویی در مصرف انرژی اولیه^۳ استفاده شده است که از رابطه (۲۷) قابل محاسبه می‌باشد.

$$PES = \frac{PEC^{shp} - PEC^{cchp}}{PEC^{shp}} \quad (27)$$

مصرف انرژی اولیه نشان دهنده مصرف انرژی در محل به اضافه افت‌ها در تولید و انتقال انرژی است. لذا مصرف انرژی اولیه برای سیستم تولید جداگانه و سیستم تولید همزمان از روابط (۲۸) و (۲۹) بدست می‌آیند.

$$PEC^{shp} = \frac{E_{grid}^{shp}}{\eta_e^{shp} \eta_{grid}} + F_b \quad (28)$$

$$PEC^{cchp} = \frac{E_{grid}^{cchp}}{\eta_e^{shp} \eta_{grid}} + F_{on-site} \quad (29)$$

4- Carbon Dioxide Emission Reduction(CDER)

5- Sub-criteria

6- Alternative

1- Rate of Return(ROR)

2- Net Present Value

3- Primary Energy Saving(PES)

وزن نهایی هر گزینه در فرایند تحلیل سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب وزن نسبی معیارها در وزن گزینه‌ها بدست می‌آید.

۴-۶- محاسبه سازگاری

یک ماتریس مقایسه‌ای زوجی می‌تواند سازگار یا ناسازگار باشد. اگر $[PC_{ij}]_{n \times n}$ ماتریس مقایسه‌ای زوجی برای n معیار باشد، چنانچه رابطه (۴۰) برقرار باشد آنگاه ماتریس سازگار است.

$$PC_{ik} \times PC_{kj} = PC_{ij} \quad (40)$$

شاخص سازگاری^۲ یک ماتریس مقایسه‌ای زوجی به صورت رابطه (۴۱) می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (41)$$

با افزایش ناسازگاری، CI نیز افزایش می‌یابد. نسبت سازگاری به صورت رابطه (۴۲) تعریف می‌شود.

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad (42)$$

در رابطه (۴۲)، RI شاخص سازگاری ماتریس تصادفی می‌باشد که مقدار آن بستگی به n دارد. زمانی که RC کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و در غیر این صورت می‌بایست در قضاوت‌ها تجدید نظر شود.

به منظور محاسبه نسبت سازگاری یک سلسله مراتبی، شاخص سازگاری هر ماتریس در وزن عنصر مربوطه‌اش (عنصری که ماتریس بر مبنای آن ساخته شده است) ضرب شده و حاصل جمع آنها محاسبه می‌شود. همچنین RI هر ماتریس در وزن عنصر مربوطه‌اش ضرب شده و حاصل جمع آنها محاسبه می‌شود. از تقسیم دو مقدار فوق، نسبت سازگاری سلسله مراتبی بدست می‌آید.

در این مطالعه $RC = 0.02$ بدست آمد، لذا فرضیات و محاسبات سازگار است.

۷- نتایج

در این بخش نتایج حاصل از طراحی و ارزیابی سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم تولید جداگانه ارائه شده است. مقادیر متغیرهای مورد استفاده به منظور مدل‌سازی سیستم‌ها و محاسبات معیارهای ارزیابی در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

۷-۱- نتایج طراحی

در این بخش، نتایج حاصل از تعیین ظرفیت محرک اولیه در استراتژی تأمین بار الکتریکی و استراتژی تأمین بار حرارتی به روش بزرگ‌ترین مستطیل ارائه شده است.

۷-۱-۱- استراتژی تأمین بار الکتریکی

براساس شکل ۵ که منحنی تجمعی بار الکتریکی ساختمان اداری مبنا می‌باشد، شکل ۸ مقادیر انرژی الکتریکی تأمین شده در بار کامل توسط محرک اولیه را بر حسب ظرفیت محرک اولیه نشان می‌دهد. هر دو مقدار بر اساس مقادیر ماکزیمم خود بی‌بعد شده‌اند. در این شکل، محور عمودی مساحت مستطیل‌های تشکیل شده زیر منحنی تجمعی بار الکتریکی است. این مقادیر نسبت به مساحت بزرگ‌ترین مستطیل بی‌بعد شده‌اند. لذا جایی که مقدار منحنی برابر ۱ شود، ظرفیت محرک اولیه مورد نظر بر روی محور افقی مشخص می‌شود. این ظرفیت نسبت به حداکثر بار الکتریکی ساختمان

مختلفی می‌باشند، بنابراین مقادیر گزینه‌ها می‌بایست یک‌سازی^۱ شود. اگر معیار به نحوی باشد که "مقادیر بیشتر بهتر باشد" از رابطه (۳۶) و اگر به نحوی باشد که "مقادیر کمتر بهتر باشد" از رابطه (۳۷) استفاده می‌شود.

$$a_{ij}^N = \frac{a_{ij}}{a_{i \max}^N} \quad (36)$$

$$a_{ij}^N = \frac{a_{ij}^{\min}}{a_{ij}} \quad (37)$$

در روابط (۳۶) و (۳۷)، a_{ij} مقدار گزینه نام بر اساس معیار نام می‌باشد. $a_{ij}^{\max}$ و $a_{ij}^{\min}$ به ترتیب عبارتند از مقدار حداکثر و حداقل بر اساس معیار نام.

۳-۶- محاسبه وزن

محاسبه وزن در فرایند AHP در دو بخش جداگانه صورت می‌گیرد: وزن نسبی و وزن نهایی.

وزن نسبی، از ماتریس مقایسات زوجی بدست می‌آید و وزن نهایی از تلفیق وزن‌های نسبی محاسبه می‌شود. در این مقاله، به منظور محاسبه وزن نسبی از روش میانگین هندسی به صورت زیر استفاده شده است: ابتدا میانگین هندسی عناصر هر سطر ماتریس مقایسات زوجی محاسبه می‌شود.

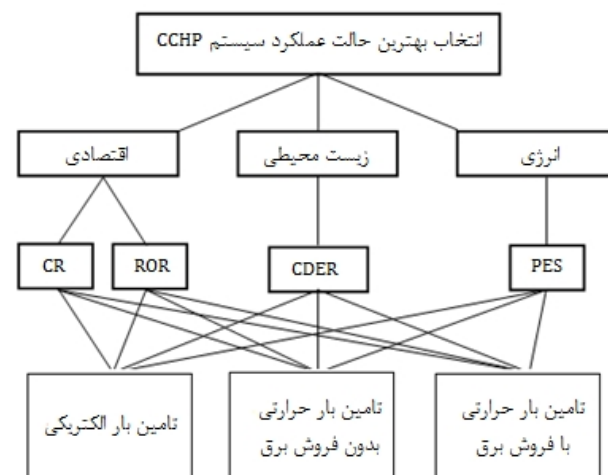
$$E_i = \left[\prod_{j=1}^n PC_{ij} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (38)$$

سپس بردار حاصل یک‌سازی شده تا بردار وزن بدست آید.

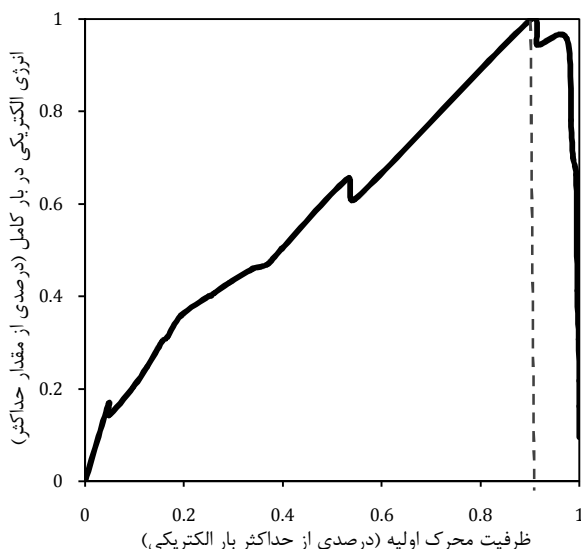
$$w_i = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (39)$$

جدول ۲ مقادیر کمی برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

درجه اهمیت	نشانه	مقدار عددی
ترجیح یکسان	EI	۱
نسبتاً مرجح	MI	۳
قویاً مرجح	SMI	۵
ترجیح بسیار قوی	VSMI	۷
کاملاً مرجح	AMI	۹
ترجیحات بین فواصل فوق	-	۲، ۴، ۶، ۸
شرایط بسیار نزدیک	-	۱/۱ - ۱/۹



شکل ۷ سلسله مراتبی با هدف انتخاب بهترین حالت عملکرد سیستم CCHP



شکل ۸ منحنی انرژی الکتریکی تأمین شده در بار کامل توسط محرک اولیه

۲-۷- نتایج ارزیابی استراتژی تأمین بار الکتریکی

شکل ۹ مقادیر صرفه‌جویی در مصرف انرژی اولیه و درصد کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن را در ماه‌های مختلف سال در استراتژی تأمین بار الکتریکی نشان می‌دهد. در این شکل، مقادیر مثبت نشان دهنده عملکرد مناسب‌تر سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌باشند. با توجه به این شکل، در استراتژی تأمین بار الکتریکی، PES و $CDER$ در تمامی ماه‌های سال دارای مقادیر مثبت می‌باشند. اما در ماه‌های گرم سال که دارای بار سرمایشی بالایی می‌باشند، مقادیر PES و $CDER$ کمتر می‌باشند. اصلی‌ترین دلیل این امر را می‌توان پایین بودن ضریب عملکرد چیلر جذبی دانست. با مقایسه شکل ۹ با نمودار نسبت حرارت به توان، مشخص می‌شود که حداکثر مقادیر PES و $CDER$ مربوط به ماه APR می‌باشد. زیرا در این ماه، اولاً مقدار RHP نزدیک ۱ می‌باشد، ثانیاً این مقدار کوچکتر از ۱ است که منجر به نیاز کمتر به بویلر کمکی می‌شود و لذا سوخت مصرفی در سیستم تولید همزمان نیز پایین‌تر می‌باشد.

به منظور دستیابی به تصویری کامل و دقیق از مزایای بکارگیری سیستم‌های تولید همزمان، ارزیابی اقتصادی به روش‌های کمی می‌بایست انجام گیرد. در اکثر مطالعاتی که به ارزیابی اقتصادی سیستم تولید همزمان پرداخته‌اند، تنها ارزیابی دینامیکی مورد توجه قرار گرفته است [۲۰، ۱۹، ۲۸]. در این مطالعه علاوه بر ارزیابی دینامیکی، به ارزیابی اقتصادی سیستم تولید همزمان در ماه‌های مختلف سال نیز با در نظر گرفتن معیار درصد کاهش هزینه عملکرد پرداخته شده است.

شکل ۱۰ مقادیر درصد کاهش هزینه عملکرد را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. براساس این شکل، استفاده از سیستم تولید همزمان در تمامی ماه‌های سال منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های عملکرد نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌شود. همچنین، مانند PES و $CDER$ در استراتژی تأمین بار الکتریکی، حداکثر مقدار CR نیز مربوط به ماه APR می‌باشد.

به منظور محاسبه نرخ بازگشت سرمایه در حالت EDM ، درآمدهای سالیانه سیستم تولید همزمان شامل درآمدهای ناشی از کاهش سوخت مصرفی توسط بویلر و کاهش خرید برق از شبکه و هزینه‌های سالیانه سیستم شامل هزینه سوخت مصرفی توسط محرک اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد.

اداری مبنا بی‌بعد شده است.

بر اساس شکل ۸، ظرفیت محرک اولیه که به بیشترین میزان انرژی الکتریکی تأمین شده در بار کامل می‌انجامد، برابر با ۹۰٪ حداکثر بار الکتریکی ساختمان اداری مبنا بدست می‌آید. در واقع توان نامی محرک اولیه، برابر ۶۸ kW می‌باشد. این مقدار در مرجع [۱۹] برای هتل‌ها در کشور چین حدود ۵۰٪ محاسبه شده است. علت این اختلاف در این است که، طبق استاندارد ASHRAE-90.1 [۱۵]، پروفایل روزانه استفاده از تجهیزات الکتریکی برای ساختمان‌های اداری به نحوی است که در اکثر ساعات به بار الکتریکی بیش از ۸۰٪ حداکثر بار الکتریکی ساختمان نیاز است. در حالی که طبق این استاندارد، برای هتل‌ها تنها ۳ ساعت به بار الکتریکی بیش از ۸۰٪ حداکثر بار نیاز است و در بقیه ساعات بار الکتریکی کمتر از ۶۰٪ حداکثر بار می‌باشد.

۷-۱-۲- استراتژی تأمین بار حرارتی

طراحی سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار حرارتی نیز برای ساختمان اداری مبنا، توسط نویسندگان مقاله حاضر در مرجع [۲۶] صورت گرفته است. با توجه به شکل ۶، حداکثر بار حرارتی ساختمان برابر ۴۴۰ kW می‌باشد. بر اساس نتایج مرجع [۲۶]، حداکثر حرارت قابل بازیاب از محرک اولیه برابر با ۷۵٪ حداکثر بار حرارتی ساختمان اداری مبنا بدست آمده است. به بیان دیگر، حداکثر حرارت قابل بازیاب از محرک اولیه، برابر ۳۳۰ kW می‌باشد. در حالی که این مقدار برای یک ساختمان مسکونی در تهران حدود ۴۰٪ بدست آمده است [۲۷]. علت این اختلاف را می‌توان تأثیر نوع کاربری ساختمان بر نمودار بار حرارتی در طول سال دانست.

جدول ۴ مشخصات محرک اولیه را در دو استراتژی، براساس ظرفیت‌های محاسبه شده نشان می‌دهد.

جدول ۳ مقادیر متغیرهای ورودی برای مدل‌سازی سیستم‌ها و محاسبه معیارهای ارزیابی

مقدار	نشانه	متغیر
۰/۳۳	η_{pgu}	راندمان موتور گازسوز [۱۱]
۰/۸	η_{rec}	راندمان سیستم بازیاب حرارت
۰/۷	COP_e	ضریب عملکرد چیلر جذبی
۰/۸	η_{hc}	راندمان کوئل حرارتی
۰/۸	η_b	راندمان بویلر
۰/۳	η_e^{shp}	راندمان تولید برق نیروگاه [۳]
۰/۸۲	η_{grid}	راندمان شبکه انتقال برق [۳]
۳	COP_{ch}	ضریب عملکرد چیلر الکتریکی
۸۳۶	μ_e	شاخص انتشار آلاینده CO_2 برای برق شبکه (gr/kWh) [۳]
۲۲۰	μ_f	شاخص انتشار آلاینده CO_2 برای گاز (gr/kWh) [۱۹]
۱۱۰۰	$Cost_e$	تعارف خرید برق از شبکه (Rials/kWh) [۲۳]
۲۰۰۰	$Cost_f^{shp}$	تعارف خرید گاز در سیستم SHP (Rials/m ³) [۲۴]
۸۰۰	$Cost_f^{cchp}$	تعارف خرید گاز در سیستم CCHP (Rials/m ³) [۲۴]
۳۷۳	$Cost_{exp}$	تعارف فروش برق به شبکه (Rials/kWh) [۱۸]
۰/۱	z	نرخ افزایش سالانه قیمت برق و گاز
۰/۱۲	IR	نرخ بهره [۲۵]

جدول ۴ مشخصات محرک اولیه براساس روش بزرگ‌ترین مستطیل

نوع استراتژی عملکرد	تأمین بار حرارتی [۲۶]	تأمین بار الکتریکی
ظرفیت الکتریکی (kW)	۲۰۰	۶۸
حداکثر حرارت بازیابی (kW)	۳۳۰	۱۱۰
حداکثر سوخت مصرفی (kW)	۶۱۵	۲۰۶
زمان عملکرد در بار کامل (hr)	۱۲۲۰	۲۷۹۰

همچنین بر اساس نتایج، استفاده از سیستم تولید همزمان برای ساختمان اداری مینا، سالانه منجر به $2/8\%$ کاهش مصرف انرژی اولیه، $3/5\%$ کاهش انتشار آلاینده و 60% کاهش هزینه‌های عملکرد نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌شود [۲۶].

به منظور محاسبه نرخ بازگشت سرمایه، در حالت تأمین بار حرارتی بدون فروش برق به شبکه، درآمدهای سالیانه سیستم تولید همزمان شامل درآمدهای ناشی از کاهش سوخت مصرفی توسط بویلر و کاهش خرید برق از شبکه و هزینه‌های سالیانه سیستم شامل هزینه سوخت مصرفی توسط محرک اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشند.

براساس نتایج، سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار حرارتی در حالت عدم فروش برق به شبکه، دارای نرخ بازگشت سرمایه‌ای برابر با $14/72\%$ می‌باشد. با مقایسه این مقدار با نرخ بهره در نظر گرفته شده، می‌توان گفت استفاده از سیستم تولید همزمان از لحاظ اقتصادی، توجیه‌پذیر است [۲۶].

۴-۷- نتایج ارزیابی استراتژی تأمین بار حرارتی در حالت فروش برق به شبکه

ارزیابی سیستم تولید همزمان در حالت تأمین بار حرارتی با فروش برق به شبکه نیز برای ساختمان اداری مینا در مرجع [۲۵] انجام شده است. بر اساس نتایج، دو معیار *CDR* و *PES* در تمامی ماه‌های سال دارای مقادیر مثبت می‌باشند. برخلاف حالت عدم فروش برق به شبکه، سیستم تولید همزمان حتی در ماه‌های گرم سال دارای عملکرد مناسب‌تری نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌باشد، زیرا در ماه‌های گرم سال، به دلیل بالا بودن نسبت حرارت به توان ساختمان، برق اضافی بیشتری توسط سیستم تولید همزمان تولید می‌شود. همانند حالت تأمین بار حرارتی بدون فروش برق و تأمین بار الکتریکی، سیستم تولید همزمان در حالت تأمین بار حرارتی با فروش برق نیز در تمامی ماه‌های سال منجر به کاهش هزینه‌های عملکرد نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌شود [۲۶].

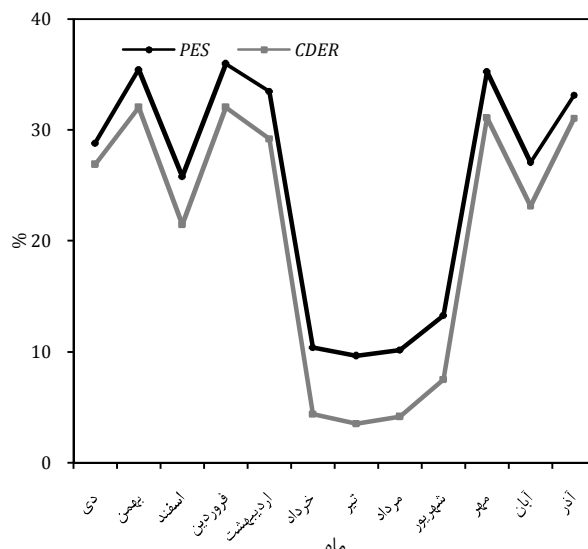
به منظور محاسبه نرخ بازگشت سرمایه، در حالت تأمین بار حرارتی با فروش برق، درآمدهای ناشی از فروش برق به شبکه نیز در نظر گرفته شده است.

براساس نتایج، در این حالت، سیستم تولید همزمان دارای نرخ بازگشت سرمایه‌ای برابر با $19/90\%$ می‌باشد. با مقایسه این مقدار با نرخ بهره در نظر گرفته شده، می‌توان گفت استفاده از سیستم تولید همزمان با در نظر گرفتن فروش برق به شبکه از توجیه اقتصادی برخوردار است [۲۶].

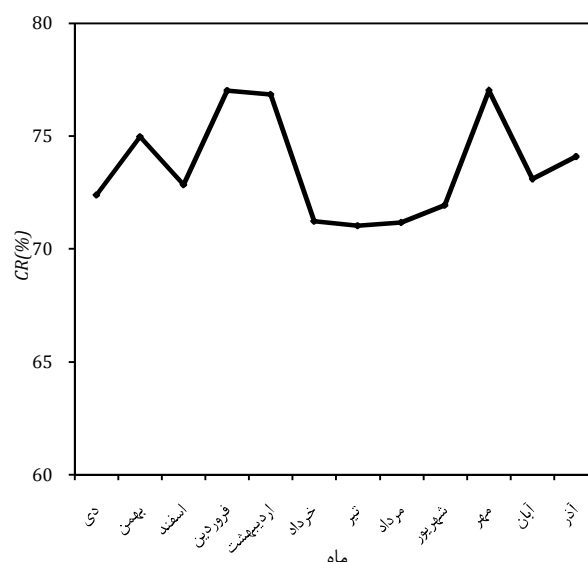
جدول ۵ نتایج ارزیابی سیستم *CCHP* تحت استراتژی‌های مختلف را بر مبنای مقادیر سالانه *PES*، *CDR* و *CR* و همچنین *ROR* نشان می‌دهد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سیستم تولید همزمان در استراتژی تأمین بار الکتریکی دارای نرخ بازگشت سرمایه حتی بیشتر از استراتژی تأمین بار حرارتی با فروش برق به شبکه می‌باشد. اصلی‌ترین دلایل این امر را می‌توان کاهش سائز محرک اولیه، کمتر بودن نرخ سوخت در مقایسه با برق و نیاز کمتر به برق شبکه دانست.

همچنین ملاحظه می‌شود که عملکرد سیستم تولید همزمان در دو حالت تأمین بار الکتریکی و تأمین بار حرارتی با فروش برق، از حالت تأمین بار حرارتی بدون فروش برق بهتر می‌باشد. اما با توجه به تفاوت در اهمیت معیارهای ارزیابی، به منظور تعیین بهترین سیستم، نیاز به مقایسه‌ای چندمعیاره می‌باشد.



شکل ۹ *PES* و *CDER* در ماه‌های مختلف در استراتژی تأمین بار الکتریکی



شکل ۱۰ درصد کاهش هزینه‌های عملکرد در ماه‌های مختلف در استراتژی تأمین بار الکتریکی

براساس نتایج، سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار الکتریکی، دارای نرخ بازگشت سرمایه‌ای برابر با $28/3\%$ می‌باشد. با مقایسه این مقدار با نرخ بهره در نظر گرفته شده، می‌توان گفت استفاده از سیستم تولید همزمان از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است.

۷-۳- نتایج ارزیابی استراتژی تأمین بار حرارتی در حالت عدم فروش برق به شبکه

ارزیابی سیستم تولید همزمان در حالت تأمین بار حرارتی بدون فروش برق به شبکه برای ساختمان اداری مینا در مرجع [۲۶] ارائه شده است. بر اساس نتایج، سیستم تولید همزمان در اکثر ماه‌های سال نسبت به سیستم تولید جداگانه منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی اولیه و کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن می‌شود. اما در ماه‌های گرم سال که دارای بار سرمایشی بالایی می‌باشند، منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی اولیه و کاهش انتشار آلاینده نشده است. استفاده از سیستم تولید همزمان در این حالت، در تمامی ماه‌های سال منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های عملکرد نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌شود.

براساس فرضیات فوق، جدول ۶ نشان دهنده مقایسات زوجی برای معیارهای اصلی و زیر معیارهای اقتصادی می‌باشد.

همچنین در جدول ۷ مقادیر گزینه‌ها بر حسب معیارهای مختلف که به وسیله رابطه (۳۶) یک‌سازی شده‌اند، نشان داده شده است.

بر اساس روش AHP، در جدول ۸ نتایج حاصل از ارزیابی سیستم CCHP تحت استراتژی‌های مختلف عملکرد با در نظر گرفتن تمام معیارهای ارزیابی ارائه شده است. در این جدول، اولویت بندی بکارگیری استراتژی مناسب سیستم تولید همزمان برای ساختمان اداری مبنا، ارائه شده است.

بر اساس جدول ۸، ملاحظه می‌شود که در هر دو حالت تصمیم‌گیری، مناسب‌ترین استراتژی سیستم تولید همزمان با در نظر گرفتن تمام معیارهای ارزیابی، استراتژی تأمین بار حرارتی با فروش برق به شبکه می‌باشد. همچنین براساس نتایج، اگر شرایط فروش برق به شبکه به هر دلیلی محیا نباشد، استراتژی تأمین بار الکتریکی در اولویت خواهد بود.

۷-۶- آنالیز حساسیت اقتصادی

آنالیز حساسیت منجر به درک بهتر از تأثیر تغییر پارامترهای اساسی بر کارایی سیستم تولید همزمان می‌شود. در این بخش، به بررسی تأثیر تغییر قیمت دلار بر نرخ بازگشت سرمایه پرداخته شده است. تاکنون، محاسبات با در نظر گرفتن قیمت دلار برابر مقدار متوسط ۱۳۰۰۰ ریال انجام شده بود. به منظور بررسی تأثیر تغییر قیمت دلار، نرخ بازگشت سرمایه برای دو حالت دیگر محاسبه شده و نتایج در جدول ۹ ارائه شده است.

براساس جدول ۹، ملاحظه می‌شود که افزایش نرخ دلار منجر به کاهش نرخ بازگشت سرمایه می‌شود. سیستم تولید همزمان تحت دو حالت تأمین بار حرارتی با فروش برق به شبکه و تأمین بار الکتریکی، حتی اگر قیمت دلار برابر ۲۶۰۰۰ ریال در نظر گرفته شود دارای توجیه‌پذیری اقتصادی می‌باشد. اما برای هر سه حالت عملکرد سیستم تولید همزمان، با افزایش قیمت دلار تا ۳۹۰۰۰ ریال، استفاده از سیستم تولید همزمان دارای توجیه اقتصادی نخواهد بود.

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به ارزیابی چندمعیاره سیستم تولید همزمان در سه حالت عملکرد مختلف نسبت به سیستم تولید جداگانه برای ساختمان‌های اداری در تهران پرداخته شده است. این سه حالت عبارت بودند از: تأمین بار الکتریکی، تأمین بار حرارتی با فروش برق و تأمین بار حرارتی بدون فروش برق. معیارهای ارزیابی بکار گرفته شده عبارت بودند از: PES ، CDR ، CR و ROR . نهایتاً به وسیله تکنیک AHP، ارزیابی جامعی بر مبنای تمام معیارها انجام گرفت و سیستم تأمین انرژی مناسب برای ساختمان اداری مبنا مشخص گردید. نتایج نشان می‌داد که:

- بر اساس ارزیابی چند معیاره از طریق تکنیک AHP، در هر دو حالت "تصمیم‌گیری از لحاظ انرژی" و "تصمیم‌گیری از لحاظ اقتصادی"، بهترین حالت عملکرد سیستم تولید همزمان، حالت EDM می‌باشد.
- اگر شرایط فروش برق به شبکه به هر دلیلی مهیا نباشد، با در نظر گرفتن تمام معیارهای ارزیابی، استراتژی تأمین بار الکتریکی در اولویت است.
- برای تمام حالت‌های عملکرد، استفاده از سیستم CCHP منجر به کاهش هزینه‌های عملکرد در تمامی ماه‌های سال نسبت به سیستم تولید جداگانه می‌شود.
- از نقطه نظر انرژی و زیست محیطی، سیستم تولید همزمان در حالت تأمین

جدول ۵ ارزیابی سیستم CCHP تحت استراتژی‌های مختلف

استراتژی	تأمین بار حرارتی - با فروش [۲۵]	تأمین بار حرارتی - بدون فروش [۲۵]	تأمین بار الکتریکی
$PES(\%)$	۷/۸	۶۴	۲۲
$CDER(\%)$	۳/۵	۵۹	۱۸/۵
$CR(\%)$	۶۰	۸۵	۷۳
$ROR(\%)$	۱۴/۷	۱۹/۹	۲۸/۳

جدول ۶ مقایسات زوجی برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها

زیرمعیار			$C_3 > C_1 > C_2$			$C_1 > C_3 > C_2$		
S_{31}	S_{32}		C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3
EI	MI(R)		EI	MI	MI(R)	EI	SI	SI(R)
MI	EI		MI(R)	EI	SI(R)	SI(R)	EI	MI(R)
EI	MI		MI	SI	EI	MI(R)	MI	SI(R)

جدول ۷ مقادیر نرمالایز شده برای گزینه‌ها

معیار اصلی	زیرمعیار	تأمین بار الکتریکی	تأمین بار حرارتی	تأمین بار حرارتی بدون فروش برق
C_1	S_{11}	۰/۳۴	۰/۱۲	۱
C_2	S_{21}	۰/۳۱	۰/۰۶	۱
C_3	S_{31}	۰/۸۶	۰/۷۱	۱
	S_{32}	۱	۰/۵۲	۰/۷۰

جدول ۸ اولویت استراتژی‌های مختلف بر حسب شرایط تصمیم‌گیری

شرایط	اولویت استراتژی	وزن نهایی
تصمیم‌گیری از لحاظ انرژی $C_1 > C_3 > C_2$	۱. تأمین بار حرارتی با فروش	۰/۵۹۷
	۲. تأمین بار الکتریکی	۰/۲۸۲
	۳. تأمین بار حرارتی بدون فروش	۰/۱۲۱
تصمیم‌گیری از لحاظ اقتصادی $C_3 > C_1 > C_2$	۱. تأمین بار حرارتی با فروش	۰/۴۶۶
	۲. تأمین بار الکتریکی	۰/۳۵۳
	۳. تأمین بار حرارتی بدون فروش	۰/۱۸۱

جدول ۹ تأثیر تغییر قیمت دلار بر نرخ بازگشت سرمایه

حالت عملکرد سیستم	نرخ بازگشت سرمایه (%)		
	۳۹۰۰۰ Rials	۲۶۰۰۰ Rials	۱۳۰۰۰ Rials
تأمین بار حرارتی بدون فروش	۳/۴	۷/۸	۱۴/۷
تأمین بار حرارتی با فروش	۶/۷	۱۲/۲	۱۹/۹
تأمین بار الکتریکی	۱۱/۵	۱۷/۴	۲۸/۳

لذا در این مطالعه از تکنیک AHP به منظور تعیین بهترین حالت عملکرد سیستم تولید همزمان بر مبنای تمام معیارهای ارزیابی استفاده شده است.

۷-۵- نتایج ارزیابی چندمعیاره

در این بخش نتایج حاصل از ارزیابی چندمعیاره سیستم تولید همزمان با استفاده از روش AHP ارائه شده است. بدین منظور، معیارها و زیرمعیارها به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

C_1 : Energy; C_2 : Environment; C_3 : Economic;
 S_{11} : PES; S_{21} : CDER; S_{31} : CR; S_{32} : ROR

ارزیابی چندمعیاره سیستم در دو حالت انجام گرفته است. در حالت اول اهمیت معیارها به صورت $C_1 > C_3 > C_2$ (تصمیم‌گیری از لحاظ انرژی) و در حالت دوم اهمیت معیارها به صورت $C_3 > C_1 > C_2$ (تصمیم‌گیری از لحاظ اقتصادی) فرض شده است. همچنین در هر دو حالت فرض شده است که، اهمیت نرخ بازگشت سرمایه بیشتر از درصد کاهش هزینه عملکرد می‌باشد ($S_{32} > S_{31}$).

الکتریکی	e	بار حرارتی با فروش برق به شبکه دارای عملکرد مناسب‌تری نسبت به دو حالت دیگر می‌باشد.
فروش برق به شبکه	exp	- بیشترین مقدار نرخ بازگشت سرمایه مربوط به حالت تأمین بار الکتریکی می‌باشد. اصلی‌ترین دلایل این امر را می‌توان سایز کوچک‌تر محرک اولیه و نیاز کمتر به برق شبکه در مقایسه با دو حالت دیگر دانست.
سوخت	f	- براساس آنالیز حساسیت اقتصادی، حتی اگر قیمت دلار برابر ۲۶۰۰۰ ریال در نظر گرفته شود، سیستم تولید همزمان تحت دو حالت تأمین بار الکتریکی و تأمین بار حرارتی با فروش برق، دارای توجیه‌پذیری اقتصادی می‌باشد.
شبکه	grid	
کویل حرارتی	hc	
بیشینه	max	
در محل	on-site	
محرک اولیه	pgu	
بازیابی	rec	
مورد نیاز	req	

۹- فهرست علائم

بار حرارتی مجموع (kW)	ATL
سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما	CCHP
کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن (%)	CDER
انتشار آلاینده دی اکسید کربن (gr)	CDE
جریان نقدینگی	cf
شاخص سازگاری ماتریس مقایسه‌ای زوجی	CI
هزینه	Cost
کاهش هزینه عملکرد (%)	CR
انرژی الکتریکی (kWh)	E
استراتژی تأمین بار الکتریکی	EDM
درآمد	er
هزینه	ex
انرژی سوخت مصرفی (kWh)	F
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (\$)	I ₀
نرخ بهره (%)	IR
نرخ افزایش سالیانه قیمت‌ها	j
عمر مفید سیستم	n
مصرف انرژی اولیه (kWh)	PEC
صرفه‌جویی در مصرف انرژی اولیه (%)	PES
حرارت	Q
نسبت سازگاری	RC
نسبت حرارت به توان ساختمان به موتور گازسوز	RHP
شاخص سازگاری ماتریس تصادفی	RI
نرخ بازگشت سرمایه	ROR
سیستم تولید جداگانه	SHP
دما (°C)	T
استراتژی تأمین بار حرارتی	TDM
میزان آب گرم مصرفی	v̇

علائم یونانی

راندمان	η
ضریب انتشار آلاینده (gr/kWh)	μ
جرم مخصوص (kg/l)	ρ
مقدار ویژه ماتریس	λ

زیرنویس‌ها

بوiler	b
سرمايش	c
چیلر جذبی	ch

۱۰- مراجع

- [1] J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, Z. Zhai, performance comparison of combined cooling heating and power system in different operation modes. *Applied Energy*, Vol. 88, No. 12, pp. 4621-4631, 2011.
- [2] Q. Gu, H. Ren, W. Gao, J. Ren, Integrated assessment of combined cooling heating and power systems under different design and management options for residential buildings in shanghai, *Energy and Buildings*, Vol. 51, No. 18, pp. 143-152, 2012.
- [3] Iran Energy Balance, 2011; <http://www.saba.org/energyinfo/tashilat/taraz>. Visited in February 2013. (In Persian)
- [4] P. J. Mago, A. K. Hueffed, Evaluation of a turbine driven CCHP system for large office buildings under different operation strategies, *Energy and Buildings*, Vol. 42, No. 10, pp. 1628-1636, 2010.
- [5] E. Cardona, A. Piacentino, A methodology for sizing a trigeneration plant in Mediterranean areas. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, No. 13, pp. 1665-1680, 2003.
- [6] P. Mancarella, G. Chicco, Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems. Part II : Analysis techniques and application cases. *Energy*, Vol. 33, No. 3, pp. 418-430, 2008.
- [7] H. Ghodspour, *Analytical Hierarchy Process*, Tehran: Amirkabir University of Technology, 2008. (In Persian)
- [8] M. Ebrahimi, A. Keshavarz, Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) by multi criteria sizing method for different climates, *Energy*, Vol. 54, No. 29, pp. 291-301, 2013.
- [9] M. A. Ehyaei, M. N. Bahadori, Selection of micro turbines to meet electrical and thermal energy needs of residential buildings in Iran, *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 12, pp. 1227-1234, 2007.
- [10] H. Ghasemzadeh, M. Maerefat, A. Azimi, Design combined cooling, heating and power system for residential buildings in Tehran climate, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 109-122, 2007. (In Persian)
- [11] D. W. Wu, R. Z. Wang, Combined cooling, heating and power: A review, *progress in energy and combustion science*, Vol. 32, No. 5, pp. 459-495, 2006.
- [12] Abstract of energy labeling for office buildings in Iran, 2009; <http://www.saba.org.ir/fa/masrafeenergy/sakhteman/shakhes/tadvin/ebarchasb>. Visited in February 2013. (In Persian)
- [13] V. Vakiloroaya, *The Handbook of Heating, Ventilation and Air conditioning for design and implementation*, pp. 478-482, Tehran: Sanei, 2009. (In Persian)
- [14] Khuzestan Regional Electric Company, Energy audit and optimization for the office building of Khuzestan Regional Electric Company, in *The 1st national Conference on optimizing energy consumption*, Mashhad, Iran, 2007. (In Persian)
- [15] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, 2007, ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007, Atlanta, GA.
- [16] Calculation of sunset and sunrise, 2013; http://www.chaharmahalmet.ir/sunrise_sunset.asp. Visited in August 2013. (In Persian)
- [17] F. Bagheri, V. Mokarizadeh, S. Amani, M. Jabbar, Specification of electrical energy indexes for office buildings in Iran, in *The 26th International Conference on Power System*, Tehran, Iran, 2011. (In Persian)
- [18] Base price of guaranteed electricity purchase contract from small scale generators, 2012; <http://www2.tavanir.org.ir/privatization/generators/default.asp>. Visited in March 2013. (In Persian)

- [24] Gas prices, 2011; <http://www.nigc.ir/site.aspx?partree=11101H-1215151c>. Visited in March 2013. (In Persian)
- [25] List of countries based on central bank interest rates, 2011; http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_central_bank_interest_rates. Visited in April 2013.
- [26] M. Maerefat, P. Shafie, Design of CCHP system for office buildings in Tehran and thermodynamical, environmental and economical evaluation in comparison to conventional system, *Modares Mechanical Engineering*, article in press, 2014. (In Persian)
- [27] M. Ebrahimi, A. Keshavarz, Climate impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building, *Energy and Buildings*, Vol. 54, No. 35, pp. 283-289, 2012.
- [19] J.J. Wang, C.F. Zhai, Y.Y. Jing, Multi-criteria analysis of combined cooling, heating and power systems in different climate zones in china, *Applied Energy*, Vol. 87, No. 4, pp. 1247-1259, 2010.
- [20] S. Sanaye, M. A. Maybodi, S. Shokrollahi, Selecting the prime mover and nominal power in combined heat and power systems, *Energy and Buildings*, Vol. 28, No. 10, pp. 1177-1188, 2008.
- [21] A. Abedi, P. Badaghi, S.H. Keshtiarast, Technical and economical comparison of absorption and electric chillers, in *The 1st International Conference on Chiller and Cooling Tower*, Tehran, Iran, 2010. (In Persian)
- [22] Summary of the economical changes in 2011 in Iran, Central Bank of the Islamic Republic of Iran; <http://www.cbi.ir/page/10556.aspx>. Visited in March 2013.
- [23] Electricity prices, 2012; <http://www.tbtc.co.ir/fa/moarefiymoavenatha/moarefiymoavenatha/organization/nerkh90>. Visited in March 2013. (In Persian)